

Análisis de Monitoreo de Partículas para la Cuenca Atmosférica  
Paso del Norte en la región fronteriza de Estados Unidos y México  
13 de Noviembre de 2008 – 30 de Abril de 2009



Oficina de la Calidad del Aire del Departamento Ambiental de  
Nuevo México

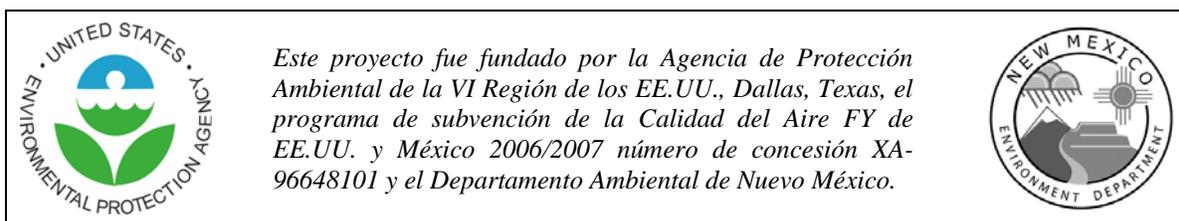
Análisis de Monitoreo de Partículas para la Cuenca  
Atmosférica Paso del Norte en la región fronteriza de Estados  
Unidos y México  
13 de Noviembre de 2008 – 30 Abril de 2009



Oficina de la Calidad del Aire del Departamento Ambiental de  
Nuevo México

## Agradecimientos

- El personal de monitoreo del aire de Ecología y Protección Civil, Normativo Ambiental recolectó los datos en México. Agradecimientos a Daniel Terrazas, Pedro Mora, Ricardo Aragón y Lic. Héctor A. Sandoval Quesney, Director Normativo Ambiental, Dr. Gral. De Ecología y Protección Civil, Avenida Francisco Villa No. 950 nte. Ciudad Juárez, Chihuahua 32000 Teléfono 207-88-00 Ext. 2448 Email: [hsandovalq@juarez.gob.mx](mailto:hsandovalq@juarez.gob.mx) . Además los agradecimientos a Ing. Bernardo Escudero O. Director, Ecología y Protección Civil, Presidencia Municipal Ciudad Juárez, Chihuahua 32300.
- El personal de monitoreo del aire del Departamento Ambiental de Nuevo México recolecto los datos en Nuevo México. Agradecimientos a Abel Ramírez, Daniel Galindo, Michaela Lane-Sánchez y Terry Hertel, Administrador, Programa de Monitoreo del Aire del Ambiente, Oficina de la Calidad del Aire del DANM, 1301 Siler Road Building B, Santa Fe, New Mexico 87505, Teléfono 505 476-4316 Email: [terry.hertel@state.nm.us](mailto:terry.hertel@state.nm.us) .
- La información fue analizada y el informe confeccionado (*Estudio de Excedentes del MP<sub>2.5</sub> en viento bajo en Sunland Park*) por David DuBois, Ricky Tropp e Ilias Kavouras del Instituto de Investigación del Desierto, 755 East Flamingo Road, Las Vegas, Nevada 89119, Teléfono 702 862-5468.
- Traducción por New Mexico Water Resources Research Institute, New Mexico State University, MSC 3167, P.O. Box 30001, Las Cruces, New Mexico 88003-8001, Teléfono 575 646-4337.



Fotos de la portada: Vistas de la webcam de la zona del proyecto en el Valle de Río Grande, vista oeste/noroeste de Ranger Peak, El Paso, Texas. Vista superior, 03/03/08; vista inferior, 10/04/08.

## Resumen Ejecutivo

Una red de monitoreo para el  $MP_{2.5}$  operó en 13 estaciones de la región fronteriza binacional de Sunland Park, Nuevo México, El Paso, Texas y Ciudad Juárez, México. El propósito de esta red fue la de evaluar la extensión espacial de altas concentraciones de  $MP_{2.5}$  durante viento bajo, episodios de estancamiento, y para investigar posibles zonas de origen. Este estudio investigó exitosamente el comportamiento espacial y temporal del  $MP_{2.5}$  durante numerosos episodios. Durante este estudio de 181 días, el cual tuvo lugar desde el 31 de octubre de 2008 al 30 de abril de 2009, cuantificamos 63 episodios donde la concentración de  $MP_{2.5}$  por hora sobrepasó las  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por una o más horas con vientos de menos de 2 mph (0.89 m/s). Durante el estudio las estaciones de la Oficina de la Calidad del Aire del DANM no sobrepasaron el Estándar Nacional del Medio Ambiente para la Calidad del Aire de 24-horas de  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por partículas con un diámetro aerodinámico de  $2.5 \mu\text{m}$  o menor ( $MP_{2.5}$ ). La más alta concentración de  $MP_{2.5}$  medida en la estación Sunland Park City Yard fue de  $30.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , equivalente al 88% del estándar. Sin embargo, cuatro casos de superación del estándar fueron observados en las estaciones de saturación en Nuevo México. Los casos ocurrieron en Ardivino's (16 de diciembre de 2008), en el Colegio Comunitario de Doña Ana (25 diciembre de 2008), Primaria Riverside (25 de febrero de 2009) y en la Pista de Carreras del Parque Sunland (25 de diciembre de 2009). La mayoría de los episodios ocurrieron entre las 18:00 y 20:00 horas MST. Los episodios ocurrieron en promedio cada 3 días y la duración varió entre una y nueve horas, a menudo estos episodios sucedieron pasada la medianoche. Mediciones históricas de  $MP_{2.5}$  desde la Oficina de la Calidad del Aire del DANM indican que el estándar anual de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  no será excedido. Mientras unas pocas concentraciones de  $MP_{2.5}$  han excedido el estándar de 24-horas durante primavera e invierno, su número hasta el momento no es suficiente para causar el no cumplimiento del estándar de 24-horas en un futuro cercano.

Las retrotrayectorias de masa de aire han demostrado ser herramientas útiles en la exploración de los lugares de origen y a donde esas emisiones han sido transportadas. En este estudio hemos comparado una entrada meteorológica de uso común con mediciones en una zona de terreno complejo. Para esta pequeña región, una sola estación de campos de vientos utilizada en el modelo de trayectoria ha demostrado mejor concordancia con las mediciones de vientos observadas durante este estudio. Reconocemos que un campo espacial de vientos homogéneos basados en una sola estación no es la mejor opción, demostramos que la información útil acerca de las trayectorias de masa de aire para distancias cortas puede ser obtenida. Al utilizar el modelo de retrotrayectorias por seis episodios, aislamos una zona de origen al sur de Sunland Park dentro de una distancia de 3 a 4 kilómetros. Basado en este esfuerzo, las ubicaciones de las fuentes de emisión de partículas que conducen a las superaciones de viento bajo pueden ser localizadas en esta área.

## Tabla de Contenidos

Agradecimientos.....	i
Resumen Ejecutivo.....	ii
Tabla de Contenidos.....	iii
Lista de Figuras.....	iv
Lista de Tablas.....	ix
Acrónimos.....	x
1 Introducción.....	1
1.1 Sunland Park y la Calidad del Aire.....	1
1.2 Fuentes de MP <sub>2.5</sub> .....	2
1.3 Objetivos del Proyecto.....	4
2 Métodos.....	5
2.1 Datos.....	5
2.1.1 Exhaustividad de los Datos.....	5
2.1.2 Control de Calidad.....	9
2.2 Desarrollo de la Base de Datos.....	11
3 Resultados.....	13
3.1 Concentraciones de masa de MP <sub>10</sub> y MP <sub>2.5</sub> .....	13
3.2 Condiciones Meteorológicas.....	25
3.2.1 Patrones del Viento.....	27
3.3 Criterios de Episodios.....	29
4 Discusión.....	30
4.1 Patrones Temporales.....	30
4.1.1 Variación Diurna.....	30
4.1.2 Variación entre Días Laborales y Fines de Semana.....	40
4.2 Correlaciones Espacial y Temporal.....	49
4.3 Análisis por Episodio.....	55
4.3.1 Episodio 1: Año Nuevo, 31 de diciembre, 2008.....	55
4.3.2 Episodio 2: 22 de noviembre, 2008.....	63
4.3.3 Episodio 3: 29 de diciembre, 2008.....	71
4.3.4 Episodio 4: 19 de enero, 2009.....	79
4.3.5 Episodio 5: 5 de febrero, 2009.....	87
4.3.6 Episodio 6: 2 de marzo, 2009.....	95
4.4 Potenciales Zonas de Origen.....	101
5 Conclusiones y Recomendaciones.....	105
6 Bibliografía.....	107
Apéndice A: Descripciones de las Estaciones.....	109
Apéndice B: Lista de los Episodios durante el Estudio.....	159
Apéndice C: Teoría de Operación de E-BAM.....	164

## Lista De Figuras

Figura 1-1. Fuentes de polvo fugitivo cerca de la red de muestreo saturada.....	3
Figura 2-1. Punto de corte del ciclón estimado para las desviaciones de caudal desde $\pm 5$ a $\pm 50$ por ciento .....	9
Figura 3-1. Convenciones del gráfico de caja mostrando variados percentiles.....	13
Figura 3-2. Gráfico de caja de las concentraciones de masa de $MP_{2.5}$ 24-horas en las estaciones 6ZG y 6ZM en Sunland Park, Nuevo México medidos por MOEC. La línea azul muestra el $MP_{2.5}$ 24-horas NAAQS de $35 \mu g/m^3$ .....	15
Figura 3-3. Gráfico de caja de las concentraciones en masa de $MP_{2.5}$ 24-horas en todas las estaciones E-BAMs.....	16
Figura 3-4. Gráfico de caja de las concentraciones en masa de $MP_{2.5}$ 24-horas en las estaciones C12 y C41 en El Paso, Texas medidos por MOEC. La línea azul muestra el $MP_{2.5}$ 24-horas NAAQS .....	17
Figura 3-5. Gráfico de caja de concentraciones en masa de $MP_{10}$ 24-horas en Sunland Park, Nuevo México y El Paso, Texas con MOEC. ....	18
Figura 3-6 Proporción en las estaciones de $MP_{2.5}$ y $MP_{10}$ en Sunland Park, Nuevo México .....	18
Figura 3-7 Proporción en las estaciones de $MP_{2.5}$ y $MP_{10}$ en El Paso, Texas.....	19
Figura 3-8. Series de tiempo de las concentraciones de masa de $MP_{2.5}$ 24-horas en las estaciones DANM medidas por MOEC.....	20
Figura 3-9. Series de tiempo de las concentraciones de masa de $MP_{2.5}$ 24-hrs en Nuevo México medidas por el E-BAM.....	21
Figura 3-10. Series de tiempo de las concentraciones de masa de $MP_{2.5}$ 24-hrs en Ciudad Juárez, México medidas por BAM .....	22
Figura 3-11. Series de tiempo de las concentraciones de masa de $MP_{2.5}$ 24-hrs en El Paso, Texas, medidas por MOEC.....	23
Figura 3-12. Series de tiempo de las concentraciones de masa de $MP_{2.5}$ 24-hrs en El Paso, Texas, medidas por E-BAM .....	23
Figura 3-13. Series de tiempo de las alturas geopotenciales de 500mb sobre el curso del estudio con episodios indicados en negrita.....	24
Figura 3-14. Gráficos de regresión lineal de eventos de MP de viento bajo con alturas de 500mb y temperaturas de 700mb. Los gráficos a la izquierda son de todas las horas y sobre la mano derecha se encuentran los gráficos de los días donde ocurrió un episodio. ....	25
Figura 3-15. Series de tiempo de alturas de la mezcla durante el estudio .....	26
Figura 3-16. Rosas de los vientos para las estaciones E-BAMs y DANM hacia el norte del área de estudio.....	27

Figure 3-17. Rosas de los vientos para las estaciones de E-BAM y Ciudad Juárez durante el estudio .....	28
Figura 4-1. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación 6ZG por hora .....	30
Figura 4-2. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación 6ZM por hora .....	31
Figura 4-3. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación ARDO por hora .....	31
Figura 4-4. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación DACC por hora .....	32
Figura 4-5. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación IBWC por hora .....	32
Figura 4-6. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación RIVER por hora .....	33
Figura 4-7. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación SPRT por hora .....	33
Figura 4-8. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación SUN por hora .....	34
Figura 4-9. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación VICT por hora .....	34
Figura 4-10. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación C12 por hora .....	35
Figura 4-11. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación C41 por hora .....	35
Figura 4-12. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación MX-16 por hora .....	36
Figura 4-13. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación MX-17 por hora .....	36
Figura 4-14. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación MX-18 por hora .....	37
Figura 4-15. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación MX-19 por hora .....	37
Figura 4-16. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación MX-20 por hora .....	38
Figura 4-17. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación MX-21 por hora .....	38
Figura 4-18. Variación de la concentración de NO en la estación 6ZM por hora .....	39
Figura 4-19. Variación de la concentración de NO <sub>2</sub> en la estación 6ZM por hora .....	39
Figura 4-20. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación 6ZG por día .....	40
Figura 4-21. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación 6ZM por día .....	41
Figura 4-22. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación ARDO por día .....	41
Figura 4-23. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación DACC por día .....	42
Figura 4-24. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación IBWC por día .....	42
Figura 4-25. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación RIVER por día .....	43
Figura 4-26. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación SPRT por día .....	43
Figura 4-27. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación SUN por día .....	44
Figura 4-28. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación VICT por día .....	44
Figura 4-29. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación C12 por día .....	45
Figura 4-30. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación C41 por día .....	45
Figura 4-31. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación MX-16 por día .....	46

Figura 4-32. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación MX-17 por día.....	46
Figura 4-33. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación MX-18 por día.....	47
Figura 4-34. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación MX-19 por día.....	47
Figura 4-35. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación MX-20 por día.....	48
Figura 4-36. Variación de la concentración de MP <sub>2.5</sub> en la estación MX-21 por día.....	48
Figura 4-37. Perfil diurno de la diferencia relativa para las estaciones de la red E-BAM en Estados Unidos (Estación de referencia: 6ZG).....	52
Figura 4-38. Perfil diurno de la diferencia relativa para las estaciones en Ciudad Juárez, México (Estación de referencia: 6ZG).....	53
Figura 4-39. Perfil diurno de la diferencia relativa para las estaciones en El Paso, Texas (Estación de referencia: 6ZG).....	53
Figura 4-40. El episodio de Año Nuevo mostrando el nivel de MP <sub>2.5</sub> en todas las estaciones. Las dos estaciones DANM se muestran con líneas gruesas. Las estaciones E-BAM de Nuevo México se muestran con líneas punteadas y las estaciones E-BAM mexicanas son líneas delgadas continuas. ....	55
Figura 4-41. Mapa de clima a las 11 am (18UTC) el 31 de diciembre de 2008.....	57
Figura 4-42. Alturas de la mezcla en Sunland Park del modelo MAN-12km.....	57
Figura 4-43. Retrotrayectorias generadas durante el episodio usando el modelo 12-km MAN.....	58
Figura 4-44. Retrotrayectorias generadas durante el episodio usando los datos de la estación 6ZG por hora.....	58
Figura 4-45. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 6 a 8 pm.....	59
Figura 4-46. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 9 a 11 pm.....	60
Figura 4-47. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 12 a 6 am.....	61
Figura 4-48. El episodio de noviembre mostrando el nivel de MP <sub>2.5</sub> por hora. Las dos estaciones DANM se muestran con líneas gruesas. Las estaciones E-BAM de Nuevo México se muestran con líneas punteadas y las estaciones E-BAM Mexicanas son líneas delgadas continuas. ....	62
Figura 4-49. Alturas de la mezcla durante el episodio de noviembre.....	64
Figura 4-50. Trayectorias durante éste episodio basado en el modelo 12-km MAN.....	65
Figura 4-51. Trayectorias durante éste episodio basado en lo vientos de la estación 6ZG.....	65
Figura 4-52. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 11 am a 2 pm.....	66
Figura 4-53. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 4 pm a 6 pm.....	67
Figura 4-54. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 8 pm a 12 am.....	68
Figure 4-55. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 2 am a 6 am.....	69

Figura 4-56. Nivel de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio del 29 de diciembre. Las dos estaciones DANM se muestran con líneas gruesas. Las estaciones E-BAM de Nuevo México se muestran con líneas punteadas y las estaciones E-BAM mexicanas son líneas delgadas continuas. ....	70
Figura 4-57. Alturas de la mezcla antes y durante el episodio basado en el modelo 12-km MAN .....	72
Figure 4-58. Retrotrayectorias durante el episodio del 29 de diciembre basado en el modelo 12-km MAN.....	72
Figura 4-59. Retrotrayectorias durante el episodio del 29 de diciembre basado en los vientos de la estación 6ZG.....	73
Figura 4-60. Vectores de flujo a las 8 pm del 29 de diciembre de 2008 .....	73
Figura 4-61. Perfilador de radar de viento CTCA colocado en la estación C12 de 21:30 a 9:00 UTC .....	74
Figura 4-62. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 3 pm a 5 pm. ....	75
Figura 4-63. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 6 pm a 8 pm. ....	76
Figura 4-64. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 9 pm a 11 pm.....	77
Figura 4-65. Concentraciones de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio del 19 de enero. Las dos estaciones DANM se muestran con líneas gruesas. Las estaciones E-BAM de Nuevo México se muestran con líneas punteadas y las estaciones E-BAM mexicanas son líneas delgadas continuas. ....	78
Figura 4-66. Alturas de la mezcla antes y después del episodio basadas en el modelo 12-km MAN .....	80
Figura 4-67. Retrotrayectorias durante este episodio basadas en el modelo 12-km MAN.....	81
Figura 4-68. Retrotrayectorias durante este episodio basadas en los vientos de la estación 6ZG .....	81
Figura 4-69. Flujo de vectores de los vientos medidos en cada estación a las 19:00 MST el 19 de enero de 2009 .....	82
Figura 4-70. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio a las 2 pm.....	82
Figura 4-71. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 4 pm a 6 pm. ....	83
Figura 4-72. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 7 pm a 10 pm.....	84
Figura 4-73. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio a las 11 pm.....	85
Figura 4-74. Concentraciones de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de febrero. Las dos estaciones DANM se muestran con líneas gruesas. Las estaciones E-BAM de Nuevo México se muestran con líneas punteadas y las estaciones E-BAM mexicanas son líneas delgadas continuas. ....	86
Figura 4-75. Alturas de la mezcla antes y durante el episodio de febrero basado en el modelo 12-km .....	88

Figura 4-76. Retrotrayectorias durante el episodio del 5 de febrero basadas en el modelo 12-km MAN.....	89
Figura 4-77. Retrotrayectorias durante el episodio del 5 de febrero basadas en los vientos de la estación 6ZG .....	89
Figura 4-78. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 12 pm a 4 pm90	
Figura 4-79. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 5 pm a 7 pm. 91	
Figura 4-80. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 8 pm a 12 am92	
Figura 4-81. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora al final del episodio a las 3 am .....	93
Figura 4-82. Concentraciones de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de marzo. Las dos estaciones DANM se muestran con líneas gruesas. Las estaciones E-BAM de Nuevo México se muestran con líneas punteadas y las estaciones E-BAM mexicanas son líneas delgadas continuas. ....	94
Figura 4-83. Alturas de la mezcla antes y durante el episodio de febrero basado en el modelo 12-km .....	96
Figura 4-84. Retrotrayectorias basadas en el modelo 12-km MAN .....	97
Figura 4-85. Retrotrayectorias basadas en los datos de la estación 6ZG.....	97
Figura 4-86. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 5 pm a 7 pm. 98	
Figura 4-87. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 8 pm a 10 pm99	
Figura 4-88. Gráficos espaciales de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 11 pm a 3 am .....	100
Figura 4-89. Densidad de población en el área del estudio .....	101
Figura 4-90. Densidad de caminos sin pavimentar .....	102
Figura 4-91. Densidad de las retrotrayectorias durante los seis episodios .....	103
Figura 4-92. Áreas de fuentes potenciales definidas por el producto de la densidad de población, las trayectorias y la densidad de caminos sin pavimentar.....	103

## Lista de Tablas

Tabla 2-1. Localidades de MP <sub>10</sub> , MP <sub>2.5</sub> y estación de monitoreo meteorológico .....	6
Tabla 2-2. Parámetros medidos e integridad de los datos por hora para cada estación.....	7
Tabla 2-3. Parámetros medidos e integridad de los datos por hora para cada una de las estaciones. Las concentraciones se encuentran redondeadas a la unidad más cercana de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .....	8
Tabla 2-4. Proporciones medias de MP <sub>2.5</sub> y MP <sub>10</sub> en el área de estudio.....	10
Tabla 2-5. Descripción de campos en la base de datos maestra .....	10
Tabla 3-1. Valor Máximo, Media y Mediana de MP <sub>2.5</sub> por hora medidos en cada estación. Las concentraciones se han redondeado a la unidad más cercana de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para permitir una comparación más sencilla entre los estaciones .....	12
Tabla 3-2. Resumen de concentraciones de MP <sub>2.5</sub> diario durante el estudio .....	14
Tabla 4-1. Coeficientes de correlación de Spearman durante todas las horas .....	51
Tabla 4-2. Diferencias (mediana and $\sigma$ ) absoluta ( $\Delta\text{C}$ ) y relativa ( $\% \Delta\text{C}/\text{Fixed}$ ) de las concentraciones diarias de MP <sub>2.5</sub> y la media del COD.....	52
Tabla 4-3. Concentraciones de MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de Año Nuevo.....	56
Tabla 4-4. Datos del MP <sub>2.5</sub> durante el episodio del 22 de noviembre de 2008 .....	63
Tabla 4-5 Concentraciones de MP <sub>2.5</sub> durante y después del episodio.....	71
Tabla 4-6. Concentraciones de MP <sub>2.5</sub> durante el episodio del 19 de enero. El área resaltada muestra el episodio definido para las concentraciones mayores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación 6ZG. No hubo datos disponibles para la estación MX-16 durante este periodo	79
Table 4-7. MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de febrero. El área resaltada muestra el episodio definido para las concentraciones mayores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación 6ZG.....	87
Tabla 4-8. MP <sub>2.5</sub> por hora durante el episodio del 2 de Marzo .....	95

## Acrónimos

AC	Aseguramiento de la Calidad
AFA	Autoridad Federal de Aviación
ANOA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
AOS	Aerosol Orgánico Secundario
APAEU	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
ASD	A ser determinado
BDC	Base de Datos Central
COD	Coefficiente de Divergencia
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
CTCA	Comisión de Texas sobre la Calidad Ambiental
DANM, OCA	Departamento Ambiental de Nuevo México, Oficina de Calidad del Aire
DEMNR	División de Energía, Minerales y Recursos Naturales
E-BAM	Monitor de Atenuación Beta
EC	Carbono Elemental
GIS	Sistema de Información Geográfica (Sigla en Inglés)
GPS	Sistema de Posicionamiento Global (Sigla en Inglés)
HYSPLIT	Modelo Lagrangiano de Trayectoria Integrada de Una Particular Híbrida (Sigla en Inglés)
IID	Instituto de Investigación del Desierto
IMIPROVE	Monitoreo Interinstitucional de Ambientes Visuales Protegidos (Sigla en Inglés)
IMP	Investigación Meteorológica y modelo de Previsión
MAN	Modelo de América del Norte
MM5	Modelo Meteorológico de Mesoescala versión 5
MOEC	Microbalanza Oscilante de Elemento Cónico
MP	Material Particulado
MP <sub>10</sub>	Partículas con un diámetro aerodinámico de 10 µm o menor
MP <sub>2.5</sub>	Partículas con un diámetro aerodinámico de 2.5 µm o menor
MPF	Matriz Positiva de Factorización
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrógeno
O <sub>3</sub>	Ozono
OC	Carbono Orgánico
PAHs	Hidrocarburos policíclicos aromáticos
PdN	Paso del Norte
POE	Procedimiento de Operación Estándar
SADE	Sistema de Asimilación de Datos Eta
TUC	Tiempo Universal Coordinado
UTEP	Universidad de Texas en El Paso

# 1 Introducción

## 1.1 Sunland Park y la Calidad del Aire

La región de Paso del Norte (PdN) esta situada en la intersección de tres estados (Texas, Nuevo México y Chihuahua), entre las Montañas Franklin al norte y la Sierra de Juárez al sur, con el Río Grande siendo la frontera entre los Estados Unidos y México y las elevaciones que van desde los 3,773 pies en el lecho del Río Grande hasta los 6,070 pies en Range Peak. Las ciudades de El Paso en Texas, Las Cruces en Nuevo México y Ciudad Juárez en Chihuahua, con una población en conjunto de aproximadamente 2.25 millones de personas, están situadas dentro de los límites de PdN. La región también comprende pueblos más pequeños y comunidades. El Paso se localiza en el extremo suroeste del Estado de Texas. La elevación de la ciudad es de 3,800 pies sobre el nivel del mar y cubre un área total de 250.5 millas cuadradas. La población de El Paso era de aproximadamente 736,310 en el año 2006, con una densidad de 2,939 habitantes por milla cuadrada. La ciudad de Las Cruces se encuentra situada en el Condado de Doña Ana, Nuevo México, en Mesilla Valley, al este del Río Grande. La ciudad cubre un área de 52.11 millas cuadradas. La población estimada en el 2007 fue de 89,722 con una densidad de población de 1,725 personas por milla cuadrada (550.5/km<sup>2</sup>). La población estimada de Ciudad Juárez es de 1.5 millones de habitantes, y ésta área urbana se está expandiendo a un ritmo más acelerado que en el resto de México.

Existen dos regímenes distintos de la degradada calidad del aire en el modelo conceptual de la región. El primero ocurre cuando grandes cantidades de polvo se levantan de la superficie de la tierra durante eventos de fuertes vientos. Principalmente estas tormentas de polvo ocurren anualmente durante la primavera y muchas son de carácter regional en extensión. La segunda condición, y el objetivo de este estudio, ocurre cuando los vientos son bajos y la inversión de temperatura provoca la absorción de contaminantes en las cuencas de aire. Los eventos más notables de vientos bajos con alto nivel de contaminantes se observan cerca de las áreas altamente urbanizadas a lo largo de la frontera. Estos eventos de estancamiento de aire pueden ocurrir cualquier época del año pero tienen más impacto durante los meses más fríos de diciembre a febrero. Durante estos eventos de vientos bajos, se encuentra la emisión de partículas de caminos no pavimentados, calefacciones residenciales, hornos de ladrillo, quemas al aire libre, así como compuestos orgánicos en fase gaseosa de fuentes de combustión.

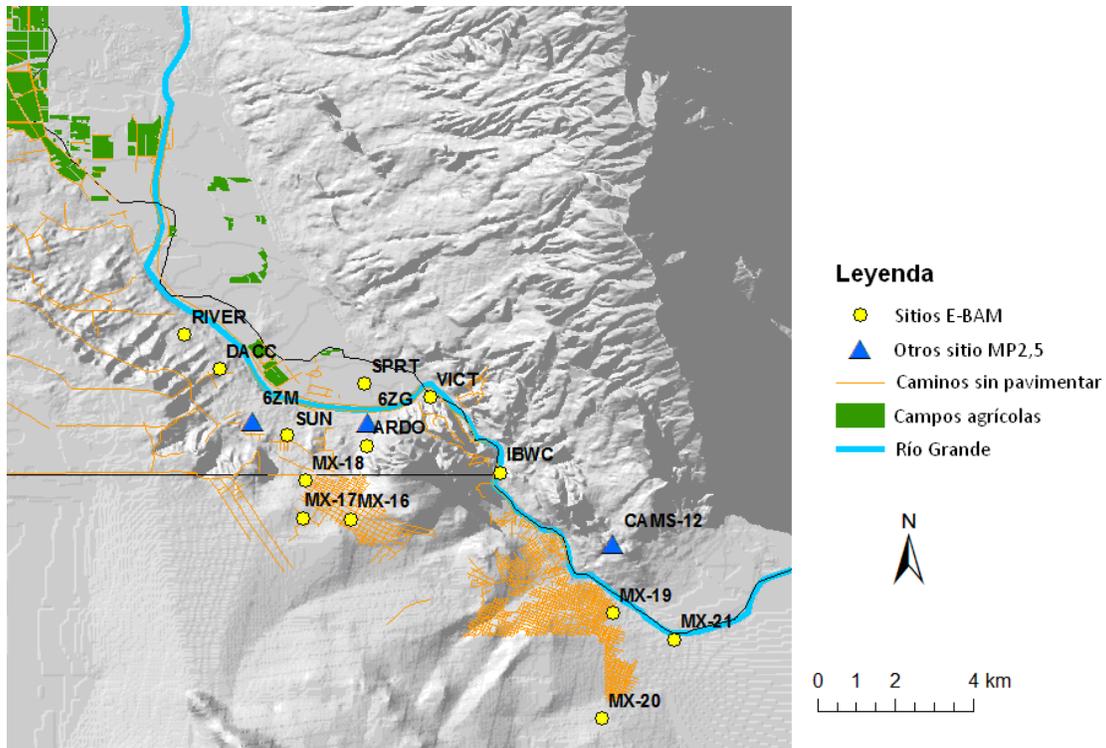
Basado en estudios de campo anteriores (Li et al., 2001) y monitoreos de rutina continuos de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2.5</sub> en esta área, la mayoría de las partículas están compuestas por materiales geológicos de tamaño entre MP<sub>10-2.5</sub> dominando la masa total del MP<sub>10</sub>. Li et al. llevó a cabo un estudio de medición de partículas durante siete meses en el Paso del Norte y se encontró que aproximadamente el 25 por ciento del MP<sub>10</sub> está en el rango del MP<sub>2.5</sub>. Los terrenos complejos en el área definen el flujo de los contaminantes durante la noche. Vientos fríos fluyen del terreno alto al bajo y se desplaza a lo largo de barrancos y caminos de drenaje naturales hacia el canal del Río Grande. Este suceso es más evidente en el área monitoreada más al sur de Nuevo México en la cuenca de aire del Paso del

Norte. En la zona monitoreada de la Ciudad Jardín de Sunland Park, regularmente el  $MP_{10}$  y  $MP_{2.5}$  los niveles se incrementan rápidamente después de la puesta de sol pero disminuye para la medianoche. En esta zona, los caminos sin pavimentar y varias actividades de combustión en la parte sur de la frontera son contribuidores sospechosos. Un estudio en el que se usó un lidar (radar láser) para caracterizar los patrones del viento durante el verano de 1994, se encontró plumas de material particulado, fluyendo de elevaciones altas a bajas, procedentes de México por las mañanas (Barr et al., 1994). Durante ese estudio, observaron que en las mañanas la altura de la mezcla llegaba a 200 metros, aumentando durante el día hasta entre 3000 y 4000 metros a media tarde.

## **1.2 Fuentes de $MP_{2.5}$**

El polvo de los caminos pavimentados y sin pavimentar constituye una de las más importantes fuentes de  $MP_{10}$  y  $MP_{2.5}$  en el Paso del Norte. Un reciente inventario de emisiones para Cd. Juárez estimó que un 26 por ciento de las emisiones anuales de  $MP_{2.5}$  provienen de caminos sin pavimentar (PNEG, 2003). En Ciudad Juárez, el polvo de caminos sin pavimentar es un problema crítico ya que muchos caminos urbanos concurridos no están pavimentados (~ 50%) y la pavimentación no se ha expandido junto con la urbanización hacia los extremos de la ciudad. Aproximadamente medio millón de vehículos (automóviles y camiones) están registrados en cada ciudad con cerca de 50,000 vehículos cruzando la frontera Estadounidense-Mexicana hacia El Paso diariamente (US BTS, 2009).

Se espera que las emisiones de polvo provenientes de actividades agrícolas sean las mayores entre enero y marzo, cuando la mayoría de las actividades de preparación de tierra ocurren en Mesilla Valley y áreas al sur de El Paso en ambos lados de la frontera. La siguiente figura muestra la ubicación de algunas de estas fuentes basada en datos digitales, interpretación de foto aérea y datos tabulados de reportes anuales (DEMRN, 2001; Orris, 2000; Pfeil, 2001; DuBois, 2003).



**Figura 1-1. Fuentes de polvo fugitivo cerca de la red de muestreo saturada.**

La localización de caminos sin pavimentar y campos agrícolas se estimaron basados en interpretación manual de fotos aéreas del 2001. La brecha en la cobertura de caminos sin pavimentar en la figura 1-1 se debe a que no se cuenta con la foto aérea de esa área.

El polvo de los caminos sin pavimentar puede ser un contribuidor significativo al total del MP, especialmente durante la cosecha agrícola cuando los vehículos viajan por los numerosos caminos agrícolas. La mayoría de los caminos urbanos están pavimentados pero varios pequeños asentamientos o colonias tienen caminos sin pavimentar con poco o sin control del polvo.

Partículas provenientes de fuentes de combustión han sido detectadas en receptores urbanos y no urbanos a lo largo del año, pero son más abundantes durante la temporada de vacaciones de invierno en las zonas urbanas. Partículas provenientes de calefacciones residenciales alcanzan hasta 44 por ciento del MP<sub>2.5</sub> anual en Cd. Juárez. Durante los meses más fríos, se usan muchos calentadores de reducido tamaño en las casas sin un sistema de calefacción en Cd. Juárez. Algunos de estos calentadores son alimentados por gas propano pero muchos otros todavía funcionan con Madera u otros combustibles que pueden incluir los prohibidos. Cerca de un 60 por ciento de las familias de bajo nivel económico usan calentadores de gas o Madera (Graham et al., 2004, 2005). En muchas áreas del oeste, estudios de monitoreo especialmente densos han mostrado que la contribución del humo de la madera proveniente de las áreas residenciales son más variables en el espacio que las emisiones de motores de vehículos, con contribuciones

más altas en zonas residenciales que en áreas comerciales a pocos kilómetros de distancia.

Las reacciones de oxidación atmosférica de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO} + \text{NO}_2 = \text{NO}_x$ ), óxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), y componentes orgánicos volátiles (COVs) durante el invierno contribuyen a la formación de nitrato condensable ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), y componentes orgánicos que, bajo ciertas condiciones meteorológicas, favorecen la formación de nuevas partículas con diámetros aerodinámicos menores a  $2.5 \mu\text{m}$ . Las fuentes móviles ya sea en caminos o no, son fuentes significantes de  $\text{NO}_x$  en la cuenca de aire del Paso del Norte. Las emisiones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno son más intensas a lo largo de las carreteras principales, así como en el centro de poblaciones donde muchas millas son recorridas por vehículos diariamente. Las emisiones de material particulado son mayores en los centro de población y son menores en los puntos de origen.

### **1.3 Objetivos del Proyecto**

Los objetivos de este esfuerzo fueron examinar variaciones temporales y patrones espaciales en la masa de partículas alrededor de Sunland Park, Nuevo México e identificar las potenciales zonas de origen de las emisiones que contribuyen a los puntos máximos del material particulado durante periodos de viento bajo. El proyecto hizo uso de  $\text{MP}_{2.5}$  cada hora de instrumentos MetOne E-BAM y datos meteorológicos relacionados al área de Sunlad Park obtenidos de 13 estaciones de control saturadas operadas desde Noviembre de 2008 hasta Abril de 2009.

## **2 Métodos**

Esta sección presenta información sobre la disponibilidad de los datos, fuentes, controles de calidad y los componentes de la base de datos central (BC).

### **2.1 Datos**

La Tabla 2-1 muestra las ubicaciones y nombres de las estaciones de muestreo investigadas en este estudio. En total hubo 13 estaciones de muestreo de saturación de  $MP_{2.5}$  en operación. Siete de las estaciones estuvieron en Nuevo México y las restantes en variadas ubicaciones en Ciudad Juárez. La red cubrió un área de alrededor de  $104.7 \text{ km}^2$  ( $40.4 \text{ mi}^2$ ). La estación de saturación más cercana a la Sunland Park City Yard (SPCY) fue ARDO a 0.6 km al sur. Cinco de las estaciones de saturación estuvieron dentro del área de 2 km de SPCY. La estación más lejana desde SPCY fue la estación MX-20 a 9.1 km en dirección oriente. Las elevaciones de las estaciones oscilaron desde un mínimo de 1,125 m en MX-21 a un máximo de 1,240 m en MX-17. La estación SPCY esta asentada a una altura de 1,142 m y la estación Desert View esta a 1,170 m sobre el nivel del mar. Para ayudar a definir los gradientes de  $MP_{2.5}$  y los patrones del viento dentro del Paso del Norte, seis estaciones adicionales fueron escogidas. Cinco de las cuales fueron ubicados en la ciudad de El Paso y una en Ciudad Juárez. Fotos de cada una de las estaciones y sus alrededores son proporcionadas en el Apéndice A.

#### **2.1.1 Exhaustividad de los Datos**

En la Tabla 2-2 se muestran las fechas en que fue recolectada la información en cada una de las estaciones. En todas las estaciones los datos fueron completados el día 30 de Abril de 2009, pero no en todas las estaciones se comenzó la recolección al mismo tiempo. Tres de las estaciones con los registros más largos son ARDO, RIVER y DACC de 182 días. La estación VICT tuvo el registro más corto de 107 días desde que ésta comenzó el monitoreo el día 13 de Enero de 2009.

**Tabla 2-1. Localidades de MP<sub>10</sub>, MP<sub>2.5</sub> y estación de monitoreo meteorológico**

Código	Descripción	Código AIRS	País	Estado	Condado	Ciudad	Latitud	Longitud	Agencia
<b>Red de Estaciones de Saturación de MP<sub>2.5</sub></b>									
IBWC	Fronteras Internacionales y Comisión de Agua		USA	Texas	El Paso	El Paso	31.784361	106.52711	
SPRT	Parque Sunland Race Track		USA	Nuevo México	Doña Ana	Sunland Park	31.804722	106.55825	
ARDO	Restaurante Ardivino's		USA	Nuevo México	Doña Ana	Sunland Park	31.790500	106.55772	
RIVER	Escuela Primaria Riverside		USA	Nuevo México	Doña Ana	Sunland Park	31.816056	106.59958	
DACC	Colegio Comunitario Doña Ana		USA	Nuevo México	Doña Ana	Las Cruces	31.808111	106.59150	
SUN	Escuela Primaria Sunland Park		USA	Nuevo México	Doña Ana	Sunland Park	31.792861	106.57594	
VICT	Iglesia Victoria Templo Anapra		USA	Nuevo México	Doña Ana	Sunland Park	31.801611	106.54314	
MX-16	Central de Bomberos de Anapra		México	Chihuahua		Anapra	31.773683	106.56134	
MX-17	Materiales La Mas Barata No. 4		México	Chihuahua		Anapra	31.773908	106.57227	
MX-18	Iglesia Anglicana de San José de Anapra		México	Chihuahua		Anapra	31.782611	106.57180	
MX-19	Maquiladora ACS		México	Chihuahua		Cd. Juárez	31.752222	106.50111	
MX-20	Secundaria Federal No. 3		México	Chihuahua		Cd. Juárez	31.728056	106.50361	
MX-21	Estación de Bomberos		México	Chihuahua		Cd. Juárez	31.746111	106.48722	
<b>Red de Estaciones Existentes</b>									
6ZG	Sunland Park - City Yard	350130017	USA	Nuevo México	Doña Ana	Sunland Park	31.79583	106.55750	DANM - OCA
6ZM	Escuela Primaria Sunland Park - Desert View	350130021	USA	Nuevo México	Doña Ana	Sunland Park	31.79611	106.58389	DANM - OCA
C12	UTEP El Paso	481410037	USA	Texas	El Paso	El Paso	31.76805	106.50111	CTCA Reg 6
C41	Chamizal	481410044	USA	Texas	El Paso	El Paso	31.76555	106.45500	CTCA Reg 6
C413	Tillman	481410002	USA	Texas	El Paso	El Paso	31.75750	106.48277	Ciudad de El Paso
C414	Ivanhoe	481410029	USA	Texas	El Paso	El Paso	31.78638	106.32416	Cuidad de El Paso
C415	Ciudad Moon	481410050	USA	Texas	El Paso	El Paso	31.67277	106.28416	Ciudad de El Paso
C662	Cd. Juárez 20-30 Club	800060006	México	Chihuahua		Juárez	31.73555	106.45972	Dpto. de Salud Ciudad Juárez

**Tabla 2-2. Parámetros medidos e integridad de los datos por hora para cada estación**

<b>Código</b>	<b>Periodo de Monitoreo</b>	<b>MP<sub>10</sub></b>	<b>MP<sub>2.5</sub></b>	<b>Condiciones del viento</b>	<b>Otros</b>
<b>Red de Estaciones de Saturación de MP<sub>2.5</sub></b>					
IBWC	13 Nov. 2008 – 30 Apr. 2009		x	x	
SPRT	13 Nov. 2008 – 30 Apr. 2009		x	x	
ARDO	30 Oct. 2008 – 30 Apr. 2009		x	x	
RIVER	30 Oct. 2008 – 30 Apr. 2009		x	x	
DACC	30 Oct. 2008 – 30 Apr. 2009		x	x	
SUN	13 Nov. 2008 – 30 Apr. 2009		x	x	
VICT	13 Jan. 2009 – 30 Apr. 2009		x	x	
MX-16	18 Nov. 2008 – 30 Apr. 2009		x	x	
MX-17	18 Nov. 2008 – 30 Apr. 2009		x	x	
MX-18	18 Nov. 2008 – 30 Apr. 2009		x	x	
MX-19	18 Nov. 2008 – 23 Apr. 2009		x	x	
MX-20	18 Nov. 2008 – 23 Apr. 2009		x	x	
MX-21	01 Dec. 2008 – 30 Apr. 2009		x	x	
<b>Red de Estaciones Existentes</b>					
6ZG	29 Oct. 2008 – 30 Apr. 2009	x	x	x	x
6ZM	29 Oct. 2008 – 30 Apr. 2009	x	x	x	x
C12	01 Oct. 2008 – 30 Apr. 2009	x	x	x	x
C41	01 Oct. 2008 – 30 Apr. 2009	x	x	x	x
C413	01 Oct. 2008 – 30 Apr. 2009			x	x
C414	01 Oct. 2008 – 30 Apr. 2009			x	x
C415	01 Oct. 2008 – 30 Apr. 2009			x	x
C662	01 Oct. 2008 – 30 Apr. 2009			x	x

### 2.1.2 Control de Calidad

La Tabla 2-3 muestra el porcentaje de las concentraciones de MP<sub>2.5</sub> válido por hora después de remover los datos marcados. La información por hora fue marcada si las concentraciones, durante una hora individual, fueron negativas o si la toma de muestras del flujo fue más del 5% del caudal de referencia de 16,7 litros por minuto. Las estaciones de saturación con la mayor validez de MP<sub>2.5</sub> por hora incluyen IBWC (95%), MX-17 (90%) y MX-20 (89%).

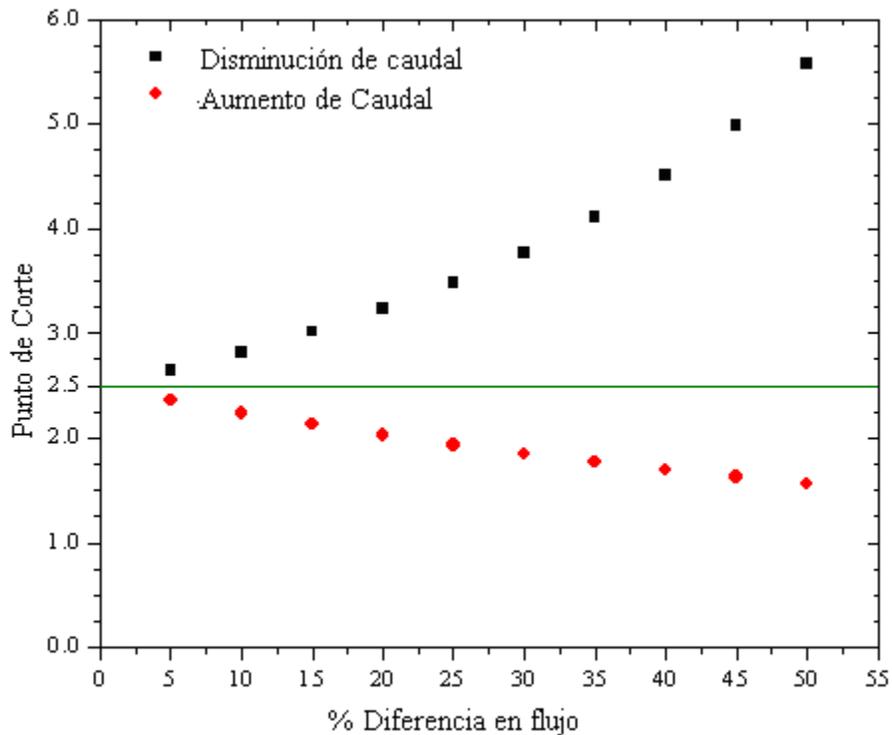
**Tabla 2-3. Parámetros medidos e integridad de los datos por hora para cada una de las estaciones. Las concentraciones se encuentran redondeadas a la unidad más cercana de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Code	N <sub>válido para MP<sub>2.5</sub></sub>	% válido de MP <sub>2.5</sub>
IBWC	3824	95
SPRT	3513	83
ARDO	3432	79
RIVER	3384	78
DACC	3103	71
SUN	3559	84
VICT	2124	83
MX-16	3265	83
MX-17	3529	90
MX-18	3388	87
MX-19	3069	82
MX-20	3334	89
MX-21	2943	82
6ZG	3976	91
6ZM	4121	94
C12	4963	98
C41	4993	98

Nótese que en la tabla de arriba la estación VICT comenzó mucho más tarde que las estaciones restantes, resultando en una muestra de tamaño más pequeño.

Las desviaciones del caudal de muestreo de los monitores E-BAMs fueron registradas durante el estudio que afecta el funcionamiento del ciclón de corte preciso de MP<sub>2.5</sub> y la medida de la masa de MP<sub>2.5</sub>. Por esta razón, el funcionamiento del ciclón de MP<sub>2.5</sub> fue evaluado basado en la curva de calibración proporcionada por el fabricante y la proporción de MP<sub>2.5</sub> y MP<sub>10</sub>. No evaluamos la influencia del caudal sobre la ejecución del muestreo entrante de MP<sub>10</sub>, debido a que posibles artefactos no tuvieron un inmediato efecto sobre las medidas del MP<sub>2.5</sub>.

La Figura 2-1 muestra el punto de corte estimado para el BGI MP<sub>2.5</sub> SCC utilizando la ecuación proporcionada desde el fabricante ( $D_{50}=64.73 Q^{-1.1566}$ ). El punto de corte del ciclón para una disminución del caudal de 5% fue de 2.65 μm (una diferencia del 6% del valor de diseño 2.5), mientras que una desviación del caudal de 10% permitirá la penetración de partículas con un diámetro superior a 2.82 μm (una diferencia del 13%). Además, un caudal más bajo también influencia la agudeza de la curva (la curva menos pronunciada) que resulta en la penetración de partículas más grandes.



**Figura 2-1. Punto de corte del ciclón estimado para las desviaciones de caudal desde ±5 a ±50 por ciento**

La Tabla 2-4 presenta las proporciones medias de MP<sub>2.5</sub> y MP<sub>10</sub> por hora en las estaciones 6ZG y 6ZM en Nuevo México, además de C12 y C41 en El Paso, Texas utilizando MOEC. Para todos los lugares, las partículas gruesas (MP<sub>10-2.5</sub>) representadas a partir del 75% al 90% de MP<sub>10</sub>. Estos valores indicaron que los artefactos de muestreo (por ejemplo, bajos caudales) que influyen en el punto de corte del ciclón de MP<sub>2.5</sub> (es

decir, mayor punto de corte) podría resultar en una inadecuada clasificación de partículas e impactos significativos en las concentraciones de la masa de MP<sub>2.5</sub> medido.

**Tabla 2-4. Proporciones medias de MP<sub>2.5</sub> y MP<sub>10</sub> en el área de estudio**

Estación monitoreada	Media ( $\pm$ Error estándar) 1-hr MP <sub>2.5</sub> y MP <sub>10</sub>
6ZG	0.12 $\pm$ 0.01
6ZM	0.11 $\pm$ 0.01
C12	0.22 $\pm$ 0.02
C41	0.23 $\pm$ 0.01

En general, mientras el número de partículas que podrían ser clasificadas erróneamente a causa de cambios del punto de corte del ciclón esta fuertemente relacionado con la distribución de tamaño del material particulado (no fue medido en este estudio), es razonable asumir que para proporciones bajas de MP<sub>2.5</sub> y MP<sub>10</sub>, un gran error podría ser introducido en las medidas de MP<sub>2.5</sub> cuando el caudal se desvía más de un 5%. Para minimizar este artefacto, las mediciones de la masa de MP<sub>2.5</sub> en las cuales el caudal fue mayor a 17.5 litros/min o menor a 15.3 litros/min fueron excluidos desde el análisis. Sin embargo, estos datos son marcados e incluidos en la base de datos central.

## 2.2 Desarrollo de la Base de Datos

La siguiente tabla muestra los campos de datos en la base de datos maestro.

**Tabla 2-5. Descripción de campos en la base de datos maestra**

Site ID	ID Estación (ver el nombre del código en la Tabla 2-1)
Datetime	Fecha y hora (mm/dd/yyyy hh:mm)
Date_mmdyyy	Fecha (mm/dd/yyyy)
Time_hhmm	Hora (hh)
MP10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Concentración de MP <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
MP25mass_ugm3	Concentración de MP <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
MP25Monitor	Tipo de monitor de MP <sub>2.5</sub> (MOEC or E-BAM)
Windspeed_ms	Velocidad del viento (m/s)
Winddirection_degrees	Dirección del viento (grados)
Temperature_C	Temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ) medida en lugares E-BAM
Relativehumidity_%	Humedad Relativa (%)
Solar (w/m2)	Radiación solar entrante ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
T2m ( $^{\circ}\text{C}$ )	Temperatura Ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ) medida a 2 metros
T10m ( $^{\circ}\text{C}$ )	Temperatura Ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ) medida a 10 metros
DeltaT ( $^{\circ}\text{C}$ )	Diferencia de Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) medida a 2 y 10 metros
Sigma Deg	Desviación de la dirección del viento (grados)
WSmax (m/s)	Velocidad máxima del viento (m/s)

Site ID	ID Estación (ver el nombre del código en la Tabla 2-1)
NOX ppm	Concentración de NOx (ppm)
NO ppm	Concentración de NO (ppm)
NO2 ppm	Concentración de NO2 (ppm)
O3 ppm	Concentración de O3 (ppm)
Flag_flow	Marca de flujo (CXX donde XX denota el porcentaje de desviación)
flagflow	1=desviación de flujo más de 10%; 0=desviación de flujo menos de 10%
Flagnegconc	1=concentración de masa de P2.5 Negativa; 0=concentración de masa de P2.5 No-negativa
Flagless18	1=Día con menos de 18 medidas válidas por hora; 0=Día con más de 18 mediciones válidas por hora
Flagmore8negs	1=Día con más de 8 mediciones de masa de MP2.5 negativas; 0=Día con menos de 8 mediciones de masa de MP2.5 negativas

### 3 Resultados

Esta sección presenta la estadística descriptiva y las series de tiempo de las concentraciones en masa de MP<sub>2.5</sub> (y MP<sub>10</sub>) y las condiciones meteorológicas recolectadas en Sunland Park, Ciudad Juárez y El Paso, Texas.

#### 3.1 Concentraciones de la masa de MP<sub>10</sub> y MP<sub>2.5</sub>

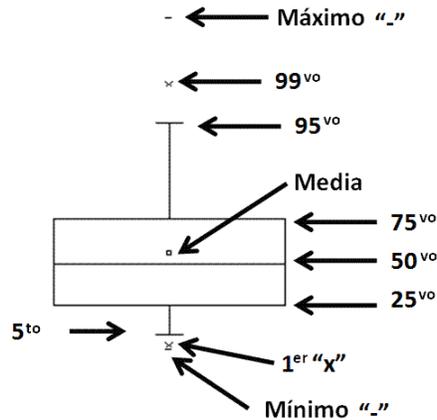
Si bien no existen Estándares Nacionales del Medio Ambiente para la Calidad del Aire de MP<sub>10</sub> o MP<sub>2.5</sub> por hora, es útil examinar estos como una manera de entender la naturaleza de las fuentes y variaciones que contribuyen a los promedios de 24-horas. La Tabla 3-1 resume el MP<sub>2.5</sub> por hora junto con las concentraciones medias y las medianas para todas las estaciones durante el estudio. Esta tabla muestra claramente niveles más altos de MP<sub>2.5</sub> por hora en las estaciones de Ciudad Juárez comparado con la estación en Nuevo México y en El Paso.

**Tabla 3-1. Valor Máximo, Media y Mediana de MP<sub>2.5</sub> por hora medidos en cada estación. Las concentraciones se han redondeado a la unidad más cercana de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para permitir una comparación más sencilla entre las estaciones**

Código	Max MP <sub>2.5</sub>	Media MP <sub>2.5</sub>	Mediana MP <sub>2.5</sub>
IBWC	184	12	9
SPRT	194	14	10
ARDO	844	10	7
RIVER	145	9	7
DACC	1189	12	7
SUN	234	10	7
VICT	125	11	9
MX-16	2417	27	14
MX-17	734	23	15
MX-18	759	18	10
MX-19	342	21	11
MX-20	444	21	11
MX-21	469	20	13
6ZG	184	10	6
6ZM	76	7	5
C12	90	9	7
C41	99	9	7

La Figura 3-2 y la Figura 3-4 muestran el gráfico de caja de la concentración en masa de MP<sub>2.5</sub> 24-hrs medido por medio de monitores MOEC en las estaciones 6ZG y 6ZM en Sunland Park, Nuevo México y las estaciones C12 y C41 en El Paso, Texas,

respectivamente. Además, se presenta en la Figura 3-3 los niveles de concentraciones de MP 24-horas medidos en siete lugares en Nuevo México y seis lugares en Ciudad Juárez, México utilizando monitores E-BAMs. En los siguientes gráficos, las cajas representan el 25%, 50% (mediana) y el 75% de los percentiles y los bigotes muestran el 5% y 95% de los percentiles. Los pequeños cuadrados abiertos muestran el valor medio. Las “x” muestran el 1<sup>er</sup> y 99<sup>vo</sup> percentil, mientras que el signo “-” denota los valores máximo y mínimo.



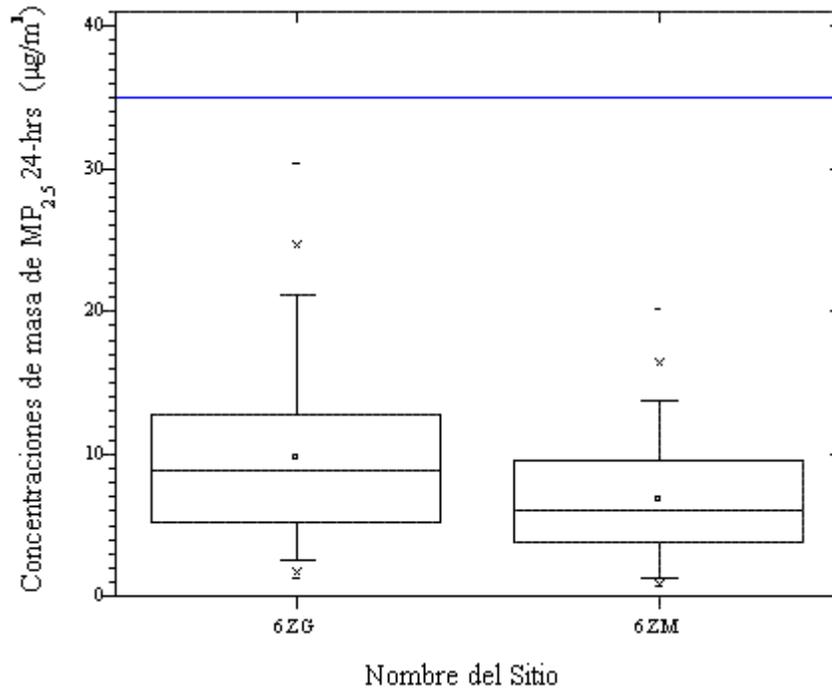
**Figura 3-1. Convenciones del gráfico de caja mostrando variados percentiles**

La Tabla 3-2 proporciona un resumen de las concentraciones de MP<sub>2.5</sub> 24-hrs promediadas o por día a lo largo del estudio. Los niveles mínimos por día de MP<sub>2.5</sub> oscilaron entre 1 a 2 µg/m<sup>3</sup> en las estaciones 6ZG y 6ZM a 7.1 µg/m<sup>3</sup> en la estación MX-21. Los niveles máximos por día de MP<sub>2.5</sub> oscilaron entre 20.2 µg/m<sup>3</sup> en 6ZM a 230.3 µg/m<sup>3</sup> en MX-16. Las estaciones con la mayor variabilidad fueron MX-16 y MX-19 con una extensión entre el percentil 25 y 75 de 15.8 µg/m<sup>3</sup>. En comparación a las diferencias de los percentiles 25 y 75 para las estaciones 6ZG y 6ZM que fueron de 7.3 y 5.2 µg/m<sup>3</sup>.

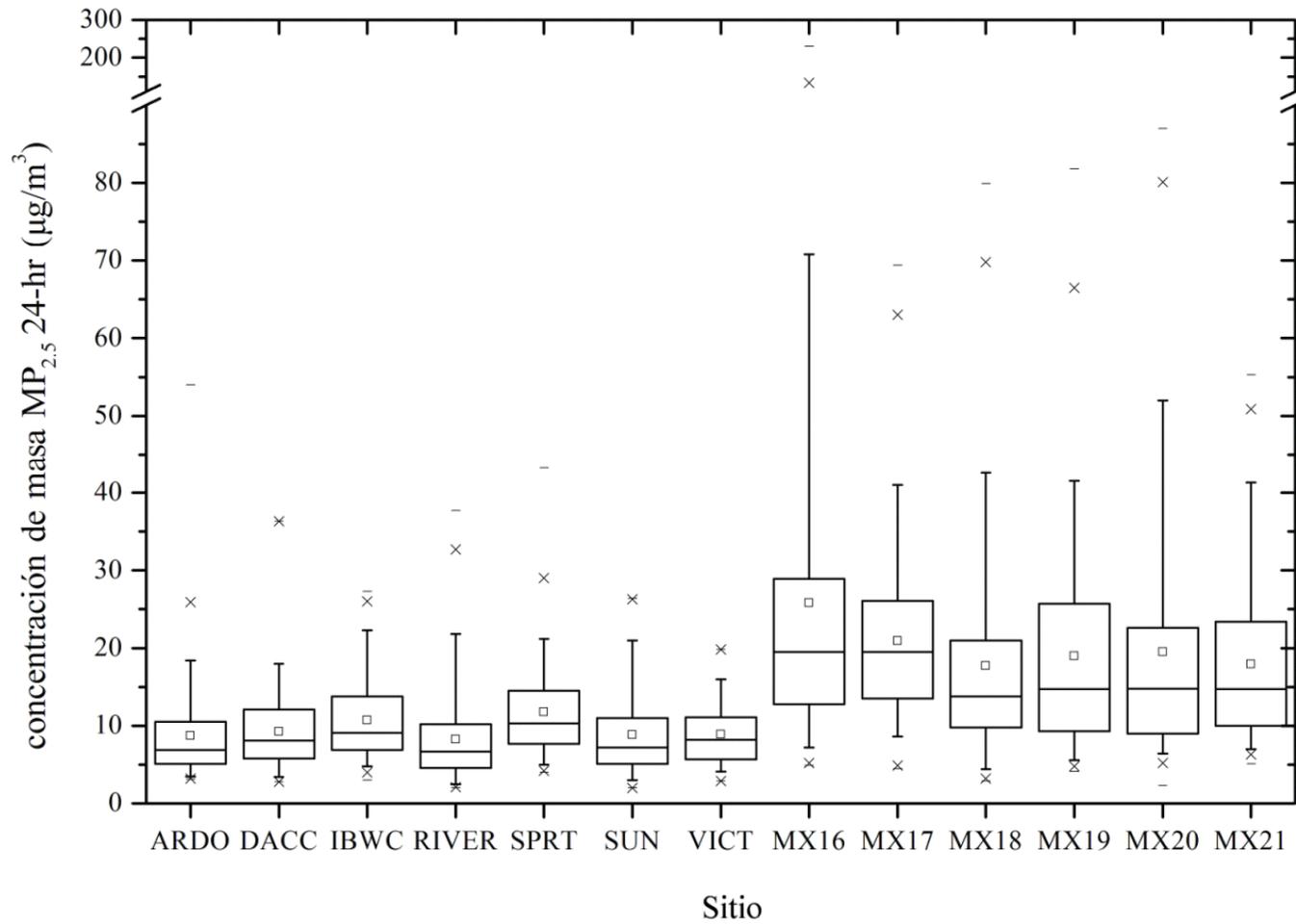
Con respecto a revisión de los Estándares Nacionales de la Calidad del Aire para el MP<sub>2.5</sub> 24-hrs de 35 µg/m<sup>3</sup>, las estaciones 6ZG y 6ZM no superaron la norma actual de los niveles de MP<sub>2.5</sub>. Lo mismo sucedió en las estaciones C12 y C41 en El Paso, Texas. Sin embargo, un total de cuatro superaciones se detectaron en las estaciones suplementarios en Nuevo México utilizando monitores E-BAMs (el 16 de diciembre de 2008 en la estación ARDO (54.0 µg/m<sup>3</sup>), el 25 de diciembre de 2008 en la estación DACC (36.3 µg/m<sup>3</sup>), el 25 de febrero de 2009 en la estación RIVER (37.7 µg/m<sup>3</sup>) y el 28 de abril de 2009 en la estación SPRT (43.2 µg/m<sup>3</sup>)). Para las estaciones ubicadas en Ciudad Juárez, las concentraciones de MP<sub>2.5</sub> 24-hrs fueron frecuentemente más altas a 35 µg/m<sup>3</sup> (19 días en MX-16, 13 días en MX-17, 11 días en MX-18, 17 días en MX-19, 19 días en MX-20 y 8 días en MX-21).

**Tabla 3-2. Resumen de concentraciones de MP<sub>2.5</sub> diario durante el estudio**

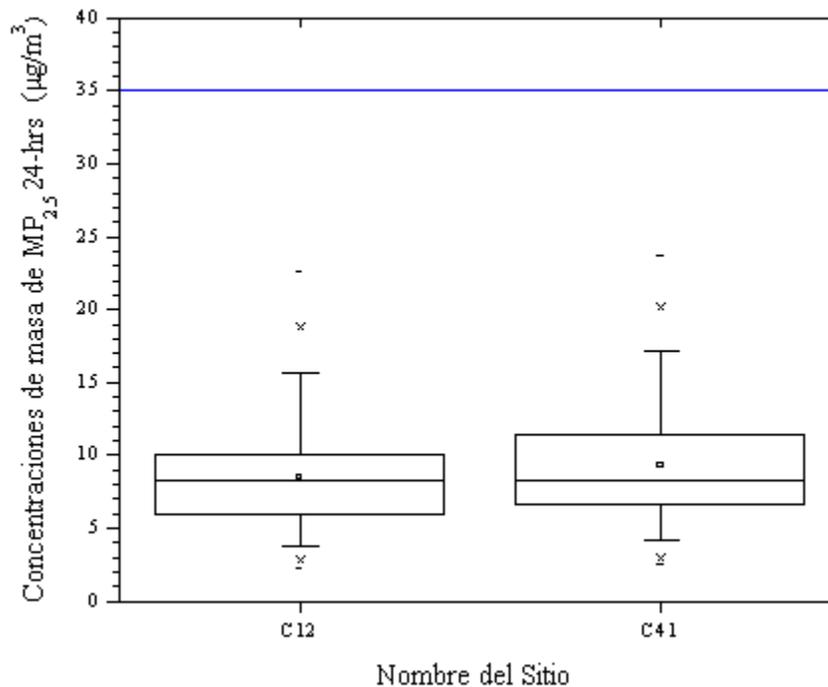
<b>Estadístico</b>	<b>6ZG</b>	<b>6ZM</b>	<b>C12</b>	<b>C41</b>	<b>SUN</b>	<b>ARDO</b>	<b>DACC</b>	<b>IBWC</b>	<b>RIVER</b>	<b>SPRT</b>	<b>VICT</b>	<b>MX-16</b>	<b>MX-17</b>	<b>MX-18</b>	<b>MX-19</b>	<b>MX-20</b>	<b>MX-21</b>
Media	10.4	7.1	8.6	9.2	10.3	10.0	11.1	11.8	9.7	14.5	10.7	26.4	22.6	18.0	20.5	20.6	20.8
Desv. Estándar	6.0	3.8	3.7	4.1	5.5	6.6	5.0	5.4	5.9	6.2	4.0	23.8	10.5	12.3	13.2	15.7	11.1
Mínimo	1.7	0.9	2.3	2.5	3.4	4.0	3.8	4.5	3.1	5.7	5.1	6.1	6.1	4.0	5.6	2.4	7.1
5to percentil	3.3	2.0	3.8	4.2	4.4	4.5	5.0	6.1	4.2	7.4	6.0	8.3	10.7	6.3	7.0	7.2	8.9
25vo percentil	5.8	4.4	6.0	6.6	6.7	6.3	7.0	7.9	6.1	10.1	7.7	14.6	15.5	10.6	10.5	10.2	12.5
Mediana	9.2	6.2	8.3	8.4	8.6	7.9	10.0	9.9	8.3	13.4	10.0	20.3	21.0	14.4	17.0	16.0	18.0
75vo percentil	13.1	9.6	10.2	11.5	12.4	11.7	13.6	14.6	11.5	17.3	12.8	30.3	28.4	21.5	26.3	25.2	25.6
95vo percentil	21.6	13.8	15.8	17.1	21.6	19.2	19.0	23.5	22.6	24.7	17.6	68.5	41.4	41.3	42.5	51.5	44.2
Máximo	38.9	20.2	22.6	23.7	32.4	62.0	28.2	28.7	37.7	50.8	22.2	230.3	72.6	79.9	88.9	90.9	56.9



**Figura 3-2. Gráfico de caja de las concentraciones de masa de MP<sub>2.5</sub> 24-horas en las estaciones 6ZG y 6ZM en Sunland Park, Nuevo México medidos por MOEC. La línea azul muestra el MP<sub>2.5</sub> 24-horas NAAQS de 35 µg/m<sup>3</sup>**



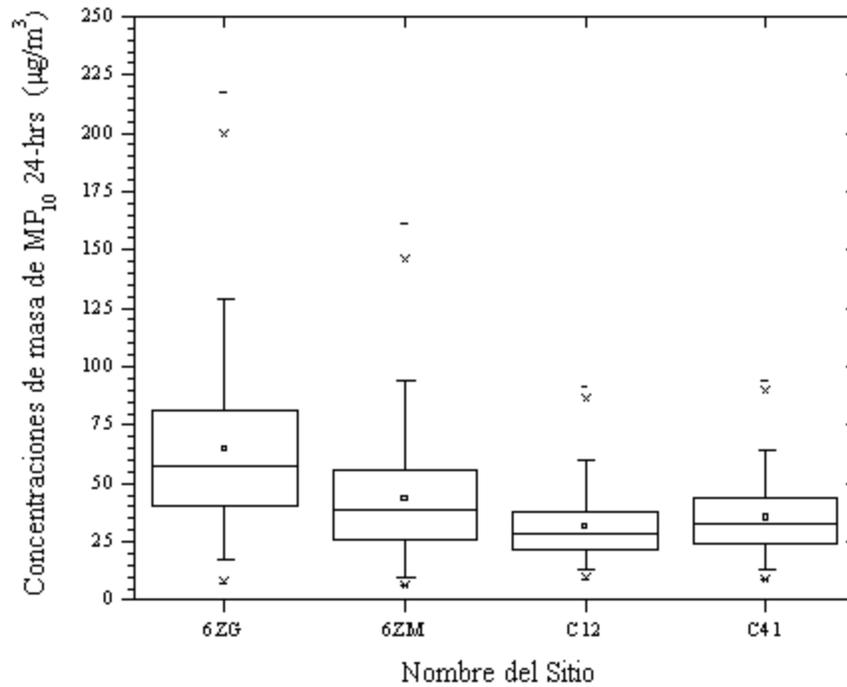
**Figura 3-3. Gráfico de caja de las concentraciones en masa de  $MP_{2.5}$  24-horas en todas las estaciones E-BAMs**



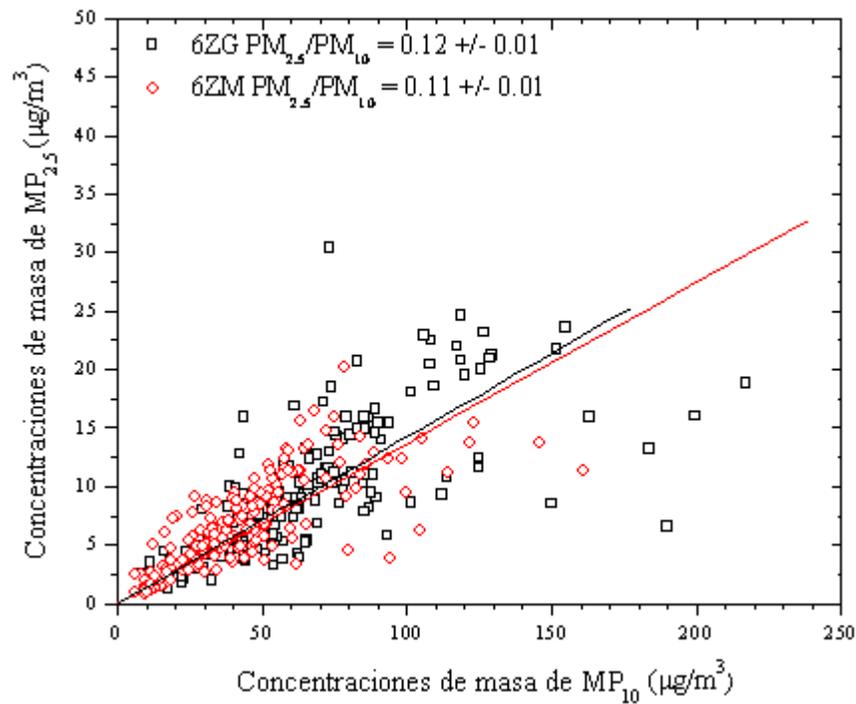
**Figura 3-4. Gráfico de caja de las concentraciones en masa de  $MP_{2.5}$  24-horas en las estaciones C12 y C41 en El Paso, Texas medidos por MOEC. La línea azul muestra el  $MP_{2.5}$  24-horas NAAQS**

La Figura 3-5 muestra los gráficos de caja de la concentración de  $MP_{10}$  24-hrs medido con monitores MOEC en las estaciones 6ZG y 6ZM en Sunland Park, Nuevo México y las estaciones C12 y C41 en El Paso, Texas, respectivamente. Los niveles diarios de  $MP_{10}$  en los sitios oscilaron desde  $8.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $217.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 6ZG, desde  $6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $161.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 6ZM, de  $9.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $91.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en C12 y desde  $8.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $94.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en C41, con concentraciones promedio de  $67.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 6ZG,  $49.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 6ZM,  $31.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en C12 y  $35.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en C41. La comparación de las concentraciones diarias de  $MP_{10}$  y  $MP_{2.5}$  (Figura 3-6 y Figura 3-7) mostraron que las partículas gruesas representaron la mayor fracción de material particulado en la región.

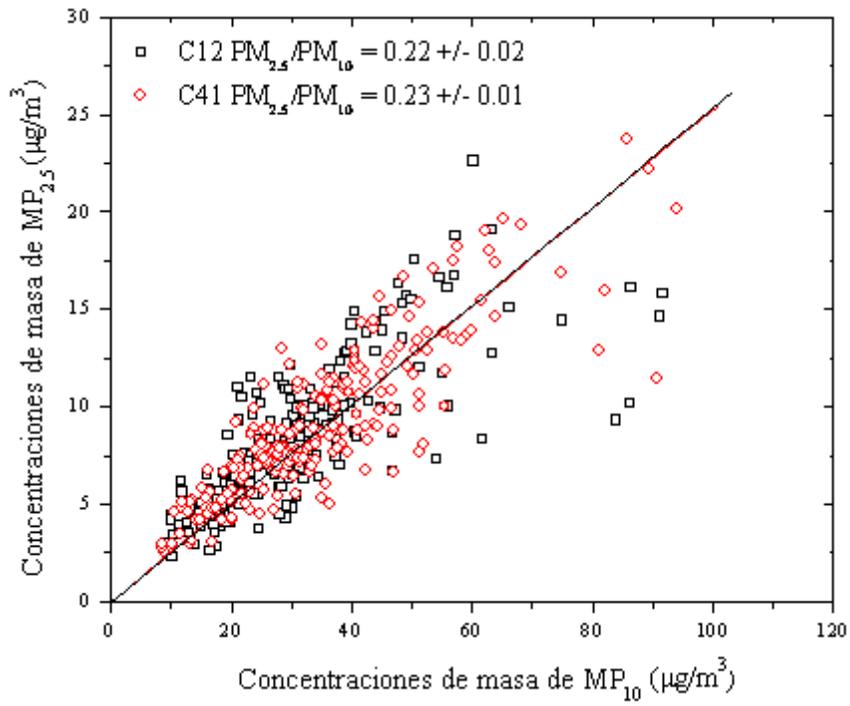
Desde la Figura 3-8 a la Figura 3-11 muestran la serie de tiempo de  $MP_{2.5}$  en los lugares de Sunland Park, Nuevo México, Ciudad Juárez, México y El Paso, Texas. Mientras un detallado análisis de tendencias temporales (mensual, días de la semana y la hora) son examinados en una sección posterior, se constató que las concentraciones de MP fluctuaron mucho durante el periodo de monitoreo sin tendencias claras de temporada.



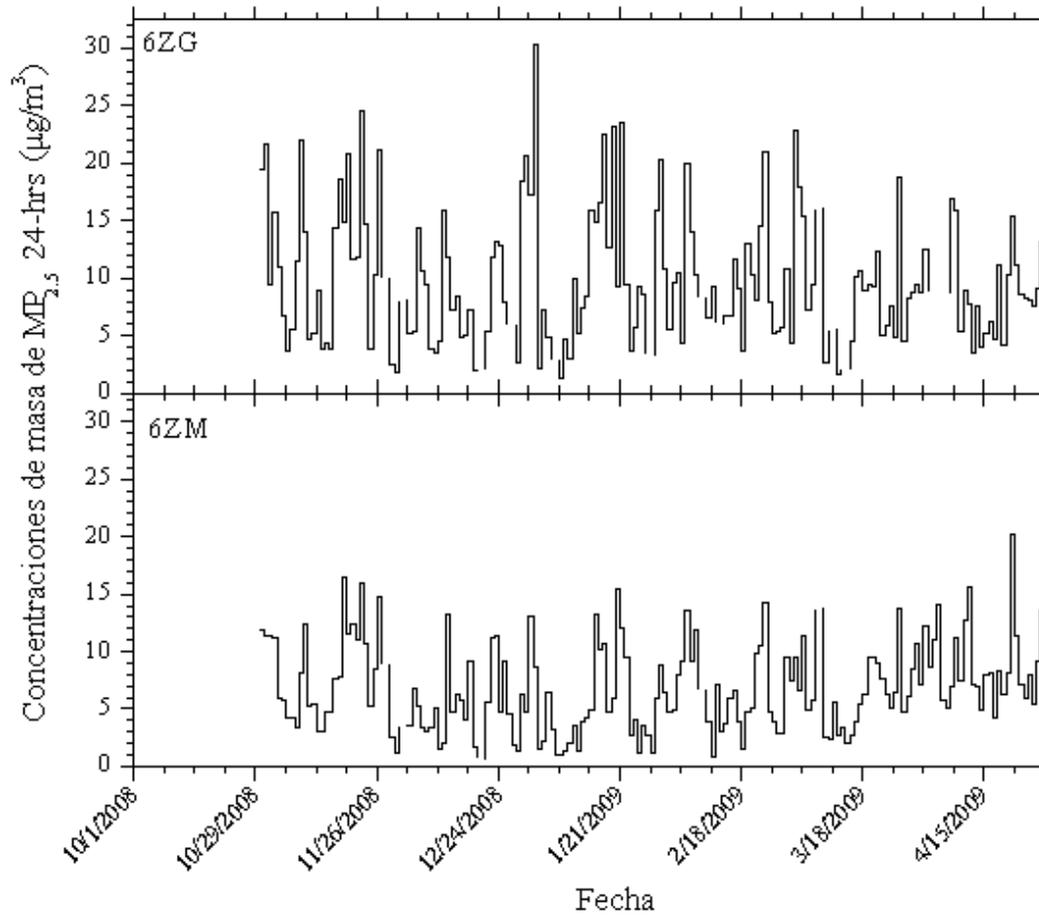
**Figura 3-5. Gráfico de caja de concentraciones en masa de  $PM_{10}$  24-horas en Sunland Park, Nuevo México y El Paso, Texas con MOEC.**



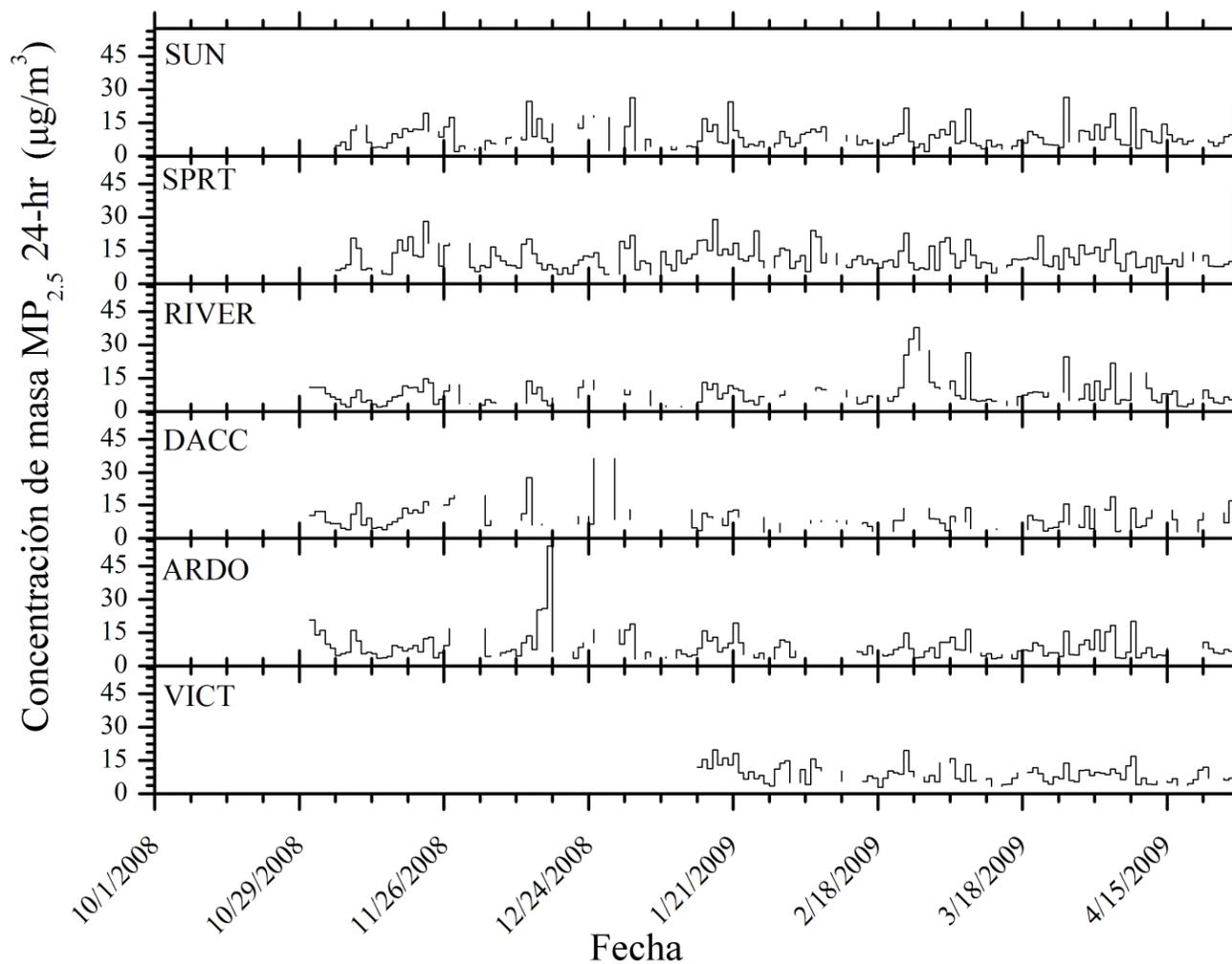
**Figura 3-6 Proporción en las estaciones de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en Sunland Park, Nuevo México**



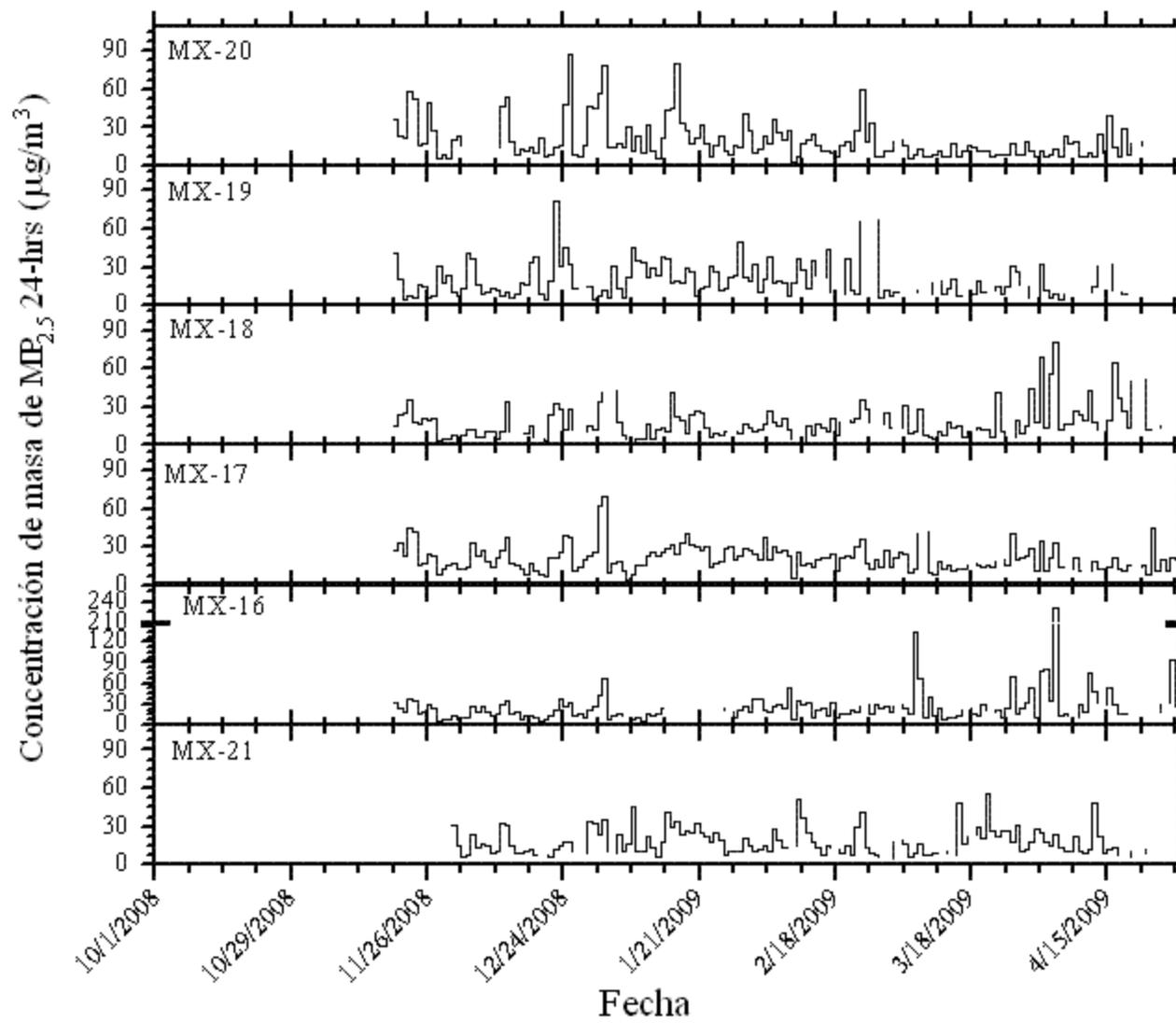
**Figura 3-7 Proporción en las estaciones de  $MP_{2.5}$  y  $MP_{10}$  en El Paso, Texas**



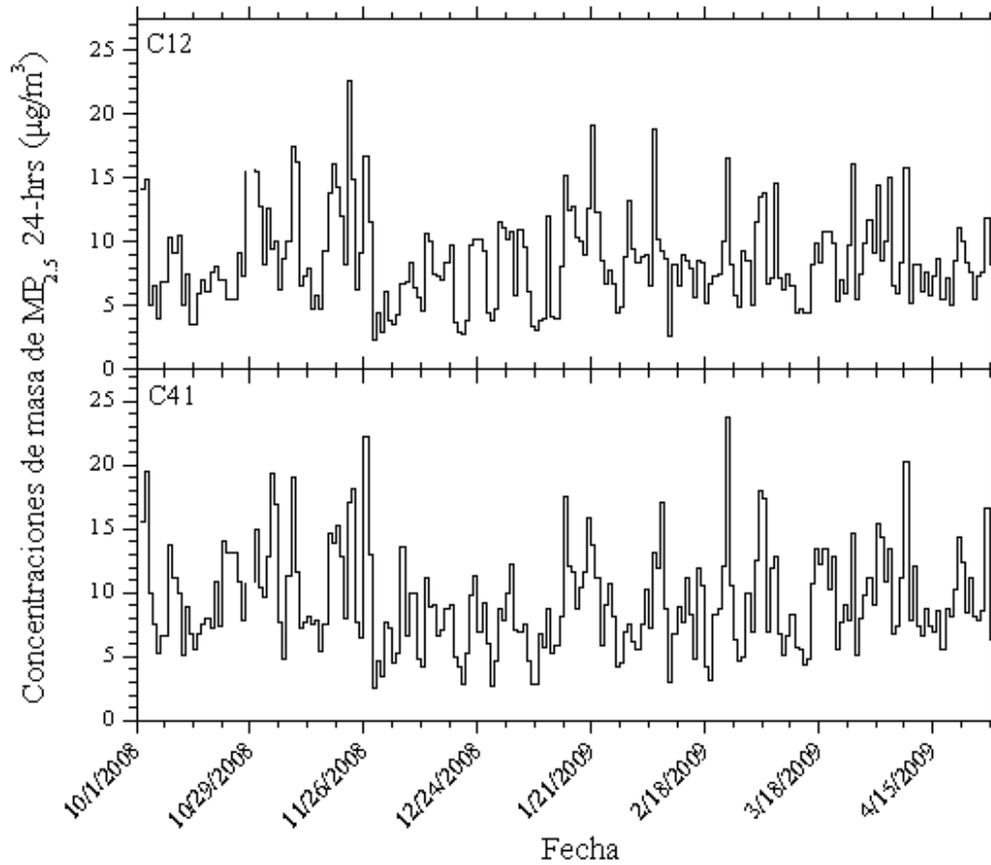
**Figura 3-8. Series de tiempo de las concentraciones de masa de MP<sub>2.5</sub> 24-horas en las estaciones DANM medidas por MOEC**



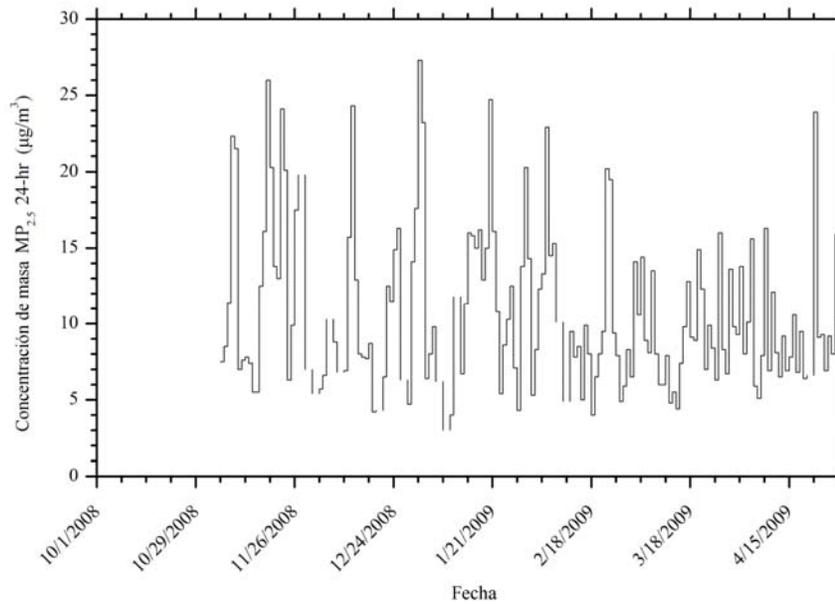
**Figura 3-9. Series de tiempo de las concentraciones de masa de MP<sub>2.5</sub> 24-hrs en Nuevo México medidas por el E-BAM**



*Figura 3-10. Series de tiempo de las concentraciones de masa de MP<sub>2.5</sub> 24-hrs en Ciudad Juárez, México medidas por BAM*



**Figura 3-11. Series de tiempo de las concentraciones de masa de  $MP_{2.5}$  24-hrs en El Paso, Texas, medidas por MOEC**



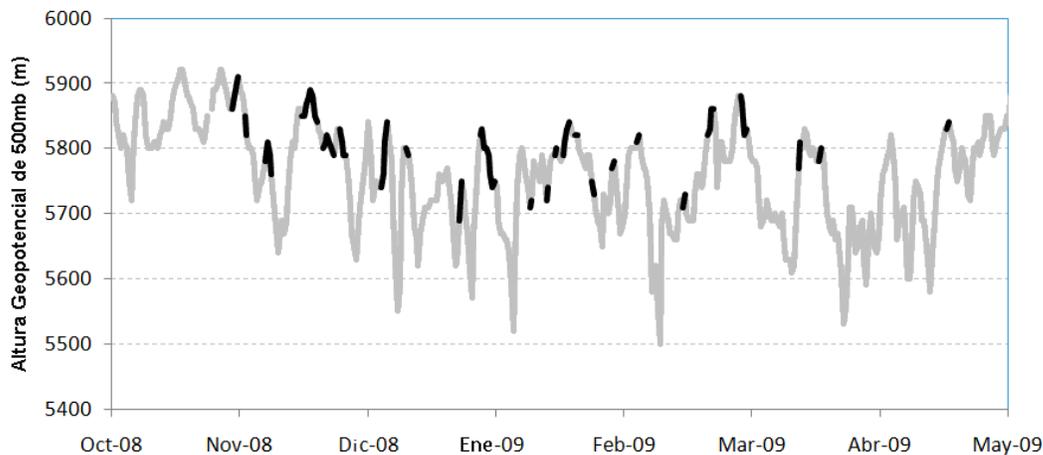
**Figura 3-12. Series de tiempo de las concentraciones de masa de  $MP_{2.5}$  24-hrs en El Paso, Texas, medidas por E-BAM**

### 3.2 Condiciones Meteorológicas

Durante los periodos de estancamiento, las concentraciones de las partículas suelen ser más elevadas. Generalmente los estancamientos ocurren durante los sistemas de altas presiones o anticiclones, cuando el aire desciende causa una inversión de subsidencia que puede cubrir una región completa. Por la noche, durante condiciones de cielos despejados, el enfriamiento radiativo nocturno también puede ocurrir y crear una estabilidad atmosférica substancial. Como un resultado de esta estabilidad, la forma de inversiones de temperatura y severamente limita las dispersiones y flujos del viento. Las condiciones de estancamiento pueden ocurrir en grandes áreas, sobre distancias de cientos de kilómetros. Como el sol calienta el suelo, la condición de estancamiento es reducida por la generación de movimientos de turbulencia y convección que eventualmente acaban con la inversión. En algunas regiones de baja altitud de Estados Unidos, un pronóstico de condiciones de estancamiento puede ser generado por el uso de temperaturas del aire de alta presión en los 850 mb (Smith et al., 1996). Una predicción de una capa caliente en lo alto proporciona la estabilidad suficiente para crear una tapa para atrapar la superficie de las emisiones generadas. Este método es exitoso a causa de la existencia de capas de inversión elevada que se extiende hasta unos 1500 m o nivel de presión en los 850 mb.

La topografía de la superficie juega un importante rol en la determinación de las direcciones de transporte, frecuencias y magnitudes del viento

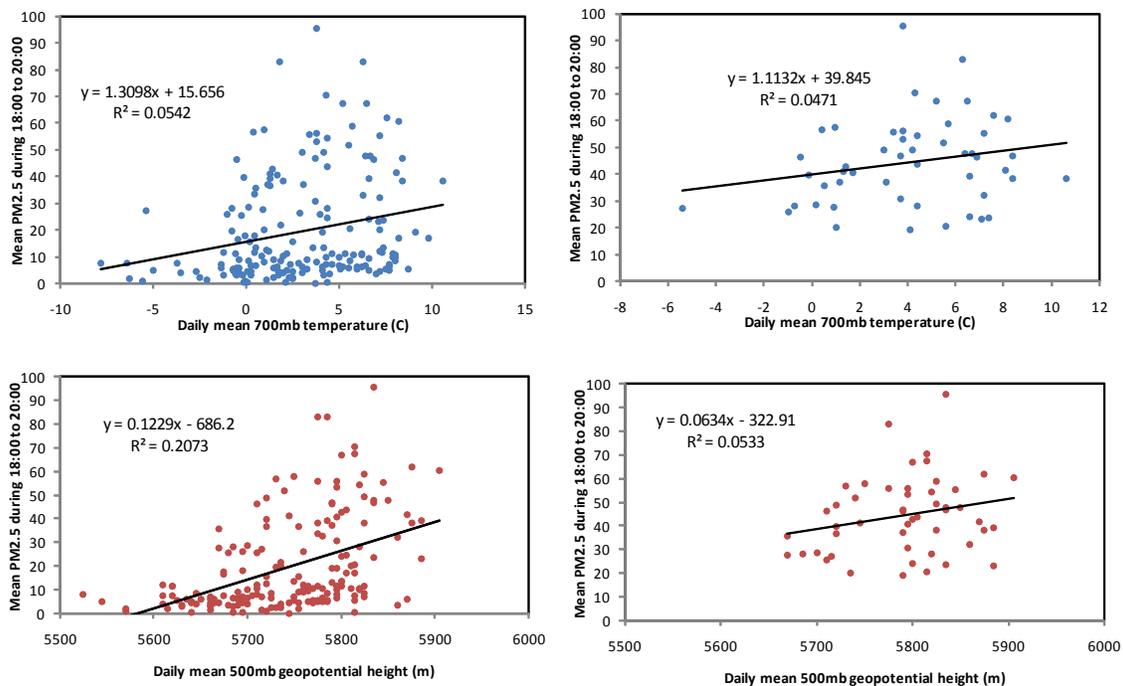
Los eventos de estancamiento de aire son a menudo relacionados con la alta presión en la superficie y niveles más altos de las crestas. La Figura 3-13 abajo muestra las alturas geopotenciales de 500 mb con los episodios señalados en negrita. Estas alturas son indicativas del tipo de sistema de tiempo sobre el área con mayores números asociados con crestas de nivel más alto y alta presión en la superficie.



**Figura 3-13. Series de tiempo de las alturas geopotenciales de 500mb sobre el curso del estudio con episodios indicados en negrita**

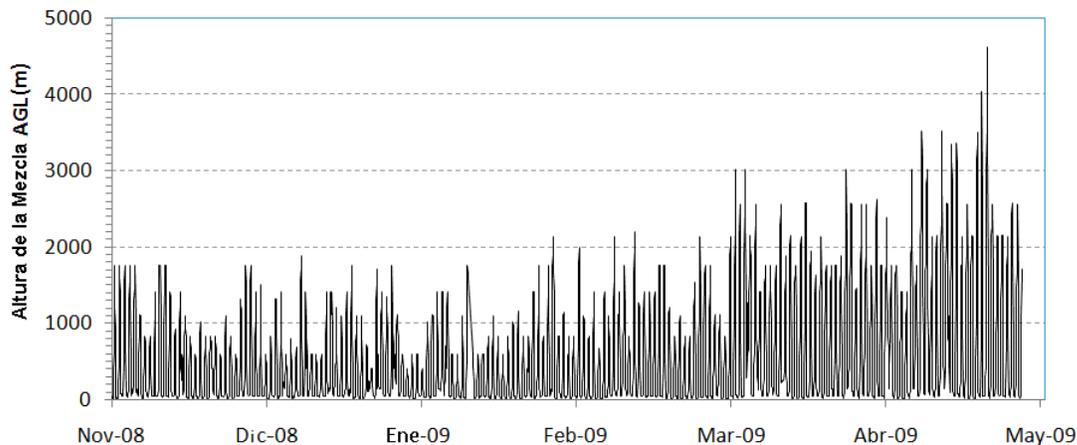
Estas alturas fueron extraídas de las mediciones de radiosondeo tomadas en la oficina del Servicio Nacional del Tiempo de Santa Teresa cercana al aeropuerto de Santa Teresa.

Estas observaciones de radiosondeo fueron tomadas dos veces al día, a las 5 am y nuevamente a las 5 pm. Como era de esperar todos los episodios visuales ocurren en o cerca de los picos de alturas 500 mb utilizando la figura. Como se dijo antes, en lo alto las temperaturas pueden ser usadas para encontrar capas calientes y posibles capas de inversiones sobre el área. Para examinar la eficacia de utilizar alturas geopotenciales y temperaturas en altura para predecir estos eventos de alto MP, las temperaturas en el nivel de presión de 700 mb y 500 mb, las alturas geopotenciales fueron comparadas con las concentraciones diarias de MP<sub>2.5</sub> en la estación 6GZ. La alta presión de 700 mb representa una altura aproximada de 10,000 pies sobre el nivel del mar o 6,000 pies a nivel del suelo. Durante las condiciones de estancamiento, una capa caliente a estas alturas podría señalar una inversión de temperatura. Al comparar la temperatura a esta altura, investigamos esta relación de potencial. La Figura 3-14 muestra un resumen de un análisis de regresión lineal.



**Figura 3-14. Gráficos de regresión lineal de eventos de MP de viento bajo con alturas de 500mb y temperaturas de 700mb. Los gráficos a la izquierda son de todas las horas y sobre la mano derecha se encuentran los gráficos de los días donde ocurrió un episodio.**

Para realizar la comparación, las concentraciones medias de MP<sub>2.5</sub> durante las 18:00 a 20:00 horas MST fueron utilizadas en los cálculos, ya que la mayoría de los episodios en el estudio ocurrieron durante esas horas. Para esos episodios de MP<sub>2.5</sub> por hora mayor a 30 µg/m<sup>3</sup>, en promedio se iniciaron a las 18:00 horas MST y su duración fue de 2 horas en promedio. Curiosamente, bajas correlaciones fueron observadas entre el MP<sub>2.5</sub> y ambas temperaturas a 700 mb y 500 mb de alturas geopotencial. Otro predictor de episodios de MP alto es la altura de la mezcla. El gráfico de más abajo muestra como la altura de la mezcla varió a través del estudio.



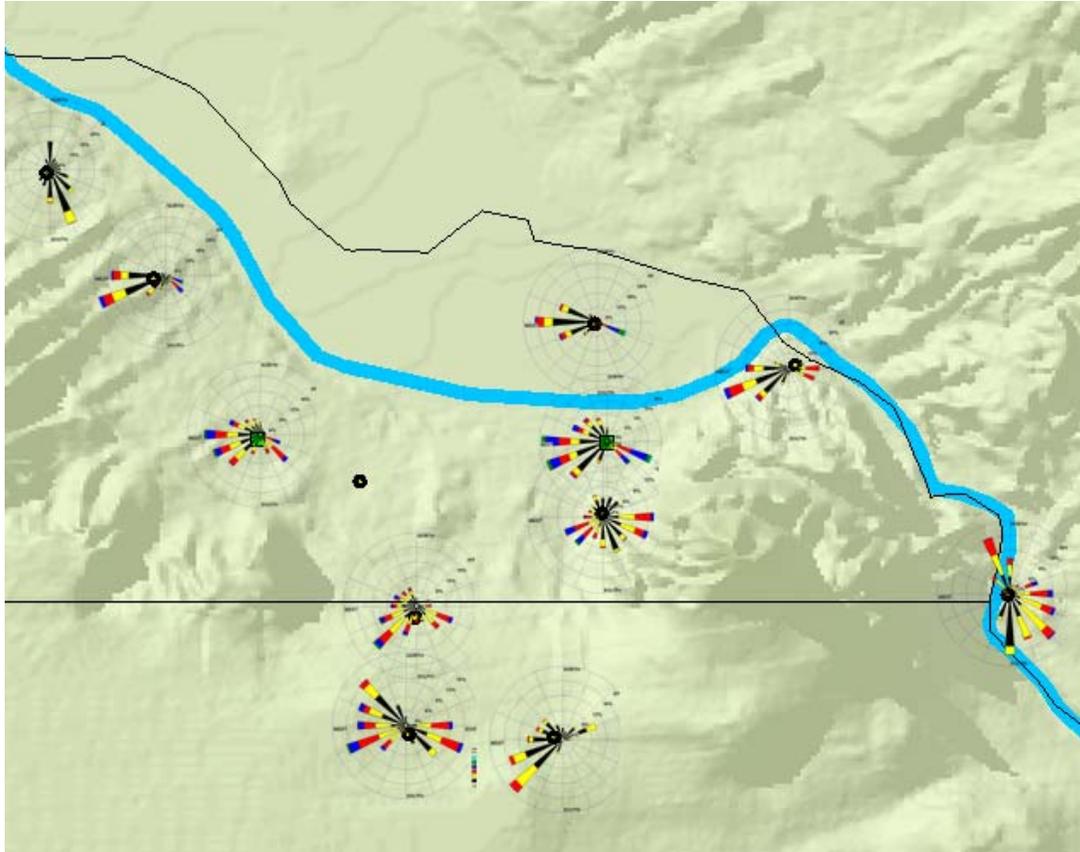
**Figura 3-15. Series de tiempo de alturas de la mezcla durante el estudio**

La figura de arriba muestra el cambio estacional de la baja alturas de la mezcla in el invierno y el incremento durante los meses de primavera. Las alturas de la mezcla será utilizada en el episodio de análisis para ofrecer una explicación de las altas concentraciones de MP e indicar la estabilidad.

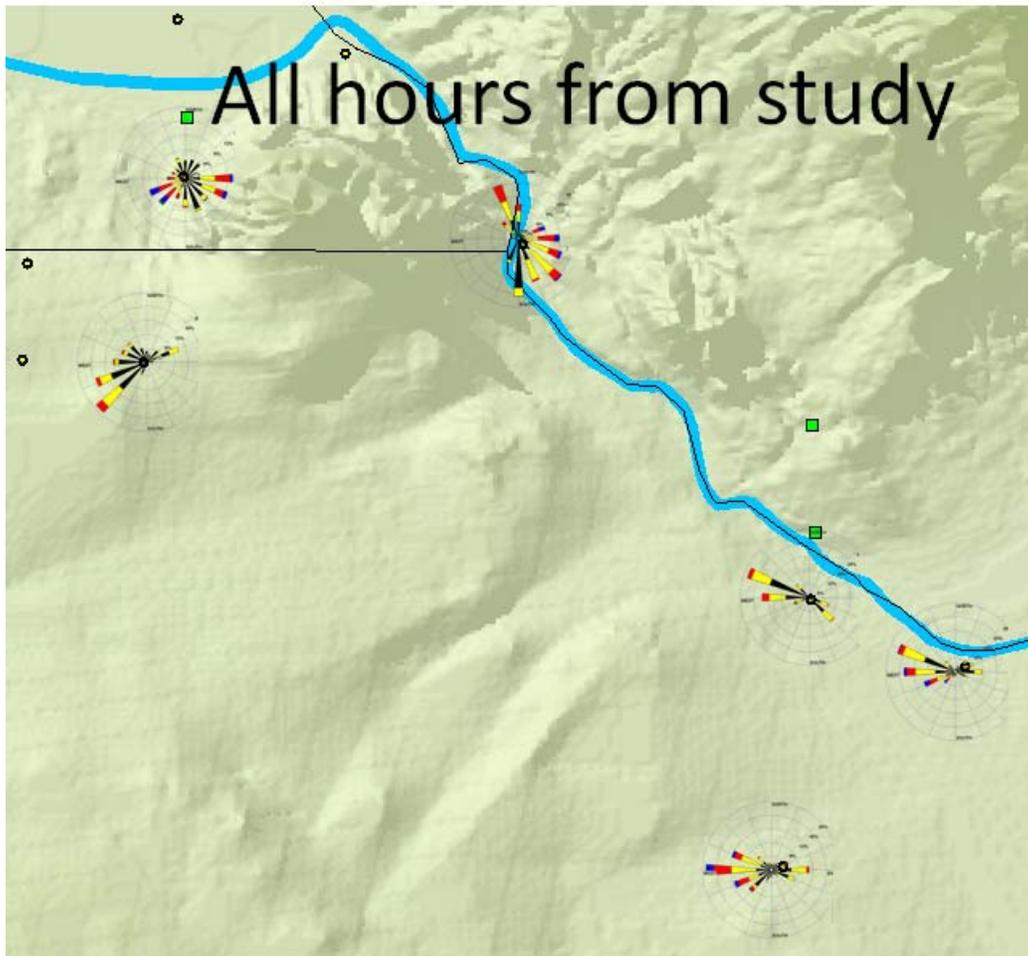
### **3.2.1 Patrones del Viento**

En las regiones de terrenos más complejos, tales como montañas y valles, efectos orográficos podrían dominar las condiciones del transporte de aire cuando los flujos de síntesis son mínimos. En áreas montañosas predecibles vientos cuesta arriba y cuesta abajo son fenómenos físicos importantes que deberían ser considerados en la interpretación de concentraciones a corto plazo. Durante la noche una capa superficial de aire frío fluye hacia elevaciones más bajas y durante el día hacia arriba de la montaña fluye aire más caliente menos denso. Estas pendientes de flujo son las más fuertes en días despejados y mínimos durante condiciones nubosas. En valles, las circulaciones pueden ser generadas a causa del viento que podrían fluir hacia arriba y hacia abajo de los ejes del valle o hacia arriba y hacia abajo desde elevaciones más altas o más bajas y viceversa. Flujos nocturnos del valle durante noches despejadas podrían crear una capa de inversión poco profunda sobre el piso del valle, atrapando contaminantes emitidos localmente.

El terreno circundante al sitio que tiene una mayor influencia sobre el transporte de contaminantes a esa estación. Las rosas de los vientos en la Figura 3-16, muestra algunas de las influencias del terreno sobre los vientos. Esta figura solo muestra las estaciones en la porción norte del área de estudio e incluye los vientos de todas las horas en dicho estudio.



*Figura 3-16. Rosas de los vientos para las estaciones E-BAMs y DANM hacia el norte del área de estudio*



**Figure 3-17. Rosas de los vientos para las estaciones de E-BAM y Ciudad Juárez durante el estudio**

En general, los patrones de viento parecen razonables dado el terreno que rodea a cada estación. Sunland Park Elementary no tiene datos de la dirección del viento por lo tanto no fue creado un gráfico de la rosa de los vientos. Hubo vientos cuestionables en Riverside Elementary como se vio en el gráfico de la rosa de los vientos donde hubo vientos bajos a lo largo del estudio. Esto probablemente es debido a la ubicación del E-BAM y el censor del viento sobre el techo del edificio sobre la base de fotografías.

### **3.3 Criterios de Episodios**

Los episodios estuvieron basados en las concentraciones de MP por hora medidos en la estación de Sunland Park City Yard, 6ZG desde el 31 de Octubre de 2008 al 30 de Abril de 2009. Los episodios fueron encontrados filtrando los datos por hora para las concentraciones más grandes de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante vientos bajos de menos de 2 millas por hora o 0.89 metros por segundo. Utilizando ese criterio, hubo 63 episodios de al menos una hora de duración. La hora de inicio promedio fue a las 18:00 y finalizo a las 20:00 horas MST. Dos de estos episodios duraron 9 horas. El número promedio de días entre los episodios fue de 3 días (mediana de 2 días). Durante estos episodios la diferencia de

temperatura entre las alturas de 2 y 10 metros varió desde cerca de cero a más de 4 grados Celsius. Un número positivo muestra que la temperatura en la parte superior de la torre de 10 metros es más caliente que al pie de ésta, lo que implica una atmósfera estable. Estos episodios son enumerados en el Apéndice A que muestra las fechas, máximo y promedio de  $MP_{2.5}$  y la tasa promedio del intervalo entre los 2 y 10 metros durante ese episodio. Sobrepasando los criterios para concentraciones mayores a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 2 mph, hubo 49 episodios. Utilizando el criterio de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 2 mph hubo 37 episodios de al menos 1 hora de duración. Normalmente, estos episodios comenzaron a las 19:00 y finalizaron a las 20:00 horas MST y en promedio ocurrieron cada 4.8 días (mediana 2.3 días de diferencia).

## 4 Discusión

Esta sección presenta las variaciones temporales de los parámetros meteorológicos y de la calidad del aire, además del análisis de los días con concentraciones de  $MP_{2.5}$ .

### 4.1 Patrones Temporales

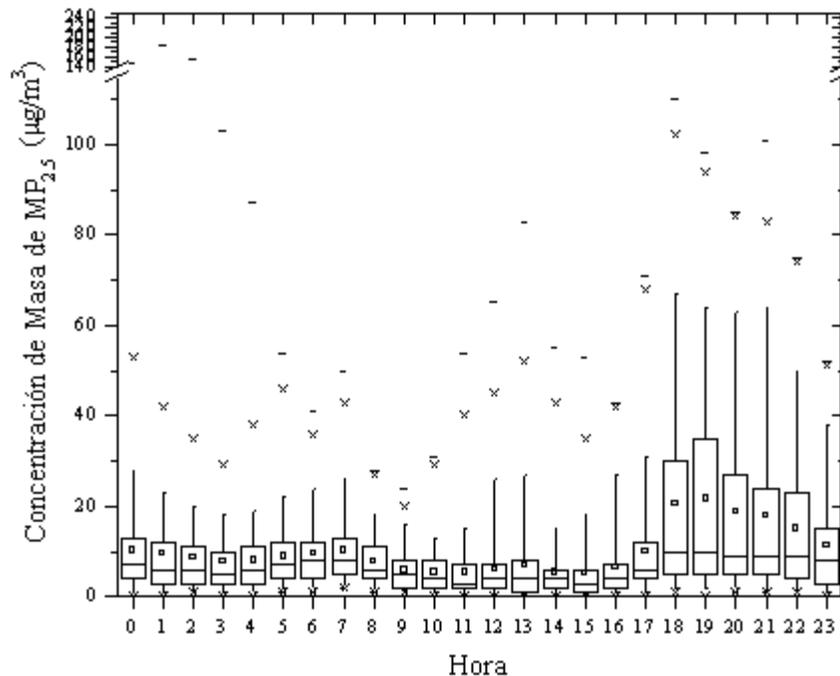
Para obtener un mejor entendimiento de las emisiones directas, mecanismos y vías del material de partículas finas, son caracterizados los patrones diurnos, los días de la semana de la meteorología local y el material particulado en Paso del Norte. Si bien la información de conteo de tráfico no se recavó como parte de este esfuerzo, estudios previos determinaron que los patrones del tráfico varían mucho dependiendo del tipo de vehículo, día de la semana y tipo de camino (carretera versus superficie) (Fujita, et al. 2002) (Marr, Balck and Harley 2002). Basado en estudios en Atlanta, Georgia y California central, el tráfico de vehículos de pasajeros y de carga ligera aumenta de lunes a viernes y disminuye de 15-30% durante los fines de semana. La intensidad de los vehículos de carga se mantiene relativamente igual de lunes a viernes, pero disminuye un 80% durante los fines de semana (especialmente los domingos). En una base diurna, se observa un perfil bimodal diurno en las horas del trayecto de la mañana y tarde de lunes a viernes para vehículos de carga ligera en calles y carreteras, mientras que solo se observa un solo punto máximo a medio día durante los fines de semana. Para los vehículos de carga, se observó una distribución bimodal en calles y un solo punto máximo ya tarde en la mañana en carreteras y de lunes a viernes.

#### 4.1.1 Variación Diurna

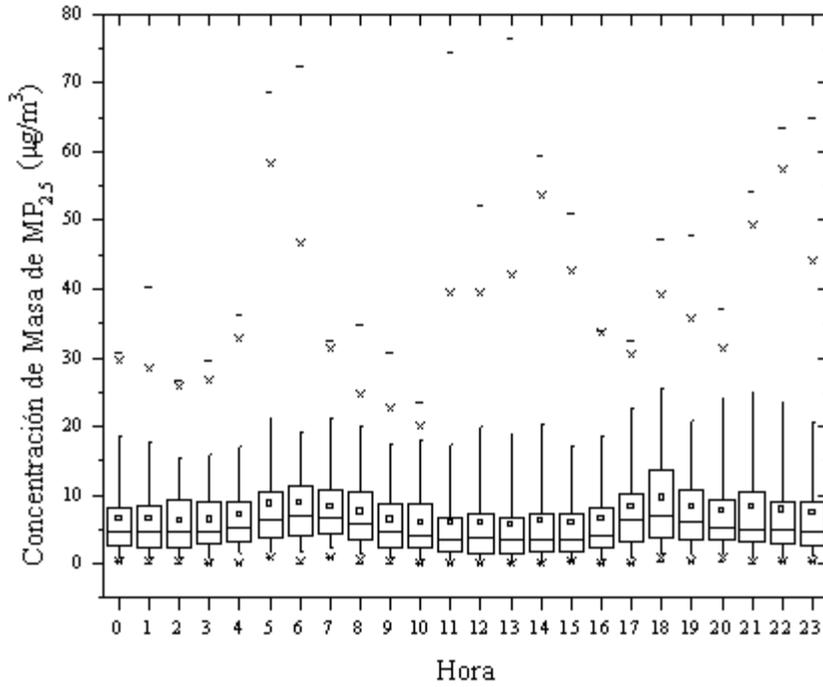
La variación diurna de la concentración en masa de  $MP_{2.5}$  se muestra de la Figura 4-1 a la Figura 4-17. Con el fin de identificar los posibles impactos de las emisiones directas del tráfico y material particulado secundario, los datos por hora de NO y  $\text{NO}_2$  para la estación 6ZM también fueron capturados en las Figuras 4-18 y 4-19, respectivamente. Para NO, se observó temprano en la mañana (6-9 am) un patrón bimodal temporal con un primer nivel máximo, seguido por un mínimo durante el día y un segundo máximo durante el anochecer (20-22). Este patrón es indicativo de las emisiones directas del tráfico. Para  $\text{NO}_2$ , se observó temprano en la mañana un ligero incremento ya que una fracción del

NO<sub>2</sub> es emitida directamente por el tráfico. El segundo pico comienza en la tarde (17-18), alcanzando su máximo a las 22 horas y manteniéndose constante durante la noche, debido a la acumulación de productos que resultan de la oxidación. Esta es una tendencia típica de las estaciones de control en zonas urbanas o cerca de ellas.

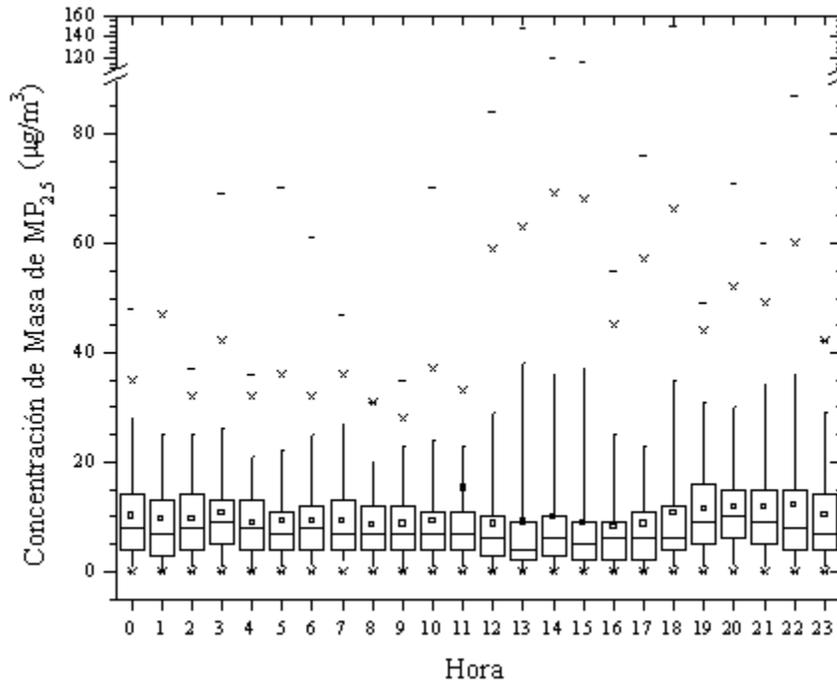
Para MP<sub>2.5</sub>, también se observó una distribución bimodal en la mayoría de las estaciones, con el primer máximo en la mañana temprano que se puede atribuir a las emisiones del tráfico en Sunland Park, Nuevo México y El Paso, Texas, seguido de un nivel mínimo durante el medio día. Se observó un incremento de las concentraciones en masa del MP<sub>2.5</sub> durante la tarde alcanzando sus máximas concentraciones de las 18:00 a las 21:00 horas, seguido de un ligero descenso durante la noche. Para las estaciones de Ciudad Juárez, México, las concentraciones de MP<sub>2.5</sub> se incrementaban temprano en la mañana, seguido de un incremento progresivo durante el día y alcanzando su máximo tarde por la noche. El perfil de MP<sub>2.5</sub> observado durante la tarde y la noche expuso muchas similitudes al observado en la estación 6ZM para el NO<sub>2</sub>, indicando la posible contribución de aerosol secundario a la concentración de MP<sub>2.5</sub> (Especialmente en las estaciones de México; debido al humo generado por la quema de madera en calefactores y estufas). Además, el descenso de la altitud de la capa límite también puede ser responsable de las elevadas concentraciones de MP<sub>2.5</sub> durante la noche.



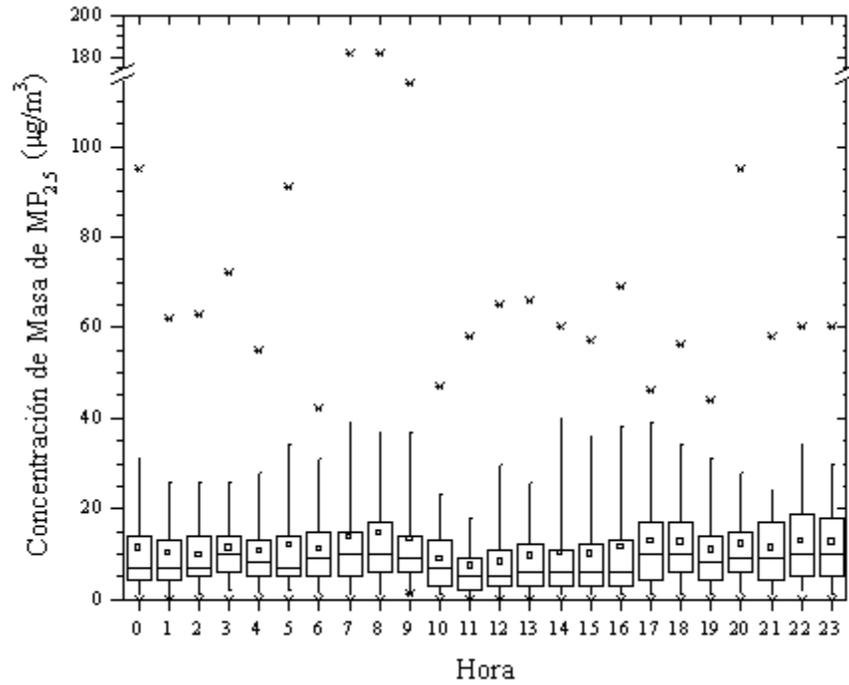
**Figura 4-1. Variación de la concentración de MP<sub>2.5</sub> en la estación 6ZG por hora**



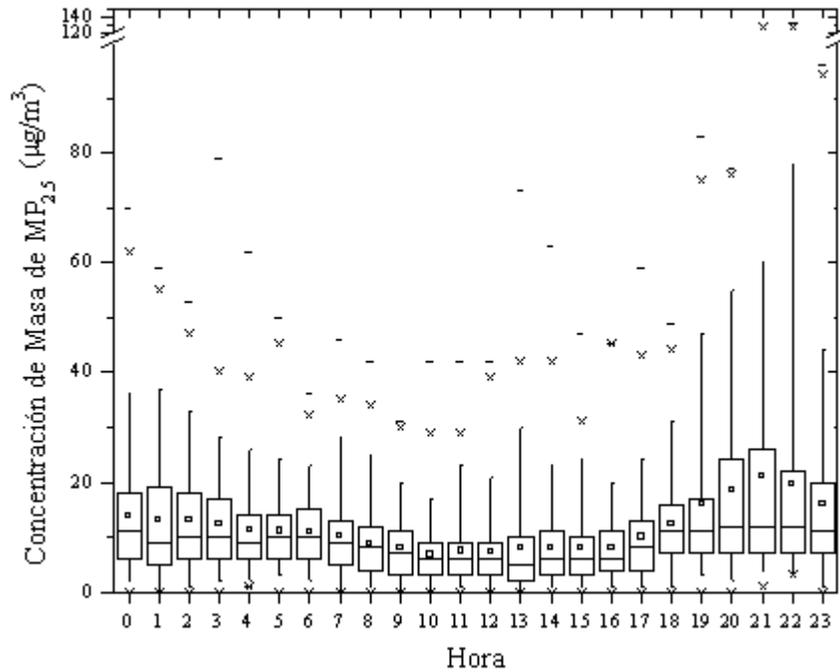
**Figura 4-2. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación 6ZM por hora**



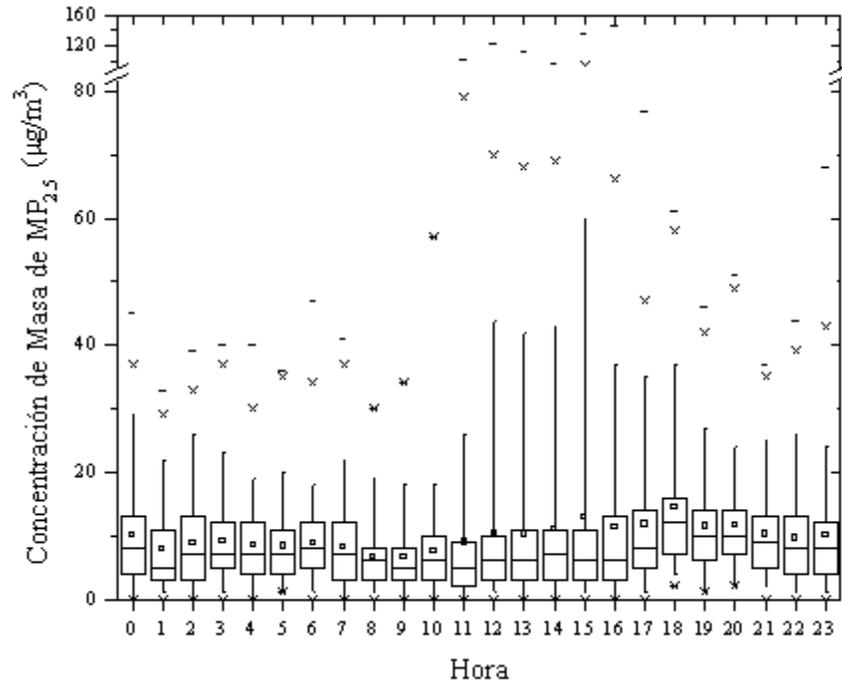
**Figura 4-3. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación ARDO por hora**



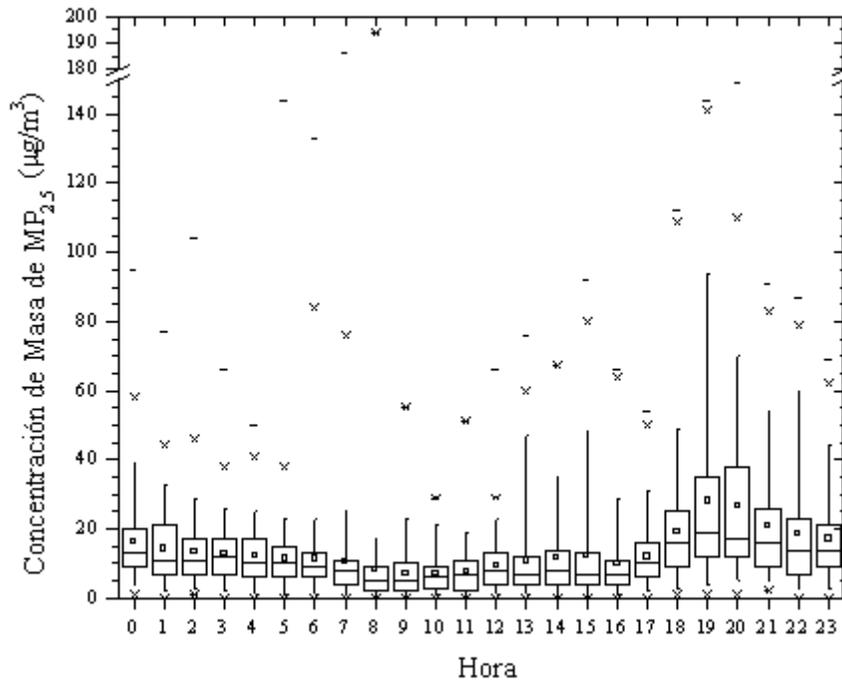
**Figura 4-4. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación DACC por hora**



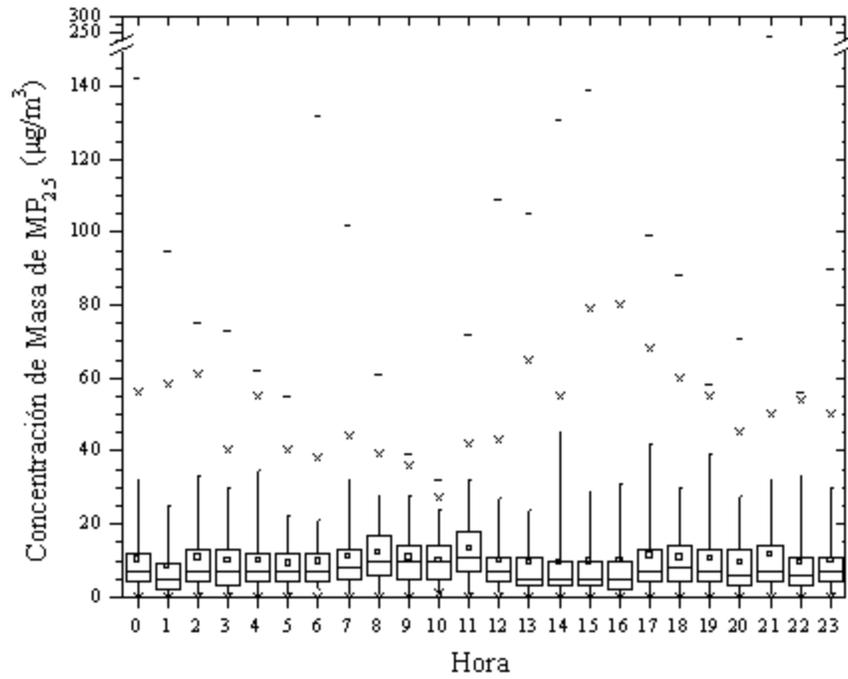
**Figura 4-5. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación IBWC por hora**



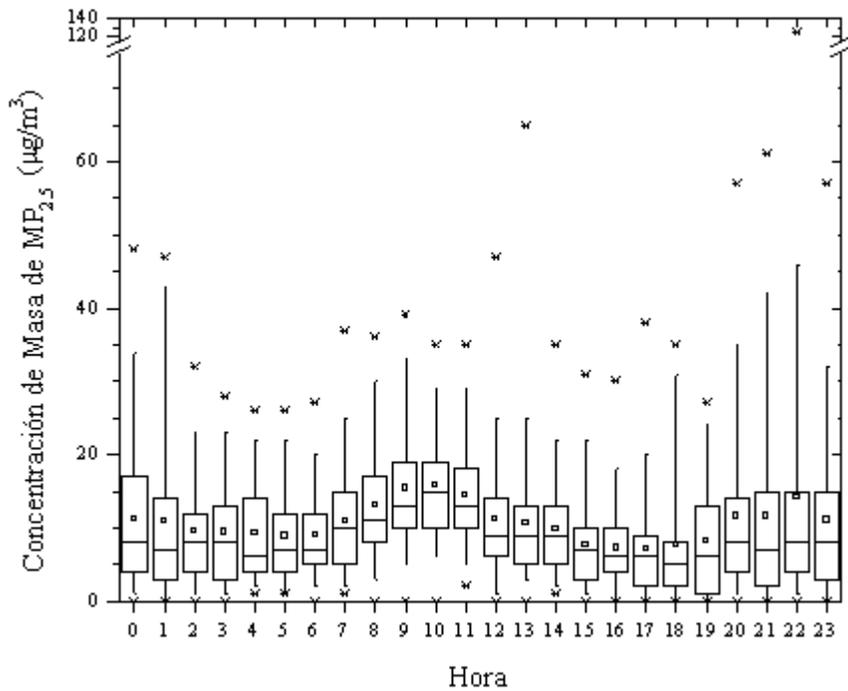
**Figura 4-6. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación RIVER por hora**



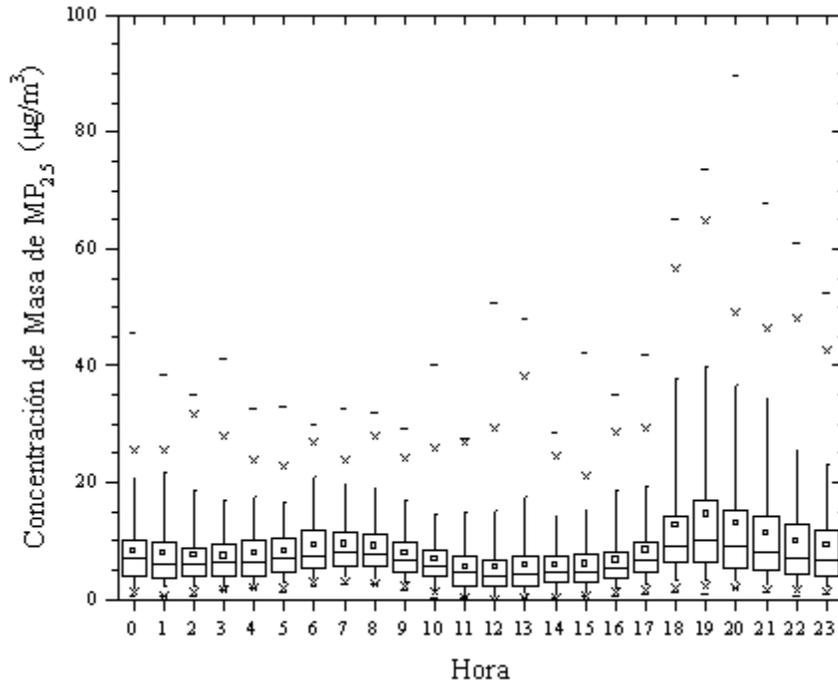
**Figura 4-7. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación SPRT por hora**



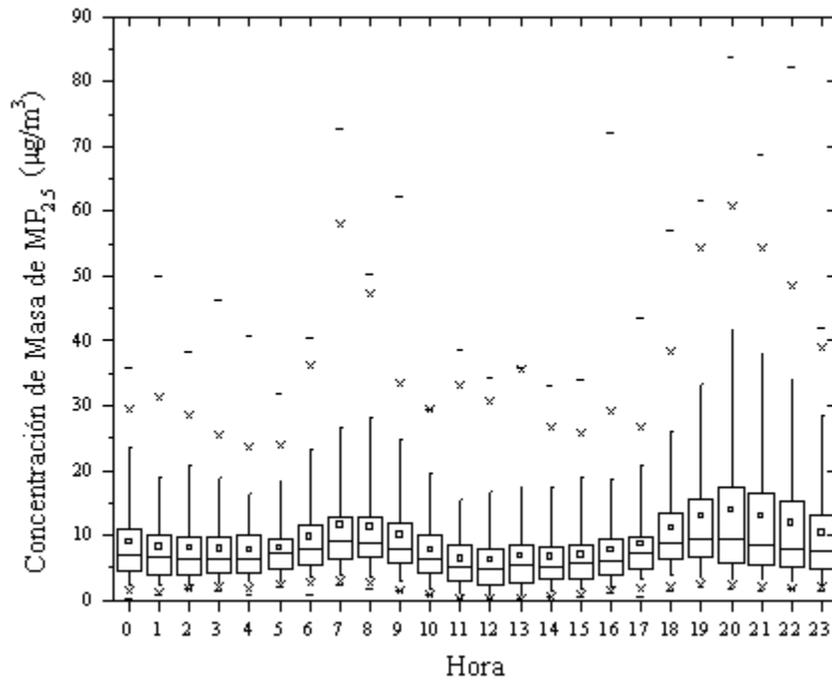
**Figura 4-8. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación SUN por hora**



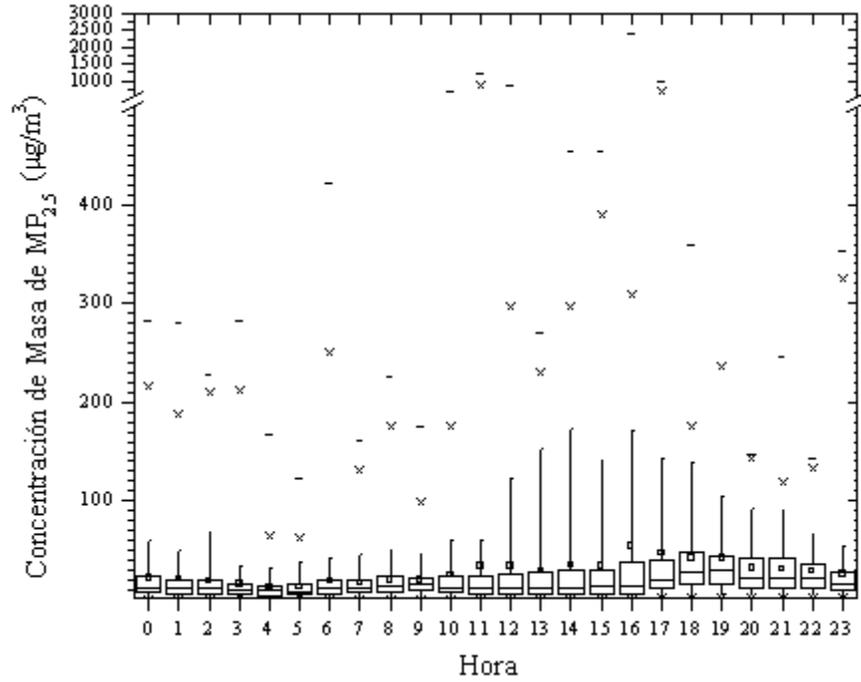
**Figura 4-9. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación VICT por hora**



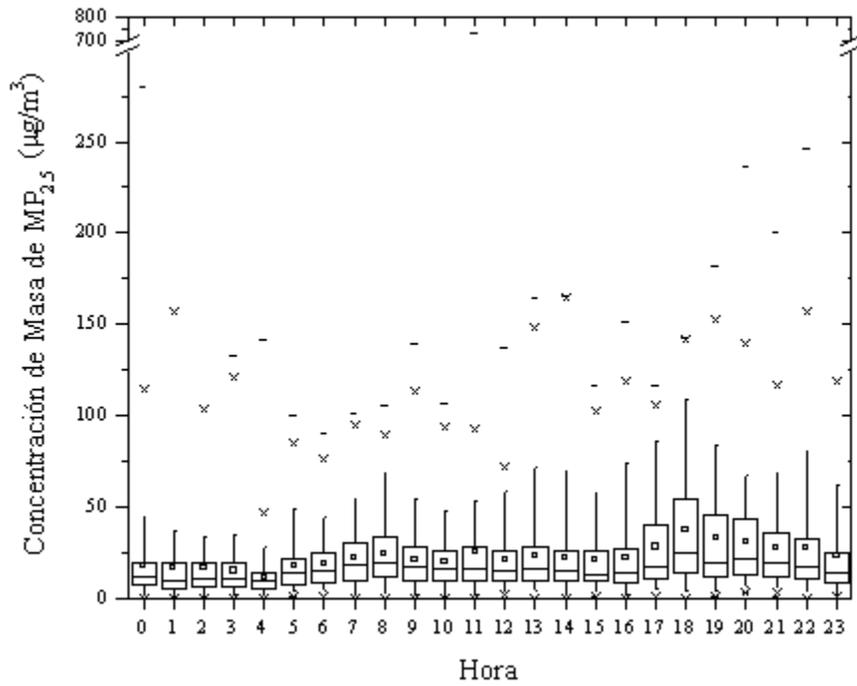
**Figura 4-10. Variación de la concentración de  $\text{MP}_{2.5}$  en la estación C12 por hora**



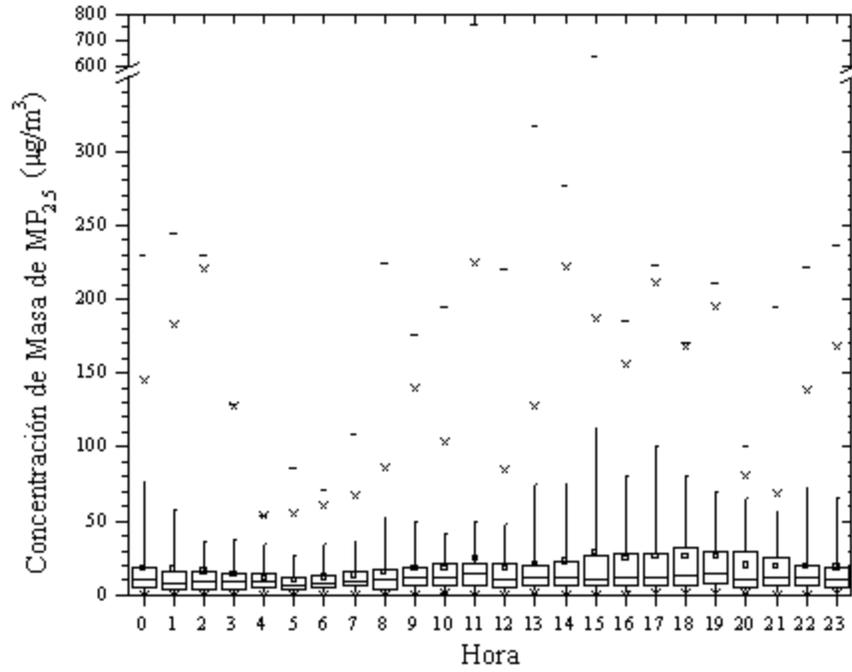
**Figura 4-11. Variación de la concentración de  $\text{MP}_{2.5}$  en la estación C41 por hora**



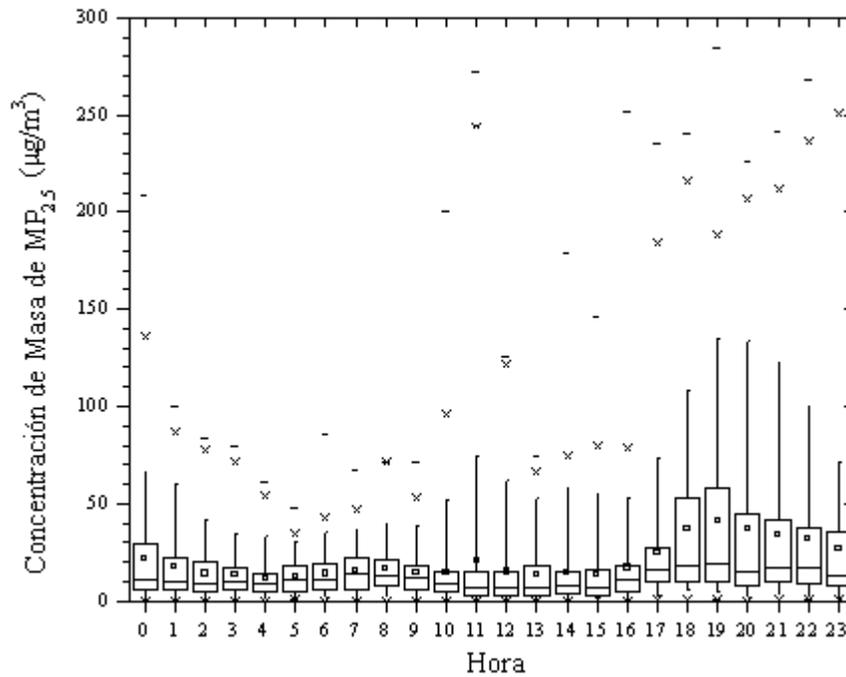
**Figura 4-12. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación MX-16 por hora**



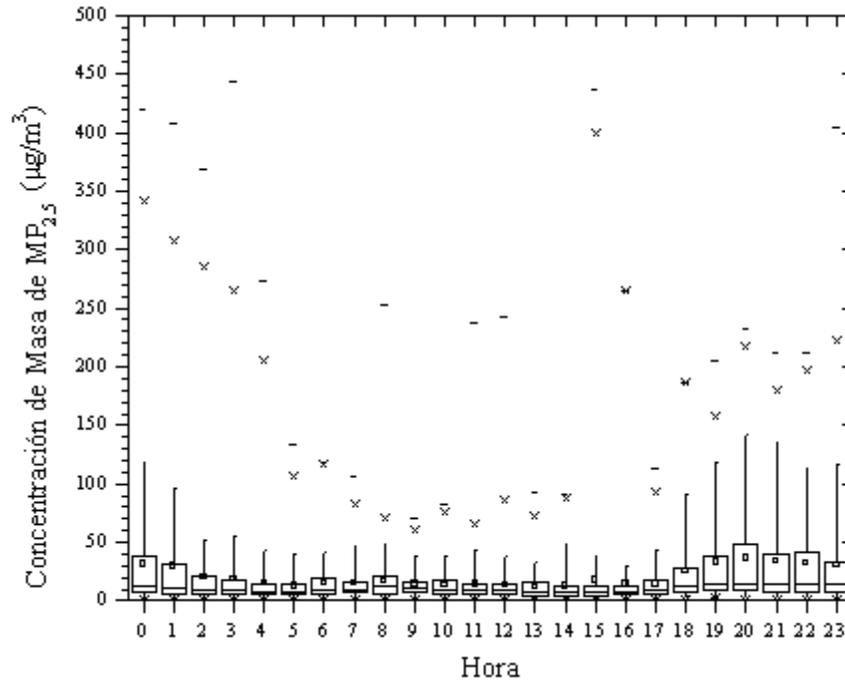
**Figura 4-13. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación MX-17 por hora**



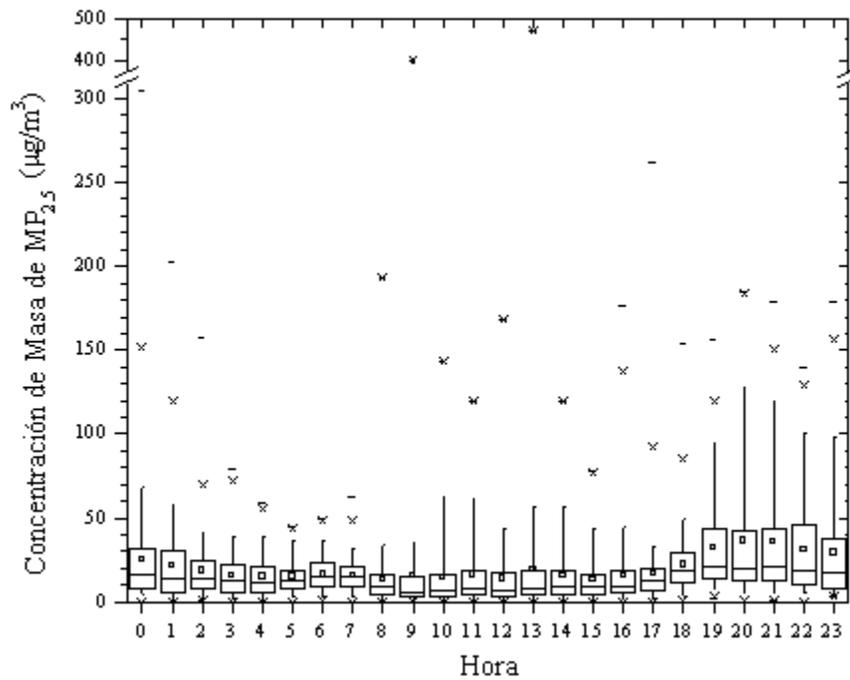
**Figura 4-14. Variación de la concentración de  $\text{MP}_{2.5}$  en la estación MX-18 por hora**



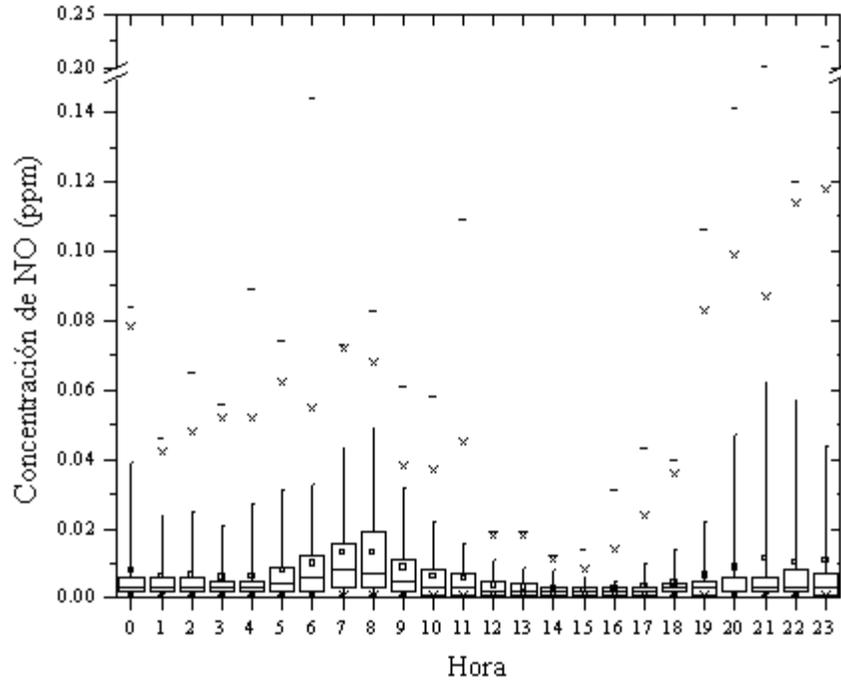
**Figura 4-15. Variación de la concentración de  $\text{MP}_{2.5}$  en la estación MX-19 por hora**



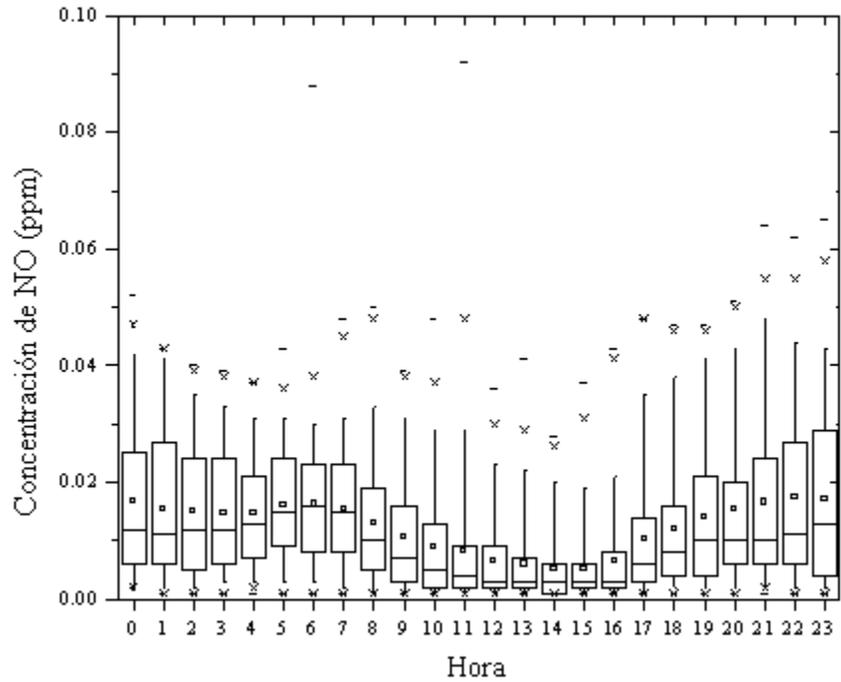
**Figura 4-16. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación MX-20 por hora**



**Figura 4-17. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación MX-21 por hora**



**Figura 4-18. Variación de la concentración de NO en la estación 6ZM por hora**

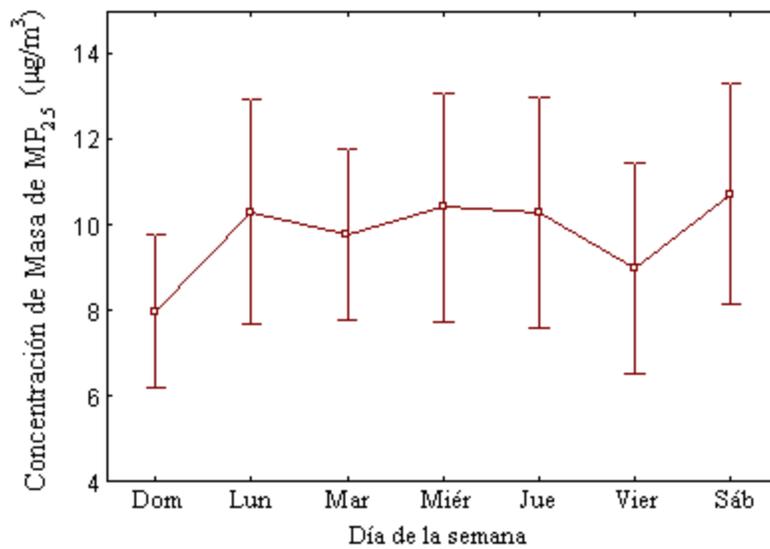


**Figura 4-19. Variación de la concentración de NO2 en la estación 6ZM por hora**

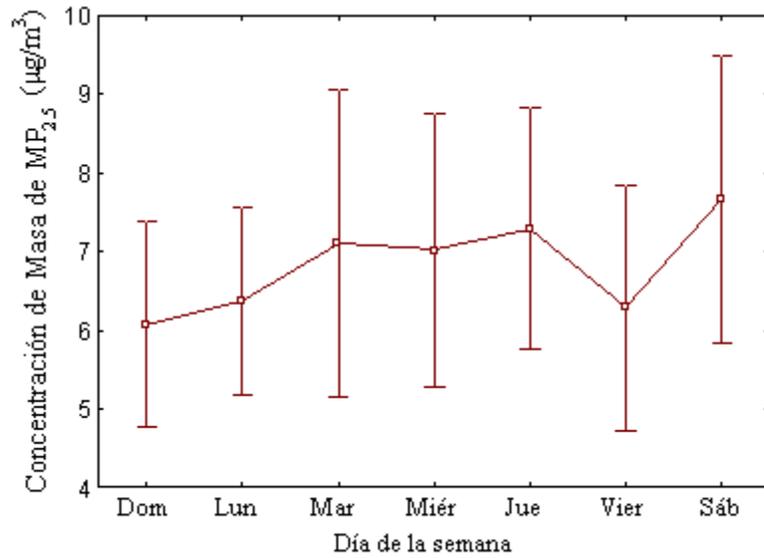
#### 4.1.2 Variación entre días laborales y fines de semana

Las Figuras 4-20 a 4-36 muestran la variación en la concentración de MP<sub>2.5</sub> para cada estación. Los patrones para los días de la semana en las concentraciones de MP<sub>2.5</sub> son

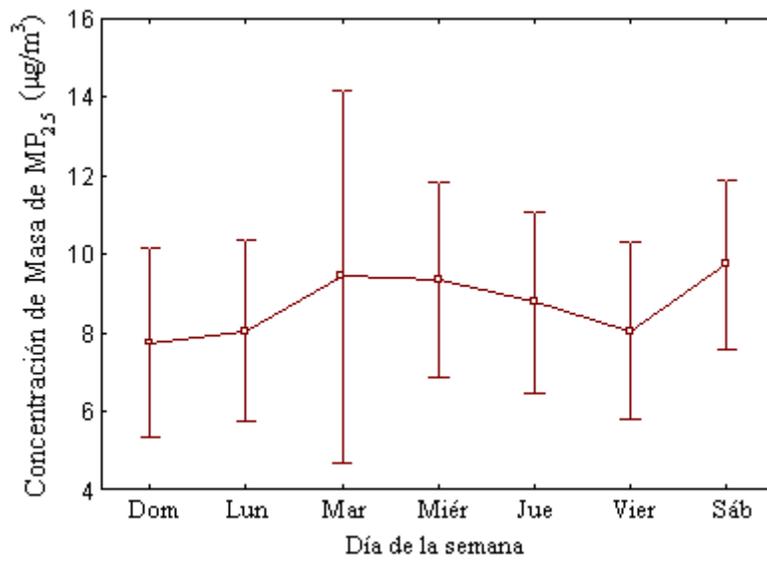
caracterizados por un mínimo en domingo, incrementado significativamente el lunes y se mantiene relativamente sin variación hasta el día jueves. Una ligera disminución se observó en viernes, seguido de un incremento el sábado. Este “Efecto de lunes” también fue observado para la masa de  $MP_{2.5}$  en la cuenca de aire de la Costa Sur (Motabelli, et al. 2003). El perfil observado es indicativo del incremento en las emisiones de tráfico durante los días laborales (a excepción de los días viernes; en las estaciones MX16, 17 y 21 hubo  $MP_{2.5}$  bajo los viernes y los lunes reflejando que esos días fueron días festivos). El incremento en la concentración de  $MP_{2.5}$  durante el día sábado también puede estar relacionado con las emisiones del tráfico ya que los residentes salen de compras y realizan otras actividades no laborales; con la excepción de la estación MX19 que puede reflejar menos tráfico debido a los problemas económicos.



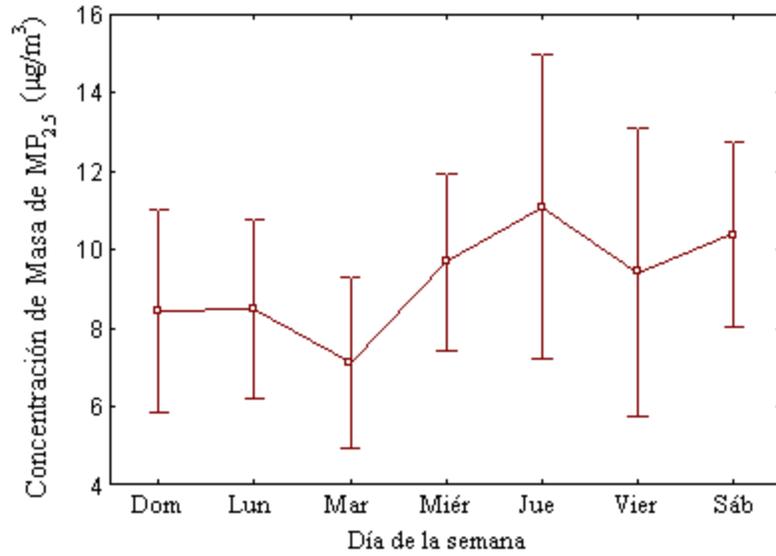
**Figura 4-20. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación 6ZG por día**



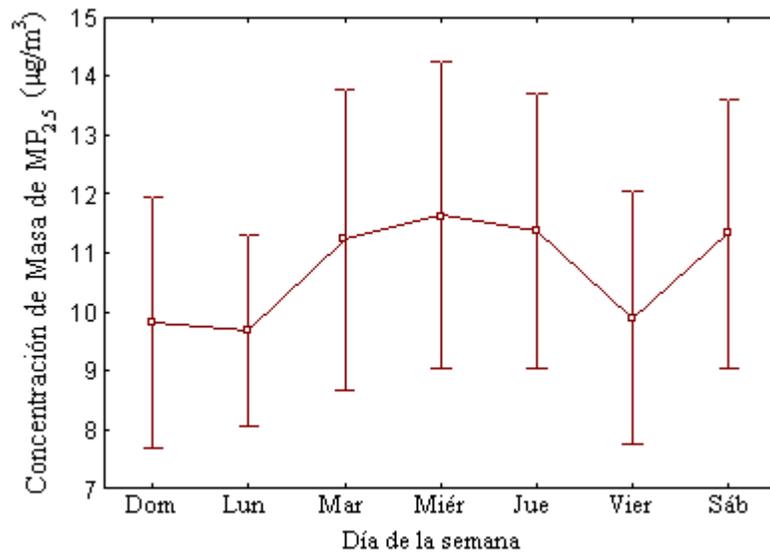
**Figura 4-21. Variación de la concentración de MP<sub>2.5</sub> en la estación 6ZM por día**



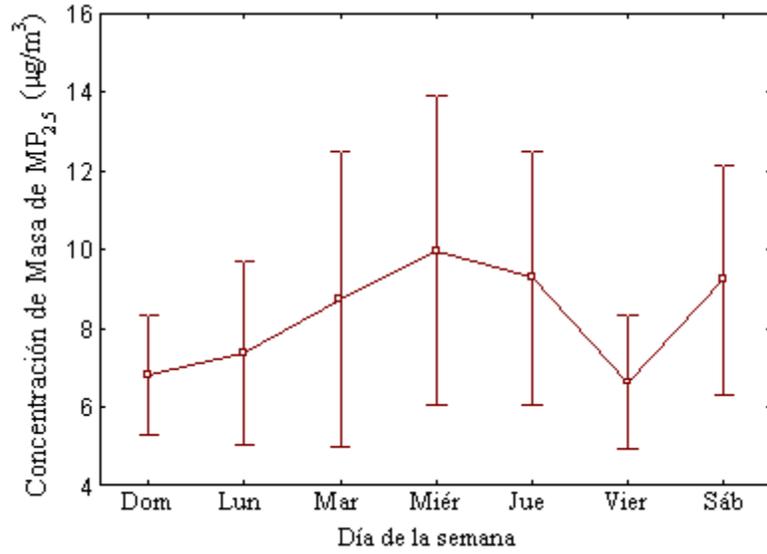
**Figura 4-22. Variación de la concentración de MP<sub>2.5</sub> en la estación ARDO por día**



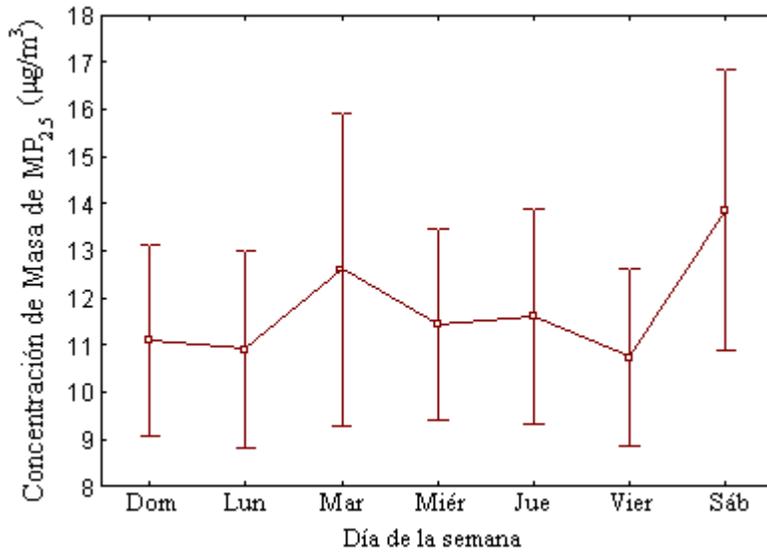
**Figura 4-23. Variación de la concentración de MP<sub>2.5</sub> en la estación DACC por día**



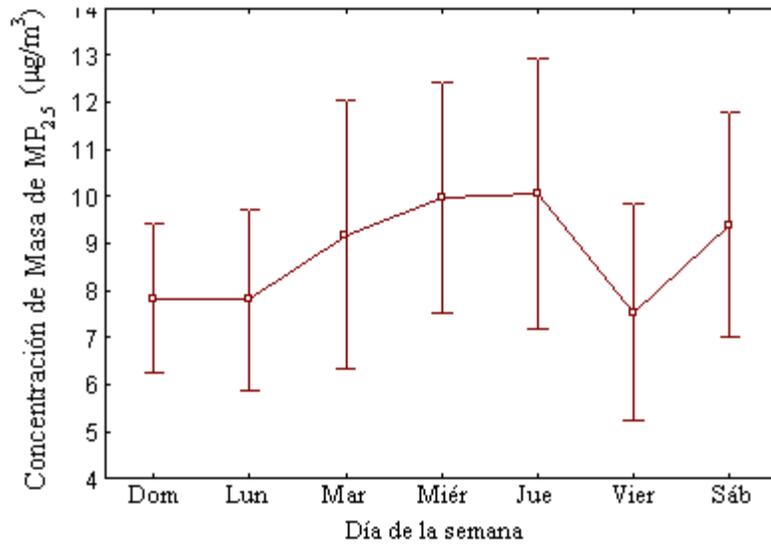
**Figura 4-24. Variación de la concentración de MP<sub>2.5</sub> en la estación IBWC por día**



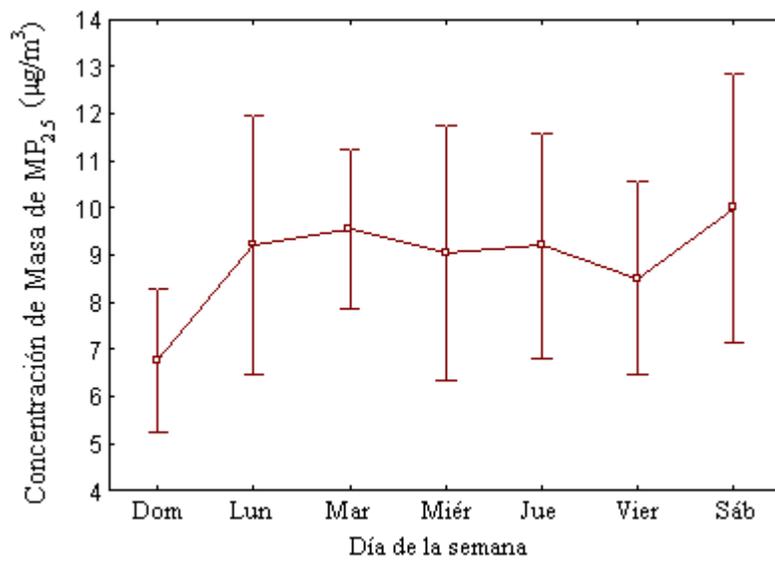
**Figura 4-25. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación RIVER por día**



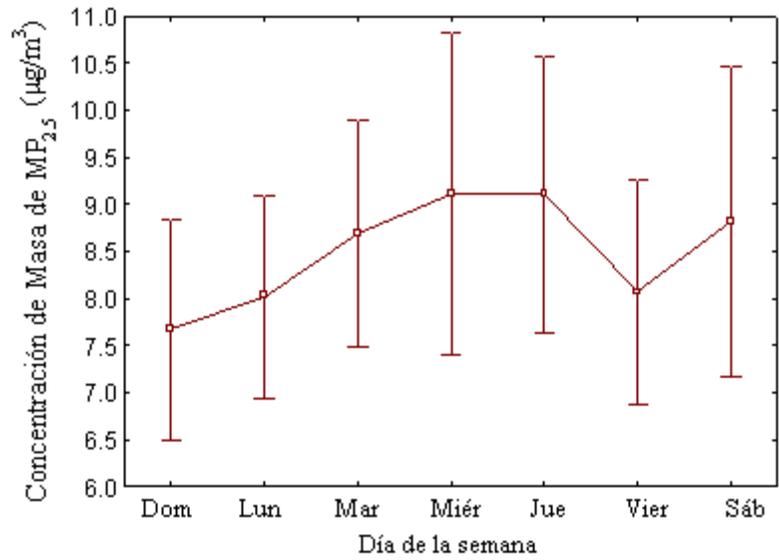
**Figura 4-26. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación SPRT por día**



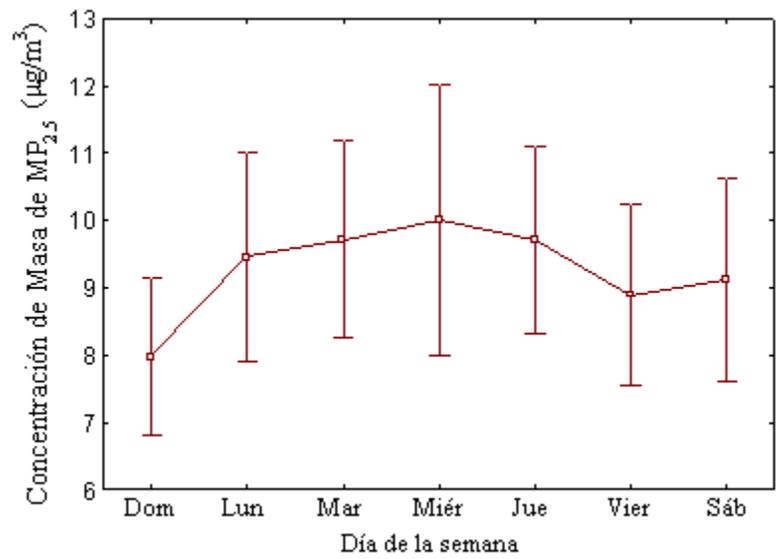
**Figura 4-27. Variación de la concentración de MP<sub>2.5</sub> en la estación SUN por día**



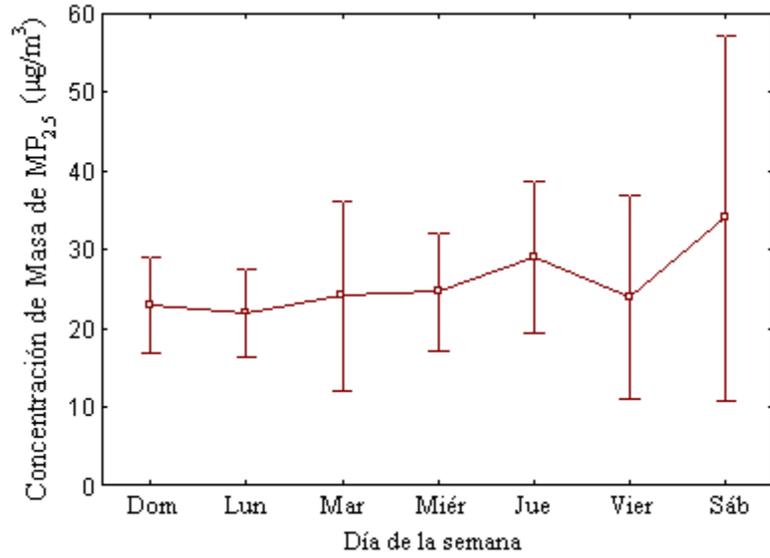
**Figura 4-28. Variación de la concentración de MP<sub>2.5</sub> en la estación VICT por día**



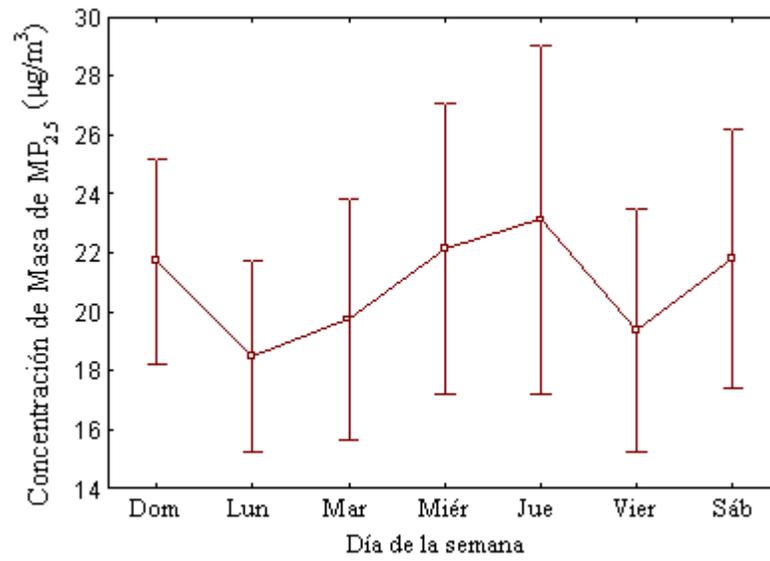
**Figura 4-29. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación C12 por día**



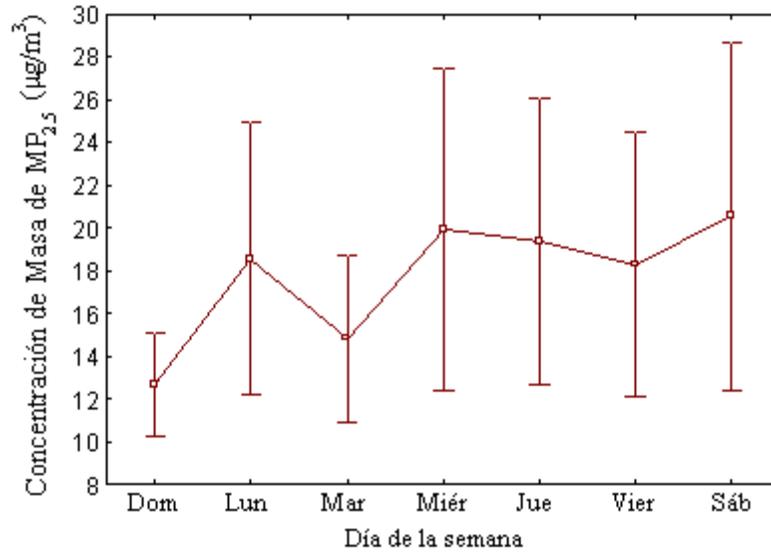
**Figura 4-30. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación C41 por día**



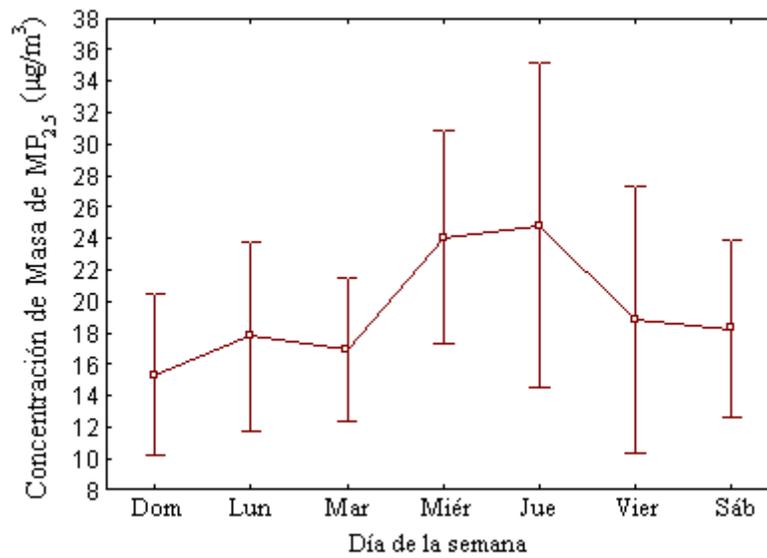
**Figura 4-31. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación MX-16 por día**



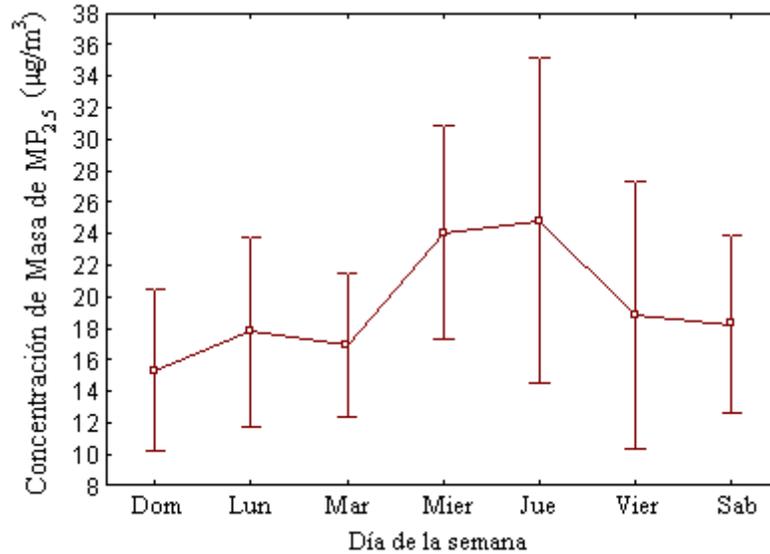
**Figura 4-32. Variación de la concentración de  $MP_{2.5}$  en la estación MX-17 por día**



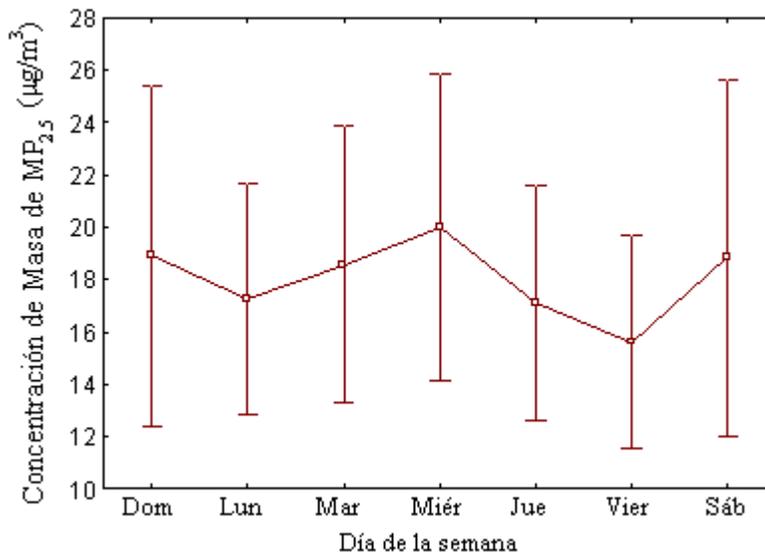
**Figura 4-33. Variación de la concentración de MP<sub>2.5</sub> en la estación MX-18 por día**



**Figura 4-34. Variación de la concentración de MP<sub>2.5</sub> en la estación MX-19 por día**



**Figura 4-35. Variación de la concentración de MP<sub>2.5</sub> en la estación MX-20 por día**



**Figura 4-36. Variación de la concentración de MP<sub>2.5</sub> en la estación MX-21 por día**

## 4.2 Correlaciones de Espacio y de Tiempo

El objetivo de esta sección es determinar las características de espacio y tiempo del MP<sub>2.5</sub> usando un conjunto de herramientas de análisis de datos. Estas incluyen:

- El coeficiente de correlación de Spearman ( $r$ ) para determinar si existe un perfil temporal uniforme (las concentraciones aumentan o disminuyen simultáneamente). La correlación de Pearson refleja el grado de relación lineal entre dos variables. Los valores altos de los coeficientes de correlación ( $>0.70$ ) indican una relación lineal positiva entre las variables, mientras que los valores negativos sugieren una fuerte anti-correlación.

- La diferencia absoluta ( $\Delta C$ ) y relativa ( $\% \Delta C / Ref$ ) de las diferencias de concentración pares de 24 horas entre dos estaciones. La diferencia relativa fue calculada como el porcentaje de la diferencia de concentración absoluta a la concentración de la estación referente. Para las necesidades del estudio, utilizamos la estación 6ZG como referencia en cuanto a las sustancias tóxicas en el aire por su ubicación central respecto a las demás estaciones. Los valores positivos indican que las concentraciones tóxicas en el aire de cada estación fueron más altas que las medidas en la estación 6ZG. La mediana de las diferencias absolutas y relativas proporcionaron una indicación de diferencias sistemáticas entre las estaciones, considerando que la variación entre una estación y otra fue cuantificada usando la desviación estándar.
- El coeficiente de divergencia (COD) fue utilizado para evaluar la homogeneidad espacial de las mediciones con respecto a los niveles de concentración. El COD fue estimado de la siguiente manera:

$$COD = \sqrt{\frac{1}{p} \cdot \sum_{i=1}^p \left( \frac{C_{ij} - C_{ik}}{C_{ij} + C_{ik}} \right)^2}$$

donde  $p$  es el número total de mediciones pares, además  $C_{ij}$  y  $C_{ik}$  son las concentraciones medidas en la estación de referencia y en las de comparación en el  $i$ -ésimo día, respectivamente. El COD fue calculado utilizando concentraciones de 1 hora y de 24 horas en la estación 6ZG para los valores de referencia. Los valores del COD varían de 0 a 1, mientras más se acerquen a la unidad los valores del COD, indica mayor fuerza en la variación espacial.

La Tabla 4-1 muestra el coeficiente de correlación de las mediciones de  $MP_{2.5}$  24-hrs entre las estaciones en Sunland Park en Nuevo México, El Paso en Texas y Ciudad Juárez en México. Correlaciones más marcadas ( $>0.55$ ) se observaron entre las estaciones en Nuevo México y Texas. Para las estaciones en México, las correlaciones fueron menores mientras la estación MX-19 mostró correlaciones negativas con todas las otras estaciones. Estas correlaciones indicaron que las concentraciones de  $MP_{2.5}$  siguieron perfiles diarios comparables en Nuevo México y Texas, probablemente influenciadas por las emisiones de tráfico, mientras una variación más fuerte de estación a estación fue observada para México.

La Tabla 4-2 muestra la distribución (mediana y desviación estándar) de las diferencias absoluta ( $\Delta C$ ) y relativa ( $\% \Delta C / Ref$ ), entre las mediciones de todas las estaciones durante 24 horas. En general, la mediana de los valores de  $\Delta C$  fueron bajos para las estaciones en Nuevo México y El Paso, indicando un patrón espacial bastante uniforme día con día. Los valores altos de  $\Delta C$   $MP_{2.5}$  durante 24 horas fueron asociadas con las estaciones en México comúnmente, donde los niveles de  $MP_{2.5}$  fueron substancialmente mayores a los medidos en Nuevo México y Texas. El patrón espacial uniforme de las concentraciones de  $MP_{2.5}$  diarias fue demostrado por los valores bajos del COD para las estaciones de Nuevo México y Texas, mientras que en Ciudad Juárez se observó una variación espacial muy fuerte. El análisis de la variación entre estación y estación de concentraciones de  $MP_{2.5}$ , fue expresada como la desviación estándar de los valores de  $\% \Delta C / Ref$ , confirmó las diferencias entre las estaciones en Nuevo México/Texas y México.

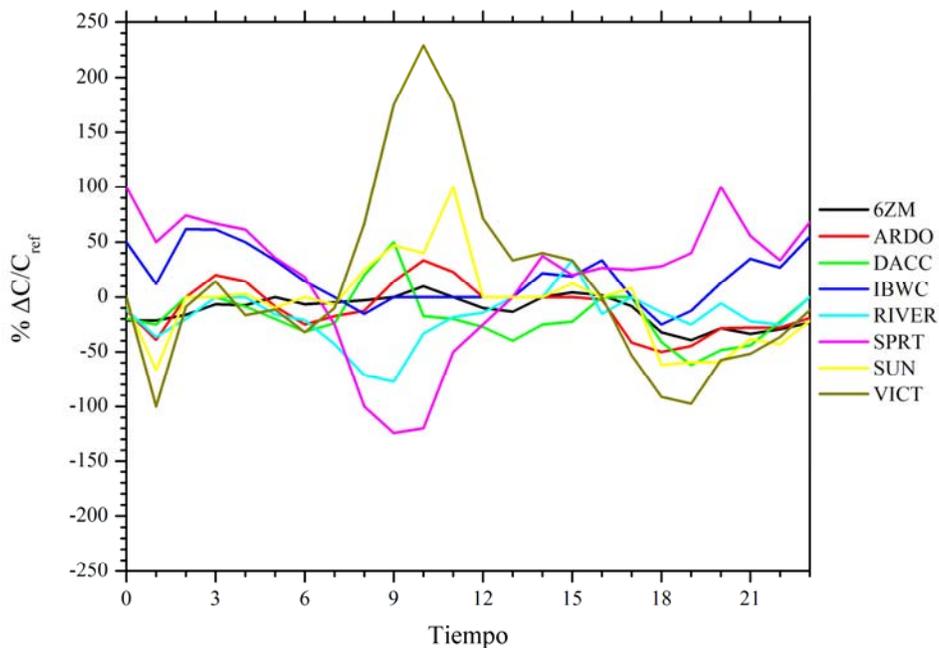
Para examinar más a fondo las diferencias temporales entre las estaciones, trazamos la diferencia relativa en función de la hora del día para cada estación (Figura 4-37 – Figura 4-39). Hay perfiles únicos para cada estación (o grupo de estaciones). Más específicamente, para las estaciones en El Paso, Texas, la diferencia relativa incrementó durante la mañana y al final de la tarde probablemente debido al incremento en las emisiones del tráfico. Un punto máximo fue observado también temprano en la mañana para la estación VICT. Sin embargo, para las estaciones restantes en Nuevo México, las diferencias relativas fueron muy variables y dependientes de la estación con 2 puntos máximos (para la mayoría de las estaciones) temprano en la mañana (6:00-7:00) y al final de la tarde (18:00-22:00) los cuales pueden estar relacionados a cambios meteorológicos y circulación del aire. Para las estaciones en Ciudad Juárez, México, las diferencias relativas también fueron muy variables pero más altas durante el medio día y disminuyeron durante la tarde y la noche. El tráfico durante el medio día también puede ser responsable del incremento en los niveles de México (en comparación con las estaciones de Nuevo México).

**Tabla 4-1. Coeficientes de correlación de Spearman durante todas las horas**

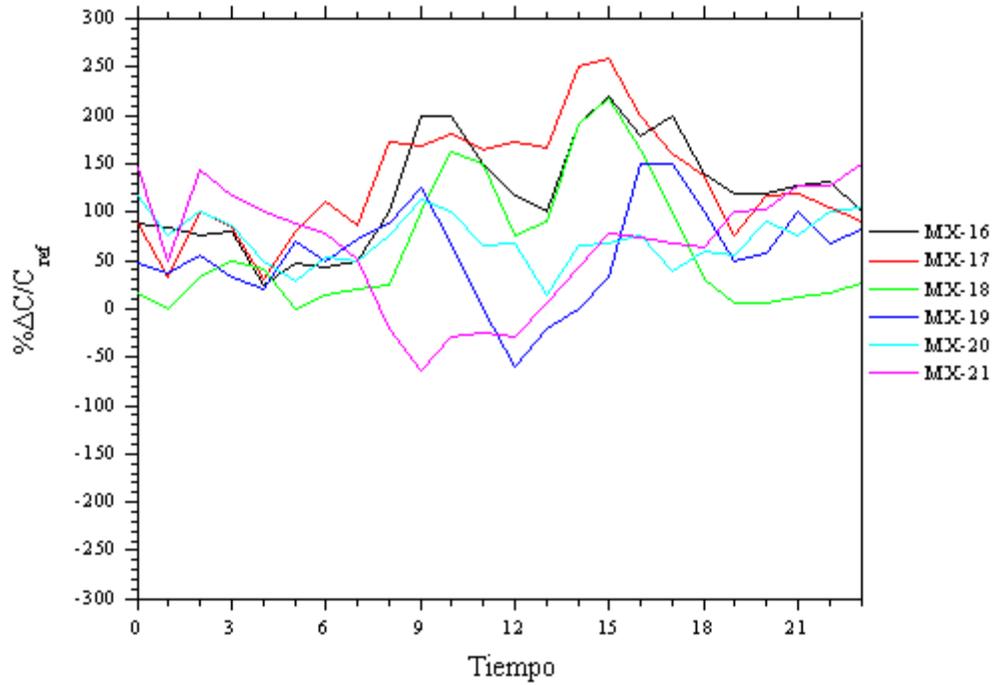
	<b>6ZM</b>	<b>ARDO</b>	<b>DACC</b>	<b>IBWC</b>	<b>RIVER</b>	<b>SPRT</b>	<b>SUN</b>	<b>VICT</b>	<b>C12</b>	<b>C41</b>	<b>MX-16</b>	<b>MX-17</b>	<b>MX-18</b>	<b>MX-19</b>	<b>MX-20</b>	<b>MX-21</b>
6ZG	0.65	0.69	0.47	0.83	0.53	0.83	0.58	0.85	0.83	0.74	0.54	0.65	0.44	-0.02	0.63	0.47
6ZM		0.68	0.72	0.69	0.72	0.55	0.84	0.57	0.69	0.66	0.61	0.46	0.74	-0.14	0.33	0.29
ARDO			0.67	0.77	0.64	0.68	0.78	0.75	0.78	0.62	0.48	0.46	0.55	-0.08	0.46	0.39
DACC				0.61	0.75	0.50	0.71	0.47	0.57	0.46	0.56	0.42	0.50	-0.14	0.46	0.39
IBWC					0.61	0.78	0.71	0.81	0.85	0.76	0.54	0.67	0.48	-0.04	0.65	0.52
RIVER						0.49	0.70	0.55	0.62	0.51	0.56	0.53	0.61	-0.10	0.35	0.25
SPRT							0.58	0.77	0.76	0.71	0.50	0.63	0.41	0.02	0.56	0.59
SUN								0.58	0.67	0.60	0.56	0.51	0.66	-0.08	0.44	0.32
VICT									0.82	0.71	0.26	0.62	0.26	0.17	0.59	0.41
C12										0.79	0.65	0.64	0.54	-0.05	0.56	0.55
C41											0.57	0.53	0.49	-0.12	0.48	0.51
MX-16												0.59	0.53	-0.10	0.30	0.31
MX-17													0.47	0.10	0.53	0.42
MX-18														-0.14	0.34	0.23
MX-19															0.02	0.01
MX-20																0.40

**Tabla 4-2. Diferencias (mediana and  $\sigma$ ) absoluta ( $\Delta C$ ) y relativa ( $\% \Delta C / \text{Fixed}$ ) de las concentraciones diarias de  $MP_{2.5}$  y la media del COD**

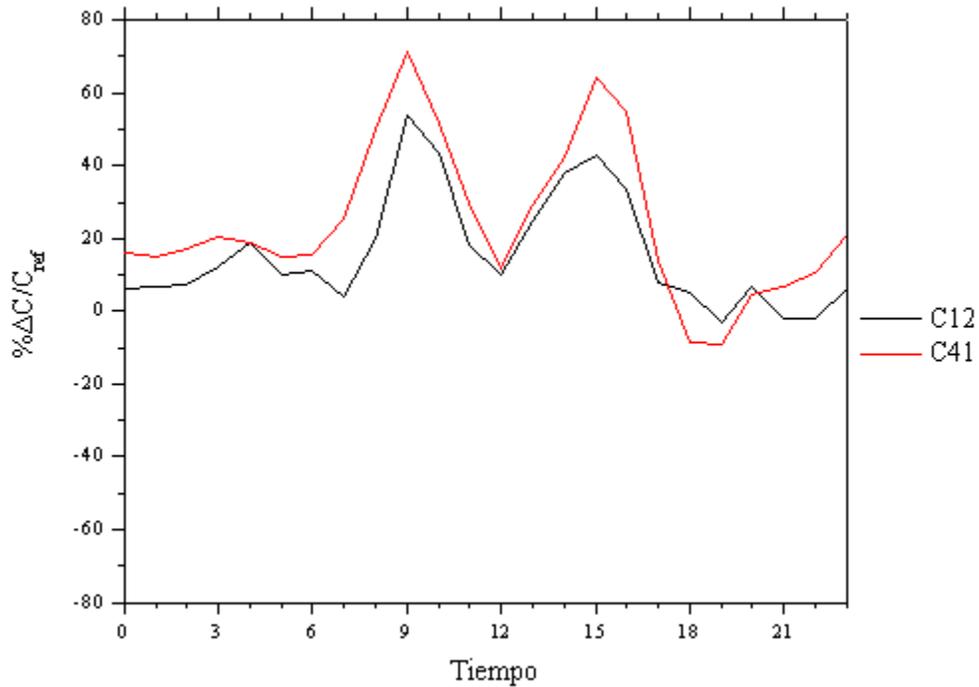
	Mediana $\Delta C$	$\sigma$ ( $\Delta C$ )	Mediana $\% \Delta C / C_{ref}$	$\sigma$ ( $\% \Delta C$ )	COD
6ZM	-1.7	4.6	-25.9	38.4	0.283
ARDO	-1.4	6.5	-18.7	100.3	0.230
DACC	-1.6	6.7	-17	64.2	0.270
IBWC	1.3	3.8	15.6	50.5	0.195
RIVER	-1.8	6.7	-19	86.5	0.290
SPRT	1.8	4	23.3	95.6	0.214
SUN	-0.9	5.2	-12	56.8	0.249
VICT	-0.8	2.7	-10.5	32.7	0.148
C12	-0.6	3.6	-7.4	43.5	0.179
C41	0.5	4.2	5.3	51.3	0.204
MX-16	9.9	18	150	249	0.483
MX-17	10.5	7.6	153.2	150.5	0.446
MX-18	4.9	11.2	68.1	166.6	0.369
MX-19	6.9	14.5	94.2	407.5	0.457
MX-20	6.9	13.1	94.8	170.5	0.387
MX-21	5.7	10.3	87.5	351	0.378



**Figura 4-37. Perfil diario de la diferencia relativa para las estaciones de la red E-BAM en Estados Unidos (Estación de referencia: 6ZG)**



**Figura 4-38. Perfil diario de la diferencia relativa para las estaciones en Ciudad Juárez, México (Estación de referencia: 6ZG)**



**Figura 4-39. Perfil diario de la diferencia relativa para las estaciones en El Paso, Texas (Estación de referencia: 6ZG)**

### **4.3 Análisis por Episodio**

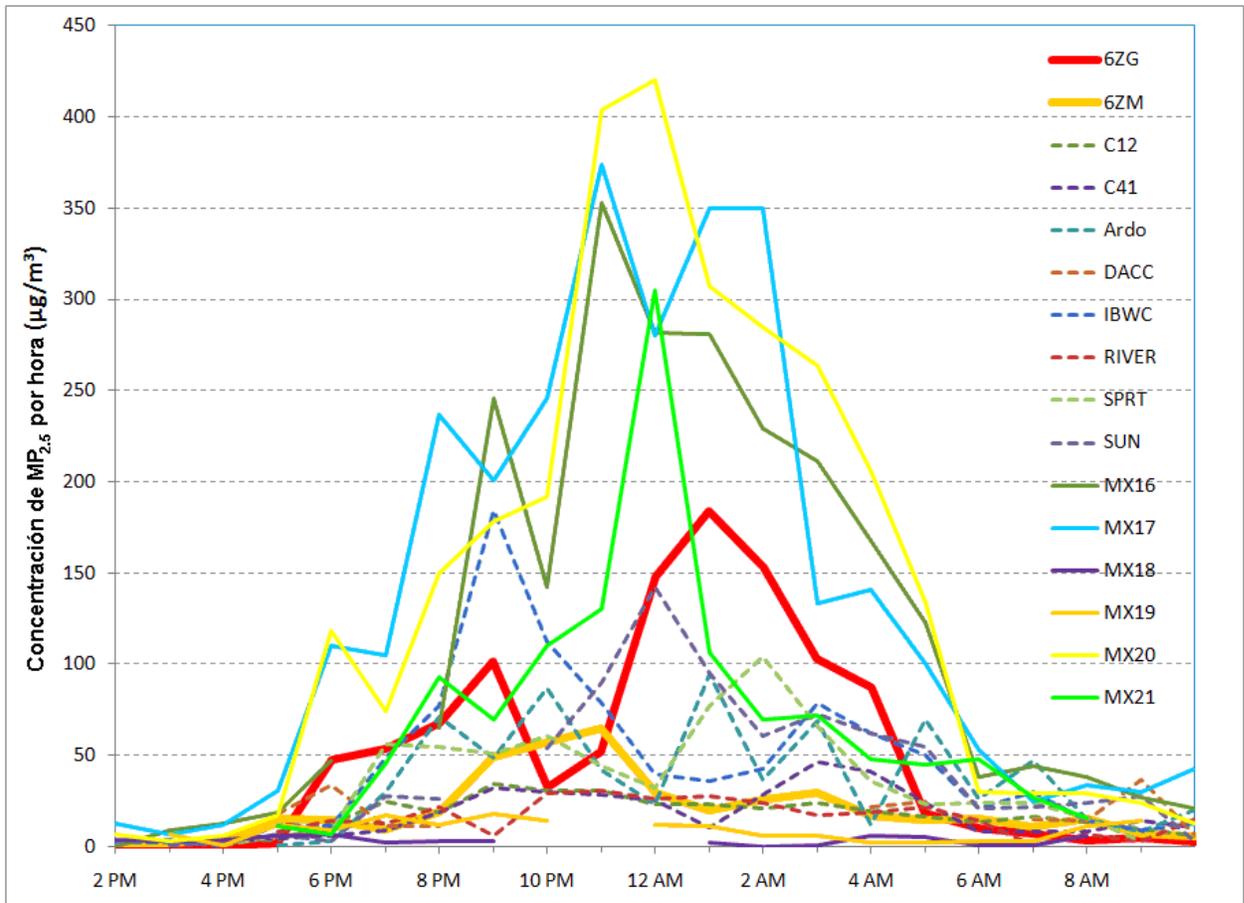
Los episodios fueron elegidos en base a su severidad de concentración de  $MP_{2.5}$  cada hora y a su duración. Fueron elegidos seis casos que representan episodios a lo largo del estudio de otoño (noviembre 11, 2008) a primavera (marzo 2, 2009). El análisis en esta sección proporciona detalles de las concentraciones de  $MP_{2.5}$  por hora en cada estación, como varían de una estación a otra espacialmente y todos los detalles sobre los patrones climáticos que influyeron en el episodio. Se proporcionan tablas del  $MP_{2.5}$  por hora antes y durante el episodio.

Los mapas espaciales mostrando las concentraciones por hora, muestran que en varias ocasiones, la estación MX-17 aparece con el inicio del primer punto máximo antes que otras estaciones. Sin embargo esto no ocurre en todos los casos. La estación MX-17 esta localizada en medio de una red de caminos sin pavimentar y rodeada de casas residenciales. Basado en fotos aéreas, la distribución de la tierra es similar a la de la estación MX-16 solo que al este.

Trayectorias tardías con una resolución de una hora y regresando tres horas fueron generadas para Sunland Park para cada uno de los seis casos en intervalos de una hora utilizando el modelo de trayectoria NOAA HYSPLIT versión 4.9 (Draxler and Hess, 1995; 1997). Generamos trayectorias tardías utilizando el Modelo de 12 kilómetros de América del Norte (MAN) así como de los vientos de la estación 6ZG como datos. A partir de alturas de 10 m sobre el nivel del mar. El tiempo de residencia, definido como la fracción del tiempo total de las trayectorias inversas que la masa de aire estuvo sobre una zona dada de latitud 0.05 grados por longitud 0.05 grados o alrededor de 900 por 900 metros fue calculado. La altura de la mezcla fue calculada utilizando el modelo HYSPLIT para cada hora del estudio. Las mezclas de alturas se basaron en los perfiles del modelo vertical de 12-km MAN de temperatura potencial.

#### **4.3.1 Episodio 1: Año Nuevo, 31 de diciembre 2008**

El episodio de Año Nuevo ocurrió durante la noche del 31 de diciembre de 2008 y 1 de enero de 2009. Este episodio fue el más largo en duración y registró las concentraciones más altas de  $MP_{2.5}$  de todos los episodios del estudio en la estación Sunland Park City Yard.



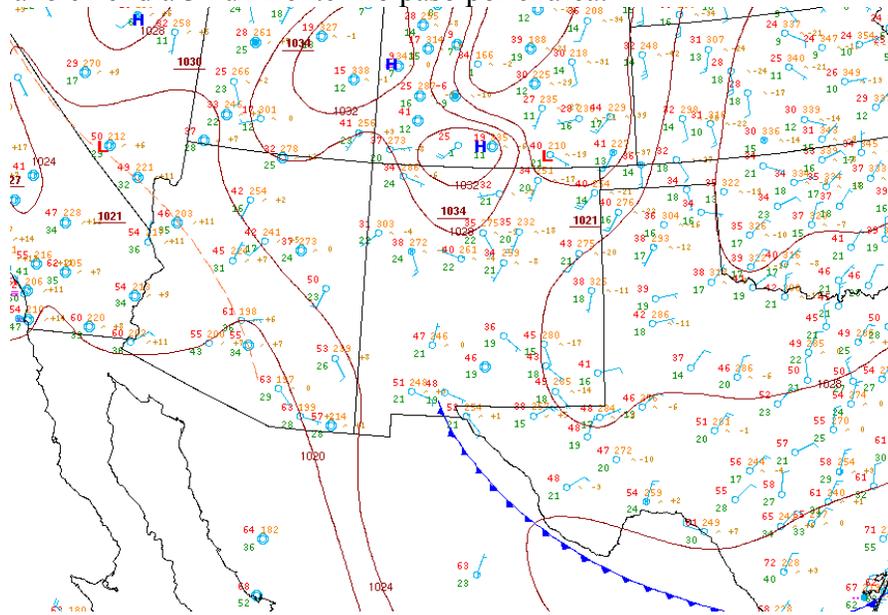
**Figura 4-40. El episodio de Año Nuevo mostrando el nivel de  $MP_{2.5}$  en todas las estaciones. Las dos estaciones DANM se muestran con líneas gruesas. Las estaciones E-BAM de Nuevo México se muestran con líneas punteadas y las estaciones E-BAM mexicanas son líneas delgadas continuas.**

La tabla a continuación proporciona los valores de concentración durante el episodio con las horas que concuerdan con los criterios de concentración del umbral de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en negritas.

**Tabla 4-3. Concentraciones de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de Año Nuevo**

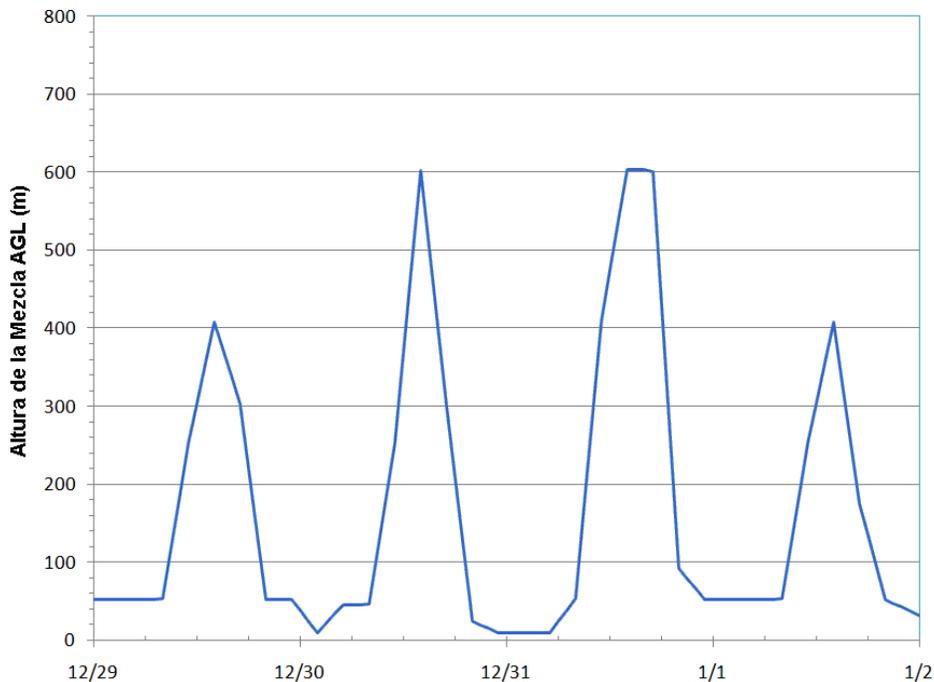
Time (MST)	6ZG	6ZM	C12	C41	Ardo	DACC	IBWC	RIVER	SPRT	SUN	VICT	MX16	MX17	MX18	MX19	MX20	MX21
12/31/2008 17:00	2	15	4	4	1	18	12	8	6	7		19	31	6	12	17	11
12/31/2008 18:00	47	15	12	6	3	34	11	14	8	3		47	110	7	9	118	7
12/31/2008 19:00	53	10	25	9	30	11	49	13	56	28			105	2	17	74	46
12/31/2008 20:00	67	19	19	19	71	11	77	22	55	26		65	237	3	12	150	93
12/31/2008 21:00	101	49	34	32	49		184	6	51			246	201	3	18	178	70
12/31/2008 22:00	32	57	30	30	87		112	29	61	54		142	246		14	192	110
12/31/2008 23:00	52	65	30	29	42		79	31	44	90		353	374	8		404	130
1/1/2009 0:00	148	29	24	26	23		40	26	32	142		282	280		12	420	305
1/1/2009 1:00	184	20	23	11	94		36	28	77	95		281	350	2	11	307	106
1/1/2009 2:00	153	26	21	28	37	63	43	24	104	61		229	350	0	6	285	70
1/1/2009 3:00	103	29	24	46	69		79	17	66	73		211	133	1	6	264	72
1/1/2009 4:00	87	17	20	41	12	22	62	19	36	62		168	141	6	2	206	48
1/1/2009 5:00	18	15	17	24	70	25	50	22	23	55		123	100	5	2	134	45
1/1/2009 6:00	10	15	13	8	26		21	14	24	21		38	53	1	3	30	48
1/1/2009 7:00	7	11	16	8	47	15	30	1	24	22		44	25	1	3	29	27

Más temprano en el día 31 un frente frío pasó por el área.



**Figura 4-41. Mapa de clima a las 11 am (18UTC) el 31 de diciembre de 2008.**

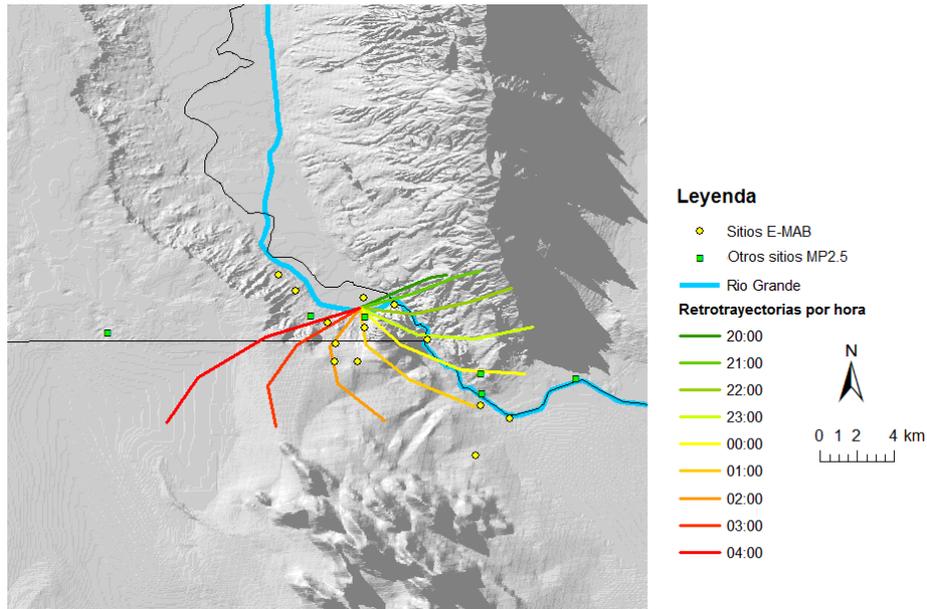
Las alturas de la mezcla durante este tiempo muestran un ciclo diurno típico con alturas bajas durante la mañana y la noche y un punto máximo en la tarde. Las alturas fueron bajas en la noche del 31 de diciembre alcanzando un mínimo de 52 metros a la media noche. Durante el día las alturas subieron a 600 metros el 30 y 31.



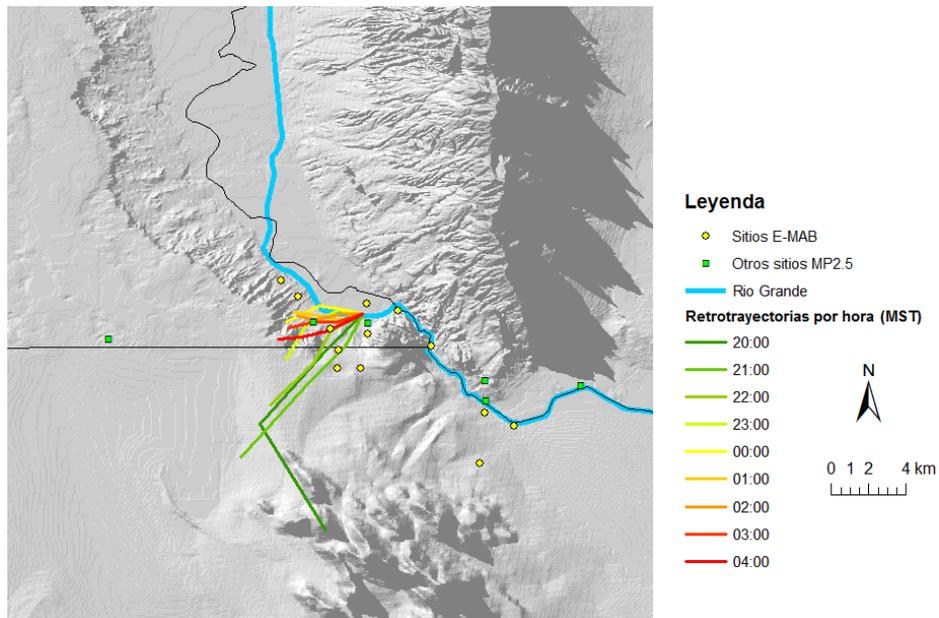
**Figura 4-42. Alturas de la mezcla en Sunland Park del modelo MAN-12km**

Las retro trayectorias basadas en el modelo MAN revelaron vientos del Este al principio del episodio con un cambio gradual en los vientos hacia el Sur en las primeras horas de la

mañana. Las retrotrayectorias basadas en los vientos de una sola estación (6ZG) indican un flujo del Oeste al Suroeste en el viento a lo largo del episodio. La figura a continuación muestra las retrotrayectorias generadas cada hora a partir de las 8 pm del 31 de diciembre hasta las 4 am del 1 de enero.

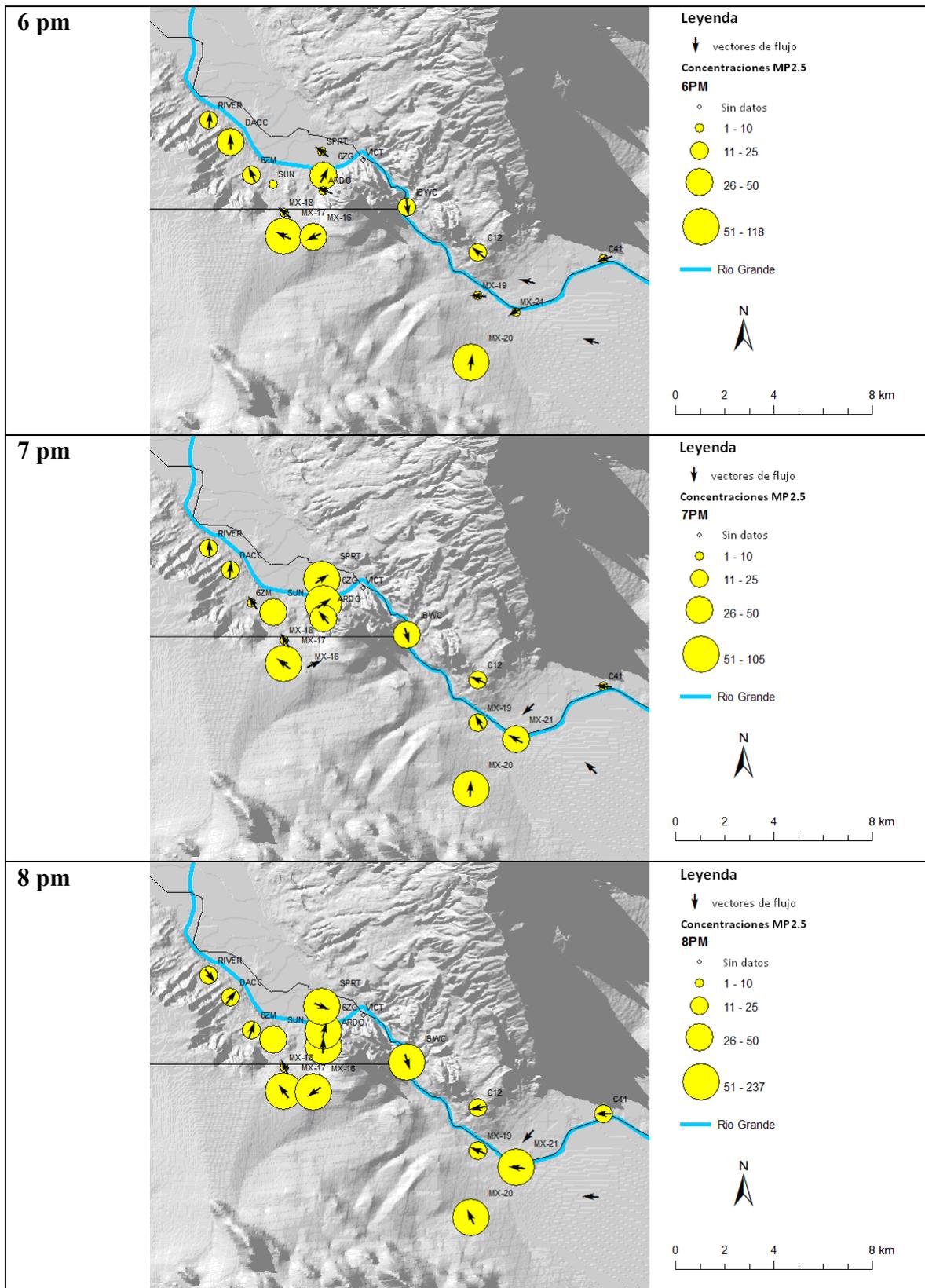


**Figura 4-43. Retrotrayectorias generadas durante el episodio usando el modelo 12-km MAN**

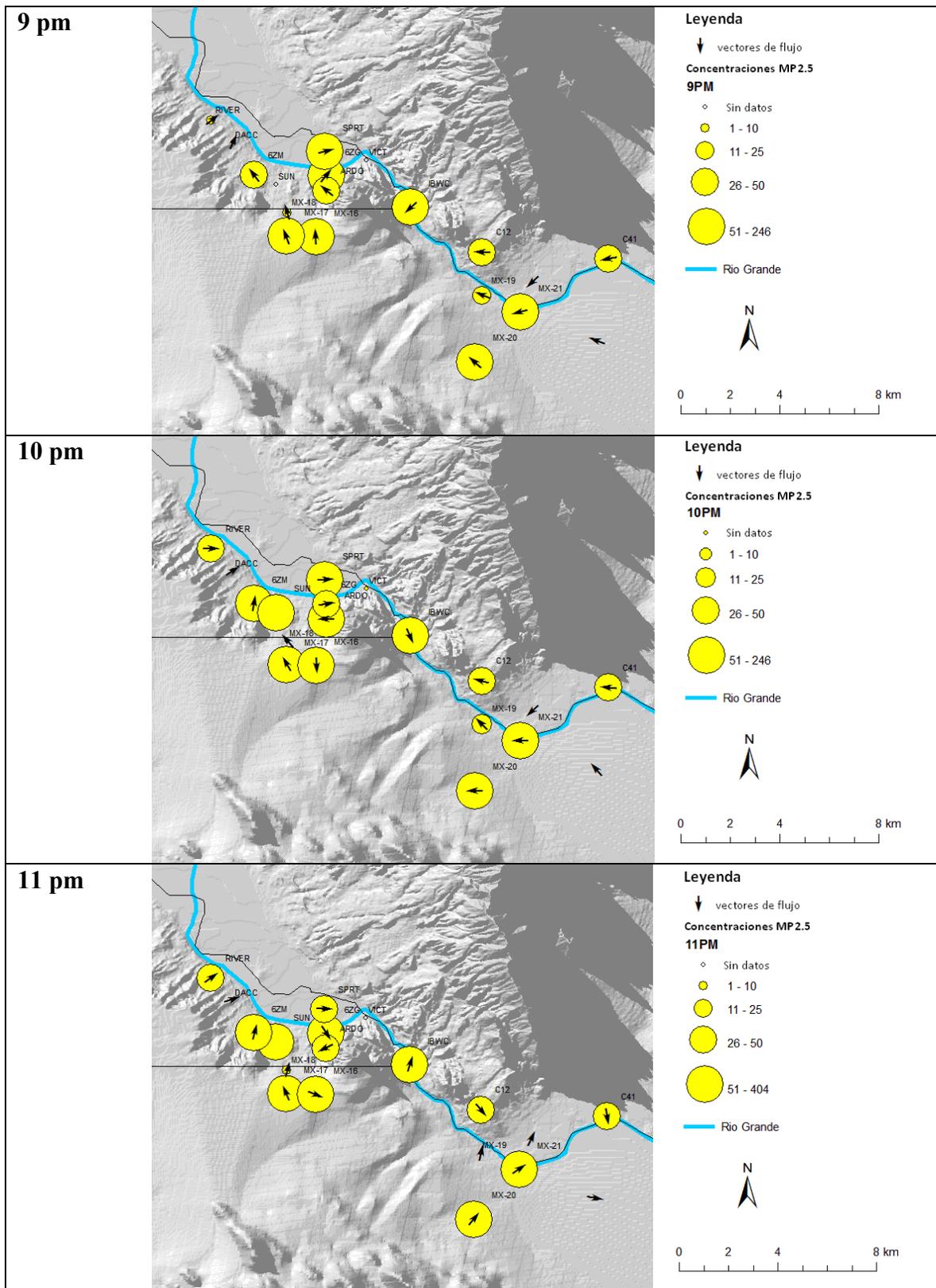


**Figura 4-44. Retrotrayectorias generadas durante el episodio usando los datos de la estación 6ZG por hora**

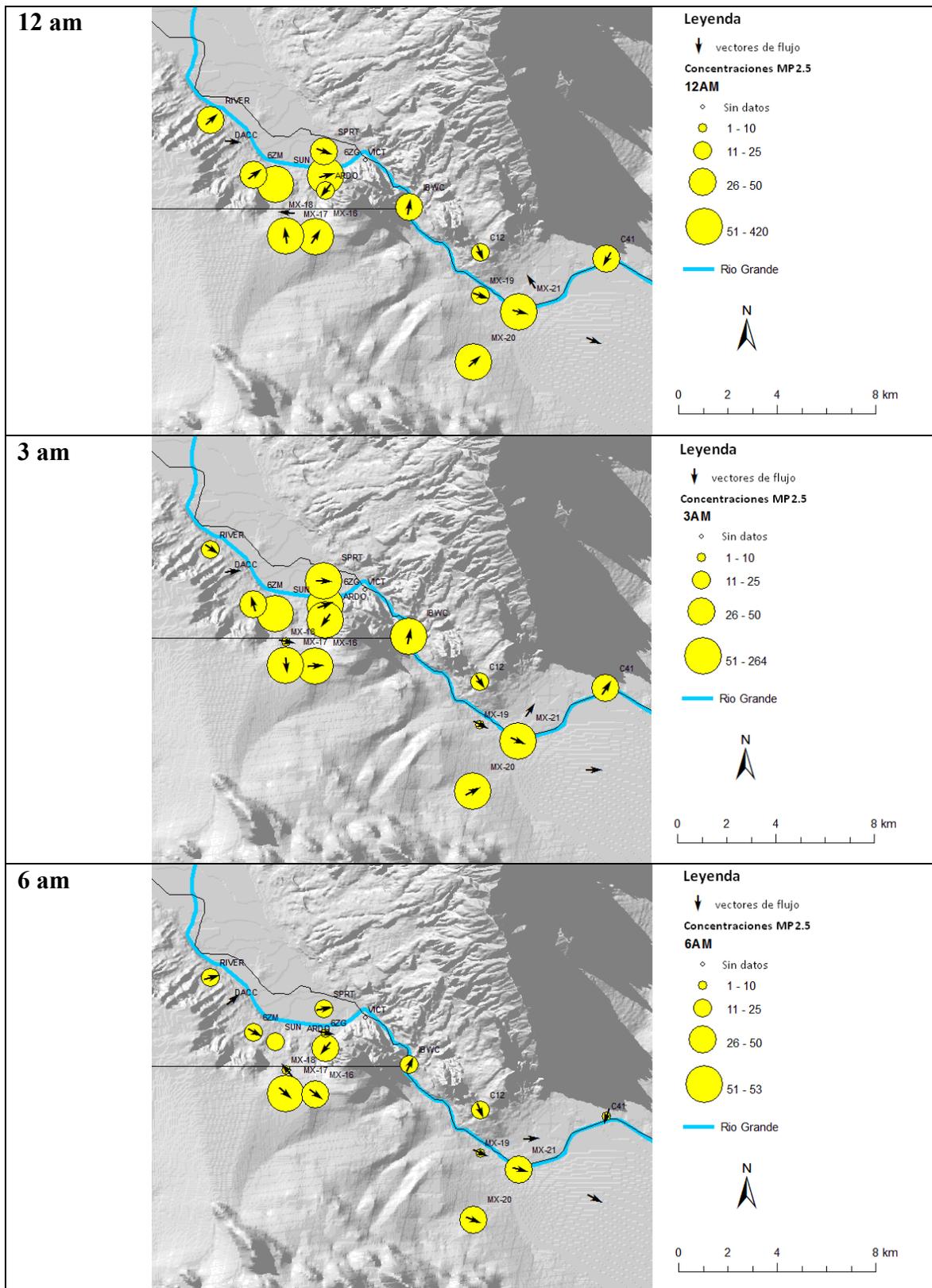
La siguiente figura muestra gráficos espaciales de  $MP_{2.5}$  por hora durante el episodio.



**Figura 4-45. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 6 a 8 pm**



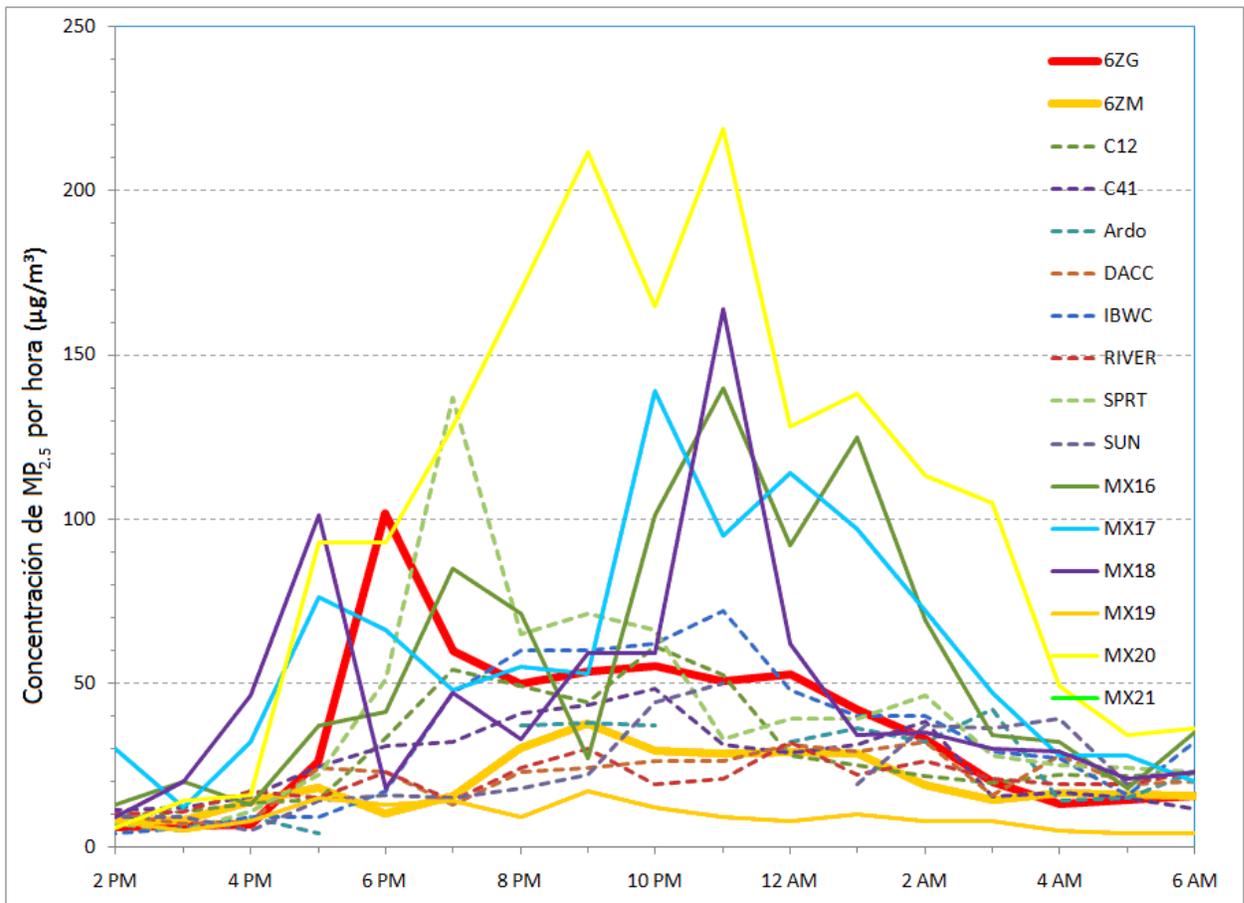
**Figura 4-46. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 9 a 11 pm**



**Figura 4-47. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 12 a 6 am**

### 4.3.2 Episodio 2: 22 de Noviembre de 2008

Este episodio ocurrió durante la noche del 22 de noviembre de 2008 y continuó a la mañana siguiente. La hora pico de  $MP_{2.5}$  en la estación Sunland Park City Yard se produjo a las 6 pm y se mantuvo arriba de los  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante toda la tarde hasta después de la media noche. Este fue uno de los episodios más largos observados durante el estudio y fue de 9 horas de largo. La estación MX-20 registró  $MP_{2.5}$  muy altos durante este episodio, alcanzando concentraciones por hora excediendo  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante dos horas. Es notable que la estación Desert View Elementary 6ZM también registró concentraciones altas cerca de los  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en esta fecha.

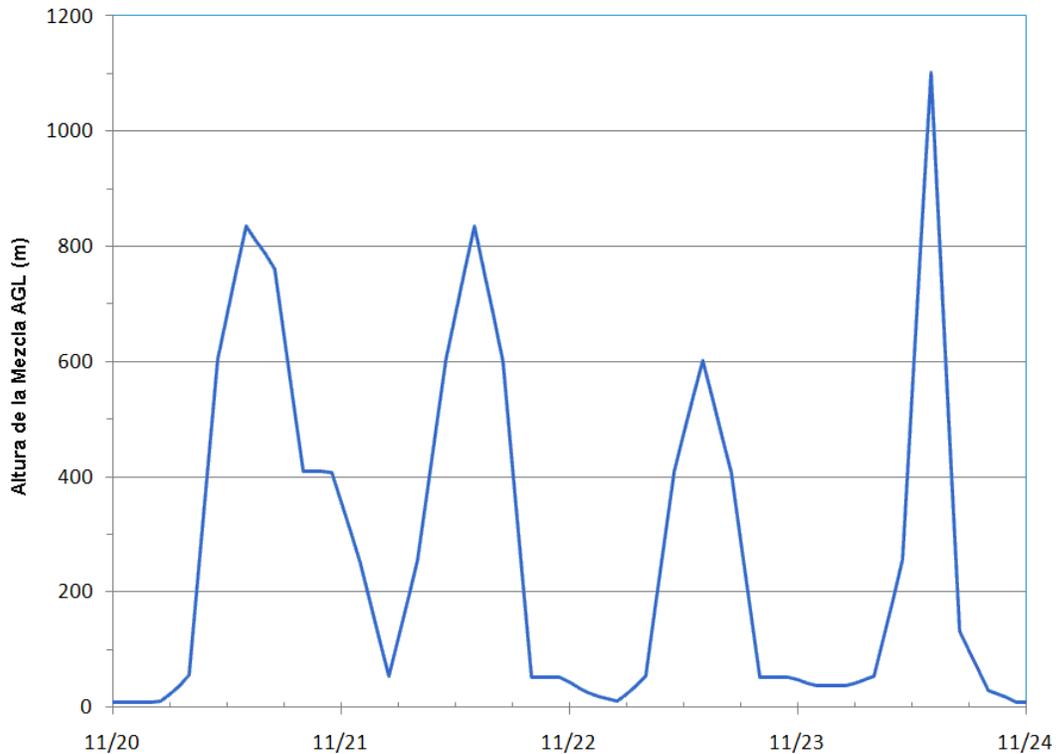


**Figura 4-48. El episodio de noviembre mostrando el nivel de  $MP_{2.5}$  por hora. Las dos estaciones DANM se muestran con líneas gruesas. Las estaciones E-BAM de Nuevo México se muestran con líneas punteadas y las estaciones E-BAM Mexicanas son líneas delgadas continuas.**

**Tabla 4-4. Datos del MP<sub>2.5</sub> durante el episodio del 22 de noviembre de 2008**

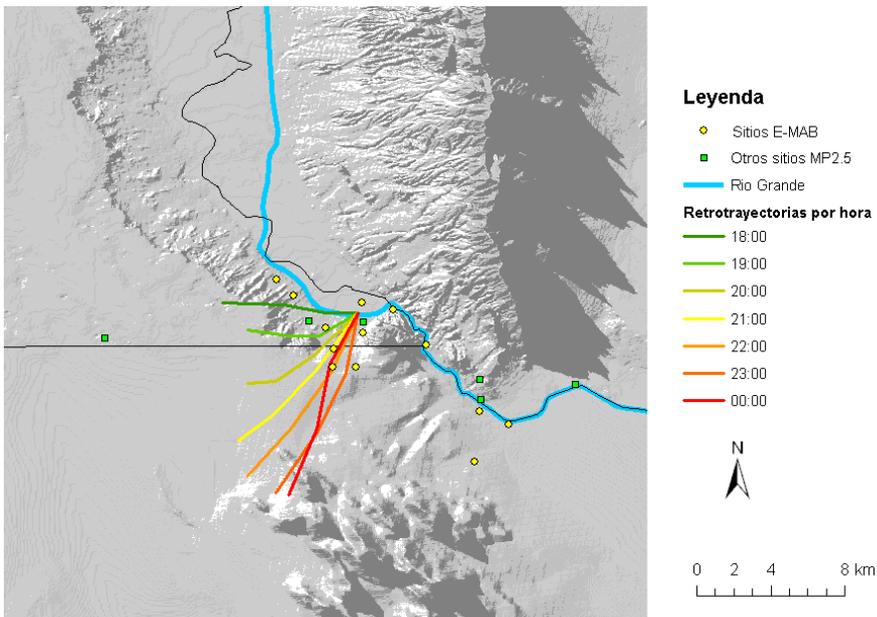
Time (MST)	6ZG	6ZM	C12	C41	Ardo	DACC	IBWC	RIVER	SPRT	SUN	VICT	MX16	MX17	MX18	MX19	MX20	MX21
11/22/2008 11:00	8	11	7	9	17	17	13		14	35		29	60	34	6	12	
11/22/2008 12:00	7	10	13	11	16		10	10	13	19		24	2	20	3	19	
11/22/2008 13:00	7	9	9	12	9		12	12	0	13	11	20	29	19		17	
11/22/2008 14:00	6	8	9	11			10	4	10	7	9	13	30	9	8	6	
11/22/2008 15:00	6	8	11	12			7	6	11	5	9	20	12	20	5	14	
11/22/2008 16:00	7	14	13	15	9	8	9	17	11	5		13	32	46	8	16	
11/22/2008 17:00	26	18	15	25	4	24	9	15	22	14		37	76	101	15	93	
11/22/2008 18:00	102	10	33	31		23	17	23	51	16		41	66	18	13	93	
11/22/2008 19:00	60	16	54	32		13	47	14	137	15		85	48	47	14	128	
11/22/2008 20:00	50	30	49	41	37	23	60	24	65	18		71	55	33	9	170	
11/22/2008 21:00	54	38	44	43	38	24	60	30	71	22		27	53	59	17	212	
11/22/2008 22:00	55	29	61	48	37	26	62	19	66	44		101	139	59	12	165	
11/22/2008 23:00	51	28	52	31		26	72	21	33	50		140	95	164	9	219	
11/23/2008 0:00	53	29	28	29	32	31	48	32	39			92	114	62	8	128	
11/23/2008 1:00	42	28	25	31	36	29	40	22	39	19		125	97	34	10	138	
11/23/2008 2:00	33	19	22	38	32	32	40	26	46	37		69	72	35	8	113	
11/23/2008 3:00	20	14	20	15	42	16	29	21	28	36		34	47	30	8	105	
11/23/2008 4:00	13	17	22	17	14	28	27	19	25	39		32	28	29	5	49	
11/23/2008 5:00	14	16	22	15	15	19	16	19	24	19		18	28	21	4	34	
11/23/2008 6:00	16	16	22	12	23	20	32	23	23			35	20	23	4	36	
11/23/2008 7:00	22	16	23	25	27	23	35	16	28	7		38	73	38	9	65	
11/23/2008 8:00	18	21	26	22	17	18	11	8	13	21		37	74	2	12	46	
11/23/2008 9:00	16	17	24	11	26	20	16	26	13	16		37	60	17		47	
11/23/2008 10:00	11	14	23	22	0	22	22	18	12	32		43	58	28	7	43	
11/23/2008 11:00	4	5	6	15	19	18	20	14	7	28		31	30	23	0	57	

Las alturas de la mezcla fueron muy bajas en la mañana el día del episodio, alcanzando un mínimo de 10 metros a las 5 am del 22 de noviembre. Durante el día las alturas de la mezcla subió a no mas de alrededor de 600 metros para las 2 pm. Durante el episodio las alturas de la mezcla comenzaron en 288 m a las 6 pm y disminuyeron a 47 m para la media noche.

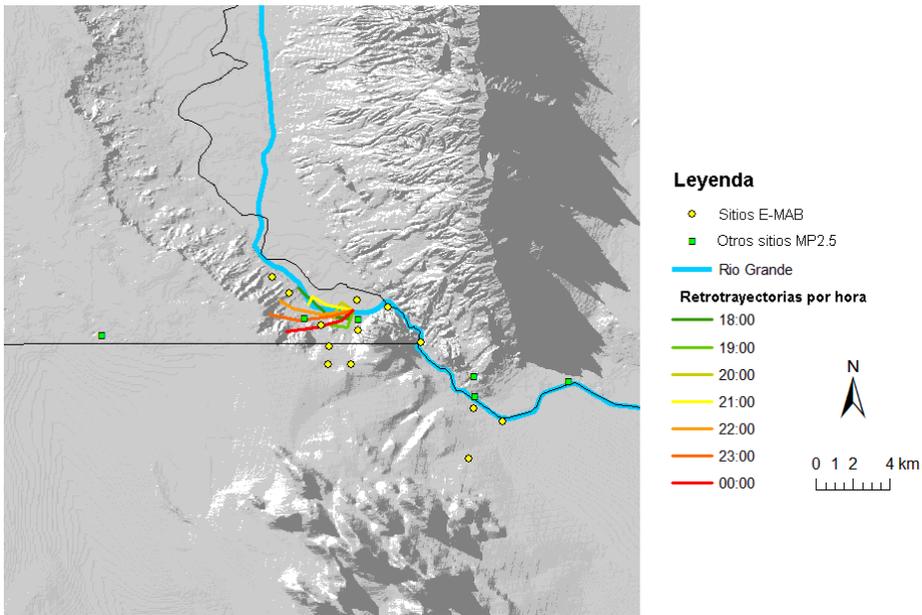


**Figura 4-49. Alturas de la mezcla durante el episodio de noviembre**

Las retrotrayectorias revelaron vientos del Este al principio del episodio con un cambio gradual hacia el Sur en las primeras horas de la mañana.

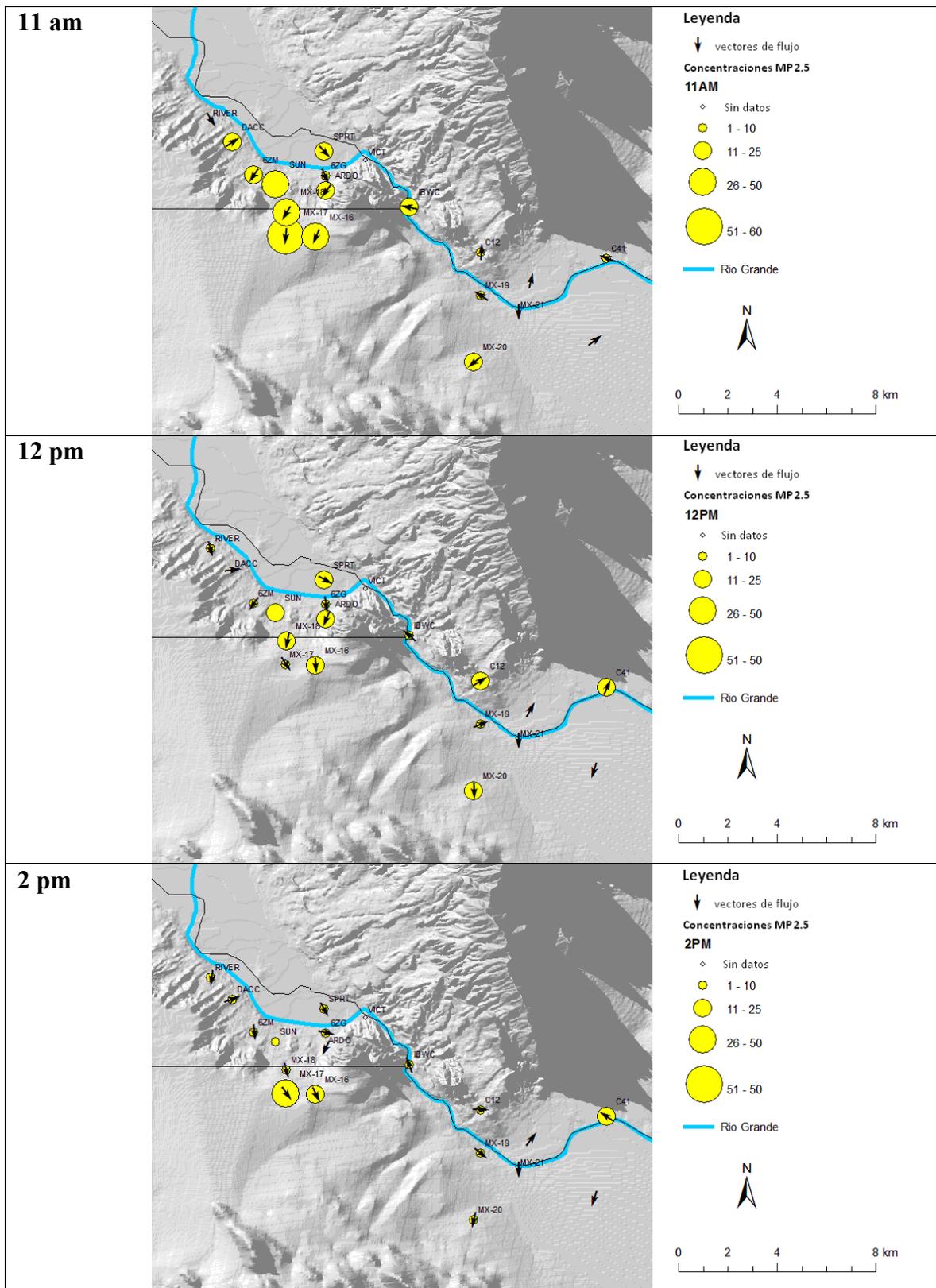


**Figura 4-50. Trayectorias durante éste episodio basado en el modelo 12-km MAN**

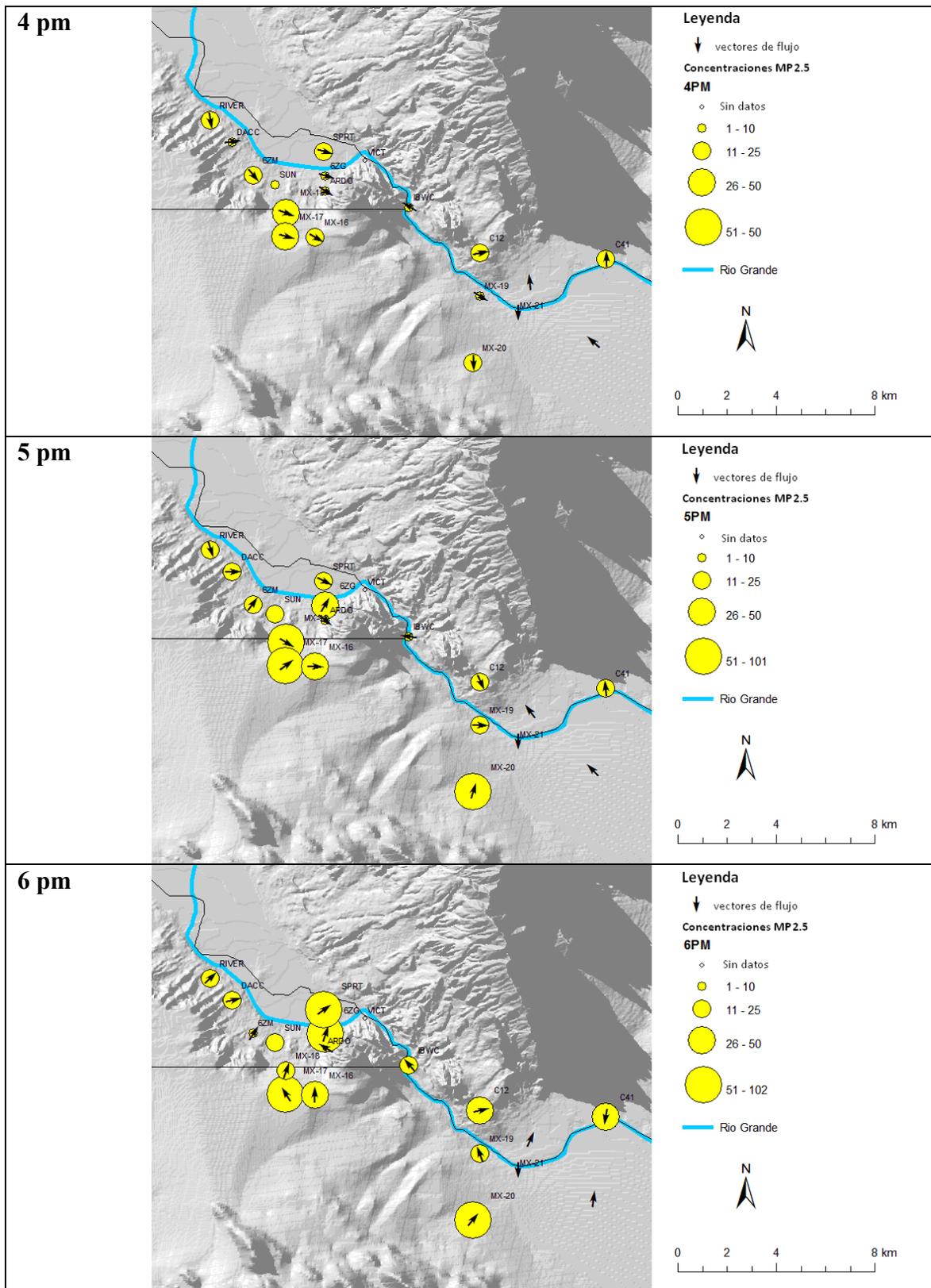


**Figura 4-51. Trayectorias durante éste episodio basado en lo vientos de la estación 6ZG**

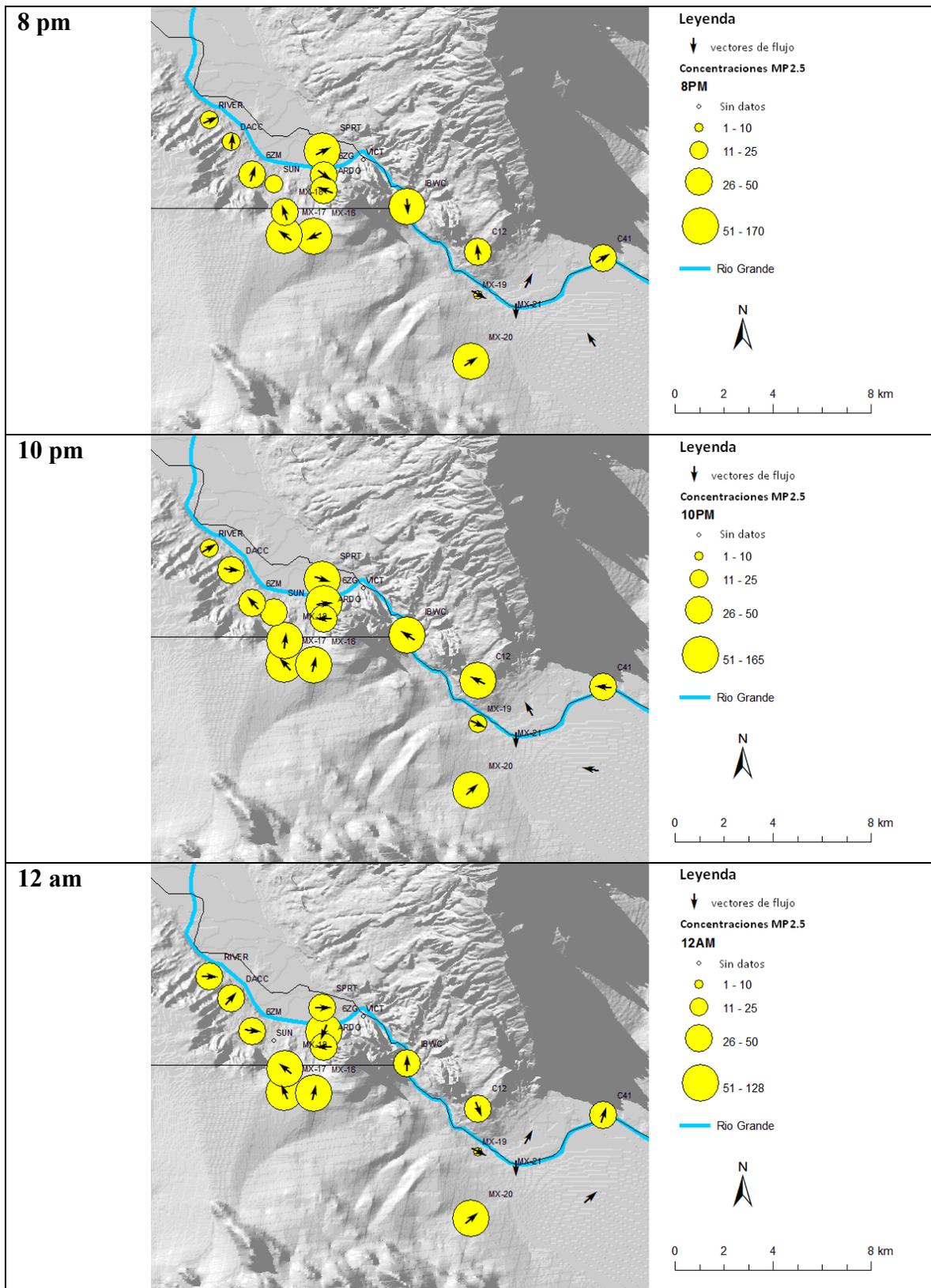
En la siguiente figura se muestran los gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio.



**Figura 4-52. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 11 am a 2 pm**



**Figura 4-53. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 4 pm a 6 pm**



**Figura 4-54. Gráficos espaciales de  $MP_{2.5}$  por hora durante el episodio de 8 pm a 12 am**

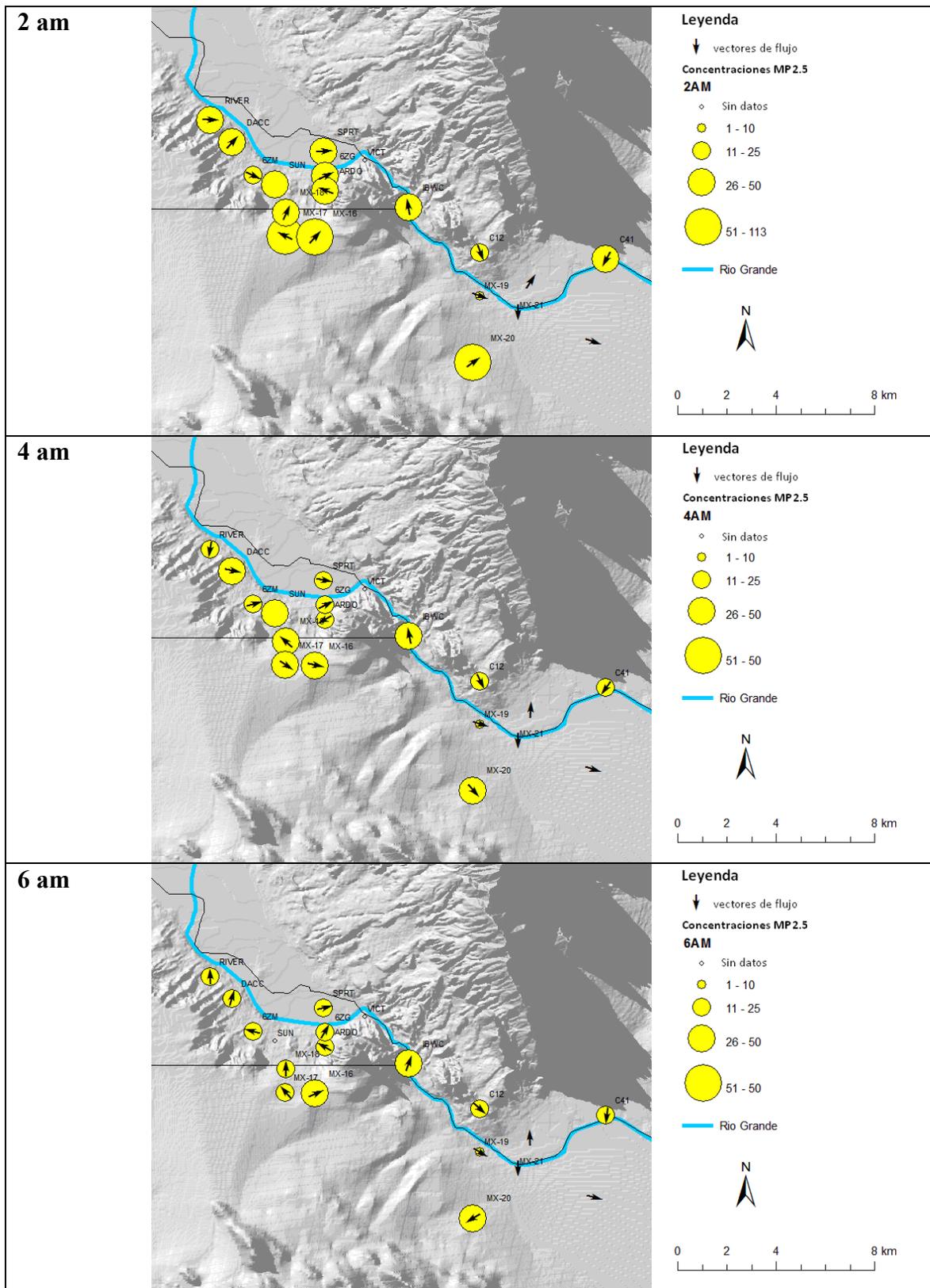
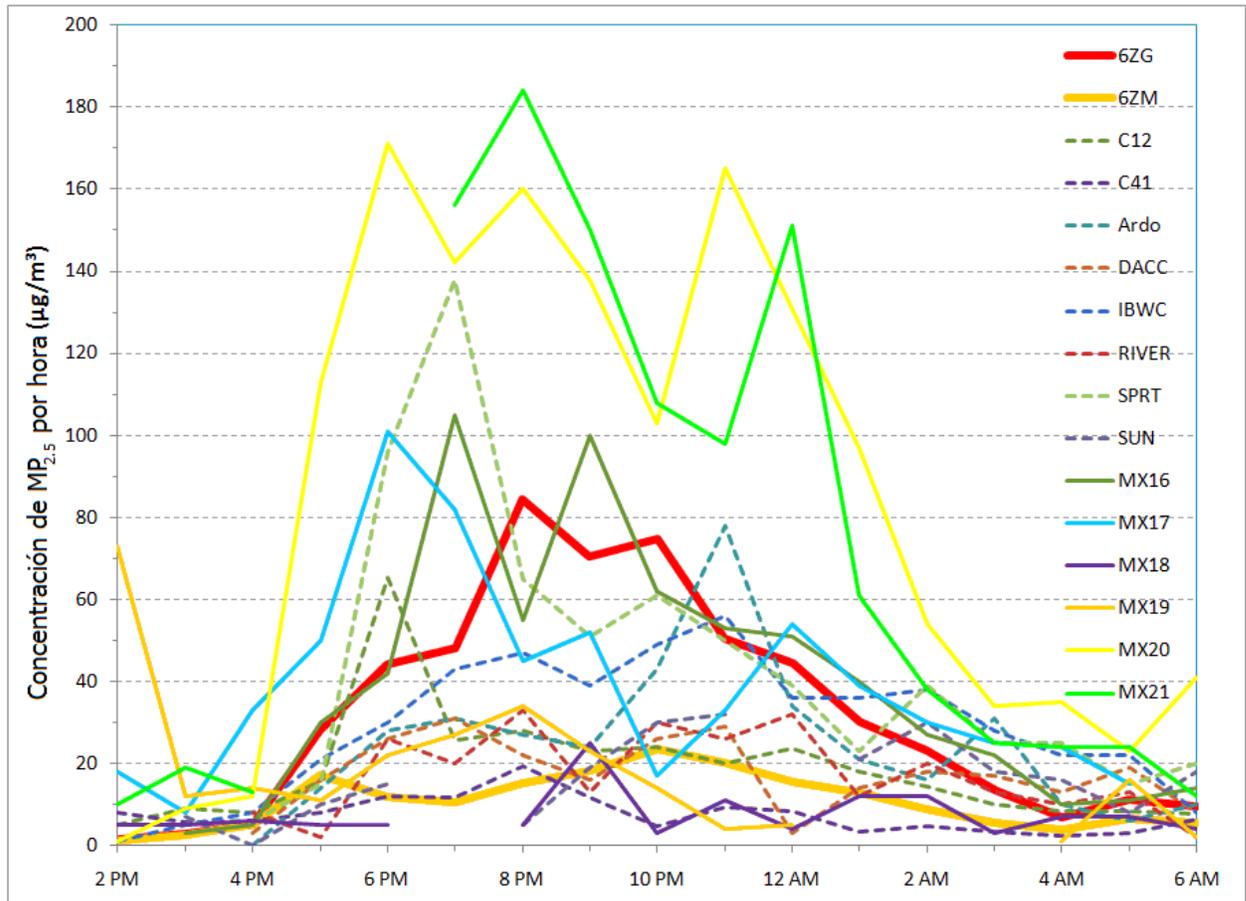


Figure 4-55. Gráficos espaciales de  $MP_{2.5}$  por hora durante el episodio de 2 am a 6 am

### 4.3.3 Episodio 3: 29 de diciembre de 2008

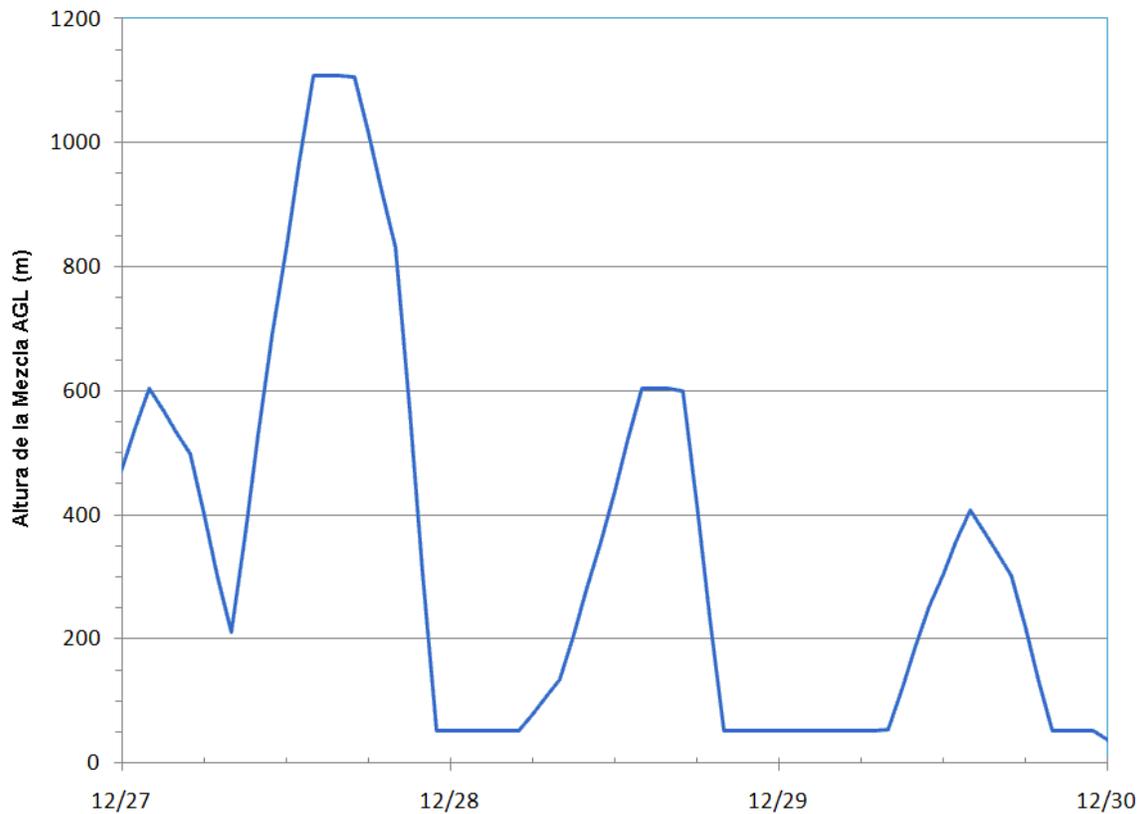
Este episodio ocurrió durante la noche del 29 de diciembre de 2008 y continuó a la mañana siguiente. La hora pico de  $MP_{2.5}$  en la estación de Sunland Park City Yard ocurrió a las 8 pm levantándose al nivel de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de 8 a 11 pm.



**Figura 4-56. Nivel de  $MP_{2.5}$  por hora durante el episodio del 29 de diciembre. Las dos estaciones DANM se muestran con líneas gruesas. Las estaciones E-BAM de Nuevo México se muestran con líneas punteadas y las estaciones E-BAM mexicanas son líneas delgadas continuas.**

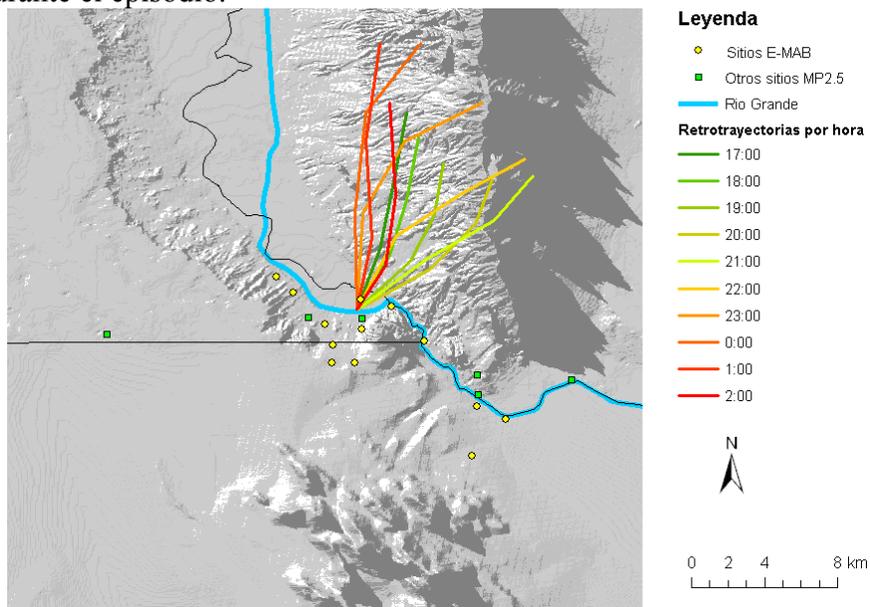
**Tabla 4-5 Concentraciones de MP<sub>2.5</sub> durante y después del episodio**

Fecha	Hora local	6ZG	6ZM	C12	C41	Ardo	DACC	IBWC	RIVER	SPRT	SUN	VICT	MX16	MX17	MX18	MX19	MX20	MX21
29/12/2008	12/29/2008 14:00	1	1	5	8			1	8	0				18	5	73	1	10
29/12/2008	12/29/2008 15:00	3	2	9	6			5			7		3	8	5	12	9	19
29/12/2008	12/29/2008 16:00	5	5	8	6	0	3	8	8	6	0		5	33	6	14	12	13
29/12/2008	12/29/2008 17:00	28	17	16	8	14	16	21	2	15	10		30	50	5	11	113	
29/12/2008	12/29/2008 18:00	44	12	65	12	28	26	30	26	96	15		42	101	5	22	171	
29/12/2008	12/29/2008 19:00	48	11	26	12	31	31	43	20	138			105	82		27	142	156
29/12/2008	12/29/2008 20:00	84	15	28	19	27	22	47	33	65	5		55	45	5	34	160	184
29/12/2008	12/29/2008 21:00	70	18	23	12	24	16	39	13	51	19		100	52	25	23	138	150
29/12/2008	12/29/2008 22:00	75	24	24	5	43	26	49	30	61	30		62	17	3	14	103	108
29/12/2008	12/29/2008 23:00	51	20	20	9	78	29	56	26	50	32		53	33	11	4	165	98
30/12/2008	12/30/2008 0:00	44	15	24	8	34	3	36	32	39			51	54	4	5	131	151
30/12/2008	12/30/2008 1:00	30	13	18	3	21	14	36	12	23	21		40	39	12		97	61
30/12/2008	12/30/2008 2:00	23	9	14	5	16	18	38	20	39	30		27	30	12	15	54	38
30/12/2008	12/30/2008 3:00	13	5	10	3	31	17	28	13	25	18		22	25	3		34	25
30/12/2008	12/30/2008 4:00	7	4	8	2	10	13	22	10	25	16		10	24	7	1	35	24
30/12/2008	12/30/2008 5:00	11	6	8	3	6	19	22	13	15	8		11	15	7	16	23	24
30/12/2008	12/30/2008 6:00	9	6	8	6	10	8	8	2	20	18		14		4	2	41	12

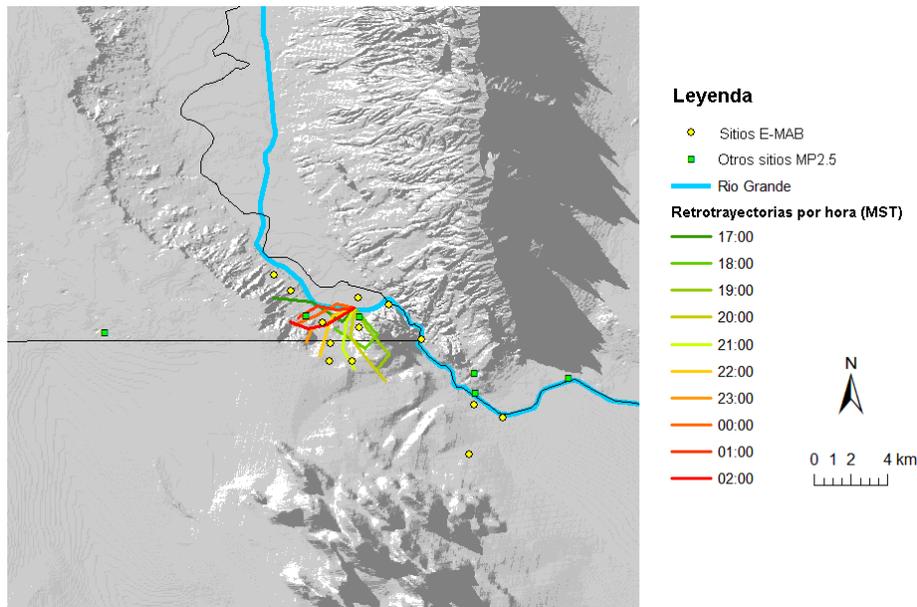


**Figura 4-57** Alturas de la mezcla antes y durante el episodio basado en el modelo 12-km MAN

Las retrotrayectorias del modelo 12-km MAN produjeron vientos del Norte al sector Noreste durante el episodio.

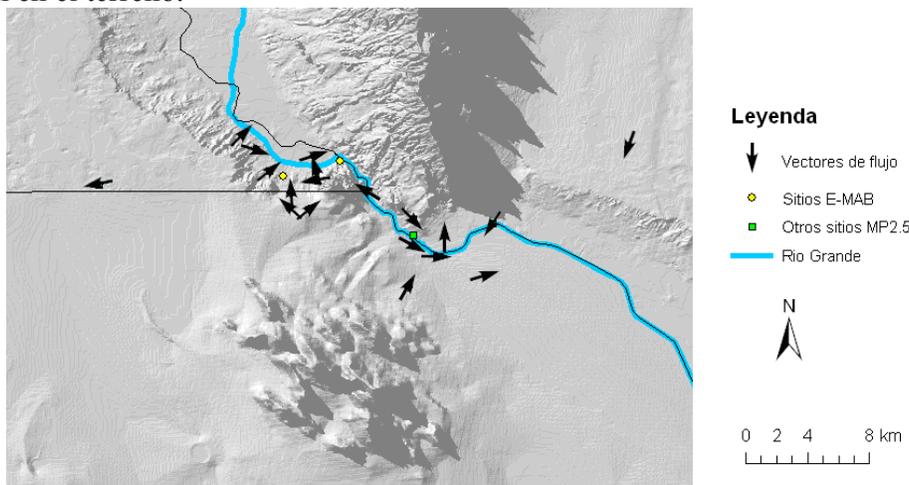


**Figure 4-58.** Retrotrayectorias durante el episodio del 29 de diciembre basado en el modelo 12-km MAN



**Figura 4-59. Retrotraectorias durante el episodio del 29 de diciembre basado en los vientos de la estación 6ZG**

Sin embargo, los vientos del modelo fueron considerablemente diferentes a los vientos observados en SPCY y las estaciones de monitoreo E-BAM. El mapa a continuación muestra por qué las trayectorias del modelo están en un error. Vientos cerca del valle del río fueron complicados y siguen el terreno, mientras que los vientos fuera de Paso del Norte tienen un flujo al noreste. Esta figura muestra los vectores del flujo del viento a las 8 pm e indica algunos vientos cuesta abajo, en donde el viento fluye de mayor a menor elevación en el terreno.

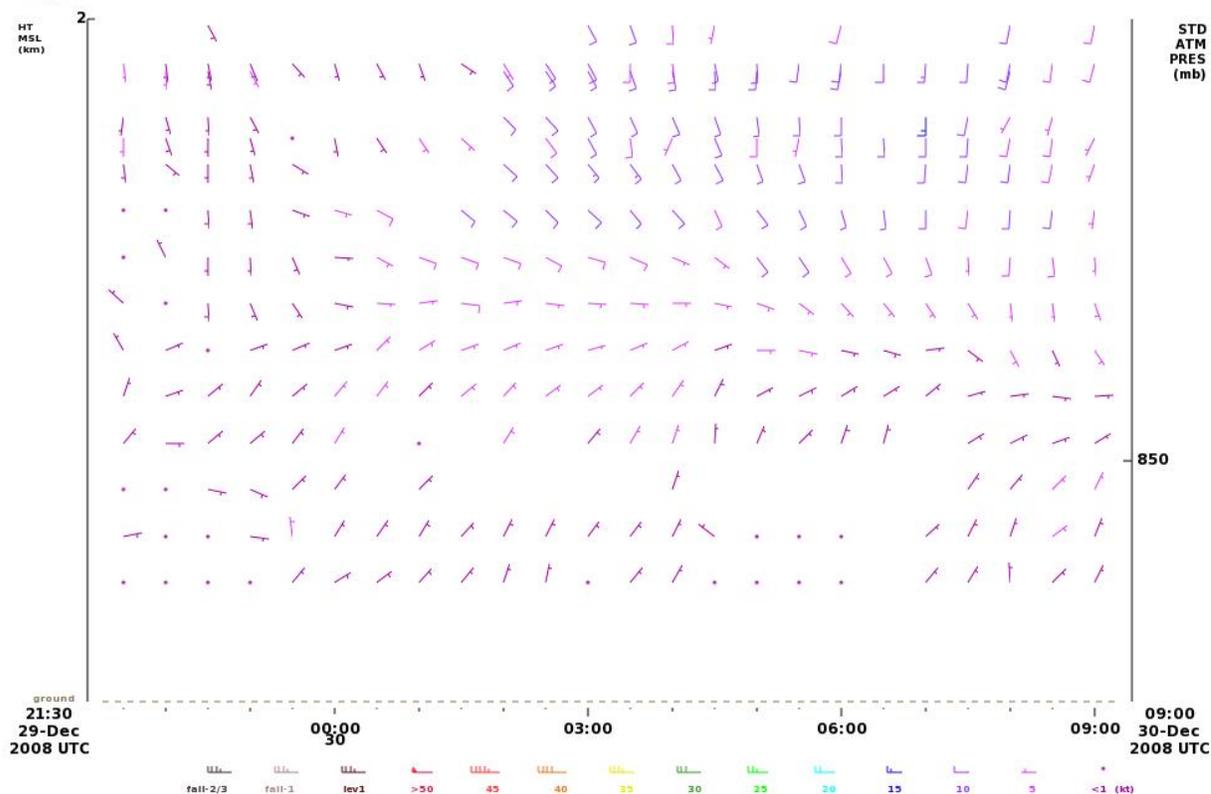


**Figura 4-60. Vectores de flujo a las 8 pm del 29 de diciembre de 2008**

Debido a los vientos bajos y los efectos del terreno, el modelo MAN capturó muy bien este episodio. El perfilador de radar de viento localizado en el campus de UTEP y colocado en la estación C12, no refleja los vientos cuesta abajo detallados en la superficie. El perfilador muestra vientos ligeros del Noreste en los niveles más bajos y vientos hacia el Sur arriba, a 1 km sobre la superficie.



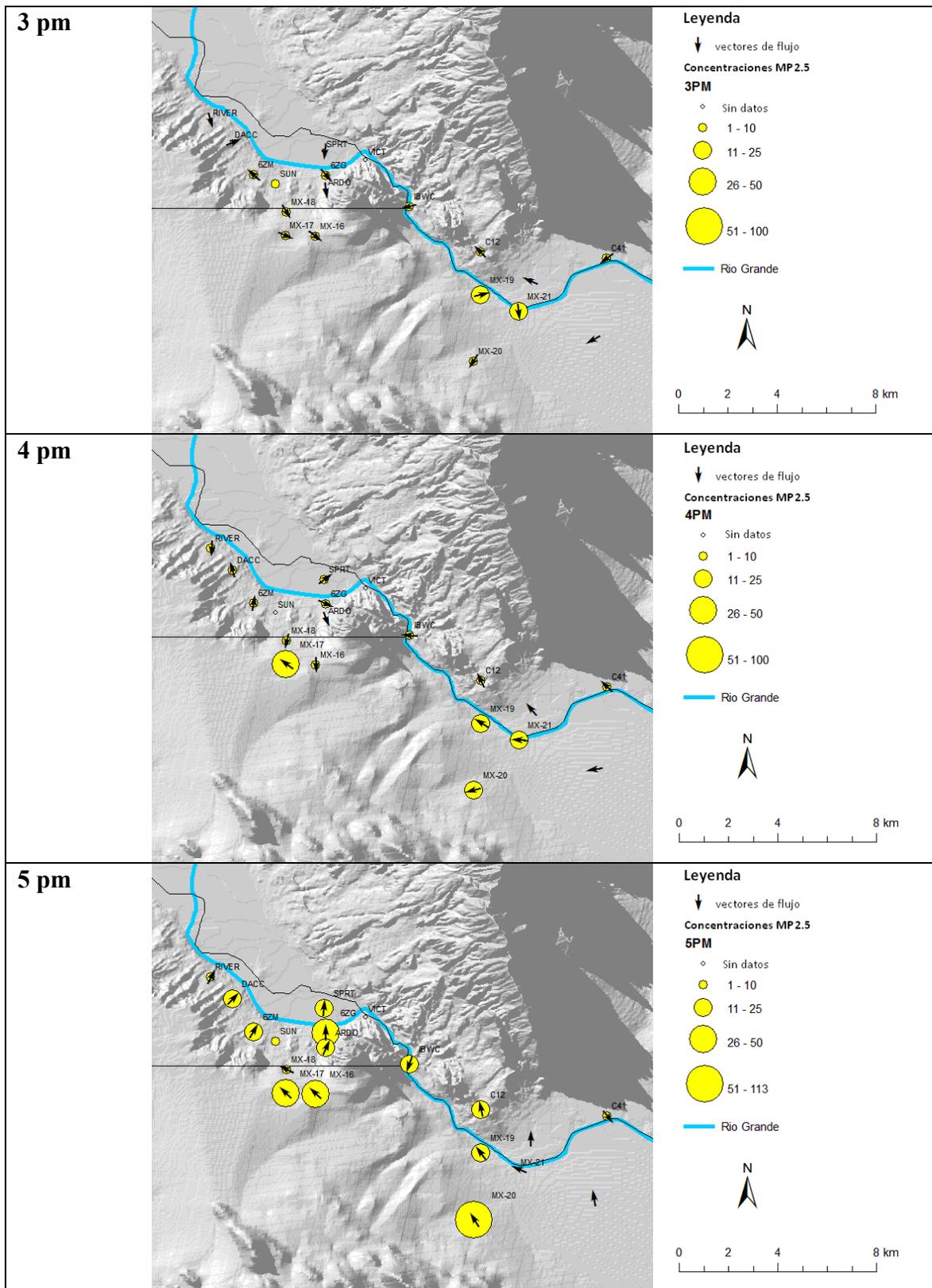
EPSTX Lat:31.77 Lon:-106.5 Elev:1,160m  
WindSpeedDirection| Mode:212m,63m | Res:30min | QC:LEVEL 2/3  
TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY



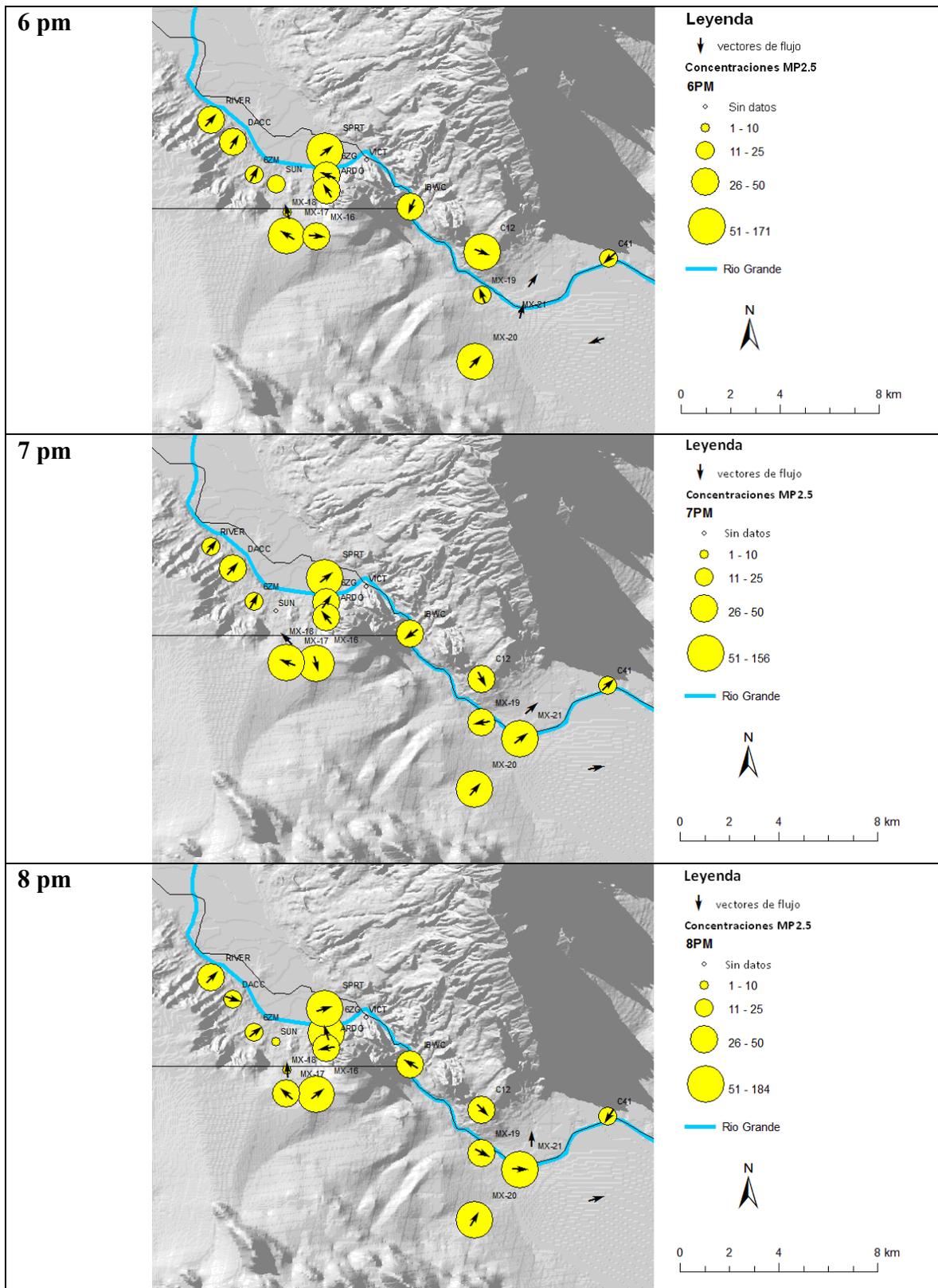
**Figura 4-61. Perfilador de radar de viento CTCA colocado en la estación C12 de 21:30 a 9:00 UTC**

Una observación importante aquí con el perfilador, es que estos patrones de viento bajo son localizados en niveles muy poco profundos y no pueden ser capturados por modelos de predicción rutinarios en Paso del Norte.

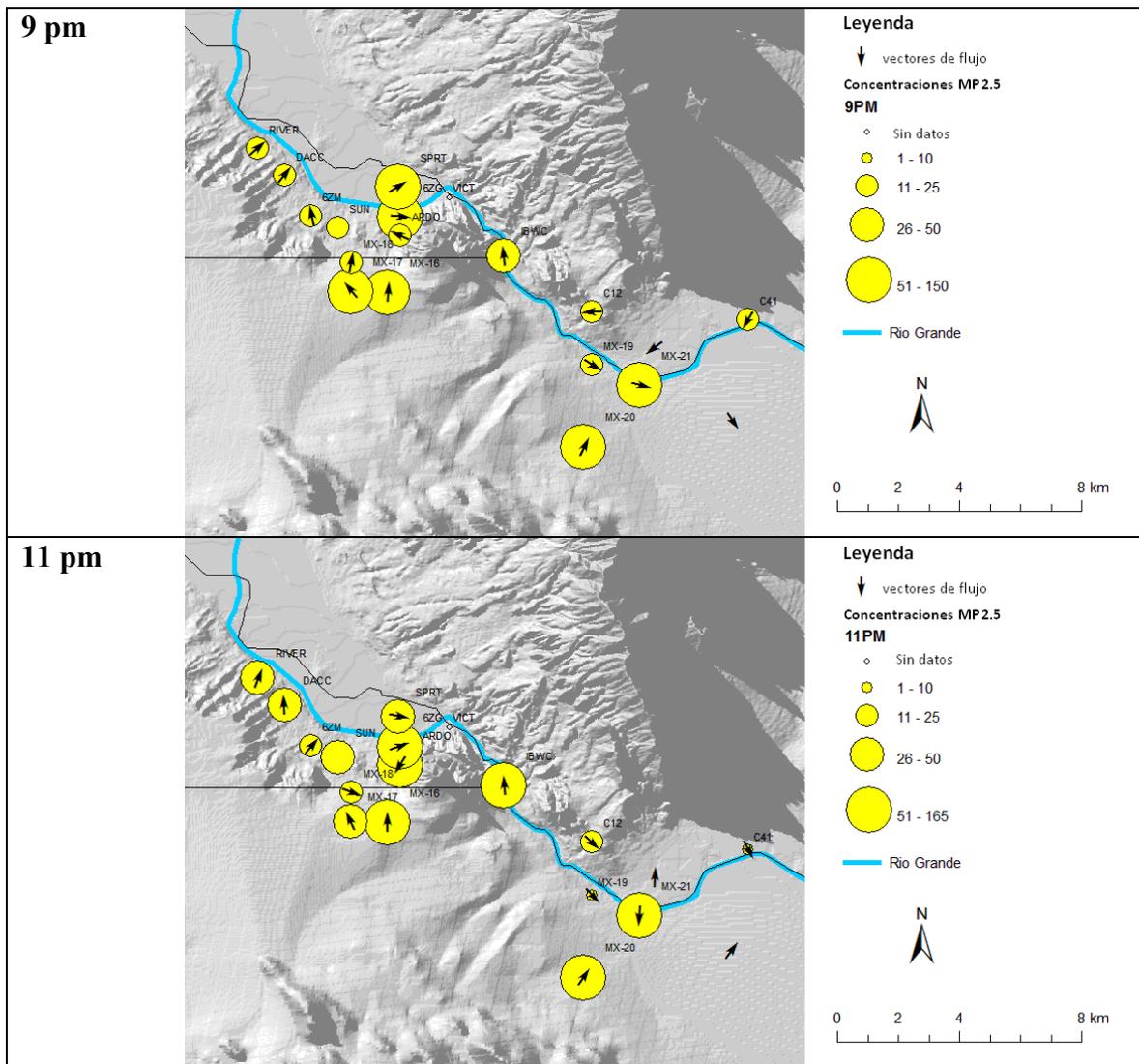
En las siguientes figuras se muestran los gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio.



**Figura 4-62. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 3 pm a 5 pm**



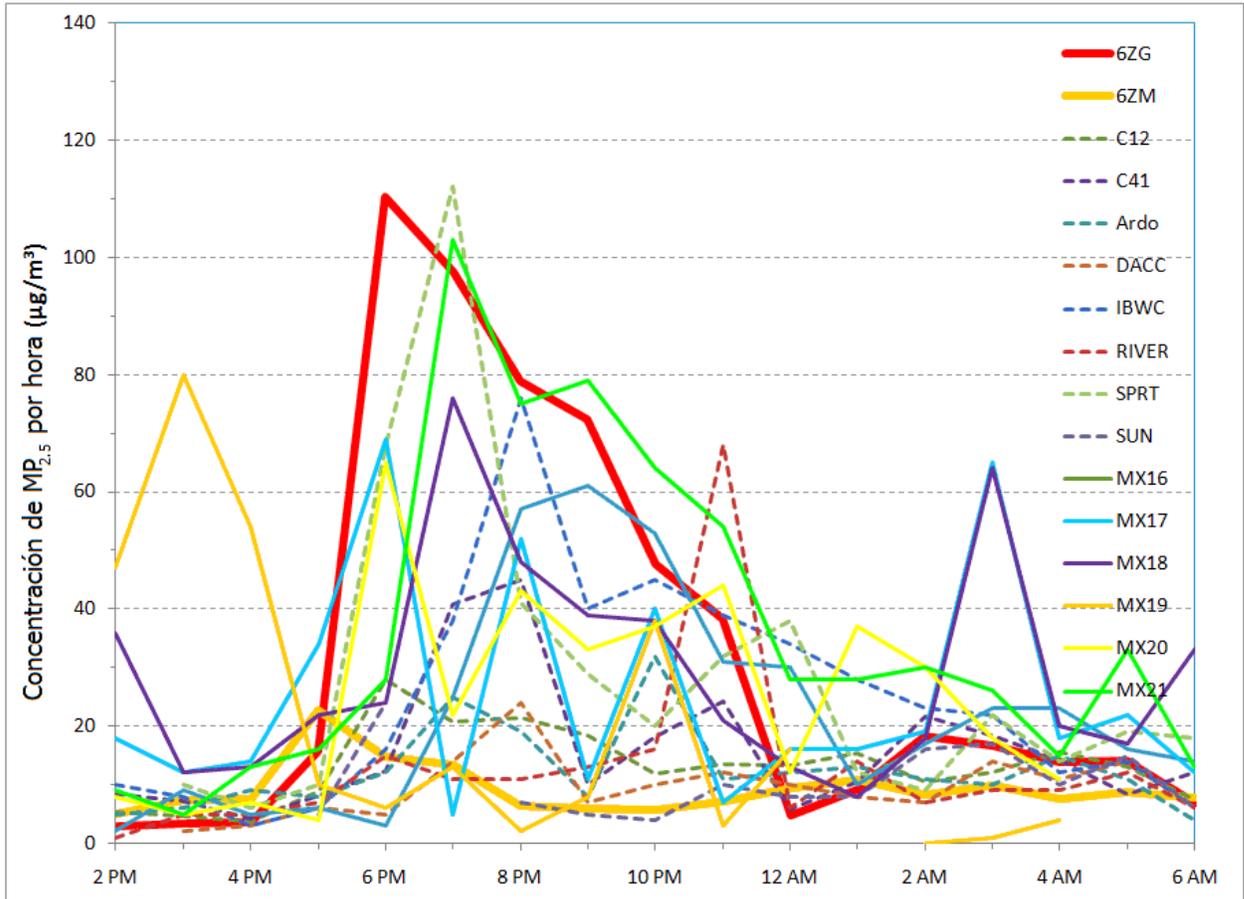
**Figura 4-63. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 6 pm a 8 pm**



**Figura 4-64. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 9 pm a 11 pm**

#### 4.3.4 Episodio 4: 19 de enero de 2009

Este episodio ocurrió durante la tarde y noche del 19 de enero de 2009. La hora pico del  $MP_{2.5}$  de  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ocurrió a las 6 pm en la estación de Sunland Park City Yard y se mantuvo arriba de los  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hasta las 10 pm. Este episodio fue único ya que la estación SPCY registró algunas de las concentraciones de  $MP_{2.5}$  mas altas.

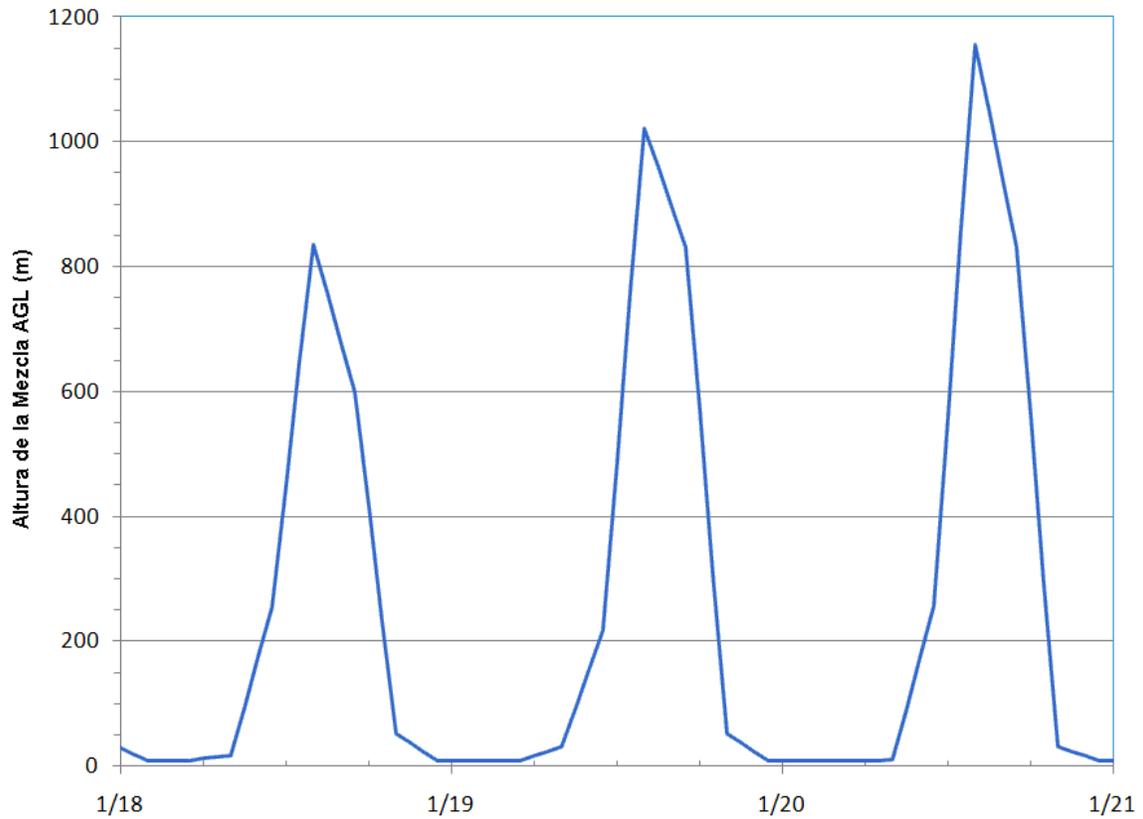


**Figura 4-65. Concentraciones de  $MP_{2.5}$  por hora durante el episodio del 19 de enero. Las dos estaciones DANM se muestran con líneas gruesas. Las estaciones E-BAM de Nuevo México se muestran con líneas punteadas y las estaciones E-BAM mexicanas son líneas delgadas continuas.**

No hubo datos para la estación MX-16 durante este episodio.

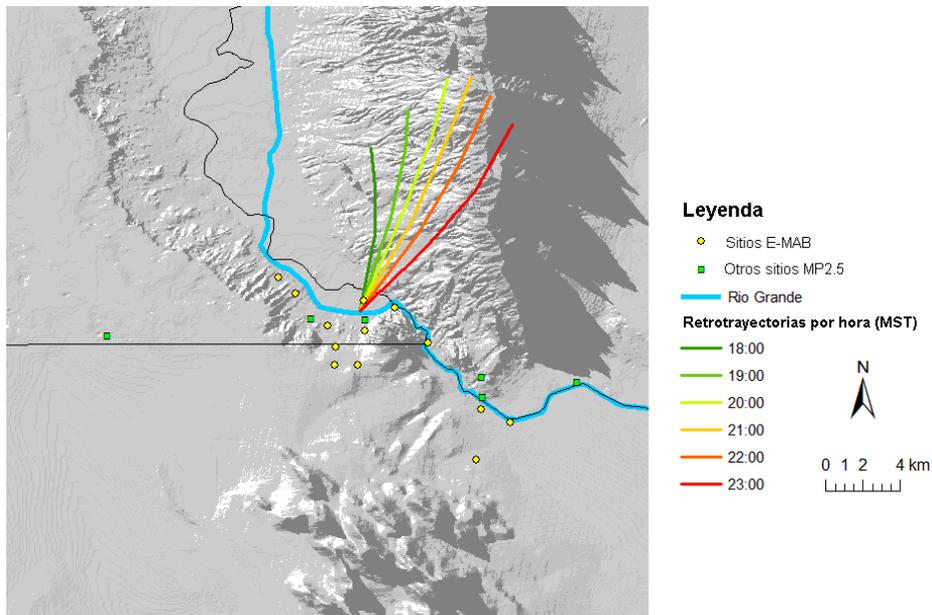
**Tabla 4-6. Concentraciones de MP<sub>2.5</sub> durante el episodio del 19 de enero. El área resaltada muestra el episodio definido para las concentraciones mayores a 50 µg/m<sup>3</sup> en la estación 6ZG. No hubo datos disponibles para la estación MX-16 durante este periodo**

Fecha y hora	6ZG	6ZM	C12	C41	Ardo	DACC	IBWC	RIVER	SPRT	SUN	VICT	MX16	MX17	MX18	MX19	MX20	MX21
19/1/2009 14:00	3	5	5	8	5		10	1			2		18	36	47	8	9
19/1/2009 15:00	3	7	5	7	6	2	8	5	10	8	9		12	12	80	5	5
19/1/2009 16:00	4	8	4	4	9	3	3	5	6		5		14	13	54	7	13
19/1/2009 17:00	16	23	9	8	8	6	6	7	10	5	6		34	22	10	4	16
19/1/2009 18:00	110	15	28	12	12	5	16	15	68	24	3		69	24	6	65	28
19/1/2009 19:00	98	13	21	41	25	14	38	11	112		25		5	76	13	22	103
19/1/2009 20:00	79	6	21	45	19	24	76	11	41	7	57		52	48	2	43	75
19/1/2009 21:00	72	6	19	10	8	7	40	13	29	5	61		11	39	8	33	79
19/1/2009 22:00	48	6	12	18	32	10	45	16	20	4	53		40	38	38	37	64
19/1/2009 23:00	38	7	13	24	11	12	39	68	32	10	31		7	21	3	44	54
20/1/2009 0:00	5	9	13	6	12	10	34	6	38	8	30		16	13	16	12	28
20/1/2009 1:00	9	11	15	11	13	8	28	14	12	8	10		16	8		37	28
20/1/2009 2:00	18	8	11	22	11	7	23	7	9	16	17		19	18	0	30	30
20/1/2009 3:00	17	10	12	18	10	14	22	9	22	17	23		65	64	1	18	26
20/1/2009 4:00	14	8	16	14	15	11	12	9	14	10	23		18	20	4	11	15
20/1/2009 5:00	14	9	13	8	11	14	14	12	19	15	16		22	17			33

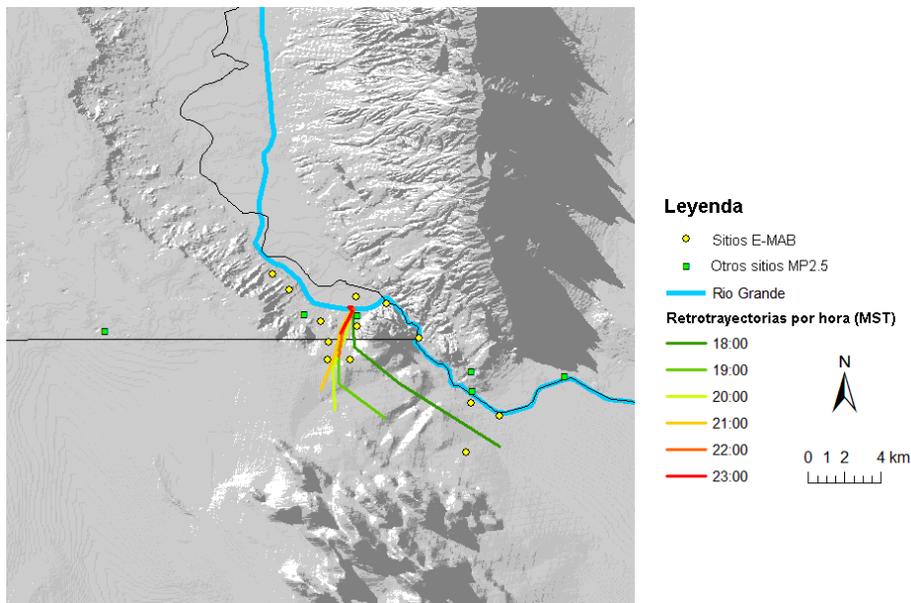


**Figura 4-66. Alturas de la mezcla antes y después del episodio basadas en el modelo 12-km MAN**

Las retrotrayectorias del modelo 12-km MAN produjeron vientos del norte al sector noreste a lo largo de este episodio.

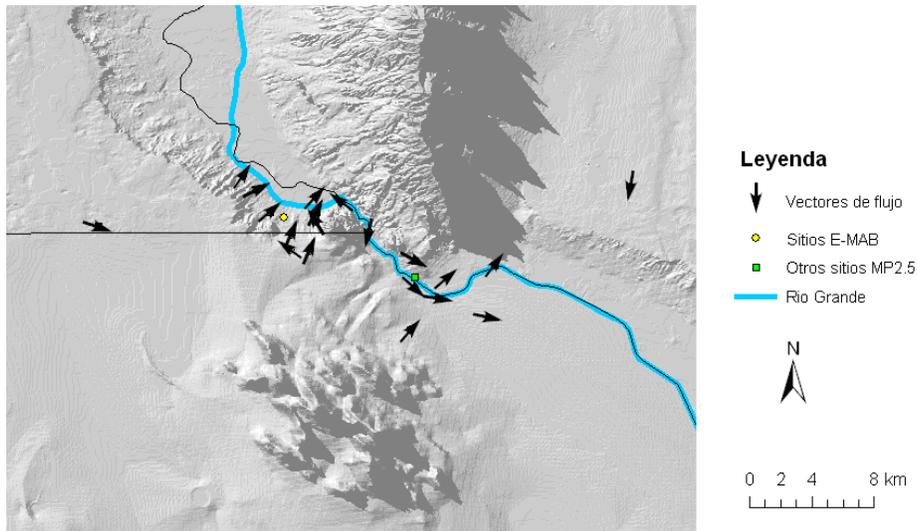


**Figura 4-67. Retrotraectorias durante este episodio basadas en el modelo 12-km MAN**



**Figura 4-68. Retrotraectorias durante este episodio basadas en los vientos de la estación 6ZG**

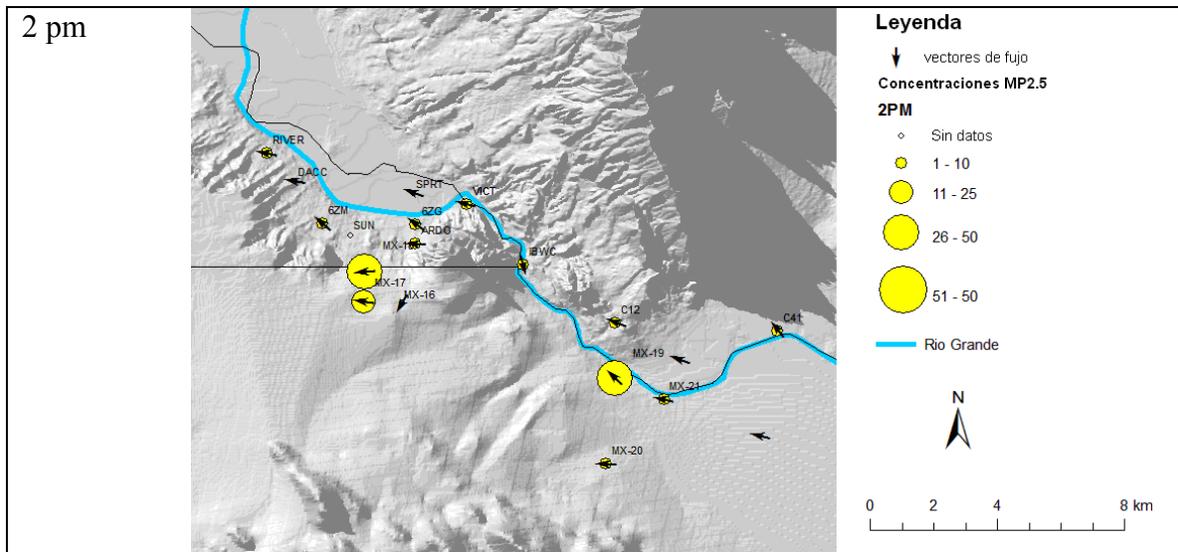
Sin embargo, los vientos del modelo fueron considerablemente diferentes a los vientos observados en las estaciones de monitoreo SPCY y E-BAM. Vientos cerca del valle del río fueron siguiendo el terreno, mientras que los vientos fuera de Paso del Norte tienen un flujo al Norte. Esta figura muestra los vectores del flujo del viento a las 7 pm e indica patrones de vientos cuesta abajo.



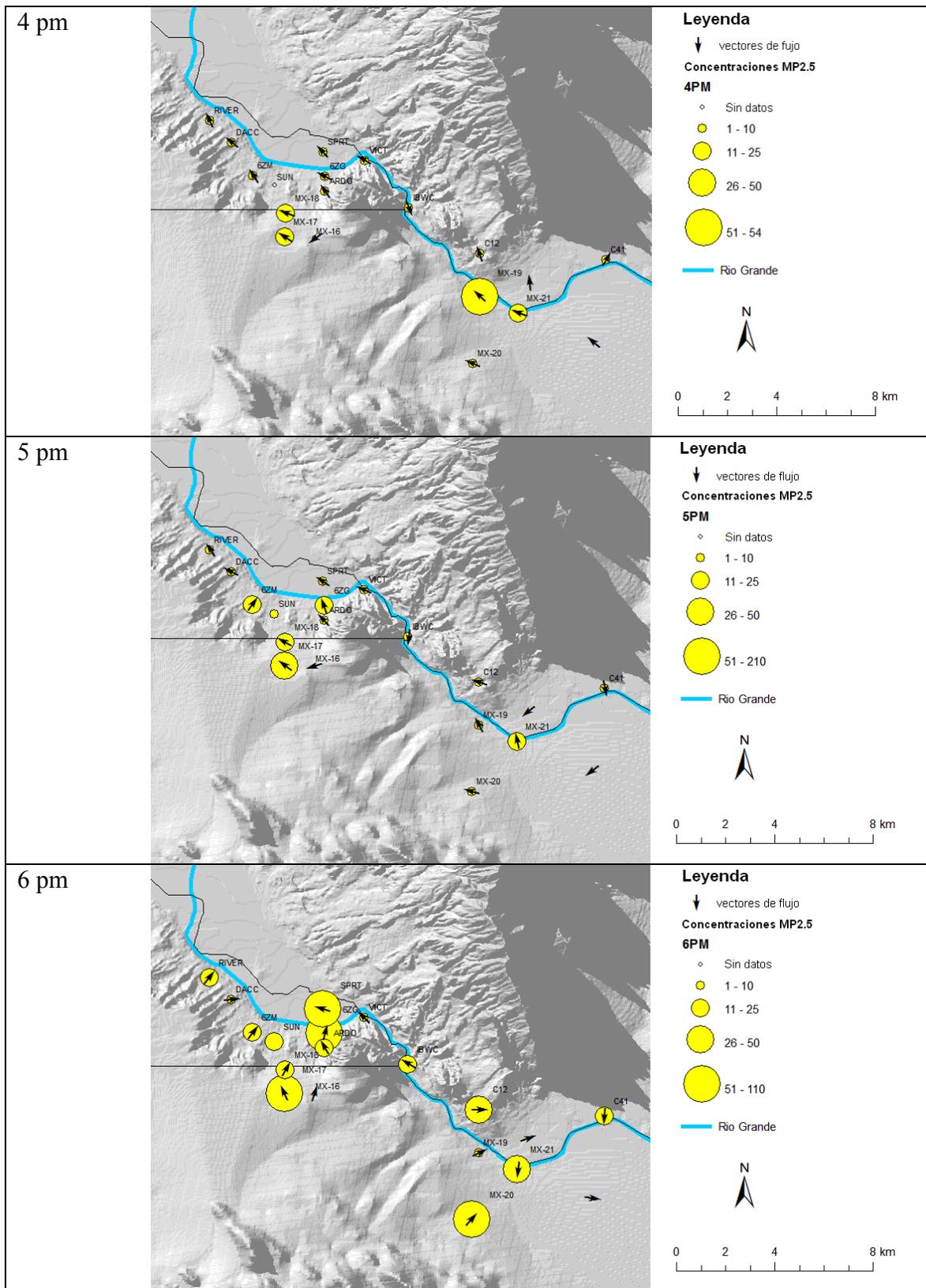
**Figura 4-69. Flujo de vectores de los vientos medidos en cada estación a las 19:00 MST el 19 de enero de 2009**

Debido a los vientos bajos y los efectos del terreno, el modelo MAN no capturó correctamente este episodio.

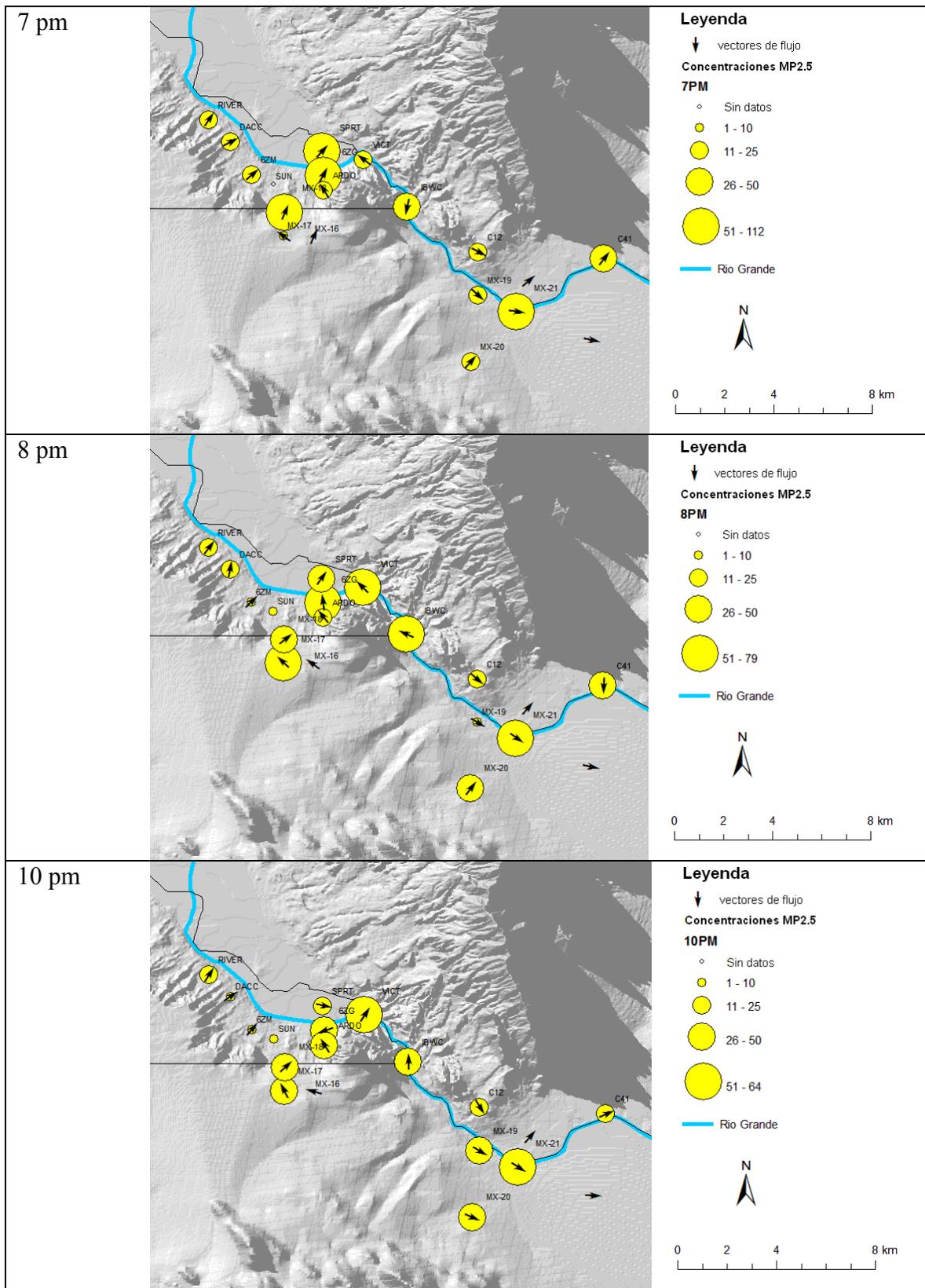
En las siguientes figuras se muestran los gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio.



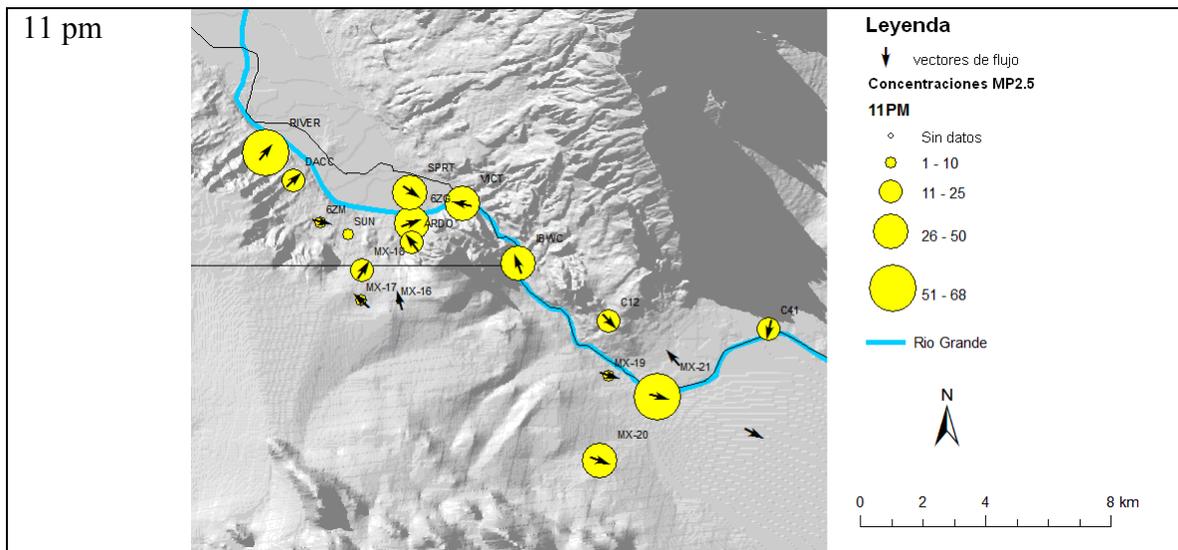
**Figura 4-70. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio a las 2 pm**



**Figura 4-71. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 4 pm a 6 pm**



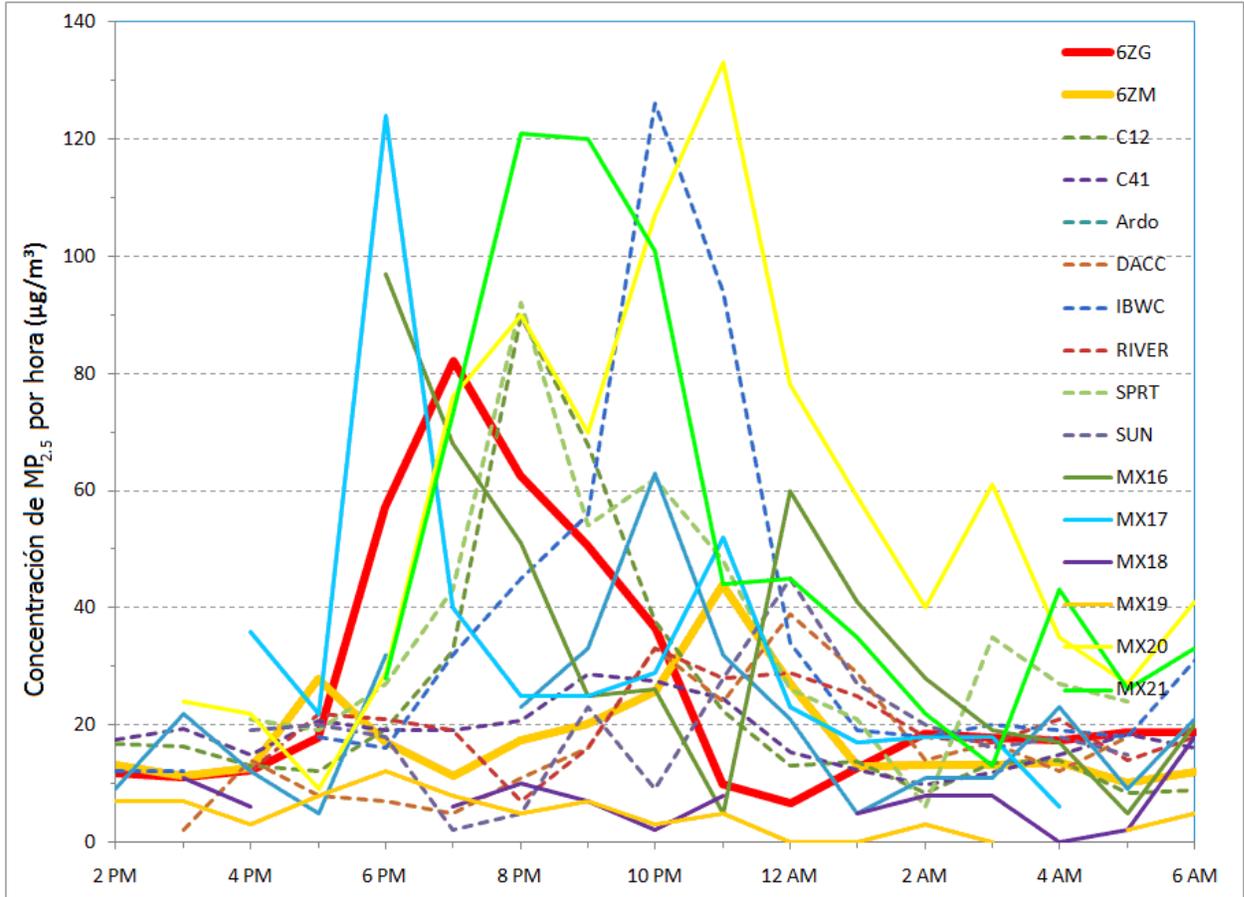
**Figura 4-72. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 7 pm a 10 pm**



*Figura 4-73. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio a las 11 pm*

### 4.3.5 Episodio 5: 5 de febrero de 2009

Este episodio ocurrió durante la noche del 5 de febrero de 2009. La hora pico de  $MP_{2.5}$  de  $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ocurrió a las 7 pm y se mantuvo arriba del nivel de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por cuatro horas en la estación de Sunland Park City Yard. La hora de máxima concentración en la estación de Desert View Elementary ocurrió a las 11 pm, cuatro horas después del punto máximo en la estación 6ZG.

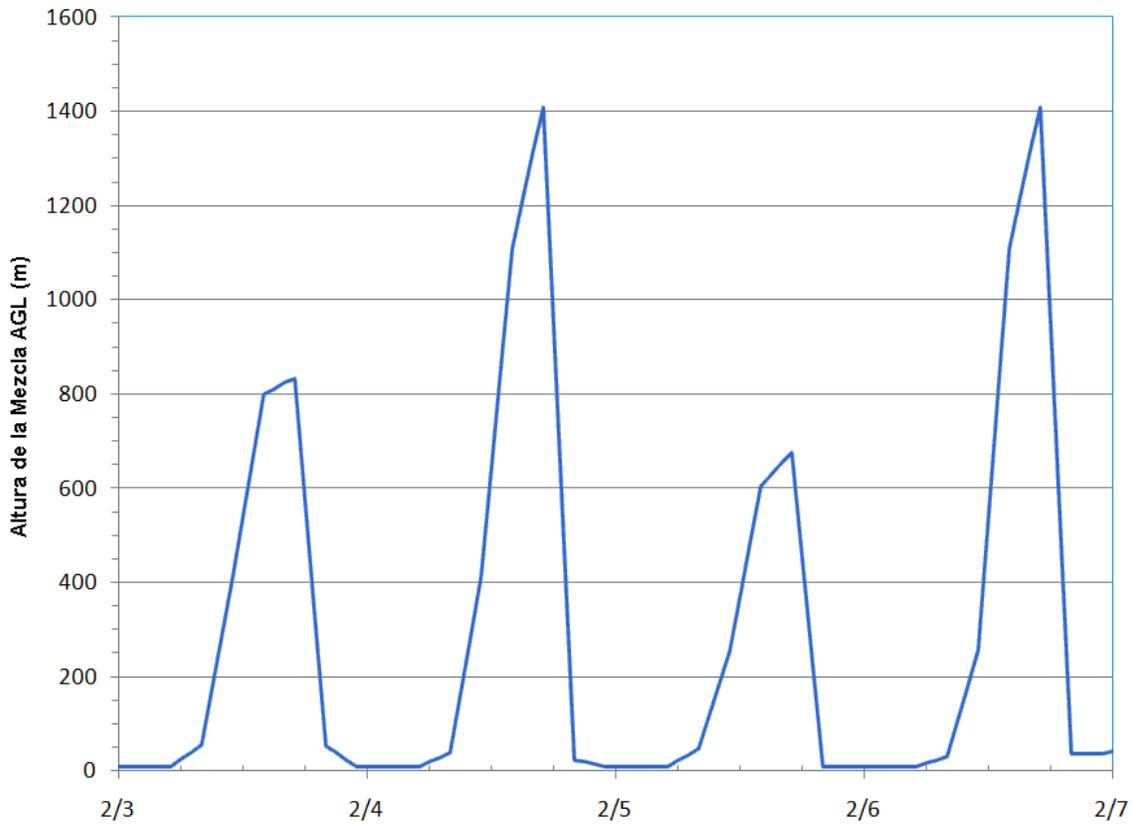


**Figura 4-74. Concentraciones de  $MP_{2.5}$  por hora durante el episodio de febrero. Las dos estaciones DANM se muestran con líneas gruesas. Las estaciones E-BAM de Nuevo México se muestran con líneas punteadas y las estaciones E-BAM mexicanas son líneas delgadas continuas.**

**Table 4-7.  $MP_{2.5}$  por hora durante el episodio de febrero. El área resaltada muestra el episodio definido para las concentraciones mayores a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación 6ZG.**

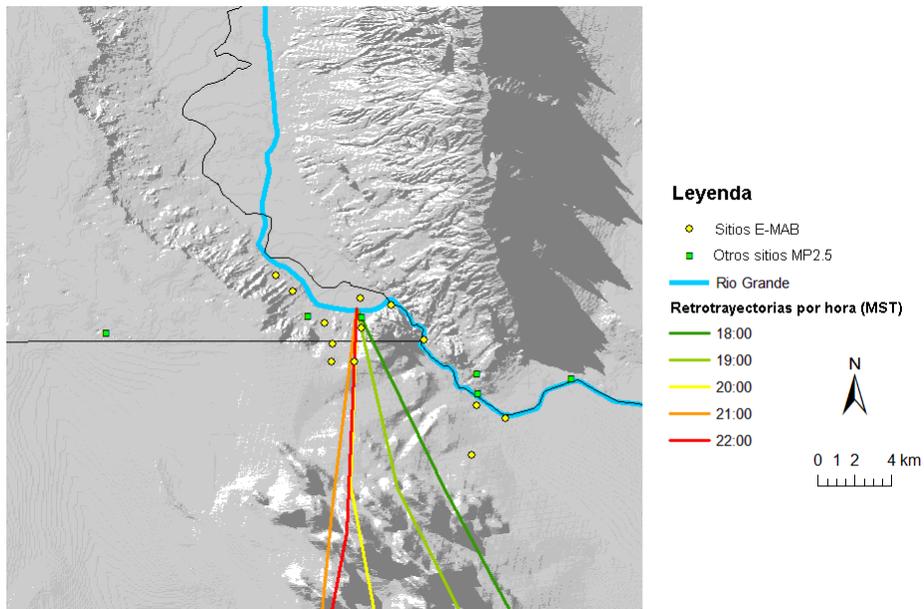
Fecha y hora	6ZG	6ZM	C12	C41	Ardo	DACC	IBWC	RIVER	SPRT	SUN	VICT	MX16	MX17	MX18	MX19	MX20	MX21
5/2/2009 12:00	5	8	8	12			2		2	21	17	2		9	13	10	1
5/2/2009 13:00	10	11	12	11		9	11		5	3	12			3	25		
5/2/2009 14:00	12	13	17	18			12		17	5	9				7		
5/2/2009 15:00	11	11	16	19		2	12				22			11	7	24	
5/2/2009 16:00	12	13	13	15		14		12	21	19	12		36	6	3	22	
5/2/2009 17:00	18	28	12	21		8	18	22	19	20	5		22		8	9	
5/2/2009 18:00	57	17	19	19		7	16	21	27	18	32	97	124		12	29	28
5/2/2009 19:00	82	11	33	19		5	32	19	43	2		68	40	6	8	76	73
5/2/2009 20:00	63	17	90	21		11	45	7	92	5	23	51	25	10	5	90	121
5/2/2009 21:00	51	20	68	29		16	56	16	54	23	33	25	25	7	7	70	120
5/2/2009 22:00	36	26	38	28		33	126	33	62	9	63	26	29	2	3	107	101
5/2/2009 23:00	10	44	22	24		24	94	28	48	28	32	5	52	8	5	133	44
6/2/2009 0:00	7	27	13	15		39	34	29	26	45	21	60	23		0	78	45
6/2/2009 1:00	13	13	14	12		29	19	25	21	27	5	41	17	5	0	59	35
6/2/2009 2:00	19	13	8	10		14	18	18	6	20	11	28	18	8	3	40	22
6/2/2009 3:00	18	13	14	12		17	20	17	35	16	11	19	18	8	0	61	13
6/2/2009 4:00	17	14	14	15		12	19	21	27	18	23	17	6	0		35	43
6/2/2009 5:00	19	10	8	18		18	18	14	24	15	9	5		2	2	27	26
6/2/2009 6:00	19	12	9	16			31	18			21	20	17	18	5	41	33

Las alturas de la mezcla alcanzaron su punto máximo en 676 m durante el día 5 de febrero pero colapsó rápidamente a 10 m par alas 8 pm como se muestra en la figura 4-61.

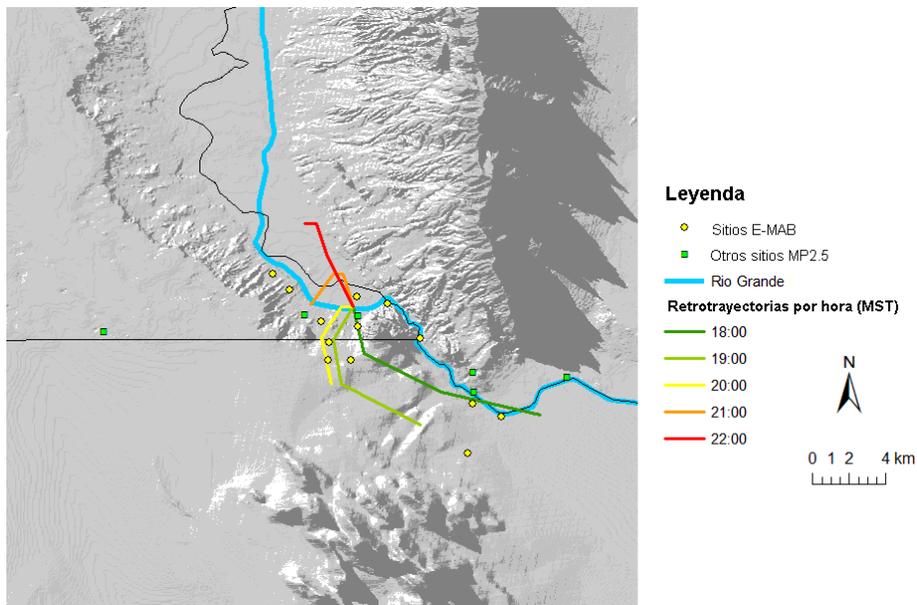


**Figura 4-75. Alturas de la mezcla antes y durante el episodio de febrero basado en el modelo 12-km**

Las retro trayectorias del modelo 12-km MAN produjeron vientos del Sur a lo largo de este episodio, mientras que las retro trayectorias generadas en la estación 6ZG fueron más lentas y muestran un giro lento de arriba a abajo del valle a través del episodio.

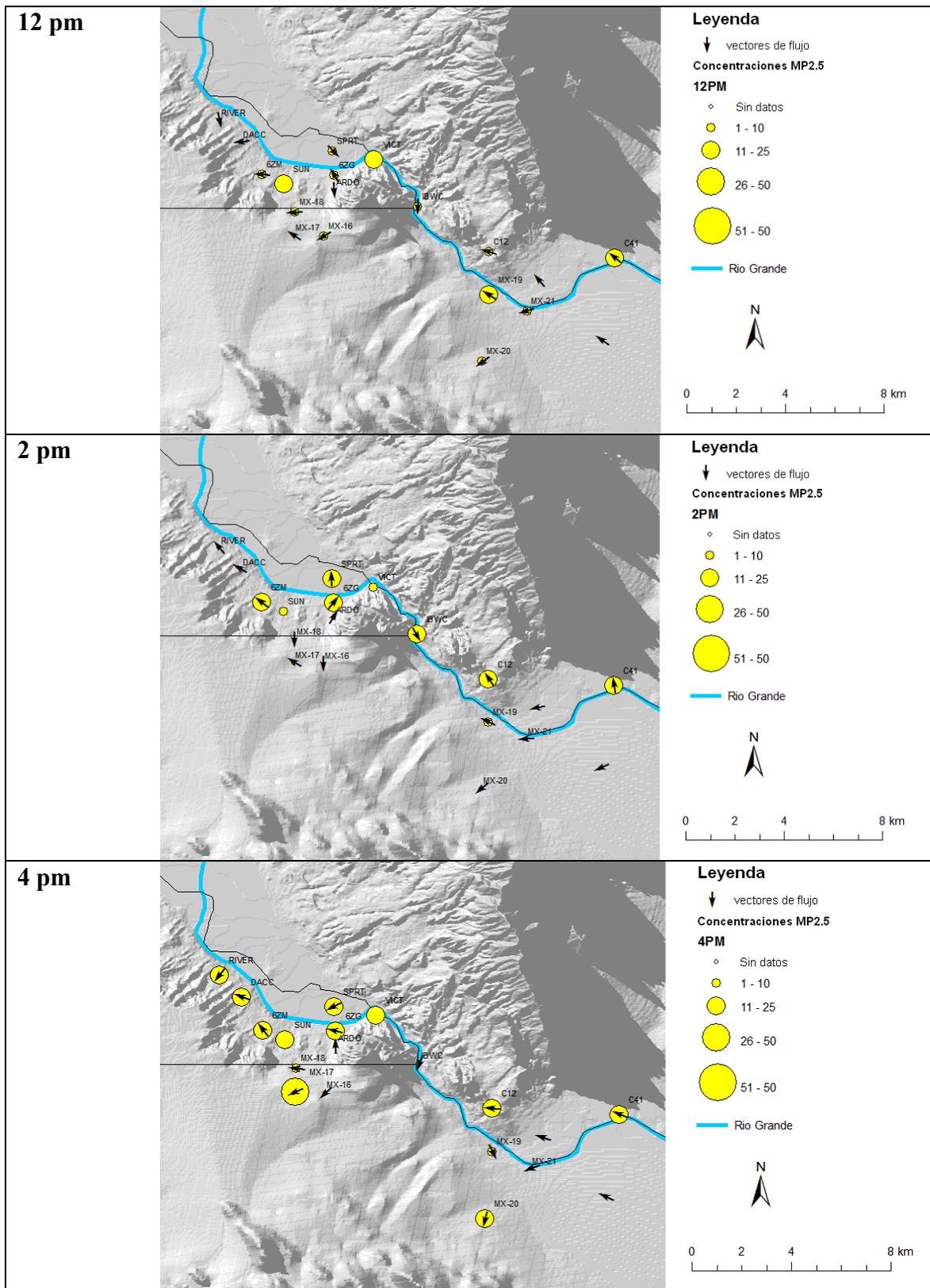


**Figura 4-76. Retrotraectorias durante el episodio del 5 de febrero basadas en el modelo 12-km MAN**

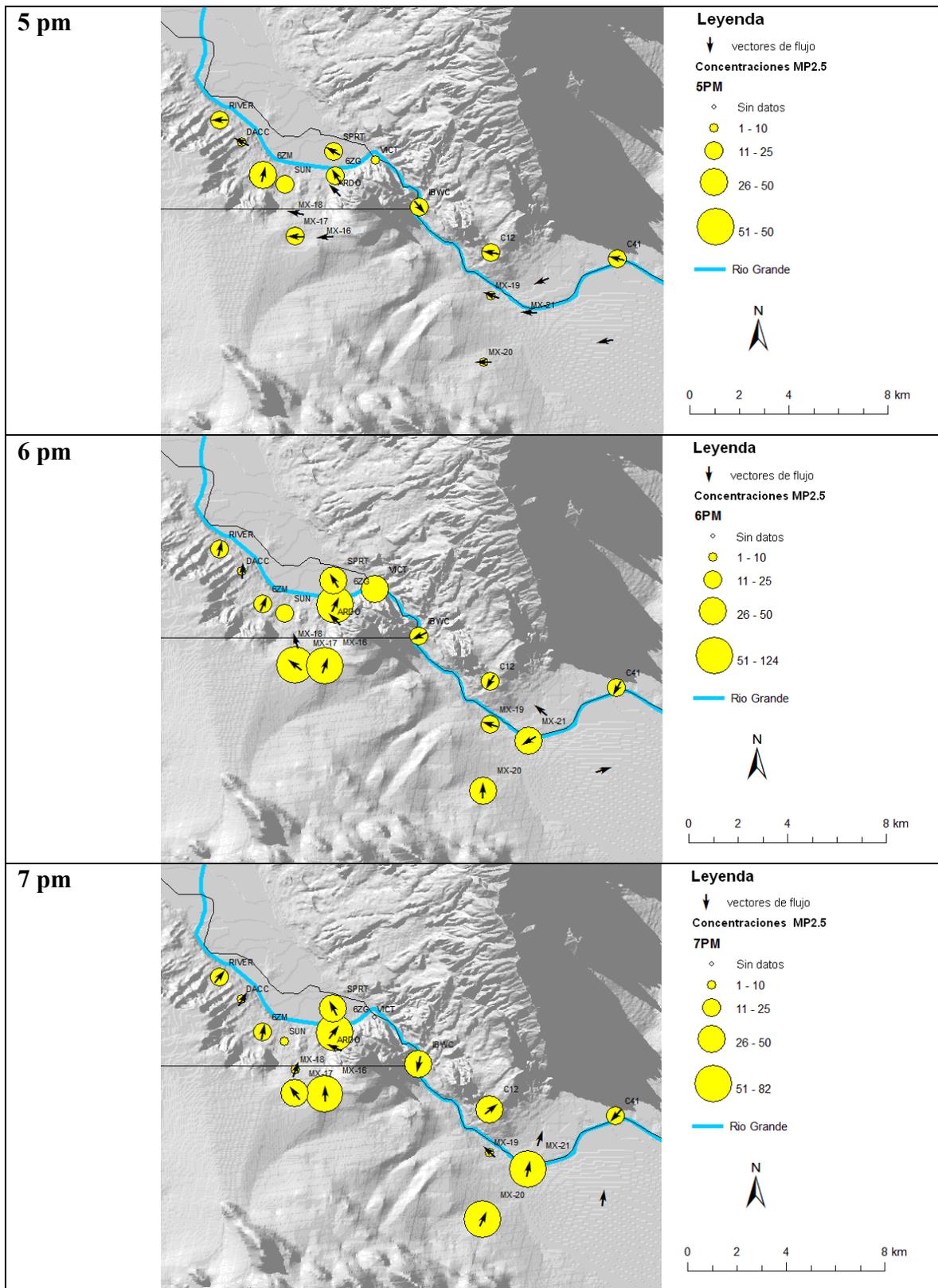


**Figura 4-77. Retrotraectorias durante el episodio del 5 de febrero basadas en los vientos de la estación 6ZG**

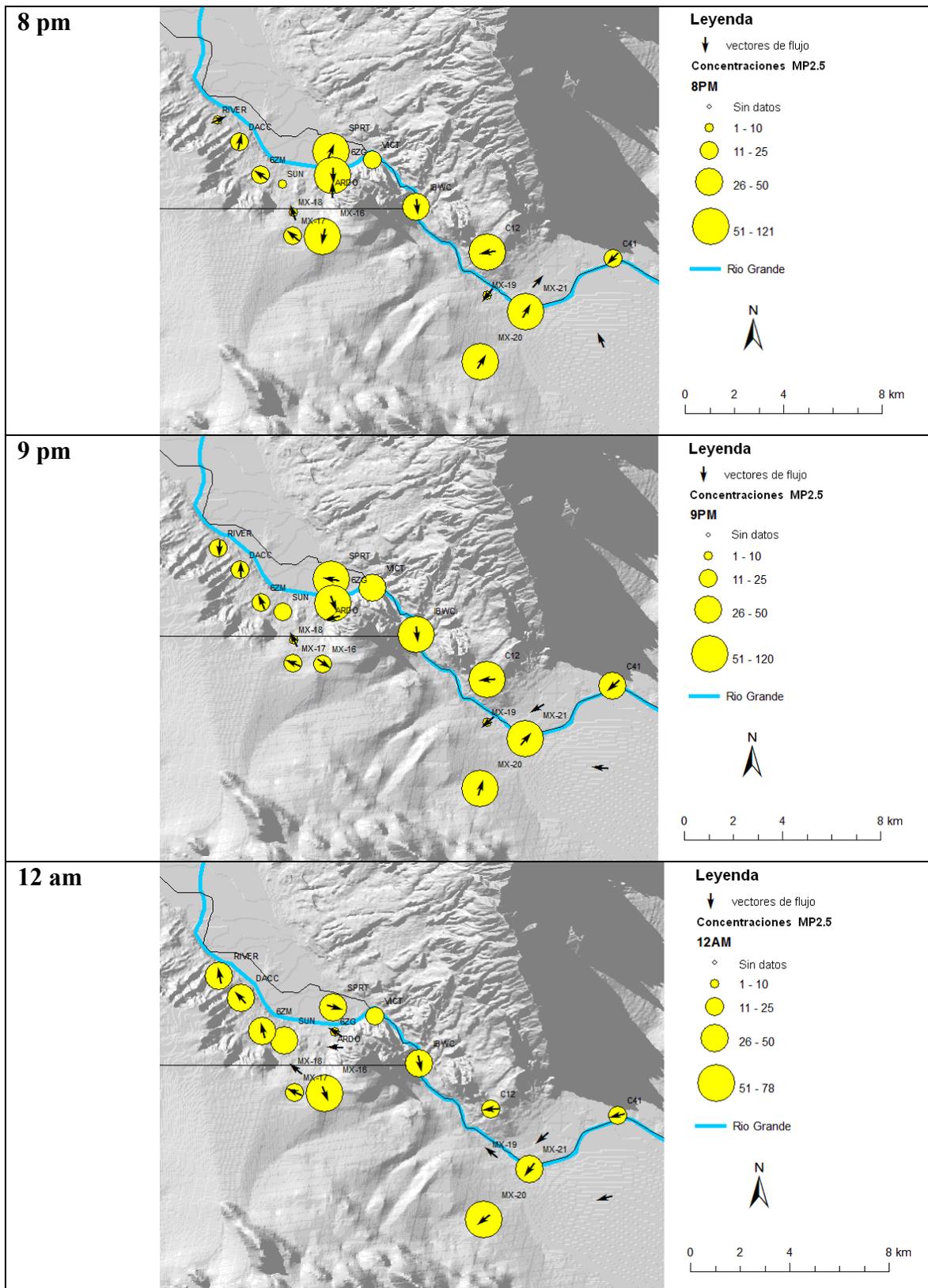
En las siguientes figuras se muestran los gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio.



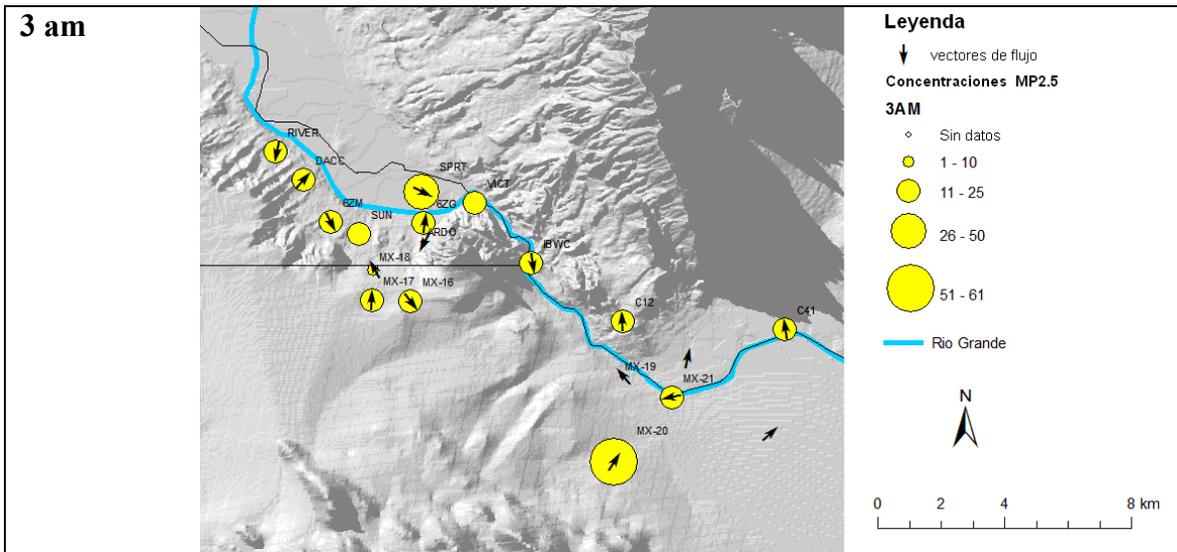
**Figura 4-78. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 12 pm a 4 pm**



**Figura 4-79. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 5 pm a 7 pm**



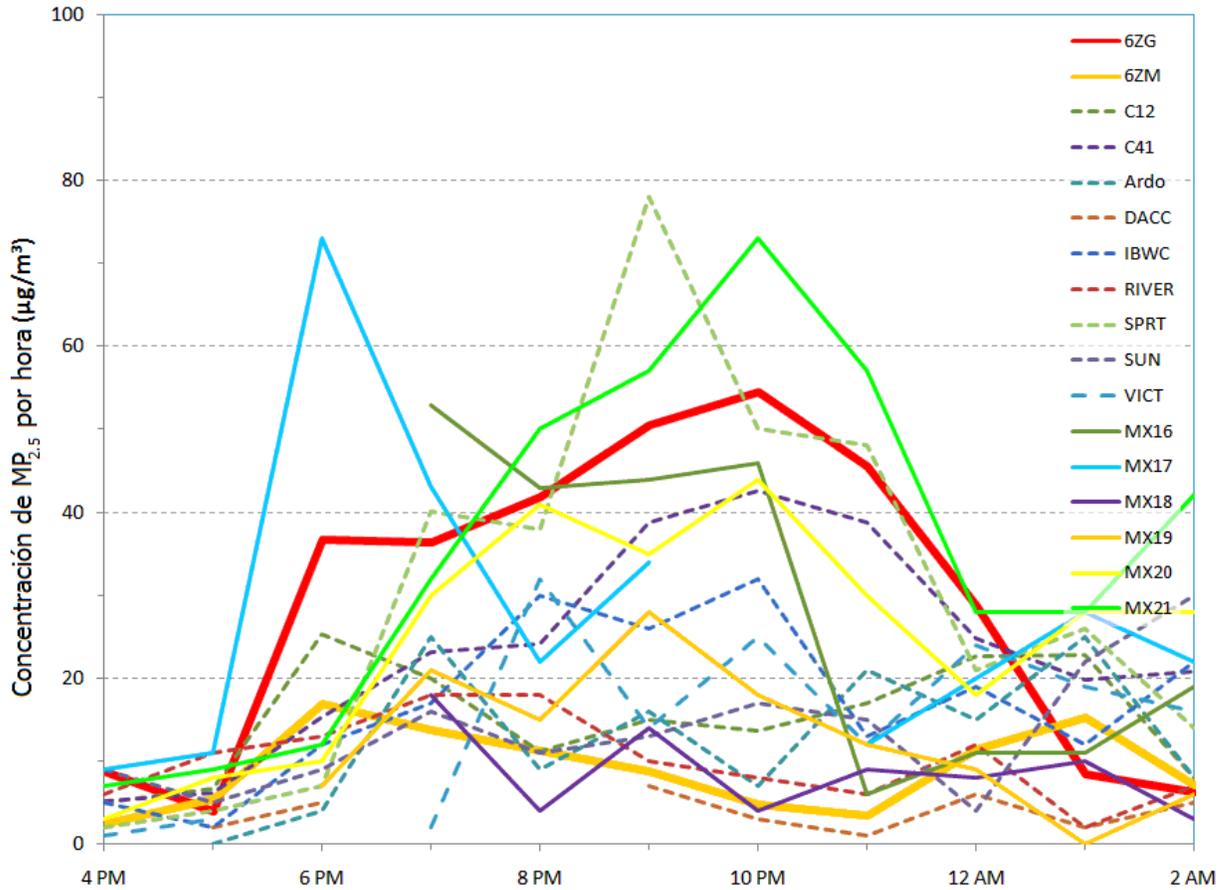
**Figura 4-80. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 8 pm a 12 am**



*Figura 4-81. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora al final del episodio a las 3 am*

### 4.3.6 Episodio 6: 2 de marzo de 2009

Este episodio ocurrió durante la tarde y la noche del 2 de marzo de 2009. La hora pico de  $MP_{2.5}$  de  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ocurrió a las 10 pm y se mantuvo arriba del nivel de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por dos horas en la estación de Sunland Park City Yard.

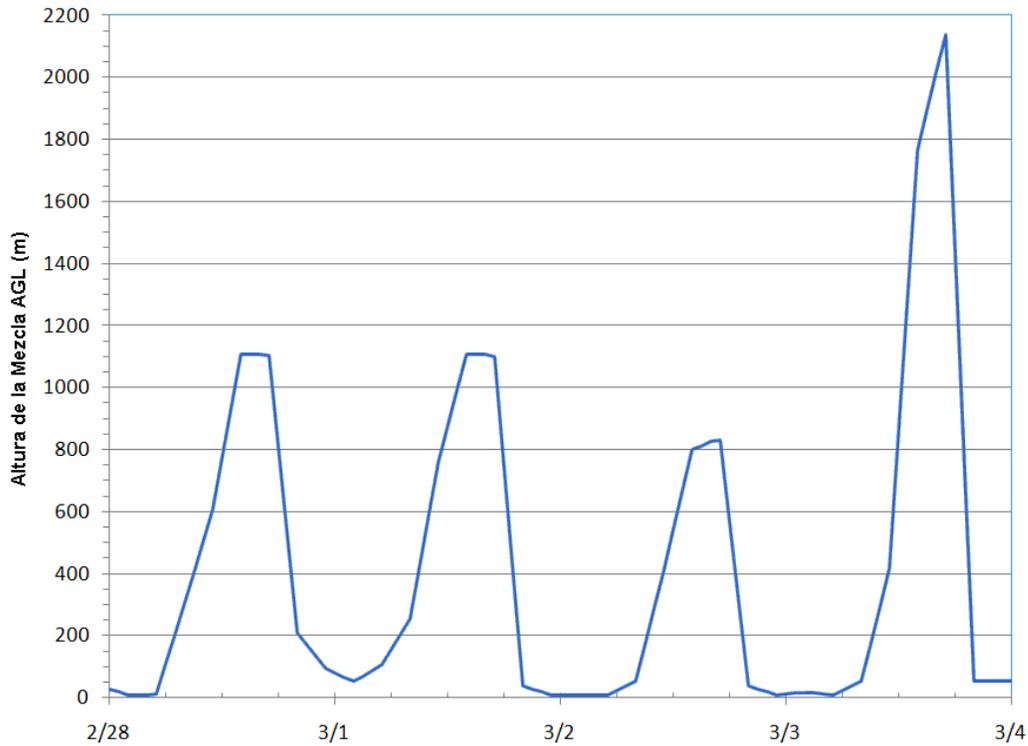


**Figura 4-82. Concentraciones de  $MP_{2.5}$  por hora durante el episodio de marzo. Las dos estaciones DANM se muestran con líneas gruesas. Las estaciones E-BAM de Nuevo México se muestran con líneas punteadas y las estaciones E-BAM mexicanas son líneas delgadas continuas.**

**Tabla 4-8. MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio del 2 de marzo**

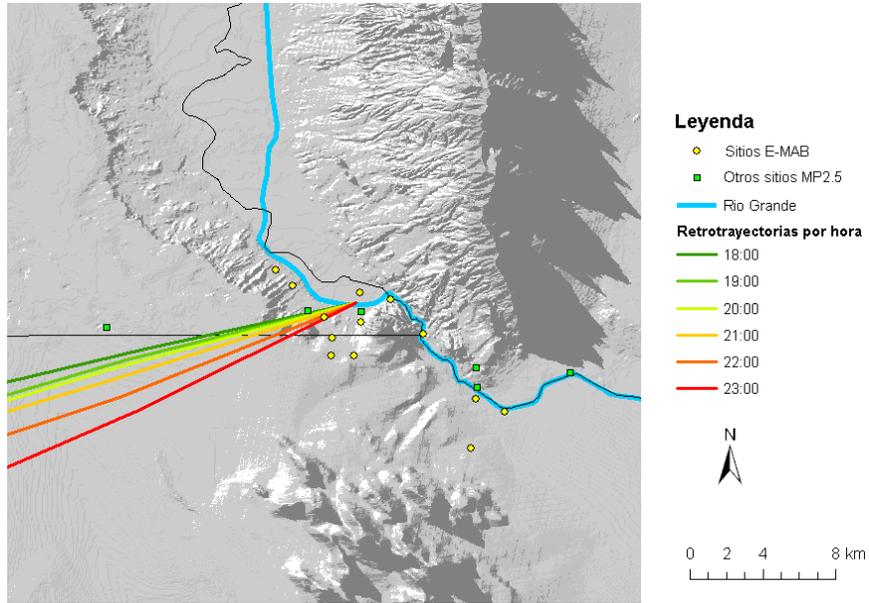
Fecha y hora	6ZG	6ZM	C12	C41	Ardo	DACC	IBWC	RIVER	SPRT	SUN	VICT	MX16	MX17	MX18	MX19	MX20	MX21
2/3/2009 17:00	4	5	7	6	0	2	2	11	4	5	3		11			8	9
2/3/2009 18:00	37	17	25	15	4	5	12	13	7	9			73		7	10	12
2/3/2009 19:00	36	14	20	23	25		17	18	40	16	2	53	43	18	21	30	32
2/3/2009 20:00	42	11	11	24	9		30	18	38	11	32	43	22	4	15	41	50
2/3/2009 21:00	51	9	15	39	16	7	26	10	78	13	14	44	34	14	28	35	57
2/3/2009 22:00	55	5	14	43	7	3	32	8	50	17	25	46		4	18	44	73
2/3/2009 23:00	46	3	17	39	21	1	13	6	48	15	12	6	12	9	12	30	57
3/3/2009 0:00	29	11	23	25	15	6	19	12	21	4	24	11	20	8	9	18	28
3/3/2009 1:00	9	15	23	20	25	2	12	2	26	22	19	11	28	10	0	28	28
3/3/2009 2:00	6	7	8	21	8	5	22	7	14	30	16	19	22	3	6	28	42
3/3/2009 3:00	10	7	7	17	11	9	4	10	10	30	1	21	10	12		12	7

Durante el día 2 de marzo, las alturas de la mezcla alcanzaron su punto máximo en 832 m a las 5 pm pero cayó rápidamente a 37 m para las 8 pm. Las alturas de la mezcla bajas fueron debido a las acumulaciones de contaminantes y altas concentraciones de MP.

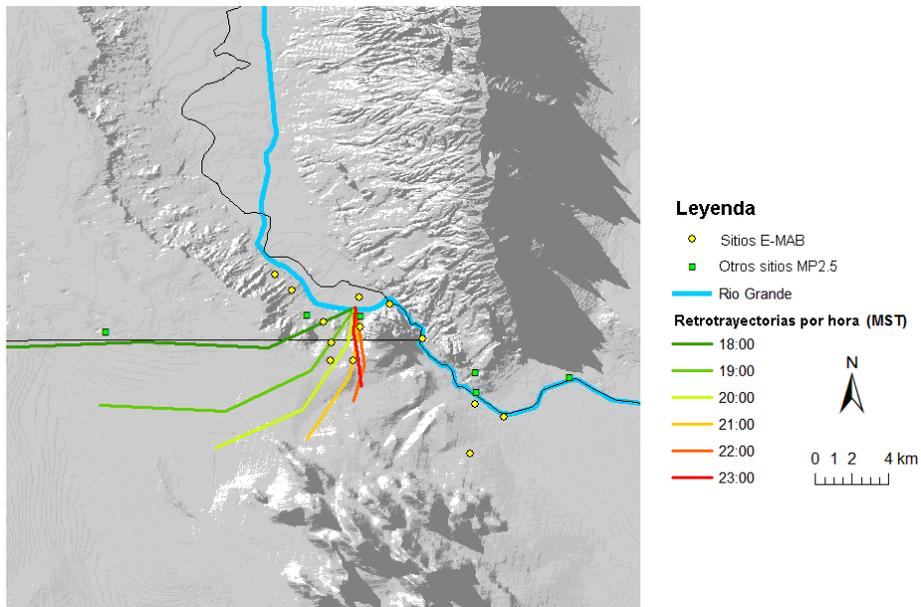


**Figura 4-83. Alturas de la mezcla antes y durante el episodio de febrero basado en el modelo 12-km**

Las retrotrayectorias del modelo 12-km MAN produjeron vientos del suroeste a lo largo de este episodio.

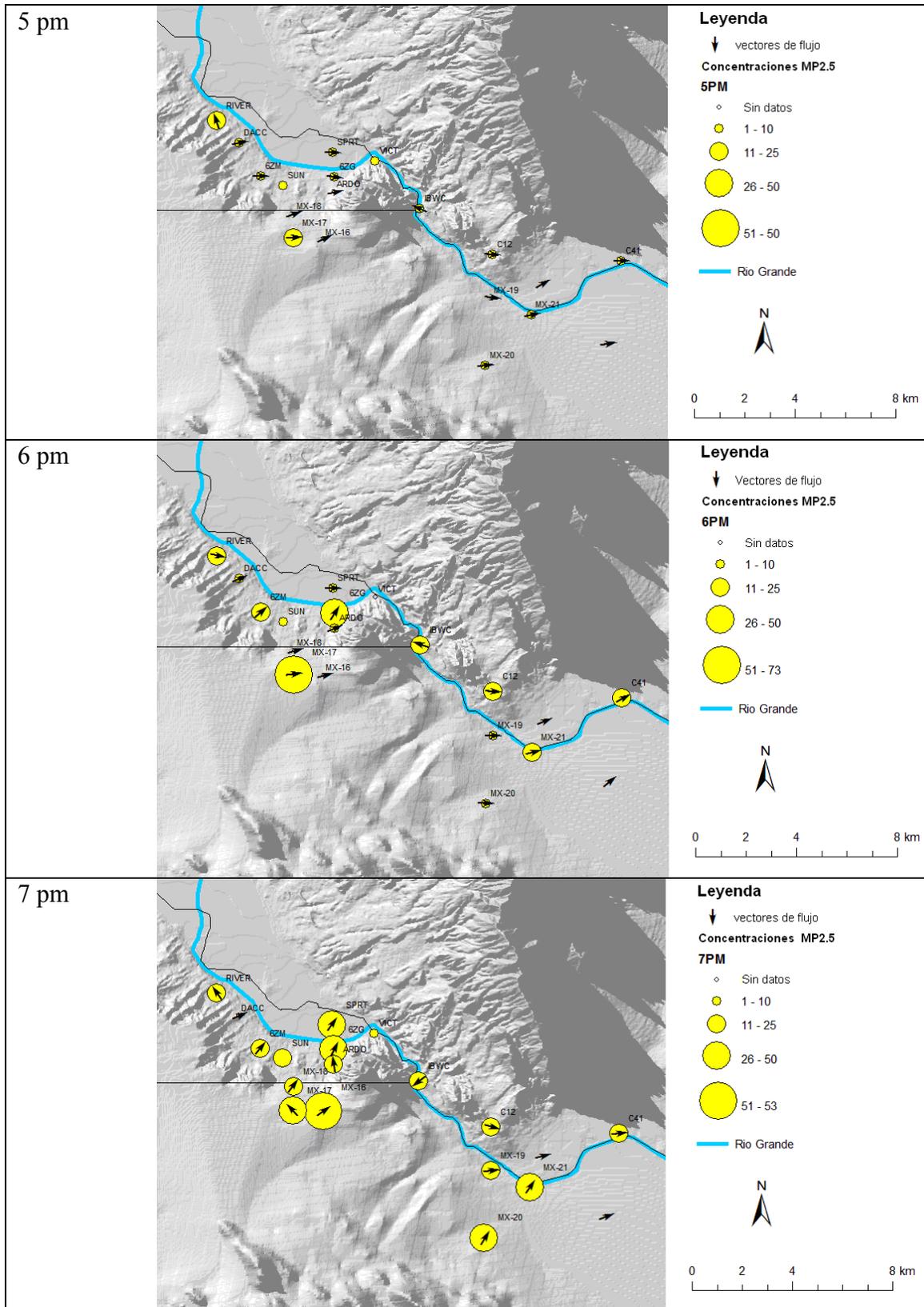


**Figura 4-84. Retrotraectorias basadas en el modelo 12-km MAN**

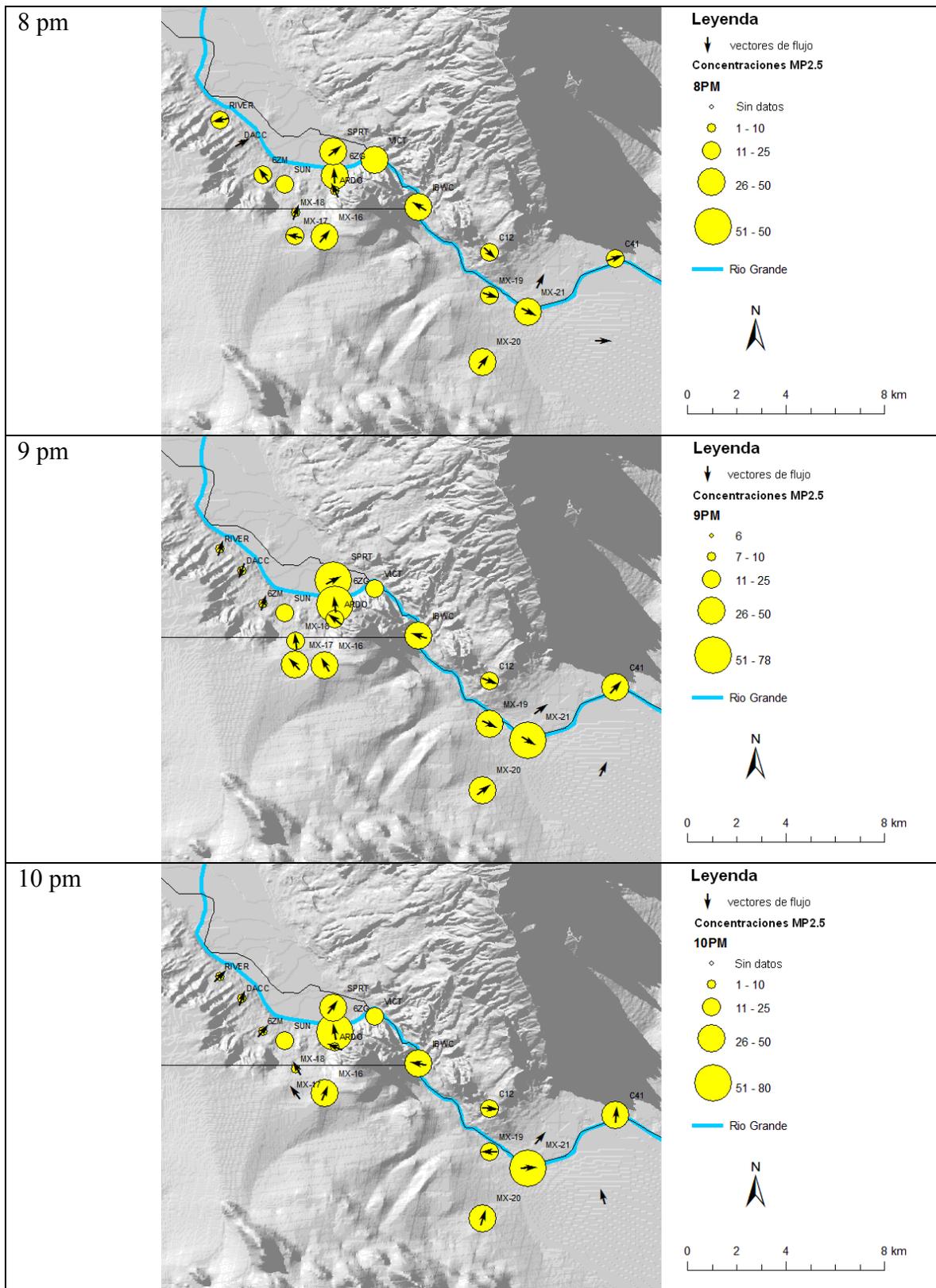


**Figura 4-85. Retrotraectorias basadas en los datos de la estación 6ZG**

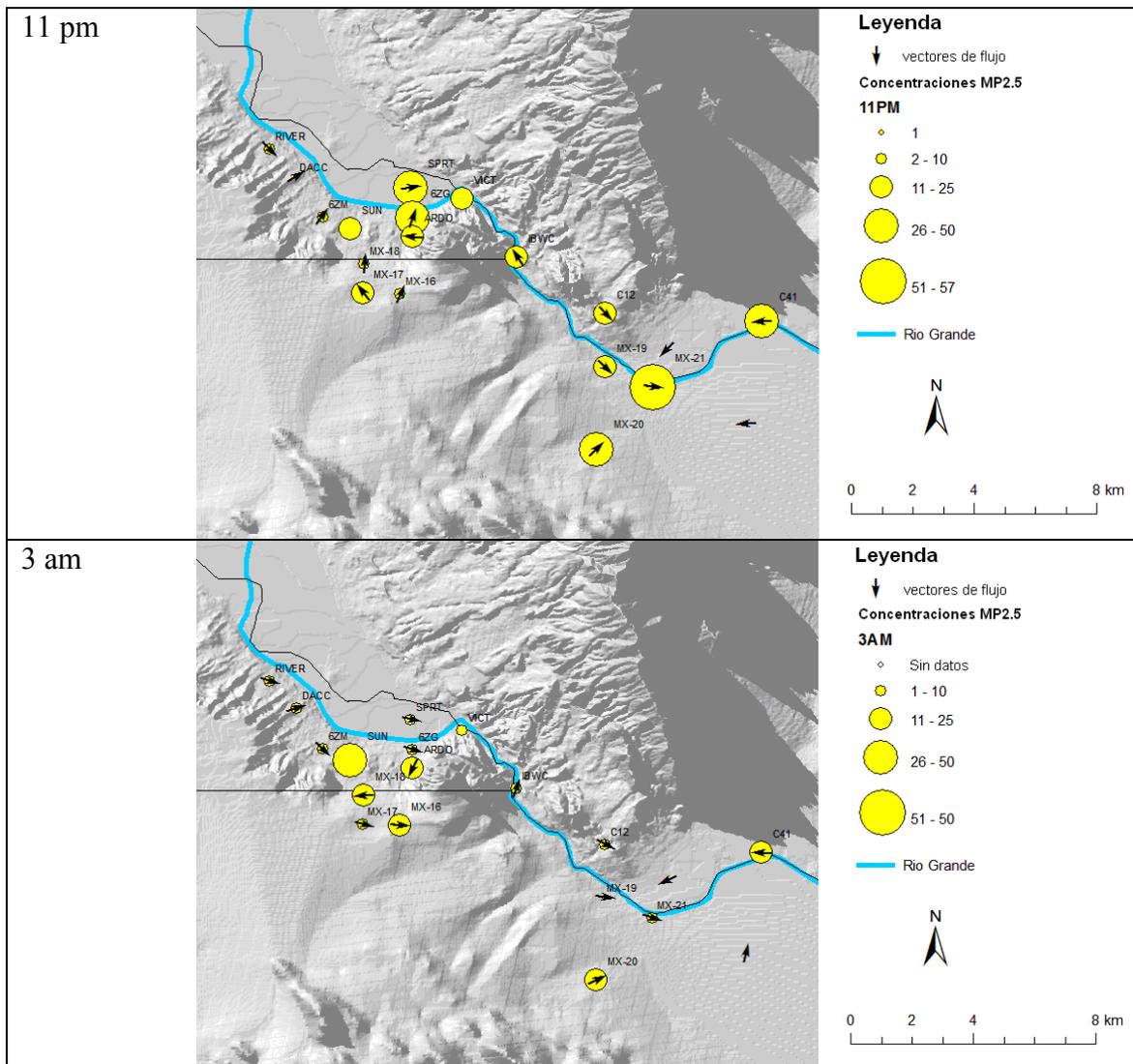
En las siguientes figuras se muestran los gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio.



**Figura 4-86. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 5 pm a 7 pm**



**Figura 4-87. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 8 pm a 10 pm**



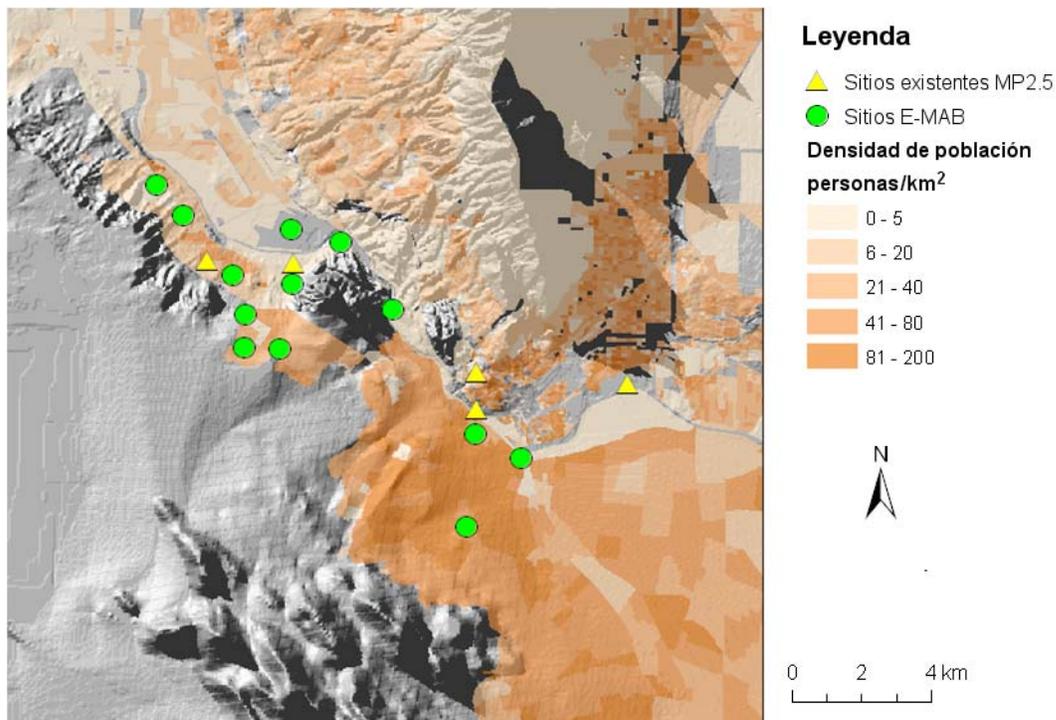
**Figura 4-88. Gráficos espaciales de MP<sub>2.5</sub> por hora durante el episodio de 11 pm a 3 am**

#### 4.4 Potenciales Zonas de Origen

Todo el trabajo anterior que identifica las potenciales zonas de origen, se basó en un estudio de campo que se llevó a cabo de diciembre de 2002 a febrero de 2003 con mediciones de 3 horas (6 a 9 pm) midiendo MP<sub>2.5</sub> en Sunland Park City Yard. Li et al. (2001) refiriendo a los hornos de ladrillo y los caminos no pavimentados como posibles fuentes de MP<sub>2.5</sub>. En otro artículo relacionado, Li et al. (2006) se usó un análisis de aire del sector y un análisis químico para aislar una potencial zona de origen 5 kilómetros al Sur de la estación Sunland Park City Yard. En este documento, los autores también mencionaron otras posibles fuentes que contribuyen al MP<sub>2.5</sub> tales como la calefacción de casas y la quema incontrolada de basura pero no tan importantes como las emisiones del tráfico. Más recientemente, García et al. (2006) usó técnicas estadísticas multivariantes en los datos y concluyó que los eventos de la tarde se deben en gran parte a las

actividades de quema al Sur de Sunland Park. El análisis químico de los filtros utilizados en este estudio, encontraron que uno de los mayores constituyentes del MP<sub>2.5</sub> era el carbono orgánico, teniendo como posible fuente las calefacciones residenciales.

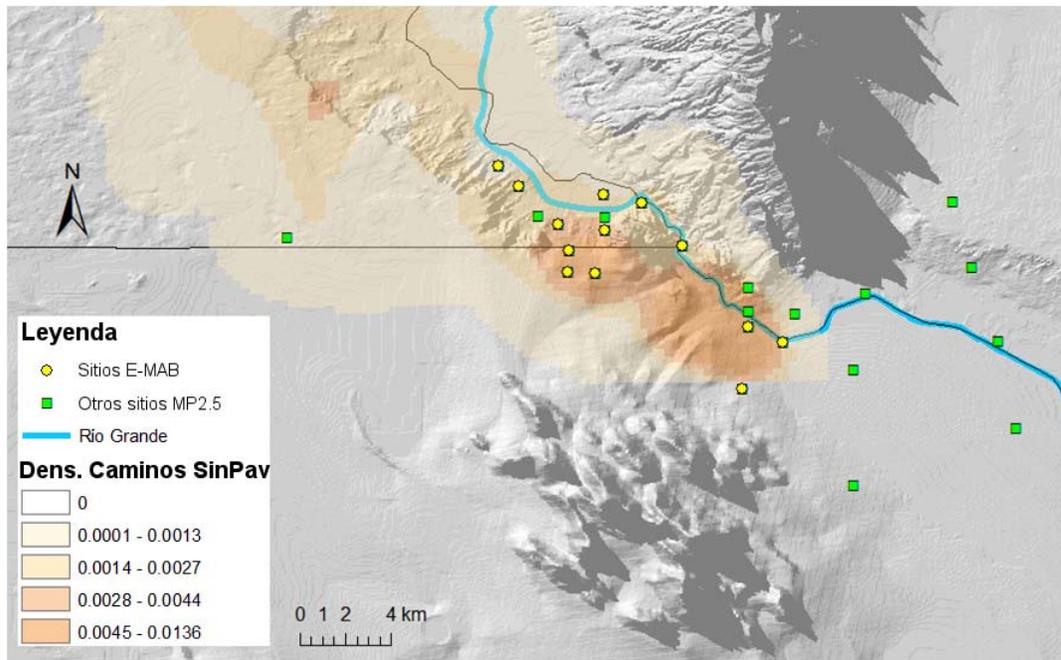
El modelo que nosotros desarrollamos aquí para determinar las potenciales zonas de origen, está basado en retrotrayectorias, ubicaciones de caminos sin pavimentar y densidad de población. Compilamos ubicaciones de caminos sin pavimentar ya conocidas, densidad de población y los resultados de este estudio en un GIS para investigar una región de origen. La densidad de población es un factor para la emisión de aparatos de calefacción residenciales (calentadores), tambos para quemar y asentamientos de basura en Ciudad Juárez. La información de la densidad de población fue obtenida de la estación web de PdNMapa para el año de 1995. Realizando una búsqueda para la densidad de población en Ciudad Juárez, parecen ser los datos públicos más recientes disponibles de datos GIS. El mapa en la figura 4-89 muestra la densidad de población del área en el que el estudio fue basado de acuerdo con el censo del año 2000 en Estados Unidos y del año 1995 en México.



**Figura 4-89. Densidad de población en el área del estudio**

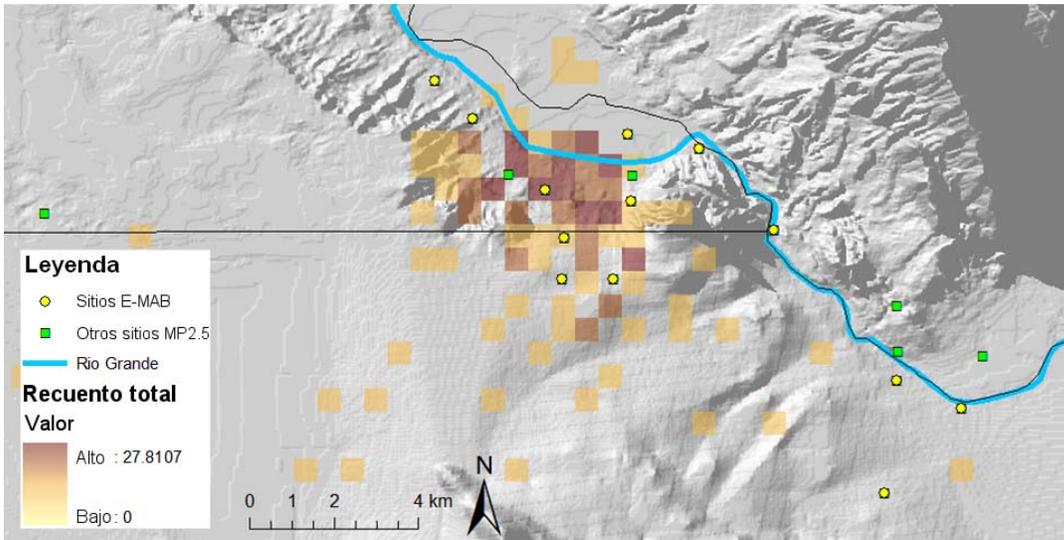
Las estaciones saturadas del Sur se encuentran localizadas en una alta densidad de población comparadas con las estaciones en Nuevo México. Dado que los datos de densidad de población fueron de hace más de una década, la población de Ciudad Juárez ha incrementado y se ha expandido inevitablemente así como en la Colonia Anapra. Las ubicaciones de los caminos sin pavimentar fueron digitadas a mano basados en una fotografía digital aérea de alta resolución del 2001 (DuBois, 2003). A pesar de la falta de una fuente de caminos sin pavimentar más reciente para el GIS, muchos de los caminos siguen sin pavimentar en una examinación del 2008 con fotografías aéreas del National Aerial Photography Program (USGS, 2008). La densidad de caminos sin pavimentar fue

calculada usando la probabilidad de densidad especial tipo Kernel y se muestra en la Figura 4-90. Las densidades de los caminos no pavimentados siguen muy de cerca el patrón de la densidad de población debido a que estos caminos al oeste de Ciudad Juárez en Anapra se extienden en una gran red. Existe una gran densidad de caminos sin pavimentar directamente al sur de la estación de Sunland Park City Yard al Sur de la frontera internacional.

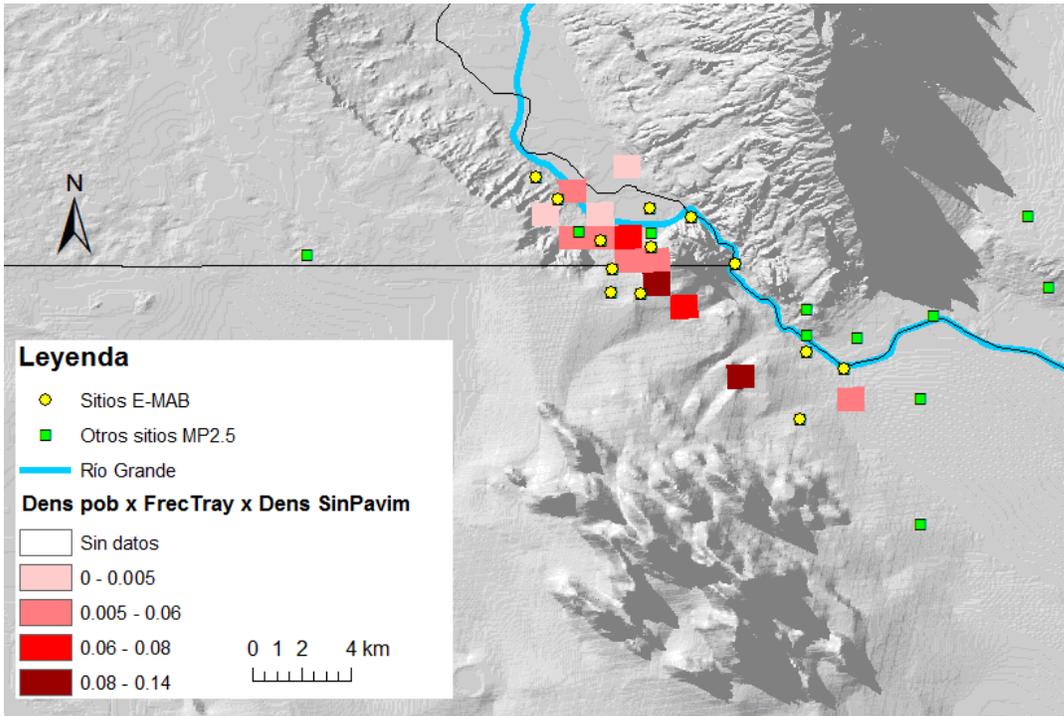


**Figura 4-90. Densidad de caminos sin pavimentar**

Las retro trayectorias de los seis episodios fueron usadas para extraer áreas potenciales que contribuyen al alto MP basado en la proximidad de las trayectorias a las más altas densidades de población. La Figura 4-91 muestra la frecuencia de las retro trayectorias de 3 horas de duración sobre el área de estudio. Cada número de celda representa el número de los puntos finales de las trayectorias cruzando cada celda, dividida por el número de intersecciones máximas posibles. Como se esperaba, las frecuencias más altas ocurrieron cerca de la ubicación de comienzo de la retro trayectoria adyacente a la estación 6ZG. El mapa muestra un mayor número de retro trayectorias procedentes de los cuadrantes del Oeste en comparación con las otras direcciones. Hubo unos pocos casos de vientos procedentes del Norte. La figura 4-92 muestra la frecuencia de la retro trayectoria multiplicada por la densidad de población en celdas. El mapa mostrará números más altos donde habrá el mayor número de trayectorias pasando sobre las áreas más pobladas. Esta figura muestra el producto de estos dos, siendo el más alto en un área al Sur de Sunland Park a menos de 3 a 4 km de la estación 6ZG. Nosotros interpretamos este mapa subjetivamente con los valores más altos teniendo mayor peso para ser etiquetados como áreas de fuentes potenciales. El resultado de este estudio esta basado en un número pequeño de episodios y trayectorias, no obstante esto confirma un trabajo previo realizado con análisis de sector de viento y datos de MP<sub>2.5</sub>. Un análisis que incluya más episodios arrojaría mayor información que la proporcionada aquí y se debería hacer en un futuro.



**Figura 4-91. Densidad de las retro trayectorias durante los seis episodios**



**Figura 4-92. Áreas de fuentes potenciales definidas por el producto de la densidad de población, las trayectorias y la densidad de caminos sin pavimentar**

## 5 Conclusiones y Recomendaciones

Este estudio investigó acerca del comportamiento espacial y temporal del  $MP_{2.5}$  durante numerosos episodios invernales en la red de monitoreo de saturación. Cuantificamos sobre 63 de estos episodios donde la concentración por hora de  $MP_{2.5}$  excedió las  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante una o más horas. Estos fueron definidos basados sobre las mediciones de la estación Sunland Park City Yard del DANM, con el código de 6ZG. La mayoría de los episodios ocurrieron durante las 18:00 y 20:00 horas MST. Estos ocurrieron en promedio cada 3 días y variaron en duración entre una y nueve horas, a menudo pasada la medianoche. Existieron 37 de estos episodios donde las concentraciones por hora superaron las  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación 6ZG. La más alta concentración de  $MP_{2.5}$  por hora observado en la estación 6ZG del DANM fue de  $184 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y fue medido en el día de Año Nuevo a la 1 am. Debido al día festivo este probablemente ha sido el resultado de una combinación de calefacción a leña en los hogares y fuegos pirotécnicos, con algunas emisiones de tráfico por caminos sin pavimentar. La superación de la norma de  $MP_{2.5}$  24-hrs de  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  no ocurrió en las estaciones permanentes de DANM o Texas durante este estudio. Sin embargo, la superación del estándar fue observada variadas veces en los estaciones de saturación en Nuevo México y Ciudad Juárez. El más alto promedio de  $MP_{2.5}$  24-hrs medido en la estación de Sunland Park City Yard fue de  $30.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 88% del estándar. Sin embargo, cuatro superaciones del estándar de 24-hrs fueron observados en las estaciones de saturación en Nuevo México. Los excesos ocurrieron en Ardivinos (16 de diciembre de 2008), en el Colegio Comunitario de Doña Ana (25 diciembre de 2008), Primaria Riverside (25 de febrero de 2009) y en la Pista de Carrera del Parque Sunland (25 de diciembre de 2009). Sustancialmente más altas concentraciones de  $MP_{2.5}$  fueron medidas en las estaciones de saturación en Ciudad Juárez con concentraciones promedio de 24-hrs tan altos como de  $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación MX-16. Para esas estaciones con ambos  $MP_{10}$  y  $MP_{2.5}$  observamos que el lado de Nuevo México tuvo una proporción menor de  $MP_{2.5}$  a  $MP_{10}$  de 0.11 que las estaciones de El Paso con una proporción de alrededor de 0.22. Esto es una indicación de que hay diferencias en la distribución del tamaño de las partículas de aerosol. Esto es coherente con las diferencias entre la ubicación general de las estaciones y los estudios previos que observaron la distribución de tamaño. Una hipótesis es que las estaciones de El Paso están más influenciadas por fuentes urbanas tales como vehículos de pasajeros y vehículos diesel, mientras que las estaciones de Nuevo México están dominados por caminos sin pavimentar y tormentas de tierra con la firma de fuente móvil no es tan significativa. Un cierto patrón en las concentraciones de  $MP_{2.5}$  fue observado en varias estaciones durante la semana. Los días domingos mostraron las más bajas concentraciones, seguidas por un auge de mitad de semana. En varias estaciones, el día sábado también mostró un auge en las concentraciones, indicando como causa las emisiones del tráfico y las actividades no relacionadas con el trabajo.

Exitosamente demostramos la utilidad de utilizar retrotrayectorias en la identificación de una zona potencial de origen. Con el número limitado de trayectorias utilizadas en este estudio la potencial zona de origen confirmó una investigación publicada anteriormente de un área al Sur de Sunland Park y dentro de los 5 kilómetros de la estación 6ZG. También descubrimos que un modelo de pronóstico comúnmente utilizado no fue

adecuado para dirigir el transporte durante estos eventos de viento bajo. Esto fue demostrado al comparar el Modelo de America del Norte (MAN), modelo de retrotrayectorias con las trayectorias generadas utilizando los vientos de la estación 6ZG. El problema con utilizar un modelo de pronóstico a gran escala es su falta de detalle en las áreas que están fuertemente influenciadas por el terreno. La escala de 12 kilómetro no resuelve las colinas y valles necesarios para predecir estos flujos de vientos. Las retrotrayectorias generadas con la entrada MAN se adaptan bien con los vientos observados en el Aeropuerto Internacional de El Paso. Los vientos del aeropuerto no reflejan lo observado cerca del valle del Río Grande. El método más apropiado para utilizar las retrotrayectorias en esta región es usar un modelo meteorológico a mesoescala de pronóstico tales como MM5, IMP, RAMS o un modelo de funcionamiento similar con una resolución muy fina menor que una escala de 1 kilómetro. En base a este estudio los campos de vientos en este lugar no son espacialmente homogéneos y son fuertemente influenciados por los vientos de pendiente ascendente y pendiente descendente a lo largo de los lados de las colinas, así como un flujo de drenaje del río siguiendo el curso del Río Grande. El modelo HYSPLIT podría ser guiado por estos campos de viento MM5 o IMP con la esperanza de entregar mejores predicciones de las zonas de origen.

Si bien las redes de monitoreo de saturación de recolección de concentraciones en masa solo son útiles para proporcionar detalles sobre la extensión espacial de material particulado a través de un área y como éste varía en el tiempo, ellas están limitadas para decir solo la magnitud del problema. En base al trabajo pasado de especiación química del  $MP_{2.5}$ , la sugerencia de un estudio adicional sería centrarse en las fracciones de carbón orgánico durante estos episodios en variadas estaciones. Trazas para la quema de variados materiales sería útil, así como diferenciar el carbono de las emisiones del diesel. Siguiendo el estudio desde 2002 al 2003, un análisis orgánico de muestras de filtro de corto plazo de la tarde de punta podría ser útil en la identificación de algunos compuestos usado en la quema de basura, madera y combustible.

Otro posible estudio de seguimiento que podría describir mejor la zona de origen y los patrones complejos de flujo del viento sería utilizar un marcador de emisión en uno o más vecindarios en Ciudad Juárez y medir las concentraciones del marcador en la zona de Sunland Park con los instrumentos de alta resolución de tiempo. En este tipo de estudio un marcador inerte tal como Hexafluoruro de Azufre ( $SF_6$ ) o algún otro gas es liberado en un lugar con una tasa conocida. Una red de muestreo es diseñada para medir las concentraciones pequeñas en el tiempo. Las estimaciones de dispersión horizontal de la pluma pueden ser obtenidas desde esta información. Este estudio de medición se ha hecho exitosamente por muchos años para investigar el comportamiento de las emisiones de las centrales eléctricas, las plumas de los vehículos motorizados y los peligros liberados dentro de las zonas urbanas. Mientras se realiza el estudio de un tipo de instrumento LIDAR que mide perfiles verticales de retrodispersión de aerosol, también sería útil realizar un seguimiento del alcance vertical de la pluma.

## 6 Bibliografía

- Barr,S.; Buttler,W.F.; Clark,D.A.; Cottingame,W.B.; and Eichinger,W.E. (1994). Lidar-observed wind patterns in the Mexico-New Mexico-Texas border region: 9-11 September, 1994. Prepared by Lidar/Environmental Applications, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM.
- Draxler, R R, and G D Hess. "An overview of the HYSPLIT\_4 modelling system for trajectory dispersion and deposition." *Australian Meteorological Magazine*, 1995: 295-308.
- Draxler, R. R. and G. D. Hess, (1997). Description of the Hysplit\_4 modeling system. Report No. NOAA Tech Memo ERL ARL-224, December 1997. Prepared by Air Resources Laboratory, NOAA, Silver Spring, MD.
- DuBois, D.W. Applications of air quality monitoring network design strategies, Unpublished Ph.D. dissertation, University of Nevada, Reno. 2003.
- ERG, (2003). *Development of an area source emissions inventory for Ciudad Juárez, Chihuahua, Mexico*, Eastern Research Group, report number 0141.00.055.001
- Finlayson-Pitts, B J, and Jr, J N Pitts. *Chemistry of the upper and lower Atmosphere*. London, UK: Academic Press, 1999.
- Fujita, E M, D E Campbell, W Stockwell, P T Roberts, W Main, and L R Chinkin. *Weekend/weekday ozone observations in the South Coast Air Basin, Volume I- Executive Summary*. Final, Atlanta, GA: Desert Research Institute and Sonoma Technology, 2002.
- Garcia, J. H., W.-W. Li, N. Cardenas, R. Arimoto, J. Walton and D. Trujillo. "Determination of PM<sub>2.5</sub> sources using time-resolved integrated source and receptor models." *Chemosphere*, 1996: 2018-2027.
- Graham, J.P., Gurian, P.L., Corella-Barud, V., Avilla R. Periurbanization and in-home environmental health risks: the side effects of planned and unplanned growth. *Int J Hyg Environ Health*. 2004;207(5):447-54.
- Graham, J.P., V. Corella-Barud, R. Avitia-Diaz and P. Gurian. The in-home environment and household health: A cross-sectional study of informal urban settlements in Northern Mexico, *Int. J. Env. Res. and Public Health*. 2005; 2(3): 394-402
- Kavouras, I G, V Etyemezian, D DuBois, J Xu, and M Pitchford. "Source reconciliation of dust sources in western United States." *Journal of Geophysical Research- Atmospheres*, 2009: D02308.
- Kemp, M., (1992). *El Paso/Juárez saturation PM-10 study, December 8, 1989 – December 18, 1989*, US EPA Region 6, report number 906-R-92-001.
- Li, W.-W., R. Orquiz, J.H. Garcia, T.T. Espino, N.E. Pingitore, J. Gardea-Torresdey, J.C. Chow and J.G. Watson, (2001). Analysis of temporal and spatial dichotomous PM air samples in the El Paso-Cd. Juárez air quality basin, *J. Air & Waste Mgmt. Assoc.* 51: 1551-1560.

- Li, W.-W., N. Cardenas, J. Walton, D. Trujillo, H. Morales, and R. Arimoto, (2005). PM source identification at Sunland Park, New Mexico, using a simple heuristic meteorological and chemical analysis, *J. Air & Waste Mgmt. Assoc.* 55: 352-364.
- Marr, L. C, D. R. Balck, and R. A. Harley. "Formation of a photochemical pollution in central California 1. Development of a revised mobile vehicle emissions inventory." *Journal of Geophysical Research*, 2002: S1-S9, doi:10.1029/2001JD000689.
- Motallebi, N, H Tran, B E Croes, and L C Larsen. "Day-of-week patterns of particulate matter and its chemical components at selected sites in California." *Journal of Air and Wastes Management Association*, 2003: 876-888.
- Orris,G.J. (2000). New Mexico aggregate production sites, 1997-1999. USGS Open-File Report 00-011-A. Prepared by USGS.
- Pfeil,J. (2001). New Mexico's natural resources 2001. Prepared by Energy, Minerals and Natural Resources Department, Santa Fe, NM.
- PNEG, (2003). Development of GIS-based Maps for the Ciudad Juárez Area Source Emissions Inventory Project. Prepared for the Texas Commission on Environmental Quality. Prepared by the Texas Commission on Environmental Quality. Prepared by the Paso del Norte Environmental Group, El Paso, Texas. August 24.
- Seinfeld, J H, and S N Pandis. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. New York: Wiley-Interscience, 1998.
- Smith, T.B., and D.E. Lehrman, (1996). SARMAP II Design, Analysis of San Joaquin Valley Meteorological Environment During High PM Loading, Final Report, Technical & Business Systems, Santa Rosa, CA
- US Bureau of Transportation Statistics (BTS), U.S. Border Crossings/ Entries by State/Port and Month/Year Sorted by Year. 2009, <http://www.transtats.bts.gov/BorderCrossing.aspx>
- USGS, The National Aerial Photography Program (NAPP), 2008, <http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/>

## Apéndice A: Descripciones de los estaciones

### Sunland Park City Yard, DANM Oficina de Calidad del Aire estación permanente (6GZ)



0 50 100 200 Meters



Fotografía aérea de la estación 6GZ del National Agricultural Imagery Program (NAIP) de 2009 con resolución de 1-metro



Sunland Park City Yard estación; ubicación del Monitor MOEC de MP2.5

**Escuela Primaria Desert View, DANM Oficina de Calidad del Aire, estación permanente (6ZM)**



Fotografía aérea de la estación 6ZM del National Agricultural Imagery Program (NAIP) de 2009 con resolución de 1-metro

**Crece Fronterizo Santa Teresa, DANM Oficina de Calidad del Aire, estación permanente (6ZN)**



Fotografía aérea de la estación 6ZN del National Agricultural Imagery Program (NAIP) de 2009 con resolución de 1-metro

**E-BAM #12; Ardivinos (ARDO)**



Fotografía aérea de la estación ARDO del National Agricultural Imagery Program (NAIP) de 2009 con resolución de 1-metro



E-BAM #12; Ardovino's



Estación de Ardovino con Operadores de Estados Unidos; Abel Ramírez y Michaela Lane-Sánchez

**E-BAM #14; Colegio Comunitario del Condado de Doña Ana (DACC)**

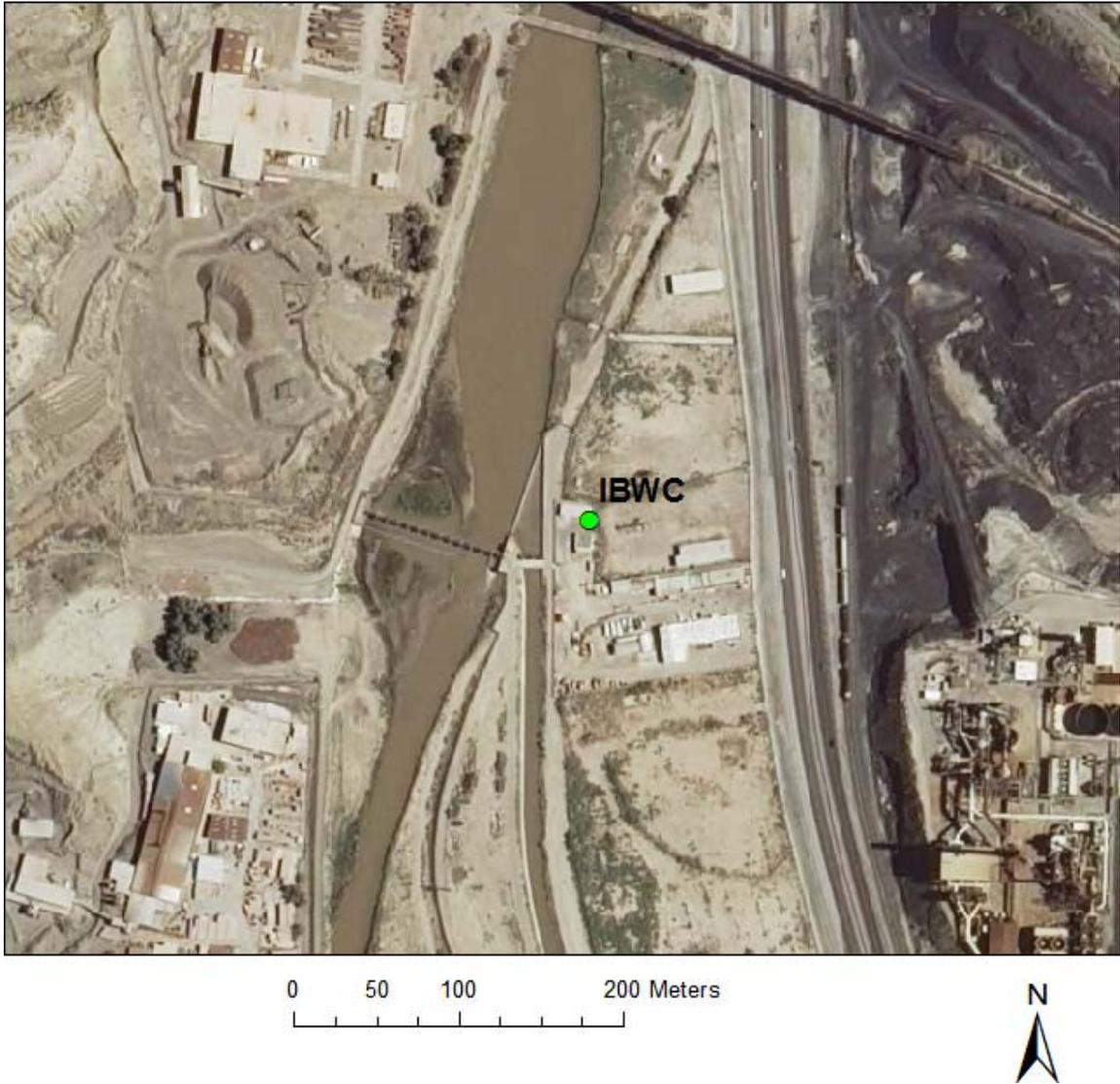


Fotografía aérea de la estación DACC del National Agricultural Imagery Program (NAIP) de 2009 con resolución de 1-metro



E-BAM #14; Colegio Comunitario del Condado de Doña Ana

**Estación #10 E-BAM; Frontera Internacional y Comisión de Agua (IBWC)**



Fotografía aérea de la estación IBWC del National Agricultural Imagery Program (NAIP) de 2009 con resolución de 1-metro



E-BAM #10; Frontera Internacional y Comisión de Agua  
Nota: La chimenea ASARCO no esta active; no emite partículas

**Estación #13 E-BAM; Escuela Primaria Riverside (RIVER)**



Fotografía aérea de la estación RIVER del National Agricultural Imagery Program (NAIP) de 2009 con una resolución de 1-metro



E-BAM #13; Escuela Primaria Riverside

**E-BAM estación #11; Pista de Carrera de Sunland Park (SPRT)**



Fotografía aérea de la estación SPRT del National Agricultural Imagery Program (NAIP) de 2009 con una resolución de 1-metro



E-BAM #11; Pista de Carreras Sunland Park

**Estación #15 E-BAM; Escuela Primaria Sunland Park (SUN)**



Fotografía aérea de la estación SUN del National Agricultural Imagery Program (NAIP) del 2009 con una resolución de 1-metro



E-BAM #15; Escuela Primaria Sunland Park

**Estación #15A E-BAM; Templo Victoria En Jesucristo (VICT)**



Fotografía aérea de la estación VICT del National Agricultural Imagery Program (NAIP) de 2009 con una resolución de 1-metro



E-BAM #15A; Templo Victoria En Jesucristo

**Estación #16 E-BAM; Bomberos Anapra (MX-16)**



Fotografía aérea de la estación MX-16 del National Agricultural Imagery Program (NAIP) de 2009 con una resolución de 1-metro

DOMICILIO: Calle 6 esquina con Raya Col. Anapra

COORDENADAS: Long. 106° 33' 40.83", Lat. 31° 46' 25.26" N

FECHA DE INICIO: 06 DE NOVIEMBRE DE 2008



E-BAM #16; Bomberos Anapra



Foto 2. Estación 16, Monitor instalado en la azotea de la Estación de Bomberos



Foto 3. Estación 16, Vista Norte



Foto 4. Estación 16, Vista Sur



Foto 5. Estación 16, Vista Poniente



Foto 6. Estación 16, Vista Oriente

**Estación #17 E-BAM; Ferretería La Más Barata (MX-17)**



Fotografía aérea de la estación MX-17 del National Agricultural Imagery Program (NAIP) de 2009 con una resolución de 1-metro

DOMICILIO: Rancho Anapra No. 10604, Col. Puerto Anapra  
CORDENADAS: Long. 106° 33' 20.16", Lat. 31° 46' 26.07"  
FECHA DE INICIO: 07 DE NOVIEMBRE DE 2008



E-\BAM #17; Ferretería La Más Barata



Foto 2. Estación 17, Monitor instalado en la azotea de la Ferretería.



Foto 3. Estación 17, Vista Norte



Foto 4. Estación 17, Vista Sur

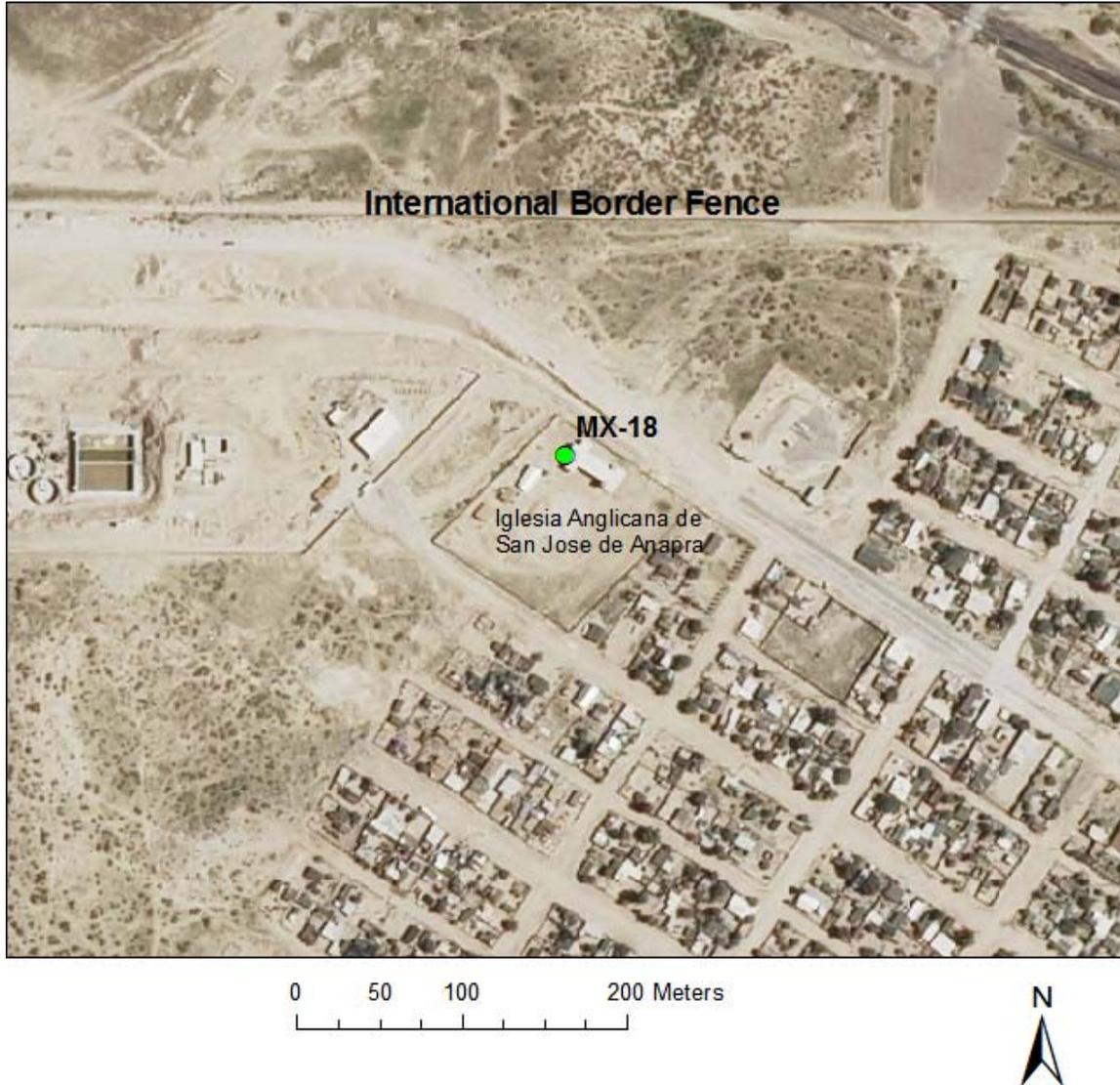


Foto 5. Estación 17, Vista Poniente



Foto 6. Estación 17, Vista Oriente

**Estación #18 E-BAM; Iglesia Anglicana de San José de Anapra (MX-18)**



Fotografía aérea de la estación MX-18 del National Agricultural Imagery Program (NAIP) de 2009 con una resolución de 1-metro

DOMICILIO: Camino a Rancho Anapra No. 11248, Col. Anapra  
COORDENANDAS: Long. 106° 34' 18.47", Lat. 31° 46' 57.40"  
FECHA DE INICIO: 12 DE NOVIEMBRE DE 2008



E-BAM #18; Iglesia Anglicana de San José de Anapra



Foto 2. Estación 18, Monitor instalado en la azotea de la Iglesia.



Foto 3. Estación 18, Vista Norte



Foto 4. Estación 18, Vista Sur



Foto 5. Estación 18, Vista Poniente



Foto 6. Estación 18, Vista Oriente

**Estación #19 E-BAM; Maquiladora ACS (MX-19)**



Fotografía aérea de la estación MX-19 del National Aerial Photography Program (NAPP) de 2006 con una resolución de 1-metro

DOMICILIO: Calle Cloro s/n entre Blvd. Fronterizo y Geranios, Col. Altavista

COORDENADAS GEOGRAFICAS: Long. 106° 30' 04, Lat 31° 45' 08

FECHA DE INICIO: 12 DE NOVIEMBRE DE 2008



E-BAM #19; Maquiladora ACS



Foto 2. Estación 19, Monitor instalado en la Estación ACS.



Foto 3. Estación 19, Vista Norte



Foto 4. Estación 19, Vista Sur



Foto 5. Estación 19, Vista Poniente



Foto 6. Estación 19, Vista Oriente

**Estación #20 E-BAM; Secundaria Federal No. 3 (MX-20)**



Fotografía aérea de la estación MX-20 del National Aerial Photography Program (NAPP) de 2006 con una resolución de 1-metro

DOMICILIO: Viaducto Díaz Ordaz y Lucio Blanco, Col. E. Zapata

COORDENADAS GEOGRAFICAS: Long. 106° 30' 13" O, Lat. 31° 43' 41" N

FECHA DE INICIO: 13 DE NOVIEMBRE DE 2008



E-BAM #20; Secundaria Federal No. 3



Foto 2. Estación 20, Monitor instalado en la Sec. Federal No. 3.



Foto 3. Estación 20, Vista Norte



Foto 4. Estación 20, Vista Sur

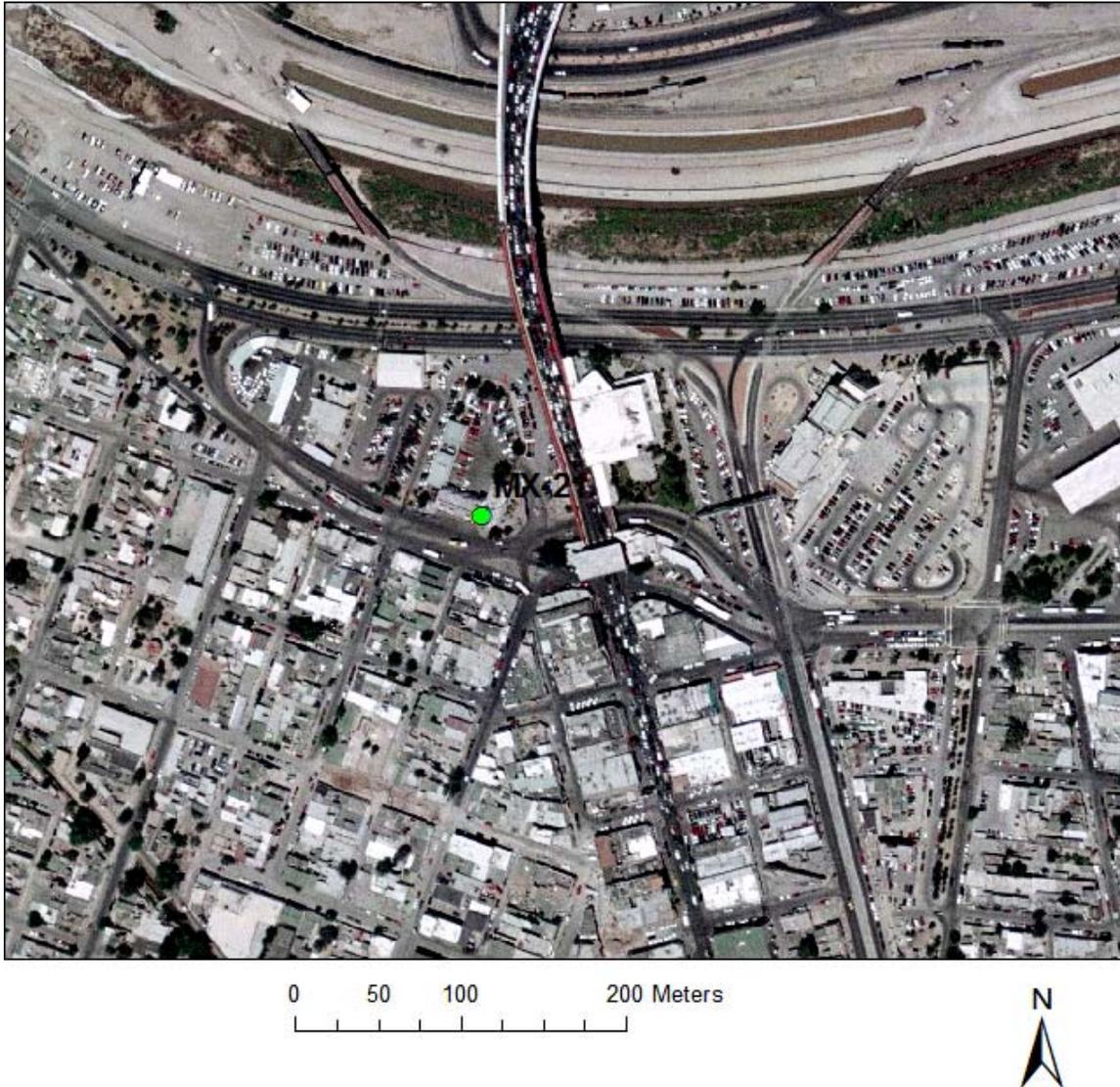


Foto 5. Estación 20, Vista Poniente



Foto 6. Estación 20, Vista Oriente

**Estación #21 E-BAM; Estación Central de Bomberos (MX-21)**



Fotografía aérea de la estación MX-21 del National Aerial Photography Program (NAPP) de 2006 con una resolución de 1-metro

DOMICILIO: Gardenias y Amapolas, Col. Centro

COORDENADAS GEOGRAFICAS: Long. 106° 29' 14" O, Lat. 31° 44' 46" N

FECHA DE INICIO: 01 DE DICIEMBRE DE 2008



E-BAM #21; Estación Central de Bomberos



Foto 2. Estación 21, Monitor instalado en la Azotea de la Central de Bomberos



Foto 3. Estación 21, Vista Norte



Foto 4. Estación 21, Vista Sur



Foto 5. Estación 21, Vista Poniente



Foto 6. Estación 21, Vista Oriente



Operador de Estados Unidos, Abel Ramírez (en medio) con operadores de México, Pedro Mora y Ricardo Aragón

## Apéndice B: Lista de episodios durante el estudio

Episodios en el estación 6ZG basados en al menos una hora con concentración de MP<sub>2.5</sub> de 50 µg/m<sup>3</sup> o superior y para vientos menores a 2 mph. Utilizando este criterio hubo 37 episodios a lo largo del estudio.

Episodio No.	Fecha	Máx MP2.5	Media MP2.5	Número de Horas	Media Delta T (C)
1	30/10/2008	67.7	60.2	2	2.5
2	31/10/2008	71.0	63.1	4	2.4
3	2/11/2008	53.7	53.7	1	2.3
4	7/11/2008	64.7	64.7	1	2.9
5	8/11/2008	83.7	81.3	4	2.7
6	16/11/2008	55.7	55.6	2	2.6
7	17/11/2008	79.7	71.3	2	3.1
8	18/11/2008	61.7	61.7	1	3.5
9	19/11/2008	78.3	69.6	2	2.7
10	21/11/2008	69.0	69.0	1	1.3
11	22/11/2008	101.9	62.3	6	2.1
12	25/11/2008	50.5	50.5	1	0.0
13	26/11/2008	50.2	50.2	1	1.7
14	5/12/2008	72.2	70.1	2	2.0
15	6/12/2008	83.0	83.0	1	2.1
16	11/12/2008	63.7	56.9	2	1.7
17	24/12/2008	53.8	53.8	1	1.4
18	29/12/2008	84.5	70.1	4	2.4
19	30/12/2008	76.6	69.2	3	2.5
20	31/12/2008	184.1	112.1	8	1.7
21	10/01/2009	51.9	51.9	1	1.9
22	14/01/2009	71.9	61.3	2	2.7
23	16/01/2009	74.3	62.7	2	2.3
24	18/01/2009	85.4	78.8	2	2.8
25	19/01/2009	110.3	89.8	4	2.4
26	21/01/2009	73.3	65.2	3	2.2
27	25/01/2009	56.1	56.1	1	2.2
28	30/01/2009	75.6	69.2	2	2.3
29	5/02/2009	82.1	63.2	4	2.8
30	16/02/2009	51.2	51.2	1	1.3
31	22/02/2009	56.2	56.2	1	2.3
32	23/02/2009	63.6	57.6	2	2.6
33	2/03/2009	54.6	52.6	2	2.6

<b>Episodio No.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Máx MP2.5</b>	<b>Media MP2.5</b>	<b>Número de Horas</b>	<b>Media Delta T (C)</b>
34	3/03/2009	66.6	59.1	3	4.1
35	16/03/2009	50.9	50.9	1	2.6
36	21/03/2009	60.6	60.6	1	3.2
37	21/04/2009	50.5	50.5	1	3.3

Episodios en el estación 6ZG basados en al menos una hora con concentración de MP<sub>2.5</sub> de 40 µg/m<sup>3</sup> o superior y para vientos menores a 2 mph. Utilizando este criterio hubo 49 episodios en el estudio.

<b>Episodio No.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Máx MP2.5</b>	<b>Media MP2.5</b>	<b>Número de Horas</b>	<b>Media Delta T (C)</b>
1	30/10/2008	67.7	60.2	2	2.5
2	31/10/2008	71.0	63.1	4	2.4
3	2/11/2008	53.7	47.5	3	2.6
4	7/11/2008	64.7	64.7	1	2.9
5	8/11/2008	83.7	81.3	4	2.7
6	9/11/2008	45.2	42.7	2	2.0
7	16/11/2008	55.7	55.6	2	2.6
8	17/11/2008	79.7	56.8	4	2.9
9	18/11/2008	41.4	41.4	1	1.4
10	18/11/2008	61.7	52.5	2	3.9
11	19/11/2008	78.3	53.5	5	2.5
12	21/11/2008	69.0	69.0	1	1.3
13	22/11/2008	101.9	58.2	8	2.0
14	25/11/2008	50.5	50.5	1	0.0
15	26/11/2008	50.2	46.6	5	1.6
16	3/12/2008	47.0	47.0	1	3.2
17	5/12/2008	72.2	70.1	2	2.0
18	6/12/2008	83.0	83.0	1	2.1
19	11/12/2008	63.7	51.3	4	1.5
20	24/12/2008	53.8	53.8	1	1.4
21	29/12/2008	84.5	59.6	7	2.3
22	30/12/2008	76.6	69.2	3	2.5
23	31/12/2008	184.1	112.1	9	1.7
24	10/01/2009	51.9	47.8	2	1.7
25	14/01/2009	71.9	52.9	4	2.7
26	16/01/2009	74.3	50.2	6	2.2
27	18/01/2009	85.4	78.8	2	2.8
28	19/01/2009	110.3	81.4	5	2.4

<b>Episodio No.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Máx MP2.5</b>	<b>Media MP2.5</b>	<b>Número de Horas</b>	<b>Media Delta T (C)</b>
29	21/01/2009	73.3	57.2	5	2.0
30	25/01/2009	56.1	56.1	1	2.2
31	29/01/2009	45.6	44.3	9	1.7
32	30/01/2009	75.6	60.4	3	2.0
33	3/02/2009	40.9	40.8	2	3.3
34	5/02/2009	82.1	63.2	4	2.8
35	11/02/2009	42.0	42.0	3	1.3
36	13/02/2009	46.5	46.2	2	2.2
37	16/02/2009	51.2	46.9	2	1.9
38	19/02/2009	47.2	47.2	1	2.7
39	22/02/2009	56.2	51.7	2	2.2
40	23/02/2009	63.6	52.2	3	2.5
41	2/03/2009	54.6	48.2	4	2.7
42	3/03/2009	66.6	59.1	3	4.1
43	16/03/2009	50.9	50.9	1	2.6
44	21/03/2009	60.6	60.6	1	3.2
45	18/04/2009	43.5	43.5	1	2.0
46	21/04/2009	50.5	50.5	1	3.3
47	28/04/2009	41.1	41.1	1	-0.1
49	30/04/2009	42.6	42.6	1	2.7

Episodios en el estación 6ZG basados en al menos una hora con concentraciones de MP<sub>2.5</sub> de 30 µg/m<sup>3</sup> o superior y para vientos menores a 2 mph. Utilizando este criterio hubo 63 episodios en el estudio.

<b>Episodio No.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Máx MP2.5</b>	<b>Media MP2.5</b>	<b>Número de Horas</b>	<b>Media Delta T (C)</b>
1	30/10/2008	67.7	48.1	4	2.4
2	31/10/2008	71.0	57.2	5	2.3
3	1/11/2008	31.4	31.4	1	1.5
4	2/11/2008	53.7	47.5	3	2.6
5	3/11/2008	34.5	34.5	1	2.8
6	7/11/2008	64.7	47.4	2	2.6
7	8/11/2008	83.7	81.3	4	2.7
8	9/11/2008	45.2	40.1	3	1.8
9	12/11/2008	34.6	32.3	2	2.5
10	16/11/2008	55.7	47.8	3	2.6
11	17/11/2008	79.7	49.2	6	2.7
12	18/11/2008	61.7	46.5	4	2.4

<b>Episodio No.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Máx MP2.5</b>	<b>Media MP2.5</b>	<b>Número de Horas</b>	<b>Media Delta T (C)</b>
13	19/11/2008	78.3	49.7	6	2.2
14	21/11/2008	69.0	47.3	3	1.5
15	22/11/2008	101.9	55.4	9	1.9
16	25/11/2008	50.5	50.5	1	0.0
17	25/11/2008	32.6	32.6	1	1.3
18	26/11/2008	50.2	46.6	5	1.6
19	1/12/2008	36.0	36.0	1	2.5
20	3/12/2008	47.0	47.0	1	3.2
21	5/12/2008	72.2	70.1	2	2.0
22	6/12/2008	83.0	49.5	4	1.8
23	11/12/2008	63.7	51.3	4	1.5
24	24/12/2008	53.8	53.8	1	1.4
25	27/12/2008	34.7	34.7	1	1.9
26	29/12/2008	84.5	55.9	8	2.3
27	30/12/2008	76.6	69.2	3	2.5
28	31/12/2008	184.1	103.2	9	1.7
29	3/01/2009	34.3	34.3	1	1.8
30	10/01/2009	51.9	42.5	3	1.7
31	14/01/2009	71.9	49.9	5	2.6
32	16/01/2009	74.3	48.2	6	2.2
33	18/01/2009	85.4	78.8	2	2.8
34	19/01/2009	110.3	74.2	6	2.4
35	21/01/2009	39.0	39.0	1	1.0
36	21/01/2009	73.3	53.7	6	2.0
37	25/01/2009	56.1	44.9	2	2.2
38	26/01/2009	31.1	31.1	1	2.6
39	28/01/2009	30.8	30.8	1	1.7
40	29/01/2009	45.6	40.7	3	1.7
41	30/01/2009	42.9	42.9	1	1.6
42	30/01/2009	75.6	53.5	4	1.9
43	2/02/2009	34.4	34.4	1	1.1
44	3/02/2009	40.9	40.8	2	3.3
45	5/02/2009	82.1	63.2	4	2.8
46	11/02/2009	42.0	42.0	2	1.3
47	13/02/2009	46.5	46.2	2	2.2
48	16/02/2009	51.2	46.9	2	1.9
49	19/02/2009	47.2	47.2	1	2.7
50	22/02/2009	56.2	51.7	2	2.2
51	23/02/2009	63.6	52.2	3	2.5
52	2/03/2009	54.6	43.6	6	2.3

<b>Episodio No.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Máx MP2.5</b>	<b>Media MP2.5</b>	<b>Número de Horas</b>	<b>Media Delta T (C)</b>
53	3/03/2009	66.6	59.1	3	4.1
54	6/03/2009	30.9	30.9	1	1.1
55	16/03/2009	50.9	44.3	2	2.6
56	17/03/2009	31.6	31.6	1	2.3
57	21/03/2009	60.6	60.6	1	3.2
58	31/03/2009	35.6	35.6	1	2.1
59	18/04/2009	43.5	37.7	3	2.1
60	20/04/2009	36.5	36.5	1	3.4
61	21/04/2009	50.5	40.5	2	2.9
62	28/04/2009	41.1	39.7	2	0.8
63	30/04/2009	42.6	42.6	1	2.7

## Apéndice C: Teoría de Operación E-BAM

“E-BAM” significa “Instrumento de Prueba Ambiental-Medida de Atenuación Beta.”

Cuando los electrones emanan altos niveles de energía desde la desintegración radioactiva el  $^{14}\text{C}$  (carbono 14) interactúa con la materia cercana, ellos pierden su energía y, en algunos casos, son absorbidos por la materia. Estos electrones de alta energía emitida a través de desintegración radioactiva son conocidos como los *rayos beta* y el proceso es conocido como *atenuación del rayo beta*. Cuando el rayo es ubicado entre la fuente radioactiva del  $^{14}\text{C}$  y un dispositivo diseñado para detectar rayos beta, los rayos beta son absorbidos y/o su energía disminuida, resultando en una reducción en el número de partículas beta detectadas. La magnitud de la reducción en detectar partículas beta es una función de la masa de la materia absorbida entre la fuente beta de  $^{14}\text{C}$  y el detector.

En este estudio, la tapa de fibra de vidrio sobre las bobinas fue el medio utilizado para recolectar el material particulado, el cual fue introducido por una bomba aspiradora con un caudal de 16.7 litros por minuto. La cinta fue avanzada cada 24 horas. Durante cualquier periodo dado de 24 horas, el material particulado sería recogido sobre la cinta y 60 minutos promedio de concentraciones de partículas fueron registradas por el software.

Como el material particulado se acumuló sobre la cinta, el software del E-BAM calculó una concentración de partículas en miligramos por metro cúbico del volumen de aire muestreado. La unidad utilizada para los datos de concentración de partículas en este informe fueron convertidos a microgramos por metro cúbico.

El MP2.5 fue recolectado para el proyecto, en lugar de MP10. Esto fue logrado por la adición de un “Ciclo de Corte Agudo” (CCA) para cada E-BAM. El “CCA” se muestra en la página 66 del manual de operaciones.

Además de la capacidad de medición de partículas, los E-BAM utilizados en este proyecto tuvieron la capacidad para recolectar la información relativa a la velocidad y dirección del viento. Esta información fue también capturada de 60 minutos promedio.

Para más detalles, consulte el manual de operaciones E-BAM en que puede ser encontrado en el sitio web de la Oficina de Calidad del Aire bajo el nombre de “Mi Aire” (“My Air” en inglés) en la Librería (“Library”), puede ser encontrado en español e inglés.