

ANÁLISIS DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) Y PARTÍCULAS FRACCIÓN RESPIRABLE (PM₁₀), EN CUNDUACÁN, TABASCO

Analysis of total suspended particles (TSP) and breathable fraction-particulate matter (PM₁₀) in Cunduacan, Tabasco

H Pérez-Vidal ✉, MA Lunagómez-Rocha, LI Acosta-Pérez

(HPV)(MALR)(LIAP) División Académica de Ciencias Básicas. UJAT. Km.1 Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez Tabasco. Cunduacán Tabasco 86690, A.P.24 hermicenda.perez@dacb.ujat.mx

Artículo recibido: 18 de septiembre de 2008, **aceptado:** 26 de abril de 2010

RESUMEN. En la atmósfera del municipio de Cunduacán Tabasco se midió la concentración de partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM₁₀). La obtención de las muestras fue a través de filtros de fibra de vidrio colocados en equipos muestreadores de alto volumen siguiendo los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas (NOM-035-ECOL/1993 y NOM-CCAM-002 ECOL/1993). Las PST fueron muestreadas de enero 2001 a octubre de 2003 (n = 50); y las PM₁₀ de febrero 2001 a octubre de 2003 (n = 58). La máxima concentración de PST fue de 335.45 $\mu\text{g m}^{-3}$ en mayo del 2003, mientras que el valor mínimo fue de 4.39 $\mu\text{g m}^{-3}$ en octubre del 2001. La norma fue rebasada dos días en el año 2003. Durante el periodo 2001-2003, las PM₁₀ excedió la norma de calidad del aire establecida (150 $\mu\text{g m}^{-3}$), por lo que se detectaron problemas de contaminación respecto a material particulado en Tabasco cuyos efectos aún no han sido evaluados.

Palabras clave: Partículas suspendidas totales, aire, fracción respirable.

ABSTRACT. The concentration of total suspended particles (PST) and of breathable fraction-particulate matter (PM₁₀) was recorded in the air in the municipality of Cunduacán, Tabasco. Air samples were passed through fiber glass filters placed in high-volume sampling equipment according to the procedures established by the Mexican environmental legislation (NOM-035-ECOL/1993 and NOM-CCAM-002 ECOL/1993). The PST were sampled from January 2001 to October 2003 (n = 50) and the PM₁₀ from February 2001 to October 2003 (n = 58). The PST maximum concentration was 335.45 $\mu\text{g m}^{-3}$ in May 2003, whereas the minimum value was 4.39 $\mu\text{g m}^{-3}$ in October 2001. The maximum contaminant level allowed was exceeded on two days of the year 2003. During 2001-2003, the PM₁₀ exceeded the established MCL (150 $\mu\text{g m}^{-3}$), detecting a pollution problem with respect to particulate matter in Tabasco, and of which the effects have not yet been evaluated.

Key words: Total suspended particles, air, breathable fraction.

INTRODUCCIÓN

Como partículas se entiende cualquier sustancia, excepto agua pura que, bajo condiciones normales. Pueden estar presentes en estado sólido o líquido en la atmósfera y tienen tamaño microscópico o submicroscópico mayor que las dimensiones típicas moleculares (Whitby & Cantrell 1976, De Nevers 1997). Entre los constituyentes de la atmósfera, este contaminante es único en complejidad dado que es el resultado no solamente de la emisión directa de partículas sino también de ciertos gases que se con-

densan en forma de partículas directamente o sufren transformación química. Una descripción completa de las partículas atmosféricas requiere la especificación no solamente de su concentración sino también de su tamaño, composición química, fase y morfología (Salazar 1993, Seinfeld 1998, Sans & Ribas 1999).

El análisis de partículas se basa en el diámetro de las mismas; las partículas se clasifican en: 1) partículas suspendidas totales (PST) diámetro hasta 100 micras, 2) inhalables o respirables (PM₁₀), cuyo diámetro es menor a 10 micras, 3) finas con

diámetro menor a 2.5 micras ($PM_{2,5}$) y 4) ultrafinas cuyo diámetro es menor a 1 micra (PM_1).

Las fuentes de partículas suspendidas son diversas y abarcan desde las naturales, como polvo volcánico y tolvaneras, hasta las de origen antropogénico, que incluyen fábricas de acero, plantas de generación de energía, cementeras, fundidoras, obras de construcción y demolición, hornos y chimeneas que utilizan madera como combustible, áreas sujetas a erosión y motores diesel (Bravo 1984, Báez 1987, Wadden 1987, Anónimo 1996, Manoli *et al.* 2004).

Las partículas de polvo transportadas por el viento pueden contener sustancias tóxicas como bifenilos policlorados, ozono, bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, benceno, butadieno y plaguicidas las cuales pueden tener un efecto en la salud a corto y largo plazo. Estos efectos van desde irritación de ojos y garganta hasta la reducción de la resistencia a infecciones y pueden dar origen a enfermedades respiratorias crónicas (Hinds 1982, Lippmann 1989, HEI 2002). De los efectos agudos, se ha identificado que el incremento en la concentración de partículas (PM_{10}) y ozono se encuentran relacionadas con un incremento en la tasa de mortalidad prematura (O'Neill *et al.* 2004 a, b, De Pablo *et al.* 2006, Filleul *et al.* 2006, Ritz *et al.* 2006, Zhang *et al.* 2006). Estas partículas también pueden dañar a la vegetación, a los edificios y reducir la visibilidad (HEI 2000). Asimismo, García-Reynoso *et al.* (2007) realizaron un estudio sobre riesgo por contaminantes criterio y reportan que las partículas (PM_{10}) contribuyen con el 21 % al riesgo potencial a la salud. La fracción que representa un mayor riesgo para la salud son las PM_{10} y $PM_{2,5}$ que por su reducido tamaño pueden penetrar directamente a la región torácica y ser tóxicas, cancerígenas, mutagénicas y teratogénicas (Pope *et al.* 1995). Diversos estudios epidemiológicos han demostrado que existe una importante relación entre altas concentraciones de partículas y el incremento de muertes y hospitalizaciones debidas a enfermedades pulmonares (Dockery *et al.* 1993, Ostro *et al.* 1999, McDonnell *et al.* 2000, Pohjola *et al.* 2000). Existen modelos matemáticos que, a partir de estudios epidemiológicos y de laboratorio, estiman el posible impacto sobre la

salud de altas concentraciones de partículas (Anónimo 1982, Schwartz 1996, Vega *et al.* 1997, Margullis 1998, Green & Armstrong (2003).

En los últimos años, la información sobre los efectos que ocasiona al ambiente y a la salud pública las emisiones de sustancias a la atmósfera, tales como las partículas se ha concentrado principalmente en las grandes ciudades o áreas conurbadas con intensa actividad de procesos industriales y elevado flujo vehicular de automotores (Villalobos-Pietrini *et al.* 1995). En la zona Metropolitana del Valle de México, a los procesos industriales sólo se les responsabiliza del 1.8 % de las emisiones de PST (Anónimo 1993). En los Estados Unidos de América, las PST han dejado de ser un parámetro para fines de evaluación de la calidad del aire, ya que su lugar se emplea las PM_{10} . En México se decidió mantener en vigor la norma para protección a la salud para PST (NOM-024-SSA1-1993), por lo cual continúa su medición y reporte como indicador del avance en el control de las partículas de mayor tamaño.

En el área de Saltillo se detectó que el 42 % de los días muestreados rebasaron la concentración límite normada para PST, la máxima concentración registrada fue de $523 \mu\text{g m}^{-3}$ mientras que el valor mínimo fue de $58 \mu\text{g m}^{-3}$ (Rivera & Espinosa 2004). En el Valle de Toluca, las PST provinieron principalmente de la combustión vehicular con una variación de 90 a $130 \mu\text{g m}^{-3}$ (Díaz-Ramírez *et al.* 1999). En la ciudad de México, Chow *et al.* (2002) midieron las concentraciones de $PM_{2,5}$ y PM_{10} de febrero a marzo de 1997 y registraron que aproximadamente el 50 % de las $PM_{2,5}$ formaban parte de las PM_{10} . Estas partículas contenían diversas especies químicas como carbono, sulfato, nitrato y amonio en diferentes proporciones que diferían de acuerdo a la zona muestreada en la ciudad de México.

En el área metropolitana de Monterrey se realizó un análisis de series de tiempo entre el viento de la superficie y las concentraciones de PM_{10} en 1995, cuyos resultados muestran las características estacionales durante el verano e invierno en términos de períodos cíclicos de variación diurna, semidiurna y períodos largos (Arreola-Contreras 1999). Sin embargo, algunos autores como Hršak *et al.* (2001), no encuentran una diferencia apreciable entre las

distintas estaciones del año sobre todo cuando la zona de estudio se encuentra en un entorno rural y no urbano. Diversos investigadores se basan en la división del año en cuatro o en dos tramos diferenciados, o bien con los periodos primavera-verano y otoño invierno, llegándose a despreciar ciertos períodos del año por suponerlos poco adecuados a la acumulación de contaminantes (Pérez & Trier 2001, Hrřak *et al.* 2001, Pérez & Reyes 2002).

Por otro lado los intervalos de concentración promedio de PM_{2,5} en Chaumont y Lugano Suiza en 1998 fluctuaron entre 7.9 $\mu\text{g m}^{-3}$ y 24.4 $\mu\text{g m}^{-3}$ respectivamente (Gehrig & Buchmann 2003). Para los sitios de la meseta de Suiza el intervalo fue desde 15.1 $\mu\text{g m}^{-3}$ en las áreas rurales hasta 20.8 $\mu\text{g m}^{-3}$ en zonas con mayor circulación de automotores. Las altas concentraciones son normalmente observadas durante el invierno indicando una influencia dominante de los parámetros meteorológicos (Gehrig & Buchmann 2003). En Beijing China fueron las actividades de construcción y el tráfico vehicular las principales fuentes de emisión de partículas que contribuyeron a los niveles de material particulado registrados en intramuros. En oficinas se reportaron una concentración promedio de 104.7, 63.0, 28.1 y 15.5 $\mu\text{g m}^{-3}$ para PST, PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁ respectivamente. La contribución de PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁ muestreadas en invierno en lugares públicos fue de PM₁₀ a PST de 68.8%, mientras que la contribución de PM_{2,5} y PM₁ a PM₁₀ no fue tan significativa como la de PM₁₀ a PST (Liu *et al.* 2004).

Es importante evaluar las variaciones estacionales y la distribución espacial de las concentraciones de las partículas. Estudios realizados en Saltillo consideraron los componentes físicos, químicos y biológicos para identificar y cuantificar las diferentes fuentes de emisión y correlacionaron estos datos con problemas de salud (Rivera & Espinosa 2004).

En Tabasco los problemas de contaminación atmosférica, suelen relacionarse con el desarrollo de la industria petrolera en la entidad, con emisiones de los Ingenios Azucareros, quemas de pastizales y la Industria Cementera entre las fuentes más importantes (Toledo 1982). En 1998 durante el mes de mayo se registró una "contingencia atmosférica" en donde un día superó el valor máximo permisible pa-

ra SO₂ (0.13 ppm), seis días para O₃ (0.110 ppm) y dos días se midieron valores de 850-1300 $\mu\text{g m}^{-3}$ de PST, cuando la norma establece 260 $\mu\text{g m}^{-3}$ (Mendoza 2002).

En el municipio de Cunduacán Tabasco, Pemex Exploración y Producción cuenta con baterías de separación aceite-gas, estaciones de compresión de gas y central de almacenamiento y bombeo de crudo, mismas que durante su operación y actividades de mantenimiento de ductos emiten contaminantes a la atmósfera tales como monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles principalmente (Mendoza 2002). Las actividades urbanas e industriales se llevan a cabo por parte de los ganaderos y agricultores mediante la práctica de la roza-tumba-quema en los cultivos y pastizales, asimismo los giros industriales y de servicio incrementan la cantidad de materia particulada en suspensión en la época de secas (marzo a abril). En el año 2000 de acuerdo al inventario de emisiones se estimó una emisión total de 610 000 ton año⁻¹ de contaminantes atmosféricos, con una contribución del 52% provenientes de fuentes móviles, 30% de fuentes puntuales y 18% de fuentes de área emitidos a la cuenca atmosférica de Tabasco (SEDESPA 2001).

En este trabajo se hace un análisis sobre la concentración de partículas PST y PM₁₀ y su relación con la calidad del aire; es un estudio pionero realizado en el municipio de Cunduacán Tabasco, que aportará sustento técnico y científico a los programas, estrategias y norma que en materia de administración de la calidad del aire lleva a cabo el gobierno del estado de Tabasco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y metodología

El municipio de Cunduacán Tabasco con una extensión de 623.09 km², se localiza a los 18° 5' de LN y 93° 3' de longitud W (Figura 1). Presenta un clima cálido con la temporada de sequía en marzo y abril, y abundantes lluvias desde junio hasta diciembre. El volumen promedio de la precipitación es de 40 mm en la costa y de 10 mm en las laderas de las Sierras. La lluvia invernal es consecuencia

de los nortes (INEGI 2004). La temperatura media anual es de 26.2 °C, con registros mensuales máximos (30.5 °C) en mayo, y mínimos (22.5 °C) en diciembre y enero. Las temperaturas máximas y mínimas registradas en los últimos 15 años han sido de 45 y 12 °C, respectivamente (INEGI 2004). La humedad relativa promedio anual se estima en 82 %, con una variación desde 75 % en el mes de mayo hasta 86 % en enero. Con respecto a las velocidades medias de los vientos, las máximas se producen en los meses de noviembre y diciembre con 30 km h⁻¹ y las mínimas en el mes de junio, siendo del orden de 18 km h⁻¹ (INEGI 2004).



Figura 1. Localización del área de estudio.
Figure 1. Study area location.

Los parámetros meteorológicos dirección e intensidad del viento, humedad relativa, temperatura y precipitación pluvial se monitorearon de manera continua en una estación climatológica marca Davis Instruments conectada a una consola Davis y a una computadora con software para el almacenamiento de datos; la estación está ubicada en un edificio de la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco en Cunduacán. Las rosas de vientos se hicieron con el paquete WRPLOT View 1.5 Lakes Environmental.

Para determinar la concentración de las aeropartículas (PST y PM₁₀) se siguió el método de referencia que es el muestreo de alto volumen. Los equipos de muestreo fueron: 1) Hi-Vol Marca Andersen Modelo GS2310 para muestras de PST y 2)

Marca General Metal Works Mod. B/M200H para las PM₁₀. Se realizaron muestreos de 24 +/- 1 h de acuerdo al calendario utilizado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA 2001, 2002, 2003), por lo que se obtuvo un filtro por día muestreado. Los métodos de medición para determinar la concentración de partículas, así como los procedimientos para la calibración de los equipos de medición se realizaron de acuerdo a la NOM-035-ECOL/1993 y NOM-CCAM-002-ECOL/1993. La calibración de los equipos PST y PM₁₀ se efectuó por medio de un Kit de calibración tipo Top Loading Orifice (Orifice Transfer Standard Certificate), marca Andersen modelo G2535 con certificado de calibración Calibrator model # G25A (NIST, SN:1144). El PST se calibró en un intervalo de flujo de 1.44 a 1.58 m³/min y el equipo PM₁₀ entre 1.44 y 1.47 m³/min.

Para el análisis gravimétrico de las partículas (PST y PM₁₀), se emplearon filtros que fueron acondicionados antes y después de muestreo a una humedad menor del 40 % y temperatura de 25 °C para determinar la ganancia neta de peso (masa). Los filtros utilizados no son combustibles por ser completamente inorgánicos, no absorben humedad, no están sujetos a hidrólisis, tienen alta estabilidad dimensional, buena resistencia a los ácidos (excepto HF y H₂SO₄), baja resistencia a soluciones alcalinas calientes y a óxidos metálicos como también a ácidos anhídros.

La concentración de las partículas (PST y PM₁₀) se determinó a través de la siguiente ecuación:

$$Partículas = \frac{W_f - W_i}{V_s} \times 10^6 \quad (1)$$

Donde:

Partículas = Partículas suspendidas Totales (PST) o partículas fracción respirable (PM₁₀)

W_i = peso inicial (g)

W_f = peso final (g)

V_s = volumen de aire a condiciones estándares de temperatura y presión

El volumen total de aire fue corregido a las condiciones de temperatura y presión registradas du-

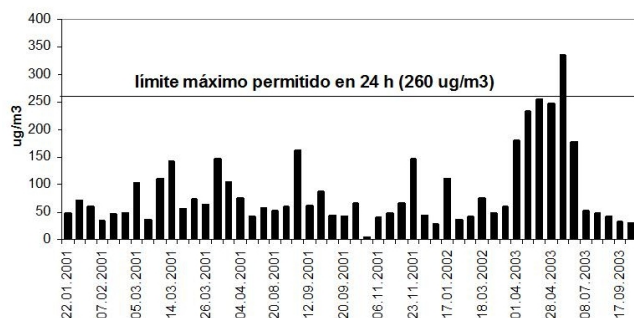


Figura 2. Concentración ($\mu\text{g m}^{-3}$) de PST.
Figure 2. Concentration ($\mu\text{g m}^{-3}$) of PST.

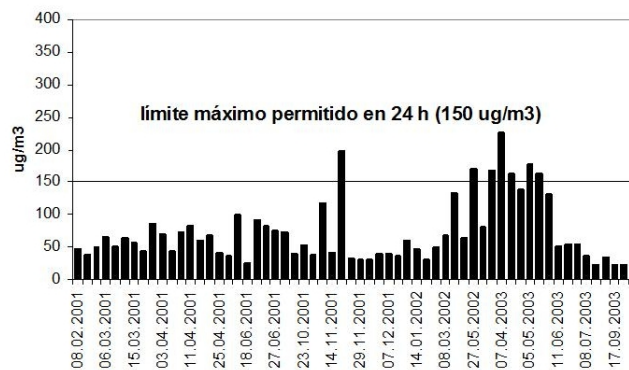


Figura 3. Concentración ($\mu\text{g m}^{-3}$) de PM₁₀.
Figure 3. Concentration ($\mu\text{g m}^{-3}$) of PM₁₀.

rante el muestreo.

En México la Secretaría de Salud (SSA) es la dependencia encargada del establecimiento de normas para la calidad del aire, que indica los límites máximos permisibles como medida de protección a la salud. En el caso de las PST dicha Secretaría emitió la Norma Oficial Mexicana NOM-024-SSA1-1993, esta norma establece una concentración promedio de 24 horas de $260 \mu\text{g m}^{-3}$ como promedio anual máximo. Para las PM₁₀ es la NOM-025-SSA1-1993 la que señala una concentración promedio de 24 horas de $150 \mu\text{g m}^{-3}$ y $50 \mu\text{g m}^{-3}$ como promedio anual máximo.

RESULTADOS

a) Variación de la concentración de PST y PM₁₀

Se realizaron muestreos durante los años 2001, 2002 y 2003 en Cunduacán Tabasco, obteniendo un total de 50 muestras de PST (periodo enero de 2001 a octubre de 2003) y 58 muestras de PM₁₀ (febrero 2001 a octubre de 2003).

En la Tabla 1 se muestran los estadísticos para las PST y PM₁₀. Se observa que las PST en el año 2003 ($335.45 \mu\text{g m}^{-3}$) y PM₁₀ en el año 2001 ($196.83 \mu\text{g m}^{-3}$), 2002 ($169.20 \mu\text{g m}^{-3}$) y 2003 ($224.97 \mu\text{g m}^{-3}$) exceden el límite anual establecido por la norma de calidad del aire para la protección de la salud que es de $260 \mu\text{g m}^{-3}$ para PST y 150

$\mu\text{g m}^{-3}$ para PM₁₀.

En las Figuras 2 y 3 se muestran los registros de las concentraciones de las partículas PST y PM₁₀, observándose que es en el año 2003 en donde se reportan las concentraciones más elevadas, y además también se aprecia las características de variabilidad mensual de la concentración.

b) Relación de las aeropartículas con parámetros meteorológicos

La relación entre la concentración de partículas (PST, PM₁₀) y los valores promedios mensuales (Tabla 2) de los parámetros meteorológicos tales como la temperatura media, humedad relativa, velocidad y dirección del viento se estimó a partir del coeficiente de correlación lineal con un nivel de confianza del 95 %, encontrando que la concentración de PST ($r = 0.54$) y PM₁₀ ($r = 0.41$) se incrementa conforme aumenta la temperatura. Observamos que existe una relación lineal inversa entre la concentración y la humedad relativa únicamente para PST ($r = -0.57$) y la pareja humedad relativa con la temperatura el coeficiente de correlación fue ligeramente superior para PST ($r = -0.66$) que en PM₁₀ ($r = -0.60$), es decir a medida que aumenta la temperatura disminuye la humedad relativa y la concentración aumenta. Ahora bien la dirección del viento y humedad relativa es mayor la correlación en PM₁₀.

Tabla 1. Parámetros estadísticos de la concentración de PST, PM₁₀ (2001-2003).
Table 1. Statistical parameters of the PST, PM₁₀ (2001-2003) concentration.

PARÁMETRO	PST	PM ₁₀	PST 2001	PST 2002	PST 2003	PM ₁₀ 2001	PM ₁₀ 2002	PM ₁₀ 2003
n	50	58	33	5	12	35	7	16
Media	84.04	71.19	66.93	61.92	140.32	59.85	79.42	92.41
Error estándar	9.74	6.48	6.72	13.94	31.49	5.48	19.45	17.71
Mediana	58.25	52.42	58.07	47.2	117.96	50.23	63	53.37
Desviación estándar	68.92	49.42	38.66	31.19	109.11	32.45	51.46	70.87
Varianza	4750.85	2442.86	1494.59	972.85	11905.4	1053.35	2648.56	5023.7
Mínimo	4.39	19.06	4.39	36.08	30.24	25.06	29.29	19.06
Máximo	335.45	224.97	162.07	110.77	335.45	196.83	169.2	224.97

DISCUSIÓN

a) Variación de la concentración de PST y PM₁₀

En este estudio la principal fuente de emisión que coincide con los meses que registraron altas concentraciones de partículas monitoreadas en Cunduacán, son los incendios agropecuarios. De acuerdo con los resultados obtenidos, los niveles de PST más altos se presentaron en los meses de abril y mayo del año 2003; dos días se superó la norma de $260 \mu\text{g m}^{-3}$. En cuanto a las PM₁₀, ocho días se rebasó la norma ($150 \mu\text{g m}^{-3}$), esto sucedió sobre todo en la época de sequía, periodo en el cual se prepara a la tierra para el cultivo y comúnmente se realiza la quema de pastizales lo que causa una gran emisión de partículas. Al respecto Protección Civil reporta que durante el mes de abril del 2003 en Cunduacán, se registraron 30 controles de incendios. En mayo reportaron 39, originándose estos en predios baldíos urbanos, quemas de pastizales y agropecuarios; mientras que en junio, julio y agosto se reportaron 11, en septiembre 2, en octubre ninguno y en noviembre 2 controles de incendios. Los incendios agropecuarios afectaron un total de 411 hectáreas de enero a noviembre del 2003, de los cuales sólo el 75 % pudieron ser controlados (Anónimo 2003). Además, en mayo del año 2003, la Secretaría de Salud manifestó que la contaminación ambiental generada por la quema de pastizales rebasó la Norma Oficial Mexicana, de $150 \mu\text{g m}^{-3}$, y ante ello, exhortó a la población tabasqueña a tomar medidas preventivas para evitar enfermedades respiratorias (PNUMA 2003).

Los promedios mensuales de las partículas PST y PM₁₀, así como datos meteorológicos de Humedad relativa, Temperatura, Velocidad y Dirección del viento que se presentan en la Tabla 3 nos permiten observar que es en la temporada de seca donde se registran las concentraciones más elevadas de material particulado y en la temporada de lluvias (Figura 4) disminuye. Esto puede estar asociado a la influencia de la lluvia que actúa como depuradora de partículas en la atmósfera, sin embargo, esto no implica que el riesgo a la salud desaparezca por que la exposición de los contaminantes asociados a las partículas permanecen en el ambiente (Escalona et al. 2002). También en la Zona Metropolitana del Valle de México, es en la temporada de lluvias cuando disminuye la concentración de PST, donde las inversiones térmicas son más frecuentes de enero a mayo y de noviembre a diciembre; se obtuvo en este estudio que las PST registraron un máximo de $335.45 \mu\text{g m}^{-3}$ durante el mes de mayo del 2003. Otras investigaciones realizadas por Rööslí et al. (2001) y Yang (2002) reportan para Taiwán altas concentraciones en invierno debido a las escasas lluvias y bajas temperaturas. Los elevados niveles de material particulado fueron ocasionadas por tormentas de polvos, provenientes de regiones áridas y por actividades humanas; en invierno se excedió el límite permitido de calidad de aire en un 15 %, lo cual provocó un grave problema de contaminación.

Los resultados (Tabla 3) muestran que la relación PM₁₀/PST son mayores a $\simeq 0.50$ lo que indica en concordancia con Liu et al. (2004) que las principales fuentes de emisión son por el suelo, el pavimento, los materiales de construcción y el tráfico

Tabla 2. Matriz de correlación de PST, PM₁₀ con parámetros meteorológicos.
Table 2. Correlation matrix of PST, PM₁₀ with meteorological parameters.

	PST	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad del viento	Dirección del viento
PST	1				
Humedad relativa	-0.57*	1			
Temperatura	0.54*	-0.66*	1		
Velocidad del viento	-0.05	-0.38	0.18	1	
Dirección del viento	0.03	-0.31	0.38	0.18	1
	PM₁₀	Humedad relativa	Temperatura	Velocidad del viento	Dirección del viento
PM₁₀	1				
Humedad relativa	-0.27	1			
Temperatura	0.4	-0.60*	1		
Velocidad del viento	0.16	-0.33	0.29	1	
Dirección del viento	0.14	-0.72*	0.3	0.04	1

vehicular, mientras que una relación $\simeq 0.90$ señala que las emisiones provienen de fuentes de combustión cercanas al sitio de monitoreo; lo que se ve reflejado en la relación PM₁₀/PST (0.92) del mes de mayo 2003 que se asocia con las quemas de pastizales reportadas por protección civil (Anónimo 2003).

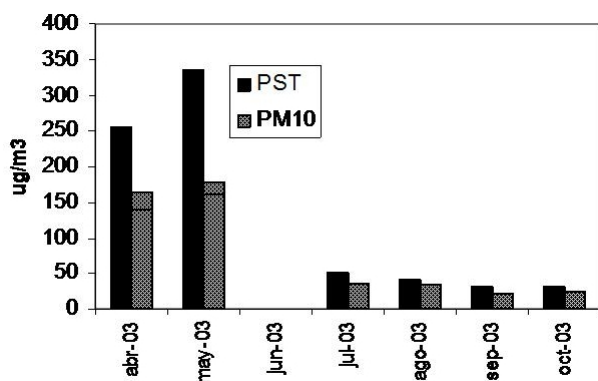


Figura 4. Concentración ($\mu\text{g m}^{-3}$) de PST y PM₁₀.
Figure 4. Concentration ($\mu\text{g m}^{-3}$) of PST and PM₁₀.

En la Figura 5 podemos observar que existe una alta correlación ($r = 0.95$) entre PST-PM₁₀ y a partir de la diferencia de 100 y el estadístico R² podemos inferir que el porcentaje de variabilidad es mínimo de las partículas suspendidas totales en función de las partículas respirables.

b) Relación de las aeropartículas con parámetros meteorológicos

En Tabasco las estaciones del año no están bien diferenciadas unas de otras por lo que se con-

sideró una época de seca (marzo- abril) y otra de lluvias (junio-diciembre) para analizar la variación de las partículas estudiadas (PST, PM₁₀) respecto a los parámetros meteorológicos (Tabla 2, Tabla 3).

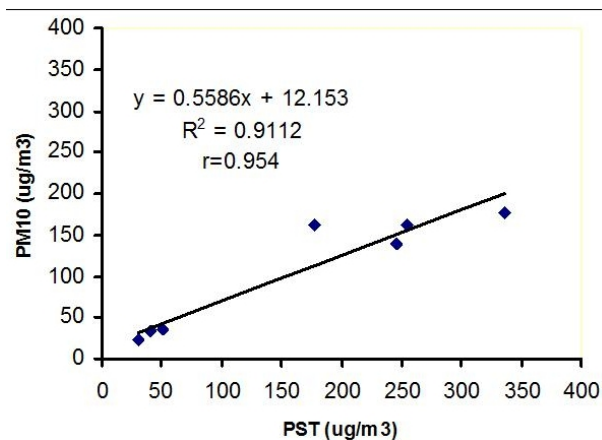


Figura 5. Relación de PM₁₀ y PST.
Figure 5. PM₁₀ and PST relationship.

El comportamiento de las partículas es muy variable y si suponemos emisiones totales constantes a lo largo del año, la variación estacional de los niveles de partículas depende de las condiciones meteorológicas y climáticas prevalecientes en cada temporada. Así tenemos que las muestras de los años 2001, 2002 y 2003 no son homogéneas; el número de muestras difieren (Tabla 1). Sin embargo, el muestreo realizado permite conocer algunas variaciones en las concentraciones, sobre todo en la época seca del año 2003, en donde los niveles de las partículas son más elevados (Figura 2, Figura 3, Figura 5).

Tabla 3. Promedios mensuales de concentración de PST, PM₁₀, Humedad relativa, Temperatura, velocidad del viento, dirección del viento y relación PM₁₀/PST.

Table 3. Monthly averages of concentration of PST, PM₁₀, relative humidity, temperature, wind speed, wind direction and PM₁₀/PST relationship.

	PST	PM ₁₀	Humedad relativa (%)	Temperatura (°C)	Velocidad del viento (m s ⁻¹)	Dirección del viento	PM ₁₀ /PST
01/01/01	58.59	-	68.9	22.57	1.43	SWW	-
01/02/01	46.34	42.04	61.17	24.76	1.12	SW	0.91
01/03/01	90.86	58.83	58.85	24.32	1.23	SSE	0.65
01/04/01	89.67	61.79	43.97	28.44	1.89	SWW	0.69
01/06/01	-	67.45	47.93	27.73	1.77	SW	-
01/09/01	86.52	73.03	66.45	35.91	1.72	SSE	0.84
01/10/01	64.53	45.39	80.13	24.14	1.41	S	0.7
01/11/01	76.1	74.23	76.45	24.8	1.24	SSW	0.98
01/12/01	39.69	35.34	75.21	22.16	1.08	S	0.89
01/01/02	73.42	41.21	65.34	22.67	1.76	SW	0.56
01/02/02	40.46	-	64.12	24.03	1.64	E	-
01/03/03	58.87	-	65.04	26.37	1.15	SW	-
01/04/03	219.11	173.59	57.16	30.67	1.14	N	0.79
01/05/03	177.05	170.02	64.63	32.07	1.02	NE	0.96
01/06/03	-	78.03	59	36.48	1.27	ENE	-
01/07/03	50.59	44.28	60.03	35.84	2.18	N	0.88
01/08/03	44.39	28.35	72.66	33.4	0.4	NNW	0.64
01/09/03	30.61	22.76	66.45	39.91	0.46	W	0.74
01/10/03	30.24	21.01	93.14	23.4	1.32	SSW	0.69

Así, las altas emisiones de partículas aunado a sistemas anticiclónicos, que provocan en esta temporada tiempo estable y seco, propician vientos débiles desde la superficie hasta capas más alejadas, por lo que el viento no logra aumentar su velocidad en la superficie y los contaminantes, en este caso partículas en suspensión permanecen un mayor tiempo y ocasionan que se rebasen las normas establecidas.

La velocidad y dirección del viento son importantes en el estudio de las concentraciones de partículas ya que son los que transportan y dispersan los contaminantes a las diferentes zonas.

El viento puede considerarse un vector, porque esta definido por su dirección, magnitud y velocidad, la dirección es el punto del horizonte de donde sopla el viento. Los resultados con mayor relevancia respecto a concentraciones altas de partículas (año 2003) de tipo antropogénicas en esta área relativamente cercana y rodeada de pozos petroleros, se podría explicar por los vientos dominantes del N, NE y ENE (Figura 6), y aunque en menor proporción también existe la influencia de vientos procedentes del S, SE y ESE que transportan las partículas al área

de estudio. Por otra parte no existen variaciones significativas de la temperatura y humedad durante los periodos de muestreo. La velocidad máxima encontrada fue de 2.18 m s⁻¹, por lo que la dispersión de los contaminantes no se favorece.

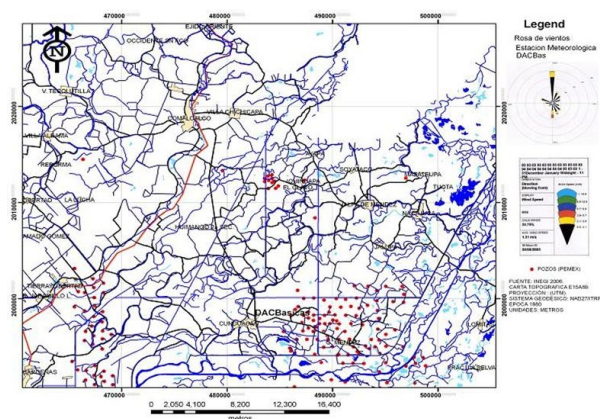


Figura 6. Mapa del sitio de muestreo en la División Académica de Ciencias Básicas (DACBas) en Cunduacán Tabasco con ubicación de los pozos petroleros y rosa de vientos.

Figure 6. Map of the sampling site in the División Académica de Ciencias Básicas (DACBas) in Cunduacán, Tabasco, with location of oil wells and mariner's compass.

Finalmente, es importante destacar que los resultados obtenidos indican que las concentraciones de PST en mayo de 2003, exceden la norma de calidad del aire para esta fracción de materia particulada; las partículas fracción respirable (PM₁₀) también superaron la concentración promedio diaria permitida (150 $\mu\text{g m}^{-3}$) y el promedio anual máximo (50 $\mu\text{g m}^{-3}$) durante el año 2001, 2002 y 2003, por lo que se infiere que existe un incremento gradual de la contaminación atmosférica, causado por actividades antrópicas, jugando un papel importante las condiciones meteorológicas prevalecientes. Por lo

anterior es necesario continuar con los monitoreos para conocer las tendencias espaciales-temporales, fuentes de emisión, composición química y efectos en la salud de las partículas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Sistema de Investigación Regional del Golfo de México (SIGOLFO-CONACYT) por el apoyo financiero. Proyecto: clave 00-06-002-T.

LITERATURA CITADA

- Anónimo (1993) La contaminación atmosférica en el Valle de México, "Partículas Suspendidas. Situación Actual en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México". Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle. 12 pp.
- Anónimo (1996) Programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México 1995-2000, Departamento del Distrito Federal, Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Salubridad y Asistencia. 244 pp.
- Anónimo (1998) Reporte anual sobre la calidad del aire en la Ciudad de México 1997. Publicaciones cuaderno de trabajo No 2. 18 pp.
- Anónimo (2003), Control de Incendios, Protección Civil H. Ayuntamiento Constitucional de Cunduacán Tabasco.
- Arreola-Contreras JL, González G (1999) Análisis espectral del viento y partículas menores de 10 micrómetros (PM₁₀) en el área Metropolitana de Monterrey México, Revista Internacional de Contaminación Ambiental 15 (2): 95-102.
- Báez A (1987) La calidad del aire serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos Volumen II. Centro de Ecodesarrollo. México D.F. 56 pp.
- Bravo AH (1984) La contaminación del aire en México. Fundación Universo Veintiuno, México D.F. 64 pp.
- Chow JC, Watson JG, Edgerton SA, Vega E (2002) Chemical composition of PM₁₀ in Mexico City during winter 1997. Sci. Total Environ. 287 (3): 177-201.
- De Nevers (1997) Ingeniería y Control de la Contaminación del Aire, Editorial Mc Graw Hill, México D.F. 546 pp.
- De Pablo F, López A, Rivas Soriano L, Tomás C, Diego L, González M, Barrueco M (2006) Relationships of daily mortality and hospital admissions to air pollution in Castilla-León Spain. *Atmósfera*, 19, 23-39.
- Díaz-Ramírez P, García-Sosa I, Iturbe-García JL, Granados-Correa, Sánchez-Meza JC (1999) Air pollution in the atmosphere of the Toluca Valley, Mexico. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 15 (1): 13-17.
- Dockery DW, Pope III CA, Xu MD, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG, Speizer FE (1993) An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N. Engl. J. Med.* 329, 1753-1759.
- EPA (2001) Sampling Schedule Calendar. <http://www.epa.gov/ttn/amtic/calendar.html>.

- EPA (2002) Sampling Schedule Calendar. <http://www.epa.gov/ttn/amtic/calendar.html>.
- EPA (2003) Sampling Schedule Calendar. <http://www.epa.gov/ttn/amtic/calendar.html>.
- Escalona L, Guerrero V, Acosta JM, Colmenarez V, Colmenarez MC. (2002) Calidad del aire en la Ciudad de Valencia como función de la concentración de PST. Publicación del XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Filleul L, Cassadou S, Medina S, Fabres P, Lefranc A, Eiltein D, Le Tertre A, Pascal L, Chardon B, Blanchard M, Declercq C, Jusot JF, Prouvost H, Ledrans M (2006) The relation between temperature, ozone, and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003. *Env. Health Pers.* 114: 1344-1347.
- García-Reynoso JA, Grutter M, Cintora-Juárez D (2007) Evaluación del riesgo por contaminantes criterio y formaldehído en la ciudad de México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 23 (4) 169-175.
- Gehrig R, Buchmann B (2003) Characterizing seasonal variations and spatial distribution of ambient PM₁₀ and PM_{2,5} concentrations based on long-term Swiss monitoring data. *Atmospheric Environment* 37 (19): 2571-2580.
- Green IC, Armstrong SR (2003) Particulate matter in ambient air and mortality: toxicologic perspectives. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 38 (3): 326-335.
- HEI (2000) Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality. Synopsis of the Particle Epidemiology Reanalysis Project. Health Effects Institute
- HEI (2002) Understanding the Health Effects of Components of the Particulate Matter Mix: Progress and Next Steps. Health Effects Institute
- Hinds W (1982) *Aerosol Technology. Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*, John Wiley & Sons, EUA.
- Hršak J, Šišović A, Šega K (2001) Seasonal differences in the levels of suspended particulate matter and heavy metals in the vicinity of a waste dump. *Atmospheric Environmental* 35: 3543-3546.
- INEGI (2004) Síntesis geográfica y anexo cartográfico del Estado de Tabasco. México, DF, 116 pp.
- Lippman M, Ito K, Nádas A, Burnett RT (2000) Association of Particulate Matter Components with Daily Mortality and Morbidity in Urban Populations. Synopsis of Research Report 95.
- Liu Y, Chen R, Shen X, Mao X (2004) Wintertime indoor air levels of PM₁₀, PM_{2,5} and PM₁ at public places and their contributions to PST. *Environ Int.* 30 (2): 189-97.
- Manoli E, Kouras A, Samara C (2004) Profile analysis of ambient and source emitted particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons from three sites in northern Greece. *Chemosphere* 56: 867-878.
- Margullis S (1998) Back-of-the-Envelope Estimates of Environmental Damage Costs in Mexico. The World Bank.
- McDonnell WF, Nishino-Ishikawa N, Peterson FF, Chen LH, Abbey DE (2000) Relationship of mortality with the fine and coarse fraction of long term ambient PM₁₀ concentrations in nonsmokers. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 10: 427-436.
- Mendoza GVM (2002) Inventario de emisiones atmosféricas por la actividad de las instalaciones petroleras en la zona Central del estado de Tabasco, Tesis de maestría, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- O'Neill MS, Loomis D, Borja-Aburto VH (2004a) Ozone, area social conditions, and mortality in Mexico City. *Environ. Res.* 94: 234-242.

- O'Neill MS, Loomis D, Borja-Aburto VH, Gold D, Hertz-Picciotto I, Castillejos M (2004b) Do associations between airborne particles and daily mortality in Mexico City differ by measurement method, region, or modeling strategy? *J. Exp. Anal. Environ. Epidem.* 14: 429-439.
- Ostro BD, Eskeland GS, Sánchez JM, Feyzioglu T (1999) Air Pollution and health effects: a study of medical visits among children in Santiago, Chile. *Environmental Health Perspective* 107: 69-73.
- Pérez P, Reyes J (2002) Prediction of maximum of 24-h average of PM₁₀ concentrations 30 hours in advance in Santiago, Chile. *Atmospheric Environmental* 36: 4555-4561.
- Pérez P, Trier A (2001) Prediction of NO and NO₂ concentrations near at street with heavy traffic in Santiago, Chile. *Atmospheric Environmental* 35: 1783-1789.
- PNUMA (2003) Unidad de Comunicaciones e Información Pública. Resumen de Prensa- Daily News México, América Latina y el Caribe / México, Latin America and the Caribbean.
- PNUMA, OMS (1982) Criterios de Salud Ambiental 8, publicación científica No 424, 113 pp.
- Pohjola M, Kousa A, Aarnio P, Koskentalo T, Kukkonen J, Harkonen J, Karppinen A (2000) Meteorological interpretation of measured urban PM_{2,5} and PM₁₀ concentrations in the Helsinki Metropolitan Area. *Air Pollution VIII*, 689-698.
- Pope CA, Thun MJ, Namboodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE, Heath CW (1995) Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of U.S. Adults. *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.*, 151: 669-674.
- Ritz B, Wilhelm M, Zhao Y (2006) Air Pollution and infant death in southern California, 1989-2000. *Pediatrics*. 118: 493-502.
- Rivera CC, Espinosa JF (2004) Estudio físico-químico de las partículas suspendidas totales en el área industrial de Saltillo. <http://aleph.cs.buap.mx/az30/iztapa.html>.
- Röösli M, Theis G, Künzli N, Staehelin J, Mathy P, Oglesby L, Camenzind M, Braun F (2001) Temporal and spatial variation of the chemical composition of PM₁₀ at urban and rural sites in the Basel area, Swizaerland. *Atmospheric Environment* 35: 3701-3713.
- Salazar S (1993) Elemental and morphological analysis of atmospheric particles from southwestern part of Mexico City. *Bull. Environ. Contam. toxicol.* 55: 247-254.
- Sans RF, Ribas J (1999) Ingeniería Ambiental, Contaminación y tratamiento. Editorial Alfa y Omega 143 pp.
- Schwart J, Dockery DW, Eas LM (1996) Is Daily Mortality Associated Specifically with Fine Particles. *Journal of air and Waste Mangement Association*, 46: 927-939.
- SEDESPA (2001) Primer informe sobre la calidad del aire en las Ciudades de Villahermosa y Cárdenas Tabasco. Programa de Administración de la Calidad del Aire. Gobierno del Estado de Tabasco.
- Seinfeld JH, Pandis SN (1998) Atmospheric Chemistry and Physics. A.Wiley Inc. Inter Science publication, 1326 pp.
- Toledo A (1982) Petróleo y Ecodesarrollo en el Sureste de México. Centro de Ecodesarrollo, 1ra edición, México D.F. 235 pp.
- Vega E, García I, Apam D, Ruiz ME, Barbiaux M (1997) Application of a chemical mass balance receptor model to respirable particulate matter in Mexico City. *J. Air & Waste Manag. Assoc.*, 47: 524-529.
- Villalobos-Pietrini R. Blanco S, Gomez-Arroyo S (1995) Mutagenicity assessment of airborne particles in Mexico City. *Atmos. Environ.* 29: 517-524.

- Wadden AR, Scheff A (1987) Contaminación del aire en interiores, editorial Limusa, México D.F. 67 pp.
- Whitby K, Cantrell B (1976) Fine particles. In International conference on environmental sensing and assessments, Las Vegas, NV, Institute of Electric and Electronic Engineers.
- Yang, KIL (2002) Spatial and seasonal variation of PM₁₀ mass concentrations in Taiwan. Atmospheric Environmental 36: 3403-3411.
- Zhang Y, Huang W, London SJ, Song G, Chen G, Jiang I, Zhao N, Chen B, Kan H (2006) Ozone and daily mortality in Shanghai, China. Environ. Hel. Persp. 114: 1227-1232.