

# Determination of the optimum point of sampling, for the evaluation of the concentrations of Total Suspended Particles (TSP) in a semiurban Colombian area

**Roberto Rojano, Jhonny Pérez, Andrés Galindo, Yoma Mendoza, Dairo Soto  
y Enrique Toncel**

*Instituto de Estudios Ambientales y Aprovechamiento de Agua. Grupo de Investigación GISA,  
Universidad de La Guajira. Colombia, jpemon@hotmail.com*

## Abstract

To establish a monitoring network generates costs either in economic resource or in the human one. In this research a logical procedure was applied to facilitate the selection of the single site for the atmospheric monitoring of total suspended particles –TSP– whose sample volume is representative of the characteristics of the air present in the city of Sincelejo, Colombia. For the localization of the appropriate point of sampling, an inventory of the sources of emission of particles was carried out, obtaining a total of 34 sources as a result with diverse contribution grades. Based on this information and on the emission factors developed by the EPA, the different emission rates were determined, which were used together with the prevalent meteorological conditions and the nomogram of Turner [1]. They allowed to establish the maximum concentrations of exposition to the pollutant and the distances from the corresponding source. The best individual localization for the evaluation of the levels of PST was the Chamber of Commerce Building of the city. The sampling pilot of one month, every other day, gave concentrations of particles between 26.52 and 76.01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , with a geometric average of 45.07  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , value below (55%) of that settled down by the Colombian norm, ordinance 02 of 1982 ( $<100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Key words:** Total suspended particles, optimum point of sampling, meteorological variables, maximum concentration, emission sources.

# Determinación del punto de muestreo óptimo, para la evaluación de las concentraciones de Partículas Suspendidas Totales (PST) en una zona semiurbana de Colombia

## Resumen

Establecer una red de monitoreo genera costos tanto en recurso económico como humano. En la presente investigación se aplicó un procedimiento lógico con la finalidad de facilitar la selección de un único sitio para el monitoreo atmosférico de partículas suspendidas totales, PST, cuyo volumen de muestra sea representativo de las características del aire presente en la ciudad de Sincelejo, Colombia. Para la localización del punto adecuado de muestreo, se realizó un inventario de las fuentes de emisión de partículas, obteniéndose como resultado un total de 34 fuentes con diversos grados de contribución. Partiendo de dicha información y de factores de emisión desarrollados por la EPA se determinaron las diferentes tasas de emisión que usadas conjuntamente con las condiciones meteorológicas prevalecientes y el nomograma de Turner [1], permitieron establecer las concentraciones máximas de exposición al poluyente y a

que distancia ocurre de la correspondiente fuente. La localización individual óptima para la evaluación de los niveles de PST recayó en las instalaciones de la Cámara de Comercio de la ciudad. El muestreo piloto de un mes con frecuencia interdiaria arrojó concentraciones de partículas entre 26,52 y 76,01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un promedio geométrico de 45,07  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor muy por debajo (55%) de lo establecido por la norma colombiana, decreto 02 de 1982 (<100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Palabras clave:** Partículas suspendidas totales, punto óptimo de muestreo, variables meteorológicas, concentración máxima, fuentes de emisión.

## Introducción

El estudio de las partículas suspendidas en el aire (PS), sigue siendo un área de investigación de interés debido a las reconocidas consecuencias para la salud humana y posibles influencias sobre el cambio climático. En las zonas urbanas, el transporte es la principal fuente de las emisiones de PS [2].

Análisis de emisiones han dado como conclusión que el sector del transporte automotor constituye la mayor fuente individual de contaminación atmosférica, teniendo influencia directa en la calidad del aire y pudiendo producir efectos nocivos sobre la salud de los seres vivos [3]. Los contaminantes originados en estos procesos, se descargan en la atmósfera. Estos, se pueden clasificar en gases y partículas. Las Partículas, se definen como cualquier material sólido o líquido disperso en la atmósfera o en una corriente gaseosa y cuyos agregados individuales son mayores que las de las pequeñas moléculas aisladas (alrededor de 0,0002 micras) pero más pequeñas que 500 micras ( $1 \mu\text{m} = 10^{-4}\text{cm}$ ). [4] Estos contaminantes son influenciados por las condiciones meteorológica y topográfica, originando fenómenos como: efecto heladera, lluvias ácidas, asimismo, efectos locales como: perjuicio a la atmósfera local (smog fotoquímico y smog industrial), deterioro de propiedades y materiales, daños a la vegetación, afecciones a la salud humana y animales, y en general dificultan el disfrute de la propiedad y la vida [5].

Específicamente en la salud humana, la exposición a las PST se ha relacionado con deterioro de la salud respiratoria. Es estudios epidemiológico se ha demostrado que la exposición a altos niveles de PST están asociados con el aumento de las consultas hospitalarias de urgencias por asma, así como a una disminución de la función respiratoria y en particular el flujo respiratorio máximo. Algunos trabajos de investigación han

reportado incremento de 9% de casos de enfermedades respiratoria por cada incremento de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM10, que es la fracción de material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor de 10  $\mu\text{m}$  [6]; así mismo, ha sido reportado que el tipo de daño depende básicamente de sus propiedades físicas, químicas, tiempo y vía de exposición, su concentración, mecanismo de defensa y metabolismo o acumulación de los contaminantes en el ser humano [7]. En cualquier trabajo experimental que involucre la captación de muestras representativas del ambiente bajo estudio, uno de los parámetros claves que deberían ser considerados deberían estar representados por la localización del (los) sitios (s) de muestreo.

La presente investigación tiene como objetivo la selección de un sitio para el monitoreo atmosférico cuyas muestra sean representativas de las condiciones del aire presente en la totalidad del área de interés ocupada por la ciudad de Sincelejo, Colombia. La posibilidad de utilizar tan solo un sitio para la ubicación de un muestreador sin menoscabar la obtención de resultados adecuados en cuanto a la concentración de PST representa un aporte en cuanto al ahorro en inversión, económica y esfuerzo.

## Metodología

Para establecer el sitio óptimo de monitoreo, el tamaño del área donde se realizará la investigación instaura una correspondiente escala espacial de representatividad sobre la cual sería favorable que se desarrollaran las mediciones. En áreas donde las condiciones involucran escalas micro, media, sub-urbana y regional, requieren de sólo un sitio de monitoreo, para la medición de concentraciones representativa de los volúmenes asociados con cada escala; por el contrario, la escala urbana generalmente requiere más de un sitio para caracterizar adecuadamente sus condiciones [8]. En la Tabla 1, aparecen las

Tabla 1  
Dimensiones y espacios cubiertos por las escalas espaciales [8]

Escalas	Dimensiones	Espacios cubiertos
Micro	< 100 m	Volúmenes de aire muy pequeños, muestreo móvil.
Media	100 m a 0,5 Km	Estacionamientos, centros comerciales, estadios y edificios, abarcando varias cuadras.
Sub-Urbana	0,5 a 4 Km	Áreas extensas de una ciudad con uso de tierras; áreas industriales, comerciales y residenciales. Áreas Sub. Urbanas alrededor de centros urbanos o pequeñas ciudades o pueblos.
Urbana	4 a 50 Km	Grandes porciones de un área urbana.
Regional	10's a 100's Km	Área rural de geografía razonablemente uniforme.
Nacional	> de 100 Km	Caracterización de una nación o del globo como un todo.

escalas típicas asociadas con el monitoreo atmosférico.

El número de puntos de muestreo dependen también de otros factores, tales como: objetivos perseguidos en la investigación, tipo de data necesitada, población, distribución espacial de las fuentes emisoras, factores topográficos y meteorológicos. Así, ha sido sugerido [9] que los puntos mínimos necesarios para determinar las tendencias de contaminantes en un área urbana, se encuentra en función del número de habitantes (Tabla 2), parámetro indicador del tamaño de la zona.

La ciudad de Sincelejo comprende un área de 18,93 Km<sup>2</sup> y una población 233.779 habitantes el año 2001 [10], según especificaciones dadas a las Tablas 1 y 2, se puede decir, que debido a su área está dentro de las condiciones de escala urbana (4 a 50 Km<sup>2</sup>) y debido a su población (menor de 1.000.000 de habitantes), la ciudad requiere de dos sitios de monitoreo para evaluar las concentraciones de partículas suspendidas totales. Por disponibilidad de equipo y logística disponible se decidió trabajar con el criterio de área instalando un solo equipo. Además de la información secundaria, se hizo indispensable recolectar información primaria; realizando inventario de las principales fuentes de emisión de material particulado en la ciudad, a través de un recorrido por los 208 barrios que conforman las 9 comunas de la misma. La técnica de selección de las fuentes emisoras de PST, fueron basadas en

Tabla 2  
Promedio sugerido de estaciones para la caracterización de las tendencias de calidad de aire en zonas urbanas de población determinadas

Población Urbana (millones)	Promedio de Estaciones para PST
< 1	2
1-4	5
4-8	8
8	10

Fuente: Manual de procedimiento del programa de control de contaminación atmosférica del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social de Venezuela (MSAS, 1988).

el método estadístico estratificado; específicamente por comunas según el Plan de Ordenamiento Territorial (Figura 1) [10], donde se seleccionaron las fuentes más representativas de modo que incluyeran las áreas con mayor densidad poblacional. (Figura 2). El inventario de emisión, suministra información sobre los instrumentos emisores, el tiempo de operación y la localización de las fuentes. Este inventario además de cuantificar las fuentes, fue utilizado para analizar el comportamiento del contaminante, es decir; identificar que zonas o comunas eran más vulnerables a la presencia de PST y afectar en un mayor porcentaje la salud y el bienestar de las

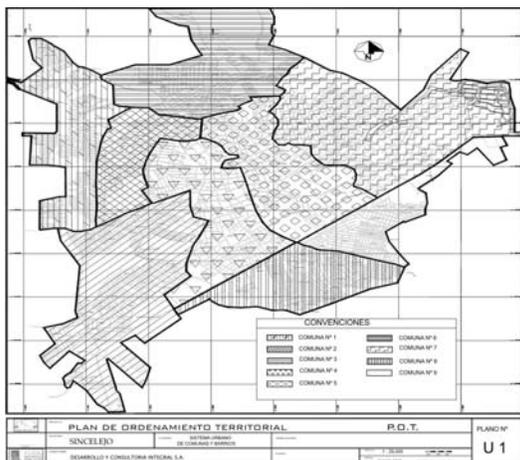


Figura 1. Sistema urbano dividido por comunas en la ciudad de Sincelejo.

fuentes receptoras (población). Igualmente esta información permite estructurar una base de datos para detectar posible contaminación atmosférica en la zona urbana de la ciudad de Sincelejo y la toma de decisiones por parte de la autoridad ambiental del departamento de Sucre (CAR-SUCRE) sobre la gestión ambiental de la ciudad.

Una vez identificadas las fuentes emisoras, se aplicó el monograma desarrollado por Turner 1994; utilizando la estabilidad atmosférica definida por Pasquill-Gifford, la velocidad del viento, las descargas de contaminantes, altura efectiva de liberación, y tasa de emisión para establecer las distancias máximas y las máximas concentraciones del contaminante, para lo que se hizo necesario tener información sobre las alturas efectivas de liberación, clase de estabilidad, velocidad del viento y tasa de emisión [11]. La tasa de emisión se determinó en función de la tasa de proceso (tipo de combustible, cantidad y tiempo de actividad) y del factor de emisión del combustible utilizado en las fuentes [12].

Los datos meteorológicos para la investigación fueron suministrados por la estación Meteorológica de UNISUCRE localizada en la granja experimental de Perico, al sur del territorio municipal en jurisdicción del municipio de Sampues, con coordenadas geográficas de  $9^{\circ} 12'$  de latitud y  $75^{\circ} 23'$  de longitud, a una altura de 160 m.s.n.m.

Para la validación del sitio de muestreo óptimo, se desarrolló un monitoreo piloto por dos meses. Los equipos utilizados para la recolección

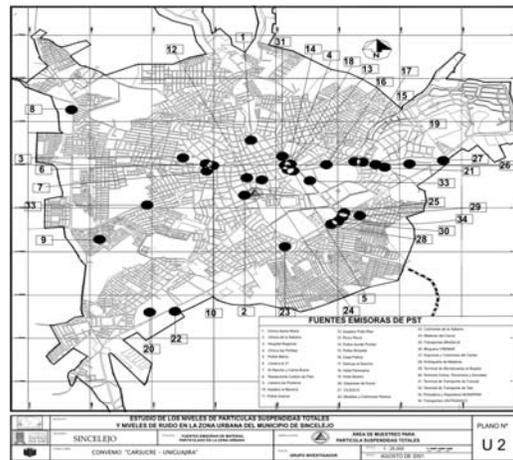


Figura 2. Localización de las fuentes de emisión y área de muestreo para PST.

de las muestras fueron: un muestreador de alto volumen modelo GS2310 marca GRASEBY, un kit de calibración modelo G25A SN 1813 de la marca Ardensen Instruments Inc., filtros de fibra de vidrio modelo P/N-G810 de la marca GRASEBY GMW y de  $8" \times 10"$  ( $20,3 \times 25,4$  cm.), balanza analítica marca Sartorius Basic y un desecador. Se utilizó el principio gravimétrico por muestreador de alto volumen. Su evaluación se efectuó teniendo en cuenta las disposiciones legales colombianas establecidas en el Decreto 948 de 1995 y la Resolución 601 de 2006.

### Parámetros meteorológicos

Sincelejo presenta un clima de Sabana Tropical alternativamente húmedo y seco, con influencias de vientos alisios provenientes del NNW y N en las horas de la tarde y vientos locales de menor intensidad con dirección SSE, S y SE en las horas de la mañana. La temperatura ambiental en el municipio es alta, dando lugar a un clima bastante caluroso, insolaciones altas en donde prevalece el cielo despejado y nubosidades bajas gran parte del año. La Tabla 3, contiene los datos de los parámetros meteorológicos más significativos para utilizados en esta investigación, con relación al periodo de monitoreo (Noviembre y Diciembre de 2001).

Se puede establecer que en el mes de Noviembre las precipitaciones registraron valores mayores que para el mes de diciembre, lo que contribuyó a la disminución en los niveles de las

Tabla 3  
Parámetros Meteorológicos representativos, Noviembre y Diciembre de 2001.

Parámetros	Periodo de Monitoreo	
	Noviembre	Diciembre
Precipitación	93,06 mm	42,20 mm
Velocidad del viento	2,83 m/seg	3,0 m/seg
Dirección del viento	NNW	NNW
Temperatura	26,40°C	26,60°C
Humedad relativa	85,74 %	80,00 %
Radiación solar entrante	148,70 horas	200,50 horas
Nubosidad	2 optas	2 optas
Estabilidad	B	B

Fuente: IDEAM. Estación 2502527 UNISUCRE.

concentraciones de las PST. En Diciembre la temperatura y la velocidad de los vientos aumentaron con relación al mes de noviembre, dando lugar a una mayor insolación y una atmósfera moderadamente inestable, que generan la rápida dispersión de los contaminantes, al igual que un incremento de las concentraciones de Partículas Suspendidas Totales en la ciudad.

### Inventario de fuentes de emisión

El inventario de fuentes de emisión para el material particulado en la zona urbana de la ciudad de Sincelejo, arrojó un resultado de 34 fuentes emisoras de PST distribuidas por comunas (Tabla 4). Las fuentes emisoras se agruparon en categorías, entre las cuales se resaltan: incineradores de desechos hospitalarios, manipulación de material de construcción, sitios con mayor flujo vehicular y chimeneas de establecimientos comerciales (asaderos y restaurantes) e industriales (ciledco, fabricación de colchones, etc.). Este inventario facilitó conocer los principales focos contaminantes y su localización, e identificar las zonas más afectadas por las máximas concentraciones, conllevando a la ubicación del sitio más adecuado para el muestreo. Las emisiones de partículas se estimaron a través de factores generados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos –EPA– y recopilados en el documento AP-42, (compilation of air pollutants emission factors Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Movil Sources) [5]. La altura de la

fuelle de emisión fue determinada por medición directa, y para los factores de emisión se encontró que el combustible usado en chimeneas de establecimientos comerciales (asaderos y restaurantes) es carbón de leña (carbón de palo).

La ecuación general para estimar las emisiones contaminantes de partículas es la siguiente.

$$E = A \times EF \left( 1 - \frac{ER}{100} \right) \quad (1)$$

donde:

$E$  = Tasa de emisión de contaminantes

$A$  = Unidad de actividad

$EF$  = Factor de emisión

$ER$  = Eficiencia de reducción de emisión, %.

A cada fuente se le aplicó la ecuación 1, para determinar la cantidad de Partículas Suspendidas Totales que descargaban en la atmósfera como información complementaria al inventario de emisiones. Un resumen de los cálculos para las principales actividades de emisión de Partículas Suspendidas Totales se presenta en la Tabla 5.

## Resultados y Discusión

### Parámetros meteorológicos

**Precipitación.** En la ciudad de Sincelejo se registró una precipitación acumulada de 1068,63 mm, presentándose un periodo seco

Tabla 4  
Fuentes de emisión de PST en la zona urbana del Municipio de Sincelejo

Comunas	Empresa o Establecimiento	Fuentes Puntuales	Actividad	Barrio	F. de emisión
Comuna 9	El panorama	Venta de comidas y asados	Comercial	Bogotá	C
	Terminal de micro buses Bogotá	Transporte de pasajeros	Comercial	Bogotá	FV
	Trans. Ochoa y Torcoroma	Transporte de pasajeros	Comercial	Trinidad	FV
	Antioqueña de Madera	Aserraderos	Comercial	Verbel	M
	Espumas y colchones del Caribe	Fabricación de colchones	Industrial	Troncal salida a Corozal	C, M
Comuna 7	Delicias el Rancho	Venta de comidas	Comercial	Socorro	FV, C
	Casa Palma	Venta de comidas	Comercial	Socorro	FV, C
	Pollo Broaster	Venta de comidas	Comercial	Socorro	FV, C
	Hotel Boston	Hospedajes y otras necesidades	Comercial	Boston	C
	CILEDCO	Procesamiento de leche	Industrial	Medellín	C, M
	Bloquera CREMAR	Fab. de accesorios de const.	Industrial	Av. Sincelejito	MMC
	Bloquera CAPECA	Fab. de accesorios de const.	Industrial	Av. Sincelejito	MMC
Comuna 5	Pollos donde Pombo	Asados y venta de pollo	Comercial	Av. Las Peñitas	C
	Ricco	Asados y venta de pollo	Comercial	Av. Las Peñitas	C
	Pollos BEIRUT	Venta de pollos y comidas	Comercial	Av. Las Peñitas	FV, C
	Maderas y Materiales	Venta de madera	Comercial	Av. Las Peñitas	M
	Terminal de Corozal	Transporte de pasajeros	Comercial	Av. Las Peñitas	FV
	Terminal de transporte de Tolú	Transporte de pasajeros	Comercial	Ocala	FV
	Panadería del Caribe	Venta de comidas	Comercial	Cauca	C
	Maderas del Cauca	Venta de madera	Comercial	Cauca	M
	Asadero pollo Riko	Venta de comida	Comercial	Centro	FV, C
	Pollo Tropical	Venta de Comidas	Comercial	Centro	C
	Clínica Santa María	Atención a la salud	Médica	La Ford	C
Bloquera	Fab. de accesorios de const.	Comercial	La Ford	MMC	
Comuna 4	Colchones de la sabana	Fabricación de colchones	Industrial	Mercedes	M
	Hospital regional de Sucre	Atención a la salud	Médica	Pajuela	C
	Llanera la 21	Venta de comida	Comercial	Pajuela	C
	Asadero y comidas rápida la Becerra	Venta de comidas	Comercial	Pajuela	C
	El Rancho y carne Brava	Venta de comidas	Comercial	Pajuela	C
	Clínica de la Sabana	Atención a la salud	Médica	Majagual	C
Comuna 3	Gaseosas de Sucre	Procesamiento y Fab. de gaseosas	Industrial	Esperanza	M, C
	Muebles y colchones Pereira	Venta de muebles y Fab. De colchones.	Comercial	Esperanza	M, C
	Llanera los Pioneros	Venta de comidas	Comercial	Pionero	C
Comuna 1	Fabricación de tubos CREMAR	Fab. de accesorios de const.	Comercial	Vallejo	M

Fuente: Grupo investigador.

C: Chimenea. M: Máquina. MMC: Manipulación de Mat. de Construcción. FV: Flujo Vehicular.

Tabla 5  
Tasa de emisión para las principales fuentes emisoras de PST; concentraciones atmosféricas máximas asociadas y distancias donde ocurren en la ciudad de Sincelejo

Fuente Emisora	Tipo de Combustible	Altura de chimenea (m)	Cantidad Combustible	Tiempo de Operación (h)	Tasa de Proceso	Factor de Emisión	Tasa de Emisión (g/s)	Cmax, g/m <sup>3</sup>	Xcmax, Km
El panorama	Carbón de palo	10	150 lb	12	0,00625 ton/hr	4,4 Kg/Ton	$2,75 \times 10^{-2}$	$1,263 \times 10^{-5}$	0,070
Llanera la 21	Carbón de palo	12	165,6 lb	20	0,00414 Ton/hr	4,4 Kg/Ton	$5,06 \times 10^{-3}$	$5,72 \times 10^{-7}$	0,40
Gaseosa de Sucre	Gas natural	8	44 m <sup>3</sup>	8	5,5 m <sup>3</sup> /hr	6 lb./10 <sup>6</sup> ft <sup>3</sup>	$2,05 \times 10^{-4}$	$1,45 \times 10^{-7}$	0,050
Clinica Santa María	Fuel Oil	15	9,6 Kg	2	4,8 Kg./hr	2,33 kg/Mg	$3,10 \times 10^{-3}$	$6,02 \times 10^{-7}$	0,11
Maderas y materiales	-	-	-	8	0,50 Ha	2,69 Ton/Ha*mes	0,52	$2,39 \times 10^{-4}$	0,080
CILEDCO	Gas natural	15	85 m <sup>3</sup>	12	7,08 m <sup>3</sup> /hr	7,6 lb./10 <sup>6</sup> ft <sup>3</sup>	$2,63 \times 10^{-4}$	$2,63 \times 10^{-4}$	0,230
Terminales de buses	ACPM	-	96 gal	12	8 gal/Ha*mes	1,4 lb/10 <sup>3</sup> gal	$1,55 \times 10^{-3}$	$1,55 \times 10^{-3}$	0,080
Antioqueña de madera	-	-	-	8	0,45	2,69 Ton/Ha*mes	1,40	1,40	0,080

comprendido en los meses de Enero y Febrero, y un periodo lluvioso entre los meses de Agosto a Octubre; con una máxima de 190,50 mm. en el mes de Septiembre. En este periodo de precipitaciones, los contaminantes son absorbidos por las gotas de agua, por lo que la concentración tiende a disminuir.

**Temperatura.** La temperatura ambiental en el municipio de Sincelejo es alta, dando lugar a una atmósfera inestable y a un clima bastante caluroso. Registrándose un promedio anual de 27,16°C con bajas temperaturas en Diciembre (19,00° C) y altas en el mes de agosto (30,40° C). Los meses de Abril a Agosto (30,00°C) pueden ser favorables para la dispersión del contaminante, debido a la presentación de altas temperaturas que logran facilitar el rompimiento de la capa de inversión y disminuir la concentración en este periodo.

**Velocidad y dirección del viento.** En Sincelejo los movimientos de las grandes masas de aire ocurren en presencia de vientos alisios provenientes del NNW y N alcanzando su mayor intensidad en las primeras horas de la tarde (Figura 3), por lo que se puede producir la dispersión rápida de los contaminantes.

El mes de marzo registra velocidad de viento baja; lo que puede afectar el transporte y dispersión de los contaminantes; sin embargo, los siguientes meses la velocidad comienza aumentar gradualmente, presentándose las máximas en el mes de Enero pudiendo disminuir la acumulación de los contaminantes.

**Insolación.** La insolación en la ciudad de Sincelejo, indica que hay abundante luz solar en la mayoría de los meses y el valor promedio general de brillo solar en la ciudad es 5,64 horas como promedio anual. El registro del mes de Diciembre es el de mayor insolación y Junio el de menor. En los meses de alta insolación prevalece el cielo despejado, hecho que influye sobre la dispersión rápida de los contaminantes.

**Nubosidad.** Los meses de mayor nubosidad se registraron en Agosto y Septiembre, condiciones favorables para la formación de atmósfera estable conduciendo a una baja dispersión de los contaminantes. Durante la mayor parte del año la nubosidad es baja, pudiendo permitir la dispersión de los contaminantes.

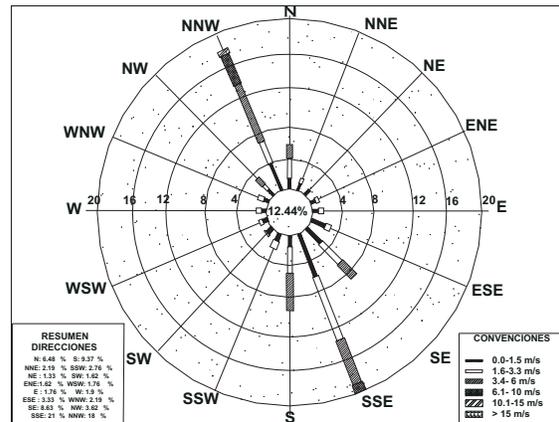


Figura 3. Rosa de los vientos en la ciudad de Sincelejo.

**Estabilidad.** La clase de estabilidad se determinó con la metodología de Pasquill, con relación a los valores promedio de la velocidad del viento, temperatura, insolación solar y nubosidad. Se observó que en el promedio mensual de estabilidad, predomina la estabilidad B (moderadamente inestable) casi todo el año debido a la influencia de las altas radiaciones solares y baja velocidad del viento; sin embargo durante los meses de marzo y abril dominó la estabilidad A (Fuertemente inestable) con presencia de vientos ligeros.

### Punto de muestreo óptimo

Después del procedimiento metodológico expuesto con anterioridad, se seleccionó como punto de muestreo óptimo para situar el muestreador de PST, las instalaciones de la Cámara de Comercio de la ciudad, ubicada en barrios centro calle 19 con carrera 19, comuna 5 (Figura 2); En esta zona se encuentran localizadas el mayor número de fuentes emisoras de PST y según la metodología desarrollada las distancias donde ocurrirían las máximas concentraciones se ubicarían en promedio a 500 metros de su punto de emisión. Otro factor considerado en la selección, fue el alto índice de la población, por pertenecer esta zona al área urbana de actividades múltiples donde en su gran mayoría los habitantes confluyen a trabajar o realizar actividades varias. Topográficamente el sitio se encuentra ubicado en un terreno alto de la ciudad facilitando el transporte de los contaminantes y evitando la acumulación

del mismo, en conjunta ayuda con los parámetros meteorológicos. El monitoreo de PST se realizó durante un mes; comprendido del 14 de Noviembre al 12 de Diciembre del 2001.

**Validación del sitio óptimo**

**Niveles de Partículas Suspendidas Totales en la Zona Urbana de Sincelejo.** El inventario de fuentes de emisión evaluadas en la zona urbana de la ciudad de Sincelejo, arrojó como resultado 34 fuentes emisoras de PST; resaltando como fuentes más frecuentes y con mayores tasas de emisión de PST, el flujo vehicular, chimeneas y/o respiraderos en operación, y procesos de de remoción de materiales.

Los niveles de concentración de PST fueron registrados en los meses de Noviembre a Diciembre (Tabla 6), obteniéndose en general bajos valores en el periodo de muestreo, con un promedio geométrico de 45,07  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figura 4).

Se puede concluir que el promedio de las concentraciones máximas (48,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), estimadas por la metodología del nomograma difiere en apenas un 7% con respecto del valor obtenido en las mediciones realizadas en el periodo de muestreo con valor promedio de 45,07  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , indicativo de que el emplazamiento de muestreo representa adecuadamente la zona estudiada.

La Figura 4 presenta las variaciones de concentración de PST en los días monitoreados, observando que la máxima y mínima concentración, se presentaron el día 4 de Diciembre con un valor de 76,01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y una mínima de 26,52  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  el día 24 de Noviembre.

Entre las principales causas que generaron las bajas concentraciones de PST en la ciudad de

Sincelejo se puede considerar las que se muestran en la Tabla 6.

En el periodo de muestreo los valores de concentraciones registrados en los días de Noviembre, resultaron inferiores a los de Diciembre, en virtud de la ocurrencia de precipitaciones, conociéndose que en los periodos lluviosos estos son arrastrados, aumentando la humedad relativa y disminuyendo la concentración de las partículas sólidas totales.

El bajo grado de industrialización de la ciudad de Sincelejo influye en los bajos niveles de concentraciones de PST. Entre las industrias más importantes registradas se encuentran; Procesadoras de productos lácteos, Embotelladoras de gaseosas, Fabricas de colchones, entre otras.

Durante los datos registrados en el periodo de muestreo, se presentaron precipitaciones con bajas intensidades en el mes de Noviembre, disminuyendo a comienzos de Diciembre; pudiendo expresar que las muestras tomadas en el periodo de investigación y sometidas a la prueba estadística de intervalos de confianza, donde fue utilizado una confiabilidad de un 95%, se dedujo que la verdadera media geométrica estaría entre un rango de 31,48-64,53 a condiciones meteorológicas similares (Figura 5).

**Conclusiones**

Los resultados de este estudio muestran las siguientes conclusiones:

El punto de muestreo óptimo para situar el muestreador de PST, recayó en las instalaciones de la Cámara de Comercio de la ciudad, ubicada en barrios centro calle 19 con carrera 19, comuna 5. En esta zona se encuentran localizados el

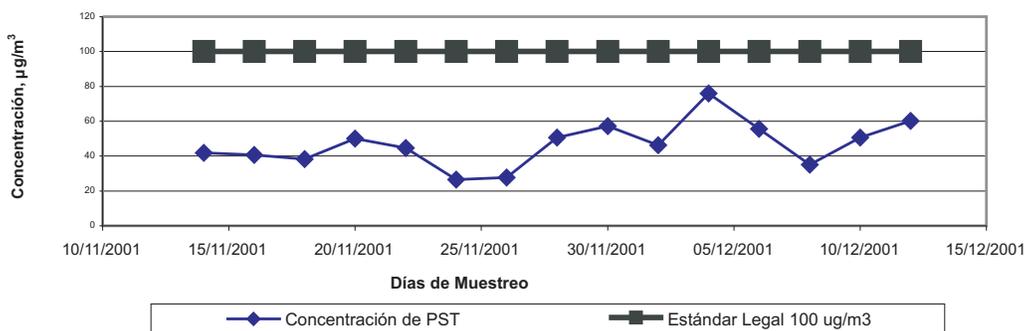


Figura 4. Concentración de Partículas Suspendidas Totales.

Tabla 6  
Niveles de concentración de PST registrados en la ciudad de Sincelejo

Muestra N°	Fecha		Tiempo Muestreo (min.)	Lectura promedio manómetro	Rata de flujo Corregida (m <sup>3</sup> /min)	Volumen de Aire Muestreado (m <sup>3</sup> )	Peso neto de partícula (gramos)	Concentrac. (µg/m <sup>3</sup> )
	Mes	Día						
1	11	14	1440,75	5,65	1,66	2400,72	0,10	41,77
2	11	16	1460	5,65	1,66	2432,79	0,09	40,57
3	11	18	1446,5	5,6	1,65	2397,19	0,09	38,21
4	11	20	1439	5,6	1,65	2384,76	0,11	49,98
5	11	22	1439,25	5,65	1,66	2398,22	0,10	44,61
6	11	24	1515,25	5,6	1,65	2511,13	0,06	26,51
7	11	26	1430	5,7	1,65	2395,66	0,06	27,75
8	11	28	1431	5,65	1,66	2384,47	0,12	50,61
9	11	30	1441	5,65	1,66	2397,80	0,13	57,26
10	12	2	1438	5,8	1,69	2434,69	0,11	46,28
11	12	4	1440	5,65	1,66	2399,47	0,18	76,01
12	12	6	1437	5,65	1,66	2394,47	0,13	55,58
13	12	8	1445	5,6	1,65	2394,71	0,08	35,07
14	12	10	1440	5,65	1,66	2399,47	0,12	50,63
15	12	12	1430	5,6	1,65	2369,85	0,14	60,17

Sitio: Cámara de Comercio.

Promedio de Temperatura Amb.: 27°C. Presión atmosférica: 750 mm de Hg.

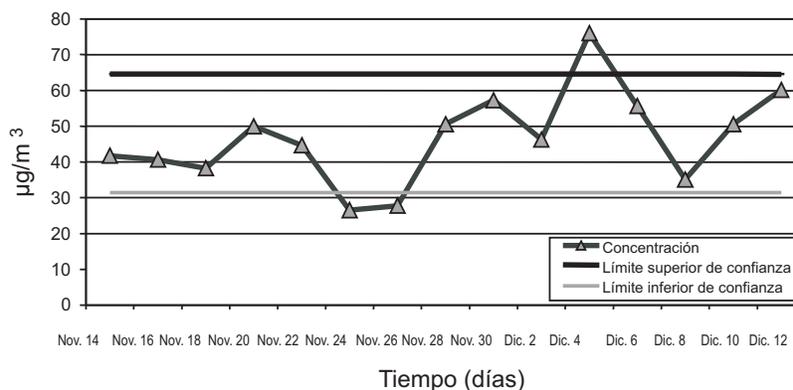


Figura 5. Concentraciones de PST e intervalos de confianza.

mayor número de fuentes emisoras de PST y las máximas concentraciones y las distancias a las cuales ocurre, se ubican en esta área. Esta zona se caracteriza con gran densidad poblacional, y en la cual se desarrollan múltiples actividades de tipo económico e industrial.

De las principales fuentes antropogénicas generadoras de PST identificadas se puede hacer

mención de: i) procesos de combustión incompleta en vehículos automotores emitiendo contaminantes particulados y gaseosos a la atmósfera, ii) actividades hospitalarias y comerciales como clínicas y asaderos, que por medio de chimeneas emiten desechos, producto de la incineración del combustible utilizado para la operación. Durante el periodo de muestreo, el promedio basado en

las concentraciones máximas calculadas ( $48,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), no supera el nivel legal para Partículas Suspendidas Totales en Colombia, establecido en la Resolución 601 de 2006, que es de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , como promedio Anual y de  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como promedio diario.

El 100% de los niveles de concentración de Partículas Suspendidas Totales obtenidos en la muestra piloto, se encuentran por debajo de lo establecido por la norma Colombiana, según Decreto 948 del 95; artículo 31 sobre control y calidad de aire.

Los niveles de las concentraciones experimentales de Partículas Suspendidas Totales varían en un rango de  $26,52$  a  $76,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un coeficiente de variabilidad de  $27,49\%$  lo que indica variaciones significativas dentro del comportamiento de las concentraciones registradas, con promedio geométrico de  $45,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el cual se encuentra por debajo de los  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido en la norma vigente.

El promedio geométrico de las concentraciones máximas calculadas ( $48,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), estimadas por la metodología del nomograma difiere en un  $7\%$  con respecto del valor obtenido en las mediciones realizadas en el periodo de muestreo (experimentales) con valor de  $45,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , por lo tanto puede inferirse que el sitio seleccionado para el monitoreo de PST es representativo para la ciudad de Sincelejo. En general esta metodología es válida para áreas semiurbanas con estas condiciones.

### Agradecimientos

Deseamos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a la Universidad de La Guajira por su aporte a través del Instituto de Estudios Ambientales y Aprovechamiento de agua de la Universidad de la Guajira y la Corporación Autónoma Regional de Sucre, CARSUCRE, por su apoyo invaluable.

### Referencias Bibliográficas

1. Turner D. Bruce. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. An Introduction to Dispersion Modeling. Lewis Publishers. CRC press inc. London. 1994 p 144.
2. Alistair J. Thorpea, Roy M. Harrisona, Paul G. Boulterb, Ian S. McCrae "Estimation of particle resuspension source strength on a major London Road" Environment Atmospheric 41 (2007) pp. 8007-8020.
3. Machado A., Przybylski J., Montiel V., García N., Rodríguez J., Zambrano M. "Efecto de la composición del gas natural comprimido en los componentes regulados de los gases de escape de un motor de encendido por chispa. Parte I: Numero de Wobbe y %CH<sub>4</sub>/CH. Rev. De Ciencia y Tecnología de América. Inter-ciencias. Vol. 26, No. 012 (2001) pp 591-596.
4. Rojano, A. Roberto. Análisis de las Variables Operacionales y Meteorológicas en la Dispersión Atmosférica del SO<sub>2</sub>, Universidad del Zulia, Maracaibo Venezuela (1998)
5. EPA, Environmental Protection Agency, AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I. Stationary Point and Area Sources. Fifth Edition 2000.
6. García Francisco F., Agudelo G., Jiménez K., "Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta, Caribe Colombiano". Rev Fac Nac Salud Pública. Vol. 24 No. 2 (2006) pp. 73-82.
7. Alcaldía Municipal de Sincelejo, Departamento de Planeación, Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Sincelejo, Colombia 2000.
8. García de Rossell, Neyma. Criterios a Considerar en la Planificación de una Red de Monitoreo Atmosférico, Maracaibo - Venezuela, (1999) 60-98
9. Ministerio de Sanidad y Asistencia Social. Manual de procedimiento del programa de control de contaminación atmosférica, Venezuela (MSAS, 1988).
10. Corporación Autónoma Regional de Sucre, Programa de Tasa Retributivas. Información del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) proyecciones en base al censo de 1993 ajustado, Sincelejo Colombia 2001.
11. Strauss W., S. J. Mainwaring. Contaminación del Aire; Causas, Efectos y Soluciones: Trillas México. (1995) 9. 177p.

12. Benarie, Michel M. Urban air pollution modelling, The MacMillan press Ltd.; London y Basingstoke: 1980. Volumen1. PP 5-59.
13. Bustamante, Pilar, Modelo matemático para la dispersión de contaminante atmosférico en la ciudad de Barranquilla, Universidad del Norte; Barranquilla: 1985. Pp. 1-99.
14. Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Calidad del aire y contaminación atmosférica, Resolución 0601 del 4 abril de 2006.
15. Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Calidad del aire y contaminación atmosférica, Decreto 948 del 5 julio de 1995.
16. Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Calidad del aire y contaminación atmosférica, Decreto 02 del 11 de enero de 1982
17. Del Giorgio, J.A., Contaminación atmosférica, métodos de medidas y redes de vigilancia; Alhambra, Madrid: 1977. Pp 12-28.

Recibido el 15 de Junio de 2004

En forma revisada el 05 de Noviembre de 2008