

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**INSTITUTO DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



**“Metodología para el Cálculo de Emisiones de Partículas  
Atmosféricas  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , Aplicada a las Vías Urbanas de  
Mexicali, B.C.”**

**Tesis  
Para obtener el grado de:  
Doctor en Ingeniería**

**Presenta  
Lourdes Monserrat Meza Trejo**

**Director  
Dr. Margarito Quintero Núñez**

Mexicali, B. C.  
Agosto del 2010

## AGRADECIMIENTOS

*La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas auxiliándome desde la etapa diseño hasta el final, de la misma, al propiciarme espacios y material para llevar a cabo trabajo de laboratorio, programas de computación, leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo, acompañando en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.*

*Primero y antes que nada, dar gracias a **Dios**, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de la investigación.*

*Agradecer hoy y siempre a mis **padres** Antonio y María Luisa porque a pesar de no estar presentes físicamente, se que procuran mi bienestar, desde nuestro querida ciudad Sta. Rosalía B.C.S., una dedicación especial a mi **padre** que siempre ha sido un hombre de lucha y constancia, que nos ha proyectado responsabilidad, honestidad ante el trabajo y la familia.*

*Un agradecimiento a mis **hermanos** (Antonio, José Luis, Rosario, Soledad Cande, Jesús Manuel) ya que juntos formamos a nuestros hijos tratándole de dejar la herencia que nuestros padres nos dieron el estudio y en especial a nuestro angelito Martin Ramón†.*

*A mis **hijas** Ana Luisa y Ana Ester, que son el estímulo de mi constancia de estar siempre formándome y logrando metas para fomentar en ellas el interés en el estudio y la responsabilidad.*

*A mi **esposo** Waldo Deras que siempre ha estado apoyándome en este proceso, sembrando en mí una visión positiva de las cosas y paciencia a lo que se presentara, gracias por ser la persona que ha compartido el mayor tiempo a mi lado, porque en su compañía las cosas malas se convierten en buenas.*

*Al programa de becas CONACYT por el financiamiento a esta investigación.*

*Agradezco al **Dr. Margarito Quintero Núñez**, por haber confiado en mi persona, por la paciencia y por la dirección de este trabajo. Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis y haberme dado la oportunidad de incursionar en esta disciplina que es calidad del aire. Y algo muy importante haber hecho que redescubriera mis capacidades, perdiera algunos miedos y tuviera confianza para seguir adelante.*

*Al **Dr. Rafael Cueto García**, por su paciencia en el apoyo de diseño de tamaño de muestra y recomendaciones de la lectura de tesis.*

*Al **Dr. Jorge Ramírez Hernández**, por sus orientaciones tan acertadas durante el proceso de evaluación de actividades de investigación, por el apoyo en el uso de espacios en laboratorio, material y equipo, así como a las recomendaciones de la lectura de tesis.*

*Al **Dr. Benjamín Valdez Salas**, por su apoyo en la realización de los análisis químicos en laboratorios externos, disponibilidad para comentar los resultados y recomendaciones en la lectura de este trabajo.*

*Al **Dr. Andrés Manuel Moncada Aguilar** y **Dr. Osvaldo Leyva Camacho**, por sus comentarios y recomendaciones en el proceso de lectura de la tesis.*

*A los asesores que me acompañaron en etapas del proceso de formación, **Dra. Concepción Carreón**, **Dra. Sara Ojeda**, **Dra. Elizabeth Ramírez**, **Dr. Silvia Ahumada** y **Dr. Ana Luz Quintanilla**, por sus recomendaciones y estímulos.*

*A mi compañera **Dra. Gabriela Lozano†** que me estimulaba, apoyaba a estar siempre adelante con el trabajo de investigación, con sus anécdotas y experiencias.*

*Como olvidar a personas tan importantes de laboratorio, como es el buen **Sr. Horacio** del Instituto de Ciencias agrícolas, que con su experiencia, me*

*auxilio en el análisis de textura de suelos. El Sr. Enrique Dávalos del Instituto de Ingeniería que me facilito la información de datos meteorológicos y apoyo técnico para la habilitación de un equipo de cribado. Por último el Sr. Martin del laboratorio de resistencia de materiales, de la facultad de Ingeniería, por su apoyo en proporcionarme el material requerido de laboratorio.*

*Y por último pero no menos importante, al Arq. José Luis Benítez Zamora, del Instituto de Ingeniería, por sus sabios consejos y apoyo técnico en el proceso de diseño, trabajo de campo y evaluación de resultados. De igual manera a la Ing. María de los Ángeles Santos, que me apoyó en proveerme la información necesaria para finalizar este trabajo.*

*También un agradecimiento a los estudiantes de servicio social Sergio Martínez y Sergio Mayoral, ya que fueron un apoyo fundamental en el trabajo de campo y de laboratorio, por que juntos tuvimos la experiencia de poder cubrir las metas del muestreo y trabajó de laboratorio teniendo días buenos y malos.*

*Gracias también a mis queridos compañeros, que me apoyaron y me permitieron entrar en su vida durante estos casi tres años y medio de convivir dentro y fuera del Instituto de Ingeniería Miguel Ángel Canales y Andrés Manuel Moncada.*

*Y un agradecimiento muy especial a mi amiga Gabriela Osuna, que fue mi apoyo para el manejo de paquete adecuado para la herramienta de trabajo, base para la etapa de muestreo y que estuvo acompañándome durante estos casi tres años y medio.*

*Al personal administrativo, en particular a la Sra. Dolores, que es una persona que constantemente nos recuerda y apoya desde el inicio hasta el final del proceso de estudio. Así como al Sr. Reyes por su apoyo desinteresado en revisión del equipo de cómputo.*

## RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en las vías urbanas de la ciudad de Mexicali, B.C. durante las estaciones de invierno a primavera del 2008. Se recolectaron muestras de polvo en 60 sitios de las vías pavimentadas y no pavimentadas, así mismo se llevó a cabo un levantamiento de aforo vehicular de manera mecánica y estimación de velocidad promedio de los vehículos que transitaban en ambas vías. El propósito de este trabajo fue estimar los factores de emisión (FE's) para valorar la cantidad de material particulado (polvo, MP), identificados como partículas suspendidas totales (PST),  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  de las vías pavimentadas y no pavimentadas de la ciudad de Mexicali. Para ello fue necesario obtener un tamaño de muestra (n), de los sitios seleccionados para el monitoreo bajo un diseño de bloques al azar, correspondiente a un mapa georeferenciado con proyección UTM (por sus siglas en inglés, Universal Transversal Mercator) zona 11 Norte. Se desarrolló la metodología adecuada en campo, laboratorio y gabinete para la estimación de parámetros independientes como fue la velocidad (v, km/hr), la carga (s,  $g/m^2$ ), el porcentaje de sedimento ( $s_L$ , %) menor a  $75 \mu m$  en laboratorio. Fue necesaria la estimación del número de vehículos en gabinete, con base en un programa de computadora para estimar el peso de los vehículos (P) y poder así emplear el modelo AP-42 de la US EPA para el FE promedio. Finalmente, se caracterizó la composición química de las vialidades pavimentadas y no pavimentadas más representativas, para conocer los elementos químicos contenidos en los sedimentos menores a  $75 \mu m$ . La estimación de los FE's corresponden a 0.923 kg  $PM_{10}/km$  y 0.734 kg.  $PM_{2.5} /km$  recorrido por vehículo anual en vías pavimentadas y 2.33 kg  $PM_{10}/km$  y 0.58 kg  $PM_{2.5} /km$  recorrido por vehículo anual en vías no pavimentadas, respectivamente. Y en cuanto a la caracterización de la composición química los métodos analíticos empleados fueron los de Energía Dispersiva de Rayos X (EDX) y Plasma Inductivo Acoplado (ICP) cuyos elementos más significativos encontrados fueron el zinc y plomo con concentraciones de 1-15 mg/Kg y 11-25 mg/Kg respectivamente, que corresponde a la tercera clasificación de umbral de referencia de un estudio realizado por US EPA en 1981-1997.

## ABSTRACT

This research was carried out on urban roads in the city of Mexicali, Baja California during the winter to spring seasons in 2008. Dust samples were collected from paved and unpaved roads, as well as taking a survey of vehicle capacity by counting and estimated average speed of vehicles traveling in both directions. The main purpose was to estimate emission factors (EF's) to evaluate the amount of particulate matter (dust, MP), identified as total suspended particulates (TSP),  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  of paved and unpaved roads of the city of Mexicali. It was necessary to obtain a sample size (n), to select monitoring sites under a randomized block for a georeferenced map with Universal Transverse Mercator (UTM) projection, Zone 11 North. It was developed an appropriate methodology for the estimation of independent parameters as it was speed (v), load ( $s_L$ ), percentage of sediment (s) of less than 75  $\mu m$ . Based on a computer program it was estimated the number of vehicles, their weight (P) status and was used the AP-42 model of the U.S. EPA for the average FE. Finally, it was characterized the chemical composition of most representative paved and unpaved roads, to know the chemical elements contained in sediments of less than 75 micrometers. The estimation of the FE's corresponded to 0.923 kg  $PM_{10}/km$  and 0.734 kg  $PM_{2.5}/km$  traveled per vehicle per year for paved roads and 2.33 kg  $PM_{10}/km$  and 0.58 kg  $PM_{2.5}/km$  per vehicle annual travel for unpaved roads, respectively. For the characterization of chemical analytical methods were used energy dispersive X-ray (EDX) and inductive coupled plasma (ICP), and the most significant elements found were zinc and lead with concentrations of 1-15 mg/kg and 11-25 mg/kg, respectively, which corresponds to the third classification point of threshold reference based on a study by U.S. EPA in 1981-1997.

# INDICE

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	i
<b>ABSTRACT</b>	ii
<b>INDICE</b>	iii
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	vi
<b>INDICE DE TABLAS</b>	x
<b>CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1.- Antecedentes</b>	3
1.1.1.- <i>Tipo de fuente, medición y características del material particulado en la Ciudad de Mexicali.</i>	5
1.1.2.- <i>Inventario de emisiones.</i>	5
1.1.3.- <i>Contaminación en vialidades urbanas.</i>	5
<b>1.2.- Justificación</b>	8
<b>1.3.- Objetivo general</b>	9
1.3.1 <i>Objetivos específicos.</i>	9
<b>1.4.- Hipótesis</b>	9
<b>CAPITULO II.- MARCO TEÓRICO</b>	
<b>2.1. Introducción</b>	10
<b>2.2.- Tipos de fuentes</b>	10
2.2.1.- <i>Fuentes de Área.</i>	10
2.2.2.- <i>Fuentes puntuales.</i>	12
2.2.3.- <i>Fuentes Móviles.</i>	12
2.2.4.- <i>Fuentes Naturales.</i>	13
<b>2.3.- Cuantificación del material particulado</b>	13
<b>2.4 -Factor de Emisión, definición, utilización y clasificación.</b>	15
<b>2.5.-Factor de emisión y modelo de estimación.</b>	16
2.5.1.- <i>La experiencia a nivel internacional de la determinación del factor de emisión.</i>	17
2.5.2.- <i>La aplicación de metodologías de otros países en México.</i>	22
2.5.3.- <i>La experiencia a nivel estado, municipio y localidad.</i>	25
<b>2.6- Contaminación en la atmósfera.</b>	26
2.6.1.- <i>Contaminantes críticos gaseosos y de material particulado.</i>	28
2.6.2.- <i>Partículas sólidas (concentración, tamaño, composición química y morfología).</i>	30
2.6.2.1- <i>Conceptualización y fuentes de partículas.</i>	30
2.6.2.2.- <i>Composición química de las partículas.</i>	31
2.6.2.3.- <i>Morfología y tamaño de la partícula.</i>	32
<b>2.7.- Factores fisicoquímicos más importantes de suelos.</b>	33
2.7.1.- <i>Clasificación del suelo.</i>	33
2.7.2.- <i>Mineralogía de la arcilla.</i>	35
<b>2.8 - Metales pesados en vialidades</b>	35
<b>2.9.- El empleo del número de AGEB, como herramienta para la determinación del tamaño de muestra.</b>	39
<b>CAPÍTULO III.- MATERIALES Y MÉTODOS.</b>	
<b>3.1.- Introducción</b>	41

<b>3.2.- Diseño de herramienta de trabajo para la recolección de la muestra</b>	41
3.2.1.- <i>Descripción del área de estudio</i>	42
3.2.2.- <i>Objeto de estudio de vías pavimentadas y no pavimentadas</i>	43
3.2.3.- <i>Determinación del tamaño de la muestra.</i>	45
3.2.4.- <i>Propuesta de la herramienta de trabajo en campo y gabinete.</i>	48
<b>3.3.- Descripción del trabajo de campo</b>	51
3.3.1.- <i>Material y equipo para la recolección de la muestra</i>	53
3.3.2.- <i>Técnica de recolección de muestra en calles pavimentadas y no pavimentadas</i>	54
<b>3.4.- Descripción del trabajo de laboratorio vía seca</b>	57
3.4.1.- <i>Material y equipo para el análisis de % en peso y carga de sedimento</i>	58
3.4.2.- <i>Técnica de análisis de % en peso y carga de sedimento.</i>	59
<b>3.5.- Descripción de caracterización física y química de sedimentos (vía seca y húmeda).</b>	60
3.5.1.- <i>Caracterización física “Texturas de suelo seleccionado y otros parámetros físicos”</i>	62
3.5.2.- <i>Caracterización química</i>	62
3.5.2.1 <i>Método EDX (Espectroscopia de rayos X)</i>	62
3.5.2.2.- <i>Método ICP (Plasma inductivo acoplado)</i>	62
<b>CAPÍTULO IV. - RESULTADOS.</b>	
<b>4.1.- Base de datos para factor de emisión</b>	64
4.1.1.- <i>Tráfico vehicular, Promedio/día natural</i>	65
4.1.2 <i>Peso promedio vehicular.</i>	69
4.1.3.- <i>Carga y porcentaje(%) de peso de sedimentos</i>	71
<b>4.2.- Estimación del factor de emisión</b>	75
4.2.1.- <i>Factor de emisión de vías no pavimentadas</i>	75
4.2.2.- <i>Factor de emisión de vías pavimentadas</i>	79
4.2.3.- <i>Variables meteorológicas y relaciones de velocidad del viento con los factores de emisión.</i>	83
<b>4.3.- Resultados de caracterización física y química de sedimentos (vía seca y húmeda).</b>	87
4.3.1.- <i>Texturas, pH y conductividad de suelo seleccionado.</i>	87
4.3.2.- <i>Resultados de composición química de sedimentos en sitios seleccionados.</i>	87
4.3.2.1.- <i>Método EDX (Espectroscopia de rayos X, primer análisis)</i>	87
4.3.2.2.- <i>Método EDX (Espectroscopia de rayos X, segundo análisis)</i>	93
4.3.2.3.- <i>Método ICP (Plasma inductivo acoplado)</i>	93
<b>CAPÍTULO V.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	
<b>5.1.- Concentración de material particulado PM<sub>10</sub> y Factor de emisión</b>	96
<b>5.2.-Herramienta para validación de información</b>	97
5.2.1.- <i>Correlación de variables que influyen en la determinación del factor de emisión.</i>	98
5.2.2.- <i>Factores de emisión por zonas, a nivel espacial.</i>	102

<b>5.3.- Caracterización de suelos de sitios seleccionados.</b>	107
5.3.1.- <i>Elementos importantes identificados.</i>	107
5.3.2.- <i>Metales pesados a nivel espacial.</i>	112
<b>CAPÍTULO VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
<b>6.1.- Conclusiones</b>	116
<b>6.2.-Recomendaciones</b>	118
<b>REFERENCIAS</b>	119
<b>ANEXOS</b>	127

<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1.- Días que excedieron el estándar de calidad del O <sub>3</sub> y PM <sub>10</sub> .	2
Figura 2.- Figura 2.- Concentraciones anuales de PM <sub>10</sub> en regiones de frontera.	3
Figura 3.- Características del material particulado de la Ciudad de Mexicali, B.C.	4
Figura 4.- Etapas principales de los procesos de depositación y proceso de remoción.	14
Figura 5.- Capas que constituyen la atmósfera diferentes porcentos dentro del tracto respiratorio.	26
Figura 6.-Depositación de partículas grandes y ultrafinas en diferentes porcentos dentro del tracto respiratorio.	29
Figura 7.- Relación general entre tamaño de partícula y su constitución mineralogía.	34
Figura 8.- Localización geográfica de la ciudad de Mexicali al noroeste de la República Mexicana.	42
Figura 9. Representaciones de direcciones de viento en invierno y verano en una rosa de los vientos.	43
Figura 10. Material particulado suspendido, en dos tipos de vías: no pavimentadas y pavimentadas de la Ciudad de Mexicali.	43
Figura 11.- El área urbana de la ciudad de Mexicali donde se muestran dentro de las áreas de AGEBS, las vías pavimentadas y no pavimentadas con líneas rojas.	44
Figura 12.- Herramienta de trabajo del área urbana de la ciudad de Mexicali, donde se señalan las áreas de AGEBS con las líneas rojas.	50
Figura 13.- Etapas principales de trabajo de campo y análisis de muestra.	51
Figura 14. - Localización de los sitios monitoreados identificados con el símbolo de "+" dentro de su AGEB correspondiente (a) áreas pavimentadas y (b) áreas no pavimentadas.	52
Figura 15.- Procedimiento de trabajo de campo para obtención de datos necesarios para el cálculo del factor de emisión.	53
Figura 16.- Material y equipo empleado en la recolección de muestra.	54

Figura 17.- Recolección de una muestra en una vía no pavimentada y paso peatonal de escolares de primaria, cuya área fue de 30 cm <sup>2</sup> .	55
Figura 18.- Recolección de una muestra en una vía pavimentada en un área de 300 m <sup>2</sup>	55
Figura 19.- Etapas principales para la obtención de una muestra representativa de carga de sedimento $\leq 75 \mu\text{m}$	57
Figura 20.- Etapas principales del análisis vía seca del sedimento recolectado en el laboratorio de resistencia de materiales II, UABC	58
Figura 21.- Sitios seleccionados para la caracterización química (a) y herramienta de diseño base (b), de las vialidades pavimentadas y no pavimentadas de la Ciudad de Mexicali.	61
Figura 22.- Análisis de laboratorio vía seca y húmeda, para la caracterización física y química.	61
Figura 23.- Área urbana de la ciudad de Mexicali y sitios de muestreo en ambas vías.	64
Figura 24.- Promedio por día de flujo vehicular en: (a) vías no pavimentadas y (b) pavimentadas.	66
Figura 25.- Promedio por día de flujo vehicular en vías no pavimentadas	70
Figura 26.- Promedio por día de flujo vehicular en vías pavimentadas.	70
Figura 27.- Relación de peso de muestra total y muestra $\leq 75 \mu\text{g}$ de vía no pavimentadas.	71
Figura 28.- Relación de carga de sedimento en vías pavimentadas.	72
Figura 29.- Comportamiento de los valores medios de los FE, en vías no pavimentadas de PM <sub>10</sub> (a) y PM <sub>2.5</sub> (b).	77
Figura 30.- Distribución de los valores de los factores de emisión en vías no pavimentadas de PM <sub>10</sub> (a) y PM <sub>2.5</sub> (b)	78
Figura 31.- Factor de emisión por zonas en vías no pavimentadas.	79
Figura 32.- Comportamiento de los valores medios de FE en vías pavimentadas de PM <sub>10</sub> (a) y PM <sub>2.5</sub> (b).34.-	81
Figura 33.- Distribución de los valores de los factores de emisión en vías pavimentadas de PM <sub>10</sub> (a) y PM <sub>2.5</sub> (b).	82

Figura 34.- Factor de emisión por zonas en vías pavimentadas.	83
Figura 35.- Rosa de los vientos de los meses de febrero (a) y marzo (b) del 2008. (Meza, 2008)	86
Figura 36.- Rosa de los vientos de los meses de Abril (a) y mayo (b) del 2008. (Meza, 2008)	86
Figura 37.- Constituyentes de elementos de sedimentos de las muestras seleccionadas	89
Figura 38.- Identificación de sitios, con alto contenido en % de carbono de vialidades	90
Figura 39.- Relación porcentual de elementos en sedimentos en %W <sub>t</sub> a %A <sub>t</sub> de vialidades seleccionadas de la (a) a la (h).	91
Figura 40.- Relación porcentual de elementos en sedimentos en %W <sub>t</sub> a %A <sub>t</sub> de vialidades seleccionadas de la (i) a la (k).	92
Figura 41.- Relación de de elementos inorgánicos (a) aluminio (Al) y fierro (Fe) y (b) metales pesados plomo (Pb), zinc (Zn) y cobre (Cu).	95
Figura 42.- Número de días de violaciones del año 2008 en los meses de enero a mayo, temporada de muestreo (invierno-primavera)	96
Figura 43.- Relación del FE y velocidad del viento en vías pavimentadas los días muestreados PM <sub>10</sub> (a) y PM <sub>2.5</sub> . (b)	99
Figura 44.- Relación del FE PM <sub>10</sub> , FE PM <sub>2.5</sub> y velocidad del viento en vías no pavimentadas.	100
Figura 45.- Isolíneas de valores de FE para PM <sub>10</sub> (vías no pavimentadas)	103
Figura 46.- Isolíneas de valores de FE para PM <sub>2.5</sub> (vías no pavimentadas)	104
Figura 47.- Isolíneas de valores de FE para PM <sub>10</sub> (vías pavimentadas)	105
Figura 48.- Isolíneas de valores de FE para PM <sub>2.5</sub> (vías pavimentadas)	106
Figura 49.- Triángulo de textura, en vialidades pavimentadas y no pavimentadas	109
Figura 50.- Correlación del Pb vs. Zn en vías pavimentadas y no pavimentadas	107
Figura 51.- Emisiones de material particulado y su fuente	110

Figura 52- Comportamiento del zinc en las vialidades pavimentadas y no pavimentadas.	111
Figura 53.- Comportamiento del plomo en las vialidades pavimentadas y no pavimentadas.	112
Figura 54.- Isolíneas de valores de zinc en vialidades pavimentadas y no pavimentadas en material particulado menor a 75µm.	113
Figura 55.- Isolíneas de valores de cobre en vialidades pavimentadas y no pavimentadas en material particulado menor a 75µm.	114
Figura 56.- Isolíneas de valores de plomo en vialidades pavimentadas y no pavimentadas en material particulado menor a 75µm.	115

<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1.- Proceso de depositación y remoción de polvos fugitivos en vías transitadas por un determinado número de vehículos	15
Tabla 2.- Características de estudios previos de factores de emisiones PM (mg/km)	20
Tabla 3.- Comparación de la medición de factores de emisión en el estudio, partiendo de una ecuación empírica y PM <sub>30</sub> .	21
Tabla 4.- Factor K, en función del diámetro de la partícula	24
Tabla 5.- Composición típica de una atmósfera limpia	27
Tabla 6.- Mega ciudades del mundo y calidad del aire.	28
Tabla 7.- Contaminantes criterios o de referencia y su afectación a la salud.	28
Tabla 8.- Identificación de compuestos químicos en partículas atmosféricas	31
Tabla 9.- Morfología de partículas	32
Tabla 10.- Tamaños aerodinámicos de partículas y medio de Transporte	33
Tabla 11.- Estándares de concentraciones de metales pesados en suelos.	36
Tabla 12.- Fuentes de elementos encontrados en la atmósfera	37
Tabla 13.- Concentraciones promedio de metales en las vías públicas	37
Tabla 14.- Elementos presentes en vialidades urbanas y su fuente	39
Tabla 15.- Resultados de muestreo en el mapa base de trabajo de campo.	47
Tabla 16.- Criterios de selección de sitios de monitoreo para vías pavimentadas y no pavimentadas.	48
Tabla 17.- Aleatorización de una población de 99AGEBS, con n=30.	49
Tabla 18.- Resultados de campo en vías no pavimentadas.	67
Tabla 19.- Resultados de campo en vías pavimentadas.	68

Tabla 20.- Carga de peso de sedimento ( $\text{g/m}^2$ ) en vías pavimentadas.	73
Tabla 21.- Porcentaje de sedimento en vías no pavimentadas	74
Tabla 22.- Promedio de factores de emisión de vías no pavimentadas.	75
Tabla 23.- Factores de emisión para $\text{PM}_{10}$ y $\text{PM}_{2.5}$ de vías no pavimentadas.	76
Tabla 25.- Promedio de factores de emisión en vías pavimentadas.	79
Tabla 26.- Factores de emisión para $\text{PM}_{10}$ y $\text{PM}_{2.5}$ de vías pavimentadas.	80
Tabla 26.- Relación de vías pavimentadas con factores meteorológicos, velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa.	84
Tabla 27.- Relación de vías pavimentadas con factores meteorológicos, velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa.	85
Tabla 28.- Resultados del análisis del suelo.	87
Tabla 29.- Reporte de análisis químicos por EDX de polvos de vialidades pavimentadas y no pavimentadas	88
Tabla 30.- Vialidades más representativas de % de contenido de carbono.	89
Tabla 31.- identificación de compuestos en tres puntos de vías no pavimentadas y una pavimentada.	93
Tabla 32.- Límites permitidos de metales en suelos urbanos para Pb, Zn, Ni y Cr.	94
Tabla 33.- Resultados de elementos inorgánicos y metales pesados	94
Tabla 34: Comparación de mediciones de FE, g/VKT	97
Tabla 35.- Correlaciones de Spearman de las variables de vías no pavimentadas.	101
Tabla 36.- Correlaciones de Spearman de las variables de vías pavimentadas	102
Tabla 37.- Correlaciones de Spearman de elementos inorgánicos y de metales pesados en distintas vías.	108

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

### 1.1- Antecedentes

En los últimos años, el identificar y conocer las posibles fuentes generadoras de emisiones a la atmósfera de contaminantes criterio han conducido a tener un mejor conocimiento de las emisiones puntuales (emisiones fijas, como las industrias). No siendo así para fuentes no puntuales como es el caso de fuentes en áreas (tintorerías, hospital, aeropuertos, etc.).

La experiencia internacional resalta (SEMARNAT, 2001) la importancia de elaborar inventarios o registros de emisión, donde además de incluir el tipo y cantidad de sustancia emitida, se señale la fuente generadora y su ubicación; reiterando que deben de realizarse a nivel de sustancia, ya que solo de esta forma es posible llevar a cabo su seguimiento a lo largo de su ciclo de vida (formación, emisión, transporte y disposición final). Por lo que la SEMARNAT ha utilizado 4 métodos de estimación de emisiones de contaminantes, tales como: cálculo de ingeniería, factores de emisión, uso de datos históricos de muestreo en fuentes y balance de materia.

Mejía et al., (2006) hace referencia a los trabajos en materia de protección al ambiente en la región fronteriza que tiene su origen en los esfuerzos formales conjuntos de México y Estados Unidos a partir de 1983, con la firma del Acuerdo de Cooperación entre los Estados Unidos de América y México para la Protección y el Mejoramiento del Ambiente en la Zona Fronteriza, conocido como "Acuerdo de La Paz". En la Actualidad el Programa Frontera 2012 es una continuación del citado acuerdo. Este programa es administrado por la Agencia Ambiental de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (US EPA) y la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Este programa cubre metas para seis Estados de México y cuatro de Estados Unidos, aplicadas al aire, tierra, agua, salud, exposiciones y desarrollo ambientales. Para el caso del aire la meta es reducir la contaminación atmosférica. Los inventarios de la región binacional México-EEUU han sido una de las metas de las regiones de los cuatro Estados, ya que proporciona

estimaciones del volumen total de emisiones de contaminantes en un área geográfica y también proporciona datos desgregados sobre categorías de fuentes distintas.

En mayo del 2007, en San Antonio, Texas, se llevó a cabo una reunión de coordinadores de dichos programas para el análisis de la calidad del aire de la zona fronteriza, dando como resultado las gráficas de la figura 1, la cual muestra el número de días que excedieron el estándar de calidad dos indicadores criterios como el ozono ( $O_3$ ) y material particulado menor a 10 microgramos ( $PM_{10}$ ). Estos cuales se basaron en la medición estándar de los Estados Unidos; para el ozono la medición fue cada 8 hrs y corresponde a 0.08 ppm y para las  $PM_{10}$ , la medición fue diaria (24 hrs) y le corresponde  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (en México el estándar es de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , NOM-025-SSA-2005). Se observa en la figura 1, que las ciudades fronterizas con más problemas de contaminación fueron Mexicali y Valle Imperial; Ciudad Juárez y el Paso; Tijuana y San Diego.

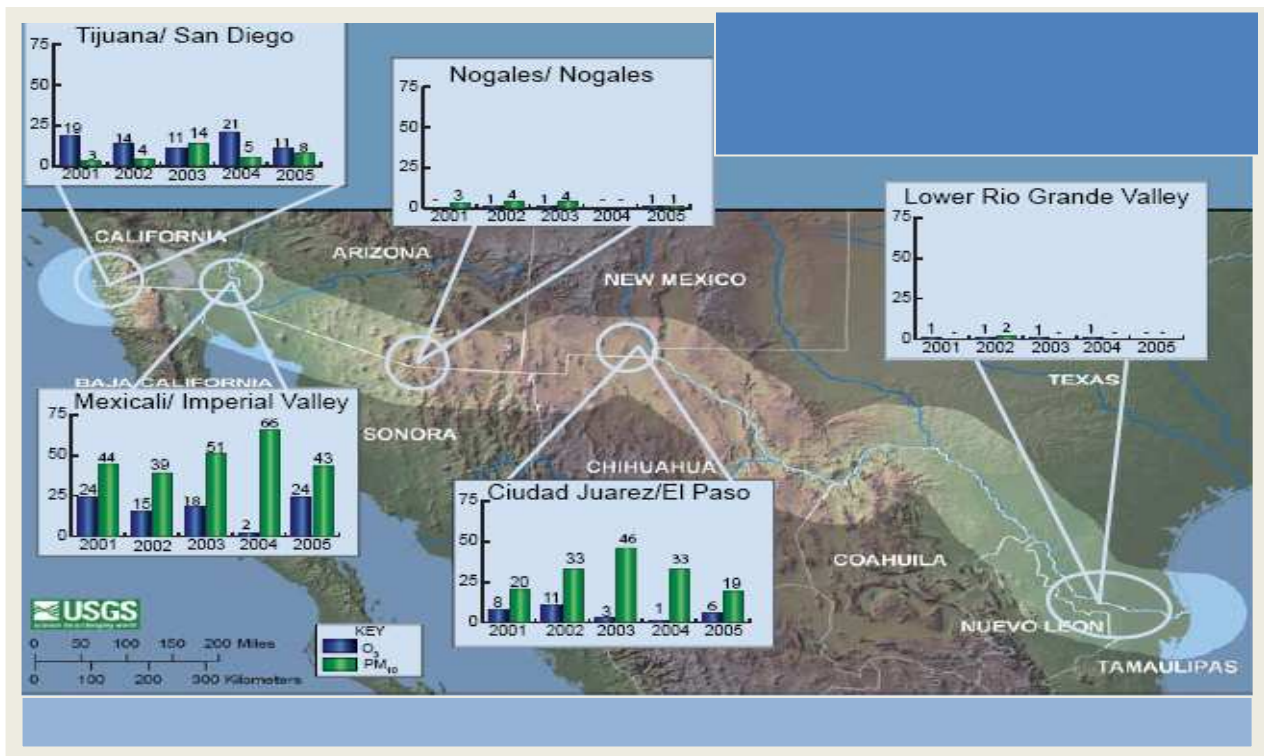


Figura 1.- Días que excedieron el estándar de calidad del  $O_3$  y  $PM_{10}$  (U.S.EPA Air Quality System (AQS) Database).

En la figura 2 se observa que la Ciudad de Mexicali, rebasó el estándar anual de  $PM_{10}$   $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (NOM-025-SSA-2005) el cual están muy por encima de las

otras ciudades fronterizas, como son Ciudad Juárez y El Paso; Tijuana y San Diego; Nogales y Nogales. No fue muy significativo para los estados de Nueva León y Texas.

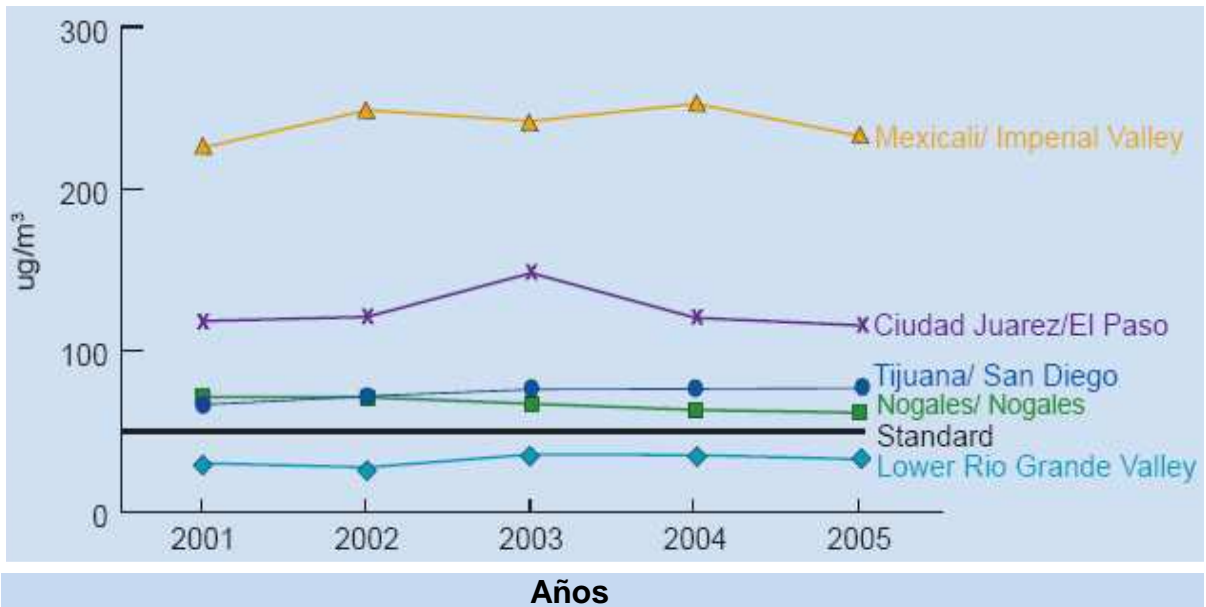


Figura 2.- Concentraciones anuales de PM<sub>10</sub> en regiones de frontera (U.S.EPA Air Quality System (AQS) Database)

### 1.1.1 Tipo de fuente, medición y características del material particulado en la Ciudad de Mexicali.

Las principales fuentes de contaminantes en Mexicali Baja California son: la industria, las plantas de generación termoeléctrica de ciclo combinado, así como la flota vehicular, misma que constituyen una de las fuentes principales de emisión de monóxido de carbono (CO) en esta región (Quintero et al, 2006). Asimismo las fuentes mayores de contribución a los niveles de material particulado, son las vías sin pavimentación, la erosión de los suelos, la quema de residuos agrícolas y de basura y asaderos al aire libre.

Mexicali cuenta con una red de 6 estaciones de monitoreo de calidad del aire (4 estaciones de monitoreo automáticos que miden gases y partículas) y dos estaciones de monitores mecánicos que miden PM<sub>10</sub>. Únicamente la estación de monitoreo de la UABC lleva a cabo mediciones de PM<sub>2.5</sub>.

La ciudad de Mexicali, Baja California se caracteriza porque el MP es el principal problema de contaminación atmosférica de la ciudad el cual es de

origen geológico (tiene que ver con la textura del suelo) y forma parte del desierto de Sonora (Chow et al., 2000); en segundo lugar está el carbón orgánico producto de las quemas incompletas de residuos agrícolas (Quintero y Moncada, 2008), de la quema de carbón en taquerías, pollerías, etc., sales minerales y constituyentes secundarios (Chow et al., 2000). En la figura 3, se observan los constituyentes químicos más importantes del material particulado identificados en la ciudad de Mexicali, B.C.

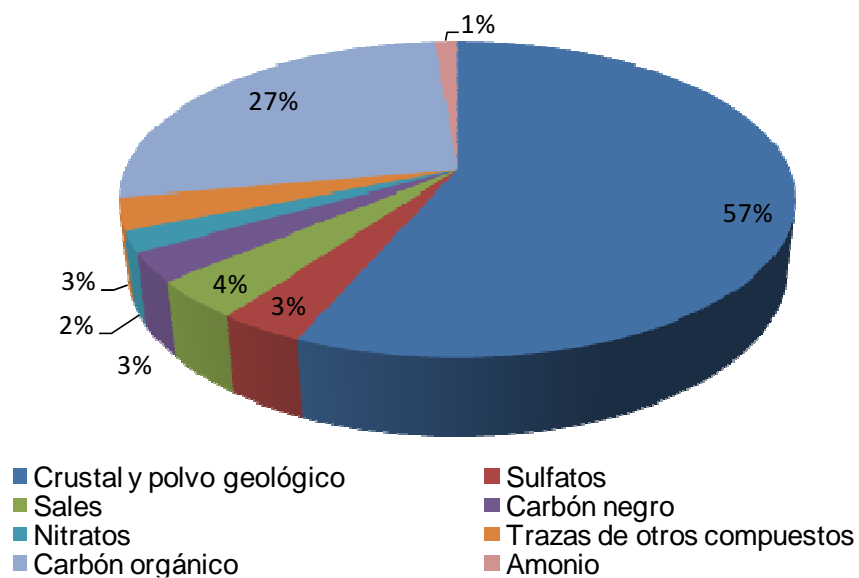


Figura 3.- Características del material particulado de la Ciudad de Mexicali, B.C. (Chow, 2000).

Las estaciones de monitoreo en la Ciudad de Mexicali, B. C. inician su medición formal en 1997 y se han reportado arriba de 20 días el número de veces que ha rebasado el límite máximo diario permitido de  $PM_{10}$  '(120  $\mu g/m^3$ , promedio diario) acorde a la NOM-025-SSA (2005). Las violaciones aumentaron por arriba de 40 días, en el período 2000 al 2006. La información fue obtenida de una base de datos, denominada Sistema de Calidad del Aire (AQS, por sus siglas en inglés), de la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (US EPA). Otros investigadores (Zuk et al., 2007), reportan 43 días de violación en el 2005 y señalan que a la fecha, Mexicali ocupa el primer lugar de las ciudades del Norte en relación a los contaminantes críticos, como son las  $PM_{10}$ .

### *1.1.2.- Inventario de emisiones*

La SEMARNAT, considera que los inventarios de emisiones del aire son un elemento principal en el desarrollo de estrategias de mitigación efectiva y reducción de la contaminación en algunas regiones. Actualmente se cuenta con dos inventarios de emisiones para Mexicali, el primero fue tomando como base los años 1996 y 1999, para lo cual se consideraron factores de emisión de otras ciudades con características similares a Mexicali, B.C. (SEMARNAT, 2005) y a la fecha se cuenta con el inventario de emisiones 2005, derivado de la aplicación del modelo AP-42 (US EPA, 2006). En este se considera la emisión por los escapes de los vehículos considerando el parque vehicular (ERG, 2009).

### *1.1.3.- Contaminación en vialidades urbanas.*

Los Factores de Emisión son relaciones importantes para cuantificar el material total y dar pauta a estrategias de solución al problema de la contaminación por partículas. La ciudad de Chihuahua, Chih., ha sido objeto de estudio para el cálculo de factores de emisión en el pasado y de igual manera la Ciudad de México, D.F. (Carrillo 1999 y Ramírez, 2004).

Cabe aclarar que en los dos estudios realizados se consideraron los contaminantes característicos predominantes del lugar y se aprovecharon los sitios de muestreo para caracterizar y cuantificar dicho contaminantes como fue el amoniaco en ciudades de México, y radiación del material particulado recolectado en la ciudad de Chihuahua.

La contaminación de las vialidades se ha enfocado más a las emisiones de los tubos de escape en las vialidades, pero no al tipo de suelo del área y contribución de otras emisiones, por lo que en esta sección se dará una breve introducción de la importancia de conocer las características del área de estudio y su problema ambiental más relevante.

En el año de 1952 (Harrison, 2000), se reportaron en Londres 4000 muertes sucesivas provocadas por material particulado de concentración de  $1600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y para  $\text{SO}_2$  700 ppb producto del uso del carbón como combustible. La sinergia de ambos contaminantes en los episodios de contaminación del aire es muy

importante, donde el material particulado (humo negro) actuaba como transportador del  $\text{SO}_2$  a los pulmones. Esto llevó a que la Organización Mundial de la Salud, (OMS), las Autoridades Ambientales de los EE. UU. y la comunidad Europea en su conjunto trabajaran un estándar para ambos contaminantes.

En la actualidad el material particulado identificado como  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  considerados ambos contaminantes criterios, se le han atribuido como responsable de afectación en la salud, en particular por su composición química, la influencia del tamaño de la partícula y la habilidad de la partícula para inducir efectos tóxicos (Harrison, 2000).

El tamaño, la forma, densidad, factores físicos, la reactividad de las partículas y los factores químicos determinan el mecanismo de depositación de las partículas. Ocurren dos tipos de procesos identificados como primarios, en referencia al movimiento dictado por los factores físicos, que causan la sedimentación, impacto, inercia y difusión (movimiento Browniano) y los secundarios referido al factor reactividad que resulta de la intercepción y atracción electrostáticas entre partículas y el cambio que pueden sufrir en la superficie impactada (Spengler et al. 1996)

Todos estos procesos en conjunto influyen en el efecto que puede tener la partícula al depositarse en alguna parte del sistema respiratorio, donde las partículas más pequeñas como son las partículas menores a 2.5 micrómetros ( $\text{PM}_{2.5}$ ) entran hasta los alveolos pulmones y las partículas menores a 10 micrómetros ( $\text{PM}_{10}$ ) quedan retenidas en los cilios de las fosas nasales (Spengler et al. 1996; Chown J.C. et al, 2007)

Las características particulares de afectación a la salud dependerán del componente humano (físicas) y ambiente (clima, estación del año, topografía y fuente de partículas), donde la concentración variará de acuerdo a cada ciudad (Smith 1993).

En 1943, los habitantes de los Ángeles, CA (EE.UU.), sufrieron las consecuencias del smog fotoquímico. Los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos emitidos por los tubos de escape de los vehículos reaccionaron

por la acción del sol en los días calurosos formando nitrato de peroxiacetilo (PAN, por sus siglas en inglés) y ozono. Como medida preventiva se colocaron filtros catalizadores en los tubos de escape de los automóviles y lograron que bajaran las concentraciones de ozono de 0,027 partes por millón (ppm) hasta 0,003 ppm (Nebel y Wrigth, 1999)

En los años 80's en la ciudad de México, se empezó a presentar el mismo fenómeno de contaminación, por lo cual fue considerada entre las ciudades más contaminadas como Beijing, Cairo, Yakarta, Los Ángeles, Sao Paulo y Moscú, donde predominaban las PST (Partículas Suspendidas Totales), el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y el dióxido de nitrógeno, ( $\text{NO}_2$ ) (Molina et al, 2002)

Los estudios sobre sedimentos en vialidades hacen mención de la presencia de más del 50 % de metales pesados adheridos a partículas menores a  $65\mu\text{m}$ . Vanegas, 2004 y Sparks, 2003, señalan la capacidad que tiene la arcilla de adsorber material orgánico proveniente de los pesticidas, plantas y animales microscópicos, como polen, esporas, hongos, algas, células epiteliales, bacterias, algas, protozoos, virus, etc. La composición de la arcilla dependerá del tipo de vegetación y crecimiento de microfauna del suelo de la región.

Ha habido otros estudios (Quintero, 2005, 2006) que utilizaron la base de datos de la USEPA conocida como AIRS-AQS (Air Quality System por sus siglas en inglés) en Mexicali donde se ha evidenciado los episodios de excedencias de material particulado por varios años consecutivos. Asimismo otros trabajos han relacionado la contaminación por partículas con enfermedades tales como IRAs, neumonías y asma (Reyna, 2006) tanto en Mexicali como en el Valle.

Es relevante mencionar los trabajos de Ahumada, (2006) donde hace referencia a la importancia de construir un mapa polínico, considerando la contaminación por partículas de polen y esporas, adheridos al material particulado grueso. Moncada, (2006) estudió una fuente de área importante como lo es la quema agrícola, de la cual se obtienen emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), hidrocarburos y material particulado PM10.

Recientemente se llevó a cabo un estudio (Osornio et al, 2007) de la correlación de material particulado en suspensión, PM10 y PM2.5 y sedimento de suelo superficial cerca de las estaciones de monitoreo de la UABC y CONALEP, que representan el área urbana y rural, respectivamente. Los objetivos del trabajo de Osornio fueron:

- a) Caracterización del material particulado, composición y dirección.
- b) Evaluación toxicológica del material particulado usado en la inoculación de células animales.
- c) Análisis de la efectividad del material particulado, sobre el DNA.

Los resultados obtenidos confirmaron su hipótesis de que los patrones tóxicos, dependen del tamaño de las partículas, concentración y mezcla. Asimismo, encontró presencia de metales pesados como fueron Zn y Cu en la fracción fina.

En la mayoría de los trabajos sobre material suspendido a la fecha no se ha considerado la relación suelo atmósfera como producto del tráfico vehicular en las vialidades pavimentadas y no pavimentadas de la ciudad de Mexicali. Por esa razón es importante conocer en una zona urbana que tipo de suelo se tiene e identificar cuáles son las áreas de mayor generación de partículas, para lo cual es necesario contar con Factores de Emisiones, que se aplican a avenidas pavimentadas y no pavimentadas, que dependen del flujo vehicular entre otros factores.

## **1.2.- JUSTIFICACIÓN**

Para el cálculo de los factores de emisión de ciudades que no cuentan con los propios, por lo general se toman datos de otras ciudades con características similares que se han enfocado en evaluar el comportamiento del material suspendido de un cierto tamaño de partícula aerodinámica a nivel piso, pero no de su origen, en particular de las fuentes de áreas, las cuales se consideran no puntuales, por lo que sería la parte central del área de estudio de la presente investigación.

De ahí que este trabajo está enfocado a indagar el origen del material particulado a partir de fuentes de área, en vías pavimentadas y no pavimentadas para la obtención de factores de emisión de la Ciudad de Mexicali.

### **1.3.- OBJETIVO GENERAL:**

Diseñar una metodología para estimar los factores de emisión que permitan valorar la cantidad de material particulado de las vialidades pavimentadas y no pavimentadas de la ciudad de Mexicali.

#### **1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar un tamaño de muestra ( $n$ ), para la selección de los sitios de monitoreo bajo un diseño de bloques al azar, correspondiente a un mapa georeferenciado con proyección UTM (por sus siglas en inglés, Universal Transversal Mercator) zona 11 Norte.
- Desarrollar la metodología adecuada para planear, recolectar y cuantificar los polvos depositados en el área de estudio del material particulado (parámetros indirectos:  $v$ , número de vehículos,  $s$ ,  $s_L$ ,  $P$ ).
- Estimación de los factores de emisión del MP ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ .) en la ciudad de Mexicali.
- Caracterizar físicamente y químicamente los sedimentos in situ y los menores a  $75 \mu m$  en vías pavimentadas y no pavimentadas respectivamente en la Ciudad de Mexicali, B.C.

### **1.4.- HIPÓTESIS.-**

La acción mecánica del peso de los vehículos sobre las llantas al circular en un tipo de vía urbana (pavimentadas y no pavimentadas) y las perturbaciones mecánicas de la flotilla vehicular (desgaste de frenos, entre otros) en un periodo de tiempo, determinan la cantidad de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , que puede re-suspenderse en la atmósfera del área urbana de la ciudad de Mexicali. Lo anterior se estima a partir de un factor de emisión (FE) y se relaciona con el tipo de textura de suelo (arena, arcilla y limo). Su cálculo servirá para llevar a cabo un inventario de emisiones a la atmósfera más efectivo en Mexicali, que ayudará a establecer estrategias y acciones en la mejora de la calidad del aire de la ciudad, en relación a calles pavimentadas y no pavimentadas.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Introducción**

Los materiales particulados (MP), identificados como PST (partículas suspendidas totales),  $PM_{10}$  (diámetro menor a 10 micrómetro,  $\mu m$ ) y  $PM_{2.5}$  (diámetro menor a 2.5 micrómetro,  $\mu m$ ) son parte de los indicadores criterio para medir la calidad del aire limpio en un área determinada (OMS, 2006). Estas partículas tienen un impacto en la salud, ya que presentan características toxicológicas, lo cual depende de su origen y composición química como es el caso de polvos colectados en algunas ciudades del norte de México, como consecuencia de su gran crecimiento urbano, actividad industrial y localización geográfica (Carrillo et al., 2005; Osornio et al., 2007). En el caso del polvo emitido en grandes cantidades, su fuente principal es la erosión producida por el viento (erosión eólica) y las emisiones causadas por las actividades agrícolas [metano ( $CH_4$ ), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y monóxido de carbono (CO)] las cuales son transportadas en escala global y regional. Goosens y Buck (2009), indican “que la gran cantidad de polvo emitido desde África hacia el Oeste (Océano Atlántico y América del sur); Norte y Noreste (Europa), así como el proveniente de China, Mongolia y Pakistán es transportado al este de Asia (Korea, Japón y Oeste del Pacífico)”. De la misma manera hacen hincapié de que hay otros aspectos poco estudiados como es la acción mecánica de los vehículos en las vialidades pavimentadas y no pavimentadas, los cuales podrían contribuir al deterioro de la calidad del aire, ya que son receptoras y emisoras, respectivamente, del tipo de MP ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) que se emite a la atmósfera.

#### **2.2- Tipos de Fuentes.**

##### *2.2.1.- Fuentes de Área:*

Las fuentes de área representan las emisiones de las fuentes que son demasiado numerosas y dispersas, sin embargo son emisoras significativas de contaminantes del aire por lo que deben incluirse en un inventario de emisiones para asegurar que esté completo. Por ejemplo, las estaciones de servicio y las

tintorerías, debido a que el tipo de contaminantes son compuestos volátiles (COV) y a la fecha no existe un criterio que las regularice (Carrillo, 1999).

En el caso particular de Mexicali, Quintero (2006), hace mención a las vías no pavimentadas y suelos erosionados por el viento, característicos de los municipios de Baja California. Adicionales a éstas son las quemas de residuos agrícolas y parrilladas al carbón al aire libre; otra categorías importantes son la distribución y comercialización de combustibles (estaciones de gasolina), limpieza de superficies en las industrias y los solventes de uso doméstico. Por lo general estas dos últimas no se incluyen en los inventarios de fuentes puntuales debido al enorme esfuerzo que se requeriría para recopilar los datos y estimar las emisiones de cada una de ellas de forma individual. Las fuentes móviles que no circulan por carreteras (e. g., equipo industrial, equipo de construcción, etc.), a menudo se incluyen en las fuentes de área estacionarias sobre todo debido a que los métodos usados para estimar las emisiones de fuentes de área y fuentes móviles que no circulan por carreteras son muy similares.

Para SEMARNAT, que es la instancia encargada de la normatividad, regulación y planeación de temas ambientales (INE, 1999), categoriza las fuentes de áreas de la siguiente manera:

- Fuentes estacionarias de combustibles
- Fuentes móviles que no circulan por carreteras
- Usos de solventes
- Almacén y transporte de productos
- Fuentes industriales ligeras y comerciales
- Agricultura
- Manejo de residuos
- Fuentes de áreas misceláneas

En particular las emisiones de fuentes de áreas misceláneas, pueden ser demasiado pequeñas o demasiado numerosas para ser incluidas en el inventario de fuentes puntuales de una región determinada ya que incluyen a las siguientes: incendios silvestres, incendios de construcciones, erosión eólica, emisiones domésticas de amoníaco, polvo de caminos pavimentados, y

polvo de caminos sin pavimentar. Se definen estas dos últimas por ser importante como parte de este trabajo:

A) Partículas de caminos pavimentados.

En la actualidad, las emisiones se calculan como una función de la carga en masa de sedimentos de la superficie pavimentada y del peso promedio de los vehículos que circulan sobre ella. A su vez, la carga de sedimentos ( $\text{kg/m}^2$ ) es función del tipo de camino (pavimentado y no pavimentado).

B) Partículas de caminos no pavimentados.

Al igual que en vías pavimentadas, cuando los vehículos circulan sobre las superficies de los caminos sin pavimentar el polvo que contienen es arrastrado por la estela turbulenta del vehículo y es emitido como partículas. En el momento en que los vehículos pasan sobre la superficie la fuerza de las ruedas pulveriza el material del camino en partículas más pequeñas reponiendo así parcialmente el contenido de sedimentos del camino (US EPA, 2006)

*2.2.2- Fuentes puntuales.*

En México las fuentes puntuales se definen en el Artículo 6 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (SEMARNAT, 2002) en materia de Control y Prevención de la Contaminación del Aire como toda instalación establecida en un solo lugar que tenga como propósito desarrollar procesos industriales o comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.

*2.2.3.- Fuentes Móviles.*

Los vehículos automotores que circulan por carreteras son aquellos como los automóviles, los camiones y autobuses diseñados para operar en carreteras públicas. En la mayor parte de las áreas urbanas los vehículos automotores contribuyen en gran medida a las emisiones de COV, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, partículas, compuestos tóxicos del aire y especies que reducen la visibilidad. Debido a la gran magnitud de sus emisiones y a las consideraciones especiales que se requieren para hacer estimaciones de dichas emisiones, los vehículos automotores se tratan separadamente de otras fuentes de área.

#### *2.2.4.-Fuentes Naturales.*

Son aquellas que emiten compuestos a la atmósfera generados por procesos tanto biótico como abiótico, pero que son independientes de las actividades humanas. En los procesos bióticos se pueden identificar los diferentes ecosistemas y procesos naturales, desde el fitoplancton de los océanos, los cuales emiten compuestos orgánicos volátiles, hasta la respiración de los seres vivos (CO<sub>2</sub>) y gases derivados por los microorganismos y la liberación de fitohormonas por las plantas. En lo que respecta a los elementos abióticos, incluyen las fuentes geotérmica, rayos, quema de biomasa, etc. (Velasco. et al, 2004).

Carrillo 1999, recalca dos fuentes naturales importantes que se deberán considerar en los inventarios de emisiones del aire que son las emisiones biogénicas y los fenómenos naturales que generan emisiones como son la erosión del viento, las termitas (CH<sub>4</sub>), rayos de tormenta (NO<sub>x</sub>), volcanes (SO<sub>x</sub>) y otras actividades geotérmicas (SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S).

En relación a las emisiones biogénicas, Main (2003), hace referencia a que dichas emisiones son partes de los aerosoles naturales, que incluyen polen, esporas, hongos, algas, células epiteliales, bacterias, algas, protozoos, virus. En general se incluyen partículas que se hayan liberado o formado a partir de compuestos provenientes de plantas o animales y que son capaces de causar enfermedades infecciosas, alérgicas ó tóxicas.

#### **2.3.- Cuantificación del material particulado.**

El material particulado a estimar, corresponde a un área miscelánea, en especial de las vías pavimentadas y no pavimentadas. Las emisiones de ese origen se incorporan a la atmósfera, por causa del tráfico vehicular que atraviesa una determinada vía y que el peso del mismo tritura el material depositado sobre la vía, dejando una estela turbulenta cuando pasa el vehículo. Estos polvos fugitivos son incorporados al medio y dependiendo de su tamaño unos logran sedimentar y otros quedan suspendidos en el aire, por lo que se vuelve necesario monitorear y aplicar la normatividad correspondiente, para su regulación y mitigación.

En la figura 4, se podrá observar los procesos de depositación-remoción de algunas actividades diarias en un vía urbana. El primero es indicado con números del 1 al 8 dentro de un círculo, el segundo, se señalan los números dentro de un cuadrado del 1 al 5 y la tabla 1, muestra el significado de cada número.

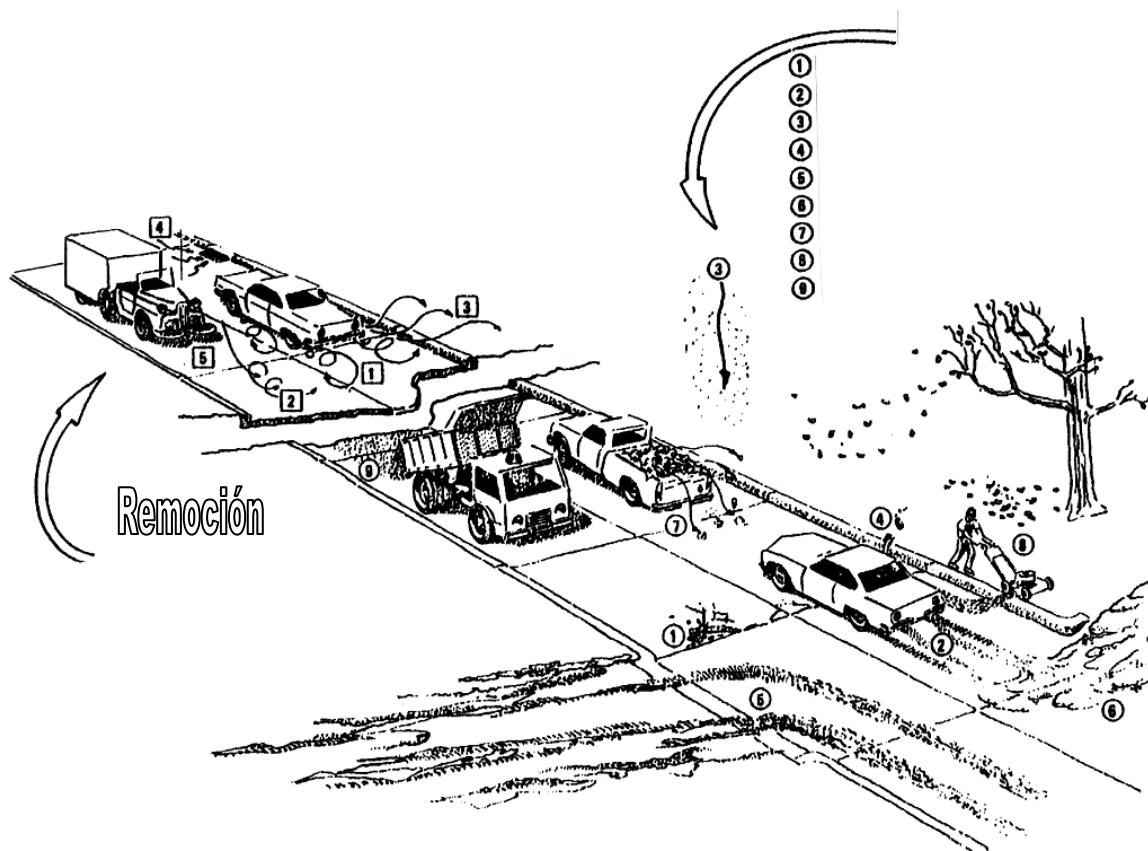


Figura 4.- Etapas principales de los proceso de depositación y remoción (US EPA AP-42, 1985).

Por ejemplo de la tabla 1, el punto 1 de la primera columna indica el desgaste y descomposición de los pavimentos que podrán ser removidas de manera natural o inducida, como son erosión eólica o por estela turbulenta, por lo que se generan polvos en suspensión a la atmósfera, mostrada en el punto 1 de la segunda columna. Estos polvos en suspensión dependen del tamaño aerodinámico, para que queden suspendidas o sedimenten.

Tabla 1.- Proceso de depositación y remoción de polvos fugitivos en caminos, transitados por un determinado número de vehículos (US EPA AP-42, 1985).

Depositación (cómo se deposita en la vía)	Retiro de Polvo (Remoción, de manera natural o inducida)
1.-Desgaste y descomposición del pavimento. 2.- Deposición y relación (Caída de polvo). 3.-Basura. 4.-Arrastre de lodo y suciedad. 5.-Erosión de áreas. 6.-Derrame. 7.-Detritos biológicos. 8.-Compuestos para control de aire.	1.- Estela Turbulenta. 2.- Erosión eólica. 3.- Desplazamiento. 4.- Arrastre por escurrimiento a un canal.(en la lluvia) 5. - Barrido de vías.

#### 2.4.- Factor de Emisión, definición, utilización y clasificación.

El factor de emisión es un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de contaminante liberado a la atmósfera, con una relación activa en la emisión del mismo. Los elementos usualmente empleados son la masa de estos polvos fugitivos liberados y que son divididos por la unidad de peso total de muestra, volumen total de muestra, distancia o duración de la emisión activada del material liberado. Por ejemplo, los Kg de emisión de partículas de carbón/megagramo de combustible quemado. Estos factores, facilitan la estimación de la emisión de varias fuentes de contaminantes del aire (US EPA 2006)

Los factores de emisión se utilizan para estimar emisiones de todos los tipos de fuentes de contaminación atmosférica: puntuales, área, móviles, y fuentes biogénicas. Un número significativo de las estimaciones de emisión para las fuentes puntuales se basa en factores de emisión, los cuales son clasificados por US EPA (2006), como sigue:

1. Los basados en censos, que se utilizan para hacer estimaciones de las emisiones de fuentes de área.
2. Los basados en procesos, que se emplean para estimaciones de las emisiones de fuentes puntuales, y a menudo se combinan con los datos de actividad recopilados con encuestas o con balances de materiales.

Con base en lo anterior, la elección de los puntos de medición del valor de emisión es sumamente importante, pues el resultado será distinto en diferentes puntos situados a igual distancia de un mismo foco emisor, según sea el sentido en que preferentemente se produzca el transporte de los contaminantes y los obstáculos de tipo orográficos que puede encontrarse en su recorrido (Barrenetxea, 2003).

## **2.5 Factor de emisión y modelo de estimación.**

La US EPA (2006) ha desarrollado factores de emisión y asume que existe una relación lineal entre la tasa de emisión y una unidad de actividad (p.ej., cantidad de combustible consumido, tasa de producción, población, empleo, etc.) De acuerdo a SEMARNAT, 2005, se plantean tres modelos a analizar, tales como los Adaptativos, los Mecanísticos y los de Múltiples variables. Los dos últimos son los que más se han aplicado en México, ya sea por su costo o su tecnología.

Como fuente de emisión de este proceso se encuentran caminos pavimentados y no pavimentados, así como otras actividades como operaciones agrícolas, depósitos de materiales de agregados y operaciones de construcción.

Las fuentes de emisión que recaen en el modelo mecanístico, se basan en ecuaciones que han sido desarrolladas para describir la tasa de emisión de un tipo de fuente en particular. Con base en este modelo la EPA ha desarrollado una serie de ecuaciones para estimar las emisiones de estas fuentes de polvos fugitivos, que se sintetizan a continuación (US EPA, 2006):

### **Caminos sin pavimentar**

$$E = VKT \times EF \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

E =tasa de emisión promedio anual como masa, kg/año

VKT =kilómetros recorridos por vehículo, VKT/año

EF =factor de emisión, kg/VKT

Se define como factor de emisión (FE):

$$FE=k (1.7) (s/12) (S/24) (W^{0.7}/2.7) (w^{0.5}/4) (1-p/365) (kg/VKT) \quad \text{Ec.2}$$

Donde:

k = multiplicador del tamaño de partícula, adimensional

s = % del contenido de sedimentos del material del camino

S = velocidad promedio del vehículo, km /hr

W = peso medio del vehículo, Mg

w = número promedio de ruedas

p = número de días al año con una precipitación mínima de 0.254 mm (0.01 in).

### **Caminos pavimentados**

$$E = VKT \times EF$$

Ec.3

Donde:

E=tasa de emisión anual promedio en masa, g/año;

VKT=kilómetros recorridos por vehículo, VKT/año;

EF =factor de emisión, g/VKT.

Definida como factor de emisión (FE):

$$FE= k (s_L /2)^{0.65} (W/3)^{1.5}$$

Ec.4

Donde:

k=factor de emisión de base para el intervalo de tamaño de partícula (g/VKT)

s<sub>L</sub>=carga de sedimentos de la superficie del camino (g/m<sup>2</sup>)

W=peso promedio (ton) de los vehículos que transitan por el camino.

Es importante tener variables indicadoras para estimar estas emisiones, por lo que el modelo AP-42 (USEPA, 2006) sugiere en general, que se calculen como una función de la carga (s<sub>L</sub>) y porcentaje del sedimento (s) de la superficie pavimentada y del peso promedio de los vehículos (P) sobre las llantas. A su vez, la carga de sedimentos es función del tipo de camino, variable referida a la cantidad generada en un área por los vehículos que circulan por una vía urbana.

#### *2.5.1.- La experiencia a nivel internacional de la determinación del factor de emisión.*

Las partículas suspendidas totales (PST), son parte de los polvos de las vías urbanas en varias ciudades de países europeos (Alemania, Austria, Dinamarca, Finlandia y Suecia) por el empleo de antideslizantes (arena/sal) que generan partículas minerales (se asocia el 90% de MP a silicatos de aluminio), como

una fuente de material particulado y causa de serios problemas ambientales (Tervahattu et al., 2006, Ketzela et al., 2007, Gustafsson et al., 2009). Esto ocurre especialmente en el período de invierno a primavera, en donde se reportan para las ciudades escandinavas, 35 excedencias anuales (violaciones) cuyo límite máximo diario para  $PM_{10}$  es de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (OMS, 2006).

La estimación del FE, resulta de la medición de la cantidad de MP generado, debido al incremento de una cierta actividad y en el caso de polvo del camino, se expresa como la masa de partículas en un área que es resultado de una unidad de viaje de un vehículo g/km (gramos de polvo por kilómetro recorrido), que se abrevia en inglés como VKT (US EPA, AP-42, 2006, Etyemezian et al. (a), 2003).

Una definición clásica del FE es la de Nicholson en 1989, “como producto del rodamiento de las llantas de los vehículos que imparten una fuerza a la superficie que pulverizan el material del lecho del camino no pavimentado y las partículas son expulsadas por una fuerza cortante, la cual provoca una estela turbulenta de los vehículos” y que ha sido parte de un modelo de evaluación en algunas regiones de Norteamérica, al ser medidas en tiempo real las concentraciones de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  (Guillies et al., 2005).

M. Ketzela et al (2007), propone dos tipos de emisiones para el MP, las directas e indirectas, las cuales son producto del tráfico vehicular, e identifica su origen:

a) **Directas:** Proviene del escape de los vehículos de combustible de gasolina o diesel (Mahmoud, et al, 2003), identificadas como la fracción fina ( $PM_{2.5}$ ), la cual esta en función del mantenimiento vehicular, pero no del clima y condiciones de vialidad y otras tales como las provenientes del desgaste de los frenos y embrague (pedal del arranque) (Wahlin et al, 2006, Tervahattu et al 2006).

Pero a diferencia de las citadas con anterioridad se encuentran en cantidades iguales la fracción fina y gruesa ( $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ ), las cuales se correlacionan con las emisiones de los escapes de gasolina y diesel (Ketzela et al 2007).

b) **Indirectas**, las emisiones proveniente de la erosión de las vialidades, desgaste de llantas y resuspensión de polvo (Gillies et al, 2005). En esa categoría se encuentran la fracción fina y la gruesa y se correlaciona con las emisiones directas, influenciadas por factores externos, tales como el tipo de neumático (llantas), turbulencia inducida por los vehículos, condiciones derivadas del clima y de las características de las vías.

La contribución de las vialidades con velocidades bajas es significativa en la concentración de partículas urbanas en el aire. En el 2001 el estado de California, reportó la contribución en un 17-27% de polvo del total de emisiones el cual a su vez dependió del clima, especialmente de la lluvia, la que reduciría estas emisiones.

Asimismo en las vías sin pavimentar existe un incremento de emisiones más o menos proporcional después de los días de la última lluvia (Etyemezian et al (b), 2003, Tsai J., 2002).

Dentro de los modelos de medición de los FE, existen métodos que determinan la variable PM, directamente, como es el caso de la propuesta de estimación in situ de Abu-Allaban (b), (2003), realizada en el estado de Nevada, a través de una regresión lineal tipo multi-lag.

Este autor referencia la contribución de las  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  de los vehículos de gasolina y diesel, siendo mayor, los valores de FE para los vehículos tipo diesel, en especial cuando son tractocamiones donde encontró que la contribución de polvo resuspendido es función de la velocidad del vehículo ( $v$ ), de las condiciones de la vialidad (carga del sedimento,  $C_s$ ) y del porcentaje de vehículos pesados ( $P$ ).

Abu-Allaban (a), (2003), recomienda la técnica como efectiva para la medición, del FE, con base en la tabla 2 en donde compara sus resultado con una serie de métodos de estimación de FE, en adición al método del Hidrómetro, que cuantifica los contaminantes derivados de la combustión de la gasolina y diesel (escapes de los vehículos) y que fue empleado durante la prueba de verificación vehicular, donde esta última resultó con valores muy bajos.

Tabla 2.- Características de estudios previos de factores de emisiones PM (mg/Km)(Abu-Allaban et al (a), (2003).

<b>Estudio</b>	<b>Tamaño de MP</b>	<b>Sitio</b>	<b>Flota vehicular</b>	<b>Factor de emisión</b>
El estudio	PM10	sobre la vialidad	HDD	530-9100
Gertler et al (2002)	PM10	sobre la vialidad	HDD	179±13
Puxbaum et al (2003)	PM10	sobre la vialidad	HDD	390
Claiborn et al (1995)	PM10	sobre la vialidad	HDD y LDSI	980-6687
Venkatram et al (1999)	PM10	sobre la vialidad	HDD y LDSI	123-10,000
El estudio	PM10	sobre la vialidad	LDSI	90-840
Ball(1997)	PM10	Dinamómetro	LDSI	<7
Cadle et al (1997)	PM10	Dinamómetro	LDSI	85-240
Gertler et al (2002)	PM10	sobre la vialidad	LDSI	14 ±13
Puxbaum et al (2003)	PM10	sobre la vialidad	LDSI	31
El estudio	PM2.5	sobre la vialidad	HDD	120-780
Gertler et al (2002)	PM2.5	sobre la vialidad	LDSI	133±18
El estudio	PM2.5	sobre la vialidad	LDSI	6 ±87
Durbin et al (1999)	PM2.5	Dinamómetro	LDD	60-345
Durbin et al (1999)	PM2.5	Dinamómetro	LDSI	1,5-30
Chase et al (2000)	PM2.5	Dinamómetro	LDSI	<1.5
Gertler et al (2002)	PM2.5	sobre la vialidad	LDSI	10 ±11

\*MP= material particulado  
HDD=Heavy duty diesel (vehículos de diesel "camiones")  
LDSI= Light-duty spark ignition (vehículos de gasolina, automóviles")

En Taiwán, República de China, de acuerdo a estudios previos se considera al PM10 como un indicador estándar de contaminación, el cual se ha excedido 100 veces desde 1944 hasta la fecha. Esto ha llevado a realizar una serie de trabajos para identificar las variables que afectan los FE, tal como fue el proyecto de túnel de viento, donde se consideró a la velocidad del viento (V), carga de sedimento (s), contenido de humedad de polvo del camino (M), número y velocidad de vehículos (v), como elementos importantes a estimar y que en otros modelos no eran considerados. En la tabla 3 se observan los

valores estimados y se hace una comparación de su ecuación lineal obtenida con otras ecuaciones (Tsai y Chang 2002):

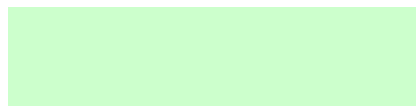
Tabla 3.- Comparación de la medición de factores de emisión en el estudio, partiendo de una ecuación empírica y PM<sub>30</sub> (Tsai y Chang 2002).

Sitio	Experimento g/VKT	AP-42 g/VKT	Cowheard et al g/VKT	Hesketh and Cross g/VKT
E.W. Highway	1202	954	395	1750
Chen-Ja Road	267	1333	798	3026
Nan-Liaw fish port	544	386	123	1105

\*VKT: Los kilómetros recorridos en un tramo de avenida en un tiempo determinado

PM<sub>30</sub>: partículas suspendidas menores a 30 micrómetros, PST

US EPA AP 42 en 1998, consideró en su ecuación 5, las siguientes variables: en vías pavimentadas: % de sedimento (s, menor a 75 µm), peso vehicular (W), % de humedad del material particulado (M) y constantes empíricas acorde al tamaño de partículas (Tsai y Chang 2002).



Ec.5

La ecuación 6, fue planteada en 1979 por Cowheard y colaboradores para vías no pavimentadas, que añade la velocidad de los vehículos (V<sub>v</sub>), el número de llantas (w) y días con más de 0.254 mm de precipitación(d).

$$e = 610 \left( \frac{s}{12} \right) \left( \frac{V_v}{48} \right) \left( \frac{W}{2.7} \right)^{0.7} \left( \frac{w}{4} \right)^{0.5} \frac{365 - d}{365} \quad \text{Ec. 6}$$

En 1983, Hesketh and Cross a diferencia de la anterior y considerando la ecuación 7, involucraron el peso del vehículo, número de llantas y número de días de precipitación:

$$e = 142.7(s)(V_v/30)(365 - d)/365 \quad \text{Ec. 7}$$

El experimento de Tsai a diferencia de los tres modelos citados, añade la velocidad de viento (Vw) y volumen de tráfico (Nv):

$$19 \times M^{-0.05} \times V_v^{1.32}$$

Ec. 8

Una observación a éste experimento, es que se compara con modelos de vialidades no pavimentadas y pavimentadas, empleados actualmente en EPA, (AP-42, US EPA, 2006) y no hace la distinción entre ambas vías.

En el caso de los modelos europeos y americanos, los parámetros independientes son los mismos, tales como carga y porcentaje del sedimento, velocidad, peso y tipo de vehículo, así como las condiciones meteorológicas del lugar (velocidad del viento, dirección y temperatura); la manera de medirlos es lo que los hace diferentes y característicos del lugar. El plantear valores de FE de otros sitios no es comparativo, porque los valores no rebasan 1 kg/VKT o en algunas regiones desérticas el valor es por arriba de 10 kg/VKT.

En estudios recientes otro aspecto que se están estudiando es el tipo de textura del suelo (arena, limo y arcilla), donde se argumenta que dependiendo del tipo de la composición elemental de la textura de un camino no pavimentado de una ciudad como Nuevo México, sería la distribución del tamaño de la partícula a emitirse, la cual entre más alta sea la velocidad del automóvil, mayor será la altura de la estela, amplitud y dispersión de material particulado fino (William et al. 2008). En el mismo tenor, Goosens y Buck (2009), lo relacionan más con la textura del suelo tipo fina (arcilla) lo que hace que la emisión sea mayor, independientemente de las otras variables empleadas.

El tipo de vialidad y la localización geográfica, son factores externos significativos en la estimación de las variables involucradas en los FE, los cuales son importantes en el diseño de estrategias y en la determinación de las emisiones de PM

#### *2.5.2. La aplicación de metodologías de otros países en México.*

Ramírez (2004), llevo a cabo un estudio en la ciudad de México, denominado inventario de emisiones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y amoniaco de la ZMCM (zona metropolitana de la ciudad de México), con base a las ecuaciones planteadas, del modelo mecanístico AP-42 de EPA y estimó el Fe de las vías pavimentadas

y no pavimentadas, por considerarlas una fuente importante de partículas. En contraste a las ecuaciones sugeridas por el modelo AP-42, hay diferencia en cuanto a la relación de parámetros en la ecuación de vías pavimentadas, que se indica a continuación:

$$FE = k_1 (s/12)^a (W/3)^b / ((M/0.2)^c) \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

$k_1$ ,  $a$ ,  $b$  y  $c$  son constantes empíricas cuyos valores se dan en tablas generadas por EPA.

FE= Factor de emisión

s= Carga del material que puede suspenderse (%)

W= Peso promedio de la flota de vehículos

M= Contenido de humedad del material de la superficie del camino.

Se apoya con valores estimados en tabla de s, para su aplicación y corrige los valores de M y W, de acuerdo a los datos del lugar, en particular el parámetro W, donde plantea una metodología para su estimación.

Carrillo (1999), parte del modelo anterior que aplicó en la Ciudad de Chihuahua, Chih., en el cual a diferencia de Ramírez (2004), realiza un monitoreo del material particulado depositado en vías pavimentadas y no pavimentadas, en donde plantea un diseño de bloque al azar en la toma de muestras de diversas áreas de la ciudad, para la estimación de factores de emisión de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , empleando las ecuaciones 2 y 4, para la estimación de los factores de material particulado, y seguir los procedimientos de análisis y recolección de técnicas sugeridas por EPA.

En lo que respecta a la ecuación 10, esta es planteada de manera diferente y actualmente es la sugerida por AP42 US EPA (2006). De igual manera la ecuación 11 por Cowheard y colaboradores corresponde a la ecuación 6.

### **Vías pavimentadas**

$$FE = k \left( \frac{Cs}{2} \right)^{0.65} \left( \frac{P}{3} \right)^{1.5} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

FE - Factor de emisión (Mg/VKTAño)

k = Multiplicador del tamaño de partícula (g/VKT)

C<sub>s</sub> = Contenido de sedimentos del material de la superficie del camino (g/m<sup>2</sup>)

P = Peso promedio del vehículo (Mg)

### Vías no pavimentadas

$$FE = k(1.7) \left( \frac{s}{12} \right) \left( \frac{v}{48} \right) \left( \frac{P}{2.7} \right)^{0.7} \left( \frac{r}{4} \right)^{0.5} \left( \frac{365-p}{365} \right) \quad \text{Ec.11}$$

Donde:

FE = Factor de emisión (Mg/VKTAño)

K = Multiplicador del tamaño de partícula (adimensional)

s = Contenido de sedimentos del material de la superficie del camino (%)

v = Velocidad promedio del vehículo (Km /hr)

P – Peso promedio del vehículo (Mg)

r – Número de promedio de ruedas

p – Número de días con una precipitación  $\geq$  a 0.25 mm de H<sub>2</sub>O

A continuación en la tabla 4, se presenta la relación de los valores de K, que se utilizaran en las ecuaciones de cálculo.

Tabla 4. Factor K, en función del diámetro de la partícula

Tipo de camino	Multiplicador del tamaño de partícula(k)	
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
Vías no pavimentadas	0.36 <sup>1</sup>	0.095
Vías pavimentadas	4.6 g/VKT	2.1 g/VKT

Cabe aclarar que en los estudios realizados en dos ciudades de México (D.F. y Chihuahua), se consideraron los contaminantes característicos predominantes del lugar y se aprovecharon los sitios de muestreo para caracterizar y cuantificar dichos contaminante como fue el amoniaco y la radiación del material particulado recolectado.

<sup>1</sup> adimensional

### *2.5.3- La experiencia a nivel Estado, municipio y localidad.*

En septiembre de 1999, se dió a conocer el informe final del proyecto “Inventario de emisiones del aire de Mexicali, B.C: realizado por Radian Internacional LLC de los EEUU con apoyo del bufete Ingeniería de Control Ambiental y Riesgo (ICAR) de Mexicali (ERG, 2006). Este trabajo se llevó a cabo en coordinación con las diferentes instancias de gobierno, federal estatal y municipal, así como de la USEPA.

En ese estudio se hace mención a acciones preventivas tales como: a) Aplicación de estabilizadores de suelos para el control de emisiones de PM10 en vías pavimentadas y de tránsito intenso. b) Impulso a un programa de pavimentación de vías y caminos. Además, ICAR, encontró que más del 40% de las vías urbanas no cuentan con carpeta asfáltica, y donde solamente se les da mantenimiento con maquinaria pesada. Además consideró que el tipo de suelo existente en la ciudad, es de vertisoles háplicos cuyo contenido de limo en terreno suelto es del 22 al 26%. En los caminos no pavimentados y en la presencia de lluvias erráticas y torrenciales, las partículas finas que integran el limo se van hacia las capas inferiores del suelo, quedando en la capa superior cantidades que van del 1 al 18% dependiendo del grado de compactación.

Es importante mencionar que para el cálculo de las emisiones se utilizó la fórmula publicada en septiembre de 1998 por la EPA, debido a que ésta modifica a la anteriormente publicada en el volumen V del Inventario de Emisiones de Fuentes de Área (SEMARNAT 2005).

El Programa Integral de Pavimentación y Calidad del Aire (PIPCA) se estableció como parte del PROAIRE 2000-2005, lo cual dio origen a un programa de pavimentación en los 5 ayuntamientos del Estado de Baja California y bajo la coordinación de la Junta de Urbanización del Estado.

A la fecha se cuenta con el inventario de emisiones 2005, (ERG, 2009), derivado de la aplicación del modelo AP-42 US EPA (2006). En este se considera la emisión por los escapes de los vehículos considerando el parque vehicular, del cual se tomaron datos para su extrapolación, así como la

identificación de vías principales para la recolección de sedimento. Los resultados en cuanto a los sedimentos difieren en cuanto a peso y % de las avenidas monitoreadas, que dio valores más pequeños comparados al estudio llevado a cabo en la investigación.

## 2.6.- Contaminación en la atmósfera

La atmósfera está constituida por diferentes capas, tal como se muestra en la figura 5.

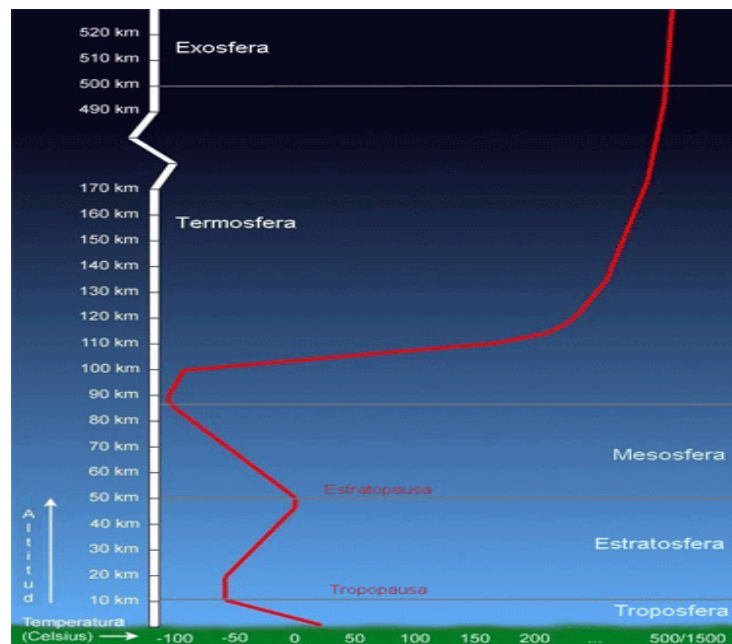


Figura 5.- Capas que constituyen la atmósfera (Climate Instituto, 2007-2009)

De la atmósfera destacan dos capas de interés como son en primera instancia la estratósfera, que impide que los rayos ultravioleta lleguen directamente a la tierra y la tropósfera que es en donde ocurre todos los fenómenos naturales de contaminación tales como reacciones fotoquímicas, transporte y dispersión de partículas, que alteran la concentración natural de los constituyentes del aire, tal como se indica en la tabla 5.

La tabla 5 describe las principales componentes que deberá tener un aire puro. Por lo que otros elementos arriba de su concentración o la incorporación de otros componentes, alteraría la calidad de este. Reyes et al (2003), la denomina como contaminación del aire, que define como: "Cualquier condición

atmosférica en la que ciertas sustancias alcanzan concentraciones elevadas sobre su nivel ambiental normal como para producir un efecto nocivo en el hombre, los animales, la vegetación y los materiales”.

Tabla 5.- Composición típica de una atmósfera limpia (Griffin, 1994 en Molina y Molina, 2002).

<b>Compuestos gaseosos</b>	<b>Fórmula</b>	<b>% en volumen</b>	<b>PPM</b>
<b>Gases permanentes</b>			
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	78.084	
Oxígeno	O <sub>2</sub>	20.946	
Argón	Ar	0.934	
Neón	Ne		18.2
Helió	He		5.2
Kriptón	Kr		1.1.
Hidrógeno	H <sub>2</sub>		0.5
Dióxido de nitrógeno	N <sub>2</sub> O		0.3
Xenón	Xe		0.09
<b>Gases variables</b>			
Vapor de agua	H <sub>2</sub> O	0.01-7	
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0.035	
Metano	CH <sub>4</sub>		1.5
Monóxido de carbono	CO		0.1
Ozono	O <sub>3</sub>		0.02
Amonio	NH <sub>3</sub>		0.01
Dióxido de nitrógeno	NO <sub>2</sub>		0.001
Dióxido de sulfuro	SO <sub>2</sub>		0.0002
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S		0.0002

La contaminación puede ser natural o hecha por el humano, algunos ejemplos son las erupciones volcánicas, quemadas forestales y tolvaneras de polvo, semejantes fenómenos naturales han tenido repercusiones en el humano. Sin embargo durante los pasados 100 años, la contaminación del aire ha aumentado (Molina y Molina 2002), por el crecimiento de las ciudades y concentraciones de actividades secundarias en las mismas, las que han demandado un aumento del parque vehicular aunado a otro tipo de servicios, que ha ocasionado emisiones de partículas en diferentes estados de agregación de la materia (sólido, líquido y gaseoso).

Dentro del marco regulatorio, a nivel internacional, (tabla 6) ciudades como , México, Beijing, Cairo, Yakarta, Los Ángeles, Sao Paulo y Moscú, son clasificadas como megalópolis que tienen serios problemas de contaminación, donde destacan los contaminantes PST (partículas suspendidas totales), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el dióxido de nitrógeno, NO<sub>2</sub> (Molina y Molina 2002).

Tabla 6.- Mega ciudades del mundo y calidad del aire (Molina y Molina, 2002)

Mega ciudad	Población (millones) 2000 <sup>2</sup>	Partículas Suspendidas totales, PST (µg/m <sup>3</sup> ) 1995 <sup>3</sup>	Dióxido de Azufre, SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 1998 <sup>4</sup>	Dióxido de Nitrógeno, NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Tokyo, Japón	26.44	49	18	68
Ciudad de México	18.13	279	74	130
Mumbai, India	18.07	240	33	39
Sao Paulo, Brasil	17.76	86	43	83
Nueva York, EEUU	16.64		26	79
Los Angeles, EEUU	13.14		9	74
Calcuta, India	12.92	375	49	34
Shanghai, China	12.89	246	53	73
Deli, India	11.70	415	24	41
Yakarta, Indonesia	11.02	271		
Osaka, Japón	11.01	43	19	63
Beijing, China	10.84	377	90	122
Manila, Filipinas	10.87	200	33	
Río de Janeiro, Brasil	10.84	139	129	
Cairo, Egipto	10.55		69	
Organización Mundial de la Salud, OMS		90	50	40

En el caso del Estado de Baja California, dos ciudades son críticas, las ciudades de Mexicali y Tijuana. La ciudad de Mexicali en particular se identifica como una de las ciudades en segundo lugar en contaminación del aire a nivel país en relación a los contaminantes de referencia tales como es PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y CO<sub>2</sub>. (Zuk et al, 2007).

### 2.6.1.- Contaminantes críticos gaseosos y de material particulado.

El control de la contaminación del aire se ha centrado en los contaminantes criterios o de referencia definidos por los EE.UU., la Unión Europea y la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006), que son los que representan el mayor impacto para la salud humana, que se enlistan en la tabla 7.

<sup>2</sup> Números de residentes en una población, definida por las naciones unidas.

<sup>3</sup> Datos recientes de 1990-1995

<sup>4</sup> Datos recientes 1990-1998

Tabla 7.- Contaminantes criterios o de referencia y su afectación a la salud (OMS, 2006)

CONTAMINANTES	EFFECTOS SOBRE LA SALUD
Partículas (PST, PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> )	Irritación de los bronquios, factor cancerígeno
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Irritación y espasmos bronquiales
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Irritación de los bronquios
Ozono (O <sub>3</sub> )	Irritación de los bronquios, asma
Monóxido de carbono (CO)	Trastornos respiratorios y sensoriales
Hidrocarburos	Efecto cancerígeno, irritación de bronquios

Las partículas PM<sub>10</sub> (grandes) pueden permanecer en el aire por minutos u horas mientras que las partículas PM<sub>2.5</sub> (pequeñas) pueden permanecer en el aire por días o semanas. Estas también incluyen partículas sólidas que pueden provocar molestias (polvo, humo y polen), así como sustancias más peligrosas para la salud (fibra de asbesto, hollín y compuestos químicos) e incluidas también las gotas pequeñas de ácido sulfúrico y de varios pesticidas (Domínguez, 2005).

Este tipo de partículas al ser suspendidas son inhaladas y depositadas en diferentes partes del cuerpo humano mismas que se muestra en la figura 6. La notación referida a las partículas es PM y va acompañado de un número que indicará el diámetro de la partícula (1, 2.5, 10 etc.) encontrándose también otra simbología PST, conocida como partículas totales en suspensión (Barrenetxea, 2003).

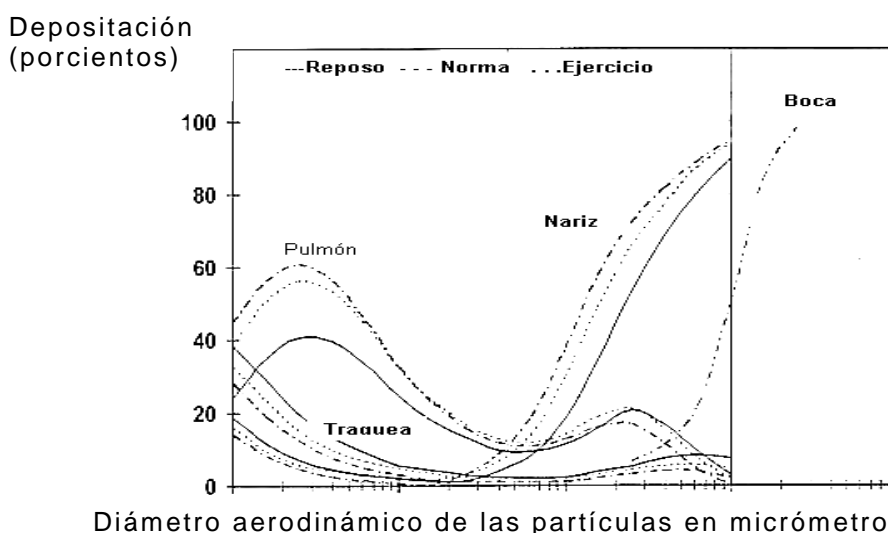


Figura 6.- Depositación de partículas grandes y ultrafinas en diferentes porcentajes dentro del tracto respiratorio (Phalen et al en Chown J.C. et al, 2007)

### *2.6.2.- Partículas sólidas (concentración, tamaño, composición química).*

La causa de la contaminación por partículas suspendidas podrían ser el resultado de procesos tan variados como son la erosión del suelo (por el viento o lluvia), incendios forestales; desprendimiento de polen de la vegetación y erupciones volcánicas entre otras.

El presente estudio se enfoca a las partículas generadas por la acción de depósito de actividades cercanas a un camino o en su caso, la acción mecánica sobre el mismo, como es el peso de las llantas que produce una estela turbulenta, identificada como polvo fugitivo y aunado a otras emisiones de áreas misceláneas que se sumen al material particulado en suspensión.

Reyes et al, 2003, hace referencia a la contaminación ambiental por partículas como una mezcla suspendida en la atmósfera de corpúsculos sólidos y líquidos, cuyos componentes generalmente varían en tamaño, origen y composición.

#### *2.6.2.1.-Conceptualización y fuentes de partículas.*

Las  $PM_{10}$  de origen urbano se generan principalmente de la combustión no controlada y se definen como partículas sólidas o líquidas, polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen dispersos en la atmósfera, cuyo diámetro es inferior a  $10 \mu m$ . Las  $PM_{10}$  están formadas principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbono (Sparks, 2003)

Las partículas menores a 2.5 micras, generalmente son ácidas, que pueden contener hollín y otros derivados de las emisiones de vehículos e industriales, son la fracción particulada que causa el mayor número de enfermedades respiratorias ya que se alojan en bronquios, bronquiolos y alvéolos (Chow, 2006). En el caso de estos contaminantes su representación es independiente de la naturaleza química de las partículas, por ello se habla de concentraciones en miligramos (mg) o microgramos de partículas por metro cúbico ( $\mu g/m^3$ ). Es conveniente aclarar que en el aire (medio dispersante) pueden hallarse diversas fases de dispersión que corresponden a varios tipos

de partículas o contaminantes (sólidos, líquidos y gaseoso), conocidos como aerosol líquido y gas.

#### 2.6.2.2.- Composición química de las partículas.

Con base en la composición química y tamaño de las partículas se pueden inferir los posibles perjuicios a la salud. En la tabla 8, se observan, tres grandes clasificaciones de estas partículas: metales, otras especies inorgánicas y compuestos orgánicos. Las partículas primarias se emiten de forma directa y las secundarias son formadas con posterioridad en el seno de la atmósfera.

Tabla 8.- Identificación de compuestos químicos en partículas atmosféricas (Barrenetxea, 2003).

COMPOSICION	COMPOSICION QUIMICA	EJEMPLOS	FUENTES
Metales	Sales y óxidos	Calcio y Aluminio  Plomo  Hierro  Sodio  Potasio  Vanadio  Mg, Cu, Cr, Mn	-Erosión de la corteza terrestre y procesos industriales.  -Liberado por las pinturas y por el uso como antidetonante en las gasolinas  -Procesos siderúrgicos  -Aerosoles marinos  -Proceso de erosión  -Liberado en los procesos de combustión de fuel-oil  -Metales trazas en la composición de carbono y otros combustibles.
Otras especies inorgánicas	Sulfatos y nitratos  Cloruros-----  Amonio-----  Silicio-----		-Contaminantes secundarios, procedentes de los óxidos de azufre y nitrógeno.  -Aerosoles marinos  -Generado a partir del amoniaco gaseoso.  -Erosión terrestre y partículas carbonadas, tanto de carácter inorgánico como orgánico originado en procesos de combustión incompleta.
Compuestos orgánicos	Compuestos terpenicos  Aceites  Hidrocarburo alifático y aromático  Hidrocarburo aromático policíclico Nitratos de peroxiacilo  Dioxinas y benzofuranos		-Natural  -Vegetal  -Empleado como disolventes o combustibles  -Proceso de combustión, insecticida utilizado en fumigaciones agrícolas.  -Formado en los procesos fotoquímicas. -Producidos en la incineración de órgano halogenados.

Barrenetxea, 2003, menciona que las partículas primarias se encontrarán en mayor o menor concentración según sea la distancia desde el punto en que se está midiendo a la fuente emisora. Mientras que las secundarias, principalmente sulfato y nitrato de amonio y compuestos orgánicos secundarios, se encuentran en general, en concentraciones semejantes en todos los puntos, no apreciándose gradientes de concentración importantes entre áreas urbanas y rurales. La posibilidad de causar un efecto perjudicial dependerá de la mayor o menor toxicidad de cada una de las sustancias que constituyen las partículas.

#### 2.6.2.3.- Morfología y tamaño de la partícula.

El tamaño de las partículas presentes en la atmósfera, es de gran importancia para conocer cuál va a ser su comportamiento, tanto en lo referente al destino de las mismas (mayor o menor facilidad de sedimentación), como en los aspectos que van a incidir en su peligrosidad. Pero también es importante su morfología, por ejemplo, tal como se indica en la tabla 9.

Tabla 9.- Morfología de partículas (Barrenetxea, 2003)

<b>Partícula</b>	<b>Forma</b>	<b>Tipo</b>
Líquida	Esférica	
Sólida	Poliédrica	Cuarzo
Sólida	Laminar	Mica
Sólida	Cilíndrica	Talco
Sólida	Fibrilar	Celulosa o textil

Al hablar de tamaño de partículas se consideran todas ellas esféricas y se mide la magnitud de éstas en función del radio de Stokes. Este último definido como el de una esfera que tiene la misma velocidad de caída e igual densidad que la partícula, pero en algunos casos el radio de Stokes puede ser idéntico al radio geométrico de la partícula, entre otros (Barrenetxea, 2003).

Puede haber importantes variaciones, recomendándose que se deba tener en cuenta ese factor al interpretar los efectos físicos debido al tamaño de las partículas, que oscilan entre límites muy amplios, que van desde radios menores a los 0.0001 micrómetros a radios mayores a 1000 micrómetros, por lo

que se clasifican en tres grupos: a) Aitken o fina, b) medias y c) sedimentables o gruesas características que se describen en la tabla 10.

Tabla 10.- Tamaños aerodinámicos de partículas y medio de Transporte.

<b>Grupos de partículas</b>	<b>Tamaño(diámetro)</b>	<b>Medio</b>	<b>Transporte</b>
Aitken o finas	0.1 micras		Movimiento al azar (moléculas), frecuentes colisiones y consiguiente coagulación
Medias	0.1 y 10 micras	En suspensión	0.1 $\mu\text{m}$ permanecen en el aire durante 10 días y las de 10 $\mu\text{m}$ permanecen unas horas, sufriendo ambas importantes procesos de coagulación.
Sedimentables o gruesas	Superior a 10 micras		

Por los dos primeros procesos que se mencionan en la cuarta columna, provoca que el tamaño de las partículas que permanecen en suspensión en el aire esté fundamentalmente comprendido entre 0.1 y 10 micrómetros. En lo que respecta al efecto en la salud del Material particulado  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$  es más elevada la peligrosidad de las  $\text{PM}_{2.5}$ , derivado de su tamaño.

## **2.7.- Factores fisicoquímicos más importantes de suelos.**

En ocasiones para relacionar algún posible problema ambiental se parte de conocer en primer lugar el tipo de sedimento que se tiene. En este caso en la Ciudad de Mexicali, B.C., el sedimento esta relacionado con la textura, que corresponden a la proporción de arena, sílice y arcilla en una fracción fina de esa combinación que se representa con base al diámetro de la partícula en mm o  $\mu\text{m}$ .

### **2. 7.1.- Clasificación del suelo**

Existe una clasificación de sedimento de parte del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A.), que corresponde de manera general a los siguientes tamaños: arena: 0.05 a 2 mm; limo: 0.002 a 0.02 mm; y arcilla: menor a 0.002 mm y en la figura 7, se muestran los posibles constituyentes que tendrá (Schaetzl, 2005)

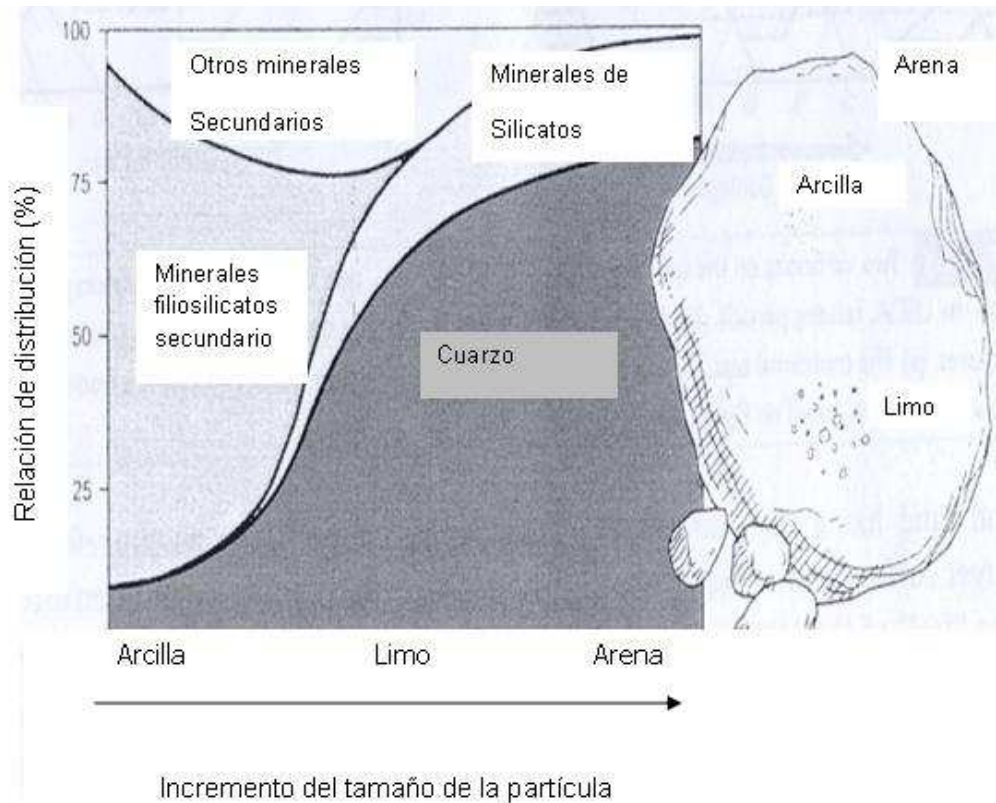


Figura 7. - Relación general entre tamaño de partícula y su constitución mineralógica.

En consideración al material particulado que se mide correspondiente a  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , se encontró que el intervalo de medición deseable se sitúa en el rango de  $0.0025\text{mm} \leq \text{partículas} \leq 0.01\text{mm}$  y al consultar la tabla de relación el tipo de partícula esperado estaría entre limo fino y arcilla, para las  $PM_{10}$  y partículas  $PM_{2.5}$  bajo estudio.

Una técnica alternativa recomendada, por expertos en suelos es la determinación de textura por el método del densímetro de bouyoucos (ASTM No. 152) donde los resultados se interpolan en un triángulo de textura de suelo, basado en la relación de tamaño de partículas de distribución de la contextura USDA.

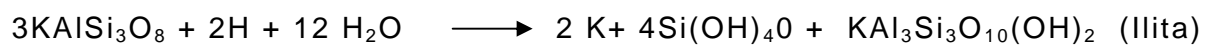
Además es importante tener una caracterización general del tipo de suelo que se trabaja, ya que determinará el posible comportamiento de afectación a la salud por la morfología y constitución química que lo conforme.

### 2.7.2.- Mineralogía de la arcilla.

Los estudios mineralógicos, técnicas de rayos X y de petrografía, son apropiados para la determinación de arcillas, ya que están constituidas principalmente por minerales cristalinos claros y diversas cantidades de material no cristalino. Los principales elementos químicos son silicio, aluminio, fierro, magnesio, hidrógeno y oxígeno y sus compuestos derivados como SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O y cantidades variables de otros óxidos como: TiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, MnO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, más los grupos hidroxilos.

Dentro de la clasificación de mineral de arcilla la más importante para la región es la del grupo de las micas con retículo 2:1 y que se caracteriza por tener 2 láminas de sílice y una de alúmina, misma que se encuentra como un subgrupo importante que es la illita (Carreón, 2008).

Esta última es un mineral interestratificado que tiene sustitución isomórfica del Si por el Al en la hoja de sílice, y de Al por Mg y Fe en la hoja de alúmina, donde las cargas negativas producidas por la sustitución son equilibradas por iones de potasio. Otro factor importante es que la illita también es resultado de disoluciones de minerales primarios como es el Feldespato y que por el fenómeno del intemperismo se llegue a formar y su estructura química corresponde a la siguiente (Barton, 2002):



La illita es, posiblemente, el grupo más abundante en los depósitos arcillosos marinos modernos. Es también la arcilla más abundante en los depósitos sedimentarios antiguos y es el material arcilloso predominante en las lutitas.

### 2.8 - Metales pesados en vialidades

Los metales pesados como el Pb, Hg, Zn y Cd tienen cierta afectación a la salud. En la tabla 11 se observan los estándares y límites de suelo (Carreón, 2008).

Tabla 11.- Estándares de concentraciones de metales pesados en suelos (Modificación por Carreón 2008)

Metal	Estándar en el suelo, mg/kg	Límite en el suelo,mg/kg	Origen antropogénico
Pb	10-84	500	Plomería, petróleo, pintura.
Hg	0.02-0.04	1	Pesticidas y minería.
Zn	17-124	300	Galvanoplastia y desechos industriales.
Cd	0.06-1.1	3	Fertilizantes y desechos industriales.

Todos aquellos metales pesados susceptibles de presentar problemas en términos de contaminación ambiental existen en pequeñas cantidades, de forma geológica natural, en rocas, suelos, aguas y aire, donde la concentración en suelos y rocas es muy superior a la concentración en agua, y generalmente mayor que la concentración en la biomasa. Estos metales se encuentran en el agua en una forma química relativamente disponible para los seres vivos, mientras que los elevados contenidos en rocas y suelos son generalmente insolubles. La contaminación del medio ambiente por metales tóxicos iniciada hace aproximadamente unos 6000 años, ha aumentado mucho últimamente. Wu, 1995, menciona “que en el planeta existe escasez de lugares que se puedan considerar totalmente exentos de contaminación metálica”. Un ejemplo de ello es que estudios realizados recientemente han demostrado que “las concentraciones de plomo en las capas de hielo más externas en la Antártida, son cinco veces superiores a las existentes en el hielo formado antes de la revolución industrial (Domínguez, 2006)”.

Una de las recomendaciones para este tipo de suelo es llevar a cabo un estudio del suelo tomándolo como blanco para saber que antecedentes se tiene del lugar. De igual manera, Miranda, 1998, indica que la presencia del plomo en los suelos, se le atribuyen en algunos sitios a las emisiones a la atmósfera que se depositan a los lados de los caminos, que son adsorbidos en arcillas y materiales orgánicos. Otra fuente potencial es la minería, tal como se indica en la tabla 12.

Tabla 12.- Fuentes de elementos encontrados en la atmósfera (Miranda J., 1998).

<b>FUENTE</b>	<b>ELEMENTOS</b>
Suelo	Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Sr
Humo	K
Automóviles (gasolina)	C, Br, Pb
Combustóleo	V, Ni
Quema de carbón mineral	S
Industria, fundidoras	Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Se, Pb
Sal marina	NaCl
Incineración de desperdicios	As, Br, Zn
Sulfuros	H, N, O, S

En la tabla 13 se muestran los niveles obtenidos de Pb, Zn, Ni y Cr en suelo urbano por otros investigadores, en países como Italia y Turquía y en estudios realizados por Imperato et al. (2003) que reportan niveles de Cr en superficie de suelos urbanos, entre 1.7-7.3 mg/kg.

Tabla 13.- Concentraciones promedio de metales en la avenida(Machado et al, 2007)

FUENTE		Metales mg/Kg		
		Zn	Ni	Pb
Imperato et al, 2003	Suelo	180	---	184
Yukselen, 2002	Suelo	758	---	394.4
Narin y Soy lak, 1999	Suelo	----	51.8	---

Existe preocupación a nivel mundial con relación a la contaminación por transporte atmosférico de metales pesados a gran escala debido a su capacidad de asociación a masas de aire. Por efectos de la recirculación de los vientos, dichos metales tienden a depositarse en áreas alejadas a su fuente de origen (Imperato et al. 2003).

En un trabajo realizado por Fernández et al. (2000) se concluyó que los metales Pb, Cu, Ni, Cr, Cd y Fe, que se hallaron en las muestras de partículas suspendidas totales fueron atribuidos principalmente al tráfico vehicular, mientras que metales como Fe, Al, Pb, Cu y Cr aparecen en diferentes tipos de fuentes como suelo, tráfico vehicular e industrias. Por otra parte, Sternbeck et al. (2002) consideran que los metales derivados del desgaste del embrague,

frenos y neumáticos de los vehículos son principalmente Cu, Zn, Cd, Sb, Ba y Pb; Asimismo se puede decir que la combustión es una fuente insignificante de Ba, Cu, Pb y Sb. De igual manera las altas concentraciones de Pb y Zn en sedimentos y suelo en las zonas bajo estudio del estado de Maracaibo, Venezuela, pueden estar asociadas al uso de combustibles fósiles en vehículos automotores y al desgaste de neumáticos (Machado et al 2008).

Debido a la cantidad de contaminantes asociados al tráfico vehicular se han realizado investigaciones para tratar de relacionar su influencia con la cantidad de contaminación encontrada sobre la superficie de las vías urbanas. La hipótesis más utilizada hasta el momento en los estudios sobre contaminación por metales pesados es que los contaminantes están generalmente más concentrados en las fracciones de material particulado de menor tamaño (Zafra et al, 2007).

Kobringer y Geinopolos en 1984, menciona, que el uso de llantas supone el desprendimiento de partículas con un diámetro medio de 20  $\mu\text{m}$ , donde Habbi, 1973 señala que el 25% del plomo emitido por los escapes de los vehículos está asociado con partículas de diámetro mayor de 9  $\mu\text{m}$ . Es de gran importancia especificar la cantidad de contaminación asociada con los diferentes rangos de tamaño de las partículas, para tener una buena efectividad en el diseño de los mecanismos de control de la contaminación (Zafra et al, 2007).

En la tabla 14 se hace referencia a los contaminantes suspendidos por el tráfico vehicular, adaptada de Ball et al. en 1998 y Duncan en, 1999. En la misma se observa que las fuentes principales de material particulado son por el rodamiento de las llantas y la fricción de las pastillas de frenos, siendo los principales contaminantes generados el Pb, Zn, Cu y Cd. En relación al elemento Cd, no fue significativa la concentración reportada en este trabajo.

Tabla 14- Elementos presentes en vialidades urbanas y su fuente (Zafra et al 2007)

<b>Elemento</b>	<b>Fuente</b>
Plomo	Escape de vehículos, uso de llantas, aceite lubricante, grasa, articulaciones soldadas, pinturas.
Zinc	Uso de llantas, aceite de motor, grasa, pastillas de freno.
Cobre	Galvanizado de metales, uso de llantas, rodamientos y articulaciones en vehículos, movimiento de partes del motor, revestimiento de frenos, fungicidas e insecticidas.
Cadmio	Uso de llantas, escapes de vehículos, aplicación de insecticidas.
Hierro	Corrosión de vehículos, estructuras de acero, movimiento de partes del motor.
Cromo	Galvanizado de metales, movimiento de partes del motor, revestimiento de frenos.
Niquel	Combustible diesel y petróleo de escape, aceite lubricantes, galvanizado de metales rodamiento, revestimiento de frenos, pavimento asfáltico.
Manganeso	Movimiento de partes del motor, uso de llantas, pastillas de frenos.
Cobalto	Radiadores, cadenas para llantas, articulaciones.
Particulas	Uso del pavimento, vehículos, atmósfera, mantenimiento de vías.

### **2.9.- El empleo del número de AGEB, como herramienta para la determinación del tamaño de muestra.**

Para este trabajo en particular se parte de la ubicación de la zona de estudio que esta basada en datos proporcionadas por el INEGI, que se conocen como Area Geoestadística Básica (AGEB). Esta base de datos es una herramienta fundamental para la selección del tamaño de muestra en la presente investigación, para lo cual se dan a conocer los siguientes términos, para su conceptualización (INEGI, 2000):

1- Área Geostadística Estatal (Agee) Es la zona geográfica que contiene todos los municipios pertenecientes a una entidad federativa. El País está conformado por 32 entidades federativas (32Agee), ocupada por un conjunto de manzanas que generalmente son de 1 a 50, perfectamente delimitadas por vías, avenidas, etc. Este tipo de Ageb se asigna en superficies geográficas de localidades que tengan una población igual o mayor a 2,500 habitantes.

2. Área Geostadística Municipal (Agem). Espacio geográfica que corresponde a la división municipal de cada entidad federativa; el número total de las Agem por estado es igual al total de municipios, actualmente existen en el país 2,443 municipios. Es una extensión territorial que puede llegar a tener hasta 10,000 hectáreas y contener un conjunto de localidades con menos de 25,000

habitantes cada una, asentadas en terrenos de uso generalmente agropecuario o forestal.

3. Área Geoestadística Básica (Ageb), superficie geográfica que corresponde a la subdivisión de las Agem. Constituye la unidad básica del marco Geoestadístico Nacional y, dependiendo de las características que presenta, se clasifica en dos tipos, urbana y rural.

Esta última clasificación, que corresponde al AGEB, implica a uno de los elementos bases, para la delimitación del área de estudio, dato obtenido directamente del último Censo Población otorgado por INEGI, para ser parte del cálculo del tamaño de la muestra poblacional y que a través de un análisis estadístico que calcula el tamaño de la muestra (Carrillo, 1999), mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N z_{\alpha/2}^2 P(1-P)}{(N-1)e^2 + z_{\alpha/2}^2 P(1-P)}$$

Ec. 12

Donde:

$Z_{\alpha/2}$ : Es el valor de la función Z correspondiente al nivel de confianza elegido.

P: Proporción de una categoría de la variable

e: Error máximo

N: Tamaño de la población

El criterio seguido en este trabajo ha sido retomado del estudio realizado por Carrillo (1999), en la Ciudad de Chihuahua, Chih., en el cual planteó un diseño de bloques al azar en la toma de muestras de diversas áreas de la ciudad, para la estimación de factores de emisión de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ .

## CAPITULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Introducción

La relación suelo y aire, es un proceso muy interesante, ya que a diario en una determinada área se lleva esa acción de depositación y recolección de material suspendido, que de acuerdo a la morfología y tamaño de las partículas, unas logran depositarse y otras quedan suspendidas en el aire lo anterior sumado a las condiciones climatológicas de la ciudad de Mexicali han hecho que la calidad del aire se hayan agravado, en cuanto a que se rebasen los estándares diarios y anuales de  $PM_{10}$ ,  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente (Quintero y Sweedler , 2005)

Por eso es importante conocer la cantidad de material particulado a generarse en función al parque vehicular de la ciudad, siendo el **Factor de Emisión (FE)** una relación de masa y volumen en una determinada vía, medida como los kg (kilogramos) de material particulado a ser suspendido entre los kilómetros recorridos de los vehículos promedio por año, o ser retomada como una densidad volumétrica de material particulado en una determinada área. El tipo de sedimento que se espera medir, definido éste como el material particulado que es retenido en una malla No. 200, que corresponde a un tamaño de tamiz menor a  $75 \mu\text{m}$ , será el parámetro principal de medición para estimar el **Factor de Emisión** correspondiente al material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ .

De igual manera es significativa la caracterización del tipo de sedimento, por las características geográficas, climatológicas del lugar y en particular por la referencia de algunos trabajos relacionados a la contaminación del aire, que señalan que no es tanto en sí mismo el material particulado que afecta a la salud, sino los constituyentes que se encuentran en la partícula.

#### 3.2. Diseño de la herramienta de trabajo para la recolección de la muestra.

Con el propósito de obtener información de campo que sea representativa de los procesos que se llevan a cabo en la zona de estudio se procedió a realizar el diseño de experimento considerando la metodología, tamaño de la muestra y

la relación de los sitios de muestreo en las vías pavimentadas y no pavimentadas. Así se podría dar respuesta a los siguientes cuestionamientos: ¿Cómo deben recolectarse las muestras? ¿Dónde deben tomarse las muestras? ¿Cuántas muestras deben tomarse? Por lo que se abordaran las siguientes partes: Descripción del área y objeto de estudio; determinación del tamaño de la muestra y su procedimiento; diseño de la herramienta de trabajo para la recolección de muestras; recolección de la muestra con base en la herramienta de diseño (trabajo de campo; tratamiento de la muestra vía seca y vía húmeda (análisis de laboratorio) y caracterización química.

### 3.2.1.- Descripción del área de estudio

Mexicali se localiza en el noroeste de la República Mexicana ( $32^{\circ}40'N$ ,  $115^{\circ}27'W$ ), en el estado de Baja California, (Figura 8) y limita al norte con el estado de California. En el clima de Mexicali, se presentan grandes contrastes climáticos, ya que en el verano se tienen temperaturas máximas cercanas a los  $50^{\circ}C$ , mientras que en el invierno las temperaturas mínimas ocurren alrededor de los  $0^{\circ}C$ . La temperatura promedio durante el año es de  $25^{\circ}C$ . Hay escasez de precipitación pluvial, siendo el promedio anual de lluvia de 75 mm. Asimismo, durante el verano hay una predominancia de los vientos del sureste y del noroeste en el invierno (García et al., 2007).

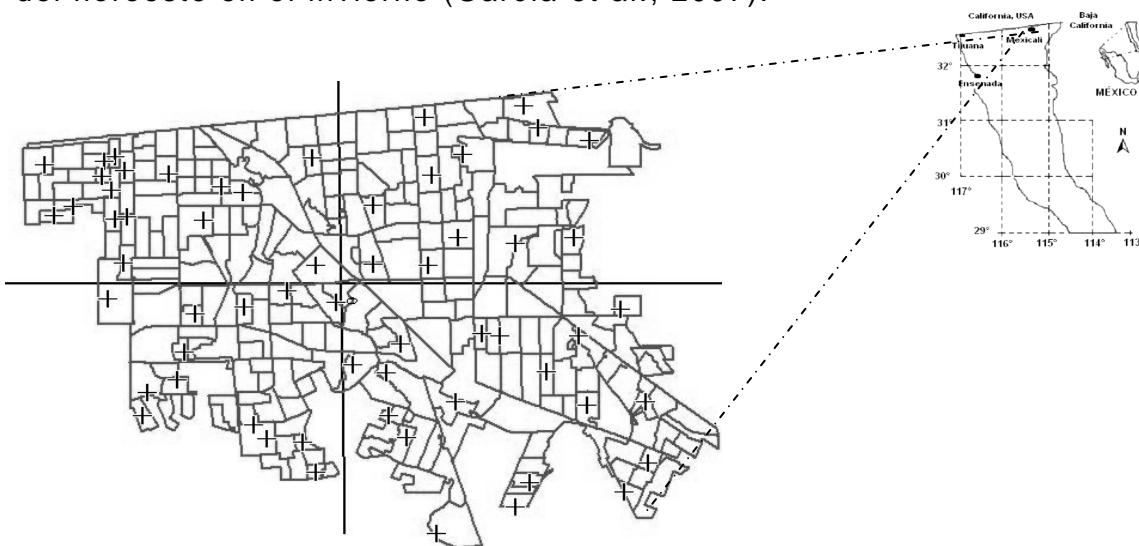


Figura 8.- Localización geográfica de la Ciudad de Mexicali B. C., al noroeste de la República Mexicana.

En la figura 9; se muestran rachas de vientos en invierno que producen tolvaneras por la influencia de los vientos del norte y esto hace que en las vías pavimentadas siempre exista sedimento.

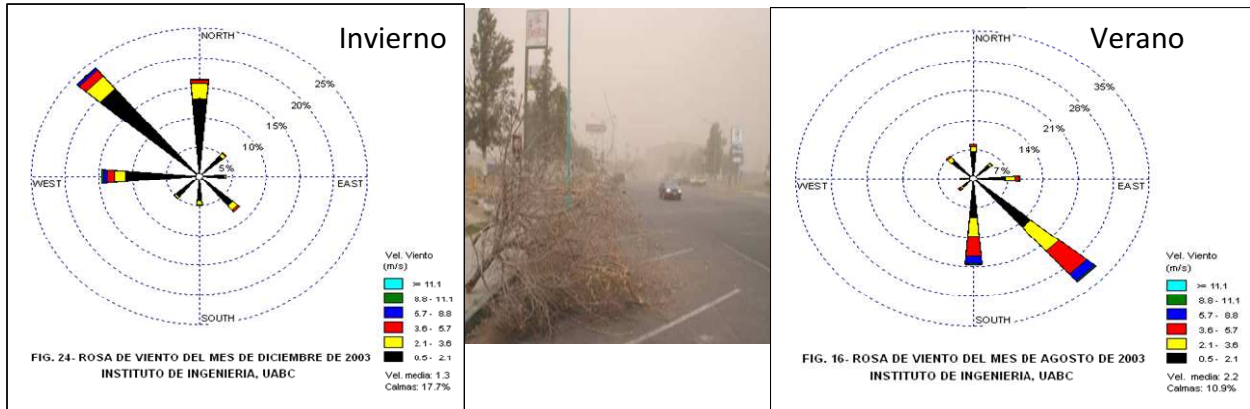


Figura 9. Representaciones de direcciones de viento en invierno y verano, en una rosa de los vientos. (Instituto de ingeniería, UABC, 2003)

### 3.2.2.- Objeto de estudio “vías pavimentadas y no pavimentadas”.

El tráfico constante de una determinada vía, origina emisiones no puntuales de polvos en suspensión en el aire, los cuales se identifican como fuentes de área a ser cuantificadas y cuyo proceso diario esperado es la depositación y remoción de partículas. En base a su tamaño aerodinámico, estas se quedan suspendidas en el aire o sedimentarán de acuerdo a su peso. En la figura 10, se observa, el posible material en suspensión en ambos tipos de vía.

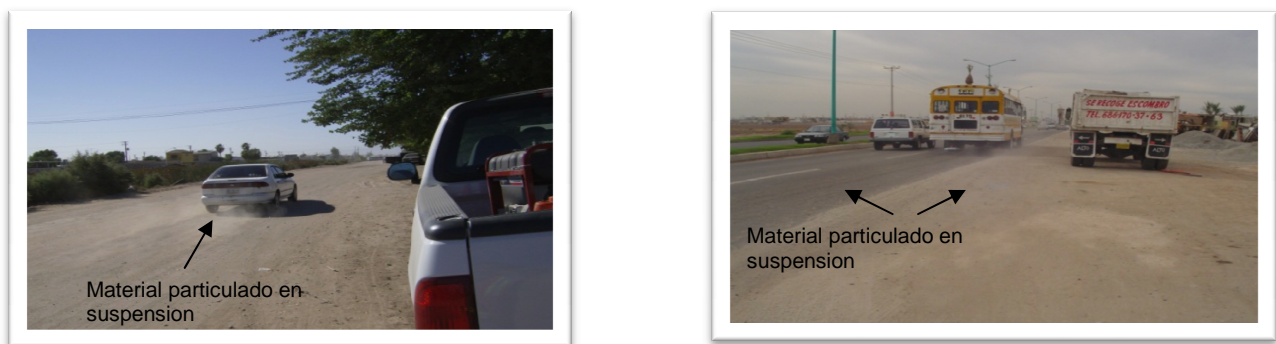


Figura 10.- Material particulado suspendido, en dos tipos de vías, no pavimentadas y pavimentadas de la Ciudad de Mexicali (Meza, 2008).

En la figura 11, se muestra el mapa base de trabajo para establecer la importancia de la caracterización de la fuente de área de emisión correspondiente al material particulado depositado. Aquí ocurre un proceso de

depositación y remoción de acuerdo a las actividades que se realizan cerca de la zona bajo estudio, en particular el paso de los vehículos sobre las vías y su acción de pulverización de partículas. De aquí la necesidad de tener datos más reales y caracterización del tipo de suelo, para contar con un factor de estimación.

Con base en la información obtenida, se partió de mapas básicos, para tener uno propio y poder adaptarlo a las necesidades del trabajo a desarrollar como fue contar con una herramienta de trabajo, donde pudiesen ubicarse los elementos requeridos como fueron las vías pavimentadas y no pavimentadas de la Ciudad de Mexicali, dentro de sus respectivas áreas geostatística básica (AGEB). Cada uno de los colores de los bloques, identifica los tipos de vías: rojo, verde y azul, que corresponden a las vías pavimentadas, parcialmente pavimentadas y no pavimentadas, respectivamente y las líneas rojas, los AGEB.

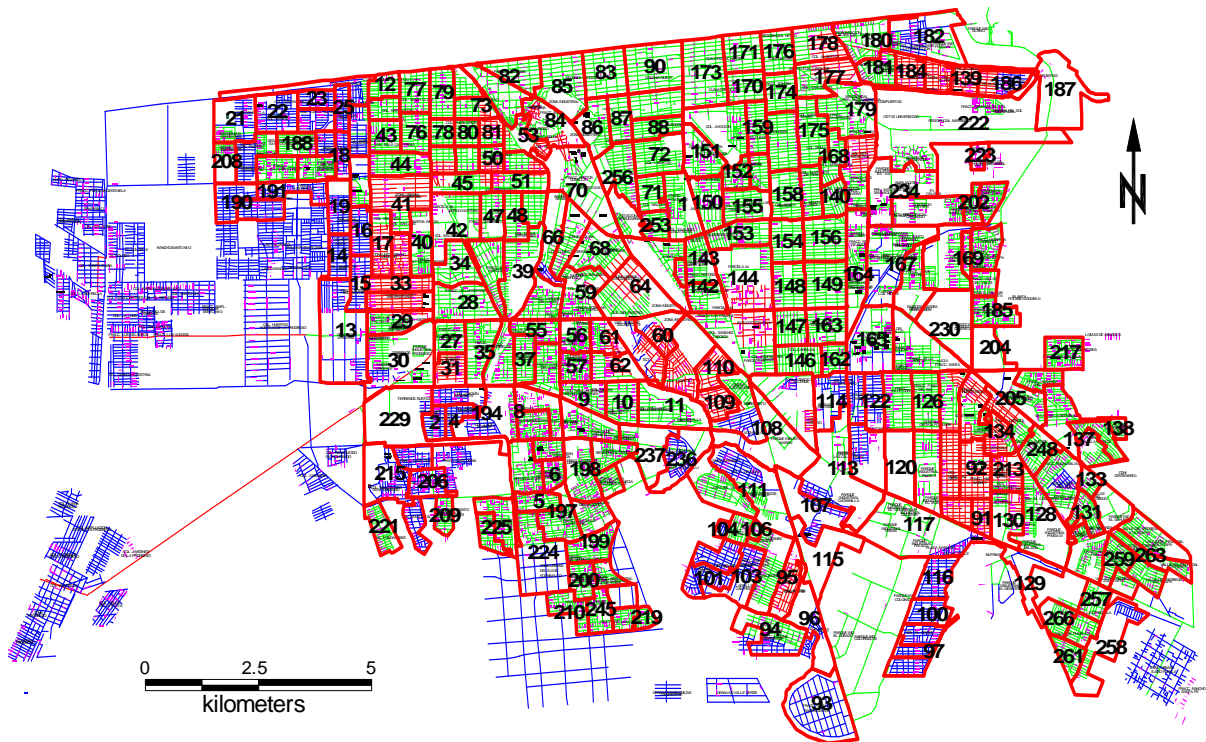


Figura 11.- El área urbana de la ciudad de Mexicali donde se muestran dentro de los AGEB las vías pavimentadas y no pavimentadas con líneas rojas, (modificada por Meza, 2007).

Para la elaboración del mapa, se emplearon como herramientas bases, Auto Cad y Mapinfo versión 2008, siendo éste último fundamental para el desarrollo de información.

### 3.2.3.- *Determinación del tamaño de la muestra.*

La muestra poblacional se calcula a través de una ecuación estadística (Carrillo, 1999 y Castañeda, 2002), por lo que a partir de la información dada por INEGI, la determinación será directa. Esto corresponde a una de las bases de diseño para la elaboración de un mapa que contendrá la herramienta de trabajo adecuada, datos cartográficos actuales del último censo del 2005 y cobertura de pavimentación del Instituto Municipal de Planeación (IMIT) y del Programa Integral de Programa de Calidad del Aire (PIPCA), en la cual se cuenta con material digitalizado, de cobertura por área que ya fueron pavimentadas.

Posteriormente, se lleva a cabo la determinación del tamaño de la muestra. Las técnicas descritas en este capítulo se han aplicado primordialmente en el diseño y análisis de encuestas en censos poblacionales y actualmente se emplean para otras disciplinas como es en el área de ingeniería y biología entre otras (Navarro, 2004, Castañeda, 2002).

Se trabajará con una población finita, un muestreo aleatorio simple y un tamaño poblacional N, correspondiente a 266 Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) y a dos tipos de vías pavimentadas (N1) y no pavimentadas (N2), cuya ecuación de relación es la siguiente:

$$N = N1 + N2 \quad (13)$$

Para el diseño del tamaño de la muestra la ecuación que se empleo fue la utilizada por Carrillo, (1999) y sugerida por Castañeda, (2002) citada en el capítulo 2.7 y nuevamente replanteada a continuación:

$$n = \frac{N Z_{\alpha/2}^2 p(1-p)}{(N-1)e^2 + Z_{\alpha/2}^2 p(1-p)}$$

La media muestral ( $\bar{X}$ ) se emplea como un estimador de la media poblacional ( $\mu$ ). De igual manera las técnicas que se aplicaron para la distribución de las

dos subpoblaciones, es la asignación de proporcionalidad (p). Las posibilidades de éxito que ocurra (p) y no ocurrencia (1-q), cuya relación final de éxito es p = 1-q.

Para dar inicio al cálculo de n, fue necesario llevar a cabo un conteo aproximado de cuantas vías habían en cada uno de los AGEB'S, dependiendo del tipo de vía, mostrado en el anexo 1, con el apoyo del mapa cartográfico (figura 11) y paquete de Mapinfo Professional 8, de lo cual se obtuvo una relación aproximada por AGEB de 4,955 vías, que corresponden a N1= 4,126 y N2= 829. Se encontró una relación de 83.3 % y 17 % del total de las vías pavimentadas y no pavimentadas respectivamente. A partir de la relación de 17/83 se halló esa proporción (p) buscada que pertenece a 0.20 ó también de forma directa 829/4126 (N2/N1). Se puede decir que por cada ocho vías pavimentadas existen dos sin pavimentar y aquí es donde se retoma la ecuación 12 con los datos previamente mencionados

$$n = \frac{(266) * (1.96)^2 * (0.2)(1-0.2)}{(266 - 1)(0.1)^2 + 1.96)^2 * (0.2) (1-0.2)}$$

Se obtiene una n= 60, para una confiabilidad (α) de 0.05 que pertenece a una  $Z_{\alpha/2} = 1.96$  y un error esperado de e = 0.1 en concordancia a la información revisada (Canavos, 1991; Rendón, 1991) y el valor de P, corresponde al valor obtenido del objeto de estudio, de 0.2.

Debido a que el tamaño de la muestra fue grande se procedió a llevar a cabo un muestreo, con el mapa base de la figura 11. Se tomó una población correspondiente a cuatro zonas: Noroeste (NW), Noreste (NE), Suroeste (SW) y Sureste (SE) y con base a experiencias de trabajos previos tales como: a) los niveles de concentración de material particulado o áreas consideradas a ser monitoreadas de una relación de porcentaje de muestreo que rebasó la norma de PM<sub>10</sub> en 5 zonas de Mexicali durante 1997-1998 (INE, 1999), donde se encontró mayor concentración en el NW y SW; b) la experiencia en el monitoreo en las áreas de los sitios de estudio de la calidad del aire de material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), tales como las estaciones de CONALEP Y UABC (Osornio, 2007);c) de igual manera, Mendoza, 2007, llevó a cabo su

estudio alrededor de las estaciones de monitoreo de CONALEP, UABC Y COBACH. Se muestran los resultados en la tabla 15, y donde se encontró una N= **99 AGEB** con 639 vías pavimentadas y no pavimentadas. Se procedió a aplicar la ecuación 12, bajo las mismas condiciones de cálculo que el primero y se obtiene una **n= 30**:

$$n = \frac{(99) * (1.96)^2 * (0.2)(1-0.2)}{(99 - 1)(0.1)^2 + 1.96^2 * (0.2) (1-0.2)}$$

El resultado fue considerar que se tomarían 30 AGEB de vías pavimentadas y 30 de no pavimentadas. Lo anterior es para seguir lo planteado en la hipótesis de investigación que a través de un diseño de bloque al azar, se espera contar un tipo de carga característico del sitio a monitorear, que definirá el factor de emisión en conjunción con otros parámetros.

Tabla 15.- Resultados de muestreo en el mapa base de trabajo de campo.

Dirección	Vías pavimentadas N1		Número de AGEB	Vías no Pavimentadas N2		Número de AGEB
	AGEB	VÍAS	Punto de localización.	AGEB	VÍAS	Punto de localización de plano cartográfico.
NW	12	198	56, 47, 50, 81, 17, 79, 31, 76, 52, 40, 42, 41.	15	163	21, 22, 26, 25, 231, 20, 24, 231, 189, 18, 19, 192, 16, 14 y 15.
SW	12	42	30, 195, 31, 238, 219, 225, 37, 206, 10, 221, 245, 198.	6	106	4, 194, 2, 215, 206 y 3
NE	19	136	17, 9, 158, 156, 202, 148, 64, 69, 87, 48, 147, 57, 37, 59, 90, 217, 144, 60 y 63.	3	37	182, 186, 167
SE	13	220	261, 262, 257, 265, 264, 131, 133, 130, 128, 125, 92, 118 y 91.	19	166	108, 111, 114, 122, 113, 258, 116, 100, 98, 97, 93, 167, 236, 104, 101, 103, 94, 96 y 93.
<b>TOTALES</b>	<b>56</b>	<b>596</b>		<b>43</b>	<b>437</b>	

### 3.2.4.- Propuesta de la herramienta de trabajo en campo y gabinete.

Una vez definida el área de estudio y determinado el número de muestras que podrán ser colectadas y analizadas, se procedió a determinar los sitios de muestreo basado en la recolección de muestras representativas de caminos de avenidas mediante la adición de varios incrementos de muestra (US EPA, 1993) y cuyos criterios son los indicados en tabla 12. De igual manera como apoyo para la selección de los sitios se anexa un esquema de las distancias recomendadas en un tipo de vía donde va a ser tomada la muestra (Anexo A.1):

Como se observa en la tabla 16 la primera columna especifica que el área de recolección es diferente para cada tipo de vía, siendo para las vías no pavimentadas de 30 cm<sup>2</sup> y las pavimentadas de 30 a 300 cm<sup>2</sup>.

Tabla 16.- Criterios de selección de sitios de monitoreo para vías pavimentadas y no pavimentadas (Modificada de US EPA, 1993).

Tipo de vía y área	Longitud de caminos, Km.	Criterio	Número de muestra	Observaciones
No Pavimentadas y un área de 30 cm <sup>2</sup>	0.8	Caminos cortos	Una	
	1	Caminos cortos	Dos	Ramificación de caminos.
Pavimentadas y un área de 30 a 300 cm <sup>2</sup>	>2.4	Caminos largos	Tres muestras	Intersección y separación de 0.8 Km.
	<2.4	Caminos largos	Tres muestras	Intersección y colección de dos muestras a 0.8 Km. y la tercera correspondiente a la tercera parte, de su longitud.

Con base a eso, se llevó a cabo el *muestreo aleatorio simple*, el cual consiste en que los puntos de muestreo de toda la población, se eligen de tal forma, que cualquier combinación de *n* unidades, tengan la misma oportunidad de ser seleccionada. Esto se lleva a cabo seleccionando cada unidad al azar e independientemente de cualquiera previamente obtenida.

Una recomendación usual para determinar los puntos de muestreo, es trazar un sistema de coordenadas sobre el área de estudio, seleccionando dos distancias al azar, una para cada eje, y la intersección de estas dos será el sitio en el que se tomará la muestra, lo cual se observa en el anexo A.1.

Se tomó el resultado de la tabla 16 y a partir de la ecuación 13 se estima N, que resulta una N= 99, donde N1= 56 y N2= 43, para así obtener un tamaño de muestra de n = 30, el área donde se seleccionó la vía, con el cruce de información del anexo A.1. En la tabla 17 se observa el orden de acomodo de los AGEB.

Tabla 17.- Aleatorización de una población de 99 AGEB, con n=30

<b>TIPO DE VÍA</b>	<b>SUBPOBLACIÓN</b>	<b>AGEB</b>
Pavimentadas	56	56, 50, 31, 76, 52, 72, 179, 158, 64, 87, 150, 37, 217, 143, 60, 63, 238, 219, 37, 221, 245, 261, 257, 133, 130, 125, 92, 118, 91.
No Pavimentadas	43	21, 25, 20, 24, 231, 18, 19, 191, 192, 16, 13, 15, 194, 215, 206, 182, 186, 167, 108, 111, 114, 113, 100, 258, 236, 104, 103. 96, 93, 97.

Se trabajó con los criterios de la tabla 12, una experiencia de premuestreo (anexo A.2) y un mapa cartográfico, para lo cual se localizaron las vías representativas, de donde se obtuvo una relación de información de los sitios de monitoreo, generando una herramienta que se observa en la figura 12.

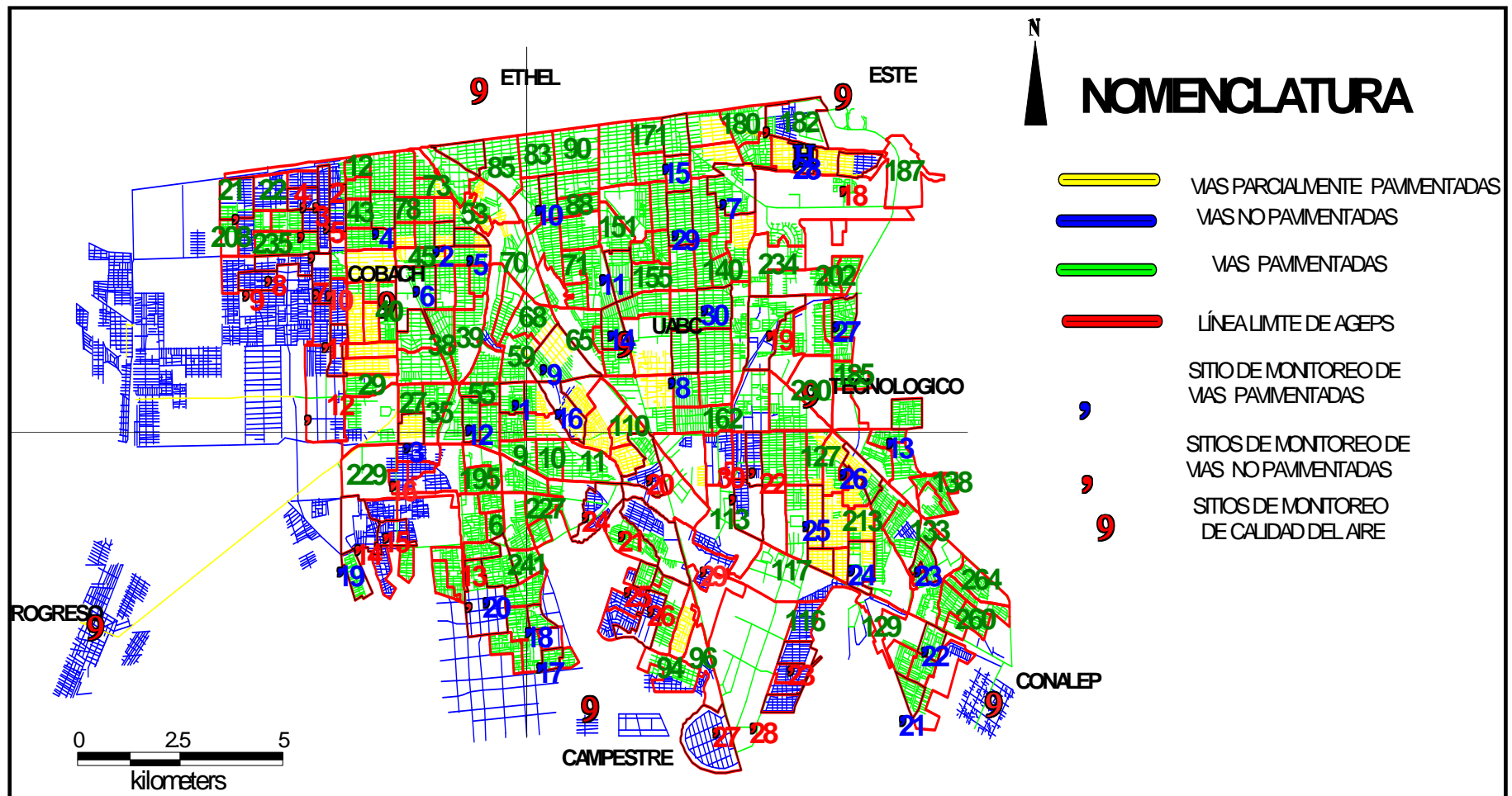


Figura 12.- Herramienta de trabajo del área urbana de la ciudad de Mexicali, donde se señalan las áreas de AGEPS con las líneas rojas (modificada, Meza, 2007)

### 3.3.- Descripción del trabajo de campo

El desarrollo del trabajo de campo se llevó a cabo en base a los diseños de herramienta de trabajo y tamaño de la muestra, mostradas a detalle al inicio del capítulo 3. En la figura 13 se podrá observar las etapas principales para la recolección, análisis necesarios en la obtención de la muestra y otros parámetros requeridos como fue estimar la velocidad media y aforo de vehículos sobre la vía urbana a muestrear.

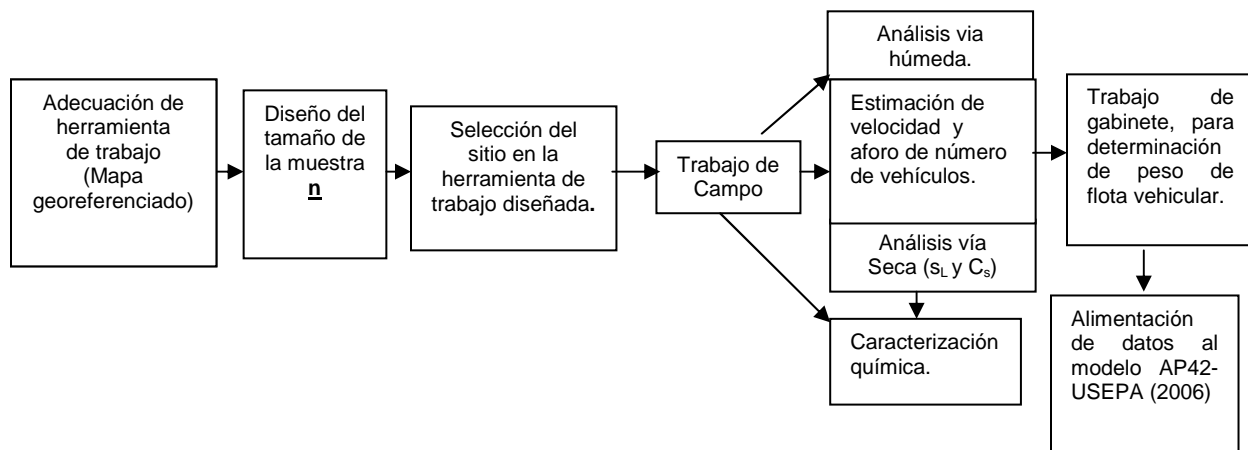


Figura 13.- Etapas principales de trabajo de campo y análisis de muestra. (Meza, 2009)

De igual manera se da respuesta en las técnicas a emplear a los siguientes interrogantes como son: ¿Cómo deben recolectarse las muestras? ¿Dónde deben tomarse las muestras? ¿Cuántas muestras deben tomarse?, empleándose la técnica recomendada AP-42 Apéndice C.1 (US EPA, 1993).

El muestreo inició el 19 de febrero y finalizó el día 12 de mayo de 2008, con una agenda de salidas al campo dos veces por semana martes y jueves, de 7:00 a 14:00 hrs. El propósito de dicha planeación fue para asegurar el equipo, material empleado y el contar con el apoyo de dos estudiantes de servicio social, mismos que fueron necesarios porque la técnica AP-42 Apéndice C.1 (US EPA, 1993), sugería que por seguridad fueran dos personas, uno que recolectara la muestra y otro que estuviera pendiente de que los conductores respetaran las señales colocadas.

Fue necesario realizar un registro del aforo vehicular y medición de velocidad, así como contar con apoyo para el manejo de GPS (Global Positioning System,

por sus siglas en ingles), ya que mientras uno conducía, otro localizaba los sitios de muestreo, que aunque ya se conocía el nombre de las vías, se tuvo el problema de que no contaban con nomenclatura (Se anexan programas de muestreo, anexo A.3)

Se utilizaron formatos para la recolección de información, y cuyos datos principales fueron velocidad media de los vehículos en el tramo de vialidad aforada ( $V_m$ ), observaciones generales, lectura de puntos de toma de muestra, área de recolección de sedimento y número de automóviles que transitaban para una estimación de flujo o aforo vehicular (Anexo A.4 y A.5).

En los días lunes a viernes que no hubo recolección de muestra, se llevó a cabo en paralelo el análisis vía seca, por los tiempos de disponibilidad de espacio del “Laboratorio de Resistencia II”, de la carrera de Ingeniería civil, UABC, Mexicali, B.C. Con base en un mapa referenciado de la Ciudad de Mexicali, AGEB (áreas geoestadísticas básicas) e identificación de la pavimentación de las vías, se estimó un tamaño de muestra, para seleccionar 30 AGEB, que tuvieran vías pavimentadas y no pavimentadas, tal como se muestra en figura 14.

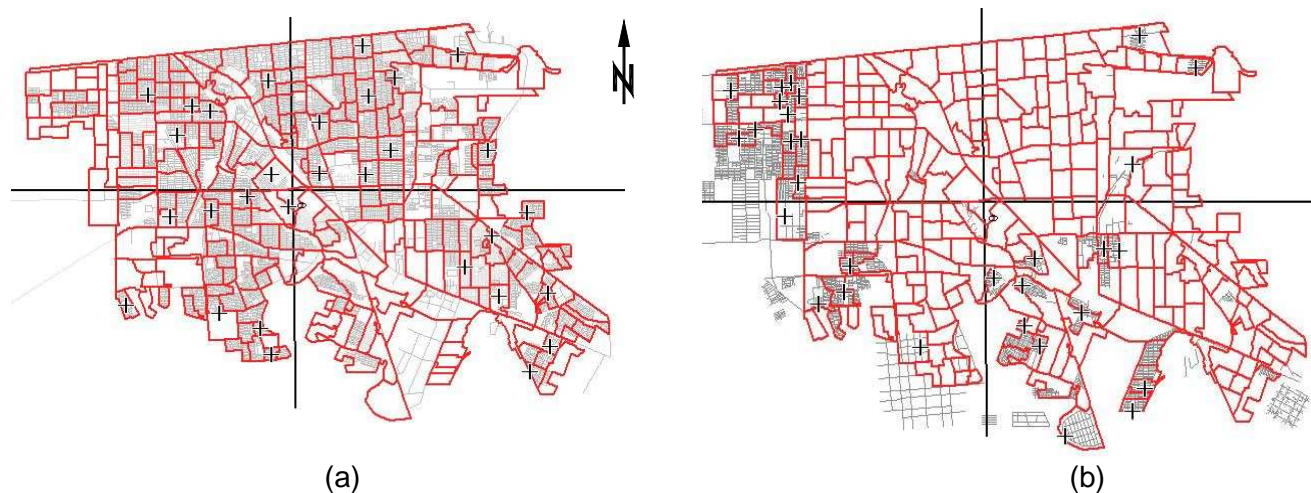


Figura 14. - Localización de los sitios monitoreados identificados con el símbolo de “+” dentro de su AGEB correspondiente (a) áreas pavimentadas y (b) áreas no pavimentadas (Meza, 2009).

Se tomaron 4 zonas de la ciudad de Mexicali, tales como las áreas del noroeste y suroeste de la ciudad donde se identificaron un mayor número de vías no

pavimentadas. De igual manera en el área noreste y sureste se encontraron más puntos de vías pavimentadas por lo que resultó más difícil recolectar la muestra por el tránsito vehicular local alto. Pero al final lograron cubrir los 60 puntos que se había planeado que correspondieron a 30 para vías pavimentadas y 30 para vías no pavimentadas. En la figura 15, se muestra un procedimiento general para la recolección, determinación de carga ( $s_L$ ) y porcentaje de suelo(s).

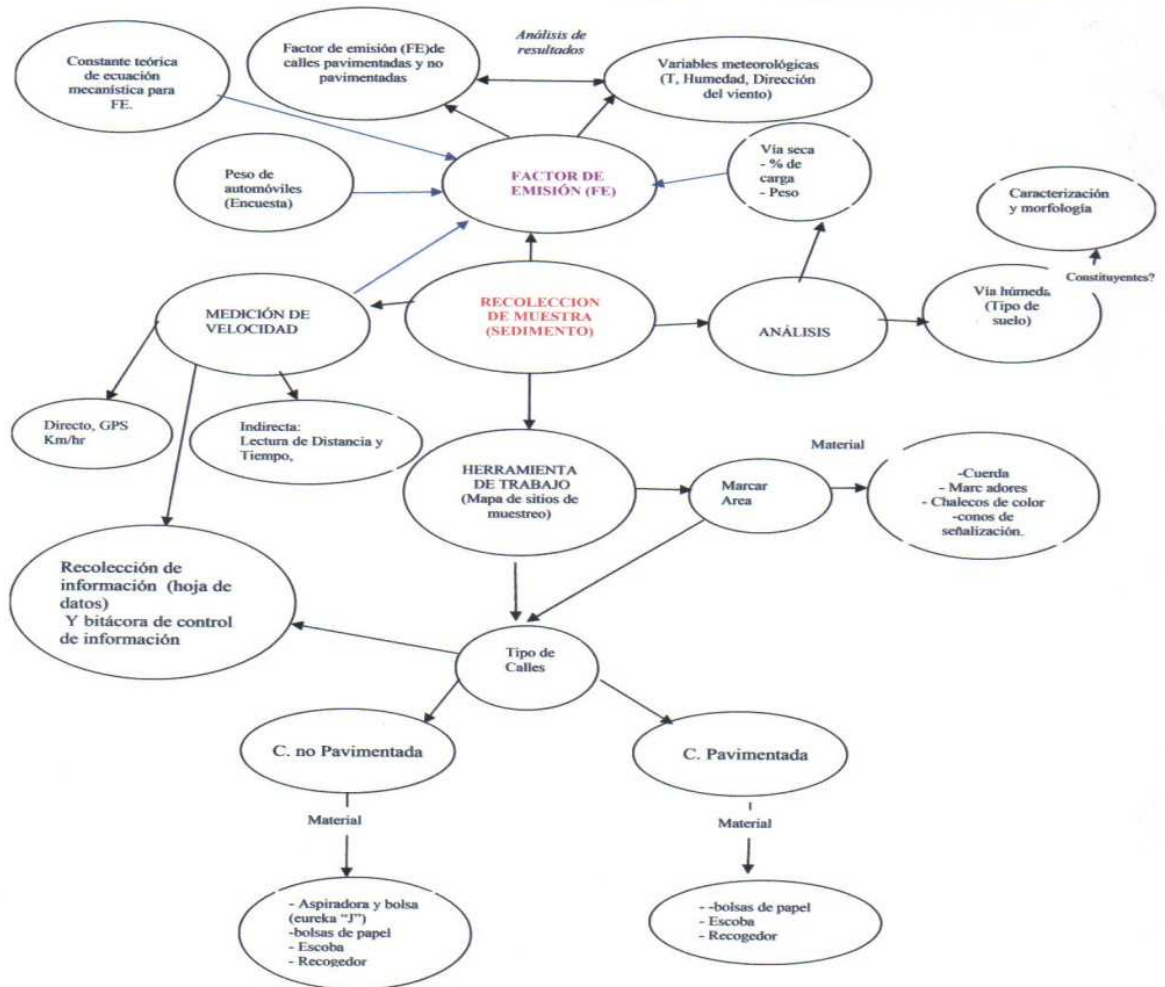


Figura 15.- Procedimiento de trabajo de campo para la obtención de datos necesarios en el cálculo del factor de emisión

### 3.3.1.- Material y equipo para la recolección de la muestra.

Para el llevar a cabo la obtención de las muestras se requirió material básico para trabajo de campo, tales como: bolsas para aspiradoras, bolsas de papel de 3 a 4 kg para recolección de muestra, escobas, aspiradora, marcadores para vía, cuerdas, caja, etiquetas para muestras, formato de datos para recolección

de muestras, plumones, cuerdas y frascos de plástico. También se necesitó equipo generador de energía eléctrica (gasolina) portátil, extensión eléctrica, recolector para muestras, señalizadores de carreteras. En la figura 16 se muestra parte del material y equipo indicado.

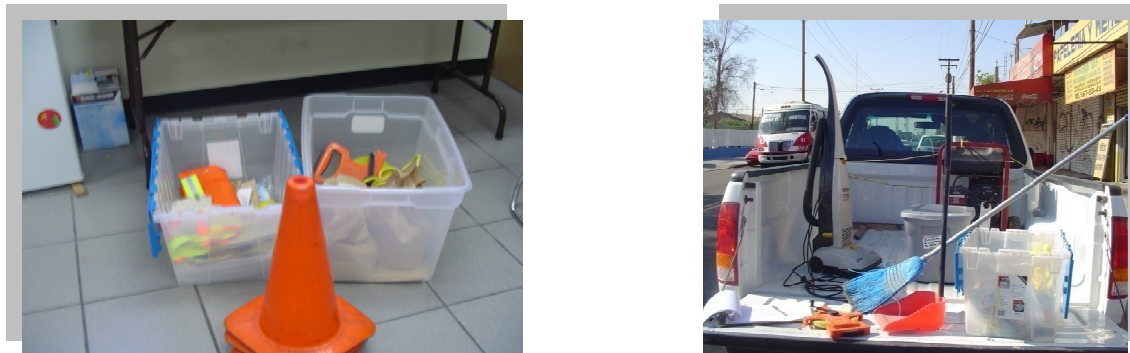


Figura 16.- Material y equipo empleado en la recolección de muestra

Es importante que el personal responsable tenga guantes de plástico o látex, para uso diario, tapabocas y chaleco de seguridad, ya que el material de partículas finas pueden afectar al sistema respiratorio, en particular las  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ .

### 3.3.2.- Técnica de recolección de muestra en vías pavimentadas y no pavimentadas.

Para proceder con la recolección de muestras de campo, se seleccionaban las zonas de la ciudad (NW, SW, NE y SE) y 4 sitios probables a muestrear, los cuales se retomaban de la herramienta de trabajo diseñada (figura 14) el nombre de la vía, colonia, localización geográfica(x, y) y con la identificación del área de AGEB correspondiente. La información colectada, era vaciada en un formato de apoyo para el muestreo (anexo A.4) y fue necesario conocer la longitud de la vialidad para cumplir con lo recomendado en la técnica AP-42 Apéndice C.1 (EPA, 1993), para así poder saber cuántas muestras eran necesario recolectar (anexo A.5). De igual manera fue necesario llevar un formato para realizar el aforo vehicular, para lo cual se tenía disponible un contador manual mecánico (Anexo A.6).

Es importante señalar que los días en que se llevó a cabo el trabajo de campo, se basó para su justificación en la hora, día, semana y mes, considerando un estudio previo realizado en el Instituto de Ingeniería de la UABC (Hernández, 2000), donde en la gráfica 2, y el anexo A.7, se observa que el tiempo de monitoreo seleccionado fue de 7:00 a 13:00 hrs. Lo cual estuvo dentro del rango de mayor afluencia vehicular. Por lo general se recolectaron las muestras de 8:00 a 13:00 hrs. En la grafica 3 del anexo A.6 (página 139), se observó que los días martes y jueves se encontraron dentro de un promedio de distribución de tránsito de acuerdo al día de la semana representativo. Y en lo referente al invierno (febrero) se tuvo una mayor afluencia vehicular (grafica 4, anexo A.6, página 140).

El clima de la ciudad de Mexicali fue el más adecuado para el muestreo, además de contar con los espacios de laboratorio disponibles. En las figuras 17 y 18 se muestran escenas de la recolección de las muestra durante el trabajo de campo.

Colonia Esperanza, zona Noroeste.

zona Noroeste.



Colonia Esperanza, zona Noroeste



Figura 17.- Recolección de una muestra en una vía no pavimentada y paso peatonal de escolares de primaria, cuya área fue de 30 cm<sup>2</sup>. (Meza, 2008)

Via Rio Culiacan, zona Noreste



Via río Culiacán, desviación del tráfico



a Noreste



Figura 18.- Recolección de una muestra en una vías pavimentadas en un área de 300 m<sup>2</sup>. (Meza, 2008).

Subsecuentemente, de acuerdo al tipo de vía que se muestreaba se empleó la aspiradora, como fue el caso de las vías pavimentadas, como se observa en la figura 18 donde se usaba como respaldo un generador de energía eléctrica de gasolina.

Las etapas principales son las siguientes:

- 1.- Se colectaron de 1 a 3 muestras de acuerdo al tramo de vialidad en un AGEB seleccionado, empleando escobas y colector de polvo, tal como se muestra en la figura 16 correspondiente a vías no pavimentadas. En el caso de vías pavimentadas, se empleó la aspiradora, con una bolsa de 2 a 3 kg de capacidad, también se utilizaron escoba y recogedor de polvo para vías no pavimentadas.
- 2.- En las vías no pavimentadas se obtuvieron muestras aproximadas de 3 a 5 kg. En lo relacionado a las vías pavimentadas fue entre 1 a 2 kg, que consistía en lo colectado con la aspiradora de 200 gramos a 1 kg más lo que fue recolectado con la escoba, ya que hubo vías con alto contenido de polvo grueso.
- 3.- Las muestras se colectaron en bolsa de papel y de plástico, se etiquetaron para su identificación y se marcaban con la fecha, número de muestra con el tipo de vía (pavimentada o no pavimentada) y el nombre del muestreador. Posteriormente eran llevadas al laboratorio de Mecánica de Suelos II, de la Facultad de Ingeniería Civil, de la UABC.
- 4.- Las muestras se analizaron, vía seca (tamizado mecánico), cuya técnica empleada fue la recomendada por AP-42 Apéndice C.2 "Técnica para Análisis de Laboratorio de Muestras Superficiales y Polvos Totales", el cual se apoya con los métodos de la American Society for Testing and Materials (ASTM C-136.y ASTM D- 2216).

Otra herramienta básica que ayudó a que la recolección de la muestra fuera en el lugar previamente seleccionado, fue el empleo del instrumento de posicionamiento global, GPS (Global Positioning System, por sus siglas en inglés). Su principio de funcionamiento, es que las coordenadas del punto de recolección de la muestra tenían que estar en la zona cuadrícula 11, que corresponden a la posición del sistema de coordenadas Universales Transversales de Mercator (UTM), llevaban a la dirección exacta. Por eso fue

importante antes de salir introducir los puntos y llevar a cabo el levantamiento de la información en los sitios de recolección de sedimento, para análisis espacial del factor de emisión, que se buscaba obtener por zonas.

### 3.4.- Descripción del trabajo de laboratorio vía seca

El método recomendado para el análisis de peso y % de carga del sedimento en vías pavimentadas y no pavimentadas respectivamente fue mecánico, tamizado en seco, por eso se le denomina vía seca. Se describen las etapas principales del análisis en la figura 19.

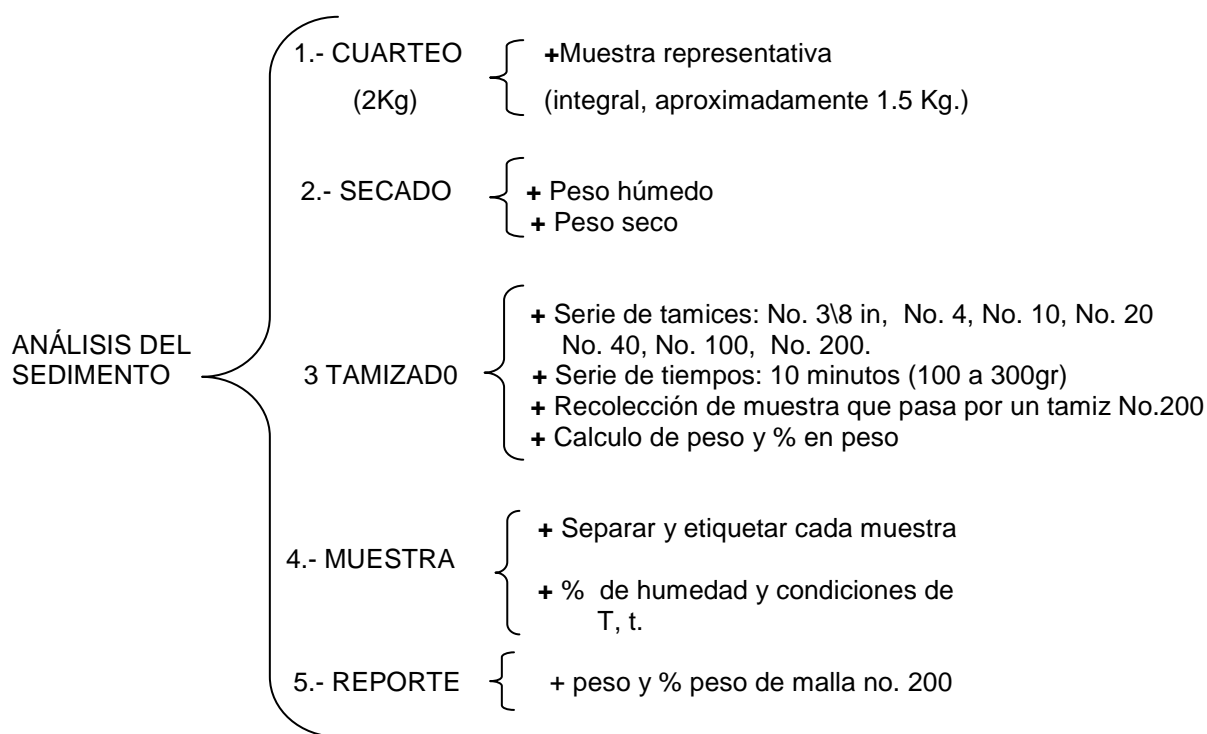


Figura 19.- Etapas principales para la obtención de una muestra representativa de carga de sedimento  $\leq 75 \mu m$  (US EPA, 1993 Apéndice C.2)

Se siguió el método aplicado en la ciudad de Chihuahua, México, pero a lo largo del trabajo de laboratorio se fueron tomando varios criterios y adaptándolos a las circunstancias que se presentaban como llevar a cabo tamizados de manera manual, tiempos de tamizados dentro de lo recomendado por el método y con el objetivo de obtener una muestra representativa menor a 75 micras que vendría a justificar el factor de emisión propio en diferentes regiones del país, siendo la variable principal la textura del suelo.

### 3.4.1.- Material y equipo para el análisis de % en peso y carga de sedimento

El material que se empleó consistió en tamices de diferente tamaño señalados en el diagrama de la figura 19 y que se muestran en la figura 20: charolas, escobillas metálicas finas para la limpieza de los tamices, recipientes de plástico para guardar las muestras, así como el equipo base correspondiente al vibrador mecánico, cuarteador con sus charolas tipo prismas de capacidad aproximada de 2 a 3 kg aproximadamente y una estufa.



Figura 20.- Etapas principales del análisis vía seca del sedimento recolectado en el laboratorio de resistencia de materiales II, UABC. (Meza, 2008)

Se utilizó una bitácora para anotaciones de cada muestreo y registro de información, para un mejor seguimiento de los resultados del tratamiento de análisis vía seca. Asimismo, se contó con bolsas de plástico, etiquetas y plumones para la identificación de las muestras con los datos de tipo de vía, peso obtenido, fecha de análisis y quien llevó a cabo el análisis. Las muestras

cuarteadas no seleccionadas para el tamizado se guardaron para el análisis vía húmeda, en caso de ser usadas a futuro.

#### *3.4.2.- Técnica de análisis de % en peso y carga de sedimento.*

Se trabajó primero la recolección de muestras de vías no pavimentadas. Se llevó a cabo el trabajo de análisis y se observó que los tiempos de tamizado fueron diferentes al usar el método correspondiente a intervalos de 10 minutos. A continuación se da a conocer el procedimiento:

1.- Para el cuarteo mecánico, se empleo un equipo tipo trapecio (figura 20) que fue básico para partir de un tamaño de muestra menor a 2 kg, donde con base a la cantidad inicial se obtenían un promedio de 2 a tres cuarteos, lo cual dependió de la cantidad de muestra ( **$\leq 75 \mu\text{m}$** ).

2.- Posteriormente se pesó la muestra (peso húmedo) y se llevó a secar en un tiempo de 24 hrs., a una temperatura de 110 °C., en charolas de capacidad de 2 Kg. Nuevamente se vuelven a pesar (peso seco) las muestras de vías no pavimentadas, que aunque el método no lo recomendaba, se optó seguir el mismo procedimiento, derivado de la propia experiencia.

3.- Una vez secada la muestra se lleva a cabo el tamizado mecánico, empleando un equipo tipo vibrador magnético (figura 20), el cual se le adaptó una columna de mallas de diferente tamaño, siguiendo las siguientes indicaciones:

- a) Se seleccionaron los tamices de mallas No. 3/8, 4, 10, 20, 40, 100 y 200 y un fondo con un diámetro y profundidad de 8 y 2 pulgadas respectivamente. El método recomienda que los tamices obligatorios deberían ser la No. 20 y 200, los cuales se colocaron en orden decreciente, como se observa en la figura 16 y que son cubiertos con una tapa.
- b) Los tamices se colocaron sobre el vibrador mecánico y en intervalos de 10 minutos se revisaba el fondo, que contenía el material inferior a la malla No. 200 y se verificaba si el peso era cercano a los 100 gramos, después de estar operando el equipo por 40 minutos.
- c) El tamizado también se llevó de manera manual, siguiendo el principio de separación física del material granular, haciendo un movimiento

circulatorio en el sentido de las manecillas del reloj y el cual se observa en la figura 20.

d) Se optó porque las muestras de las vías pavimentadas obtenidas de la aspiradora, se secan, aunque el método argumentaba que por el proceso de aspirado, el tamizado debería ser directo, pero se observó mayor cantidad de material particulado fino en la malla 100 y 200, el cual causaba que la muestra se apelmazara y no podía darse la separación física lo que implicaba más tiempo de tamizado.

4.- Finalmente, las muestras obtenidas del fondo se pesaban y se guardaban en frascos de 350 mililitros de capacidad para llevar un control de datos para su clasificación.

5.- Se hicieron los cálculos pertinentes, para la obtención de carga de material y % de peso de vías pavimentadas y no pavimentadas respectivamente, como se observa en las tablas de resultado capítulo 4.

### **3.5.- Descripción de caracterización física y química de sedimentos (vía seca y húmeda).**

La caracterización física y química de las muestras se llevó a cabo para identificar los sitios seleccionados. El criterio de selección de los puntos fue con base en observaciones de campo para así tener los puntos más representativos de la zona. Es importante resaltar, que todo se hizo con base en la herramienta de trabajo previamente diseñada.

En la figura 21 se muestran los puntos seleccionados para la caracterización física y química de los sitios, la cual será importante a futuro para poder llevar a cabo un análisis espacial. El procedimiento de análisis que se llevó a cabo, se muestra de manera general en la figura 22, gran parte del cual se llevó a cabo en laboratorios externos. Se trabajó con la muestra recogida in situ, para la determinación de parámetros físicos como fue textura de suelo, pH, conductividad y % de saturación.

En lo referente a los sedimentos menores a  $75\mu\text{m}$  (se colectaron usando la técnica C2 de US EPA 1993), se utilizaron para la caracterización química, señalándose en la figura 22 dos tipos de tratamiento vía húmeda y seca. En

esta última parte como no se contaba con equipos y laboratorios propios, se enviaron a laboratorios externos, previo tratamiento de las muestras.

Dos métodos analíticos se emplearon con el sedimento ya tratado, el primero correspondió a la espectroscopia de rayos X (EDX), dando como resultado una caracterización del tipo de suelo de la región. El segundo método, fue el plasma inductivo acoplado (ICP), bajo un tratamiento previo de la muestra como fue la digestión en medio ácido denominado vía húmeda, ya que el método así lo detecta en estado líquido o gaseoso (Skoog, 2001).

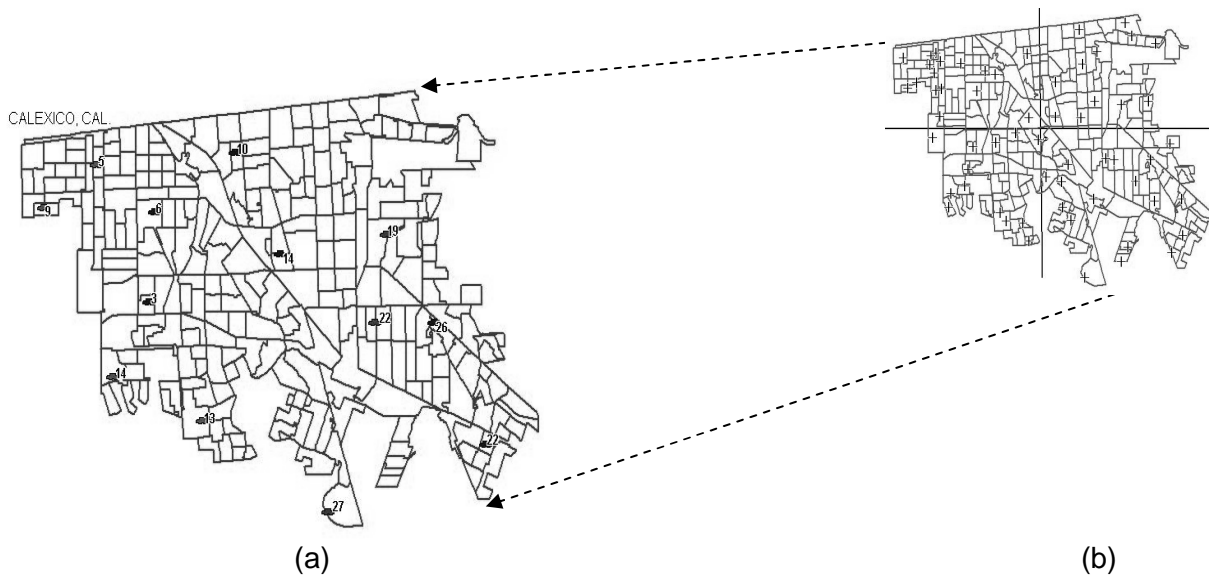


Figura 21.-Sitios seleccionados para la caracterización química (a) y herramienta de diseño base (b), de las vías urbanas de la Ciudad de Mexicali. (Meza, 2009)

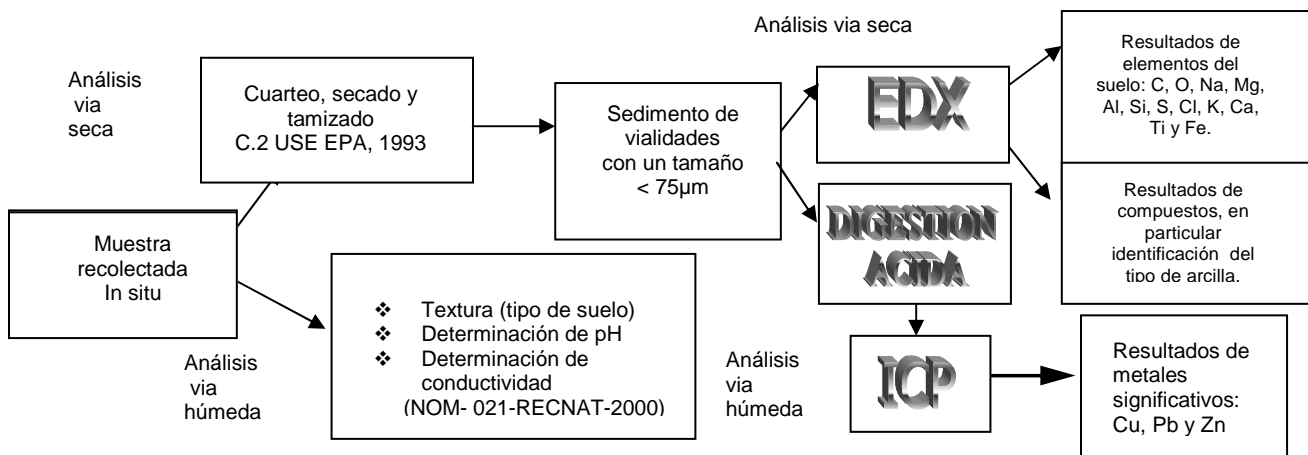


Figura 22.- Análisis de laboratorio vía seca y húmeda, para la caracterización física y química (Meza, 2009).

### 3.5.1.- Caracterización física de “Texturas de suelo seleccionado y otros parámetros físicos”

Se determinó la textura del suelo de la muestra original, la cuál se trabajó con el método del densímetro de bouyoucos (ASTM No. 152 y NOM-021-RECNAT-2000) para la determinación de los puntos seleccionados de la herramienta de trabajo (Fig.21). Este trabajo fue realizado en los laboratorios del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA), ejido Nuevo León. Asimismo se evaluaron otros parámetros como pH, conductividad y % de saturación de acuerdo a las indicaciones de la norma.

### *3.5.2.- Caracterización química*

#### *3.5.2.1 Método EDAX (Espectroscopia de dispersión de análisis de rayos X)*

La espectroscopia de dispersión de análisis de rayos X, se basa en la medida de la dispersión de electrones secundarios de rayos x, para la determinación semicuantitativa de la composición química elemental de un compuesto para elementos de número atómico superior al carbono.

Los rayos X, se encuentra dentro del intervalo de  $10^{-5}$  Å a 100 Å, cuyo principio es que son una radiación electromagnética de longitud de onda producida por el frenado de electrones de elevada energía o por transición electrónica de electrones que se encuentran en los orbitales interna de los átomos. En este tipo de medición las capas electrónicas se representan por las siglas; K, L, M, N.

#### *3.5.2.2.- Método ICP (Plasma inductivo acoplado)*

Por definición el plasma es una mezcla gaseosa conductora de electricidad que contiene una concentración significativa de cationes y electrones (la concentración de ambas es tal que la carga neta se aproxima a cero), el gas que se emplea es el argón, mismo que es el medio de transporte de la muestra. Se emplea para muestras que están disueltas o en suspensión en disolventes acuosos u orgánicos, por lo que es una limitante para algunos materiales de interés como el suelo, tejidos animales, plantas, derivados del petróleo y minerales (Skoog et al (2001). El equipo que se utilizó fue el ICAP6500 de Thermofisher espectrómetro de emisión de plasma acoplado. Se requiere un

tratamiento previo y cuidadoso para obtener una disolución de la muestra en agua regia (ácido nítrico diluido,  $\text{HNO}_3$ ), denominado digestión de metales pesados, que consiste en llevarla a altas temperaturas, previamente secada y tamizada, que correspondió a un tamaño menor a  $75 \mu\text{m}$ . Se emplea una estufa eléctrica, con temperaturas de  $95^\circ\text{C}$ , posteriormente se filtra y se recibe la muestra en un matraz volumétrico para aforarlo y finalmente analizarlo con un espectrómetro de emisión de plasma acoplado (ICP). El método empleado fue el 3050 B (US EPA, 1996) previó a la identificación de elementos denominado digestión de sedimentos, lodos y suelos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1.- Base de datos para factor de emisión.

Se presentan los primeros resultados, producto del trabajo de campo en las estaciones de invierno y primavera que corresponden a los meses de febrero a mayo del 2008, el cual se llevó a cabo en el área urbana de la Ciudad de Mexicali, B.C. Se tomaron como base los AGEB que se identifican con las líneas rojas de la figura 23 y dentro de los mismos se señalan los 30 sitios de muestreo de vías pavimentadas (puntos rojos) y 30 sitios de vías no pavimentadas (puntos azules) y que sumadas resultan los 60 sitios de ambas vías que resultaron del diseño del tamaño de muestra.

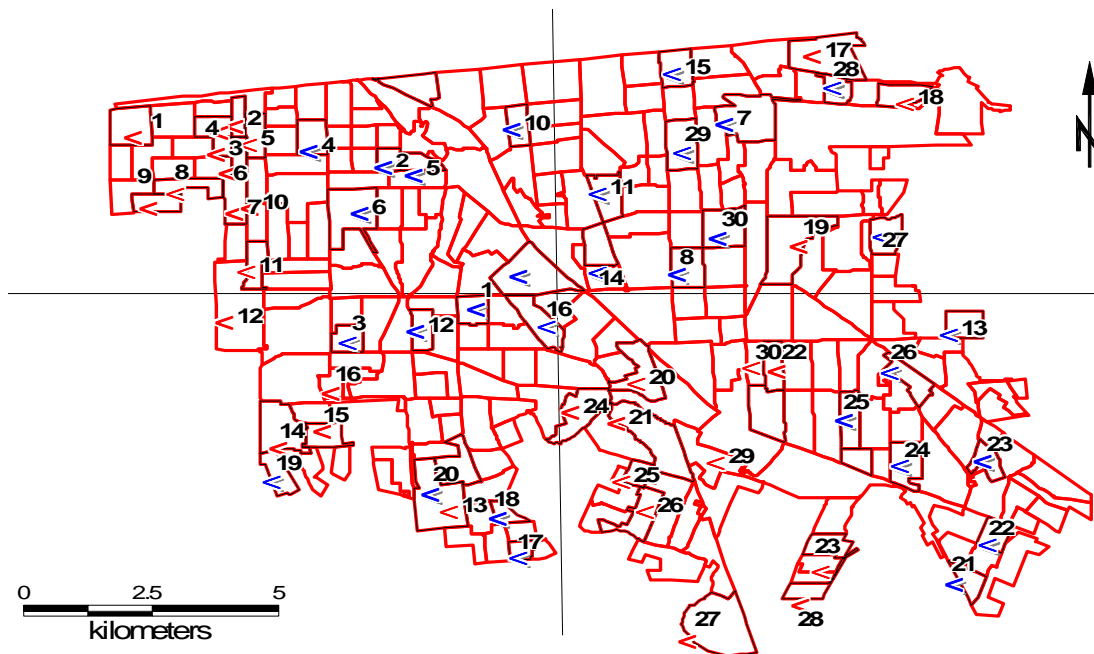


Figura 23.- Área urbana de la ciudad de Mexicali y sitios de muestreo en ambas vías (Meza L., 2008)

El trabajo de campo, el levantamiento de información y la recolección de muestras, se llevó primero en las vías no pavimentadas y posteriormente en las vías pavimentadas, en particular por no contar con el generador de corriente, que apoyaría al funcionamiento de la aspiradora eléctrica. Esta se empleó en las vías pavimentadas para la recolección de los sedimentos depositados. Por

lo que resultaron de los sitios de vías no pavimentadas 48 muestras y de las vías pavimentadas 61 muestras.

En las áreas noreste y sureste se observó un mayor número de vías pavimentadas, por lo que se tuvo un grado de dificultad mayor, por el tránsito vehicular local. En el área noroeste y suroeste, se identificaron un mayor número de vías no pavimentadas.

De los tres meses de muestreo llevados a cabo en las cuatro zonas seleccionados de la ciudad no se observaron actividades de mantenimiento de limpieza de vías, mas si de reparación.

Estas actividades de mantenimiento provocaron la acumulación de sedimentos en las calles, además de causar congestión vial y problemas en la obtención de muestras representativas. Este fue el caso de la vía Río San Lorenzo, ya que la cantidad de material colectado fue aproximadamente de 2 kg, siendo que por lo general el peso de muestra recogida era alrededor de 500 gr.

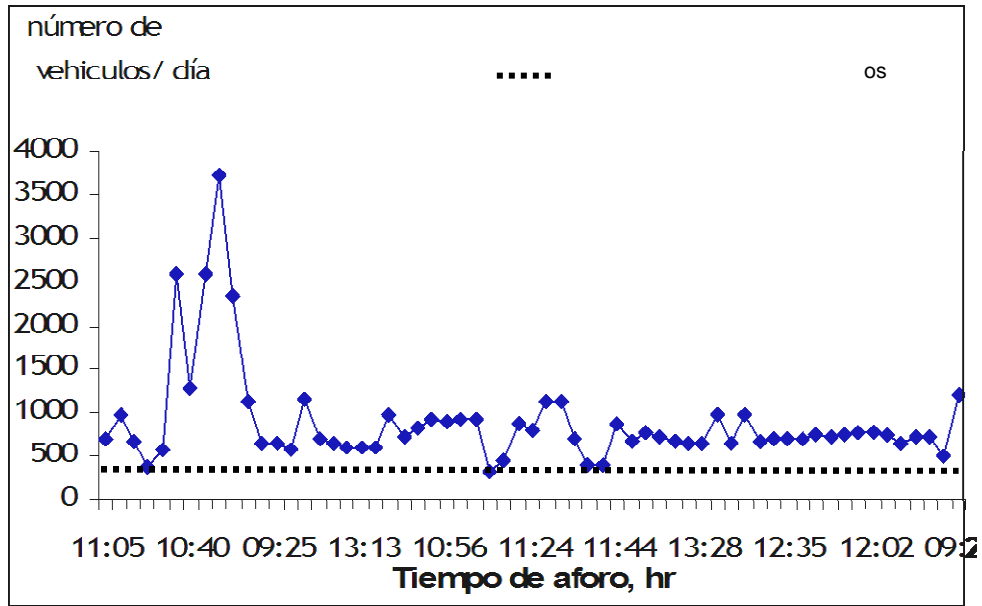
No obstante en algunos casos particulares como en la Colonia Sta. Mónica, Los Pinos y carretera a Puebla, se obtuvieron muestras alrededor de 100 a 200 gr.

#### *4.1.1.- Tráfico vehicular, Promedio/día natural*

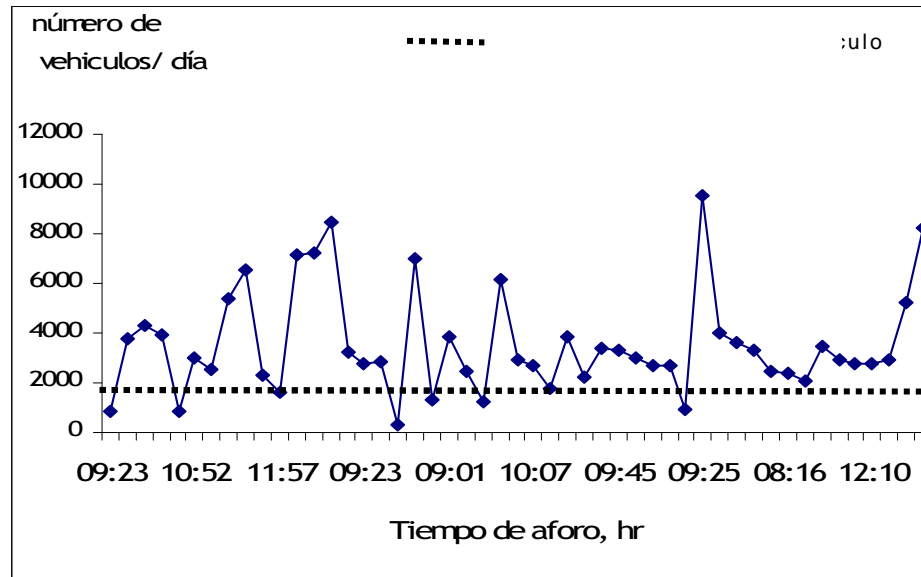
Los resultados del trabajo de campo se realizaron principalmente en avenidas de zonas habitacionales, escolares y comerciales. No se monitorearon las avenidas primarias, como fue Lázaro Cárdenas, López Mateos, Benito Juárez, pero se tomaron los entronques cercanos a la misma.

Lo anteriormente descrito resultó en la toma de muestras representativas para el número de vehículos que transitaban, en un tiempo de 15 minutos, técnica sugerida por un estudio realizado en el Instituto de Ingeniería, UABC (Hernández et al. 2000) y apoyada con un formato de campo para el conteo vehicular (anexo A5), Se obtuvieron los valores requeridos para obtener el número de vehículos por día en un tipo de avenida (figura 24). La nomenclatura empleada en anexo 5 corresponde a: Tipo A, vehículos ligeros,

automóviles y camionetas (2 ejes); Tipo B vehículos pesados, autobuses (2 ejes); Tipo C2, vehículos pesados, camiones (3 ejes); Tipo C3 vehículos pesados, camiones (4 ejes); Tipo C5, vehículos pesados, camiones (5 ejes). Existen otros vehículos especiales como son camiones y/o remolques especiales, maquinaria agrícola, bicicleta y motocicletas (SCT, 1995).



(a)



(b)

Figura 24.- Promedio por día de flujo vehicular en: (a) vías no pavimentadas y (b) pavimentadas.

De la figura 24, se desprende que del aforo de las vías no pavimentadas(a) y pavimentadas (b), se contabilizaron 894 y 3,560 promedio/día de vehículos respectivamente. La hora de muestreo se llevó a cabo de las 7:00 a 13:00 hr de lunes a viernes, en los días de mayor afluencia vehicular, según un estudio realizado por Hernández et al. (2000). En la tabla 18 y 19 se dan a conocer los valores obtenidos.

Tabla 18- Resultados de campo en vías no pavimentadas.

No. muestra	Tiempo de muestreo		Tramo vial aforado, Km.	Número de aforo	Serie	Prom./hr	máx./hr	Prom./día nat
	Inicio, hrs.	Final, hrs.						
1	11:05	11:22	0.583	10	W(5), E(6)	29	54	698
2	9:50	10:05	0.731	16	N(2), S(2)	44	88	986
3	13:00	13:18	0.425	10	N(2), S(2)	30	60	678
4A	11:50	12:06	0.4	15	N(2), S(2)	20	60	374
4B	12:16	12:31	0.4	7	N(2), S(2)	26	51	577
5	12:40	12:50	0.6	60	N(2), S(2)	114	232	2588
6A	10:40	10:57	1.5	16	N(7), S(7)	54	90	1294
6B	11:20	11:26	1.5	29	N(7), S(7)	99	260	2597
6C	11:45	11:55	1.5	50	N(7), S(7)	156	256	3712
7A	9:25	9:35	0.7	27	N(7), S(7)	98	260	2337
7B	9:50	10:00	0.7	14	N(7), S(7)	48	78	1140
8A	9:10	9:18	1	8	N(7), S(7)	28	46	666
8B	9:25	9:37	1	7	N(7), S(7)	26	42	647
9A	10:50	10:54	0.9	7	N(5), S(6)	24	40	571
9B	11:05	11:12	0.9	7	N(5), S(6)	26	42	1160
10A	12:06	12:17	0.4	12	N(7), S(7)	30	50	712
10B	12:21	12:28	0.4	8	N(7), S(7)	28	46	662
11A	12:58	13:10	1.7	6	N(7), S(7)	26	42	606
11B	13:13	13:24	1.7	9	N(7), S(7)	25	41	602
11C	13:29	13:39	1.7	6	N(7), S(7)	26	42	606
12A	9:31	9:43	1.2	20	N(6), S(5)	42	77	992
12B	9:51	9:55	1.2	3	N(6), S(5)	30	55	725
12C	10:07	10:19	1.2	0	N(6), S(5)	36	64	839
13A	10:35	10:50	0.9	17	N(6), S(5)	39	70	920
13B	10:56	11:06	0.9	10	N(6), S(5)	39	64	908
14A	8:48	8:58	0.7	14	N(6), S(5)	39	70	928
14B	9:08	9:24	0.7	12	N(6), S(5)	40	61	936
15A	12:41	12:48	0.4	5	W(7), E(7)	13	22	318
15B	12:56	13:05	0.4	7	W(7), E(7)	19	31	445
16A	11:06	11:18	0.3	4	N(6), S(5)	37	67	886
16B	11:24	11:37	0.3	3	N(6), S(5)	35	62	817
17A	10:05	10:15	1.5	6	N(7), S(7)	20	78	1142
17B	9:20	9:35	1.5	14	N(7), S(7)	48	78	1142
17C	9:41	9:56	1.5	8	N(7), S(7)	30	48	692
18A	11:00	11:15	0.6	5	N(7), S(7)	17	27	398
18B	11:20	11:35	0.6	5	N(7), S(7)	17	28	403
19A	11:44	12:09	0.8	12	N(7), S(7)	38	62	892
19B	12:02	12:17	0.8	10	N(7), S(7)	28	48	686
20A	8:50	8:53	0.7	0	W(6), E(5)	33	59	786
20B	9:00	9:15	0.7	6	W(6), E(5)	31	54	725
21A	12:50	13:03	1.1	5	W(5), E(6)	28	47	673
21B	13:09	13:20	1.1	4	W(5), E(6)	27	49	650
21C	13:28	13:37	1.1	0	W(5), E(6)	27	50	655
22A	9:50	10:05	1.4	12	N(7), S(7)	42	68	980
22B	10:11	10:26	1.4	8	N(7), S(7)	28	46	660
22C	10:45	11:00	1.4	12	N(7), S(7)	40	66	970
23	10:13	10:27	1	10	N(6), S(5)	29	51	671
24A	12:04	12:26	0.6	15	N(5), S(6)	29	52	693
24B	12:35	12:44	0.6	10	N(5), S(6)	29	53	697
25A	10:20	10:38	0.7	13	N(5), S(6)	30	54	711
25B	10:42	10:57	0.7	15	N(5), S(6)	32	56	746
26A	8:49	9:07	0.5	6	N(5), S(6)	30	54	723
26B	9:11	9:26	0.5	14	N(5), S(6)	32	58	760
27A	11:43	11:58	1.4	15	W(5), E(6)	33	59	781
27B	12:02	12:17	1.4	17	W(5), E(6)	34	60	791
27C	12:21	12:36	1.4	2	W(5), E(6)	32	56	751
28A	10:13	10:28	0.4	8	N(7), S(7)	28	44	650
29A	11:55	12:11	1	10	N(6), S(5)	30	54	720
29B	12:17	12:37	1	8	N(6), S(5)	31	55	727
30A	9:00	9:16	0.6	6	N(7), S(7)	22	34	498
30B	9:24	9:39	0.6	14	N(7), S(7)	52	84	1212

Tabla 19.- Resultados de campo en vías pavimentadas

No. muestra	Tiempo de muestreo		Tramo vial aforado, Km	Número de aforo	Serie	Prom./hr	máx./hr	Prom./día nat
	Inicio, hrs	Final, hrs						
1	9:23	9:38	0.3	10	E(5)W(6)	36	64	847
2A	11:44	11:59	0.3	70	E(2)W(2)	168	340	3804
2B	12:05	12:20	1.1	93	E(2)W(2)	190	384	4296
3A	10:11	10:37	1	10	N(6) S(5)	134	350	3913
3B	10:43	11:07	1	30	N(6) S(5)	112	63	836
4	10:52	11:06	0.5	22	N(2) S(2)	227	268	3002
5	9:47	10:02	0.5	18	N(2) S(2)	277	226	2534
6A	8:04	8:19	1.2	96	N(7) S(7)	106	371	5380
6B	8:59	9:14	1.2	79	N(7) S(7)		454	6569
7A	11:00	11:15	0.8	36	W(1) E(1)	106	170	2274
7B	11:57	12:12	0.8	29	W(1) E(1)	76	122	1630
8A	8:36	8:51	1.6	164	N(1) S(1)	332	538	7182
8B	9:36	9:51	1.6	105	N(1) S(1)	335	542	7226
8C	10:25	10:40	1.6	185	N(1) S(1)	393	635	8479
9A	8:01	8:16	1	57	N(8) S(8)	138	226	3199
9B	9:23	9:38	1	34	N(8) S(8)	118	194	2744
10A	11:01	11:16	1.1	73	N(2) S(2)	128	257	2873
10B	12:16	12:31	1.1	126	N(2) S(2)	144	288	328
11A	8:22	8:38	0.7	16	N(1) S(1)	324	524	6984
12A	8:24	8:39	0.8	30	E(6) O(5)	56	101	1345
12B	9:01	9:16	0.8	123	E(6) O(5)	160	264	3822
13A	9:47	10:02	0.7	30	E(7) W(7)	104	168	2448
13B	10:39	10:54	0.7	15	E(7) W(7)	51	84	1213
14	11:30	11:45	0.7	30	E(1) W(1)	284	460	6136
15A	8:55	9:10	0.6	21	N(2) S(2)	129	259	2907
15B	10:07	10:22	0.6	24	N(2) S(2)	120	240	2692
16A	10:55	11:05	1	26	E(6) W(7)	74	130	1749
16B	11:50	12:05	1	56	E(6) W(7)	162	264	3838
17A	10:38	10:53	1	4	N(6) S(5)	94	167	2251
17B	11:14	11:29	1	62	E(6) W(7)	209	376	3389
18	9:45	10	0.5	32	E(5) W(6)	139	252	3285
19A	12:37	12:52	0.9	53	E(5) W(6)	127	210	3038
19B	8:32	8:47	0.9	25	E(5) W(6)	115	190	2699
20	12:23	12:38	0.5	21	E(5) W(6)	114	208	2709
21	10:42	10:57	0.8	11	N(7) S(7)	37	61	889
22	9:25	9:35	0.6	110	N(7) S(7)	40	658	9524
23A	9:10	9:25	1	87	E(5) W(6)	169	307	4010
23B	11:42	11:57	1	33	E(5) W(6)	154	277	3643
24A	8:37	8:52	0.7	22	E(5) W(6)	140	251	3297
24B	9:15	9:31	0.7	31	E(5) W(6)	105	189	2488
25	8:16	8:31	0.4	24	SE(5) NO(6)	101	181	2394
26A	11:38	11:53	0.6	270	N(7) S(7)	846	1384	2050
27	8:12	8:27	0.6	117	N(5) S(6)	145	261	3446
28A	9:50	10:05	1.1	36	E(7) W(7)	124	202	2938
28B	10:43	10:57	1.1	34	E(7) W(7)	116	190	2750
29A	12:10	12:25	1.1	77	N(2) S(2)	124	249	2783
29B	13:08	13:23	1.1	103	N(2) S(2)	132	264	2961
30A	8:07	8:22	1.5	86	N(7) S(7)	222	362	5258
30B	8:52	9:07	1.5	99	N(7) S(7)	347	568	8233

#### *4.1.2 Peso promedio vehicular.*

Para el peso promedio de vehículo en el tramo aforado, se retomó la propuesta de análisis que se realizó en la ciudad de México, para la estimación del factor de emisión y empleo del modelo AP-40 (US EPA, 2006) en donde se considera la contribución de peso del número de ejes por vehículos (Ramírez, 2004).

Se procedió a llevar a cabo en dos partes la estimación de peso vehicular tomando en consideración lo recomendado en la tabla de la SCT, 1995, en la que se argumenta que en México se carece de información necesaria para definir las características de los vehículos y sus tendencias.

De ahí que lo que se considera es el tipo de vehículo que circula en las carreteras mexicanas. Se reporta un valor de peso vacío de 2,500 y 5,000 kg, de acuerdo al número de ejes de cada vehículo (SAHOPE, 2001).

En el anexo A.7 se presentan una serie de tablas que forman parte del procedimiento para determinar la contribución de peso por los vehículos que transitan en los sitios muestreado. Primero se calculó el recorrido de los vehículos en cada tipo de tramo (A.7.1 y A.7.2) para así determinar la contribución de peso de cada uno de los tramos pavimentados y no pavimentados, tal como se observa en las tablas A.7.1 y A.7.2.

A partir de la segunda columna a la sexta de las tablas descritas con anterioridad se identificaron 5 tipos de vehículos, en mayor proporción vehículos ligeros, en segundo término los autobuses de pasajeros y camiones de 3 a 4 ejes. Con base a los resultados de las tablas, A.7.1 y A.7.2, se realizaron los gráficos de las figuras 25 y 26 donde se observa la contribución de los pesos vehiculares más grande, que le corresponden 3,045 Kg a las vías no pavimentadas y 2,718 Kg a las vías pavimentadas.

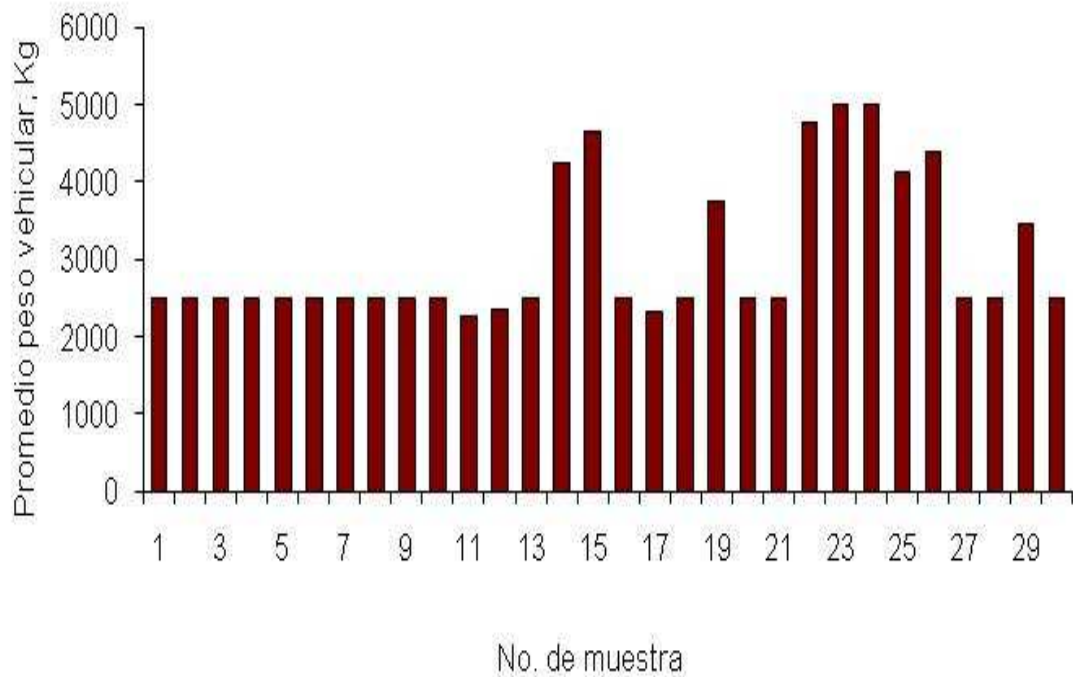


Figura 25.-Promedio por día de flujo vehicular en tramos no pavimentados

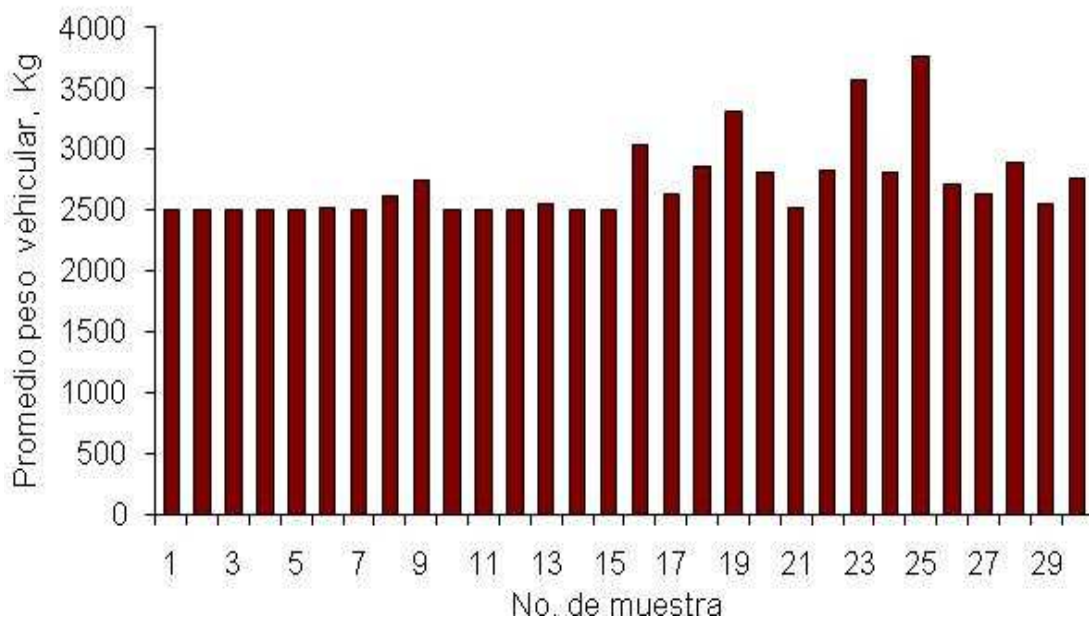


Figura 26.-Promedio por día de flujo vehicular en tramos pavimentados.

#### 4.1.3.-Carga y porcentaje (%) de peso de sedimentos

En las figuras 27 y 28 se señala el comportamiento de porcentaje en peso ( $s_L$  %) y carga ( $s$ ,  $g/m^2$ ) de las vías muestreada y se tomo como referencia a una muestra tamizada menor a  $75\mu m$ , donde la estimación del porcentaje de sedimento y carga se llevó a cabo, en base en la técnica recomendada por AP-42 (Appendix C2 de US EPA, 1993) descrita en el capítulo 3.

En las figuras 27 y 28 se muestran de manera general los rangos de pesos obtenidos que para el caso de las vías no pavimentadas fueron desde 20 gramos hasta 260 gramos (figura 27).

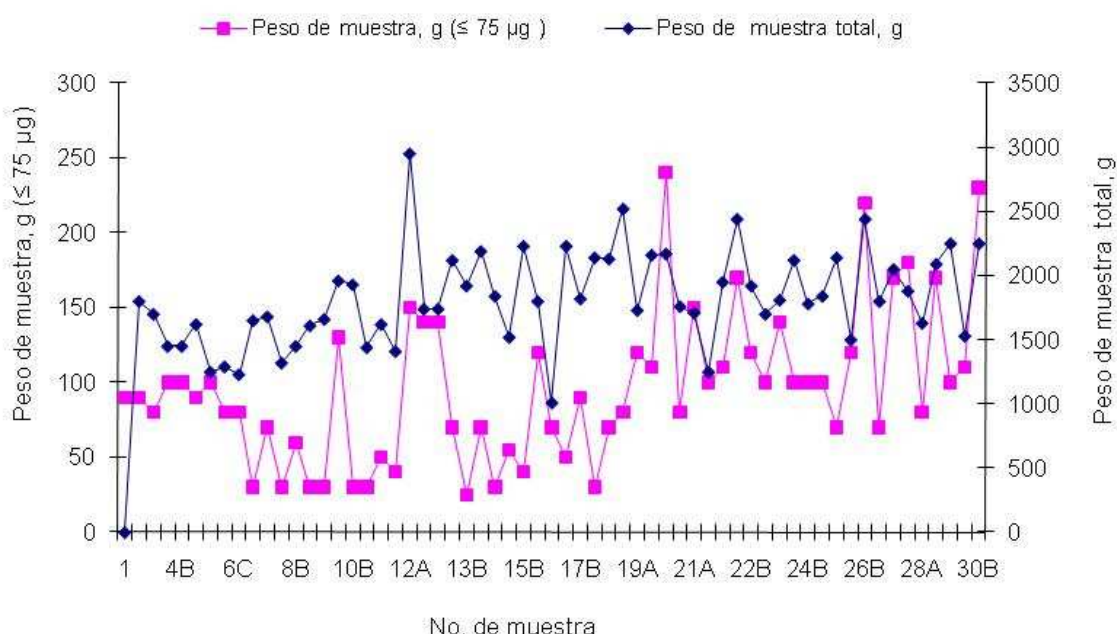


Figura 27.- Relación de peso de muestra total y muestra  $\le 75 \mu g$  de vía no pavimentadas.

Para las vías pavimentadas, se logró recolectar suficiente sedimento que resultó favorable para el propósito de la investigación, ya que se intuía que por algunas prácticas de limpiezas del municipio (barredoras) o de los habitantes de ciertas zonas de la ciudad, sería poco el material a recolectar, pero no fue así, ya que se obtuvieron valores finales de muestras muy representativas después del proceso de tamizado de sedimento, como de 2 a  $28 g/m^2$  (figura 28). La elección de las vías escogidas en el AGEB seleccionado estuvo en el intervalo de 0.3 a 1.7 km.

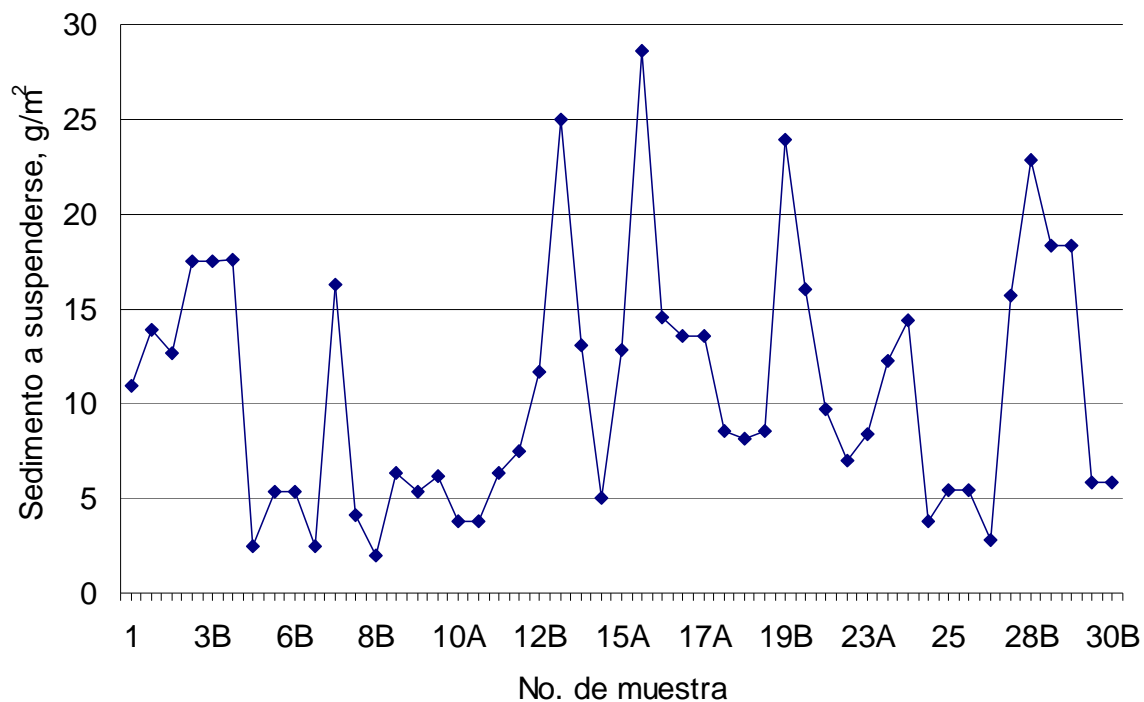


Figura 28.- Relación de carga de sedimento en vías pavimentados.

En las tablas 20 y 21, se observan en cada uno de los puntos muestreados las velocidades promedio (km/hr) y el tramo de las vías aforadas (km), donde se encontraron velocidad media de los automóviles de 16 – 20 km/hr, 20-30 km/hr, 30-40 km/hr y 40-47 km/ hr lo que dio como resultado un promedio de 23.4 y 30 km/hr, para los tramos no pavimentados y pavimentados, respectivamente. Esto tiene relación con las vialidades secundarias y terciarias a las cuales se le asocian velocidades medias de 30 y 50 km/hr así como de 20 y 30 km/hr, con los tramos de 1.5 km y 0.8 km., respectivamente (SAHOPE, 2001).

Otros parámetros importantes señalados en la tabla 20, son las áreas de recolección del sedimento, en vías pavimentadas donde se observa un intervalo de 6.7 a 18.6 m<sup>2</sup> para obtener muestras representativas en vías de 0.3 a 1.2 Km, las cuales fueron variables importantes para el cálculo del peso de sedimento encontrado de 2 a 25 g/m<sup>2</sup> (figura 28) y que posteriormente éste último será empleado para estimar los factores de emisión en cada una de las vías muestreadas.

De igual manera en la tabla 21 al estimar el porcentaje de sedimento en una vía no pavimentada a través de la relación peso  $\leq 75 \mu\text{g}$  entre el peso de la muestra total correspondió de 1.3 a 11.1 % (figura 27) en un área aproximada de  $5 \text{ m}^2$ , la cual se utilizó como variable independiente para la estimación de los factores de emisión en cada una de las vías muestreadas.

Tabla 20.- Carga de peso de sedimento ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) en vías pavimentadas.

No. muestra	Peso de muestra gramos ( $\approx 75 \mu\text{m}$ )	Área $\text{m}^2$	Peso $\text{g}/\text{m}^2$	Vía aforado, km	Velocidad media de los vehículos, km/hr
1	120	11	11	0.3	18
2A	100	7.2	14	0.3	33
2B	100	7.9	13	1.1	33
3A	140	8	18	1	20
3B	140	8	18	1	20
4	195	11.1	18	0.5	23
5	30	12.2	2	0.5	22
6A	65	12.2	5	1.2	20
6B	65	12.2	5	1.2	20
7A	20	8	3	0.8	25
7B	130	8	16	0.8	25
8A	50	12.2	4	1.6	25
8B	20	10.25	2	1.6	25
8C	70	11	6	1.6	25
9A	60	11.3	5	1	30
9B	60	9.7	6	1	30
10A	50	13.3	4	1.1	22
10B	50	13.3	4	1.1	22
11A	70	11	6	0.7	21
12A	90	12	8	0.8	20
12B	140	12	12	0.8	20
13A	270	10.8	25	0.7	42
13B	150	11.5	13	0.7	42
14	50	10	5	0.7	30
15A	90	7	13	0.6	20
15B	200	7	29	0.6	30
16A	175	12	15	1	30
16B	165	12.2	14	1	30
17A	165	12.2	14	1	25
17B	100	11.7	9	1	25
18	120	14.7	8	0.5	25
19A	120	14	9	0.9	30
19B	160	6.7	24	0.9	30
20	200	12.5	16	0.5	47
21	180	18.6	10	0.8	40
22	130	18.5	7	0.6	30
23A	155	18.4	8	1	42
23B	130	10.6	12	1	42
24A	150	10.4	14	0.7	40
24B	30	8	4	0.7	40
25	70	13	5	0.4	40
26A	70	13	5	0.6	45
27	50	17.7	3	0.6	41
28A	110	7	16	1.1	30
28B	160	7	23	1.1	30
29A	220	12	18	1.1	33
29B	220	12	18	1.1	33
30A	70	12	6	1.5	45
30B	70	12	6	1.5	45

Tabla 21.- Porcentaje de sedimento en vías no pavimentadas.

No. muestra	Peso gr.	Peso total gr.	% Sedimento	Vía aforada, km	Velocidad media de los vehículos, km/hr
1	90	1 95 0	4.6	0.58 3	17.5
2A	90	1 80 0	5.0	0.73 1	21.1
3	80	1,700	4.9	0.42 5	20
4A	100	1 45 0	8.0	0.4	20
4B	100	1 45 0	7.8	0.4	20
5	90	1 62 0	5.6	0.6	20
6A	100	1 25 0	8.0	1.5	20
6B	80	1 29 0	6.2	1.5	20
6C	80	1 23 0	6.5	1.5	20
7A	30	1 65 0	1.8	0.7	20
7B	70	1 68 0	4.2	0.7	20
8A	30	1 32 0	2.3	1	25
8B	60	1 45 0	4.1	1	25
9A	30	1 61 0	1.9	0.9	30
9B	30	1 66 0	1.8	0.9	30
10A	130	1 96 0	6.6	0.4	25
10B	30	1 93 0	1.6	0.4	25
11A	30	1 44 0	2.1	1.7	30
11B	50	1 62 0	3.1	1.7	30
11C	40	1 41 0	2.8	1.7	30
12A	150	2 95 0	5.1	1.2	26
12B	140	1 74 0	8.0	1.2	26
12C	140	1 74 0	8.0	1.2	26
13A	70	2 12 0	3.3	0.9	30
13B	25	1 92 0	1.3	0.9	30
14A	70	2 19 0	3.2	0.7	20
14B	30	1 84 0	1.6	0.7	20
15A	55	1 52 0	3.6	0.4	15
15B	40	2 23 0	1.8	0.4	15
16A	120	1 80 0	6.7	0.3	36
16B	70	1 01 0	6.9	0.3	36
17A	50	2 23 0	2.2	1.5	20
17B	90	1 82 0	4.9	1.5	20
17C	30	2 14 0	1.4	1.5	20
18A	70	2 13 0	3.3	0.6	20
18B	80	2 52 0	3.2	0.6	20
19A	120	1 73 0	6.9	0.8	25
19B	110	2 16 0	5.1	0.8	25
20A	240	2 17 0	11.1	0.7	20
20B	80	1 76 0	4.5	0.7	20
21A	150	1 71 0	8.8	1.1	20
21B	100	1 25 0	8.0	1.1	20
21C	110	1 95 0	5.6	1.1	20
22A	170	2 44 0	7.0	1.4	25
22B	120	1 92 0	6.25	1.4	25
22C	100	1 70 0	5.9	1.4	25
23	140	1 81 0	7.7	0.73	20
24A	100	2 12 0	4.7	0.6	20
24B	100	1 78 0	5.6	0.6	20
25A	100	1 84 0	5.4	0.7	20
25B	70	2 14 0	3.3	0.7	20
26A	120	1 50 0	8	0.5	30
26B	220	2 44 0	9.0	0.5	30
27A	70	1 80 0	3.9	1.4	30
27B	170	2 05 0	8.3	1.4	30
27C	180	1 88 0	9.6	1.4	30
28A	80	1 63 0	8	0.4	20
29A	170	2 09 0	8.1	1	30
29B	100	2 25 0	4.4	1	30
30A	110	1 53 0	7.2	0.6	20
30B	230	2 25 0	10.2	0.6	20

## 4.2.- Estimación del factor de emisión

Con base en la obtención de valores medios de las variables independientes, como fueron el porcentaje de sedimento ( $s_L$ ), carga (s), peso del vehículo (P) y velocidad (v), se llevó a cabo la estimación de los factores de emisión (FE) de ambas vialidades pavimentadas y no pavimentadas. Se presentan los resultados en las tablas 22 a la 25, donde para el cálculo se emplearon las ecuaciones 10 y 11 del modelo AP42 (USE EPA, 2006 y Carrillo, 1999).

### 4.2.1.- Factor de emisión de vías no pavimentadas

Los resultados promedios de los factores de emisión de vías no pavimentadas en la Ciudad de Mexicali se muestran en la tabla 22, con un porcentaje de error del 22% y 5.4% para  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ .

Tabla 22.- Promedio de factores de emisión en vías no pavimentadas

<i>Factor de emisión, Fe, kg/VKT</i>	<i>Vía</i>	<i>Valor</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Error</i>
$PM_{10}$	No Pavimentada	2.33	1.20	0.22
$PM_{2.5}$	No Pavimentada	0.58	0.30	0.054

En la tabla 23 se muestran los valores obtenidos para los factores de emisión de las partículas  $PM_{10}$  que se depositan sobre la intercepción de las vías no pavimentadas.

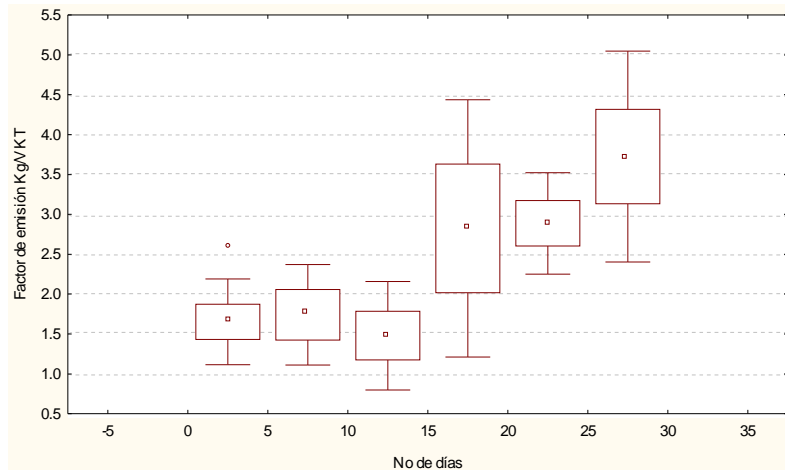
En la primera y segunda columna se indica el tramo y vías de la toma de la muestra; en la tercera el número de AGEB correspondiente al punto de muestreo, la columna subsecuentes son parte de los parámetros estimados (peso vehicular, %en peso y velocidad media) calculados, para así obtener los valores de los FE.

En lo referente al número de días de precipitación mayor a 0.25 mm, correspondieron a **2 días** con base en los meses muestreados (Dávalos, 2009).

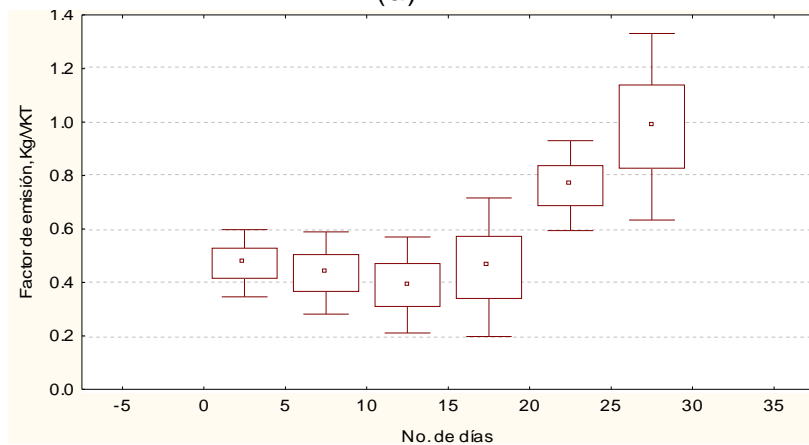
Tabla 23.- Factores de emisión para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> de vías no pavimentadas

Vía	Dirección de vías muestreadas	AGEB: 020020001-XXXX		Promedio peso vehicular kg	Código de muestra	Sedimento a suspenderse %	Velocidad media km/hr	FE (kg/VKT) PM2.5	FE (kg/VKT) PM10
		ID	XXXX						
Calle Abrojo	Av. San Carlos y Av. Villa Santa Elena	62	15289	2500	1	4.62	17.50	0.34259	1.29824
Calle rio de la plata entre	Av. Aguascalientes y Av. Oaxaca	180	12994	2500	2	5.00	21.10	0.44749	1.69575
Calzada Azteca	Av. Oaxaca y Av. Santo Tomas	64	15537	2500	3	4.94	20.00	0.41892	1.58750
Boulevard Arturo Guajardo García	Av. José Roca Vaca y Av. Oaxaca	60	15518	2500	4	8.00	20.00	0.67866	2.57175
Bahía San Jorge	Av. Sto. Tomas y Av. Hechicera	189	16747	2500	5	5.56	20.00	0.47129	1.78594
Calle rio amarillo	Carretera Sta. Isabel y Av. Checolosvaquia	179	1597A	2500	6	6.90	20.00	0.58550	2.21874
Calle rio de la plata	Av. Patriotismo y Av. Agraria	178	13846	2500	7	2.99	20.00	0.58550	2.21874
Calle Fernández Alarcón	Carretera Sta. Isabel y Av. Hacienda Jalpa	98	15950	2500	8	3.21	25.00	0.33989	1.28802
Calle Hacienda Cocoyoc	Av. Hacienda Jalpa y Av. Belgrado	97	15965	2500	9	1.84	30.00	0.23354	0.88498
Calle Nacionalista	Av. Continente Europeo y Av. India	256	16751	2500	10	4.09	25.00	0.43408	1.64493
Calle rio Parana	Blvr. Continente Europeo y Av. Arqueologo	66	14562	2256	11	2.96	30.00	0.33157	1.25646
Calzada rio Amazona	Av. Camino Nacional y Av. Psicologos.	68	12388	2340	12	8.05	26.00	0.71073	2.69328
Av. Lago Monte bello	Calle quinta y primera.	197	16041	2500	13	2.30	30.00	0.29292	1.11003
Calle Raúl Tiznado	Canz Lic. Manuel Gómez Morín y Funte de la Cascada.	196	16450	4249	14	2.41	20.00	0.30365	1.15066
Av. Fuente del Sol	Calle Fuente de la vida y calle fuente de deseos.	183	16681	4,646	15	2.71	15.00	0.31509	1.19404
Calle General H. Cuenca	Av. General Melchon Muzquiz y Av. Gral. M Paredes	195	14825	2,500	16	6.80	36.00	0.31509	4.82108
Av. República de Brasil	Calle Neptuno y Parque industrial Alamos	102	12246	2333	17	3.17	20.00	0.24091	0.91293
Av. Cultura Olmeca	Av. Corregidora Norte y Calle Alamo Temblon	265	14325	2,500	18	3.23	20.00	0.26110	0.98942
Calle Montebello	Av. Misioneros y calle paseo de las Californias	222	14670	3,750	19	6.01	25.00	0.80640	3.05584
Av. Lago Coyotlan	Blvd Adolfo López Mateos y Av. 66	228	12918	2,500	20	7.80	20.00	0.66192	2.50832
Av. Presa la Villita	Blvr. Del Valle y Av. Laguna de Chapala	156	14168	2,500	21	6.82	20.00	0.63378	2.40169
Calle J	Calz. Castellón y Av. Cerro de la bufadora	146	14897	4,780	22	6.07	25.00	0.94292	3.57317
Av. Manzanilla	Calle Manto y Av. Del Olmo	165	1316A	5,000	23	7.70	25.00	0.93632	3.54817
Calle Texcoco	Calz. Hector Teran Teran y Terrenos del exejido Xochimilco	207	16770	5,000	24	5.17	20.00	0.71213	2.69860
Francisco Javier Castillón	Avenida de las limas	215	1565A	4,126	25	4.35	20.00	0.58707	2.22468
Calzada Alejandro Valle	Gral Santiago Vidaurri y Av. Mariano Ya-ez	162	15804	4,404	26	8.51	30.00	1.48254	5.61804
Av. Cecilia	Carretera Mexicali-Sn Femándo	2	13827	2,500	27	8.93	30.00	1.01260	3.83721
Av. Del Olmo	Calle Manto	167	13189	2,500	28	8.00	20.00	0.67866	2.57175
Blv. Del Oro	Carretera San Felipe Mexcali y Calle Rubi	159	14948	3,451	29	6.29	30.00	0.62778	2.37897
Calle D	Av. 82 y Carretera San Luis Rio Colorado	149	14882	2,500	30	8.71	20.00	1.11325	4.21862

Se llevo a cabo un análisis de estadística descriptiva, para observar el comportamiento de los datos medios obtenidos con base al programa estadístico Statistica versión 8. En las figuras 29 (a) y (b) se observa un diagrama de cajas y bigotes, que permite identificar la distribución y la dispersión de los valores de los FE medios (punto central de la caja). En la figura 29(a), en particular se identifican, los valores medios de 2.33 kg/VKT atribuidos a los sitios de muestreo, por su alto contenido de materia particulado a dispersarse. La figura 29 (b) muestra un comportamiento similar al anterior en lo relacionado a valores medios de 0.58 kg/VKT, en consideración a la teoría que a las dos últimas cajas están arriba de la media por lo que se le atribuye al sitio de muestreo y la última caja una mayor dispersión relacionada posiblemente con el tamaño de la partícula.



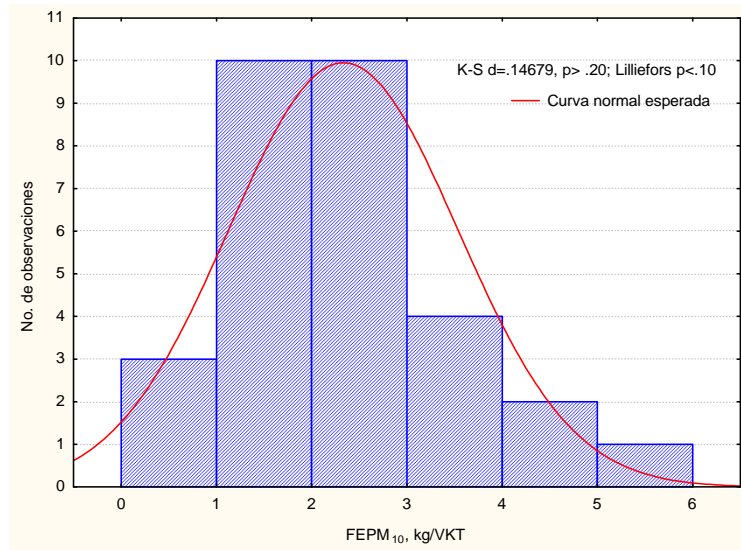
(a)



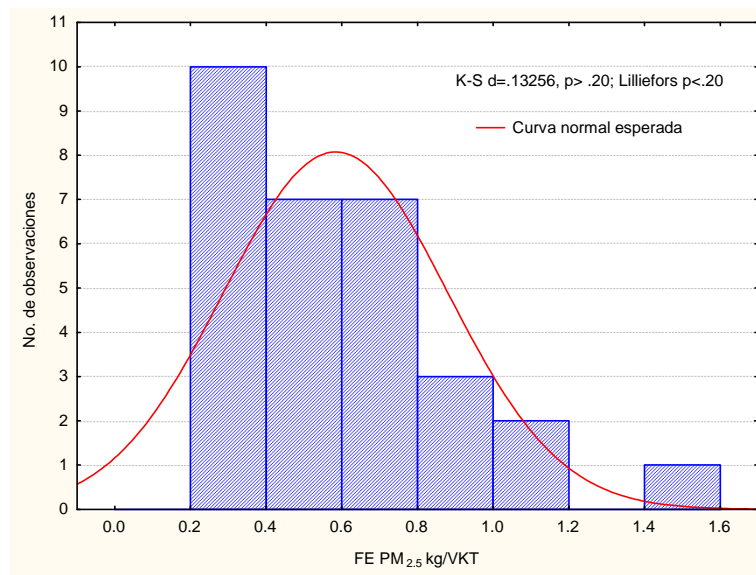
(b)

Figura 29.- Comportamiento de los valores medios de los FE, en vías no pavimentadas de  $PM_{10}$  (a) y  $PM_{2.5}$  (b).

Para conocer como se distribuían los datos observados se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) que resultó en un estimador estadístico  $d$  igual a 0.147 no significativo por su valor de probabilidad (p) mayor de 0.20, corroborándolo la prueba de Lilliefors con un valor de  $p < 0.10$ , por lo que la distribución respectiva no es normal para vía no pavimentada  $PM_{10}$  [ver figura 30(a)]. La figura 30 (b) muestra resultados parecidos Pero diferente valor de  $d=0.132$ .



(a)



(b)

Figura 30.- Distribución de los valores de los factores de emisión en vías no pavimentadas de  $PM_{10}$  (a) y  $PM_{2.5}$  (b).

La figura 31, complementarí parte de resultado a las dos gráficas previamente mencionadas ya que las zonas del sureste (SE) y noreste (NE) favorecen más a la generación material particulado lo cual coincide con las zonas que se monitorearon al final y que en las gráficas 29 y 30 se muestra el comportamiento antes descrito. En las zonas noroeste (NW) y suroeste (SW) estuvieron dentro de los valores medios.

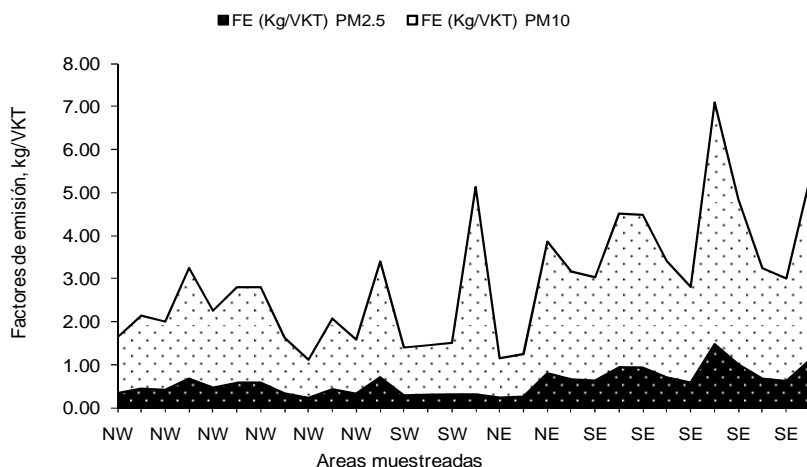


Figura 31.- Factor de emisión por zonas en vías no pavimentadas.

#### 4.2.2.- Factor de emisión de vías pavimentadas

En la tabla 24 se describen el promedio de factores de emisión de avenidas pavimentadas. Con un error del 40% y 5.6 % para **PM<sub>10</sub>** y **PM<sub>2.5</sub>**, respectivamente.

Tabla 24.- Promedio de factores de emisión de vías pavimentadas.

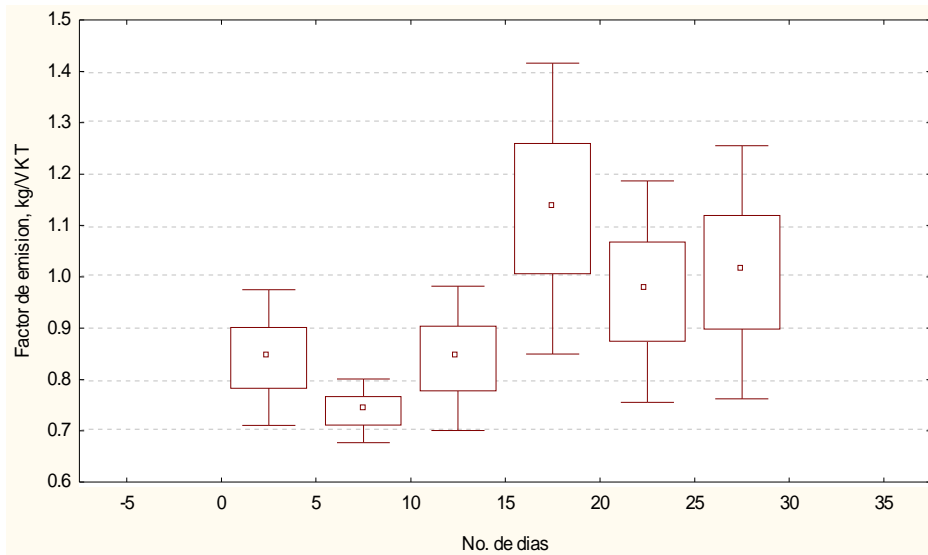
<i>Factor de emisión, Fe, kg/VKT</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Valor</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Error</i>
<b>PM<sub>10</sub></b>	Pavimentada	0.923	0.221	0.040
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	Pavimentada	0.734	0.304	0.056

En la tabla 25 se muestran los valores de los factores de emisión en vías pavimentadas. En la primera y segunda columna se indica el tramo y vías de la toma de la muestra; en la tercera el número de AGEB correspondiente al punto de muestreo, la columna subsecuentes son parte de los parámetros estimados (peso vehicular, velocidad media y sedimento a suspenderse g/m<sup>2</sup>).

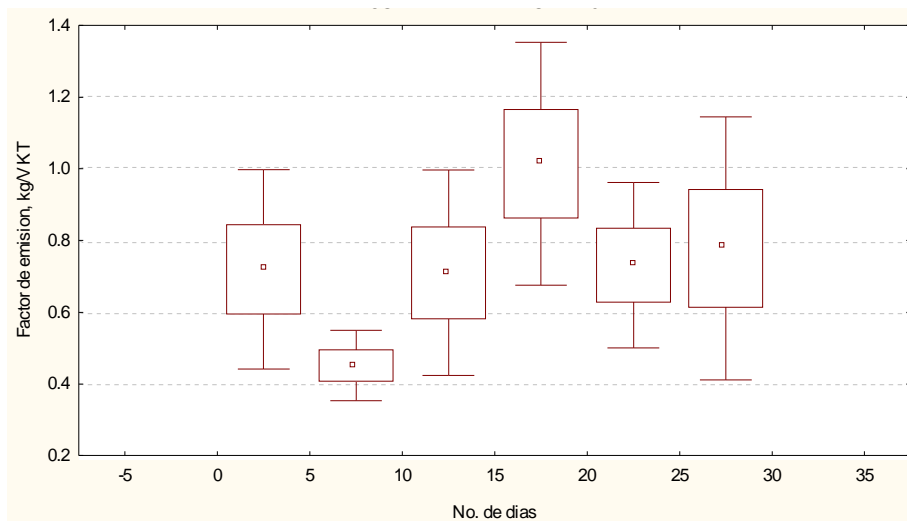
Tabla 25.- Factores de emisión para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> de vías pavimentadas.

Vía	Dirección de vías muestreadas	AGEB: 020020001-XXXX		Código de muestra	Promedio Peso vehicular kg	Velocidad media km/hr	Sedimento a suspenderse g/m <sup>2</sup>	PM <sub>10</sub> kg/VKT	PM <sub>2.5</sub> kg/VKT
		ID	XXXX						
Av. Crisantenos	Calzada Lic. V. Lombardo Toledano y Calzada Anahuac.	27	15289	1	2500	18	11	0.827028	0.687257
Av. Tabasco	Calle Villahermosa y calle Uxmal.	38	12994	2	2500	33	13	0.871446	0.780534
Calle Parral	Av. Canutillo y Carretera Unión	54	15537	3	2500	20	18	0.944714	0.934396
Av. Tepic	Av. Jalisco y Av. Sn Luis Potosi.	16	15518	4	2500	23	18	0.945830	0.936740
C. Veracruz	Av. Teotihuacan y calle Villhermosa.	36	16747	5	2500	22	2	0.624023	0.260946
C. S. Salina Cruz	Av. Sonora y Av. Hamburgo	44	1597A	6	2515	20	5	0.711557	0.435248
Av. Junipero Serra	Calle rio presidio y L. Echeverria	261	13846	7	2500	25	9.5	0.774577	0.577109
Av. Rio Culiacan	Calz. Independencia y Lazaro Cardenas	131	15950	8	2608	25	4	0.721726	0.377372
Calle Mazapil	Av. Zacatecas y Calz. Lazaro Cardenas.	25	15965	9	2739	30	5.5	0.824380	0.524170
Calle G	Callejón Tapiceros Sur y Prol. Av. Mariano Arista.	7	200	10	2500	22	4	0.663507	0.343861
Calles de las Morenas	Av. De los Robles y Av. Venustiano Carranza	129	14562	11	2500	21	6	0.730303	0.484133
Av. Isla Hawai	Cataratas del niagara y Isla Canarias	35	12388	12	2500	20	10	0.798957	0.628306
Calle ola verde	Carretera González Ortega y Ejido Isla Agrarias	83	16041	13	2553	42	19	0.991723	0.999657
Av. María	Calz. Fco. L. Montejano y Calz. Bénito Juárez	134	16450	14	2500	30	5	0.696855	0.413892
Callejón Sansón de las Flores	Av. Cristobal Coloón y Av. Rep. De Haití	107	16681	15	2500	20	21	0.987797	1.024871
Calle niños Heroes	Exejido Zacatecas y Calzada San Miguel el Grande	26	14825	16	3036	30	14.5	1.047258	0.956011
Av. Prado del Rey	Calle Puent de la Reyna Calle Sort	201	12246	17	2624	30	11.5	0.962268	0.809888
Av. Arenas del Rey	Calz. Anahuac	199	14365	18	2861	25	8	0.888659	0.656227
Calle Fundidores	Calz. Lic. Gómez Morin y Av. Muerdago	257	14670	19	3310	25	16.5	1.161526	1.109053
Calle primera	Xochicalco y calle Fraga	197	12918	20	2800	30	16	1.605689	1.539312
Av. Alabastro	Av. Alabastro y calle zapotitlan	251	14168	21	2515	47	10	0.951140	0.753518
Calle rio San Angel	Corredor Industrial Palaco y Av. De los Mosaicos.	239	14897	22	2829	40	7	0.752444	0.521070
Av. Misión Sta Catarina	C. Poblado las minias y calle Hacienda del desierto.	141	1316A	23	3574	30	10	1.201130	0.987710
Calle Onceava	Corredor industrial Palaco y Av. Rio Champotón	142	16770	24	2799	42	9	1.182449	0.919657
Av. Rio Verde	Calle primera y calle cuarta	144	1565A	25	3756	40	5	0.770368	0.473525
Calle novena	Av. Rio Sta. Cruz y Sta. María	252	15804	26	2713	40	5	1.301028	0.799708
Av. Misión San Diego	Calle novena y Calle villa de la Hoja	90	13827	27	2622	41	3	0.718728	0.322838
Av. Ricardo Florez Magón	Calle de los Planetas y calle Camilo Arriaga	263	13189	28	2895	30	16	1.195158	1.228283
Calle Rio San Lorenzo	Av. Junipero Sierra y Av. I. Comonfort	119	14948	29	2543	33	19.5	1.019621	1.024630

En las figuras 32 (a) se observan el comportamiento de los FE  $PM_{10}$  medios de 0.923 kg/VKT que difieren y los sitios evaluados los cuales manifiestan un comportamiento similar a las no pavimentadas en cuanto a que la zona del SE y NE fueron las últimas partes que se muestrearon. En particular la figura 32 (b) muestra los valores medios del FE de 0.734 kg/VKT, más constantes excepto la segunda, cuarta y sexta caja, que se le atribuye más al sitio de muestreo.



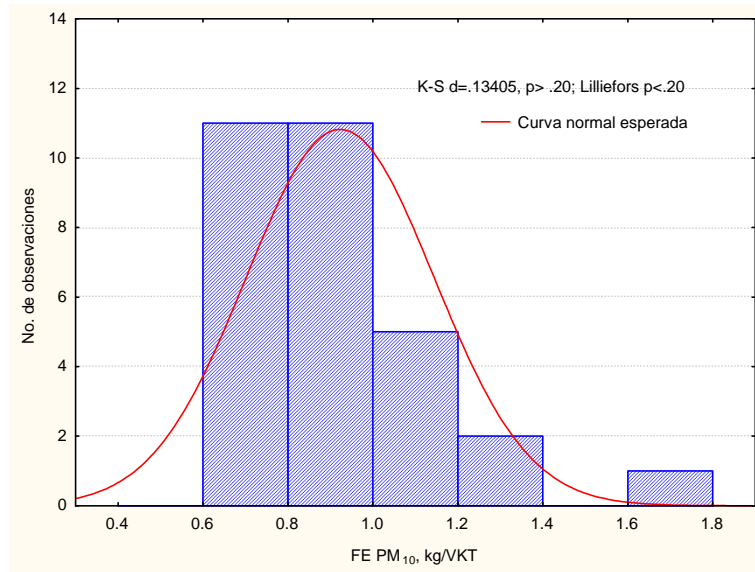
(a)



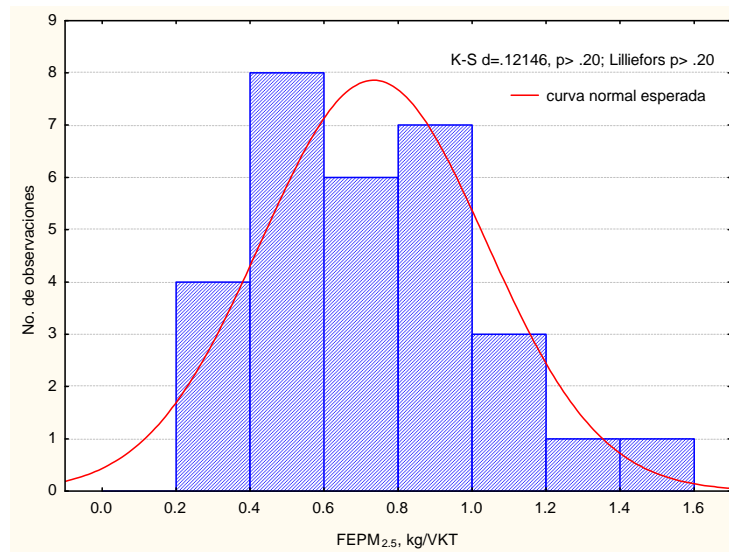
(b)

Figura 32.- Comportamiento de los valores medios de FE en vías pavimentadas de  $PM_{10}$  (a) y  $PM_{2.5}$  (b).

Se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) lo que resultó en un estimador estadístico  $d$  igual a 0.134 no significativo por su valor de  $p > 0.20$ , lo cual se corroboró mediante la prueba de Lilliefors con un valor de  $p < 0.20$ , por lo que se observa una distribución no normal para vía pavimentada  $PM_{10}$  [ver figura 33(a)]. Los resultados fueron más significativos en la figura 33 (b) a través de la prueba Lilliefors con un valor  $p > 0.2$  y un valor  $d = 0.134$ .



(a)



(b)

Figura 33.- Distribución de los valores de los factores de emisión en vías pavimentadas de  $PM_{10}$  (a) y  $PM_{2.5}$  (b).

Finalmente en la figura 34, se realizó el análisis de los datos por zonas de la ciudad, para conocer el comportamiento de los FE, los cuales mantienen un comportamiento de picos dentro de un valor medio para ambos tamaños aerodinámicos de partícula, pero se presentó un pico en la zona suroeste (SW) y otros más en la zona sureste (SE) y noreste (NE) que se relaciona con vialidades con mayor tráfico vehicular que transitan en tales zonas.

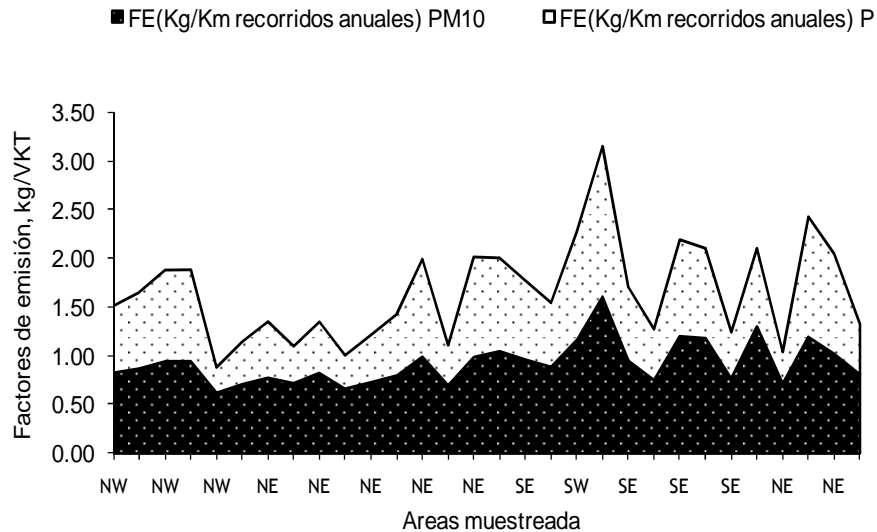


Figura 34.- Factor de emisión por zonas en vías pavimentadas

#### 4.2.3.- Variables meteorológicas y relaciones de velocidad del viento con los factores de emisión.

En la tabla 26 y 23, se muestran los parámetros meteorológicos correspondientes a los días en que se recolectaron las muestras. En la columna 8 y 9 se reportan velocidades medias de viento (m/s) y direcciones medias del viento (grados) en relación al tiempo de muestreo que por lo general fueron de 20 a 30 minutos.

En las tablas antes mencionadas se observan valores diferentes en dos puntos de muestreo el mismo día tal como se indican en la tabla 26, que es el ejemplo de las muestras 1 y 2 de fecha 19 de febrero del 2008, debido a que los valores correspondían a los tiempos en que se recolectaba la muestra, por eso los valores difieren en los sitios aunque corresponda el mismo día. También se reportan datos de temperatura y humedad como parte de las variables meteorológicas importantes (Información compartida por García R., 2009).

Tabla 26.- Relación en vías no pavimentadas con factores meteorológicos, velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa.

Codigo de Muestra	Fecha	Zona	FE (kg/VKT) PM <sub>2.5</sub>	FE (kg/VKT) PM <sub>10</sub>	Temperatura Promedio, °C	Humedad Relativa, %	Velocidad del viento , m/s	Dirección del viento grados
1	2/19/2008	NW	0.343	1.298	18.8	33.7	1.25	214.8
2	2/19/2008	NW	0.447	1.696	18.8	33.7	1.16	170
3	2/21/2008	NW	0.419	1.588	17	39.4	1.7	250
4	2/21/2008	NW	0.679	2.572	17	39.4	1.75	325
5	2/26/2008	NW	0.471	1.786	20.2	26.6	2	58
6	2/26/2008	NW	0.586	2.219	20.2	26.6	2.67	25
7	2/28/2008	NW	0.586	2.219	21.5	25.9	1.19	75
8	3/4/2008	NW	0.340	1.288	16.4	19.1	0.961	309.3
9	3/4/2008	NW	0.234	0.885	16.4	19.1	1.57	50.7
10	3/4/2008	NW	0.434	1.645	16.4	19.1	1.37	81
11	3/6/2008	NW	0.332	1.256	16.4	17.1	2.45	37
12	3/25/2008	NW	0.711	2.693	25.1	14	0.824	38.2
13	3/25/2008	SW	0.293	1.110	25.1	14	0.969	42.2
14	3/6/2008	SW	0.304	1.151	16.4	17.1	1.84	41.5
15	3/13/2008	SW	0.315	1.194	24	18.3	3	170
16	3/11/2008	SW	0.315	4.821	22.2	20	1.26	75
17	4/8/2008	NE	0.241	0.913	21.4	21.4	0.641	32.4
18	4/8/2008	NE	0.261	0.989	21.4	21.4	2.22	319.6
19	4/3/2008	NE	0.806	3.056	30.6	30.6	2.98	320
20	4/2/2008	SE	0.662	2.508	28.6	28.6	1.89	195
21	4/2/2008	SE	0.634	2.402	28.6	28.6	2.49	230
22	4/3/2008	SE	0.943	3.573	30.6	30.6	2.12	317.3
23	4/10/2008	SE	0.936	3.548	25.4	25.4	1.68	34.6
24	4/2/2008	SE	0.712	2.699	21	28.6	2.02	270
25	3/27/2008	SE	0.587	2.225	24.1	25.2	1.33	80
26	3/27/2008	SE	1.483	5.618	24.1	25.2	1.49	41.3
27	3/27/2008	SE	1.013	3.837	24.1	25.2	2.01	90
28	4/10/2008	SE	0.679	2.572	20.8	25.4	1.94	55.3
29	3/27/2008	SE	0.628	2.379	24.1	25.2	2.01	90
30	4/3/2008	SE	1.113	4.219	25.7	30.6	3.87	50

Tabla 27.- Relación en vías pavimentadas con factores meteorológicos, velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa.

Codigo de Muestra	Fecha	Zona	FE	FE	Temperatura Promedio, °C	Humedad	Velocidad del viento, m/s	Dirección del viento grados
			(kg/VKT) PM <sub>2.5</sub>	(kg/VKT) PM <sub>10</sub>		Relativa, %		
1	4/24/2008	NW	0.827028	0.687257	24.2	16.6	2.94	51.6
2	4/28/2008	NW	0.871446	0.780534	28.7	9.7	1.14	47.4
3	2/28/2008	NW	0.944714	0.934396	28.7	25.9	0.72	154.5
4	4/30/2008	NW	0.945830	0.936740	25.7	14.6	3.78	35.8
5	4/28/2008	NW	0.624023	0.260946	28.7	9.7	0.79	95
6	4/30/2008	NW	0.711557	0.435248	25.7	14.6	3.03	35.1
7	4/15/2008	NE	0.774577	0.577109	25.2	16.1	1.14	280.8
8	4/17/2008	NE	0.721726	0.377372	22.2	14.7	1.83	102.1
9	4/25/2008	NE	0.824380	0.524170	25.4	12.8	2.15	58
10	4/25/2008	NE	0.663507	0.343861	25.4	12.8	1.98	46.1
11	4/29/2008	NE	0.730303	0.484133	29	16.1	2.41	264
12	4/24/2008	NW	0.798957	0.628306	24.2	16.6	2.94	51.7
13	5/5/2008	NE	0.991723	0.999657	23.5	26.6	1.05	319.7
14	4/22/2008	NE	0.696855	0.413892	24.8	18.9	1.14	36.5
15	4/15/2008	NE	0.987797	1.024871	25.2	16.1	4.42	325
16	4/24/2008	NE	1.047258	0.956011	24.2	16.6	3.27	43.6
17	5/2/2008	SE	0.962268	0.809888	23.2	11.3	2.67	36.9
18	5/2/2008	SE	0.888659	0.656227	23.2	11.3	2.69	125
19	4/30/2008	SW	1.161526	1.109053	25.7	14.6	2.56	106.3
20	5/2/2008	SW	1.605689	1.539312	23.2	11.3	3.64	54
21	5/9/2008	SE	0.951140	0.753518	26.9	21.1	2.92	317
22	5/9/2008	SE	0.752444	0.521070	26.9	21.1	0.9	35
23	5/6/2008	SE	1.201130	0.987710	23.5	35.1	1.05	319.7
24	5/7/2009	SE	1.182449	0.919657	24.6	41	2.9	229
25	5/6/2008	SE	0.770368	0.473525	23.5	35.1	1.05	319.7
26	5/5/2008	SE	1.301028	0.799708	23.5	26.6	2.93	46
27	5/5/2008	NE	0.718728	0.322838	23.5	26.6	1.45	300
28	4/8/2008	NE	1.195158	1.228283	28.7	21.4	0.95	41.7
29	4/15/2008	NE	1.019621	1.024630	25.2	16.1	4.16	318.7
30	4/22/2008	NE	0.810227	0.516548	24.8	18.9	0.95	39.5

En el mismo tenor, con base al programa WRPLOT VIEW se obtuvo una rosa de los vientos correspondiente a los meses de Febrero a Mayo del 2008. Se observó una dirección del viento del Norte (N) y Noreste (NE) hacia el sur (s) y suroeste (sw) respectivamente, con velocidades de viento bajas, que se muestra en la figura 35, que se mantuvieron muy parecidas en los dos meses subsecuentes, figura 36.

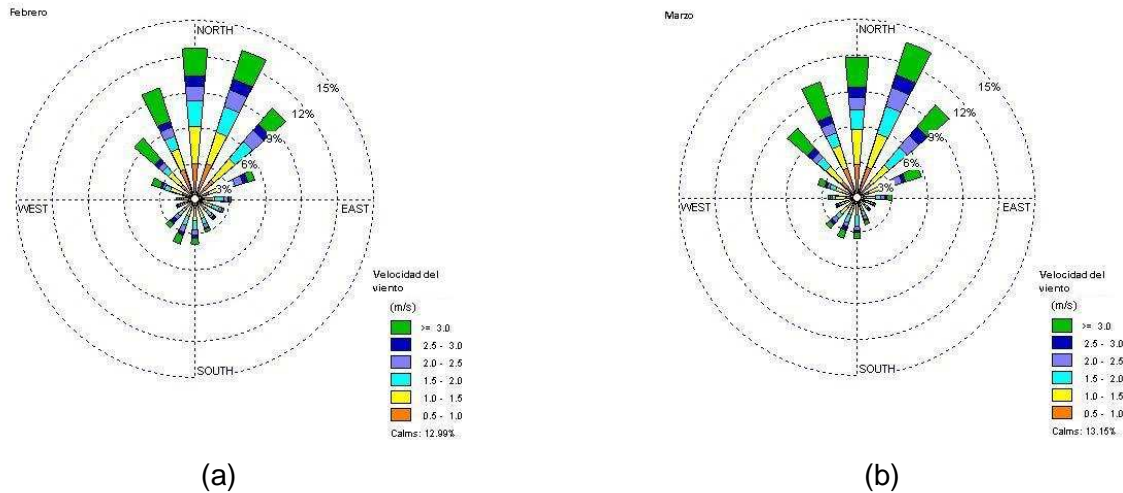


Figura 35.- Rosa de los vientos de los meses de febrero (a) y marzo (b) del 2008. (Meza, 2008).

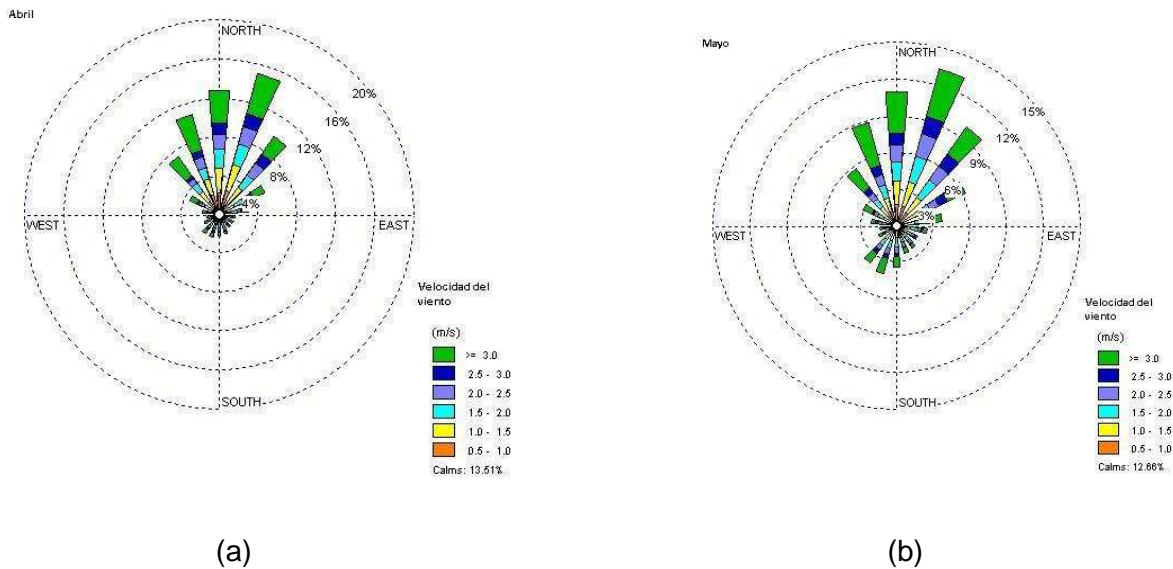


Figura 36.- Rosa de los vientos de los meses de Abril (a) y mayo (b) del 2008. (Meza, 2008).

Las velocidades medias del viento fueron de 1.82 y 2.2 m/s para los días de muestreos en las vialidades pavimentadas y no pavimentadas respectivamente,

con un número de calmas alrededor del 13%. La dirección del viento predominante fue del noreste al suroeste.

#### 4.3.- Resultados de la caracterización física y química de sedimentos (vía seca y húmeda).

##### 4.3.1.- Texturas, pH y conductividad de suelo seleccionado.

De acuerdo a lo señalado en el capítulo 3 se dan a conocer los resultados de textura del suelo, a partir de la muestra original seleccionada. Asimismo, se llevaron a cabo otras determinaciones como fue el caso del pH y conductividad eléctrica del suelo (tabla 28).

Tabla.- 28.- Resultados del análisis del suelo

Tipo de vía	% Limo+ arcilla	%Arcilla	%Limo	%Arena	Textura	pH	Conductividad $\mu\text{S/cm}$
9Nopav.	43.06	29.98	13.08	56.94	Franco areno arcilloso.	7.12	5.59
5 Nopav.	25.06	17.62	7.44	74.94	Franco areno	7.59	32
14 Nopav.	36.7	23.62	13.08	63.3	Franco areno arcilloso.	7.58	34.4
13 Nopav.	30.7	23.62	7.08	69.3	Franco areno arcilloso.	7.62	34.4
19Nopav.	42.7	31.62	11.08	57.3	Franco areno arcilloso.	7.82	16.54
27Pav.	16.7	9.62	7.08	83.3	Franco areno	7.7	6.32
27 NoPav.	32.7	21.62	11.08	67.3	Franco areno arcilloso.	7.27	49.5
22Pav.	30.7	21.62	9.08	69.3	Franco areno arcilloso.	7.6	29.4
6Pav.	28.7	13.62	15.08	71.3	Franco areno	7.43	24.6
3Pav.	20.7	13.98	6.72	79.3	Franco areno	7.38	15.92
10Pav.	12.7	9.98	2.72	87.3	Franco areno	7.35	7.4
14Pav.	14.7	9.98	4.72	85.3	Franco areno	6.92	13.42
22Pav.	36.7	9.98	26.72	63.3	Franco areno	7.36	30
26Pav.	2.7	11.98	-9.28	97.3	Franco areno	7.58	9.08
8Nopav.	60.7	45.98	14.72	39.3	Arcilla	7.65	8.26
12Nopav.	66.7	43.98	22.72	33.3	Arcilla	7.68	10.92

Nota: Análisis de suelo llevado a cabo en el Instituto de Inv. Agrícolas, UABC.

##### 4.3.2.- Resultados de composición química de sedimentos en sitios seleccionados.

###### 4.3.2.1.- Método EDX (Espectroscopia de dispersión de rayos X, primer análisis)

Los análisis dieron como resultado la composición elemental semicuantitativa de elementos de acuerdo al tipo de suelo del área de estudio, entre los más importantes serían el Al, Fe, Si, Mg y K, reportados como porcentaje en peso (%W<sub>t</sub>) y porcentaje atómico (%A<sub>t</sub>) que son citados en la tabla 29.

Tabla 29.-Reporte de análisis químicos por EDX de polvos de vialidades pavimentadas y no pavimentadas (valores en % peso,  $W_t$  y % atómico,  $A_t$ )

ELEMENTO	SITIO	C		O		Na		Mg		Al		Si		S		Cl		K		Ca		Ti		Fe	
		$W_t$	$A_t$	$W_t$	$A_t$	$W_t$	$A_t$	$W_t$	$A_t$	$W_t$	$A_t$	$W_t$	$A_t$	$W_t$	$A_t$	$W_t$	$A_t$	$W_t$	$A_t$	$W_t$	$A_t$	$W_t$	$A_t$	$W_t$	$A_t$
MUESTRA NO.		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	27 Nopav	2.36	5.8	15.18	28.04	0.86	1.11	1.09	1.33	6.37	6.98	24.9	26.21	0.59	0.54	2.34	1.95	4.99	3.77	10.67	7.87	1.94	1.2	28.72	15.2
2	14 Nopav	2.55	6.35	14.74	27.61	0.87	1.14	1.48	1.82	5.93	6.59	23.27	24.83	0.6	0.57	1.36	1.15	3.99	3.06	12.48	9.33			32.73	17.56
3	9 Nopav	2.55	5.93	18.19	31.76	0.46	0.56	1.49	1.72	7.46	7.72	28.35	28.2			0.87	0.68	4.53	3.24	10.86	7.57			25.23	12.62
4	5 Nopav	9.46	20.66	15.58	25.54	0.92	1.05	0.95	1.02	5.24	5.09	21.57	20.14	0.78	0.64	1.41	1.04	3.68	2.47	17.48	11.44	1.71	0.93	21.25	9.98
5	22Nopav	12.59	26.25	14.14	22.12	0.86	0.94	0.93	0.95	4.96	4.61	27.01	24.07	0.84	0.66	1.05	0.74	4.32	2.77	11.15	6.97			22.14	9.93
6	13Nopav	2.03	5.06	15.19	28.45	0.67	0.88	1.92	2.37	7.28	8.08	24.46	26.09					4.54	3.48	9.71	7.26			34.2	18.34
7	19Nopav	2.72	6.61	16.03	29.19	0.72	0.91	1.36	1.63	6.82	7.36	23.44	24.32	0.42	0.38	2.3	1.89	4.41	3.28	12.08	8.78	1.52	0.93	28.18	14.7
8	10Pav	10.61	23.28	13.91	22.92	0.72	0.82	0.77	0.83	5.27	5.15	22.8	21.41	0.77	0.63	0.66	0.49	4.89	3.3	13.32	8.76			26.29	12.41
9	22Pav	2.88	6.84	16.37	29.16	1.41	1.75	1.51	1.77	6.19	6.54	25.73	26.12			2.89	2.32	5	3.64	12.16	8.65			25.87	13.2
10	6Pav	2.75	6.56	16.1	28.82	1.15	1.43	0.97	1.14	5.86	6.22	27.03	27.56	0.39	0.35	3.32	2.68	4.84	3.55	11.19	7.99	1.83	1.09	24.56	12.59
11	3Pav	8.89	19.77	15.06	25.14	0.91	1.06	1.3	1.42	5.01	4.96	22.39	21.28	0.67	0.56	1.56	1.18	4.33	2.96	13.17	8.77	1.83	1.02	24.87	11.89
12	26 Pav	4.57	10.69	15.72	27.61	1.1	1.35	1.66	1.92	5.6	5.83	26.17	26.18	0.52	0.46	0.61	0.49	3.99	2.87	12.49	8.75			27.56	13.86

De igual manera en anexo A.8 se observan los resultados dados por el laboratorio encargado de llevar cabo el análisis vía seca, que se puede observar en la figura 37.

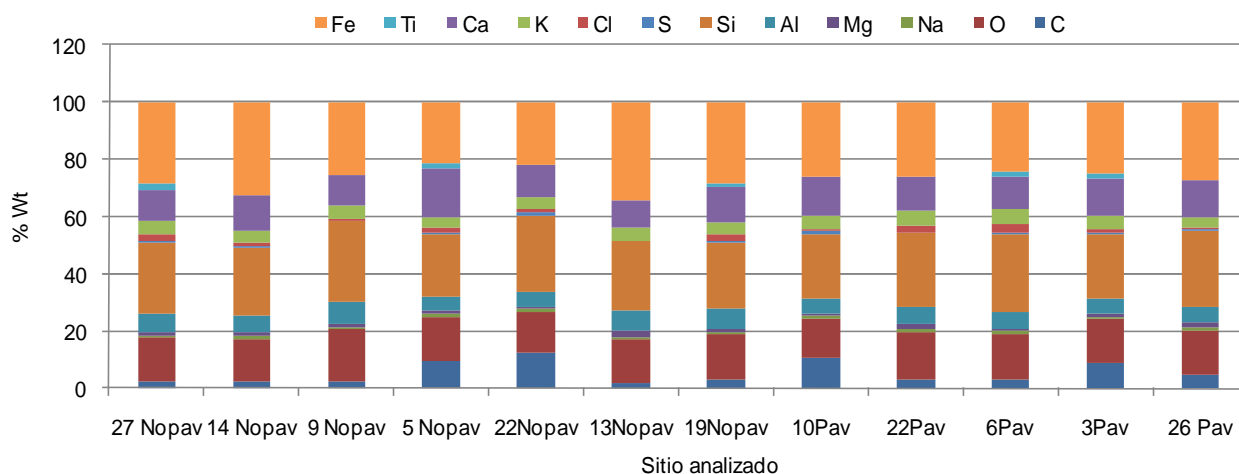


Figura 37.- Constituyentes de elementos de sedimentos de las muestras seleccionadas.

Del análisis de la figura 37 se derivan suelos salitrosos, un contenido alto de fierro, con la posibilidad de formación de cristales como  $Fe_x (SO_x)_x$ , NaCl y la presencia alta de aluminio y silicio, para la potencial formación de aluminatos de magnesio (Mg) o potasio (K). El carbono como elemento contaminante derivado de fuentes antropogénicas (fuentes móviles y de área) fué parte del estudio de este trabajo. La figura 38, si muestra el elemento carbono (C) con mayor porcentaje en los sitios evaluados de las muestras 5 y 22 en vías no pavimentadas, así como de los sitios analizados de las muestras 3 y 10 de vías pavimentadas. En la tabla 30 y en la figura 38 se describen las vialidades antes mencionadas con sus respectivos porcentajes.

Tabla 30.- Vialidades más representativas de % de contenido de carbono.

Tipo de vía	%	Promedio de número de vehículos diarios	Zona de ubicación	Velocidad del viento, m/s	Dirección del viento en grado	Uso de suelo en zona
5 no pavimentada	15	2,588	NW	2	58 (NE)	Área habitacional, de comercio y servicio.
22 no pavimentada	17	980	SE	2.12	317.3 (NW)	Área habitacional, de comercio y servicio.
10 pavimentada	16	2,873	NE	1.98	46.1 (NE)	Área habitacional, de comercio y servicio.
3 pavimentada	15	3,913	NW	0.72	154.5 (SE)	Área habitacional, de comercio y servicio.

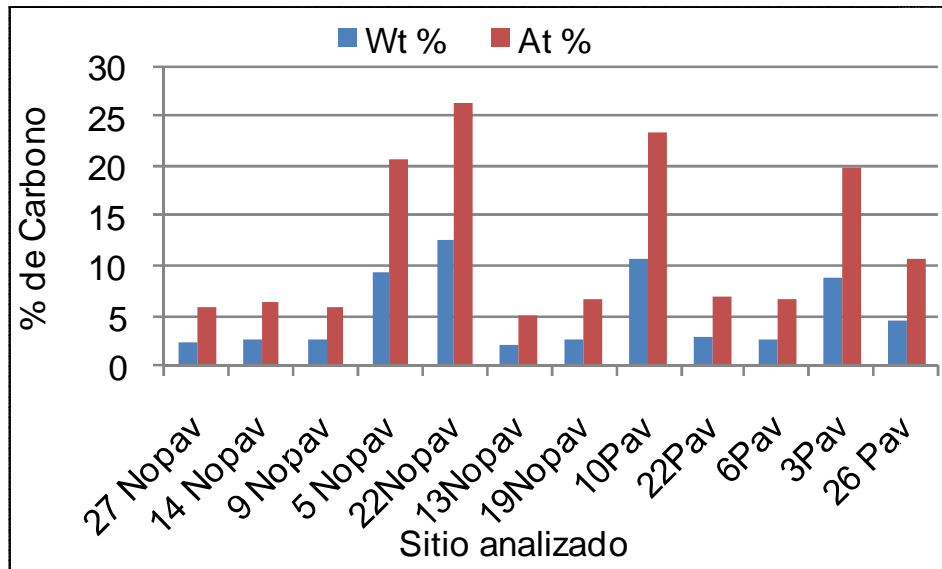
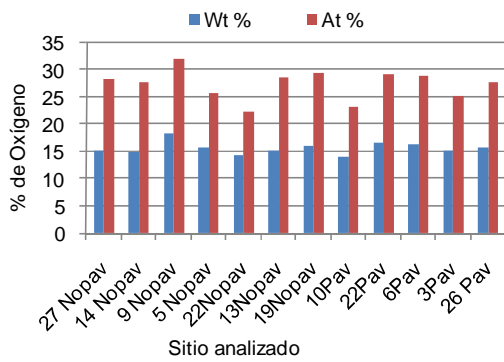


Figura 38.- Identificación de sitios, con alto contenido en % de carbono de vialidades

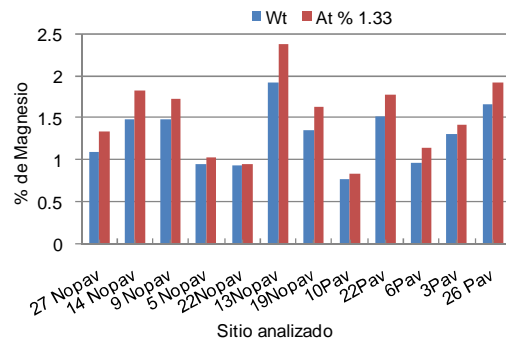
En lo relacionado a los sitios analizados de las muestras de las vías 10 y 3 pavimentadas en la zona noroeste y noreste respectivamente, les corresponden a puntos con un alto tráfico vehicular, de aproximadamente 2,873 y 3,913 vehículos promedio diario. Y en lo relacionado a las vías no pavimentadas es decir los punto 5 y 22 de la zona noroeste y sureste respectivamente, les corresponden 2,588 y 980 vehículos promedio diario.

Es importante definir la siguiente nomenclatura como son  $W_t\%$ , el cual se refiere al porcentaje en peso de los elementos en la muestra y el  $A_t\%$  como el porcentaje atómico del elemento en la muestra.

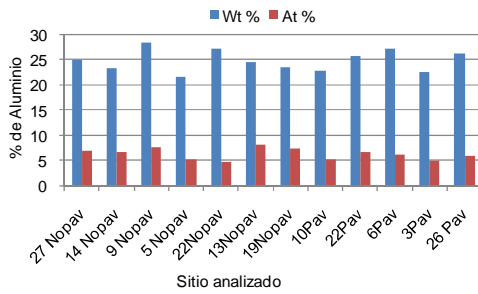
En el presente análisis los  $W_t\%$  de cada uno de los elementos presentan valores que difieren entre ellos como se observa en la figura 39, la cual muestra el contenido de elementos analizados de manera porcentual en las vías más representativas y que podría ser empleado para comparar cuales se encuentran en mayor porcentaje en las muestras de las vías seleccionadas y contar con un estándar de norma para tener de referencia la afectación a la salud.



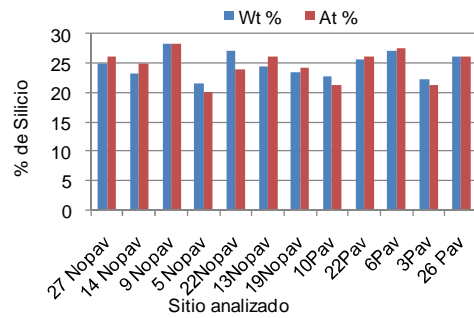
(a)



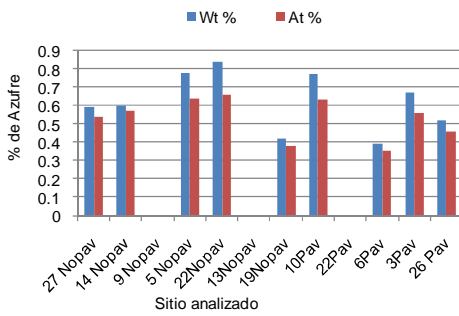
(b)



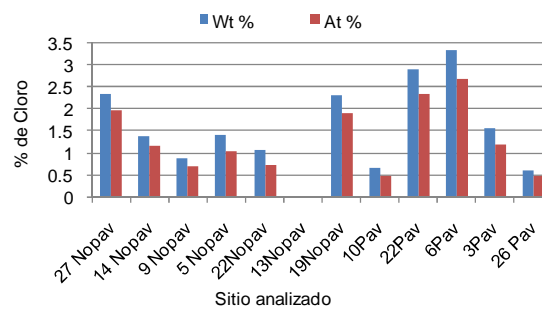
(c)



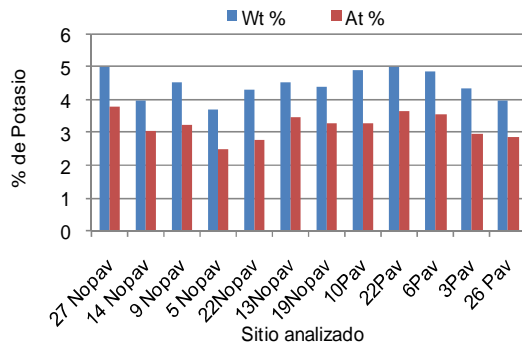
(d)



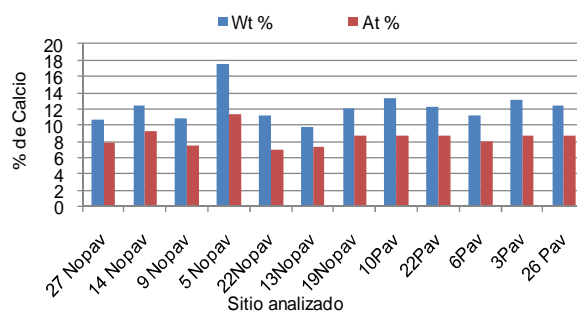
(e)



(f)

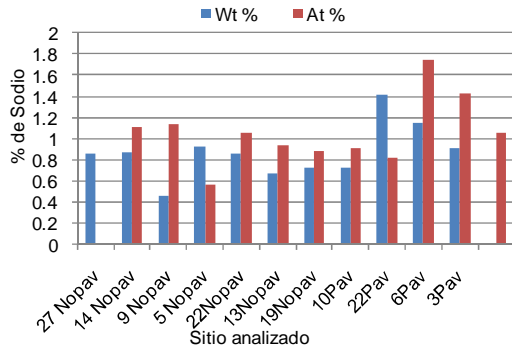


(g)

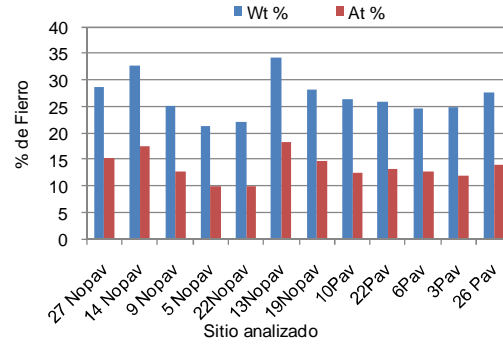


(h)

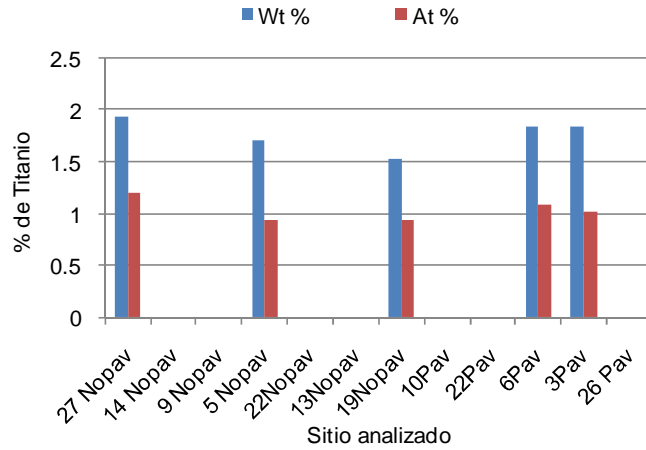
Figura 39- Relación porcentual de elementos en sedimentos en %W<sub>t</sub> a %A<sub>t</sub> de vialidades seleccionadas de la (a) a la (h).



(i)



(j)



(k)

Figura 40.- Relación porcentual de elementos en sedimentos en %W<sub>t</sub> a %A<sub>t</sub> de vialidades seleccionadas de la (i) a la (k).

De las figuras se puede ver que los elementos con mayor porcentaje son el oxígeno (O), aluminio (Al), silicio (Si) y fierro (Fe). Otra gráfica importante es la 40 (k), donde se describe al titanio (Ti) solamente en las vialidades no pavimentadas (puntos 21, 5 y 19), así como los puntos 6 y 3 de las vialidades pavimentadas.

La literatura indica que el Ti es parte de los elementos abundantes en la corteza terrestre (0.63%), que forma parte de un mineral abundante en arenas costeras, en forma común como son: TiO<sub>2</sub> (rutilo) y FeO, TiO<sub>2</sub> (Ilmenita).

En lo relacionado al magnesio y potasio, son elementos que caracterizarían más el tipo de arcilla del suelo identificada en algunas zonas de la Ciudad de Mexicali.

En el anexo A.8, se muestran fotografías del tipo de sedimento cuyo tamaño correspondió el tamaño de partícula medida que fué de 100 a 250  $\mu\text{m}$ . Posiblemente esta última fue una limitante para la detección de otros posibles elementos contaminantes, ya que los previamente mencionados son característicos del suelo de la región.

#### 4.3.2.2.- Método EDAX (Espectroscopia de análisis de rayos X, segundo análisis)

Un segundo tipo de muestreo fue analizado, utilizando de nuevo un equipo de electrón dispersador de rayos X conocido como EDAX. Las limitantes del ensayo son que únicamente se determinaron solo cuatro muestras de vías, un número de muestras muy reducidas (anexo A.9) y que se describen en la tabla 31. En dicha tabla se observa en las 4 vías el tipo de arcilla denominada Illita y en segundo lugar el cuarzo.

Tabla 31.- identificación de compuestos en tres puntos de vías no pavimentadas y una pavimentada.

Tipo de compuesto	Nombre químico	Identificación del compuesto en el punto de Vialidad			
		9 No pav.	14 No. pav	22 No pav	6pav
$\text{SiO}_2$	Cuarzo	X	X	X	
SZn	Sulfuro de zinc	X			
$(\text{K}, \text{H}_3\text{O}) \text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	Illita	X	X	X	X
$\text{CaCO}_3$	Calcita	X		X	
$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	Albita	X			
$(\text{Ca}, \text{Na}) (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_8$	Anorthita, sodio		X	X	
$\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Flogopita		X		
$\text{K}_2(\text{Al}_3, \text{FeO}_{26})(\text{Si}_6\text{AlO}_{20})(\text{OH})_4$ 74	Muscovita				X

#### 4.3.3.3.- Método ICP (Plasma Inductivo Acoplado)

Este método sirvió para la identificación de metales pesados que tienen cierta afectación a la salud como son el Pb, Hg, Zn y el Cd. En la Tabla 32 se observan los estándares y límites de suelo, que se retomaron, como referencia.

Tabla 32.- Límites permitidos de metales en suelos urbanos para Pb, Zn, Ni y Cr. (Machado et al, 2007)

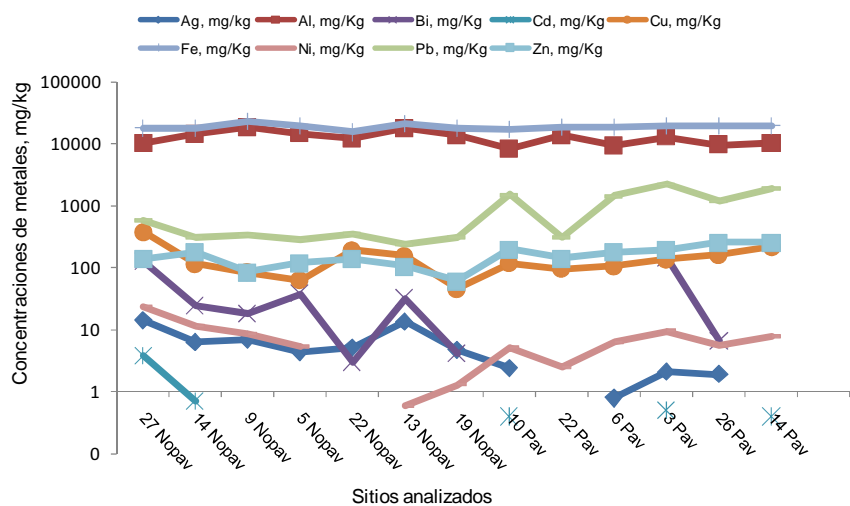
Normativas	Metales (mg/kg)			
	Pb	Zn	Ni	Cr
Gaceta oficial venezolana vigente, Decreto 2.635 (1998)	150	300	---	300
Regulación y control de contaminación de suelo de Turquía (TSPCR), Yukselen, 2002	150	50	100	250
EPA (Yu-Pin <i>et al.</i> 2002)	1 a 10	11 a 25	2 a 10	0.1 a 10
Ministerio de ambiente italiano (suelo urbano) (Imperato <i>et al.</i> 2003)	100	150	---	---

En la tabla 33 se identifican los metales de mayor importancia, donde destacan con valores mayores del zinc y el plomo, en base a los límites permitidos EPA, indicada en la primera columna de tabla 32, .

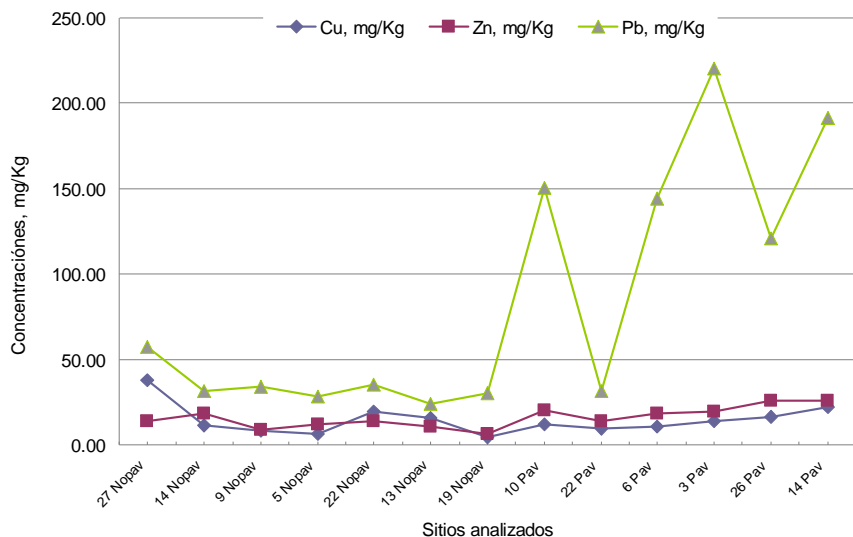
Tabla 33.- Resultados de elementos inorgánicos y metales pesados (método ICP)

Muestra No.	Sitios No.	Zona	X	Y	Concentraciones, mg/Kg								
					Ag,	Al	Bi	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
1	27 Nopav	SE	647332	3603401	0.144	1031.00	12.64	0.39	37.83	1805.00	2.37	57.18	13.89
2	14 Nopav	SW	639318	3607445	0.063	1422.00	2.43	0.07	11.53	1750.00	1.14	31.22	18.02
3	9 Nopav	NW	636738	3612482	0.0702	1866.00	1.83	0.00	8.50	2335.00	0.84	33.99	8.56
4	5 Nopav	NW	638698	3613817	0.044	1464.00	3.80	0.00	6.32	1894.00	0.54	28.65	11.94
5	22 Nopav	SE	649085	3609054	0.052	1221.00	0.30	0.00	19.36	1553.00	0.00	35.02	13.99
6	13 Nopav	SW	642637	3606120	0.134	1775.00	3.22	0.00	15.90	2102.00	0.06	24.01	10.63
7	19 Nopav	NE	649510	3611700	0.048	1370.00	0.41	0.00	4.55	1810.00	0.13	30.39	6.17
8	10 Pav	NE	643873	3614139	0.024	831.50	0.00	0.04	11.88	1727.00	0.51	150.70	20.10
9	22 Pav	SE	653196	3605414	0	1381.00	0.00	0.00	9.64	1819.00	0.25	31.41	14.16
10	6 Pav	NW	640886	3612575	0.008	938.40	0.00	0.00	10.57	1838.00	0.63	144.10	18.06
11	3 Pav	SW	640649	3609669	0.021	1281.00	14.50	0.05	14.01	1906.00	0.94	220.70	19.66
12	26 Pav	SE	651285	3609050	0.019	950.30	0.65	0.00	16.28	1928.00	0.55	121.10	26.00
13	14 Pav	NE	645573	3611115	0	1015.00	0.00	0.04	21.96	1971.00	0.77	191.50	25.70

En las figuras 41 (a) se observan resultados de los sitios de las muestras seleccionadas, cuyos valores más altos corresponden el siguiente orden decreciente Al> Fe> Pb > Zn> Cu> Bi>Ni>Ag>Cd. La presencia de los dos primeros elementos es más característica del suelo. Los otros elementos posiblemente sean contribuciones de fuentes antropogénicas y un blanco comparativo.



(a)



(b)

Figura 41.- Relación de de elementos inorgánicos (a) aluminio (Al) y fierro (Fe) y (b) metales pesados plomo (Pb), zinc (Zn) y cobre (Cu).

Con base a lo recomendado en la tabla 32 y 33, se consideraron tres elementos importantes que podrían ser analizados como fueron el Pb > Zn > Cu [figura 41 (b)]. En particular por su afectación a la salud y por ser identificada su fuente indirecta de los vehículos como son los frenos y desgaste de llantas.

## CAPITULO V

### ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1.- Concentración de material particulado PM<sub>10</sub> y Factor de emisión

En los muestreos de sedimentos realizados en las vialidades pavimentadas y no pavimentadas de la ciudad de Mexicali, en la temporada invierno-primavera (febrero a mayo), las concentraciones de PM<sub>10</sub> estuvieron arriba de su norma que corresponde a 120 µg/m<sup>3</sup>. Esto se puede observar en la figura 42 y le corresponden factores de emisión (FE) promedio de PM<sub>10</sub> de las vías no pavimentadas de 2.33 y 0.58 Kg/VKT para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, en los cuales se encontró un porcentaje de error estándar de 22 y 5.4 %, respectivamente. En relación a los tramos pavimentados los valores fueron de 0.923 y 0.734 Kg/VKT para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, con un error estándar de 4% y 5.6 %, respectivamente.

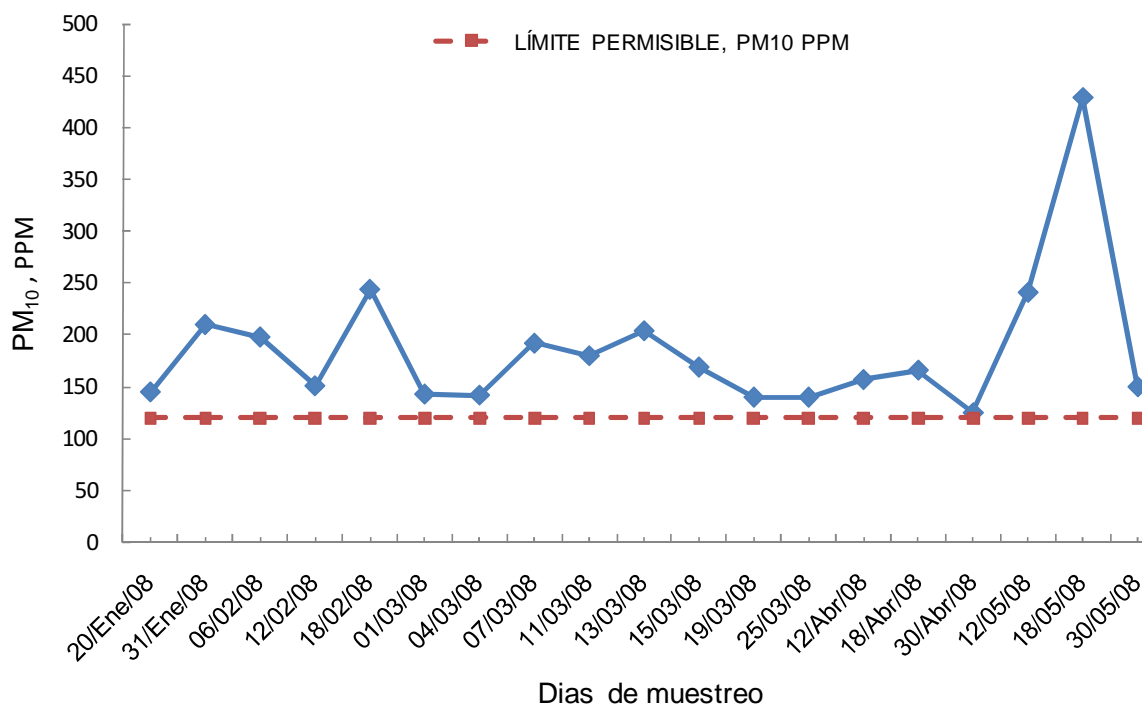


Figura 42.- Número de días de violaciones del año 2008 en los meses de enero a mayo, temporada de muestreo (invierno-primavera, base de datos de AQS-EPA, 2009)

Las diferencias significativas entre los valores de concentración de los sedimentos con otros estudios como se muestran en la tabla 34, radica en el

tipo de suelo y localización geográfica, tal como ha sido evidenciado en algunas regiones de Europa, Estados Unidos y México (Ketzela et al 2007, William et al, 2008, Flores et al., 2005). Al comparar los resultados con algunos obtenidos en Nevada, EEUU, por Abu-Allaban et al. (2003), los de éste último fueron parecidos a los encontrados en Mexicali, B.C., para el caso de FE de  $PM_{10}$  en vías pavimentadas; por otro lado fué diferente a lo encontrado por Flores et al. (2005) en Chihuahua, Chih., y mucho menor a lo de Ramírez (2004), en D.F. México. Este último se explica en términos de la limpieza de las vías urbanas.

En lo relacionado al FE de  $PM_{10}$  en vías no pavimentadas no hay comparación con Nevada y las otras dos ciudades de México. Este problema de las  $PM_{10}$  ha caracterizado a la ciudad de Mexicali y por consecuencia sus valores son altos. William et al. (2008) mencionan una gran predominancia de  $PM_{2.5}$  en relación con las altas velocidades de los vehículos.

Tabla 34.- Comparación de mediciones de FE, g/VKT (modificado Meza et al, 2009)

Parámetros	FE, (D.F., México)	FE (Chih., Chih.)	FE (Nevada, EEUU)	FE (Mexicali, B.C)
$PM_{10}$ (pav.)	0.429	378	90-840	923
$PM_{2.5}$ (pav.)	0.103	1, 730	6-87	734
$PM_{10}$ (no pav.)	207.8	182		2, 330
$PM_{2.5}$ (no pav.)	30.4	48		580

## 5.2.- Herramientas para validación de información

Es importante llevar a cabo un análisis estadístico de los resultados de la experimentación considerando la distribución de la muestra. La parte estadístico (variable aleatoria) se compara con los parámetros poblacionales tales como:  $X = \mu$  (media muestral y poblacional respectivamente);  $S^2 = \sigma^2$  (desviación estándar de la muestra y población respectivamente);  $S = \sigma$  (varianza estándar de la muestra y población respectivamente)

Las gráficas correspondientes fueron expuestas en el capítulo IV en donde se observó cómo se seleccionaron las muestras en las cuatro zonas previamente

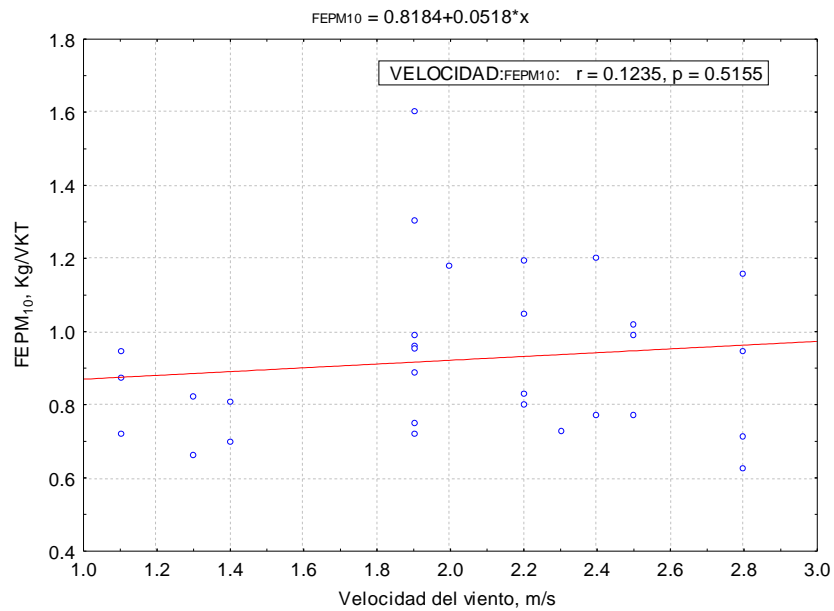
elegidas, correspondientes a la figura 29 (a) y (b) FE  $PM_{10}$  y FE  $PM_{2.5}$ , respectivamente (página 77). Los puntos analizados corresponden a comportamientos de diferentes valores medios, verificados en la figura 30 (a) y (b) (página 78) en donde la distribución de sus datos no es normal. Y finalmente la figura 31 (página 79), en la cual se identifican las zonas donde posiblemente se originarán las contribuciones de emisiones a la atmósfera. Se obtuvieron correlaciones de Spearman de 0.53 y 0.44 para FE  $PM_{10}$  y FE  $PM_{2.5}$ , respectivamente y entre ambos el FE tiene un valor de significancia de 0.88.

En lo referente a las figuras 32 (a) y (b) (página 81) presentan comportamientos de medias distintas y en la figura 33 (a) y (b) (página 82) se corrobora que no es una distribución normal. Finalmente, la figura 34 (página 83) muestra comportamiento de valores similares. La correlación de Spearman fué de 0.464 para FE  $PM_{10}$  y para ambos FE fué 0.92. Esto explicaría el porqué del comportamiento de tendencias similares entre ambos factores, ya que parecería que el FE  $PM_{2.5}$  esta contenido en el FE  $PM_{10}$ .

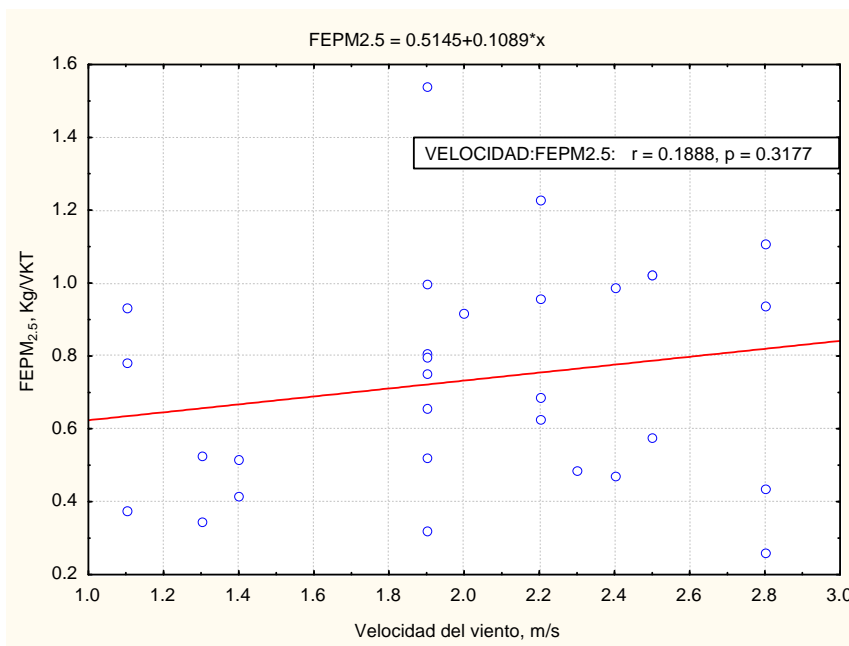
Las vías pavimentadas que se muestrearon son receptoras de emisiones de fuentes puntuales y no puntuales, pero también es de interés explicar que el material particulado que se encuentra en una vía urbana cualquiera estará en función del tipo de suelo, peso vehicular y velocidad de los vehículos en circulación, y de factores meteorológicos como los días con precipitación pluvial. Estos análisis son parte de la inferencia estadística para valorar que los datos obtenidos de un tamaño de muestra seleccionada de una determinada población, en este caso sin reemplazo e independiente, pueden ser admitidos con un nivel de significancia aceptable.

#### *5.2.1 -Correlación de variables que influyen en la determinación del factor de emisión.*

Se tomaron los días de trabajo de campo con base al tiempo de aforo realizado en los muestreos y se observaron los siguientes comportamientos. En las gráficas de la figura 43 (a) y (b) se muestra el comportamiento de la velocidad del viento y FE, en vías pavimentadas que resultaron con correlaciones de 0.1235 y 0.188 para FE  $PM_{10}$  y FE  $PM_{2.5}$  respectivamente con una probabilidad de no éxito de ser aceptada de 0.52.



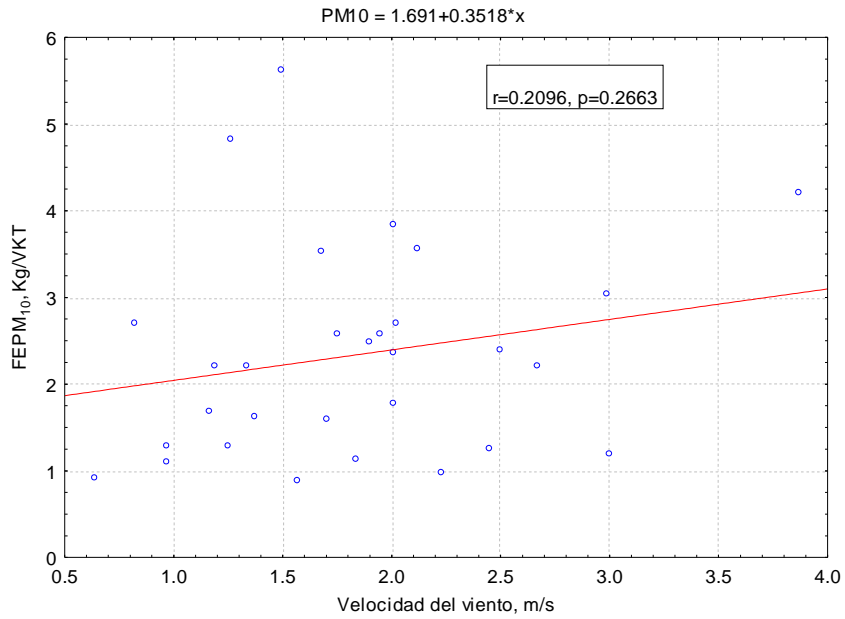
(a)



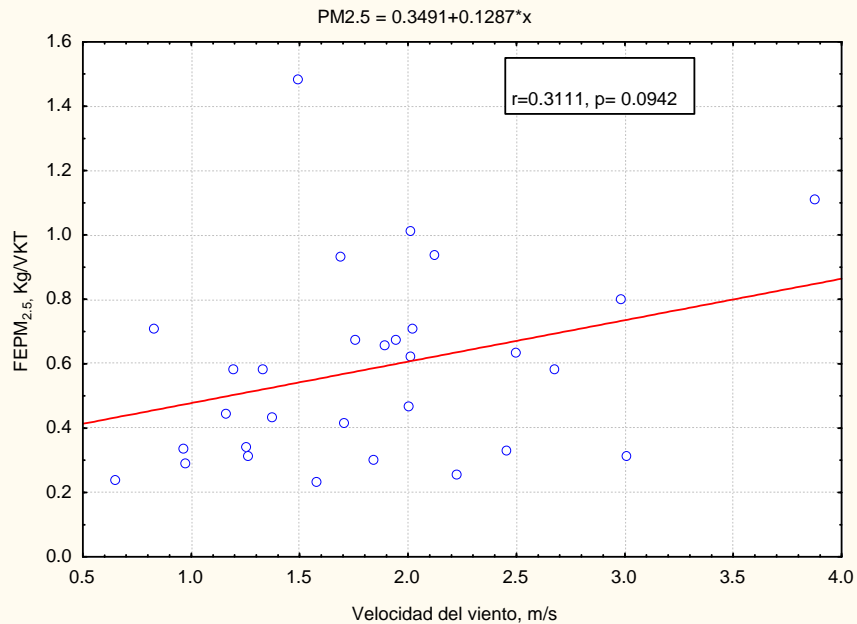
(b)

Figura 43.- Relación del FE y velocidad del viento en vías pavimentadas los días muestreados PM<sub>10</sub> (a) y PM<sub>2.5</sub>. (b)

De igual manera se llevo a cabo una correlación lineal entre la variable independiente velocidad del viento y los factores de emisión. Se obtuvieron valores de 0.2096 para FE PM<sub>10</sub> y 0.311 para PM<sub>2.5</sub> [figura 44 (a) y (b)]



(a)



(b)

Figura 44.- Relación del FE PM<sub>10</sub>, FE PM<sub>2.5</sub> y velocidad del viento en vías no pavimentadas.

Es importante mencionar que la gráfica de la figura 43 (a) es la que más se correlaciona con el viento. Por lo que se esperaría que a mayor velocidad mayor sea el FE PM<sub>2.5</sub>.

De acuerdo al tipo de distribución que se encontró en los resultados se llevó a cabo un análisis de ajuste por el coeficiente de Persson en las graficas anteriores, con el mismo paquete estadístico utilizado: Statistica versión 8. Se buscaron correlaciones de Spearman que darían una información mas directa entre los valores significativos, diferentes de los factores de emisión de la carga ( $\text{g/m}^2$ ) y el % de sedimento, de la velocidad (m/s) y dirección del viento (grados), de acuerdo al día y tiempo de recolección de muestra, la cual se encontraba dentro del intervalo de aforo de vehículos.

Los resultados se muestran en la tabla 35, cuyas correlaciones más significativas (valores enumerados de color rojo) son como los FE que se correlacionan mas con el área o zona de muestreo y % de sedimento. Esto último ya se había observado en la grafica de la figura 31(página 79). También se observan valores significativos en las correlaciones de las velocidades del viento y sedimento con el área, donde en la figura 44 (b) se muestra una parte de este comportamiento.

Tabla 35.- Correlaciones de Spearman de las variables de vías no pavimentadas.

Variable	Correlaciones de Spearman, las correlacion marcadas son significativas a $p < .05000$						
	Area	FEPM <sub>10</sub>	FEPM <sub>2.5</sub>	Velocidad del viento	Dirección del viento	Sedimento	Velocidad del vehículo
Area	1.0000	0.5283	0.5380	0.3622	0.0544	0.4407	0.0325
FEPM <sub>10</sub>	0.5283	1.0000	0.8824	0.2254	0.0756	0.8550	0.2467
FEPM <sub>2.5</sub>	0.5380	0.8824	1.0000	0.3120	0.1099	0.8297	0.0820
Velocidad del viento	0.3622	0.2254	0.3120	1.0000	0.2177	0.2352	-0.2226
Dirección del viento	0.0544	0.0756	0.1099	0.2177	1.0000	0.0122	-0.2358
Sedimento	0.4407	0.8550	0.8297	0.2352	0.0122	1.0000	0.0985
Velocidad del vehículo	0.0325	0.2467	0.0820	-0.2226	-0.2358	0.0985	1.0000

De la tabla 36 se observa la correlación entre las variables de FE  $\text{PM}_{10}$  contra peso vehicular y peso del sedimento o carga de mismo, siendo muy importante el área, que posiblemente eso hace que el FE  $\text{PM}_{2.5}$  sea tan significativo su valor con el FE  $\text{PM}_{10}$ , por eso la figura 34 (página 83) muestra su correlación tan significativa con un valor de significancia de 0.8824.

Tabla 36.- Correlaciones de Spearman de las variables de vías pavimentadas.

Correlacion en tramo pavimentado Las correlaciones son significativas a $p < .05000$								
Variable	Area	FEPM <sub>10</sub>	FEPM <sub>2.5</sub>	Dirección del viento	Velocidad del viento	Peso vehicular	Velocidad del vehículo	Peso de sedimento
Area	1.0000	0.4640	0.2812	0.2157	-0.0470	0.7230	0.5180	-0.0037
FEPM <sub>10</sub>	0.4640	1.0000	0.9235	0.1854	0.1201	0.4727	0.2820	0.6948
FEPM <sub>2.5</sub>	0.2812	0.9235	1.0000	0.1769	0.2193	0.2950	0.0795	0.8981
Dirección del viento	0.2157	0.1854	0.1769	1.0000	0.1750	0.0466	0.1130	0.1809
Velocidad	-0.0470	0.1201	0.2193	0.1750	1.0000	0.0280	-0.3088	0.2153
Peso vehicular	0.7230	0.4727	0.2950	0.0466	0.0280	1.0000	0.5095	-0.0001
Velocidad del vehículo	0.5180	0.2820	0.0795	0.1130	-0.3088	0.5095	1.0000	-0.0727
Peso de sedimento	-0.0037	0.6948	0.8981	0.1809	0.2153	-0.0001	-0.0727	1.0000

Nota: El cuarto renglón corresponde a la velocidad del viento

Un dato importante de la tabla 36, es como la dirección y velocidad del viento no son significativas, pero sin embargo las variables velocidad y peso de los vehículos son significativos entre ellos. Este último parámetro se correlaciona muy bien con el FE  $PM_{10}$ , que es el que al estar sobre la vialidad el peso y velocidad hace que se genere este tipo de material particulado (MP) a ser emitido. De igual manera el área sigue siendo un parámetro importante para la emisión de MP como lo indica el FE  $PM_{10}$ .

Es importante aclarar que los que pudiesen contribuir al FE correspondería más a los vientos provenientes de las zonas del noreste como muestran las rosas del viento de las figuras 35 y 36 (página 86), característicos de zonas agrícolas y parte del desierto de sonora.

Los altos contribuyentes al MP podrían ser los polvos encontrados en algunas vialidades pavimentadas, ya que la hipótesis que se maneja es, que la acción mecánica de las llantas de los vehículos automotrices sobre las vías urbanas puede contribuir a la pulverización del sedimento depositado en éstas, para ser suspendido como tipo  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ .

En la tabla 31 y 32 se verifican los valores resultantes de la DV con los FE  $PM_{10}$  y FE  $PM_{2.5}$  que no fueron significativos en ambas vías.

### 5.2.2.- Factores de emisión por zonas, a nivel espacial

Otra manera de observar el comportamiento de los valores de los FE es a través de un análisis espacial, apoyado con la herramienta de trabajo diseñada,



Los valores de FE de  $PM_{2.5}$ , en la figura 46, fueron de 0.6 a 0.95 kg/VKT en la zona sur y sureste, áreas que coinciden con los valores de FE altos y de igual manera en la zona Noroeste y Noreste, que corresponde al área periférica, que da un FE por arriba de 0.7 kg/VKT, característica del movimiento de tráfico pesado.

Esto se relaciona con los resultados experimentales que encontraron Williams et al. (2008) en Nuevo México y Goossens y Buck (2009), quienes afirman que dependiendo de la textura del suelo será la cantidad de material particulado que se puede encontrar. De los resultados que muestra la tabla 28 (página 87), se observan sitios de vías no pavimentada tipo franco arcilla arenosa, identificados en las partes periféricas de la ciudad.

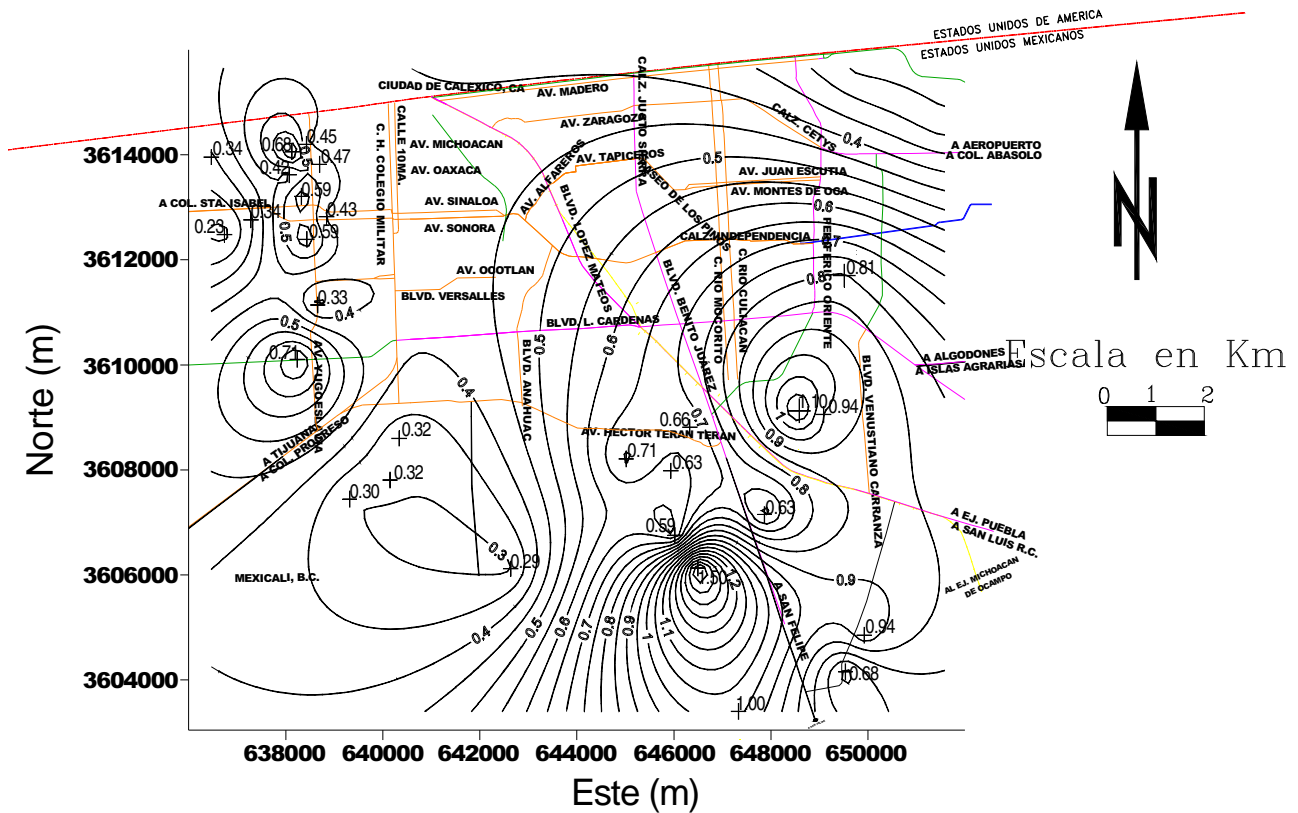


Figura 46.- Isocóntas de valores de FE para  $PM_{2.5}$  (vías no pavimentadas, Meza et al 2009).

En lo relacionado a los tramos pavimentados (Figura 47), se tienen los FE de  $PM_{10}$ , de 0.7 a 1.2 kg/VKT en las áreas periféricas, en las cuales se encuentran los valores más alto en las cuatro zonas, a excepción de que en la parte centro

se encuentra un pico de 1 kg/VKT, lo cual se puede atribuir a la erosión del viento por su ubicación geográfica. Se tiene el antecedente que existe un transporte transfronterizo de  $PM_{10}$  que es influenciado por la dirección del viento y la cantidad de MP generado en cada lado de la frontera (Quintero y Sweedler, 2005). Por la información de la tabla 36, esta última variable no fue importante aquí, sino más bien el polvo del suelo que pudiera estar depositado en las vialidades.

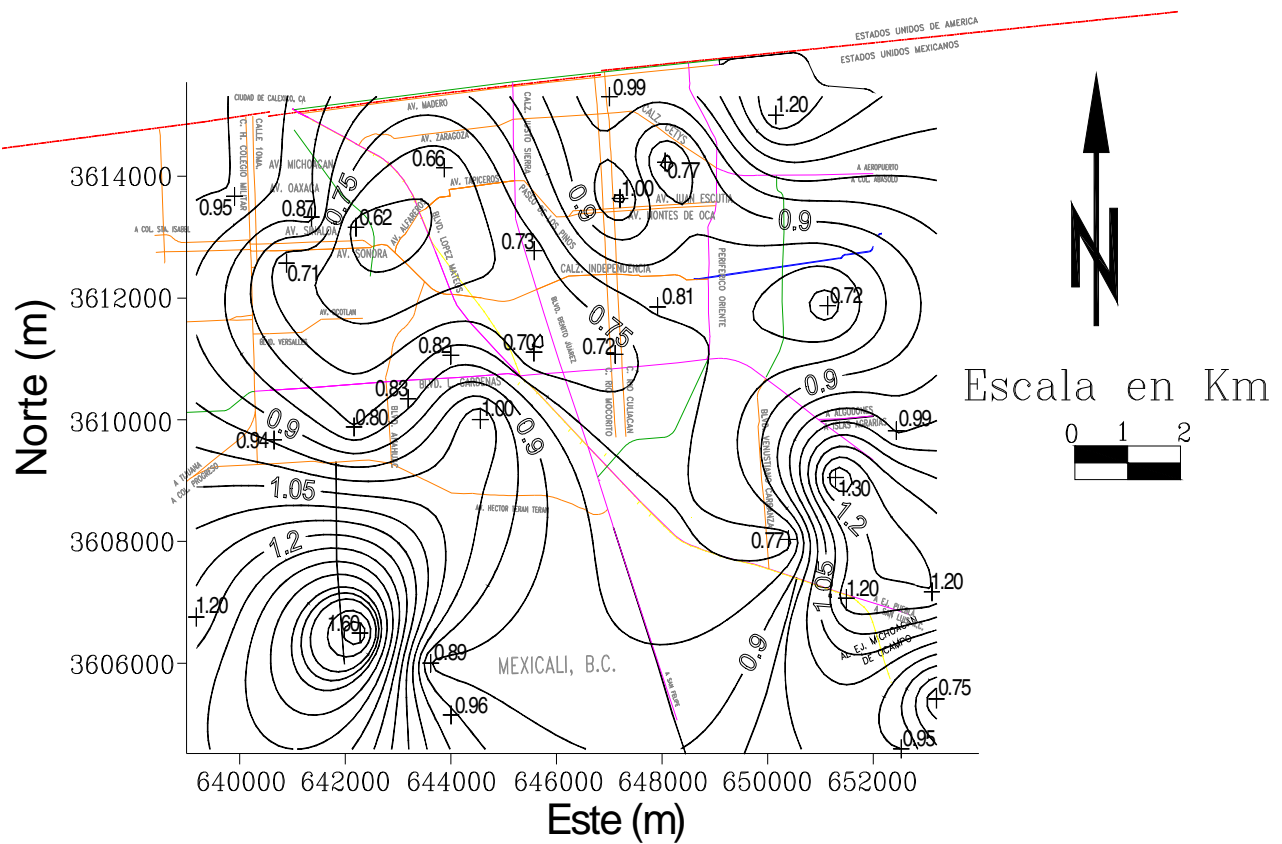


Figura 47.- Isolíneas de valores de FE para  $PM_{10}$  (vías pavimentadas, Meza et al, 2009)

De igual manera en la, Figura 48, los resultados de los FE de  $PM_{2.5}$ , se le pueden atribuir al movimiento de tráfico pesado, con valores de 0.47 a 1 kg/VKT en la zona del Noreste y de 1 a 1.2 kg/VKT en la zona Norte y Noroeste, respectivamente, donde ambos puntos están cerca de la línea internacional. Abu-Allaban et al. (2003) asignaban valores altos de  $FE_{2.5}$  a los vehículos de diesel, identificados como pesados o también a un número grande

de vehículos en una vialidad. En el área Noroeste se reportan valores en el rango de 0.9 a 1.2 y un pico alto de 1.6 kg/VKT al suroeste, la cual comunica con el libramiento Mexicali-Tijuana, que cuenta con movimiento de tráfico pesado.

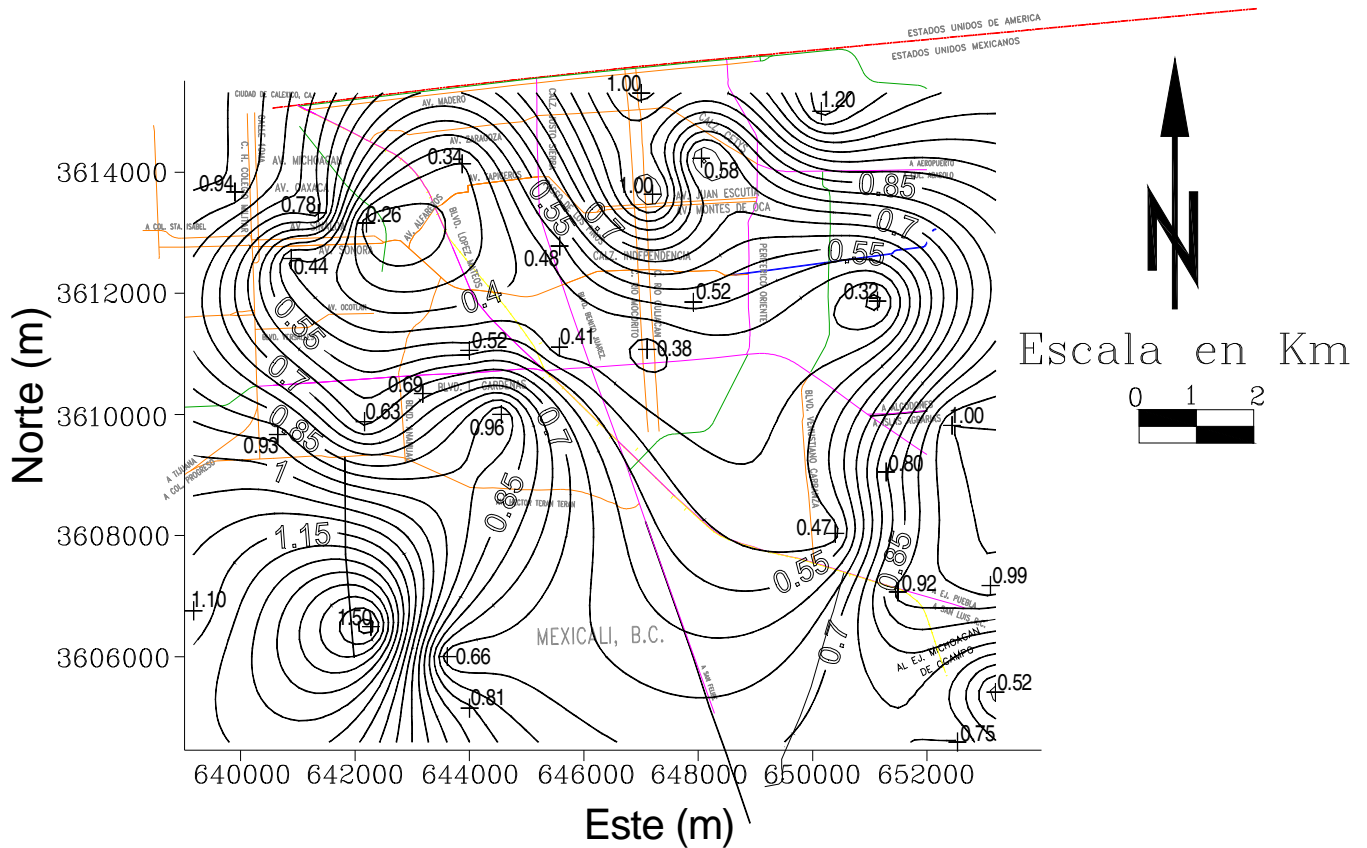


Figura 48.- Isolíneas de valores de FE para PM<sub>2.5</sub> (vías pavimentadas, Meza et al, 2009)

Las gráficas anteriores muestran de manera general como el MP se distribuye en la zona de estudio, relacionándolo más al número de vehículos y a su resuspensión que a las posibles partículas al ser depositadas.

A lo largo de este capítulo se ha estado planteando el rozamiento de las llantas sobre la vialidad en el área delimitada sugerida por la norma para la colección del sedimento, como una fuente de MP, por eso fue relevante que no se considerara el polvo acumulado cerca de las banquetas.

### 5.3.- Caracterización de suelos de sitios seleccionados.

#### 5.3.1.- Elementos importantes identificados

La presencia de compuestos inorgánicos y orgánicos identificados en el capítulo de resultados, se relacionan con las características de los tipos de suelos y de arcillas en particular en las vialidades no pavimentadas, donde se observa las clasificaciones de suelo encontrados en la figura 49.

En particular para las vialidades no pavimentadas se tiene una textura franco arcilla arenoso y para las pavimentadas franco arenoso, de acuerdo al triángulo de clasificación de suelos por textura del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América.

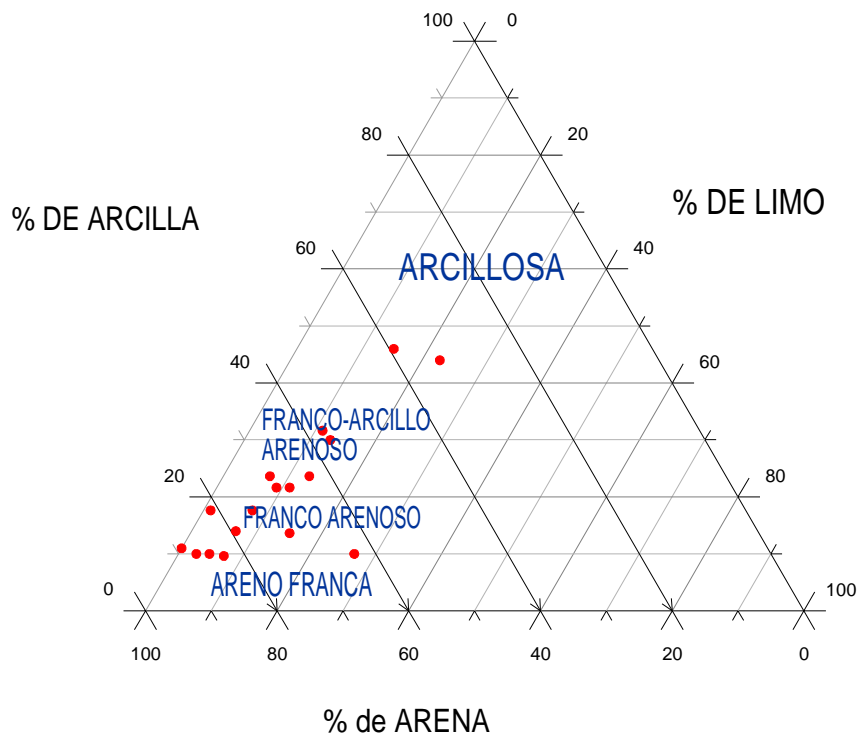


Figura 49.- Triángulo de textura en vialidades pavimentadas y no pavimentadas. (Meza, 2009)

Por la presencia de potasio y magnesio en las muestras determinadas por el método EDX resulta una arcilla tipo *Illita*, corroborado en un segundo análisis donde su presencia fue significativa en las cuatro muestras. Este tipo de arcillas no se pueden considerar contaminantes, pero la aparición de otros

elementos que afecten a la salud y al medio ambiente, tal como los metales pesados son considerados como importantes ya que existen los estándares que regulan su peligrosidad, con límites permisibles.

De lo que se presentó en el capítulo IV de las gráficas de la 41 (a) y (b) (página 95) se observó la presencia de ciertos elementos inorgánicos y metales pesados, y con el apoyo de la correlación de Spearman se identificaron los parámetros mas significativos mostrados en la tabla 37.

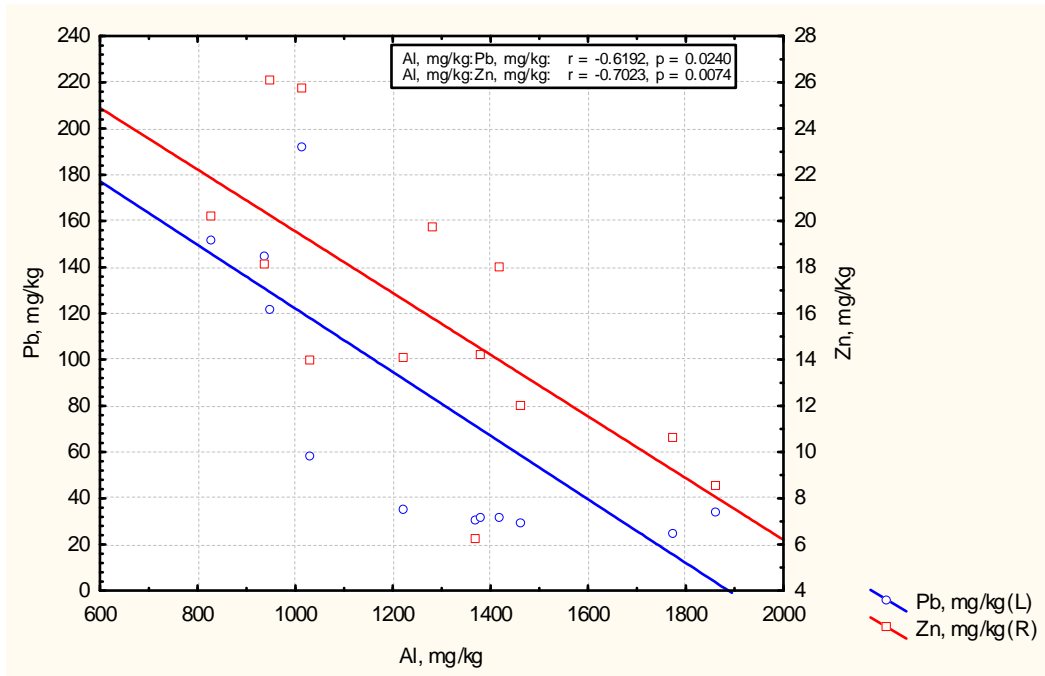
Lo que llamó la atención fueron los resultados de la correlación inversa del aluminio (**Al**) contra el plomo (**Pb**) y Zinc (**Zn**) con valores de -0.7527 y -0.7308, respectivamente. Asimismo, el valor significativo del Pb y el Zn con un valor de 0.7692.

Tabla 37.- Correlaciones de Spearman de elementos inorgánicos y de metales pesados en distintas vías.

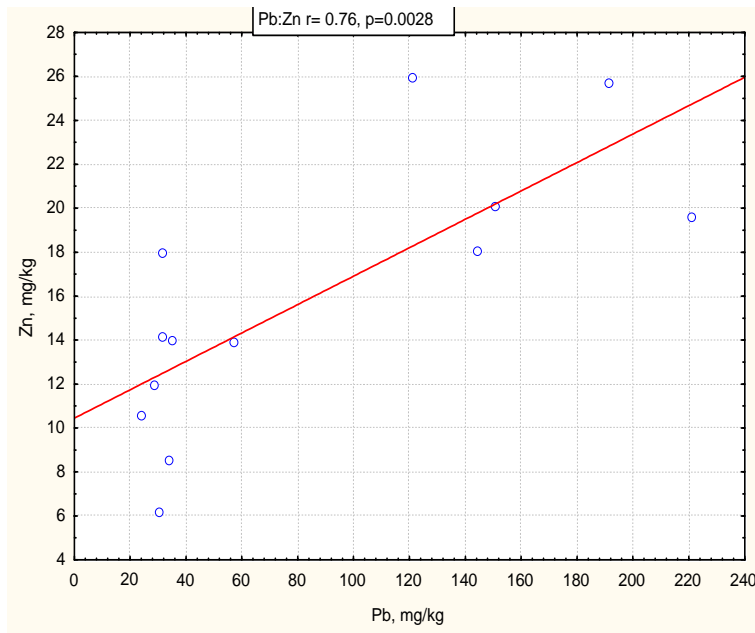
Correlaciones de spearman Las correlaciones son significativas las de $p < .05000$									
Variable	Al, mg/Kg	Ag, mg/Kg	Bi, mg/Kg	Cd, mg/Kg	Fe, mg/Kg	Ni, mg/Kg	Pb, mg/Kg	Zn, mg/Kg	Cu, mg/Kg
Al, mg/Kg	1.0000	0.4869	0.4903	-0.2479	0.3681	-0.0604	<b>-0.7527</b>	<b>-0.7308</b>	-0.4505
Ag, mg/Kg	0.4869	1.0000	<b>0.6137</b>	0.1760	-0.1073	0.0963	-0.5034	<b>-0.6630</b>	0.0825
Bi, mg/Kg	0.4903	<b>0.6137</b>	1.0000	0.3277	0.2061	0.4067	-0.2507	-0.3371	0.0780
Cd, mg/Kg	-0.2479	0.1760	0.3277	1.0000	-0.2981	<b>0.7186</b>	0.4393	0.3452	0.4707
Fe, mg/Kg	0.3681	-0.1073	0.2061	-0.2981	1.0000	0.1484	-0.0220	-0.0495	-0.0604
Ni, mg/Kg	-0.0604	0.0963	0.4067	<b>0.7186</b>	0.1484	1.0000	0.4066	0.2582	0.1923
Pb, mg/Kg	<b>-0.7527</b>	-0.5034	-0.2507	0.4393	-0.0220	0.4066	1.0000	<b>0.7692</b>	0.4780
Zn, mg/Kg	<b>-0.7308</b>	<b>-0.6630</b>	-0.3371	0.3452	-0.0495	0.2582	<b>0.7692</b>	1.0000	0.4835
Cu, mg/Kg	-0.4505	0.0825	0.0780	0.4707	-0.0604	0.1923	0.4780	0.4835	1.0000

En la tabla 37 también se observan otras correlaciones significativas (valores enumerados de color rojo) como es la plata (**Ag**) con el bismuto (**Bi**) y **Zn**, así como el cadmio (**Cd**) con el níquel (**Ni**).

Pero la atención estará en enfocada al Pb y Zn por su afectación a la salud y que en ciertos países se cuentan con una norma de regulación (tabla 32, página 94). Por eso en las siguientes figura 50 (a) y (b) se observa el comportamiento del **Al** vs. el **Pb** y **Zn**.



(a)



(b)

Figura 50.- Correlación del Pb vs Zn en vías pavimentadas y no pavimentadas.

La razón por la cual se correlaciona el Al con los metales pesados (Pb, y Zn), es que por los análisis realizados en los sitios de muestreo resulta más un tipo de sitio franco arcilla arenoso o arcilla. En una investigación previa (Hasan T. et al 2006), se señala al **Al** como un elemento inmóvil. De ahí que por lo que a

mayor cantidad de aluminio, menor sería la presencia del Pb y Zn. También la correlación del Pb con el Zn (Zn/Pb) es significativa ya que en algunas imágenes que resultaron de los análisis semicuantitativos por EDX, se observó un color plateado, que pudiera ser la presencia del Zn/Pb (anexo 8 de la figura 7 A correspondiente al sitio 19 no pavimentado).

Las fuentes potenciales de MP, son el resultado de polvos resuspendidos de la afluencia vehicular en las vías urbanas, considerado por algunos investigadores (Ketzall et al 2007, Abu - Allaban, et al 2003, Goosens y Buck 2009 y William et al 2008), como una emisión indirecta producto de la erosión de la vía, los neumáticos y la estela turbulenta, como se muestra en la figura 51.

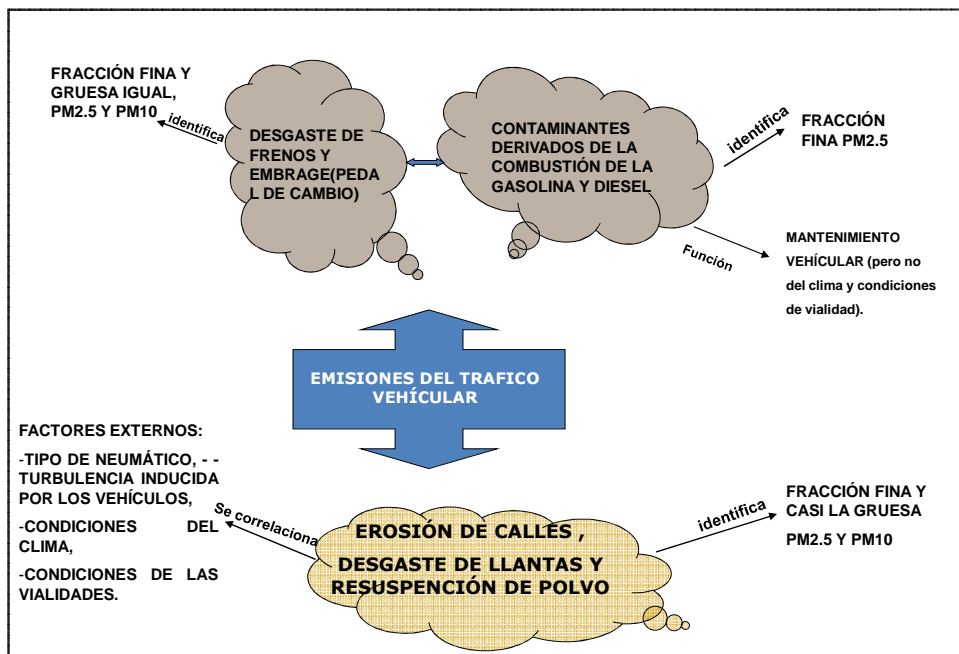


Figura 51.- Emisiones de Material particulado y su fuente (Modificada, Meza, 2009).

De acuerdo con algunas investigaciones llevadas a cabo en diversos países [(Venezuela (Machado, 2008), España (Zafra, 2007) Italia (Imperato et al, 2004) y Jordania (Hassan T et al, 2006)], en las vialidades se encuentran metales pesados por la acción mecánica de los vehículos sobre las vías urbanas, ya sea por la erosión de los neumáticos sobre las vías o el desgaste de los frenos y el clutch.

En seguida se muestra los metales pesados más significativos como fueron el Zn, figura 52 y plomo, figura 53, que son considerados importantes, de acuerdo a las concentraciones medidas en relación a los límites permisibles que deberán cumplir.

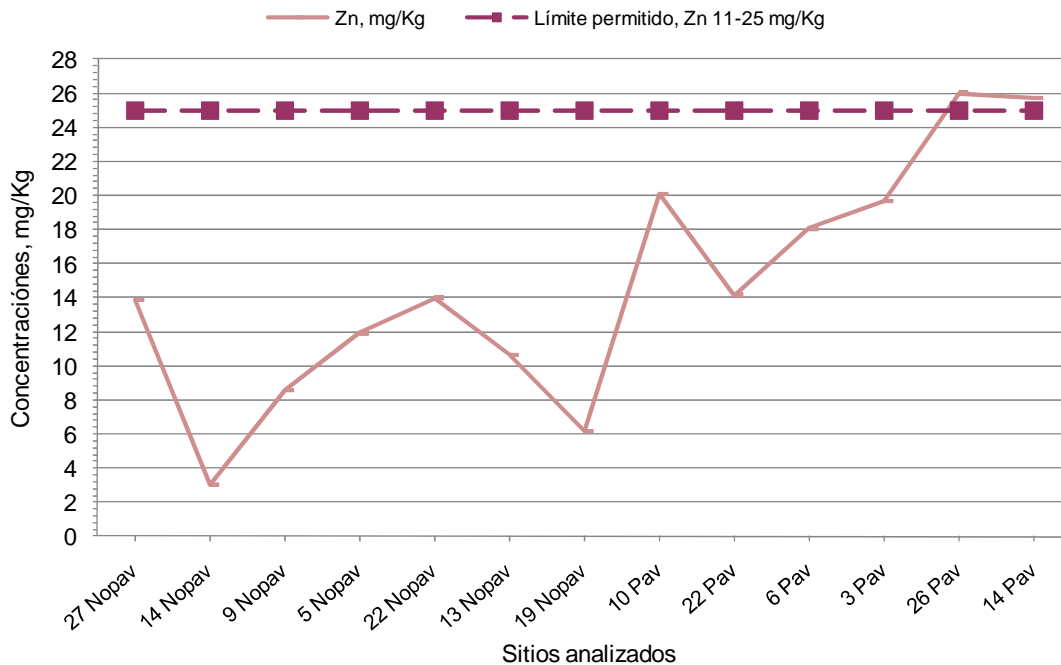


Figura 52- Comportamiento del zinc en las vialidades pavimentadas y no pavimentadas

Aunque el zinc, en las dos últimas vías se muestra arriba del límite permisible, la gráfica del plomo es más reveladora (figura 52). Del cobre no fue posible tener los límites permitidos y su correlación no fue significativa, pero Machado, 2007, lo consideró importante porque le atribuye principalmente al tráfico vehicular su existencia en las vialidades.

Los elementos Cu y Zn, fueron identificados por Osornio, et al 2007, en ambos tamaños de partículas  $PM_{10}$  y  $PM_{25}$ , que fueron clasificados como de origen antropogénico, pero no así el plomo (figura 53), que por cuestiones prácticas se consideró de más importancia por tener un valor de referencia en cuanto a su concentración de límite ya establecido.

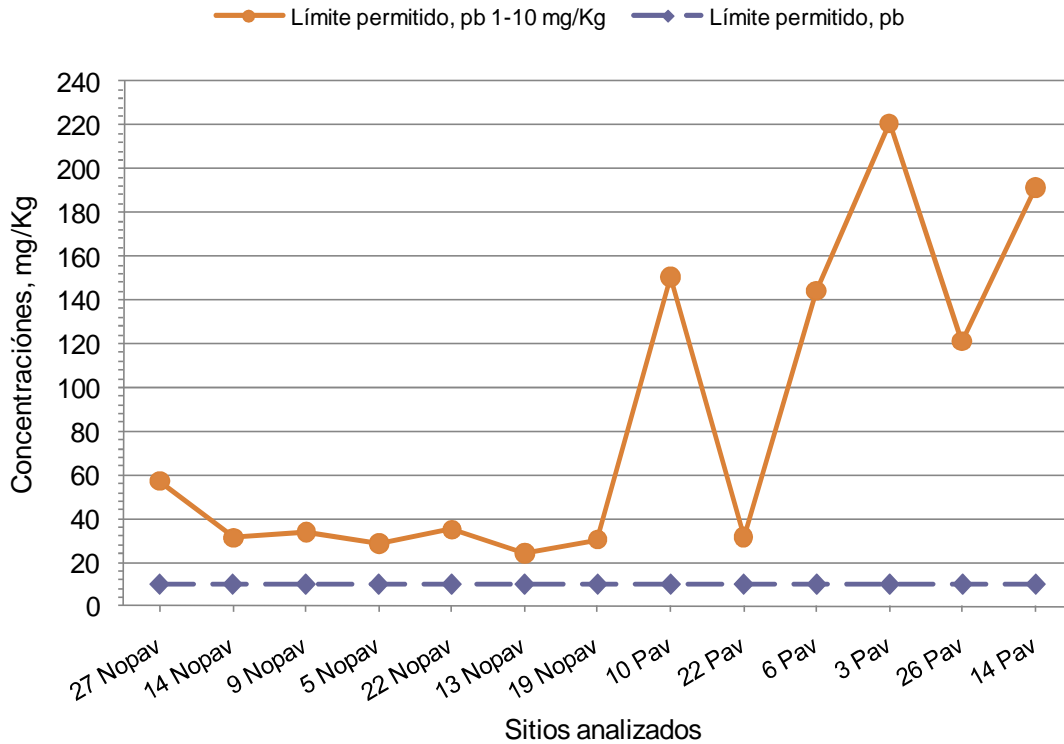


Figura 53.- Comportamiento del plomo en las vialidades pavimentadas y no pavimentadas.

### 5.3.2.- Metales pesados a nivel espacial

En las figuras 54 a la 56, se muestran los valores de las concentraciones de los metales (Pb, Cu y Zn) distribuidos a nivel espacial y considerando la dirección del viento se pueden tener datos de las zonas con altas concentraciones de esos metales pesados donde se evidencian los mayores valores en la parte Sur de la ciudad, excepto en la parte Centro, cerca de la zona de monitoreo de la UABC.

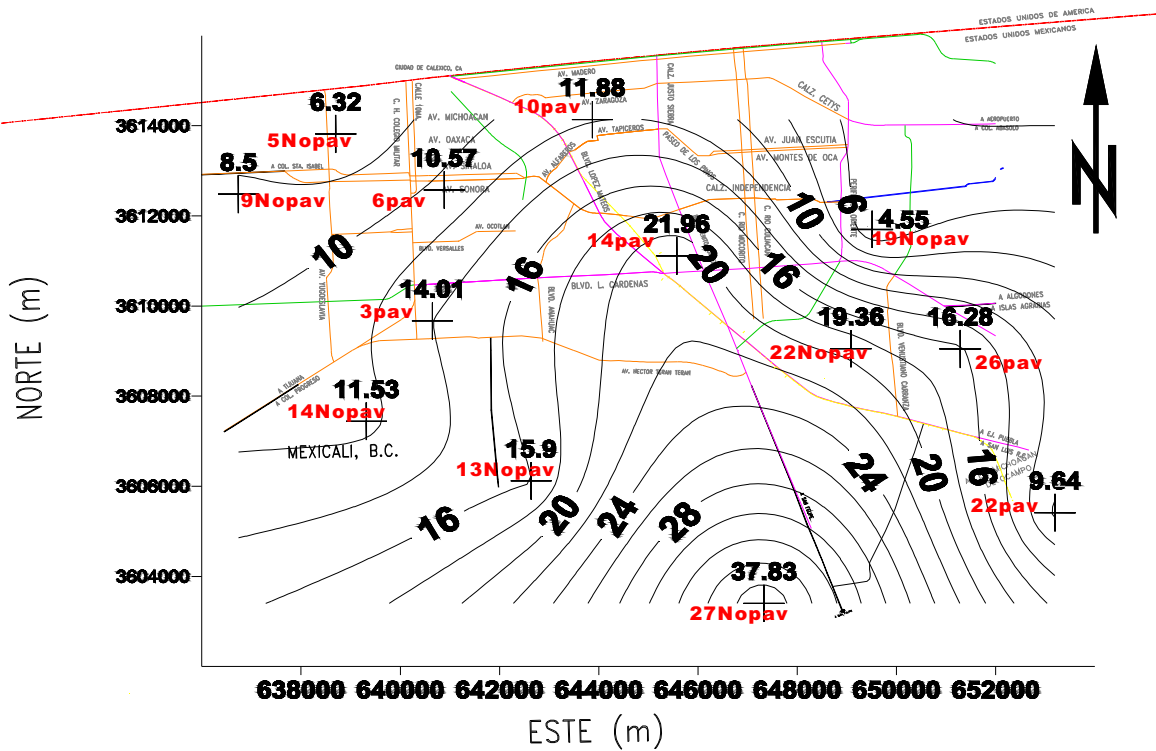


Figura 54.- Isolíneas de valores de zinc en vialidades pavimentadas y no pavimentadas en material particulado menor a 75µm (Meza, 2009)

Esto último se relaciona con un estudio realizado por Osornio et al (2007) donde se tomaron muestras de suelo en las vialidades cercanas al sitio de la UABC y CONALEP para la inoculación de células vivas para ver el efecto de la composición del MP en la generación de cáncer. Se evidenció la presencia de cobre y zinc, en los dos tipos de partículas (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>).

Las muestras de Osornio se pueden comparar con las de los puntos 14 y 22 de vías pavimentadas de este trabajo. En lo referente al zinc (figura 54), el punto 14 (no pavimentada) y 26 (pavimentada) tiene un valor alto, ya que se encuentra arriba del límite permisible de la norma vigente.

En lo relacionado al cobre (Figura 55), también se encontró un pico de concentración alto, en la zona de alto tráfico vehicular, sumado a los arrastres de polvo que se depositan por la dirección del viento predominante, del norte, ya que la época de muestreo correspondió a los meses de abril y mayo.

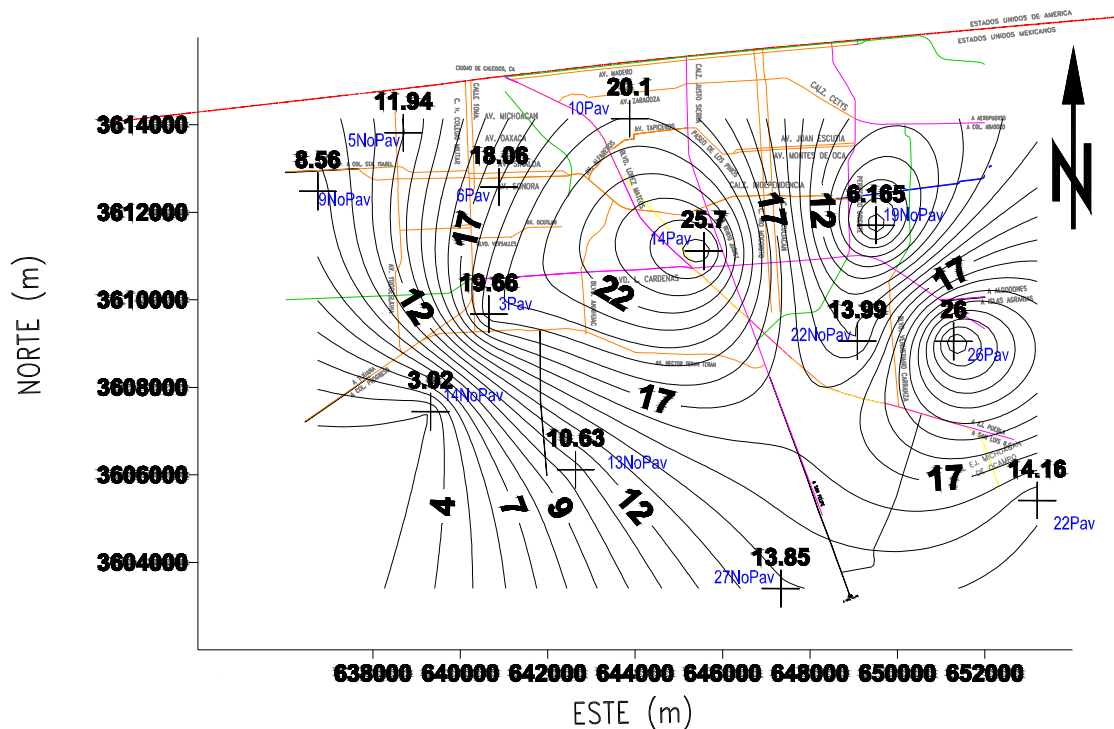


Figura 55.- Isolíneas de valores de cobre en vialidades pavimentadas y no pavimentadas en material particulado menor a  $75\mu\text{m}$ . (Meza, 2009)

En la figura 56 destaca la presencia del plomo, donde algunas investigaciones lo relacionan con el desgaste de los neumáticos, los frenos y el embrague. Las concentraciones más altas se encuentran en la parte central de la ciudad de Mexicali donde destaca el punto de muestreo 14, ya que reporta concentraciones de  $180\text{ mg/kg}$  de plomo en el suelo, esto resulta explicable porque en la parte Sureste y Noreste hay un mayor número de vehículos por día (figura 24, pagina 66) . En las muestras de las orillas de la ciudad se encontraron concentraciones más bajas de Pb.

Si embargo es menester explicar que no se tomaron los sedimentos en las vialidades principales como es la carretera a Tijuana en la parte noreste y en la carretera al Ejido Puebla zona sureste. La parte Centro de Mexicali se caracteriza por un tráfico de carga vehicular alto, en particular a la hora de la toma de las muestras, como se señaló en la etapa de muestreo (capitulo 3).

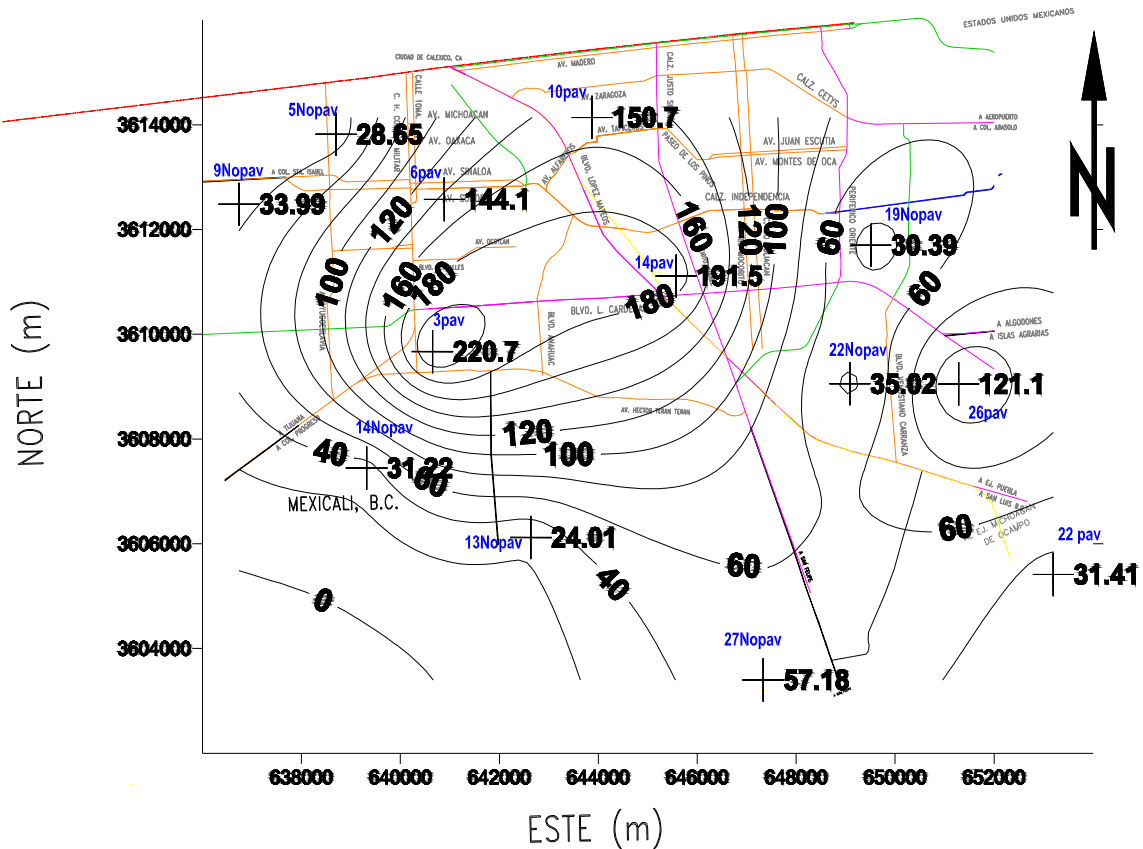


Figura 56.- Isolíneas de valores de plomo en vialidades pavimentadas y no pavimentadas en material particulado menor a 75µm. (Meza, 2009)

De una forma u otra las gráficas anteriores muestran una futura línea de investigación sobre la importancia del mantenimiento mecánico de los vehículos, lo cual indica que no nada más importan las emisiones de los tubos de escape, sino también las emisiones indirectas que han sido estudiadas (desgaste de las llantas, desgaste de los frenos, etc.) en algunas regiones de Norteamérica, Europa y muy recientemente en México.

# CAPÍTULO VI

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1.- Conclusiones

1. La estimación de los FE correspondieron a 0.92 kg  $PM_{10}$ /VKT y 0.73 kg  $PM_{2.5}$  /VKT en vías pavimentadas y 2.33 kg  $PM_{10}$ /VKT y 0.58 kg  $PM_{2.5}$  /VKT en vías no pavimentadas en la ciudad de Mexicali durante el periodo estudiado.
2. El modelo AP-42, empleado para estimar el factor de emisión fue de mucha ayuda para conocer las áreas con mayor dispersión de MP en Mexicali y un método para indagar las características físicas y químicas del sedimento a resuspenderse. Esto dio oportunidad de valorar el tipo de suelo y la presencia de elementos inorgánicos y de metales pesados a ser depositados en los suelos, productos de las emisiones de algunos componentes de los vehículos (desgaste de los frenos y llantas).
3. Fué más alto el contenido del FE de  $PM_{10}$  en las vías no pavimentadas que en las pavimentadas con valores significativos en el área muestreada con una correlación de Spearman de 0.53 y 0.46 respectivamente. En general en las vías pavimentadas predominan los FE de  $PM_{10}$  sobre las  $PM_{2.5}$ , con un valor significativo del peso vehicular y  $FEP_{10}$  de correlación de Spearman de 0.473.
4. Por las características de la región y el período de trabajo de campo, las velocidades medias del viento fueron de 1.82 y 2.2 m/s para los días de muestreos en ambas vías, con un número de calmas alrededor del 13% y dominancia de los viento dirección noreste.
5. Las posibles emisiones identificadas de las fuentes de áreas, son desde erosión eólica, emisiones de zonas agrícolas, actividades industriales, comerciales entre otras lo que dificultaría conocer las contribuciones específicas de esta fuente. Pero el haber obtenido valores no muy significativos de correlaciones de Spearman de FE contra velocidad y dirección del viento, da la pauta para pensar que la acción mecánica de los vehículos contribuye a ser una fuente importante en ambas vías.

6. En las vías pavimentadas los valores de FE para  $PM_{10}$  guardaron una relación cercana a los FE para  $PM_{2.5}$  con una correlación de Spearman de 0.9235. El mantenimiento de limpieza periódica en las avenidas, contrarrestan la acumulación de material particulado fino.
7. Los valores de FE de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , estimados en la ciudad de Mexicali para ambas vías están por encima de los FE obtenidos en otros tres sitios, dos localizados en México (Chihuahua y D.F.), y otro cercano al Estado de Nevada, EEUU, a excepción del FE  $PM_{2.5}$  de las vías pavimentada de la Ciudad de Chihuahua.
8. Se encontró un tipo de suelo franco arcilla arenoso, considerado de textura media, a través de un estudio piloto que se realizó en vías de la Ciudad de Mexicali (Meza, 2007), corroborándose el resultado con nuevas muestras realizadas en el 2008 en el laboratorio de ICA-UABC.
9. En el polvo de cuatro muestras seleccionadas en vías de la zona de estudio se identificó la arcilla tipo Illita, que fué analizada por el método EDAX. Este compuesto es considerado como riesgoso a la salud, por contar con un área superficial muy grande y llevar como substrato metales pesados y elementos inorgánicos. Los metales pesados más significativos encontrados fue la relación del Al, con el Pb y Zn y en lo respectivo a elementos inorgánicos fueron significativas las relaciones de Ag con el Bi y Zn; Cd con él Ni y Pb.
10. En consideración a la digestión de sedimentos seleccionados en las cuatro zonas del área de estudio y analizadas por ICP, se lograron tener valores comparativos con rango de concentración en los límite permisibles de las normas internacionales, que resultaron arriba de la norma, tales como correspondió al plomo (Pb) por arriba de 1 a 10 g/kg, y zinc (Zn) de 11 a 25 g/kg de los rangos establecido por EPA.
11. El contar con un FE ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) de la ciudad de Mexicali determinará la cantidad de material particulado a suspenderse y al relacionar los FE en ambas vías, se podría recomendar mantenimiento (limpieza) y control de flujo vehículos. Asimismo ayudará en el cálculo del inventarios de emisiones, sin necesidad de utilizar FE's de ciudades con características semejantes.

## 6.2.- Recomendaciones

1. Es importante empezar a tomar las vías urbanas como fuentes de material particulado por los resultados obtenidos en los sedimentos recolectados. Esto es en referencia a los elementos inorgánicos y metales pesados, para lo cuales no existe norma que los regule. Resta, como parte de un trabajo futuro, conocer más a fondo las emisiones de los vehículos en cuanto a elementos inorgánicos se refiere como son el Cd, el Ni y el C, productos del desgaste de algunos componentes de los vehículos (frenos y llantas), así como del Pb, Zn y Cu, que son importantes por su afectación a la salud.
2. En México no existe una regulación que de seguimiento a este tipo de fuente de área, siendo necesario llevar a cabo una propuesta de vigilancia para ejercer un mejor control de la contaminación por partículas.
3. Para el caso de las vías no pavimentadas, se requiere buscar procesos para aumentar la vida media de compactación de los suelos. Y en cuanto a las vías urbanas, es necesario un mantenimiento y limpieza con mayor periodicidad, así como un mejor control de tráfico vehicular.
4. Una manera de prevenir la proliferación de polvos en la ciudad de Mexicali es el de contar con una política pública de pavimentación de vías urbana de manera permanente. En Mexicali y en los otros 4 municipios del estado esto se ha logrado parcialmente a raíz del Programa Integral de Pavimentación y Calidad del Aire (PIPICA), que se ha aplicado a todos los municipios del estado, lo que ha venido a mitigar en un 13% la generación de partículas  $PM_{10}$ .

## REFERENCIAS

Ahumada V. S., Quintero M. N, Núñez P. P. y Bocanegra O. M. La contaminación por partículas de polen y esporas en Mexicali: construcción de un mapa polínico. en Contaminación y Medio Ambiente en Baja California, editorial Miguel Ángel Porrua, Mexicali B.C. pp. 101-123, (2006).

Abu-Allaban, A. John, Gilles y Alan W.Gertler (a); Tailpipe, resuspended road dust, and brake-wear emission factors from on road vehicles, Atmospheric environment 37. pp. 5283-5293, (2003).

Abu-Alaban, John A.Gilles and Alan W.Gertler (b); Application of a mult-lag regression approach to determine on-road PM10 and PM2.5 emission rates. Atmospheric environmental 37. pp. 5157-5164, (2003).

AQS-EPA, Technology transfer network (TTN), [https:// oaset.epa.gov/aqs](https://oaset.epa.gov/aqs). Acceso 31 de Agosto, (2009)

Barton C.D. y Karathanasis A.D. Clay minerals. Encyclopedia of soil science, pp. 187-192, (2002)

Barrenetxea O.C., Serrano P.A., Delgado G., Vidal R. F. y Blanco A. M; Contaminación Ambiental Una visión desde la Química. Editorial Thomsón, Madrid . pp. 330-371, (2003).

Canavos, C.G; Probabilidad y Estadística. Editorial Mc. Graw Hill. D.F., México, (1991).

Carreón Diazconti Concepción; Curso de Geoquímica ambiental. Posgrado de ciencias e ingeniería, II-UABC, (2008).

Cowherd C. Jr. K. Axetell Jr., C.M.G., Maxwell, G.A. Jutza; Development of emisión factors for fugitive dust sources, EPA Publication No. EPA -450/3-74/037, NTIS Publication No. PB-238 262, (1974).

Chow J., J. Watson, M. Green y D. Lowenthal; Cross-Border Transport and Spatial Variability of Suspended Particles in Mexicali and California's Imperial Valley, Atmospheric Environment: 34(11), pp. 1833-1843, (2000)

Chow, J. C. y J. G.Watson; Overview of Ultrafine Particles and Human Health. En Management of Natural Resources, Sustainable Development and Ecological Hazards, editado por C. A. Brebia, M. E. Conti y E. Tiezzi, Southampton:Wit Press. pp. 619-632, (2006).

Dávalos E. Técnico del Laboratorio Meteorológico de la UABC. (2008)

De la Torre C. Metodología de la Investigación, editorial Mc. Graw Hill, México, D.F. pp. 141-160, (2002).

Domínguez M. A. y Castañeda P. E; Niveles de PM<sub>2.5</sub> y su composición química en la Atmósfera de Mexicali, BC durante el Otoño de 2004. En V simposio de Contaminación Atmosférica Libro de resúmenes, editores C. G. L: Colegio Nacional y Ham Varela R. J. de la UAM-Iztalapa, Universidad Autónoma Metropolitana, México, D.F. pp. 55-59, (2005)

Domínguez C. F; Aplicación de método de preconcentración/ determinación de metales pesados en sedimentos y aguas: membranas líquidas-espectroscopia atómica y voltametría de redisolución, Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz España, pp. 1-4, (2006)

ERG AND ICA. Mexico National Emissions Inventory, 1999 – Final. Prepared for the Secretariat of the Environment and Natural Resources and the National Institute of Ecology of Mexico by Eastern Research Group, Inc. with sponsorship of the U.S. EPA, Western Governors, (2006).

ERG and ICA. Mexico National Emissions Inventory, 2005 – Final. Prepared for the Secretariat of Western Governors' Association Denver, Colorado U.S. Environmental Protection Agency, Region 9 San Francisco, California and Secretariat of Protection of the Environmental Mexicali, B.C., (2009).

Etyemezian, V., Kuhns, H., Gillies, J., Chow, J., Green, M., Hendrickson, K., McGown, M., Pitchford, M; (a). Vehicle based road dust emissions measurement (III): effect of speed, traffic volume, location, and season on PM<sub>10</sub> road dust emissions. *Atmospheric Environment* 37, pp. 4583–4593, (2003).

Etyemezian, V., Kuhns, H., Gillies, J., Green, M., Pitchford, M., Watson, J; (b) Vehicle based road dust emissions measurements (I): methods and calibration. *Atmospheric Environment* 37, pp. 4559–4571, (2003).

Carrillo J; Desarrollo de la Metodología para el cálculo de emisiones de partículas atmosféricas en fuente de área, para la ciudad de Chihuahua. Tesis de grado de CIMAV, Chihuahua, Chi. pp. 85, (1999)

Carrillo J., E. Herrera, A. Campos, M.E. Montero, L. Manzanares and A. Keer; Estimation of emission factors of load silts in roads of Chihuahua, Mexico and its radiological characteristics, *Acta Universitatis Debreceniensis: Vol. 153*, pp. 153-164. (2005)

García C., O. Jáureguio, D. Toudert y M. Tejeda; Detection of the urban heat island in Mexicali B.C., Mexicali B. C., Mexico and its relationship with land use *Atmosphere: 2002(2)*, pp. 111-131, (2007).

Gillies. J.A., Etyemezian V., H.Kuhns, D. Nikolic, D.A. Guillete; Effect of vehicle characteristics on unpaved road dust emissions, *Atmospheric Environment: 39*, pp. 2341-2347, (2005)

Goossens D. y B. Buck; Dust emission by off road driving: Experiments on 17 arid soil types, Nevada, USA, *Geomorphology: 107 (4)*, pp. 118-138, (2009).

Gustafsson M. y otros cinco autores; Factors influencing PM<sub>10</sub> emissions from road pavement wear, Atmospheric Environment: 43(31), pp. 4699-4702, (2009).

Harrison R. and Jianxin Y; Particulate matter in the atmosphere: wich particle properties are important for its on health? The science of the Total Environment 249. pp. 85-101, (2000).

Hernández D. D., D. M. Galindo y Z.J.L. Benítez; Atlas de tránsito vehicular de la ciudad de Mexicali, Proyecto interno del Instituto de Ingeniería, UABC, Mexicali, B.C. (2000).

<http://www.climate.org/topics/ozone-depletion-espanol.html> a 28 de abril del 2010.

Instituto de Ingeniería de la UABC. Reporte del laboratorio de meteorología y climatología, en lo que respecta a los parámetros de velocidad y distribución de frecuencia en el año 2003. Mexicali, B.C., (2003).

INEGI; XII censo general de población y vivienda 2000, tomo II, tabulados básicos de los Estados Unidos Mexicanos, (2000).

INEGI; Planos digitalizados por localidad, Mexicali. B.C., (2005).

INEGI; Marco geoestadístico 2000 en Anuario Estadístico Baja California, Gobierno del Estado de Baja California. Pág. 3, (2006).

INE-SEMARNAT; “Segundo informe sobre la calidad del aire en ciudades fronterizas”. CENICA, enero 2002.

INE; Informe Nacional de Emisiones y transferencia de contaminantes 1997-1998. SEMARNAP, (1999).

IMIP; Plano de cobertura de la Ciudad de Mexicali, (2005)

Imperato M. Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzione D. y Violante P. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). Environmental Pollution Volume 124, Issue 2, pp. 247-256, (2003)

Ketzel M., Omstedt, Johansson, Düringe, Mia, Dietmar Oettlg, Gidhagen, Wahlina, Lohmeyer, Haakana, Berkowicz; Estimation and validation of PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> exhaust and non-exhaust emission factors for practical street pollution modelling. Atmospheric Environment (4), pp. 4559–4571, (2007).

Machado A., García N. García C., Acosta L. Córdova A., Linares, Giraldoth D. y Vázquez H.; Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. Revista internacional de contaminación ambiental, 24(4) pp. 171-182, (2008)

Mahmoud Abu-Alaban, John A.Gilles and Alan W.Gertler; Application of a mult-lag regression approach to determine on-road PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> emission rates. Atmospheric environmental 37. pp. 5157-5164, (2003).

Main, C.E; Aerobiological, ecological, and health linkages. Environment International 29 (2-3), pp. 347-349, (2003).

Mejia G, Pumfrey R., Borja D., Niemeyer S., Sanchez J. and Estrada A; Air Quality Issues in the four-State Border 2012 Region. In The U.S.-Mexican Border Environment: Binational Air Quality Management Edited Pumfrey Ross, SCERP Monograph Series, No. 14. San Diego State University Press, pp.123-156, (2006).

Mendoza A, E. Ch. Kolb, y G. A. Russell; Mexicali-Imperial Valley Air Quality Modeling and Monitoring Program. Final Report LASPAU January 2007. Tecnológico de Monterrey, Georgia Institute of Technology, Aerodyne Research Inc., Massachusetts Institute of Technology and Montana State University, (2007).

Meza T. L. y Quintero N. M; "Metodología para el Cálculo e emisiones de partículas atmosféricas PM<sub>10</sub> y Pm<sub>2.5</sub>: caso de Estudio "Vías Pavimentadas y no Pavimentadas de la Ciudad de Mexicali", En el Segundo Coloquio de Postgrado, editora Dr. Ojeda, B.C UABC, Mexicali, B.C. ISBN: 978-970-735-098-4, pp. 309-322, (2007).

Meza T. L. y Quintero N. M ; Método Empleado en la estimación del Factor de Emisión del Material Particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), de la Ciudad de Mexicali, B.C. México. En el VII Congreso Internacional XIII Congreso Nacional, III Congreso Regional de Ciencias Ambientales, Ciudad Obregón Sonora. ISBN: 978-968-6013-24-5, (2008).

Meza T. L. y Quintero N. M ; La distribución de FE<sub>pm10</sub>, FE<sub>pm2.5</sub> y metales pesados en el polvo de las vías urbanas de la ciudad de Mexicali. En congreso nacional de estudiantes de posgrado del instituto de ingeniería, UABC Mexicali B.C, compiladora: Gisela Montero Alpírez editorial UABC. ISBN: 978-607-7753-33-9, (2009).

Meza T. L, Quintero N. M, García C. R. y Ramírez J. Estimación de Factores de Emisión de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, en Vías Urbanas en Mexicali, Baja California, México. Información Tecnológica Vol. 21(4), pp. 45-56, (2009).

Nebel J. B y Wrigth T. R. Contaminación del aire y su control (capitulo XV) en Ciencias ambientales, sexta edición, editorial Prentice hall, México, D.F. pp. 371-397, (1999)

Miranda J; Estudio de aerosoles atmosféricos utilizando aceleradores de partículas. En Contaminación, coordinador Novaro Octavio, editor Colegio Nacional de México, México D.F. pp.177-194, (1998).

Molina J. Mario and Molina T. Luisa; Air Quality in the Mexico Megacity. Edited Kluwer Academia Publishers, Dordrecht Boston London, pp. 1-59, (2002).

Moncada A. A. y Quintero N. M; Las quemas agrícolas en los valles Imperial de California, EUA y de Mexicali, Baja California, México en Contaminación y Medio Ambiente en Baja California, editorial Miguel Ángel Porrúa, Mexicali B.C. pp. 125-135, (2006).

Navarro A; "Introducción al diseño y análisis del muestreo de poblaciones finitas". En Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales, editor INE-SEMARNAT, (2004).

NOM-021-RECNAT-2000. Publicada en el diario oficial el martes 31 de diciembre del 2000.

NOM-025-SSA Salud ambiental; Criterios para evaluar el valor la calidad del aire ambiente con respecto a material particulado. Valor de concentración máxima de material particulado para partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM10 y partículas menores de 2.5 micrómetros PM2.5 en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. México D.F, (2005).

OMS (Organización Mundial de la Salud); Guías de Calidad del aire de la OMS, relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. OMS, pp. 7-12. Ginebra, Suiza, (2006).

Osornio A. Flores G. Vazquez I. Garcia C. Rosas I. García A Miranda J. Serrano j. Rojas L. Zuk M y López T. M. Reyna A, Quintero M and Clark I; Toxicological Evaluation of PM2.5 and PM10 in the City of Mexicali and its Correlations with Soil Content: A Study to Evaluate and Direct Control Measures, Final Report LASPAU 2005-2007. INE, UNAM, INC, UABC: pp. 2- 3, 7-10. México D.F. (2007)

PIPCA (2006) Planos digitalizados de pavimentación de la ciudad de Mexicali.

Quintero N.M. y Ríos V. A. Niveles de PM10 y Pm2.5 en la zona fronteriza de Mexicali, Baja California, México e Imperial, California, Estados Unidos. En V Simposio de Contaminación Atmosférica Libro de resúmenes, organiza Sherer C. G. L: del Colegio Nacional y Ham Varela R. J. de la UAM-Iztalapa, Universidad Autónoma Metropolitana, México, D.F. pp. 297-301, (2005)

Quintero N.M. y Ríos V. A. Niveles de PM10 y Pm2.5 en la zona fronteriza de Mexicali, Baja California, México e Imperial, California, Estados Unidos. En V Simposio de Contaminación Atmosférica Libro de resúmenes, organiza Sherer C. G. L: del Colegio Nacional y Ham Varela R. J. de la UAM-Iztalapa, Universidad Autónoma Metropolitana, México, D.F. pp. 297-301, (2005).

Quintero N. M, Reyna C. M.A; Issues Related to Air Quality and Health in the California Baja California Border Region in The U.S.-Mexican Border Environment: Binational Air Quality Management, editor Pumfrey Ross, SCERP

Monograph Series, No. 14. San Diego State University Press de, pp. 1- 46, (2006)

Quintero N. M. y Vega R. A; Estudio comparativo de Tendencias de la calidad de aire de la ciudad de Mexicali (1997-2004), en Contaminación y Medio Ambiente en Baja California, editorial Miguel Ángel Porrúa, Mexicali B.C., (2006).

Quintero N. M. y Moncada A.A; Contaminación y control de las quemas agrícolas en Imperial, California y Mexicali, Baja California, Región y Sociedad: Vol. XXI, No. 43, pp. 3-24, (2008)

Quintero N. M. y A. Sweedler; “La evaluación de la calidad del aire de los Valles de Imperial y Mexicali como un elemento para un programa comunitario”. En Desarrollo y Medio ambiente de la región fronteriza México – Estados Unidos, Valle de Imperial y Mexicali, UABC, Editorial Porrúa, pp. 323-340, México, D.F., (2005)

Ramírez G. J.; “Inventario de Emisiones de PM10, PM2.5 y amoniaco de la ZMCM” En Estudio Integral de partículas atmosféricas en la Ciudad de México, editores Rangel E. y Villa G, pp. 237-270, del Instituto Mexicano del Petróleo Gerencia de Comunicación Social y relaciones públicas, México D.F., (2004).

Rendón G.S; Procedimiento para simplificar el cálculo del tamaño de muestra bajo una precisión y confiabilidad dada. Vol. 10, No. 3, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. De México, (1991).

Reyes Zárate E., Vega R. E. y Ruiz F. H. Composición química de las partículas. En Estudio Integral de Partículas Atmosféricas en la Ciudad de México, Editorial Instituto Mexicano del Petróleo, México D.F. pp. 63-78, (2004)

Reyna M. A y Arriola Z; El estudio de las principales enfermedades respiratorias y los contaminantes del aire en Mexicali, Baja California. Editorial, Miguel Ángel Porrúa, Mexicali, B.C. pp. 137-155, (2006).

Secretaría de Asentamiento Humanos y Obras Públicas del Estado de Baja California (SAHOPE) norma Técnica de Proyecto de Construcción para Obras de Vialidad del Estado de Baja California. Periódico oficial del Estado, 19 de octubre del 2001.

Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT) Manual de Geometrías de carreteras. Primera edición, México, D.F. pp. 69-93, (1995).

SEMARNAT, CEC, CCA Y CCE.; Guía para la correcta selección y empleo de métodos de estimación de emisiones de contaminantes. pp. 143-168, México, D.F., (2001)

SEMARNAT, SSA, Gobierno del Estado y Municipal de B.C.; Programa para mejorar la calidad del aire de Mexicali 2000-2005. México, D.F., (1999)

SEMARNAT, INE, WGA, USEPA, CCA Inventario de emisiones de los estados de la frontera norte de México 1999. pp 369, (2005).

SEMARNAT, INE; "Guía de elaboración y uso de inventarios de emisión". México D.F. pp. 143-168, (2005).

SEMARNAT-PROFEPA; Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEYPA), publicada en el diario oficial de la federación (DOF) el 28 de febrero de 1988 (última reforma publicada DOF el 5 de julio del 2002)

Schaetzl R. and Sharon A; Soils Genesis and Geomorphology Editorial Cambridge, pp. 9-53, (2005).

Skoog D.A, Holler, J. F., Nieman A.T. Principios de análisis instrumental, quinta edición, edit. Mc. Graw Hill, Madrid España, pp. 246-300, (2001).

Smith KR. Fuel combustion, air pollution exposure, and health: the situation in developing countries. Annu. Rev. Energy Environ. 18, pp. 529-566, (1993).

Sparks Donald L; "Soil as Sources of dust and implications for human health". Universidad de Arizona, Tucson Arizona, Vol. 80, pp. 1-30, (2003).

Spengler JD, Brauer M, Koutrakis P; Acid air and health. Environ. Sci. and Tech., 24(7), pp. 946-954, (1990).

Tsai Chuen-Jinn and Chang Chung-Tso; An investigation of dust emissions from unpaved surfaces in Taiwan. Separation and Purification Technology 29. pp. 181-188, (2002).

US EPA, AP-42, Volume I, fifth edition, appendix C.1 procedures for sampling surface/bulk dust loading (1993), <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42>. Acceso: 31 de agosto (2009)

US EPA, AP-42, Volume I, fifth edition, appendix C.2, procedures for laboratory analysis of surface/ bulk dust loading samples (1993), <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42>. Acceso: 31 de agosto (2009)

US EPA, AP-42, Fifth edition, volume I, chapter 13, miscellaneous sources (2006). <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/index.html>. Acceso: 31 de agosto (2009).

US EPA, Method 3050B, Acid digestion of sediments, sludge and soil, (1996)

Vanegas U. L y Parker G; Barrido de Calles y Vehículos Barredores. Scientia et Técnica Año X, No. 26, (2004).

Tervahattu H., Kupiainen K.J., Räisänen M., Mäkelä T. and Hillamo R; generation of urban road dust from anti-skid and asphalt concrete aggregates. Journal of Hazardous Materials 132, pp. 39-46, (2006).

Tsai Chuen-Jinn y Chang Chung-Tso; An investigation of dust emissions from unpaved surfaces in Taiwan, *Separation and Purification Technology*: 29, pp. 181-188, (2002)

Velasco E. y Bernabé M. R; Emisiones biogénicas. SEMARNAT E INE. México D.F. pp.15-19, (2004).

Wahln P., Berkowicz R. and Palmgren Finn; Characterisation of traffic-generated particulate matter in Copenhagen. *Atmospheric Environment* 40. pp. 2151-2159, (2006).

Williams, D.S., M.K Shukla y J. Ross; Particulate matter emission by a vehicle running on unpaved road, *Atmospheric Environment*: 42 (16), pp. 3899-3905, (2008).

Zafra et al; Contaminación por Escorrentía superficie urbana, metales pesados acumulados en la superficie de una vía. *Revista de ingeniería e investigación* vol. 27, no.1 pp. 4-10, (2007)

Zuk M., G. Tzintzun y L. Rojas; Tercer almanaque de datos y tendencia de la calidad del aire en 9 ciudades Mexicanas. SEMARNAT e INE., pág. 116, México D.F., (2007).

## ANEXOS

	Pág.
A.1.- Puntos de cruces de sitios de recolección de muestra de los dos tipos de vías.	128
A.2.- Relación de AGEB y calles de la Ciudad de Mexicali	129
A.3.- Formato de registro de datos en campo para ambas vías.	133
A.4.- Carta de solicitud de espacios.	134
A.5.- Formato de aforo vehicular.	136
A.6.- Estudio de Ingeniería para apoyo de días monitoreados.	137
A.7.- Cálculos de recorridos en vías aforadas(pavimentadas y no pavimentadas)	143
A.8.- Figuras de resultado de Análisis EDX de sedimentos.	145
A.9.- Figuras de segundo análisis de resultados de EDX de sedimentos.	152

## ANEXO A.1

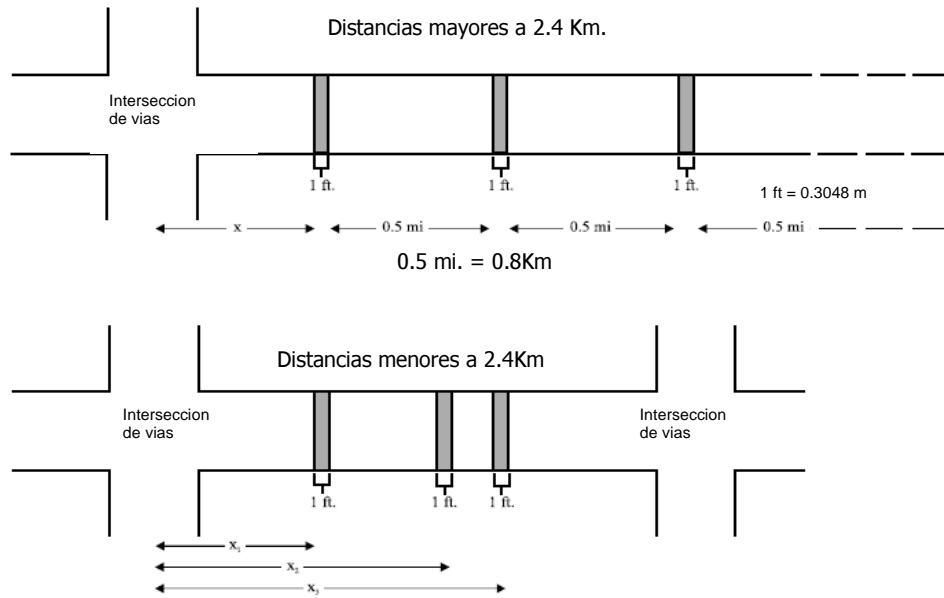


Figura A.1.1.- Sitios de recolección de muestras en vías no pavimentadas en vías con intersecciones transitadas de avenidas. (Áreas aproximadas de 30 cm<sup>2</sup>)

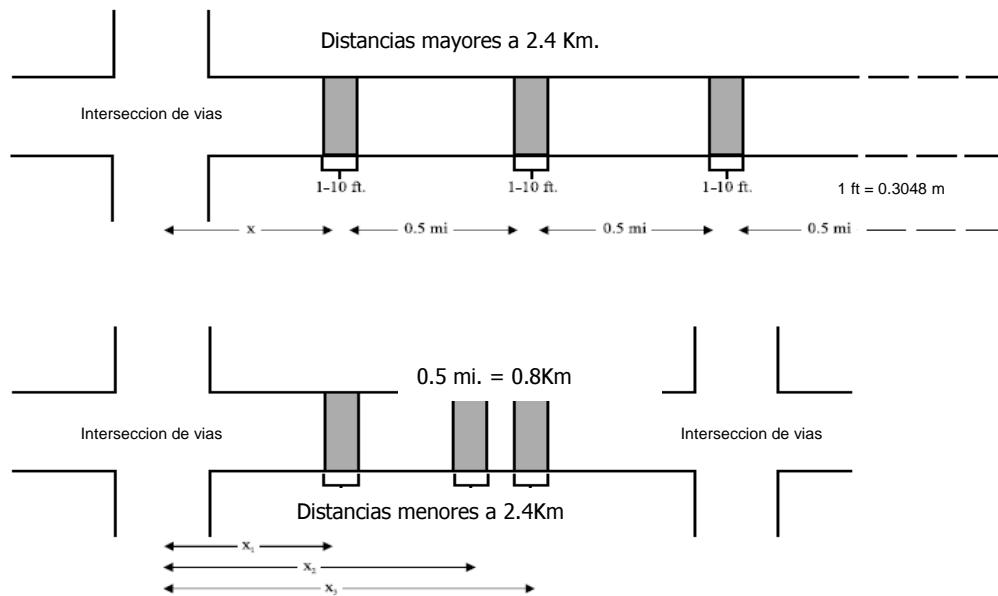






Figura A.1.2.- Sitios de recolección de muestras en vías pavimentadas en vías con intersecciones transitadas de avenidas. (Áreas aproximadas de 30 a 300 cm<sup>2</sup>)

## ANEXO A.2

AGEB	CP	CNP	CPP	TOTALES	TIPO
1	0	0	16	16	CPP
2	0	11	1	12	CNP y CPP
4	0	17	0	17	CNP
4	0	17	0	17	CNP
5	0	0	21	21	CPP
6	0	0	26	26	CPP
7	0	0	16	16	CPP
8	0	0	48	48	CPP
9	0	0	21	21	CPP
10	0	0	22	22	CPP
11	0	0	13	13	CPP
12	0	0	13	13	CPP
13	0	34	2	36	CNP y CPP
14	0	4	0	4	CNP
15	0	12	0	12	CNP
16	0	16	0	16	CNP
17	27	0	4	31	CP Y CPP
18	0	15	2	17	CNP y CPP
19	0	12	1	13	CNP y CPP
20	0	0	8	8	CPP
21	10	11	10	31	CP, CNP y CPP
22	0	25	1	26	CNP y CPP
23	0	0	11	11	CPP
24	0	10	1	11	CNP y CPP
25	0	14	1	15	CNP y CPP
26	0	11	7	18	CNP y CPP
27	0	0	11	11	CPP
28	0	0	23	23	CPP
29	7	1	12	20	CP, CNP y CPP
30	0	9	23	32	CNP y CPP
31	0	10	4	14	CNP y CPP
32	13	0	0	13	CP,
33	9	0	0	9	CP,
34	0	0	15	15	CPP
35	0	0	22	22	CPP
36	0	0	34	34	CPP
37	0	0	8	8	CPP
38	0	0	30	30	CPP
39	0	0	33	33	CPP
40	0	0	19	19	CPP
41	17	0	1	18	CP Y CPP
42	0	0	20	20	CPP
43	0	0	15	15	CPP
44	0	0	17	17	CPP
45	7	0	1	8	CP Y CPP
46	6	0	0	6	CP,
47	0	0	11	11	CPP
48	0	0	7	7	CPP
49	0	0	3	3	CPP
50	4	0	5	9	CP Y CPP
51	4	0	2	6	CP Y CPP

NOMENCLATURA:		
CP		Calle Pavimentada
CNP		Calle no pavimentada
CPP		Calle parcialmente pavimentada
AGEB		área geostatística básica

...Continuación anexo A.2

52	3	0	6	9	CP Y CPP
53	8	0	10	18	CP Y CPP
54	0	0	23	23	CPP
55	0	0	23	23	CPP
56	0	0	31	31	CPP
57	0	0	37	37	CPP
58	0	0	32	32	CPP
59	2	0	34	36	CP Y CPP
60	18	0	0	18	CP,
61	13	0	18	31	CP Y CPP
62	8	0	9	17	CP Y CPP
63	17	2	0	19	CNP
64	5	0	14	19	CP Y CPP
65	0	0	17	17	CPP
66	0	10	13	23	CNP y CPP
67	0	1	0	1	CNP
68	0	0	26	26	CPP
69	0	0	20	20	CPP
70	4	0	25	29	CP Y CPP
71	0	0	12	12	CPP
72	0	0	13	13	CPP
73	2	0	4	6	CP Y CPP
74	0	0	10	10	CPP
75	0	0	11	11	CPP
76	0	0	14	14	CPP
77	0	0	13	13	CPP
78	0	0	7	7	CPP
79	0	0	14	14	CPP
80	0	0	9	9	CPP
81	4	0	4	8	CP Y CPP
82	0	0	12	12	CPP
83	0	0	16	16	CPP
84	11	0	18	29	CP Y CPP
85	0	0	32	32	CPP
86	0	0	10	10	CPP
87	0	0	14	14	CPP
88	0	0	11	11	CPP
89	0	0	5	5	CPP
90	0	0	15	15	CPP
91	11	0	0	11	CP,
92	21	0	3	24	CP Y CPP
93	0	16	0	16	CNP
94	0	5	17	22	CNP y CPP
95	25	0	0	25	CP,
96	0	8	0	8	CNP
97	0	12	1	13	CNP y CPP
98	0	4	1	5	CNP y CPP
99	0	11	0	11	CNP
100	0	9	0	9	CNP
101	0	23	0	23	CNP
102	0	17	0	17	CNP
103	0	4	6	10	CNP y CPP
104	0	4	0	4	CNP
105	0	1	10	11	CNP y CPP

...Continuación anexo A.2

106	0	0	5	5	CPP
107	0	21	1	22	CNP y CPP
108	0	3	4	7	CNP
109	12	0	0	12	CP,
110	17	0	1	18	CP Y CPP
111	0	17	7	24	CNP y CPP
112	1	8	2	11	CP, CNP y CPP
113	0	10	7	17	CNP y CPP
114	0	10	1	11	CNP
115	0	0	1	1	CPP
116	0	18	0	18	CNP
117	0	20	7	27	CNP y CPP
118	9	0	0	9	CP,
119	0	16	0	16	CNP
120	0	17	1	18	CNP y CPP
121	0	0	0	0	NP
122	0	17	1	18	CNP y CPP
123	0	23	0	23	CNP
124	5	0	17	22	CP Y CPP
125	18	0	0	18	CP Y CPP
126	0	0	18	18	CPP
127	7	0	21	28	CP Y CPP
128	0	0	27	27	CPP
129	0	1	2	3	CNP y CPP
130	7	0	9	16	CP Y CPP
131	0	0	26	26	CPP
132	0	0	3	3	CPP
133	10	1	9	20	CNP y CPP
134	9	0	7	16	CP Y CPP
135	13	0	2	15	CP Y CPP
136	0	0	35	35	CPP
137	0	0	16	16	CPP
138	0	0	11	11	CPP
139	11	0	0	11	CP,
140	25	0	1	26	CP Y CPP
141	0	0	0	0	NP
142	0	0	23	23	CPP
143	0	0	19	19	CPP
144	24	0	15	39	CP Y CPP
145	20	0	22	42	CP Y CPP
146	0	0	6	6	CPP
147	0	0	9	9	CPP
148	0	0	11	11	CPP
149	0	0	17	17	CPP
150	0	0	18	18	CPP
151	0	0	22	22	CPP
152	0	0	17	17	CPP
153	0	0	18	18	CPP
154	0	0	8	8	CPP
155	0	0	13	13	CPP
156	0	0	5	5	CPP
157	0	0	11	11	CPP
158	0	0	19	19	CPP
159	0	0	17	17	CPP
160	0	0	20	20	CPP
161	0	0	17	17	CPP
162	0	2	11	13	CNP y CPP
163	0	0	15	15	CPP
164	0	0	0	0	NP
165	0	22	0	22	CNP

...Continuación anexo A.2

166	14	0	14	28	CP Y CPP
167	0	3	33	36	CNP y CPP
168	0	0	7	7	CPP
169	0	0	9	9	CPP
170	0	0	0	0	NP
171	0	0	11	11	CPP
172	0	0	36	36	CPP
173	0	0	23	23	CPP
174	0	0	8	8	CPP
175	0	0	20	20	CPP
176	0	0	9	9	CPP
177	8	0	8	16	CP Y CPP
178	6	0	17	23	CP Y CPP
179	0	0	25	25	CPP
180	1	0	30	31	CP Y CPP
181	1	0	18	19	CP Y CPP
182	0	27	9	36	CNP y CPP
183	19	0	0	19	CP,
184	15	0	0	15	CP,
185	0	0	27	27	CPP
186	12	10	0	22	CNP
187	0	0	1	1	CPP
188	0	0	6	6	CPP
189	0	1	24	25	CNP y CPP
190	0	0	3	3	CPP
191	0	18	0	18	CNP
192	0	7	0	7	CNP
193	0	0	45	45	CPP
194	0	12	20	32	CNP
195	0	0	42	42	CPP
196	0	0	42	42	CPP
197	0	0	43	43	CPP
198	0	0	47	47	CPP
199	0	0	35	35	CPP
200	0	0	36	36	CPP
201	0	0	20	20	CPP
202	0	0	20	20	CPP
203	0	0	33	33	CPP
204	0	0	2	2	CPP
205	0	1	25	26	CNP
206	0	30	1	31	CNP y CPP
207	0	0	7	7	CPP
208	0	0	0	0	NP
209	0	0	20	20	CPP
210	0	0	40	40	CPP
211	0	0	33	33	CPP
212	0	0	0	0	
213	14	0	4	18	CP Y CPP
214	20	0	0	20	CP,
215	0	27	0	27	CNP
216	0	27	0	27	CNP
217	0	0	31	31	CPP
218	0	0	20	20	CPP
219	0	0	12	12	CPP
220	0	1	0	1	CNP
221	0	1	46	47	CNP y CPP
222	0	7	29	36	CNP
223	0	0	0	0	
224	0	8	28	36	CNP y CPP
225	0	0	30	30	CPP
226	0	0	20	20	CPP
227	0	0	33	33	CPP
228	0	23	0	23	CNP
229	0	8	1	9	CNP y CPP
230	0	0	1	1	CPP
231	0	10	6	16	CNP y CPP
232	0	1	11	12	CNP y CPP

### ANEXO A.3

## Registro de muestras de calles pavimentadas y no pavimentadas.

Fecha de \_\_\_\_\_  
Colección de datos

Registrado \_\_\_\_\_

Muestra No. \_\_\_\_\_

Tipo de superficie (concreto, asfalto, etc...) \_\_\_\_\_

Condiciones de la superficie (buena, mala) \_\_\_\_\_

#### METODO:

- EMPLEO DE ASPIRADORA Y ESCOBA PARA LA RECOLECCION DE LA MUESTRA.
- RECOLECTAR MUESTRA SUPERFICIAL.
- BOLSA TIPO FILTRO TARADA.
- RECOLECCION DE 200 GR. ES SUFICIENTE.

REFERIDO AL APENDICE AP-42.

DESVIACIONES AL PROCEDIMIENTO: \_\_\_\_\_

#### COLECCIÓN DE DATOS DE MUESTREO

Muestra No.	Bolsa de vacío(tara)	Area muestreada	tiempo	Masa recolectada de la aspiradora	Masa recolectada con la escoba

## ANEXO A.4

### ANEXO A.4

Mexicali, B.C. a 22 de Enero del 2008

**DR. MARGARITO QUINTERO NUÑES**  
**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AIRE**  
**INSTITUTO DE INGENIERIA, UABC**  
**PRESENTE.**

Le hago llegar una relación de equipo, material y sustancia que se requiere para el trabajo en campo y laboratorio en este tercer semestre 2008-1, del proyecto de tesis "Estimación del factor de emisión de fuentes de áreas: Caso de estudio calles pavimentadas y no pavimentadas de la Ciudad de Mexicali, B.C." Y en el que usted es el director del citado tema.

La recolección de muestra se pretende iniciar en febrero los días lunes, martes, jueves y viernes, a partir de las 7:00 A.M. Y para poder trabajar en paralelo con recolección y tratamiento de muestra, como es el tamizado vía seca (técnica recomendada por EPA), señalo el material que se ocupara y que de cierta manera ya se cuenta, así como aquel que es necesario buscar en otras instituciones o en su caso la posibilidad de que se adquiera.

Trabajo de campo y Análisis de muestras, en base a herramienta de diseño y en sitios ya determinados.

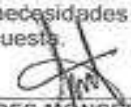
MATERIAL Y EQUIPO DE TRABAJO DE CAMPO (I)	MATERIAL Y EQUIPO DE LABORATORIO VIA SECA (DETERMINACIÓN DE % DE CARGA Y PESO) (II)	MATERIAL, SUSTANCIAS Y EQUIPO DE LABORATORIO VIA HUMEDA (DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA, METODO DE BOUYOUKOS) (III)
Escobas (2)	Tamices de No. 4, 20, 40, 100 y 140 y 200	Densímetro de bouyoucos (1)
Bolsas para muestreo (plástico y papel, 500 piezas c/u)	Mezclador vibratorio o un rotapie.	Mezcladora eléctrica (1)
Aspiradora (2) con sus respectivas bolsas (100)	Balanza	Probetas graduadas(6)
Recogedor	Estufa	Embolo agitador
Cajas para guardar las muestras (2)	Crisoles	Vasos de precipitados (5)
Cuarcas de 10 metros	Frascos de plásticos para guardar muestras de tamiz No. 200*	Piceta (1)
Marcadores para calle (5)		Meta fosfato sódico (PO <sub>3</sub> Na)
Conos señalizadotes (3-4)		Agua destilada
Señalizadores de carretera.		
Formato de datos para recolección de información de campo		
Maquina generadora de energia portátil de gasolina (1)		

\* Muestra para análisis de caracterización y morfología en sitios seleccionados en recolección de campo

No se cuenta con el mezclador vibratorio y verificación de No. de tamices en el laboratorio de ingeniería Civil en la UABC, así como lo restante de la columna II.

Bueno en espera de considerar las necesidades para dar inicio al muestreo en campo en febrero, estaré en espera de su respuesta.

*Dr. Margarito Quintero Nuñez*  
*22 de Enero 2008*

  
 \_\_\_\_\_  
 LOURDES MONSERRAT MEZA TREJO  
 ESTUDIANTE DE DOCTORADO  
 DEL INSTITUTO DE INGENIERIA, UABC.

## ANEXO A.4

### INSTITUTO DE INGENIERIA

**M.C. MIGUEL ANGEL MARTINEZ ROMERO  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA  
PRESENTE.**

Por este conducto me gustaria solicitarle que la estudiante de posgrado Lourdes M. Meza Trejo, pueda utilizar el material, equipo y espacio físico del laboratorio de ingeniería civil, denominado "resistencia de materiales II", los días lunes, martes y viernes con un horario de 7:00 a 13:00 hrs, asimismo el lunes de 16:00 a 19:00 hrs correspondiente al semestre en curso 2008-1.

El tipo de material y equipo que requerirá corresponde a lo siguiente:

- Tamices de Nos: 4, 20, 40, 100, 140 y 200.
- Balanza
- Estufa
- Crisoles

En referencia a las pruebas que realizará la Doctorante Meza están basadas en una técnica de laboratorio vía seca, que consiste en la determinación de % de carga y peso de varios tipos de suelos a recolectarse en diferentes sitios de la ciudad de Mexicali. Esta información es requerida, para complementar su etapa de análisis de muestreo de su tesis de investigación denominado "*Estimación del factor de emisión de material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>*": Caso de estudio de calles pavimentadas y no pavimentadas de la Ciudad de Mexicali, B.C.

No resta mas que agradecerle de antemano sus atenciones, en espera de su grata respuesta.

UNIVERSIDAD AUTONOMA  
DE BAJA CALIFORNIA



INSTITUTO DE  
INGENIERIA

Ccp.- Ing. Gloria Parras Salazar.- Jefa del laboratorio de resistencia de materiales.

**ATENTAMENTE**

Mexicali, B.C. a 12 de febrero del 2008

*Margarito Quintero Nuñez*  
**DR. MARGARITO QUINTERO NUÑEZ**

**DIRECTOR DE TESIS**

**PROGRAMA DE POSGRADO EN MEDIO AMBIENTE**

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA  
RECIBI  
FEB 14  
RECIBI  
FACULTAD DE

*Res. ni*  
*J.M.R.*  
14/feb/08

# ANEXO A.5

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
 INSTITUTO DE INGENIERÍA  
 ÁREA DE VALIDAD Y TRANSPORTE  
 AFORO VEHICULAR

LUGAR \_\_\_\_\_

FECHA \_\_\_\_\_

HORA DE \_\_\_\_\_

DÍA \_\_\_\_\_ MES \_\_\_\_\_ AÑO \_\_\_\_\_

DÍA DE LA SEMANA \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ A \_\_\_\_\_ :

de _____ a _____	A	B	C2	C3	C4	C5	C6 +	TOTAL

de _____ a _____	A	B	C2	C3	C4	C5	C6 +	TOTAL

de _____ a _____	A	B	C2	C3	C4	C5	C6 +	TOTAL

de _____ a _____	A	B	C2	C3	C4	C5	C6 +	TOTAL

OBSERVACIONES

**ANEXO A.6**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
INSTITUTO DE INGENIERÍA**



**PROYECTO:**

**"ATLAS DE TRÁNSITO VEHICULAR DE LA  
CIUDAD DE MEXICALI"**

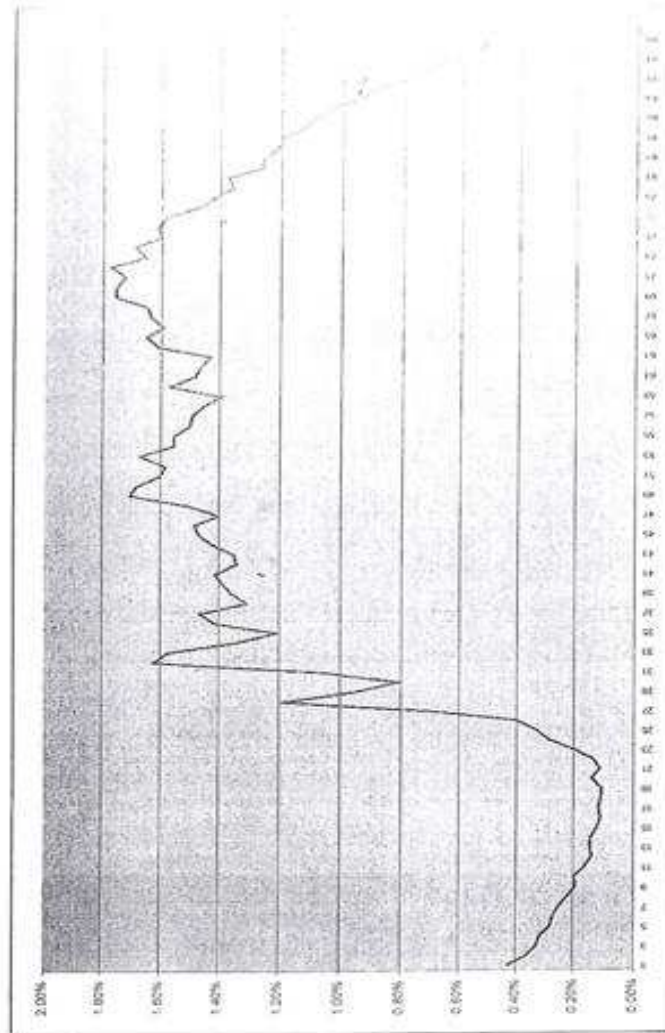
MEXICALI, B.C.

11 DE AGOSTO DEL 2000

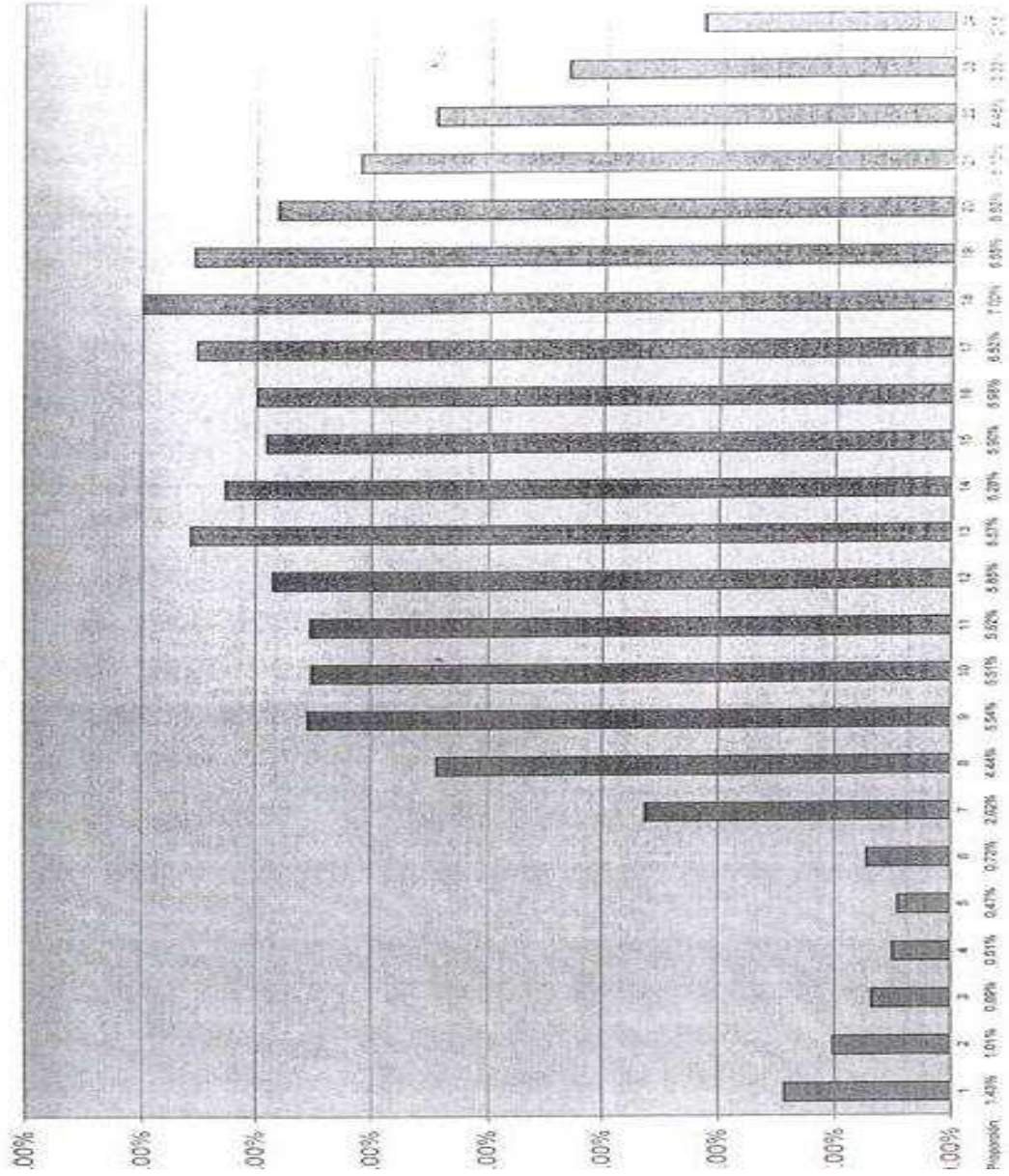
ATLAS DE TRANSITO VEHICULAR DE LA CIUDAD DE MEXICALI

GRAFICA 1: DISTRIBUCION REPRESENTATIVA DE TRANSITO DE ACUERDO A CUARTOS DE HORA

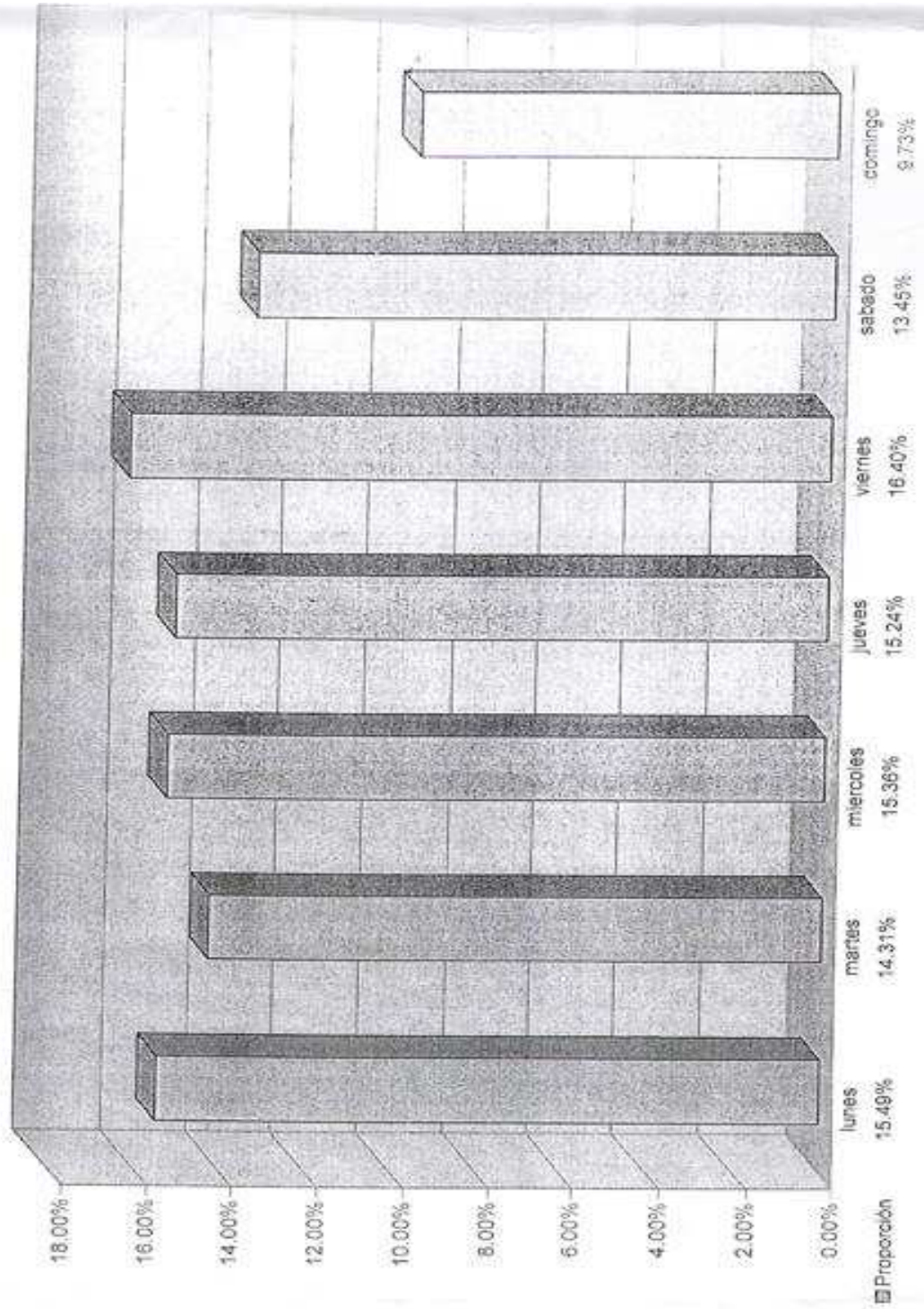
HORA	PRO- PORCION	HORA	PRO- PORCION
08:00	0.45%	12:00	1.70%
08:15	0.36%	12:15	1.68%
08:30	0.33%	12:30	1.60%
08:45	0.32%	12:45	1.68%
09:00	0.28%	13:00	1.67%
09:15	0.27%	13:15	1.55%
09:30	0.25%	13:30	1.55%
09:45	0.22%	13:45	1.50%
10:00	0.19%	14:00	1.49%
10:15	0.20%	14:15	1.45%
10:30	0.16%	14:30	1.38%
10:45	0.14%	14:45	1.57%
11:00	0.14%	15:00	1.46%
11:15	0.14%	15:15	1.45%
11:30	0.12%	15:30	1.45%
11:45	0.11%	15:45	1.61%
12:00	0.12%	16:00	1.65%
12:15	0.11%	16:15	1.55%
12:30	0.10%	16:30	1.64%
12:45	0.10%	16:45	1.55%
13:00	0.13%	17:00	1.75%
13:15	0.14%	17:15	1.75%
13:30	0.20%	17:30	1.72%
13:45	0.25%	17:45	1.77%
14:00	0.33%	18:00	1.65%
14:15	0.40%	18:15	1.65%
14:30	0.89%	18:30	1.60%
14:45	1.15%	18:45	1.61%
15:00	0.95%	19:00	1.58%
15:15	0.81%	19:15	1.47%
15:30	1.06%	19:30	1.42%
15:45	1.02%	19:45	1.35%
16:00	1.57%	20:00	1.37%
16:15	1.35%	20:15	1.25%
16:30	1.21%	20:30	1.20%
16:45	1.41%	20:45	1.21%
17:00	1.46%	21:00	1.20%
17:15	1.30%	21:15	1.13%
17:30	1.36%	21:30	1.09%
17:45	1.39%	21:45	1.03%
18:00	1.41%	22:00	0.94%
18:15	1.34%	22:15	0.89%
18:30	1.30%	22:30	0.78%
18:45	1.42%	22:45	0.72%
19:00	1.47%	23:00	0.65%
19:15	1.47%	23:15	0.63%
19:30	1.40%	23:30	0.52%
19:45	1.50%	23:45	0.45%



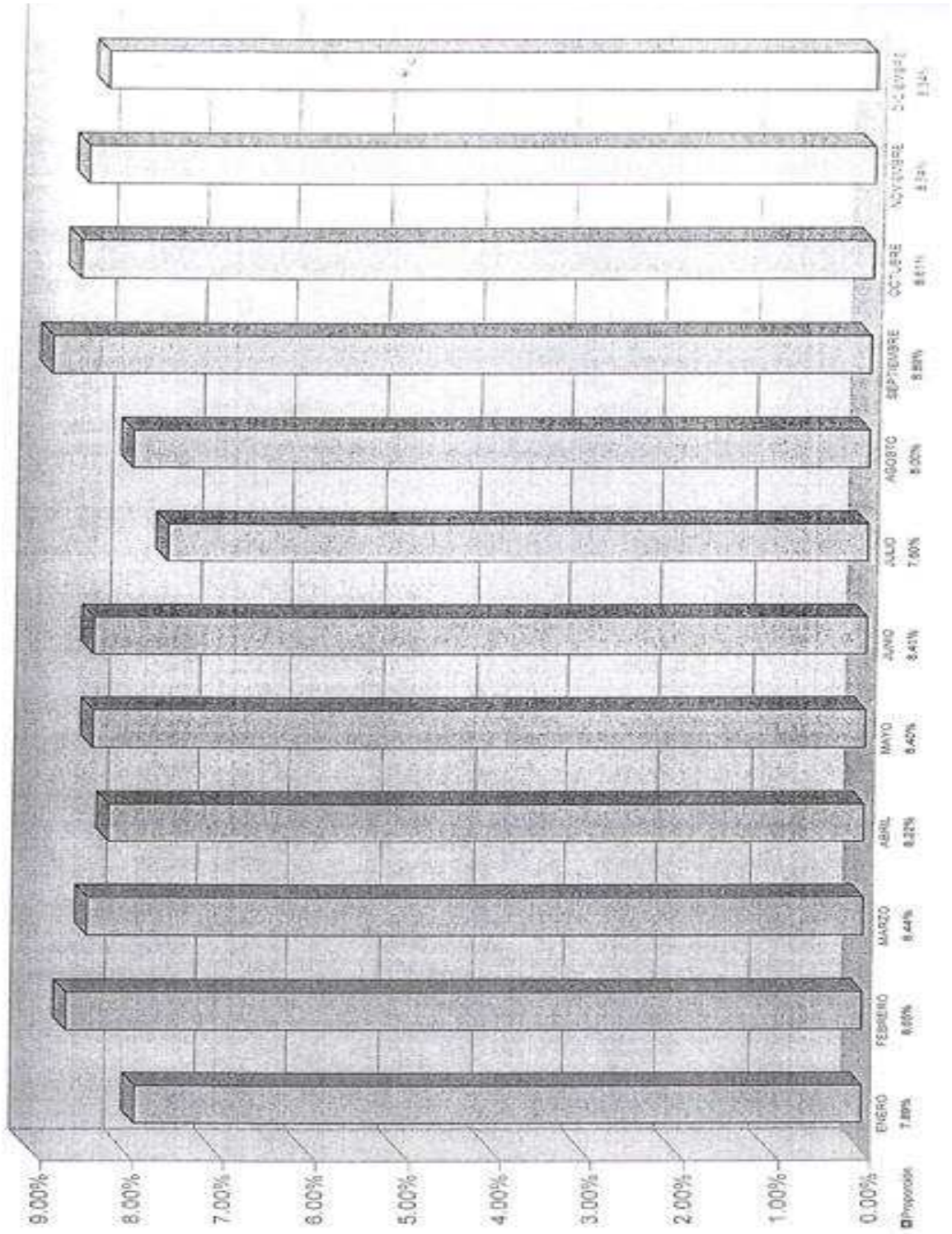
ATLAS DE TRANSITO VEHICULAR DE LA CIUDAD DE MEXICALI  
 GRAFICA 2: DISTRIBUCION DEL TRANSITO DE ACUERDO A LA HORA DEL DIA



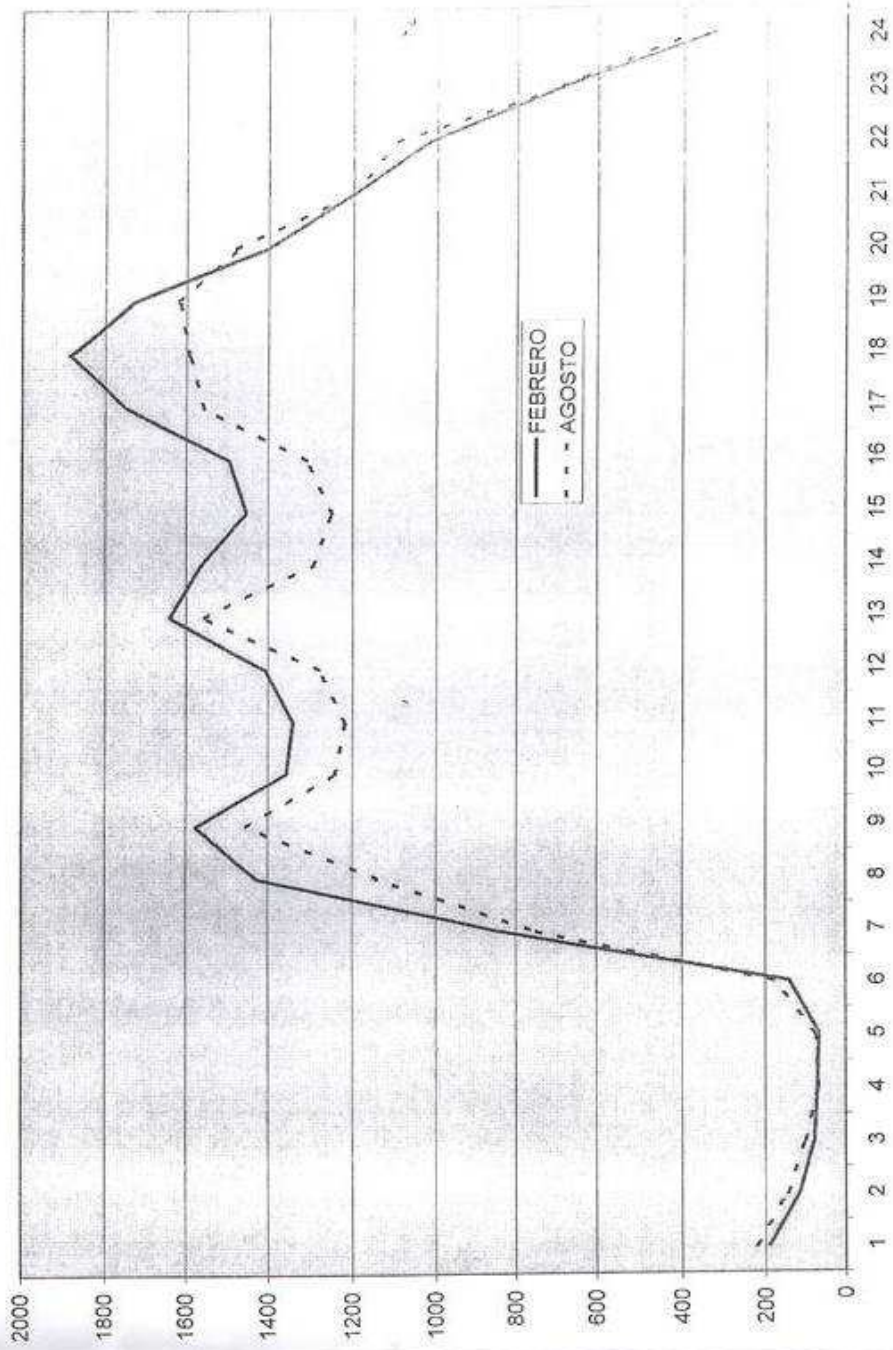
ATLAS DE TRANSITO VEHICULAR DE LA CIUDAD DE MEXICALI  
 GRAFICA 3: DISTRIBUCION DEL TRANSITO DE ACUERDO AL DIA DE LA SEMANA



ATLAS DE TRANSITO VEHICULAR DE LA CIUDAD DE MEXICALI  
 GRAFICA 4: DISTRIBUCION DEL TRANSITO DE ACUERDO AL MES



ATLAS DE TRANSITO VEHICULAR DE LA CIUDAD DE MEXICALI  
 GRAFICA 5: COMPARATIVO DE DISTRIBUCION DE TRANSITO INVIERNO-VERANO



## ANEXO A.7.1

No. muestra	Tramo vial aforado, Km	Prom/día nat	Prom/día nat	Recorrido Total de veh. km/día	Recorrido Total de veh. km/día	Prom/día nat Autos, pic up combi bleiser, camionetas Pto. 1 Tipo A	Prom/día nat Autos, pic up combi bleiser, camionetas Pto. 1 Tipo A	Recorrido Total de veh. km/día Pto.1 Tipo A	Recorrido Total de veh. km/día Pto.2 Tipo A	Pro/día nat Pto.1 Autobuses urbanos y foraneos, B Tipo B	Pro/día nat Pto.2 Autobuses urbanos y foraneos, B Tipo B	Recorrido Total de veh. km/día Pto.1, Tipo B	Recorrido Total de veh. km/día Pto.2, Tipo B	Pro/día nat Pto.1 Camiones dos ejes, C2 Tipo C2	Pro/día nat Pto.1 Camiones dos ejes, C2 Tipo C2	Recorrido Total de veh. km/día Pto. 1 Tipo C2	Recorrido Total de veh. km/día Pto. 2 Tipo C2
1	0.583	310	388	180.73	226.204	310	388	180.73	226.204								
2	0.731	493	493	360.383	360.383	493	493	360.383	360.383								
3	0.425	339	339	144.075	144.075	339	339	144.075	144.075								
4A	0.4	341	333	136.4	133.2	341	333	136.4	133.2								
4B	0.4	294	283	117.6	113.2	294	283	117.6	113.2								
5	0.6	1294	1294	776.4	776.4	1294	1294	776.4	776.4								
6A	1.5	647	647	970.5	970.5	647	647	970.5	970.5								
6B	1.5	1209	1128	1813.5	1692	1209	1128	1813.5	1692								
6C	1.5	1856	1856	2784	2784	1856	1856	2784	2784								
7A	0.7	1212	1125	848.4	787.5	1212	1125	848.4	787.5								
7B	0.7	571	569	399.7	398.3	571	569	399.7	398.3								
8A	1	333	333	333	333	333	333	333	333								
8B	1	259	346	259	346	259	346	259	346								
9A	0.9	245	326	220.5	293.4	245	326	220.5	293.4								
9B	0.9	264	325	237.6	292.5	264	325	237.6	292.5								
10A	0.4	356	356	142.4	142.4	356	356	142.4	142.4								
10B	0.4	331	331	132.4	132.4	331	331	132.4	132.4								
11A	1.7	602	602	1023.4	1023.4	602	602	1023.4	1023.4								
11B	1.7	303	303	515.1	515.1	273	273	464.1	464.1	30	30	51	51				
11C	1.7	306	296	520.2	503.2	244	236	414.8	401.2	62	60	105.4	102				
12A	1.2	617	375	740.4	450	617	375	740.4	450			0	0				
12B	1.2	387	338	484.4	405.6	310	270	372	324	77	68	92.4	81.6				
12C	1.2	464	375	556.8	450	464	375	556.8	450			0	0				
13A	0.9	510	410	459	369	510	410	459	369			0	0				
13B	0.9	488	420	439.2	378	488	420	439.2	378			0	0				
14A	0.7	487	441	340.9	308.7	414	375	289.8	262.5			0	0	73	66	51.1	46.2
14B	0.7	486	450	340.2	315	413	382	289.1	267.4			0	0	73	68	51.1	47.6
15A	0.4	127	191	50.8	76.4	127	191	50.8	76.4			0	0	25	38	10	15.2
15B	0.4	191	254	76.4	101.6	164	218	65.6	87.2			0	0	27	36	10.8	14.4
16A	0.3	452	434	135.6	130.2	452	434	135.6	130.2			0	0				
16B	0.3	415	402	124.5	120.6	415	402	124.5	120.6			0	0				
17A	1.5	244	244	366	366	244	244	366	366			0	0				
17B	1.5	571	571	856.5	856.5	531	531	796.5	796.5			0	0	40	40	60	60
17C	1.5	346	346	519	519	301	301	451.5	451.5			0	0				
18A	0.6	239	159	143.4	95.4	239	159	143.4	95.4			0	0				
18B	0.6	242	161	145.2	96.6	242	161	145.2	96.6			0	0				
19A	0.8	446	446	356.8	356.8	446	446	356.8	356.8			0	0	36	36	28.8	28.8
19B	0.8	343	343	274.4	274.4	343	343	274.4	274.4			0	0				
20A	0.7	405	381	283.5	266.7	405	381	283.5	266.7			0	0				
20B	0.7	371	354	259.7	247.8	371	354	259.7	247.8			0	0				
21A	1.1	345	328	379.5	360.8	345	328	379.5	360.8			0	0				
21B	1.1	310	340	341	374	310	340	341	374			0	0				
21C	1.1	315	340	346.5	374	315	340	346.5	374			0	0				
22A	1.4	490	490	686	686	490	490	686	686			0	0	41	42	57.4	58.8
22B	1.4	330	330	462	462	330	330	462	462			0	0				
22C	1.4	485	485	679	679	403	403	564.2	564.2			0	0	82	82	114.8	114.8
23	0.73	347	324	253.31	236.52	347	324	253.31	236.52			0	0				
24A	0.6	335	358	201	214.8	335	358	201	214.8			0	0	25	23	15	13.8
24B	0.6	341	356	204.6	213.6	341	356	204.6	213.6			0	0				
25A	0.7	355	356	248.5	249.2	327	327	228.9	228.9			0	0	28	28	19.6	19.6
25B	0.7	375	371	262.5	259.7	274	271	191.8	189.7			0	0	101	100	70.7	70
26A	0.5	366	357	183	178.5	305	296	152.5	148			0	0	61	61	30.5	30.5
26B	0.5	385	375	192.5	187.5	358	349	179	174.5			0	0	27	26	13.5	13
27A	1.4	397	384	555.8	537.6	397	384	555.8	537.6			0	0				
27B	1.4	402	389	562.8	544.6	402	389	562.8	544.6			0	0				
27C	1.4	381	370	533.4	518	381	370	533.4	518			0	0				
28A	0.4	325	325	130	130	325	325	130	130			0	0				
29A	1	356	364	356	364	356	364	356	364			0	0				
29B	1	350	377	350	377	308	332	308	332			0	0	42	45	4.2	4.5
30A	0.6	249	249	149.4	149.4	249	249	149.4	149.4			0	0				
30B	0.6	606	606	363.6	363.6	606	606	363.6	363.6			0	0				



ANEXO 8

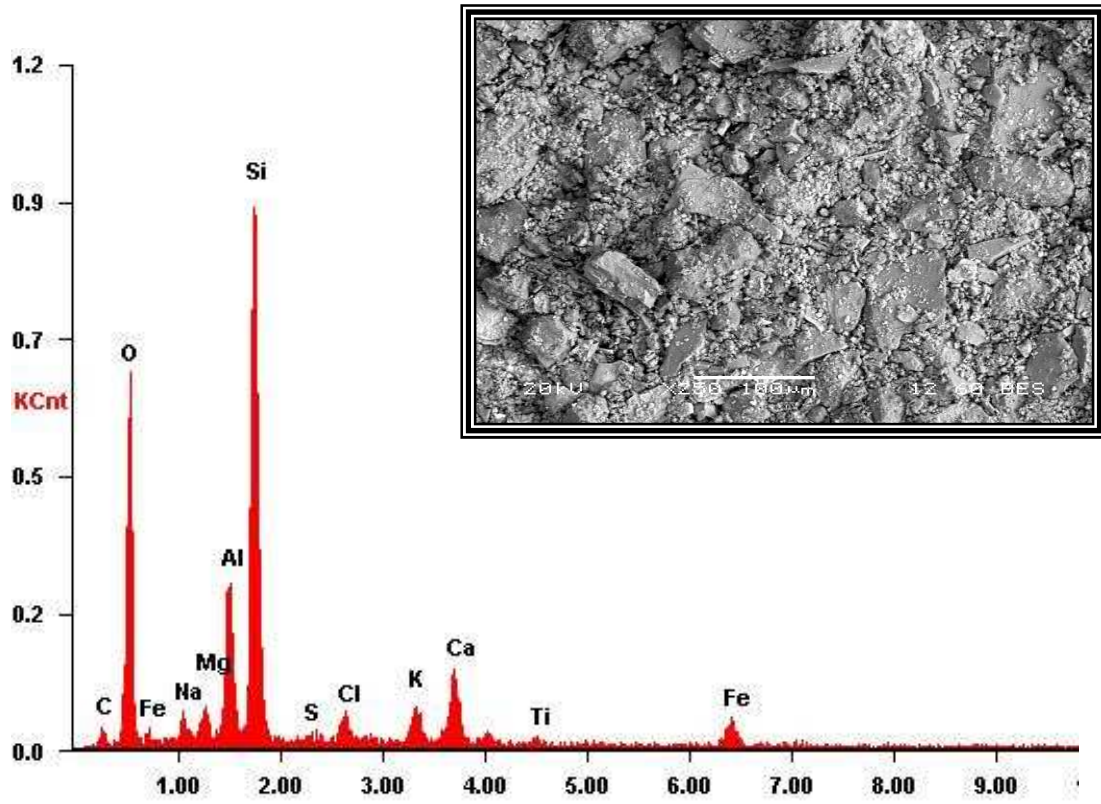


Figura 1A.- Punto 27 vialidad no pavimentada, zona sur (S).

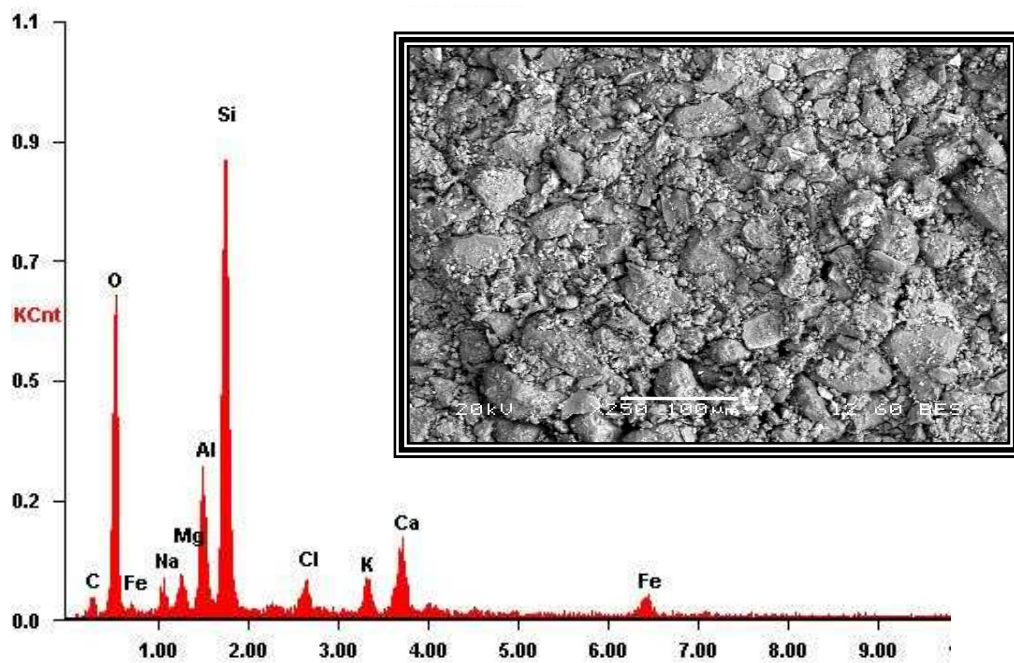


Figura 2A.- Punto 14, tramo no pavimentada, zona suroeste (SW).

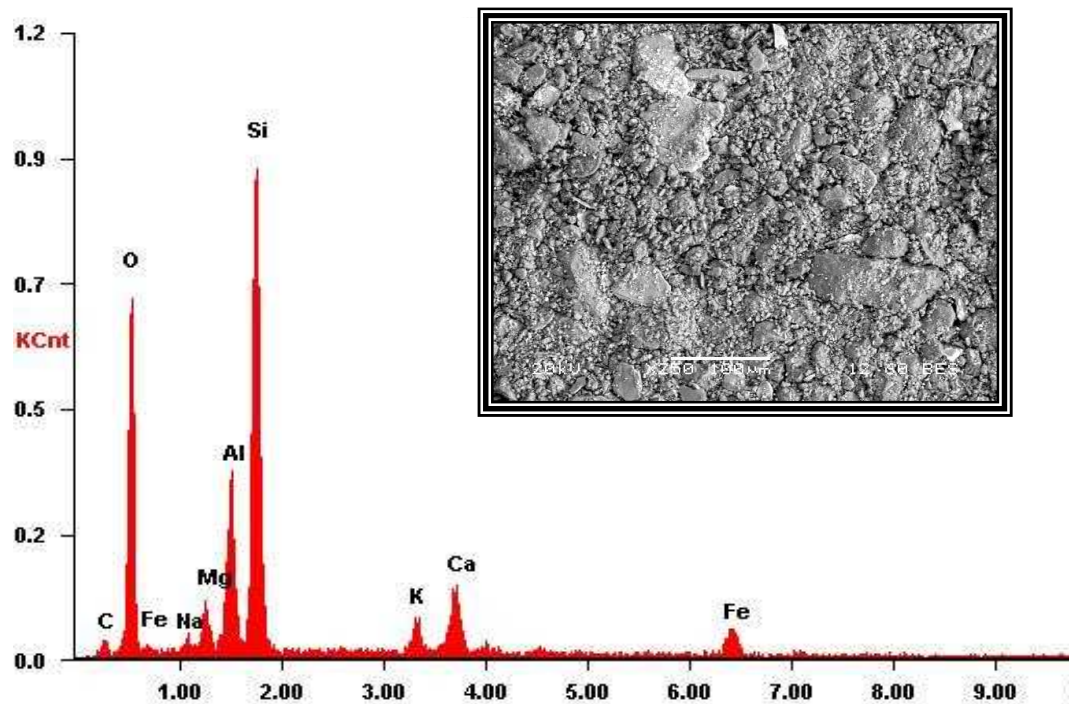


Figura 3A.- Punto 9 vialidad no pavimentada, zona noroeste (NW).

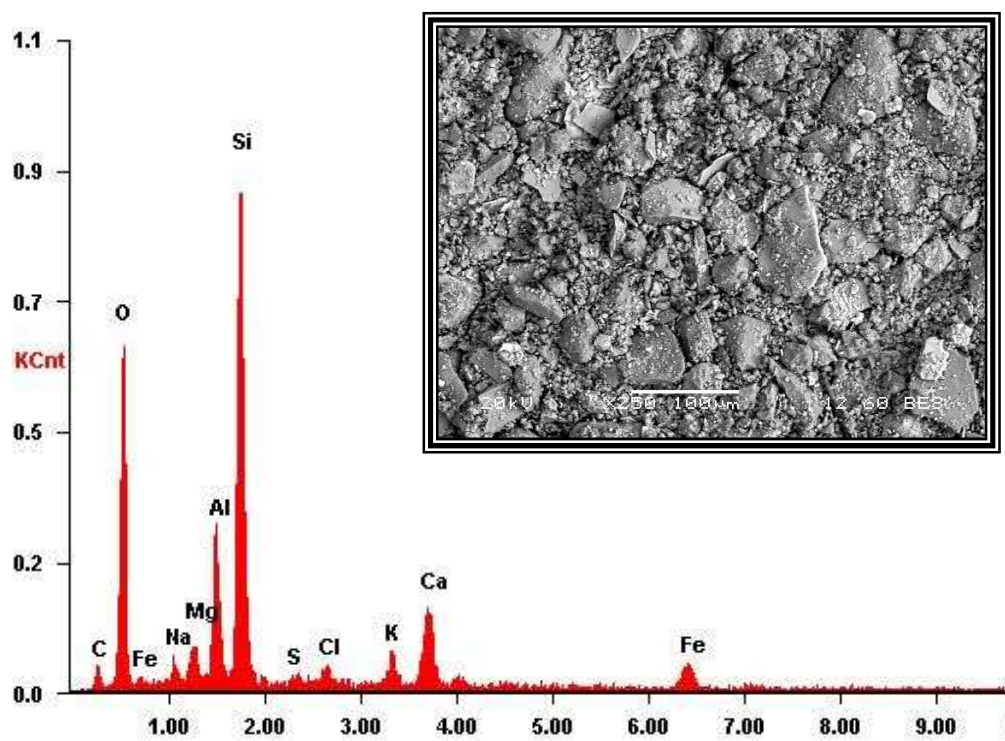


Figura 4A.- Punto 5 No pavimentado, zona Norte (N).

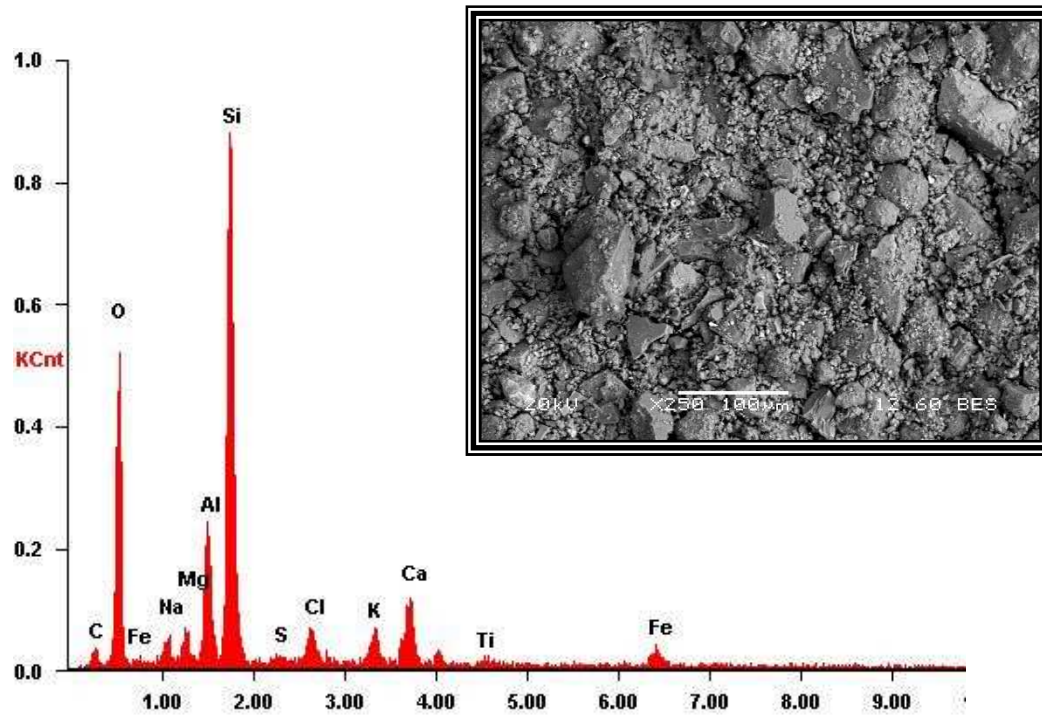


Figura 5 A.- Punto 22 no pavimentada, zona Sureste (SE)

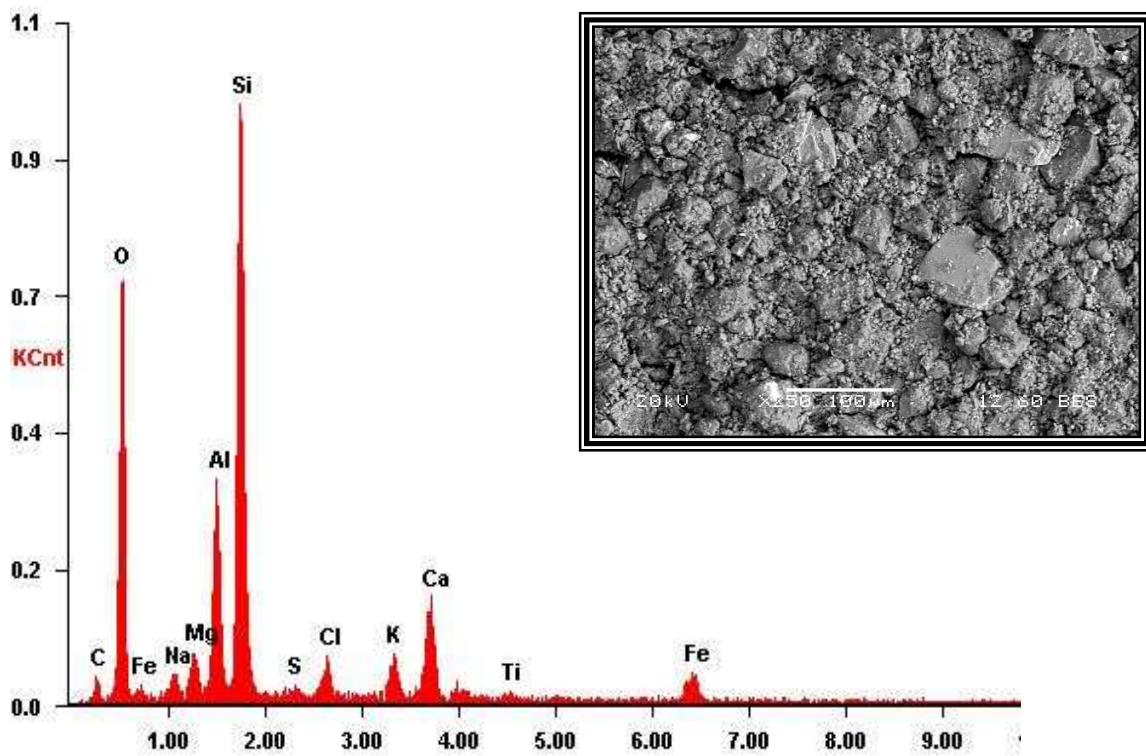


Figura 6 A.- Punto 13 no pavimentada, zona sur (S)

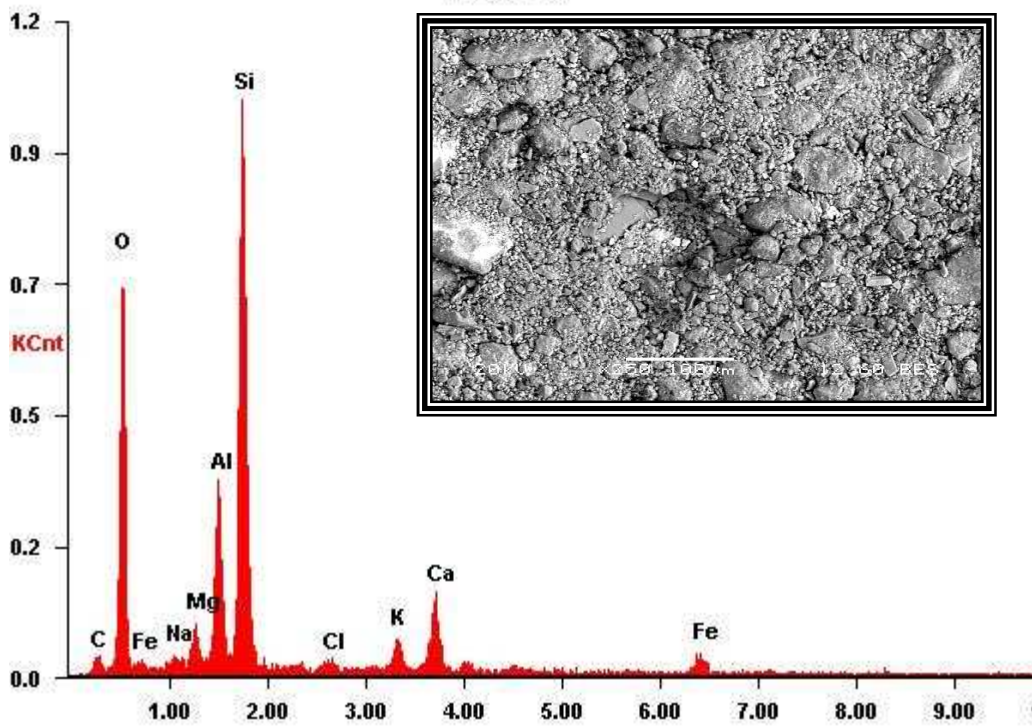


Figura 7 A.- Punto 19 no pavimentado, zona noreste(NE)

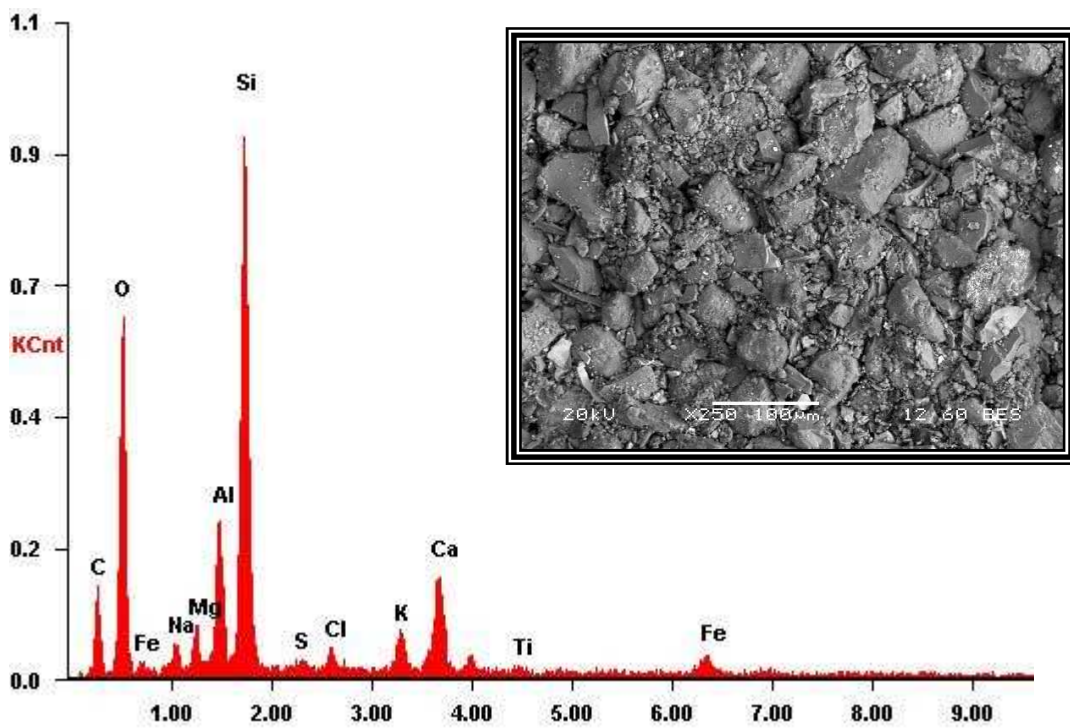


Figura 8 A.- 10 pavimentada, zona noreste (NE).

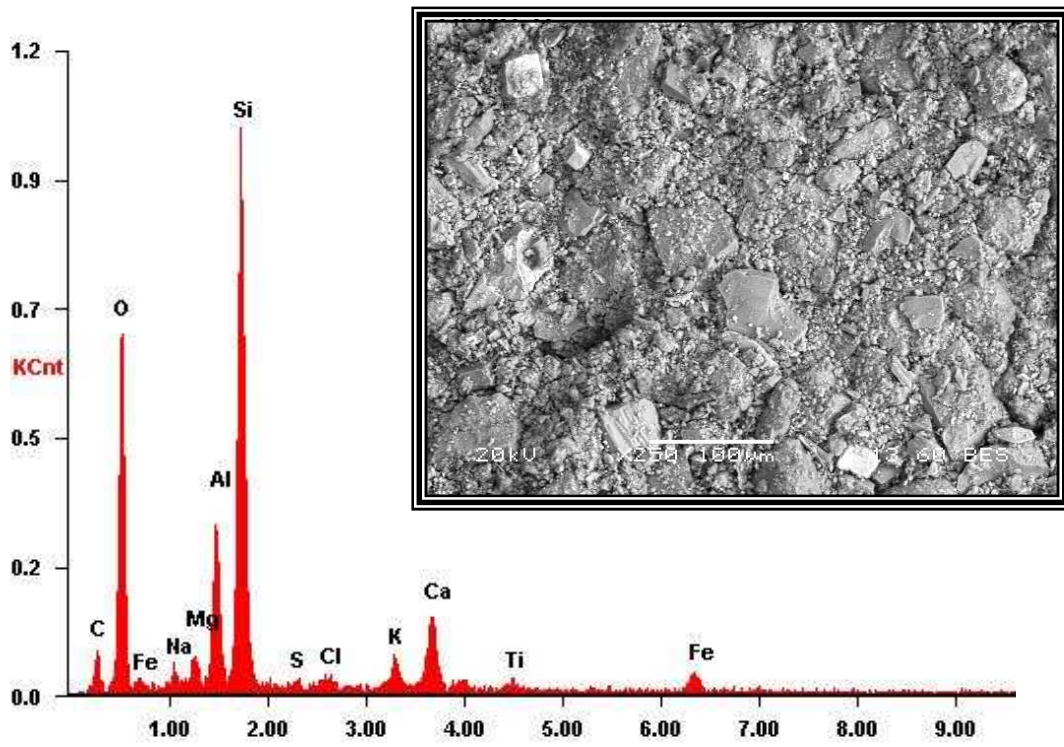


Figura 9 A.-Punto 22 pavimentada, zona sureste(SE).

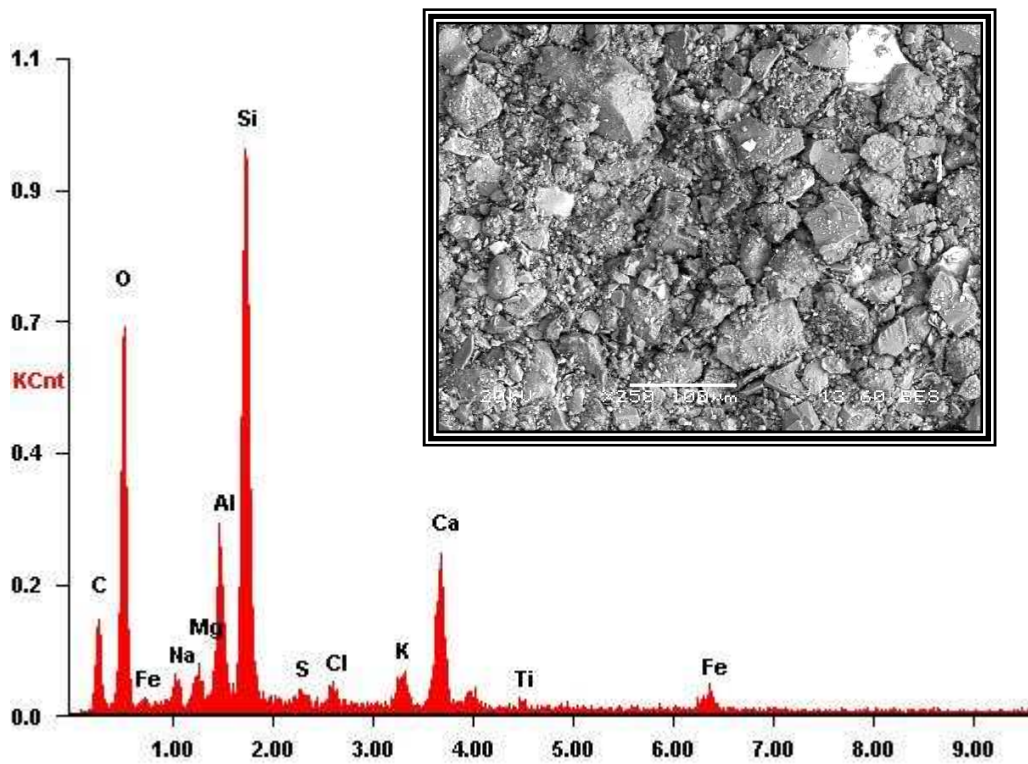


Figura 10 A.- Punto 6 pavimentada, zona noroeste (NW).

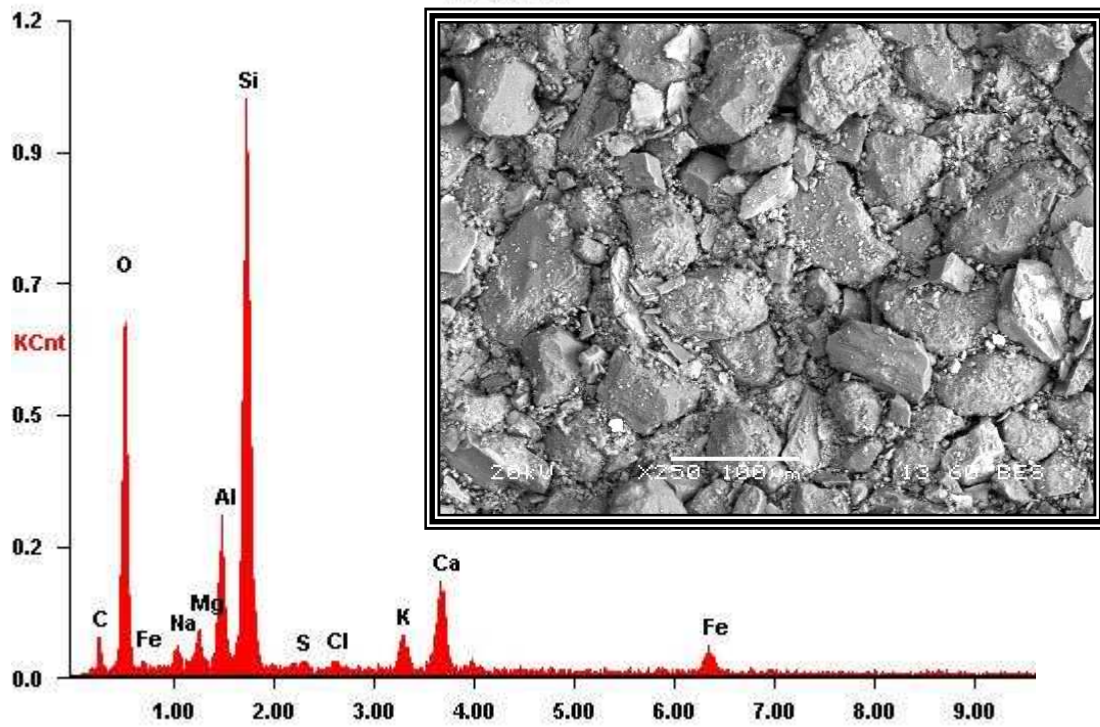


Figura 11 A.- Punto 3 pavimentada, zona suroeste(SW).

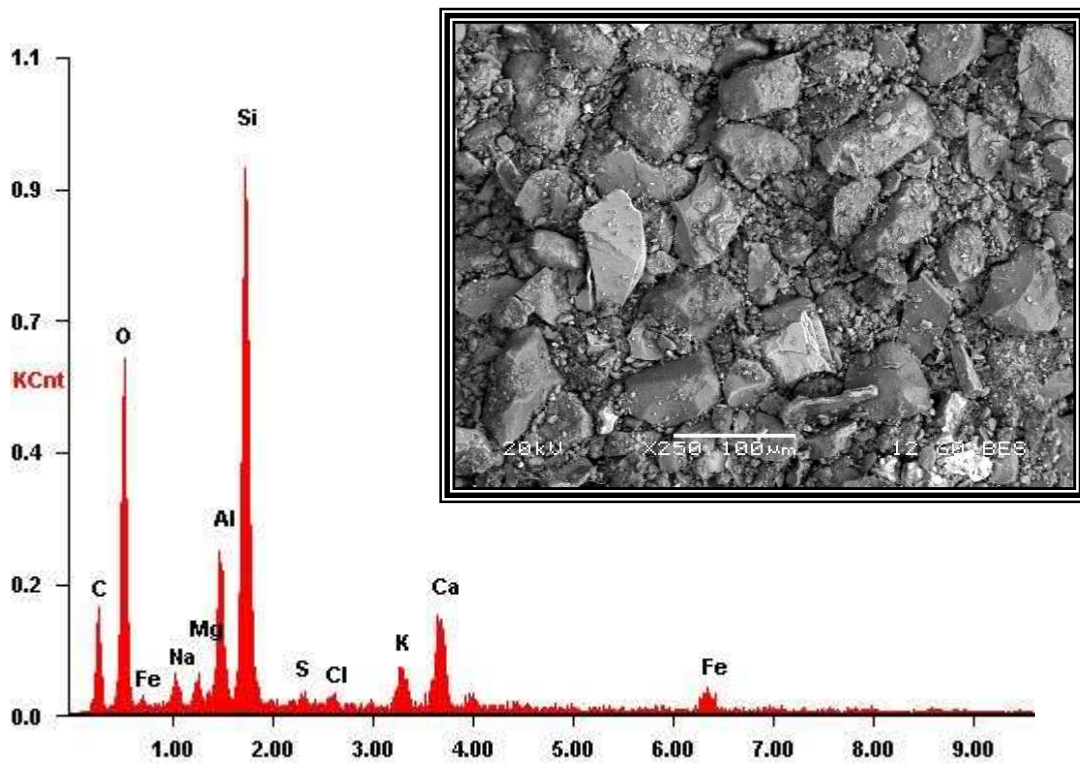


Figura 12 A.- Punto 26 pavimentada, zona sur (S)

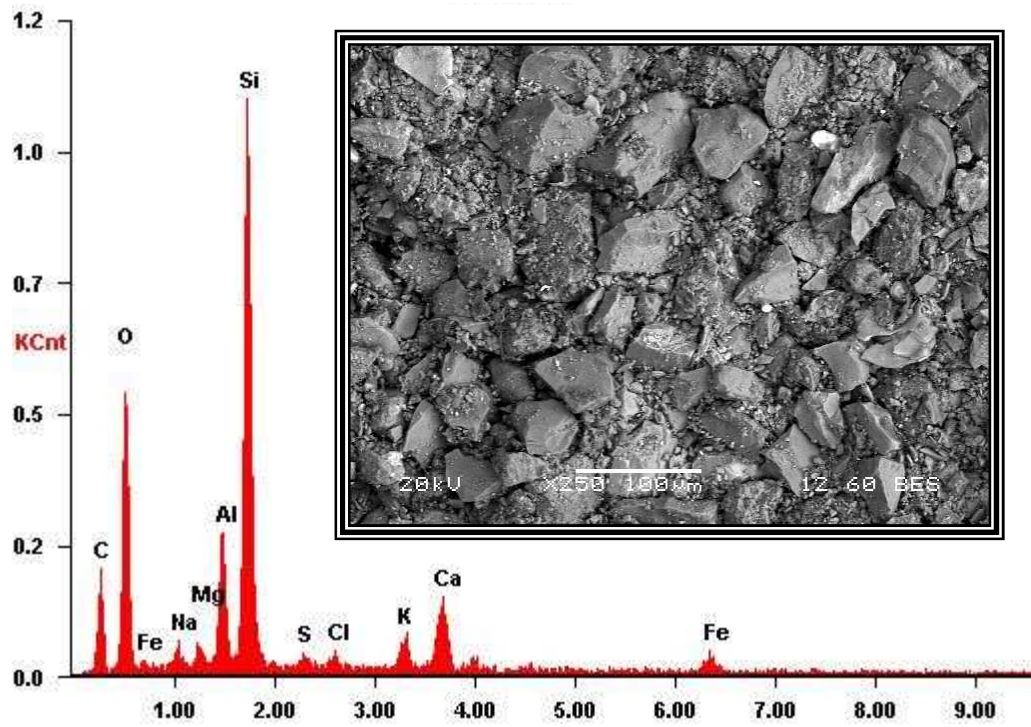
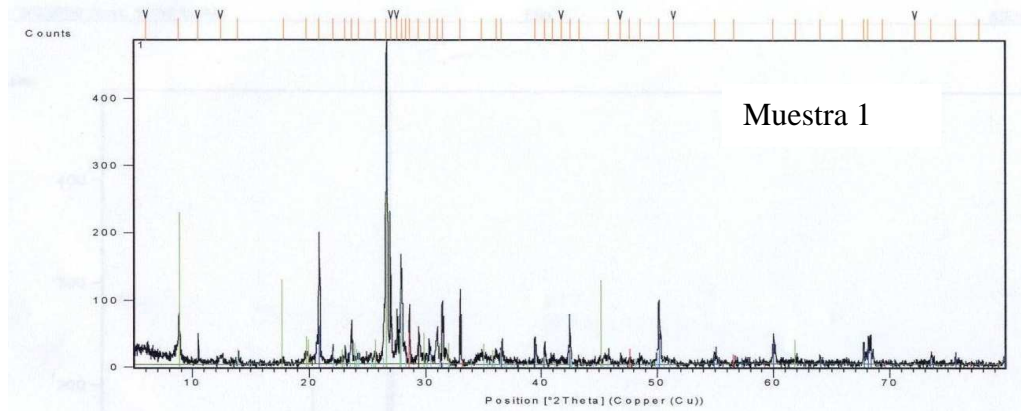
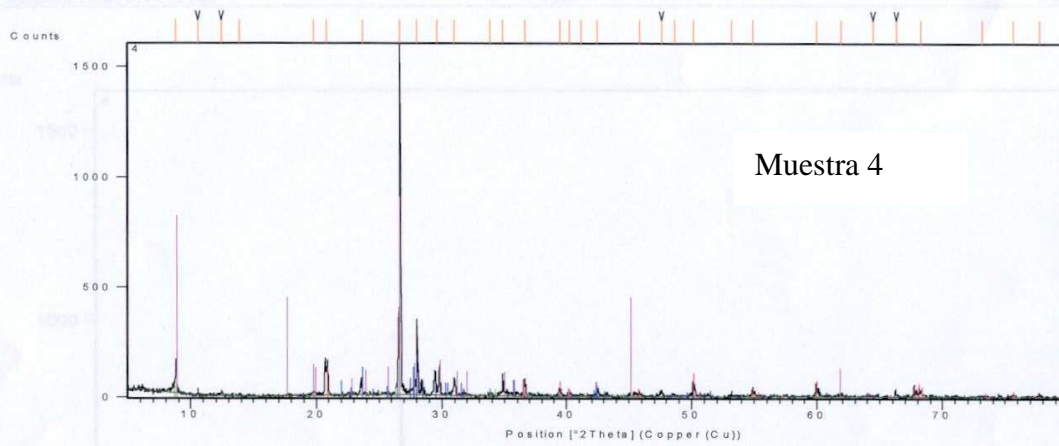


Figura 13 A.- Punto 14 pavimentada, zona suroeste (SW).

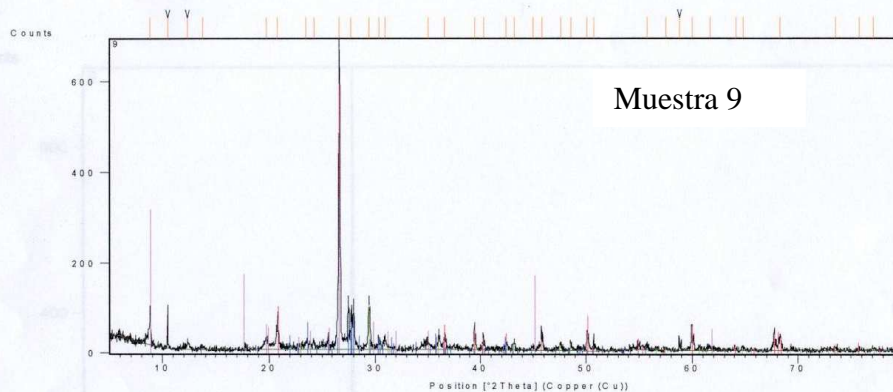
## ANEXO A.9



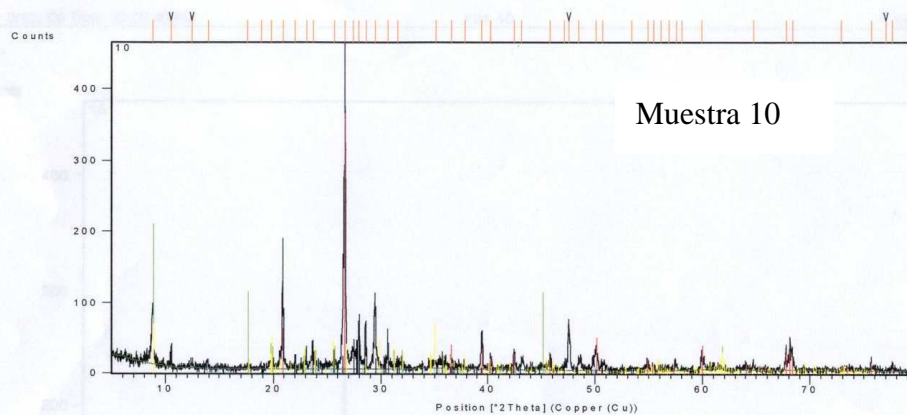
Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
rojo	00-046-1045	57	Quartz, syn	0.000	0.716	Si O <sub>2</sub>
café	03-065-0309	33	Zinc blend, syn	0.000	0.093	S Zn
verde	00-026-0911	16	Illite-2M1 (NR)	0.000	0.518	( K , H <sub>3</sub> O ) Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( O H ) <sub>2</sub>
negro	00-005-0586	26	Calcite, syn	0.000	0.063	Ca C O <sub>3</sub>
Azul	00-009-0466	26	Albite, ordered	0.000	0.228	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
claro						



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
rojo	00-046-1045	61	Quartz, syn	0.000	0.483	Si O <sub>2</sub>
azul	00-018-1202	16	Anorthite, sodian, intermediate	0.000	0.112	( Ca , Na ) ( Si , Al ) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>
verde	00-024-0867	Unmatched Strong	Phlogopite-1M, syn	0.000	0.022	K Mg <sub>3</sub> ( Si <sub>3</sub> Al ) O <sub>10</sub> ( O H ) <sub>2</sub>
rosa	00-026-0911	13	Illite-2M1 (NR)	0.000	0.557	( K , H <sub>3</sub> O ) Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( O H ) <sub>2</sub>



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
rojo	00-046-1045	59	Quartz, syn	0.000	0.840	Si O <sub>2</sub>
verde	00-005-0586	35	Calcite, syn	0.000	0.142	Ca C O <sub>3</sub>
rosa	00-026-0911	17	Illite-2M1 (NR)	0.000	0.480	( K , H <sub>3</sub> O ) Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( O H ) <sub>2</sub>
azul	00-018-1202	16	Anorthite, sodian, intermediate	0.000	0.121	( Ca , Na ) ( Si , Al ) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>



Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
verde	00-026-0911	17	Illite-2M1 (NR)	0.000	0.471	( K , H <sub>3</sub> O ) Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> Al O <sub>10</sub> ( O H ) <sub>2</sub>
amarillo	01-076-0668	13	Muscovite-2M1	0.000	0.135	K <sub>2</sub> ( Al <sub>3.74</sub> Fe <sub>0.26</sub> ) ( Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>20</sub> ) ( O H ) <sub>4</sub>
azul	00-009-0466	17	Albite, ordered	0.000	0.084	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
negro	00-018-1202	20	Anorthite, sodian	0.000	0.122	( Ca , Na ) ( Si , Al ) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>
rojo	00-046-1045	54	Quartz, syn	0.000	0.773	Si O <sub>2</sub>