

## A.4 FUENTES NATURALES

### A.4.1 Vegetación y suelos

Las emisiones de COV generados por la vegetación y los NOx provenientes del suelo, se estimaron con el Global Biosphere Emissions and Interaction System, GloBEIS<sup>1</sup> por sus siglas en inglés. Para la estimación de emisiones se requiere de información *meteorológica, de uso de suelo y de los factores de emisión*.

#### Meteorología

La meteorología para cada uno de los días seleccionados, consiste en datos horarios de temperatura [°K] y de PAR<sup>2</sup>, éstos constituyen el escenario del día a modelar y debido a que la ZMVM presenta tres temporadas bien definidas (seca-fría: noviembre–febrero, seca-cálida: marzo–mayo y lluvias: junio–octubre)<sup>3</sup>, se seleccionó un día representativo de cada una de ellas, los cuales fueron: 10 de febrero, 21 de mayo y 25 de junio, respectivamente (para la selección de los días se puede consultar el manual de usuario del PCBEIS y figura siguiente).

La información meteorológica utilizada en los cálculos, fue proporcionada por la Subdirección de Meteorología de la SMA-GDF, con datos provenientes de la RAMA<sup>4</sup>, se utilizó la temperatura de la estación meteorológica que queda incluida en cada delegación o municipio, y en caso de no contar con estación dentro de la delegación, se tomaron los datos de la más cercana.

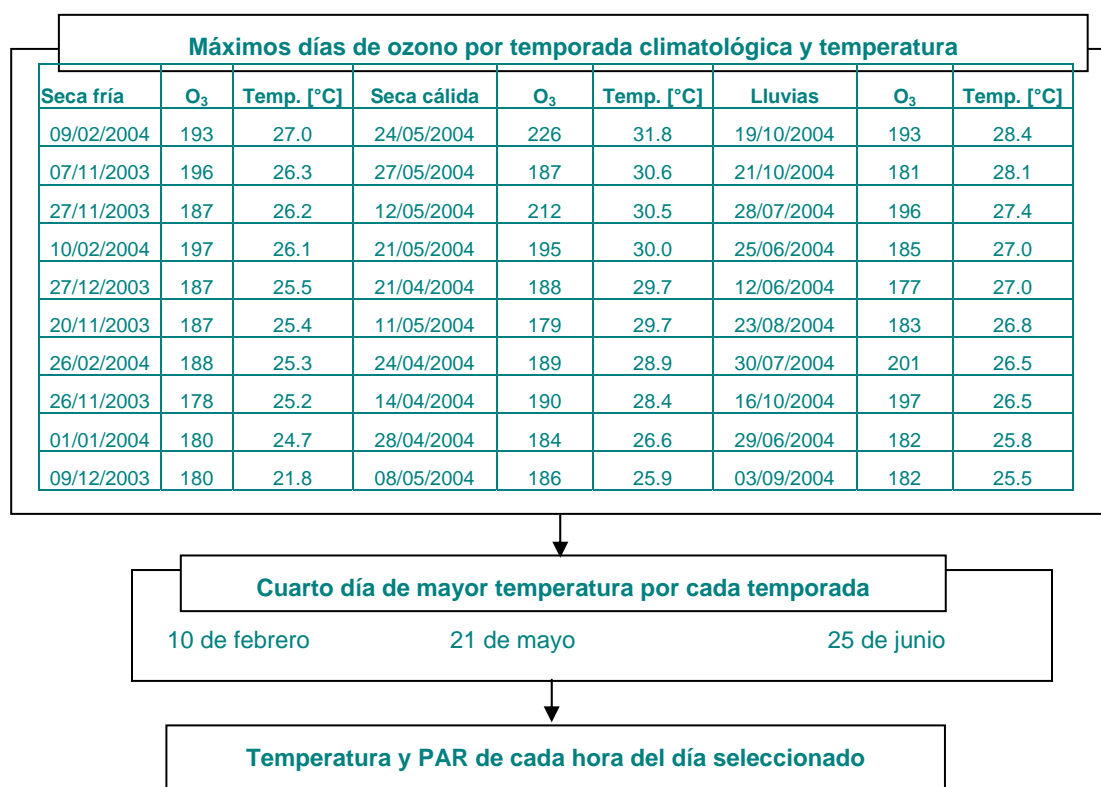
Los datos horarios del PAR fueron estimados con el modelo meteorológico MM5 (Mesoscale Model 5 Version 3.6), a través de su variable *SWDOWN* (Watts/m<sup>2</sup>), esta radiación de onda corta es atenuada por la cobertura de nubes en el modelo y debe ser multiplicada por un factor de conversión que representa la fracción de luz visible, el valor de dicho factor es de 0.45 (Pinker, 1995 en Kirk Baker, 2001). La utilización de la variable *SWDOWN* del MM5, es uno de los métodos recomendados para la obtención del PAR (Kirk Baker, 2001), ya que es una buena representación de los picos diarios y de la atenuación por las nubes.

<sup>1</sup> El GloBEIS fue desarrollado por el Dr. Alex Guenther del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas para la Comisión de Conservación de Recursos Naturales de Texas (TNRCC) (Yarwood et al., 2002 en ERG, 2002).

<sup>2</sup> El PAR es la energía del espectro visible que utilizan las plantas para realizar su fotosíntesis y se encuentra en un rango de longitud de onda entre 400 y 700 nanómetros.

<sup>3</sup> Ruíz Suárez, *et al*, 1994. Cálculos y mediciones de hidrocarburos naturales en el Valle de México.

<sup>4</sup> Red Automática de Monitoreo Atmosférico SMA-GDF.



**Figura A.4.1 Selección de días a modelar para el cálculo de las emisiones**

## Uso de suelo

El área de la ZMVM se estimó en 3,565 Km<sup>2</sup>, cabe mencionar que debido al uso de los sistemas de información y a la escala de la cobertura digital de donde se obtuvieron dichas áreas, éstas pueden variar con la reportada para el área de estudio del inventario general. El uso de suelo para el inventario de emisiones biogénicas se basó en el Inventario Nacional Forestal 2000 (SEMARNAT, 2000), para el caso del Distrito Federal, fue actualizado con los asentamientos humanos irregulares (SMA-GDF, 2000<sup>5</sup>) y con el Inventario de las Áreas Verdes Urbanas del Distrito Federal (CORENADER, 2003<sup>6</sup>), así como de la información sobre cultivos agrícolas por delegación y por modalidad (primavera-verano, otoño-invierno, temporales y perennes)<sup>7</sup>.

**Tabla A.4.1 Área para el cálculo de las emisiones biogénicas**

Área [Km <sup>2</sup> ]		
Distrito Federal	Estado de México	ZMVM
1,483	2,082	3,565

El GloBEIS requiere que el uso de suelo sea distribuido como una fracción del total, por especie vegetal o categoría del GloBEIS, la figura siguiente muestra el proceso de generación del archivo de uso de suelo.

<sup>5</sup> Cobertura digital de asentamientos irregulares

<sup>6</sup> Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural, 2003. Inventario de las Áreas Verdes Urbanas del Distrito Federal.

<sup>7</sup> Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, delegación Distrito Federal, 2005.

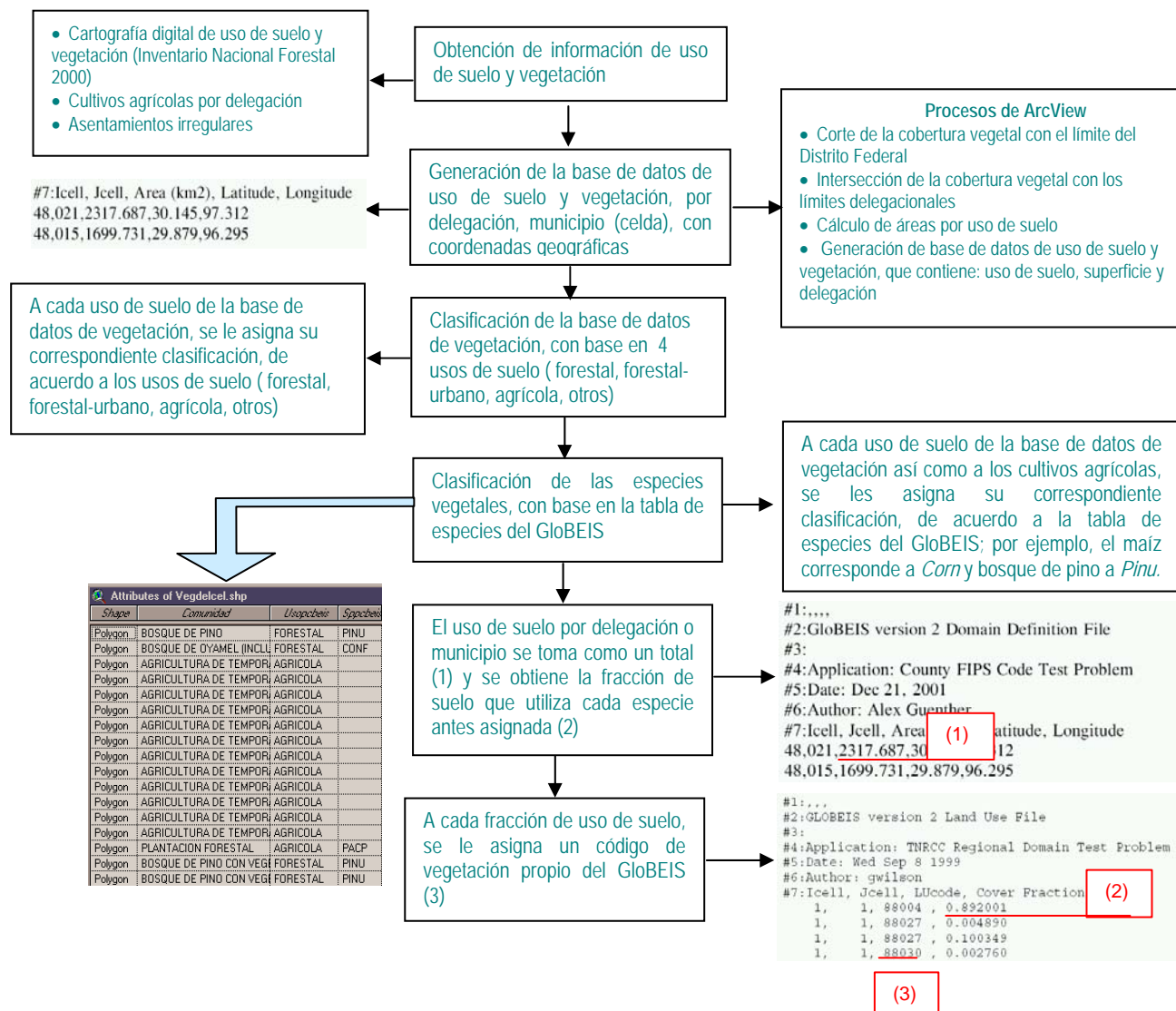


Figura A.4.2. Obtención del archivo de uso de suelo para el GloBEIS

## Factores de Emisión

En el cálculo de las emisiones se tomaron los factores de emisión del GloBEIS y con base en ellos se clasificaron las especies vegetales de la ZMVM. En caso de no existir factor de emisión para la especie vegetal, la asignación se realiza con respecto a la familia taxonómica de la que procede dicha planta, y se asocia a un factor de emisión del GloBEIS que corresponda a la misma familia.

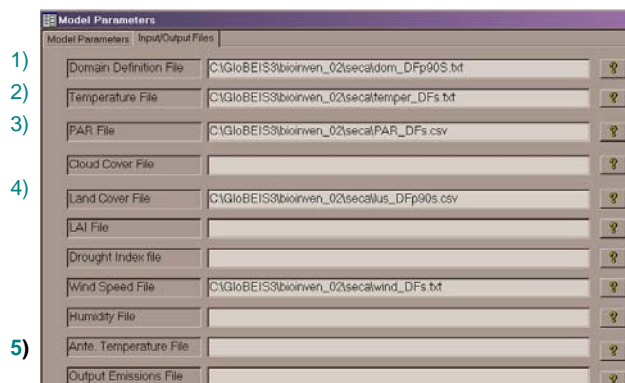
Los cultivos y o especies vegetales que no pudieron ser clasificados siguiendo este método, se colocaron en la clase de *misceláneos*. Los factores de emisión por contaminante se pueden consultar en la tabla *VegCode* del GloBEIS.

Debido a que el factor de emisión de las zonas urbanas considera cierto porcentaje de pasto y bosques (20% respectivamente), se hicieron algunas adecuaciones para redistribuir esta categoría (Yarwood, *et al.*, 1999):

- Se obtuvo la superficie de pasto (20% del área urbana) y se asignó a la categoría *Gras* del GloBEIS.
- En el caso de los árboles, se estimó la fracción que ocupa cada especie de árbol en el uso forestal, esta fracción se aplicó al uso forestal del área urbana y se obtuvo la respectiva superficie por tipo de árbol, asumiendo que tienen la misma proporción.
- El área de cada tipo de árbol en el uso urbano obtenida en el punto anterior, se agregó a su respectiva especie en el uso forestal.
- En los casos donde no se tenía uso forestal, el respectivo 20% de árboles de la zona urbana se agregó a la categoría de “*otros*” (*Othe* en el GloBEIS).
- Una vez realizadas las actividades anteriores, el uso urbano queda reducido aproximadamente al 60% de la superficie original, cabe mencionar que el uso de suelo no se cambia, simplemente se distribuyen las superficies en las categorías del GloBEIS.
- Ya que para el Distrito Federal se contó con el inventario de áreas verdes urbanas, el uso urbano simplemente se distribuyó tomando como base las cifras reportadas para pasto y árboles en cada delegación.

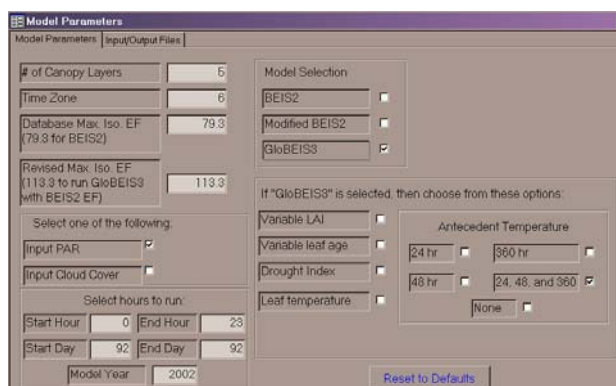
Los archivos de entrada para el cálculo de emisiones deben ser especificados en la sección *Input/Output Files*; en este caso, se generaron los cinco archivos:

- 1) definición del dominio,
- 2) temperatura,
- 3) PAR,
- 4) uso de suelo,
- 5) antecedentes de temperatura (esta información se generó con la sección “*Antecedent Temperature*” del módulo “*Utilities*”).



**Figura A.4.3 Archivos de entrada del GloBEIS**

Una vez definida la información anterior, se modifican los parámetros de entrada al modelo para realizar las respectivas corridas por temporada (ver figura siguiente y manual de usuario del GloBEIS).



**Figura A.4.4** Pantalla de parámetros del GloBEIS

Realizadas las respectivas corridas por temporada, se tienen las siguientes emisiones biogénicas en la Zona Metropolitana del Valle de México:

**Tabla A.4.2 Emisiones biogénicas de la ZMVM**

Temporada	Emisiones [ton/año]				
	Isopreno	Monoterpeno	OCOV	Total COV	NOx
Seca-Fría	1,224	1,867	1,961	5,052	141
Lluvias	1,978	2,231	2,360	6,569	255
Seca-cálida	2,109	1,896	1,980	5,985	230
<b>Total</b>	<b>5,311</b>	<b>5,994</b>	<b>6,301</b>	<b>17,606</b>	<b>626</b>

## A.4.2 Erosión eólica del suelo.

Para la obtención de las áreas de erosión, se utilizó un sistema de información geográfica (ArcView), generándose una cobertura digital de las zonas susceptibles a la erosión eólica. Se utilizaron las áreas agrícolas del Inventario Nacional Forestal 2000, asumiéndose que las áreas agrícolas de temporal permanecen sin cubierta vegetal la mayor parte del año y son fácilmente susceptibles a la erosión eólica; para el caso de las áreas con cultivos permanentes, se consideraron como suelos con cubierta vegetal, ya que todo el año presentan algún tipo de vegetación, así mismo se tomaron en cuenta los pastizales, matorrales y la vegetación halófila del área de estudio (Figura A.4.5).

Para el caso del Distrito Federal, se agregaron las áreas naturales protegidas, superficies consideradas con suelo con cubierta vegetal, también se contabilizaron los asentamientos irregulares y poblados considerados rurales, asumiendo que dichas áreas permanecen sin vegetación.

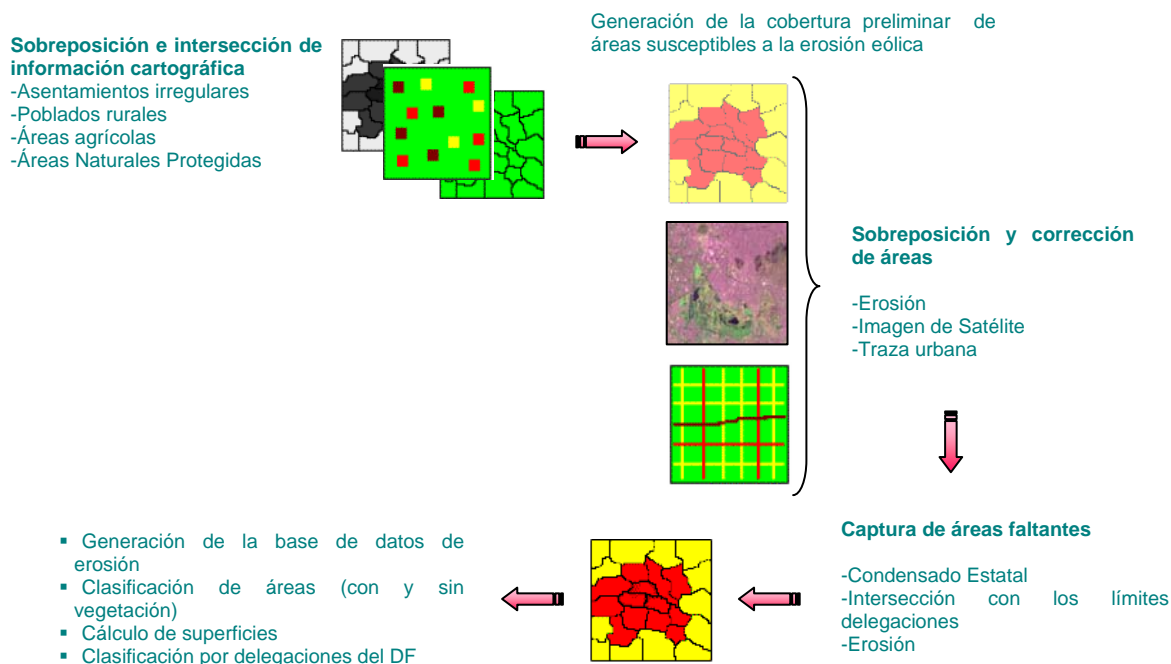


Figura A.4.5 Procedimiento de elaboración de la cobertura de erosión

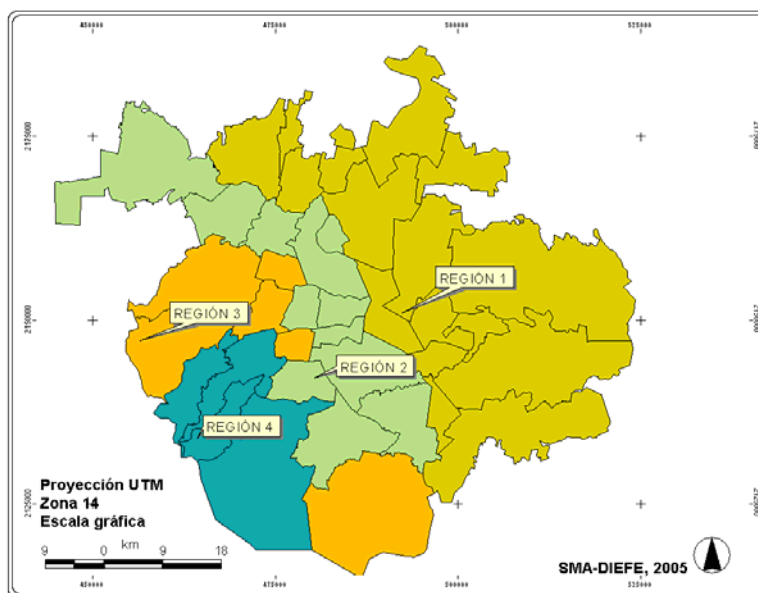
Finalmente se llevó a cabo la sobreposición de la cobertura preliminar de erosión, con una imagen de satélite LANDSAT TM, de 5 bandas del año 2000, con resolución de 30 m, la cual fue proporcionada por SEMARNAT y la traza urbana<sup>8</sup>, lo anterior con la finalidad de realizar correcciones a las áreas de erosión, así mismo, se agregaron algunos parques urbanos de importancia, tomados de la carta “Condensado Estatal” (INEGI, 2000, escala 1:80,000) del Distrito Federal.

La cobertura digital de zonas susceptibles a la erosión eólica, fue dividida en cuatro regiones, con la finalidad de obtener condiciones meteorológicas específicas para cada una de ellas, basándose en la precipitación pluvial (ver tabla siguiente).

Tabla A.4.3 Regiones para el cálculo de emisiones por erosión

Región 1	Región 2	Región 3	Región 4
Acolman	Atizapán de Zaragoza	Azcapotzalco	Álvaro Obregón
Atenco	Gustavo A. Madero	Huixquilucan	Cuajimalpa de Morelos
Coacalco	Iztapalapa	Miguel Hidalgo	La Magdalena Contreras
Cuautitlán	Nicolás Romero	Milpa Alta	Tlalpan
Cuautitlán Izcalli	Tláhuac	Naucalpan de Juárez	
Chalco	Tlalnepantla de Baz		
Chalco Solidaridad	Xochimilco		
Chicoloapan	Venustiano Carranza		
Chimalhuacán			
Ecatepec			
Ixtapaluca			
La Paz			
Nezahualcóyotl			
Tecamac			
Texcoco			
Tultitlán			

<sup>8</sup> SETRAVI, 2000. Cobertura digital de la traza urbana.



**Mapa A.4.1 Regiones de erosión eólica**

Una vez realizado lo anterior se obtienen las áreas susceptibles de erosión por entidad, las cuales se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla A.4.4 Áreas susceptibles a la erosión eólica ZMVM, 2004**

Delegación	Superficie susceptible [ha]
Distrito Federal	48,938
Estado de México	144,671
<b>ZMVM</b>	<b>193,609</b>

El cálculo de las emisiones de  $PM_{10}$  generadas por la erosión, fueron realizadas con la metodología del Programa de Inventario de Emisiones para México que contempla una versión modificada de la ecuación erosionabilidad del suelo, desarrollada por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) (EPA, 1997). En lo que se refiere a las  $PM_{2.5}$ , se estimaron con base en el perfil de especiación de material particulado propuesto por CEIDARS<sup>9</sup>, donde se considera que las  $PM_{2.5}$  representan aproximadamente el 11% de las partículas totales (PST).

Ecuación modificada de erosionabilidad del suelo:  **$E = (FS) I C K L' V'$**

Donde:

$E$  = Factor de emisión de partículas suspendidas en [ton/acre/año]

$FS$  = Fracción de las pérdidas totales por erosión del viento medidas como partículas suspendidas, este dato es adimensional.

$I$  = Erosionabilidad del suelo [ton/acre/año]

$C$  = Factor climático, adimensional.

$K$  = Factor de rugosidad del suelo, adimensional.

$L'$  = Factor de amplitud del campo sin protección, adimensional

<sup>9</sup> California Emission Inventory And Reporting System, 2002.



$V'$  = Factor de cobertura vegetal, adimensional

Para el factor  $FS^{10}$ , se tomó el 2.5% considerado que éste es para las regiones agrícolas y 3.8% para caminos sin pavimentar y otras áreas, así mismo, de la cantidad de pérdida de suelo que se suspende aproximadamente el 50% son  $PM_{10}$ .

Debido a que en el Valle de México existen diferentes tipos de suelo, para la obtención del factor  $I$  de erosionabilidad del suelo, se consideraron los más predominantes, de acuerdo a la CORENADER<sup>11</sup> al estudio "Bases para el Manejo Ambiental de la Zona Oriente del Valle de México"<sup>12</sup>. Los suelos dominantes en la ZMVM son: Litosol, Andosol, Regosol, Vertisol, Feozem y Solonchac, dichos tipos de suelo presentan en general una textura de media a gruesa, en su mayor proporción arena (50 % aproximadamente) y en menor cantidad limo y arcilla. Con base en lo anterior, se tomó un valor de 56 toneladas/acre/año para el factor  $I$ .

El factor climático  $C$ , se calculó con la siguiente ecuación tomando en cuenta la velocidad del viento y de la humedad del suelo, es importante resaltar que la tasa de movimiento del suelo, varía directamente con la velocidad del viento e inversamente con la humedad de la superficie:

$$C = \frac{(0.345) V^3}{[115 \sum_{i=1}^{12} (Pm_i/Tm_i - 10)^{10/9}]^2}$$

Donde

$V$  = velocidad promedio del viento, corregido a 10 metros [mi/hr]

$Pm$  = precipitación mensual [pulgadas]

$Tm$  = temperatura promedio mensual [°Fahrenheit]

La información de temperatura y el viento fueron proporcionados por Subdirección de Meteorología de la SMA-GDF, la temperatura proviene de los datos la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) y los valores de precipitación de la Dirección General Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH-GDF).

El factor de rugosidad del suelo  $K$ , está dado por la reducción en la erosión eólica a causa de la presencia de cerros, lomas, canales, surcos, entre los principales. Cuando la presencia de estos factores es mínima, se estima un valor de rugosidad de 1 y para el caso de las áreas agrícolas se utilizó un valor de 0.6.

El factor de amplitud de campo sin protección  $L'$  se fundamenta en el producto de los factores de erosionabilidad ( $I$ ) y rugosidad ( $K$ ), para la amplitud de campo ( $L$ ) se tomó un valor de 0.76 para las áreas de cultivos y de 0.32 para áreas con un uso diferente al agrícola (USEPA, 1997; Návar y Treviño 1997<sup>13</sup>).

<sup>10</sup> EPA, 1997. Manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México. Volumen de Fuentes de Área-Erosión eólica.

<sup>11</sup> Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural

<sup>12</sup> GDF-Universidad de Chapingo, 2000.

<sup>13</sup> Navar y Treviño, 1997. Estimación del Tonelaje de partículas de Suelo que Potencialmente Contribuye a la Contaminación del Aire en el Área de Monterrey, México.



El factor  $V'$  es la fracción anual de pérdida de suelo debida a que el campo tiene una cubierta vegetal, en el presente cálculo se hicieron dos suposiciones, considerando  $V' = 1$  cuando el suelo no tiene cobertura vegetal y  $V' = 0.5$  si existe cobertura vegetal<sup>14</sup>.

En la siguiente tabla se muestran los valores de las variables utilizadas para el cálculo de las emisiones de  $PM_{10}$  por cada región:

**Tabla A.4.5 Variables de cálculo de para la erosión eólica del suelo por región**

Parámetro		Región			
		1	2	3	4
Fracción de partículas suspendidas 2.5% (agrícola)	FS	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
Fracción de partículas suspendidas 3.8% (otros)	FS	3.8%	3.8%	3.8%	3.8%
Erosionabilidad (ton/acre/año)	I	56	56	56	56
Factor climático	C	0.0161	0.00089	0.00085	0.00018
Factor de rugosidad (agrícola)	K	0.6	0.6	0.6	0.6
Factor de rugosidad (otros)	K	1	1	1	1
Factor amplitud del campo sin protección (agrícola)	L'	0.76	0.76	0.76	0.76
Factor amplitud del campo sin protección (otros)	L'	0.32	0.32	0.32	0.32
Factor de cobertura vegetal (sin veg.)	V'S	1	1	1	1
Factor de cobertura vegetal (con veg.)	V'C	0.5	0.5	0.5	0.5
Velocidad de viento (millas/hora)	V	1.76	1.58	1.87	1.36

1 ha = 2.5 acres

A continuación se muestran las emisiones obtenidas:

**Tabla A.4.6 Emisiones generadas por la erosión eólica**

Entidad	Superficie de erosión [ha]	$PM_{10}$	$PM_{25}$
Distrito Federal	48,938	20	4
Estado de México	144,671	1,181	257
<b>ZMVM</b>	<b>193,609</b>	<b>1,201</b>	<b>261</b>

<sup>14</sup> EPA, 1997. Manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México. Volumen de Fuentes de Área-Erosión eólica.

