



**UNIVERSIDAD MICHOACANA  
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**MCIA**  
Maestría en Ciencias  
en Ingeniería Ambiental  
UMSNH

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
FACULTAD DE BIOLOGÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS  
EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Evaluación de la emisión de partículas menores a diez  
micrómetros ( $PM_{10}$ ) como producto de la erosión eólica en  
áreas agrícolas de Morelia y zonas aledañas.**

Para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

Presenta el:

***I.Q. Jesús Alemán Torres***

Director de Tesis:

***Dr. Marco Antonio Martínez Cinco***

Codirectora:

***Dra. María Alcalá De Jesús***

Morelia, Michoacán, Septiembre del 2013

---

ÍNDICE	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Erosión del suelo.....	4
2.1.1. Transporte de las partículas del suelo por erosión eólica.....	5
2.2 Material suspendido particulado .....	7
2.3 Problemas de salud a causa de las partículas suspendidas .....	8
2.4 Inventario de emisiones contaminantes a la atmosfera para la zona metropolitana de Morelia y cinco municipios. ....	9
2.4.1. Metodologías utilizadas para la estimación de emisiones .....	9
2.4.2 Emisión anual de contaminantes .....	10
2.4.2.1 Emisión anual por fuente y contaminante .....	10
2.4.2.2 Emisión anual por municipio y contaminante.....	11
2.4.3 Emisión por tipo de fuente. ....	12
2.4.3.1 Inventario de emisiones de fuentes fijas. ....	12
2.4.3.2 Inventario de emisiones de fuentes de área. ....	12
2.4.3.3 Inventario de emisiones de fuentes móviles. ....	13
2.4.3.4 Inventario de emisiones de fuentes biogénicas. ....	14
2.4.4 Conclusiones.....	15
2.5 Características Edafológicas.....	15
2.6. Métodos de cuantificación y modelado de la erosión .....	16
2.6.1 Modelado predictivo .....	17
2.6.2 Wind Erosión Prediction System (WEPS).....	17
2.6.3 Single-event Wind Erosion Evaluation Program (SWEEP).....	18
3 ANTECEDENTES.....	19
4 JUSTIFICACIÓN.....	24
5 OBJETIVO GENERAL.....	25
5.1 Objetivos Específicos .....	25
6 HIPÓTESIS.....	25
7 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	26
7.1 Ubicación Geográfica .....	26
7.2 Clima .....	26
7.3 Orografía .....	26

---

7.4 Hidrología .....	27
7.5 Suelos .....	27
8 METODOLOGÍA.....	29
8.1 Inventario de emisiones de contaminantes a la atmosfera.....	29
8.2 Delimitación del Área de Estudio .....	30
8.3 Diseño de Estudio de Vientos .....	31
8.4 Selección de las zonas de muestreo .....	32
8.4.1 Delimitación de áreas agrícolas .....	32
8.4.2 Unidades de suelo y clases de textura .....	33
8.4.3 Erosionabilidad del suelo y sitios de muestreo .....	35
8.5 Interfaces requeridas por el modelo WEPS (caracterización de los suelos).....	37
8.5.1 Estimación de las PM10 a partir del modelo WEPS .....	38
9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
9.1 Estudio de vientos .....	39
9.1.1 Primavera .....	39
9.1.2 Verano .....	42
9.1.3 Otoño.....	44
9.1.4 Invierno.....	46
9.2 Interfaces requeridas en el modelo WEPS. ....	48
9.3 Resultados de la generación de Mapas de erodabilidad.....	51
9.4 Obtencion de factores de emision utilizando SWEEP .....	52
10 CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES.....	60
ANEXOS.....	64
HYSPLIT.....	65
Metodología para generar las interfaces (características de suelo) requeridos en el modelo WEPS .....	72
1. Campo .....	72
2. Biomasa.....	72
3. Capas de suelo .....	73
4. Superficie del suelo .....	75
5. Clima .....	76
Base de datos para el SWEEP .....	77
Por punto de muestreo.....	77

Resultados de la simulación en SWEEP .....	85
--------------------------------------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Los tres tipos de transporte eólico de partículas .....	6
Figura 2. Comportamiento horario de las PM <sub>10</sub> en cinco ciudades .....	20
Figura 3. Comportamiento mensual de las PM <sub>10</sub> en la región centro .....	20
Figura 4. Comportamiento mensual de las PM <sub>10</sub> en la región norte .....	21
Figura 5. Diagrama del desarrollo de la metodología .....	29
Figura 6. Municipios correspondientes a la zona de estudio. ....	30
Figura 7. Software de ArcMap, ArcGis V10, (2010). ....	31
Figura 8. Imagen de presentación del WRPLOT View V7, .....	32
Figura 9. Imagen de presentación del Hysplit. ....	32
Figura 10. Delimitación de áreas agrícolas en la zona de estudio. ....	33
Figura 11. Unidades de suelo en la zona de estudio. ....	34
Figura 12. Clases de textura en la zona de estudio. ....	34
Figura 13. Mapa de Transectos de los niveles de erosionabilidad bajo y moderado. ....	36
Figura 14. Mapa de Transectos de los niveles de erosionabilidad alto y muy alto. ....	36
Figura 15. Entrada de datos para el modelos SWEEP. ....	38
Figura 16. Rosa de vientos de las primaveras del 2003 – 2011 de la estación meteorológica de Morelia No. 665 .....	39
Figura 17. Distribución de porcentajes de las velocidades de la rosa de vientos de las primaveras 2003 - 2011. ....	40
Figura 18. Rosa de vientos de los veranos del 2003 – 2011 de la estación meteorológica de Morelia No. 665 .....	42
Figura 19. Distribución de porcentajes de las velocidades de la rosa de vientos de los veranos 2003 - 2011. ....	42
Figura 20. Rosa de vientos de los otoños del 2003 – 2011 de la estación meteorológica de Morelia No. 665. ....	44
Figura 21. Distribución de porcentajes de las velocidades de la rosa de vientos de los otoños 2003 -2011 .....	44
Figura 22. Rosa de vientos de los inviernos del 2003 – 2011 de la estación meteorológica de Morelia No. 665. ....	46
Figura 23. Distribución de porcentajes de las velocidades de la rosa de vientos de los Inviernos 2003 - 2011 .....	46
Figura 24. Mapa de clases de erosionabilidad en la zona de estudio .....	52
Figura 25.- Cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 1 .....	53
Figura 26.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 1 .....	54
Figura 27. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación y arrastre del Transecto 1. ....	55
Figura 28. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 1 .....	55
Figura 29. Mapa de los niveles de pérdida de suelo en la zona agrícola a partir del SWEEP. ....	58
Figura 30. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de enero .....	65
Figura 31. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de febrero. ....	66
Figura 32. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de marzo .....	66
Figura 33. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de abril .....	67
Figura 34. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de mayo .....	67
Figura 35. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de junio .....	68
Figura 36. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de julio. ....	68

Figura 37. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de agosto .....	69
Figura 38. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de .....	69
Figura 39. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de .....	70
Figura 40. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de .....	70
Figura 41. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de .....	71
Figura 42. Calculo de Índice de residuos.....	72
Figura 43. Trabajo de campo .....	73
Figura 44. Perfil de suelo .....	73
Figura 45. Determinación de texturas .....	74
Figura 46.- Cuadrícula de pérdida total de suelo en (kg m <sup>-2</sup> ) del Transecto 2 .....	88
Figura 47.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> en (kg m <sup>-2</sup> ) del Transecto 2 .....	88
Figura 48. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre en (kg m <sup>-2</sup> ) del Transecto 2.....	89
Figura 49. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión en (kg m <sup>-2</sup> ) del Transecto 2. ....	90
Figura 50.- Cuadrícula de pérdida total de suelo en (kg m <sup>-2</sup> ) del Transecto 3.....	91
Figura 51.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> en (kg m <sup>-2</sup> ) del Transecto 3 .....	92
Figura 52. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre en (kg m <sup>-2</sup> ) del Transecto 3 .....	92
Figura 53. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión en (kg m <sup>-2</sup> ) del Transecto 3. ....	93
Figura 54.- Cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 4 .....	94
Figura 55.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 4.....	95
Figura 56. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 4 .....	96
Figura 57. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 4 .....	96
Figura 58.- Cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 5.....	98
Figura 59.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 5.....	98
Figura 60. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 5 .....	99
Figura 61. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 5 .....	100
Figura 62.- Cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 6.....	101
Figura 63.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 6.....	102
Figura 64. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 6 .....	102
Figura 65. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 6 .....	103
Figura 66.- Cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 7.....	104
Figura 67.- Cuadrícula de pérdida por PM <sub>10</sub> del Transecto 7 .....	105
Figura 68. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 7 .....	106
Figura 69. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 7 .....	106
Figura 70.- Cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 8.....	108
Figura 71.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 8.....	108
Figura 72. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 8 .....	109
Figura 73. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 8 .....	110
Figura 74.- Cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 9.....	111
Figura 75.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 9.....	112
Figura 76. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 9 .....	112
Figura 77. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 9 .....	113

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Superficie mundial afectada por distintos tipos y causas de erosión.....	5
Cuadro 2. Superficie continental afectada por la erosión del suelo por uso del terreno .....	5
Cuadro 3. Resumen general de emisión por tipo de fuente y contaminante.....	11
Cuadro 4. Resumen general de emisión por municipio .....	11

---

Cuadro 5. Emisión por giro industrial y contaminante .....	12
Cuadro 6. Emisión de fuentes de área por municipio y contaminante. ....	13
Cuadro 7. Emisión de fuentes móviles por tipo de vehículo y contaminante .....	14
Cuadro 8. Emisión de fuentes biogénicas por municipio y contaminante .....	14
Cuadro 9. Emisión por fuente de área y contaminante.....	22
Cuadro 10. Unidades de suelo.....	277
Cuadro 11a. Clasificación de la erosionabilidad de unidades de suelo según la FAO .....	35
Cuadro 12. Interfaces para el modelo WEPS (caracterización de los suelos) .....	37
Cuadro 13. Distribución de porcentajes en intervalos de las direcciones y velocidades de la rosa de vientos de las primaveras 2003 - 2011 .....	41
Cuadro 14. Distribución de porcentajes en intervalos de las direcciones y velocidades de la rosa de vientos de los veranos 2003 – 2011 .....	43
Cuadro 15. Distribución de porcentajes en intervalos de las direcciones y velocidades de la rosa de vientos de los otoños 2003 – .....	45
Cuadro 16. Distribución de porcentajes en intervalos de las direcciones y velocidades de la rosa de vientos de los inviernos 2003 a 2011 .....	47
Cuadro 17. Interface de campo por transecto. ....	49
Cuadro 18. Interface de biomasa por transecto .....	49
Cuadro 19. Interface de capas de suelo por transecto. ....	50
Cuadro 20. Interface de superficie del suelo por transecto. ....	51
Cuadro 21. Interface de clima por transecto. ....	51
Cuadro 22. Factor de emisión de pérdida promedio de la cuadrícula del Transecto 1 .....	53
Cuadro 23. Velocidad másica lineal por ubicación del Transecto 1 .....	53
Cuadro 24. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 1 .....	54
Cuadro 25. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 1 .....	54
Cuadro 26. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación y arrastre del .....	55
Cuadro 27. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 1 .....	56
Cuadro 28. Factores de emisión de PM <sub>10</sub> por Transecto en (t ha <sup>-1</sup> ).....	57
Cuadro 29. Comparación de resultados de emisión del SWEEP para un periodo de tres meses y la emisión de PM <sub>10</sub> del Inventario de Emisiones en 2008 anualizado.....	57
Cuadro 30.- Datos de campo por punto de muestreo.....	77
Cuadro 31.- Datos de biomasa por punto de muestreo I.....	78
Cuadro 32.- Datos de biomasa por punto de muestreo II.....	79
Cuadro 33.- Datos de capas de suelo por punto de muestreo I .....	80
Cuadro 34.- Datos de capas de suelo por puntos de muestreo II .....	81
Cuadro 35.- Datos de superficie del suelo por puntos de muestreo I.....	82
Cuadro 36.- Datos de superficie del suelo por puntos de muestreo II.....	83
Cuadro 37.- Datos de clima por puntos de muestreo .....	84
Cuadro 38.- Pérdida promedio de la cuadrícula del Transecto 2 .....	87
Cuadro 39.- Pérdida total por ubicación del Transecto 2.....	87
Cuadro 40. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 2 .....	88
Cuadro 41. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 2.....	89
Cuadro 42. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 2 .....	89
Cuadro 43. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 2. ....	90
Cuadro 44.- Pérdida promedio de la cuadrícula del Transecto 3 .....	90
Cuadro 45.- Pérdida total por ubicación del Transecto 3.....	91
Cuadro 46. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 3 .....	91
Cuadro 47. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 3.....	92

---

Cuadro 48. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 3 .....	93
Cuadro 49. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 3 .....	93
Cuadro 50.- Pérdida promedio de la cuadrícula del Transecto 4 .....	94
Cuadro 51.- Pérdida total por ubicación del Transecto 4.....	94
Cuadro 52. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 4 .....	95
Cuadro 53. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 4.....	95
Cuadro 54. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 4 .....	96
Cuadro 55. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 4 .....	97
Cuadro 56.- Pérdida promedio de la cuadrícula del Transecto 5 .....	97
Cuadro 57.- Pérdida total por ubicación del Transecto 5.....	97
Cuadro 58. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 5 .....	98
Cuadro 59. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 5.....	99
Cuadro 60. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 5 .....	99
Cuadro 61. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 5 .....	100
Cuadro 62.- Pérdida promedio de la cuadrícula del Transecto 6 .....	100
Cuadro 63.- Pérdida total por ubicación del Transecto 6.....	101
Cuadro 64. Valores de la cuadrícula de pérdida de total de suelo del Transecto 6 .....	101
Cuadro 65. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 6.....	102
Cuadro 66. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 6 .....	103
Cuadro 67. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 6 .....	103
Cuadro 68.- Pérdida promedio de la cuadrícula del Transecto 7 .....	104
Cuadro 69.- Pérdida total por ubicación del Transecto 7.....	104
Cuadro 70. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 7 .....	105
Cuadro 71. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 7.....	105
Cuadro 72. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 7 .....	106
Cuadro 73. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 7 .....	107
Cuadro 74.- Pérdida promedio de la cuadrícula del Transecto 8 .....	107
Cuadro 75.- Pérdida total por ubicación del Transecto 8.....	107
Cuadro 76. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 8 .....	108
Cuadro 77. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 8.....	109
Cuadro 78. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 8 .....	109
Cuadro 79. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 8 .....	110
Cuadro 80.- Pérdida promedio de la cuadrícula del Transecto 9 .....	110
Cuadro 81.- Pérdida total por ubicación del Transecto 9.....	111
Cuadro 82. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 9 .....	111
Cuadro 83. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM <sub>10</sub> del Transecto 9.....	112
Cuadro 84. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 9 .....	113
Cuadro 85. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 9 .....	113

---

## GLOSARIO

CONAGUA.- Comisión Nacional del Agua

FAO. - Food & Agriculture Organization

GloBEIS. - The Global Biosphere Emissions and Interactions System

HYSPLIT.- HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory

INE.- Instituto Nacional de Estadística

INEGI.- Instituto Nacional de Estadística y Geografía

MOBILE6.- Vehicle Emission Modeling Software

SEMARNAT.- Secretaria de Marina y Recursos Naturales

SUMA.- Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente

SWEEP. - Single-event Wind Erosion Evaluation Program

TANK 3.1. - Storage Tank Emissions Calculation Software

UNESCO. - Organización de las Naciones Unidas para la Educación

USEPA. - United State Enviromental Protection Agency

WEPS. - Wind Erosión Prediction System

WRPLOT.- Wind Rose Plot

---

## AGRADECIMIENTOS

A Conacyt, por el apoyo económico para la realización de este proyecto de Tesis.

Al Programa de Postgrado en Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por el espacio que me dio para realizar la tesis.

Al Laboratorio de Edafología (Edificio B-4) de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por permitirme utilizar el instrumental para realizar los análisis de suelos.

A mis asesores el Dr. Marco Antonio Martínez Cinco y la Dra. María Alcalá de Jesús por su tiempo y dedicación para que tuviera una total comprensión en mi proyecto de Tesis.

A los integrantes de la comisión revisora: Dr. Juan Manuel Ortega, Dr. Rafael Huirache y al M.C. Gabriel Martínez por sus observaciones y sugerencias.

A mis asesores en la estancia realizada el Dr. José Luis Oropeza y el Dr. Alejandro Amante del ColPos Campus Montecillo, Cd. De México y San Luis Potosí respectivamente.

A los señores Comisarios Ejidales y Encargados del Orden de Tejaro y Cuitzillo municipio de Tarímbaro, Santiago Undameo, Cotzurio, Chiquimitio, Atecuaro y Umequaro municipio de Morelia, Charo, Indaparapeo y Álvaro Obregón respectivos de la zona de estudio por permitirme el ingreso a las parcelas agrícolas y realizar el trabajo de campo.

A la Biól. Reyna Elizabeth Maldonado López por su apoyo al acompañarme en el trabajo de campo. A la M. C. Martha Olivia Cortés Vargas por la asesoría en los análisis de suelos y recorrido de campo.

Al personal de INEGI por las facilidades que me dieron al proporcionarme la información más reciente de mi zona de estudio. Al Lic. En Geografía José Antonio León Chávez de la Estación Meteorológica No. 65 por el tiempo que dedico en proporcionarme información de los vientos en Morelia

---

## RESUMEN

La erosión eólica ocurre en la mayor parte en suelos descubiertos o con poca cobertura vegetal, causándoles una fuerte degradación al transformarlos en suelos erosionados y someros, menos fértiles y, por lo tanto menos productivos, lo que trae consigo la aceleración del proceso de desertificación de una región. Este problema se ha venido acentuando por diversas razones, entre ellas, por el sobrepastoreo y la apertura de tierras al cultivo. La evaluación de la propensión de los suelos para la emisión de  $PM_{10}$  (material particulado menor de  $10\ \mu m$  de diámetro) y la identificación de las causas de las variaciones en la producción de  $PM_{10}$  son fundamentales para mejorar su estimación en el aire por la erosión eólica.

La presente investigación, se llevó a cabo en Morelia, Álvaro Obregón, Tarímbaro, Charo e Indaparapeo, Michoacán con la finalidad de estudiar la emisión de las partículas del suelo  $PM_{10}$  por el viento de tal manera que se cuente con la información para que en el futuro se diseñen las prácticas de conservación que controlen la erosión del suelo. Para tal efecto, se realizó un estudio de vientos para observar su comportamiento en un lapso de nueve años. Se identificaron las clases de erosionabilidad en las zonas agrícolas y su distribución. Para predecir la emisión de  $PM_{10}$  mediante el modelo matemático WEPS se tomaron medidas de la superficie del suelo y se realizaron análisis físicos de los suelos en 36 sitios a través de transectos.

Los resultados indican que la mayoría de los vientos proceden del sureste-suroeste y los que vienen de la parte norte son pocos, pero con alta velocidad. Tarímbaro es el municipio que más aporte de  $PM_{10}$  tiene con un factor de emisión de  $0.027\ t\ ha^{-1}$ , seguido de Álvaro Obregón con  $0.018\ t\ ha^{-1}$ . Al comparar las emisiones de  $PM_{10}$  obtenido con el modelo WEPS y las del inventario de emisiones a la atmósfera de Morelia y zonas aledañas, se observó que en el presente estudio, los niveles de  $PM_{10}$  rebasan los del inventario en proporción 2:1 para Tarímbaro y de 4.6:1 para Álvaro Obregón. Al comparar el mapa de clases de erosionabilidad con el de resultados del WEPS, se observó gran similitud en la ubicación de las distintas clases de erosionabilidad en ambos mapas. Las zonas agrícolas de Álvaro Obregón y Tarímbaro son las que tienen un nivel más alto de erosionabilidad y emisión de  $PM_{10}$ .

---

## Abstract

Wind erosion occurs mostly in bare soil or low vegetation cover, causing severe degradation, to transform eroded and shallow soils, less fertile and therefore less productive, which brings acceleration of desertification region. This problem has been accentuated by various reasons including, by overgrazing and land clearing for cultivation. The assessment of the potential of soils to the emission of PM<sub>10</sub> (particulate matter  $\leq 10 \mu\text{m}$  in diameter) and the identification of the causes of variations in the production of PM<sub>10</sub> are essential to improve the estimation of these in the air by erosion wind.

This research was conducted in Morelia, Álvaro Obregón, Tarímbaro, Charo and Indaparapeo in order to study the emission of PM<sub>10</sub> soil particles by wind and the spatial variation of wind erosion, so that it have the information for you in the future design conservation practices to control soil erosion. To this end, a study of winds to observe their behavior over a period of nine years. They proposed a methodology for identifying erodibility levels in agricultural areas based on INEGI soil information and soil loss equation of FAO; map was obtained erodibility levels of the study area, to from which we identified 31 sampling sites across transects, for each site were taken measures respective soil surface in the field and subsequently conducted soil tests are required to run the model prediction WEPS PM<sub>10</sub> emission.

The wind study results indicate that most come from the southeast-southwest and that of the few times that come from the northern part do so with the greatest speed. With respect to Tarímbaro soil loss is the most contribution municipality has a PM<sub>10</sub> emission factor of 0.027 t ha<sup>-1</sup>, followed by Álvaro Obregón with 0.018 t ha<sup>-1</sup>. By comparing the results of emissions reported in the inventory of emissions to the atmosphere of Morelia and surrounding areas was observed that these exceed inventory levels for Tarímbaro 2:1 and 4.6:1 for Alvaro Obregon. When comparing the levels of erodibility map created INEGI and FAO with map WEPS results, it was observed that there was a great similarity in the location of the different levels of erodibility between the two, seeing Alvaro agricultural areas Obregon and Tarímbaro are those with a high level of erodibility and PM<sub>10</sub> emissions.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los efectos de la contaminación atmosférica en la salud de la población por partículas suspendidas se han documentado ampliamente durante más de 70 años. De sus efectos en la salud, se sabe que entre más pequeñas sean las partículas, éstas pueden penetrar con mayor facilidad hasta el interior de los pulmones con posibles efectos tóxicos, debido a sus características fisicoquímicas. Las  $PM_{10}$  pueden entrar directamente al aparato respiratorio y depositarse en sus diferentes regiones,  $PM_{10}$  se definen como partículas menores a 10 micras de diámetro aerodinámico. Las partículas suspendidas son capaces de interferir con uno a más mecanismos de defensa del aparato respiratorio o actuar como vehículo de sustancias tóxicas absorbidas o adheridas a la superficie de la partícula. En varios estudios llevados a cabo en Estados Unidos y en Europa, se ha encontrado que la exposición prolongada a las partículas finas aumenta el riesgo de mortalidad por cáncer pulmonar y enfermedades cardiopulmonares (Popes *et al.*, 2002; Dockery *et al.*, 1993).

El incremento en las cantidades de gas y partículas potencialmente nocivas emitidas a la atmósfera, resultan en daños a la salud humana y a cambios en las condiciones ambientales. Su impacto depende de varios factores incluyendo la concentración de los contaminantes a los que la población está expuesta, la duración de la exposición, la toxicidad potencial de los contaminantes y la susceptibilidad de la población frente a éstos (Salazar *et al.*, 1989). Estudios sobre exposición de personas al material particulado, indican incrementos en la mortalidad, en el riesgo de contraer enfermedades crónicas respiratorias y en el desarrollo de cáncer. También deteriora la visibilidad, a la vegetación y a los materiales.

En los últimos años, la necesidad de obtener información sobre los efectos que ocasionan al ambiente y a la salud pública las emisiones de sustancias nocivas a la atmósfera, tales como las  $PM_{10}$ , ha incrementado de manera significativa en las grandes ciudades o áreas conurbadas con intensa actividad de procesos industriales y alto flujo vehicular de automotores, tal es el caso del área metropolitana de Monterrey en donde las emisiones de contaminantes a la atmósfera debidas a las actividades humanas por quema de combustibles fósiles, han deteriorado de forma dramática los índices de la calidad del aire (SEDUOP, 1996). La erosión eólica, es el proceso por el cual el viento recoge y transporta el material superficial del suelo, lo cual desgasta la superficie del terreno y provoca emisiones de suspensión a favor del viento. Este proceso ocurre en suelos sin protección o parcialmente cubiertos por

---

vegetación, dicho fenómeno está en función del clima, del suelo, cobertura vegetal y se presenta por lo general en la temporada de estiaje. La erosión eólica puede alterar la fertilidad física y química de los suelos, afectando el rendimiento de los cultivos o puede provocar impactos ambientales negativos. Uno de estos impactos es la liberación a la atmósfera de partículas  $PM_{10}$  (McConnell, 2007).

Las mediciones de la concentración atmosférica de las  $PM_{10}$  así como de variables meteorológicas como el viento de superficie, se realizan por medio de redes o sistemas de monitoreo ambiental que tienen como objetivo principal determinar e identificar la concentración de sustancias contaminantes en una región o área determinada, realizando evaluaciones en intervalos de tiempo regular y en sitios o lugares distribuidos de manera irregular (Myers, 1994; Rao *et al.*, 1995). La producción de  $PM_{10}$  desde lotes erosionados está directamente asociada al transporte de partículas por suspensión, mientras que la erosión del suelo se produce principalmente a través de los movimientos de rodadura y saltación (Buschiazzo & Aimar, 2003). Por esa razón, el movimiento de las partículas define la magnitud de la erosión del suelo o la contaminación potencial de la atmósfera con partículas finas.

El tipo de transporte de las partículas varía principalmente con la composición textural del suelo, aunque la agregación y la cobertura vegetal son también parámetros determinantes. Chepil (1945) demostró que suelos de texturas medias producen mayor cantidad de partículas movilizadas por suspensión y que la agregación del suelo aumenta el tamaño de las partículas finas e incrementa el movimiento por rodadura y saltación. Hoffmann *et al.* (2008) indican que la presencia de cobertura vegetal puede desplazar el perfil del viento hacia arriba, disminuyendo la cantidad absoluta de material erosionado e incrementando la cantidad de partículas movilizadas por suspensión.

Los suelos de las regiones áridas y semiáridas, principalmente aquellos de uso agrícola, son más susceptibles a la erosión eólica dadas sus características: poco desarrollada de textura gruesa y escasa estructura. El clima de estas regiones se caracteriza por precipitaciones concentradas en períodos de tiempo cortos, vientos de gran intensidad coincidentes con períodos secos, altas temperaturas y elevadas tasas de evapotranspiración, condiciones que sumados a la escasa cobertura vegetal y el uso de tecnología no adecuada, aumentan los riesgos de la erosión.

---

La importancia de realizar un estudio sobre los cambios ocurridos en la cobertura y uso del suelo radica en que la información obtenida puede ser instrumento de estudio para la toma de decisiones en la planeación del desarrollo futuro de la zona de estudio. Acoplar un modelo de erosión eólica para estudiar este fenómeno y determinar la distribución espacial de  $PM_{10}$  en Morelia y municipios aledaños es de gran importancia porque permitirá saber en dónde se localizan las zonas de mayor impacto por este fenómeno. Para estudiar la contaminación por partículas naturales es conveniente desarrollar la capacidad de modelar este fenómeno, mediante modelos meteorológicos y de calidad del aire, así como el modelo WEPS (Wind Erosión and Prediction System), que permite determinar la emisión de partículas por la erosión de suelos.

El tema central de este trabajo de investigación, consiste en determinar la distribución espacial de la emisión de  $PM_{10}$  en la zona agrícola de Morelia y cuatro municipios con el modelo WEPS para establecer la importancia que tiene la erosión de suelos, ya que en el inventario de emisiones de Morelia no es considerada. La correcta estimación de este tipo de partículas permitirá tener mejores predicciones sobre la concentración por efecto de la dispersión.

---

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Erosión del suelo

La erosión del suelo se produce por la desagregación y transporte de sus partículas por diversos agentes erosivos, principalmente el agua y el viento, y su acumulación ocurre cuando la energía de estos agentes es insuficiente para continuar con su transporte (Morgan, 1995). Los procesos de erosión, pérdida y acumulación del suelo forman parte de la dinámica natural del medio exógeno terrestre, de tal modo que se habla de pérdida de suelo tolerable cuando ésta no supera la tasa de renovación del suelo, es decir, no alcanza el nivel de degradación intensa o irreversible.

***Erosividad y erosionabilidad.***- Hudson (1982) señala que la erosión pluvial resulta de la interacción de dos elementos, el suelo y la lluvia. En un mismo suelo unas tormentas causan más erosión que otras y también se sabe que una misma tormenta produce más erosión en unos suelos que en otros. El efecto de la lluvia se denomina erosividad y el del suelo, erosionabilidad.

En función del agente erosivo se definen los siguientes tipos de erosión: hídrica, eólica, por deslizamientos de ladera húmedos y secos, nivel, glaciario, agentes biológicos y antropogénica. Oldeman (1994) estimó en 1966 la superficie mundial afectada por procesos de degradación del suelo, siendo los de erosión hídrica los más importantes, seguidos los de erosión eólica, degradación química y degradación física. Los deslizamientos de ladera producen la removilización de un alto volumen de suelo y a pesar de su poca frecuencia en determinados ambientes, son el principal agente de erosión (Bathurst *et al.*, 2007; Nyssen *et al.*, 2006).

En algunos ambientes se produce, además, la superposición de distintos procesos, principalmente de la erosión hídrica y eólica. Del total de la superficie degradada, la mayor parte se debe a procesos de deforestación, sobrepastoreo y actividades agrícolas y en menor medida a la sobreexplotación del suelo y a las actividades industriales (Cuadro 1). La superficie afectada por procesos de erosión y degradación del suelo debido al uso del suelo, varía en los distintos continentes (Cuadro 2).

Cuadro 1. Superficie mundial afectada por distintos tipos y causas de erosión (Oldeman, 1944).

Tipo y causa de erosión	Superficie afectada
	10 <sup>6</sup> ha
Eólica	549
Degradación Química	240
Degradación Física	83
Sobrepastoreo	679
Deforestación	579
Agricultura	552
Sobreexplotación	133
Industria	23
Total	1966

Cuadro 2. Superficie continental afectada por la erosión del suelo por uso del terreno (Oldeman, 1944).

Continente	Cultivo	Pasto	Bosque	Total
	10 <sup>6</sup> ha			
África	120	243	130	494
Asia	206	197	344	747
América del Sur	64	68	112	244
América Central	28	10	25	63
América del Norte	63	29	4	96
Europa	72	54	92	218
Oceanía	8	84	12	104
Total	561	685	719	1966

### 2.1.1. Transporte de las partículas del suelo por erosión eólica

Una vez puestas en movimiento por el viento, las partículas son transportadas y nuevamente sedimentadas a mayor o menor distancia. De acuerdo con su diámetro pueden ser transportadas por arrastre, saltación o suspensión (Figura 1):

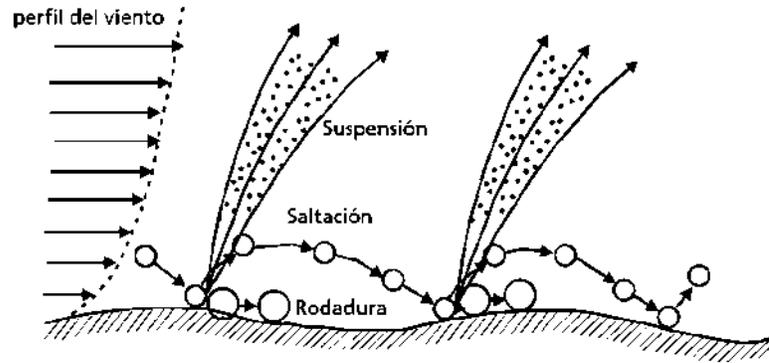


Figura 1. Los tres tipos de transporte eólico de partículas

**Saltación:** Es el tipo inicial de transporte de las partículas luego de que las mismas han sido movilizadas desde la superficie del suelo. Solamente aquellas partículas que posean parte de su masa expuesta al movimiento turbulento del aire, serán movilizadas por el viento. Estas partículas, deberán tener un diámetro definido. Si son muy pequeñas se ubicarán sobre la superficie del suelo, pero por debajo de la capa límite, zona que posee un movimiento laminar del aire que no producirá su movilización; si por el contrario, son muy grandes y pesadas, la velocidad del viento no será suficiente para elevarlas y solamente se podrán mover por arrastre. Por esta razón, las partículas transportadas por saltación tienen un diámetro definido que oscila entre 50 y 500  $\mu\text{m}$ . Debe considerarse que, una vez en movimiento en el flujo del aire, las partículas transportadas de esta forma pueden disminuir su tamaño por efectos de la abrasión y pasar a ser transportadas por suspensión. El movimiento de salto es regular y asimétrico.

Las partículas movilizadas por saltación impactan en el suelo y transfieren un momento de salto a las que se encuentran en la superficie. En general, 60% del material se moviliza por saltación a una altura menor a 5 cm, 90% a una altura menor de 30 cm y sólo 1% supera el metro de altura. La distancia recorrida varía entre 12 a 25 veces la altura máxima alcanzada (Cooke *et al.*, 1993).

El impacto de una partícula en el suelo consume 60% de energía para el rebote de la misma partícula, 40% para deformar y reacomodar otras partículas y solo 1% para movilizarlas.

**Arrastre:** Es el transporte de partículas que se realiza sin un despegue de las mismas de la superficie del suelo. Solamente las de un diámetro mayor a 500  $\mu\text{m}$  se movilizan de esta forma. De 5 a 25% de las partículas se transportan por arrastre (Chepil, 1945).

---

**Suspensión:** Es el transporte por flotación en el aire de partículas pequeñas ( $<100\ \mu\text{m}$ ) que se genera por el impacto de otras movilizadas por saltación sobre la superficie del suelo. El transporte de las partículas movilizadas por suspensión puede alcanzar algunos kilómetros de altura y varios centenares de distancia. Si la turbulencia del viento es alta, las partículas transportadas de esta forma pueden llegar a formar las tormentas de polvo. Aproximadamente de 3 a 40% de las partículas son transportadas en suspensión (Chepil, 1945).

**Avalancha:** Una vez iniciado el movimiento en la orilla a barlovento de un terreno, las partículas en saltación golpean la superficie del suelo a medida que se mueven con el viento. En consecuencia y de manera progresiva se incrementa tanto el número de partículas puestas en movimiento como el efecto abrasivo (Chepil, 1946 citado por Skidmore, 1979).

## 2.2 Material suspendido particulado

Las partículas suspendidas (PM, por sus siglas en inglés) forman una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire que pueden variar de manera significativa en tamaño, forma y composición, dependiendo de su origen. El tamaño de las partículas suspendidas varía desde  $0.005$  hasta  $100\ \mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico, esto es, desde unos cuantos átomos hasta aproximadamente el grosor de un cabello humano.

Las partículas pueden tener un origen natural (como la polinización de las plantas, procesos geológicos e incendios forestales) y también antropogénica (desde la quema de combustibles hasta la fertilización de campos agrícolas). Las partículas pueden ser directamente emitidas de la fuente, las llamadas partículas primarias, o bien formarse en la atmósfera cuando en ésta reaccionan algunas sustancias como óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, amoníaco y compuestos orgánicos, etc.), siendo consideradas partículas secundarias.

El estudio y la regulación ambiental de las partículas empezaron centrándose en las partículas suspendidas totales (PST) menores de  $100\ \mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico. Posteriormente, la atención fue para partículas con diámetros aerodinámicos menores de  $10\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ), y actualmente, en las partículas finas y ultrafinas, es decir, las menores de  $2.5\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) y  $1\ \mu\text{m}$  (PM), respectivamente. En los Estados Unidos la regulación de las PST empezó en 1971, agregando las normas para  $\text{PM}_{10}$  en 1987 y para  $\text{PM}_{2.5}$  en 1997 (USEPA, 2006). En México, la norma que regula los niveles de  $\text{PM}_{10}$  entro en vigor en 1994 y fue modificada en 2005

---

(DOF, 2005), cuando se incluyeron las  $PM_{2.5}$ . Por su tamaño, las  $PM_{2.5}$  permanecen en el aire más tiempo y se transportan a mayores distancias que las  $PM_{10}$ , por lo que las fuentes de emisión de  $PM_{2.5}$  primarias o de los precursores de  $PM_{2.5}$  secundarias pueden encontrarse lejos de los sitios donde se monitorean. La fracción gruesa de las partículas suspendidas con diámetro aerodinámico entre 2.5 y 10  $\mu m$ , en general se deposita más rápido con una vida media en la atmosfera de sólo minutos u horas y, por ende, presenta mayor variabilidad espacial dentro de una misma región (Finlayson-Pitts *et al.*, 2000).

### **2.3 Problemas de salud a causa de las partículas suspendidas**

En términos de sus efectos en la salud, se sabe que entre más pequeñas sean las partículas, penetran con mayor facilidad hasta el interior de los pulmones, con posibles efectos tóxicos, debido a sus características fisicoquímicas. Las  $PM_{10}$  entran directamente al aparato respiratorio y se depositan en sus diferentes regiones, mientras que las  $PM_{2.5}$  pueden llegar a la región alveolar. Las partículas suspendidas son capaces de interferir con uno o más mecanismos de defensa del aparato respiratorio, o actuar como vehículo de sustancias tóxicas absorbidas o adheridas a la superficie de la partícula. En varios estudios llevados a cabo en Estados Unidos y en Europa, se ha encontrado que la exposición prolongada a las partículas finas aumenta el riesgo de mortalidad por cáncer pulmonar y enfermedades cardiopulmonares (Pope *et al.*, 2002 y Dockery *et al.*, 1993).

Las  $PM_{10}$  al ser inhaladas y al penetrar con facilidad al sistema respiratorio humano, causan efectos adversos a la salud de las personas específicamente a la salud respiratoria, por viajar más profundamente en los pulmones y por estar compuesta de elementos tóxicos como metales pesados y compuestos orgánicos que causan cáncer.

Actualmente, se considera que las partículas en suspensión son el problema de contaminación ambiental más severo. Las  $PM_{10}$  están detrás de numerosas enfermedades respiratorias, problemas cardiovasculares y cáncer de pulmón. A largo plazo, se ha estimado que la exposición a partículas en suspensión puede reducir la esperanza de vida entre varios meses y dos años. Los efectos a la salud pueden ser: tos, resollo, dificultad para respirar, agravación del asma, daño al pulmón (incluyendo la disminución de la función del pulmón y enfermedades respiratorias de por vida) y muerte prematura en individuos con enfermedades existente del corazón y del pulmón.

---

En general, diversos estudios científicos han relacionado la exposición a las  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  con efectos en la salud, incluyendo agravación del asma, aumento de los síntomas respiratorios, como tos y respiración difícil o dolorosa, bronquitis crónica y reducción de la función pulmonar, entre otras consecuencias. En la ZMVM (zona metropolitana del valle de México) se ha encontrado que la exposición a las  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  puede aumentar el número de casos de bronquitis crónica, incrementar el número de ingresos a las salas de emergencias por asma, aumentar la aparición de infecciones respiratorias reducir la función pulmonar, disminuir la variabilidad cardiaca en ancianos y aumentar el riesgo de mortalidad (Borja-Aburto *et al.*, 1995).

## **2.4 Inventario de emisiones contaminantes a la atmosfera para la zona metropolitana de Morelia y cinco municipios.**

El presente inventario de emisiones contiene la estimación de emisión de los siguientes contaminantes en la zona metropolitana de Morelia (ZMMorelia) que comprende los municipios de: Álvaro Obregón, Charo, Indaparapeo, Morelia, Tarímbaro y Zinapécuaro: partículas menores a  $10\ \mu m$  ( $PM_{10}$ ), óxidos de azufre ( $SO_2$ ), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) e hidrocarburos totales (HC); la emisión de estos contaminantes fue estimada para fuentes fijas, fuentes de área, fuentes móviles y fuentes biogénicas de acuerdo con la clasificación utilizada por la SEMARNAT y el INE para reportar los inventarios de emisiones.

### **2.4.1. Metodologías utilizadas para la estimación de emisiones**

En el inventario de emisiones de la zona metropolitana de Morelia (SUMA, 2008) se presenta la estimación de emisiones de los contaminantes seleccionados se realizaron con base en la metodología de estimación que recomendada por la autoridad federal ambiental descrita en los manuales del programa de inventario de emisiones para México; para lo anterior, fue necesario determinar y recopilar todos los datos relacionados con las fuentes de emisiones de contaminantes y su actividad, además de seleccionar las técnicas y métodos de estimación de emisiones. El desarrollo del inventario utilizado en el presente estudio se realizó conforme a las siguientes técnicas:

- Modelos de emisión (mecanísticos). Herramienta de cálculo de emisiones utilizada para la estimación de emisión de contaminantes por almacenamiento masivo de combustibles con el modelo TANKS 3.1; también se utilizó el modelo GloBEIS para

---

calcular las emisiones provenientes de la vegetación y el modelo MOBILE6-México para calcular los factores de emisión utilizados para estimar las emisiones a la atmósfera provenientes de los vehículos automotores.

- Factores de emisión. Esta es una de las técnicas más utilizadas para la estimación de emisiones, principalmente en fuentes fijas y fuentes de área. La principal fuente de información para los factores de emisión fue la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (USEPA), a través del uso de su base de datos del AirChief Versión 9.0, Emission Factor and Inventory Group, AP-42 and Source Classification Codes.
- Extrapolación. Esta técnica se utiliza para la estimación de emisiones para aquellas fuentes que no cuentan con información detallada, por lo que se consideran los resultados de estudios o tendencias que han realizado, para la misma fuente, en otras zonas de interés.

## **2.4.2 Emisión anual de contaminantes**

En forma general, los resultados del inventario de emisiones de la región de estudio, muestran que del total de contaminantes emitidos a la atmósfera por año, el principal contaminante liberado es el CO con 81% de la emisión total, seguido por la emisión de HC con 14%, mientras que en tercer lugar se encuentran los NO<sub>x</sub>, los cuales representan 4% del total de los contaminantes liberados a la atmósfera. El SO<sub>2</sub> y las PM<sub>10</sub> emiten menos del 1% del total de los contaminantes al aire provenientes tanto de fuentes antropogénicas (fuentes móviles, de área y fijas) como biogénicas (emisiones biogénicas).

### **2.4.2.1 Emisión anual por fuente y contaminante**

En cuanto a la emisión por tipo de fuente, en el Cuadro 3 muestra los resultados generales del inventario de emisiones de la Zona Metropolitana de Morelia. La principal fuente de emisión de CO en 99% proviene de las fuentes móviles. Las fuentes móviles también contribuyen en forma importante con la emisión de NO<sub>x</sub> al aportar el 75%; HC 49% y PM<sub>10</sub> 22%. Las fuentes de área son importantes emisoras de HC al emitir 14% de este contaminante y son el principal emisor de PM<sub>10</sub>, contribuyendo con el 48% de este contaminante. Por otra parte, las fuentes fijas son las principales emisoras de SO<sub>2</sub>, al emitir 94% de este contaminante, además del 30% de PM<sub>10</sub>. Finalmente, las fuentes biogénicas son una de las

principales emisoras de HC ya que aportan el 37% del total, además de contribuir con 21% de la emisión total de NO<sub>x</sub>.

Cuadro 3. Resumen general de emisión por tipo de fuente y contaminante

Fuentes de Emisión	Emisión (Toneladas / Año)				
	HC	CO	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
			t a <sup>-1</sup>		
Fuentes Móviles	40658.96	462863.3	15668.83	232.13	403.67
Fuentes Fijas	250.92	63.95	732.66	312.02	7067.11
Fuentes de Área	11774.31	3859.35	223.34	498.76	13.58
Fuentes Biogénicas	30759.17	NA	4379.76	NA	NA
Total	83443.35	466786.59	21004.59	1024.91	7484.36

**Fuente:** Cuadro elaborado por LT Consulting, para el Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Zona Metropolitana de Morelia y 5 municipios, 2008. NA: No Aplica (no se estiman emisiones para estos contaminantes).

#### 2.4.2.2 Emisión anual por municipio y contaminante

La información relacionada con la emisión de contaminantes por municipio se muestra en el Cuadro 4 en donde se observa que Morelia presenta las más altas emisiones: 73.9% de los HC, 85.3% del CO, 76.8% de NO<sub>x</sub>, 69.4% de PM<sub>10</sub> y 99% de SO<sub>2</sub>.

Cuadro 4. Resumen general de emisión por municipio

Municipio	Emisión				
	HC	CO	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
			t a <sup>-1</sup>		
Álvaro Obregón	1915.64	13572.63	750.26	30.61	10.63
Charo	5622.81	4402.72	515.95	53.55	12.21
Indaparapeo	2797.11	6048.03	632.46	41.86	6.12
Morelia	61696.48	398113.09	16124.97	724	7410.32
Tarímbaro	1527.34	11273.32	896.34	74.09	10.06
Zinapécuaro	9883.98	33376.8	2084.61	118.8	35.02
Total	83443.35	466786.59	21004.59	1042.91	7484.36

**Fuente:** Figura elaborada por LT Consulting para el Inventario de Emisiones Atmosféricas de la ZMMorelia y 5 Municipios, 2008.

Otro municipio que emite cantidades importantes de contaminantes a la atmósfera es Zinapécuaro, 10.8% de los HC, 7.2% de CO, 9.9% de NO<sub>x</sub> y 11.4% de PM<sub>10</sub>.

## 2.4.3 Emisión por tipo de fuente.

### 2.4.3.1 Inventario de emisiones de fuentes fijas.

Por una parte el inventario de emisiones de fuentes para la zona metropolitana de Morelia se integró de los registros de las fuentes fijas de jurisdicción local y federal, Cuadro 5. Por otra, la información de base para el inventario de emisiones se obtiene de la Cédula de Operación Anual (COA) que es recibida e integrada en las entidades de su competencia (federal o local). Las etapas que se llevaron a cabo en el desarrollo del inventario son: Recepción e integración de la información de la COA, control de calidad a la información, cálculo de emisiones y la interpretación de resultados

Cuadro 5. Emisión por giro industrial y contaminante

CMAP	Emisión				
	HC	CO	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
	t a <sup>-1</sup>				
Extracción y/o beneficio de minerales no metálicos	0.00	0.08	0.83	0.47	8.48
Fabricación de artículos y productos metálicos	0.00	0.03	0.13	0.26	0.28
Fabricación de productos y artículos de madera	0.92	0.00	0.01	0.00	0.00
Fabricación de productos y artículos de plástico	34.25	0.01	0.08	0.00	0.00
Industria alimenticia	0.00	0.84	11.36	5.18	111.02
Industria automotriz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Industria de la celulosa y papel	0.88	39.07	484.11	159.4	4633.03
Industria del vidrio	0.00	0.09	0.53	0.02	0.00
Industria metalúrgica	0.12	1.85	2.62	0.94	0.01
Industria química	49.08	21.92	232.58	128.39	2311.84
Otras industrias	2.23	0.03	0.15	17.23	0.00
Petróleo y petroquímica	163.43	0.02	0.24	0.14	2.45
Producción de aparatos, y/o accesorios eléctricos	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
Total	250.92	63.95	732.66	312.02	7067.11

Fuente: Figura elaborada por LT Consulting para el Inventario de Emisiones Atmosféricas de la ZMMorelia y 5 Municipios, 2008.

### 2.4.3.2 Inventario de emisiones de fuentes de área.

Las fuentes de área en general representan a todas aquellas fuentes de emisión que son muy pequeñas, numerosas y dispersas, lo cual dificulta que puedan ser incluidas de manera eficiente como fuentes puntuales en un inventario de emisiones, debido a que resulta impráctico recopilar la información y estimar las emisiones de cada establecimiento en forma

individual. Sin embargo, las fuentes de área son emisoras significativas de contaminantes al aire, por lo que es importante que estén incluidas en un inventario de emisiones, lo que garantiza tener un amplio panorama de las principales fuentes de emisión en un área de interés.

Una manera de definir cuáles fuentes son consideradas fuentes puntuales y cuáles fuentes de área, se basa en el nivel de emisión de un contaminante determinado para un establecimiento individual, por ejemplo, si las emisiones de hidrocarburos a nivel de establecimiento para un contaminante determinado son menores a  $10 \text{ t a}^{-1}$ , o menores a  $100 \text{ t a}^{-1}$  de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ , o  $\text{SO}_2$ , dicho establecimiento es considerado como fuente de área. Los contaminantes evaluados son los HC, CO,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{PM}_{10}$  (Cuadro 6).

Cuadro 6. Emisión de fuentes de área por municipio y contaminante.

Municipio	Emisión				
	HC	CO	$\text{NO}_x$	$\text{PM}_{10}$	$\text{SO}_2$
	$\text{t a}^{-1}$				
Álvaro Obregón	9692.63	1902.06	204.02	234.57	10.66
Charo	248.27	191.34	2.01	26.21	0.3
Indaparapeo	308.95	279.29	2.86	38.06	0.43
Morelia	401.87	387.71	4.11	53.11	0.61
Tarímbaro	345.41	397.81	3.24	51.46	0.49
Zinapécuaro	777.19	701.13	7.11	95.35	1.08
Total	11774.31	3859.35	223.34	498.76	13.58

Fuente: Figura elaborada por LT Consulting para el Inventario de Emisiones Atmosféricas de la ZMMorelia y 5 Municipios, 2008.

### 2.4.3.3 Inventario de emisiones de fuentes móviles.

En la mayoría de las áreas urbanas, los vehículos automotores son los principales generadores de las emisiones de HCT, CO,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  y  $\text{PM}_{10}$ , Cuadro 7. Las emisiones de vehículos automotores son generadas por diferentes procesos, que resultan del proceso de combustión pero el más común es la emisión del escape. Para la estimación de las emisiones de origen vehicular se consideran tres elementos fundamentales: a) la flota vehicular (número de vehículos) en general proporcionado por las autoridades locales, b) dato de actividad (kilómetros recorridos por tipo de vehículo), el cual puede ser estimado mediante estudios en campo o encuestas; y, factor de emisión, obtenido a través del uso del modelo Mobile6-México. Los contaminantes evaluados son los HC, CO,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{PM}_{10}$ , Cuadro 7.



---

## 2.4.4 Conclusiones

Los resultados del inventario de emisiones para los municipios de la Zona Metropolitana de Morelia y Álvaro Obregón, Indaparapeo y Zinapécuaro se muestran a continuación:

**Por contaminante:** La mayor emisión corresponde al CO con 81% del total; los HC emiten 14%; NO<sub>x</sub> con 4%; y el SO<sub>2</sub> y las PM<sub>10</sub> contribuyen con menos del 1%.

**Por fuente de emisión:**

- a) Fuentes móviles: Principal emisor de CO con 99%; HC, 49%; y NO<sub>x</sub> 75%. Además emite 22 % de las PM<sub>10</sub>.
- b) Fuentes fijas: Su mayor aporte a la emisión de contaminantes atmosféricos en la ZMMorelia se da con la liberación del 94% del SO<sub>2</sub>, y el 30% de PM<sub>10</sub>.
- c) Fuentes de área: Principal emisor de PM<sub>10</sub> con el 48%, además de contribuir con 14% de los HC.
- d) Fuentes biogénicas. Emisor importante de HC con 37%, también contribuye con la emisión del 21% de los NO<sub>x</sub>.

**Por municipio:** El municipio de Morelia se constituye como el principal emisor de contaminantes en la región de estudio, debido a que en su territorio se genera 76.5% de los HC, 88.4% del CO, 77.5% de los NO<sub>x</sub>, 69.2% de las PM<sub>10</sub>, y el 99.2% del SO<sub>2</sub>. Otro municipio que aporta cantidades importantes de contaminantes es Zinapécuaro, ya que aporta en 1.8% de los HC, 7.2% de CO, 9.9% de los NO<sub>x</sub>, y 11.4% de las PM<sub>10</sub>.

## 2.5 Características Edafológicas

El suelo es la parte exterior de la corteza terrestre, formada por rocas desintegradas por efectos de intemperismo. El suelo está compuesto por finas partículas minerales y una flora y fauna microbiana, que actúa como activo laboratorio transformando la materia mineral en alimentos de plantas. Esta flora es a su vez, alimento de animales y del hombre, o sea que este recurso, junto con el agua, es de los que han determinado la existencia de vida en nuestro planeta.

Algunos suelos dependen, (al igual que la flora) del clima que los sustente, así en zonas tropicales los encontramos de color rojo, porosos, desprovistos de plasticidad, ricos en hierro (lo que les da su color, al sufrir oxidación) y que se endurecen al orearse. Desde luego son muchas las causas y condiciones que determinan la existencia de los tipos de suelo que

---

pueden encontrarse en un lugar, el clima, la topografía, la roca que le da origen (conocida como roca madre), ya que la composición de este define el contenido y variedad de minerales de cada tipo de suelo.

Como se sabe la erosión eólica es el proceso mediante el cual el viento produce la remoción, selección y transporte del material sobre la superficie del suelo (Chepil, 1945). La materia orgánica, estabilidad estructural en seco y la granulometría pueden utilizarse como indicadores del estado de degradación del suelo. Los contenidos de materia orgánica del horizonte superficial son menores al 3% aumenta la susceptibilidad de los suelos a degradarse por viento. El contenido de materia orgánica se relaciona positivamente con el de limo y arcilla (Quiroga y Buschiazzo, 1988), y mejora la productividad el suelo al aumentar la capacidad de retención del suelo a ser erosionado. Por debajo de este valor límite puede producirse, además de pérdida de materia orgánica, el transporte de las partículas finas del suelo por parte del viento provocando un cambio textural en el suelo (Buschiazzo y Taylor, 1993).

De acuerdo con los resultados de Buschiazzo *et al.* (1995) gran parte de la variación en la estabilidad estructural en seco podría ser explicada sobre la base de la historia de manejo de cada suelo. Sin embargo la estabilidad estructural en seco también es afectada por la materia orgánica, el contenido de arcilla, los cementantes inorgánicos (principalmente aluminio y carbonato de calcio) y la acción física de las raíces. En suelos agrícolas las labranzas hacen que disminuya la proporción de agregados mayores a 19.2 mm de diámetro y aumente la fracción erosionable, con la consecuente pérdida de agregados entre 2 a 50  $\mu\text{m}$  con altos niveles de materia orgánica (Méndez *et al.* 2006).

## **2.6. Métodos de cuantificación y modelado de la erosión**

Tanto la medida directa como el modelado predictivo de la pérdida y acumulación de suelo pretenden dar respuesta a las preguntas de dónde, en qué cantidad y en qué momento se producen los distintos procesos de erosión y redistribución del suelo. La erosión afecta tanto a las rocas y al material geológico no consolidado, como al suelo en sentido estricto, de tal modo que las tasas de pérdidas y acumulación que se obtienen a través de las diversas medidas y modelos no discriminan entre el origen del material removido. De forma tradicional las medidas sobre el terreno han constituido la manera frecuente de estimar la pérdida y acumulación del suelo a lo largo de las laderas, y especialmente en pequeñas parcelas o cuencas monitorizadas (Salles y Poesen, 2000).

---

### **2.6.1 Modelado predictivo**

Los altos costos, la necesidad de equipamiento y la limitada área de aplicación de algunas de las técnicas de medida directa, convierten a los modelos de predicción en herramientas de uso frecuente en la investigación de los procesos de erosión y redistribución del suelo. Los modelos permiten valorar de un modo rápido el impacto de los procesos de erosión en áreas de cultivo y forestales, estimar la efectividad de las medidas de conservación del suelo y de control de la erosión, bajo diferentes escenarios en los que todos los parámetros se pueden variar con el objeto de valorar su efecto de modo particular o sobre el resto de las propiedades consideradas.

Los modelos de predicción permiten integrar extensas bases de datos sobre las que aplicar diferentes ecuaciones de pérdida de suelo que resultan de gran interés a la hora de elaborar políticas económicas y de conservación de los recursos naturales.

Por otro lado, existen modelos que permiten predecir la pérdida de suelo dependiendo de la velocidad del viento entre otras variables, como el “WEPS” (Wind Erosion Prediction System). En la actualidad son muy pocas las investigaciones realizadas sobre la afectación de la calidad del aire por la presencia de partículas naturales mediante la aplicación de modelos que pueden predecir la erosión eólica de los suelos, por los factores anteriormente descritos.

### **2.6.2 Wind Erosion Prediction System (WEPS)**

El modelo WEPS que simula el clima, las condiciones del campo y la erosión como tal, no sólo simula los procesos básicos de la erosión del viento, sino también la gestión de campo y los procesos de meteorización que modifican la susceptibilidad del suelo a la erosión eólica. El modelo inicial está diseñado para proporcionar al usuario una herramienta sencilla para la introducción de las condiciones iniciales de campo, el cálculo de la pérdida de suelo y la visualización de cualquiera de las salidas simples o detalladas para la planificación de la conservación y el diseño de sistemas de control de la erosión.

Para simplificar la tarea, el modelo WEPS está diseñado con determinadas restricciones geométricas al especificar la región de simulación o en el campo. La región de simulación se limita a un área rectangular. Sin embargo otras formas de campo, tales como círculos o semicírculos también se pueden simular mediante la definición de un rectángulo de la misma longitud, ancho o área de la forma del campo deseado. El área de simulación se puede girar

---

para orientar correctamente el campo en el paisaje para dar cuenta de los efectos de variar la labranza, la siembra, y la dirección del viento

Una superficie de simulación región uniforme se supone que sólo en un tipo de suelo (propiedades uniformes del suelo), el tipo de cultivo (propiedades de la biomasa), y la gestión están distribuidas de manera uniforme sobre el campo. En realidad, los campos a menudo no son uniformes por lo que el usuario puede seleccionar la condición de dominante-crítico (es decir, más erosionables) del suelo o del cultivo de una simulación.

### **2.6.3 Single-event Wind Erosion Evaluation Program (SWEEP)**

El Single-event Wind Erosión Evaluation Program (SWEEP) es un modelo basado en el proceso que simula la erosión del viento para un evento de un solo día de tormenta. El modelo consiste en el submodelo de erosión del Wind Erosion Prediction System (WEPS) modelo junto con una interfaz gráfica de usuario simple. El objetivo del modelo es simular los componentes de pérdida de suelo/deposición sobre un campo rectangular en respuesta a la velocidad del viento, dirección del viento, la orientación del campo y las condiciones de superficie.

El modelo determina la velocidad de fricción del umbral en el que la erosión puede comenzar para cada estado de la superficie. Cuando la velocidad del viento es superior al umbral, el modelo calcula la pérdida/deposición sobre una serie de celdas individuales que representan el campo. La deposición del suelo/pérdida se divide en componentes de saltación/fluencia y la suspensión, porque cada uno tiene diferentes modos de transporte, así como los impactos fuera del sitio. Finalmente, la superficie del campo se actualiza periódicamente para simular los cambios causados por la erosión.

---

### 3 ANTECEDENTES

La erosión del suelo por el viento es un fenómeno de superficie. Se inicia cuando la velocidad del viento supera el umbral de velocidad para un suelo dado y su estado de la superficie, (Black & Siddoway, 1979).

El viento elimina la capa fértil del suelo, la calidad del suelo hasta su degradación, lo cual reduce de la sostenibilidad agrícola. Sharratt *et al.* (2006), estima una pérdida de la capa superficial del suelo de 2.320 kg ha<sup>-1</sup> (1,04 tac<sup>-1</sup>) de un campo en barbecho durante una tormenta de polvo cerca de Washtucna, Washington en 2003. El suelo llevado por el viento puede afectar gravemente a la emergencia del cultivo y dañar las plantas jóvenes, que a menudo requiere campos de resiembra (Papendick, 2004).

La mala visibilidad causada por el polvo arrastrado por el viento ha sido la causa de numerosas muertes, accidentes y cierres de carreteras en la meseta de Columbia. En septiembre de 1999, por ejemplo, la mala visibilidad causada por el polvo resultó en ocho muertes a lo largo de la Interestatal 84, cerca de Pendleton, Oregon (Hudson y Cary, 1999).

El polvo transportado por el viento también puede dañar la salud humana al entrar las partículas en el sistema respiratorio, por lo que en Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha establecido normas de calidad del aire para las concentraciones de partículas de polvo en la atmósfera. Saxton (1995) informó que la erosión eólica fue la principal causa de incumplimiento de la norma Nacional de Calidad del aire ambiente de partículas  $\leq 10$  micras de diámetro (PM<sub>10</sub>) de la US EPA en la meseta de Columbia.

El comportamiento horario de las PM<sub>10</sub> para cinco ciudades que tienen equipo de monitoreo automático (Zona Metropolitana del Valle de México "ZMVM", Zona Metropolitana de Guadalajara "ZMG", Zona Metropolitana del Valle de Toluca "ZMVT", Puebla y la Zona Metropolitana de Monterrey "ZMM), se muestra en la Figura 2, donde se aprecia que, excepto para la ZMM el comportamiento del contaminante es bimodal, es decir, las concentraciones más altas se presentan por la mañana entre las 7:00 y las 11:00 horas y por la tarde-noche de 18:00 a 22:00 horas, coincidiendo con las horas pico de actividad vehicular, (INE, 2008)

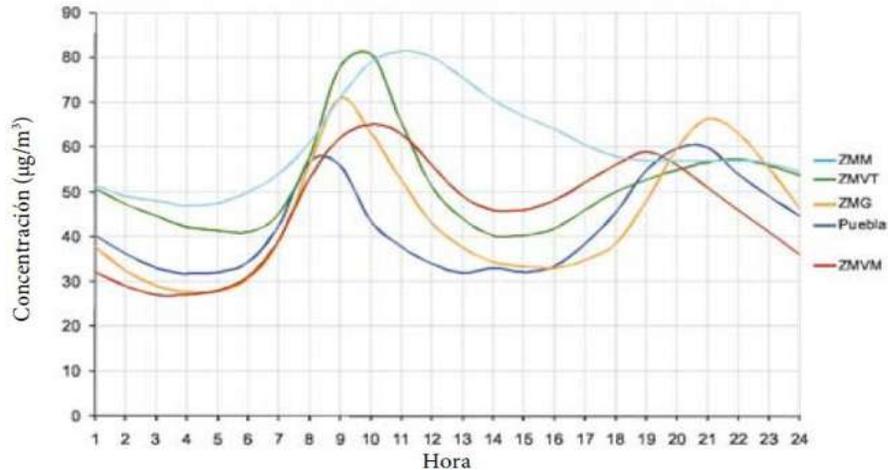


Figura 2. Comportamiento horario de las  $PM_{10}$  en cinco ciudades mexicanas de 1997 a 2005. (INE, 2008).

El comportamiento mensual de las  $PM_{10}$  en ocho ciudades de México agrupadas por región se muestra en la figura 3 y 4. En la Figura 3 se observa que las concentraciones más bajas se presentan en los meses de junio a septiembre en la región centro, en tanto que en la Figura 4, las más bajas se aprecian en los meses de abril a septiembre en la región norte. En ambas regiones los niveles más altos se presentan en los meses (noviembre, diciembre y enero) debido a que en estos meses se tiene una menor capacidad dispersiva del contaminante y se facilita la acumulación. En la época seca del año, ocurre una mayor re-suspensión de  $PM_{10}$  del suelo. En los meses de la época de lluvias, las  $PM_{10}$  son eliminadas por retención y arrastre en las gotas de lluvia, fenómeno cuyo limpia a la atmósfera de las  $PM_{10}$ , (INE, 2008).

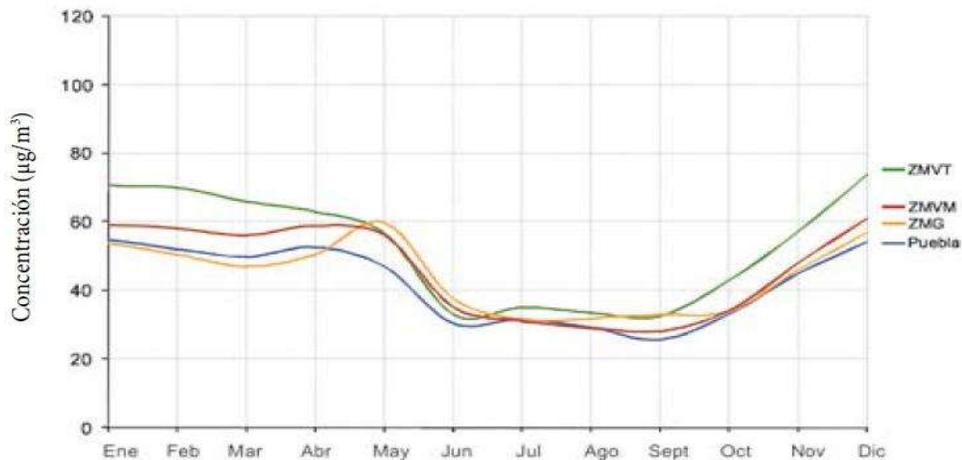


Figura 3. Comportamiento mensual de las  $PM_{10}$  en la región centro del país de 1997 a 2005. (INE, 2008).

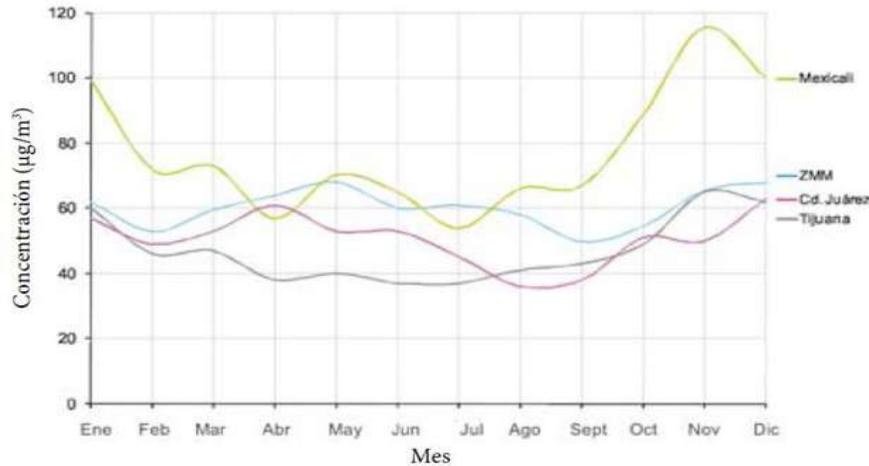


Figura 4. Comportamiento mensual de las PM<sub>10</sub> en la región norte del país de 1997 a 2005. (INE, 2008).

De acuerdo con el inventario de emisiones a la atmósfera contiene la estimación para las partículas PM<sub>10</sub> y la emisión fue estimada para fuentes fijas, fuentes de área, fuentes móviles y fuentes biogénicas de acuerdo con la clasificación utilizada por SEMARNAT y el INE para reportar la cantidad de contaminante vertido a la atmosfera en un periodo determinado desde una fuente, muy diferente a lo que es la concentración de contaminantes a nivel del suelo que puede afectar a personas, animales, vegetación o materiales.

Los niveles de concentración determinan el efecto de un contaminante sobre la salud o el medio ambiente. Además, la concentración de contaminantes en la atmósfera está determinada por la diferencia entre los emitidos y producidos en la misma, y los que se eliminan a través de los procesos de autodepuración por deposición, precipitación y absorción por el suelo, agua y la vegetación.

Los cálculos para estimar las emisiones de los contaminantes seleccionados se realizaron con base en la metodología de estimación que recomienda la autoridad federal ambiental y que se encuentra descrita en los manuales del programa de inventario de emisiones para México; para lo anterior, fue necesario determinar y recopilar todos los datos relacionados con las fuentes de emisiones de contaminantes y su actividad, además de seleccionar las técnicas y métodos de estimación de emisiones.

La información mostrada en el Cuadro 3 indica, que el principal emisor de PM<sub>10</sub> son las fuentes de área. Las distintas emisiones por fuentes de área y que no se considera el aporte de la erosión de suelos se indica en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Emisión por fuente de área y contaminante.

Fuente	Emisión				
	HC	CO	NO <sub>x</sub> t a <sup>-1</sup>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
Aplicación de Asfalto	9.98	NA	NA	NA	NA
Artes gráficas	409.25	NA	NA	NA	NA
Lavado en seco (tintorería)	600.69	NA	NA	NA	NA
Limpieza se sup. en la industria	2324.31	NA	NA	NA	NA
Pintado de carrocerías	98.9	NA	NA	NA	NA
Pintura de transito	28.52	NA	NA	NA	NA
Rec. De sup. En la industria	869.65	NA	NA	NA	NA
Rec. De sup. Arquitectónicas	969.65	NA	NA	NA	NA
Uso com. Y dom. De solventes	3263.3	NA	NA	NA	NA
Almac. Masivo de combustible	7.01	NA	NA	NA	NA
aeronaves	18.87	165.88	184.35	NA	8.07
panaderías	17.38	19.17	0.2	2.63	0.03
Comercio y servicios	1.88	2.08	0.08	0.29	NA
Tabiquerías	151.79	167.43	1.72	22.93	0.27
Uso habitacional de leña	2984.8	3292.41	33.89	450.98	5.21
Uso habitacional de GLP	0.12	0.04	3.09	0.09	NA
Incendios forestales	18.51	212.34	NA	21.84	NA
Total	11774.31	3859.35	223.34	498.76	13.58

**Fuente:** Cuadro elaborado por LT Consulting, para el Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Zona Metropolitana de Morelia y 5 municipios, 2008.NA: No Aplica (no se estiman emisiones para estos contaminantes).

En el Valle de México experimentan periódicamente eventos de tolveneras que provocan concentraciones de PM<sub>10</sub> más severo que el estándar establecido, por lo que el problema de contaminación por partículas en esta región no solamente se le atribuye a fuentes antropogénicas, sino que también a fuentes naturales localizadas al norte y noreste del valle como el área del ex lago de Texcoco, la cual emite gran cantidad de partículas primarias (López *et al.* 2002).

La presencia de partículas naturales en el aire debido a tolveneras sobre la Ciudad de México desde el año de 1920 es explicada, a partir de la visibilidad en puntos estratégicos localizados sobre la ciudad (Jáuregui 1971,1983).

Un estudio sobre la composición química de las partículas en la ciudad de México durante el invierno de 1997 realizado por Chow *et al.* (2002), las mediciones de las partículas PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> fueron realizadas en intervalos de 24 h en seis estaciones de monitoreo y obtuvieron resultados referentes a la composición química de las partículas finas y gruesas recolectadas.

---

A partir del análisis de los resultados obtenidos, concluyeron que aproximadamente 50% de PM<sub>10</sub> recolectadas estaba constituida por material de origen geológico (natural).

Existen modelos que estiman la concentración de PM<sub>10</sub> como el Wind Erosión Prediction System (WEPS) que es un sistema de predicción de erosión del viento y el modelo de computadora que predice la erosión del suelo a través de la simulación de los procesos fundamentales que controlan la erosión del viento

WEPS puede predecir las emisiones de PM<sub>10</sub>, cuando las velocidades del viento superan el umbral de la erosión. También se puede proporcionar al usuario la información espacial en relación con el flujo del suelo, sedimentación, y la pérdida de regiones específicas de un campo en el tiempo. WEPS está destinado a la planificación de la conservación, la evaluación de la erosión. Es uno de los modelos más utilizados y recomendados por la National Resources Inventory (NRI), ya que WEPS es susceptible de incorporaciones de nuevas características y así puede ser utilizado para la estimación a largo plazo. Por lo tanto, WEPS requiere la velocidad del viento y la dirección para simular el proceso de erosión. Estas y otras variables del clima también se utilizan en WEPS para impulsar los cambios temporales en la hidrología, la degradación del suelo, el crecimiento del cultivo, y la descomposición de residuos y el seguimiento del estado del suelo actual y estado de la superficie dentro del modelo, WINDGEN (Skidmore y Tatarko, 1990) y CLIGEN (Nicks *et al.*, 1987).

En la actualidad, son muy pocas las investigaciones realizadas sobre la afectación de la calidad del aire por la presencia de partículas naturales mediante la aplicación de modelos que puedan predecir la erosión eólica de los suelos. Dentro del estudio de suelos, existen algunos modelos que permiten predecir la pérdida de suelo dependiendo de la velocidad del viento y del contenido de humedad, tal es el caso del modelo "WEPS" (Wind Erosión Prediction System). El modelo WEPS puede ser acoplado de tal manera que la identificación de las fuentes potenciales de emisión, así como el estudio de la dispersión de partículas provenientes del suelo sean posibles.

---

## 4 JUSTIFICACIÓN

Los efectos de la contaminación atmosférica por partículas suspendidas repercuten en la salud humana. Las  $PM_{10}$  producidas por erosión eólica pueden entrar al aparato respiratorio y actuar como vehículo de sustancias tóxicas adheridas a la superficie de la partícula. En los inventarios de emisiones se consideran como fuente de emisión de las  $PM_{10}$ , el uso de leña, tabiquerías, incendios forestales, zonas vehiculares e industriales, entre otras, sin embargo, la emisión de dichas partículas de áreas agrícolas no se toma en cuenta, siendo importante considerarlas, ya que en grandes superficies los suelos agrícolas son de textura fina, cuyas partículas se transportan vía erosión eólica.

La correcta cuantificación de las emisiones, a partir de un modelo de erosión eólica, permitirá identificar las zonas que más emisiones de  $PM_{10}$  presentan y así poder realizar posteriormente estudios de dispersión para cuantificar episodios de alta concentración y su posible afectación en la salud humana de los residentes de Morelia y cuatro municipios.

La importancia de realizar un estudio sobre el comportamiento de los campos agrícolas y acoplar un modelo de emisión eólica para la cuantificación de las emisiones de  $PM_{10}$ , es de mucha importancia porque permitirá saber en dónde se localizan las zonas de mayor impacto por este fenómeno. La información obtenida en el presente estudio será instrumento que apoye la toma de decisiones en la planeación del desarrollo futuro de la zona y como estrategias de control de emisiones.

---

## **5 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la emisión de PM10 en suelos agrícolas de Morelia, Álvaro Obregón, Tarímbaro, Charo e Indaparapeo, Michoacán mediante el modelo WEPS.

### **5.1 Objetivos Específicos**

- Realizar un estudio de vientos en relación con su intensidad, dirección y frecuencia.
- Realizar mediciones de biomasa y superficie de los suelos agrícolas
- Determinar propiedades físicas de los suelos.
- Hacer un análisis comparativo entre las PM10 obtenidas del modelo WEPS con los registrados en el Inventario de emisiones.

## **6 HIPÓTESIS**

Las áreas agrícolas que rodean a la ciudad de Morelia constituyen una fuente importante de emisión de PM<sub>10</sub>.

---

## **7 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO**

### **7.1 Ubicación Geográfica**

La zona metropolitana de Morelia se encuentra integrada por los municipios de Morelia, Charo y Tarímbaro; en la zona de estudio que comprende este trabajo se incluye también, los municipios de Álvaro Obregón e Indaparapeo; cercanos a Morelia. El municipio de Morelia queda ubicado entre los paralelos 19°30' y 19°50' de latitud norte, y los meridianos 101°100' y 101°30' de longitud oeste, en la región centro-norte del estado de Michoacán, en donde se presenta una altitud que oscila entre los 1400 y 3090 metros sobre el nivel medio del mar. El municipio de Morelia ocupa una extensión de 1199 kilómetros cuadrados, con un área urbana que abarca alrededor de 85 kilómetros cuadrados, es decir, el 7.1% de la superficie.

### **7.2Clima**

En lo que respecta el clima de la Zona Metropolitana de Morelia es variado, pero en general se pueden clasificar e cuatro tipos: semicálido subhúmedo con lluvias en verano y una mayor humedad, semicálido subhúmedo con lluvias en veranos y humedad media, templado subhúmedo con lluvias en verano y mayor humedad y por ultimo templado subhúmedo con lluvias en verano y humedad media.

El clima predominante es el templado con humedad media y un régimen de precipitación pluvial que oscila entre 700 y 1000 mm anuales. En lo que respecta a las temperaturas, la temperatura media anual oscila entre los 16.2° en la zona serrana de la Zona Metropolitana y los 18.7°C en las zonas bajas de dicha zona. La temperatura media anual es de 17.6° con una precipitación de 773.5mm anuales. Por otra parte, los vientos dominantes proceden del suroeste y noroeste, variando su intensidad de 2 a 14.5 kilómetros por hora.

### **7.3 Orografía**

La orografía de la Zona Metropolitana de Morelia, se puede comentar que es muy accidentada, debido a que se localiza sobre el Eje Neo volcánico Transversal, el cual atraviesa el centro de México de este a oeste. La fisiografía de la Zona Metropolitana de Morelia está compuesta de la siguiente manera: sierra 53.57%; sierra con lomerío 15.71%; meseta con lomerío 11.58%; lomerío 3.05%, valle con lomerío 2.46%; llanura con lomerío 4.93% y llanura

13.63%. En Morelia destacan diversos cerros: “El Zacatón”, con una altura de 2960 msnm; “Zurumutal” con 2840 msnm; “Peña Blanca” con 2760 msnm, entre otros.

## 7.4 Hidrología

La Zona Metropolitana de Morelia se localiza en la región hidrográfica 12 Lerma-Santiago, en específico en el distrito de riego Morelia-Querétaro y forma parte de la cuenca del lago Cuitzeo. Sus principales afluentes son los ríos Grande y el Chiquito, los cuales llegaron a rodear la ciudad. El río Grande tiene su origen en el municipio de Pátzcuaro y tiene una trayectoria con una longitud de 26 kilómetros por el municipio de Morelia. Por otra parte, el río Chiquito, con una longitud de 25 kilómetros, es el principal afluente del río Grande, y se origina en los montes de la Lobera y la Lechuguilla, para unirse posteriormente con los arroyos la Cuadrilla, Agua Escondida, El Salitre, El Peral, Bello y El Carindapaz.

## 7.5 Suelos

De acuerdo con la información proporcionada por el INEGI actualizada al año 2010 en los municipios delimitados para la zona de estudio se registra una gran variedad de suelos, los más dominantes se muestran en el Cuadro 10, siendo los vertisoles los representativos del área agrícola. Las características de estos suelos se complementan con información de la IUSS, ISRIC, FAO (2006).

Cuadro 10. Unidades de suelo

Municipio	Unidades de Suelo					
	Vertisol (V)	Feozem (H)	Luvisol (L)	Andosol (A)	Planosol (W)	Litosol (L)
Álvaro Obregón	x	x			x	
Charo	x	x	x			
Indaparapeo	x	x	x			
Morelia	x	x	x	x	x	x
Tarímbaro	x	x				

**Vertisol.** Literalmente suelo que se revuelve o que se voltea. Son de climas templados y cálidos, especialmente de zonas con una marcada estación seca y otra lluviosa. Son suelos muy arcillosos negros o grises que presentan grietas anchas y profundas que aparecen en la época de sequía. Son pegajosos cuando están húmedos y duros cuando secos. Se utilizan en la agricultura y tienen problemas para su manejo porque son pegajosos cuando están

---

húmedos y duros cuando secos, dificultando la labranza y con frecuencia se inundan. Son de baja susceptibilidad a la erosión.

**Feozems.** Son suelos pardos que se caracteriza por tener una capa superficial oscura, rica en materia orgánica y en nutrientes. Son profundos y situados en terrenos planos, de uso agrícola o de pastoreo.

**Luvisoles.** Son suelos rojizos o amarillentos, con un horizonte subsuperficial de acumulación de arcilla por iluviación con alto porcentaje de saturación de bases que los hace fértiles para el uso agrícola. Son de alta susceptibilidad a la erosión

**Andosoles.** Suelos formados de material rico en vidrio volcánico. Son de textura limosa o areno limosa, consistencia suelta y densidad aparente baja (menor de  $0.9 \text{ g cm}^{-3}$ ). En condiciones naturales son de vocación forestal y tienen un alto potencial para la producción agrícola. Estos suelos son fáciles de cultivar y, tienen buenas propiedades de enraizamiento y almacenamiento de agua. Son muy susceptibles a la erosión si se les elimina la cubierta vegetal.

**Planosoles.** Suelos que se localizan en áreas planas, tienen un horizonte superficial de color claro que muestra signos de estancamiento de agua, con un subsuelo denso de permeabilidad lenta. Son de textura gruesa y se caracterizan por presentar una capa muy delgada infértil y ácida debajo de la capa superficial que a veces impide el paso de las raíces. Se utilizan con rendimiento moderados en la ganadería. Los horizontes más superficiales que descansan sobre la arcilla o tepetate son muy susceptibles a la erosión.

**Litosol.** Literalmente, suelo de piedra. Se caracterizan por tener una profundidad menor de 10 cm, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido.

## 8 METODOLOGÍA

El presente trabajo se llevó a cabo mediante la siguiente metodología, la cual se muestra de manera resumida en la Figura 5.

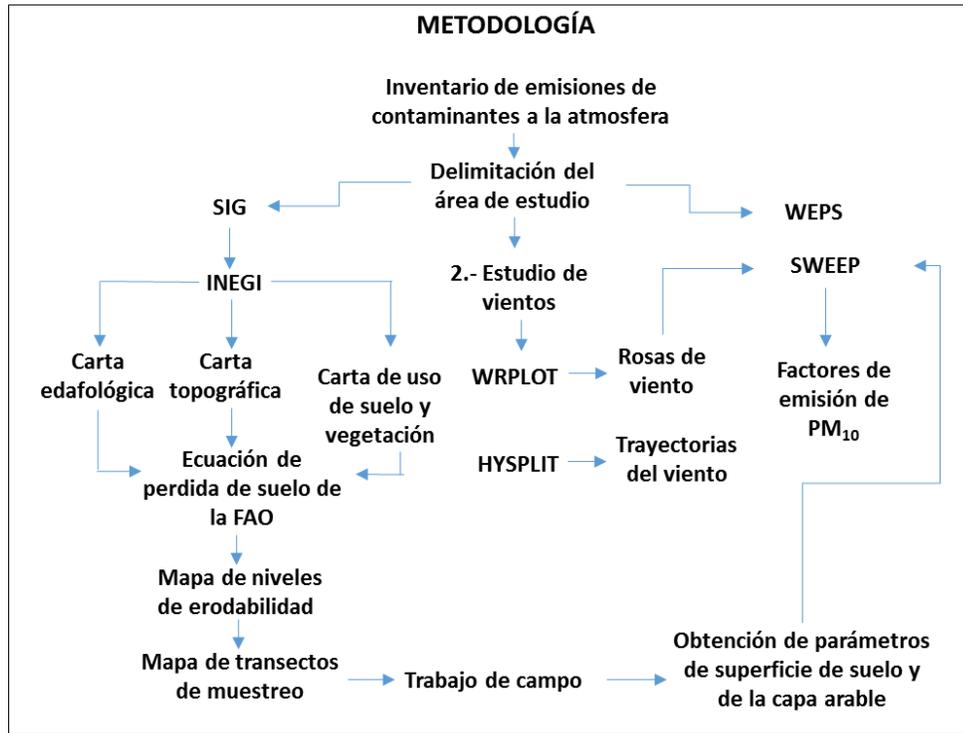


Figura 5. Diagrama del desarrollo de la metodología

### 8.1 Inventario de emisiones de contaminantes a la atmosfera

Se consultó el Inventario de emisiones contaminantes a la atmósfera de la Zona Metropolitana de Morelia (ZMM) registrado en la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA). La ZMM incluye a los municipios de Morelia, Tarímbaro y Álvaro Obregón. En este inventario también se registran los municipios de Charo, Indaparapeo y Zinapécuaro por compartir actividades económicas con la ZMM. Los datos relacionados con las emisiones contaminantes a la atmósfera sirvieron de base para evaluar la producción de PM<sub>10</sub> de los suelos agrícolas generados mediante el modelo WEPS (Wind Erosion Prediction System) (Hagen, 1995) en el presente trabajo. Información más detallada sobre la emisión de contaminantes se encuentra en el Apartado 2.4 del marco teórico de este documento.

## 8.2 Delimitación del Área de Estudio

De acuerdo con los municipios registrados en el inventario de emisiones, la zona de estudio se eligió con base en los siguientes municipios: Morelia, Álvaro Obregón, Charo, Tarímbaro e Indaparapeo, que se delimitaron utilizando como mapa base las siguientes cartas topográficas de la región: E14A13 (Cuitzeo), E14A23 (Morelia) y E14A24 (Tzitzio), todas a escala 1:50 000, actualizadas al año 2010, proporcionadas por el INEGI (Figura 6). Para la elaboración de todos los mapas se utilizó el software de edición y análisis de información geográfica, ArcGis dentro de este el ArcMap Versión 10 como se muestra en la Figura 7.



Figura 6. Municipios correspondientes a la zona de estudio.

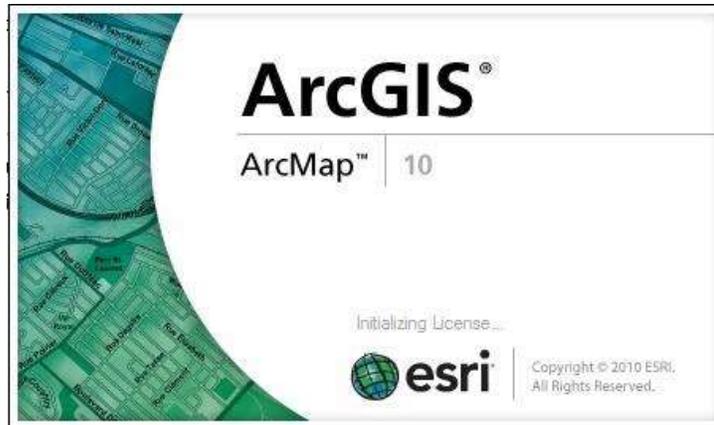


Figura 7. Software de ArcMap, ArcGis V10, (2010).

### 8.3 Diseño de Estudio de Vientos

Con el fin de identificar las zonas propensas a la erosión en la presente investigación se diseñó un estudio de vientos mediante datos históricos registrados en la estación meteorológica de Morelia (Clave 665) correspondiente a los años 2003 a 2011.

Para el desarrollo del diseño se utilizó el software Wind Roses Plot for Meteorological Data (WRPLOT) Versión 7 (Jessee *et al.*, 2011) (Figura 8), este software requiere una matriz elaborada en Excel con información de la zona de estudio como: latitud, longitud, altitud, dirección y velocidad del viento así como el año, mes, día y hora en que éstos se presentan.

Como es muy variable el comportamiento de los vientos a alturas de 500 m sobre el suelo se usó el modelo HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) Versión 4.9 (Draxler *et al.*, 2009) (Figura 9); la base de datos que maneja el software de este modelo es del año 2006 a la fecha, los datos de entrada son latitud y longitud de la zona de estudio, la altura a la que se desea la corrida y en la salida da la opción de crear un archivo con formato shapefile (SHP) que es un formato de archivo informático propietario de datos espaciales que puede ser montado sobre un mapa base para obtener una mejor visión de cómo es el comportamiento de los vientos. El uso del HYSPLIT ayuda a identificar la contribución y fuentes reconocidas como grandes productores de material particulado en el área de estudio.

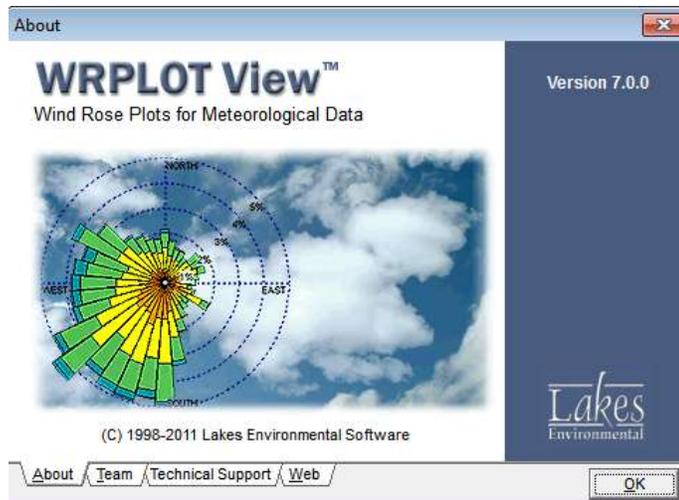


Figura 8. Imagen de presentación del WRPLOT View V7, (2011).



Figura 9. Imagen de presentación del Hysplit

## 8.4 Selección de las zonas de muestreo

### 8.4.1 Delimitación de áreas agrícolas

En cada uno de los municipios antes citados se identificaron las áreas agrícolas con el apoyo de la carta de uso de suelo y vegetación escala 1:50 000 actualizados al año 2010, elaborando el mapa de áreas agrícolas que corresponde a la zona de estudio (Figura 10).

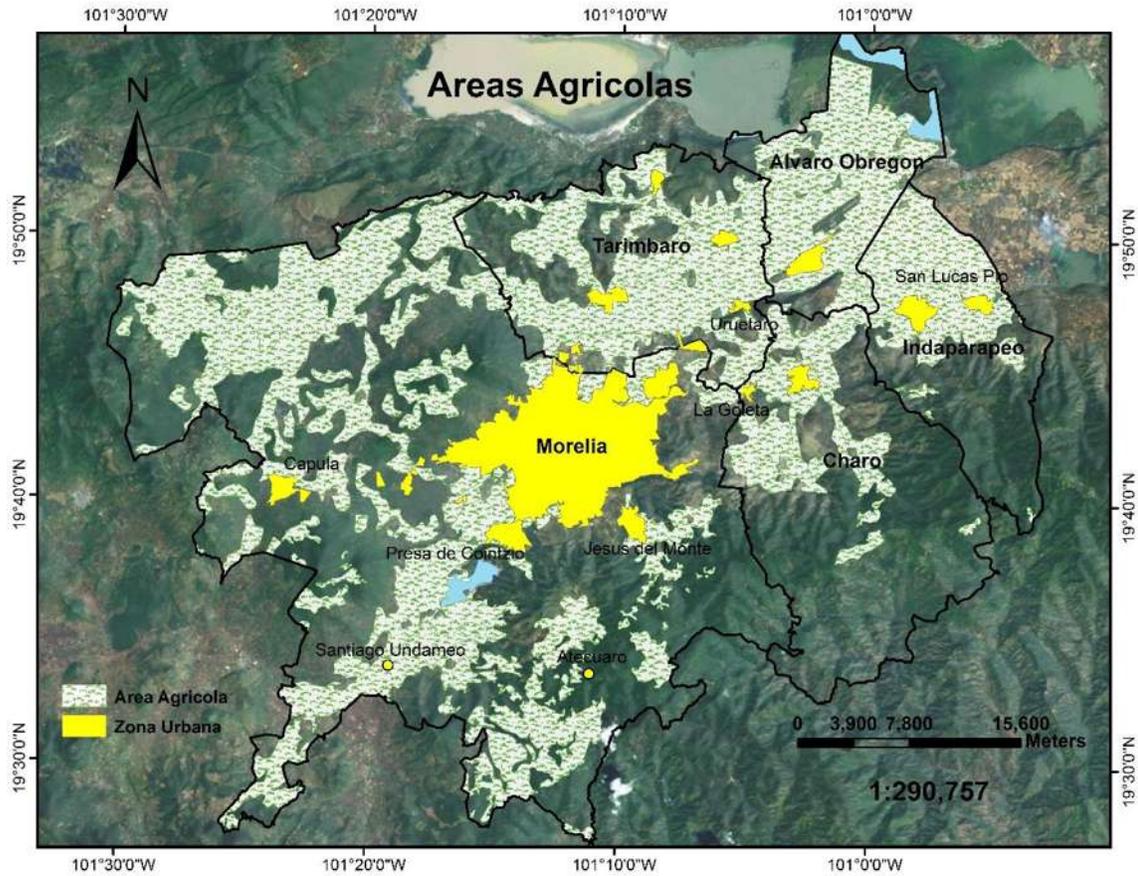


Figura 10. Delimitación de áreas agrícolas en la zona de estudio.

#### 8.4.2 Unidades de suelo y clases de textura

Con base en cartas edafológicas escala 1:50 000 con las claves antes mencionadas y de una base de datos de las clases de textura de los suelos proporcionadas por el INEGI (2010), se elaboraron dos mapas para la zona de estudio: a) Unidades de suelo y b) clases de textura (Figuras 11 y 12).

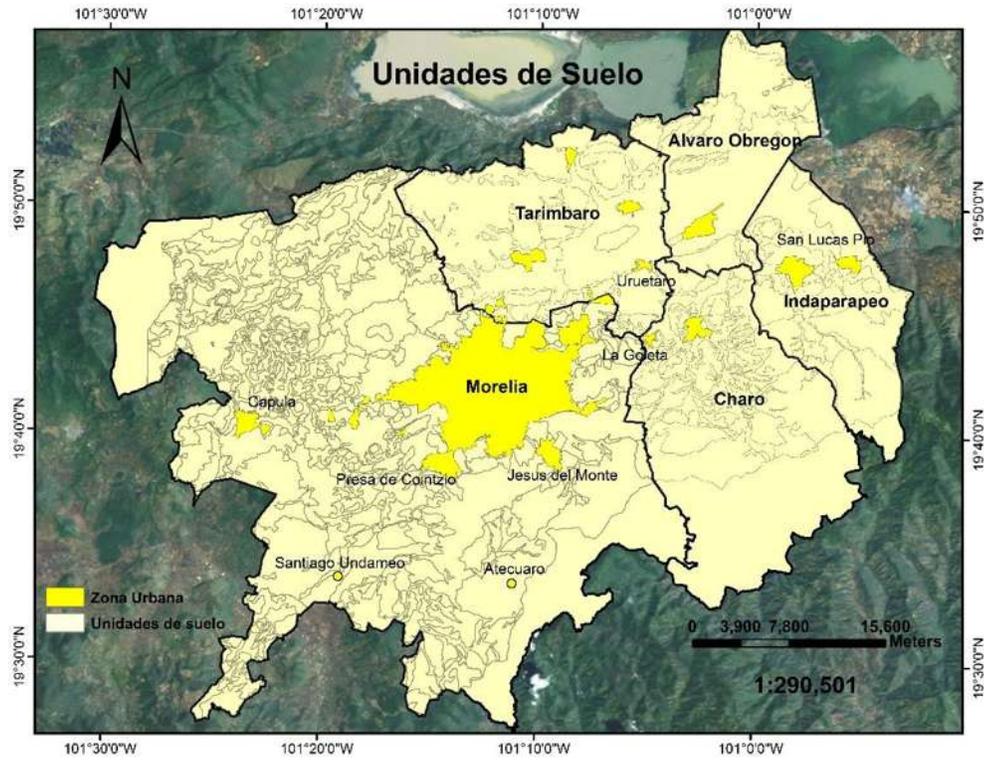


Figura 11. Unidades de suelo en la zona de estudio.

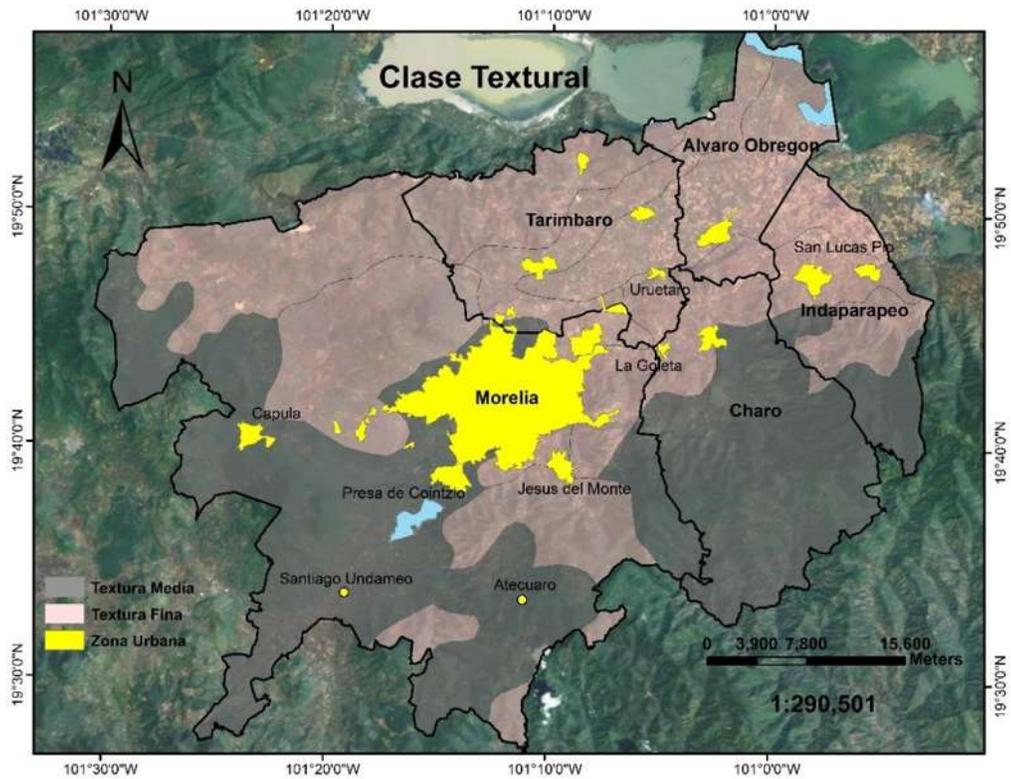


Figura 12. Clases de textura en la zona de estudio.

---

### 8.4.3 Erosionabilidad del suelo y sitios de muestreo

Se determinó la erosionabilidad de los suelos considerando el factor edáfico de la ecuación de riesgo de erosión de la FAO-PNUMA-UNESCO (1980). Los requerimientos del factor edáfico son los tipos (Unidades) y texturas de los suelos (Figuras 11 y 12, respectivamente) valoradas de acuerdo con la información mostrada en los Cuadros 11a y 11b. En el caso de la clase de textura se cambió el nombre de *Ligera* por *Baja* y se agregó la clase *Muy alta*. A partir de las clases de erosionabilidad resultantes se realizaron los mapas correspondientes (Figuras 13 y 14) que fueron de gran apoyo para contar con una mejor aproximación de las zonas de mayor susceptibilidad de erosión.

Cuadro 11a. Clasificación de la erosionabilidad de unidades de suelo según la FAO

	I	II	III
Clase	Ligera	Moderada	Alta
Valoración	0.5	1.0	2.0

Cuadro 11b. Clasificación de textura de los suelos.

Textura	/1	/2	/3
Clase textural	Gruesa	Media	Fina
Valoración	0.2	0.3	0.1

Las clases de erosionabilidad resultantes representan polígonos con características homogéneas en cuanto a uso agrícola, Unidades y textura de los suelos. En cada polígono se marcó un transecto y a su vez en cada uno de éstos se distribuyeron tres sitios para realizar el trabajo de campo que representa una parte de los insumos requeridos por el modelo WEPS (Wind Erosion Prediction System) (Hagen, 1995). El Levantamiento de estos insumos se realizó en 36 parcelas agrícolas de 10 polígonos durante los meses de diciembre de 2012 y enero de 2013. La elección de transectos y de sitios cumple con las especificaciones del inventario de suelos que corresponde a un Levantamiento de suelos semidetallado para cartografía 1:50 000 (NOM-023-SEMARNAT-2001, 2003).

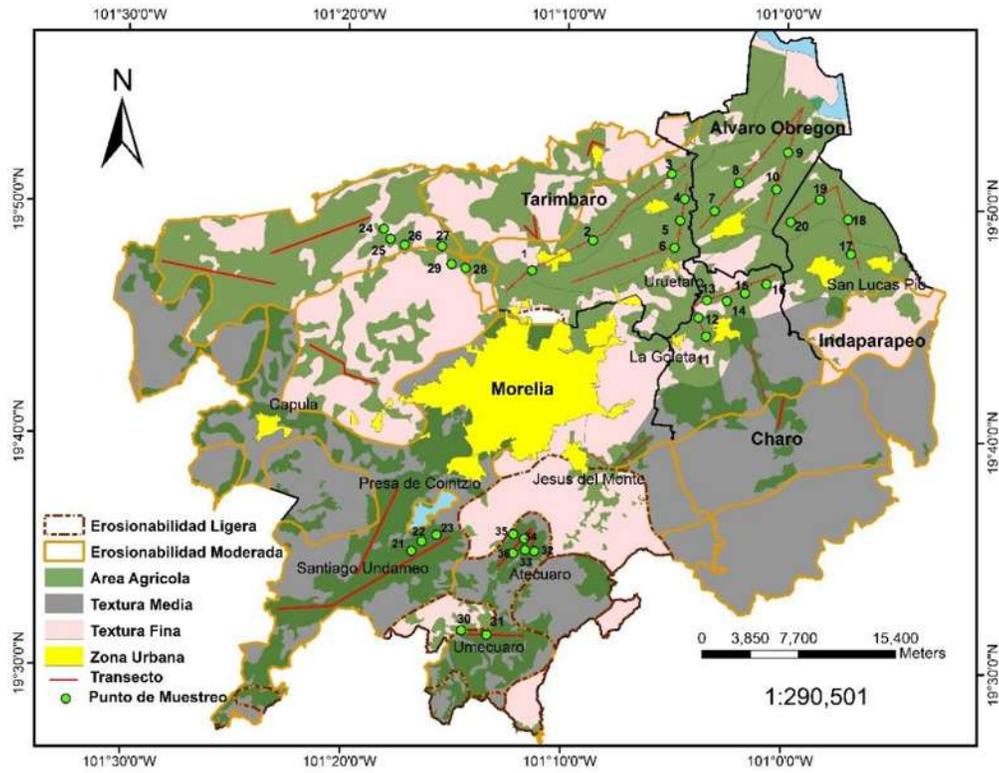


Figura 13. Mapa de Transectos de los niveles de erosionabilidad bajo y moderado.

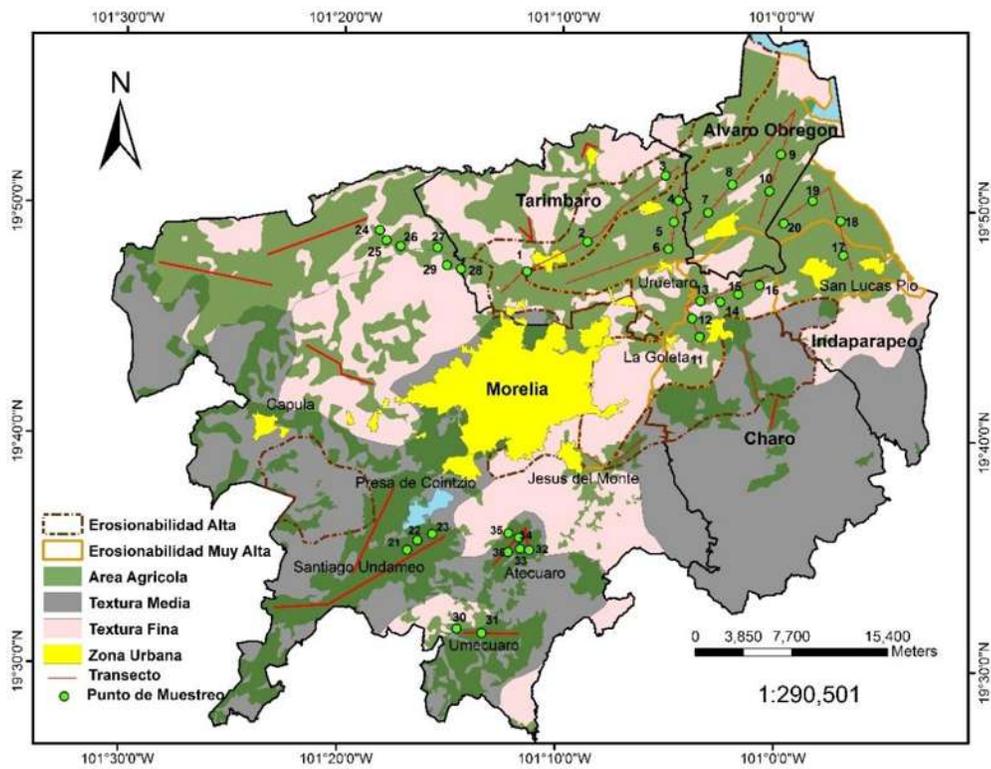


Figura 14. Mapa de Transectos de los niveles de erosionabilidad alto y muy alto.

## 8.5 Interfaces requeridas por el modelo WEPS (caracterización de los suelos).

La predicción de emisión de PM<sub>10</sub> se determinó mediante el modelo matemático conocido como WEPS (Hagen, 1995) que para su aplicación requiere de los insumos nombrados como interfaces (Cuadro 12). Las información de campo, biomasa y superficie del suelo se tomaron directamente sobre la superficie de las parcelas agrícolas; la de capas de suelo se realizó en los cortes de suelo y en el laboratorio, parte de ésta información se estimó de acuerdo con la metodología propuesta por Saxton *et al.*, (1986) señalada en el modelo WEPS (Hagen, 1995); y la interface de clima se determinó a partir de la información del estudio de vientos. En el Anexo 2 se presenta en detalle la metodología de las interfaces.

Cuadro 12. Interfaces para el modelo WEPS

Campo	Biomasa	Capas de suelo	Superficie de suelo	Clima	
Longitud x	Altura promedio de residuos	Espesor	Fracción de la costra de la superficie	Densidad del Aire	
Longitud Y	Índice de área de residuos de tallo	Fracción de Arena	Espesor de la costra de la superficie	Dirección del Viento	
Angulo	Índice de área de residuos foliar	Fracción de Arena Muy Fina	Material suelto sobre la costra	Altura del Anemómetro	
	Residuos de cubierta plana	Fracción de Limo	Masa suelta sobre la costra	Elevación	
	Altura promedio de crecimiento de cultivos	Fracción de Arcilla	Densidad de la costra	Temperatura Promedio Diaria	
	Índice de crecimiento de tallos de la superficie	Fracción de Volumen de Roca	Estabilidad de la costra		
	Índice de crecimiento foliar de la superficie	Densidad Aparente en Seco	Rugosidad		
	Distancia entre filas	Densidad Promedio de los Agregados		Altura de la Cresta	
			Estabilidad Promedio de los Agregados en Seco	Distancia entre crestas	
			Ancho de cresta		

### 8.5.1 Estimación de las PM10 a partir del modelo WEPS

Una vez que se contó con los datos de las interfaces de campo, biomasa, superficie del suelo y clima, se concentró la información en una base de datos que son los insumos que alimentan al modelo matemático WEPS (Software de evaluación de la Erosión Eólica) (Figura 15) para simular el comportamiento de las partículas PM10 y conocer las zonas de mayor afectación propensas a la erosión.

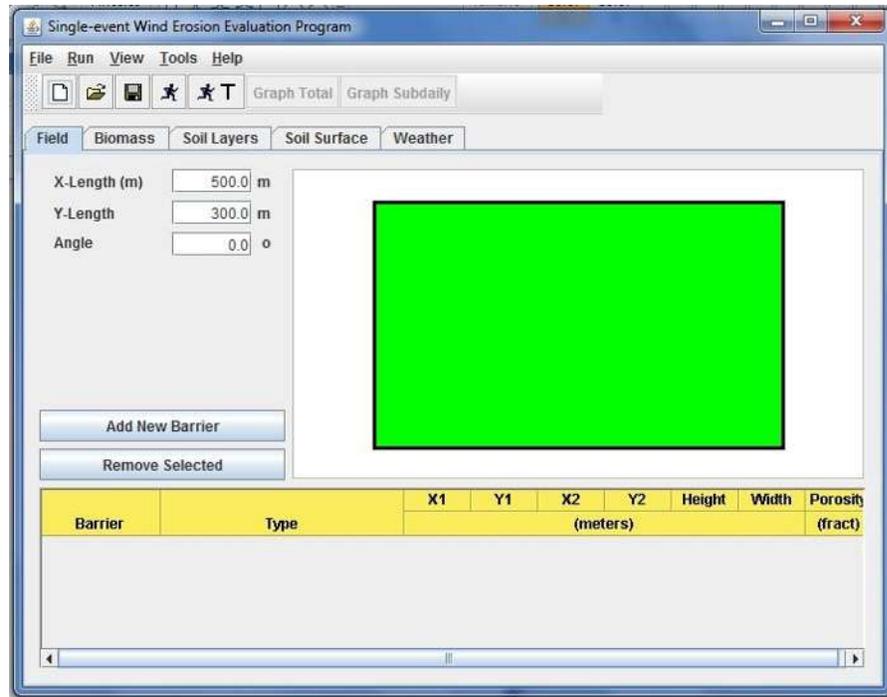


Figura 15. Entrada de datos para el modelo SWEEP

---

## 9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1 Estudio de vientos

De los resultados del programa Wind Rose Plot (WRPLOT) se obtuvo la siguiente información para los periodos de primavera, verano, otoño e invierno correspondiente al periodo de 2003 a 2011: a) una rosa de vientos que indica la dirección de procedencia de los vientos de la zona de estudio; b) porcentaje de velocidades; y c) distribución de los porcentajes de dirección y velocidad de los vientos, el intervalo de velocidades que se utiliza es el de la escala Beaufort utilizada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para informes de viento equivalentes a una altura de 10 m sobre terreno llano y abierto, siendo:

Calma – Ventolina: el humo asciende verticalmente, El humo indica la dirección del viento.

Brisa Suave: Se caen las hojas débiles de los árboles.

Brisa Leve: Se agitan las hojas, ondulan las banderas.

Brisa Moderada: Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles.

Brisa Fresca: Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada.

Vientos Fuertes: Se mueven los árboles grandes, dificultad para caminar contra el viento.

#### 9.1.1 Primavera

De acuerdo con el estudio de vientos se observa que en los periodos de primavera de estos años, la rosa de vientos indica una dirección de sur a norte (Figura 16). En la distribución de frecuencias, la velocidad del viento dominante (51.1%) varía de 0.3 a 1.6 m s<sup>-1</sup> (Figura 17 y Cuadro 13), este intervalo de velocidades en la Escala de Beaufort corresponde a una ventolina. Seguida con 33.7% el intervalo de 1.6 a 3.4 m s<sup>-1</sup> que corresponde a brisa suave.



Figura 16. Rosa de vientos de las primaveras del 2003 – 2011 de la estación

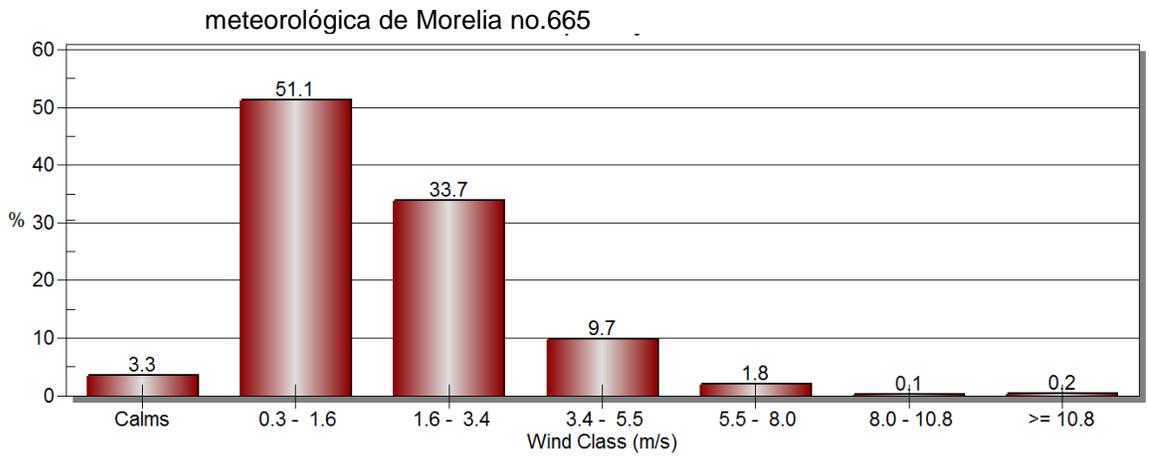


Figura 17. Distribución de porcentajes de las velocidades de la rosa de vientos de las primaveras 2003 – 2011

Cuadro 13. Distribución de porcentajes en intervalos de las direcciones y velocidades del viento de la rosa de vientos de las primaveras 2003 – 2011.

Dirección de la brújula	Dirección del viento. Clases m s <sup>-1</sup>	0.3 – 1.6 (Calma –Ventolina)	1.6 – 3.4 (Brisa Suave)	3.4 – 5.5 (Brisa Leve)	5.5 – 8.0 (Brisa Moderada)	8.0 – 10.8 (Brisa Fresca)	>= 10.8 (Vientos Fuertes)	Total (%)
N'W – N'E	348.75 – 11.25	2.161	3.74	1.463	0.216	0.035	0.121	7.727
N'E – NE'N	11.25 – 33.75	0.96	0.935	0.176	0.035	0.005	0.005	2.114
NE'N – NE'E	33.75 – 56.25	2.317	2.197	0.603	0.015	0	0	5.127
NE'E – E'N	56.25 – 78.75	1.744	1.704	0.226	0.005	0.005	0	3.68
E'N – E'S	78.75 – 101.25	1.071	1.216	0.141	0.005	0	0	2.43
E'S – SE'E	101.25 – 123.75	1.247	0.915	0.332	0.055	0	0	2.546
SE'E – SE'E	123.75 – 146.25	2.991	1.397	0.478	0.035	0.01	0.015	4.921
SE'E – S'E	146.25 – 168.75	5.977	5.876	2.835	0.85	0.02	0.025	15.656
S'E – S'W	168.75 – 191.25	10.848	7.389	2.227	0.422	0.06	0.02	20.943
S'W – SW'S	191.25 – 213.75	9.143	4.891	0.799	0.136	0	0	14.953
SW'S – SW'W	213.75 – 236.25	7.379	2.101	0.236	0.05	0	0.005	9.761
SW'W – W'S	236.25 – 258.75	2.931	0.598	0.055	0.01	0	0	3.59
W'S – W'N	258.75 – 281.25	0.93	0.186	0.005	0	0	0.005	1.125
W'N – NW'W	281.25 – 303.75	0.563	0.241	0.02	0	0	0	0.823
NW'W – NW'N	303.75 – 326.25	0.447	0.161	0.045	0	0	0	0.653
NW'N – N'W	326.25 – 348.75	0.392	0.186	0.015	0	0	0	0.592
Sub – Total		51.044	33.697	9.646	1.833	0.136	0.196	96.551
							Calma	3.339
							Perdidas / Incompleta	0.11
							Total	100

### 9.1.2 Verano

En verano se puede observar que están más distribuidas las direcciones de los vientos pero sigue predominando el sur (Figura 18), las mayores velocidades van de  $0.3$  a  $1.6 \text{ m s}^{-1}$  con un  $49.5\%$  y le siguen las velocidades de  $1.6$  a  $3.4 \text{ m s}^{-1}$  con un  $36.2\%$  (Figura 19), siendo ventolina y brisa suave respectivamente, también se puede ver que las direcciones por donde más corre el viento son del suroeste al sureste con aproximadamente el  $25\%$  de las veces, del noroeste también corre considerablemente el viento con un  $12.67\%$  y que son los vientos más fuertes (Cuadro 14).

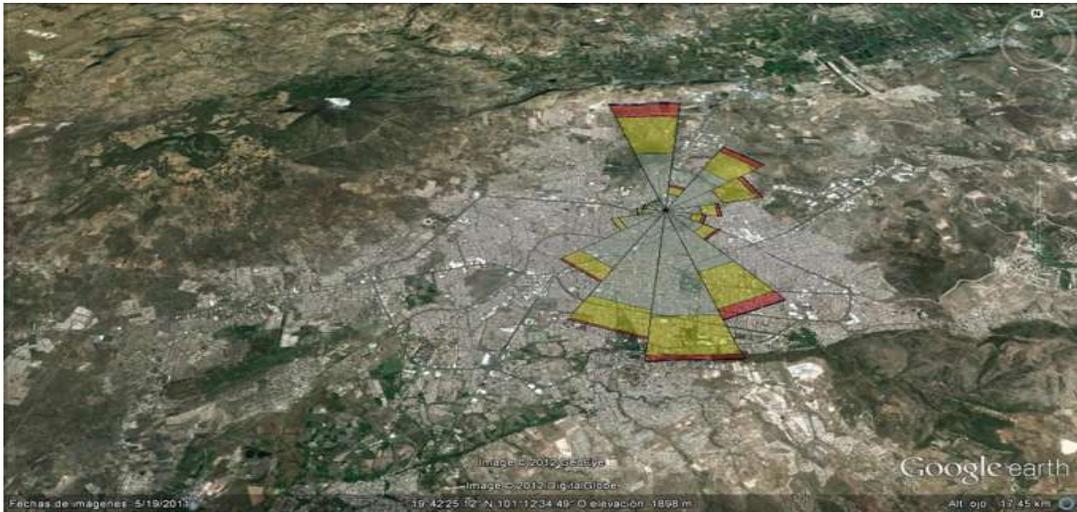


Figura 18. Rosa de vientos de los veranos del 2003 – 2011 de la estación meteorológica de Morelia no.665

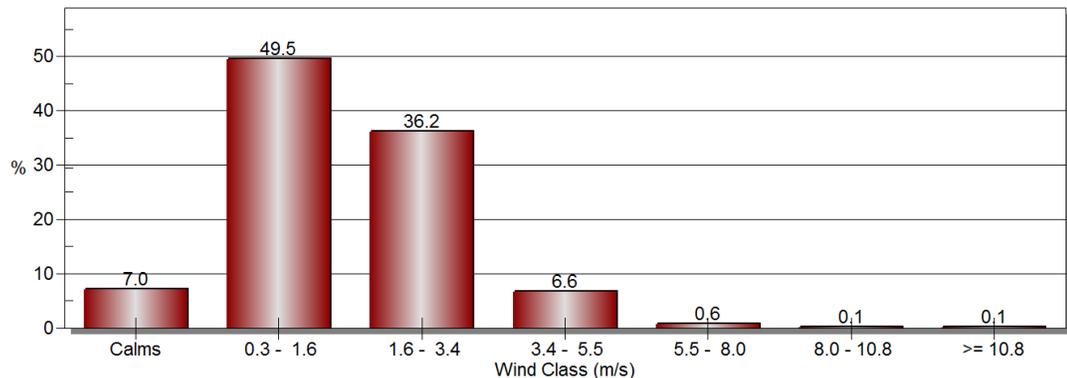


Figura 19. Distribución de porcentajes de las velocidades de la rosa de vientos de los veranos 2003 – 2011

Cuadro14. Distribución de porcentajes en intervalos de las direcciones y velocidades del viento de la rosa de vientos de los veranos 2003 – 2011

Dirección de la brújula	Dirección del viento Clases	0.3 – 1.6 (Calma –Ventolina)	1.6 – 3.4 (Brisa Suave)	3.4 – 5.5 (Brisa Leve)	5.5 – 8.0 (Brisa Moderada)	8.0 – 10.8 (Brisa Fresca)	>= 10.8 (Vientos Fuertes)	Total
	m s <sup>-1</sup>							%
N'W – N'E	348.75–11.25	4.678	5.674	2.066	0.212	0.035	00.02	12.673
N'E – NE'N	11.25 – 33.75	1.528	1.085	0.261	00.01	0.005	0.005	2.891
NE'N – NE'E	33.75 – 56.25	3.929	3.515	0.754	0.079	00.00	00.01	8.28
NE'E – E'N	56.25 – 78.75	2.697	3.185	0.429	0.03	0.005	00.00	6.339
E'N – E'S	78.75 – 101.25	1.696	1.489	0.261	0.025	00.00	00.00	3.467
E'S – SE'E	101.25 – 123.75	1.252	1.001	0.271	0.025	00.00	0.005	2.551
SE'E – SE'E	123.75 – 146.25	2.095	1.326	0.192	0.025	0.005	0.005	3.645
SE'E – S'E	146.25 – 168.75	4.24	4.777	1.035	0.084	00.00	0.022	10.146
S'E – S'W	168.75 – 191.25	7.538	5.206	0.636	0.064	00.00	00.01	13.441
S'W – SW'S	191.25 – 213.75	7.414	4.013	0.281	0.005	0.005	00.00	11.708
SW'S – SW'W	213.75 – 236.25	5.516	2.416	0.207	0.005	0.005	0.005	8.147
SW'W – W'S	236.25 – 258.75	2.652	0.976	0.035	00.00	00.00	00.00	3.66
W'S – W'N	258.75 – 281.25	1.237	0.592	0.025	0.015	00.00	00.00	7.867
W'N – NW'W	281.25 – 303.75	1.006	0.429	0.044	0.005	00.00	00.00	1.483
NW'W – NW'N	303.75 – 326.25	1.045	0.232	0.025	0.005	00.00	00.00	1.305
NW'N – N'W	326.25 – 348.75	0.981	0.256	0.039	00.00	00.00	00.00	1.276
Sub – Total		49.461	36.138	6.556	0.0586	0.059	0.079	92.878
							Calma	7.033
							Pérdidas / Incompleta	0.089
							Total	100

### 9.1.3 Otoño

En otoño se puede ver que las velocidades del viento se mantienen casi constantes, variando muy poco (Figura 20), siendo el rango de velocidad de 0.3 a 1.6 m s<sup>-1</sup> el dominante con un 54.4% seguido del rango 1.3 a 3.4 m s<sup>-1</sup> con un 30% (Figura 21), siendo ventolina y brisa suave respectivamente, las direcciones que toma el viento ya son mayores las que provienen del norte con un 15.8 %, seguido de vientos que vienen del sureste con un 12.25 % y suroeste con 10.4 %, las velocidades mas rapidas que puede toamr el viento son del norte mayores de 10.8 m s<sup>-1</sup> (Cuadro 15).

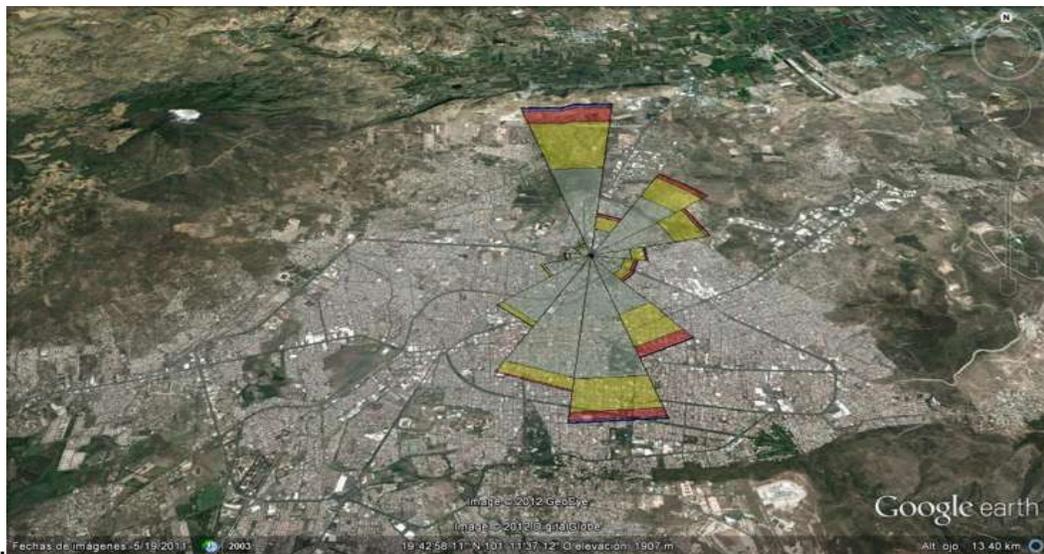


Figura 20. Rosa de vientos de los otoños del 2003 – 2011 de la estación meteorológica de Morelia No.665

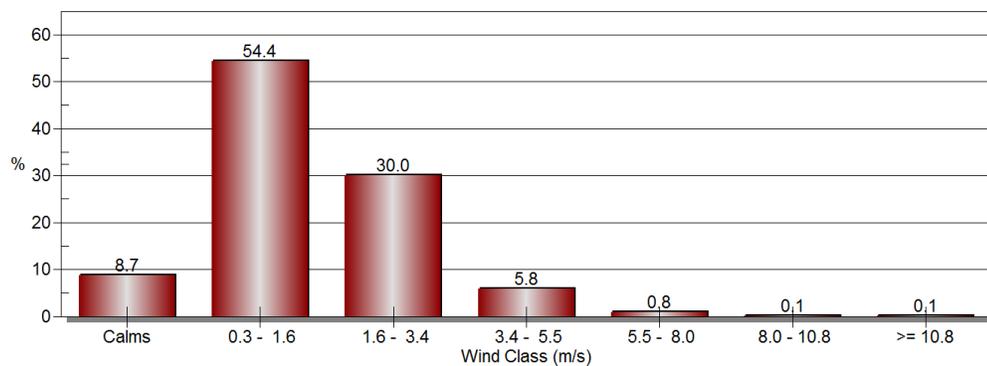


Figura 21. Distribución de porcentajes de las velocidades de la rosa de vientos de los otoños 2003 – 2011

Cuadro 15. Distribución de porcentajes en intervalos de las direcciones y velocidades del viento de la rosa de vientos de los otoños 2003 – 2011.

Dirección de la brújula	Dirección del viento Clases	0.3 – 1.6 (Calma –Ventolina)	1.6 – 3.4 (Brisa Suave)	3.4 – 5.5 (Brisa Leve)	5.5 – 8.0 (Brisa Moderada)	8.0 – 10.8 (Brisa Fresca)	>= 10.8 (Vientos Fuertes)	Total (%)
	m s <sup>-1</sup>							
N'W – N'E	348.75 – 11.25	6.186	7.083	2.017	0.408	0.08	0.04	15.806
N'E – NE'N	11.25 – 33.75	1.903	1.679	0.334	0.035	0.005	0.01	3.963
NE'N – NE'E	33.75 – 56.25	5.15	3.457	0.563	0.05	0	0.01	9.224
NE'E – E'N	56.25 – 78.75	3.915	3.123	0.299	0.02	0.005	0.1	7.368
E'N – E'S	78.75 – 101.25	1.823	1.3	0.154	0	0	0.005	3.281
E'S – SE'E	101.25 – 123.75	1.584	0.802	0.249	0.03	0	0	2.663
SE'E – SE'E	123.75 – 146.25	1.594	0.892	0.219	0.04	0.005	0	2.748
SE'E – S'E	146.25 – 168.75	3.502	3.556	1.006	0.065	0	0.02	8.144
S'E – S'W	168.75 – 191.25	7.671	3.721	0.648	0.174	0.035	0.01	12.251
S'W – SW'S	191.25 – 213.75	8.438	1.908	0.134	0	0	0	10.474
SW'S – SW'W	213.75 – 236.25	5.997	0.867	0.04	0	0	0.005	6.905
SW'W – W'S	236.25 – 258.75	2.939	0.349	0.02	0	0	0	3.305
W'S – W'N	258.75 – 281.25	1.23	0.408	0.045	0.005	0.005	0	1.693
W'N – NW'W	281.25 – 303.75	0.687	0.359	0.005	0	0	0	1.05
NW'W – NW'N	303.75 – 326.25	0.922	0.259	0.015	0	0	0.005	1.2
NW'N – N'W	326.25 – 348.75	0.882	0.259	0.035	0	0	0	1.175
Sub – Total		54.391	30.03	5.78	0.826	0.134	0.115	91.249
							Calma	8.692
							Perdidas / Incompleta	0.06
							Total	100

### 9.1.4 Invierno

En invierno la dirección de los vientos tienen una mayor frecuencia en el rango del suroeste al sureste (Figura 22), el rango de velocidades que predomina es de  $0.3$  a  $1.6 \text{ m s}^{-1}$  seguidas del de  $1.6$  a  $3.4 \text{ m s}^{-1}$  (Figura 23), siendo ventolina y brisa suave respectivamente, lo vientos vienen del sur aproximadamente un 55% de las veces, los vientos provienen del norte con un 10.8% y las velocidades mas fuertes del viento provienen del norte (Cuadro 16).

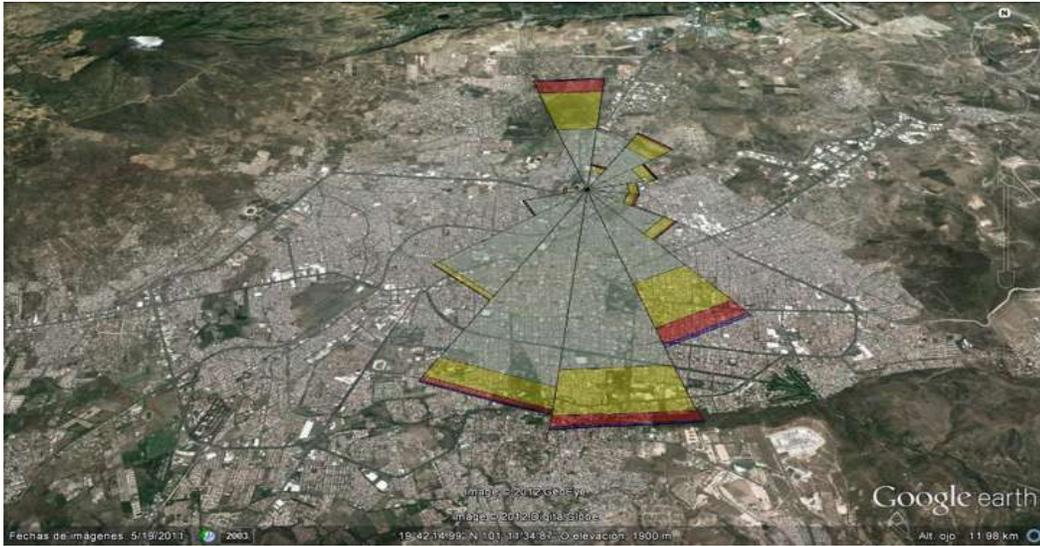


Figura 22. Rosa de vientos de los inviernos del 2003 – 2011 de la estación meteorológica de Morelia No.665

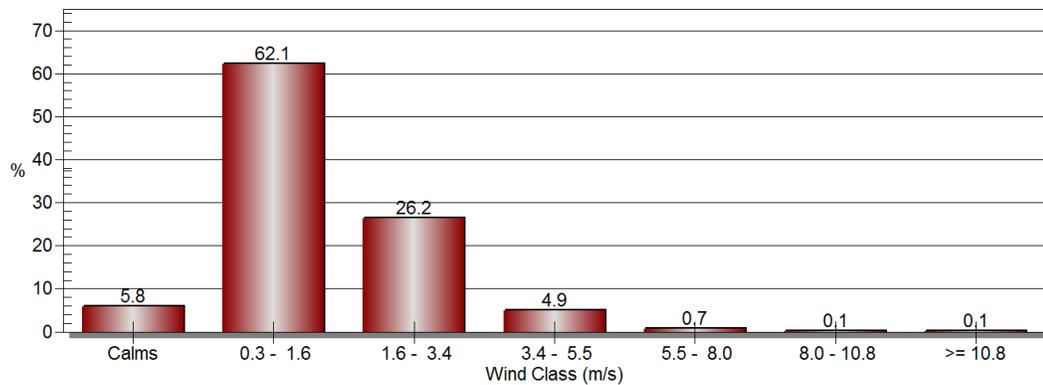


Figura 23. Distribución de porcentajes de las velocidades de la rosa de vientos de los inviernos 2003 – 2011

Cuadro16. Distribución de porcentajes en intervalos de las direcciones y velocidades del viento de la rosa de vientos de los inviernos 2003 a 2011

Dirección de la brújula	Dirección del viento Clases m s <sup>-1</sup>	0.3 – 1.6 (Calma – Ventolina)	1.6 – 3.4 (Brisa Suave)	3.4 – 5.5 (Brisa Leve)	5.5 – 8.0 (Brisa Moderada)	8.0 – 10.8 (Brisa Fresca)	>= 10.8 (Vientos Fuertes)	Total (%)
N´W – N´E	348.75 – 11.25	3.719	5.253	1.642	0.183	0	0.022	10.807
N´E – NE´N	11.25 – 33.75	1.302	0.84	0.097	0.032	0.011	0.011	2.29
NE´N – NE´E	33.75 – 56.25	3.219	2.578	0.221	0.027	0	0.016	6.054
NE´E – E´N	56.25 – 78.75	2.32	1.491	0.102	0.016	0.011	0.005	3.941
E´N – E´S	78.75 – 101.25	1.825	0.834	0.043	0	0	0	2.669
E´S – SE´E	101.25 – 123.75	1.685	0.786	0.188	0.005	0	0.005	2.667
SE´E – SE´E	123.75 – 146.25	3.961	0.953	0.14	0.005	0.011	0	5.065
SE´E – S´E	146.25 – 168.75	5.355	4.58	1.308	0.199	0.011	0	11.441
S´E – S´W	168.75 – 191.25	10.565	4.505	0.775	0.145	0.016	0.016	16.005
S´W – SW´S	191.25 – 213.75	12.239	2.836	0.307	0.075	0.032	0	15.473
SW´S – SW´W	213.75 – 236.25	9.214	0.77	0.059	0.075	0	0	10.032
SW´W – W´S	236.25 – 258.75	3.525	0.237	0.016	0	0	0	3.774
W´S – W´N	258.75 – 281.25	1.119	0.215	0	0	0	0	1.333
W´N – NW´W	281.25 – 303.75	0.538	0.14	0	0	0	0	0.677
NW´W – NW´N	303.75 – 326.25	0.797	0.113	0.011	0	0.05	0	0.925
NW´N – N´W	326.25 – 348.75	0.754	0.113	0.005	0	0	0	0.871
Sub – Total		62.07	26.215	4.909	0.688	0.097	0.075	94.054
							Calma	5.839
							Perdida / Incompleta	0.108
							Total	100

---

Como resultados finales del estudio de vientos en 9 años de Morelia, se tiene que la mayoría de los vientos viene desde el sureste-suroeste y que de las pocas veces que viene de la parte norte es de esta dirección donde vienen los vientos fuertes.

## **9.2 Interfaces requeridas en el modelo WEPS.**

En este apartado se muestran por transecto las siguiente interfaces que son los insumos requeridos en el modelo matemático WEPS generados de la información de campo, es un total de 10 transectos que es resultado del promedio de los 36 puntos de muestreos, cada transecto es representativo de su polígono de origen.

Campo.- Las longitudes de las parcelas tanto en “X” como en “Y” fueron arriba de 50 m, se mantuvieron dentro del rango que es de 10 a 1600 m, se muestrearon parcelas con forma geométrica perpendicular para que se ajuste al WEPS (Cuadro 17).

Biomasa.- La altura promedio de residuos estuvo arriba de 9 cm, manteniéndose en el rango de 0 a 3 m, los porcentajes de residuos de cubierta plana variaron entre 36.66 a 50% entre más alto sea el porcentaje se espera resultados más bajos de perdida de suelo ya que estos residuos protegen la parcela, los rangos entre las distancias entre filas de arado estuvo entre 76 a 154 cm (Cuadro 18).

Capas de suelo.- Las texturas se caracterizaron por el alto contenido de limo y de arcilla, las clases texturales de la mayoría fue arcillo – limoso y franco arcillo – limos, al ser suelos más arcillosos es de esperar que los resultados salgan con poca perdida de suelo, pero como interviene el arado esto hace que sean los mas propensos a sufrir grandes pérdidas de suelo; la densidad aparente se mantuvo dentro del rango de 0.6 a 2.5 mg m<sup>-3</sup>, y el punto de marchitez permanente entre 0.18 a 0.4 mg mg<sup>-1</sup> (Cuadro 19).

Superficie de suelo.- La rugosidad fue baja, debido a que en estos suelos agrícolas hubo muy pocos fragmentos de roca sobre la superficie del suelo; la altura, ancho y distancia entre crestas se mantuvieron dentro de los rangos que es de 0 a 200 cm (Cuadro 20).

Clima.- La temperatura diaria promedio se mantuvo dentro del promedio de 24°, debido a que se muestreo durante un día soleado, los demás datos fueron tomados en base a la estación meteorológica por eso es que son constantes (Cuadro 21).

Cuadro 17. Interface de campo por transecto.

Transecto	Campo		
	Longitud X	Longitud Y	Ángulo
	m	m	°
1	172.377	201.017	162.497
2	180.253	162.533	167.297
3	226.048	234.963	172.425
4	133.997	140.103	162.428
5	268.863	222.995	181.135
6	144.073	148.340	183.617
7	158.313	200.060	184.367
8	54.347	37.780	71.880
9	147.995	240.155	89.100

Cuadro 18.- Interface de biomasa por transecto I

Transecto	Biomasa		
	Altura promedio de residuos	Residuos de cubierta plana	Distancia entre filas
	cm	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	cm
1	26.117	48.000	99.633
2	35.580	36.667	153.44
3	28.143	35.000	102.06
4	39.411	44.545	76.438
5	34.248	45.000	80.150
6	23.220	43.333	76.332
7	23.107	50.000	60.887
8	9.277	63.333	63.333
9	19.430	45.000	71.205

Cuadro 19.- Interface de capas de suelo por transecto.

Transecto	Capas de suelo								
	Espesor	Textura				Densidad aparente	Densidad de agregados	Estabilidad agregados	Punto marchitamiento
		Arena	Arena muy fina	Limo	Arcilla				
	cm	mg mg <sup>-1</sup>	mg mg <sup>-1</sup>	mg mg <sup>-1</sup>	mg mg <sup>-1</sup>	mg mg <sup>-3</sup>	mg m <sup>-3</sup>	ln (J kg <sup>-1</sup> )	mg mg <sup>-1</sup>
1	35	0.022	0.390	0.430	0.548	1.290	2.094	2.119	0.324
2	35	0.017	0.389	0.387	0.596	1.290	2.094	1.719	0.356
3	35	0.029	0.449	0.368	0.604	1.305	2.094	1.779	0.360
4	35	0.109	0.310	0.425	0.466	1.365	2.094	2.594	0.270
5	35	0.139	0.306	0.477	0.384	1.385	2.094	3.311	0.215
6	35	0.157	0.317	0.507	0.336	1.377	2.094	3.306	0.189
7	35	0.073	0.312	0.584	0.344	1.420	2.094	3.382	0.192
8	35	0.068	0.352	0.421	0.511	1.350	2.094	2.627	0.299
9	35	0.052	0.390	0.323	0.625	1.260	2.094	1.341	0.374

Cuadro 20.- Interface de superficie del suelo por transecto.

Transecto	Rugosidad	Altura de la cresta	Distancia entre crestas	Ancho de cresta	Orientación de la cresta
	mm	cm	cm	cm	°
1	1	20.86	100.06	71.06	162.497
2	8	19.97	164.97	133.53	167.297
3	2	17.935	95.605	65.425	172.425
4	8	20.487	78.113	50.665	162.428
5	8	20.423	79.665	50.505	181.135
6	1	13.22	82.997	58.663	183.617
7	1	19.442	58.663	55.443	184.367

Cuadro 21.- Interface de clima por transecto.

Transecto	Clima				
	Densidad del aire	Dirección del viento	Altura del anemómetro	Elevación	Temperatura promedio diaria
	kg m <sup>-3</sup>	°	m	m	°
1	0.981	35.000	10.000	1840.000	20.4
2	0.964	35.000	10.000	1841.333	21.4
3	0.964	35.000	10.000	1838.250	22.4
4	0.958	35.000	10.000	1885.182	23.4
5	0.964	35.000	10.000	1843.500	24.4
6	0.941	35.000	10.000	2033.000	25.4
7	0.931	35.000	10.000	2116.667	26.4
8	0.938	35.000	10.000	2058.000	27.4
9	0.922	35.000	10.000	2202.500	28.4

### 9.3 Resultados de la generación de Mapas de erodabilidad

El municipio de Álvaro Obregón presenta en su totalidad una clase de erosionabilidad alta así como parte de Tarímbaro, Charo e Indaparapeo, en cambio, Morelia se encuentra entre las clases moderada y baja. En general, las zonas agrícolas tienden a una clase alta de erosionabilidad como se observa en la Figura 24.

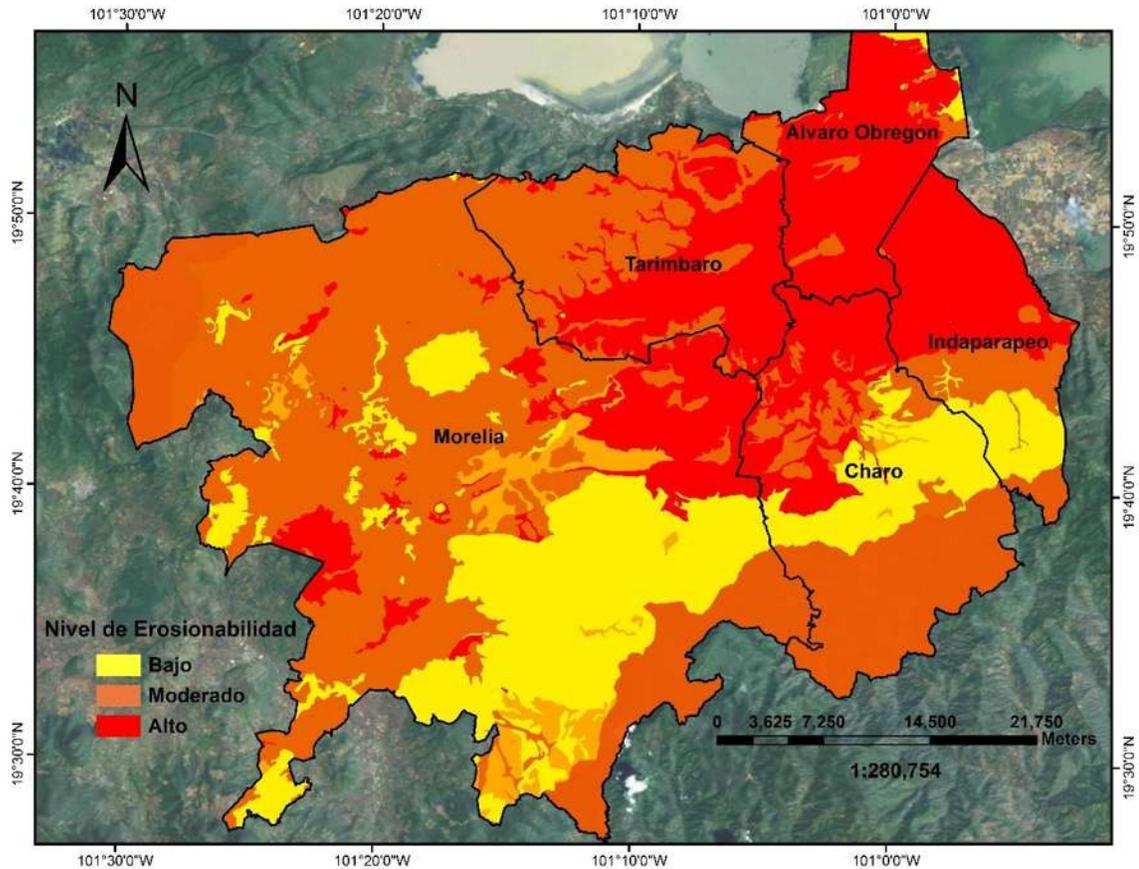


Figura 24. Mapa de clases de erosionabilidad en la zona de estudio

#### 9.4 Obtencion de factores de emision utilizando SWEEP

Como ejemplo ilustrativo de los resultados de la simulación en SWEEP se presentaran los del Transecto uno que corresponde al municipio de Tarímbaro, para ver las simulaciones completas referirse al Anexo C.

##### Transecto 1

La pérdida total de suelo es de  $1.7302 \text{ t ha}^{-1}$ , y el 95.2% de pérdida de suelo se da por suspensión, la pérdida de suelo por  $\text{PM}_{10}$  es de  $0.0135 \text{ t ha}^{-1}$  esto representa el 0.76% del total de la perdida de suelo, como se observa en el Cuadro 22. En el Cuadro 23, se observa que las pérdidas de suelo se dan por el sur y el oeste. En la Figura 25 y Cuadro 24, se puede ver como fue la perdida de suelo total, fue aumentando conforme aumentaba la longitud en "Y" y en "X", se presenta en forma de "avalancha". En la Figura 26 y Cuadro 25, que es el comportamiento de la pérdida por  $\text{PM}_{10}$  se observa lo contrario hay una fuerte emision de  $\text{PM}_{10}$  pero esta va disminuyendo conforme aumenta la longitud en "X" y en "Y". En la Figura

27 y Cuadro 26 que es la pérdida de suelo por saltacion y arrastre se presenta el mismo fenomeno que en la Figura 25, aumenta la pérdida de suelo conforme lo hace “Y” y “X”. En la Figura 28 y Cuadro 27, que es la pérdida por suspensión se observa que tiene el mismo comportamiento que la pérdida por PM<sub>10</sub>.

Cuadro 22.- Factor de emisión de pérdida promedio de la cuadrícula del Transecto 1

Tipo de pérdida	Factor de emisión t/ha	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)
<b>Total de suelo</b>	1.7302	0.0043	0.2467
<b>Arrastre/Saltación</b>	0.0831	0.0491	59.022
<b>Suspensión</b>	1.647	0.0447	2.7111
<b>PM10</b>	0.0135	0.0019	14.6495

Cuadro 23.- Velocidad másica lineal por ubicación del Transecto 1

DIRECCION DE LA PARCELA	TOTAL	SALTACION ARRASTRE	SUSPENSION	PM10
	kg/m			
<b>Norte</b>	0	0	0	0
<b>Sur</b>	38.17	1.34	36.82	.3
<b>Oeste</b>	1.68	0.08	1.6	0.01
<b>Este</b>	0	0	0	0

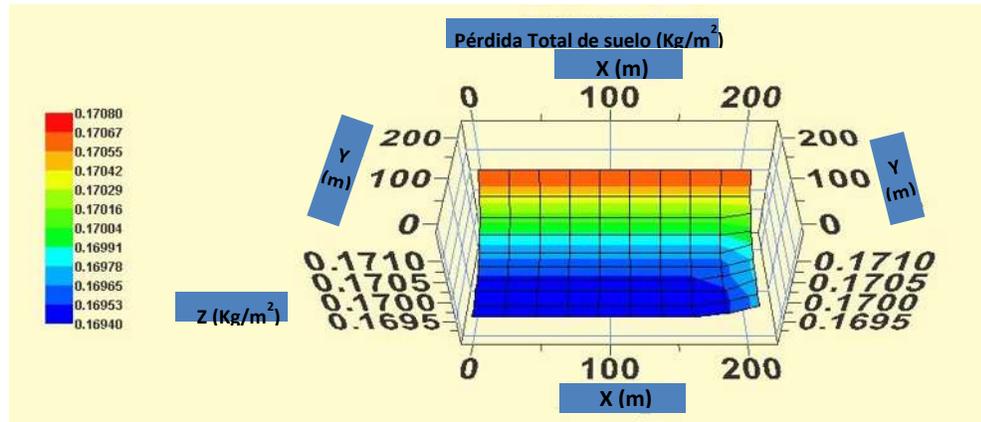


Figura 25.- Cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 1

Cuadro 24. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 1

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>2</sup>									
0	1.738	1.738	1.738	1.738	1.738	1.738	1.738	1.738	1.739	1.739
1	1.735	1.735	1.735	1.735	1.735	1.735	1.735	1.735	1.736	1.737
2	1.732	1.732	1.732	1.732	1.732	1.732	1.733	1.733	1.733	1.736
3	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.731	1.732	1.735
4	1.729	1.729	1.729	1.729	1.729	1.729	1.729	1.729	1.731	1.734
5	1.727	1.727	1.727	1.727	1.727	1.728	1.728	1.728	1.73	1.734
6	1.726	1.726	1.726	1.726	1.726	1.727	1.727	1.728	1.729	1.734
7	1.726	1.726	1.726	1.726	1.726	1.726	1.726	1.727	1.729	1.733
8	1.725	1.725	1.725	1.725	1.725	1.725	1.726	1.727	1.729	1.733
9	1.725	1.725	1.725	1.725	1.725	1.725	1.725	1.726	1.729	1.733

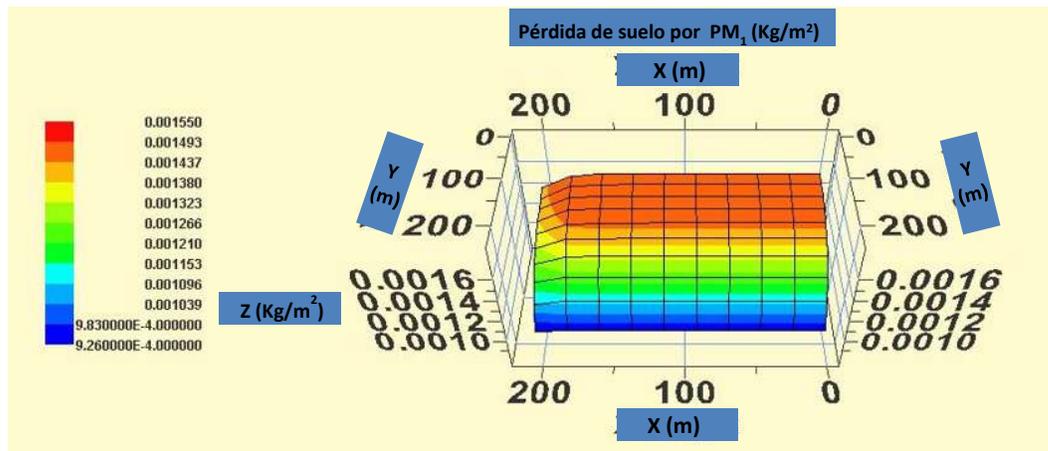


Figura 26.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 1

Cuadro 25. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 1

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>2</sup>									
0	0.00946	0.00946	0.00946	0.00946	0.00946	0.00946	0.00946	0.00945	0.0094	0.00911
1	0.01096	0.01096	0.01096	0.01096	0.01096	0.01096	0.01095	0.01091	0.01075	0.01009
2	0.01213	0.01213	0.01213	0.01213	0.01212	0.01212	0.0121	0.01202	0.01173	0.01072
3	0.01304	0.01304	0.01304	0.01304	0.01304	0.01303	0.01299	0.01286	0.01243	0.01112
4	0.01375	0.01375	0.01375	0.01375	0.01375	0.01373	0.01367	0.01348	0.01292	0.01137
5	0.01431	0.01431	0.01431	0.01431	0.0143	0.01427	0.01419	0.01394	0.01326	0.01153
6	0.01474	0.01474	0.01474	0.01474	0.01473	0.01469	0.01458	0.01428	0.0135	0.01163
7	0.01508	0.01508	0.01508	0.01508	0.01506	0.01501	0.01487	0.01452	0.01366	0.0117
8	0.01535	0.01535	0.01535	0.01534	0.01532	0.01526	0.01509	0.0147	0.01377	0.01174
9	0.01556	0.01556	0.01555	0.01554	0.01552	0.01544	0.01526	0.01482	0.01384	0.01176

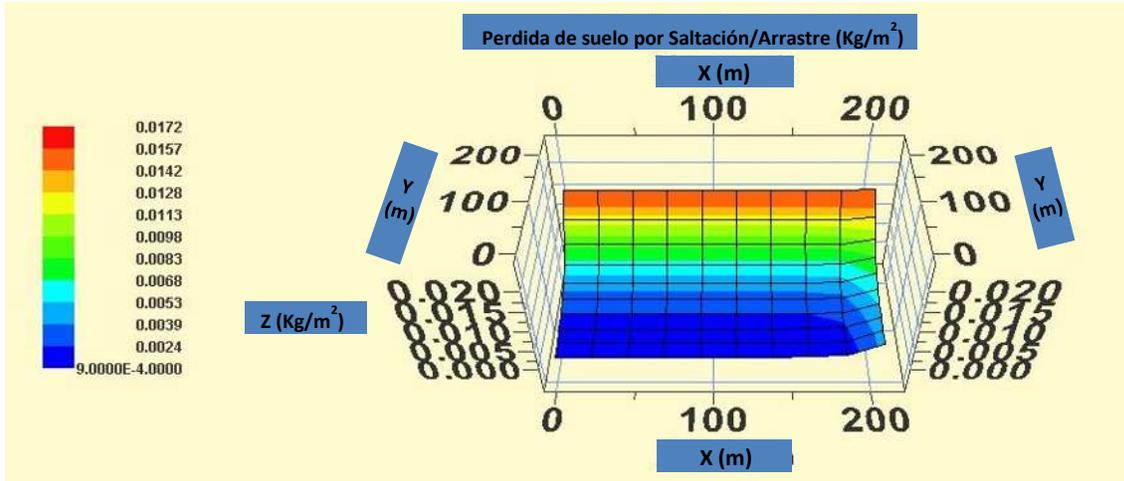


Figura 27. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación y arrastre del Transecto 1.

Cuadro 26. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación y arrastre del Transecto 1.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>-2</sup>									
0	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.176	0.176	0.177	0.185
1	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.138	0.142	0.159
2	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.108	0.11	0.117	0.143
3	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.085	0.088	0.099	0.133
4	0.065	0.065	0.065	0.066	0.066	0.066	0.068	0.072	0.087	0.127
5	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.052	0.054	0.061	0.078	0.122
6	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.041	0.044	0.052	0.072	0.12
7	0.031	0.031	0.031	0.031	0.032	0.033	0.037	0.046	0.068	0.118
8	0.024	0.024	0.024	0.025	0.025	0.027	0.031	0.041	0.065	0.117
9	0.019	0.019	0.019	0.019	0.02	0.022	0.027	0.038	0.063	0.116

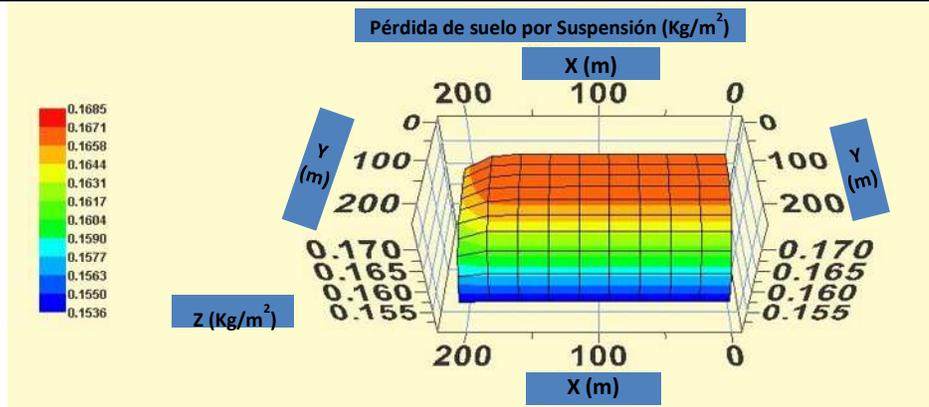


Figura 28. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 1

Cuadro 27. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 1

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>2</sup>									
<b>0</b>	1.563	1.563	1.563	1.563	1.563	1.563	1.563	1.563	1.561	1.555
<b>1</b>	1.598	1.598	1.598	1.598	1.598	1.598	1.598	1.597	1.593	1.578
<b>2</b>	1.625	1.625	1.625	1.625	1.625	1.625	1.625	1.623	1.616	1.592
<b>3</b>	1.647	1.647	1.647	1.647	1.647	1.646	1.645	1.642	1.632	1.602
<b>4</b>	1.663	1.663	1.663	1.663	1.663	1.663	1.661	1.657	1.644	1.608
<b>5</b>	1.676	1.676	1.676	1.676	1.676	1.675	1.673	1.668	1.652	1.611
<b>6</b>	1.686	1.686	1.686	1.686	1.686	1.685	1.683	1.676	1.657	1.614
<b>7</b>	1.694	1.694	1.694	1.694	1.694	1.693	1.69	1.681	1.661	1.615
<b>8</b>	1.701	1.701	1.701	1.7	1.7	1.698	1.695	1.685	1.664	1.616
<b>9</b>	1.705	1.705	1.705	1.705	1.704	1.703	1.698	1.688	1.665	1.617

Los factores de emisión en t ha<sup>-1</sup> de PM<sub>10</sub> de los nueve transectos seleccionados se presentan en el Cuadro 28. Se observa que la zona de Álvaro Obregón es en donde se encuentran los factores de emisión con mayor magnitud del orden de 0.01831 t ha<sup>-1</sup> en promedio, seguido por los municipios de Tarímbaro, Charo, Indaparapeo y Morelia. Se observó que los dos Transectos de Tarímbaro son muy similares.

Los factores de emisión de PM<sub>10</sub> de los cinco municipios estudiados se muestran en el Cuadro 29 a partir del SWEEP considerando tres meses debido a que los resultados son para una parcela con características para un día. La pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> se multiplicó por el área agrícola total de cada municipio y se comparó con los datos registrados para la misma área.

Para Tarímbaro se ve que la suma de la emisión de los dos Transectos es de proporción 2:1 contra lo que se muestra en el inventario de emisiones. Para Álvaro Obregón la pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> en áreas agrícolas es en proporción de 4.6:1 contra el Inventario de Emisiones siendo mucho mayor a la emisión que se da en el inventario de emisiones. En Charo el aporte de PM<sub>10</sub> de las áreas agrícolas es en proporción con el Inventario de Emisiones de 1.6:1 siendo mayor al publicado en el inventario de emisiones. En Indaparapeo se observa el mismo comportamiento las PM<sub>10</sub> de suelos agrícolas con una proporción de 1.5:1 contra lo que se publica en el Inventario de Emisiones. Para Morelia que fueron cuatro Transectos en total la suma de estos es de 160.27 t de emisión de PM<sub>10</sub> en zonas agrícolas y en proporción con el

Inventario de Emisiones es de 1:4.5 siendo mucho menor a lo publicado en el Inventario de Emisiones.

Cuadro 28. Factores de emisión de PM10 por Transecto en (t ha<sup>-1</sup>)

Lugar	Transecto	Factor de emisión promedio	Área agrícola
		t ha <sup>-1</sup>	ha
TARIMBARO 1	1	0.01351	7046.63
TARIMBARO 2	2	0.01373	4450.23
ALVARO OBREGON	3	0.01831	7806.22
CHARO	4	0.00963	9118.48
INDAPARAPEO	5	0.00816	7963.11
MORELIA 1	6	0.00929	1730.57
MORELIA 2	7	0.00789	8125.22
MORELIA 3	8	0.0045	6054.64
MORELIA 4	9	0.00698	7577.34

Cuadro 29. Comparación de resultados de emisión del SWEEP para un periodo de tres meses y la emisión de PM<sub>10</sub> del Inventario de Emisiones en 2008 anualizado.

Lugar	Factor de Emisión de PM <sub>10</sub> (SWEEP)	Emisión en el Inventario de Emisiones	Proporción
	t (tres meses)	t a <sup>-1</sup>	
TARIMBARO	142.097	74.09	2 : 1
ALVARO OBREGON	142.932	30.61	4.6 : 1
CHARO	87.811	53.55	1.6 : 1
INDAPARAPEO	64.979	41.86	1.5 : 1
MORELIA	160.27	724	1 : 4.5

En la Figura 24, se tiene un mapa para identificar los niveles de erodabilidad utilizando la ecuación de la FAO e información de INEGI, comparando esta con la Figura 29, que presenta los niveles de erosión de las simulaciones de los 9 Transectos del SWEEP, se observa que hay una gran consistencia en las áreas presentadas, se puede observar como en la zona de Álvaro Obregón y Tarimbaro son las que presentan mayor impacto por la erosión eólica de suelos agrícolas seguidas de Charo e Indaparapeo, las áreas agrícolas de Morelia presentan menores impactos causados por la erosión de suelos agrícolas.

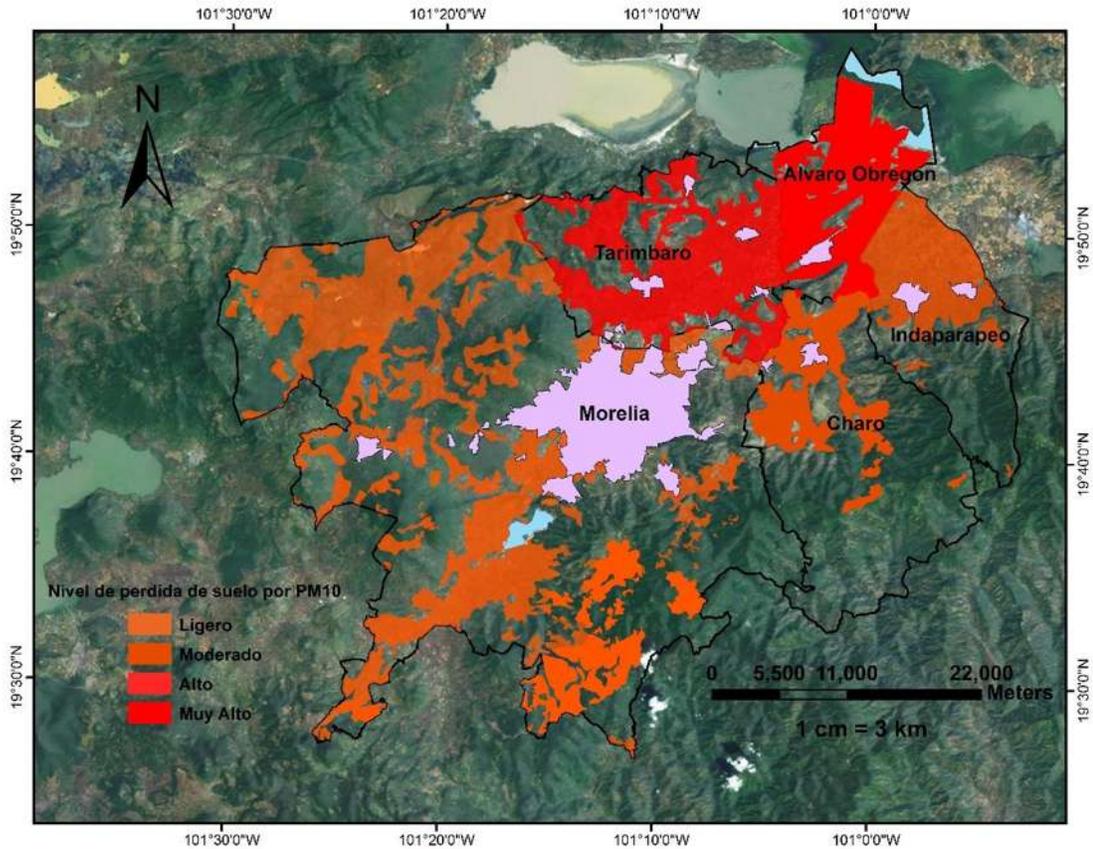


Figura 29. Mapa de los niveles de pérdida de suelo en la zona agrícola a partir del SWEEP

---

## 10 CONCLUSIONES

La dirección del viento en mayor proporción procede del suroeste al sureste, y cuando proviene del noreste lo hace con las velocidades más altas presentes en el año.

Las clases de erosionabilidad más altas se presentan en Álvaro Obregón, Tarímbaro y parte de Charo e Indaparapeo.

En orden de los municipios de mayor a menor aporte de emisión de PM<sub>10</sub> se tienen: Álvaro Obregón, Tarímbaro, Charo, Indaparapeo y Morelia.

El aporte de PM<sub>10</sub> debido a la erosión de los suelos agrícolas suponiendo tres meses en que las parcelas se encuentran en descanso y sin cubierta vegetal iguala y/o supera las fuentes de emisión del Inventario de emisiones publicado en el 2008.

Los suelos agrícolas del presente estudio son de gran importancia en la emisión de material particulado, ya que éste no es considerado en el Inventario de Emisiones.

Existe una alta similitud entre las clases de erosionabilidad estimadas a partir del factor edáfico de la ecuación de riesgo de erosión con el mapa de erosionabilidad generado mediante la simulación del SWEEP, por lo que ambas herramientas son confiables para predecir niveles de erosionabilidad.

---

## RECOMENDACIONES

- Para contar con un buen soporte de los resultados se recomienda hacer una campaña de campo en el municipio de Morelia, utilizando el minivol para capturar partículas  $PM_{10}$  y determinar su composición.
- El presente estudio se limitó a zonas agrícolas, por lo que se recomienda realizarlo en áreas sin cobertura vegetal, en otros tipos de suelos y en suelos con costras, entre otros.
- Para obtener resultados más precisos, tomar la velocidad y dirección del viento en las zonas de muestreo para asegurar que las velocidades sean lo más reales.
- Realizar un estudio sobre las fuentes de área que son las productoras de  $PM_{10}$  en la zona de estudio.
- Realizar una caracterización más amplia de los suelos y del medio físico con el fin de relacionarlos con la producción de las  $PM_{10}$

---

## LITERATURA CITADA.

- Bathurst, J. C., Moretti, G., El-Hames, A., Begueria, S., Garcia-Ruiz, J.M., 2007. Modelling the impact of forest loss on shallow landslide sediment yield, Ijuez river catchment, Spanish Pyrenees. *Hidrol. Earth Syst. Sc.* 11(1): 569-583.
- Black, A.L. & F.H. Siddoway. 1979. Influence of tillage and wheat straw residue management on soil properties in the Great Plains. *Can. J. Soil Sci.* 69:835-847.
- Borja-Aburto V, Castillejos M, Gold D, Bierzwinski S, Loomis D. Mortality and ambient fine particles in Southwest Mexico City, 1993-1995. *Environ Health Perspect* 1998; 106:849-855.
- Buschiazzo, D. E.; S. B. Aymar & K. Stahr. 1995. Factores que afectan la estabilidad estructural de los suelos en la Región Semiárida Pampeana Central (Argentina). *Ciencia del Suelo* 13 (2): 66-69.
- Buschiazzo, D. E. & V. Taylor. 1993. Efectos de la erosión eólica sobre algunas propiedades de suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. *Ciencia del Suelo* 10-11: 46-53.
- Buschiazzo, DE & SB Aymar. 2003. Erosión eólica: Procesos y Predicción. *In: Viento, Suelo y Plantas.* Golberg y Kin (eds). IMTA.
- Chepil, WS. 1945. Dynamics of wind erosion: I. Nature of movement of soil by wind. *Soil Sci.* 60: 305-332.
- Chow, J.C. et al. 2002. Chemical Composition of PM2.5 and PM10 in Mexico City during winter 1997. *The Science of the Total Environment.* 287: 177-201.
- Cooke, R. A. Warren & A. Goudir. 1993. *Desert geomorphology.* UCL Press. St. Ives. UK.
- Dockery DW, Pope AC, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med.* 1993; 329(24):1753–1759.
- Finlayson-Pitts, B. J.; Pitts, J. N. *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications;* Academic Press: San Diego, 2000.
- Fryrear, D. W., A. Saleh, and J. D. Bilbro. 1998. A single event wind erosion model. *Trans. ASAE* 41(5): 1369-1374.
- Gillette, D. A. 1977. Fine particulate emissions due to wind erosion. *Trans. ASAE* 20
- Greeley, R. and J. D. Iversen. 1985. *Wind as a Geological Process.* New York, N.Y.: Cambridge University Press.
- Hagen, L. J. 1995. WEPS technical documentation: Erosion submodel. SWCS WEPP/WEPS Symposium. Ankeny, IA
- Hoffmann, C. R. Funk, Y Li & M. Sommer. 2008. Effect of grazing on wind driven carbon and nitrogen ratios in the grasslands of Inner Mongolia. *Catena* 75: 182-190.
- Hudson, N. 1982. *Conservación del suelo.* Traducción al español de J. M. Garcia y J. P. Martinez. Editorial Reverté, Barcelona, España.

- 
- Hudson, T. and A. Cary. 1999. Dust storm causes deadly pileups on I-84. Tri-City Herald, September 26, 1999:A1.
- Jáuregui, Ernesto. 1971. La erosión eólica en los suelos vecinos al lago de Texcoco. Ingeniería Hidráulica en México. XXV-2: 103-117.
- Jáuregui, E. 1983. Variaciones de largo periodo de la visibilidad en la Ciudad de México. Geofísica Internacional. 1983. 22-3: 251-275.
- Jesse L. The, Cristiane L. The. WINDRLOT, Lakes Environmental, 2011.
- López, M.T. et al. 2002. Transport and dispersion of blowing dust in the Mexico Basin. In: Lee, Jeffrey A. and Zobeck, Ted M., 2002, Proceedings of ICAR5/GCTE-SEN Joint Conference, International Center of Arid and Semiarid Lands Studies, Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA. Publication 02-2: 330-339.
- McConnell, J. 2007. The Impact of South American Climate Change and Desertification on Atmospheric Dust over West Antarctica and the Antarctic Peninsula. Multidisciplinary Workshop on Southern South American Dust, Puerto Madryn, Argentina, October 3-5.
- Mendez, M. J. L. D. Oro, J. E. Panebianco; J. C. Colazo & D. E. Buschiazzo. 2006. Organic carbon and nitrogen in soils of semiarid Argentina. Journal of Soil and Water Conservation 61(4): 230-235.
- Morgan, R.P.C., 1995. Soil Erosion and Conservation, 2<sup>nd</sup> Edition. Longman Group and J. Wiley & Sons, Essex. 198 pp.
- Myers D.E. (1994). Statistical methods for interpolating spatial data. J. Appl. Sci. Comput. 1: 283-318.
- Nicks, A.D., J.R. Williams, C.W. Richardson, and L.J. Lane. 1987. Generating climatic data for a water erosion Prediction on model. ASAE, Paper No. 87-2541. St. Joseph, MI 49085-9659.
- Nyssen, J., Pesen, J., Moeyersons, J., Deckers, J., Haile, M., 2006. Processes and rates of rock fragment displacement on cliffs and scree slopes in an amba landscape, Ethiopia. Geomorphology 81, 265-275.
- Oldeman, L.R., 1994. The global extent of soil degradation. In: Greenland, D.J., Szaboles, I. (Eds.), Soil Resilience and Sustainable Land Use. CAB International, Wallingford, UK, pp.99-118.
- Ostro, B. D., S. Hurley, and M. J. Lipsett. 1999. Air pollution and daily mortality in the Coachella Valley, California: A study of PM10 dominated by coarse particles. Environmental Research Section A 81: 231-238.
- Papendick, R.I. 2004. Farming with the Wind II: Wind Erosion and Air Quality Control on the Columbia Plateau and Columbia Basin. Special Report XB1042. Pullman, WA: College of Agricultural, Human, and Natural Resource Sciences, Washington State University.
- Pope CA, III, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA. 2002; 287(9):1132-1141.
- Quiroga, A. R & D. E. Buschiazzo. 1988. Relación de algunos parámetros hídricos, densidad aparente y materia orgánica, con granulometría en suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. Carpeta Técnica 50, Ecología, EEA Anguil.

- 
- Salazar S., Bravo J.S. y Castellanos, M.A. Identificación de la fracción mineral del aerosol atmosférico en una Zona Urbana de la Ciudad de México por medio de difracción y fluorescencia de rayos X. *Atmosfera* 1989; 2: 103-110.
- Salles, C., Poesen, J., 2000. Rain Properties controlling soil splash detachment. *Hydrol Process.* 14, 271-282.
- Saxton, K. 1995. Wind erosion and its impact on off-site air quality in the Columbia Plateau - an integrated research plan. *Transactions of the ASAE* 38:1031–1038.
- SEDUOP (Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas) (1996). Plan estatal de protección y preservación del medio ambiente 1996-2020. Gobierno del Estado de Nuevo León, Subsecretaría de Ecología.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental/INE, North American Commission for Environmental Cooperation, United State Environmental Protection Agency, Western Governor's Association, 2006. Inventario nacional de emisiones de México, 1999. Ciudad de México, septiembre del 2006.
- Sharratt, B., G. Feng, and L. Wendling. 2006. Loss of soil and PM10 from agricultural fields associated with high winds on the Columbia Plateau. *Earth Surface Processes and Landforms*, doi:10.1002/esp.1425.
- Skidmore, E.L. and J. Tatarko. 1990. Stochastic wind simulation for erosion modeling. *Trans.*
- Skidmore, E.L. 1979, Wind Erosión. *In* R.W. Fairbridge, y C.W. Finkl (Eds.). *Soil Science. Part 1.* (Encyclopedia). Dowden, Hutchinson &. Ross, Inc. Pennsylvania. p. 608-615.

---

# **ANEXOS**

---

## ANEXO 1.

### HYSPLIT

Con el HYSPLIT se obtuvieron las direcciones del viento a 500 m de altura de los años 2006 al 2011, ya que las direcciones del viento cambian notablemente con la altura, aquí se presenta el mes de mayo porque es donde se presenta la temporada de estiaje y los campos agrícolas están más expuestos a sufrir cambios gracias a la erosión, se usó este modelo para ver el comportamiento del viento a 500 m, se ve notablemente que los vientos a esta altura vienen del suroeste, cuando van por el pacifico vienen del norte pero apenas tocan las costas de Michoacán estos cambian su dirección y se dirigen al noreste.

Se puede predecir que los contaminantes de la zona industrial de Lázaro Cárdenas así como la termoeléctrica de Petacalco pueden influir en el arrastre de contaminantes que llegan a la ciudad de Morelia.



Figura 30. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de enero de 2006 – 2011.



Figura 31. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de febrero de 2006 – 2011.

En la Figura 30, se puede ver que en enero los vientos tienen un comportamiento muy inestable, mientras que en febrero se empieza a notar una consistencia de los vientos proviniendo de la parte sur, se observa que los vientos viajan al norte en el océano pacífico, pero tocando las costas mexicanas toman una dirección hacia al norte, llegando a Morelia, Figura 31.



Figura 32. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de marzo del 2006 – 2011.



Figura 33. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de abril del 2006 – 2011.

En marzo los vientos siguen llegando del océano pacífico, pero ya no solo de la parte sur sino también vientos que vienen de la zona norte, Figura 32, en abril se nota que la mayoría de los vientos que llegan a Morelia provienen del norte del océano pacífico (Figura 33).



Figura 34. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de mayo del 2006 – 2011.



Figura 35. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de junio del 2006 – 2011.

En mayo el comportamiento de los vientos es muy parecido al del mes de abril con los vientos viajando desde el norte del pacifico tocando tierra y dirigiéndose a Morelia, Figura 34, ya en junio se observa que una parte de los vientos proviene del norte del pacifico y otra parte del Golfo de México, (Figura 35).



Figura 36. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de julio del 2006 – 2011.



Figura 37. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de agosto del 2006 – 2011.

En julio los vientos tienen un comportamiento similar a junio, con los vientos dirigiéndose de las dos partes del país tanto del océano pacífico como del golfo de México, Figura 36, en agosto siguen comportándose igual pero ya es más contundente que los vientos vengan del golfo de México, (Figura 37).



Figura 38. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de septiembre del 2006 – 2011.



Figura 39. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de octubre del 2006 – 2011.

Se nota que en septiembre y en octubre los vientos tienen comportamientos muy similares proviniendo mayormente del Golfo de México y una pequeña parte del sur del océano pacífico, (Figura 38 y 39).



Figura 40. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de noviembre del 2006 – 2011.



Figura 41. Mapa de trayectorias del viento a 500 m del Hysplit de diciembre del 2006 – 2011.

En noviembre y en diciembre los vientos ya no tienen un comportamiento como en los meses anteriores, provienen de varios lugares, no se nota una consistencia entre estos, (Figura 40 y 41).

---

## ANEXO 2.

**Metodología para generar las interfaces (características de suelo) requeridos en el modelo WEPS**

### 1. Campo

*Longitud en los ejes X e Y de las parcelas.*

*Ángulo:* Orientación de las parcelas con respecto a los cuatro puntos cardinales.



Figura 42. Calculo de Índice de residuos

### 2. Biomasa

*Altura promedio (m) de residuos* de cosecha que se encontraron de pie.

*Índice de área de residuos de tallo (IART)* ( $m^2 m^{-2}$ ): Se tomó el área de los residuos sin hojas por metro cuadrado, Figura 42. Se requiere información sobre el diámetro, altura y población de tallos por metro cuadrado (Ecuación 1).

$$IART = \text{diámetro de residuos (m)} \times \text{altura del tallo (m)} \times \text{tallos (\#m}^{-2}\text{)} \quad \text{Ecuación 1}$$

*Índice de área de residuos foliar* se determinó por  $m^2 m^{-2}$ .

*Residuos de cubierta plana.* La biomasa sobre la cubierta plana ( $m^2 m^{-2}$ ):

*Altura promedio de crecimiento de los cultivos (m).*

---

**Índice de área del crecimiento del tallo cultivado (IACT):** El área de los tallos sin hojas por metro cuadrado sobre la superficie del suelo. La información que se necesita es diámetro del tallo, altura del tallo y población de tallos por metro cuadrado (Ecuación 2).

$$IACT = \text{diámetro del tallo (m)} \times \text{altura del tallo (m)} \times \text{tallos (\#m}^{-2}\text{)} \quad \text{Ecuación 2}$$

**Índice de área del crecimiento foliar cultivado**  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ : El índice de área de las hojas de los cultivos.

**Distancia entre filas (m):** Se utiliza el cero en caso de que el cultivo no sea plantado en filas.

### 3. Capas de suelo

**a) Parcelas.** Algunas parcelas estaban en descanso barbechadas o en proceso de ser cultivadas (Figura 43). Se realizó un corte de suelo (perfil) en todas las parcelas, de 40 cm de largo x 40 cm de ancho y 25 cm de profundidad correspondiente a la capa arable (Figura 44). Después del registro de los siguientes datos se colectó muestra de los suelo de los primeros 40 cm de profundidad en cada uno de los perfiles. Se registraron además los siguientes datos:

**Número de capas**

**Espesor de las capas de suelo en mm.**



Figura 43. Trabajo de campo



Figura 44. Perfil de suelo

---

**b) Laboratorio.** Las muestras de suelo se secaron en un lugar ventilado y a la sombra. Posteriormente, éstas se molieron y pasaron a través de un tamiz de 2.0 mm de diámetro para obtener la fracción de tierra fina, en la cual se determinaron los siguiente parámetro físico de acuerdo con el ISRIC (1995).

**Densidad aparente** por el método de la parafina (peso del suelo seco por unidad de volumen de suelo seco en  $\text{mg m}^{-3}$ ).

**Textura del suelo** se determinó con el método de la Pipeta de Lowy (Figura 45), cuantificando las partículas minerales de las siguientes:

- a) **Fracción arena** entre 0.05 a 2 mm de diámetro.
- b) **Fracción arena muy fina** entre 0.05 a 0.1 mm de diámetro.
- c) **Fracción limo** entre 0.002 a 0.05 mm de diámetro.
- d) **Fracción arcilla** partículas menores de 0.002 mm de diámetro.

**Fracción en volumen de roca** de 2 mm o más sobre el suelo en  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .



Figura 45. Determinación de texturas

c). Características de los suelos estimadas de acuerdo con la metodología propuesta por Saxton *et al.*, (1986) señalada en el modelo WEPS (Hagen, 1995):

**Densidad promedio de los agregados:** El peso seco menor a 2 mm de los agregados del suelo por unidad de volumen de los agregados del suelo seco en  $\text{mg m}^{-3}$ .

---

**Estabilidad promedio de los agregados en seco:** La media del logaritmo natural de energías de trituración de agregados, en  $\ln (\text{Jkg}^{-1})$  (Ecuación 3).

$$\text{Estabilidad de agregados} = 0.83 + 15.7 \times \text{arcilla} - 23.8 \times \text{arcilla}^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

**Contenido de agua del suelo retenida en el punto de marchitamiento a 15 bars (1500 kPa).**

#### 4. Superficie del suelo

**Fracción de la costra de la superficie** del suelo consolidado en  $\text{m}^2\text{m}^{-2}$ .

**Espesor de la costra de la superficie** promedio de la zona *consolidada en la capa de la superficie*, en mm.

**Material suelto sobre la costra:** Fracción de la superficie total cubierta de costras sueltas, en  $\text{m}^2\text{m}^{-2}$ .

**Masa suelta sobre la corteza:** masa suelta en la parte superior del área de la costra, en  $\text{kg m}^2$ .

**Densidad de la corteza:** Densidad de la costra del suelo en  $\text{mg m}^{-3}$ .

**Estabilidad de la corteza:** La media del logaritmo natural de energías de trituración de la corteza, en  $\ln (\text{Jkg}^{-1})$ .

**Rugosidad del suelo:** Desviación estándar de la elevación del plano de una superficie de suelo aleatorio, incluyendo cualquier tipo de biomasa plana.

**Altura de la cresta** desde el fondo del surco al inicio de la cresta, en mm. En este y en los demás parámetros, si no hay crestas se especifica cero.

**Espaciamiento de la cresta:** Distancia entre cimas, en mm.

**Ancho de la parte superior de la cresta,** en mm.

**Orientación de la cresta:** Dirección paralela a la cresta de labranza, en sentido horario desde el norte, en grados (de Norte/Sur = 0.0 ó 180; Este/Oeste = 90).

---

## 5. Clima

Los datos de clima se obtuvieron de la estación meteorológica No.16 de Morelia:

**Densidad media del aire** en la ubicación de simulación para el día,  $\text{kg m}^{-3}$ .

**Dirección del viento** en grados medido en el sentido horario desde el norte.

**Altura del anemómetro** por encima de la superficie del suelo en el cual las velocidades del viento se midieron en metros.

**ANEXO 2.****Base de datos para el SWEEP****Por punto de muestreo**

Cuadro 30.- Datos de campo por punto de muestreo

No. Transecto	Lugar	M	CAMPO		
			Longitud (m) (X)	Longitud (m) (Y)	Ángulo (°)
T1	TARIMBARO 1	1	220.5	139.29	181.05
	TARIMBARO 2	2	223	218.19	172.02
	TARIMBARO 11	3	73.63	245.57	134.42
T2	TARIMBARO 12	4	136.86	54.58	167.44
	TARIMBARO 13	5	131.9	147.8	166.82
	TARIMBARO 14	6	272	285.22	167.63
T3	ALV_OBRE_1	7	167.8	160.7	158.4
	ALV_OBRE_2	8	250.84	385.54	163.35
	ALV_OBRE_3	9	255.88	242.43	183.62
	ALV_OBRE_4	10	229.67	151.18	184.33
T4	CHARO_1	11	172.4	111.48	170.13
	CHARO_2	12	110.12	93.28	219.34
	CHARO_3	13	59.4	178.82	149.1
	CHARO_4	14	77.84	160.96	166.07
	CHARO_5	15	226.39	50.31	166.85
	CHARO_6	16	157.83	245.77	103.08
T5	INDAPARA_1	17	196.59	252.77	167.4
	INDAPARA_2	18	451.34	111.79	181.16
	INDAPARA_3	19	283.34	437.46	173.67
	INDAPARA_4	20	144.18	89.96	202.31
T6	MORELIA_Sant_Und_1	21	107.61	136.09	183.87
	MORELIA_Sant_Und_2	22	174.05	185.68	180.76
	MORELIA_Sant_Und_3	23	150.56	123.25	186.22
T7	MORELIA_Cotzur_1	24	144.91	224.21	134.38
	MORELIA_Cotzur_2	25	227.32	201.58	205.36
	MORELIA_Cotzur_3	26	102.71	174.39	213.36
T8	MORELIA_Chiqui_1	27	83.71	28.81	38.02
	MORELIA_Chiqui_2	28	47.98	58.37	36.77
	MORELIA_Chiqui_3	29	31.35	26.16	140.85
T9	MORELIA_Umecua_1	30	164.62	312.29	29.66
	MORELIA_Umecua_2	31	131.37	168.02	148.54
	MORELIA_Atecua_1	32	72.09	109.59	32.92
T10	MORELIA_Atecua_2	33	147.25	39.85	34.22
	MORELIA_Atecua_3	34	129.61	57.47	18.19
	MORELIA_Atecua_4	35	115.32	54.3	146.05
	MORELIA_Atecua_5	36	111.58	95.76	174.11

Cuadro 31.- Datos de biomasa por punto de muestreo I

No. Transecto	Lugar	M	BIOMASA							
			Altura promedio de residuos (cm)	Índice de área de residuos de tallo (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Índice de área de residuos foliar (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Residuos de cubierta plana (%)	Altura promedio de crecimiento de cultivos (cm)	Índice de crecimiento de tallos de la superficie (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Índice de crecimiento foliar de la superficie (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Distancia entre filas (cm)
T1	TARIMBARO 1	1	34.8	0	0	60	0	0	0	63.4
	TARIMBARO 2	2	17.75	0	0	50	0	0	0	92.5
	TARIMBARO 11	3	25.8	0	0	40	0	0	0	143
	TARIMBARO 12	4	25.75	0	0	50	0	0	0	161
T2	TARIMBARO 13	5	59.33	0	0	40	0	0	0	138.66
	TARIMBARO 14	6	21.66	0	0	20	0	0	0	160.66
T3	ALV_OBRE_1	7	30.84	0	0	40	0	0	0	136.53
	ALV_OBRE_2	8	35.98	0	0	40	0	0	0	110.71
	ALV_OBRE_3	9	21.75	0	0	30	0	0	0	86
	ALV_OBRE_4	10	24	0	0	30	0	0	0	75
T4	CHARO_1	11	70	0	0	50	0	0	0	81.7
	CHARO_2	12	34.7	0	0	40	0	0	0	68
	CHARO_3	13	18.7	0	0	60	0	0	0	77.3
	CHARO_4	14	24.7	0	0	40	0	0	0	78.33
	CHARO_5	15	62	0	0	40	0	0	0	83
	CHARO_6	16	41.66	0	0	40	0	0	0	70.3
T5	INDAPARA_1	17	41.3	0	0	50	0	0	0	86.3
	INDAPARA_2	18	39.66	0	0	50	0	0	0	77
	INDAPARA_3	19	39.33	0	0	40	0	0	0	77.3
	INDAPARA_4	20	16.7	0	0	40	0	0	0	80

Cuadro 32.- Datos de biomasa por punto de muestreo II

No. Transecto	Lugar	M	BIOMASA							
			Altura promedio de residuos (cm)	Índice de área de residuos de tallo (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Índice de área de residuos foliar (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Residuo de cubierta plana (%)	Altura promedio de crecimiento de cultivos (cm)	Índice de crecimiento de tallos de la superficie (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Índice de crecimiento foliar de la superficie (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Distancia entre filas (cm)
T6	MORELIA_Sant_Und_1	21	22.33	0	0	40	0	0	0	79.33
	MORELIA_Sant_Und_2	22	14	0	0	40	0	0	0	74
	MORELIA_Sant_Und_3	23	33.33	0	0	50	0	0	0	75.667
T7	MORELIA_Cotzur_1	24	20	0	0	50	0	0	0	64.33
	MORELIA_Cotzur_2	25	19.66	0	0	50	0	0	0	57.33
	MORELIA_Cotzur_3	26	29.66	0	0	50	0	0	0	61
T8	MORELIA_Chiqui_1	27	5.833	0	0	50	0	0	0	90
	MORELIA_Chiqui_2	28	12.667	0	0	70	0	0	0	35
	MORELIA_Chiqui_3	29	9.33	0	0	70	0	0	0	65
T9	MORELIA_Umecua_1	30	20.32	0	0	50	0	0	0	68.54
	MORELIA_Umecua_2	31	18.54	0	0	40	0	0	0	73.87
T10	MORELIA_Atecua_1	32	17.33	0	0	40	0	0	0	63.33
	MORELIA_Atecua_2	33	21.74	0	0	40	0	0	0	72.22
	MORELIA_Atecua_3	34	24.66	0	0	40	0	0	0	70.25
	MORELIA_Atecua_4	35	22.58	0	0	50	0	0	0	0
	MORELIA_Atecua_5	36	19.32	0	0	50	0	0	0	78.44

Cuadro 33.- Datos de capas de suelo por punto de muestreo I

No. Transecto	Lugar	M	CAPAS DE SUELO				
			Espesor (mm)	Fracción de arena (mg/mg)	Fracción de arena muy fina (mg/mg)	Fracción de limo (mg/mg)	Fracción de arcilla (mg/mg)
T1	TARIMBARO 1	1	35	0.022	0.4	0.547	0.431
	TARIMBARO 2	2	35	0.028	0.37	0.388	0.584
	TARIMBARO 11	3	35	0.016	0.4	0.356	0.628
T2	TARIMBARO 12	4	35	0.02	0.36	0.377	0.602
	TARIMBARO 13	5	35	0.013	0.438	0.421	0.566
	TARIMBARO 14	6	35	0.017	0.37	0.363	0.62
T3	ALV_OBRE_1	7	35	0.005	0.488	0.273	0.722
	ALV_OBRE_2	8	35	0.019	0.45	0.411	0.571
	ALV_OBRE_3	9	35	0.012	0.478	0.352	0.636
	ALV_OBRE_4	10	35	0.079	0.38	0.434	0.487
T4	CHARO_1	11	35	0.117	0.334	0.413	0.47
	CHARO_2	12	35	0.14	0.29	0.495	0.365
	CHARO_3	13	35	0.209	0.324	0.524	0.268
	CHARO_4	14	35	0.082	0.25	0.574	0.345
	CHARO_5	15	35	0.061	0.333	0.324	0.616
	CHARO_6	16	35	0.047	0.33	0.222	0.732
T5	INDAPARA_1	17	35	0.135	0.33	0.506	0.359
	INDAPARA_2	18	35	0.149	0.325	0.519	0.332
	INDAPARA_3	19	35	0.111	0.3	0.47	0.419
	INDAPARA_4	20	35	0.161	0.27	0.412	0.426
T6	MORELIA_Sant_Und_1	21	35	0.129	0.346	0.461	0.41
	MORELIA_Sant_Und_2	22	35	0.17	0.28	0.586	0.244
	MORELIA_Sant_Und_3	23	35	0.173	0.327	0.474	0.353
T7	MORELIA_Cotzur_1	24	35	0.124	0.34	0.48	0.396
	MORELIA_Cotzur_2	25	35	0.046	0.297	0.631	0.324
	MORELIA_Cotzur_3	26	35	0.048	0.3	0.64	0.312
T8	MORELIA_Chiqui_1	27	35	0.091	0.34	0.431	0.478
	MORELIA_Chiqui_2	28	35	0.05	0.36	0.434	0.516
	MORELIA_Chiqui_3	29	35	0.062	0.357	0.4	0.538
T9	MORELIA_Umecua_1	30	35	0.049	0.4	0.311	0.64
	MORELIA_Umecua_2	31	35	0.054	0.38	0.336	0.61
	MORELIA_Atecua_1	32	35	0.01		0.567	0.424
T10	MORELIA_Atecua_2	33	35	0.054		0.601	0.346
	MORELIA_Atecua_3	34	35	0.177		0.605	0.218
	MORELIA_Atecua_4	35	35	0.077		0.547	0.376
	MORELIA_Atecua_5	36	35	0.039		0.478	0.484

Cuadro 34.- Datos de capas de suelo por puntos de muestreo II

No. Transecto	Lugar	M	CAPAS DE SUELO				
			Fracción de volumen de roca (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Densidad aparente (mg/m <sup>3</sup> )	Densidad promedio de los agregados (mg/m <sup>3</sup> )	Estabilidad promedio de los agregados en seco (ln(J/kg))	Punto de marchitamiento (mg/mg)
T1	TARIMBARO 1	1	0	1.350	2.094	3.177	0.246
	TARIMBARO 2	2	0	1.260	2.094	1.879	0.349
	TARIMBARO 11	3	0	1.260	2.094	1.302	0.377
T2	TARIMBARO 12	4	0	1.260	2.094	1.652	0.360
	TARIMBARO 13	5	0	1.350	2.094	2.089	0.337
	TARIMBARO 14	6	0	1.260	2.094	1.416	0.372
T3	ALV_OBRE_1	7	0	1.260	2.094	1.054	0.434
	ALV_OBRE_2	8	0	1.350	2.094	2.039	0.340
	ALV_OBRE_3	9	0	1.260	2.094	1.188	0.382
	ALV_OBRE_4	10	0	1.350	2.094	2.834	0.283
T4	CHARO_1	11	0	1.350	2.094	2.951	0.271
	CHARO_2	12	0	1.420	2.094	3.390	0.203
	CHARO_3	13	0	1.390	2.094	3.328	0.151
	CHARO_4	14	0	1.420	2.094	3.414	0.191
	CHARO_5	15	0	1.350	2.094	1.471	0.368
	CHARO_6	16	0	1.260	2.094	1.012	0.439
T5	INDAPARA_1	17	0	1.420	2.094	3.398	0.200
	INDAPARA_2	18	0	1.420	2.094	3.419	0.184
	INDAPARA_3	19	0	1.350	2.094	3.229	0.237
	INDAPARA_4	20	0	1.350	2.094	3.198	0.241
T6	MORELIA_Sant_Und_1	21	0	1.350	2.094	3.267	0.231
	MORELIA_Sant_Und_2	22	0	1.390	2.094	3.244	0.139
	MORELIA_Sant_Und_3	23	0	1.390	2.094	3.407	0.196
T7	MORELIA_Cotzur_1	24	0	1.420	2.094	3.315	0.224
	MORELIA_Cotzur_2	25	0	1.420	2.094	3.418	0.179
	MORELIA_Cotzur_3	26	0	1.420	2.094	3.412	0.172
T8	MORELIA_Chiqui_1	27	0	1.350	2.094	2.897	0.277
	MORELIA_Chiqui_2	28	0	1.350	2.094	2.595	0.303
	MORELIA_Chiqui_3	29	0	1.350	2.094	2.389	0.317
T9	MORELIA_Umecua_1	30	0	1.260	2.094	1.131	0.384
	MORELIA_Umecua_2	31	0	1.260	2.094	1.552	0.365
	MORELIA_Atecua_1	32	0	1.350	2.094	3.210	0.241
T10	MORELIA_Atecua_2	33	0	1.420	2.094	3.413	0.192
	MORELIA_Atecua_3	34	0	1.390	2.094	3.122	0.128
	MORELIA_Atecua_4	35	0	1.420	2.094	3.368	0.210
	MORELIA_Atecua_5	36	0	1.350	2.094	2.857	0.282

Cuadro 35.- Datos de superficie del suelo por puntos de muestreo I

No. Transecto	Lugar	M	SUPERFICIE DEL SUELO				
			Fracción de la costra de la superficie (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Espesor de la costra de la superficie (mm)	Material suelto sobre la costra (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Masa suelta sobre la costra (kg/m <sup>2</sup> )	Densidad de la costra (mg/m <sup>3</sup> )
T1	TARIMBARO 1	1	0	0	0	0	0
	TARIMBARO 2	2	0	0	0	0	0
	TARIMBARO 11	3	0	0	0	0	0
T2	TARIMBARO 12	4	0	0	0	0	0
	TARIMBARO 13	5	0	0	0	0	0
	TARIMBARO 14	6	0	0	0	0	0
T3	ALV_OBRE_1	7	0	0	0	0	0
	ALV_OBRE_2	8	0	0	0	0	0
	ALV_OBRE_3	9	0	0	0	0	0
	ALV_OBRE_4	10	0	0	0	0	0
T4	CHARO_1	11	0	0	0	0	0
	CHARO_2	12	0	0	0	0	0
	CHARO_3	13	0	0	0	0	0
	CHARO_4	14	0	0	0	0	0
	CHARO_5	15	0	0	0	0	0
	CHARO_6	16	0	0	0	0	0
T5	INDAPARA_1	17	0	0	0	0	0
	INDAPARA_2	18	0	0	0	0	0
	INDAPARA_3	19	0	0	0	0	0
	INDAPARA_4	20	0	0	0	0	0
T6	MORELIA_Sant_Und_1	21	0	0	0	0	0
	MORELIA_Sant_Und_2	22	0	0	0	0	0
	MORELIA_Sant_Und_3	23	0	0	0	0	0
T7	MORELIA_Cotzur_1	24	0	0	0	0	0
	MORELIA_Cotzur_2	25	0	0	0	0	0
	MORELIA_Cotzur_3	26	0	0	0	0	0
T8	MORELIA_Chiqui_1	27	0	0	0	0	0
	MORELIA_Chiqui_2	28	0	0	0	0	0
	MORELIA_Chiqui_3	29	0	0	0	0	0
T9	MORELIA_Umecua_1	30	0	0	0	0	0
	MORELIA_Umecua_2	31	0	0	0	0	0
T10	MORELIA_Atecua_1	32	0	0	0	0	0
	MORELIA_Atecua_2	33	0	0	0	0	0
	MORELIA_Atecua_3	34	0	0	0	0	0
	MORELIA_Atecua_4	35	0	0	0	0	0
	MORELIA_Atecua_5	36	0	0	0	0	0

Cuadro 36.- Datos de superficie del suelo por puntos de muestreo II

No. Transecto	Lugar	M	SUPERFICIE DEL SUELO					
			Estabilidad de la costra (ln(J/kg))	Rugosidad	Altura de la Cresta (mm)	Distancia entre crestas (mm)	Ancho de cresta (mm)	Orientación de la cresta (°)
T1	TARIMBARO 1	1	0	1	9	75.2	36.4	181.05
	TARIMBARO 2	2	0	1	24.25	79.75	40.25	172.02
	TARIMBARO 11	3	0	2	23.4	132.8	119.2	134.42
	TARIMBARO 12	4	0	8	17.25	168.25	137.25	167.44
T2	TARIMBARO 13	5	0	1	26.33	158.33	121.66	166.82
	TARIMBARO 14	6	0	1	16.33	168.33	141.667	167.63
T3	ALV_OBRE_1	7	0	2	19.42	130.31	99.4	158.4
	ALV_OBRE_2	8	0	2	16.99	114.11	86.97	163.35
	ALV_OBRE_3	9	0	1	14.33	77	34.33	183.62
	ALV_OBRE_4	10	0	1	21	61	41	184.33
T4	CHARO_1	11	0	1	17.7	84.66	44	170.13
	CHARO_2	12	0	2	31.33	72.33	50	219.34
	CHARO_3	13	0	1	21	78.3	51.66	149.1
	CHARO_4	14	0	8	19	81.7	55.7	166.07
	CHARO_5	15	0	8	15.2	80.66	54	166.85
	CHARO_6	16	0	8	17.3	74.3	45.3	103.08
T5	INDAPARA_1	17	0	8	15.66	83.33	39	167.4
	INDAPARA_2	18	0	8	30.66	77.33	46.66	181.16
	INDAPARA_3	19	0	8	17.7	81.33	55.7	173.67
	INDAPARA_4	20	0	8	17.67	76.67	60.66	202.31
T6	MORELIA_Sant_Und_1	21	0	1	14	81	63.66	183.87
	MORELIA_Sant_Und_2	22	0	8	17.66	88.33	53.33	180.76
	MORELIA_Sant_Und_3	23	0	1	8	79.66	59	186.22
T7	MORELIA_Cotzur_1	24	0	8	20	73.33	65.33	134.38
	MORELIA_Cotzur_2	25	0	1	18.66	50.66	48	205.36
	MORELIA_Cotzur_3	26	0	1	19.667	52	53	213.36
T8	MORELIA_Chiqui_1	27	0	8	15	85	40	38.02
	MORELIA_Chiqui_2	28	0	8	5	40	65	36.77
	MORELIA_Chiqui_3	29	0	1	10	65	40	140.85
T9	MORELIA_Umecua_1	30	0	1	16.43	77.68	55.69	29.66
	MORELIA_Umecua_2	31	0	8	17.92	80.97	59.81	148.54
T10	MORELIA_Atecua_1	32	0	1	13.22	82.97	58.66	32.92
	MORELIA_Atecua_2	33	0	1	14.66	84.35	59.14	34.22
	MORELIA_Atecua_3	34	0	8	18.88	80.55	60.02	18.19
	MORELIA_Atecua_4	35	0	1	0	0	0	146.05
	MORELIA_Atecua_5	36	0	8	17.74	19.77	62.85	174.11

Cuadro 37.- Datos de clima por puntos de muestreo

No. Transecto	Lugar	M	CLIMA				
			Densidad del aire (kg/m <sup>3</sup> )	Dirección del viento (deg)	Altura del anemómetro (m)	Elevación (m)	Temp. promedio diaria (°C)
T1	TARIMBARO 1	1	0.981	35	10	1840	20.4
	TARIMBARO 2	2	0.98	35	10	1840	20.4
	TARIMBARO 11	3	0.981	35	10	1840	20.4
T2	TARIMBARO 12	4	0.964	35	10	1842	20.4
	TARIMBARO 13	5	0.963	35	10	1844	20.4
	TARIMBARO 14	6	0.964	35	10	1838	20.4
T3	ALV_OBRE_1	7	0.964	35	10	1838	20.4
	ALV_OBRE_2	8	0.963	35	10	1844	20.4
	ALV_OBRE_3	9	0.965	35	10	1832	20.4
	ALV_OBRE_4	10	0.964	35	10	1839	20.4
T4	CHARO_1	11	0.953	35	10	1935	20.4
	CHARO_2	12	0.958	35	10	1885	20.4
	CHARO_3	13	0.959	35	10	1878	20.4
	CHARO_4	14	0.96	35	10	1869	20.4
	CHARO_5	15	0.958	35	10	1890	20.4
	CHARO_6	16	0.959	35	10	1879	20.4
T5	INDAPARA_1	17	0.963	35	10	1851	20.4
	INDAPARA_2	18	0.964	35	10	1837	20.4
	INDAPARA_3	19	0.964	35	10	1835	20.4
	INDAPARA_4	20	0.963	35	10	1851	20.4
T6	MORELIA_Sant_Und_1	21	0.941	35	10	2033	20.4
	MORELIA_Sant_Und_2	22	0.941	35	10	2035	20.4
	MORELIA_Sant_Und_3	23	0.941	35	10	2031	20.4
T7	MORELIA_Cotzur_1	24	0.93	35	10	2125	20.4
	MORELIA_Cotzur_2	25	0.931	35	10	2115	20.4
	MORELIA_Cotzur_3	26	0.932	35	10	2110	20.4
T8	MORELIA_Chiqui_1	27	0.938	35	10	2058	20.4
	MORELIA_Chiqui_2	28	0.938	35	10	2055	20.4
	MORELIA_Chiqui_3	29	0.938	35	10	2061	20.4
T9	MORELIA_Umecua_1	30	0.922	35	10	2200	20.4
	MORELIA_Umecua_2	31	0.921	35	10	2205	20.4
T10	MORELIA_Atecua_1	32	0.92	35	10	2210	20.4
	MORELIA_Atecua_2	33	0.92	35	10	2214	20.4
	MORELIA_Atecua_3	34	0.927	35	10	2240	20.4
	MORELIA_Atecua_4	35	0.915	35	10	2260	20.4
	MORELIA_Atecua_5	36	0.919	35	10	2220	20.4

---

## ANEXO 3

### Resultados de la simulación en SWEEP

En el Transecto 2, que corresponde al municipio de Tarímbaro se observa en el Cuadro 38 que la pérdida total de suelo es de  $1.823 \text{ t ha}^{-1}$ , y que la pérdida mayor se da por suspensión con un 95.17%, la pérdida por  $\text{PM}_{10}$  es de  $0.01373 \text{ t ha}^{-1}$  siendo un 0.753% de pérdida total de suelo. En el Cuadro 39 se observa que la pérdida total de suelo se da por el sur y el oeste. En la Figura 46 se observa el fenómeno de avalancha, la pérdida total de suelo aumenta conforme aumenta las longitudes tanto en "X" como en "Y". En la Figura 47 se observa que se da el fenómeno contrario, al principio habiendo una contribución de  $\text{PM}_{10}$ , pero al aumentando las longitudes en "X" y en "Y" esta va disminuyendo.

En el Transecto 3, que corresponde al municipio de Álvaro Obregón la pérdida total de suelo es de  $2.277 \text{ t ha}^{-1}$ , la mayor pérdida de suelo se da por suspensión  $2.193 \text{ t ha}^{-1}$  siendo un 96.31% de la pérdida total de suelo, por  $\text{PM}_{10}$  es de  $0.01831 \text{ t ha}^{-1}$  que es 0.80% de la pérdida total de suelo. En el Cuadro 45 se observa que la pérdida de suelo se da por las direcciones sur y oeste. En la Figura 50 se observa que la pérdida de suelo total se da por el fenómeno de avalancha, aumentando la pérdida de suelo conforme aumenta las longitudes en "X" y en "Y".

En la Figura 51 se da el fenómeno contrario conforme aumenta "X" y "Y" va disminuyendo la emisión de  $\text{PM}_{10}$ .

En el Transecto 4, que corresponde al municipio de Charo, la pérdida total de suelo es de  $1.489 \text{ t ha}^{-1}$ , el mayor aporte se da por suspensión con el  $1.378 \text{ t ha}^{-1}$ , la pérdida por  $\text{PM}_{10}$  es de  $0.00963 \text{ t ha}^{-1}$  que corresponde al 0.646% de la pérdida total de suelo. En el Cuadro 51 se observa que la pérdida de suelo total se da por las direcciones sur y oeste. En la Figura 54 se ve que la pérdida de suelo se da por el fenómeno de avalancha, la pérdida de suelo aumenta conforme aumenta las longitudes "X" y "Y". En la Figura 55 que corresponde a la pérdida de suelo por  $\text{PM}_{10}$  se observa que conforme aumenta las longitudes "X" y "Y" disminuye la pérdida de suelo.

El Transecto 5 correspondiente al municipio de Indaparapeo, en el Cuadro 56 se observa que la pérdida total de suelo es de  $1.295 \text{ t ha}^{-1}$ , el mayor aporte a la pérdida se da por suspensión con un  $1.189 \text{ t ha}^{-1}$  con el 91.81% de pérdida total de suelo, la pérdida por  $\text{PM}_{10}$  es de  $0.00816$

---

t ha<sup>-1</sup> que es el 0.63% de la pérdida total de suelo. En el Cuadro 58 se puede observar que la pérdida total de suelo se da por el sur y el este. En la Figura 58, se ve que conforme aumenta la longitud “X” disminuye la pérdida de suelo total, pero conforme aumenta la longitud en “Y” aumenta también la pérdida de suelo. En la Figura 57, se observa que conforme aumenta la longitud en “X” aumenta la pérdida de suelo por PM<sub>10</sub>, y que conforme aumenta la longitud en “Y” disminuye esta pérdida de suelo.

El Transecto 6 corresponde a la población de Santiago Undameo en el municipio de Morelia, la pérdida total de suelo fue 1.542 t ha<sup>-1</sup>, la mayor pérdida de suelo se dio por suspensión con 1.4 t ha<sup>-1</sup> que es el 90.79% de la pérdida total de suelo, la pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> es de 0.00929 t ha<sup>-1</sup> que es el 0.60% de la pérdida total de suelo. En el Cuadro 63 indica que la pérdida de suelo se da por las direcciones sur y este. En la Figura 62 se observa que la pérdida de suelo total en el campo disminuye conforme aumenta la longitud en “X” y aumenta conforme se incrementa la longitud en “Y”. En la Figura 63 indica que el comportamiento de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> se da aumentando este conforme aumenta la longitud en “X” y disminuyendo conforme aumenta la longitud en “Y”

El Transecto 7 corresponde a la población de Cotzurio del municipio de Morelia, la pérdida total de suelo es de 1.242 t ha<sup>-1</sup>, el mayor aporte se da por suspensión con un 1.137 t ha<sup>-1</sup> que corresponde al 91.54% de la pérdida total de suelo, la pérdida por PM<sub>10</sub> es de 0.00789 t ha<sup>-1</sup> que es el 0.63% de la pérdida total de suelo. En el Cuadro 69 se ve que las pérdidas de suelo se dan por las direcciones sur y este. La Figura 66 indica que la pérdida de suelo total disminuye conforme aumenta la longitud en “X” y aumenta conforme aumenta la longitud en “Y”. En la Figura 67 se observa que la pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> aumenta conforme lo hace la longitud en “X” y que disminuye conforme aumenta la longitud en “Y”.

El Transecto 8 corresponde a la población de Chiquimitio del municipio de Morelia, en el Cuadro 74 se muestra la pérdida total de suelo 0.804 t ha<sup>-1</sup>, el mayor aporte a esta pérdida se da por suspensión con 0.729 t ha<sup>-1</sup> que es el 90.67% de la pérdida total de suelo, la pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> es de 0.0045 t ha<sup>-1</sup> y es el 0.56% de la pérdida total de suelo. El Cuadro 75 nos indica que la pérdida de suelo se da por las direcciones norte y oeste. En la Figura 70 se ve que la pérdida de suelo aumenta conforme aumenta la longitud en “X” y disminuye conforme aumenta la longitud en “Y”. En la Figura 71 se ve que la pérdida de suelo por PM<sub>10</sub>

disminuye conforme aumenta la longitud en “X” y aumenta conforme aumenta la longitud en “Y”.

El Transecto 9 corresponde a la población de Umeucaro municipio de Morelia, la pérdida total de suelo es 1.067 t ha<sup>-1</sup>, la mayor aportación se da por suspensión con 1.04 t ha<sup>-1</sup> corresponde al 97.46% de pérdida total de suelo, la pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> es de 0.00698 t ha<sup>-1</sup> corresponde al 0.65% del pérdida total de suelo. En el Cuadro 81 se ve que la pérdida de suelo se da por las direcciones sur y oeste. En la Figura 74 se observa que la pérdida total de suelo disminuye conforme aumenta la longitud en “X” y se mantiene constante conforme aumenta “Y”. En la Figura 75 se observa que la pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> disminuye conforme aumenta la longitud en “X” y disminuye conforme aumenta la longitud en “Y”

### Transecto 2

Cuadro 38.- Perdida promedio de la cuadrícula del Transecto 2

TIPO DE PERDIDA	VALOR PROMEDIO DE CUADRÍCULA
	t ha <sup>-1</sup>
<b>Total de suelo</b>	1.823
<b>Arrastre/Saltación</b>	0.088
<b>Suspensión</b>	1.735
<b>PM10</b>	0.01373

Cuadro 39.- Perdida total por ubicación del Transecto 2

UBICACIÓN	TOTAL	SALTACION ARRASTRE	SUSPENSION	PM <sub>10</sub>
	kg m <sup>-1</sup>			
<b>Norte</b>	0	0	0	0
<b>Sur</b>	27.16	1.28	25.89	0.21
<b>Oeste</b>	2.73	.16	2.57	0.02
<b>Este</b>	0	0	0	0

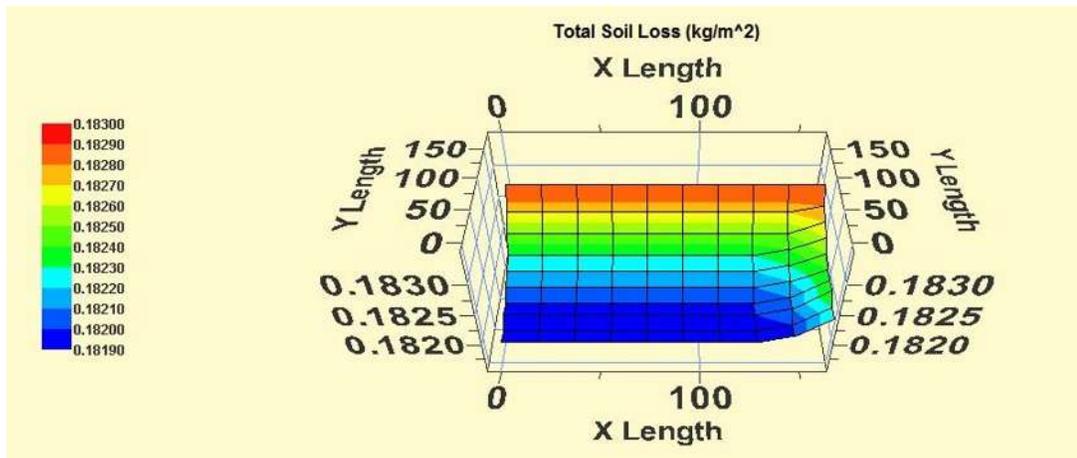


Figura 46.- Cuadrícula de pérdida total de suelo en ( $\text{kg m}^{-2}$ ) del Transecto 2

Cuadro 40. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$\text{kg m}^{-2}$									
0	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83
1	1.827	1.827	1.827	1.827	1.827	1.827	1.827	1.827	1.827	1.828
2	1.825	1.825	1.825	1.825	1.825	1.825	1.825	1.825	1.825	1.827
3	1.823	1.823	1.823	1.823	1.823	1.823	1.823	1.823	1.824	1.826
4	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	1.823	1.825
5	1.821	1.821	1.821	1.821	1.821	1.821	1.821	1.821	1.822	1.824
6	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.821	1.824
7	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.821	1.824
8	1.819	1.819	1.819	1.819	1.819	1.819	1.819	1.819	1.82	1.823
9	1.819	1.819	1.819	1.819	1.819	1.819	1.819	1.819	1.82	1.823

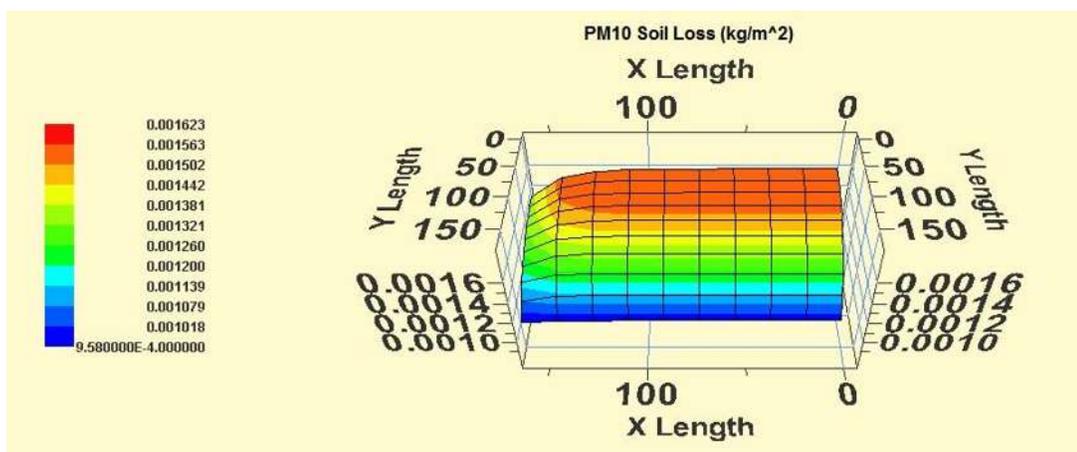


Figura 47.- Cuadrícula de pérdida de suelo por  $\text{PM}_{10}$  en ( $\text{kg m}^{-2}$ ) del Transecto 2

Cuadro 41. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>-2</sup>									
0	0.00979	0.00979	0.00979	0.00979	0.00979	0.00979	0.00979	0.00978	0.00976	0.00958
1	0.01131	0.01131	0.01131	0.01131	0.01131	0.01131	0.01131	0.0113	0.01124	0.0108
2	0.01252	0.01252	0.01252	0.01252	0.01252	0.01252	0.01252	0.0125	0.01238	0.01166
3	0.01348	0.01348	0.01348	0.01348	0.01348	0.01347	0.01347	0.01344	0.01325	0.01227
4	0.01423	0.01423	0.01423	0.01423	0.01423	0.01423	0.01422	0.01417	0.01391	0.0127
5	0.01484	0.01484	0.01484	0.01484	0.01484	0.01483	0.01482	0.01475	0.01441	0.013
6	0.01531	0.01531	0.01531	0.01531	0.01531	0.01531	0.01529	0.01519	0.01479	0.01322
7	0.01569	0.01569	0.01569	0.01569	0.01569	0.01568	0.01566	0.01554	0.01507	0.01337
8	0.01599	0.01599	0.01599	0.01599	0.01599	0.01598	0.01595	0.01581	0.01528	0.01348
9	0.01623	0.01623	0.01623	0.01623	0.01622	0.01621	0.01617	0.01601	0.01544	0.01356

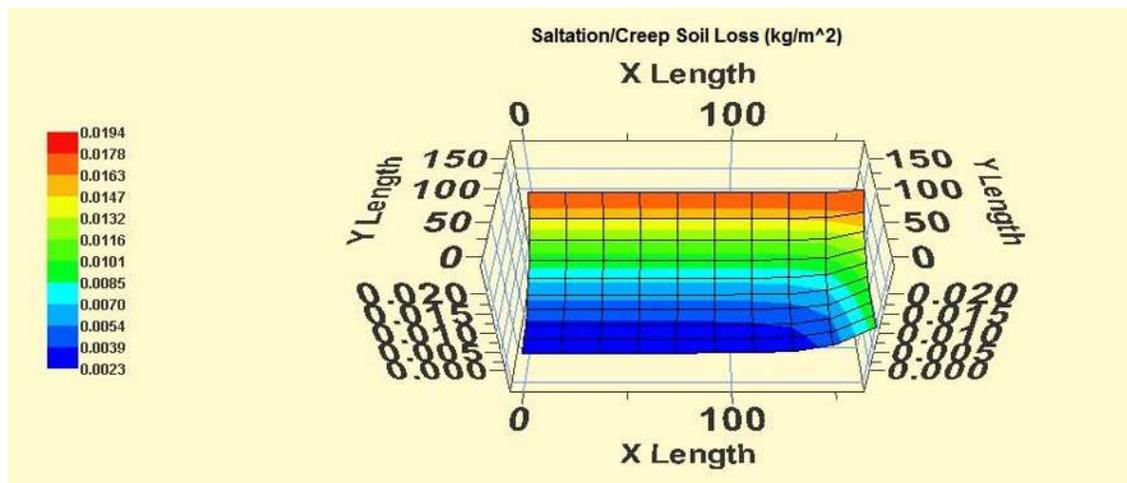


Figura 48. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre en (kg m<sup>-2</sup>) del Transecto 2.

Cuadro 42. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>-2</sup>									
0	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.19	0.194
1	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.152	0.163
2	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.122	0.141
3	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.095	0.1	0.125
4	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.076	0.083	0.114
5	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.06	0.061	0.07	0.106
6	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.05	0.06	0.101
7	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.038	0.041	0.053	0.097
8	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.03	0.031	0.034	0.048	0.094
9	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.025	0.029	0.044	0.092

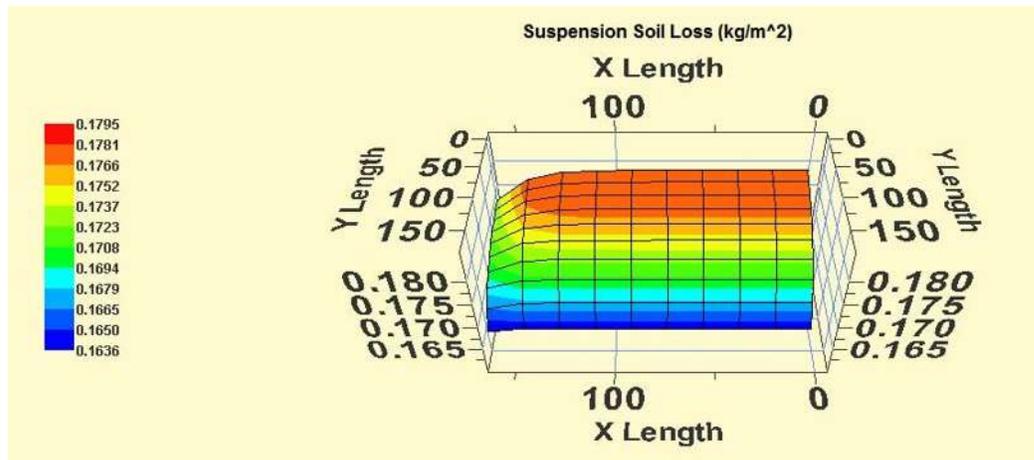


Figura 49. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión en ( $\text{kg m}^{-2}$ ) del Transecto 2.

Cuadro 43. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 2.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$\text{kg m}^{-2}$									
0	1.641	1.641	1.641	1.641	1.641	1.641	1.641	1.641	1.64	1.636
1	1.677	1.677	1.677	1.677	1.677	1.677	1.677	1.677	1.676	1.665
2	1.706	1.706	1.706	1.706	1.706	1.706	1.706	1.706	1.703	1.686
3	1.729	1.729	1.729	1.729	1.729	1.729	1.729	1.728	1.724	1.7
4	1.748	1.748	1.748	1.748	1.748	1.747	1.747	1.746	1.74	1.711
5	1.762	1.762	1.762	1.762	1.762	1.762	1.762	1.76	1.752	1.718
6	1.773	1.773	1.773	1.773	1.773	1.773	1.773	1.771	1.761	1.723
7	1.782	1.782	1.782	1.782	1.782	1.782	1.782	1.779	1.768	1.727
8	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.789	1.789	1.785	1.773	1.729
9	1.795	1.795	1.795	1.795	1.795	1.795	1.794	1.79	1.777	1.731

### Transecto 3

Cuadro 44.- Pérdida promedio de la cuadrícula del Transecto 3

TIPO DE PERDIDA	VALOR PROMEDIO DE CUADRÍCULA
	$\text{t ha}^{-1}$
<b>Total de suelo</b>	2.277
<b>Arrastre/Saltación</b>	0.084
<b>Suspensión</b>	2.193
<b>PM10</b>	0.01831

Cuadro 45.- Pérdida total por ubicación del Transecto 3

UBICACIÓN	TOTAL	SALTACION ARRASTRE	SUSPENSION	PM10
	kg m <sup>-1</sup>			
<b>Norte</b>	0	0	0	0
<b>Sur</b>	51.17	1.87	49.31	0.41
<b>Oeste</b>	2.25	0.11	2.14	0.02
<b>Este</b>	0	0	0	0

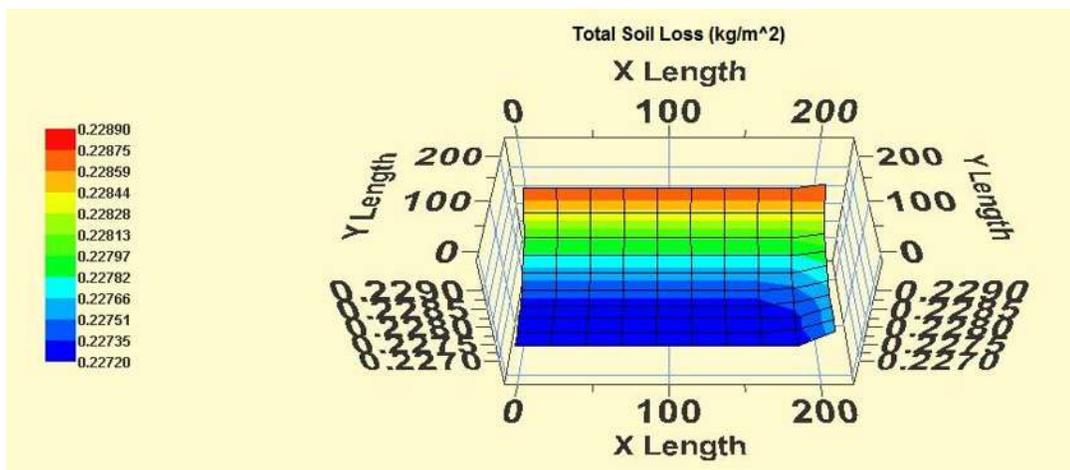


Figura 50.- Cuadrícula de pérdida total de suelo en (kg m<sup>-2</sup>) del Transecto 3

Cuadro 46. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 3

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>-2</sup>									
<b>0</b>	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.289
<b>1</b>	2.284	2.284	2.284	2.284	2.284	2.284	2.284	2.284	2.284	2.284
<b>2</b>	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.281
<b>3</b>	2.278	2.278	2.278	2.278	2.278	2.278	2.278	2.278	2.278	2.279
<b>4</b>	2.276	2.276	2.276	2.276	2.276	2.276	2.276	2.276	2.276	2.278
<b>5</b>	2.274	2.274	2.274	2.274	2.274	2.274	2.274	2.274	2.275	2.277
<b>6</b>	2.273	2.273	2.273	2.273	2.273	2.273	2.273	2.273	2.274	2.276
<b>7</b>	2.273	2.273	2.273	2.273	2.273	2.273	2.273	2.273	2.273	2.276
<b>8</b>	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.273	2.276
<b>9</b>	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.276

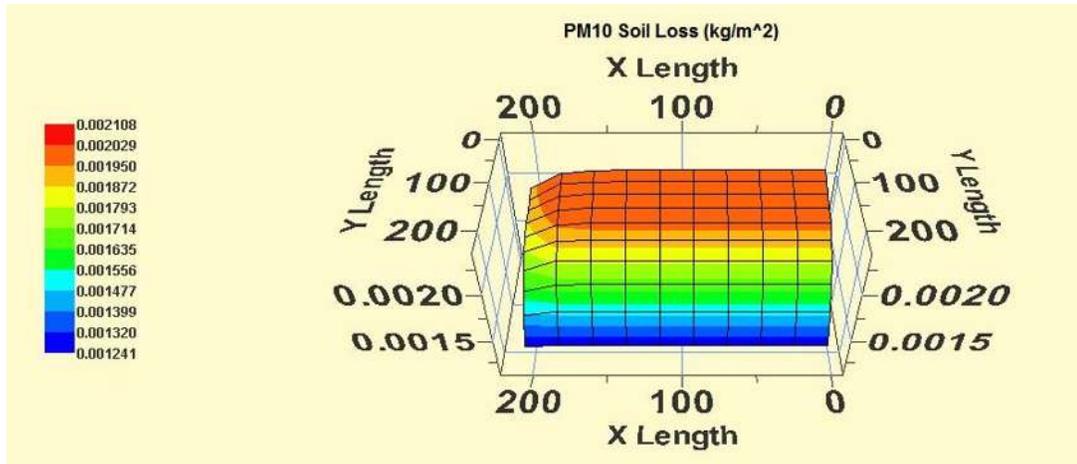


Figura 51.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> en (kg m<sup>-2</sup>) del Transecto 3

Cuadro 47. Valores de la cuadrícula de perdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 3

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>-2</sup>									
0	0.01259	0.01259	0.01259	0.01259	0.01259	0.01259	0.01259	0.01259	0.01258	0.01241
1	0.01507	0.01507	0.01507	0.01507	0.01507	0.01507	0.01507	0.01507	0.01504	0.01462
2	0.01687	0.01687	0.01687	0.01687	0.01687	0.01687	0.01687	0.01686	0.0168	0.01614
3	0.01816	0.01816	0.01816	0.01816	0.01816	0.01816	0.01816	0.01816	0.01807	0.01718
4	0.01911	0.01911	0.01911	0.01911	0.01911	0.01911	0.0191	0.01909	0.01897	0.01789
5	0.01979	0.01979	0.01979	0.01979	0.01979	0.01979	0.01978	0.01977	0.01962	0.01838
6	0.02028	0.02028	0.02028	0.02028	0.02028	0.02028	0.02028	0.02026	0.02008	0.01871
7	0.02064	0.02064	0.02064	0.02064	0.02064	0.02064	0.02063	0.02061	0.02041	0.01894
8	0.02089	0.02089	0.02089	0.02089	0.02089	0.02089	0.02089	0.02086	0.02064	0.01909
9	0.02108	0.02108	0.02108	0.02108	0.02108	0.02108	0.02108	0.02104	0.0208	0.0192

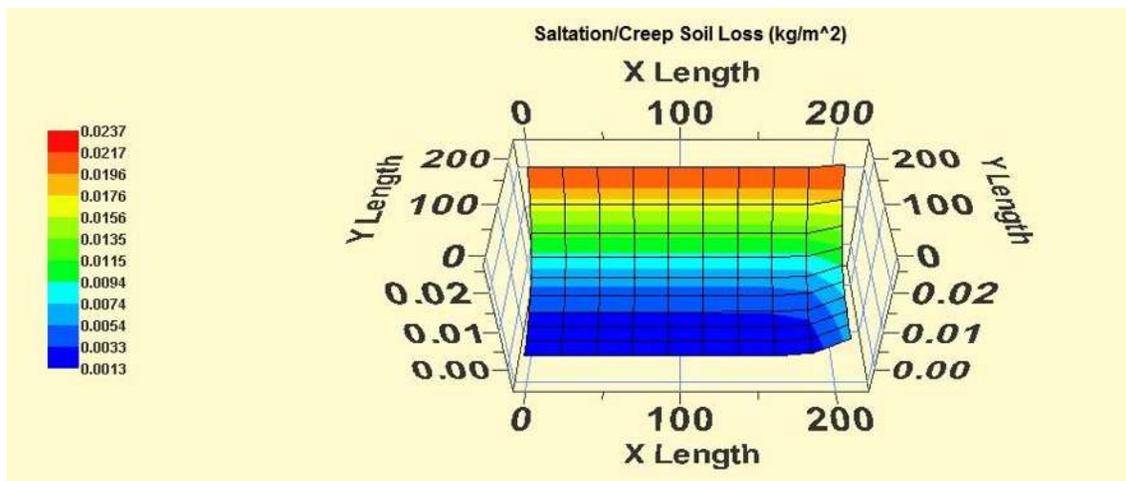


Figura 52. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre en (kg m<sup>-2</sup>) del Transecto 3

Cuadro 48. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 3

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>-2</sup>									
0	0.232	0.232	0.232	0.232	0.232	0.232	0.232	0.232	0.233	0.237
1	0.168	0.168	0.168	0.168	0.168	0.168	0.168	0.168	0.169	0.18
2	0.122	0.122	0.122	0.122	0.122	0.122	0.122	0.122	0.123	0.141
3	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.091	0.114
4	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.067	0.095
5	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.047	0.051	0.083
6	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.034	0.034	0.039	0.074
7	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.025	0.03	0.068
8	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.024	0.064
9	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.014	0.02	0.061

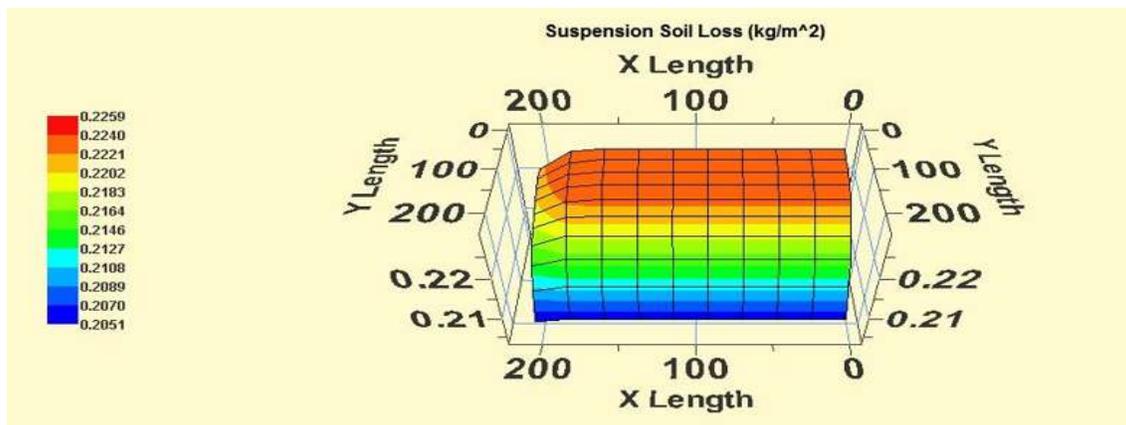


Figura 53. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión en (kg m<sup>-2</sup>) del Transecto 3.

Cuadro 49. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 3

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>-2</sup>									
0	2.056	2.056	2.056	2.056	2.056	2.056	2.056	2.056	2.056	2.051
1	2.115	2.115	2.115	2.115	2.115	2.115	2.115	2.115	2.115	2.105
2	2.158	2.158	2.158	2.158	2.158	2.158	2.158	2.158	2.157	2.141
3	2.189	2.189	2.189	2.189	2.189	2.189	2.189	2.189	2.187	2.166
4	2.212	2.212	2.212	2.212	2.212	2.212	2.212	2.212	2.209	2.183
5	2.228	2.228	2.228	2.228	2.228	2.228	2.228	2.228	2.224	2.194
6	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.239	2.235	2.202
7	2.248	2.248	2.248	2.248	2.248	2.248	2.248	2.248	2.243	2.208
8	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.254	2.249	2.212
9	2.259	2.259	2.259	2.259	2.259	2.259	2.259	2.258	2.253	2.214

## Transecto 4

Cuadro 50.- Perdida promedio de la cuadrícula del Transecto 4

TIPO DE PERDIDA	VALOR PROMEDIO DE CUADRÍCULA
	t ha <sup>-1</sup>
<b>Total de suelo</b>	1.489
<b>Arrastre/Saltación</b>	0.111
<b>Suspensión</b>	1.378
<b>PM10</b>	0.00963

Cuadro 51.- Perdida total por ubicación del Transecto 4

UBICACIÓN	TOTAL	SALTACION ARRASTRE	SUSPENSION	PM10
	kg m <sup>-1</sup>			
<b>Norte</b>	0	0	0	0
<b>Sur</b>	17.78	1.31	16.47	.12
<b>Oeste</b>	2.94	0.24	2.7	0.02
<b>Este</b>	0	0		0

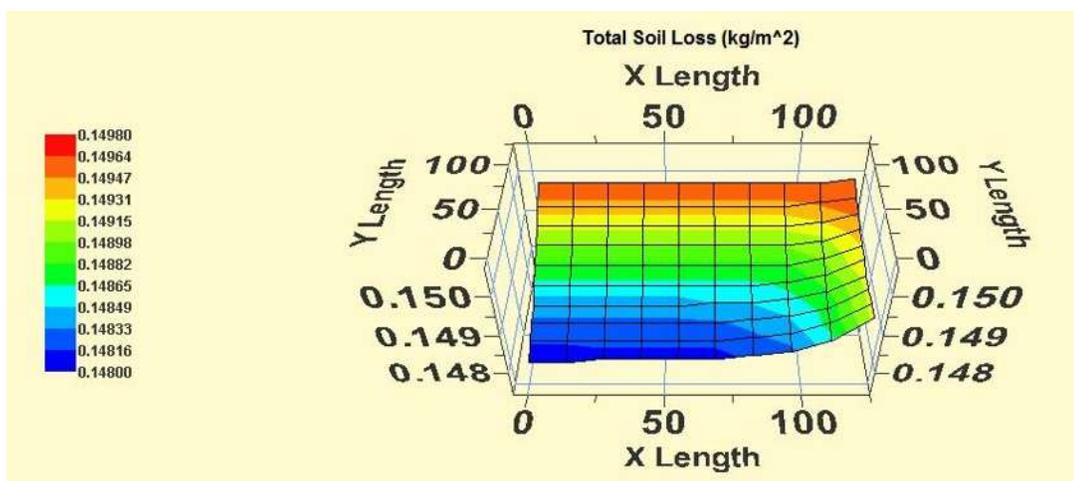


Figura 54.- Cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 4

Cuadro 52. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 4

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	1.497	1.497	1.497	1.497	1.497	1.497	1.497	1.497	1.497	1.498
<b>1</b>	1.494	1.494	1.494	1.494	1.494	1.494	1.494	1.494	1.495	1.496
<b>2</b>	1.492	1.492	1.492	1.492	1.492	1.492	1.492	1.492	1.493	1.495
<b>3</b>	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.491	1.494
<b>4</b>	1.488	1.488	1.488	1.488	1.488	1.488	1.488	1.488	1.49	1.493
<b>5</b>	1.486	1.486	1.486	1.486	1.486	1.486	1.486	1.487	1.489	1.493
<b>6</b>	1.484	1.484	1.484	1.484	1.484	1.485	1.485	1.486	1.488	1.492
<b>7</b>	1.483	1.483	1.483	1.483	1.483	1.483	1.484	1.485	1.487	1.492
<b>8</b>	1.482	1.482	1.482	1.482	1.482	1.482	1.483	1.484	1.487	1.492
<b>9</b>	1.48	1.48	1.481	1.481	1.481	1.481	1.482	1.483	1.486	1.492

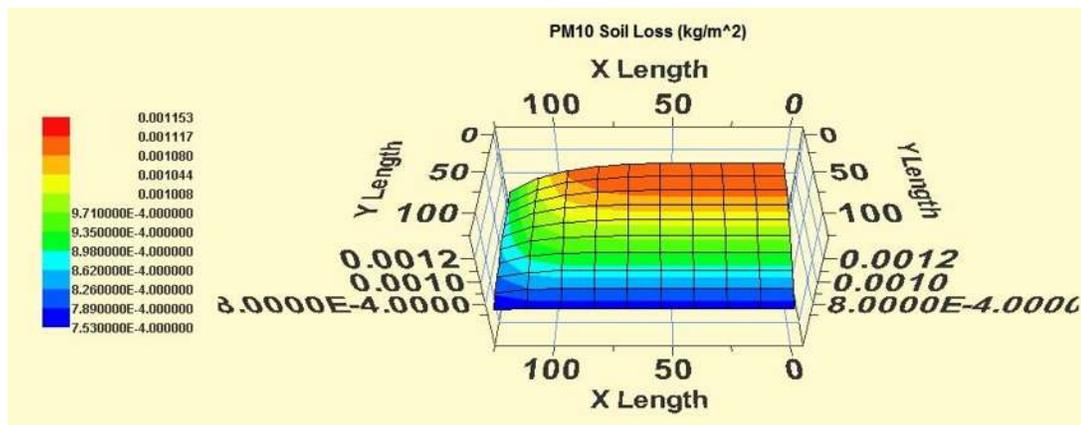


Figura 55.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 4

Cuadro 53. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 4

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	0.00767	0.00767	0.00767	0.00767	0.00767	0.00767	0.00767	0.00766	0.00764	0.00753
<b>1</b>	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.00828	0.00822	0.00794
<b>2</b>	0.00887	0.00887	0.00887	0.00887	0.00887	0.00887	0.00886	0.00882	0.00869	0.00824
<b>3</b>	0.00939	0.00939	0.00939	0.00939	0.00938	0.00938	0.00936	0.00929	0.00907	0.00846
<b>4</b>	0.00985	0.00985	0.00985	0.00985	0.00984	0.00983	0.00979	0.00968	0.00938	0.00862
<b>5</b>	0.01026	0.01026	0.01026	0.01026	0.01025	0.01023	0.01018	0.01002	0.00962	0.00873
<b>6</b>	0.01063	0.01063	0.01063	0.01063	0.01062	0.01059	0.01051	0.0103	0.00982	0.00881
<b>7</b>	0.01096	0.01096	0.01096	0.01096	0.01094	0.0109	0.01079	0.01053	0.00997	0.00887
<b>8</b>	0.01126	0.01126	0.01126	0.01125	0.01123	0.01117	0.01103	0.01072	0.01009	0.00891
<b>9</b>	0.01153	0.01153	0.01153	0.01151	0.01148	0.01141	0.01124	0.01088	0.01018	0.00895

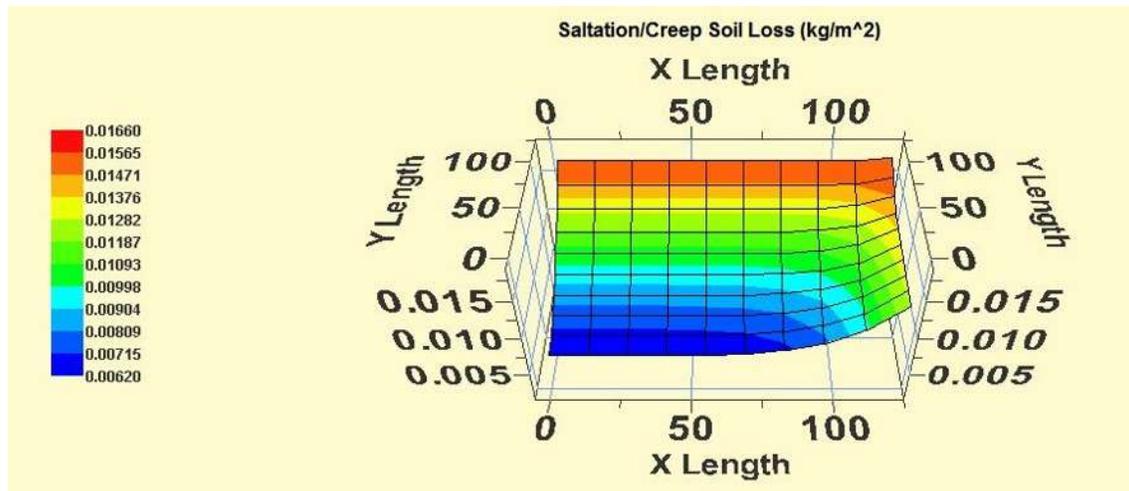


Figura 56. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastré del Transecto 4

Cuadro 54. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastré del Transecto 4

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.163	0.166
<b>1</b>	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.148	0.155
<b>2</b>	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131	0.132	0.136	0.147
<b>3</b>	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.12	0.126	0.142
<b>4</b>	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.107	0.11	0.118	0.138
<b>5</b>	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.096	0.097	0.101	0.111	0.135
<b>6</b>	0.085	0.085	0.085	0.085	0.086	0.086	0.089	0.094	0.106	0.133
<b>7</b>	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.078	0.081	0.088	0.102	0.131
<b>8</b>	0.069	0.069	0.069	0.069	0.07	0.071	0.075	0.083	0.099	0.13
<b>9</b>	0.062	0.062	0.062	0.062	0.063	0.065	0.069	0.079	0.097	0.129

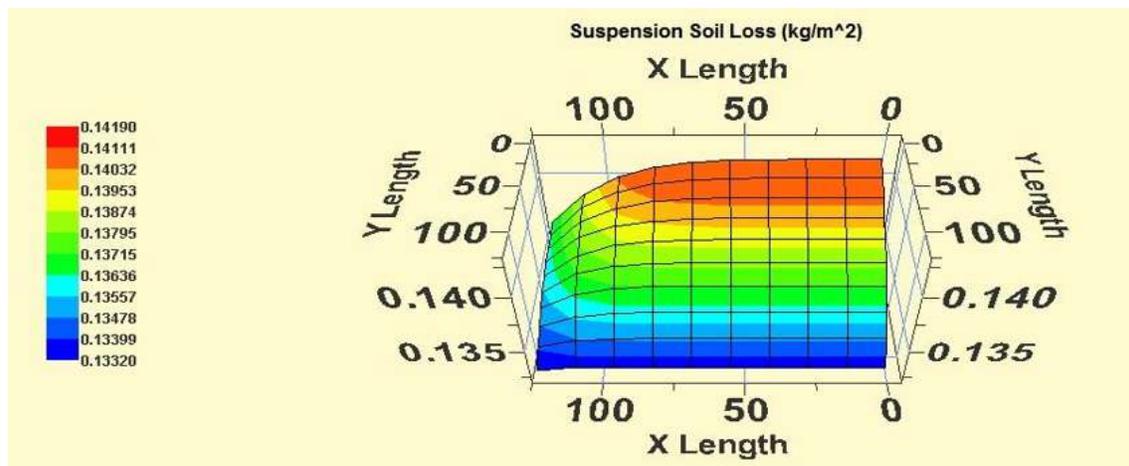


Figura 57. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 4

Cuadro 55. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 4

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335	1.334	1.332
<b>1</b>	1.349	1.349	1.349	1.349	1.349	1.349	1.349	1.348	1.347	1.341
<b>2</b>	1.361	1.361	1.361	1.361	1.361	1.361	1.361	1.36	1.357	1.347
<b>3</b>	1.372	1.372	1.372	1.372	1.372	1.372	1.372	1.37	1.365	1.352
<b>4</b>	1.382	1.382	1.382	1.382	1.382	1.382	1.381	1.379	1.372	1.355
<b>5</b>	1.391	1.391	1.391	1.391	1.391	1.39	1.389	1.386	1.377	1.358
<b>6</b>	1.399	1.399	1.399	1.399	1.399	1.398	1.396	1.392	1.382	1.36
<b>7</b>	1.406	1.406	1.406	1.406	1.406	1.405	1.403	1.397	1.385	1.361
<b>8</b>	1.413	1.413	1.413	1.413	1.412	1.411	1.408	1.401	1.387	1.362
<b>9</b>	1.419	1.419	1.419	1.418	1.418	1.416	1.412	1.404	1.389	1.363

### Transecto 5

Cuadro 56.- Perdida promedio de la cuadrícula del Transecto 5

TIPO DE PERDIDA	VALOR PROMEDIO DE CUADRÍCULA
	t ha <sup>-1</sup>
<b>Total de suelo</b>	1.295
<b>Arrastre/Saltación</b>	0.106
<b>Suspensión</b>	1.189
<b>PM10</b>	0.00816

Cuadro 57.- Perdida total por ubicación del Transecto 5

UBICACIÓN	TOTAL	SALTACION ARRASTRE	SUSPENSION	PM10
	kg m <sup>-1</sup>			
<b>Norte</b>	0	0	0	0
<b>Sur</b>	27.87	2.26	25.6	0.18
<b>Oeste</b>	0	0	0	0
<b>Este</b>	1.21	0.11	1.1	0.01

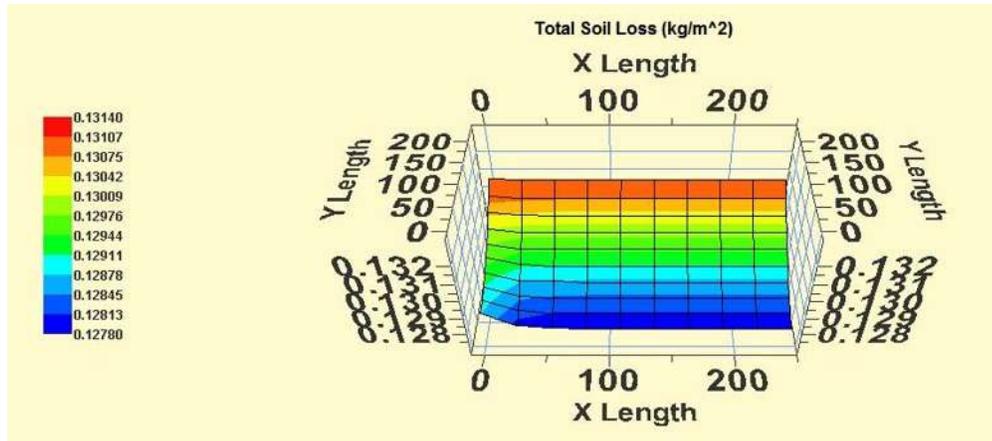


Figura 58.- Cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 5

Cuadro 58. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 5

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	1.314	1.313	1.313	1.313	1.313	1.313	1.313	1.313	1.313	1.313
<b>1</b>	1.309	1.308	1.308	1.308	1.308	1.308	1.308	1.308	1.308	1.308
<b>2</b>	1.305	1.304	1.303	1.303	1.303	1.303	1.303	1.303	1.303	1.303
<b>3</b>	1.301	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299
<b>4</b>	1.298	1.295	1.295	1.295	1.295	1.295	1.295	1.295	1.295	1.295
<b>5</b>	1.296	1.292	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291	1.291
<b>6</b>	1.293	1.288	1.288	1.287	1.287	1.287	1.287	1.287	1.287	1.287
<b>7</b>	1.291	1.285	1.284	1.284	1.284	1.284	1.284	1.284	1.284	1.284
<b>8</b>	1.289	1.283	1.281	1.281	1.281	1.281	1.281	1.281	1.281	1.281
<b>9</b>	1.288	1.28	1.279	1.278	1.278	1.278	1.278	1.278	1.278	1.278

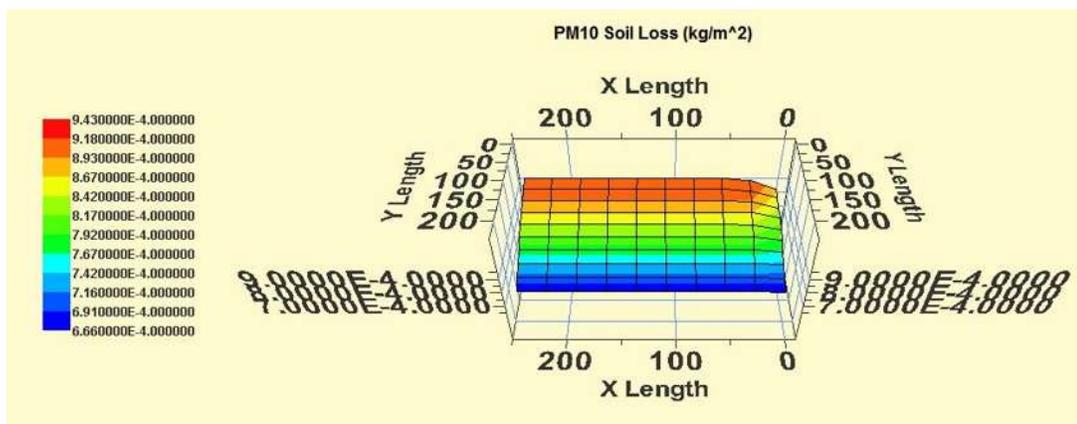


Figura 59.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 5

Cuadro 59. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 5

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>2</sup></b>									
<b>0</b>	0.00666	0.00669	0.00669	0.00669	0.00669	0.00669	0.00669	0.00669	0.00669	0.00669
<b>1</b>	0.00703	0.00709	0.00709	0.00709	0.00709	0.00709	0.00709	0.00709	0.00709	0.00709
<b>2</b>	0.00734	0.00746	0.00747	0.00747	0.00747	0.00747	0.00747	0.00747	0.00747	0.00747
<b>3</b>	0.00762	0.0078	0.00782	0.00782	0.00782	0.00782	0.00782	0.00782	0.00782	0.00782
<b>4</b>	0.00787	0.00811	0.00814	0.00814	0.00814	0.00814	0.00814	0.00814	0.00814	0.00814
<b>5</b>	0.00808	0.00839	0.00844	0.00844	0.00844	0.00844	0.00844	0.00844	0.00844	0.00844
<b>6</b>	0.00827	0.00865	0.00871	0.00872	0.00872	0.00872	0.00872	0.00872	0.00872	0.00872
<b>7</b>	0.00843	0.00888	0.00896	0.00897	0.00897	0.00897	0.00897	0.00897	0.00897	0.00897
<b>8</b>	0.00857	0.0091	0.00919	0.00921	0.00921	0.00921	0.00921	0.00921	0.00921	0.00921
<b>9</b>	0.00869	0.00929	0.00941	0.00943	0.00943	0.00943	0.00943	0.00943	0.00943	0.00943

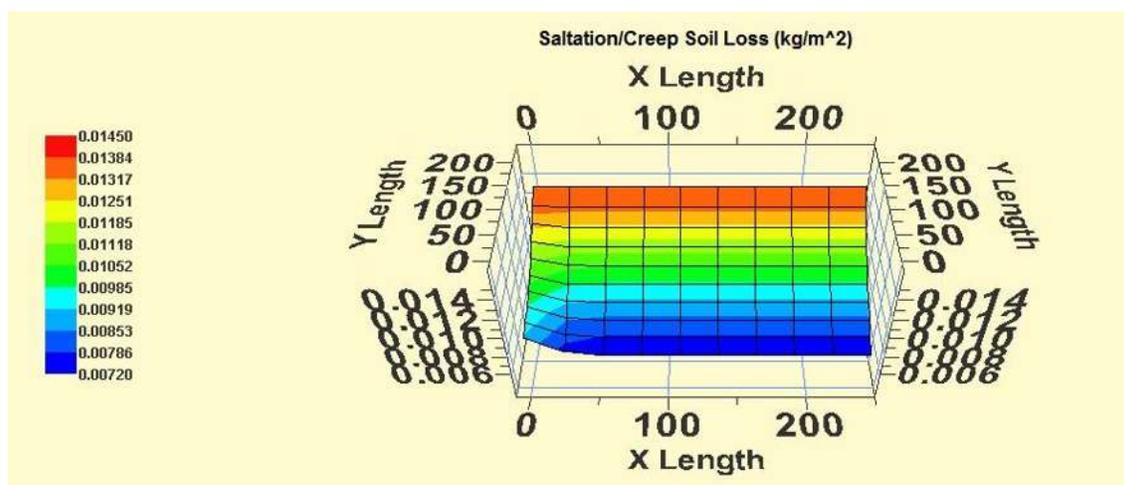


Figura 60. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 5

Cuadro 60. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 5

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>2</sup></b>									
<b>0</b>	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145
<b>1</b>	0.136	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134
<b>2</b>	0.127	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124
<b>3</b>	0.12	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115
<b>4</b>	0.113	0.107	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106
<b>5</b>	0.108	0.099	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098
<b>6</b>	0.103	0.093	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091
<b>7</b>	0.098	0.086	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084
<b>8</b>	0.095	0.081	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078
<b>9</b>	0.091	0.076	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072

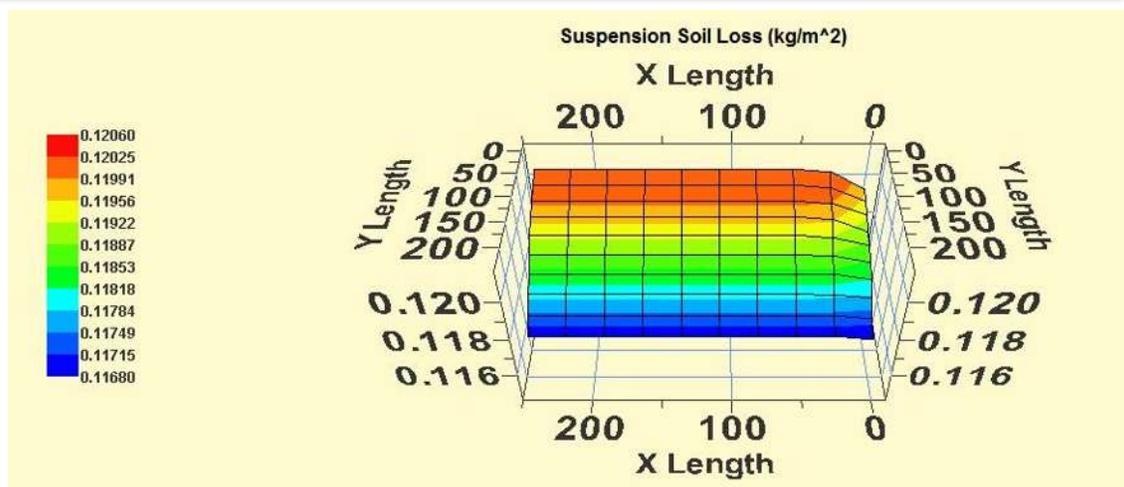


Figura 61. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 5

Cuadro 61. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 5

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	1.168	1.169	1.169	1.169	1.169	1.169	1.169	1.169	1.169	1.169
<b>1</b>	1.173	1.174	1.174	1.174	1.174	1.174	1.174	1.174	1.174	1.174
<b>2</b>	1.178	1.179	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
<b>3</b>	1.182	1.184	1.184	1.184	1.184	1.184	1.184	1.184	1.184	1.184
<b>4</b>	1.185	1.188	1.189	1.189	1.189	1.189	1.189	1.189	1.189	1.189
<b>5</b>	1.188	1.192	1.193	1.193	1.193	1.193	1.193	1.193	1.193	1.193
<b>6</b>	1.19	1.196	1.197	1.197	1.197	1.197	1.197	1.197	1.197	1.197
<b>7</b>	1.193	1.199	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
<b>8</b>	1.195	1.202	1.203	1.203	1.203	1.203	1.203	1.203	1.203	1.203
<b>9</b>	1.196	1.205	1.206	1.206	1.206	1.206	1.206	1.206	1.206	1.206

### Transecto 6

Cuadro 62.- Perdida promedio de la cuadrícula del Transecto 6

TIPO DE PERDIDA	VALOR PROMEDIO DE CUADRÍCULA
	t ha <sup>-1</sup>
<b>Total de suelo</b>	1.542
<b>Arrastre/Saltación</b>	0.142
<b>Suspensión</b>	1.4
<b>PM10</b>	0.00929

Cuadro 63.- Perdida total por ubicación del Transecto 6

UBICACIÓN	TOTAL	SALTACION ARRASTRE	SUSPENSION	PM10
	kg m <sup>-1</sup>			
Norte	0	0	0	0
Sur	21.32	1.96	19.36	0.13
Oeste	0	0	0	0
Este	1.51	0.15	1.36	0.01

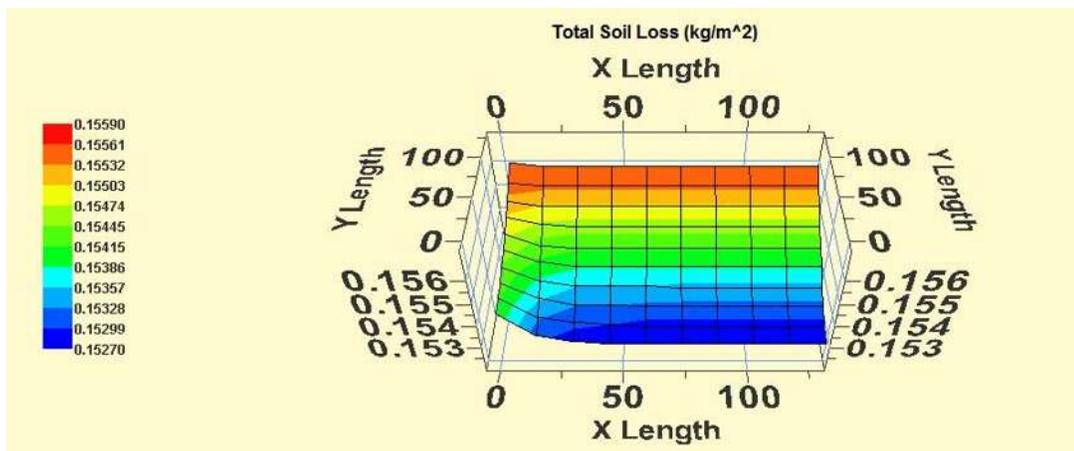


Figura 62.- Cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 6

Cuadro 64. Valores de la cuadrícula de pérdida de total de suelo del Transecto 6

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>2</sup>									
0	1.559	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558	1.558
1	1.555	1.554	1.554	1.554	1.554	1.554	1.554	1.554	1.554	1.554
2	1.552	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
3	1.55	1.547	1.546	1.546	1.546	1.546	1.546	1.546	1.546	1.546
4	1.548	1.543	1.542	1.542	1.542	1.542	1.542	1.542	1.542	1.542
5	1.546	1.541	1.539	1.539	1.539	1.539	1.539	1.539	1.539	1.539
6	1.544	1.538	1.536	1.536	1.536	1.535	1.535	1.535	1.535	1.535
7	1.543	1.536	1.533	1.533	1.532	1.532	1.532	1.532	1.532	1.532
8	1.542	1.533	1.531	1.53	1.529	1.529	1.529	1.529	1.529	1.529
9	1.541	1.531	1.528	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527

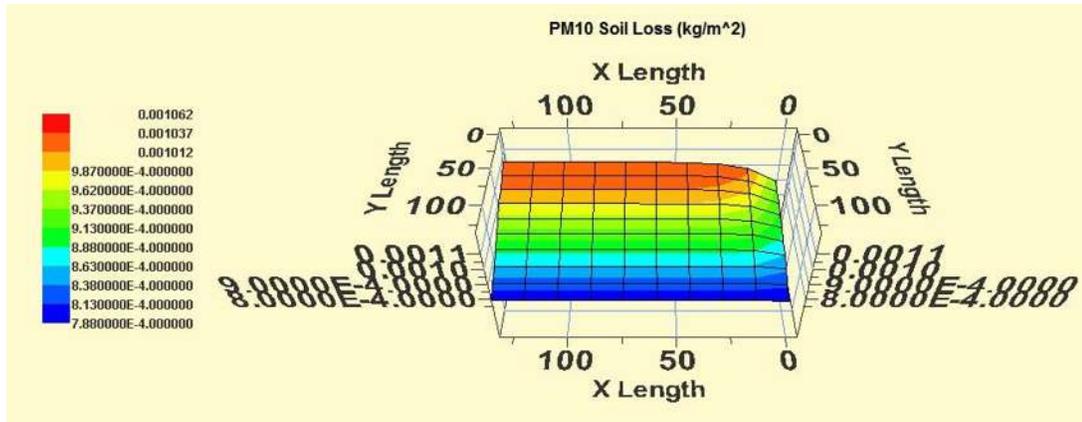


Figura 63.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 6

Cuadro 65. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 6

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>-2</sup>									
0	0.00788	0.00792	0.00792	0.00792	0.00792	0.00792	0.00792	0.00792	0.00792	0.00792
1	0.00818	0.00827	0.00829	0.00829	0.00829	0.00829	0.00829	0.00829	0.00829	0.00829
2	0.00843	0.0086	0.00863	0.00864	0.00864	0.00864	0.00864	0.00864	0.00864	0.00864
3	0.00864	0.0089	0.00895	0.00896	0.00897	0.00897	0.00897	0.00897	0.00897	0.00897
4	0.00882	0.00918	0.00926	0.00927	0.00928	0.00928	0.00928	0.00928	0.00928	0.00928
5	0.00897	0.00942	0.00954	0.00957	0.00957	0.00957	0.00957	0.00957	0.00957	0.00957
6	0.0091	0.00965	0.00981	0.00985	0.00985	0.00986	0.00986	0.00986	0.00986	0.00986
7	0.00921	0.00985	0.01005	0.01011	0.01012	0.01012	0.01012	0.01012	0.01012	0.01012
8	0.0093	0.01003	0.01028	0.01035	0.01037	0.01038	0.01038	0.01038	0.01038	0.01038
9	0.00938	0.0102	0.01049	0.01058	0.01061	0.01062	0.01062	0.01062	0.01062	0.01062

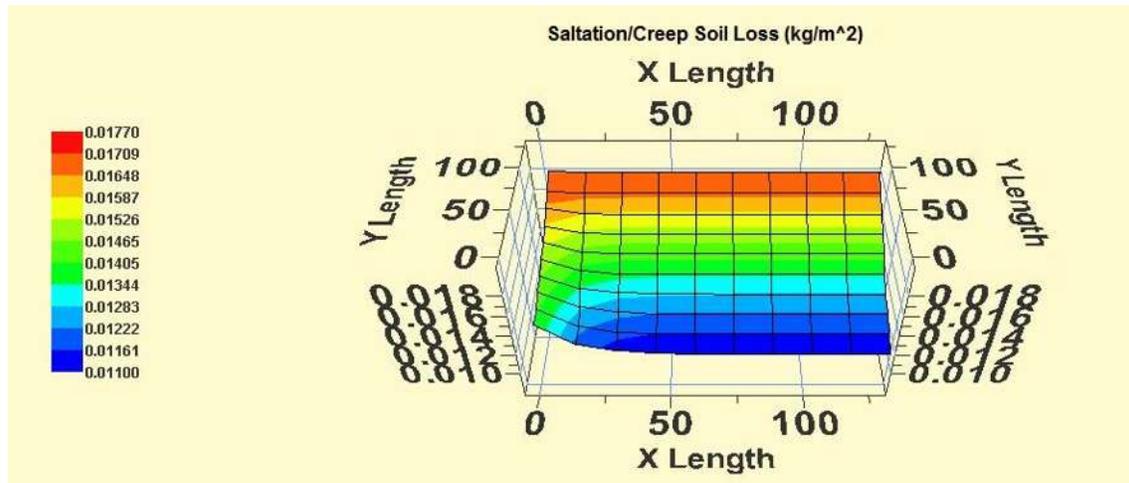


Figura 64. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 6



## Transecto 7

Cuadro 68.- Perdida promedio de la cuadrícula del Transecto 7

TIPO DE PERDIDA	VALOR PROMEDIO DE CUADRÍCULA
	t ha <sup>-1</sup>
<b>Total de suelo</b>	1.242
<b>Arrastre/Saltación</b>	0.105
<b>Suspensión</b>	1.137
<b>PM10</b>	0.00789

Cuadro 69.- Perdida total por ubicación del Transecto 7

UBICACIÓN	TOTAL	SALTACION ARRASTRE	SUSPENSION	PM10
	kg m <sup>-1</sup>			
<b>Norte</b>	0	0	0	0
<b>Sur</b>	22.54	1.88	20.66	0.14
<b>Oeste</b>	0	0	0	0
<b>Este</b>	1.82	0.17	1.66	0.01

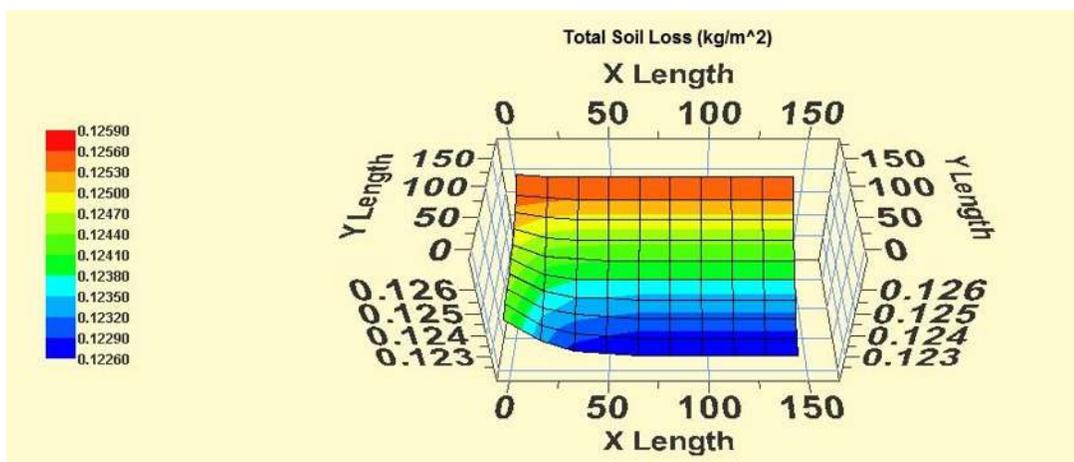


Figura 66.- Cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 7

Cuadro 70. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 7

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	1.259	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258	1.258
<b>1</b>	1.255	1.254	1.253	1.253	1.253	1.253	1.253	1.253	1.253	1.253
<b>2</b>	1.252	1.25	1.249	1.249	1.249	1.249	1.249	1.249	1.249	1.249
<b>3</b>	1.25	1.246	1.245	1.245	1.245	1.245	1.245	1.245	1.245	1.245
<b>4</b>	1.248	1.243	1.242	1.241	1.241	1.241	1.241	1.241	1.241	1.241
<b>5</b>	1.247	1.24	1.238	1.238	1.238	1.238	1.238	1.238	1.238	1.238
<b>6</b>	1.246	1.238	1.235	1.235	1.234	1.234	1.234	1.234	1.234	1.234
<b>7</b>	1.245	1.236	1.233	1.232	1.231	1.231	1.231	1.231	1.231	1.231
<b>8</b>	1.244	1.234	1.23	1.229	1.228	1.228	1.228	1.228	1.228	1.228
<b>9</b>	1.243	1.233	1.228	1.227	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226

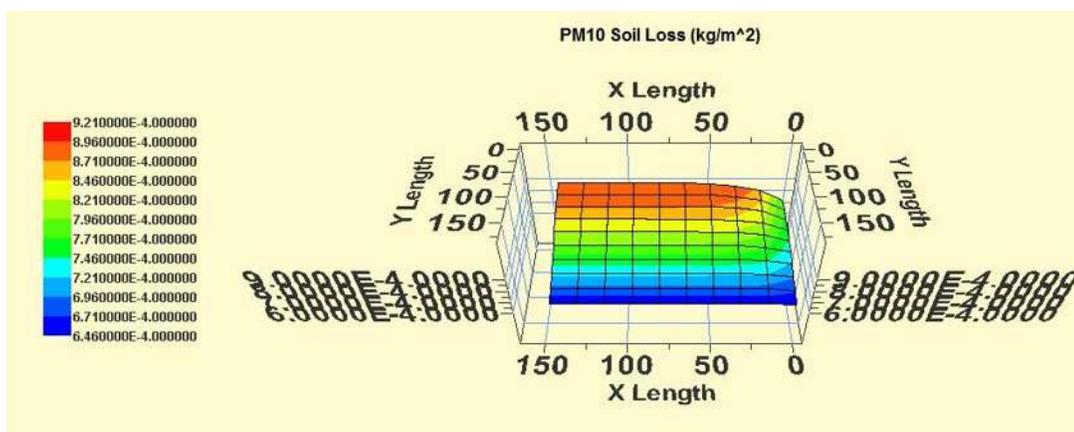


Figura 67.- Cuadrícula de pérdida por PM<sub>10</sub> del Transecto 7

Cuadro 71. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 7

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	0.0646	0.0651	0.0652	0.0652	0.0652	0.0652	0.0652	0.0652	0.0652	0.0652
<b>1</b>	0.0676	0.0689	0.0691	0.0691	0.0691	0.0691	0.0691	0.0691	0.0691	0.0691
<b>2</b>	0.0699	0.0722	0.0726	0.0727	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728	0.0728
<b>3</b>	0.0718	0.0751	0.0759	0.0761	0.0761	0.0761	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762
<b>4</b>	0.0733	0.0776	0.0789	0.0792	0.0793	0.0793	0.0793	0.0793	0.0793	0.0793
<b>5</b>	0.0746	0.0799	0.0816	0.0821	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822
<b>6</b>	0.0756	0.0818	0.084	0.0847	0.0849	0.0849	0.085	0.085	0.085	0.085
<b>7</b>	0.0764	0.0834	0.0862	0.0871	0.0874	0.0875	0.0875	0.0875	0.0875	0.0875
<b>8</b>	0.077	0.0848	0.0881	0.0893	0.0897	0.0898	0.0898	0.0899	0.0899	0.0899
<b>9</b>	0.0775	0.0861	0.0898	0.0913	0.0918	0.092	0.092	0.0921	0.0921	0.0921

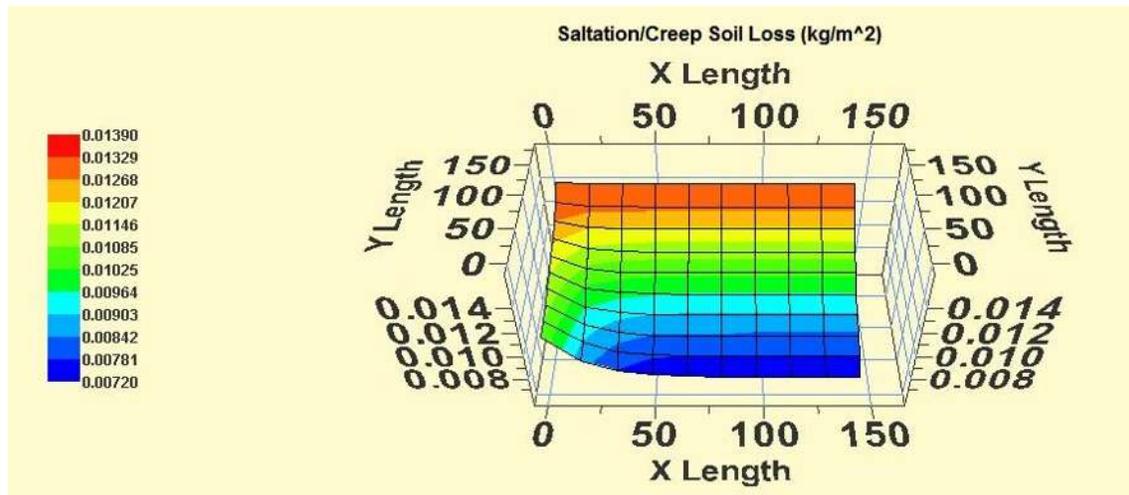


Figura 68. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 7

Cuadro 72. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 7

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	0.139	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138
<b>1</b>	0.132	0.129	0.129	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128	0.128
<b>2</b>	0.127	0.121	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
<b>3</b>	0.122	0.114	0.112	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
<b>4</b>	0.118	0.108	0.105	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104
<b>5</b>	0.115	0.102	0.098	0.097	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096
<b>6</b>	0.113	0.097	0.092	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
<b>7</b>	0.111	0.093	0.087	0.084	0.084	0.084	0.083	0.083	0.083	0.083
<b>8</b>	0.109	0.09	0.082	0.079	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078
<b>9</b>	0.108	0.087	0.078	0.074	0.073	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072

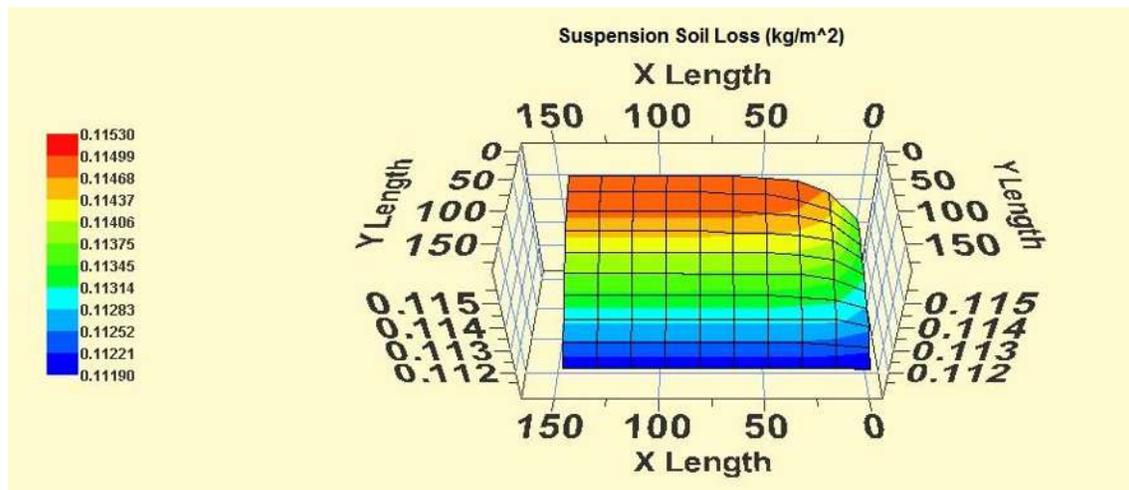


Figura 69. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 7

Cuadro 73. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 7

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	1.119	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
<b>1</b>	1.123	1.124	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
<b>2</b>	1.126	1.129	1.129	1.129	1.129	1.129	1.129	1.129	1.129	1.129
<b>3</b>	1.128	1.132	1.133	1.134	1.134	1.134	1.134	1.134	1.134	1.134
<b>4</b>	1.13	1.135	1.137	1.137	1.137	1.137	1.138	1.138	1.138	1.138
<b>5</b>	1.132	1.138	1.14	1.141	1.141	1.141	1.141	1.141	1.141	1.141
<b>6</b>	1.133	1.141	1.143	1.144	1.144	1.145	1.145	1.145	1.145	1.145
<b>7</b>	1.134	1.143	1.146	1.147	1.148	1.148	1.148	1.148	1.148	1.148
<b>8</b>	1.135	1.144	1.148	1.15	1.15	1.151	1.151	1.151	1.151	1.151
<b>9</b>	1.135	1.146	1.151	1.152	1.153	1.153	1.153	1.153	1.153	1.153

### Transecto 8

Cuadro 74.- Perdida promedio de la cuadrícula del Transecto 8

TIPO DE PERDIDA	VALOR PROMEDIO DE CUADRÍCULA
	t ha <sup>-1</sup>
<b>Total de suelo</b>	0.804
<b>Arrastre/Saltación</b>	0.074
<b>Suspensión</b>	0.729
<b>PM10</b>	0.0045

Cuadro 75.- Perdida total por ubicación del Transecto 8

UBICACIÓN	TOTAL	SALTACION ARRASTRE	SUSPENSION	PM10
	kg m <sup>-1</sup>			
<b>Norte</b>	0.64	0	0.58	0
<b>Sur</b>	0	0	0	0
<b>Oeste</b>	3.45	0.32	3.13	0.02
<b>Este</b>	0	0	0	0

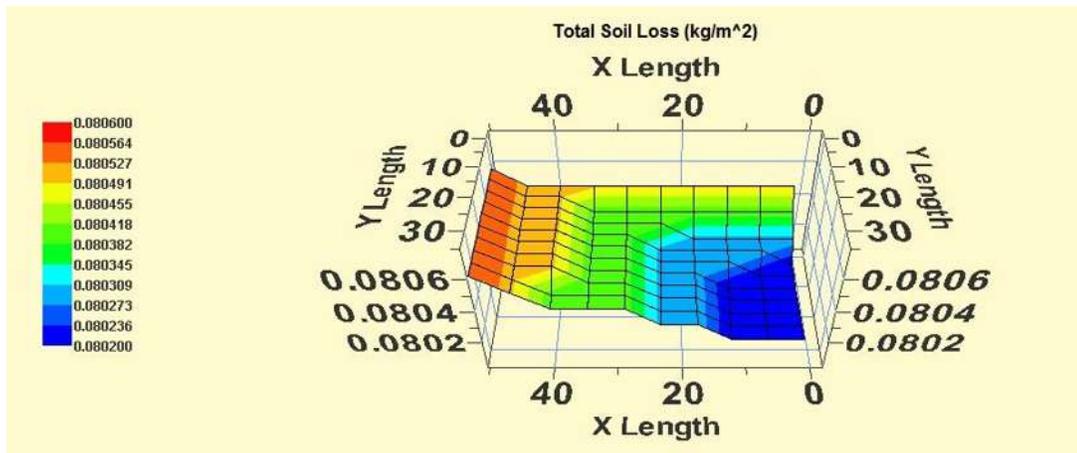


Figura 70.- Cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 8

Cuadro 76. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 8

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>2</sup>									
0	0.802	0.802	0.802	0.803	0.803	0.804	0.804	0.804	0.805	0.806
1	0.802	0.802	0.802	0.803	0.803	0.804	0.804	0.804	0.805	0.806
2	0.802	0.802	0.802	0.803	0.803	0.804	0.804	0.805	0.805	0.806
3	0.802	0.802	0.802	0.803	0.803	0.804	0.804	0.805	0.805	0.806
4	0.802	0.802	0.802	0.803	0.803	0.804	0.804	0.805	0.805	0.806
5	0.802	0.802	0.803	0.803	0.803	0.804	0.804	0.805	0.805	0.806
6	0.802	0.803	0.803	0.803	0.803	0.804	0.804	0.805	0.805	0.806
7	0.803	0.803	0.803	0.803	0.804	0.804	0.804	0.805	0.805	0.806
8	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804	0.805	0.805	0.806
9	0.805	0.805	0.805	0.805	0.805	0.805	0.805	0.805	0.805	0.806

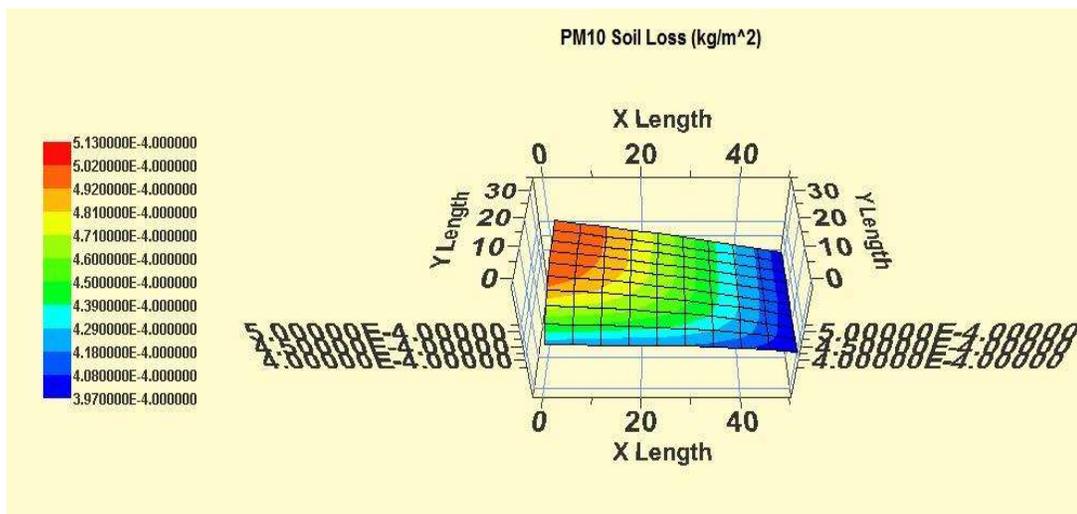


Figura 71.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 8

Cuadro 77. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 8

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	0.005130	0.005030	0.004920	0.004810	0.004690	0.004560	0.004430	0.004300	0.004160	0.004010
<b>1</b>	0.005130	0.005020	0.004920	0.004810	0.004690	0.004560	0.004430	0.004300	0.004160	0.004010
<b>2</b>	0.005120	0.005020	0.004910	0.004800	0.004690	0.004560	0.004430	0.004300	0.004160	0.004010
<b>3</b>	0.005100	0.005010	0.004910	0.004800	0.004680	0.004560	0.004430	0.004300	0.004160	0.004010
<b>4</b>	0.005060	0.004980	0.004890	0.004790	0.004680	0.004560	0.004430	0.004300	0.004160	0.004010
<b>5</b>	0.005000	0.004930	0.004850	0.004760	0.004660	0.004550	0.004430	0.004290	0.004160	0.004010
<b>6</b>	0.004900	0.004850	0.004790	0.004710	0.004620	0.004520	0.004410	0.004290	0.004150	0.004010
<b>7</b>	0.004750	0.004710	0.004670	0.004620	0.004550	0.004470	0.004380	0.004270	0.004140	0.004000
<b>8</b>	0.004520	0.004500	0.004480	0.004450	0.004410	0.004360	0.004300	0.004220	0.004120	0.004000
<b>9</b>	0.004220	0.004220	0.004210	0.004200	0.004190	0.004170	0.004140	0.004100	0.004050	0.003970

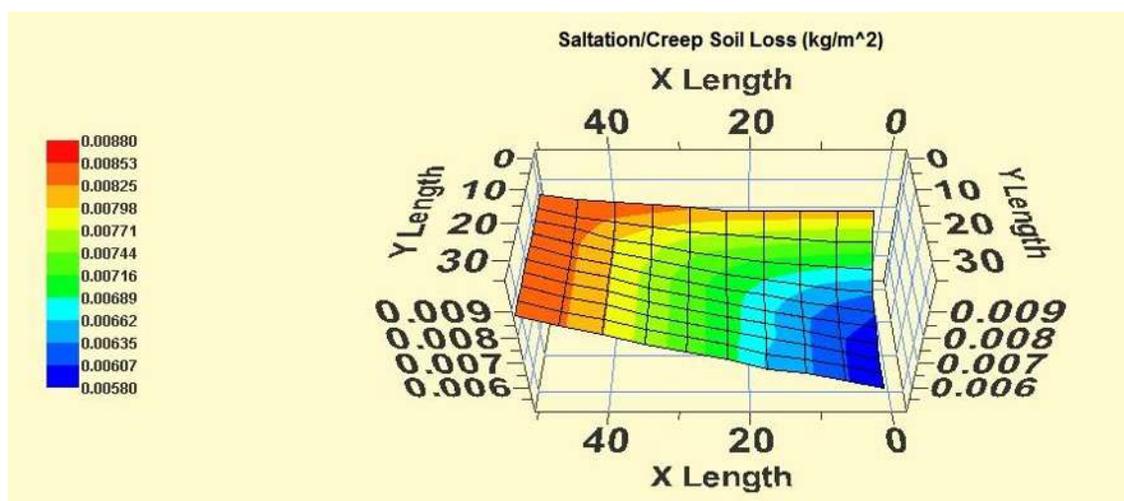


Figura 72. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 8

Cuadro 78. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 8

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	0.058	0.061	0.064	0.066	0.07	0.073	0.076	0.08	0.083	0.087
<b>1</b>	0.058	0.061	0.064	0.066	0.07	0.073	0.076	0.08	0.083	0.087
<b>2</b>	0.058	0.061	0.064	0.067	0.07	0.073	0.076	0.08	0.083	0.087
<b>3</b>	0.059	0.061	0.064	0.067	0.07	0.073	0.076	0.08	0.083	0.087
<b>4</b>	0.06	0.062	0.064	0.067	0.07	0.073	0.076	0.08	0.083	0.087
<b>5</b>	0.061	0.063	0.065	0.068	0.07	0.073	0.076	0.08	0.083	0.087
<b>6</b>	0.064	0.065	0.067	0.069	0.071	0.074	0.077	0.08	0.083	0.087
<b>7</b>	0.068	0.069	0.07	0.071	0.073	0.075	0.078	0.08	0.084	0.087
<b>8</b>	0.074	0.074	0.075	0.076	0.077	0.078	0.08	0.082	0.084	0.087
<b>9</b>	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.083	0.084	0.085	0.086	0.088

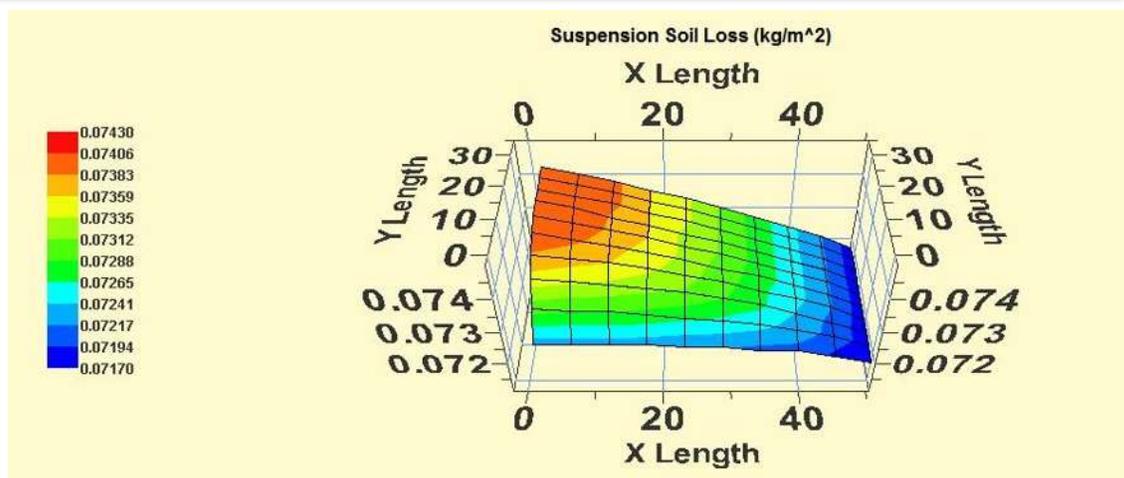


Figura 73. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 8

Cuadro 79. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 8

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	0.743	0.741	0.739	0.736	0.734	0.731	0.728	0.725	0.722	0.718
<b>1</b>	0.743	0.741	0.739	0.736	0.734	0.731	0.728	0.725	0.722	0.718
<b>2</b>	0.743	0.741	0.739	0.736	0.734	0.731	0.728	0.725	0.722	0.718
<b>3</b>	0.743	0.741	0.738	0.736	0.733	0.731	0.728	0.725	0.722	0.718
<b>4</b>	0.742	0.74	0.738	0.736	0.733	0.731	0.728	0.725	0.722	0.718
<b>5</b>	0.741	0.739	0.737	0.735	0.733	0.73	0.728	0.725	0.722	0.718
<b>6</b>	0.738	0.737	0.736	0.734	0.732	0.73	0.727	0.725	0.722	0.718
<b>7</b>	0.735	0.734	0.733	0.732	0.731	0.729	0.727	0.724	0.721	0.718
<b>8</b>	0.73	0.729	0.729	0.728	0.727	0.726	0.725	0.723	0.721	0.718
<b>9</b>	0.723	0.723	0.723	0.723	0.722	0.722	0.721	0.721	0.719	0.717

### Transecto 9

Cuadro 80.- Perdida promedio de la cuadrícula del Transecto 9

TIPO DE PERDIDA	VALOR PROMEDIO DE CUADRÍCULA
	t ha <sup>-1</sup>
<b>Total de suelo</b>	1.067
<b>Arrastre/Saltación</b>	0.027
<b>Suspensión</b>	1.04
<b>PM10</b>	0.00698

Cuadro 81.- Pérdida total por ubicación del Transecto 9

UBICACIÓN	TOTAL	SALTACION ARRASTRE	SUSPENSION	PM10
Norte	0	0	0	0
Sur	0.35	0.01	0.34	0
Oeste	15.57	0.39	15.18	0.1
Este	0	0	0	0

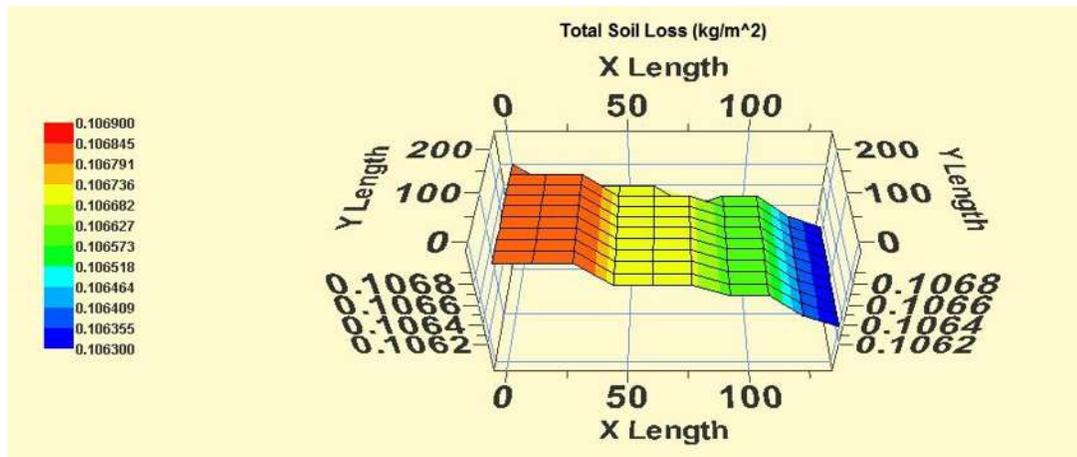


Figura 74.- Cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 9

Cuadro 82. Valores de la cuadrícula de pérdida total de suelo del Transecto 9

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>-2</sup>									
0	1.069	1.067	1.067	1.067	1.067	1.065	1.066	1.066	1.064	1.063
1	1.069	1.069	1.069	1.067	1.067	1.067	1.066	1.066	1.064	1.063
2	1.069	1.069	1.069	1.067	1.067	1.067	1.066	1.066	1.064	1.063
3	1.069	1.069	1.069	1.067	1.067	1.067	1.066	1.066	1.064	1.063
4	1.069	1.069	1.069	1.067	1.067	1.067	1.066	1.066	1.064	1.063
5	1.069	1.069	1.069	1.067	1.067	1.067	1.066	1.066	1.064	1.063
6	1.069	1.069	1.069	1.067	1.067	1.067	1.066	1.066	1.064	1.063
7	1.069	1.069	1.069	1.067	1.067	1.067	1.066	1.066	1.064	1.063
8	1.069	1.069	1.069	1.067	1.067	1.067	1.066	1.066	1.064	1.063
9	1.069	1.069	1.069	1.067	1.067	1.067	1.066	1.066	1.064	1.063

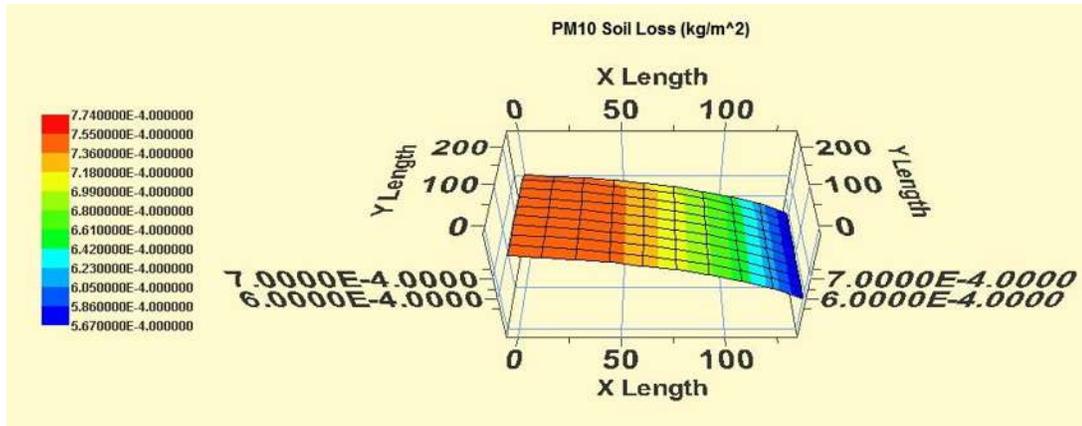


Figura 75.- Cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 9

Cuadro 83. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por PM<sub>10</sub> del Transecto 9

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	kg m <sup>2</sup>									
0	0.007560	0.007480	0.007400	0.007290	0.007160	0.006980	0.006760	0.006490	0.006130	0.005670
1	0.007730	0.007650	0.007550	0.007420	0.007270	0.007080	0.006830	0.006530	0.006150	0.005680
2	0.007740	0.007660	0.007560	0.007430	0.007270	0.007080	0.006830	0.006540	0.006150	0.005680
3	0.007740	0.007660	0.007560	0.007430	0.007270	0.007080	0.006830	0.006540	0.006150	0.005680
4	0.007740	0.007660	0.007560	0.007430	0.007270	0.007080	0.006830	0.006540	0.006150	0.005680
5	0.007740	0.007660	0.007560	0.007430	0.007270	0.007080	0.006830	0.006540	0.006150	0.005680
6	0.007740	0.007660	0.007560	0.007430	0.007270	0.007080	0.006830	0.006540	0.006150	0.005680
7	0.007740	0.007660	0.007560	0.007430	0.007270	0.007080	0.006830	0.006540	0.006150	0.005680
8	0.007740	0.007660	0.007560	0.007430	0.007270	0.007080	0.006830	0.006540	0.006150	0.005680
9	0.007740	0.007660	0.007560	0.007430	0.007270	0.007080	0.006830	0.006540	0.006150	0.005680

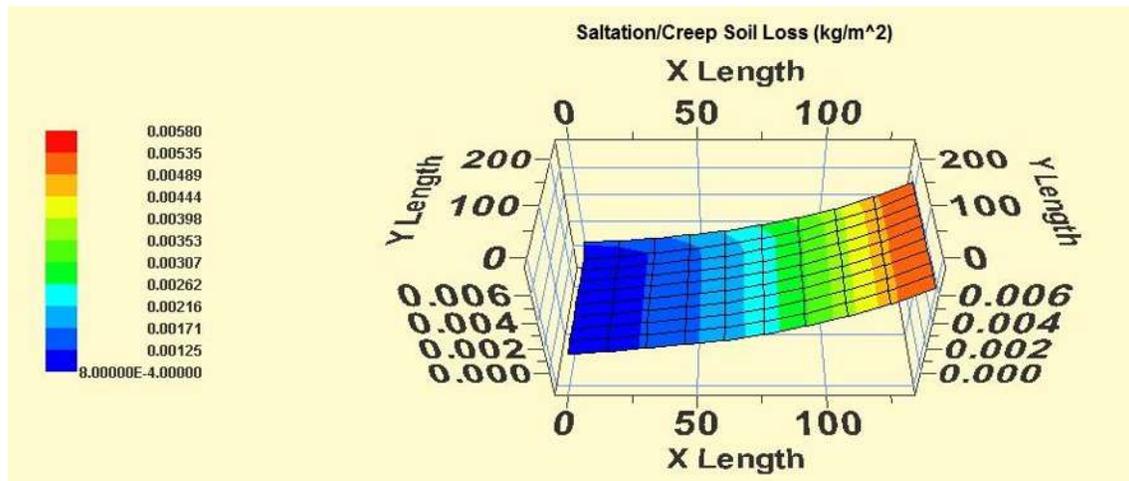


Figura 76. Cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 9

Cuadro 84. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por saltación/arrastre del Transecto 9

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	0.013	0.014	0.016	0.019	0.022	0.027	0.032	0.039	0.048	0.058
<b>1</b>	0.008	0.01	0.013	0.016	0.02	0.024	0.03	0.038	0.047	0.058
<b>2</b>	0.008	0.01	0.013	0.016	0.019	0.024	0.03	0.038	0.047	0.058
<b>3</b>	0.008	0.01	0.013	0.016	0.019	0.024	0.03	0.038	0.047	0.058
<b>4</b>	0.008	0.01	0.013	0.016	0.019	0.024	0.03	0.038	0.047	0.058
<b>5</b>	0.008	0.01	0.013	0.016	0.019	0.024	0.03	0.038	0.047	0.058
<b>6</b>	0.008	0.01	0.013	0.016	0.019	0.024	0.03	0.038	0.047	0.058
<b>7</b>	0.008	0.01	0.013	0.016	0.019	0.024	0.03	0.038	0.047	0.058
<b>8</b>	0.008	0.01	0.013	0.016	0.019	0.024	0.03	0.038	0.047	0.058
<b>9</b>	0.008	0.01	0.013	0.016	0.019	0.024	0.03	0.038	0.047	0.058

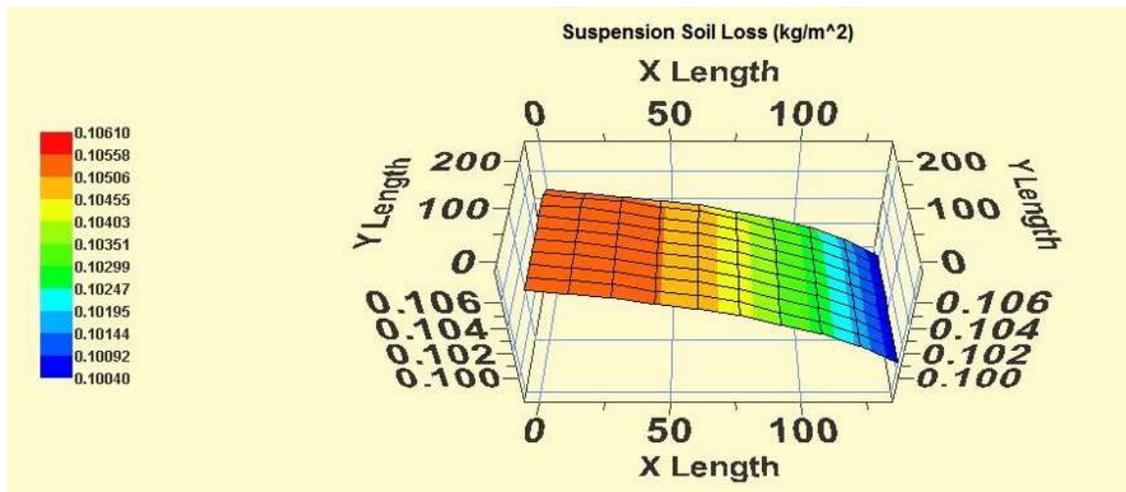


Figura 77. Cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 9

Cuadro 85. Valores de la cuadrícula de pérdida de suelo por suspensión del Transecto 9

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>kg m<sup>-2</sup></b>									
<b>0</b>	1.056	1.053	1.051	1.048	1.045	1.039	1.034	1.027	1.017	1.004
<b>1</b>	1.06	1.058	1.056	1.051	1.048	1.043	1.035	1.028	1.018	1.005
<b>2</b>	1.06	1.059	1.056	1.051	1.048	1.043	1.035	1.028	1.018	1.005
<b>3</b>	1.061	1.059	1.056	1.051	1.048	1.043	1.035	1.028	1.018	1.005
<b>4</b>	1.061	1.059	1.056	1.051	1.048	1.043	1.035	1.028	1.018	1.005
<b>5</b>	1.061	1.059	1.056	1.051	1.048	1.043	1.035	1.028	1.018	1.005
<b>6</b>	1.061	1.059	1.056	1.051	1.048	1.043	1.035	1.028	1.018	1.005
<b>7</b>	1.061	1.059	1.056	1.051	1.048	1.043	1.035	1.028	1.018	1.005
<b>8</b>	1.061	1.059	1.056	1.051	1.048	1.043	1.035	1.028	1.018	1.005
<b>9</b>	1.061	1.059	1.056	1.051	1.048	1.043	1.035	1.028	1.018	1.005