



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**



**ANÁLISIS EXPLORATORIO ESPACIAL DE
CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA ZONA
METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO**

TESIS

Para obtener el título de:

BIÓLOGO

Presenta:

Miguel Ángel Trejo González

Director

Asesor

Dr. Horacio Tovalín Ahumada

**M. en C. Eliseo Cantellano
de Rosas**

México D.F.

Octubre de 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Dedicatorias.

Como un eterno agradecimiento a mis padres Emilia González y Raúl Trejo quienes son mis más grandes ejemplos en la vida por su perseverancia y optimismo ante las adversidades. Ustedes son los responsables de esta felicidad que hoy tengo la dicha de compartir.

A mis hermanos Juan Román y Karina que son un apoyo importante a todo momento. Este logro también es de Ustedes.

A la Universidad Nacional Autónoma de México que me permitió formarme como una persona honesta, responsable y comprometida con mi profesión.

Al M. en C. Eliseo Cantellano de Rosas a quien admiro y agradezco las enseñanzas brindadas, a Usted por hacerme posible emprender y terminar un gran anhelo profesional.

Al Dr. Horacio Tovalin que me permitió integrarme al proyecto de trabajo y de quien siempre obtuve el apoyo y las herramientas necesarias para terminar este trabajo.

A Ti que fuiste participe principal en esta culminación, reconozco que eres parte de este logro tan importante, a Ti que compartiste el inicio y final de este proyecto. Solo Tú sabes el esfuerzo y la dedicación que aquí se presenta.



Agradecimientos.

A quienes estoy agradecido por la oportunidad de conocerles y aprender mucho de Ustedes, los profesores Carlos Pérez, Roberto Cristóbal, Ezequiel Hernández, Nicté Ramírez, Judith Villavicencio, Elvia García y Bertha Peña.

A la profesora Ángeles Galván y al M. en C. Germán Calva quienes con sus aportes y experiencia académica enriquecieron de manera significativa este trabajo.

A quienes la vida nos unió en esta bella profesión. Esta culminación es una felicidad que quiero compartir con ustedes: Misael Aquino y César A. Gallardo. Las etapas terminan y sin embargo la amistad seguirá.



ÍNDICE.

RESUMEN	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
II.1. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA ZMVM.....	12
II.2. INDICADORES DE SALUD HUMANA.....	15
II.3. GEOMÁTICA Y ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS ESPACIALES.....	18
II.3.1. INTERPOLACIÓN ESPACIAL.....	23
II.4. UTILIZACIÓN DE SIG EN CONTAMINACIÓN Y SALUD.....	26
III. JUSTIFICACIÓN	28
IV. OBJETIVOS	28
IV.1. OBJETIVO GENERAL.....	28
IV.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	28
V. MATERIALES Y MÉTODO.....	29
V.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	29
V.2. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DIGITAL	33
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
VI.1. ANÁLISIS REGIONAL Y POR SITIO.....	38
VI.1.1 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	38
VI.1.2. INDICADORES DE SALUD EN PADRES.....	87
VI.1.3 INDICADORES DE SALUD EN NIÑOS.....	108
VI.2. INTERPOLACIÓN Y VISUALIZACIÓN ESPACIAL.....	129
VI.2.1 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	129
VI.2.2. INDICADORES DE SALUD EN PADRES.....	135
VI.2.3. INDICADORES DE SALUD EN NIÑOS.....	138
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	141
VIII. LITERATURA CITADA.	142



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. – 1. Mapa topográfico del área metropolitana de la Ciudad de México, indicando la expansión de 1910 al 2000	12
Figura. – 2. Etapas de evolución del estrés oxidativo	16
Figura. – 3. Ciencias que integran a la geomática.....	18
Figura. – 4. MDE que muestra la zona de estudio.	20
Figura. – 5. Visualización geográfica de los datos.....	34
Figura. – 6. Histograma de benceno en padres.	39
Figura. – 7. Diagrama de caja y bigote de benceno en niños.....	45
Figura. – 8. Diagrama de caja y bigote de ciclohexano en padres.....	49
Figura. – 9. Diagrama de caja y bigote de ciclohexano en niños.....	53
Figura. – 10. Histograma de limoneno en padres.	57
Figura. – 11. Diagrama de caja y bigote de limoneno en niños.....	61
Figura. – 12. Diagrama de caja y bigote de tolueno en padres.	65
Figura. – 13. Diagrama de caja y bigote de tolueno en niños.	69
Figura. – 14. Diagrama de caja y bigote de PM _{2.5} en padres.....	74
Figura. – 15. Diagrama de caja y bigote de PM _{2.5} en niños.	78
Figura. – 16. Diagrama de caja y bigote de ozono en padres.....	81
Figura. – 17. Diagrama de caja y bigote de ozono en niños.	85
Figura. – 18. Diagrama de caja y bigote de IL-6 en padres.	93
Figura. – 19. Diagrama de caja y bigote de ceruloplasmina en padres.	97
Figura. – 20. Diagrama de caja y bigote de glutatión peroxidasa en padres.	101
Figura. – 21. Diagrama de caja y bigote de nitritos en padres.	105
Figura. – 22. Diagrama de caja y bigote de IL-2 en niños.....	110
Figura. – 23. Diagrama de caja y bigote de IL-6 en niños.....	114
Figura. – 24. Diagrama de caja y bigote de grupos carbonilo en niños.....	118
Figura. – 25. Diagrama de caja y bigote de TBARs en niños.	122
Figura. – 26. Diagrama de caja y bigote de paraoxonasa en niños.....	126



ÍNDICE DE MAPAS

Mapa. – 1. Zona de Estudio con los tres sitios y los puntos de muestreos para padres y niños	29
Mapa. – 2. Ubicación geográfica de T0	30
Mapa. – 3. Ubicación geográfica de T1	31
Mapa. – 4. Ubicación geográfica de T2	31
Mapa. – 5. Polígonos editados	35
Mapa. – 6. Distribución espacial en la zona de estudio de benceno en padres.	38
Mapa. – 7. Distribución espacial de benceno en T0, base padres.	40
Mapa. – 8. Distribución espacial de benceno en T1, base padres.	41
Mapa. – 9. Distribución espacial de benceno en T2, base padres.	42
Mapa. – 10. Distribución espacial en la zona de estudio de benceno en niños.	44
Mapa. – 11. Distribución espacial de benceno en T0, base niños.	45
Mapa. – 12- Distribución espacial de benceno en T1, base niños.	46
Mapa. – 13. Distribución espacial de benceno en T2, base niños.	47
Mapa. – 14. Distribución espacial en la zona de estudio de ciclohexano en padres.	48
Mapa. – 15. Distribución espacial de ciclohexano en T0, base padres.	49
Mapa. – 16. Distribución espacial de ciclohexano en T1, base padres.	50
Mapa. – 17. Distribución espacial de ciclohexano en T2, base padres.	51
Mapa. – 18. Distribución espacial en la zona de estudio de ciclohexano en niños.	52
Mapa. – 19. Distribución espacial de ciclohexano en T0, base niños.	53
Mapa. – 20. Distribución espacial de ciclohexano en T1, base niños.	54
Mapa. – 21. Distribución espacial de ciclohexano en T2, base niños.	55
Mapa. – 22. Distribución espacial en la zona de estudio de limoneno en padres.	56
Mapa. – 23. Distribución espacial de limoneno en T0, base padres.	57
Mapa. – 24. Distribución espacial de limoneno en T1, base padres.	58
Mapa. – 25. Distribución espacial de limoneno en T2, base padres.	59
Mapa. – 26. Distribución espacial en la zona de estudio de limoneno en niños.	60
Mapa. – 27. Distribución espacial de limoneno en T0, base niños.	62
Mapa. – 28. Distribución espacial de limoneno en T1, base niños.	62
Mapa. – 29. Distribución espacial de limoneno en T2, base niños.	63
Mapa. – 30. Distribución espacial en la zona de estudio de tolueno en padres.	64
Mapa. – 31. Distribución espacial de tolueno en T0, base padres.	65
Mapa. – 32. Distribución espacial de tolueno en T1, base padres.	66
Mapa. – 33. Distribución espacial de tolueno en T2, base padres.	67
Mapa. – 34. Distribución espacial en la zona de estudio de tolueno en padres.	68
Mapa. – 35. Distribución espacial de tolueno en T0, base niños.	69
Mapa. – 36. Distribución espacial de tolueno en T1, base niños.	70
Mapa. – 37. Distribución espacial de tolueno en T2, base niños.	71
Mapa. – 38. Distribución espacial en la zona de estudio de PM _{2.5} en padres.	73
Mapa. – 39. Distribución espacial de PM _{2.5} en T0, base padres.	74
Mapa. – 40. Distribución espacial de PM _{2.5} en T1, base padres.	75
Mapa. – 41. Distribución espacial de PM _{2.5} en T2, base padres.	76
Mapa. – 42. Distribución espacial en la zona de estudio de PM _{2.5} en niño.	77
Mapa. – 43. Distribución espacial de PM _{2.5} en T0, base padres.	78
Mapa. – 44. Distribución espacial de PM _{2.5} en T1, base padres.	79
Mapa. – 45. Distribución espacial en la zona de estudio de ozono en padres.	80



Mapa. – 46. Distribución espacial de ozono en T0, base padres.	81
Mapa. – 47. Distribución espacial de ozono en T1, base padres.	82
Mapa. – 48. Distribución espacial de ozono en T2, base padres.	83
Mapa. – 49. Distribución espacial en la zona de estudio de ozono en niños.	84
Mapa. – 50. Distribución espacial de ozono en T0, base niños.	85
Mapa. – 51. Distribución espacial de ozono en T1, base niños.	86
Mapa. – 52. Distribución espacial en la zona de estudio de IL-2 en padres.	88
Mapa. – 53. Distribución espacial de IL-2 en T0, base padres.	89
Mapa. – 54. Distribución espacial de IL-2 en T1, base padres.	90
Mapa. – 55. Distribución espacial de IL-2 en T2, base padres.	91
Mapa. – 56. Distribución espacial en la zona de estudio de IL-6 en padres.	92
Mapa. – 57. Distribución espacial de IL-6 en T0, base padres.	93
Mapa. – 58. Distribución espacial de IL-6 en T1, base padres.	94
Mapa. – 59. Distribución espacial de IL-6 en T2, base padres.	95
Mapa. – 60. Distribución espacial en la zona de estudio de ceruloplasmina en padres.	96
Mapa. – 61. Distribución espacial de ceruloplasmina en T0, base padres.	97
Mapa. – 62. Distribución espacial de ceruloplasmina en T1, base padres.	98
Mapa. – 63. Distribución espacial de ceruloplasmina en T2, base padres.	99
Mapa. – 64. Distribución espacial en la zona de estudio de glutatión peroxidasa en padres.	100
Mapa. – 65. Distribución espacial de glutatión peroxidasa en T0, base padres.	101
Mapa. – 66. Distribución espacial de glutatión peroxidasa en T1, base padres.	102
Mapa. – 67. Distribución espacial de glutatión peroxidasa en T2, base padres.	103
Mapa. – 68. Distribución espacial en la zona de estudio de nitritos en padres.	104
Mapa. – 69. Distribución espacial de nitritos en T0, base padres.	105
Mapa. – 70. Distribución espacial de nitritos en T1, base padres.	106
Mapa. – 71. Distribución espacial de nitritos en T2, base padres.	107
Mapa. – 72. Distribución espacial en la zona de estudio de IL-2 en niños.	109
Mapa. – 73. Distribución espacial de IL-2 en T0, base niños.	110
Mapa. – 74. Distribución espacial de IL-2 en T1, base niños.	111
Mapa. – 75. Distribución espacial de IL-2 en T2, base niños.	112
Mapa. – 76. Distribución espacial en la zona de estudio de IL-6 en niños.	113
Mapa. – 77. Distribución espacial de IL-6 en T0, base niños.	114
Mapa. – 78. Distribución espacial de IL-6 en T1, base niños.	115
Mapa. – 79. Distribución espacial de IL-6 en T2, base niños.	116
Mapa. – 80. Distribución espacial en la zona de estudio de grupos carbonilo en niños.	117
Mapa. – 81. Distribución espacial de grupos carbonilo en T0, base niños.	118
Mapa. – 82. Distribución espacial de grupos carbonilo en T1, base niños.	119
Mapa. – 83. Distribución espacial de grupos carbonilo en T2, base niños.	120
Mapa. – 84. Distribución espacial en la zona de estudio de TBARs en niños.	121
Mapa. – 85. Distribución espacial de TBARs en T0, base niños.	122
Mapa. – 86. Distribución espacial de TBARs en T1, base niños.	123
Mapa. – 87. Distribución espacial de TBARs en T2, base niños.	124
Mapa. – 88. Distribución espacial en la zona de estudio de paraoxonasa en niños.	125
Mapa. – 89. Distribución espacial de paraoxonasa en T0, base niños.	126
Mapa. – 90. Distribución espacial de paraoxonasa en T1, base niños.	127
Mapa. – 91. Distribución espacial de paraoxonasa en T2, base niños.	128
Mapa. – 92. Modelación espacial de benceno, base padres.	129
Mapa. – 93. Modelación espacial de benceno, base niños.	129



Mapa. – 94. Modelación espacial de ciclohexano, base padres.....	130
Mapa. – 95. Modelación espacial de ciclohexano, base niños.	130
Mapa. – 96. Modelación espacial de limoneno, base padres.....	131
Mapa. – 97. Modelación espacial de limoneno, base niños.....	131
Mapa. – 98. Modelación espacial de tolueno, base padres.	132
Mapa. – 99. Modelación espacial de PM _{2,5} , base padres.	132
Mapa. – 100. Modelación espacial de ozono, base padre.	133
Mapa. – 101. Modelación espacial de ozono, base niños.	133
Mapa. – 102. Modelación espacial IL-2, base padres.	135
Mapa. – 103. Modelación espacial IL-6, base padres.	135
Mapa. – 104. Modelación espacial de ceruloplasmina, base padres.....	136
Mapa. – 105. Modelación espacial de glutatión peroxidasa, base padres.....	136
Mapa. – 106. Modelación espacial de nitritos, base padres.	137
Mapa. – 107. Modelación espacial de IL-6, base niños.....	138
Mapa. – 108. Modelación espacial de grupos carbonilo, base niños.	138
Mapa. – 109. Modelación espacial de TBARs, base niños.	139
Mapa. – 110. Modelación espacial de paraoxonasa, base niños.	139



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. – 1. Tipos de localización en el espacio geográfico.....	19
Tabla. – 2. Caracterización de los datos espaciales.....	19
Tabla. – 3. Ejemplos de diagramas del AED.....	22
Tabla. – 4. Contaminantes e Indicadores de Salud en las dos poblaciones de individuos.....	30
Tabla. – 5. Contaminantes e Indicadores de Salud en las dos poblaciones de individuos.....	32
Tabla. – 6. Características de los datos.	33
Tabla. – 7. Datos de la capa “División Política Estatal”.	34
Tabla. – 8. Datos de la imagen de satélite de Google Earth.	35
Tabla. – 9. Datos del MDE de INEGI.....	36
Tabla. – 10. Datos de la imagen de satélite de la NASA	37
Tabla. – 11. Secuencia de presentación de resultados del AEDE.....	37
Tabla. – 12. Análisis estadístico de COVs en padres.	39
Tabla. – 13. Análisis estadístico de COVs en niños.	43
Tabla. – 14. Análisis estadístico de PM _{2.5} en padres.....	72
Tabla. – 15. Análisis estadístico de PM _{2.5} en niños.....	77
Tabla. – 16. Análisis estadístico de ozono en padres.	80
Tabla. – 17. Análisis estadístico de ozono en niños.	84
Tabla. – 18. Análisis estadístico de indicadores de salud en padres.....	87
Tabla. – 19. Análisis estadístico de indicadores de salud en niños.	108



RESUMEN

El análisis espacial de la distribución de contaminantes atmosféricos es relevante para determinar sus efectos en la salud humana ya que los factores climáticos, la movilidad de las fuentes de contaminación y la exposición de la población varían de acuerdo a la ubicación geográfica. En este trabajo se realizó un Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) que integró el análisis de tendencia central y de dispersión, así como el análisis de distribución e interpolación espacial geoestadística.

Se emplearon los datos obtenidos en la campaña Área Metropolitana de la Ciudad de México-2006 (MCMA-2006) que formó parte del proyecto Iniciativa de Megaciudad Observaciones de Investigación Global y Local (MILAGRO) la cual incluyó tres sitios localizados de la ZMVM (T0 Delegación Iztapalapa, D.F.; T1 Municipio de Tecámac, Edo. de México y T2 Localidad San Pedro, Municipio de Zapotlán de Juárez, Edo. de Hidalgo). Se consideraron las concentraciones y niveles de actividad que producen los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), el Material Particulado (MP), el Ozono (O_3) e indicadores de salud humana. La estadística descriptiva se realizó con SPSS 15.0™, mientras que la generación de capas temáticas, estandarización de datos, uso de imágenes, mapas de distribución, semivariogramas, análisis de tendencias y modelación tridimensional se realizó con ArcView™ 3.2, GPS TracKMaker™ 13.1, Google Earth Pro™, Global Mapper 9™, Geoda 095i™ y ArcGIS 9.2™. La interpolación se realizó mediante el método kriging y el comportamiento de contaminantes atmosféricos e indicadores de salud se determinó mediante el grado de dependencia espacial.

Los resultados para benceno y tolueno manifestaron una diferencia de resultados respecto de padres y niños, los sitios de mayor exposición fueron T1 y T0, respectivamente. En $PM_{2.5}$ y O_3 indicaron que la mayor exposición fue en T0 para padres y niños, sin embargo sus concentraciones no sobrepasaron los límites que establece la NOM-025-SSA1-1993 y la NOM-020-SSA1-1993, respectivamente. Para los indicadores de salud humana se encontró que en padres los niveles de ceruloplasmina y glutatión peroxidasa fueron más elevados en T0, mientras que en nitritos los niveles máximos fueron similares en T0 y T1; para IL-2 e IL-6 las concentraciones de padres T1 y T0, y niños T1 indicaron mayor actividad; en glutatión peroxidasa T0 fue el sitio de mayor exposición; la actividad de paraoxonasa fue mayor en padres y niños T2. En cuanto a los grupos carbonilos y TBARS, T2 también presentó niveles mayores de actividad. La interpolación y visualización tridimensional mostró que en T1 padres y niños se dio la mayor área de exposición para benceno y O_3 ; en ciclohexano T1 padres mostró picos máximos de exposición, en niños se presentó un patrón similar pero con una gran fluctuación entre sitios; para limoneno T2 padres fue donde se concentraron los valores máximos y en niños el patrón espacial tendió a decrecer de T2, T1 y T0; en tolueno en padres tuvo una distribución similar a benceno, sin embargo, en niños se observó un patrón diferente encontrando que el área de mayor exposición fue en T2; para $PM_{2.5}$ en padres y niños la modelación mostró mayor área de exposición de T0 a T1. Los mapas de indicadores de salud mostraron que para IL-2 el sitio de mayor concentración fue T1 padres y niños; para IL-6, TBARS, paraoxonasa, ceruloplasmina y glutatión peroxidasa la mayor concentración ocurrió en T0 padres y T1 niños; el área de mayor exposición para nitritos fue en T2 y para los grupos carbonilos la exposición decreció de Norte a Sur.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



I. INTRODUCCIÓN

La sistematización y el almacenamiento digital de datos esenciales, resultados y parámetros de orden ambiental levantados en campo, depurados y generados actualmente son una práctica frecuente en trabajos científicos, por lo que los datos recabados son aprovechados en análisis interdisciplinarios a fin de encontrar conocimientos de mayores alcances en la búsqueda de soluciones integrales a los desequilibrios ambientales, y con ello producir y actualizar conocimientos confiables que son necesarios para proponer alternativas en la solución y/o atenuación de los graves y crecientes problemas de todo orden y particularmente el de la contaminación del aire, que aqueja al hombre afectando gradualmente su salud. Sin embargo, los datos existentes son pocas veces utilizados geográficamente a fin de generar resultados y conocimientos de mayor alcance y de mejores soluciones integrales a problemáticas ambientales que resultan necesarias en posibles propuestas, atenuaciones o soluciones particularmente, para este trabajo, de la contaminación atmosférica.

Es por ello que la geomática ha contribuido en la búsqueda de soluciones interdisciplinarias basadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG) utilizando datos que son resultado de múltiples investigaciones. De esta manera, una de las aplicaciones relevantes ha sido en la temática ambiental, que implica una gran cantidad y heterogeneidad de variables, en este sentido entre los resultados esperados se busca la obtención de tendencias espaciales de compuestos tóxicos y los procesos relacionados con la interacción sociedad-naturaleza. Los SIG ofrecen diversas ventajas como lo son la interpretación de mapas, fotografías aéreas, imágenes satelitales y bases de datos que adquieren un valor potencial una vez que se procesan bajo el enfoque espacial. Así, al estudiar los datos en diferentes escalas geográficas surgen correlaciones espaciales, locales y regionales, a través de la visualización; lo que permite describir y analizar distribuciones espaciales de contaminantes atmosféricos a lo largo de sitios de muestreo, como es el caso presente trabajo que incluye a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y sus alrededores como lugar de estudio.

El uso del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) se ha aplicado en múltiples áreas del conocimiento, sobre todo en aquellas que tiene que ver con análisis y comportamiento de fenómenos ambientales. La aplicación del AEDE a datos medioambientales proporciona modelos eficaces y consistentes de variabilidad de contaminantes atmosféricos. A medida que las ciudades de todo el mundo crecen rápidamente, estudios actuales describen que la contaminación atmosférica es lo suficientemente potente para afectar estados del tiempo, la salud de las personas y los ecosistemas en general. Se han realizado diversos estudios sobre contaminación ambiental en la ZMVM, sin embargo la mayoría sólo abordan la exposición personal en la población de la Ciudad de México, habiendo escasa información sobre la contribución de contaminantes atmosféricos emitidos que tienen efecto en regiones vecinas o áreas frontera.

Por lo anterior, en este trabajo se evaluaron las concentraciones de contaminantes atmosféricos y su distribución espacial, asociándolos a indicadores de salud humana. Se utilizaron bases de datos de mediciones de contaminantes atmosféricos e indicadores de salud a nivel personal, generadas durante la campaña Área Metropolitana de la Ciudad de México-2006 (MCMA-2006, por sus siglas en inglés) que formó parte del proyecto Iniciativa de Megaciudad: Observaciones de Investigación Global y Local (MILAGRO, por sus siglas en inglés). La metodología que integró un conjunto diverso de información de instituciones gubernamentales como la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y la National Aeronautics and Space Administration (NASA), entre otras; la cual fue integrada para su análisis exploratorio espacial y modelación espacial 3D.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I. REVISIÓN DE LITERATURA

II.1. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA ZMVM

Cerca de la mitad de la población (48%) de la ZMVM, en el año 2000 vivía en áreas urbanas y el número de habitantes urbanos se vislumbrara crecería en un 2% anual para las siguientes décadas. La población mundial se espera que crezca de 6.1 billones en el 2000 a 8.1 billones en el 2030, con el mayor crecimiento concentrado en áreas urbanas (de 2.9 a 4.9 billones) (Molina y Molina 2004). Esta concentración de gente y sus actividades tienen consecuencias en escalas urbana, regional, continental y global (Chow *et al.* 2002).

Megaciudad es un término general para ciudades con un área metropolitana reconocida usualmente con una población total que excede los 10 millones de habitantes. No hay una definición absoluta de sus fronteras de dónde empieza o dónde termina. La población de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), creció rápidamente, de 3 millones en 1950 a 18 millones en el 2000 y ocupó terrenos cada vez más lejanos del centro histórico. En la última mitad del siglo solamente, el área urbanizada de la región se incrementó 13 veces, de 118 Km² en 1940 a casi 1500 Km² para 1995 (figura 1). La ZMVM consiste de 16 delegaciones dentro del Distrito Federal, 37 municipalidades del Estado de México y partes del Estado de Hidalgo; algunas con poblaciones mayores a un millón, que hacen que el total de la población sea de aproximadamente 20 millones (Molina y Molina 2004). La gran densidad poblacional de la ZMVM, 35,000 industrias, 3.5 millones de vehículos, topografía compleja, y meteorología causan niveles altos de contaminación. Las montañas atrapan los contaminantes dentro de la cuenca, la alta elevación y la intensa luz solar también contribuyen a procesos fotoquímicos que crean Ozono (O₃) y otros contaminantes (Molina y Molina 2002).

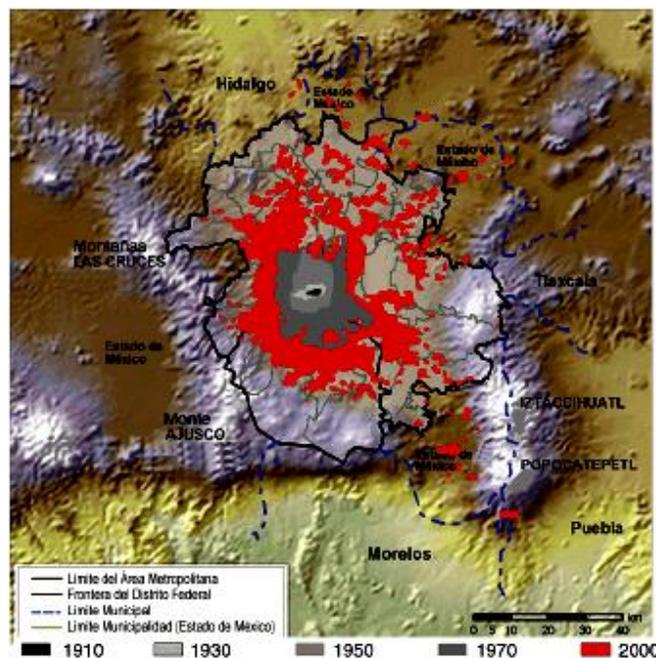


Figura. – 1. Mapa topográfico del área metropolitana de la Ciudad de México, indicando la expansión de 1910 al 2000 (Molina y Molina 2004).

Debido a la elevada altitud, el aire de la ZMVM contiene 23% menos oxígeno que en el nivel del mar, de esta manera las condiciones de exposición a contaminantes del aire son más adversas para la



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



salud a medida que se va subiendo la altura, fundamentalmente por la disminución en la presión barométrica que conlleva una disminución de la presión parcial de oxígeno. Otra problemática es la asociada a la dispersión regional y global de contaminantes generados localmente como el O₃ y el Material Particulado (MP) que se han incrementado debido a que según Molina y Molina (2004) su transporte a grandes distancias tiene influencia sobre la calidad del aire de otros sitios.

Las megaciudades crean islas de calor que también agravan la contaminación. Entre 1990 y 2000, la temperatura anual promedio en la Ciudad de México se incrementó de 14.8°C a 16.8°C (Molina y Molina 2004). Altas temperaturas ambientales incrementan el O₃ y la formación secundaria de MP. Así las megaciudades contienen elevadas concentraciones de MP; O₃; dióxido de azufre (SO₂); monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂); óxido nítrico (NO_x); monóxido de carbono (CO); Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs), e hidrocarburos (Decker *et al.* 2000). En la Ciudad de México y su zona conurbada, las concentraciones de contaminantes atmosféricos, como CO, SO₂, NO_x y plomo, han declinado durante la última década; sin embargo, las concentraciones de O₃ y partículas se han mantenido la mayoría de los días arriba de los máximos permisibles. La Secretaría del Medio Ambiente (SMA) reportó concentraciones de O₃ que rebasan la norma de 110 ppb durante varias horas al día en uno de cada tres días durante 2002; a la vez que las concentraciones de PM₁₀ rebasaron el estándar de 24 horas de 150 mg/m³, uno de cada siete días durante el mismo periodo (Tovalín y Stranberg 2007).

El deterioro en las condiciones ambientales urbanas puede tener serios efectos en la salud humana ya que estudios efectuados en todo el mundo han encontrado asociaciones entre la exposición a contaminantes atmosféricos que usualmente se encuentran en áreas urbanas con efectos adversos para la salud (Decker *et al.* 2000). Tovalín y Stranberg (2007) han reportado que para la ZMVM existen evidencias sobre los efectos en la salud de contaminantes atmosféricos, como son daños respiratorios y cardiovasculares.

El O₃ es un potente oxidante cuyo principal órgano blanco es el tracto respiratorio, en el cual puede inducir reducción de la función pulmonar, incremento de crisis de asma, además de mortalidad. El grado de exposición y el deterioro de la salud a este contaminante depende de su concentración y duración, clima, sensibilidad individual y enfermedades respiratorias pre-existentes (Krzyanowski *et al.* 1992). Las características dañinas del O₃ en cuestiones sobre salud se originan por su gran capacidad oxidante, propiedad que lo hace reaccionar con toda clase de sustancias orgánicas, puede penetrar tejidos de la región pulmonar pero la dosis máxima de contaminante la reciben las regiones bronquiales y alveolares. Los efectos típicos del O₃ son cambios en la función pulmonar precedidos por irritación de ojos y de las vías respiratorias (Molina y Molina 2002). Se ha observado que la exposición al O₃ causa inflamación en las vías respiratorias y una mayor susceptibilidad a infecciones (Castillejos *et al.* 2000; Gold *et al.* 1996).

El MP es una mezcla de partículas líquidas y sólidas suspendidas en el aire que difieren en tamaño, composición y origen. El MP se reporta como una concentración masiva del total de partículas suspendidas (TPS), PM₁₀, y PM_{2.5} (diámetros menores a 40, 10 y 2.5 µm). Los componentes químicos del MP son sulfatos (SO₄), nitratos (NO₃), amonio (NH₄⁺), carbón orgánico y suelo (minerales como Al, Si, Ca, Ti y Fe). El MP es determinante para la depositación en el sistema respiratorio. Es el principal contaminante producto de la quema de combustibles fósiles, en áreas urbanas, el MP primario consiste principalmente del carbón que es emitido por autos, camiones y equipo pesado y el material de las operaciones de molienda de construcción y de la metalurgia (Molina y Molina 2004). Se consideran como partículas inhalables las que tienen un diámetro igual o menor de 10 µm (Vallejo



et al. 2003). En cuanto al efecto de las partículas, existe una asociación entre su concentración en el aire urbano y un incremento de la mortalidad en niños y adultos (Loomis 1999). La exposición a concentraciones altas de partículas suspendidas por períodos breves en adultos mayores, niños y en pacientes con enfermedades cardiorrespiratorias y con asma, se han relacionado con un aumento de la mortalidad (Burnett *et al.* 1999).

Agregados a los contaminantes anteriores, en la atmósfera urbana existen múltiples compuestos orgánicos e inorgánicos que hasta el momento no son evaluados de forma periódica, existiendo datos limitados sobre sus concentraciones en diferentes sitios y microambientes (Tovalín y Stranberg 2007). Un número considerable de datos pertenecientes a estudios experimentales muestran que ciertos componentes orgánicos productos de la combustión de gasolina tienen la capacidad de provocar respuestas alérgicas e inflamatorias que son características del padecimiento de asma. Otros COVs provenientes de la volatilización de productos de limpieza, adhesivos y esmaltes, pueden ocasionar irritación de ojos, nariz y pulmones, dolor de cabeza, náuseas, vómito y síntomas de asma. La exposición a algunos COVs tales como el benceno y cloruro de vinilo puede causar cáncer (Nel *et al.* 2001). El tolueno es otro COV que se absorbe por vía respiratoria y una vez traspasada la membrana alveolar se distribuye por distintos tejidos, una parte absorbida es eliminada por la respiración pero el resto es metabolizado por el organismo, sin embargo se considera tóxico cuando se supera la exposición en un plazo de 3 a 7 horas, en concentraciones de 200 a 240 *ppm* (Aldazábal *et al.* 2005). La exposición aguda a tolueno produce manifestaciones a nivel del Sistema Nervioso central consistentes en estados de embriaguez, con gestión facial, vértigo, somnolencia, nerviosismo, euforia, confusión y pérdida de conocimiento, si la exposición se mantiene las lesiones llegan a ser irreversibles afectando la visión, dicción, audición, pérdida del control muscular y mental con cambios de conducta; en la piel provoca dermatitis; en el aparato digestivo provoca alteraciones que se manifiestan con náuseas, pérdida de apetito y vómitos (Aldazábal *et al.* 2005).

El deterioro en las condiciones ambientales urbanas puede tener serios efectos en la salud. Los contaminantes atmosféricos se vinculan con la exposición en ambientes interiores, exteriores y el patrón de actividad de los individuos. Sin embargo, desde el punto de vista toxicológico, no es únicamente la concentración de un contaminante lo que determina el efecto en el receptor, sino el efecto que se ha expuesto a tal contaminante (Molina y Molina 2002).

El proyecto MILAGRO se enfocó en las partículas de contaminación del aire que se generan dentro de la Ciudad de México a medida que el viento las desplaza. Se decidió realizar el proyecto en México porque es una de las tres ciudades más grandes y contaminadas del planeta. Además de encontrarse a una elevación considerable de 2, 225 *msnm*, la intensa luz solar favorece la mezcla de contaminantes del aire, y por la existencia de inventarios urbanos y monitoreos de calidad del aire confiables. Dentro del proyecto se llevó a cabo la campaña MCMA-2006 que estudió los procesos de generación de contaminantes en la ZMVM, su dispersión, transporte y transformación en la atmósfera; los patrones de exposición de la población a contaminantes y sus efectos en lo referente a la salud. Su objetivo fue establecer el diseño de políticas dirigidas a la mejora de la calidad del aire en la ZMVM.



II.2. INDICADORES DE SALUD HUMANA

En las últimas décadas se ha tomado conciencia sobre la magnitud del cambio del patrón epidemiológico de enfermedades a escala mundial. Una de las hipótesis más aceptadas, postula que modificaciones en la interacción del hombre con el ambiente serían responsables de estas variaciones (Bach 2002); en este contexto, una argumentación muy sólida se relaciona a la higiene y alteraciones en el entorno, que determinarían cambios sustanciales en la manera de reaccionar del sistema inmune (Tapia y Araya 2008). Se ha llegado a la conclusión que diversas patologías son originadas por los contaminantes atmosféricos, tales cuadros pueden ser agudos y de corta duración pero también pueden ser graves y acarrear la muerte por intoxicación y los de una evolución crónica de larga duración clínica como bronquitis, asma, cáncer, etc. (Gordillo 1989).

En el organismo se mantiene un proceso homeostático relacionado con el balance ácido-base y de óxido reducción; en éste, se preserva el equilibrio entre agentes oxidantes y antioxidantes. Los oxidantes representados por las especies reactivas del oxígeno (ERO), incluyen a los radicales libres de oxígeno y a las especies moleculares precursoras de los mismos (H_2O_2) (Olivares *et al.* 2006). Las ERO se generan por diversas fuentes, pueden ser endógenas, como la respiración mitocondrial o exógenas como la contaminación atmosférica (Torres-Ramos *et al.* 2006). Así, la pérdida del balance de óxido-reducción lleva a un estado de disfunción metabólica denominado estrés oxidativo, que es un proceso de daño celular que puede afectar a uno o a varios componentes de la célula y alterar sus funciones (Hicks *et al.* 2006).

Por su capacidad de inducir daño en múltiples objetivos a nivel intracelular, el estrés oxidativo ha sido involucrado en una variedad de patologías. Entre las patologías con las que se relaciona se incluyen las infecciosas, atribuyéndosele roles en la alta mortalidad del shock endotóxico, incluyendo inflamación, ulceración y carcinogénesis, y como factor contribuyente al desarrollo de la malaria. Se considera mediador del daño vascular de enfermedades cardiovasculares como hipertensión y aterosclerosis. Su presencia se asocia también con varios tumores, como próstata, cuello uterino, ovario y de hígado (Tapia y Araya 2006).

Con el fin de considerar la intensidad y el grado de afectación en la salud, el proceso de estrés oxidativo se divide en tres niveles de intensidad tomando en consideración las características del daño estructural y funcional ejercido como consecuencia del tiempo de exposición y la evidencia concomitante de modificaciones en los procesos biológicos afectados (figura 2). Así, la adaptación es la respuesta celular del organismo para equilibrar por medio de activaciones enzimáticas la sobreproducción de especies reactivas que ya han superado a los sistemas antioxidantes, el resultado de la adaptación es una protección parcial o total contra el daño. El daño agudo está asociado al nivel celular y produce alteraciones en la homeostasis del cuerpo. Debido a que el daño crónico es mediado por el radical hidroxilo ($HO\cdot$), se presenta rompimiento o modificación de biomoléculas con la consecuente generación de productos de oxidación, propagándose el daño celular y finalmente necrosis y apoptosis (Hicks *et al.* 2006). Además patologías como asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, diabetes mellitus, y el síndrome de Alzheimer están asociados al estrés oxidativo (Torres-Ramos *et al.* 2006). En este sentido se ha especulado la influencia que podrían ejercer los polucionantes ambientales en la patología del asma bronquial tanto del niño como del adulto, numerosas evidencias clínicas así como diversas observaciones al respecto confirman que de algún modo la contaminación atmosférica tiene que ver con el desencadenamiento del asma infantil, entre

otras, la coincidencia en las épocas de mayor contaminación con el aumento en el número de las crisis de asma y la agravación de los niños que lo sufren crónicamente (Gordillo, 1989).

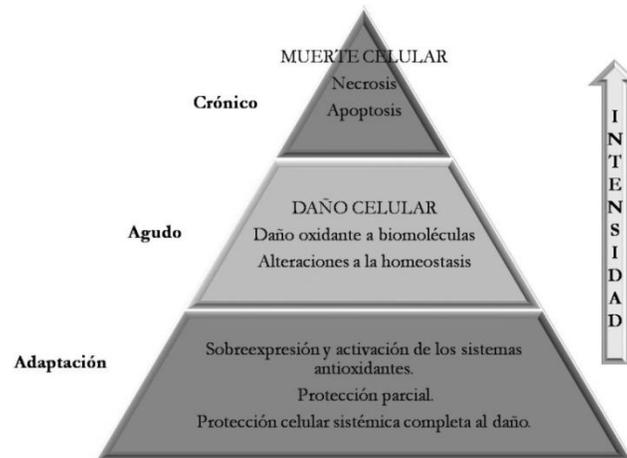


Figura. – 2. Etapas de evolución del estrés oxidativo (Elaboración propia a partir de Hicks *et al.*, 2006).

Los contaminantes atmosféricos como el O_3 , el MP, humo de tabaco y radiaciones, son potentes oxidantes que generan radicales libres, compuestos de gran reactividad al contar con un orbital electrónico no apareado que lo hace muy inestable y, por lo tanto, muy reactivo, tanto que pueden dañar diferentes tejidos del organismo (Sohal 1993). Los principales radicales libres producidos por los oxidantes ambientales son los radicales superóxido (O_2^-), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), radicales peróxido (ROO^\cdot) y el radical hidroxilo (OH^\cdot) (Hicks *et al.* 1996). Además, los radicales libres provocan un amplio espectro de daños celulares incluyendo la inactivación de enzimas, la peroxidación de lípidos, la oxidación de proteínas y lipoproteínas (Ji 1995).

En respuesta a esta agresión el organismo tiene una serie de defensas antioxidantes, que incluyen enzimas y compuestos antioxidantes como la paraoxonasa, glutatión peroxidasa (GPx), ceruloplasmina, interleucinas (IL) y óxido nítrico, que protegen a los diferentes elementos celulares del daño oxidativo. La paraoxonasa es una enzima que impide el proceso de lipoperoxidación impidiendo el daño oxidante en plasma, si se encuentra reducida o inhibida reduce su capacidad de captación del colesterol (Torres-Ramos *et al.* 2006).

La enzima GPx es una enzima de importancia para la célula debido a su participación en la eliminación de especies reactivas del oxígeno, en las transformaciones de especies reactivas del oxígeno, catalizando la reducción del peróxido o lipoperóxido, para lo cual utiliza como agente reductor al glutatión reducido, además desempeña un importante papel en la defensa antioxidante por su localización en todos los órganos y tejidos, como parte del sistema antioxidante del glutatión, por lo que está involucrada en la fisiopatología de varias enfermedades. Así, la alteración de la actividad de la GPx provoca un aumento de los niveles de lipoperóxidos (Cisneros *et al.* 1997).

La ceruloplasmina es una proteína que contiene cobre y cumple con una función antioxidante en general. El transporte plasmático del cobre está a cargo, principalmente, de la ceruloplasmina y una fracción circula unida a una serie de proteínas más pequeñas, entre las que destaca la albúmina (Tapia y Araya 2006). En lo referente a daño por cobre, la exposición a un exceso del metal tiene dos tipos de efectos: los resultantes de su acumulación en el hígado, que lleva eventualmente a daño hepático grave, cirrosis e insuficiencia hepática (O'Donohue *et al.* 1993), y los resultantes de su depósito y



acción sobre el sistema nervioso central. Por ejemplo, su presencia se asocia a la neurotoxicidad del péptido β amiloide en la enfermedad de Alzheimer, produciéndose daño neuronal mediado por estrés oxidativo (Dikalov *et al.* 2004).

Otra forma de conocer el grado de daño causado por los oxidantes y los radicales libres producidos, es la medición del nivel de daño en lípidos y proteínas por medio de la determinación de grupos carbonilos y de las Sustancias Reactivas de Ácido Tiobarbitúrico (TBARs) las cuales son un marcador de daño a lípidos en donde se lleva a cabo el rompimiento de ácidos grasos insaturados que conforman membranas (lipoperoxidación), que genera como productos finales diversos aldehídos (Torres-Ramos *et al.* 2006).

Dado que el estrés oxidativo puede causar inflamación también es conveniente medir los niveles de las interleucinas, proteínas que intervienen en dicho proceso (Medina *et al.* 1997; Bathia 2003). La comunicación entre células inmunes e inflamatorias es mediada en gran parte por las proteínas interleucinas (IL), que promueven crecimiento, diferenciación y activación celular (Hernández-Urzúa y Navarro 2001). Sus actividades biológicas son diversas, incluyendo la inducción de la síntesis de proteínas de fase aguda, producción de inmunoglobulinas, proliferación y diferenciación de células T, además es considerada un regulador en la respuesta proteica en la fase aguda de la inflamación, y sus concentraciones se han demostrado elevadas en procesos de enfermedades autoinmunes (Ichiyama *et al.* 1997).

El daño sobre aminoácidos determina alteraciones en la conformación de la proteína y su función y la pérdida de función cambia o frena procesos celulares. La oxidación proteica puede estimarse por los grupos carbonilos, que derivan de la oxidación directa de cadenas laterales de aminoácidos y de la ruptura oxidativa de proteínas. Los carbonilos son aparentemente difíciles de inducir y pueden, por lo tanto, indicar estrés oxidativo más severo, su nivel elevado de exposición puede surgir como resultado del ataque directo de radicales; la interacción con metales en transición y la formación de productos de la liperoxidación (Torres-Ramos *et al.* 2006).

Investigaciones recientes en pacientes con hipertensión arterial (HTA) evidencian una situación de estrés oxidativo, con incremento de la concentración sanguínea de TBARs, como indicador de peroxidación lipídica y reducción de las actividades antioxidantes de enzimas como el glutatión peroxidasa, en sangre total (Oré *et al.* 2007).

II.3. GEOMÁTICA Y ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS ESPACIALES

La geomática es un campo de actividades que usando una aproximación sistémica integra medios para adquirir y manejar datos espaciales requeridos como parte de actividades científicas, administrativas, legales y técnicas, que se encargan de la producción y manejo de información espacial. Una de las fortalezas que posee la geomática está referida a la capacidad de combinar información de diferentes fuentes, la cual es capaz de generar información que en principio no se dispone con facilidad (Mena y Montecinos 2006).

La geomática maneja datos espaciales y hace una representación del mundo usando un método sistemático que integra mediciones, análisis, manejo, almacenamiento y despliegue de descripciones y localizaciones de datos geoespaciales o terrestres para el apoyo de actividades científicas. Su dominio de conocimiento se da con base a la convergencia de múltiples disciplinas (figura 3).



Figura. – 3. Ciencias que integran a la geomática (Elaboración propia).

Un SIG es una colección organizada de hardware, software y datos geográficos diseñados para una eficiente captura, almacenamiento, integración, actualización, modificación, análisis espacial, y despliegue de todo tipo de información geográficamente referenciada. El SIG funciona como una base de datos con información geográfica que se encuentra asociada a objetos gráficos dentro de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, con un registro de la base de datos se puede saber su localización geográfica (Longley *et al.* 1998). El análisis de la información se mejora debido a la capacidad de los SIG para manejar grandes volúmenes de datos aportando el valor añadido de la visualización espacial.

Así los SIG ofrecen elementos para la planeación y la toma de decisiones en torno a problemas relacionados espacialmente, característica útil por la cantidad y complejidad de la información que se genera en estudios científicos, y también por su capacidad de analizar datos y correlacionarlos con varias fuentes de información espacial, como mapas, fotografías aéreas, imágenes de satélite, para integrarlas eficientemente. Otro atributo, es que permite separar la información en diferentes capas temáticas almacenándolas de manera independiente, facilitando así relacionar información existente con el fin de generar nuevas capas de información (Bocco 2000).

Los programas de SIG han avanzado de manera significativa en los últimos años, se ha incrementado considerablemente la cantidad de funciones para el manejo y procesamiento de datos; y se han incorporado funciones antes consideradas de alta complejidad. Entre los SIG comerciales disponibles actualmente, se destacan ArcView™, ArcGIS™, MapInfo™, Maptitude™, Idrisi™ y Geomedia™, siendo ArcView™ y MapInfo™ los más utilizados en estudios epidemiológicos y aplicaciones de salud pública (Longley *et al.* 1998).

El espacio geográfico es una realidad de naturaleza compleja y distribución continua imposible de manejar sin realizar abstracciones encaminadas a reducir o dividir tal continuidad en entidades numéricas discretas, observables y medibles matemáticamente (Coro 2003a). El dato espacial se define como la observación de una variable asociada a una localización del espacio geográfico, esta localización es expresada mediante tres tipos de objetos espaciales: puntos, líneas y polígonos (tabla 1).

Puntos. Son determinados por coordenadas terrestres de longitud y latitud, pueden representar cualquier atributo que pueda ser asignado en mapas (ciudades, escuelas, etc.).	
Líneas. Se emplean para representar a objetos abiertos que cubren una distancia dada y comunican varios puntos (ríos, carreteras, fronteras, etc.).	
Polígonos. Figuras planas conectadas por distintas líneas u objetos cerrados que cubren un área determinada (países, estados, etc.).	

Tabla. – 1. Tipos de localización en el espacio geográfico (Elaboración propia a partir de Coro 2003a).

Además, los datos espaciales se caracterizan por su naturaleza georreferenciada, multidireccional y multidimensional (tabla 2).

Georreferenciación. Pone de manifiesto la posición relativa o absoluta de cualquier elemento sobre el espacio. La localización debe considerarse explícitamente en cualquier análisis.
Multidireccionalidad. Emerge en situaciones de dependencia o interacción espacial. La primera ley de la geografía de Tobler (1979) indica que “todo tiene que ver con todo, pero las cosas cercanas están más relacionadas entre sí que las cosas lejanas”.
Multidimensionalidad. En las áreas geográficas no es posible distinguir entre pasado, presente o futuro.

Tabla. – 2. Caracterización de los datos espaciales (Elaboración propia a partir de Coro 2003a).

No existe una manera única de incorporación y almacenamiento de datos. Las formas varían según el tipo de datos, los resultados deseados y el software disponible. Básicamente se emplean dos modos de representación de datos espaciales: ráster y vector.

Uno de los elementos básicos de tipo ráster que hace una representación digital de la superficie terrestre es el Modelo de Elevación Digital (MDE), éste es un conjunto de mapas que presentan distintas características de la superficie terrestre que derivan de un mapa de elevaciones. A partir de un MDE es posible obtener pendientes, exposiciones y otras variables asociadas a la modelación hidrológica, entre otras (figura 4).

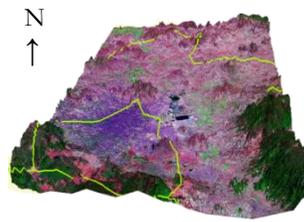


Figura. – 4. MDE que muestra la zona de estudio.

El formato vectorial es un modelo donde los objetos espaciales se representan de tal manera que al definir sus fronteras, se establece el límite entre el entorno y el objeto en cuestión. Las líneas frontera son representadas mediante coordenadas cartesianas de vértices, que delimitan los segmentos rectos que la forman, la estructura vectorial permite la generación de relaciones topológicas del entorno (ESRI 2003).

Al emplear el modo vector cada característica geográfica es representada por puntos, líneas y polígonos, que están definidos por un par de coordenadas X y Y referenciadas en un sistema cartográfico determinado (latitud/longitud), y los atributos de tales características geográficas están almacenados en una base de datos independiente (ESRI 2003). Este tipo de datos son apropiados para registrar la ubicación de formas geográficas discretas, con localizaciones precisas, como calles, ríos, límites fronterizos, etc. (Coro 2003a).

Dentro de la información vectorial se integran tres archivos asociados a las extensiones *shp*, *shx* y *dbf*. La base de datos almacenada en el archivo *dbf* puede ser analizada y manipulada de manera independiente en hojas de cálculo. Ésta es una de las razones por las que se decidió homogenizar la información en formato *shp* para el trabajo propuesto en esta tesis.

La proyección es una red de paralelos y meridianos sobre la cual se traza un mapa, para el trazo de las proyecciones actualmente se emplean cálculos matemáticos muy precisos, provenientes de las sombras de los paralelos y meridianos de una esfera sobre una superficie que puede convertirse en plana sin deformaciones, es decir, la distribución de la información es lo más fielmente representada en un mapa digital plano. Entre las más usuales destaca la Universal Transversal of Mercator (UTM), la Ortográfica Oblicua, la Globular, la Cónica simple, entre otras (INEGI 2002).

La escala es un elemento base de un mapa, éste es una imagen reducida del área que representa, donde todos los elementos que lo integran están en la misma proporción. Así en los diferentes tipos de representaciones geográficas, aparecen cifras que señalan el valor de la escala utilizada en su composición, por ejemplo 1:100 000, denota una reducción a la cienmilésima parte de la superficie reproducida, lo que resulta igual a un decir que un metro de longitud en ese mapa representa 100 000 metros de longitud verdadera.

El *datum* es un conjunto de parámetros que definen un sistema de coordenadas y un conjunto de puntos cuyas relaciones geométricas son conocidas a través de cálculos basados en un esferoide. Un *datum* horizontal proporciona una estructura de referencia para medir locaciones sobre la superficie terrestre, y define el origen y orientación de las líneas de latitud y longitud. Como la Tierra es un esferoide y no una esfera perfecta, un *datum* está delimitado en exactitud a un área finita alrededor de ese punto de origen. Por la latitud donde se ubica el D.F., los *datum* más precisos de usar son el Nort



American Datum 1927 (NAD27) y el World Geodetic System propuesto y revisado en 1984 (WGS84) (ESRI 1998).

La aplicación de las herramientas de análisis espacial y los SIG hacen posible la obtención y tratamiento estadístico de una gran variedad de datos geográficos a diferentes escalas y ámbitos territoriales.

El origen del AEDE se encuentra en el Análisis Exploratorio de Datos (AED), que se define como el conjunto de herramientas gráficas y descriptivas utilizadas para el descubrimiento de patrones de comportamiento en los datos y el establecimiento de hipótesis con la menor estructura posible (Tukey 1977). El AED proporciona métodos sistemáticos para preparar y organizar datos, detectar fallos en su captura, tratamiento y evaluación de campos vacíos, identificación de casos atípicos (outliers) y comprobación de supuestos subyacentes, los cuales son requeridos en la mayor parte de las técnicas multivariantes (normalidad, linealidad, etc.).

La finalidad del AED es examinar los datos previamente a la aplicación de cualquier técnica estadística. De esta forma se consigue un entendimiento básico de los datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas. En AED se estudian los datos del muestreo sin tener en cuenta su distribución geográfica (Figueras y Gargallo 2003).

El AED, a diferencia de los contrastes de hipótesis tradicionales diseñados para la verificación *a priori* de conexiones entre variables, se utiliza para identificar relaciones sistemáticas entre variables cuando no existen expectativas claras sobre la naturaleza de estas relaciones (Coro 2003a). Por lo que, las técnicas empleadas están acompañadas de métodos de visualización gráfica capaces de identificar conexiones, tendencias o sesgos presentes en las bases de datos. Una de las técnicas más conocidas es el *cepillado*, un método interactivo que permite la selección de un determinado número de datos para la identificación de características comunes o el examen de efectos o relaciones entre variables relevantes. Estas relaciones entre variables son visualizadas mediante el ajuste de funciones (líneas, en un plano de dos dimensiones o superficies tridimensionales) y sus intervalos de confianza, de forma que, por ejemplo, puedan examinarse los cambios que producen sobre dichas funciones la eliminación o añadido (temporal) de un determinado número de datos (Coro 2003b).

Otras técnicas gráficas del AED incluyen el ajuste y representación gráfica de funciones, alisado de datos, superposición o fusión de múltiples capas de información o “vistas”, añadido de datos en gráficos, identificación y señalización de subconjuntos de datos que cumplen determinadas condiciones, representación gráfica de intervalos o áreas de confianza, técnicas de reducción de imágenes, etc.

La exploración de los datos es sólo un paso inicial y sus resultados deben ser considerados como una etapa previa a su “confirmación” (modelización). Si los resultados de la fase exploratoria sugieren la utilización de un modelo determinado, entonces su validación puede verificarse aplicando dicho modelo a un nuevo conjunto de datos y contrastando el ajuste, es decir, su capacidad predictiva. Es decir, los métodos de AED hacen hincapié en la interacción de gráficos estadísticos dinámicos como los histogramas, diagramas de caja (box plot) o los diagramas de dispersión matricial (scatterplot matrices) (tabla 3), que permiten al usuario la manipulación directa de diversas “vistas” de los datos (Coro 2003b).



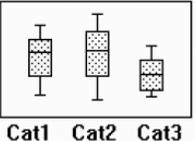
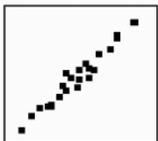
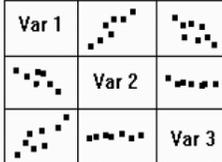
Diagrama de Caja (box-plot)	Gráfico q-q (para una distribución normal)	Diagrama de dispersión matricial (scatterplot matrix)
 <p>Cat1 Cat2 Cat3 Variable de categoría</p>	<p>Valor normal esperado</p>  <p>Variable</p>	 <p>Var 1 Var 2 Var 3</p>

Tabla. – 3. Ejemplos de diagramas del AED (Elaboración propia a partir de Coro 2003a).

Sin embargo, en el AED el tratamiento de los datos se reduce prácticamente a la localización de un plano de coordenadas X-Y (Coro 2003b). El AED es una técnica no espacial, que no considera simultáneamente, el aspecto espacial y el puramente temático de un dato geográfico; se puede decir que es más adecuado para describir el aspecto temático, pero resulta insuficiente para tratar la complejidad de datos geográficos. Para resolver esta deficiencia se ha planteado el desarrollo del AEDE que al combinar el análisis estadístico con el gráfico, haciendo posible el estudio de variables, su tendencia, valores extremos y esquemas de asociación espacial y concentración espacial. En el AEDE se combinan procedimientos numéricos y gráficos, que facilitan la observación simultánea del espacio geográfico, a través de mapas, y del espacio matemático de las diferentes variables temáticas (Bosque y García 2000). Además, el AEDE ha sido diseñado para el procedimiento específico de datos espaciales o geográficos y se utiliza para identificar relaciones sistemáticas entre variables de distribución geográfica cuando no existen expectativas claras sobre la naturaleza de estas relaciones (Coro 2003b).

El AEDE es el grupo de herramientas estadístico-gráficas que describen y visualizan distribuciones espaciales, identificando localizaciones atípicas, descubriendo formas de asociación (autocorrelación espacial) globales o locales, que sugieren estructuras en el espacio geográfico (heterogeneidad espacial) (Coro 2003b). Anselin (1999) define al AEDE como un conjunto de técnicas que describen y visualizan distribuciones espaciales, identifican localizaciones atípicas o (spatial outliers), descubren esquemas de asociación espacial, agrupamientos (clusters) o puntos calientes (hot spots), sugieren estructuras espaciales u otras formas de heterogeneidad espacial. Además, permite investigar gráficamente datos para una mejor comprensión visual. El AEDE, integra la unión de dos tecnologías informáticas como los SIG y los paquetes estadísticos propios del análisis de datos espaciales (Coro 2003b). Dando lugar a una visualización científica sobre los efectos espaciales de dependencia y heterogeneidad que une un amplio marco de vistas múltiples y dinámicas sobre la información geográfica (Haining *et al.* 2000). El AEDE puede ser aplicado desde perspectivas univariantes o multivariantes, de este modo, es posible obtener una estructura explicativa de datos a través de técnicas que combinan herramientas de estadística básica (descriptivas, correlaciones, tablas de frecuencias o de correlación cruzada) con un análisis multivariante avanzado y especialmente diseñado para identificar formas en extensas bases de datos (análisis cluster, escalas multidimensionales, análisis de correspondencias, árboles de clasificación, etc.).

Según Cressie (1993) el AEDE puede ser abordado desde dos puntos de vista, según que se trate de un análisis desarrollado por la geoestadística o por la econometría espacial. El objeto del análisis geoestadístico se encuentra, por lo general, en el entorno de las ciencias medioambientales (física, geología, hidrología, etc.) y se centra en una muestra de datos puntuales procedentes de distribuciones geográficas continuas (por ejemplo, precipitación atmosférica, humedad de la tierra,



altura del océano, etc.). Por su parte, la econometría espacial analiza localizaciones geográficas discretas de puntos o polígonos (provincias, municipios, etc.). Es lo que se denomina perspectiva de retícula o “lattice”, y se encuentra mucho más centrado en el análisis de los fenómenos socioeconómicos (distribución de la renta, clientes, votantes, etc.).

En los últimos años, se han propuesto gran cantidad de métodos gráficos para el AEDE aunque, como ponen de manifiesto Haining *et al.* (2000) existen pocos estudios que valoren la utilidad y efectividad de todos ellos. Según Tukey (1977) un buen método gráfico de AEDE es aquél capaz de analizar y representar dos características fundamentales en toda distribución espacial: tendencia y puntos atípicos. En el ámbito de las variables geográficas, la tendencia es de carácter geográfico y tiene un sentido global, es decir, referido a todo el mapa (y no a una parte del mismo). En cuanto a los atípicos espaciales (“spatial outliers”), se trata de especiales concentraciones de datos cuyo valor se encuentra a cierta distancia de la tendencia general (mediana): por ejemplo, bajo/sobre el primer/tercer cuartil de un diagrama de caja. Esta propiedad tiene un carácter local, pues suele producirse en determinadas zonas del mapa general, normalmente en forma de agrupaciones (o “clusters”) de valores muy altos/bajos comparativamente con el entorno.

II.3.1. INTERPOLACIÓN ESPACIAL

La información espacial proveniente de bases de datos asociadas a un SIG, actualmente es usada en forma creciente en la modelación de contaminantes atmosféricos (Kyriakidis y Dungan 2001). En este proceso de análisis se emplean algoritmos de interpolación espacial.

La exactitud de los resultados obtenidos por interpolación está asociada principalmente a las estrategias de muestreo y al cumplimiento de supuestos estadísticos de los modelos utilizados, en especial aquellos relacionados con la estructura espacial de los atributos en estudio. Estos aspectos comúnmente son tratados a través del AED, cuyo objetivo es describir las características globales del conjunto de datos y detectar patrones de regularidad espacial (Kitanidis 1997).

El AED permite detectar problemas de representatividad en el muestreo, describir la existencia de dependencia espacial en los datos, ajustar un modelo de representación de esta dependencia y estimar el error asociado antes de aplicar un algoritmo de interpolación espacial. Para ello se han desarrollado diversas herramientas como las descripciones estadísticas básicas del ámbito univariado, análisis gráficos y descripciones espaciales basadas en el estudio de la covarianza, semivarianza y autocorrelación espacial (Isaaks y Srivastava 1989). Es importante destacar que la realización de una interpolación espacial, con un análisis estadístico exploratorio previo, permite asegurar la calidad de los resultados obtenidos.

Así la interpolación espacial es un procedimiento matemático utilizado para predecir el valor de un atributo en una localidad precisa a partir de valores obtenidos de puntos vecinos, ubicados al interior de la misma área de estudio. La interpolación se utiliza para transformar un número finito de observaciones en un espacio continuo de manera que su patrón espacial sea comparable con aquel presentado por las observaciones puntuales de base (Burrough y McDonnell 1998). La hipótesis básica de la interpolación espacial es la observación común que, en promedio, da valores a un atributo dentro de una vecindad en el espacio tienen una fuerte probabilidad de ser similares



(variables regionalizadas y dependencia espacial) y que esta probabilidad disminuye respecto a valores de una vecindad separados por una gran distancia (ESRI 2003).

En cualquier trabajo geoestadístico, el principal objetivo es la caracterización de variables en todas las localizaciones partiendo de la información suministrada por puntos muestrales. Los métodos de estimación geoestadística son conocidos como kriging. Entre las principales características que hacen del kriging un método de estimación superior a los tradicionales, como el inverso ponderado de la distancia (IDW), la triangulación, etc., son que mientras que los métodos tradicionales utilizan el concepto euclidiano de la distancia para el cálculo de los pesos que se aplicarán a cada dato muestral, el kriging considera tanto la distancia como la geometría de la localización de las muestras y minimiza la varianza del error esperado (diferencia entre el valor real y el estimado). Como el valor real en un punto no muestral es desconocido, el método emplea un modelo conceptual con una función aleatoria asociada a los valores reales; los métodos geoestadísticos muestran una gran flexibilidad para la interpolación, pudiéndose estimar valores puntuales o en bloques, así como métodos para incorporar información secundaria que esté relacionada con la variable principal (Moral 2004).

Así el método geoestadístico kriging, describe la correlación espacio-temporal que existe entre los valores de un atributo. En la estadística clásica, se manejan variables independientes, donde se asume cero continuidad (correlación) entre los datos; mientras que kriging asume que los datos están correlacionados y que esta continuidad se puede medir para puntos, bloques o volúmenes; se utiliza el concepto de variable regional que describe fenómenos o atributos con una distribución geográfica y con una cierta continuidad espacial. El objetivo principal en la aplicación de interpolación es la predicción en un punto o en un conjunto de puntos de la región observada (ESRI 2003). Es un análisis previo de la autocorrelación espacial de la variable a interpolar que se basa en el semivariograma como instrumento de representación esquemática de la variabilidad espacial y se obtiene mediante una combinación lineal ponderada de los valores de la altura (Z) en los puntos muestrales (Bosque 2001). El procedimiento utilizando el método kriging se basa en las siguientes etapas (Bosque 1992).

1. Se obtiene el semivariograma. En el eje X, la distancia (h), entre puntos muestrales en una dirección concreta del plano, y en el eje (Y), una medida de la variabilidad: $\gamma(h)$, de la altura (Z) en el conjunto de puntos muestrales que están separados un valor concreto (h) de la distancia. Una vez hallado el semivariograma empírico de la variable a interpolar, se calcula una función que ajusta de modo adecuado dicho semivariograma: $\gamma(h)$, que puede ser esférico, exponencial o lineal. A continuación se puede proceder a calcular las ponderaciones W_{xj} .

2. Las ponderaciones obtenidas, son diferentes para cada punto calculado y por lo tanto, en cada uno de ellos es preciso calcular la matriz de soluciones W, que es específica para cada punto interpolado. Una vez calculadas las ponderaciones de cada lugar, se puede obtener la interpolación en ése punto mediante la ecuación:

$$Z_x = \sum_j W_{xj} \cdot Z_j$$

Siendo W_{xj} la matriz de ponderaciones calculada para el punto de cálculo x y z_j el valor de la altura en el punto de la muestra j.

El semivariograma es la representación de la semivarianza, que a su vez es una medida del grado de dependencia espacial entre los puntos y se define como la suma de las diferencias ajustadas entre todos los pares posibles de puntos que estén separados por una distancia prefijada. El análisis



geoestadístico mediante el uso de los semivariogramas, permite identificar la presencia o no de dependencia espacial, el rango de la dependencia espacial, la distancia óptima de muestreo y el tamaño óptimo del área a muestrear para diferentes características. En un semivariograma ideal, la semivarianza crece con la distancia entre las muestras, hasta alcanzar una distancia “a” denominada rango, un valor constante igual a la varianza. Este rango es la distancia dentro de la cual existe dependencia espacial (Burrough y McDonnel 1998). En ciertos casos, los semivariogramas muestran un patrón ascendente, que puede deberse al aumento de la semivarianza con la distancia (en el caso que exista una estacionalidad del promedio) o, en casos de falta de estacionalidad del promedio, es el reflejo de una tendencia a la variación continua en el espacio de la propiedad estudiada. Así, el semivariograma representa la tasa media de cambio de una propiedad con la distancia. El hecho de que dos observaciones próximas sean más parecidas que si estuvieran más separadas se refleja en el mismo concepto del variograma. La dependencia espacial disminuye a medida que se incrementa la distancia, h , y finaliza a una cierta distancia, el rango. Más allá del rango, la tasa media de cambio es independiente de la separación entre las observaciones (Moral 2004).



II.4. UTILIZACIÓN DE SIG EN CONTAMINACIÓN Y SALUD

Como ya se mencionó, los SIG permiten ingresar, almacenar, editar y analizar datos geográficos, su propósito es convertir datos en información apta para la toma de decisiones. Una vez alcanzado este objetivo, los SIG permiten presentar la información obtenida en forma de mapas y otras bases de datos; así el elemento esencial de un SIG es su capacidad analítica (Bocco 2007). Como herramienta de trabajo permiten ubicar y correlacionar los elementos que actúan en una región determinada. Así en la rama de la salud desempeñan una función importante por la diversidad de temáticas que se posee y que es necesario representar en series de mapas para luego poder interactuar unos con otros y complementar el análisis espacio-temporal de los eventos de salud que acontecen en el territorio (Cuellar *et al.* 1999).

A partir de los años noventa y hasta la actualidad, los SIG se han introducido en el campo de las investigaciones en salud, y se reconoce internacionalmente su utilidad para el incremento de la efectividad y eficiencia de diferentes programas, en especial los procesos de focalización y estratificación espacial y otras actividades encaminadas a la racionalidad del uso de los limitados recursos del sector salud, en la mayoría de los países latinoamericanos. De esta forma los SIG son una tecnología que facilita el procesamiento de información, análisis y toma de decisiones en salud pública, denominados en ocasiones como sistemas de información geográfica en salud (SIGSA) y sistema de información geográfica en epidemiología (SigEpi); en este último caso se identifican como fundamentales aplicaciones a la determinación de la situación de salud en un área, la generación y análisis de hipótesis de investigación, la identificación de grupos de alto riesgo para la salud, la planeación y programación de actividades, el monitoreo y la evaluación de intervenciones (Pérez *et al.* 2003).

La investigación, el desarrollo tecnológico y las aplicaciones de la geomática en salud pública han demostrado ser de manera notable herramientas útiles para su estudio. Los SIG son herramientas adecuadas para estudiar relaciones entre localización, concentración, ambiente y salud debido a su capacidad de análisis espacial y despliegue visual. Los enfoques son diversos en cuanto a métodos, software, enfoques estadísticos y aplicaciones en salud.

Así, la geomática se ha aplicado en diversos ámbitos como son el diagnóstico y monitoreo de enfermedades, la modelación de exposición a factores ambientales, que cubren la exploración, descripción y modelación espacio-temporal de incidencia y los fenómenos ambientales relacionados, particularmente, la detección y análisis de grupos y patrones, causalidad y generación de nuevas hipótesis de enfermedad; y la predicción de daños y el análisis de políticas públicas la cual trata con la planeación, manejo y suministro de los servicios de salud, después de determinar las necesidades de cuidado de la salud de una comunidad objetivo y las zonas de atención.

El estudio de tendencias de contaminantes atmosféricos en un análisis de distribución geográfica y su relación con factores asociados a cuestiones de salud y de riesgo potenciales para la población, es posible a través de los SIG, que han impulsado el desarrollo de métodos geoestadísticos. Una de sus áreas de aplicación es el estudio de problemas ambientales, ya que permite la representación gráfica de mapas de tendencias y de exposiciones ambientales (López-Abente e Ibáñez 2000).

Los SIG son adecuados para el manejo de datos espacialmente distribuidos, al permitir estimaciones de exposición de la población; además de que mediante ellos se puede evaluar la distribución espacial



de la calidad del aire y sus efectos sobre los seres humanos. Así, existen múltiples evidencias científicas que demuestran asociación entre contaminación del aire y efectos en la salud (Sengupta *et al.* 1996).

Los aportes de los SIG, a través del uso de los métodos y técnicas de análisis espacial y geoestadístico, permiten obtener conclusiones de carácter y valor interdisciplinario (Romero *et al.* 2007). Un ejemplo fue el estudio de la variabilidad espacial de O₃ en Madrid España, donde altas temperaturas favorecieron la formación de contaminación por O₃ en zonas suburbanas y rurales, dado el interés por conocer la variabilidad espacial se realizó un modelo de su comportamiento mediante el empleo de SIG y métodos geoestadísticos de interpolación (Cañada 2004).

López-Abente e Ibáñez (2000) realizaron un estudio de la distribución espacial de la mortalidad haciendo una aproximación básica a sus posibles causas, en su estudio efectuado en Madrid España aplicaron técnicas de análisis espacial a la mortalidad por cáncer. Este trabajo muestra un ejemplo del aprovechamiento de bases de datos, y documenta la distribución de la mortalidad por cáncer de pleura y peritoneo en esta región, entre sus resultados destacan la gran utilidad de las bases de datos georreferenciadas en epidemiología y la potencialidad de su uso así como el avance en las técnicas de detección de patrones espaciales en mortalidad urbana.

Desde esta perspectiva se puede plantear que los SIG aplicados en salud pública tiene entre sus objetivos describir variaciones espaciales en la incidencia de enfermedades para de esta manera plantear hipótesis epidemiológicas; identificar áreas de alto riesgo para la toma de acciones preventivas; proveer mapas confiables sobre riesgos de enfermedades para apoyar una mejor asignación de recursos y evaluación del riesgo. Finalmente, los avances tecnológicos en SIG ofrecen importantes oportunidades para el estudio de asociaciones entre diferentes tipos de atributos y su distribución en el espacio. Destacando entre las áreas de mayor interés, la de las relaciones entre ambiente y salud-enfermedad, situación de salud, desigualdades en salud y otras (Pérez *et al.* 2003).



I. JUSTIFICACIÓN

Si bien existe información sobre la contaminación atmosférica y sus efectos en la salud, los estudios encontrados se enfocan en casos puntuales o su representación espacial se aplica para variables específicas, por tanto es importante proponer un trabajo que permita aproximar relaciones entre los contaminantes atmosféricos con indicadores de salud por medio del análisis espacial. Así dada la importancia de conocer la distribución y concentración espacial de contaminantes atmosféricos como O_3 , COVs y MP a nivel personal y la relevancia de ello en la salud de la población de la ZMVM, se visualizó el comportamiento de contaminantes mediante el empleo conjunto de SIG, métodos geoestadísticos de interpolación y AEDE para analizar tendencias de distribución espacial.

Los SIG posibilitan la integración de bases de datos, con un análisis exploratorio espacial, y su visualización tridimensional, lo que en conjunto permite conocer de mejor manera el comportamiento de los procesos y relaciones entre contaminación atmosférica y salud. Lo anterior será un apoyo para que las autoridades encargadas de la materia tengan una mejor apreciación de la problemática ambiental y, por consiguiente, con las bases necesarias para definir políticas de control de la contaminación dentro de la ZMVM.

II. OBJETIVOS

IV.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar las relaciones espaciales de los contaminantes atmosféricos e indicadores de salud en la Delegación Iztapalapa, Distrito Federal; Municipio de Tecámac, Estado de México y Localidad San Pedro, Municipio de Zapotlán de Juárez, Estado de Hidalgo

IV.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Realizar el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales del grupo representativo de los contaminantes atmosféricos benceno, ciclohexano, limoneno, tolueno, $PM_{2.5}$ y ozono, en tres sitios de la ZMVM y Edo. de Hidalgo.
- Realizar el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales de los indicadores de daño en salud humana sustancias reactivas de ácido tiobarbitúrico, ceruloplasmina, glutatión peroxidasa, grupos carbonilo, interleucinas-2 y 6, nitritos y paraoxonasa, en tres sitios de la ZMVM y Edo. de Hidalgo.
- Desarrollar la interpolación y visualización espacial de contaminantes e indicadores de salud.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

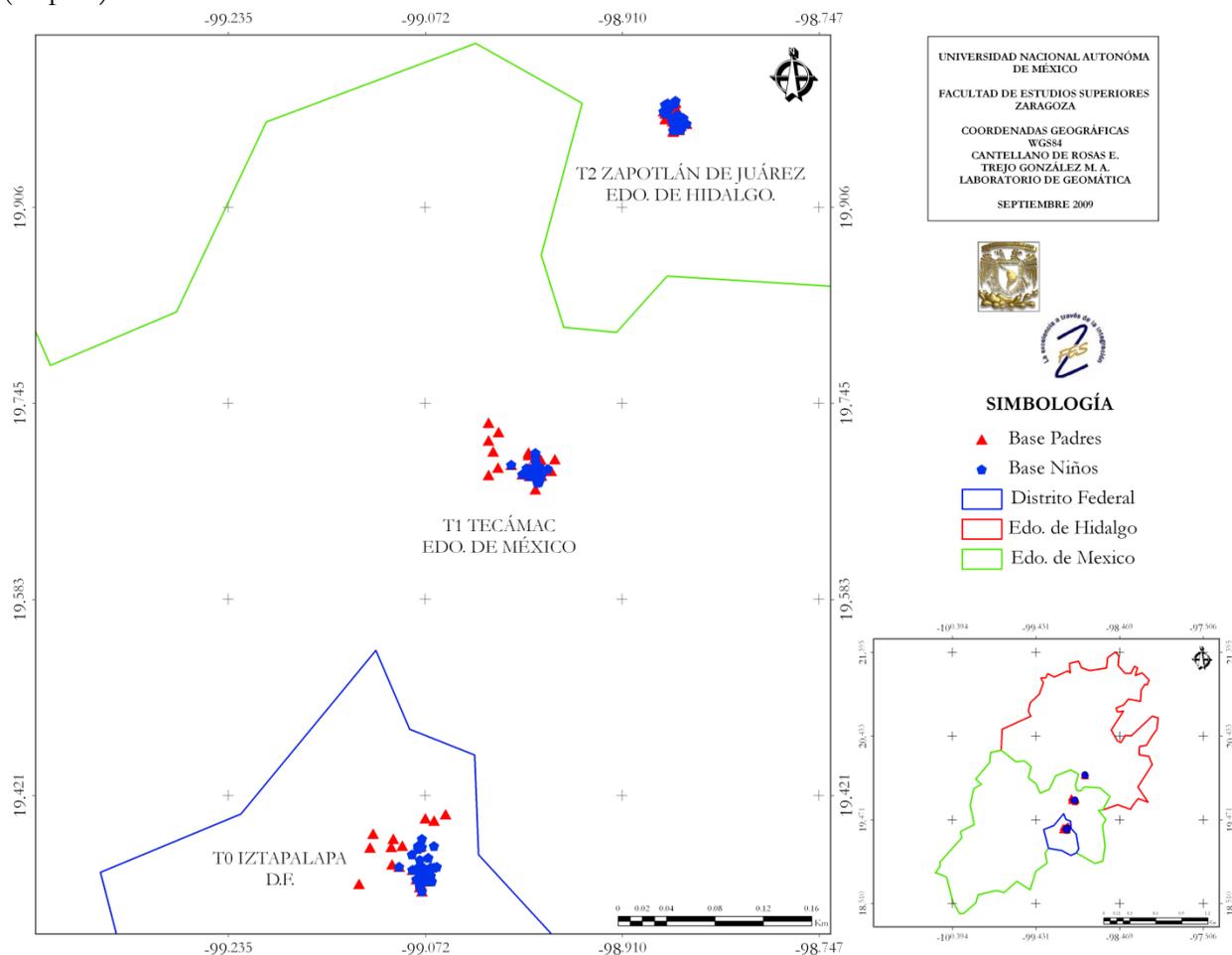
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I. MATERIALES Y MÉTODO

V.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La ZMVM yace en una cuenca elevada a una altitud de 2240 *msnm*. La casi plana cuenca cubre alrededor de 5000 Km² de la meseta mexicana y está confinada en tres lados (Este, Sur y Oeste) por cordilleras, con una amplia abertura en el Norte y una más pequeña hacia el Sur-Sureste. Las montañas alrededor varían en elevación, con varios picos alcanzando caso los 4000 *msnm*. Dos volcanes principales, Popocatepetl (5452 *msnm*) y el Ixtaccíhuatl (5284 *msnm*), se encuentran en la cordillera montañosa al Sureste de la cuenca. El área metropolitana se encuentra en el lado Suroeste de la cuenca y cubre aproximadamente los 1500 Km² (Lezama *et al.* 2002). La zona de estudio comprendió tres sitios: T0 Delegación Iztapalapa, Distrito Federal, T1 Municipio de Tecámac, Estado de México y T2 Localidad San Pedro, Municipio de Zapotlán de Juárez, Estado de Hidalgo (mapa 1).



Mapa. – 1. Zona de Estudio con los tres sitios y los puntos de muestreo para padres y niños (Elaboración propia a partir de CONABIO, 2002).



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

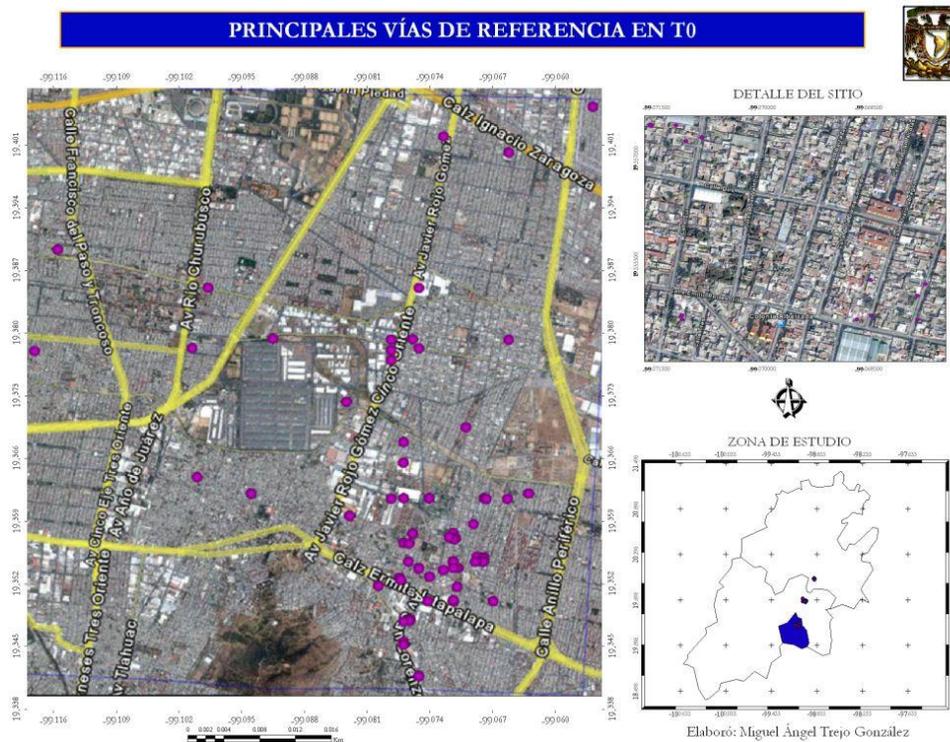
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Los análisis se realizaron a dos escalas, una regional que abarcó la zona de estudio y otra a nivel local centrado para cada sitio: T0 (Iztapalapa-DF), T1 (Tecámac-Estado de México) y T2 (Zapotlán de Juárez-Hidalgo). Algunos de los factores ambientales presentes en los sitios se muestran en la tabla 4.

Factores ambientales	T0	T1	T2
Precipitación pluvial (promedio anual <i>mm</i>)	Precipitación promedio 607 Región seca 600 Región templada 1 200	636	532
Temperatura (promedio anual °C)	16.6 Máximo 25 Mínima 5	16.4 Máximo 31.5 Mínima 6.5	16.2

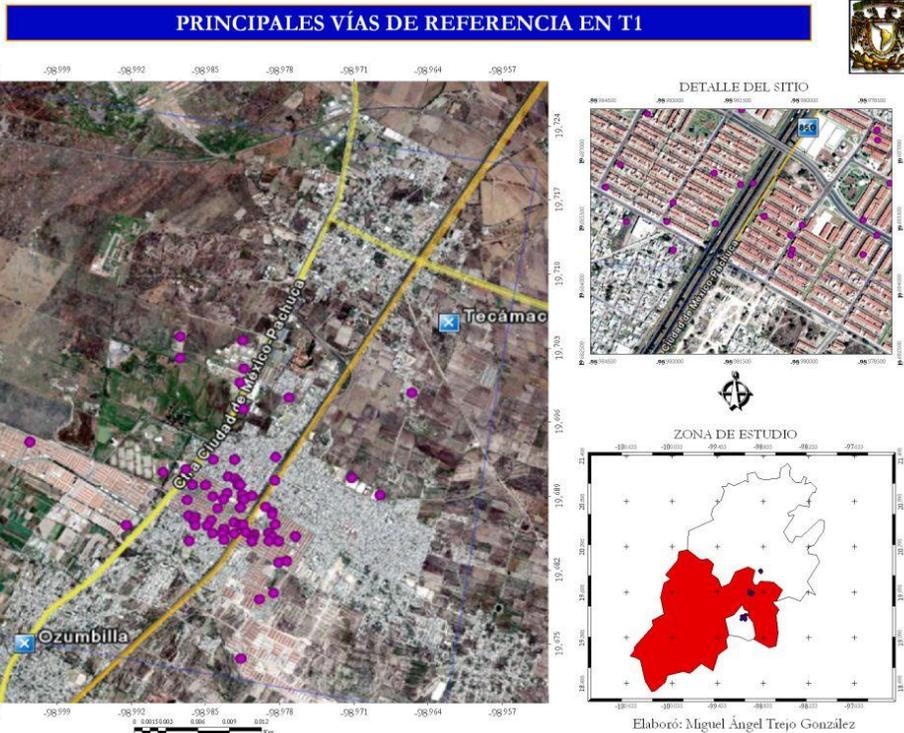
Tabla. – 4. Contaminantes e Indicadores de Salud en las dos poblaciones de individuos (CONABIO, 1998).

- T0 Delegación Iztapalapa, Distrito Federal. La superficie total de la delegación es de 114 Km², que representa el 7.1% del área total del DF. Se ubica al oriente del DF, a una altitud de 2,240 *msnm*, de superficie plana con excepción de la sierra de Santa Catarina, el cerro de la Estrella y el Peñón del Marqués. Su ubicación geográfica es 19.401 y 19.338 de Latitud Norte y -99.116 y -99.060 de Longitud Oeste, destaca porque es punto de entrada y salida hacia el Oriente y Sureste de la Ciudad de México, además de ser límite del Estado de México. Iztapalapa es la localidad más poblada del país con 1.8 millones de habitantes representando el 1.8% del total nacional y el 20.6% del total de la entidad (mapa 2) (INEGI 2000).



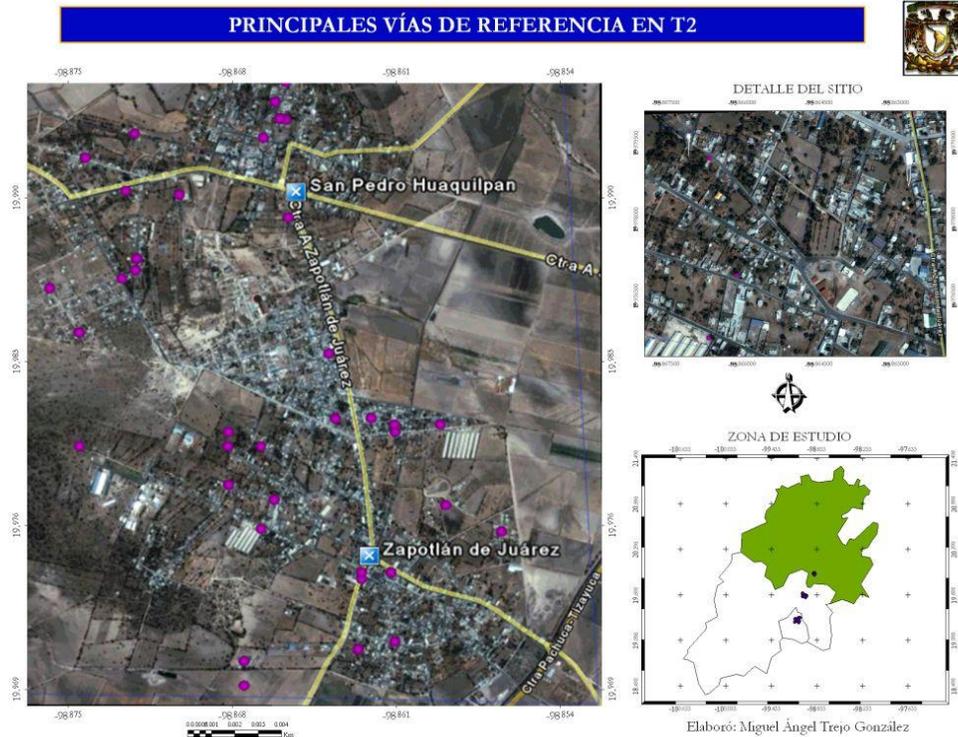
Mapa. – 2. Ubicación geográfica de T0 (Google Earth, 2008).

- T1 Municipio de Tecámac, Estado de México. Se localiza en la región central del país y forma parte de la ZMVM, al Noroeste del Estado de México y a 35 Km de la Ciudad de México. Su elevación es de 2,340 *msnm*. Su ubicación geográfica es 19.724 y 19.675 de Latitud Norte y -99.006 y -98.957 de Longitud Oeste. La extensión territorial es de 155.47 Km² y tiene una población de más de 380 000 habitantes (mapa 3) (INEGI 2000).



Mapa. – 3. Ubicación geográfica de T1 (Google Earth, 2008).

- T2 Localidad San Pedro, Municipio de Zapotlán de Juárez, Estado de Hidalgo. Su ubicación geográfica es 19.990 y 19.969 de Latitud Norte y -98.875 y -98.854 de Longitud Oeste Representa el 0.73% de la superficie estatal. La población asciende a 14 888 habitantes (mapa 4) (INEGI 2000).



Mapa. – 4. Ubicación geográfica de T2 (Google Earth, 2008).



En colaboración con parte del equipo científico de la campaña MCMA-2006, se obtuvieron las bases de datos originales con registros de adultos y de niños, a quienes por medio de monitores personales se les determinó su nivel de exposición personal a contaminantes e indicadores de salud descritos anteriormente. Para efecto del análisis la ubicación espacial de los individuos fueron las coordenadas de sus domicilios y los resultados se integraron a dos bases de datos, una para padres y otra para niños. Con respecto a la modelación espacial es preciso mencionar que el análisis estuvo determinado a los meses de febrero y marzo, en que se llevaron a cabo las mediciones y en general la toma de muestras. Se sabe que el desplazamiento del aire en esa temporada tiene una ruta de transporte hacia el noroeste de la ZMVM. Se precisa que los resultados tendrían que ser valorados para estudios más particulares y que, por ejemplo, tuvieran que ver con la estacionalidad.

Los COVs se incluyeron en el estudio por su potencial resultado tóxico en la población y el reconocido efecto cancerígeno del benceno. El O₃ y el MP se abordan por su asociación con mortalidad en la población. Los indicadores de salud seleccionados permiten identificar cambios tempranos en la salud de adultos y niños relacionados con su exposición. Así, el conjunto de contaminantes del aire e indicadores de salud que se seleccionaron se incluyen en la tabla 5.

PADRES		NIÑOS	
Contaminantes	Indicadores de Salud	Contaminantes	Indicadores de Salud
<ul style="list-style-type: none"> • Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) <ul style="list-style-type: none"> → Benceno → Ciclohexano → Limoneno → Tolueno • Material Particulado (PM_{2.5}) • Ozono (O₃) 	<ul style="list-style-type: none"> • Interleucina-2 y 6 • Ceruloplasmina • Glutación peroxidasa • Nitritos 	<ul style="list-style-type: none"> • Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) <ul style="list-style-type: none"> → Benceno → Ciclohexano → Limoneno → Tolueno • Material Particulado (PM_{2.5}) • Ozono (O₃) 	<ul style="list-style-type: none"> • Interleucina-2 y 6 • Grupos Carbonilo • Sustancias reactivas de ácido tiobarbitúrico (TBARs) <ul style="list-style-type: none"> • Paraoxonasa

Tabla. – 5. Contaminantes e Indicadores de Salud en las dos poblaciones de individuos.



V.2. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DIGITAL

La captura de datos de la MCMA-2006 fue realizada por medio de plantillas elaboradas en Access, los datos fueron posteriormente exportados al programa Excel para su revisión. Durante los meses de Junio a Diciembre de 2006 se realizó la validación de la información. Es conveniente aclarar que las bases de datos originales, tanto de padres como niños, incluían campos de variables que no formaron parte del presente trabajo por lo que se hizo una depuración para incluir únicamente los contaminantes en indicadores de salud descritos anteriormente. Así, de manera general se realizó un cambio de coordenadas de grados, minutos y segundos a grados decimales, se descartaron campos que no fueron incluidos en el trabajo, se realizó una búsqueda de errores de captura, la asignación de valores a campos vacíos y la corrección del formato en los números.

Para homogenizar y adecuar la información, todos los datos y registros utilizados, así como las capas de información, las imágenes de satélite y el MDE se procesaron de acuerdo con las siguientes características cartográficas (tabla 6).

Archivo tipo	Shape (<i>shp</i>)
Proyección	Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum	WGS84

Tabla. – 6. Características de los datos.

Lo anterior, debido a que la información y archivos originales incluyen características diversas, tales como el tipo de proyección, los *datum* o las extensiones. A continuación se describen los datos originales de los insumos requeridos para la integración del trabajo:

- Base de datos.

La base de datos debidamente depurada estaba en formato Excel, por lo que el archivo fue guardado como *texto* (texto delimitado por tabulaciones) ya que este tipo de formatos son los admitidos por ArcView 3.2, de esta forma se visualizó como una capa temporal que fue convertida a formato *shp*.

Con el *shp* se visualizaron los datos para inicialmente checar las coordenadas y verificar así que su ubicación geográfica estuviera dentro de la zona de estudio. Los datos geográficos que por error de captura se encontraban fuera del cuadrante de los sitios de estudio fueron editados con base a un listado de direcciones proporcionado por el equipo de trabajo de la campaña. Para este procedimiento se utilizó GPS TracKMaker™ 13.1 que convierte archivos tipo *shp* a *kml*, éste es un archivo válido para Google Earth que permitió la ubicación geográfica puntual de los sitios (figura 5). Al igual que el paso anterior, los datos para contaminantes e indicadores de salud provenientes de las bases de datos fueron analizados visualmente para evitar errores posteriores al despliegue de la información estadística.

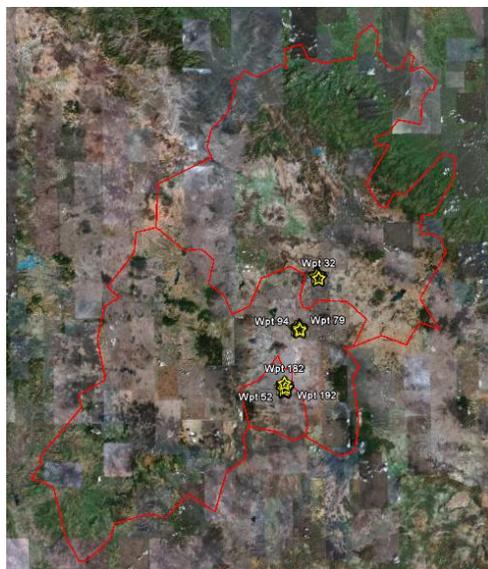


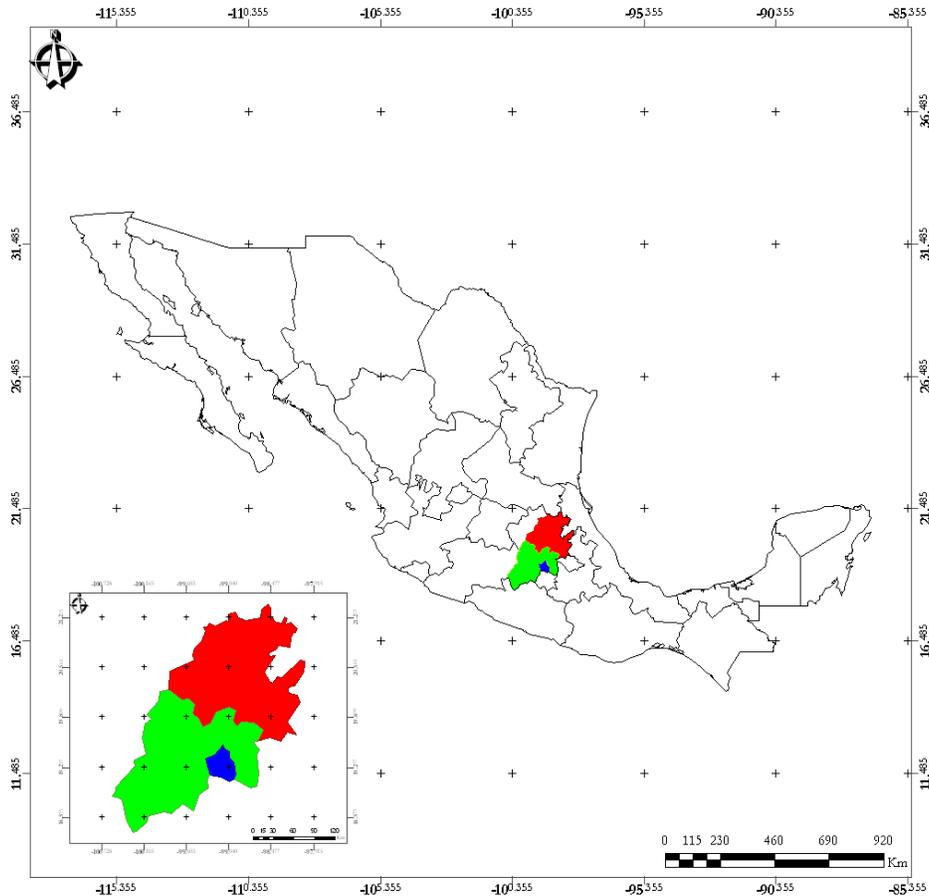
Figura. – 5. Visualización geográfica de los datos (Google Earth, 2008).

- Capa “División Política Estatal”

La capa “División Política Estatal” Escala 1:1000 000, proporcionada por CONABIO (tabla 7) y que ya tiene formato *shp*, fue utilizada para ubicar la posición geográfica de la zona de estudio; la capa incluye a toda la República Mexicana por lo que se editó con ArcView™ 3.2 haciendo una selección de clips que incluyeron únicamente a los tres Estados que integraron la zona de estudio (mapa 5).

Fuente	CONABIO
Escala	1: 1 000 000
Fecha	2002
<i>Proyección</i>	Sistema de Coordenadas Geográficas
<i>Datum</i>	NAD27

Tabla. – 7. Datos de la capa “División Política Estatal”.



Mapa. – 5. Polígonos editados (CONABIO, 2002).

- Imágenes de satélite de Google Earth

Otras imágenes empleadas fueron extraídas de Google Earth™, lo que permitió ubicar mediante las coordenadas geográficas, los vértices para establecer cuadrantes de cada sitio. Lo anterior permitió la visualización y el análisis a nivel local debido al detalle de las imágenes (tabla 8).

Fuente	Google Earth
Píxel	1233 x 1104
Fecha	2005-2006
Proyección	Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum	WGS84

Tabla. – 8. Datos de la imagen de satélite de Google Earth.

Inicialmente, para partir de un AED que integrara resultados estadísticos de tendencia central que describieran el tipo de distribución, (media, mediana, etc.) y los valores que midieran la cantidad de dispersión en los datos (desviación típica, mínimo, máximo, etc.) se utilizó el programa SPSS 15.0, lo que permitió tener un panorama inicial de la totalidad de datos. En este mismo programa se generaron los histogramas y diagramas de caja y bigote que mostraron el tipo de distribución, la mediana, dispersión de datos y los valores extremos y atípicos.



Con ArcGIST™ 9.2 se desplegó el mapa base de Estados así como las capas de información de padres y niños. Se verificó que los puntos se ubicaran dentro de los sitios de estudio. Las capas de contaminantes e indicadores de salud, se analizaron con ArcMap™, empleando la extensión Geostatistical Analyst, y sus herramientas de trabajo, diagrama de tendencias y semivariograma, con lo que se analizó el tipo de distribución que presentaban y sus tendencias espaciales. La construcción del semivariograma experimental se realizó con un intervalo de distancia de .0071 m (*lag size*), con una tolerancia en la distancia de ± 3 y una tolerancia en la dirección de $\pm 45^\circ$. El número de intervalos en que se agruparon las distancias fue de 10. Se ha comprobado que los contaminantes atmosféricos tienen un comportamiento anisotrópico; es decir, que la nube de puntos del semivariograma cambia según la dirección elegida.

Con el módulo Geostatistical Analyst y su herramienta Geostatistical Wizard, se seleccionó el método de interpolación kriging que se empleó para todas las variables, debido a que con él se obtuvieron interpolaciones precisas de los intervalos de concentración a lo largo de los sitios. Esta herramienta también describió tendencias de contaminantes e indicadores de salud de acuerdo al sitio puntual y a nivel regional.

Con el módulo 3D Analyst y su herramienta Convert Features se editaron las capas de acuerdo a los valores de las variables. Se hizo aún más interpretativo el análisis ya que se integraron diferentes temas en los que se visualizaron los puntos de concentraciones, lo que permitió observar y describir de manera puntual la concentración para cada contaminante e indicador de salud, así como la tendencia local y regional.

- MDE de INEGI

Finalmente la visualización 3D se generó a partir de un MDE proporcionado por INEGI (tabla 9), cuya localización y extensión estuvo determinada a través de la ubicación de los sitios T0, T1 y T2. INEGI proporciona el MDE en una carpeta *zip* con tres archivos de diferentes extensiones, el archivo utilizado fue el de formato *bil*, con Global Mapper™ 9, se exportó a formato ASCII GRID. Ya con este formato, el modelo fue desplegado en el módulo ArcScene™ donde se transformó a formato vectorial correspondiente a Red Irregular Triangulada (TIN, por sus siglas en inglés). Un TIN utiliza dos tipos de archivos con los que conforma una red triangular la cual permite su proyección en tres dimensiones. La capa de Estados que se encontraba como formato ráster, se convirtió a vector, de otra manera no podría desplegarse sobre la base 3D. Para lo anterior se usaron las herramientas Data Management Tools; Features; Feature To Line.

Fuente	INEGI, 2003
Escala	1:50 000
Fecha	2003
Proyección	Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum	ITRF92

Tabla. – 9. Datos del MDE de INEGI



- Imagen de satélite de NASA

La imagen de satélite utilizada para la visualización tridimensional a nivel regional se obtuvo de la página oficial de la NASA (tabla 10). La carpeta original trae coordenadas UTM y viene en *zip*, con cuatro archivos en diferentes extensiones (*jpeg*, *sombra de f*, *med* y *sid*), además es conveniente aclarar que dicha imagen es un cuadrante de gran extensión que abarca la zona norte 14 y 15, zona donde se incluye a la República Mexicana. Por ello, el archivo fue modificado con Global Mapper™ 9 haciendo un recorte que incluyó particularmente el área de la zona de estudio. También se cambió la proyección a coordenadas geográficas y finalmente fue exportando como GeoTiff (imagen georreferenciada) para desplegarlo sobre el MDE en ArcScene.

Fuente	NASA
Resolución	Pixel de 30 m
Fecha	2000
Proyección	UTM
Datum	WGS84

Tabla. – 10. Datos de la imagen de satélite de la NASA

Se incorporó cada una de las capas correspondientes a contaminantes e indicadores de salud, mismas que requirieron ser acopladas sobre el TIN, esto se realizó con la ventana Layer Properties y el icono Base Heights; donde se efectuó un cálculo (multiplicando el valor de las concentración por un factor X) en la pestaña *extrusion*, con ello se observaron las concentraciones puntuales en forma de barras. Las capas de interpolación se incrementaron por un factor x, lo que permitió que quedaran por encima de la base 3D, mostrando así, la variabilidad de concentraciones de contaminantes e indicadores de salud en un formato ráster, así como su comportamiento espacial. En la tabla 11 se muestra el orden que se siguió para el análisis de resultados.

Tabla de medidas de tendencia central: media, mediana; y de dispersión: mínimo, máximo, desviación típica.
Histograma y diagrama de caja y bigote
Mapas de dispersión a nivel regional
Semivariograma y diagrama de tendencias (Trend Analysis) a nivel local.
Modelación espacial (Extrapolación tridimensional)

Tabla. – 11. Secuencia de presentación de resultados del AEDE

I. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

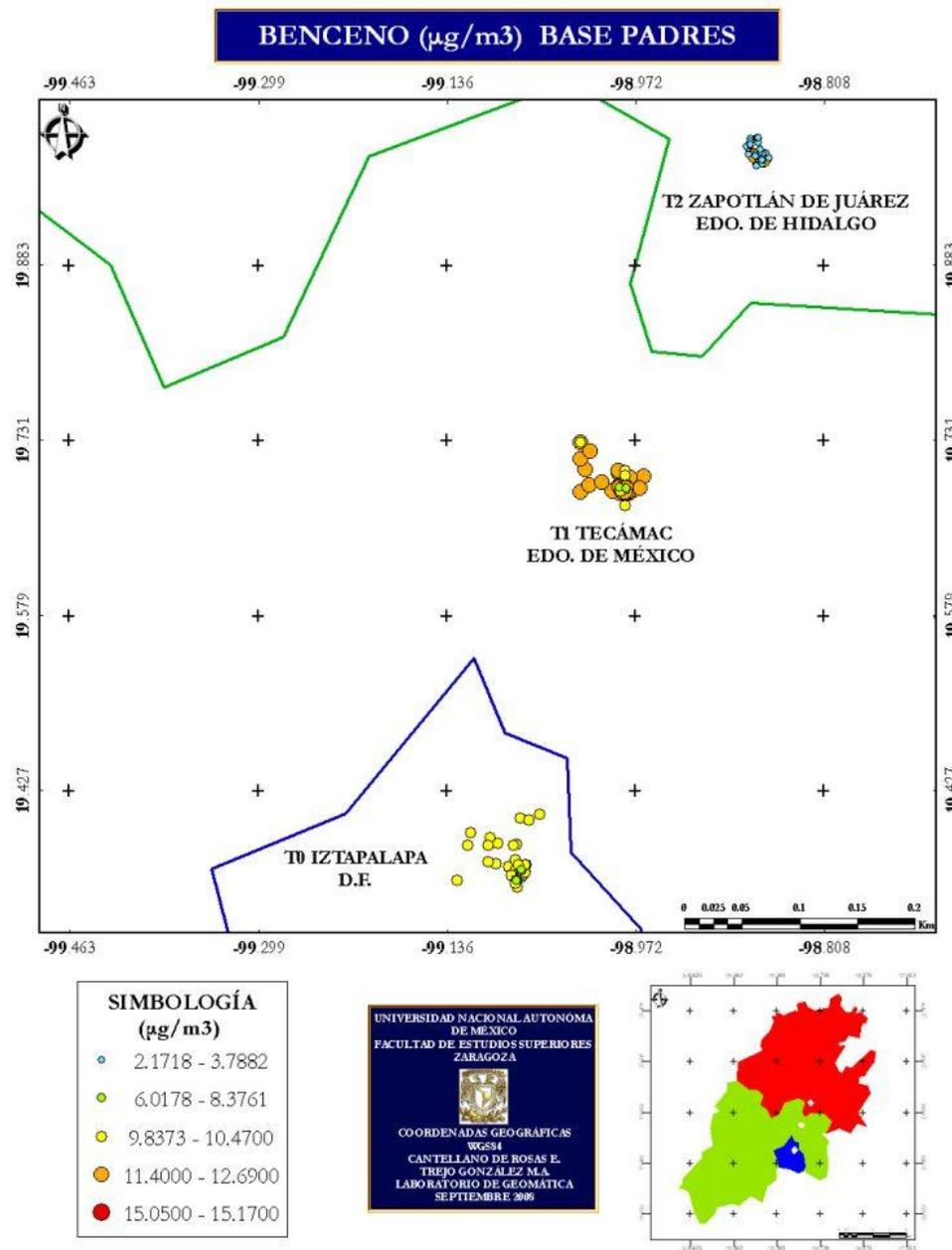
VI.1. ANÁLISIS REGIONAL Y POR SITIO

VI.1.1 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)

→ Benceno en padres

En el mapa 6 se muestra un incremento en el sentido T2, T0 y T1. Así, los valores para T1 se agrupan en intervalos de 11.40 a 12.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en T0 sobresalen los que van de 6.01 a 10.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Mapa. – 6. Distribución espacial en la zona de estudio de benceno en padres.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Los resultados de padres muestran que T1 es el sitio que presenta el valor más alto por exposición a benceno con $15.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y una media de $11.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo, los niveles de exposición para T0 son diferentes en apenas $1.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con respecto a la media (tabla 12).

SITIO		N	Mínimo	Media	Mediana	Máximo	Desv. típ.
BENCENO	T 0	59	6.02	9.84	9.84	15.05	.88
	T 1	59	8.07	11.40	11.40	15.17	.83
	T 2	30	2.17	4.29	3.79	11.40	2.09
CICLOHEXANO	T 0	59	.66	2.61	2.99	4.71	.80
	T 1	59	.30	1.62	1.67	5.73	1.04
	T 2	30	.24	.82	.75	2.12	.42
LIMONENO	T 0	59	4.76	75.66	55.28	298.30	61.81
	T 1	59	7.03	56.57	55.28	482.80	67.88
	T 2	30	12.21	61.60	60.41	192.40	38.73
TOLUENO	T 0	59	9.42	99.47	51.72	433.80	81.76
	T 1	59	7.59	118.48	152.70	270.40	59.00
	T 2	30	21.74	160.25	134.90	729.10	141.55

Tabla. – 12. Análisis estadístico de COVs en padres.

En la figura 6 se observa la variación de frecuencias con la que se distribuyen los datos para cada sitio, destacando que en los tres sitios no existe una distribución normal debido a la asimetría de los histogramas por lo que los datos para los tres sitios se encuentran distribuidos de forma dispersa y agrupados de manera aislada.

HISTOGRAMA BENCENO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

BASE PADRES

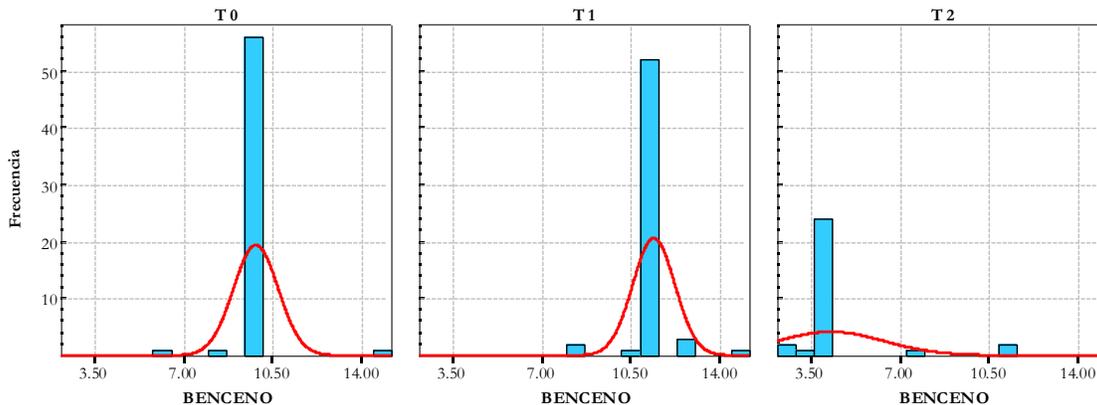
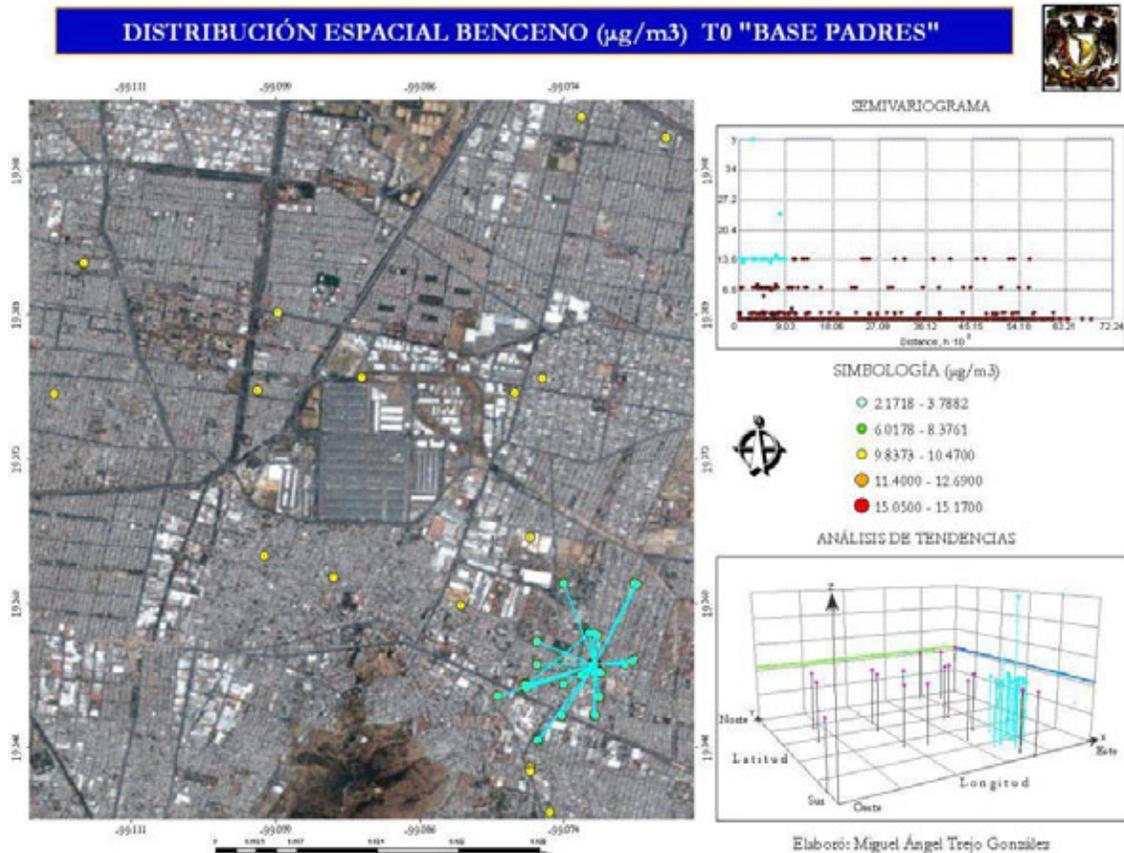


Figura. – 6. Histograma de benceno en padres.

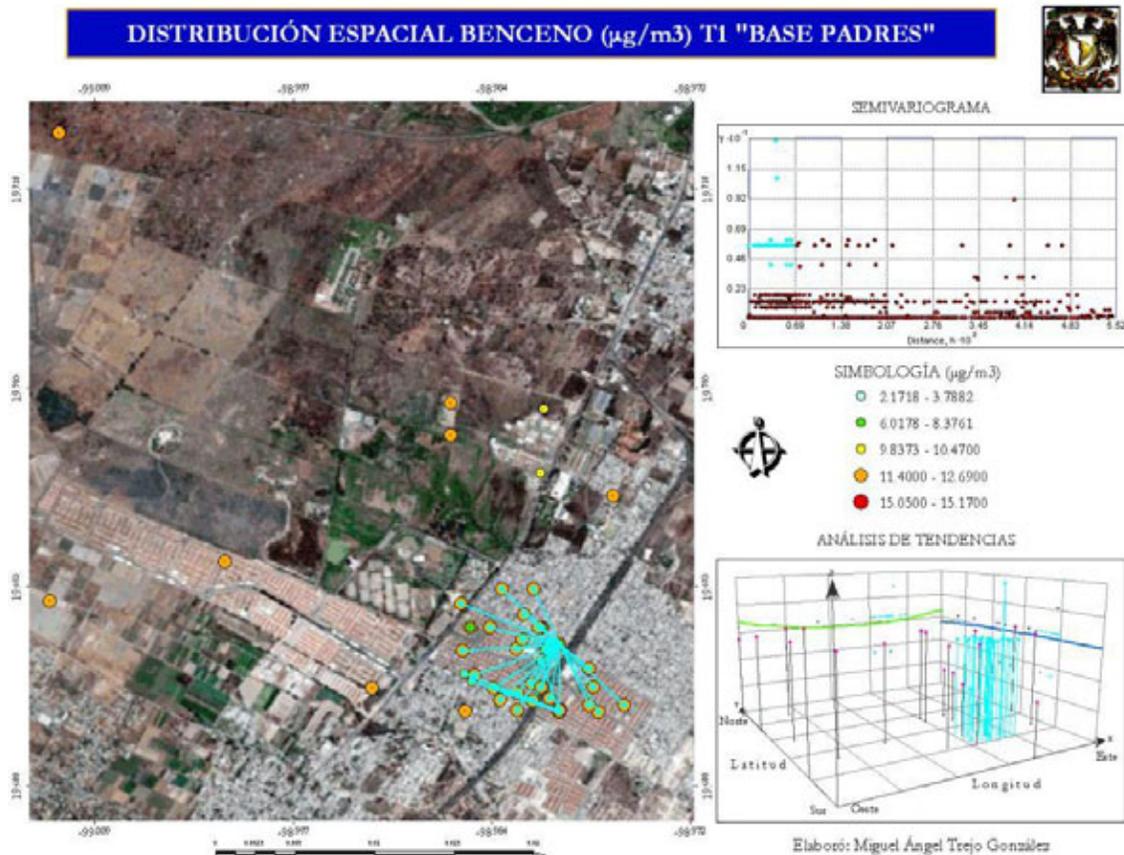
El análisis exploratorio del semivariograma para T0 (mapa 7) denota los puntos más cercanos en cuanto a su semivarianza, representa la tasa media de cambio de una propiedad con la distancia, dos observaciones que estén más próximas serán más parecidas que si estuvieran más distantes. La dependencia espacial disminuye a medida que se incrementa la distancia h y, finaliza a una cierta distancia, el alcance. El análisis sugiere que en T0 existe un grupo con similitud de semivarianzas asociado a intervalos de concentración de 9.83 a $10.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en áreas cercanas, así el sitio manifiesta una acumulación de valores altos en distancias cortas, siendo que mientras la distancia aumenta es menos probable encontrar grupos asociados con concentraciones altas. Es importante resaltar que

T0 es un sitio urbano y en él se localizan posibles generadores de contaminación atmosférica tales como vialidades de alta circulación, que inciden directamente en el comportamiento anteriormente descrito. Las vías de comunicación de alta circulación están conformadas por un cuadrante formado por la Calzada Ermita Iztapalapa, Periférico-Canal de San Juan, Eje 6 y Javier Rojo Gómez. De manera similar, en cuanto al análisis de tendencia, se observa que los datos no presentan variación sobre la orientación geográfica, esto es debido a que se mantiene valores semejantes de Norte a Sur y de Oeste a Este.



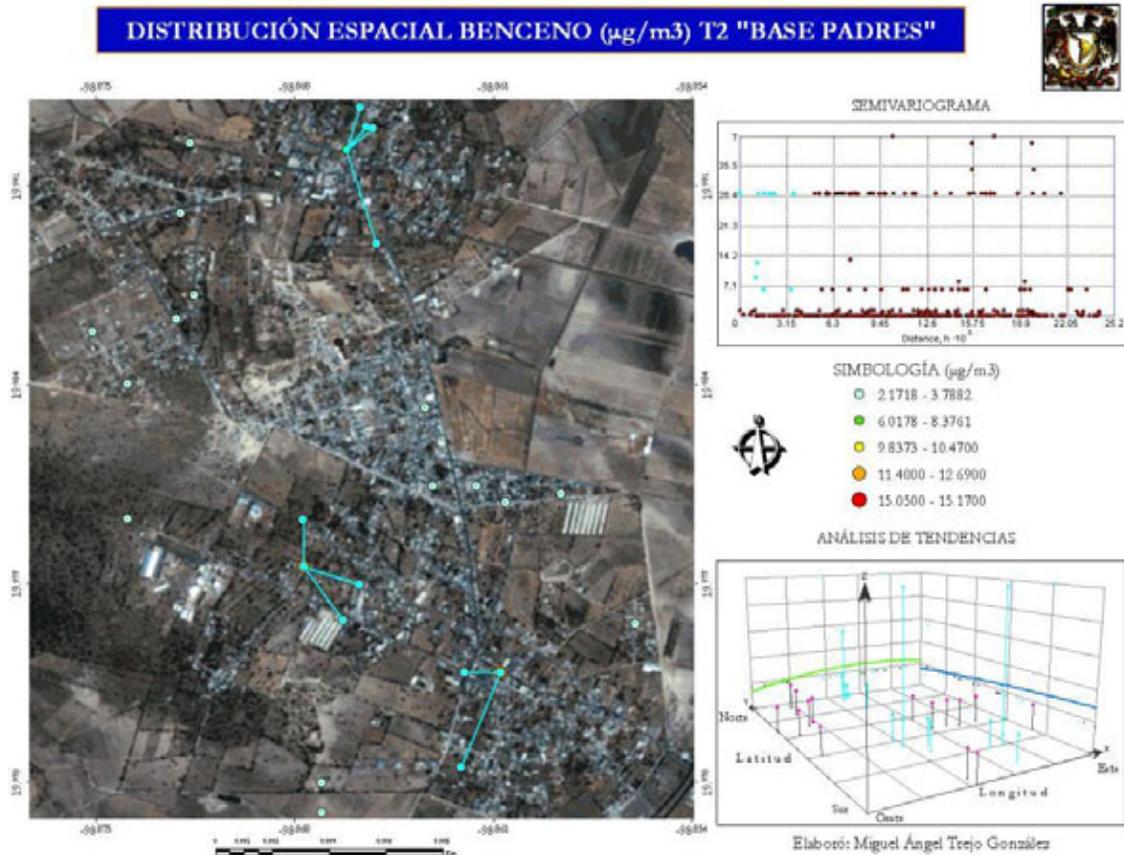
Mapa. – 7. Distribución espacial de benceno en T0, base padres.

Los valores de T1 para padres muestran un decremento en sentido Oeste-Este en las curvas de tendencia (latitud-longitud); mientras que de Sur a Norte los valores son generalmente similares presentando un leve incremento cercano al Sur. En cuanto al semivariograma los datos de exposición con concentraciones altas se agrupan en torno a unidades habitacionales cercanas a la autopista México-Pachuca, y conforme aumenta la distancia a dicha vialidad la semejanza en la semivarianza decrece (mapa 8). Como se señala en el mapa, T1 es aún un sitio semiurbano que en los últimos años ha tenido una expansión de unidades habitacionales próximas a la carretera federal México-Pachuca, lo que incide de manera directa en altos niveles de exposición a contaminantes, como es el caso del benceno.



Mapa. – 8. Distribución espacial de benceno en T1, base padres.

Finalmente, la distribución espacial para T2 en padres presenta valores bajos (2.17 a $3.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que se distribuyen de manera heterogénea. Se observa una ligera tendencia con incrementos visibles de Oeste a Este y de Norte a Sur (mapa 9). Es evidente que T2 es un sitio con bajo impacto de industrias o fábricas que emitan grandes y constantes concentraciones de contaminantes atmosféricos, pero aún así es necesario considerar personas que se desplazan hacia lugares de trabajo lejanos como puede ser el Distrito Federal o el Estado de México y que pudiesen llegar a ser más adelante datos con elevadas concentraciones de COVs u otros contaminantes.



Mapa. – 9. Distribución espacial de benceno en T2, base padres.

En T0 y T1 las congestiones del tráfico implican demoras improductivas y un mayor uso de combustibles, lo que invariablemente genera más emisiones que deterioren la calidad del aire en los sitios. En la ZMVM existe un mayor aporte de emisiones del sector transporte, y como resultado de las peculiaridades de cada sitio, una mayor o menor participación de la industria y los servicios, dependiendo de sus procesos urbano-industriales. Así mismo, con base en los inventarios detallados de la Ciudad de México, es posible observar que los vehículos particulares son numerosos y representan la fuente de emisión más importante (INE 2000).



→ Benceno en niños.

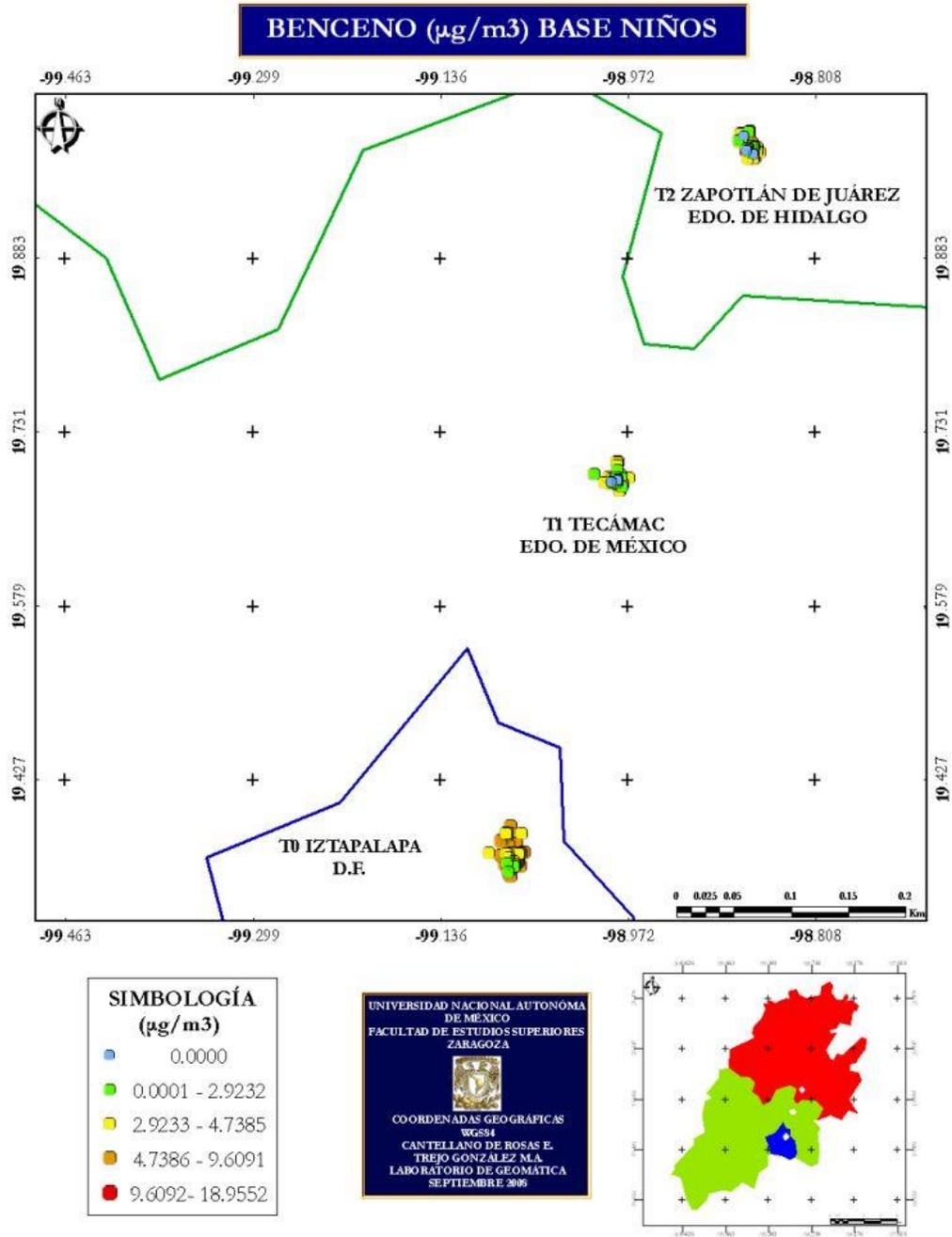
Para el caso de niños, también benceno, T0 es el sitio con la media más alta por exposición ($5.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido de T1 y T2, no obstante, al observar las concentraciones máximas, en T2 se encuentra un valor extremo que alcanza los $18.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tabla 13) lo que demuestra que existen datos puntuales en el sitio con alta exposición al contaminante.

	SITIO	N	Mínimo	Media	Mediana	Máximo	Desv. típ.
BENCENO	T0	75	2.65	5.44	5.40	9.61	1.12
	T1	77	1.22	3.67	3.86	11.43	1.24
	T2	31	1.53	3.99	3.38	18.96	3.21
CICLOHEXANO	T0	75	.68	1.80	1.80	7.41	.78
	T1	77	.25	2.87	2.95	20.18	2.37
	T2	31	.15	2.32	.69	32.22	5.80
LIMONENO	T0	75	2.71	17.30	17.00	70.16	12.95
	T1	77	6.00	40.42	39.97	206.75	27.82
	T2	31	5.34	51.08	24.75	253.71	61.26
TOLUENO	T0	75	22.05	101.53	103.56	898.67	106.60
	T1	77	7.40	46.82	47.22	110.69	19.28
	T2	31	14.56	97.33	46.27	975.19	179.79

Tabla. – 13. Análisis estadístico de COVs en niños.



En niños, los datos expresan un mayor heterogeneidad (mapa 10) en la distribución espacial de benceno a lo largo de la zona de estudio, sin embargo en T0 se observa una mayor concentración de intervalos altos (4.73 a $9.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Mapa. – 10. Distribución espacial en la zona de estudio de benceno en niños.

En el diagrama de caja se observa que la dispersión para los sitios no es similar, siendo que la mayor dispersión ocurre en T2 con un valor extremo que sobrepasa al resto de los sitios; en T0 la distribución que se presenta es de tipo simétrica porque los datos se agrupan de igual forma a ambos lados de la mediana. La mediana en T1 coincide con el cuartil 75, lo que se atribuye a que en el sitio



se concentran muchos datos con valores similares por lo que representa una distribución muy homogénea (figura 7).

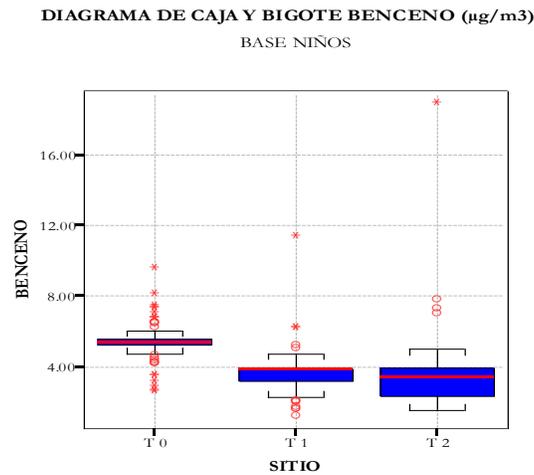
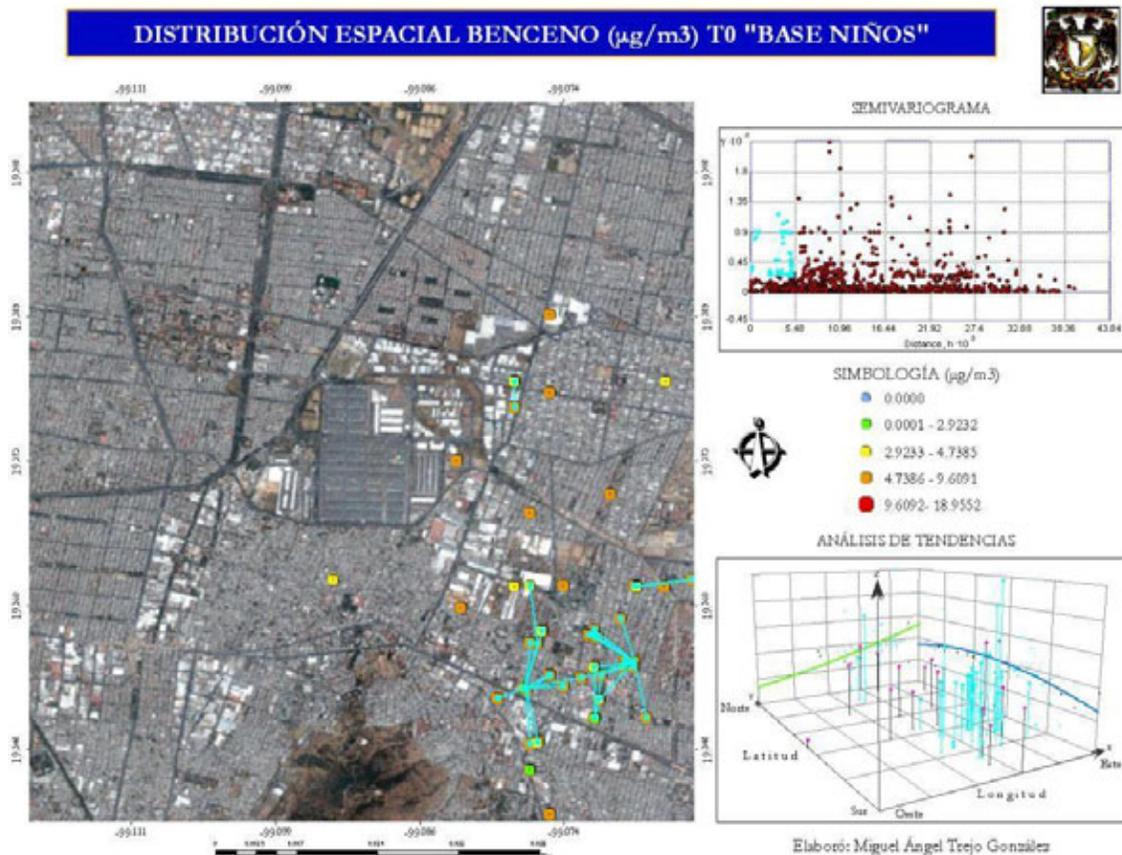


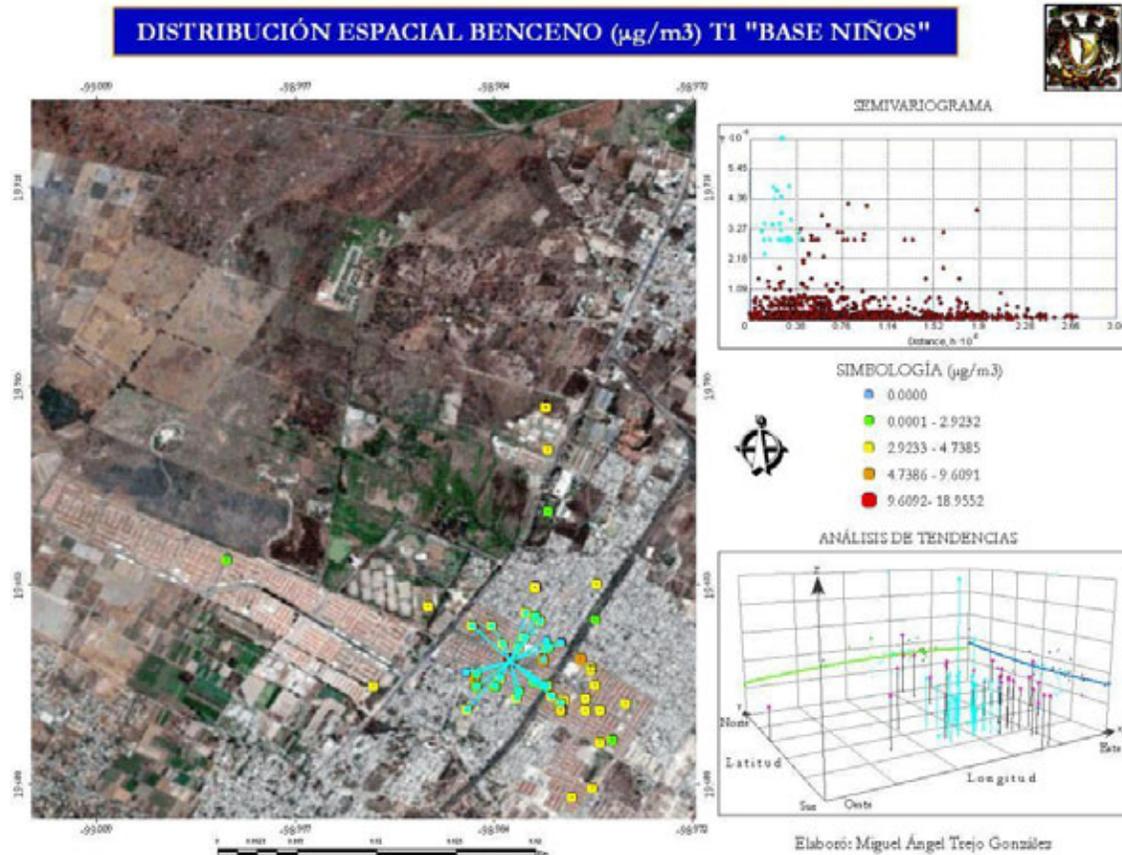
Figura. – 7. Diagrama de caja y bigote de benceno en niños.

En el mapa 11, los intervalos que van de 2.92 a $9.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ representan una mayor dispersión de semivarianzas en T0. La distribución espacial no implica que a distancias cortas se agruparan concentraciones elevadas. En el análisis de tendencias se observa un incremento en la concentración de Oeste a Este, mientras que de Sur a Norte existe un ligero incremento en la parte central.



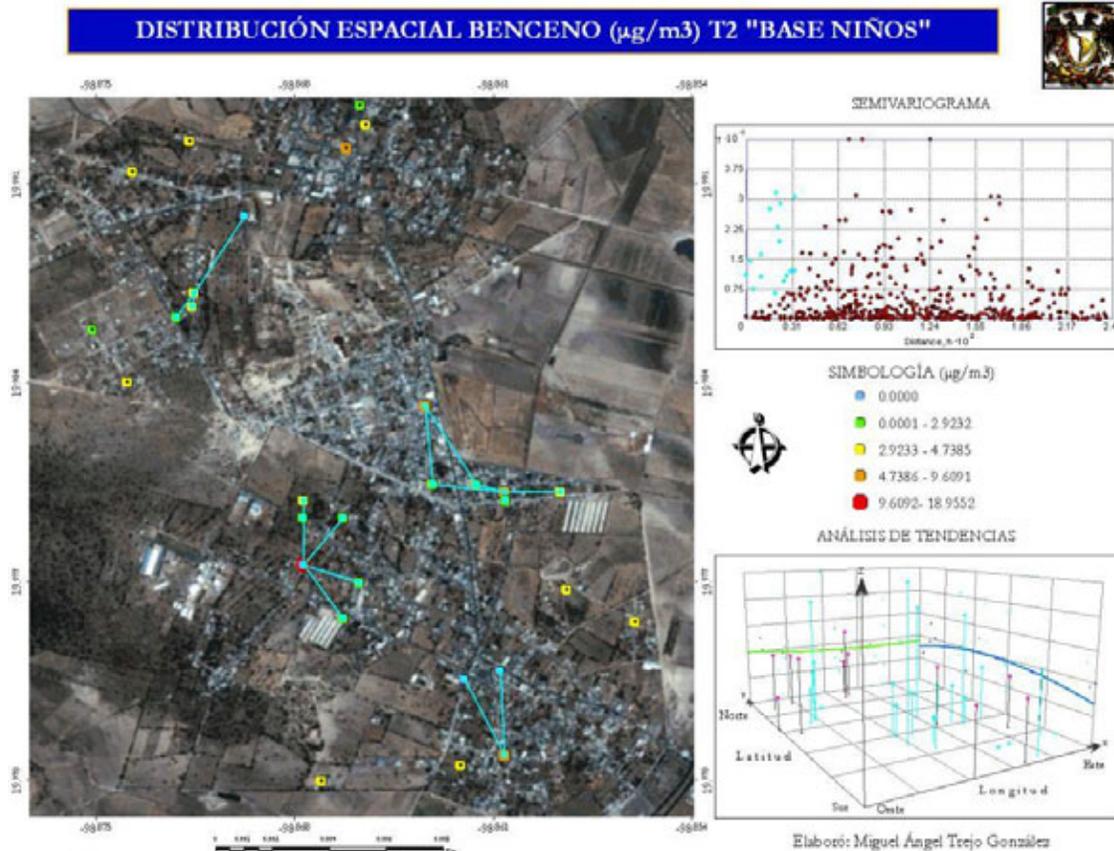
Mapa. – 11. Distribución espacial de benceno en T0, base niños.

La distribución espacial en T1 incluye de manera predominante el intervalo que va de 2.92 a 4.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el semivariograma manifiesta valores semejantes agrupados en torno a valores elevados (mapa 12). En cuanto al análisis de tendencias no existe un patrón definido en su orientación geográfica.



Mapa. – 12- Distribución espacial de benceno en T1, base niños.

En T2 las semivarianzas se localizan de manera aislada a lo largo del sitio y los valores altos tienden a agruparse de manera poco definida. Si bien en T2 existe un valor muy elevado ($18.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$), el resto de datos no se agrupan en torno a él. Entonces este resultado es un caso particular atribuido a personas que tienen un desplazamiento constante debido a que sus fuentes de empleo se ubican en la ciudad. Es evidente que los espacios abiertos y carentes de industrias o vías de comunicación de alto impacto influyen directamente en la baja concentración de benceno. En el análisis de tendencias se describe un comportamiento de Sur a Norte con incrementos en la parte central y con concentraciones constantes de Oeste a Este (mapa 13).



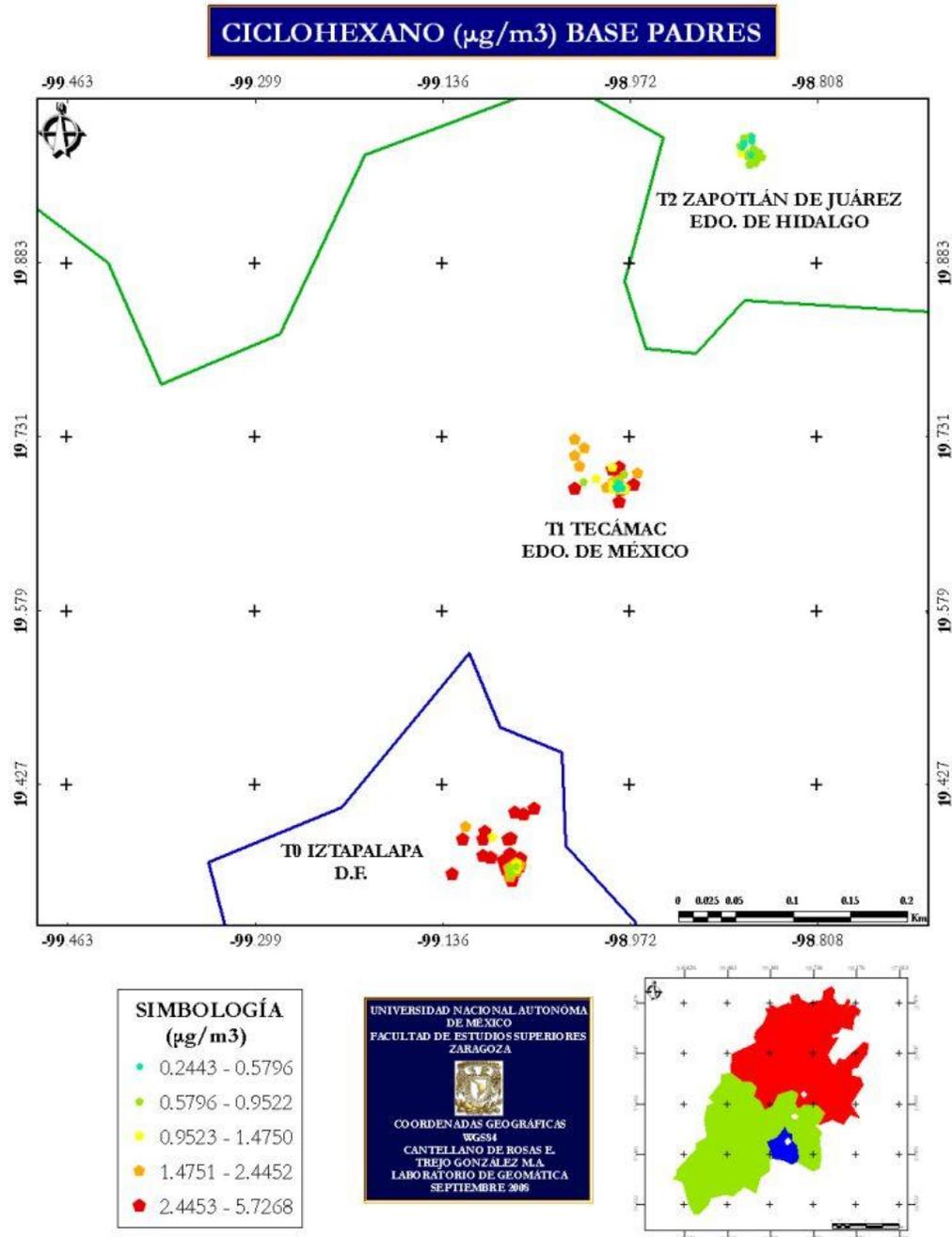
Mapa. – 13. Distribución espacial de benceno en T2, base niños.

El análisis expresa que existe heterogeneidad de resultados respecto de padres y niños en cuanto a exposición por benceno, siendo que para padres los valores más elevados se incluyen en T1; para niños se localizan en T0. También destaca que niveles elevados de exposición que son resultado de datos puntuales asociados a industrias o factores de desplazamiento de la población que arrojan concentraciones de hasta $18.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, como es el caso de T2 en niños y de $15.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para T1 en padres. Una explicación al extremo de exposición pudiera ser atribuido al cigarro, ya es un importante precursor de benceno en el aire; esto ha sido reportado en hogares de fumadores de hasta $10.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de no fumadores de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en EEUU y de 11 y $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Alemania (OMS 2005), respectivamente lo que expresa que los datos encontrados se encuentran muy por encima de umbrales máximos reportados. Otra fuente principal de emisión de COVs es la combustión de insumos fósiles del cual el sector de transporte contribuye de manera importante en altas concentraciones (Puente y Ramarosan 2006). La OMS (2005) reporta concentraciones de 1.50 y de $5.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para áreas rurales y urbanas, respectivamente. Así, aunque T2 es el sitio que presenta la media más baja tanto para padres y niños, los niveles alcanzados rebasan en más del doble a lo reportado para áreas rurales por la OMS. Los resultados indican que grupos de población urbana y semiurbana están cotidianamente expuestos a benceno, siendo necesario estimar los riesgos de exposiciones y lo que representan para la salud de la población en la ZMVM. Así, los niveles de exposición reportados manifiestan la importancia de implementar programas para la reducción de sus emisiones y desarrollar actividades de detección temprana de daños a la salud que pueden causar a largo plazo efectos cancerígenos, principalmente en poblaciones más expuestas a este tóxico.



→ Ciclohexano en padres

Para el caso de padres los resultados señalan que T1 es el sitio que tiene el valor más alto de exposición ($5.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$) seguido de T0, sin embargo es en este último sitio donde se concentra la media más alta para el contaminante (mapa 14, tabla 12). En T0 existe una mayor concentración de puntos con valores elevados ($1.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $5.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$), en T1 se incluyen también valores similares, aunque en menor número de datos, además de valores intermedios, mientras que en T2 predominan los bajos.



Mapa. – 14. Distribución espacial en la zona de estudio de ciclohexano en padres.

En cuanto al diagrama de caja se observa que en T0 existen múltiples datos extremos localizados por debajo de la mediana y del percentil 25, lo que sugiere que en el sitio está presente una variación de frecuencias asimétrica, mientras que en T1 se expresa una mayor dispersión (figura 8).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE CICLOHEXANO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
BASE PADRES

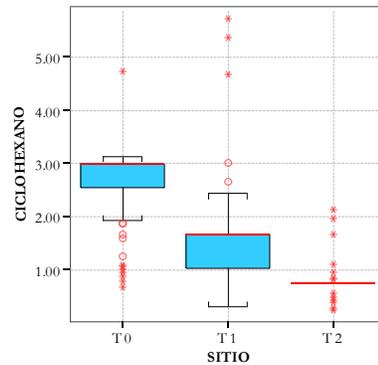
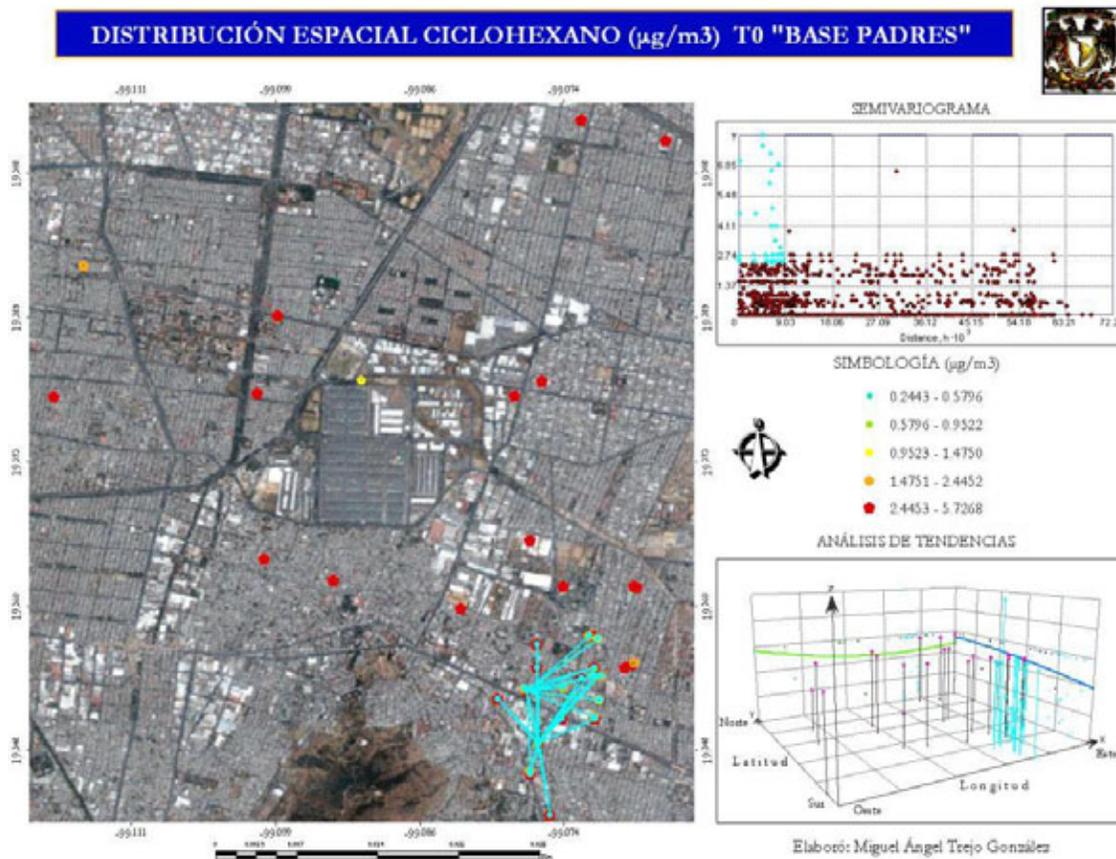


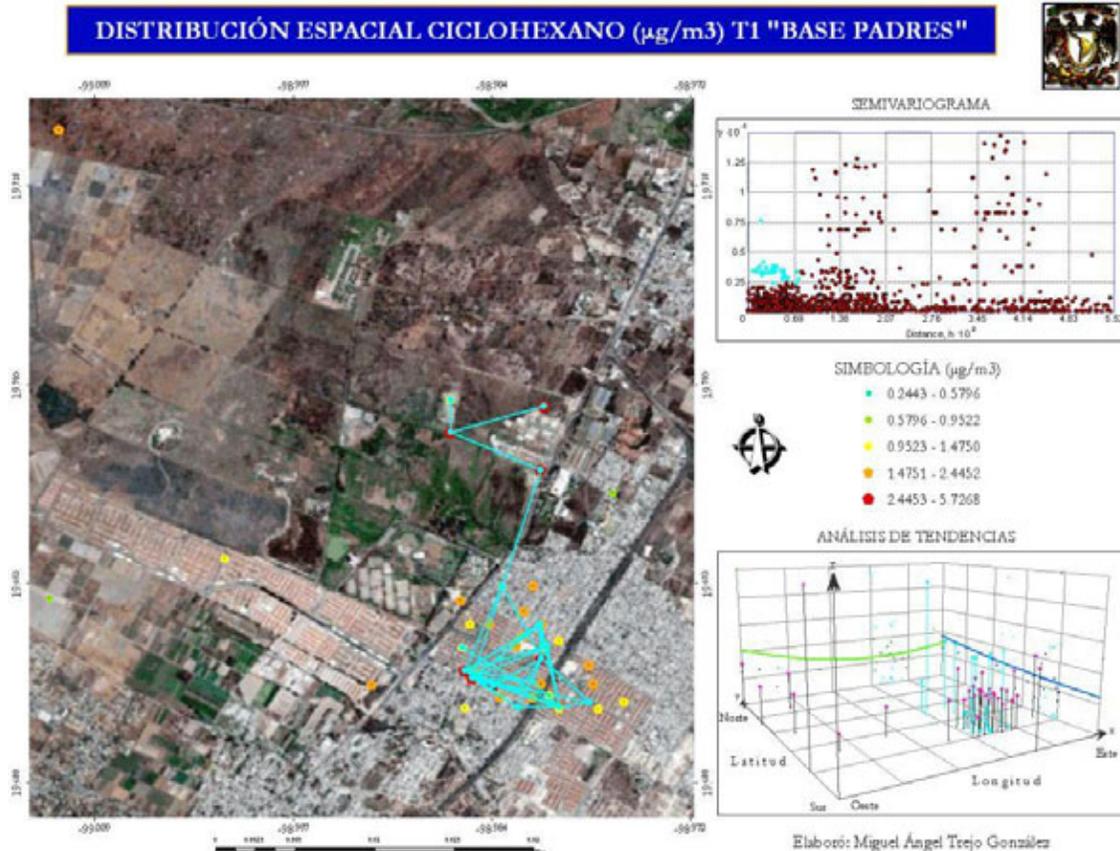
Figura. – 8. Diagrama de caja y bigote de ciclohexano en padres.

El semivariograma de padres, que incluye los datos totales del sitio y su asociación en cuanto a distancia y concentración, permitió establecer agrupaciones de datos. Así, para T0 se presentan intervalos altos (2.44 a $5.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que reflejan elevadas concentraciones de ciclohexano (mapa 15), aunado también a que se localizan datos agrupados a distancias cortas. En el análisis de tendencias existe un decremento de concentración de Oeste a Este y de Sur a Norte, resaltando una mayor concentración en el Noroeste del sitio.



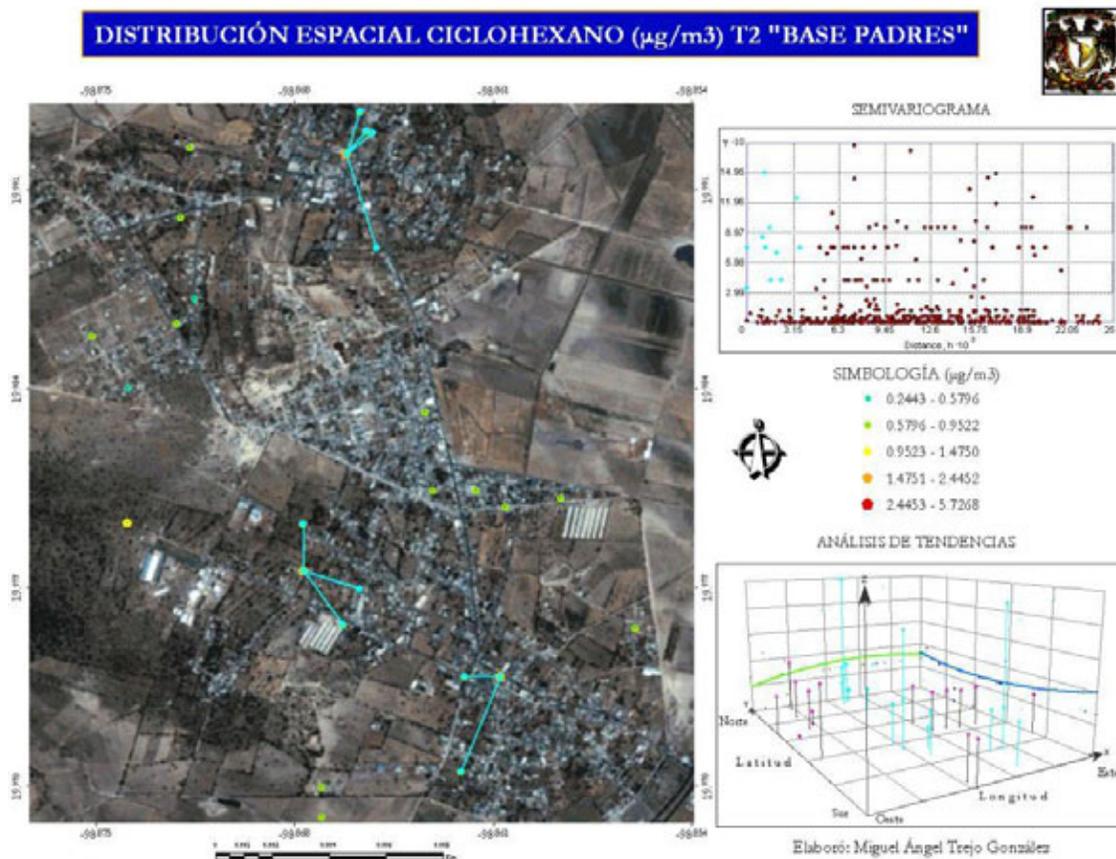
Mapa. – 15. Distribución espacial de ciclohexano en T0, base padres.

En T1 los valores para padres van desde 0.95 a 2.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo existen datos que son más altos. En el semivariograma los valores altos se distribuyen a lo largo del sitio pero al agruparlos en distancias cortas se distingue un patrón donde se incluyen unidades habitacionales cercanas a la autopista México-Pachuca hasta llegar a sitios más alejados, lo que es resultado de exposiciones prolongadas al ciclohexano, pero no necesariamente emitidas en T1 (mapa 16). En el análisis de tendencias los valores no son diferentes en cuanto a la orientación geográfica.



Mapa. – 16. Distribución espacial de ciclohexano en T1, base padres.

T2 es un sitio rural en el que los niveles de exposición a ciclohexano son bajos (0.57 a $0.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$) como se observa en el mapa 17 sin embargo, al igual que otros COVs como el benceno, pueden presentarse datos de elevada concentración, debido a casos puntuales; por ejemplo de padres de familia que tengan un desplazamiento constante a sus sitios de trabajo y que impliquen riesgos en la salud como gasolineras u otras industrias relacionadas con solventes o quema de combustibles fósiles. Por lo anterior, las semivarianzas semejantes no predominan en el sitio y no existe asociación directa con áreas cercanas. Para este sitio se percibe un decremento de tendencia de Este a Oeste, mientras en la tendencia de Norte a Sur presenta un incremento.

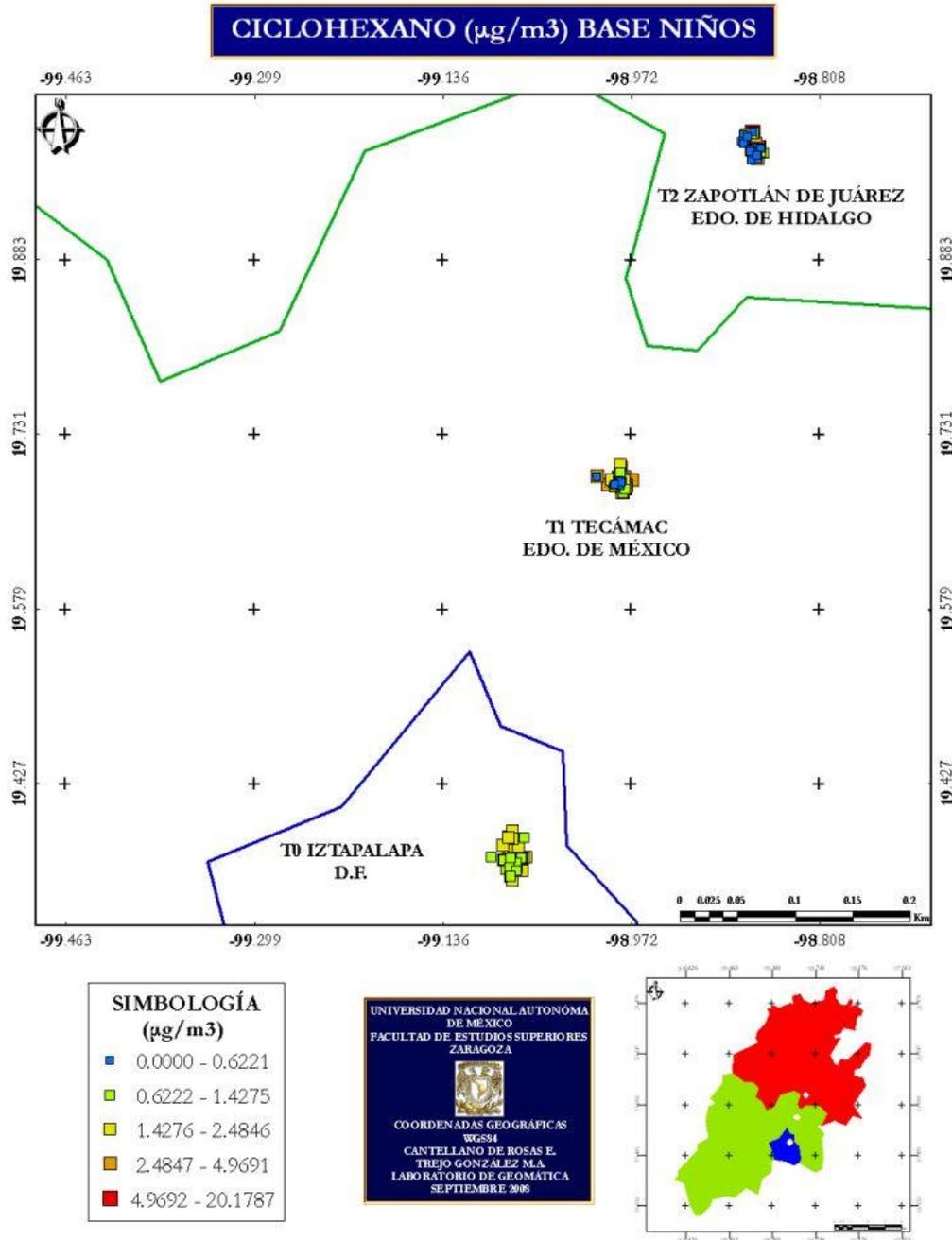


Mapa. – 17. Distribución espacial de ciclohexano en T2, base padres.



→ Ciclohexano en niños.

Para la base de datos de niños, el dato máximo de ciclohexano se presenta en T2, seguido de T1 y T0, y la media más alta está en T1 (tabla 13). En los niños, el mapa 18 manifiesta que la tendencia presente en padres se repite (mapa 14), T1 es el sitio donde se concentra la mayor exposición a ciclohexano, seguido de T0 y finalmente T2 que incluye los valores más bajos de toda la zona de estudio.



Mapa. – 18. Distribución espacial en la zona de estudio de ciclohexano en niños.

En el diagrama de caja se observa que en T2 está presente el dato extremo y es en este mismo sitio donde se presenta la mayor dispersión de toda la zona. Por el contrario es en T0 donde los datos presentan menor dispersión, además de los valores más bajos (figura 9).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE CICLOHEXANO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
BASE NIÑOS

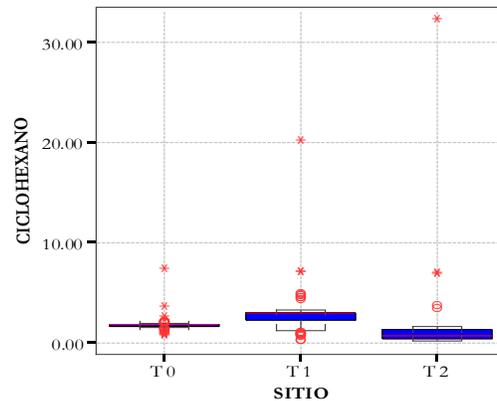
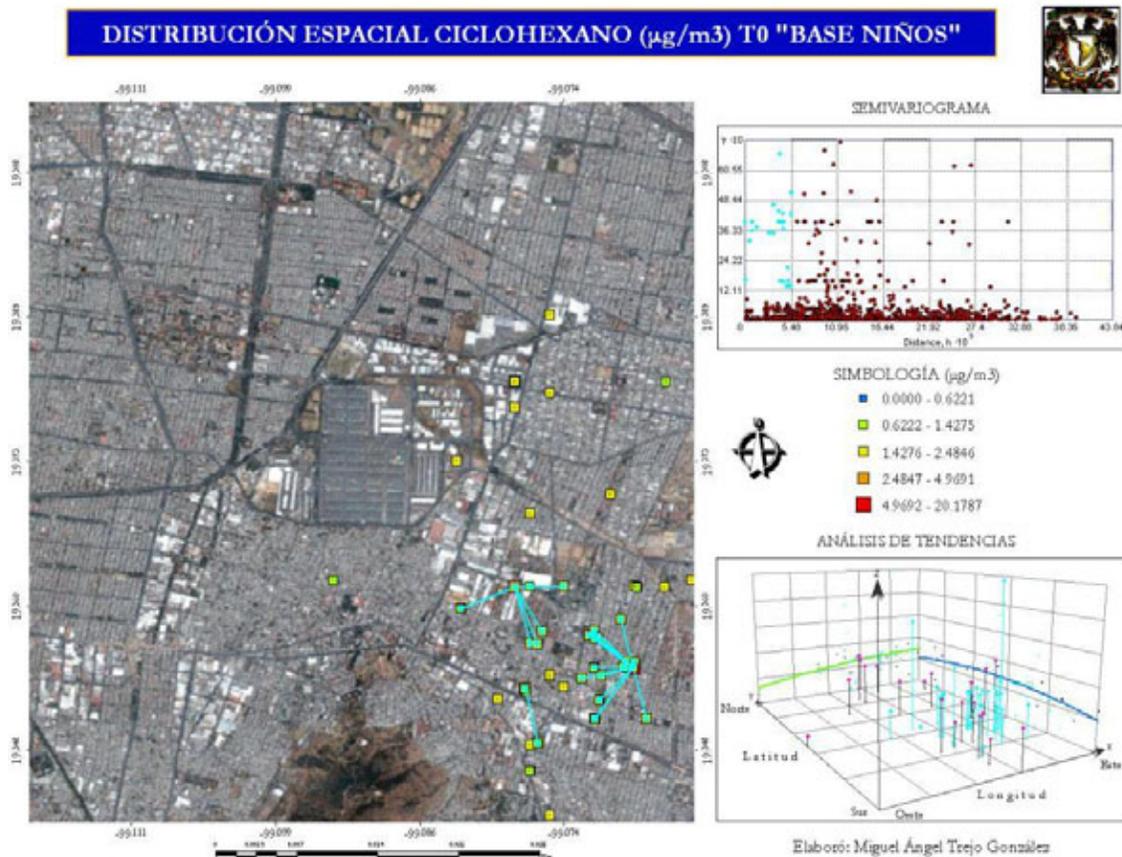


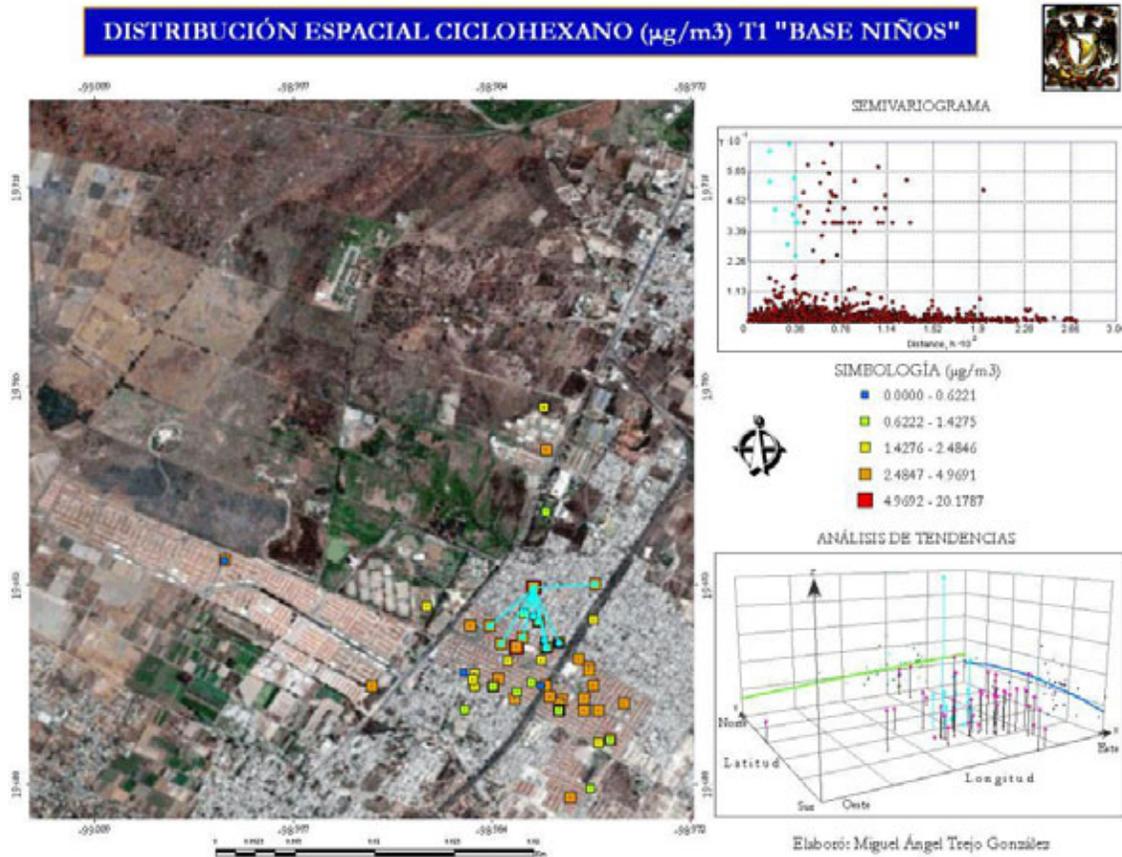
Figura. – 9. Diagrama de caja y bigote de ciclohexano en niños.

El patrón espacial no presenta un único grupo de datos como en el caso de benceno, sino que existen subgrupos asociados a semivarianzas similares en áreas cercanas. En T0 predominan datos con intervalos de 1.42 a 2.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el análisis de tendencia se presenta un ligero incremento Sur-Norte y de Oeste-Este (mapa 19).



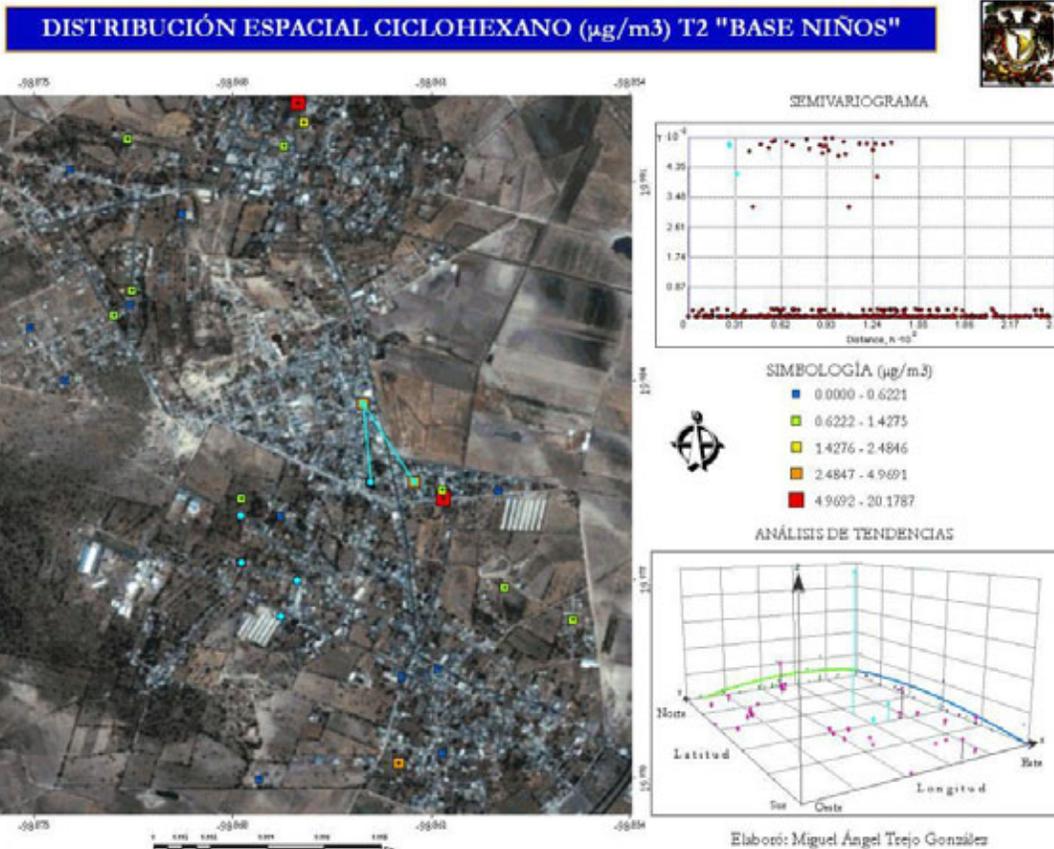
Mapa. – 19. Distribución espacial de ciclohexano en T0, base niños.

La distribución espacial destaca la presencia de un área en el que se agrupan las semivarianzas en el sitio T1 (mapa 20) por lo que la tendencia espacial no presenta variación respecto a la exposición geográfica, sólo se observan leves incrementos de Oeste a Este.



Mapa. – 20. Distribución espacial de ciclohexano en T1, base niños.

En el sitio T2, aún cuando se localizan dos datos extremos, la asociación entre semivarianzas no resulta representativa ya que no se localiza un patrón evidente de áreas cercanas (mapa 21). En la tendencia respecto a la orientación geográfica se presenta el mismo comportamiento (incremento-decremento) en ambas direcciones, resaltando una concentración mínima en la parte centro de T2.

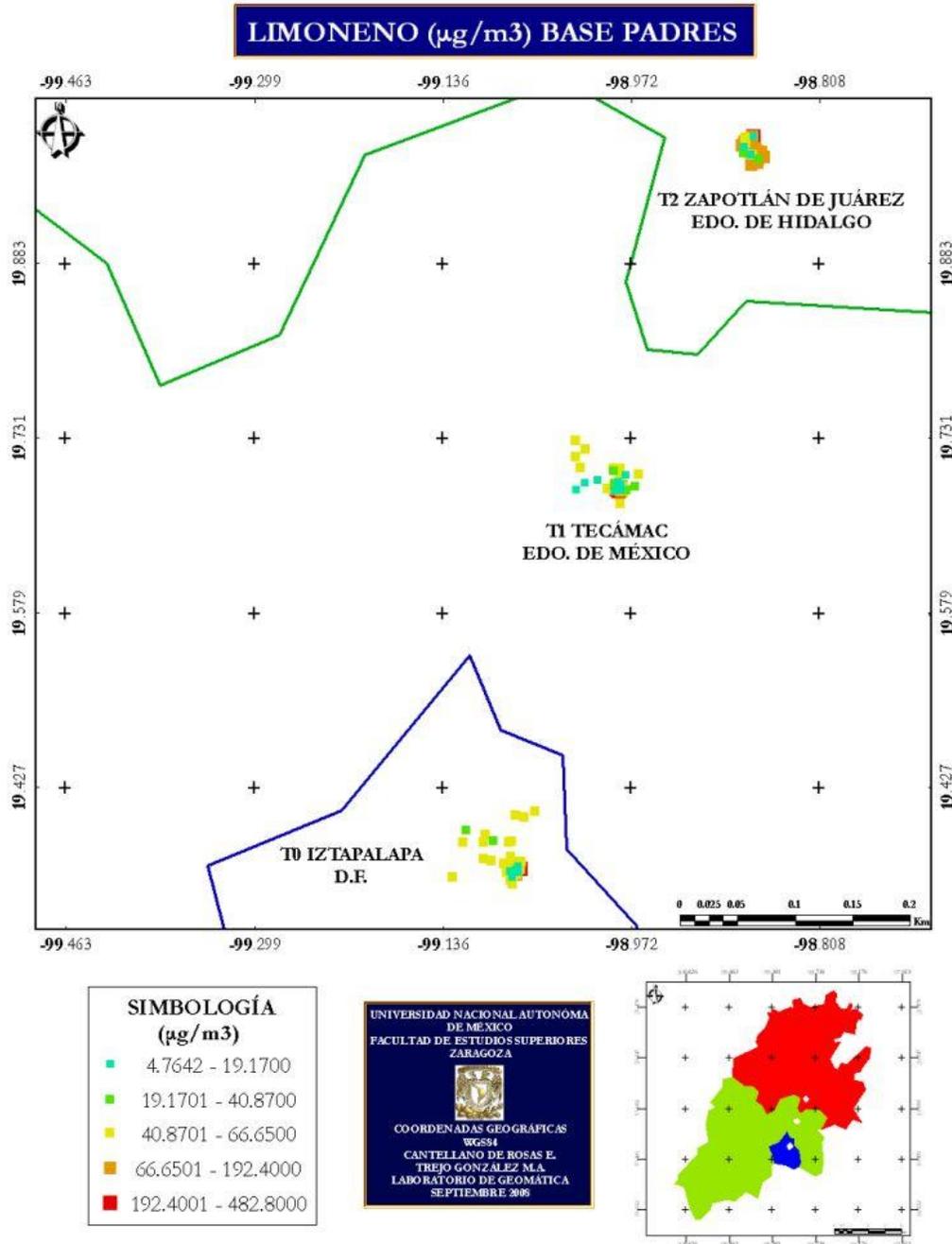


Mapa. – 21. Distribución espacial de ciclohexano en T2, base niños.

No se encontraron antecedentes bibliográficos acerca de normas o límites máximos permisibles para ciclohexano por lo que sus resultados se presentan como un antecedente, la importancia se destaca porque un amplio porcentaje (60%) de enfermedades asociadas a infecciones respiratorias están vinculadas con la exposición a la COVs, como pudiera ser el ciclohexano, sus fuentes de emisión provienen principalmente de emisiones de automotores, de la quema al aire libre de desechos sólidos y del sector de la construcción (Creel 2002). El análisis para ciclohexano presentó una dispersión heterogénea respecto a padres y niños, así como en sitios. En los padres es T0 el sitio donde se presenta el mayor promedio de exposición y T1 donde se localiza el valor máximo; para niños es T1 el sitio con mayor exposición y en T2 se encuentra el valor más alto. Aún cuando existen casos particulares como el de T2, en general para ciclohexano se observa una tendencia de la exposición a decrecer conforme se incrementa la distancia de la zona urbana. Por otra parte, también se presentan COVs en el interior de las viviendas de los niños, lo que representa concentraciones que pueden ser extremadamente altas y que son relacionadas con incrementos con el riesgo de contraer infecciones respiratorias agudas del tracto inferior en niños, dolores de cabeza, molestias en los ojos, entre otras (OMS 2005). El humo del tabaco ajeno es también una fuente importante de la contaminación del aire en interiores (Mallol 2004), por lo que los niños son obligados a respirar involuntariamente las 4,000 sustancias químicas del humo del tabaco, incluyendo monóxido de carbono, nicotina, alquitrán, formaldehído y cianuro de hidrógeno (Schei *et al.* 2004). La mayoría de dichas sustancias son irritantes respiratorias y varias decenas están catalogadas como carcinógenos humanos (Ferrís *et al.* 2002). Resultaría importante que se desarrollaran normas ambientales para la protección a la salud de la población de la ZMVM de contaminantes tóxicos como el benceno, tolueno, ciclohexano y otros compuestos presentes en la atmósfera.

→ Limoneno en padres

Los resultados para padres presentan un máximo en T1 (482.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido de T0 y T2; no obstante es T0 donde se encuentra la media más elevada (tabla 12). Lo anterior se observa en el mapa 22 donde T2 predomina con valores para los intervalos de menor a media concentración (4.76 a 192.40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); para el resto de los sitios también es evidente que existe una amplia variabilidad en concentraciones.



Mapa. – 22. Distribución espacial en la zona de estudio de limoneno en padres.

En la distribución de frecuencias se señala a T0 y T1 con mayor dispersión de datos. Para los tres sitios no se observan una distribución normal ya que valores altos y bajos se alternan de forma regular. Los valores bajos son los que predominan en T1 y T0, por ello los datos de mayor concentración se encuentran más dispersos (figura 10).

HISTOGRAMA LIMONENO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

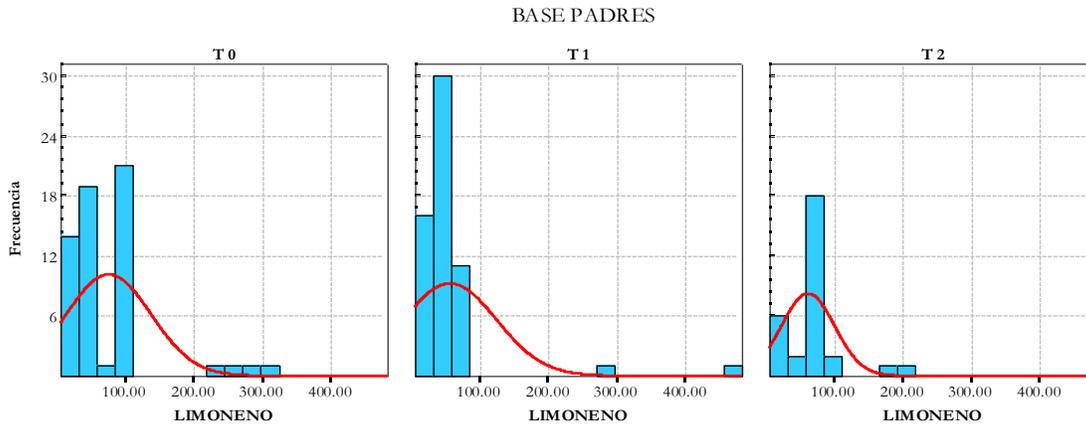
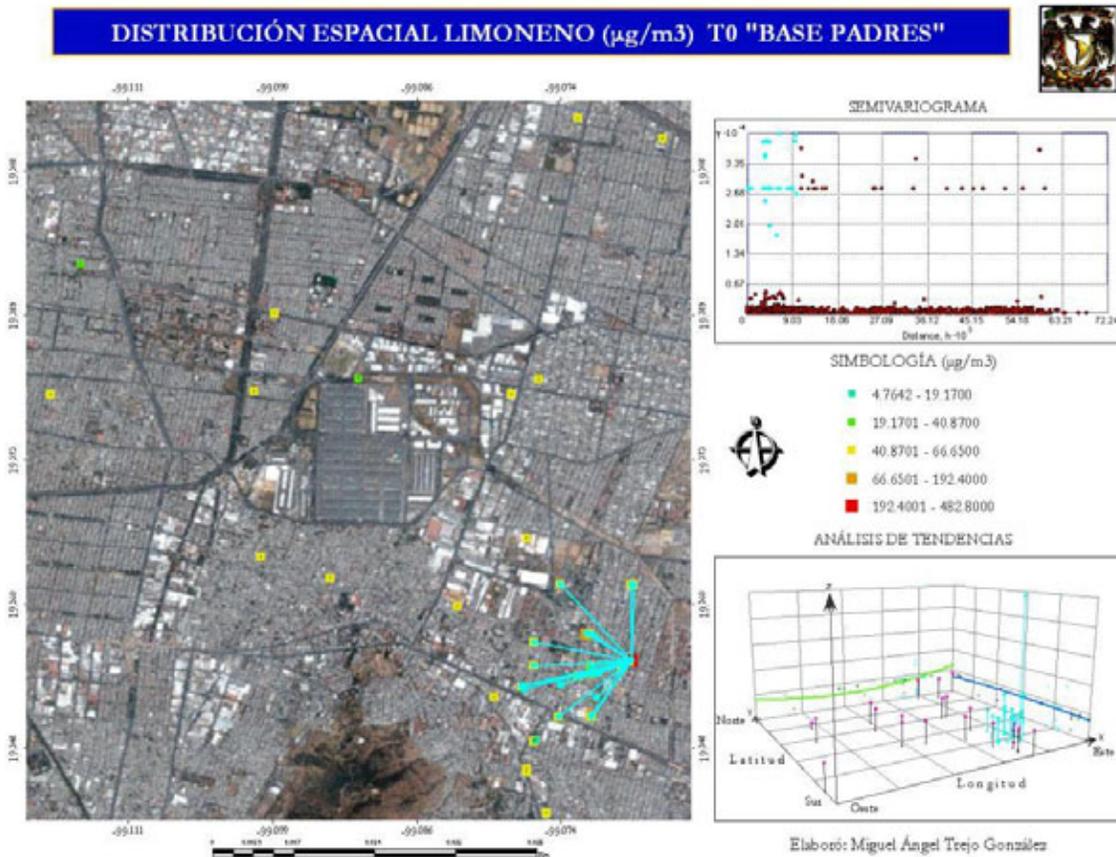


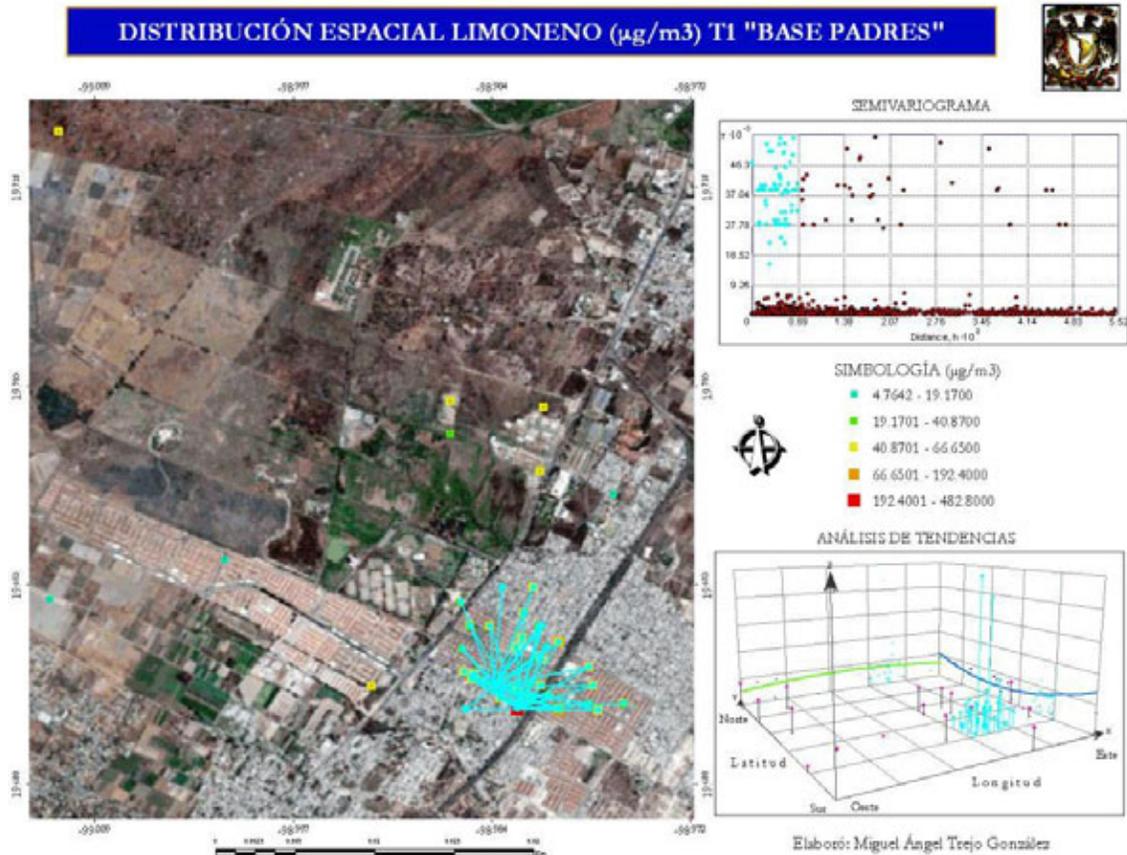
Figura. – 10. Histograma de limoneno en padres.

El análisis del semivariograma sugiere una similitud con benceno y ciclohexano ya que existe un grupo de datos que relacionan distancia y altas concentraciones. De Norte a Sur la tendencia espacial no presenta ninguna variación, mientras que de Oeste a Este se observa un ligero decremento. Es de notar que T0 presenta el mayor número de puntos en el intervalo 40.87 a 66.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mapa 23).



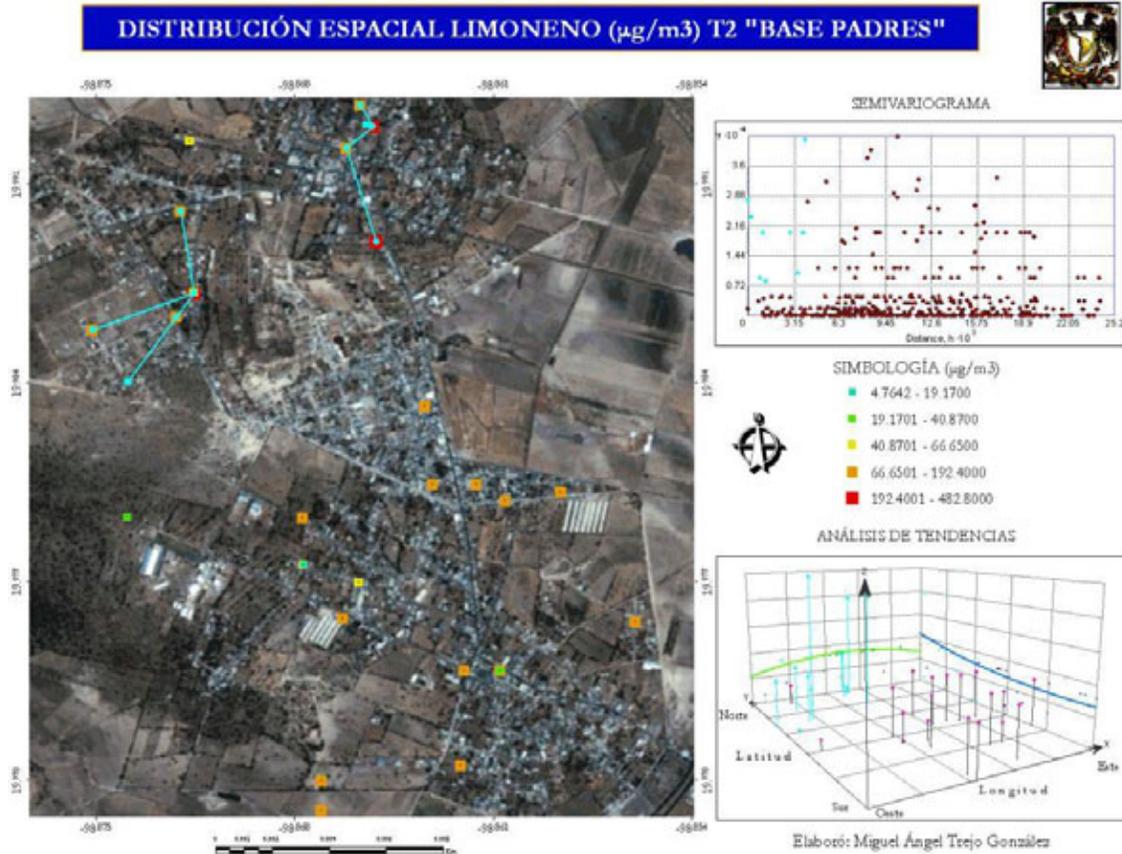
Mapa. – 23. Distribución espacial de limoneno en T0, base padres.

La distribución espacial para T1 sigue el patrón similar para benceno, esto es semivarianzas semejantes están agrupadas a distancias cercanas, lo que expresa que en esa área existen niveles de exposición constantes al ciclohexano. La dirección de las tendencias señala un decremento-incremento de Norte a Sur, mientras que en la dirección Este Oeste es a la inversa (mapa 24).



Mapa. – 24. Distribución espacial de limoneno en T1, base padres.

En T2 el limoneno tiende una distribución espacial heterogénea por lo que no se precisa que en distancias cortas existe una asociación directa con semivarianzas semejantes. En el sitio se presenta datos altos pero no reflejan una generalidad en el área. De Sur a Norte la tendencia indica un ligero incremento, de Oeste a Este primero aumenta y luego disminuye (mapa 25).

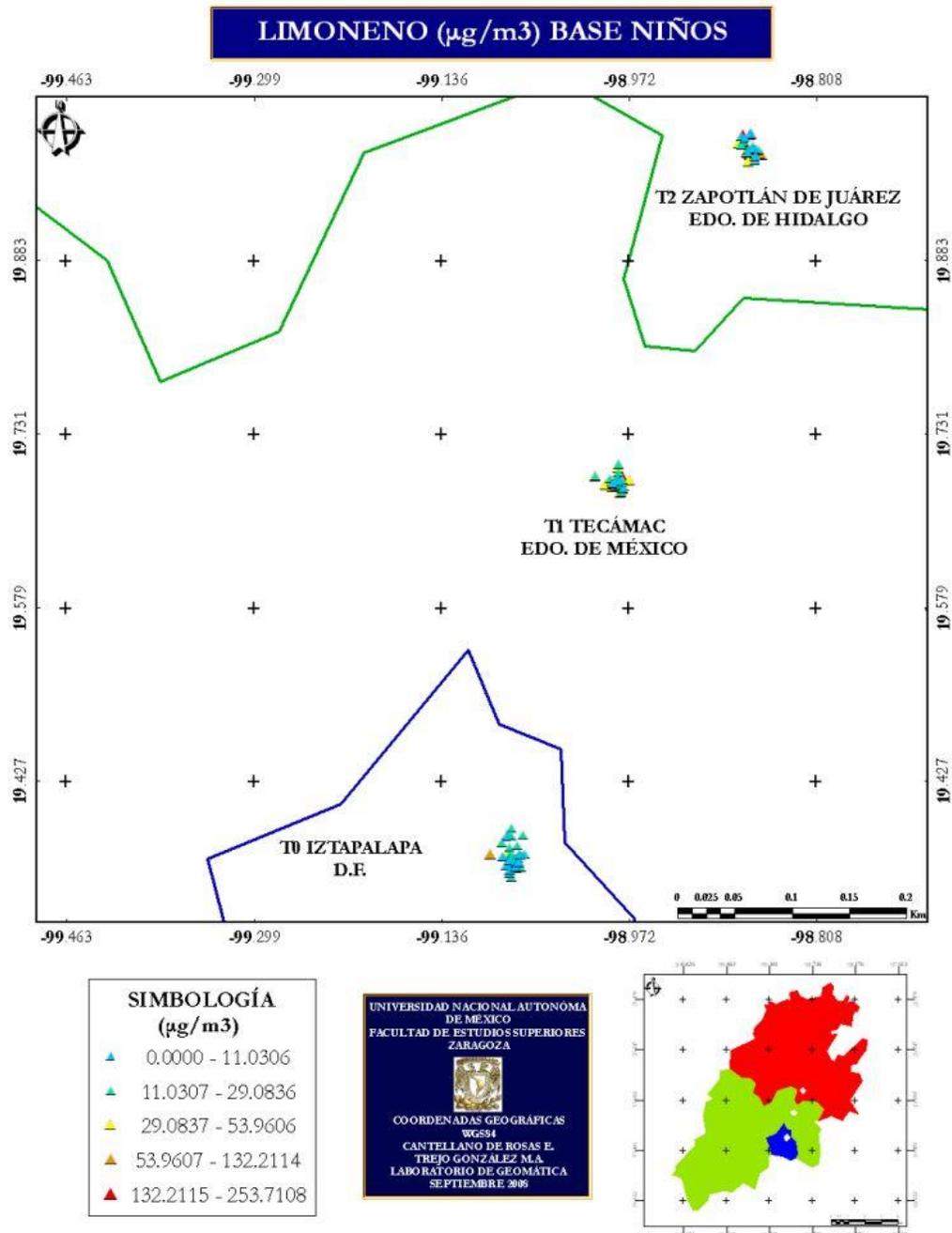


Mapa. – 25. Distribución espacial de limoneno en T2, base padres.



→ Limoneno en niños

Para el caso del limoneno en niños los resultados de las medidas de tendencia central y de dispersión del análisis indican que la media más elevada está en T2 (51.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), seguida de T1 y T0, al igual es T2 el sitio donde se da el máximo dato de exposición (253.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), T0 también presenta un dato elevado de 206.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (tabla 13). En el mapa 26 se observa que la nube de puntos para los tres sitios impide que sus intervalos de concentración se aprecien de forma clara.



Mapa. – 26. Distribución espacial en la zona de estudio de limoneno en niños.

La figura 11 señala que en T2 es donde la distribución presenta mayor dispersión aunado a que existen valores extremos, además sus datos se concentran en la parte inferior de la distribución.

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE LIMONENO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
BASE NIÑOS

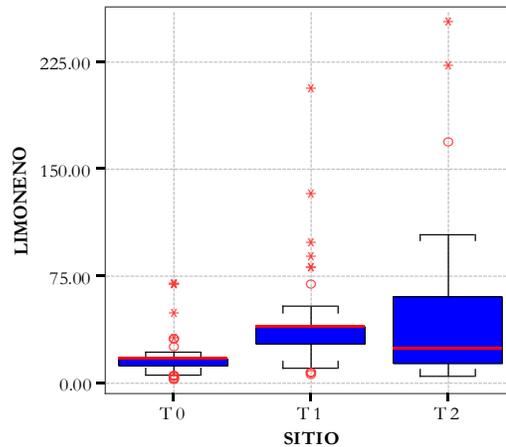
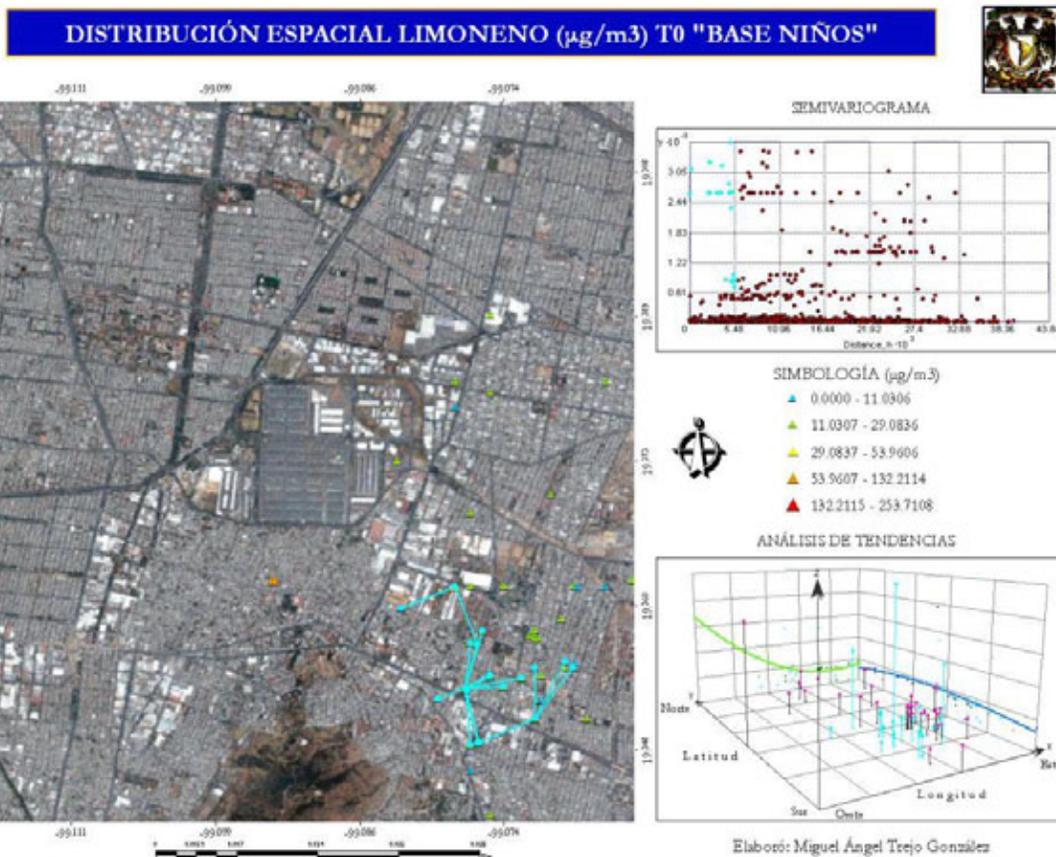


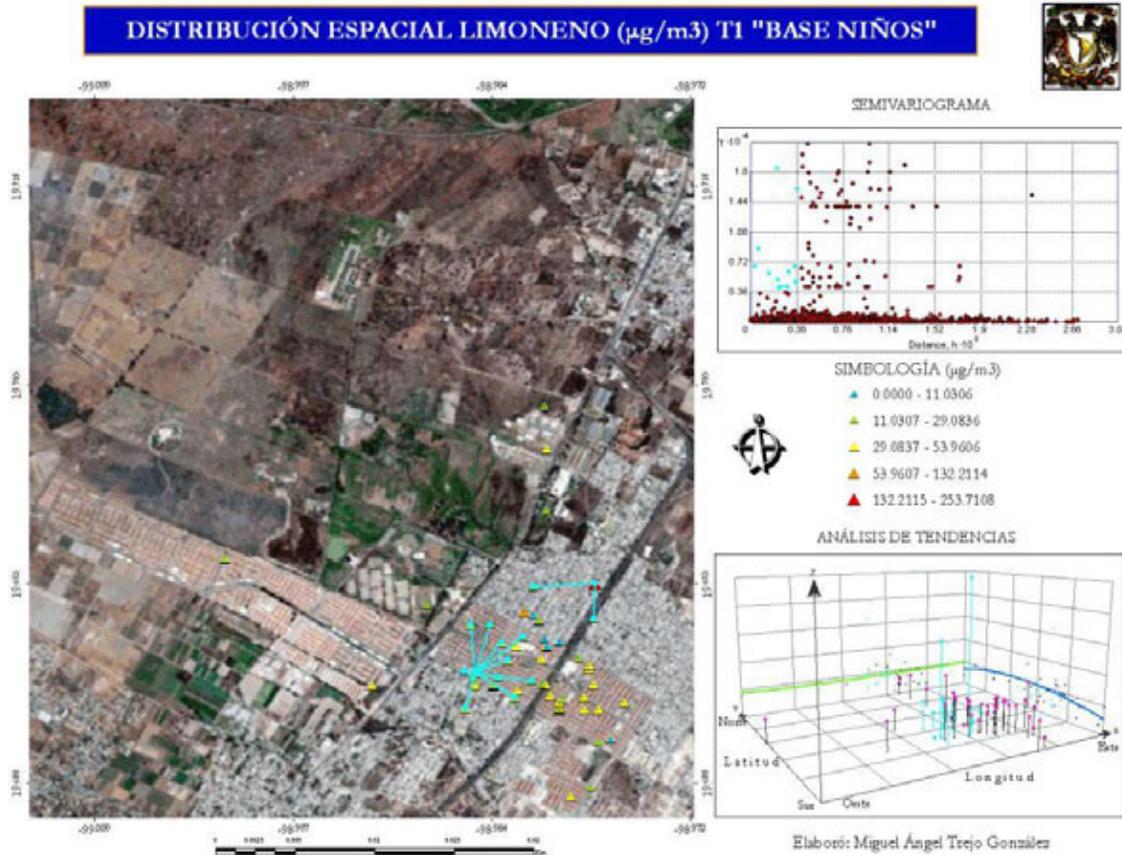
Figura. – 11. Diagrama de caja y bigote de limoneno en niños.

La distribución espacial en T0 sigue un distribución de datos que se asocian en un área, asimismo este patrón se observa también en benceno y ciclohexano. Al Oeste del sitio se observa una tendencia notablemente ascendente en dirección Este, mientras que de Norte a Sur se denota una ligera curva con la misma tendencia (mapa 27).



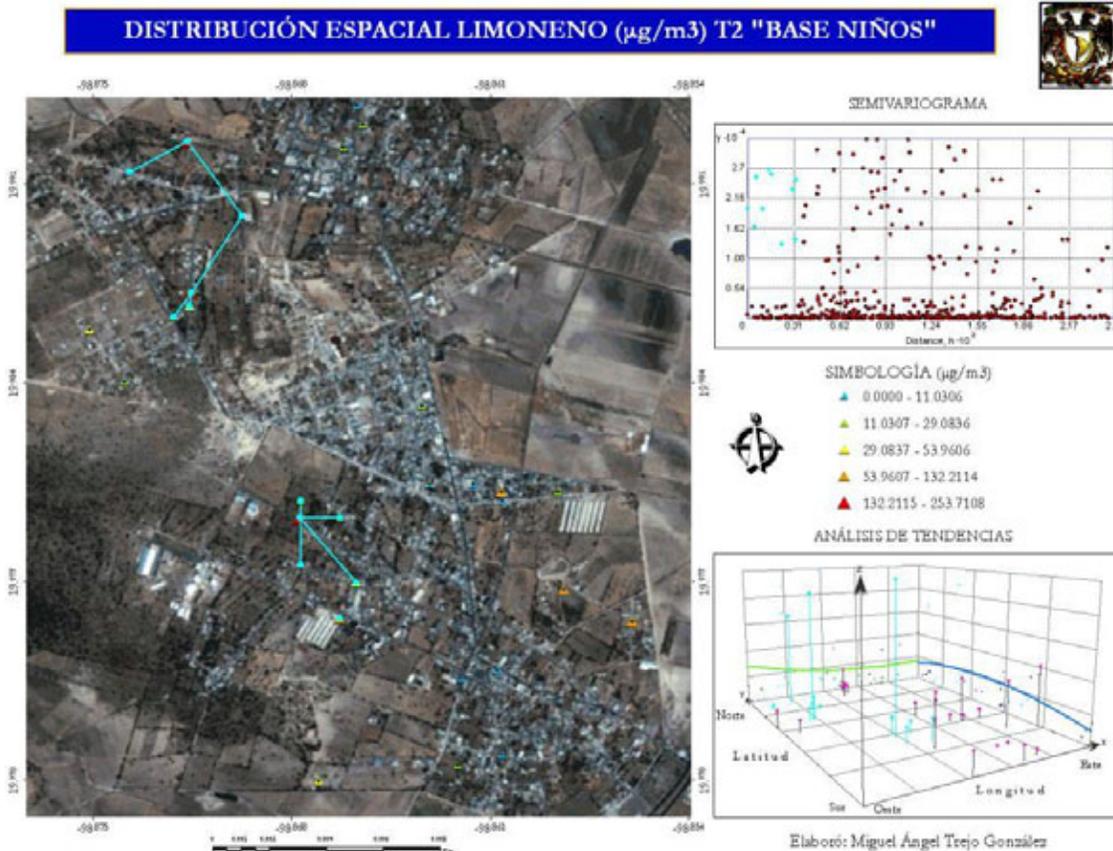
Mapa. – 27. Distribución espacial de limoneno en T0, base niños.

Para T1 existen dos grupos que asocian sus semivarianzas en distancias cortas, también se observa que el intervalo predominante es de 29 a 53.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Destaca, a diferencia de los anteriores sitios que no existe una variación de tendencias por orientación geográfica (mapa 28).



Mapa. – 28. Distribución espacial de limoneno en T1, base niños.

La distribución espacial sigue un patrón similar a los COVs anteriormente descritos por lo que en T2 son escasas las asociaciones entre semivarianzas y distancias próximas. En el sitio los valores bajos son los que predominan. De acuerdo al análisis de tendencia, de Norte a Sur se observa un ligero incremento-decremento de limoneno, notando que la concentración más elevada se encuentra en la parte central del sitio (mapa 29).



Mapa. – 29. Distribución espacial de limoneno en T2, base niños.

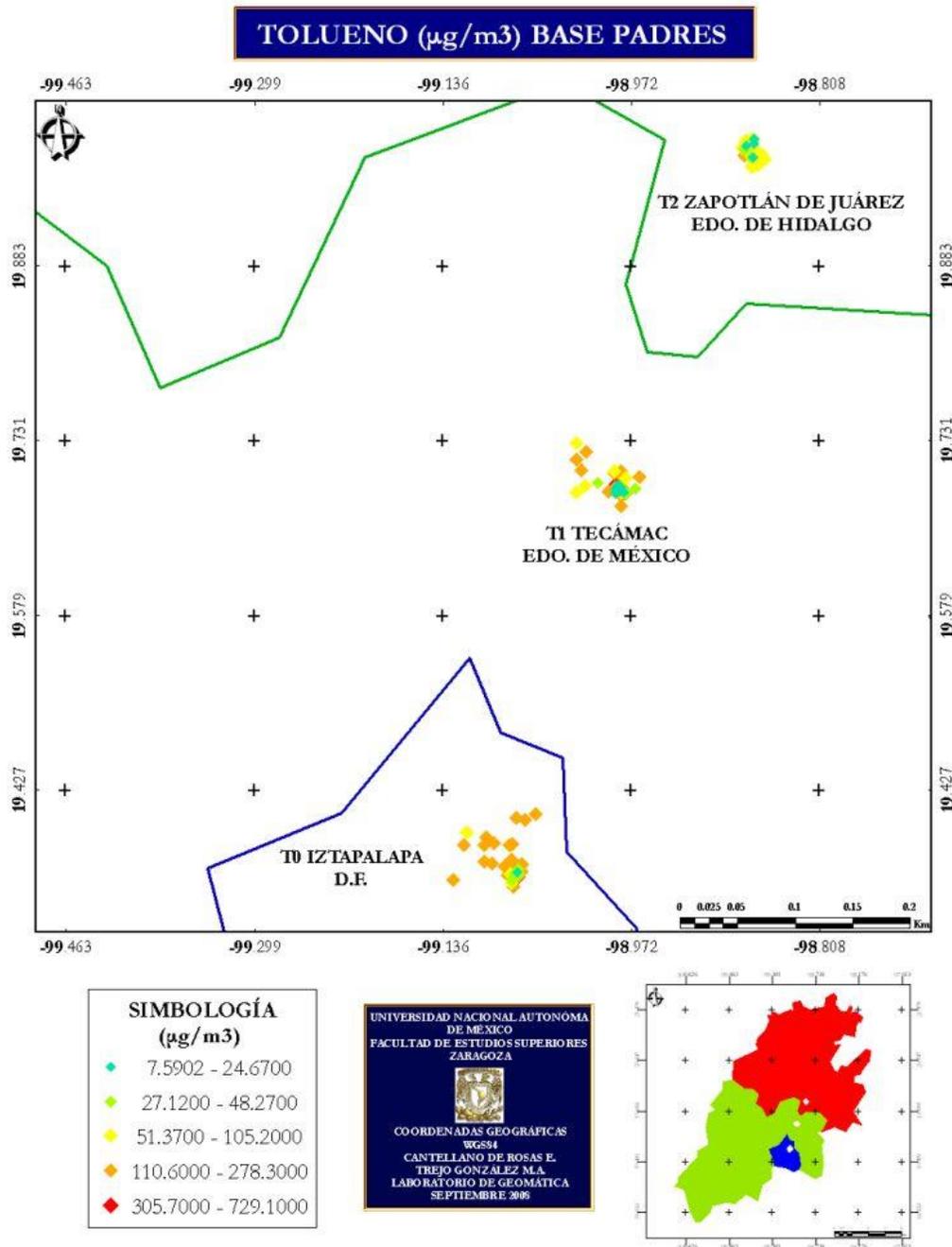
En el limoneno se observan varios patrones de exposición ya que en padres la mayor concentración se incluye en T0, y en niños ocurre T2 por lo que no es posible aseverar que la concentración decrece conforme se incrementan las distancias a áreas urbanas. Probablemente la excepción encontrada en T2 está influenciada por la flora local del sitio, como se sabe parte de los COVs, incluido el limoneno, presentes en la atmósfera también proviene de emisiones de las plantas con lo que se demuestra que la composición atmosférica es también producto de actividades biológicas; otras fuentes de limoneno en el aire son productos de consumo diario como perfumes, ambientadores del hogar y productos de limpieza (Lerdau *et al.* 1997). Pérez-Vidal *et al.* (2000) indica que las concentraciones máximas reportadas para Madrid, España son de $28.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lo que pone de manifiesto que la población de la ZMVM, incluidos la totalidad de la zona de estudio, se encuentra diariamente expuesta a concentraciones que rebasan por mucho los límites máximos reportados.

El análisis de limoneno demuestra un sitio rural como T2 presenta concentraciones elevadas, probablemente debido a que en el interior de los hogares y no únicamente el aire exterior lo que representa riesgos de salud para su población. De esta manera para ambientes rurales los niños y gente mayor serán los más vulnerables debido a una exposición más intensa, por tal motivo es indispensable una medición precisa del limoneno para tener una aproximación hacia su comportamiento y los niveles de exposición que pudieran alterar el metabolismo de la población de la ZMVM; ya que al igual que en ciclohexano, para limoneno no hay datos disponibles de toxicidad ni de límites máximos permisibles que pudieran servir en un análisis comparativo con los resultados obtenidos en este trabajo.



→ Tolueno en padres.

El tolueno, compuesto importante en la combustión de combustibles fósiles, presenta concentraciones en la atmósfera de hasta 8 veces superiores al benceno (Puente y Ramaroson 2006). El contaminante presentó los resultados más elevados en T1 con $729.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tabla 12), estudios revisados publican concentraciones para 11 ciudades de Estados Unidos donde el valor máximo de exposición fue de $750 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Low 1998) siendo que las aportaciones de la quema de combustibles fósiles en vehículos son consideradas entre las principales emisiones al ambiente. En el mapa 30 se observa que la exposición de tolueno es mayor en T1 y por el contrario la menor exposición es en T2.



Mapa. – 30. Distribución espacial en la zona de estudio de tolueno en padres.

El diagrama de caja de padres muestra que en T0, seguido de T1 son los sitios donde se da la mayor dispersión de la zona, para T2 se observa que hay múltiples valores extremos lo que se atribuye a casos de mayor exposición dentro del sitio (figura 12).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE TOLUENO ($\mu\text{g}/\text{m}$)
BASE PADRES

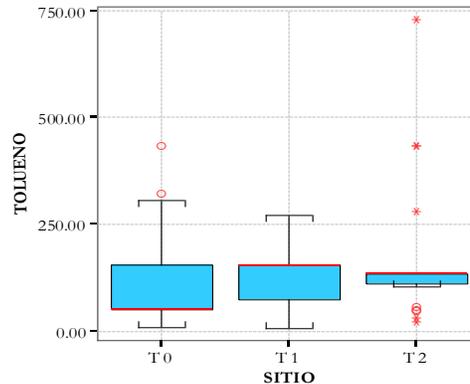
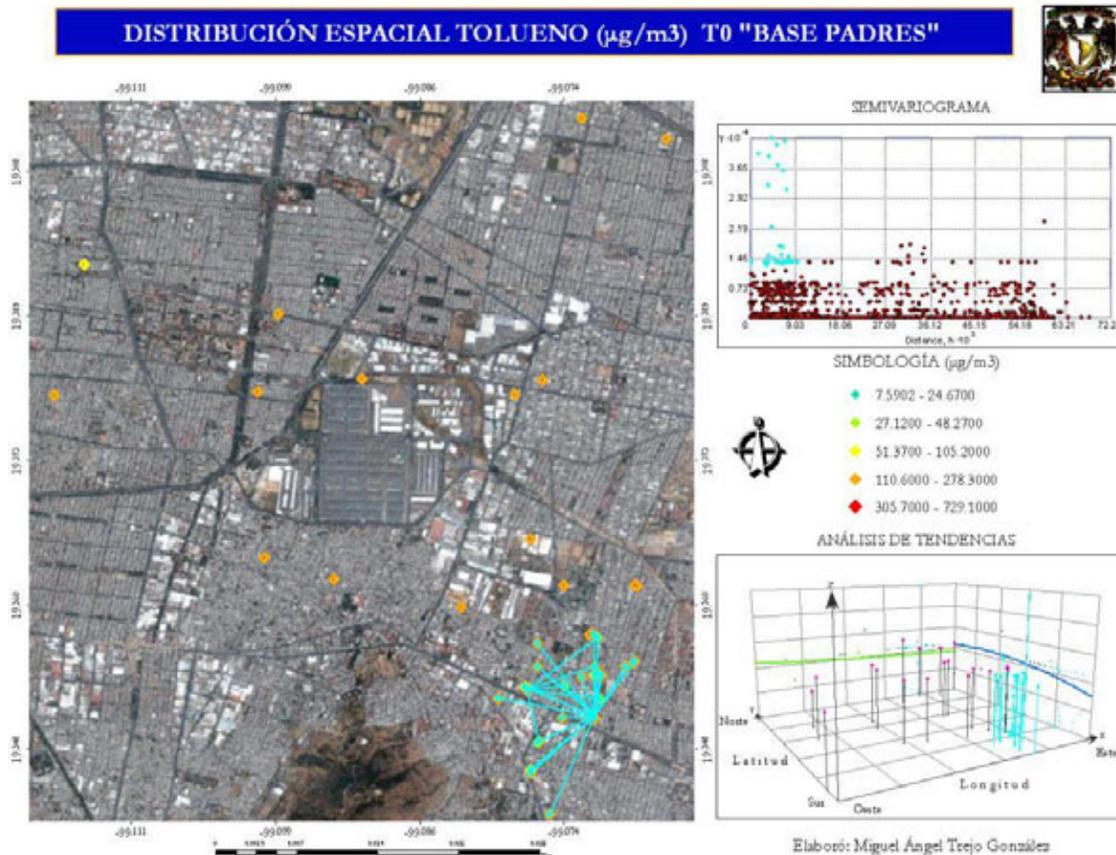


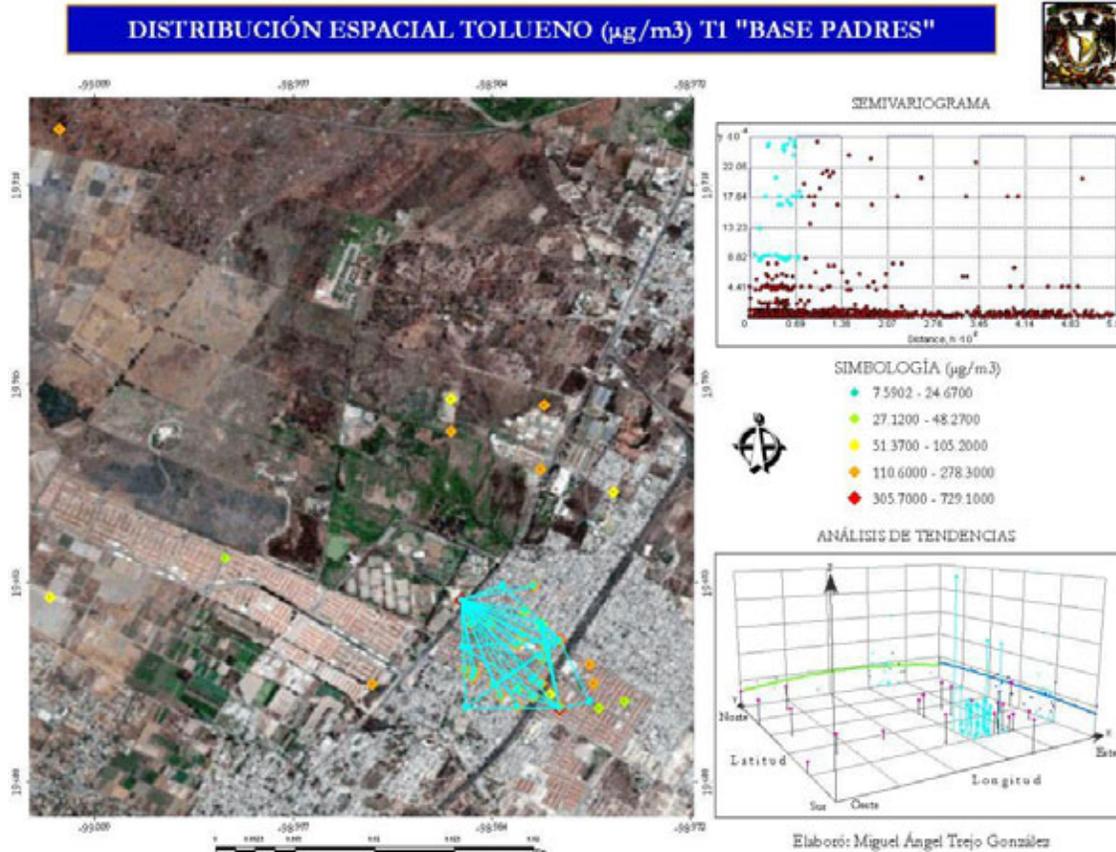
Figura. – 12. Diagrama de caja y bigote de tolueno en padres.

La tendencia espacial de tolueno para T1 presentó el mismo patrón de distribución con respecto a los COVs anteriores, en el mapa 31 se observa que la mayor exposición dentro del sitio ocurre en el área próxima a vías de alta circulación. En el análisis de tendencia se observa que en la parte Noroeste de T0 están las mayores concentraciones, mientras en la parte Sureste se encuentran las más bajas (mapa 31).



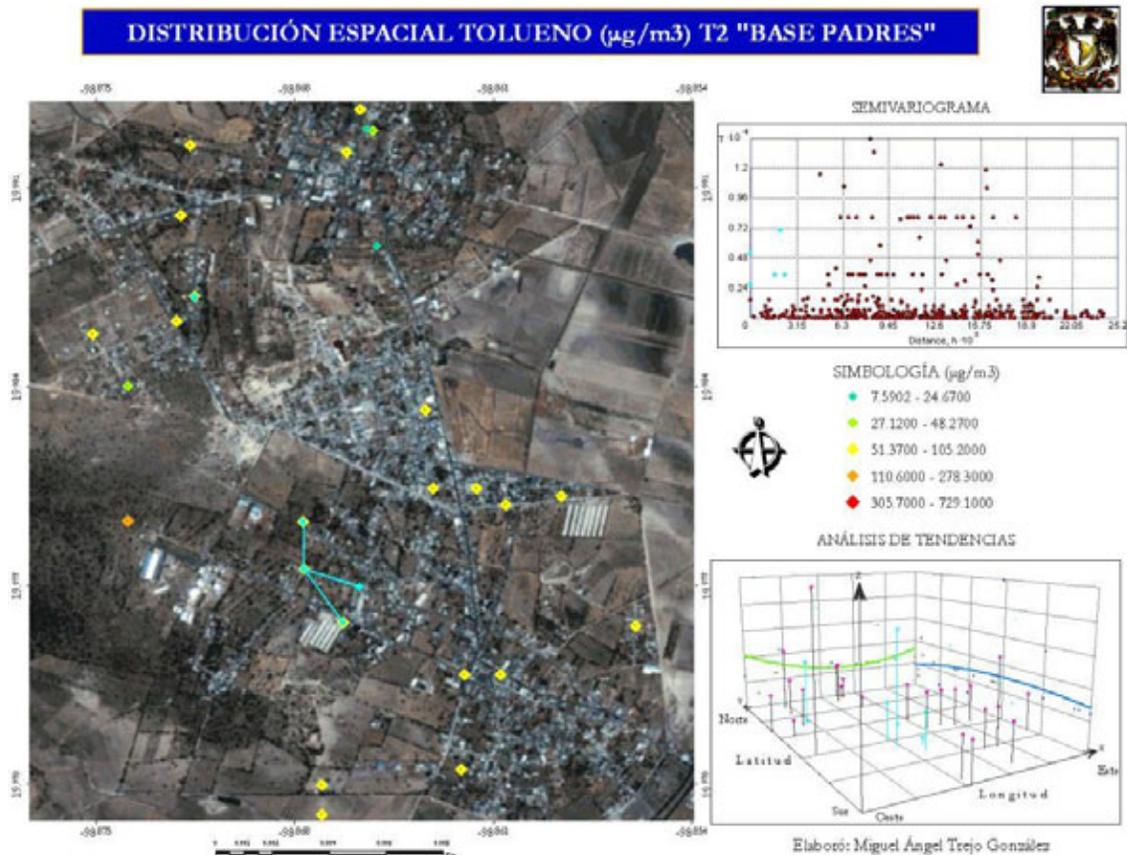
Mapa. – 31. Distribución espacial de tolueno en T0, base padres.

Para el caso de T1 las semivarianzas indican que prevalece un agrupamiento de datos cerca de áreas habitacionales y de vías de transporte de alto impacto ambiental, además de que el intervalo que tiene mayor presencia es el de 110.60 a 278.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, por el contrario conforme la distancia aumenta al área de dependencia espacial las semivarianza aumenta. La tendencia de Norte a Sur, en T1, se mantiene constante y no hay variación con respecto a la orientación geográfica del sitio (mapa 32).



Mapa. – 32. Distribución espacial de tolueno en T1, base padres.

La distribución en T2 de tolueno no indica agrupamientos de semivarianzas, lo que manifiesta que para el contaminante no existe una marcada asociación entre valores altos en puntos cercanos sino que los valores se dispersan a lo largo del sitio. El análisis de tendencias indica que de Norte a Sur existe un incremento y de Oeste a Este un decremento, presentando la mayor concentración al Suroeste y Sureste del sitio (mapa 33).



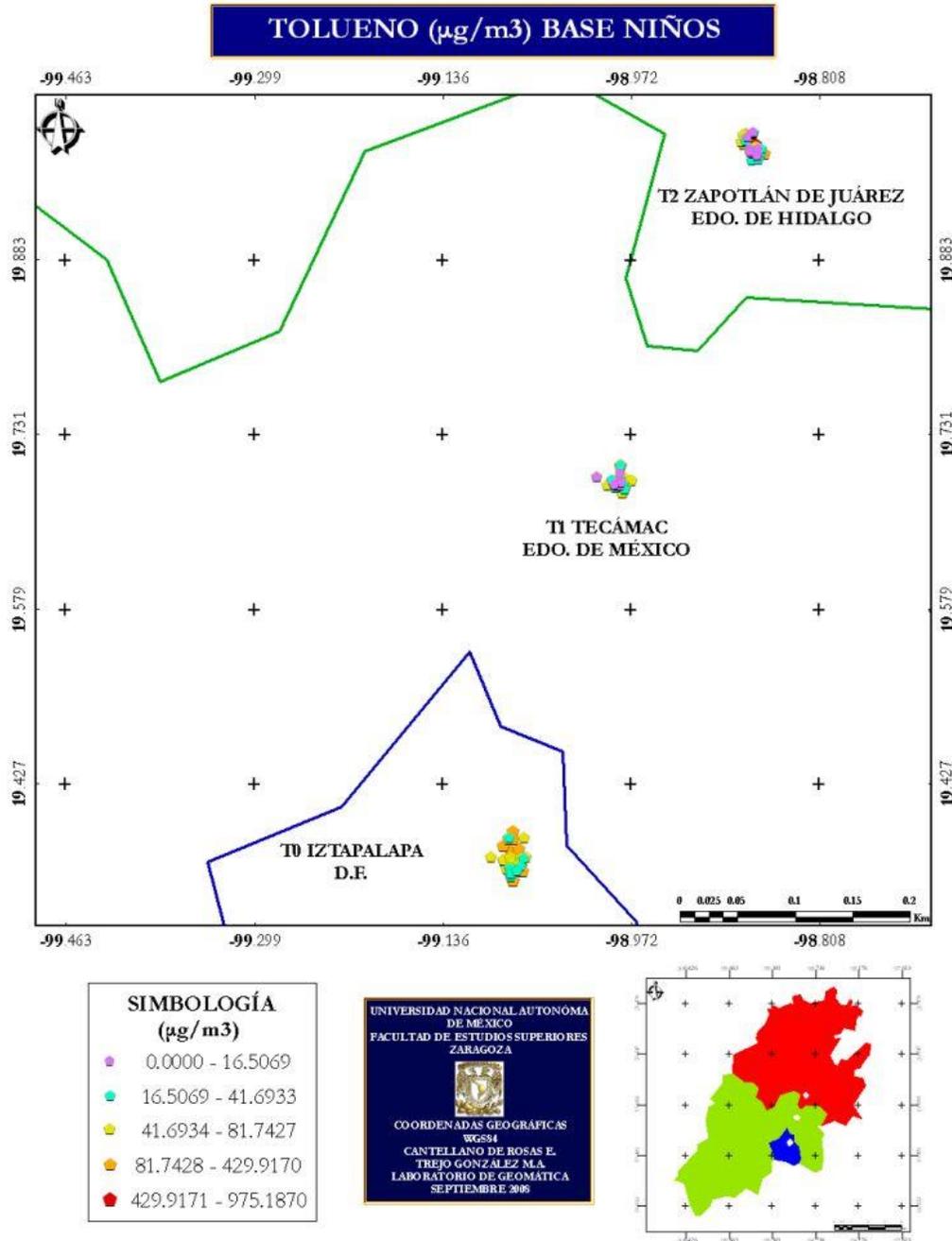
Mapa. – 33. Distribución espacial de tolueno en T2, base padres.

Las elevadas concentraciones de tolueno dentro de la zona de estudio y particularmente en T1 pueden explicarse por la presencia notable de suelos agrícolas y el constante paso de automotores que emiten altas concentraciones de contaminantes a la atmósfera. Las partículas emitidas ocasionan concentraciones elevadas de COVs lo que invariablemente resulta en que se excedan las normas de calidad del aire por periodos determinados de tiempo. Así, las emisiones representan una significativa fuente de contaminación del aire, siendo que la mayoría de ellos ocurren en áreas urbanas y semirurales, tal es el caso de T0 y T1, respectivamente, donde los problemas derivados del tráfico o de la industria son más continuos (Reinhardt 2001).



→ Tolueno en niños.

El análisis de niños muestra que el valor dato máximo por exposición a tolueno está en T2 (975.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y la media más alta ocurre en T0 (101.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (tabla 13). De esta manera la nube de puntos del mapa 34 muestra que es T0 donde en promedio hay mayor exposición y que T2 incluye el valor más alto de la zona de estudio (mapa 34).



Mapa. – 34. Distribución espacial en la zona de estudio de tolueno en padres.

El diagrama de caja señala que en T0 y T2 se presenta la mayor dispersión, y por ello la distribución de datos altos y bajos se alternan de manera similar, también se observa que en dichos sitios están presentes datos extremos que se distinguen del resto; por el contrario T1 es el sitio donde menos se dispersan los datos (figura 13).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE TOLUENO (μg)
BASE NIÑOS

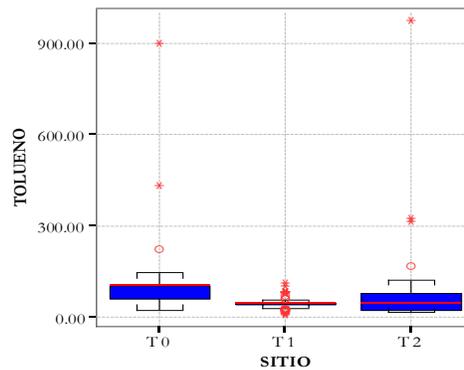
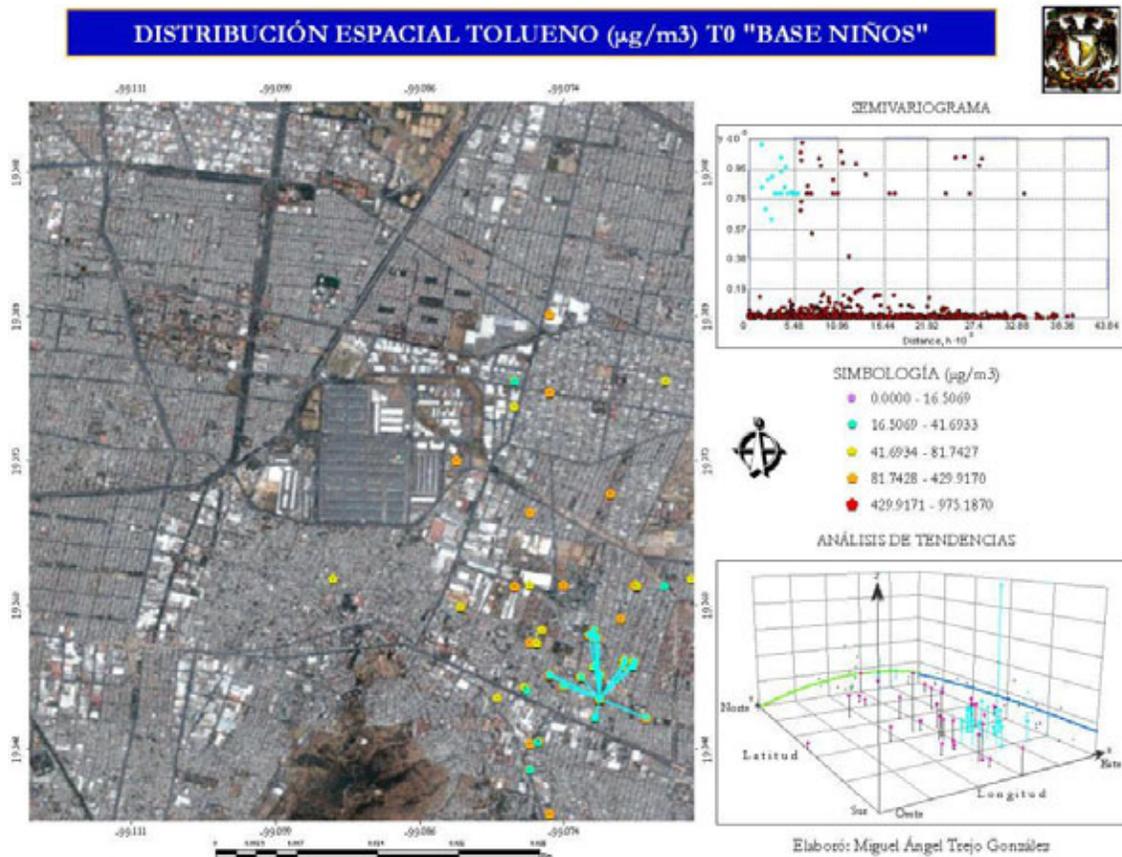


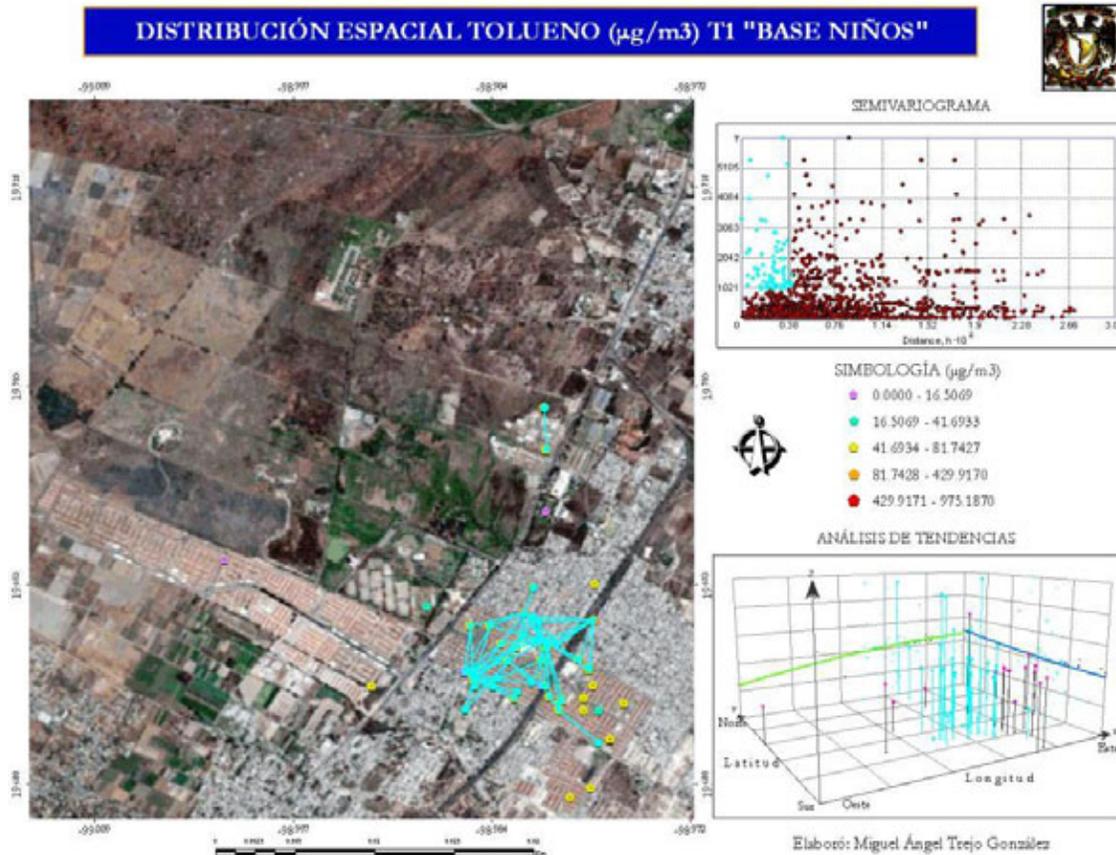
Figura. – 13. Diagrama de caja y bigote de tolueno en niños.

La exposición al tolueno en T0 muestra que en el sitio existen puntos con altas concentraciones en áreas aledañas, lo que indica que los niños cercanos al área son los más propensos a la exposición del contaminante. Los intervalos para el sitio van de los 41.69 a los 429.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El análisis de tendencias señala que en dirección Norte a Sur existe un ligero incremento a la exposición, y en dirección Este a Oeste un notable decremento (mapa 35).



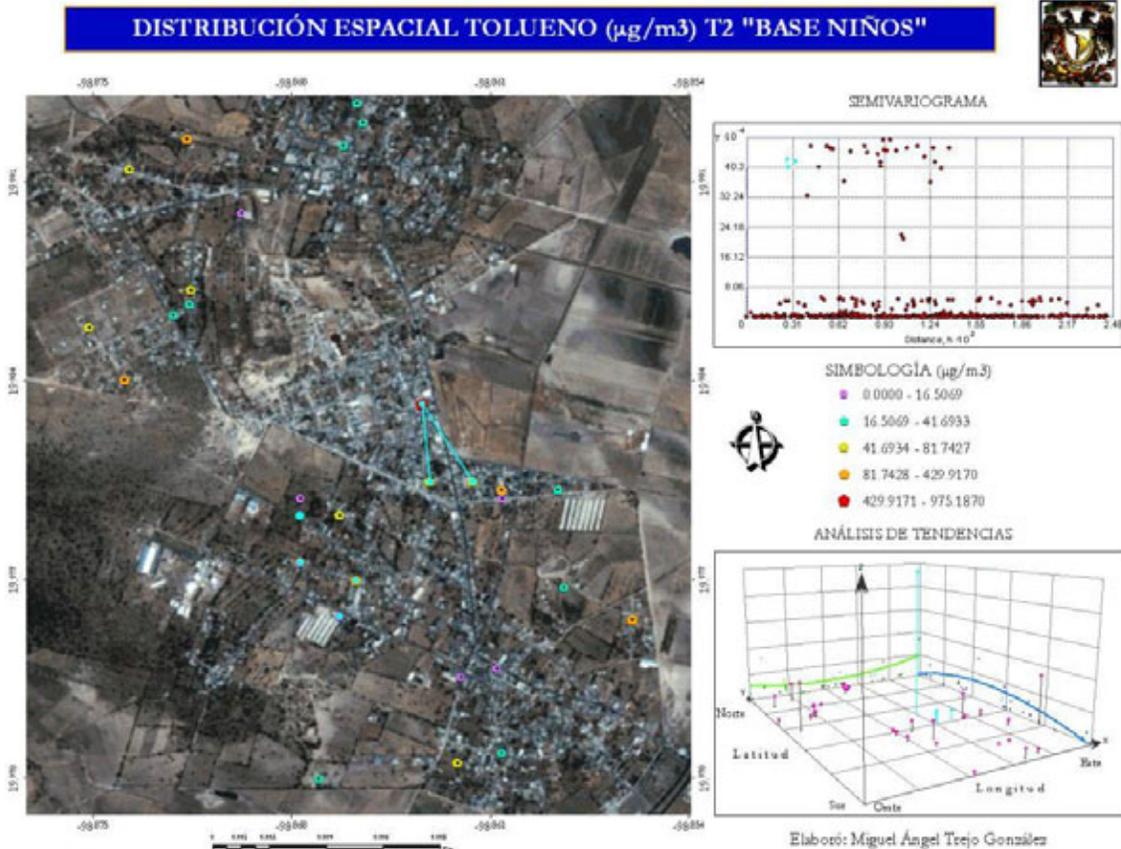
Mapa. – 35. Distribución espacial de tolueno en T0, base niños.

Como se distingue en el mapa 36, es T1 el sitio donde predomina la similitud de semivarianzas con áreas próximas por lo que los niños del sitio son los que están siendo expuestos a la mayor concentración de tolueno. En cuanto a la orientación geográfica, se presenta una tendencia espacial que acumula la concentración al Noreste y un decremento de Norte a Sur y de Este a Oeste del sitio.



Mapa. – 36. Distribución espacial de tolueno en T1, base niños.

El mapa 37 muestra que en T2 se mantienen valores de intermedios a bajos, no obstante también se encuentra datos altos, que son atribuibles a casos particulares, como pudiera ser la exposición continua al humo del tabaco u otro generador de tolueno, así como la cercanía de los infantes a gasolineras o industrias próximas al sitio. El análisis de tendencias señala un incremento seguido de un decremento en dirección Norte a Sur, siendo que de Este a Oeste es lo opuesto.



Mapa. – 37. Distribución espacial de tolueno en T2, base niños.

A partir del análisis destaca una heterogeneidad de resultados para tolueno, en padres la media y el valor máximo reportado se encuentra en T1, mientras que el valor máximo para niños ocurre en T2 y la media más elevada en T0. Los estudios revisados reportan concentraciones variadas, encontrando valores hasta de $2252 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en viviendas de Holanda (Lebret *et al.* 1986) y de $450.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la propia Ciudad de México (Molina *et al.* 2007), quienes además reporta que entre los hidrocarburos aromáticos el tolueno representa el 43% del total de emisiones; por su parte la OMS (2005) recomienda un límite máximo de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se distingue que en T2 niños los de valores son el doble y que en T0 padres hay una margen de $308 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con respecto a lo reportado por Molina *et al.* (2007). La importancia contar con un monitoreo de tolueno así como establecer normas que establezcan límites máximos permisibles está fundamentada en que la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (SMA) al enlistar por orden de importancia los contaminantes tóxicos que se emiten en la ZMVM destaca la emisión de tolueno con aproximadamente 24,000 toneladas anuales, lo que representa el 24% de las emisiones de todas las fuentes inventariadas (SMA-DDF 2006). Es importante resaltar que el benceno y el n-hexano también se incluyen en la publicación con emisiones de 4,491 y 3,794 toneladas anuales lo que representa un 4.5 y 3.8 % respectivamente. Como se menciona en el análisis para limoneno, también los niveles de tolueno en ambientes interiores representan significativas y elevadas concentraciones por el uso de solventes, como el thinner, y el humo del tabaco presente en el ambiente (Gilli *et al.* 1994) por lo que es necesario proteger a las poblaciones especialmente susceptibles como son los niños.



Material Particulado (PM_{2.5}) en padres.

Las concentraciones de PM_{2.5} en padres, mostraron que los valores más elevados se encuentran en T0 (44 µg/m³), así como la media más alta (36.08 µg/m³) (tabla 14), no obstante los resultados indican que la exposición de PM_{2.5} se encuentra por debajo de umbrales reportados para otras ciudades con alta densidad poblacional, tal es el caso de estudios realizados en la ciudad de Budapest en Hungría que encuentran concentraciones de hasta 57 µg/m³, de hasta 61 µg/m³ y de 98 µg/m³ en Pisa, Italia y Atenas, Grecia, respectivamente (Hoek *et al.* 1997). En un estudio realizado en EUA, publican concentraciones que exceden los 100 µg/m³ en contingencias severas (Molina *et al.* 2007).

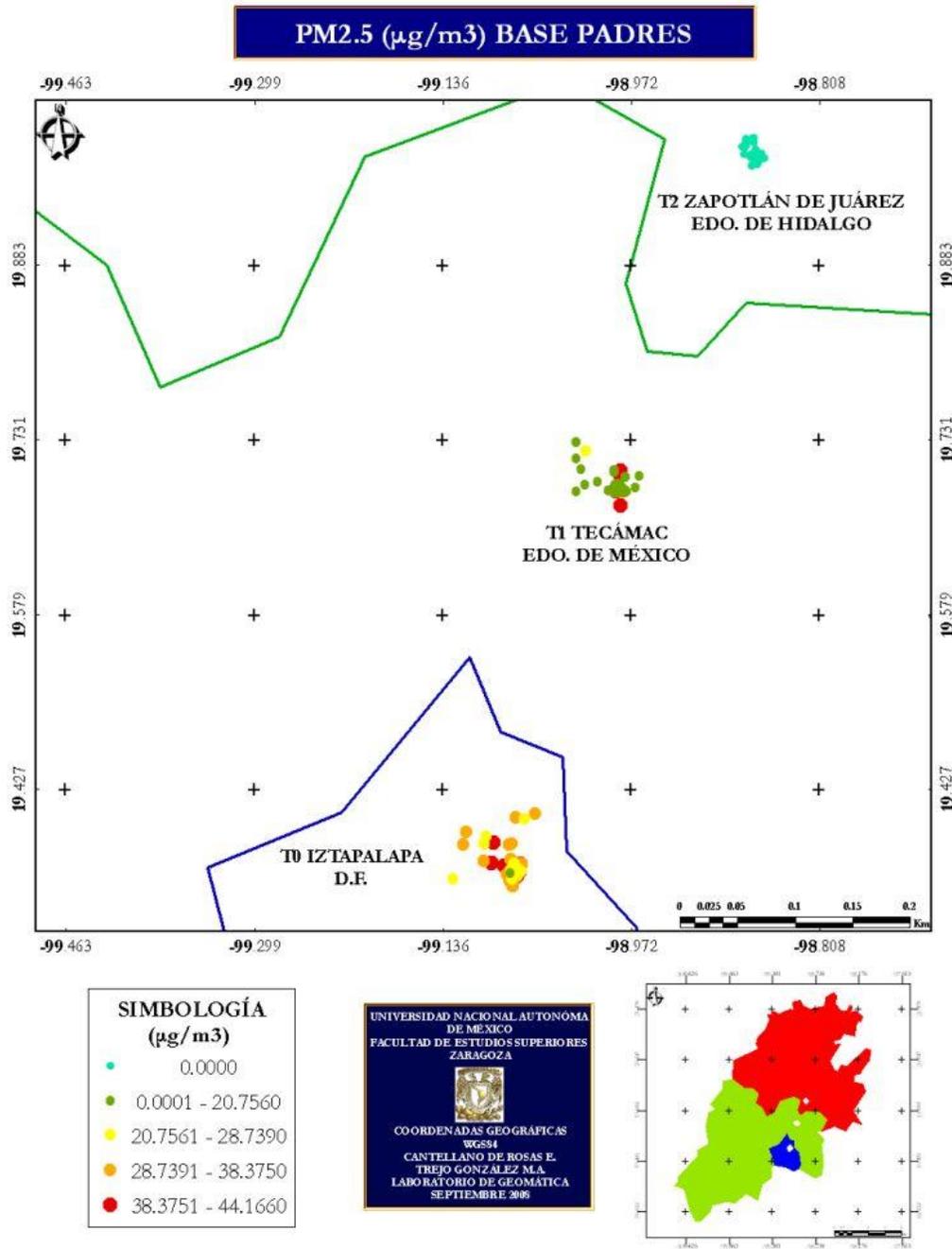
SITIO		N	Mínimo	Media	Mediana	Máximo	Desv.típ.
PM2.5	T 0	60	25	36.08	35.83	44	6.67
	T 1	59	16	20.88	20.76	29	2.49
	T 2	25	0	.83	.00	21	4.15

Tabla. – 14. Análisis estadístico de PM_{2.5} en padres.

Aún así los resultados, manifiestan que T0, seguido de T1 son los sitios con mayor exposición a PM_{2.5}, las emisiones exposición son variadas para los sitios y entre las fuentes están las resultantes de la combustión de automotores y la quema de leña (US EPA 2004). En cuanto a datos encontrados para México, la norma NOM-025-SSA1-1993 establece como valores límite para PM_{2.5} de 65 µg/m³ (promedio de 24 horas).



En el mapa 38 se distingue que los datos mayor exposición a $PM_{2.5}$ ocurren en T0 con intervalos que van de los 20.75 a $44.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, también se señala que el patrón decrece en el sentido T0, T1, y T2.



Mapa. – 38. Distribución espacial en la zona de estudio de $PM_{2.5}$ en padres.

La distribución en T1 indica que los datos de menor valor con respecto a la mediana se encuentran más dispersos y que el resto de los datos tienden a concentrarse en la parte superior de la misma distribución. Para T0 la distribución ocurre al contrario ya que los valores altos son los que se dispersan en mayor medida (figura 14).

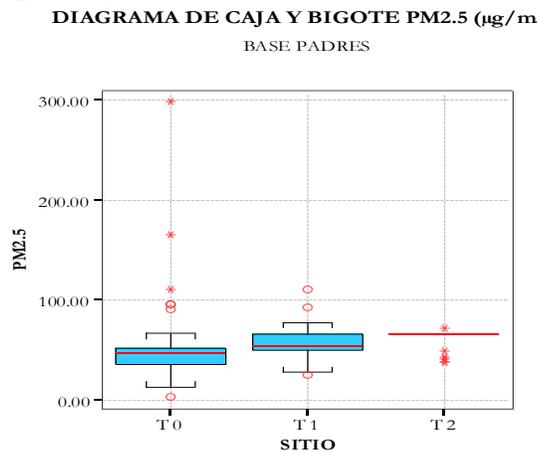
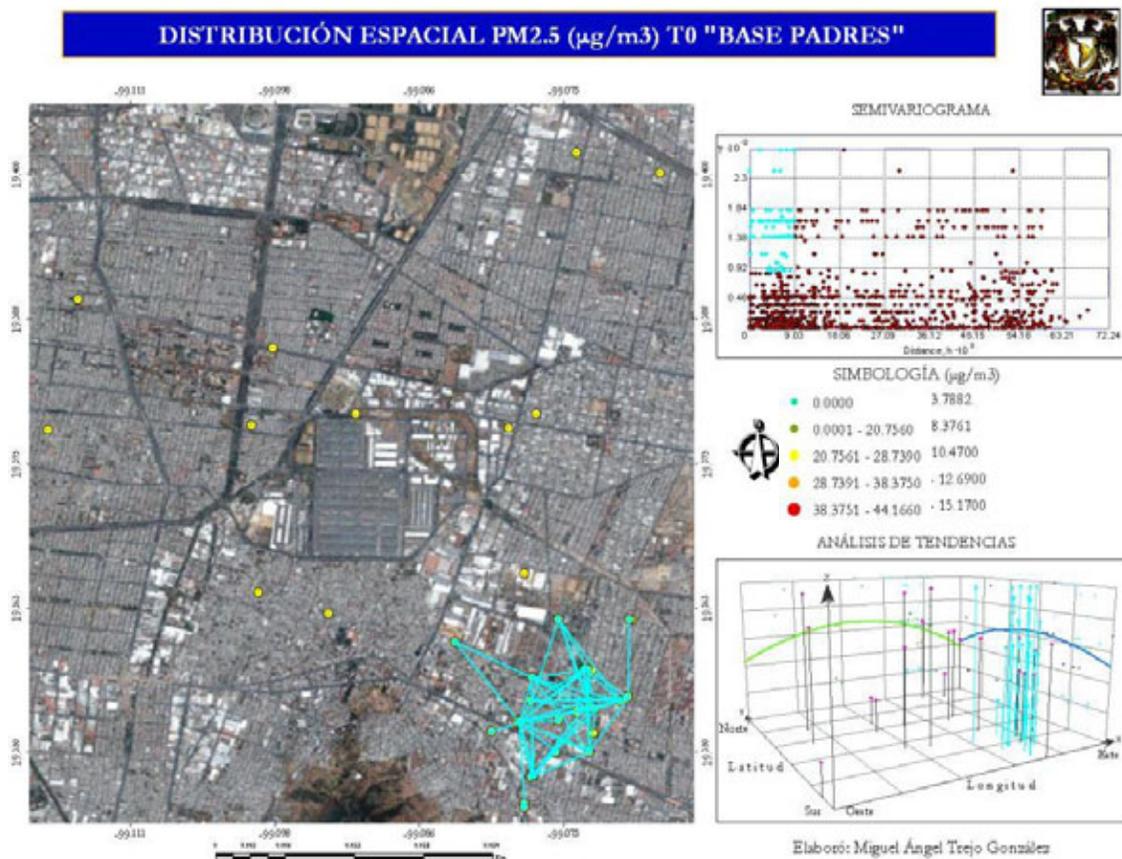


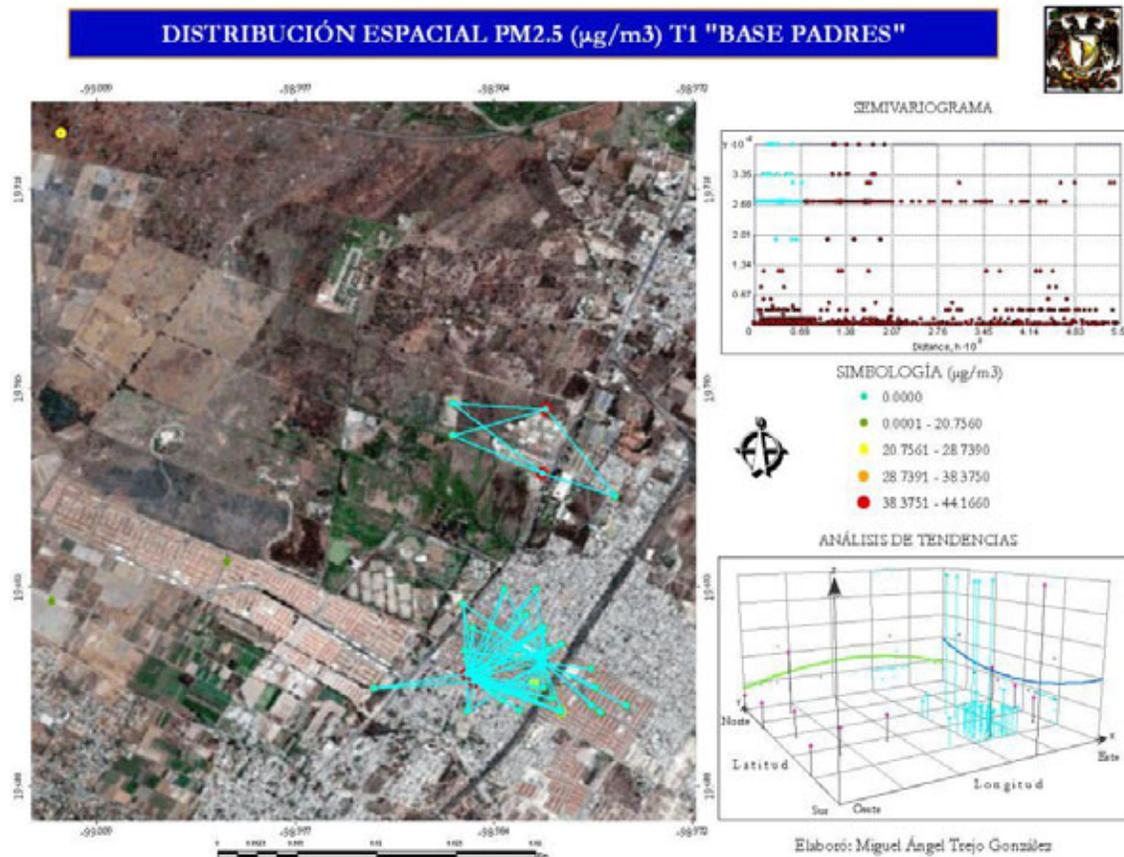
Figura. – 14. Diagrama de caja y bigote de PM_{2.5} en padres.

El mapa 39 muestra que a lo largo del sitio se distribuyen generalmente datos de exposición que van de los 20.75 µg/m³ hasta el valor máximo que es de 44.16 µg/m³. Es significativo que la disposición a agruparse es similar a la de los COVs. La tendencia, con respecto a la orientación geográfica, sugiere que las curvas de PM_{2.5} decrecen de Norte a Sur y de Este a Oeste, acumulando una mayor concentración en la parte centro de T0.



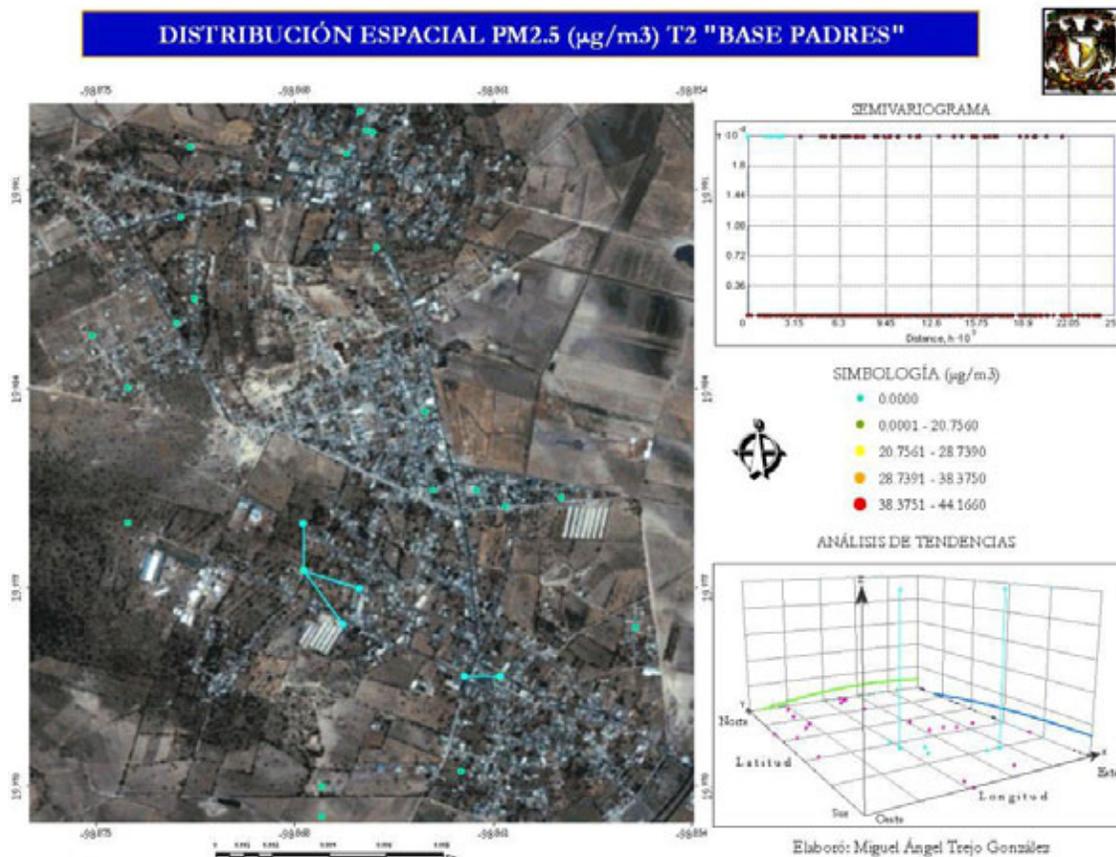
Mapa. – 39. Distribución espacial de PM_{2.5} en T0, base padres.

Las semivarianzas del mapa 40 señalan que los niveles de mayor exposición de $PM_{2.5}$ ocurren en el área comprendida entre la autopista México-Pachuca, la unidad habitacional de Tecámac y algunos otros puntos próximos a dicha área. En cuanto al análisis de tendencias se manifiesta una orientación Este-Oeste, donde la acumulación se da en la parte centro del sitio.



Mapa. – 40. Distribución espacial de $PM_{2.5}$ en T1, base padres.

La exposición presente en T2 es baja ya que lo máximo que se reporta para el sitio es de $20.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así las semivarianzas de $PM_{2.5}$ presentes en el sitio son diferentes por lo que no se observan agrupamientos significativos de datos. En cuanto a la orientación geográfica, se manifiestan ligeros incrementos en dirección Norte a Sur y de Oeste a Este (mapa 41).



Mapa. – 41. Distribución espacial de PM_{2.5} en T2, base padres.

Los resultados para padres manifiestan que la mayor exposición a PM_{2.5} se encuentra presente en T0, y que existe patrón de agrupamiento similar al observado en los COVs. También es conveniente resaltar la importancia del control en emisiones del MP, ya que se sabe que existen dispersiones a grandes distancias lo que tiene influencia sobre la calidad del aire de áreas vecinas, tal es el caso del O₃ y el MP (Molina y Molina 2004).

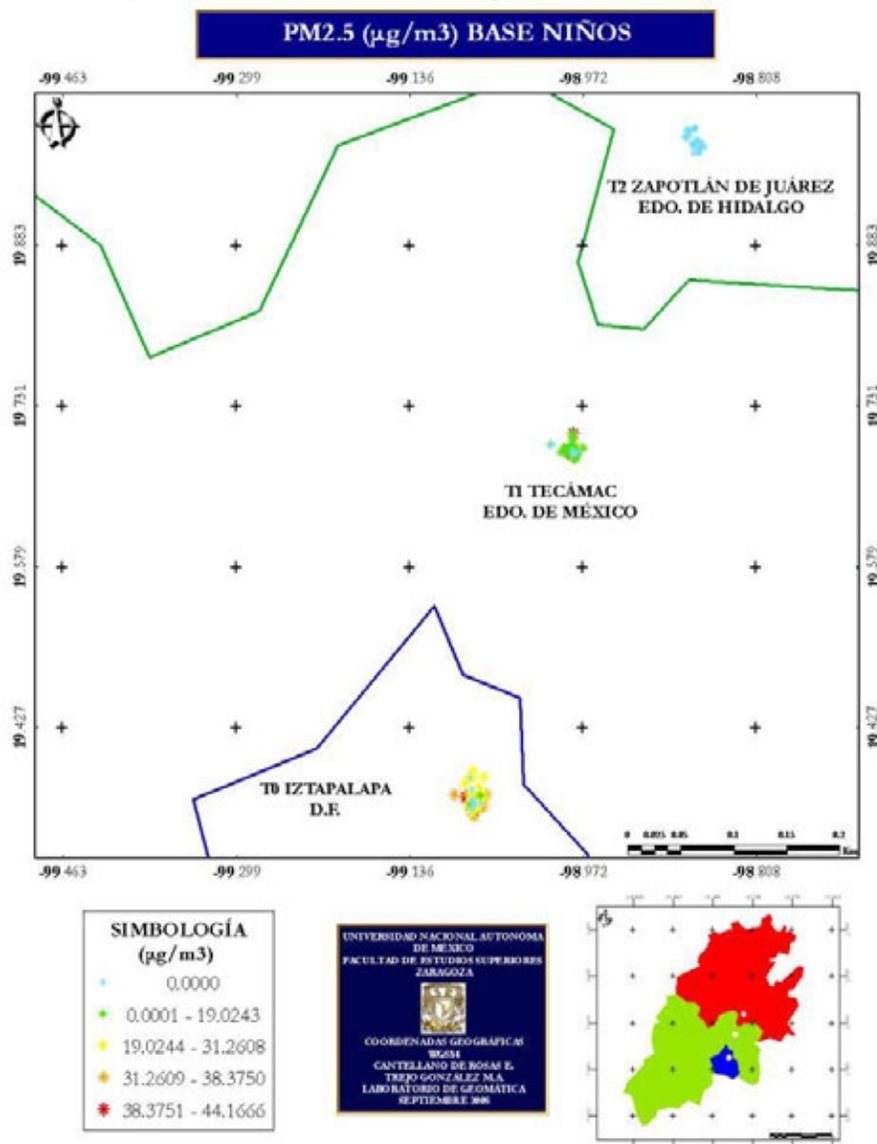
Material Particulado (PM_{2.5}) en niños.

Los resultados para niños señalan que persiste la exposición que se analizó para padres, estos es, sigue siendo T0 donde se presenta el valor y la media más altos (44.17 y 33.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), respectivamente (tabla 15).

	SITIO	N	Mínimo	Media	Mediana	Máximo	Desv. típ.
PM2.5	T0	67	13.33	33.57	31.08	44.17	6.82
	T1	78	15.69	16.63	15.69	28.74	2.97
	T2	32	.00	.00	.00	.00	.00

Tabla. – 15. Análisis estadístico de PM_{2.5} en niños.

El mapa 42 muestra que en T0 ocurre la mayor heterogeneidad de valores para la zona de estudio y que en el sitio está la mayor concentración del MP, seguido de T1.



Mapa. – 42. Distribución espacial en la zona de estudio de PM_{2.5} en niño.

Los datos de menor concentración están más dispersos en T0 y en general los datos tienden a concentrarse hacia la parte inferior de la distribución (figura 15).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE PM_{2.5} (µg/m³)
BASE NIÑOS

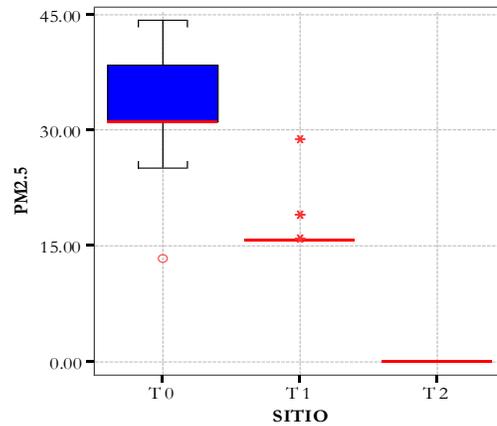
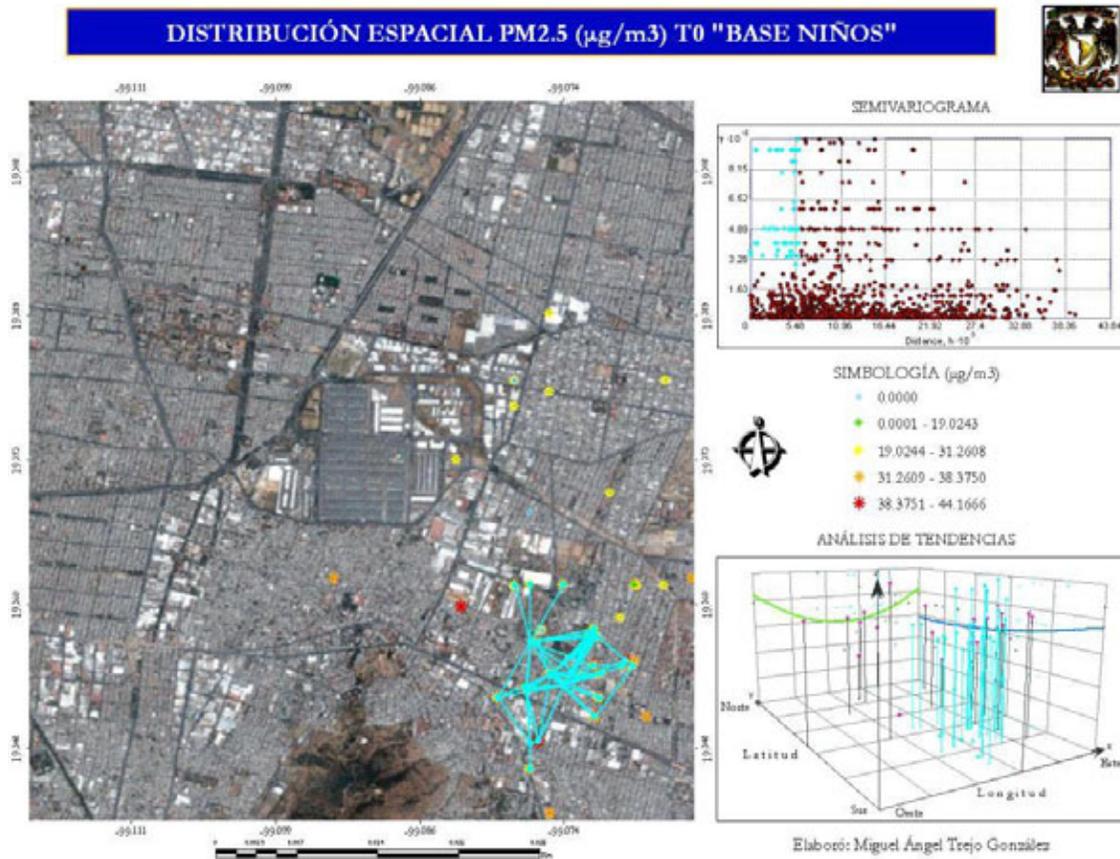


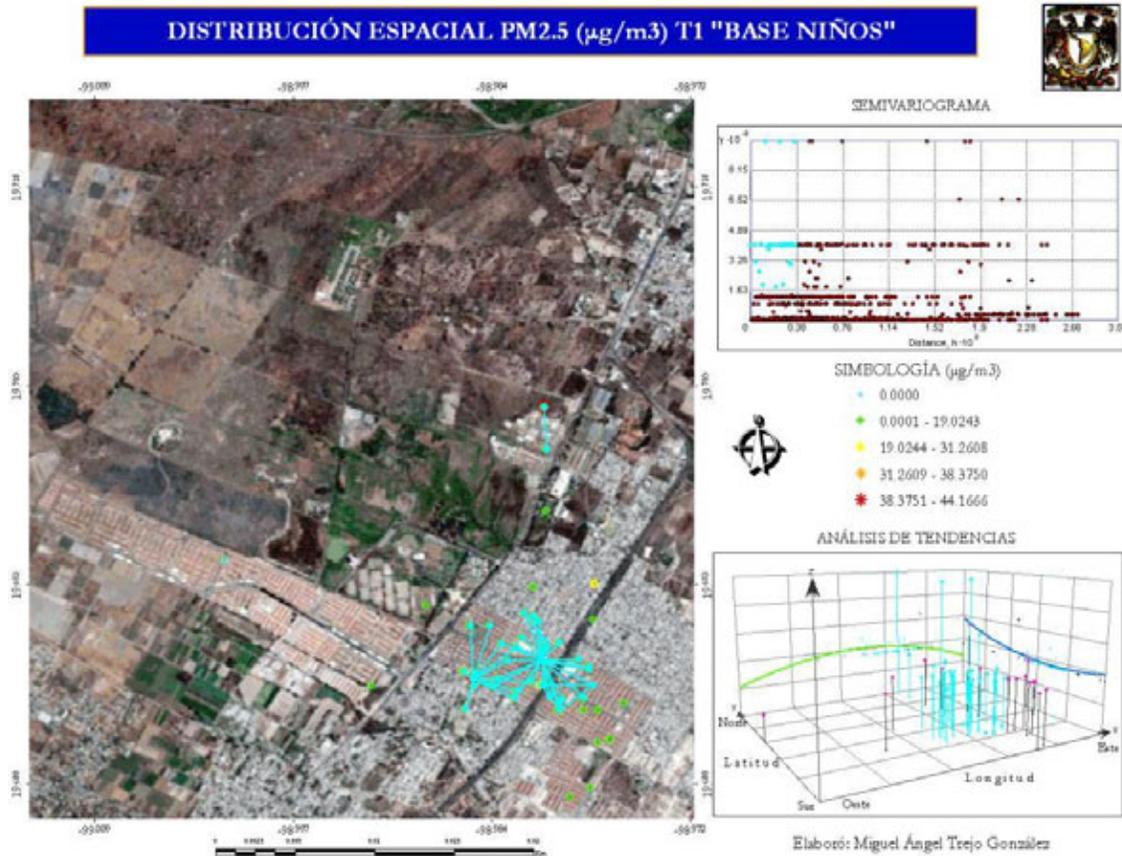
Figura. – 15. Diagrama de caja y bigote de PM_{2.5} en niños.

El análisis exploratorio del semivariograma para T0 indica que la exposición a PM_{2.5} tiene una elevada dependencia espacial para el sitio. El análisis de tendencias describe que de Norte a Sur existe un incremento, y de Oeste a Este un decremento seguido de un incremento, presentando así la mayor acumulación al Sureste y Suroeste del sitio (mapa 43).



Mapa. – 43. Distribución espacial de PM_{2.5} en T0, base padres.

En T1 predominan datos con intervalos 19.02 a 31.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no obstante existen una similitud de semivarianzas cercanas a las unidades habitacionales y a la autopista México-Pachuca. En dirección Norte a Sur se presenta un incremento y de Oeste a Este un incremento seguido de un decremento, formándose una curva donde la acumulación de concentraciones altas se localiza al centro de T1 (mapa 44).



Mapa. – 44. Distribución espacial de PM_{2.5} en T1, base padres.

Los resultados de PM_{2.5} indican una homogeneidad ya que la mayor exposición para padres y niños se da en T0, aún cuando sus concentraciones no sobrepasan los límites máximos permisibles vigentes en la NOM-025-SSA1-1993 ($65 \mu\text{g}/\text{m}^3$) es importante tener un control de emisiones en el sitio para la prevención de la población. Entre las principales fuentes antropogénicas que generan el MP son la construcción, la minería y también el tráfico a través de la erosión (Viana *et al.* 2005). En este sentido la población de T0 y los casos de padres en T1 que tiene que desplazarse a sitios urbanos y este en constante exposición implican daños a su salud, ya que se han publicado estudios donde se reportan 800 000 muertes prematuras cada año en todo el mundo, en los niños mortalidad por exposición al MP que se asocian con problemas cardiovasculares, cáncer del pulmón e infecciones respiratorias agudas producto de la presencia de niveles de contaminantes que exceden las normas de calidad del aire (Cohen *et al.* 2004). Es así como en la actualidad prevalece un creciente interés en el estudio de PM₁₀, PM_{2.5} y los compuestos orgánicos e inorgánicos que contienen, ya que las partículas producen efectos tóxicos de acuerdo con sus propiedades químicas y físicas, los investigadores creen que los compuestos más tóxicos se encuentran en las PM_{2.5} (GDF-SMA 2006).

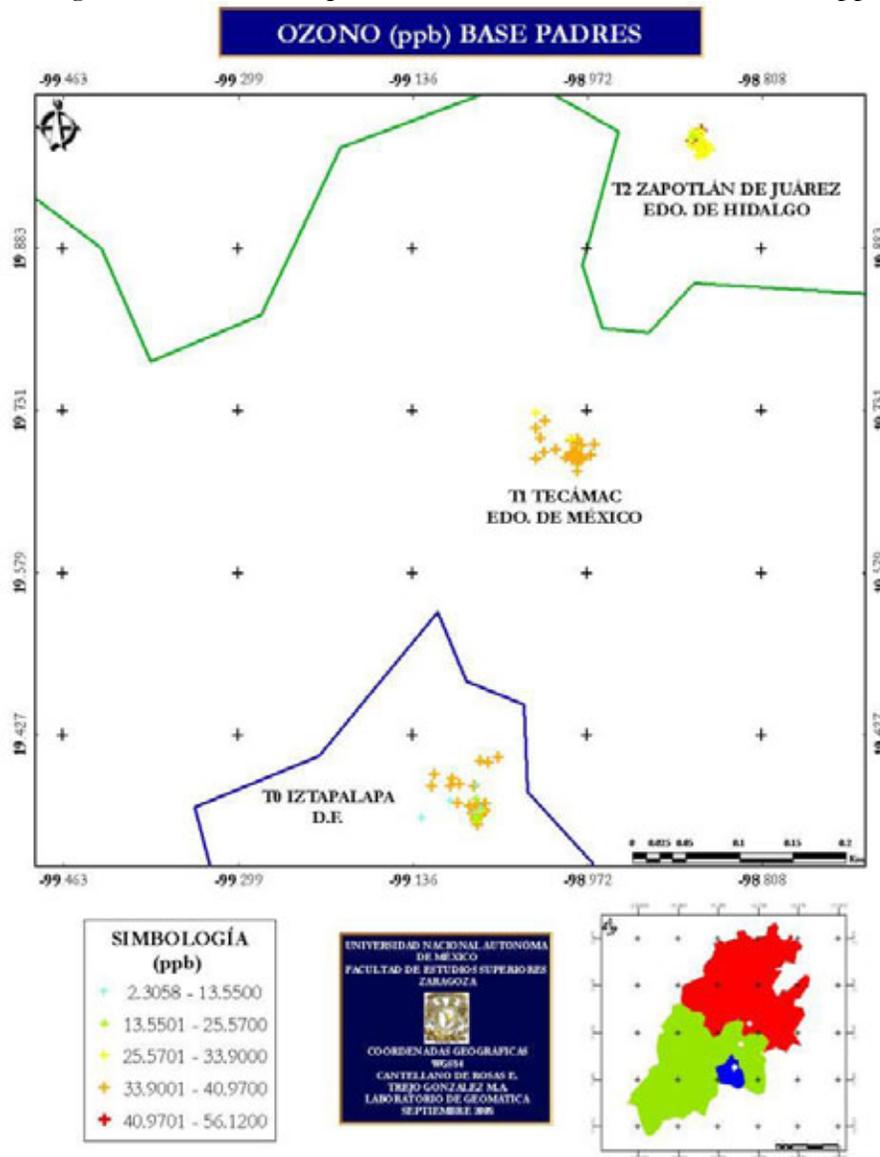
Ozono (O₃) en padres.

Las concentraciones máximas de ozono en padres fueron mayores en T0 (56.12 ppb), siendo que en T2 se alcanzó la media más elevada (36.46 ppb), sin embargo para T0 y T1 sólo hubo una diferencia aproximada de 1.87 ppb (tabla 16). Según la SMA, 2007, la NOM-020-SSA1-1993 establece límites permisibles de 80 ppb promedio de 8 horas (GDF-SMA 2007).

SITIO		N	Mínimo	Media	Mediana	Máximo	Desv. típ.
OZONO	T0	59	10.37	34.47	35.73	56.12	5.20
	T1	59	2.31	34.18	35.73	40.97	7.22
	T2	30	33.90	36.64	36.55	39.17	.84

Tabla. – 16. Análisis estadístico de ozono en padres.

En el mapa 45 se observa que la distribución de O₃ tiene valores similares de exposición para los tres sitios. Predominan generalmente datos que van en los intervalos de 13.55 a 40.97 ppb.



Mapa. – 45. Distribución espacial en la zona de estudio de ozono en padres.

En T0 los datos están concentrados en la parte superior de la distribución por lo que los datos de menor puntaje, con respecto a la mediana, están más dispersos dentro del sitio. También se muestra que en T0 y T1 existen datos extremos en su distribución (figura 16).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE OZONO (ppb)
BASE PADRES

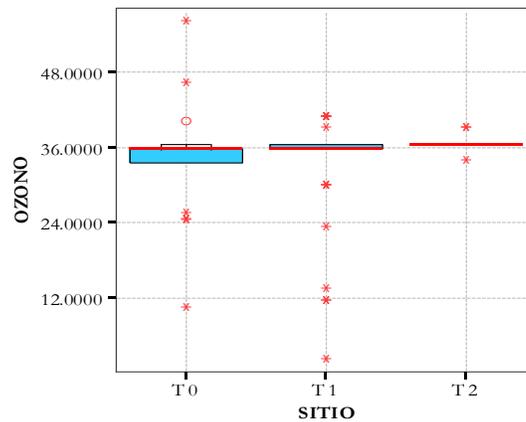
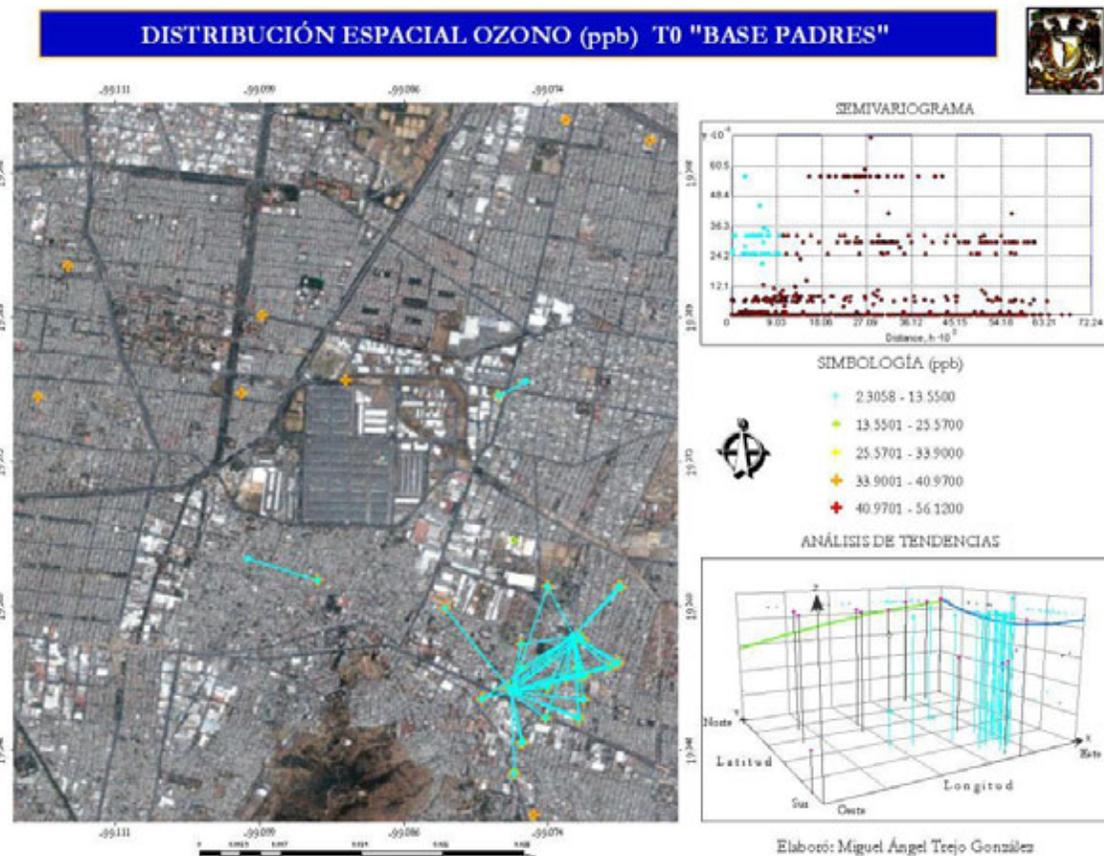


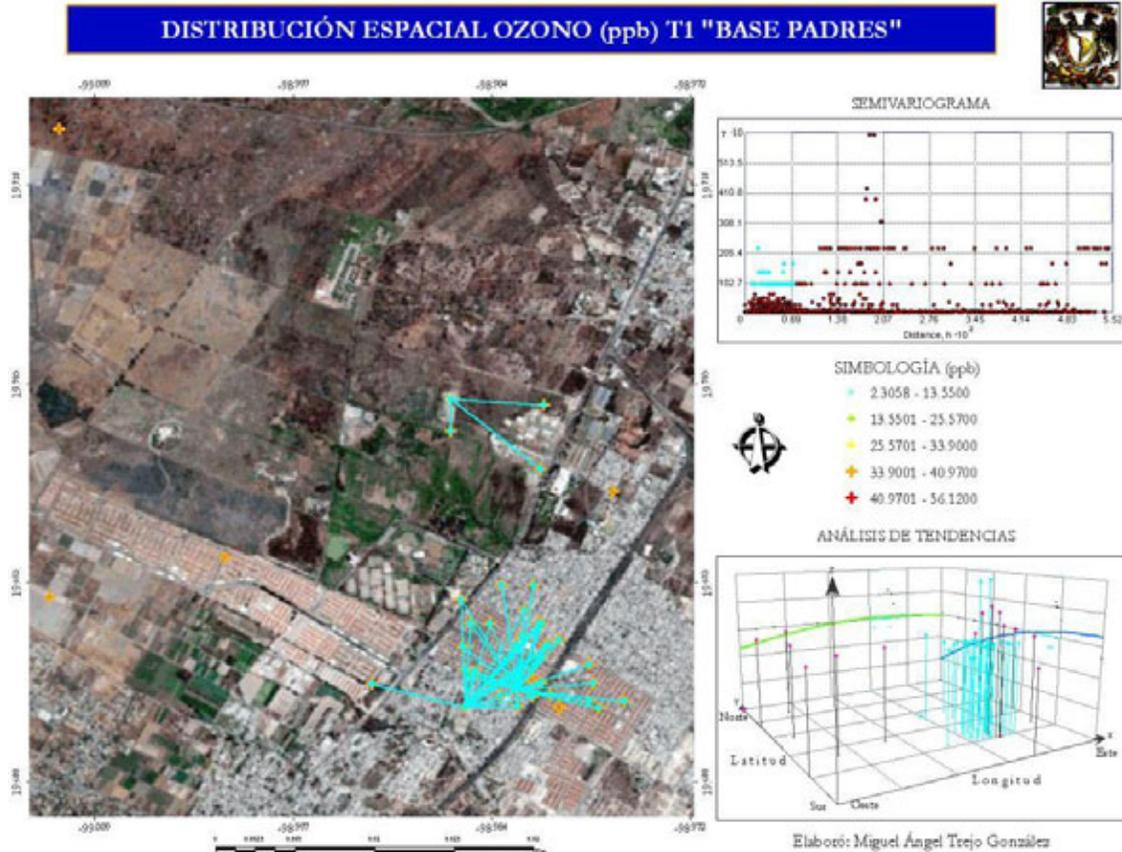
Figura. – 16. Diagrama de caja y bigote de ozono en padres.

El semivariograma de T0 muestra que en el sitio existen variaciones espaciales correlacionadas a varios puntos, no sólo dentro de un área, sino que la dependencia espacial se presenta en algunos casos alejados a cierta distancia. El análisis de tendencia distingue que la mayor concentración se da en las zonas Noreste y Sureste del sitio (mapa 46).



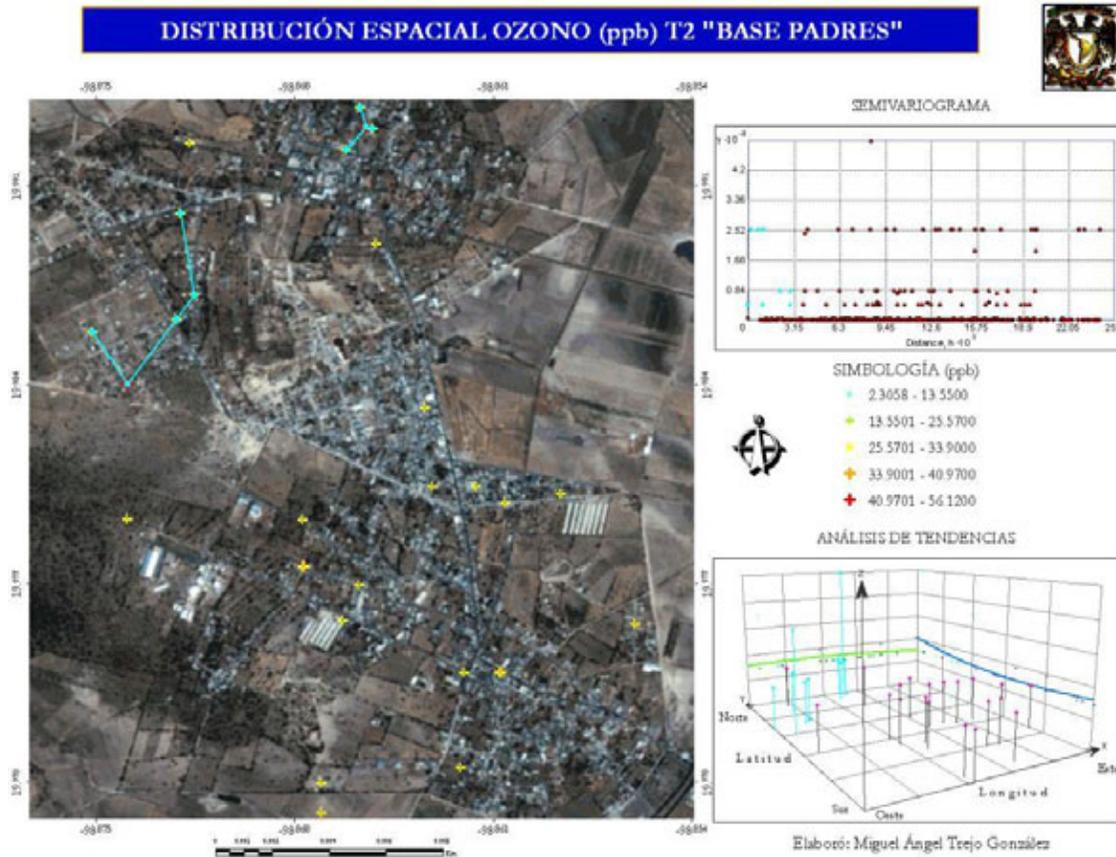
Mapa. – 46. Distribución espacial de ozono en T0, base padres.

En el mapa 47, el rango de exposición a O_3 determina que en T1 la zona de influencia en torno a un grupo de puntos refleja que sigue siendo la misma área de concentración para COVs y $PM_{2.5}$. En cuanto a la orientación geográfica se manifiesta que la mayor concentración de ozono ocurre en la zona Sureste de T1, así como las tendencias señalan incrementos en ambas direcciones (de Norte a Sur y de Oeste a Este).



Mapa. – 47. Distribución espacial de ozono en T1, base padres.

Para T2 no existen zonas de influencia precisas en el sitio ya que como se observa en el mapa 48 no una hay variación espacial clara. Las tendencias en este sitio no presentan variaciones notables, a excepción de un ligero incremento en la parte Norte (mapa 48).



Mapa. – 48. Distribución espacial de ozono en T2, base padres.

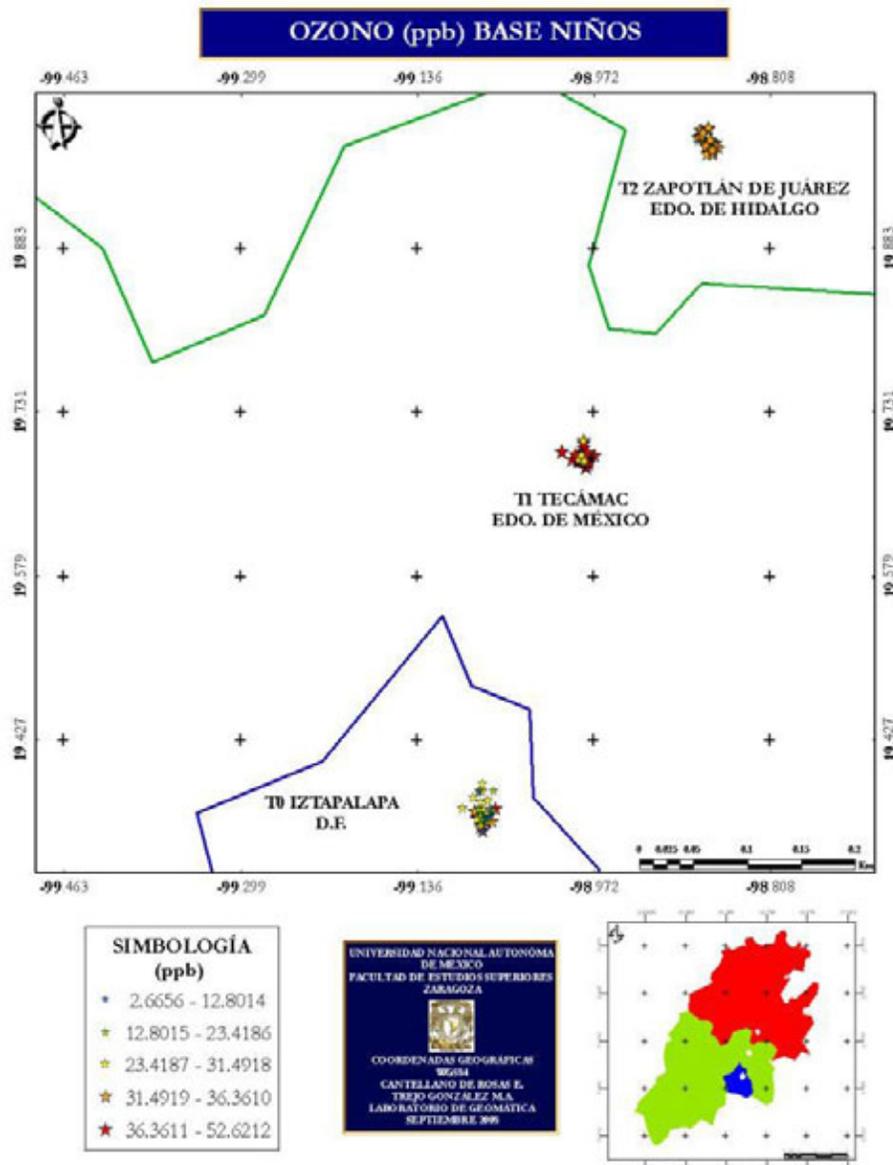
Ozono (O_3) en niños.

La tabla 17 muestra que la concentración más elevada por exposición a ozono ocurre en T0 (52.62 ppb), pero es en T1 donde sobresale la media más alta de la zona de estudio (41.39 ppb).

	SITIO	N	Mínimo	Media	Mediana	Máximo	Desv. típ.
OZONO	T0	75	2.67	29.28	30.29	52.62	10.16
	T1	82	29.96	41.39	42.17	42.17	2.68
	T2	36	33.60	33.60	33.60	33.60	.00

Tabla. – 17. Análisis estadístico de ozono en niños.

En el mapa 49 se muestra que en T0 existe heterogeneidad en las concentraciones de ozono, con intervalos que van desde 2.66 a 52.62 ppb³, por otra parte en T1 predominan valores elevados (36.36 a 42.17 ppb), finalmente en T2 abundan valores medios a bajos.



Mapa. – 49. Distribución espacial en la zona de estudio de ozono en niños.

El diagrama de caja señala que en T0 se localizan muchos datos extremos, además de que la mayoría de ellos se concentran en la parte superior de la distribución y los más dispersos son los de menor concentración (figura 17).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE OZONO (ppb)
BASE NIÑOS

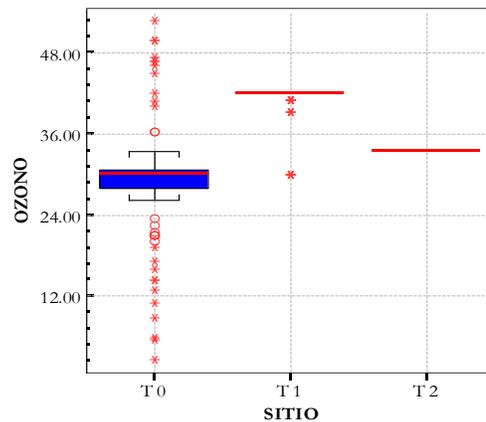
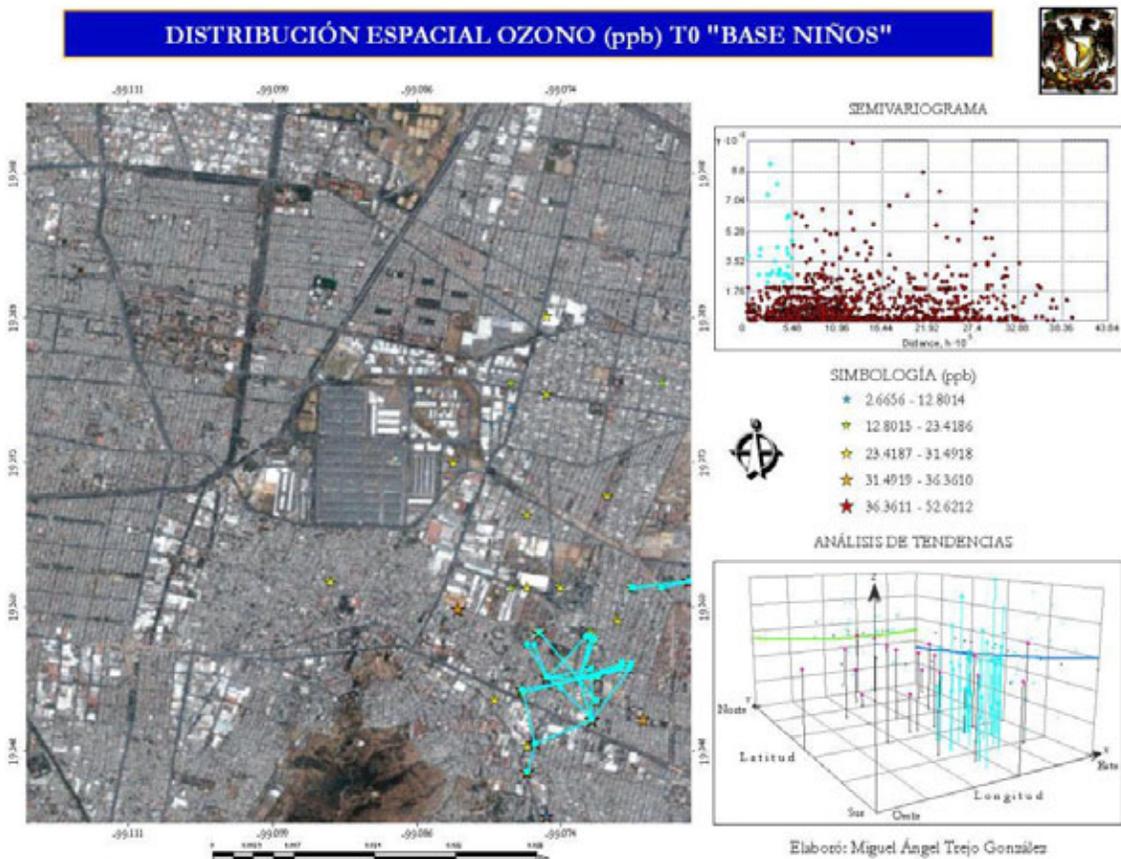


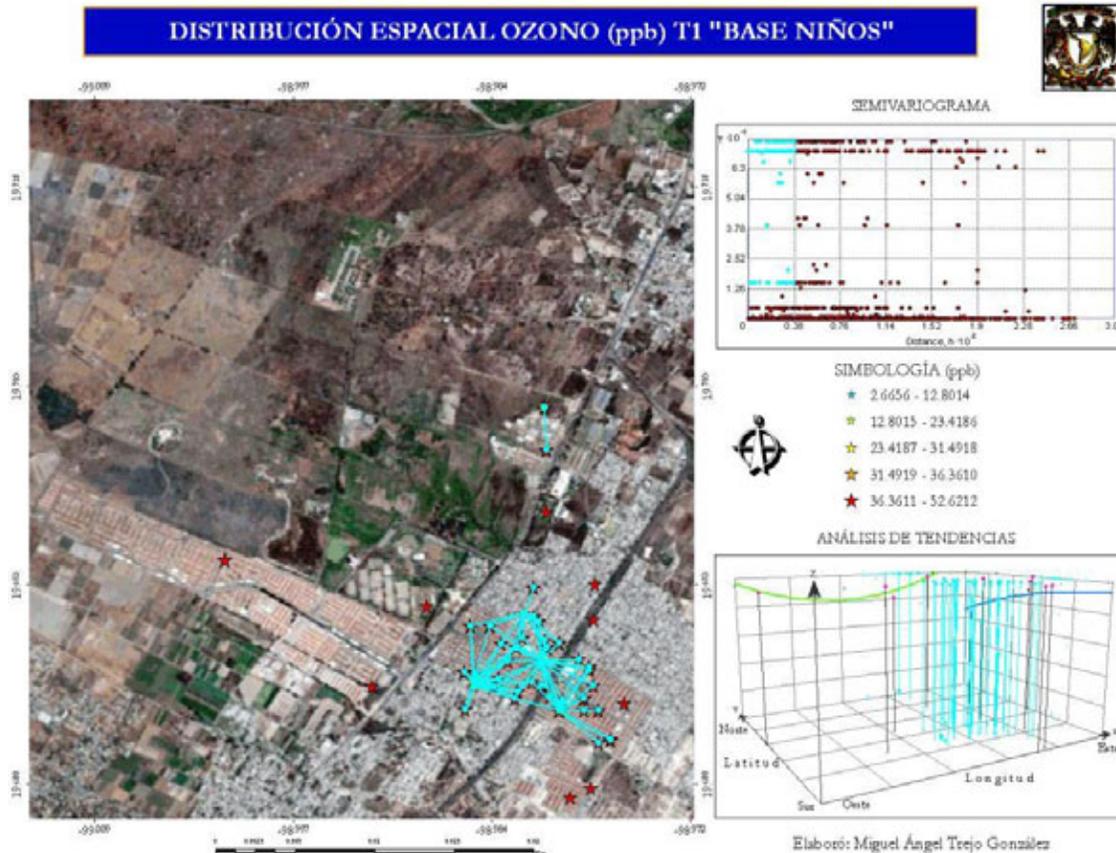
Figura. – 17. Diagrama de caja y bigote de ozono en niños.

La zona de influencia por exposición al O_3 para niños manifiesta el mismo patrón que el de padres. En el sitio, las tendencias muestran ligeros cambios en dirección Este a Oeste, mientras que de Norte a Sur existe un incremento notorio, acumulando así la mayor concentración hacia el Suroeste (mapa 50).



Mapa. – 50. Distribución espacial de ozono en T0, base niños.

El semivariograma señala que en T1 existe una zona de exposición muy marcada donde se ubican puntos próximos con alta concentración de O_3 (36.36 a 42.17 ppb). El análisis de tendencias expresa un fuerte decremento en la parte centro del sitio, y un notable incremento al Sur. Observando mayores concentraciones al Sureste y Suroeste (mapa 51).



Mapa. – 51. Distribución espacial de ozono en T1, base niños.

No obstante que los límites máximos permisibles (80 ppb promedio de 8 horas) para la NOM-020-SSA1-1993 referente a O_3 no se rebasaron en los tres sitios, los valores elevados se relacionaron con la ubicación geográfica siendo que la mayor exposición ocurrió en T0 que es el sitio más cercano a la zona urbana de la Ciudad de México. Este comportamiento espacial es un indicativo de posible riesgo a la salud humana, especialmente de los infantes, en este sentido la exposición infantil a O_3 se relacionan con síntomas como la irritación ocular, nasal y la posibilidad de agravar enfermedades crónicas como el asma (GDF-SMA 2007). Por ello es conveniente contar con medidas eficaces de protección en personas más propensas a la exposición de O_3 , se ha reportado que es altamente reactivo, poco soluble y su toxicidad se observa con inflamación respiratoria y exacerbación de los síntomas de tos y dolor en la inspiración profunda (GDF-SMA 2006).



VI.1.2. INDICADORES DE SALUD EN PADRES

Los resultados en padres indican que los niveles de actividad para ceruloplasmina y glutatión peroxidasa son mayores en T0 (54.80 mg/dL y 45.84 U/g), mientras que los niveles de nitritos en plasma resultaron similares para T0 y T1 (57.90 y 56.43 umol/L), respectivamente (tabla 18). Lo anterior manifiesta que la población de T0 está generando mayores defensas ante los oxidantes presentes en la atmósfera.

	SITIO	N	Mínimo	Media	Mediana	Máximo	Desv. típ.
IL-2 (pg/ml)	T 0	59	.00	279.71	.00	3513.00	782.50
	T 1	59	.00	293.61	.00	3696.00	837.02
	T 2	30	.00	21.23	.00	637.00	116.30
IL-6 (pg/ml)	T 0	59	.00	435.51	.00	5884.00	1171.34
	T 1	59	.00	474.24	.00	6209.00	1380.31
	T 2	30	.00	29.80	.00	893.87	163.20
CERULOPLASMINA (mg/dL)	T 0	59	.00	54.80	55.10	220.50	60.58
	T 1	59	.00	45.62	36.75	147.00	43.12
	T 2	30	.00	50.84	36.75	147.00	30.40
GLUTATIÓN PEROXIDASA(U/g)	T 0	59	.00	45.84	51.90	141.97	44.59
	T 1	59	.00	31.17	33.05	70.37	24.01
	T 2	30	.00	44.36	45.04	84.44	24.14
NITRITOS (umol/L)	T 0	33	22.01	57.90	46.73	134.81	29.41
	T 1	40	.23	56.43	57.05	151.10	27.47
	T 2	27	44.30	71.07	68.10	120.00	19.93

Tabla. – 18. Análisis estadístico de indicadores de salud en padres.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

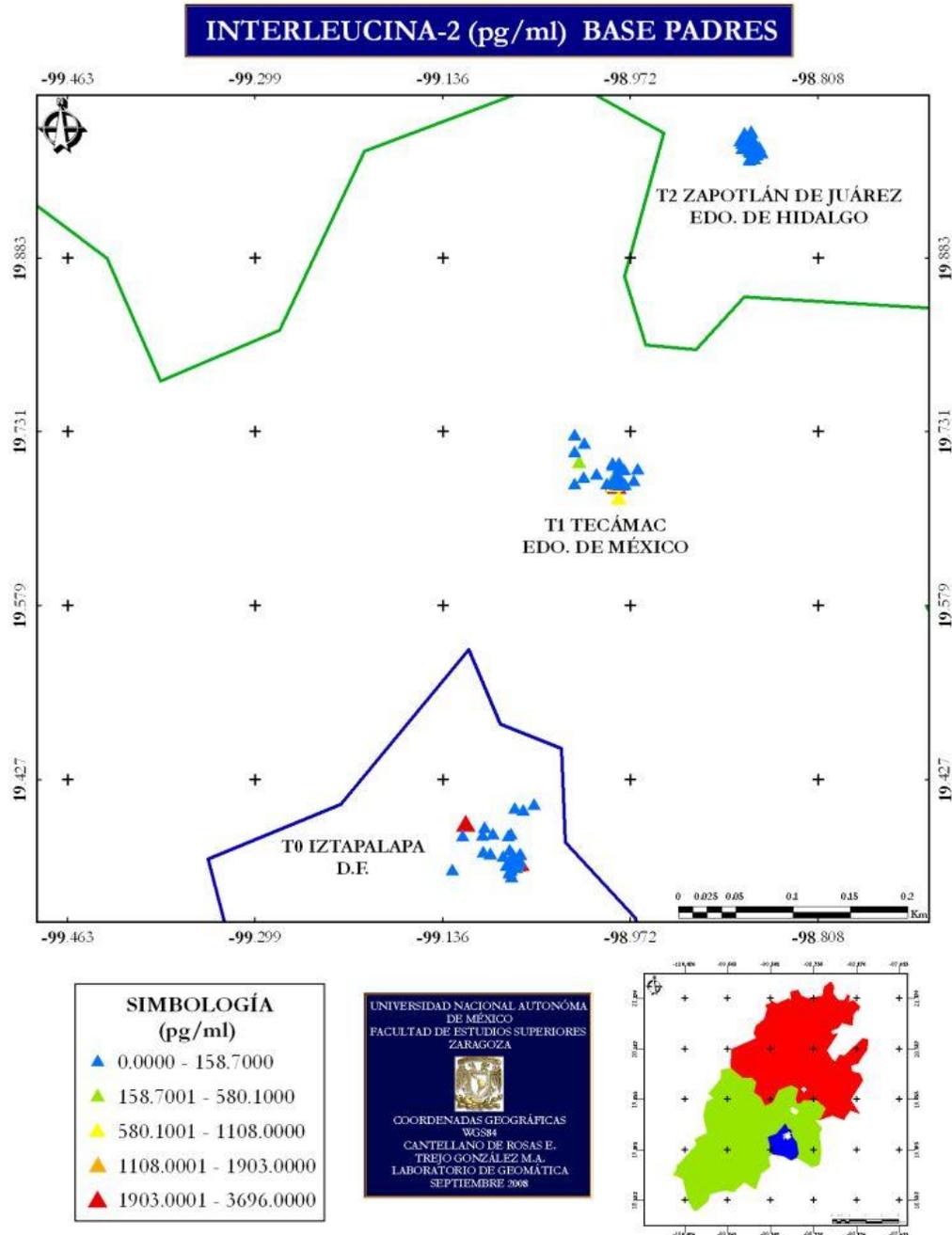
DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Interleucina-2 (IL-2).

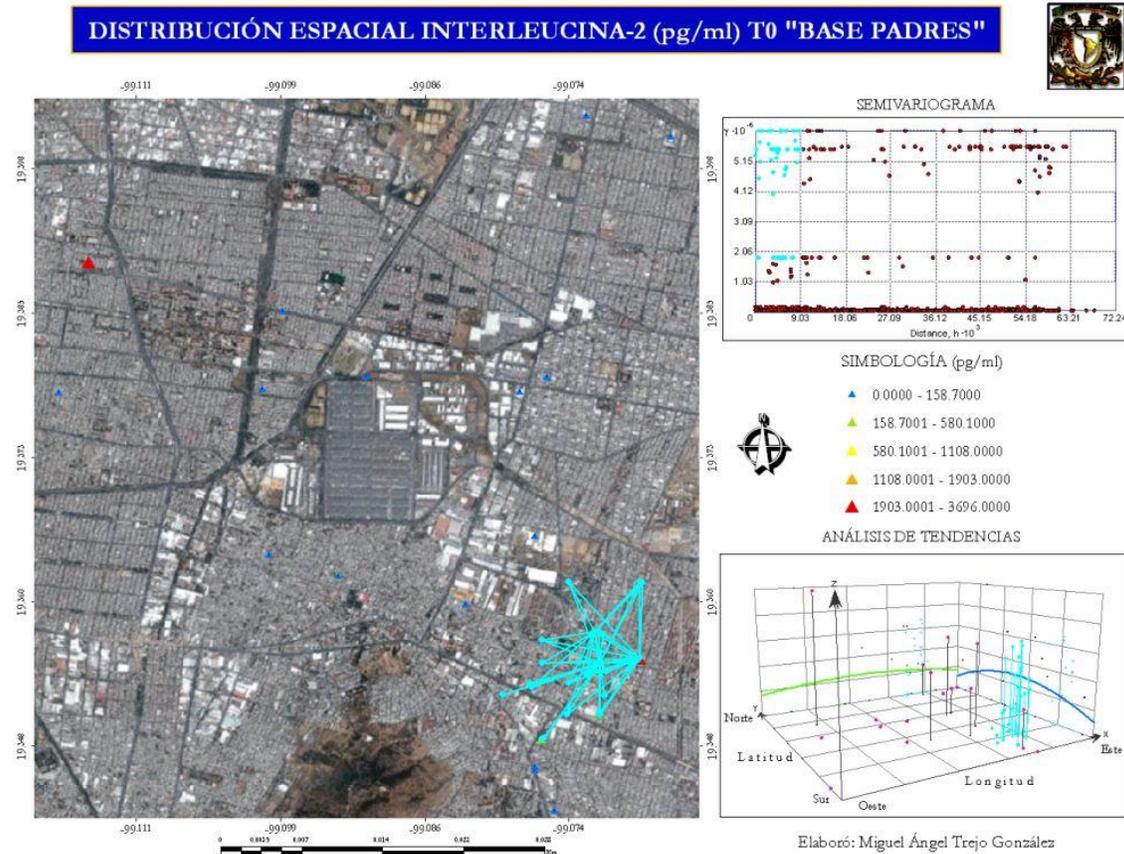
Los niveles máximos de actividad para IL-2 son semejantes para T1 y T0 (3696 y 3513 pg/ml), lo mismo ocurre con la media (293.61 y 279.71, respectivamente) (tabla 17). En el mapa 52 se observa que la mayor actividad de IL-2, se incluye en los sitios señalados.



Mapa. – 52. Distribución espacial en la zona de estudio de IL-2 en padres.

La actividad de IL-2 en T0 muestra concentraciones predominantemente bajas, sin embargo se observan grupos de muchos puntos con dependencia espacial. En el análisis de tendencias se

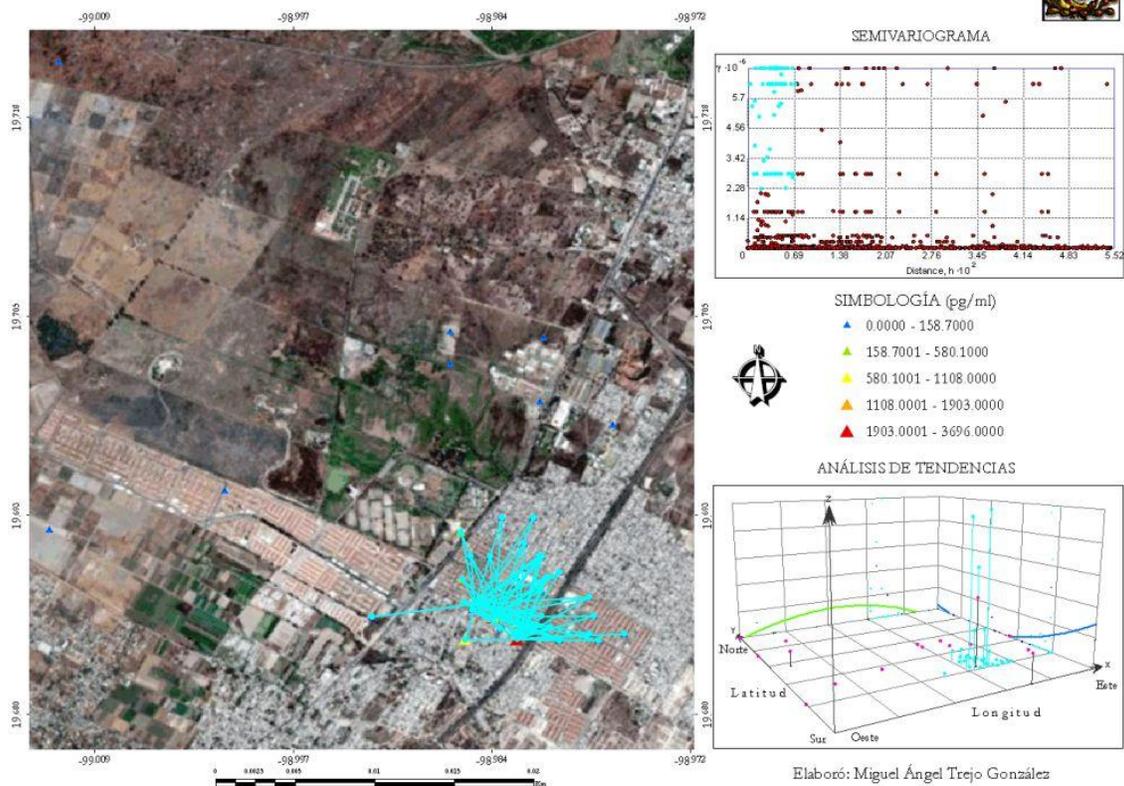
manifiesta que la orientación en cuanto a la variación de concentraciones ocurre de Norte a Sur; de esta manera, las mayores concentraciones acontecen al Noroeste y Sureste del sitio (mapa 53).



Mapa. – 53. Distribución espacial de IL-2 en T0, base padres.

La actividad para IL-2 mostró una dependencia marcada con respecto a la distancia, como se observa en el mapa 54. En el análisis de tendencia se observó que la mayor actividad de la citocina se ubica al Sur del sitio, mientras que en dirección Oeste-Este ocurre en el centro.

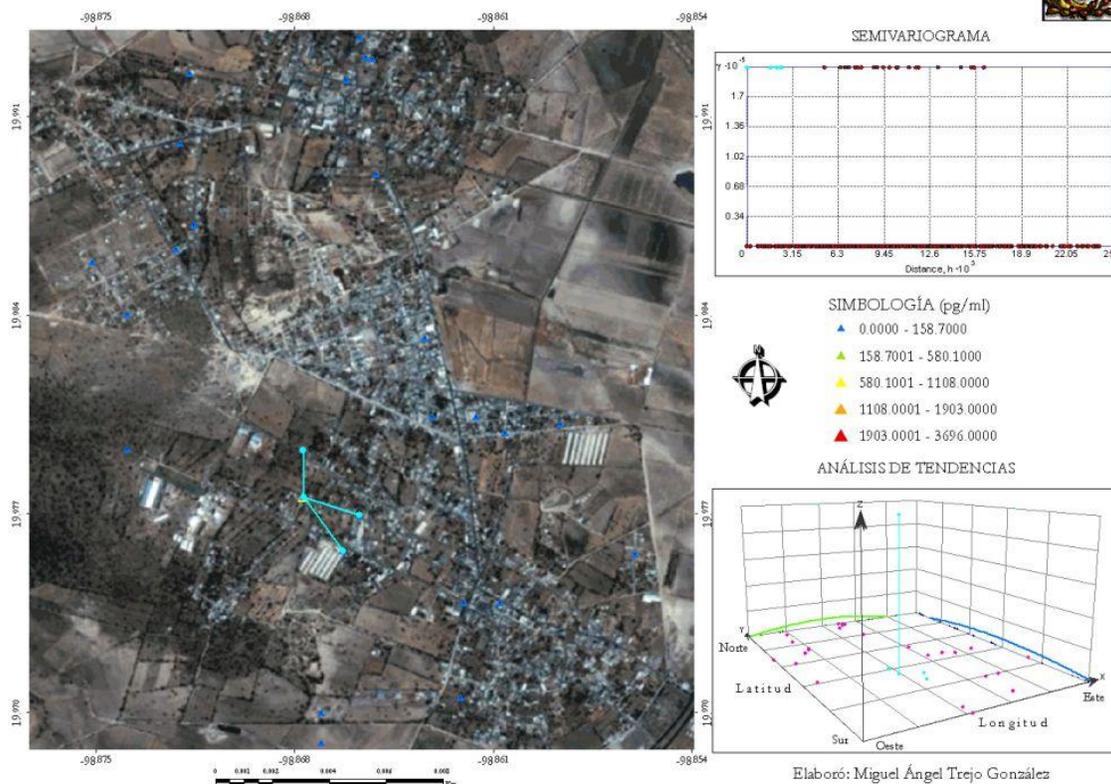
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL INTERLEUCINA-2 (pg/ml) T1 "BASE PADRES"



Mapa. – 54. Distribución espacial de IL-2 en T1, base padres.

En T2 no se presentó dependencia espacial, tal como se evidencia en el mapa 55, por lo que en el sitio las observaciones son independientes de la distancia. El análisis de tendencias no mostró influencia en la variación de concentraciones con respecto a la orientación geográfica.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL INTERLEUCINA-2 (pg/ml) T2 "BASE PADRES"



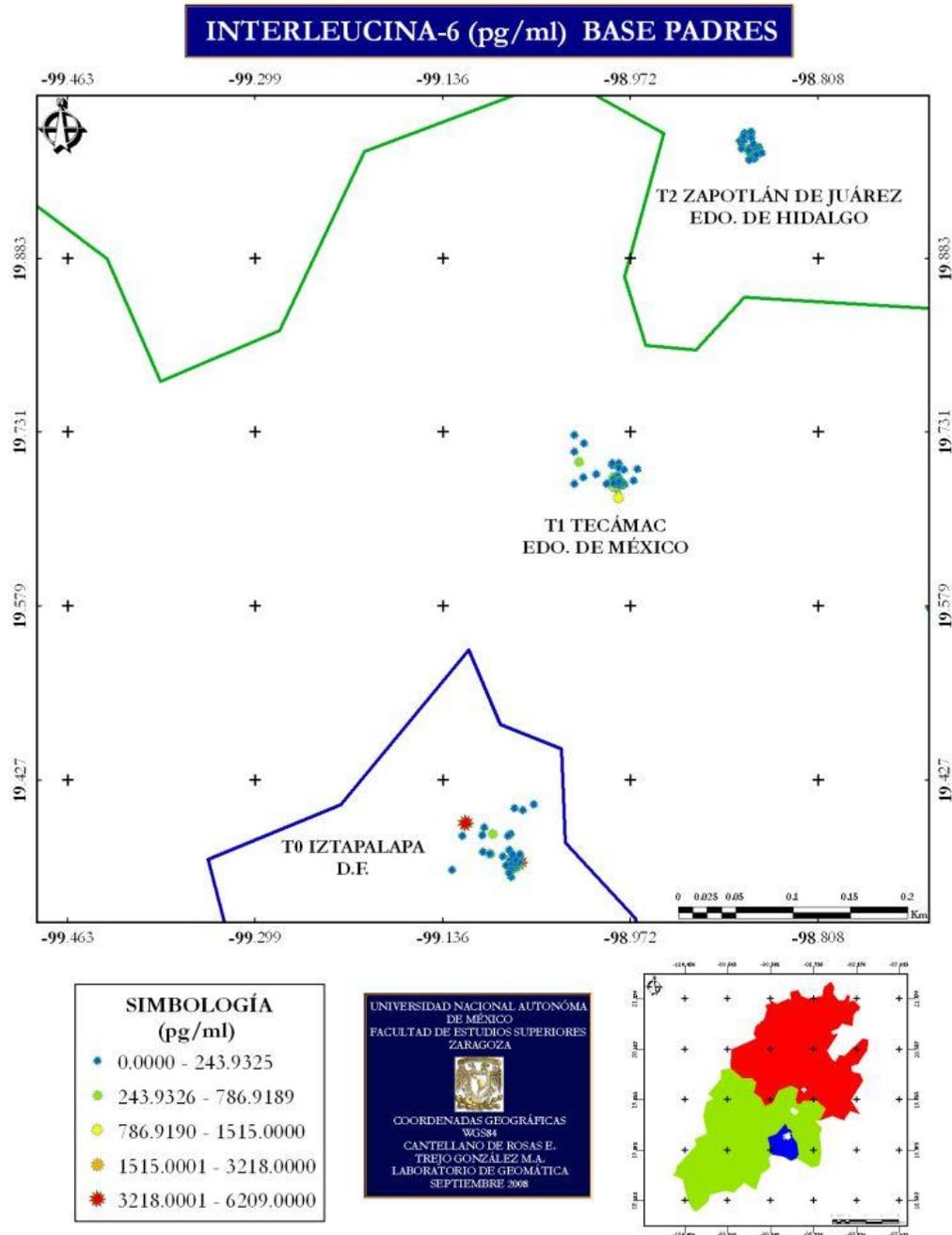
Mapa. – 55. Distribución espacial de IL-2 en T2, base padres.

Los resultados indican que en T1 y T0 la población muestra mayor actividad de IL-2 como respuesta ante agentes oxidantes, presentes en los sitios. Las proteínas IL promueven activaciones celulares que controlan la amplitud y duración de respuestas ante alteraciones del organismo (Hernández-Urzúa y Navarro 2001). Las concentraciones continuas y elevadas a los contaminantes atmosféricos que se encuentran en la ZMVM generan radicales libres que además dañan diversos tejidos a la población expuesta, particularmente los habitantes de T0 y T1, en donde la liberación excesiva de radicales libres, presentes en el ambiente, inducen a las IL para iniciar una respuesta inflamatoria, así como mecanismos específicas de defensa (Oberholzer *et al.* 2000).



Interleucina-6 (IL-6).

Los resultados para IL-6 arrojan concentraciones en T1 de 6209 pg/ml y una media de 474.24 pg/ml, seguido de T0 y T2 (tabla 17). La IL-6 es una citocina que media y regula las respuestas del Sistema Nervioso Central (SNC) eliminando agentes etiológicos y facilitando la reparación de daños. En el mapa 56 se observa que T1 y T0 son los sitios con mayor actividad de IL-6, por el contrario es en T2 donde se incluyen los datos más bajos de toda la zona de estudio. De esta manera, en T1 y T0 es probable que exista una mayor producción de inmunoglobulinas para la defensa del organismo ante agentes tóxicos.



Mapa. – 56. Distribución espacial en la zona de estudio de IL-6 en padres.

La distribución en T2 para IL-6 es similar a IL-2, ya que la distribución tiende a concentrarse hacia la parte sur del sitio y los datos de mayor puntaje están generalmente más dispersos (figura 18).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE INTERLEUCINA-6 (pg/ml)

BASE PADRES

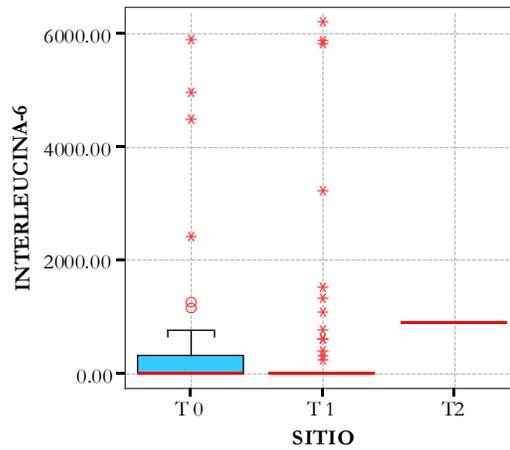
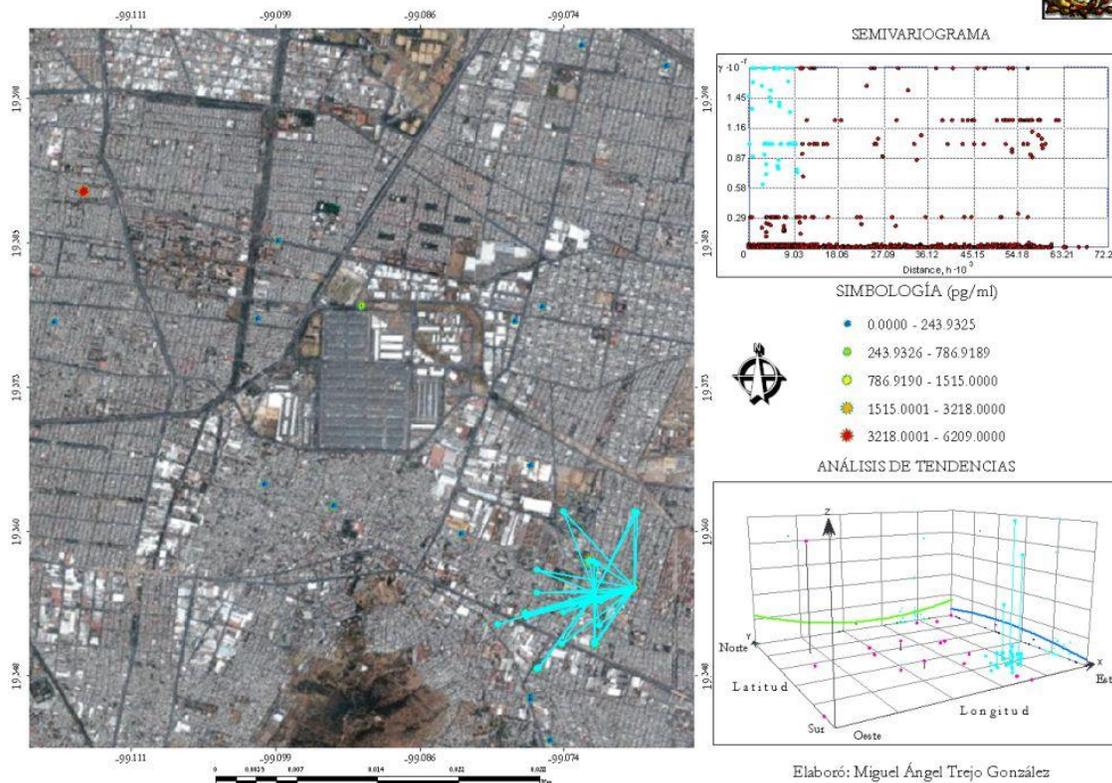


Figura. – 18. Diagrama de caja y bigote de IL-6 en padres.

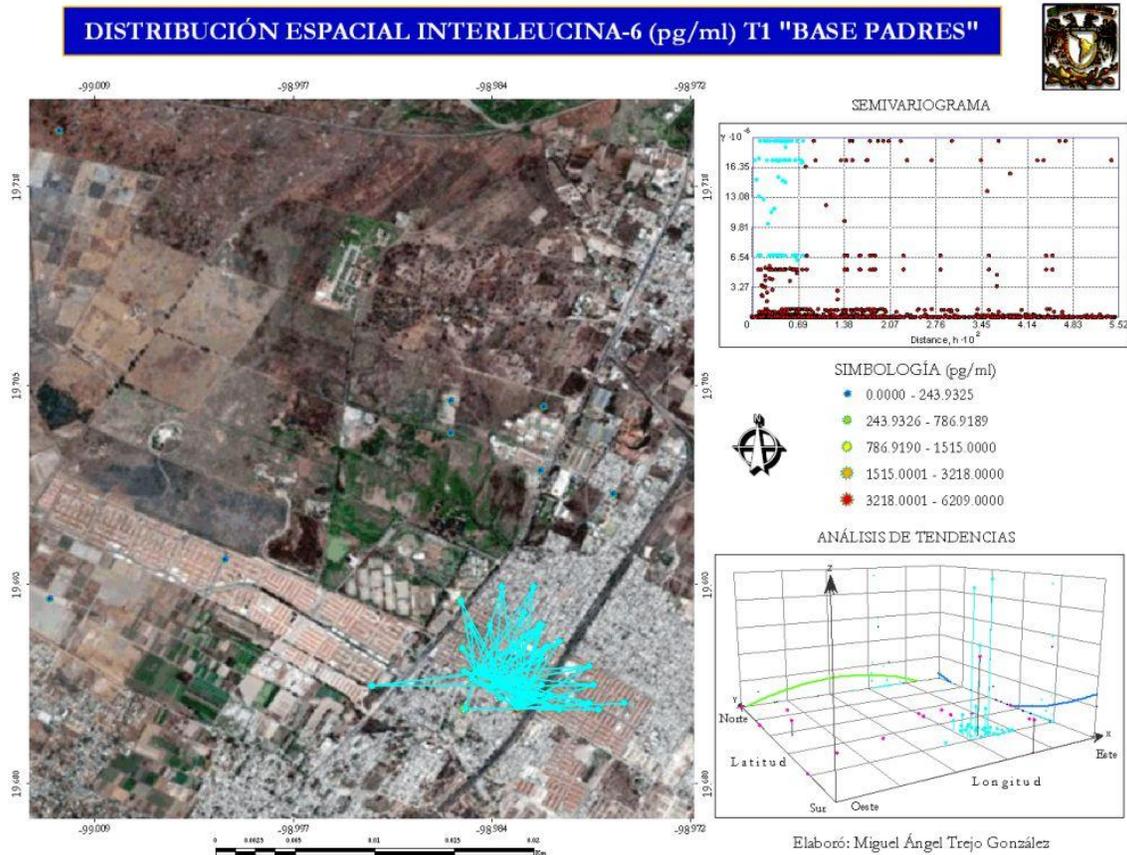
El semivariograma de T0 indica que el área de mayor dependencia espacial está influenciada a distancia cortas; como se observa, existen puntos cercanos que comparten semivarianzas similares. En el análisis de tendencias se observó que al Oeste y Este ocurren las mayores concentraciones, en dirección Norte-Sur se ubicaron al centro del sitio (mapa 57).

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL INTERLEUCINA-6 (pg/ml) T0 "BASE PADRES"



Mapa. – 57. Distribución espacial de IL-6 en T0, base padres.

En T1, las IL-6 mostraron una influencia extensa de mayor dependencia espacial con respecto a mayor actividad de la citocina. Según el análisis de tendencias en el sitio se observa mayor variación a presentar las concentraciones más elevadas al Sur de T1, de Oeste a Este se muestra un incremento seguido de un decremento (mapa 58).

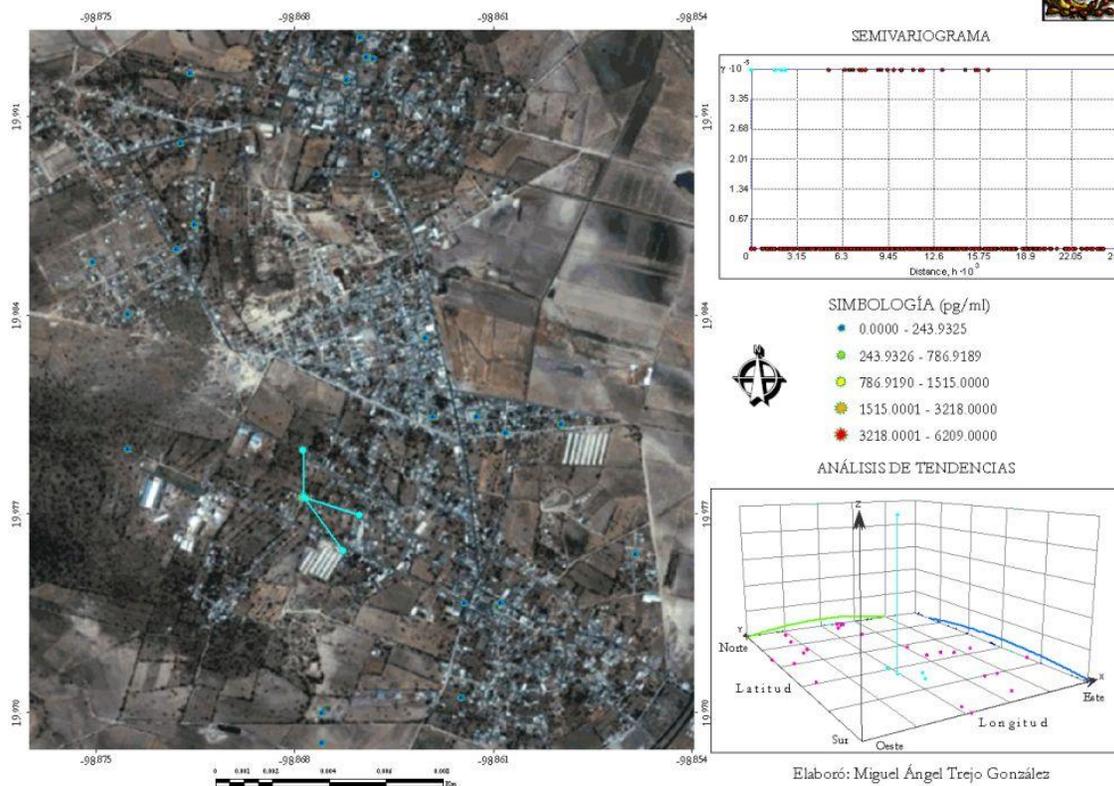


Mapa. – 58. Distribución espacial de IL-6 en T1, base padres.

El mapa 59 manifiesta que es en T2 donde las semivarianzas difieren unas de otras lo que deriva en que en el sitio no estén presentes agrupamientos de datos o dependencia espacial en áreas puntuales. Así, las IL-6 tuvieron el mismo comportamiento que IL-2. Las tendencias no sugieren influencia en la variación de concentraciones con respecto a la orientación geográfica.



DISTRIBUCIÓN ESPACIAL INTERLEUCINA-6 (pg/ml) T2 "BASE PADRES"

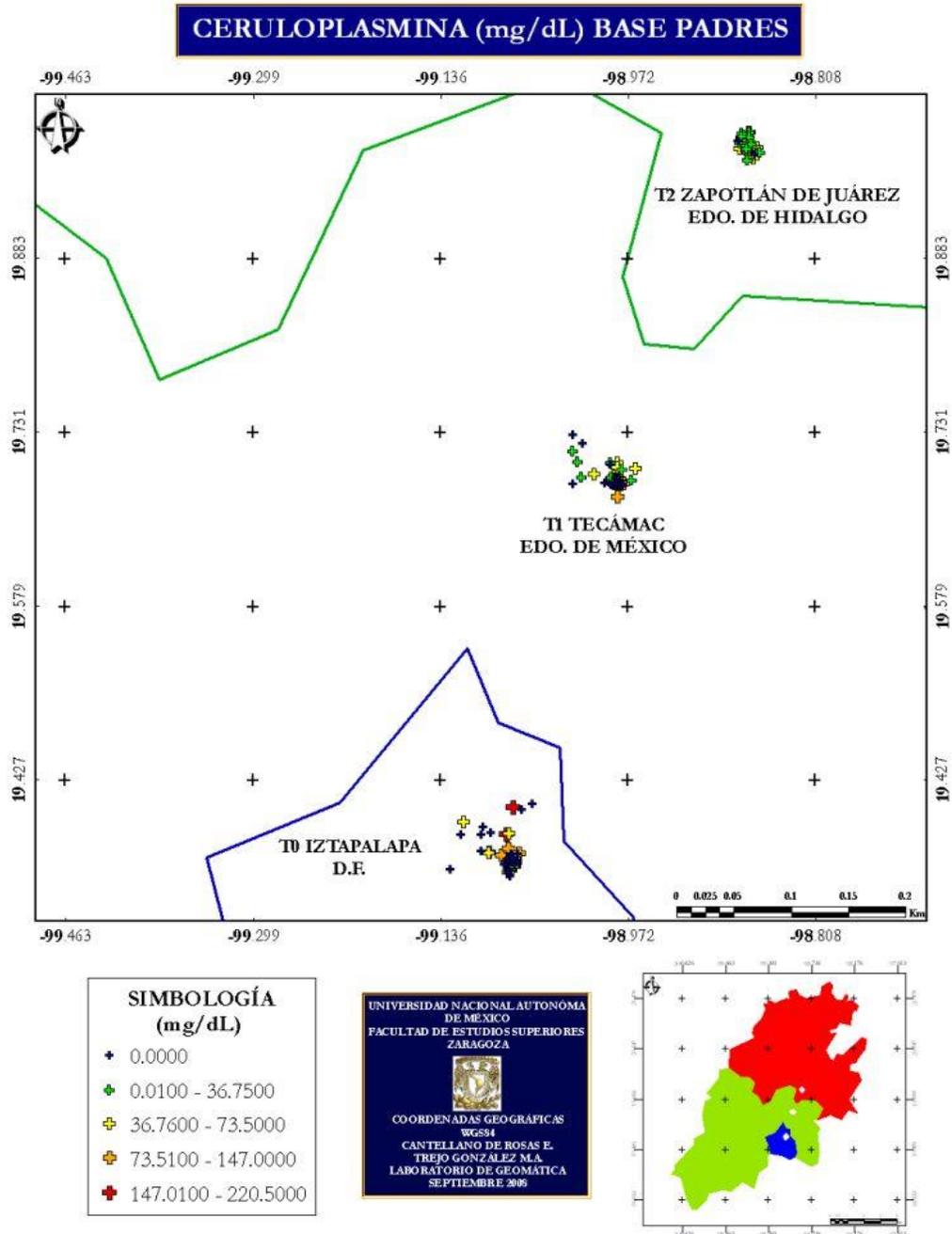


Mapa. – 59. Distribución espacial de IL-6 en T2, base padres.



Ceruloplasmina.

Los niveles de ceruloplasmina en padres fueron mayores para T0 (220.50 mg/dL), seguido de T1 y T2 que presentaron resultados similares (tabla 17). Al igual que el glutatión peroxidasa, este marcador de estrés oxidativo reacciona en contra de peróxidos de hidrógeno (H_2O_2), y el incremento de ambos en los adultos de T0 expresan respuestas inmunes ante los oxidantes presentes en el sitio. El mapa 60 señala que en T0 se encuentran distribuidos de manera más dispersa los datos.



Mapa. – 60. Distribución espacial en la zona de estudio de ceruloplasmina en padres.

Como se señala anteriormente, la figura 19 muestra que es en T0 donde ocurre la mayor dispersión, y que los datos del sitio tienden a concentrarse en la parte inferior de la mediana.

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE CERULOPLASMINA (m)
BASE PADRES

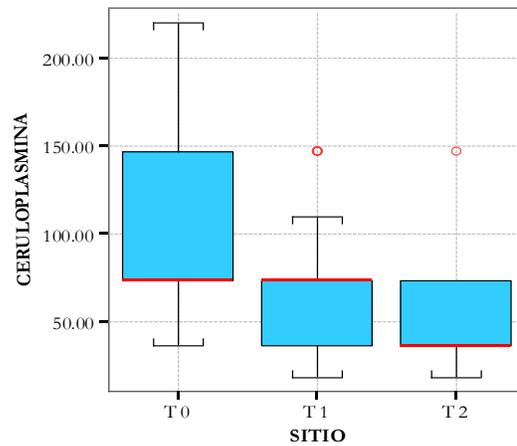
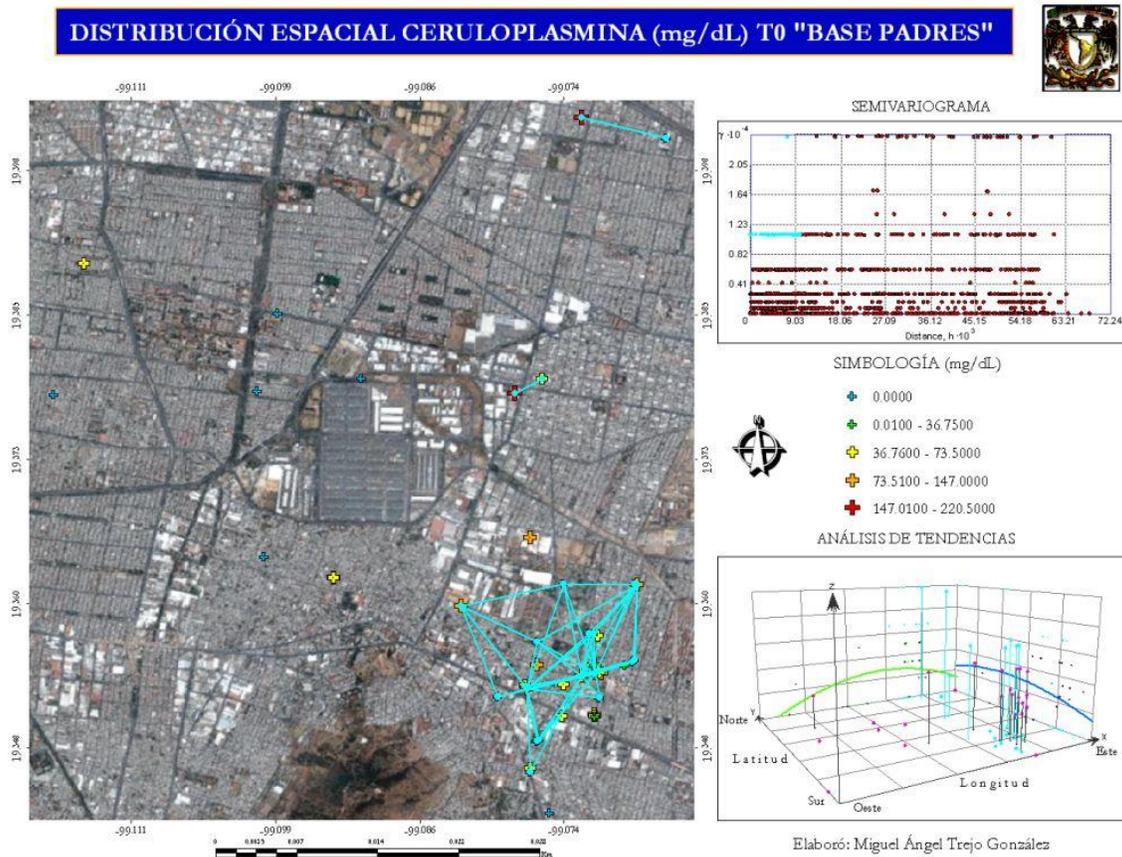


Figura. – 19. Diagrama de caja y bigote de ceruloplasmina en padres.

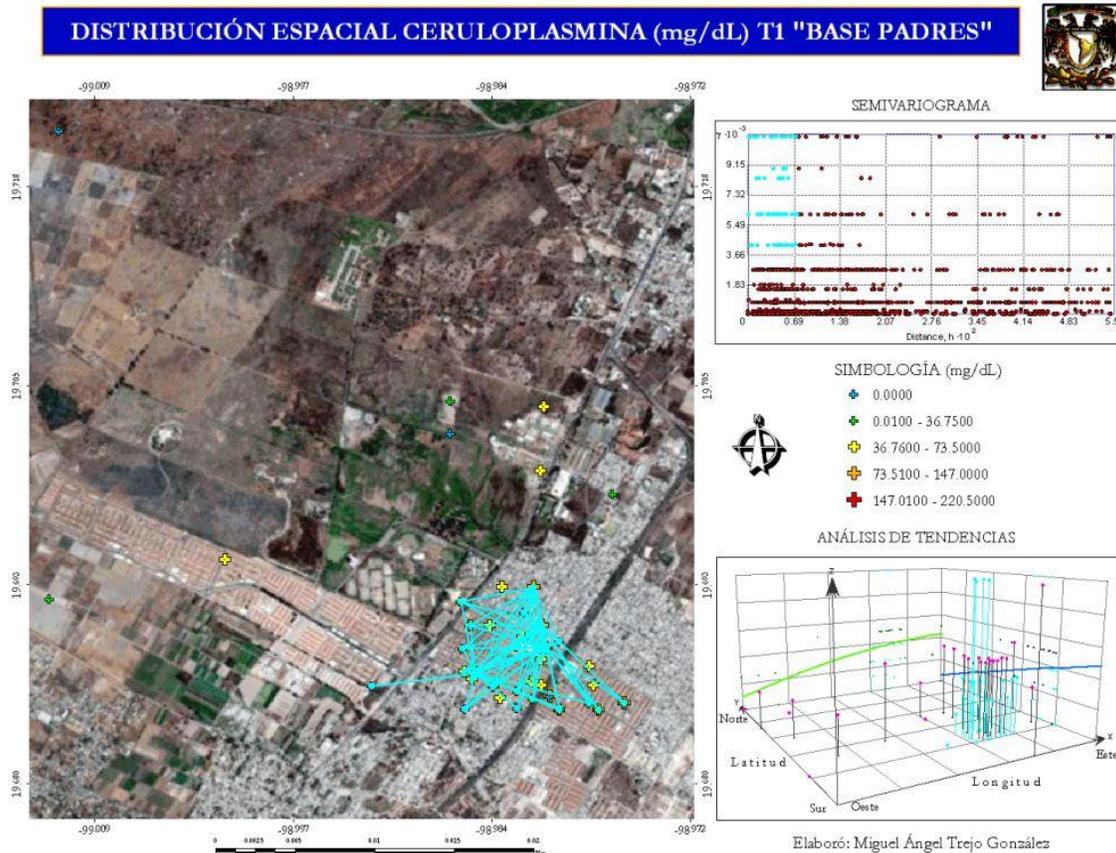
El análisis exploratorio del semivariograma para T0 del mapa 61 expresa un patrón que establece una dependencia espacial en varias áreas del sitio, por lo que en el mapa se observan grupos de datos no tan cercanos pero con semivarianzas similares. Mientras, el análisis de tendencias muestra que las concentraciones elevadas se concentran al Noreste del sitio.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL CERULOPLASMINA (mg/dL) T0 "BASE PADRES"



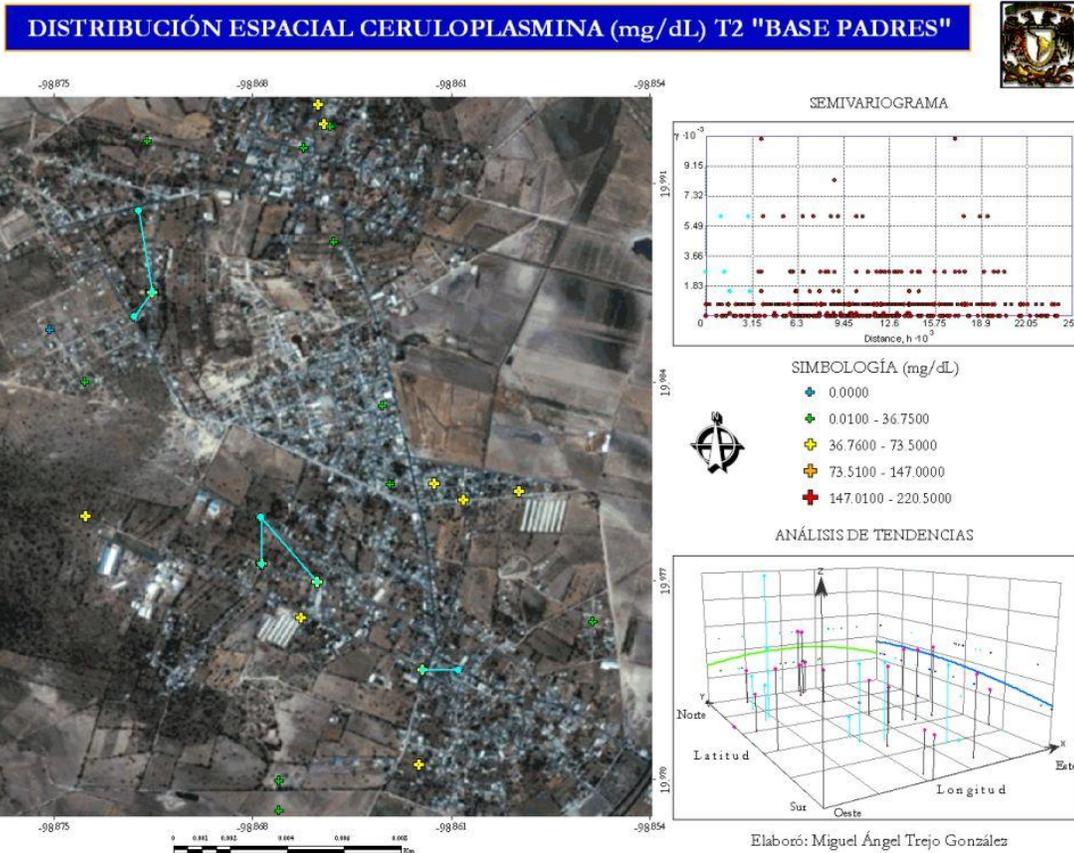
Mapa. – 61. Distribución espacial de ceruloplasmina en T0, base padres.

En T1 el análisis del semivariograma mostró un área extensa con dependencia espacial de ceruloplasmina. En el análisis tendencial se observa que al Sureste del sitio se agrupan las concentraciones más elevadas del marcador de estrés oxidativo (mapa 62).



Mapa. – 62. Distribución espacial de ceruloplasmina en T1, base padres.

En el mapa 63 se observa que en T2 hay una heterogeneidad de datos con intervalos que van llegar hasta los 147 mg/dL. Además se manifiesta que las semivarianzas aumentan con la distancia por lo que no existe dependencia espacial en el sitio. El análisis de tendencias señala que al Noreste de T2 hay un ligero incremento de concentración para ceruloplasmina.



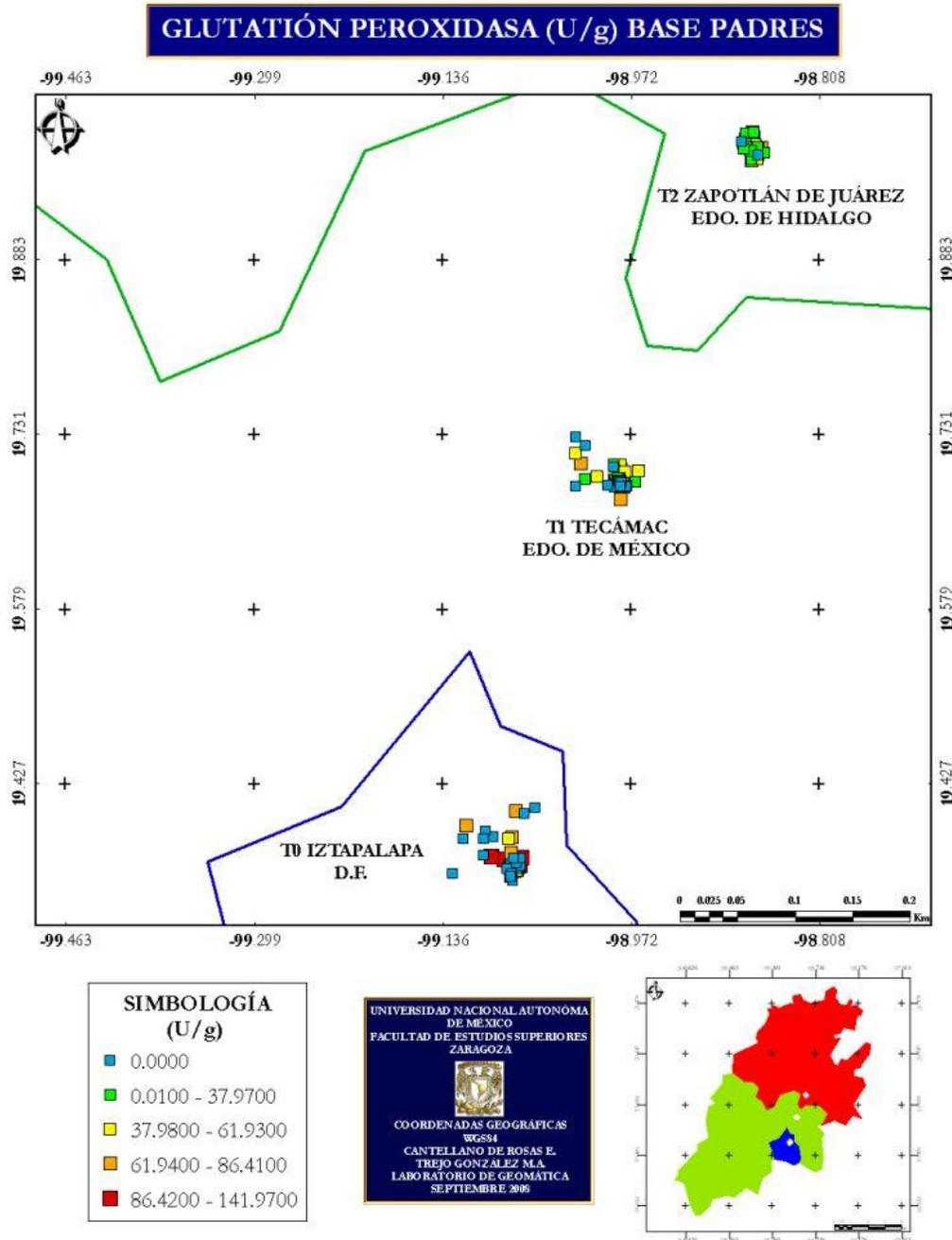
Mapa. – 63. Distribución espacial de ceruloplasmina en T2, base padres.

Los resultados para ceruloplasmina en padres mostraron que T0 es el sitio donde está siendo liberada en mayor concentración en respuesta a una posible infección o inflamación pues al igual que otras enzimas antioxidantes, como el glutatión peroxidasa, reaccionan cuando existe exceso de H_2O_2 en el organismo, de esta forma el incremento de estos marcadores de estrés oxidativo en los adultos de T0 están expresando respuestas ante oxidantes presentes en el sitio.



Glutación peroxidasa (GPx).

Este antioxidante tuvo una concentración máxima en T0 (141.97 U/g), seguida de T2 y T1 (tabla 17). El glutación peroxidasa reacciona directamente con las especies reactivas de oxígeno, ya que sus moléculas tienen la capacidad antioxidante puesto que elimina o inactiva la formación del estrés oxidativo. En el mapa 64 se observa la distribución así como su nivel de actividad del glutación resaltando que es el T0 donde se concentran los datos más altos con intervalos hasta de 141.97 U/g.



Mapa. – 64. Distribución espacial en la zona de estudio de glutación peroxidasa en padres.

Tanto en T0 como en T1 se observa que los datos tienden a concentrarse en la parte superior de la distribución, a su vez los datos con valores bajos, con respecto a la mediana, están más dispersos en los sitios. En T2, la distribución es similar para valores altos y bajos, así su dispersión es similar dentro del sitio (figura 20).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE GLUTATIÓN PEROXII
BASE PADRES

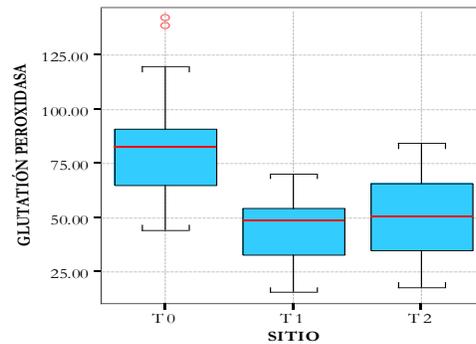
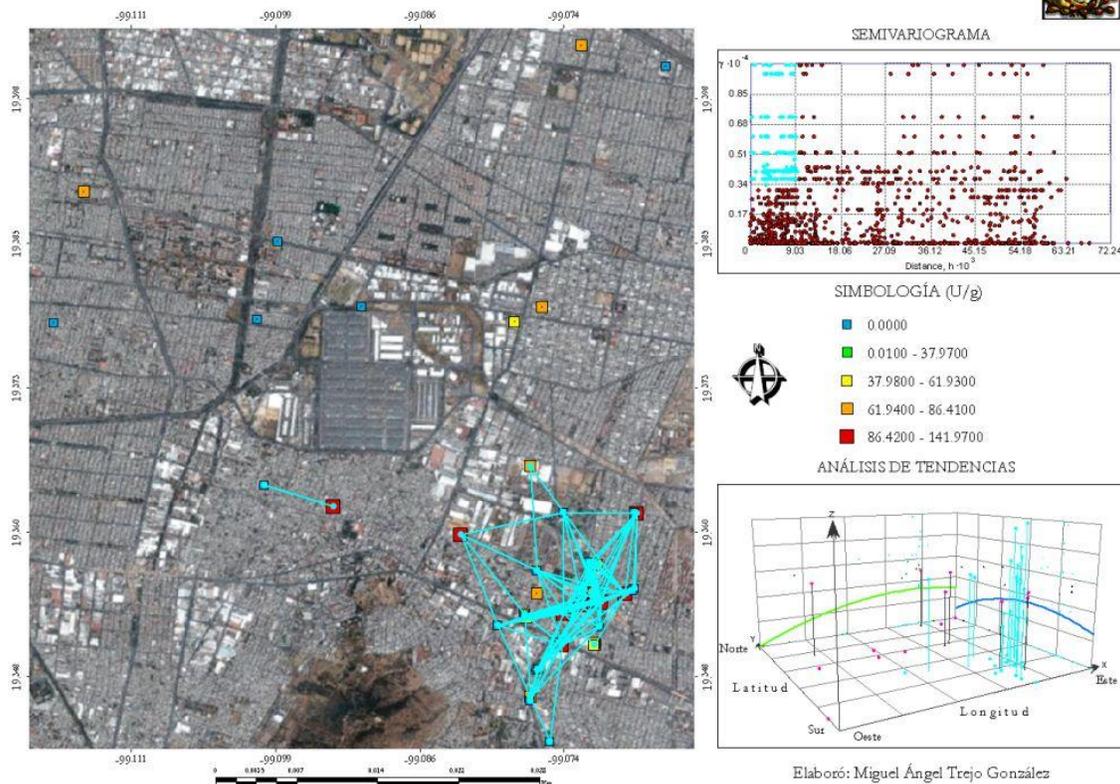


Figura. – 20. Diagrama de caja y bigote de glutatión peroxidasa en padres.

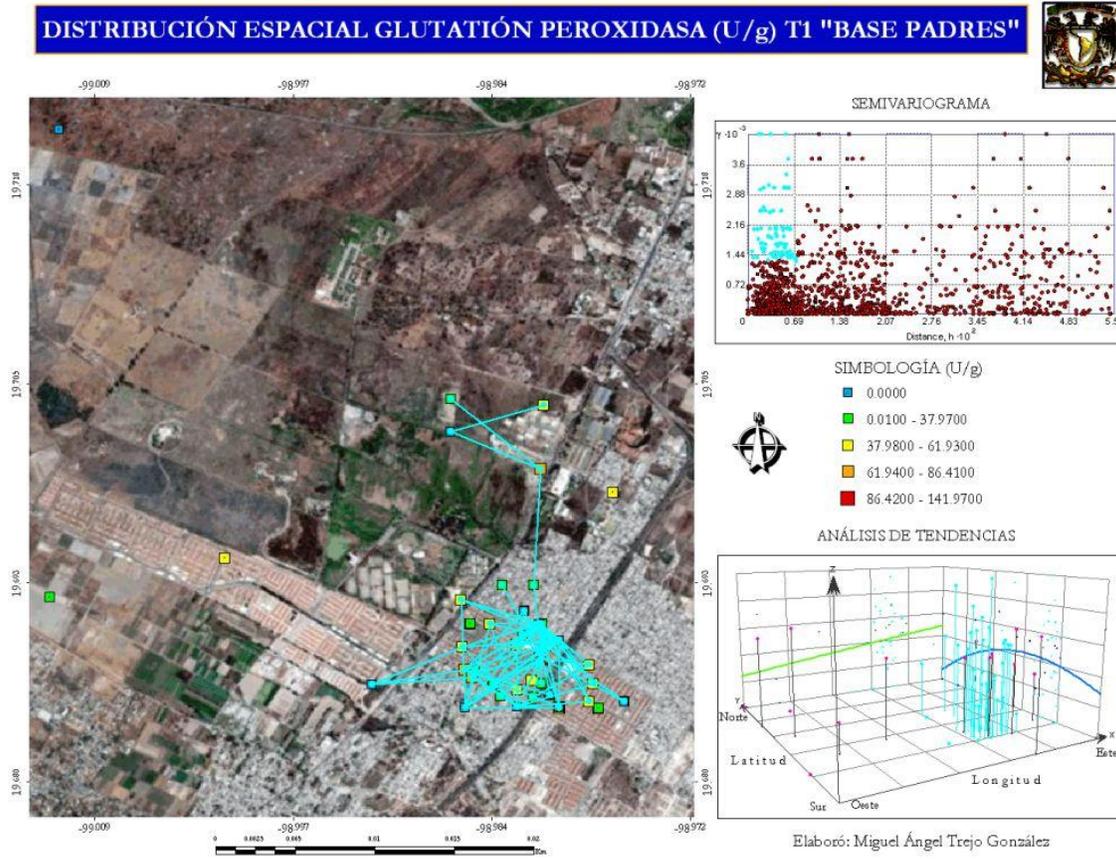
El mapa 65 muestra que en T0 está presente una gran heterogeneidad en los datos, así también se observa un área de influencia extensa en el sitio. Los datos bajos y altos se alternan a lo largo del sitio, no obstante la semivarianza disminuye conforme aumenta la distancia y por consiguiente la dependencia espacial. La tendencia espacial sugiere que de Oeste a Este hay un incremento en la concentración, mientras que de Norte a Sur se observó un ligero incremento que tiende a decrecer, así la mayor presencia de glutatión peroxidasa ocurre al Sureste del sitio.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL GLUTATIÓN PEROXIDASA (U/g) T0 "BASE PADRES"



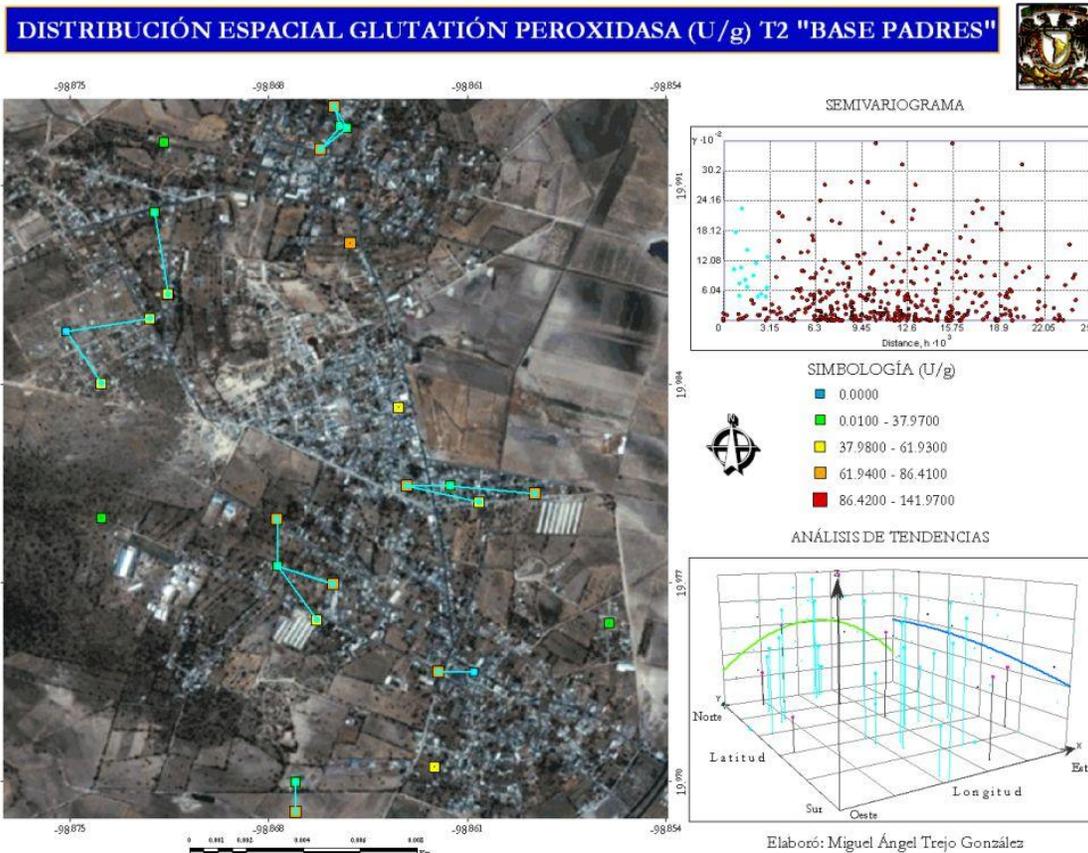
Mapa. – 65. Distribución espacial de glutatión peroxidasa en T0, base padres.

El mapa 66 manifiesta que en T1 existe una gran área con dependencia espacial para el glutatión peroxidasa, dicha área extiende su influencia a puntos más alejados a las unidades habitacionales y a la autopista México-Pachuca. Probablemente esté patrón de distribución se deba a que las mediciones de esos puntos se traten de padres que constantemente tengan que desplazarse de sus hogares a sus trabajos. El análisis de tendencias señala que de Oeste a Este hay un incremento exponencial, de Norte a Sur se observó un incremento-decremento, y teniendo que las concentraciones más elevadas ocurren al Sureste del sitio.



Mapa. – 66. Distribución espacial de glutatión peroxidasa en T1, base padres.

En T2 se observa datos aislados que comparten similitud en sus semivarianzas por lo que se puede determinar que en el sitio no está presente una fuerte dependencia espacial para el glutatión peroxidasa. Conforme la distancia aumenta las semivarianzas crecen y no hay una marcada área de influencia. En cuanto a la orientación geográfica, se muestra que los valores de Norte a Sur tienen un decremento, resultando que teniendo las concentraciones más elevadas se incluyen al Norte y Centro del sitio.



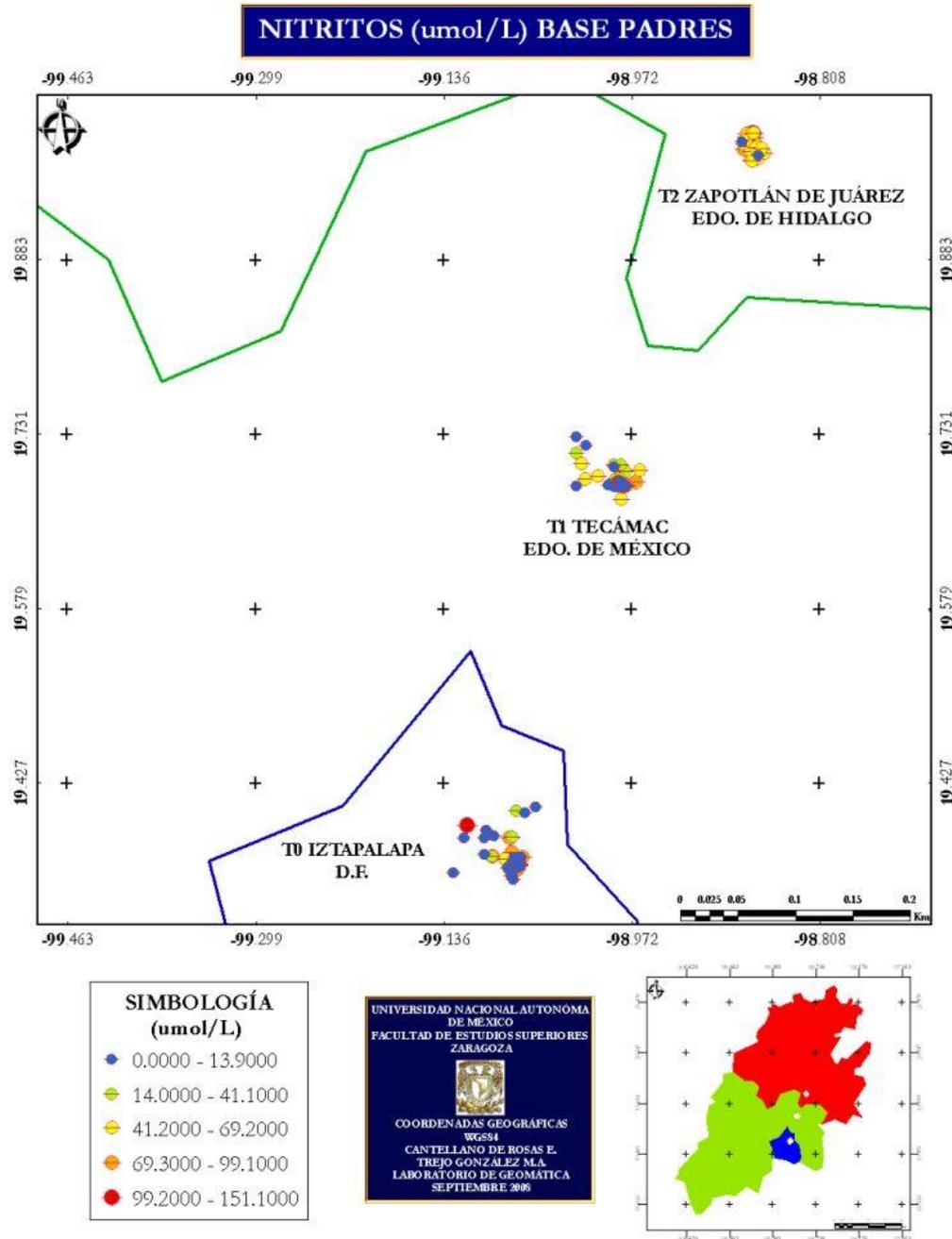
Mapa. – 67. Distribución espacial de glutatión peroxidasa en T2, base padres.

La elevada actividad reportada para T0, indica que es posible una respuesta de los sujetos para mantener el equilibrio redox y funciones de protección en contra de los efectos adversos de los radicales libres derivados del oxígeno. El glutatión peroxidasa desempeña una importante función antioxidante, además de ofrecer protección frente a las sustancias tóxicas retirando radicales libres (Kehrer 1993). Otras sustancias que afectan al equilibrio redox en el organismo son los solventes que se ha reportado, desempeñan un papel notable en el desarrollo de enfermedades crónicas que están mediadas por la acción de radicales libres (Telisman 1995). La importancia en las mediciones del marcador de estrés oxidativo para la población de T0 radica en que las peroxidasa son enzimas que catalizan la reducción de H_2O_2 , y entre sus funciones más importantes están el almacenamiento del elemento traza cuando existen cantidades elevadas de H_2O_2 , además de tener un papel clave en la defensa antioxidante del plasma (Hill *et al.* 1992). Finalmente la afectación de funciones del glutatión peroxidasa, para sitios urbanos como lo T0 pudiera verse mermada, ya que estudios reportan que las alteraciones en sus niveles de actividad involucran daños a nivel intracelular que derivan en diversas patologías tales como las infecciosas y la formación de tumores en próstata, cuello uterino, ovario e hígado (Tapia *et al.* 2006).



Nitritos (NO_2^-).

A diferencia de los marcadores anteriores, las concentraciones de nitritos fueron más elevadas en T1 (151.10 $\mu\text{mol/L}$) seguidas por T0 y T2, en cuanto a la media fue T2 el sitio que tuvo más presencia de nitritos (71.07 $\mu\text{mol/L}$) (tabla 17). En el mapa 68 se distingue que es en T2 donde se acumulan valores altos de NO_2^- , lo que se asocia con la liberación de óxido nítrico por procesos de inflamación aguda, esto puede explicar que los niveles fueran de menor concentración en los sitios urbanos y semiurbanos (T0 y T1, respectivamente), como reflejo de procesos de adaptación de la población a los diversos contaminantes atmosféricos.



Mapa. – 68. Distribución espacial en la zona de estudio de nitritos en padres.

El diagrama explica que en T0 y T2 sus datos siguen una tendencia a concentrarse en la parte superior de la distribución. Al contrario, en T1 los datos tienden a agruparse en la parte inferior de la distribución por lo que los datos se concentran en un puntaje menor y los más altos están presentes de forma más dispersa en el sitio (figura 21).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE NITRITOS (μm)
BASE PADRES

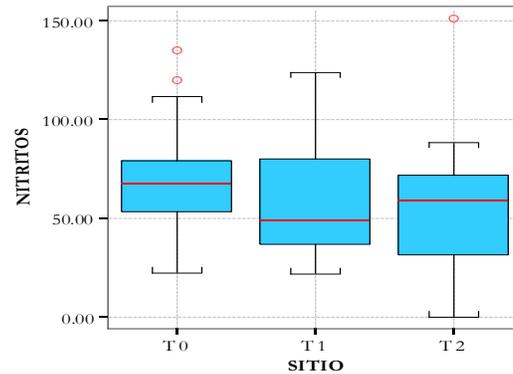
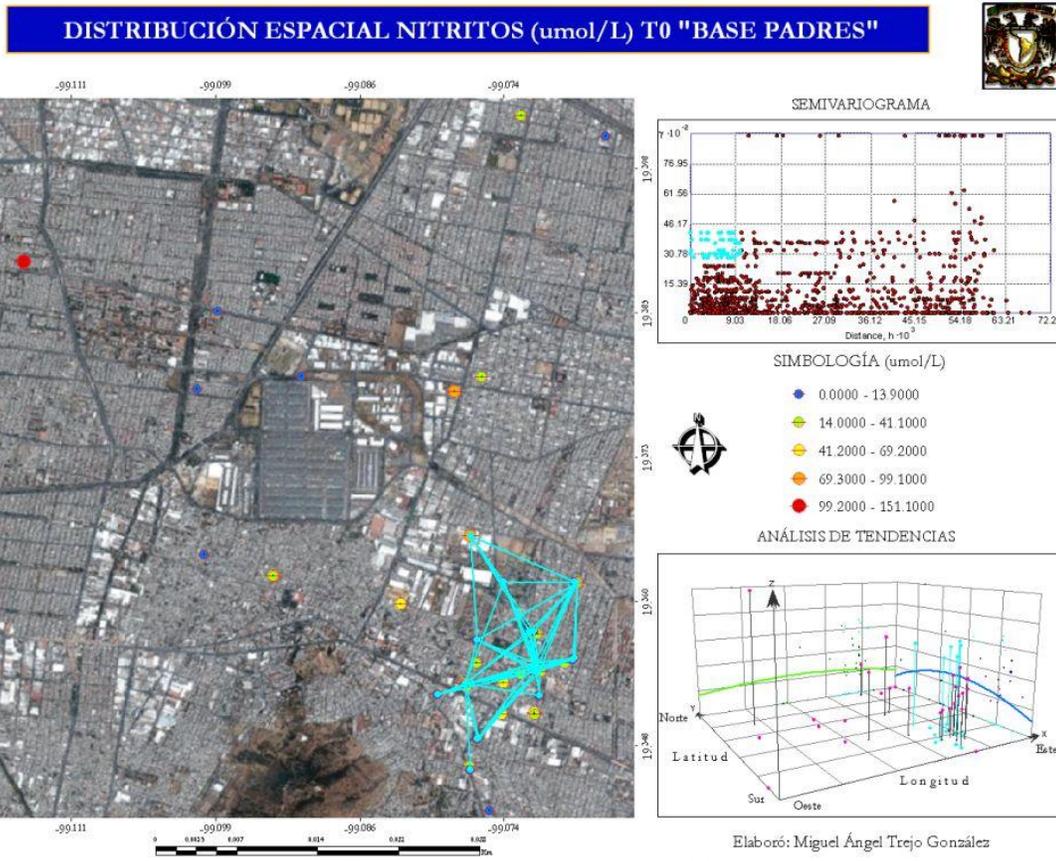


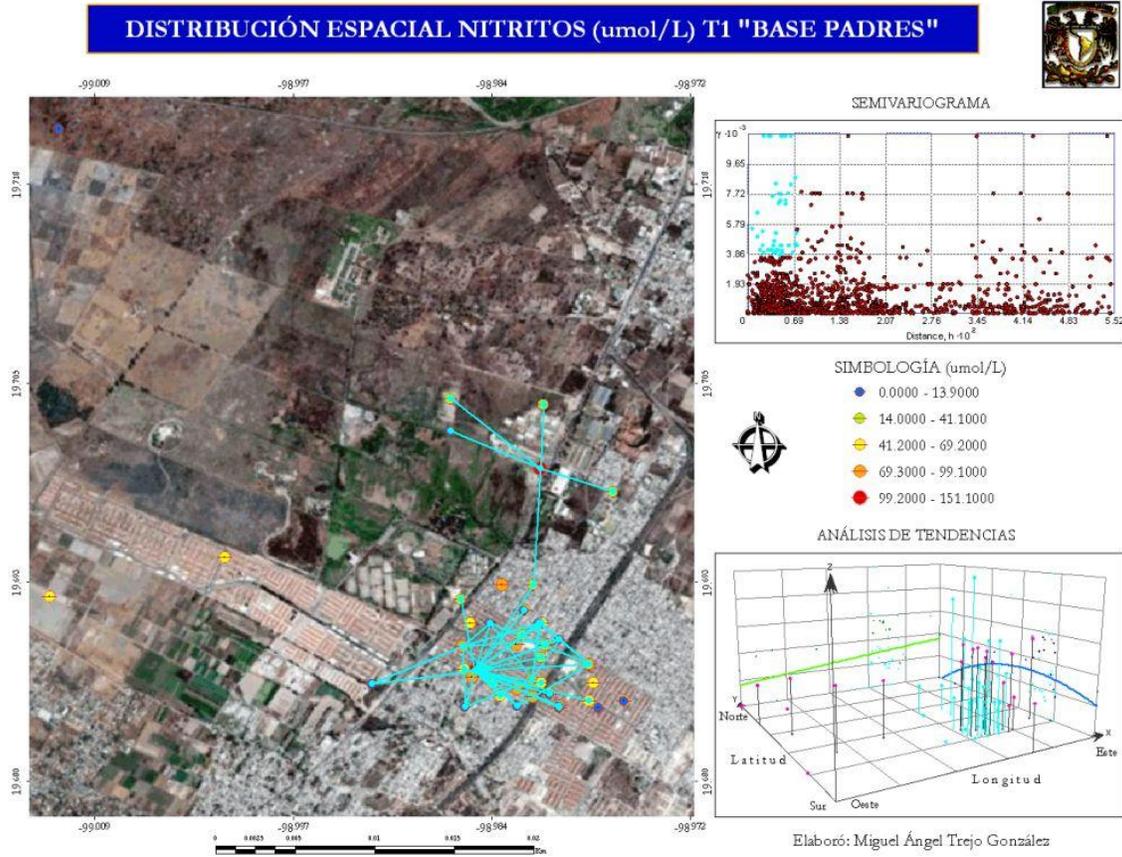
Figura. – 21. Diagrama de caja y bigote de nitritos en padres.

En el caso de este indicador el mapa 69 muestra que las concentraciones más elevadas con semivarianzas similares, tienden a encontrarse en un área de dependencia espacial extensa. En el análisis de tendencias y de acuerdo con la dirección que toman las concentraciones de nitritos, se señala que de Oeste a Este se presenta una variación con un ligero incremento al centro del T0, por lo contrario en dirección Norte-Sur las concentraciones se elevan y disminuye acentuadamente.



Mapa. – 69. Distribución espacial de nitritos en T0, base padres.

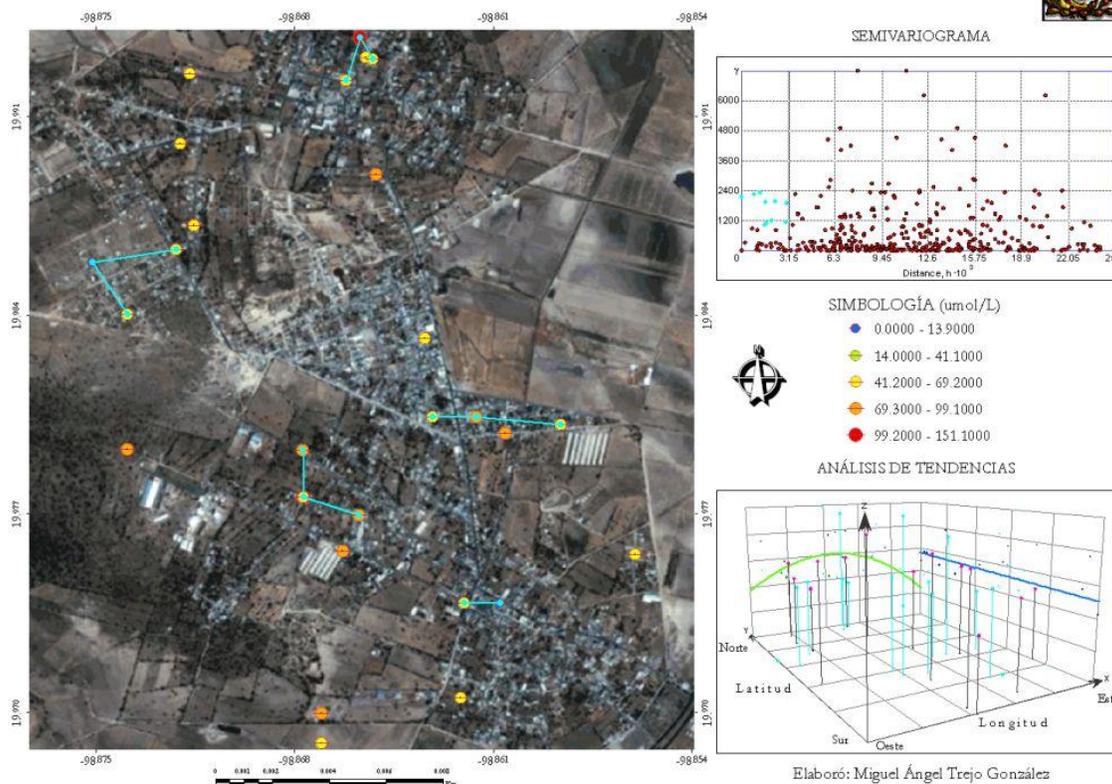
Para T1 la dependencia espacial tiene una distribución característica puesto que la nube de semivarianzas semejantes se une más allá de un área precisa. El análisis de variación de acuerdo a la orientación geográfica explica que de Oeste a Este ocurre un notable incremento en las concentraciones; mientras que de Norte a Sur el incremento es seguido por un decremento, por lo tanto, en padres, los altos niveles de nitritos se concentraron el Sureste del sitio.



Mapa. – 70. Distribución espacial de nitritos en T1, base padres.

En T2 se abundan valores de medios a bajos, desde 41.20 hasta 99.10, sin embargo en el mapa 71 no se observa dependencia espacial marcada para el sitio, si acaso se presentan semivarianzas similares para áreas lejanas pero que no representan una constante. En el análisis de tendencias se observa un ligero decremento de concentración en dirección Norte-Sur, al centro de T2 ocurren las mayores concentraciones.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL NITRITOS (umol/L) T2 "BASE PADRES"



Mapa. – 71. Distribución espacial de nitritos en T2, base padres.

Los niveles de NO_2^- se asocian con la liberación de óxido nítrico por procesos de inflamación aguda, esto puede explicar que sus niveles fueran similares en los sitios urbanos y semiurbanos, T0 y T1, respectivamente, como reflejo de un proceso de adaptación de esta población a los contaminantes atmosféricos. Se ha reportado que el exceso de radicales libres de oxígeno y la disminución de la liberación de óxido nítrico produce hipertensión (Oré *et al.* 2007).



VI.1.3 INDICADORES DE SALUD EN NIÑOS

La actividad de paraoxonasa y de TBARs fue mayor en T2 (0.12 ± 0.01 y 13 ± 0.01 , respectivamente). En cuanto a los grupos carbonilos, los niños de T2, también mostraron niveles mayores que los otros grupos (1.66 ± 0.18) (tabla 19).

	SITIO	N	Mínimo	Media	Mediana	Máximo	Desv. típ.
IL-2 (pg/ml)	T0	13	452.68	1713.22	1779.29	3119.47	997.37
	T1	58	.00	1755.21	1274.05	3766.11	1295.15
	T2	6	25.99	1044.22	350.85	2832.43	1263.21
IL-6 (pg/ml)	T0	15	137.91	2082.99	1420.05	5762.21	1573.54
	T1	60	.00	3002.87	2135.67	6768.00	2086.34
	T2	13	.00	2908.33	2508.39	6041.74	1895.07
GRUPOS CARBONILO (nmol ozasonas/mg prot.)	T0	34	.87	1.19	1.18	1.65	.19
	T1	57	.09	.99	.95	2.01	.32
	T2	17	.85	1.66	1.37	3.50	.76
TBARs (uM)	T0	34	3.81	8.70	7.27	28.52	5.61
	T1	59	2.82	9.48	7.06	38.83	7.38
	T2	19	6.78	13.00	9.74	41.80	8.40
PARAOXONASA (nmol p-nitrofenol/mg prot./min)	T0	35	.02	.10	.09	.19	.05
	T1	59	.02	.10	.10	.26	.06
	T2	19	.04	.12	.10	.21	.05

Tabla. – 19. Análisis estadístico de indicadores de salud en niños.

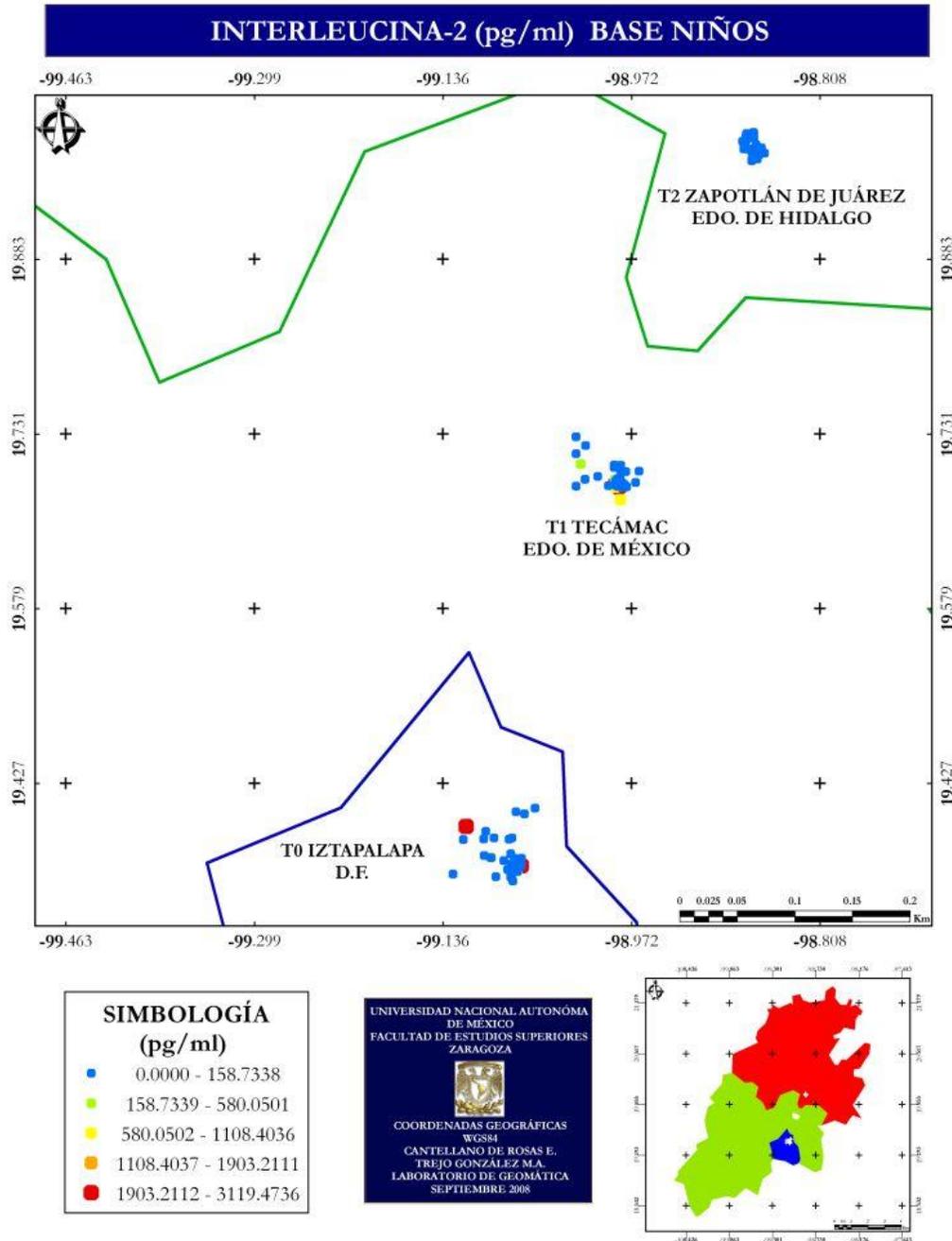
En el análisis sugiere que en T2 existe una respuesta inflamatoria posiblemente no generada por la contaminación del aire. Entre los menores del sitio una hipotética explicación ante el estado oxidativo pudiera ser que los niveles nutricionales son deficientes, situación agravado por una exposición a contaminantes atmosféricos transportados. Sin embargo esta sería una posible respuesta ante el comportamiento de los marcadores de estrés en los niños, ya que diversos grupos de trabajo a nivel mundial han referido valores para algunos de los marcadores incluidos en este trabajo no obstante aquellos valores no se pueden tomar como una referencia tangente para la población de la ZMVM ya que el grado de estrés oxidativo está fuertemente influenciado por la alimentación, las condiciones atmosféricas y el ritmo de vida, por lo que es necesario establecer datos en cuanto a niveles máximos de actividad de los marcadores de estrés para evaluar la participación de los radicales libres con enfermedades crónico degenerativas asociadas con el estrés oxidativo.

En pacientes que padecen diabetes se producen cambios en indicadores bioquímicos que ponen en evidencia al estrés oxidativo disminuyen las concentraciones plasmáticas de vitaminas antioxidantes como la A, C y E. (Anderson *et al.* 1999). Además de que se incrementa la concentración sanguínea de TBARs y por lo tanto existe una menor capacidad antioxidante total del plasma ocasionando daños al material genético. (Bonet *et al.* 1998)



Interleucina-2 (IL-2).

La actividad de IL-2 encontró un máximo en T1 (3766.11 pg/ml), seguido de T0 y T2, de acuerdo a la media el patrón se repite con 1755.21, 1713.22 y 1044.22 pg/ml, respectivamente (tabla 18). En el mapa 72 se observa que la mayor actividad de la proteína ocurre en T1, y por el contrario es en T2 donde generalmente se incluyen los datos más bajos.



Mapa. – 72. Distribución espacial en la zona de estudio de IL-2 en niños.

En T0 y T1 los datos se concentran en la parte inferior de la distribución por lo que los datos altos y superiores a la mediana están más dispersos en ambos sitios (figura 22).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE INTERLEUCINA-2 (p;
BASE NIÑOS

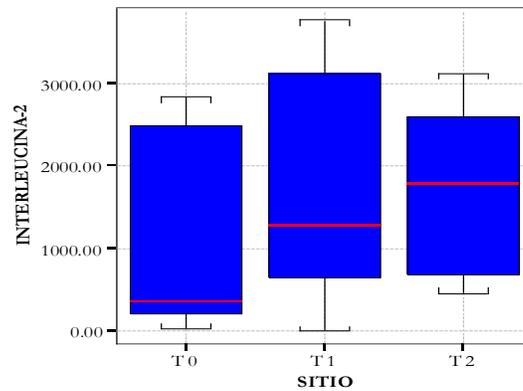
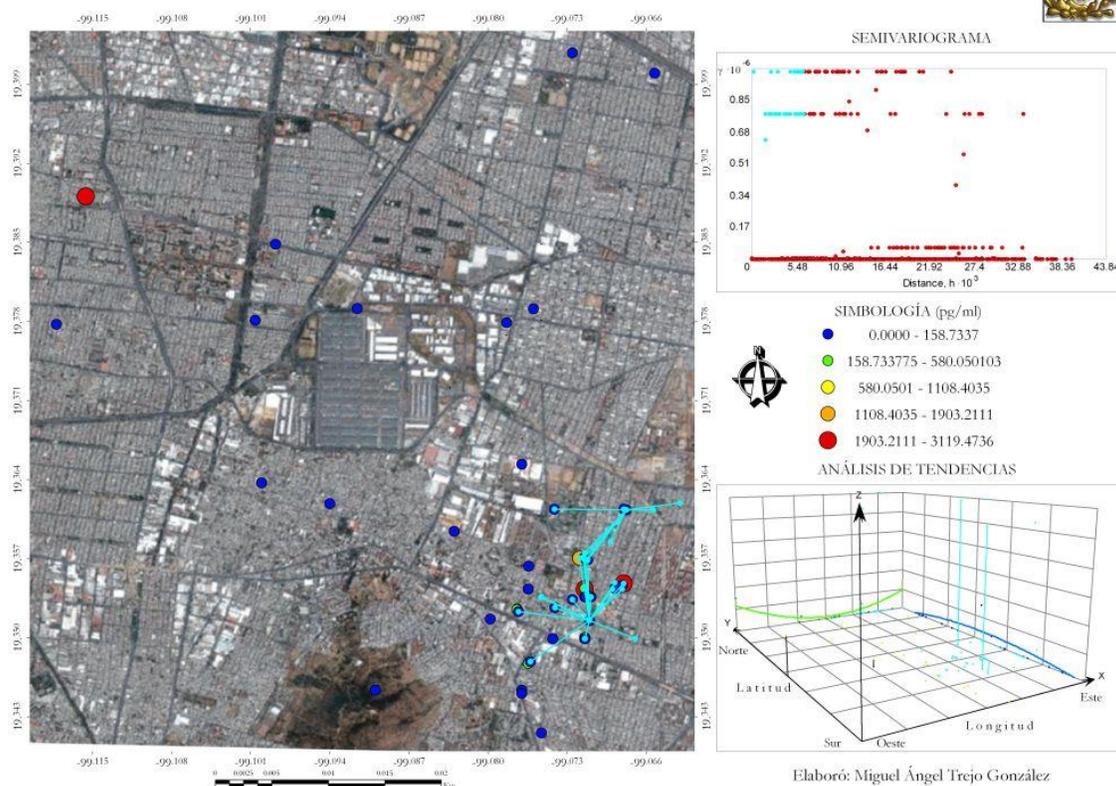


Figura. – 22. Diagrama de caja y bigote de IL-2 en niños.

La actividad de IL-2 para niños mostró que en T0 abundan valores bajos (hasta 158.73 pg/ml), en cuanto al semivariograma se expresa que prevalece un área de exposición en el sitio, en ella converge un mayor nivel de actividad para la citocina. La orientación geográfica de la variación señala que de Oeste a Este existe un decremento de concentración, por el contrario de Norte a Sur se presentó un incremento seguido de una ligera disminución, finalmente los valores más altos se concentraron al Sureste y Noreste de T0 (mapa 73).

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL INTERLEUCINA-2 (pg/ml) T0 "BASE NIÑOS"

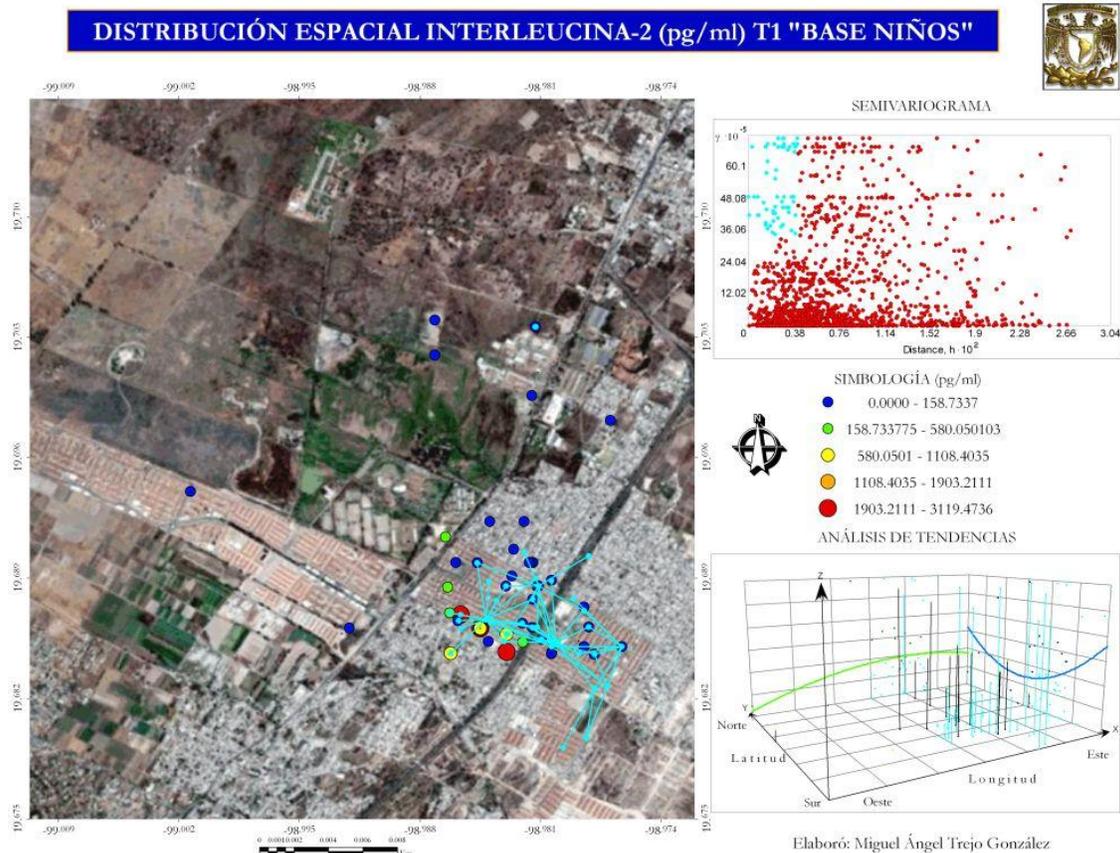


Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 73. Distribución espacial de IL-2 en T0, base niños.



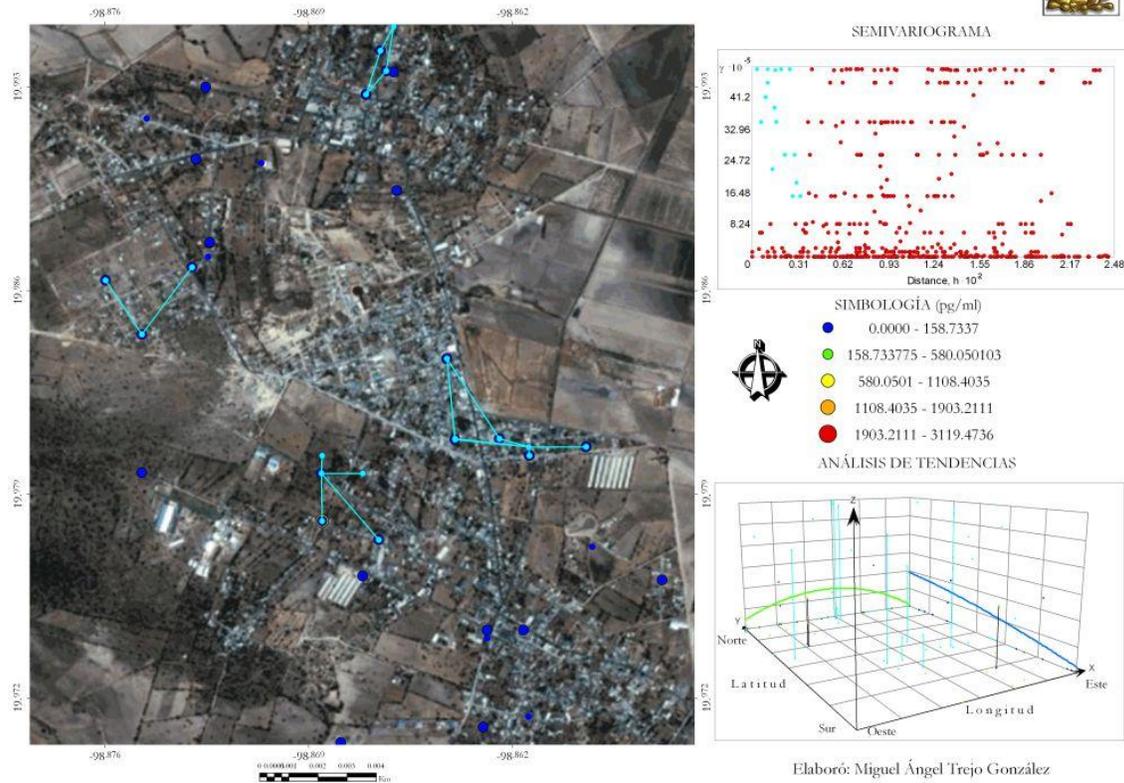
El análisis tendencial para T1 señala que de Oeste a Este hay incremento de concentraciones; mientras, de Norte a Sur se observó un patrón de decremento-incremento, así los valores altos se ubican Sureste del centro del sitio.



Mapa. – 74. Distribución espacial de IL-2 en T1, base niños.

Para T2 el análisis de tendencias en dirección Oeste-Este señala un incremento seguido de un decremento, marcando una parábola con las concentraciones más elevadas al centro; mientras, de Norte a Sur se observó una notable disminución.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL INTERLEUCINA-2 (pg/ml) T2 "BASE NIÑOS"



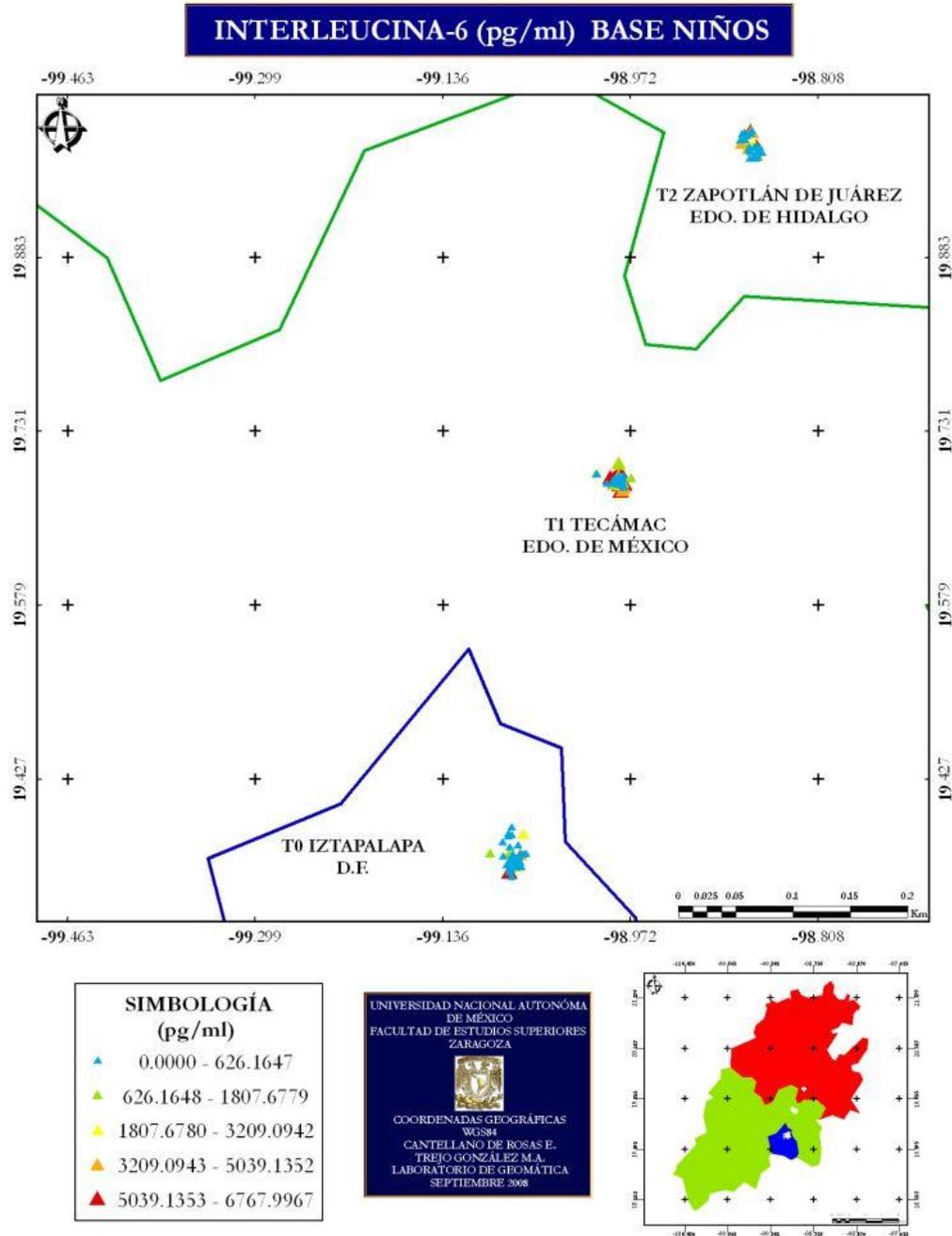
Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 75. Distribución espacial de IL-2 en T2, base niños.



Interleucina-6 (IL-6).

De manera similar a padres, es en T1 donde se encuentra el dato con mayor actividad para IL-6 (6768.00 pg/ml) y la media más elevada (3002.87) (tabla 18).



Mapa. – 76. Distribución espacial en la zona de estudio de IL-6 en niños.

Para IL-6, la distribución en todos los sitios tiende a concentrar los datos en la parte inferior a la mediana, en estos casos la media suele ser mayor que la mediana y en el contexto del análisis, los datos se concentran en un puntaje mayor y los de menor valor están ampliamente dispersos (figura 23).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE INTERLEUCINA-6 (pg/ml)
BASE NIÑOS

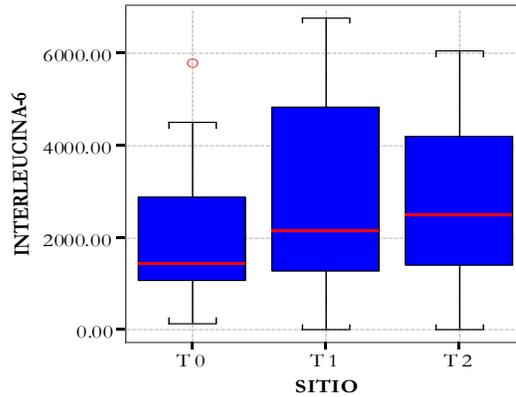
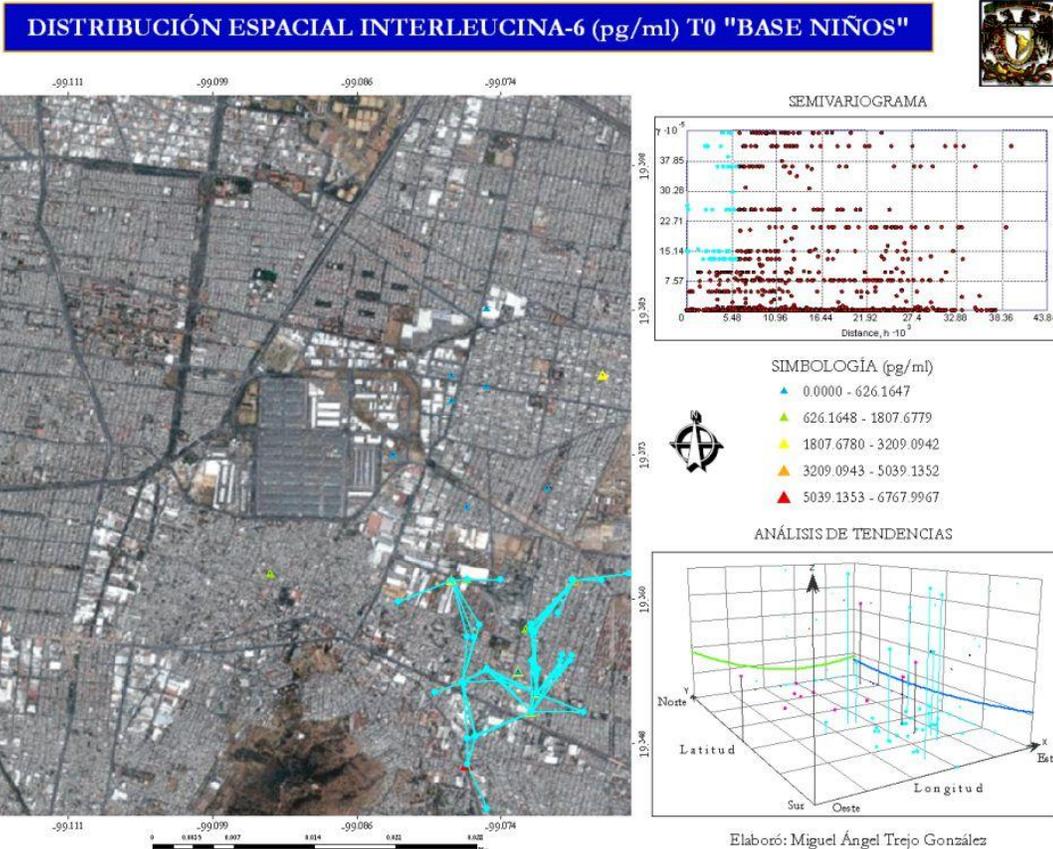


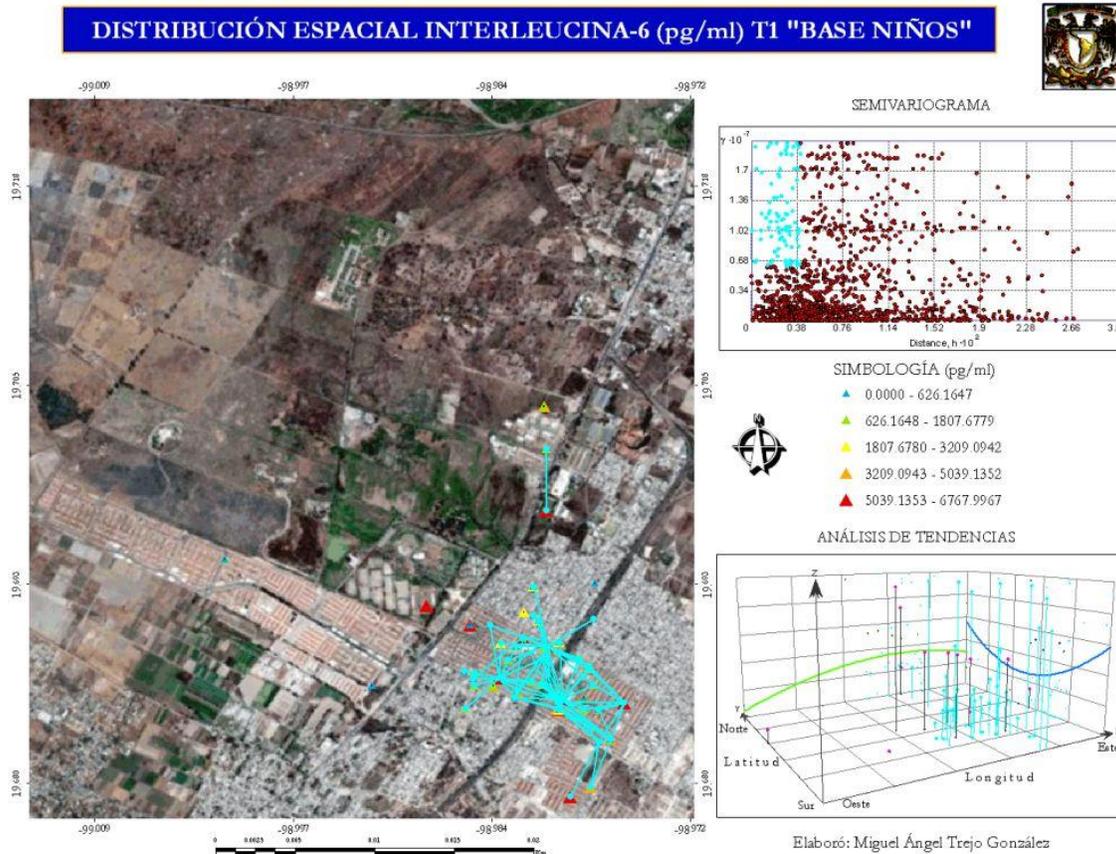
Figura. – 23. Diagrama de caja y bigote de IL-6 en niños.

El análisis de tendencias muestra que en niños los valores altos ocurren al Suroeste del sitio, también se muestra que de Oeste a Este existen un decremento y de Norte a Sur un incremento. El semivariograma de T0 indica una dependencia espacial extensa en el sitio lo que sugiere exposiciones elevadas (mapa 77).



Mapa. – 77. Distribución espacial de IL-6 en T0, base niños.

El análisis de tendencia para el mapa 78 muestra que los valores altos para T1 se concentraron al Noreste y primordialmente al Sureste del sitio. En el semivariograma se muestra que existe una amplia dispersión de la citocina y que su actividad está concentrada próxima a la autopista México-Pachuca, por lo que la dependencia espacial para el sitio pudiera ser atribuible a las condiciones de emisión de contaminantes atmosféricos que ahí ocurren.

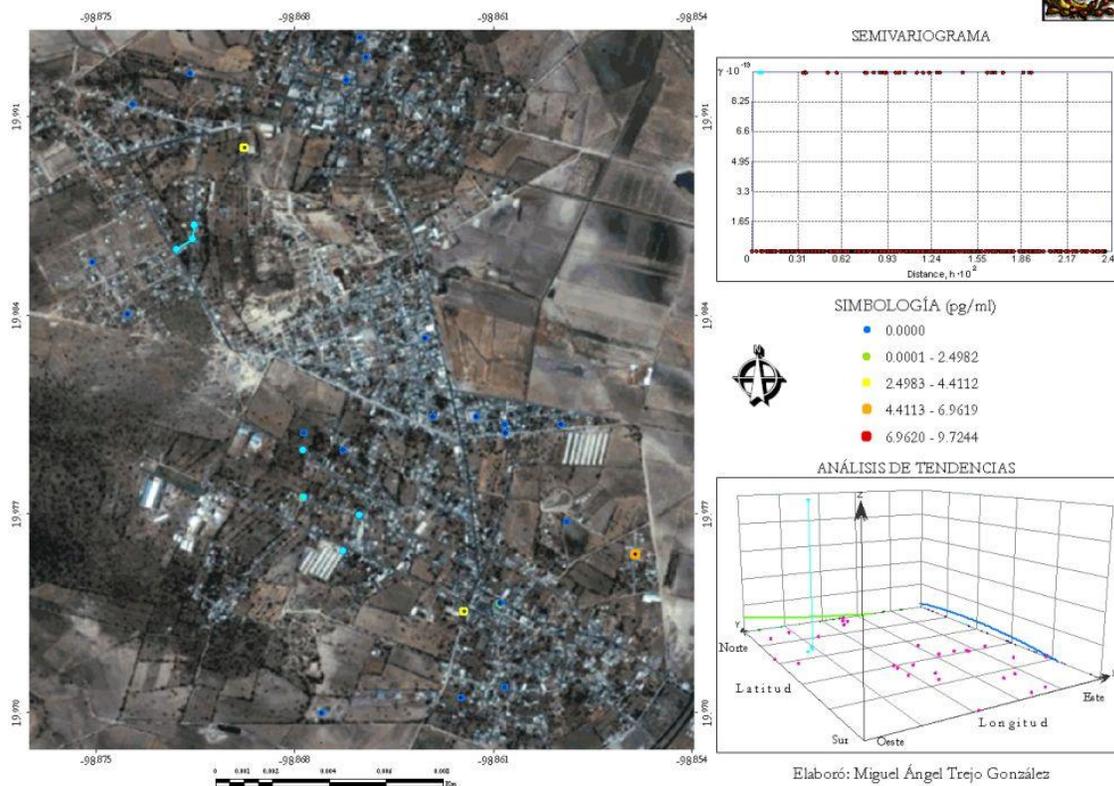


Mapa. – 78. Distribución espacial de IL-6 en T1, base niños.

Para T2 no se manifiestan variaciones de concentración respecto a la orientación geográfica, ni el semivariograma muestra dependencia espacial en el sitio (mapa 79).



DISTRIBUCIÓN ESPACIAL INTERLEUCINA-6 (pg/ml) T2 "BASE NIÑOS"



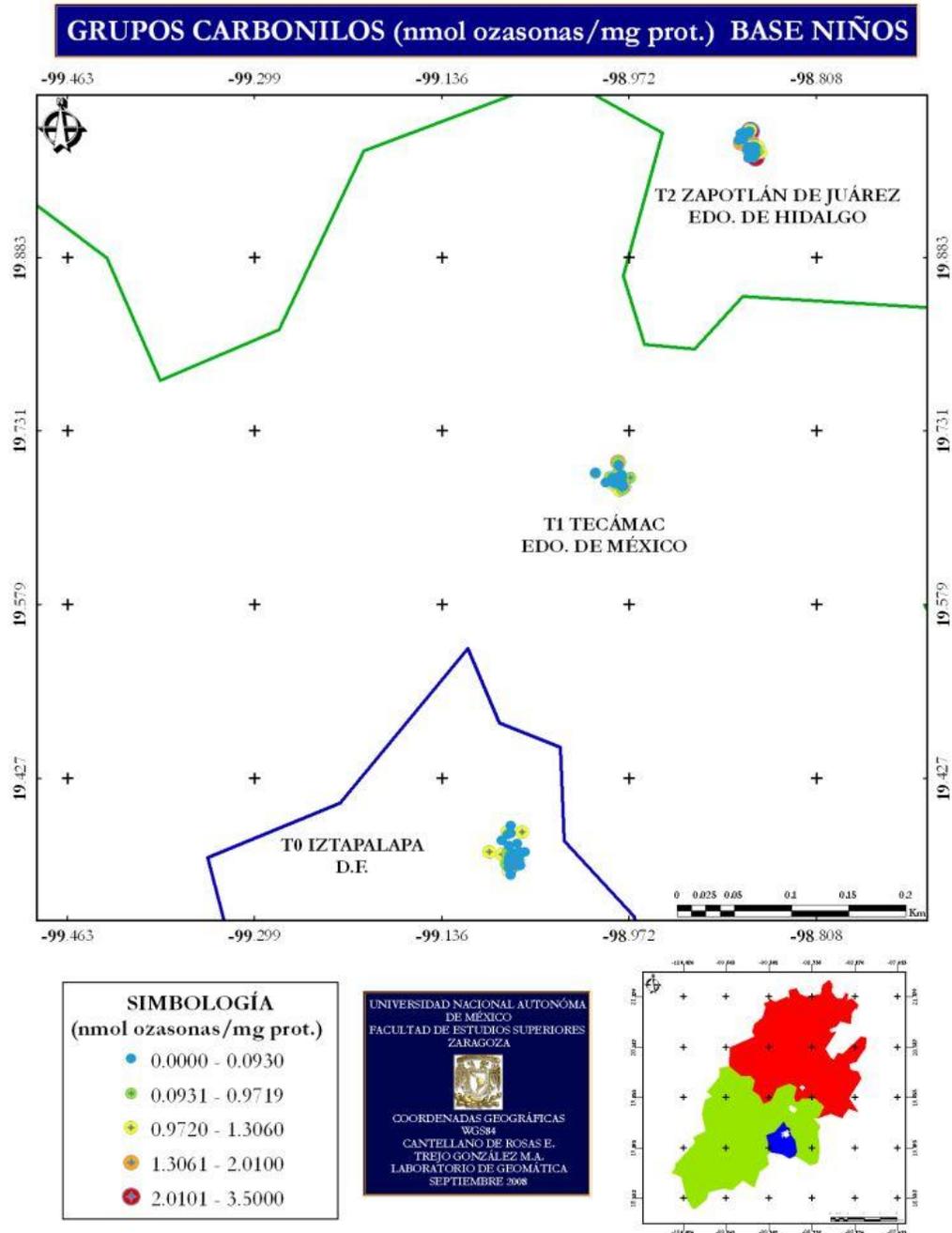
Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 79. Distribución espacial de IL-6 en T2, base niños.



Grupos Carbonilo.

Los grupos carbonilos son biomarcadores utilizados en el daño a proteínas, normalmente están presentes en bajos niveles en las preparaciones proteicas (≈ 1 nmol ozonas/mg prot.), sin embargo se observan elevaciones de 2 a 8 veces en condiciones de estrés oxidativo. En T2 se incluye el valor máximo (3.50), seguido de T1 con 2.01 y T0 con 1.65 nmol ozonas /mg prot. (tabla 18).



Mapa. – 80. Distribución espacial en la zona de estudio de grupos carbonilo en niños.

La distribución en T0 y T1 es similar para ambos sitios, aún cuando la mayor dispersión ocurre en T0. Se observa que la mediana en T0 y T1 se encuentra justo a la mitad de la distribución y que los datos altos y bajos están presentes de forma equitativa en ambos sitios (figura 24).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE GRUPOS CARBONILO (nmol ozasonas/mg prot.)
BASE NIÑOS

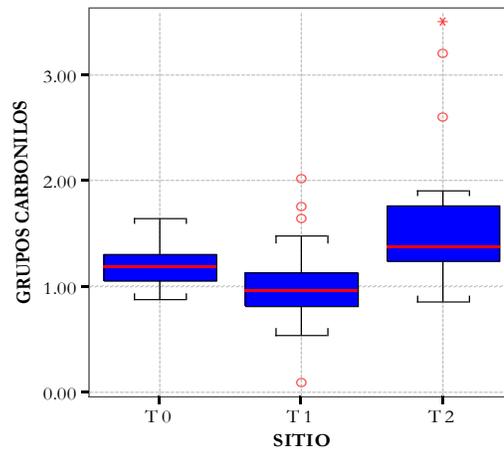
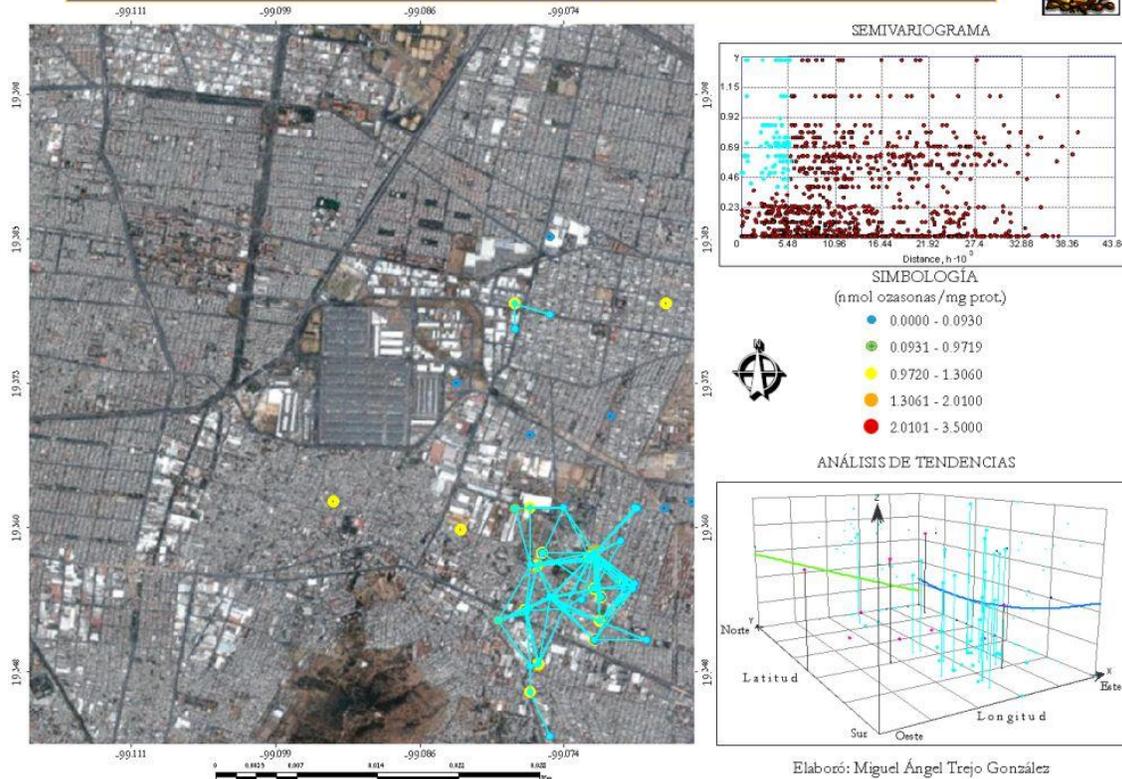


Figura. – 24. Diagrama de caja y bigote de grupos carbonilo en niños.

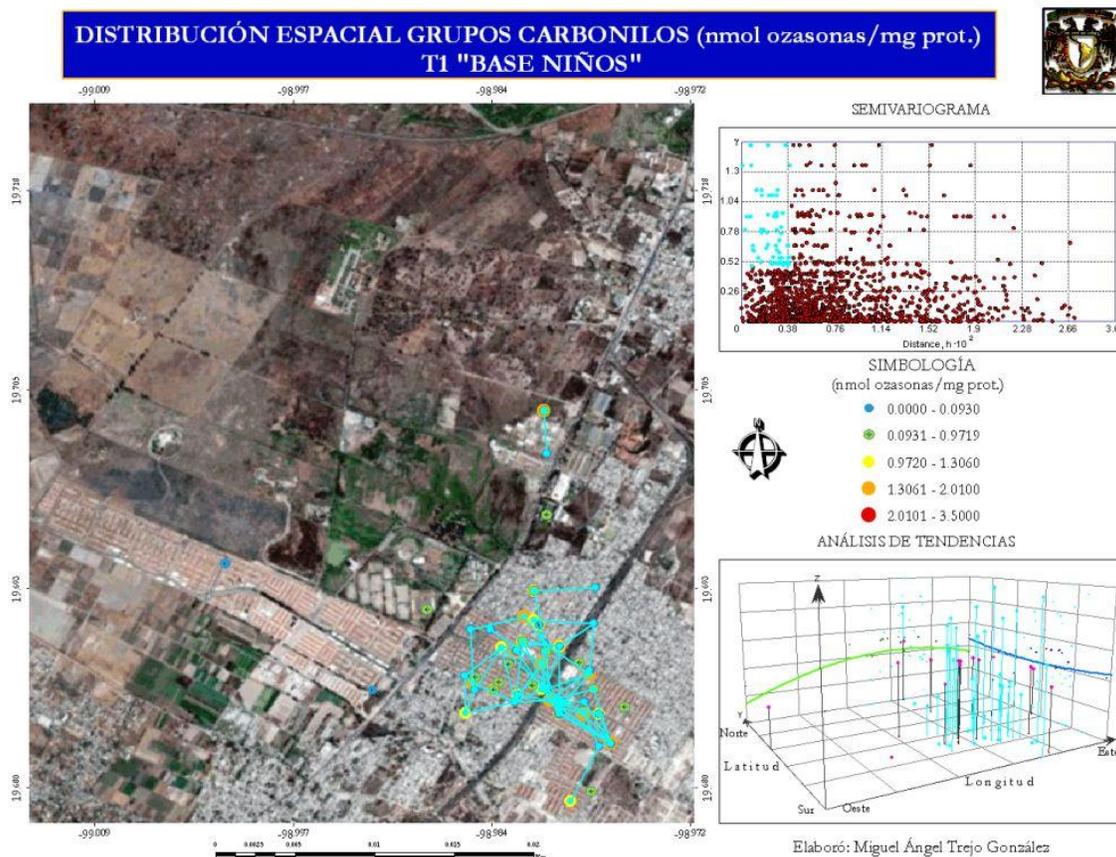
El mapa 81 muestra que las concentraciones elevadas se encuentran al Suroeste de T0. En dirección Oeste-Este se observa un marcado y exponencial decremento; mientras, que de Norte a Sur el patrón es inverso. La dependencia espacial para el indicador de salud está presente en el sitio.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL GRUPOS CARBONILOS (nmol ozasonas/mg prot.)
T0 "BASE NIÑOS"



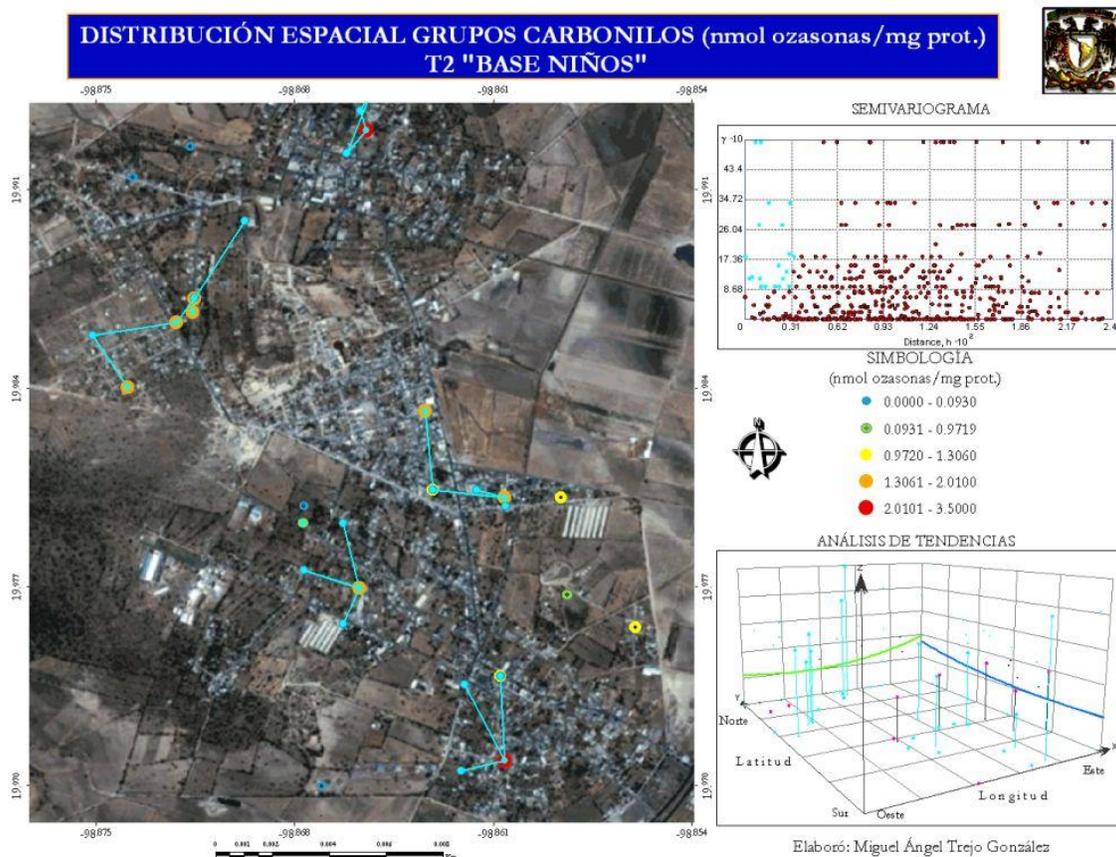
Mapa. – 81. Distribución espacial de grupos carbonilo en T0, base niños.

De Norte a Sur no existe dependencia con respecto a la orientación geográfica de T1, mientras que de Oeste a Este se observa un incremento, concentrándose así los valores al Noreste y Sureste del sitio (mapa 82).



Mapa. – 82. Distribución espacial de grupos carbonilo en T1, base niños.

Para T2 se observa que en el sitio existe una probable dependencia espacial aún cuando sus valores se encuentran distantes. Según el análisis de tendencias la mayor concentración se da al Noreste de T2 (mapa 83).



Mapa. – 83. Distribución espacial de grupos carbonilo en T2, base niños.

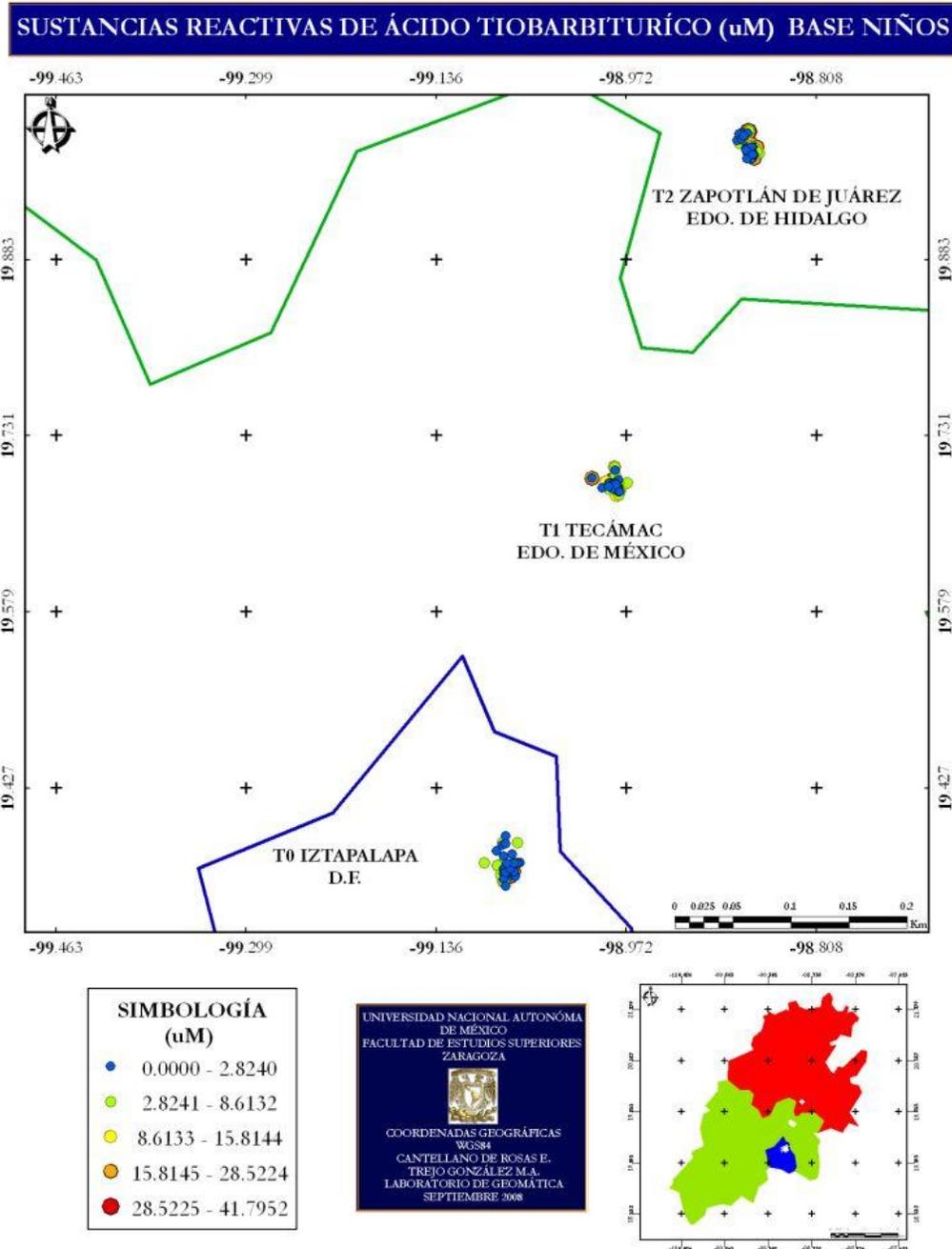
El análisis estadístico para grupos carbonilos dio como resultados que la media más elevada se encuentra en T2 (tabla 18) con 1.66 nmol ozonas/mg prot., seguido de T0 y T1. Así mismo el valor máximo que presenta la población se da en el mismo sitio con 3.5 nmol ozonas/mg prot.

Estudios revisados dan intervalos de exposición en la población adulta mexicana de 0.602 ± 0.215 hasta 0.641 ± 0.035 (Torres-Ramos 2006), y de 0.76 ± 0.021 nmol ozonas/mg prot., para población no mexicana (Rajesh *et al.* 2004), respectivamente. Lo anterior manifiesta que los marcadores de estrés oxidativo en niños están teniendo un aumento significativo para T2, T0 y T1 con valores de 1.66, 1.19 y 0.99 nmol ozonas/mg prot., correspondientemente. La exposición de los grupos carbonilos puede surgir como resultado del ataque directo de los radicales libres y de la interacción con metales de transición.



Sustancias Reactivas de Ácido Tiobarbitúrico (TBARS).

Para este marcador de daños a lípidos hubo un aumento de los marcadores moleculares de estrés oxidativo en T2 (13.00 μM), mismo sitio que presenta el nivel máximo de actividad con 41.80 μM (tabla 18).



Mapa. – 84. Distribución espacial en la zona de estudio de TBARS en niños.

En el diagrama se expresa que en T0 y T2 los datos se concentran hacia la parte inferior de la distribución por lo que los datos de mayor valor, con respecto a la mediana, se concentran de manera más dispersa en los sitios (figura 25).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE TBARS (μM)

BASE NIÑOS

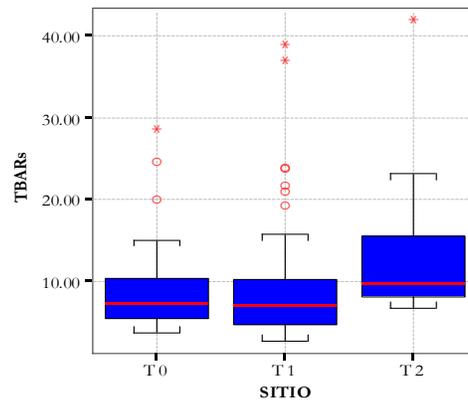
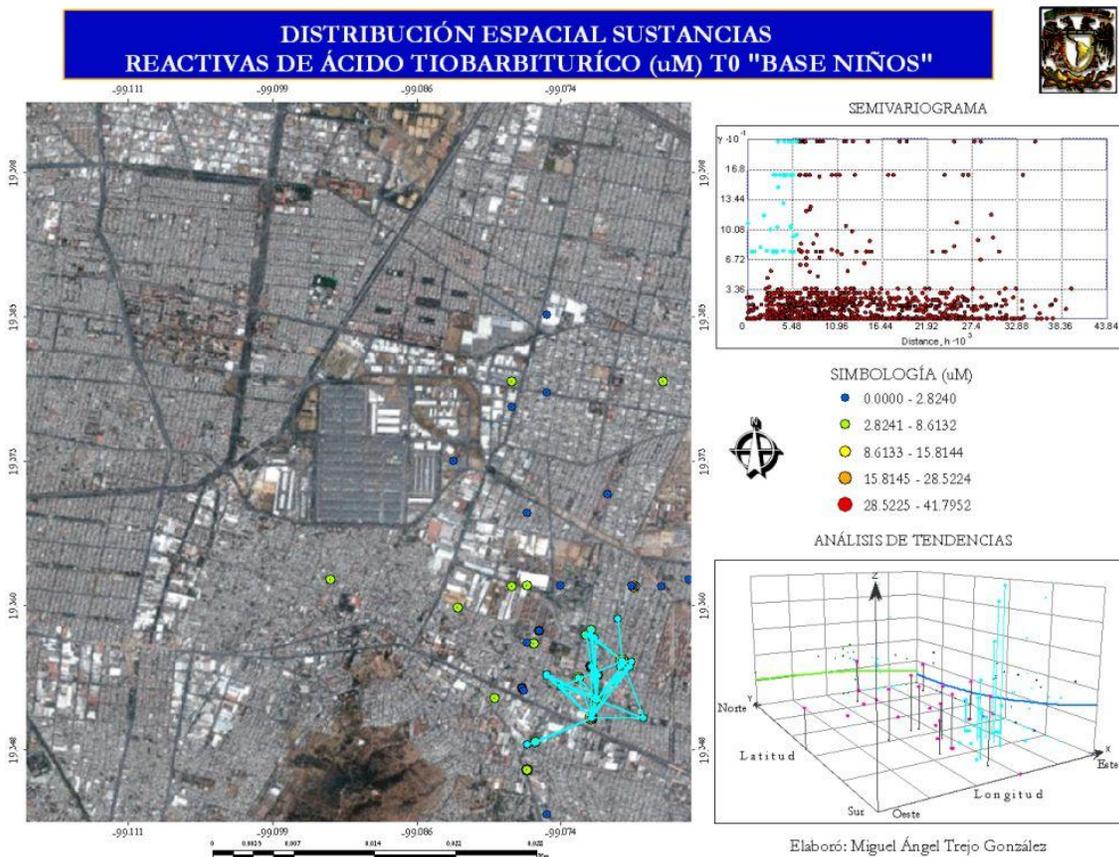


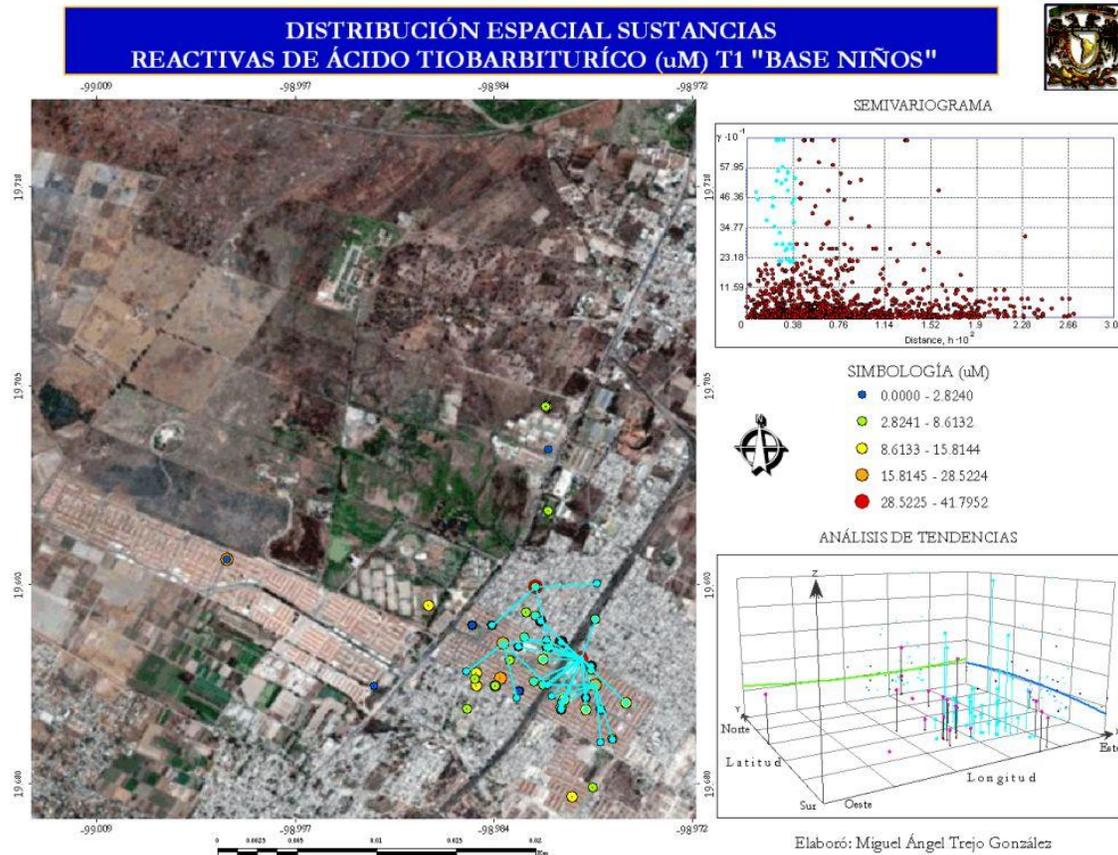
Figura. – 25. Diagrama de caja y bigote de TBARS en niños.

La variación de concentraciones, de acuerdo a la orientación geográfica, indica que de Oeste-Este ocurre un ligero incremento de concentración, al Norte-Sur se observa una disminución, así en T0 los valores altos se incluyen al Suroeste del sitio. En cuanto a la concentración del sitio, de acuerdo al semivariograma predominan los valores de 2.82 a 8.61 μM (mapa. 85)



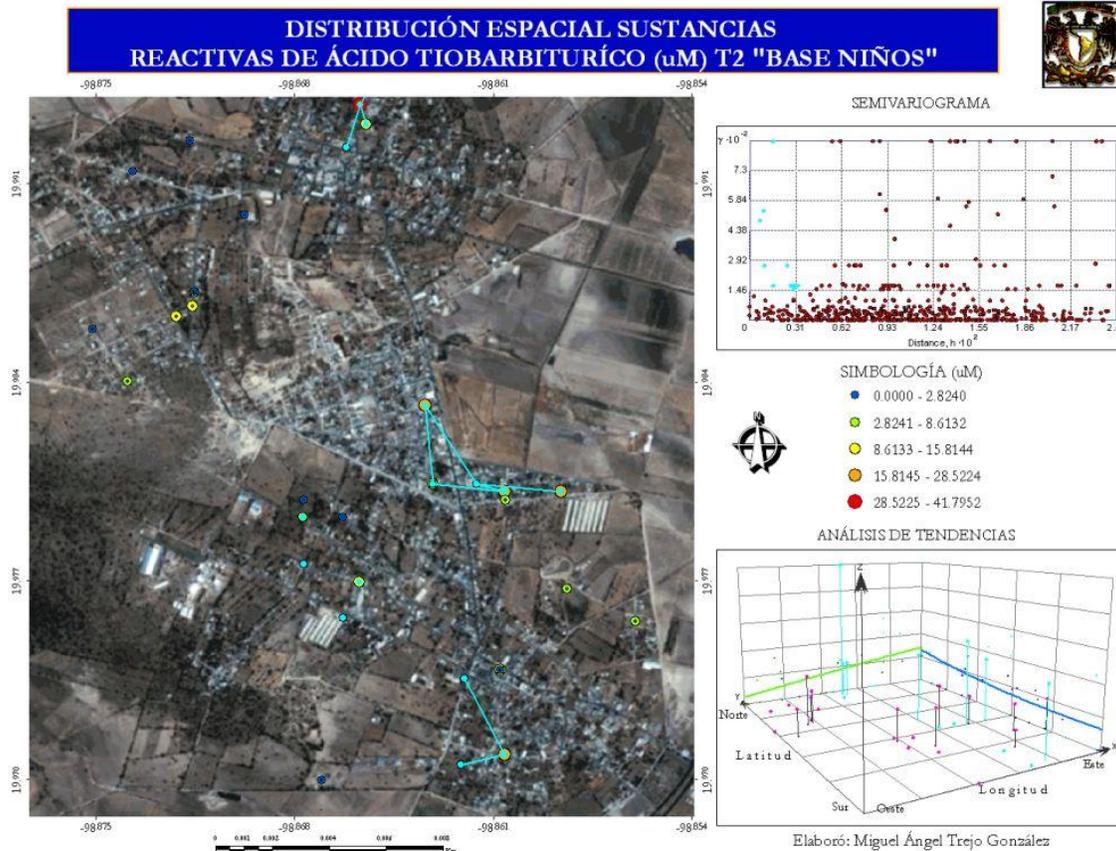
Mapa. – 85. Distribución espacial de TBARS en T0, base niños.

Para T1 el análisis de tendencias no mostró cambios significativos en cuanto a la orientación geográfica. El semivariograma muestra que en el sitio está presente una variedad de valores encontrando que el más alto es de 38.83 μM (mapa 86).



Mapa. – 86. Distribución espacial de TBARs en T1, base niños.

En T2 la variación señala que Oeste a Este ocurre un incremento exponencial en los niveles de concentración, caso contrario de Norte a Sur donde se observa disminución, así los valores altos se dan Noreste del sitio. En el semivariograma se observa que para en T2 no ocurre una significativa dependencia espacial en el sitio (mapa 87).

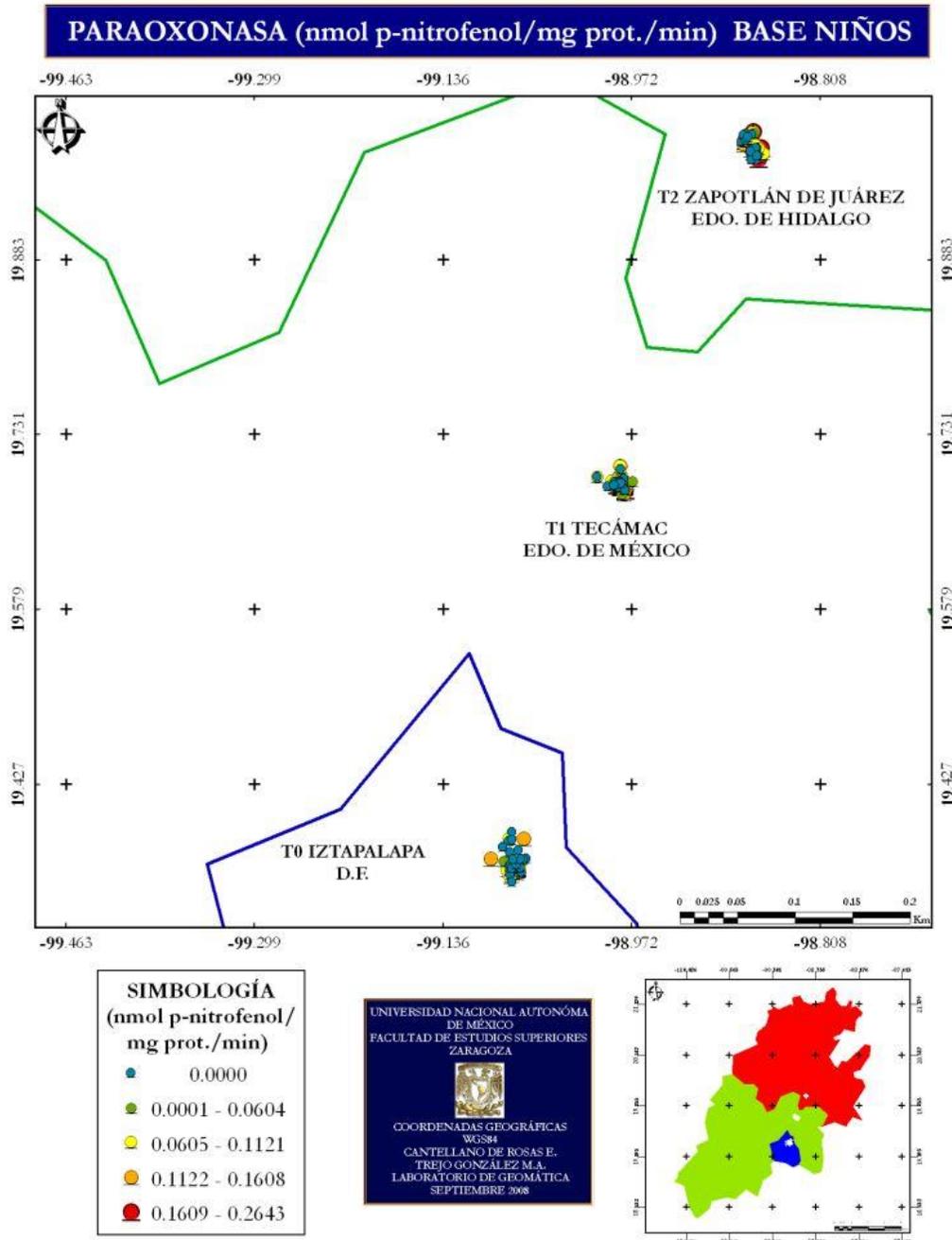


Mapa. – 87. Distribución espacial de TBARs en T2, base niños.

Los resultados para niños indican que la media más alta se incluyó en T2 con 13 uM, seguida de T1 y T0, en cuanto los valores máximos siguió con la misma tendencia. En un estudio realizado por Torres-Ramos *et al.* (2006) se reportan datos de 7.403 ± 0.326 hasta 10.34 ± 1.283 uM para una población mexicana de 31 a 60 años, por su parte en Witko-Sarsat *et al.* (1996) publicó resultados de 3.61 ± 0.11 uM para poblaciones no mexicanas. Así, los resultados de este trabajo indican que T1 y T0 se encuentran dentro del rango teniendo un incremento más alto al reportados para en T2. Investigaciones recientes en pacientes con hipertensión evidencian una situación de estrés oxidativo donde existe un incremento sanguíneo de TBARs, como indicador de peroxidación lipídica y reducción de las actividades antioxidantes del glutatión peroxidasa (Rodríguez *et al.* 2003).

Paraoxonasa (PON1).

Al igual que en las TBARs la actividad de paraoxonasa presentó un aumento en su actividad en T2 (0.12 nmol p-nitrofenol/mg prot./min), seguida de T1 y T0; sin embargo el valor máximo en cuanto a su actividad está presente en T1 (0.26 nmol p-nitrofenol/mg prot./min) (tabla, 18); esta enzima que impide el proceso de lipoperoxidación tiene mayor actividad en T2 y T1 por lo que posiblemente sea activada como una defensa antioxidante. En el mapa 88 se observa de manera precisa que en T2 se encuentra el mayor intervalo de actividad en paraoxonasa (0.001 a 0.26 nmol p-nitrofenol/mg. prot./min)



Mapa. – 88. Distribución espacial en la zona de estudio de paraoxonasa en niños.

La mayor dispersión de los datos se encuentra presenta en T2, particularmente la distribución tiende a concentrarse en la parte inferior. Caso contrario es el de T1 donde los datos se concentran en la parte superior de la distribución lo que refleja que los datos de menor valor están más dispersos en el sitio (figura 26).

DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTE PARAOXONASA (nmol p-nitrofenol/mg prot./min)
BASE NIÑOS

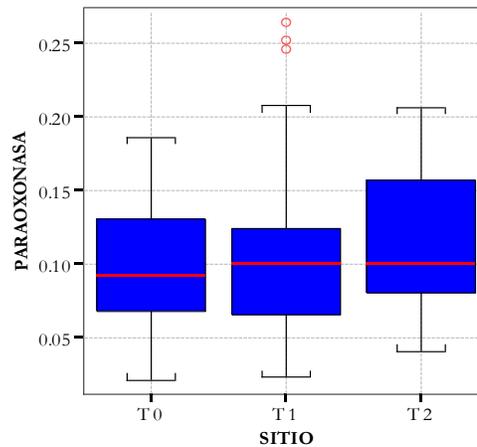
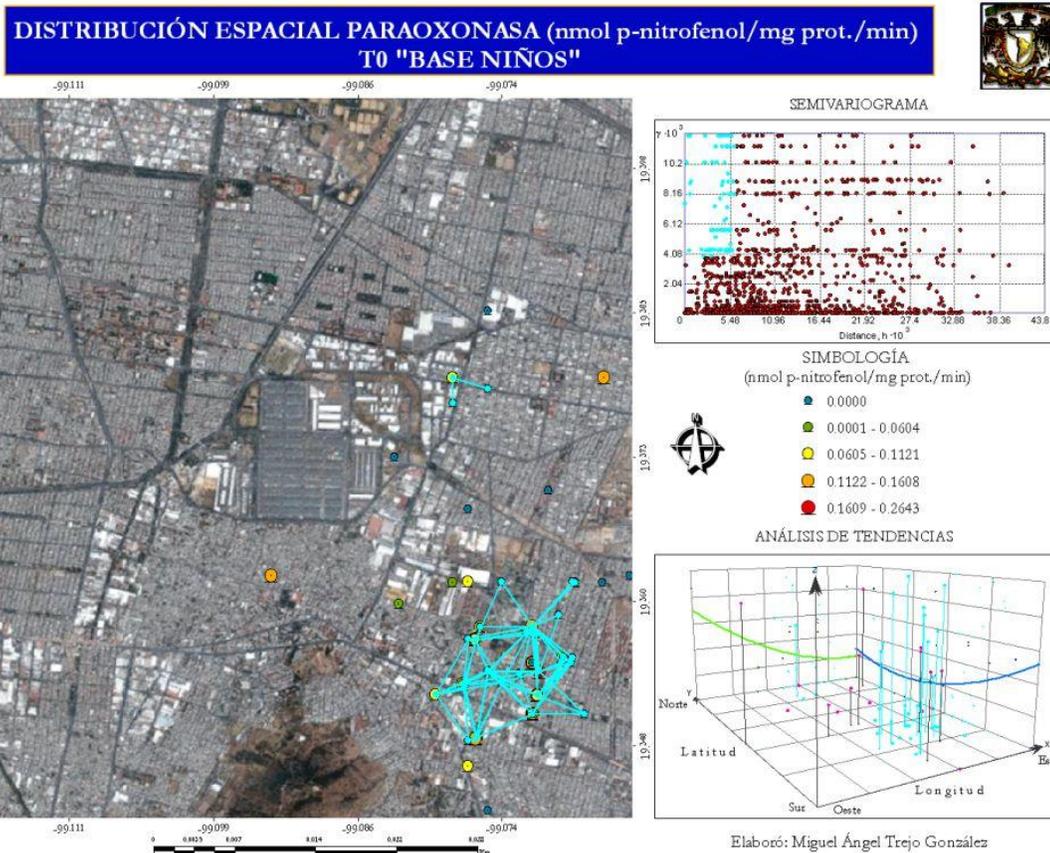


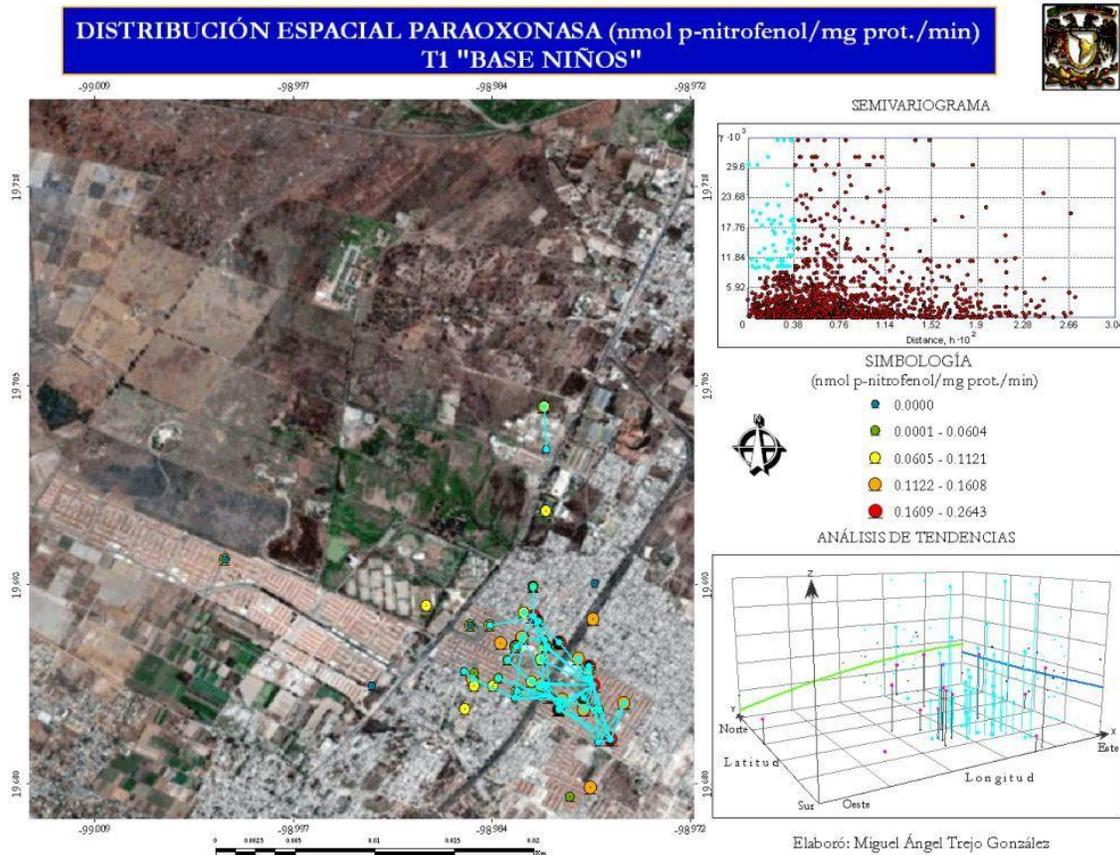
Figura. – 26. Diagrama de caja y bigote de paraoxonasa en niños.

En el mapa 89 se observa que al Suroeste y al Noreste de T0 se incluyen los valores más bajos para paraoxonasa.



Mapa. – 89. Distribución espacial de paraoxonasa en T0, base niños.

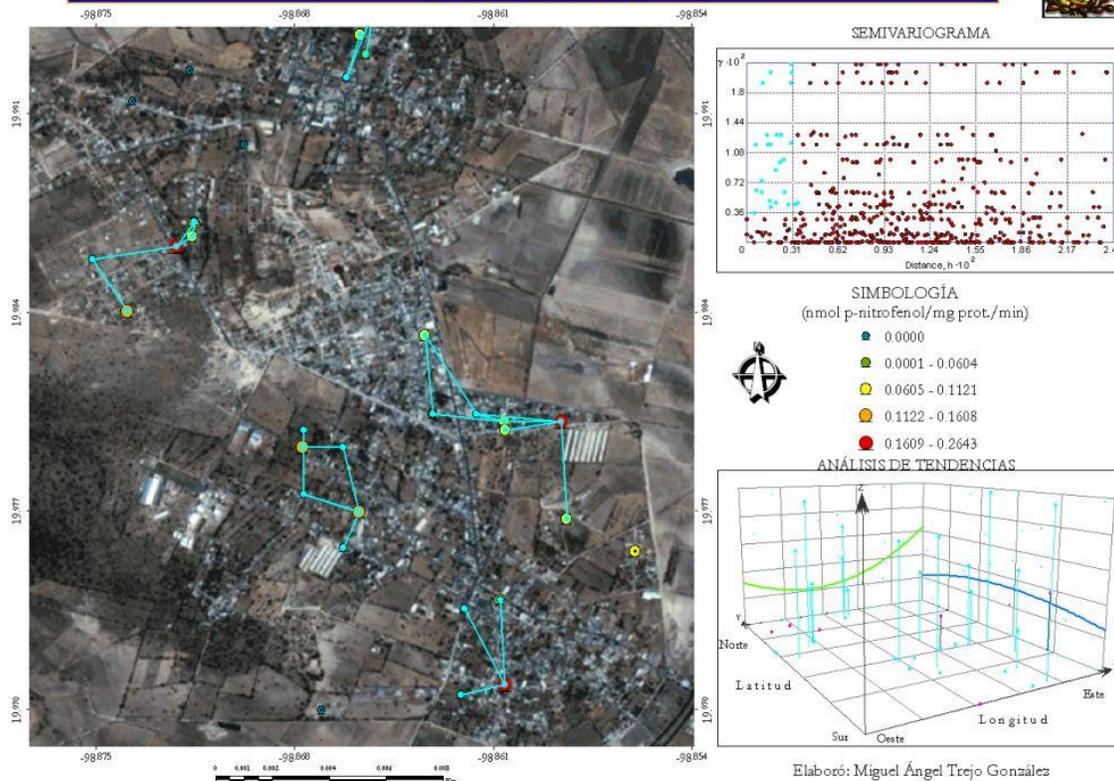
En análisis de tendencias para T1 señala que de Oeste a Este se da un incremento significativo, en dirección Norte-Sur no se observa ningún cambio, mostrando así que los valores más altos se dan en la parte Este del sitio (mapa 90).



Mapa. – 90. Distribución espacial de paraoxonasa en T1, base niños.

Para T2 el análisis de tendencias señala que de Oeste a Este ocurre un decremento-incremento en la concentración para paraoxonasa. Presentándose así los valores más altos en la región Este y Oeste del sitio (mapa 91).

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL PARAOXONASA (nmol p-nitrofenol/mg prot./min)
T2 "BASE NIÑOS"**



Mapa. – 91. Distribución espacial de paraoxonasa en T2, base niños.

La actividad de paraoxonasa presenta una media de 0.12 nmol p-nitrofenol/mg prot. /min para T2, seguida de T0 y T1 con 0.10 nmol p-nitrofenol/mg prot. /min, pero es en T1 donde se reportó el valor máximo con 0.26 nmol p-nitrofenol/mg prot. /min. Los resultados anteriores denotan una actividad elevada para los tres sitios ya que en un estudio realizado por Torres-Ramos *et al.* (2006) se publicaron valores desde 0.072 ± 0.007 hasta 0.119 ± 0.004 nmol p-nitrofenol/mg prot. /min para una población adulta de entre 31 a 60 años.

Las condiciones de salud de niños expresan efectos relacionados con la exposición a contaminantes atmosféricos, agregando expresiones de alguna carencia nutricional, condición que puede favorecer los daños asociados a la salud. El estrés oxidativo causado por la producción de especies reactivas de oxígeno potencialmente tóxicas es un generador de altas concentraciones de indicadores de salud en poblaciones vulnerables como pudieran ser los de niños en T2. Los daños a la salud también se asocian con enfermedades cardiovasculares como hipertensión, y en este sentido se encuentran evidencias sólidas de que las especies reactivas derivadas del oxígeno juegan un papel fisiopatológico ponderante en su desarrollo (Oré *et al.* 2007). El análisis de los indicadores de salud para padres y niños postula que las modificaciones al entorno de la población de la ZMVM serían partícipes de las variaciones con enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, por lo que las condiciones inherentes a los sitios como bajos niveles nutricionales se ven agravados por la exposición a contaminantes atmosféricos, lo que determinara cambios sustanciales en la forma de reacción del sistema inmune.

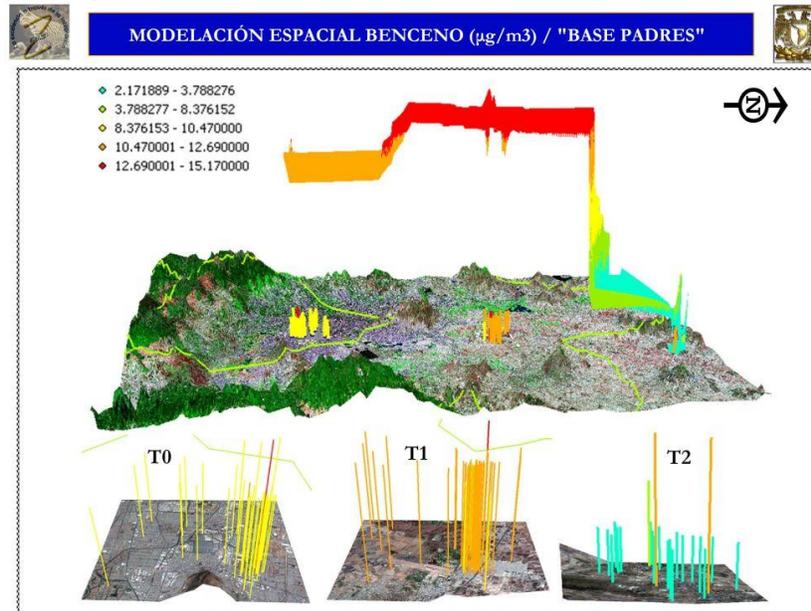
VI.2. INTERPOLACIÓN Y VISUALIZACIÓN ESPACIAL

VI.2.1 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs):

→ Benceno.

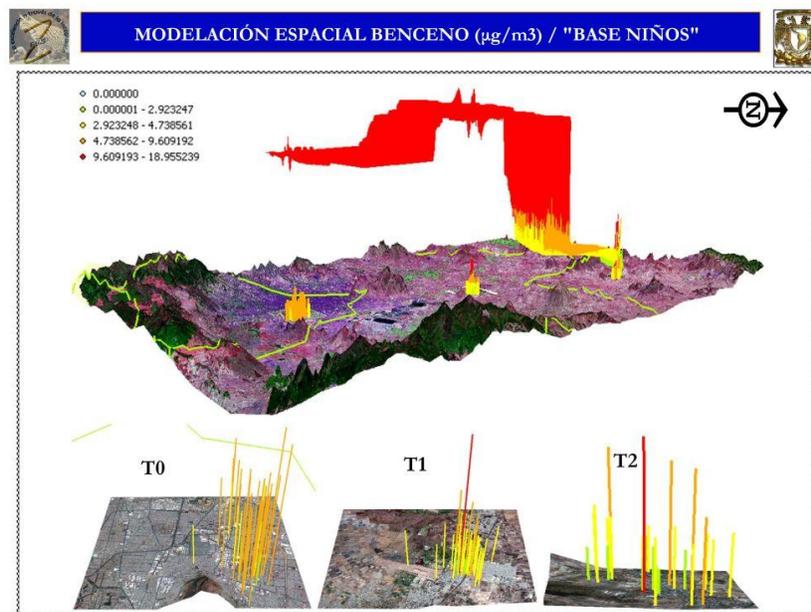
En el mapa 92 se muestra la interpolación espacial, resultando que el área de mayor concentración ocurre en T1, mientras que valores intermedios se localiza en T0 y los más bajos en T2.



Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 92. Modelación espacial de benceno, base padres.

Para niños, el patrón anterior es similar ya que la mayor exposición ocurre en T1, encontrando una zona intermedia en T0, y una disminución de exposición hacia el norte de la zona de estudio (mapa 93).



Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 93. Modelación espacial de benceno, base niños.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

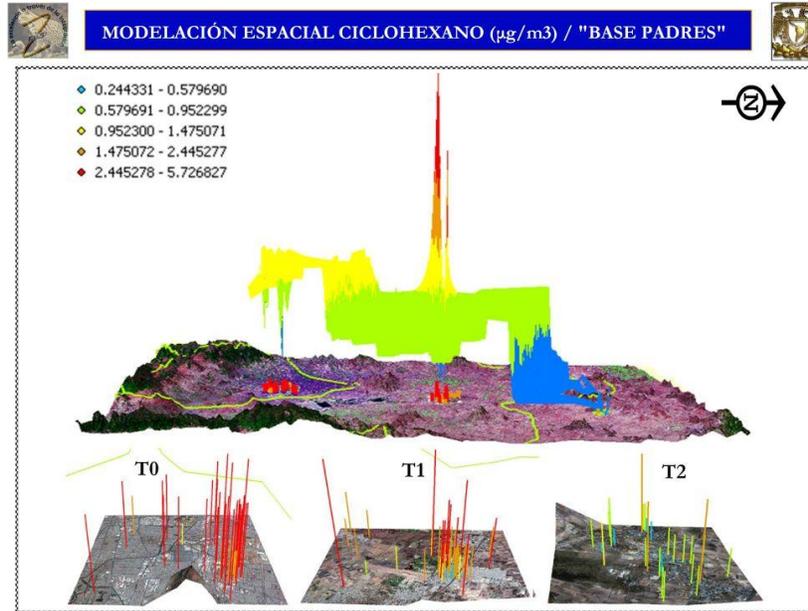
DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

→ Ciclohexano.

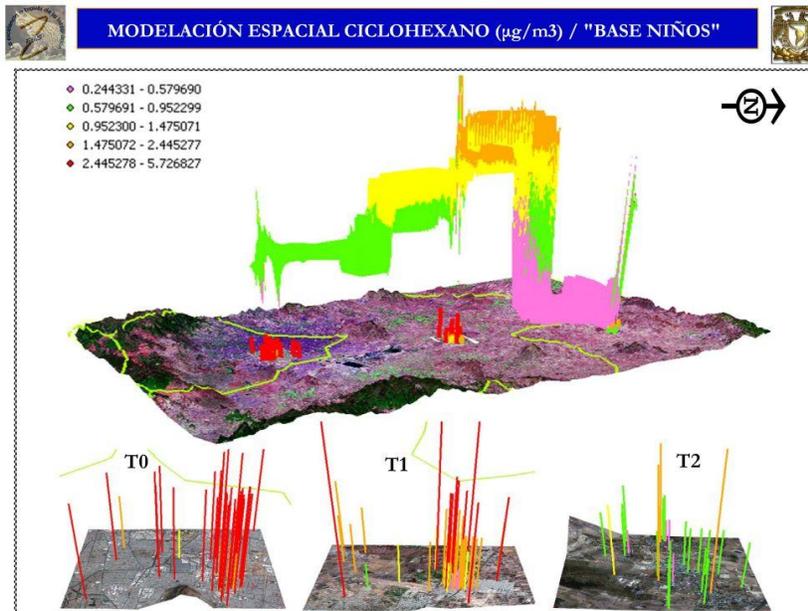
Por otro lado, ciclohexano muestra un patrón de distribución heterogéneo, sobre todo en T1 donde se presentan valores extremos de concentración. Los valores más bajos se incluyen principalmente en T2 (mapa 95).



Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 94. Modelación espacial de ciclohexano, base padres.

La interpolación espacial de ciclohexano para niños mostró un patrón similar a padres. En la imagen de T0 se observa que abundan valores altos en el sitio pero al realizar el cálculo del kriging los valores máximos de T1 son ponderados en la interpolación (mapa 95).

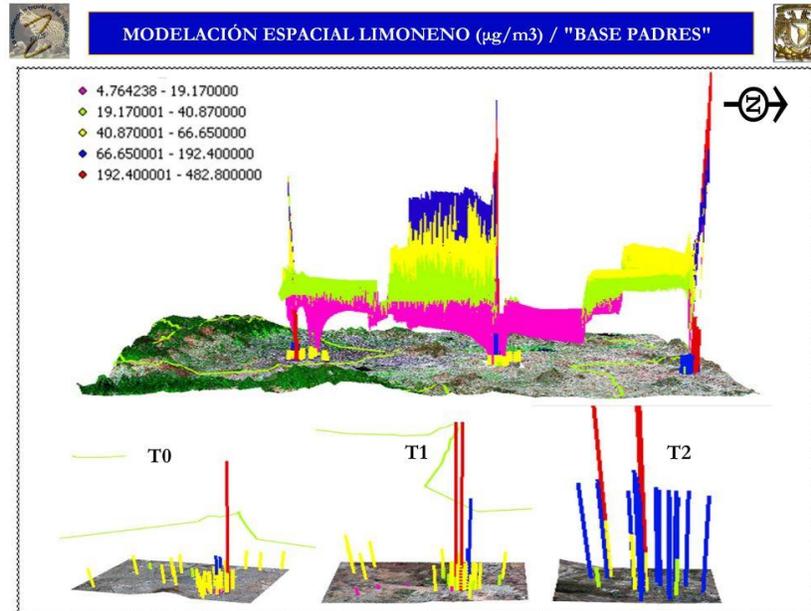


Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 95. Modelación espacial de ciclohexano, base niños.

→ Limoneno.

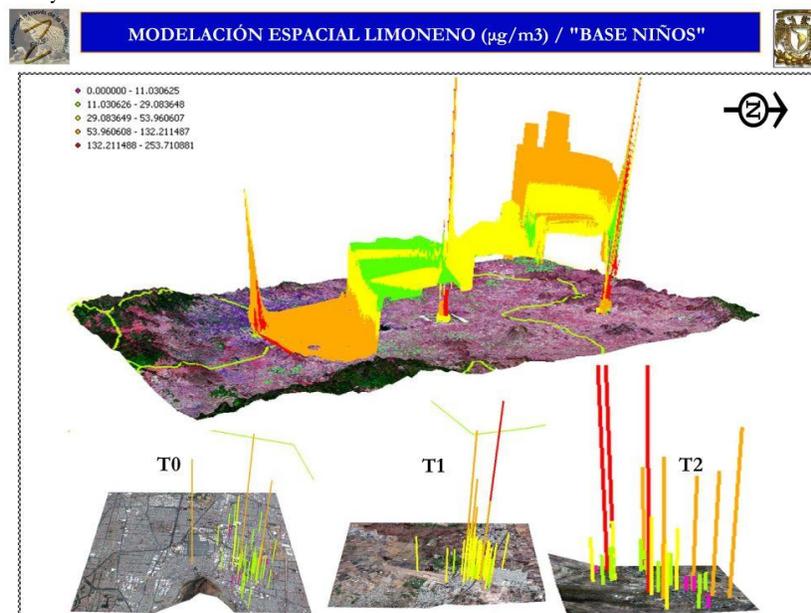
Para limoneno la interpolación es heterogénea en los tres sitios, no obstante la mayor exposición ocurre en un área de superficie de T2, en la imagen ampliada del sitio se observan las barras de concentración que generan el cálculo, en ellas predominan datos en intervalos de 66.65 a 428.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mapa 96).



Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 96. Modelación espacial de limoneno, base padres.

El patrón descrito anteriormente prevalece en los niños debido a que T2 sigue ocupando la mayor área donde se agrupan los valores más altos de limoneno (mapa 97). La tendencia espacial aumenta en el sentido T0, T1 y T2.

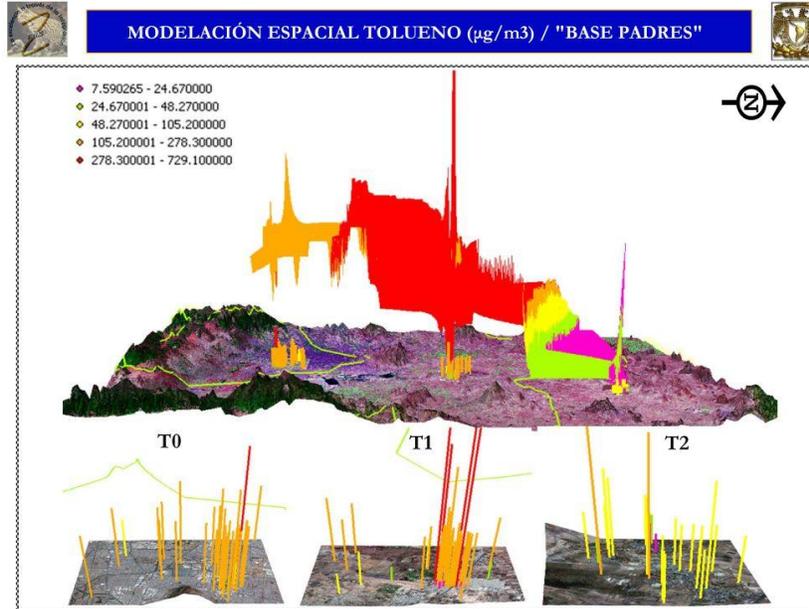


Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 97. Modelación espacial de limoneno, base niños.

→ Tolueno.

La distribución de tolueno en padres presenta mayor área de exposición en T1, seguido de T0 y con niveles bajos T2. En las figuras a detalle esté patrón espacial se ve claramente (mapa 98). La interpolación espacial de niños mostró un patrón diferente a lo expuesto en padres. Los valores extremos y elevados se incluyeron para T2 seguido de T0.

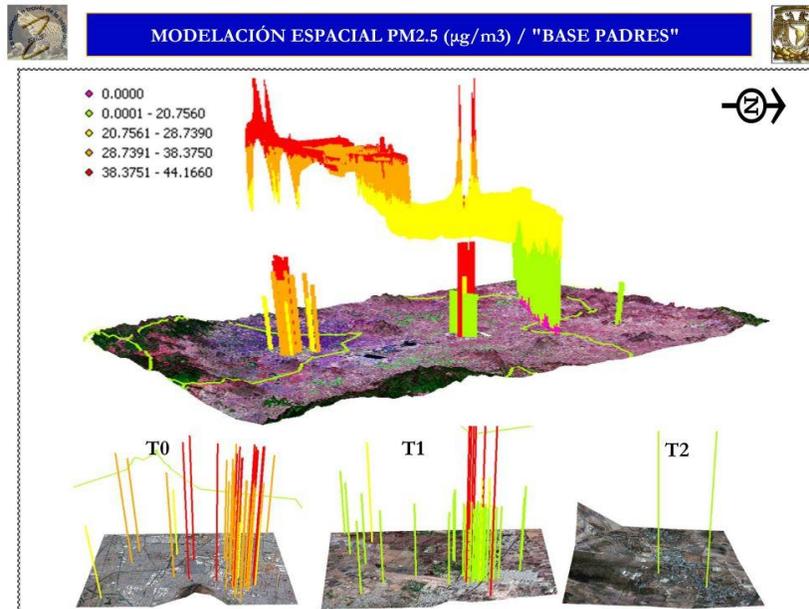


Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 98. Modelación espacial de tolueno, base padres.

Material Particulado ($PM_{2.5}$).

La interpolación espacial para padres presentó el área de mayor concentración en la población de T0. La tendencia de distribución decrece conforme se aumenta la distancia al sitio urbano pero también se observan valores puntuales en T1 que representan exposición prolongada al MP (mapa 99). En niños prevaleció la tendencia.

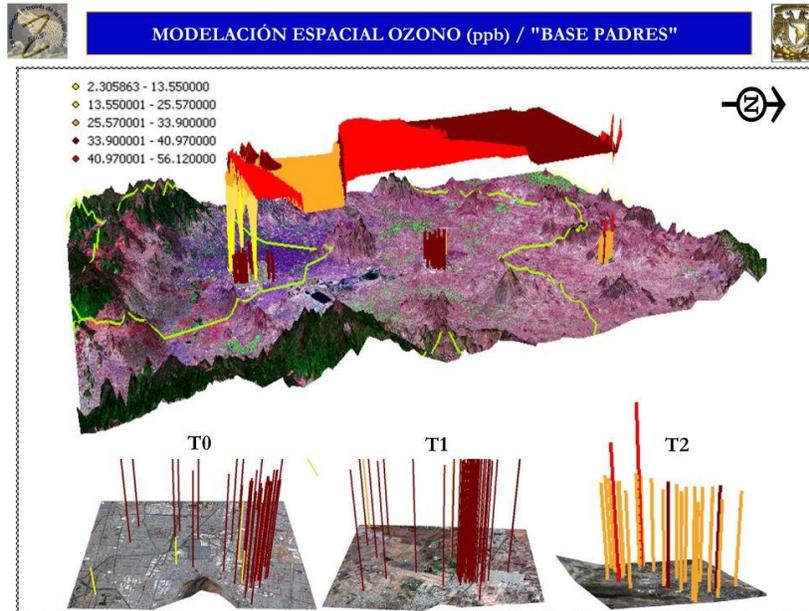


Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 99. Modelación espacial de $PM_{2.5}$, base padres.

Ozono (O_3).

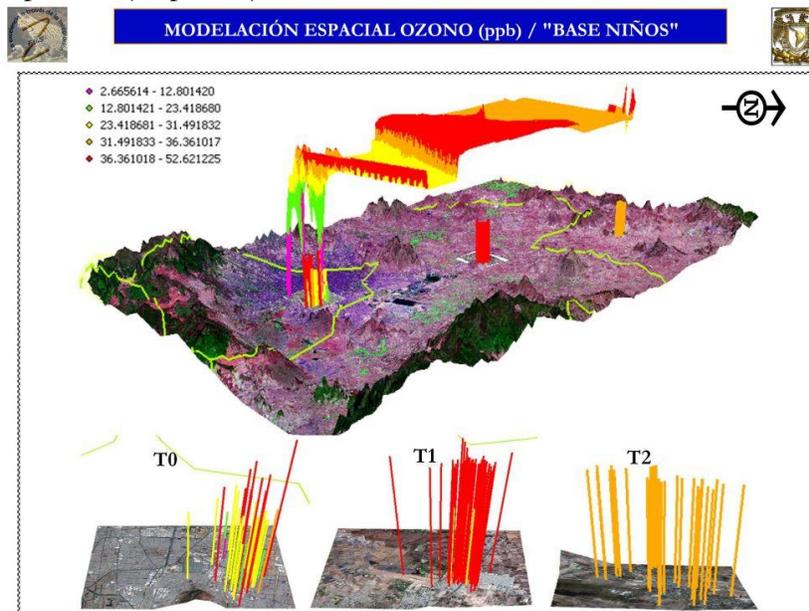
En padres la interpolación espacial muestra que los valores de exposición no tienen una variación amplia, en T1 se da la mayor concentración a O_3 de la ZMVM, en T2 se observa que aún cuando generalmente se concentran datos en intervalos medios (25.57 a $33.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$) también existen datos extremos de exposición (mapa 100). Las áreas con mayor exposición se incluyen en T1 seguido de T2, y en T0 se alternan de medias a bajas.



Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 100. Modelación espacial de ozono, base padre.

Al igual que en la interpolación de padres, para los niños la superficie de T1 concentra el área de mayor exposición O_3 , otra similitud tiene que se presenta es que en T0 se da la mayor heterogeneidad de valores en su superficie (mapa 101).



Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 101. Modelación espacial de ozono, base niños.

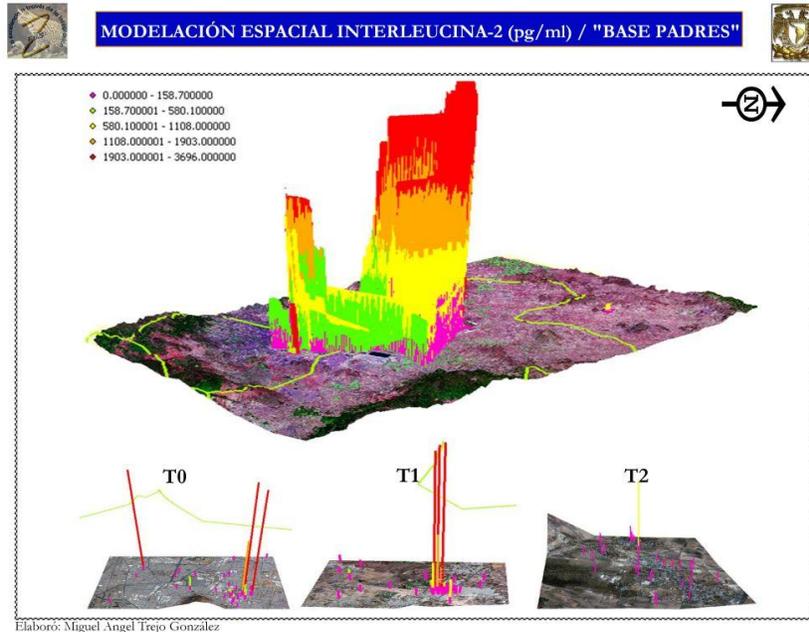


Los resultados indicaron que para benceno en padres T1 ocurrió la mayor área de exposición con una fluctuación muy marcada respecto a T0 y sobre todo T2, en niños el patrón espacial tuvo similitud con respecto a padres; en ciclohexano padres T1 mostró un área con picos máximos de exposición, alternando valores de medios a bajos para T0 y T2 respectivamente, en niños el área de mayor exposición parte de T1 y es el mismo patrón que para padres pero con una gran fluctuación entre sitios; para limoneno padres T2 fue donde se concentraron los valores máximos sin embargo el área de mayor influencia ocurrió en T1, T0 presentó los valores más bajos de acuerdo al cálculo de la interpolación, en cuanto a la fluctuación no es tan marcada de sitio a sitio, en niños el patrón espacial tiende a decrecer de T2, T1 y T0 y la mayor ocurrencia de exposición se dio de Norte a Sur presentando además una fluctuación muy evidente para este compuesto; el tolueno en padres tuvo una distribución similar a benceno sin embargo la interpolación espacial de niños mostró un patrón diferente ya que el área de mayor exposición fue en T2 seguido de T0, mientras que en la superficie de T1 fue donde se presentó menor exposición a tolueno; para $PM_{2.5}$ en padres y niños la modelación mostró una tendencia a aumentar de Sur a Norte encontrando que la mayor área de exposición fue de T0 a T1; finalmente en O_3 las fluctuaciones tuvieron un patrón similar en padres y niños, la mayor presencia ocurrió en T1, seguida de T2, con menor fluctuación estuvo T0 que sin embargo incluye valores elevados que también la hacen un área con exposición muy marcada.

VI.2.2. INDICADORES DE SALUD EN PADRES

Interleucina-2 (IL-2).

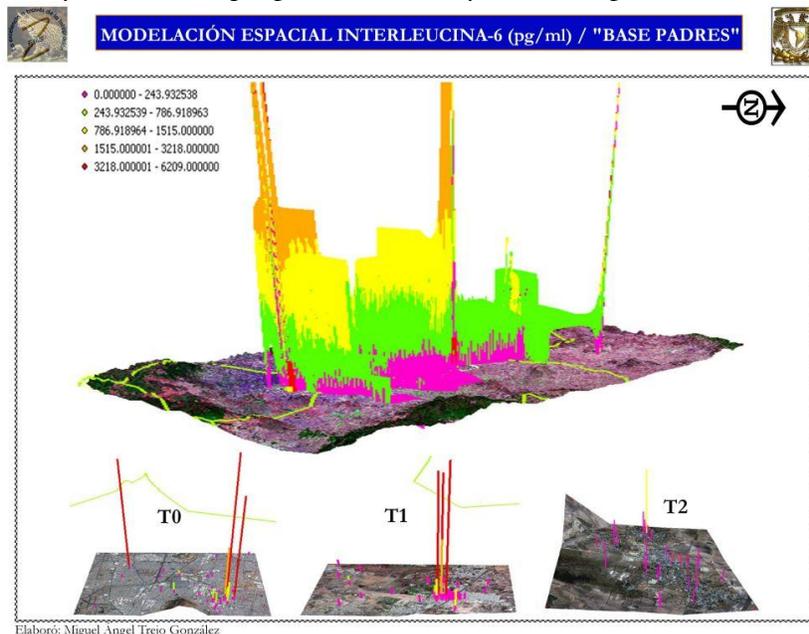
El mapa 102 ratifica que la superficie de mayor exposición fue en T1, seguido de T0. Para T2 se observa que el cálculo no generó una interpolación que sea visible y por lo tanto determinó que la población adulta del sitio no concentra valores altos de exposición. Para niños fue similar la mayor área de exposición se incluyó en T1.



Mapa. – 102. Modelación espacial IL-2, base padres.

Interleucina-6 (IL-6).

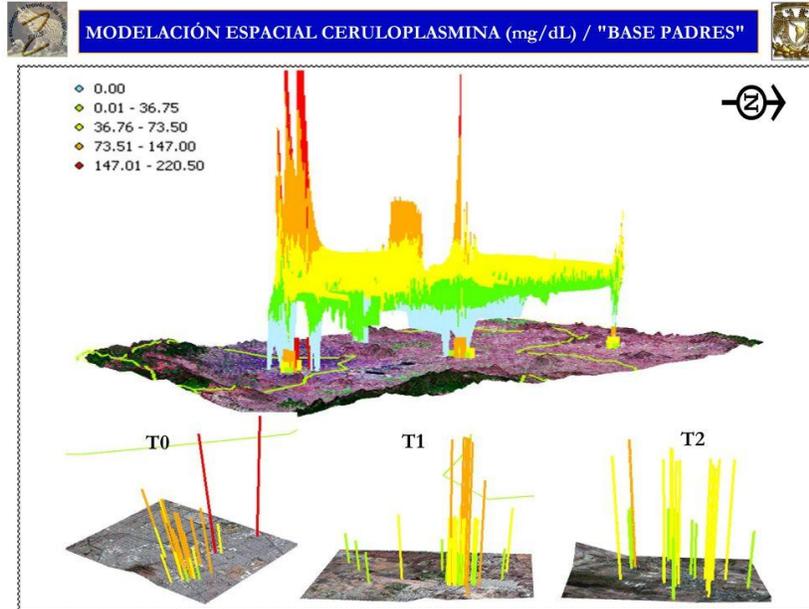
En la interpolación espacial del mapa 103 se observa que las fluctuaciones de exposición fueron variadas, los sitios T0 y T1 son los que presentan la mayor área de presencia de la citocina.



Mapa. – 103. Modelación espacial IL-6, base padres.

Ceruloplasmina.

Las fluctuaciones para ceruloplasmina muestran un patrón a decrecer de Sur a Norte, observando que en T0 es el área donde se da la mayor actividad, es en T0 donde se encuentran la superficie con exposición más baja de la zona (mapa 104).

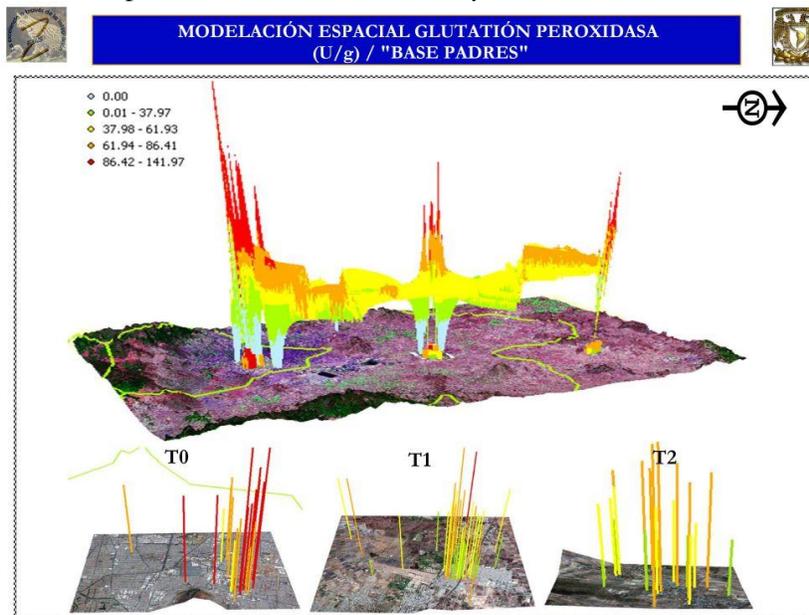


Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 104. Modelación espacial de ceruloplasmina, base padres.

Glutación peroxidasa (GPx).

En el mapa 105 se muestra que la tendencia que presentó ceruloplasmina se repite. De manera descendente las áreas de exposición ocurren en T2, T1 y T0.



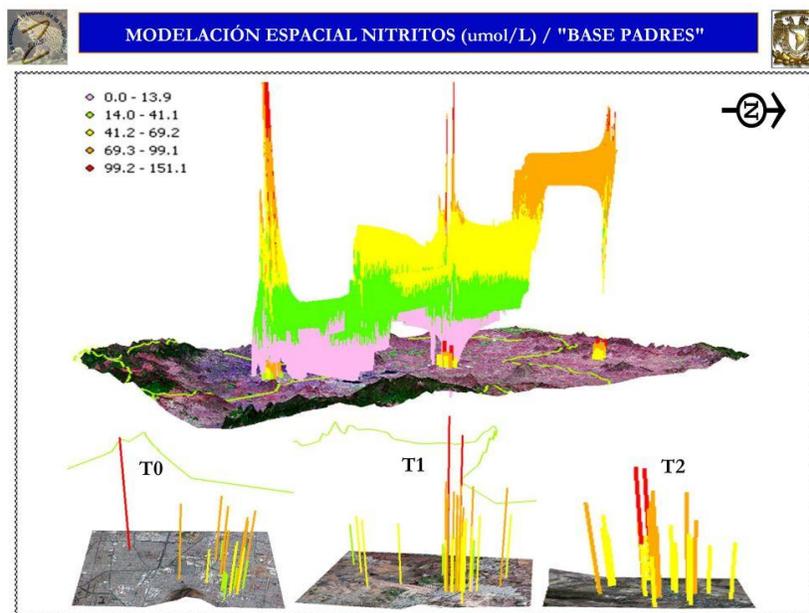
Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 105. Modelación espacial de glutación peroxidasa, base padres.



Nitritos (NO_2^-).

La exposición para este indicador de salud muestra el predominio en la superficie de los tres sitios de concentran de medias a altas (14.00 a $41.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Particularmente es T2 el sitio donde la ocurrencia de NO_2^- es más alta (mapa 106).



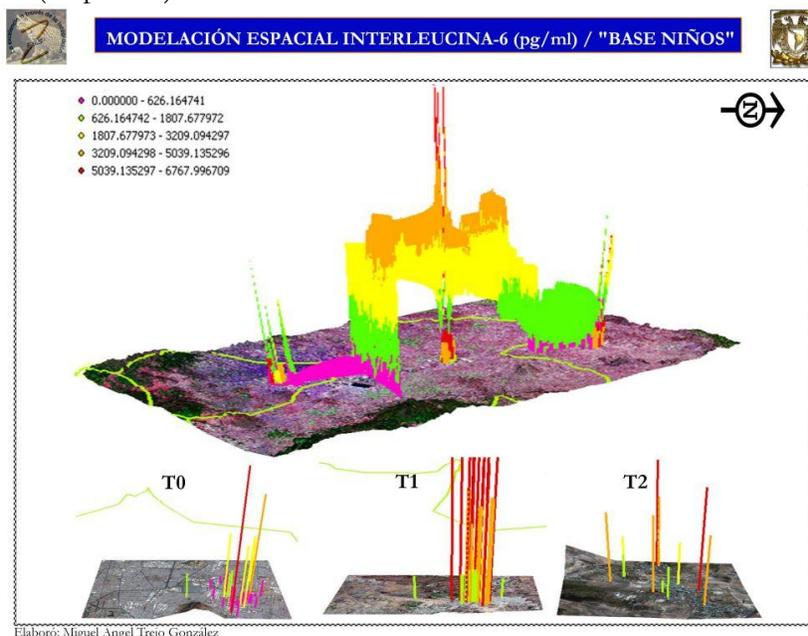
Elaboró: Miguel Ángel Trejo González

Mapa. – 106. Modelación espacial de nitritos, base padres.

VI.2.3. INDICADORES DE SALUD EN NIÑOS

Interleucina-6 (IL-6).

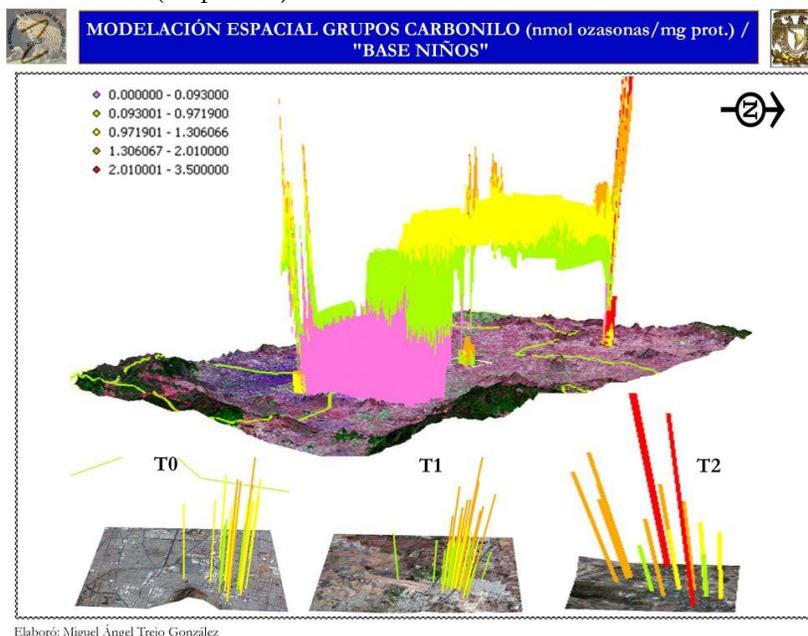
La interpolación espacial de IL-6 la mayor área de exposición a la citocina ocurrió en T1, seguida de T2 y T0, en los recuadros a detalle se muestra que para estos últimos existen valores altos aunque no con tanta presencia (mapa 107).



Mapa. – 107. Modelación espacial de IL-6, base niños.

Grupos Carbonilo.

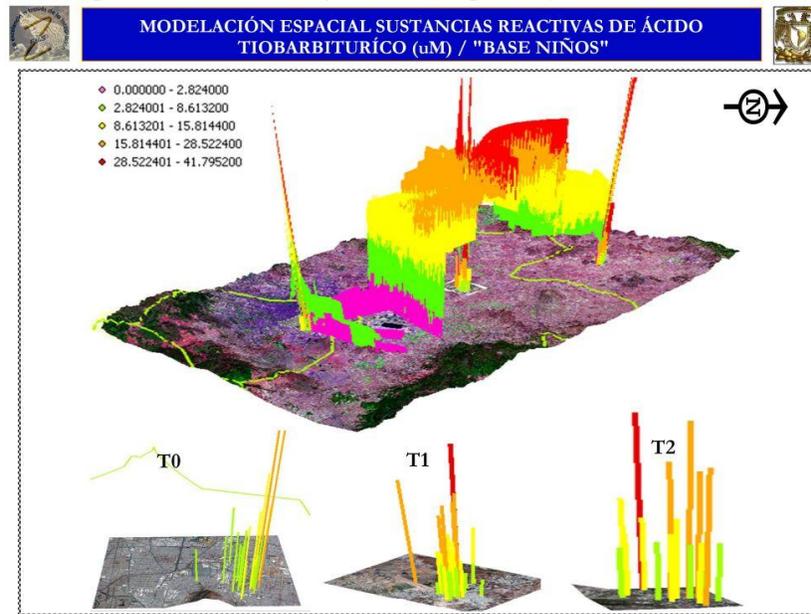
Para carbonilos la interpolación mostró que el patrón decrece de T2, T1 y T0, por lo que la exposición es de Norte a Sur (mapa 108).



Mapa. – 108. Modelación espacial de grupos carbonilo, base niños.

Sustancias Reactivas de Ácido Tiobarbitúrico (TBARs).

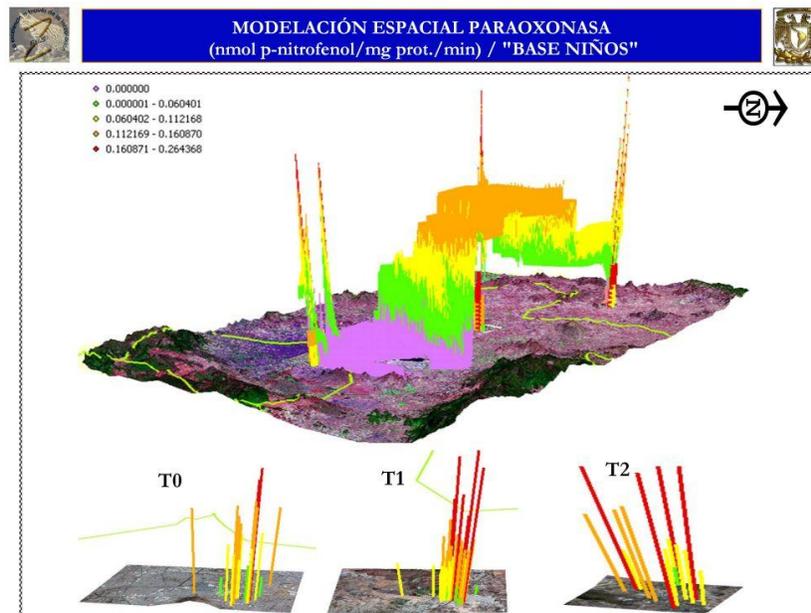
La actividad en niños mostró que T1 seguido de T2 incluyeron la superficie de mayor exposición, así las fluctuaciones con respecto a T0 son muy claras (mapa 109).



Mapa. – 109. Modelación espacial de TBARs, base niños.

Paraoxonasa (PON1).

La interpolación de paraoxonasa tuvo una distribución similar a la de TBARs, tanto en padres como en niños, la mayor actividad por exposición a paraoxonasa tendió a decrecer de T1, T2 y T0 (mapa 110).



Mapa. – 110. Modelación espacial de paraoxonasa, base niños.



Los mapas presentados predicen el valor para T0, T1 y T2 a partir de valores obtenidos de puntos próximos y ubicados al interior del sitio de estudio. La modelación permitió identificar claramente la tendencia espacial en IL-2 padres donde T1 fue el área de mayor exposición seguida de T0, en niños el patrón de exposición fue similar; para IL-6 padres la interpolación mostró que la mayor exposición ocurrió en T0, en T1 y T2 la exposición decreció de sur a norte, la interpolación para IL-6 niños generó que la mayor área de ocurrencia para la citocina estuvo en T1 seguido de T2 y T0, la misma tendencia presentaron las TBARs, paraoxonasa, ceruloplasmina y glutatión peroxidasa aunado a grandes fluctuaciones con respecto a áreas de exposición bajas en T2; el área de mayor exposición para nitritos fue en T2 seguido de T0 y T1; finalmente para los grupos carbonilos el área de mayor exposición tendió a decrecer de Norte a Sur (T2, T1 y T0).



I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las concentraciones de benceno más elevadas para padres se presentaron en Tecámac-Estado de México (T1) y para niños en Iztapalapa-DF (T0), mientras que ciclohexano mostró la mayor concentración en el sitio T0 para padres y en T1 para niños. La mayor variación de tolueno fue en padres T1 y en niños T0. Por otro lado, la mayor homogeneidad en los valores de concentración se presentó en $PM_{2.5}$, T0, tanto para padres como para niños y las concentraciones no sobrepasaron los límites máximos permisibles señalados en la NOM-025-SSA1-1993. Para O_3 tampoco se rebasaron los límites de la NOM-020-SSA1-1993 en la ZMVM. En general Zapotlán de Juárez-Hidalgo (T2) fue el sitio con menor exposición a COVS a excepción del limoneno en niños.

El estrés oxidativo en padres (ceruloplasmina y glutatión peroxidasa) fue más elevado en T0, mientras que en nitritos los niveles máximos de actividad fueron similares para T0 y T1. Para interleucinas 2 y 6 (IL-2 e IL-6) las concentraciones fueron mayores en padres y niños, en T1 y T0. La actividad de paraoxonasa, en padres y niños, fue mayor en T2. En cuanto a los grupos carbonilos y sustancias reactivas de ácido tiobarbitúrico (TBARs), la mayor actividad fue en niños, sitio T2. Lo anterior reveló que la población de la ZMVM está generando respuestas antioxidantes ante los contaminantes presentes en la atmósfera.

La estimación de contaminantes atmosféricos e indicadores de salud mediante interpolación y visualización espacial tridimensional mostró que en T1 padres y niños tuvieron la mayor área de exposición para benceno, ciclohexano y O_3 ; para limoneno el sitio de mayor exposición fue T2. Tolueno en padres presentó una distribución similar a benceno, sin embargo en niños la mayor exposición ocurrió en T2. En T0 y T1 las $PM_{2.5}$ presentaron niveles altos de exposición. Los indicadores de salud mostraron para IL-2 que T1 fue el sitio de mayor concentración para padres y niños; en IL-6, TBARs, paraoxonasa, ceruloplasmina y glutatión peroxidasa la mayor concentración ocurrió en T0 padres y T1 niños; el área de mayor exposición para nitritos fue en T2 y para los grupos carbonilos la exposición decreció de Norte a Sur.

Se recomienda ampliar los meses que no fueron considerados en este estudio, en especial para la época de temporada de lluvias (abril-octubre). De esta manera, se podría contribuir en la propuesta de Molina *et al.* (2007) para la identificación de posibles orígenes, así como dar seguimiento a estudios previos para valorar su impacto en mediano y largo plazo.

Es necesario incorporar al limoneno en el monitoreo y la normatividad vigente para el país ya que no existe normatividad vigente que lo incluya por su concentración elevada en el sitio urbano (T0) para padres y en la zona rural (T2) para niños.

Se recomienda analizar las relaciones entre contaminantes e indicadores de salud que puedan indicar los sitios de mayor contaminación y las tendencias espaciales de enfermedades asociadas el estrés oxidativo.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



VIII. LITERATURA CITADA.

- Aldazábal C., Manrique J., Orтели M.I., Martínez H., Calabrese U. (2005). Criterios para la Vigilancia Biológica en la Exposición Laboral al Tolueno. *Ciencia&Trabajo*. 17(7):114-117.
- Andersen H.M., Regueira H.T., Leighton F. (2006). Estrés Oxidativo en el Paciente Crítico. *Rev Méd Chile*. 134(5):649-656.
- Anderson J., Gowri A., Turner J., Nichols L., Diwadkar A., Chow C., Oeltegen J. (1999). Antioxidant Supplementation effects on low-density lipoprotein oxidation for individuals with type 2 Diabetes Mellitus. *Am Coll Nutr*. 18:451-161.
- Anselin L. (1999). Spatial Data Analysis with SpaceStat and ArcView. *Workbook*. University of Illinois, 3ª Ed. USA.
- Bach J.F. (2002). Infections and Susceptibility to Autoimmune and Allergic Disease. *N Eng J Med*. 347(12):911-20.
- Bathia S., Shukla R., Madhu S., Kaur J., Madhava K. (2003). Antioxidant Status, Lipid Peroxidation and Nitric Oxide end Products in Patients of Type 2 Diabetes Mellitus with Nephropathy. *Clin Biochem*. 36(7):557-562.
- Bocco G. (2000). El Desarrollo de Sistemas de Información Geográfica en la Frontera Norte de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 42:40-47.
- Bocco G. (2007). La Cartografía y los Sistemas de Información Geográfica en el Manejo Integrado de Cuencas. En: Cotler, H. (Comp.) (2007). *El Manejo Integral de Cuencas en México*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)-Instituto Nacional de Ecología (INE). 2ª Ed. México.
- Bonet B., Viana M., Herrera E. (1998). Efectos Teratogénicos de la Diabetes: Papel de los Radicales Libres. *Endocrinología*, 45:832-837.
- Bosque J. (1992). Sistemas de Información Geográfica, *Rialp*, Madrid España
- Bosque J. (2001). Métodos de Interpolación para la Elaboración de un Modelo Digital de Elevaciones. *Estudios Geográficos*. LXII(245):605-620.
- Bosque J., García R.C. (2000). El Uso de los Sistemas de Información Geográfica en la Planificación Territorial. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 20:49-67.
- Burnett R.T., Smith-Doiron M., Stieb D., Cakmak S., Brook J. (1999). Effects of Particulate Matter and Gaseous Pollution on Cardiorespiratory Hospitalizations. *Arch of Environ Hlth*. 54:130-139.
- Burrough P.A, McDonnell R.A. (1998). Principles of Geographical Information Systems. *Oxford Science Publications* (UK) 2ª Ed.
- Cañada T.M. (2004). Aplicación de la Geoestadística al Estudio de la Variabilidad Especial del Ozono en los Veranos de la Comunidad de Madrid. En: García J.C., Liaño D., Fernández de Arróyabe P.H., Garmendia P.C., Rasilla D. (Eds.) (2004). *El Clima entre el Mar y la Montaña*. Universidad de Cantabria. A(4)451-462.
- Castillejos M., Borja-Aburto V.H., Dockery D.W., Gold D.R., Loomis D. (2000). Airborne coarse Particles and Mortality. *Inhalation Toxicol*. 12:61-72.
- Chow J.C., Engelbrecht J.P., Watson J.G., Wilson W.E., Frank N.H., Zhu T. (2002). Designing Monitoring Networks to Represent Outdoor Human Exposure. *Chemosphere*. 49(9):961-978.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



- Cisneros P.E., Pupo J., Céspedes M.E. (1997). Enzimas que Participan como Barreras Fisiológicas para Eliminar los Radicales Libres: III. Glutación Peroxidasa. *Invest Bioméd.* 16(1): 10-15.
- Cohen A.J, Anderson H.R, Ostro B. (2004). Mortality Impacts of Urban Air Pollution. In: Ezzati M., Lopez A.D., Rodgers A., Murray J.L. (Eds.) (2004). Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors. Geneva, Switzerland: WHO 50:224-230.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2002). "División Política Estatal". Escala 1:1000 000. Extraído del Conjuntos de Datos Vectoriales y Toponímicos de la Carta Topográfica. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
 - --- (1998). "Carta de Climas". Escala 1:1000000. México.
 - Coro C.Y. (2003a). Econometría Espacial Aplicada a la Predicción-Extrapolación de Datos Microterritoriales. *Consejería de Economía e Innovación Tecnológica*. Madrid, España.
 - Coro C.Y. (2003b). Métodos Gráficos del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales. En: Asociación Española de Economía Aplicada, ASEPELT (Eds.) (2003). *Anales de Economía Aplicada*. Madrid, España.
 - Cressie N. (1993). Statistics for Spatial Data. *Wiley*. New York, USA.
 - Creel L. (2002). Efectos del Medio Ambiente en la Salud Infantil: Riesgos y Soluciones. *Population Reference Bureau*. [En línea] En: www.measurecommunication.org. [Junio 2009].
 - Cuellar L., Prieto V., Rodríguez A., Bonet M. (1999). Distribución Espacial de Enfermedades Seleccionadas en el Municipio Centro Habana, 1993-1995. *Hig Epidemiol.* 37(1):32-9.
 - Decker E.H., Elliott S., Smith F.A., Blake D.R., Rowland F.S. (2000). Energy and Material Flow through the Urban Ecosystem. *Annu Rev. Energy Environ.* 25:685-740.
 - Dikalov S.I., Vitek M.P., Mason R.P. (2004). Cupric-Amyloid Beta Peptide Complex Stimulates Oxidation of Ascorbate and Generation of Hidroxil Radial. *Free Radic Biol Med.* 36(3):340-347.
 - Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI). (1998). Shapfile Technical Description. Edit. An ESRI White Paper. CA, USA.
 - --- (2003). Tutorial Analysis Spatial ArcView 8.2. Edit An ESRI. CA, USA.
 - Ferrís J., Ortega J.A, Aliaga J., Ortiz A., García J. (2002). El Niño y el Medio Ambiente. Mesa Redonda: Salud Medioambiental Pediátrica. *An Esp Pediatr.* 56(6):353-59.
 - Figueras M., Gargallo P. (2003). Análisis Exploratorio de Datos. [En línea] *5campus.com, Estadística*. En: <http://www.5campus.com/leccion/aed>. [Febrero de 2008].
 - Gamir A., Ruiz M., Seguí J. (1995). Prácticas de Análisis Espacial. *Oikos-tau*. Barcelona, España.
 - Gilli G., Scursatone E., Bono R. (1994). Benzene, Toluene and Xilene in Air, Geographical Distribution in the Piedmont region (Italy) and Personal Exposure. *Sciencie on the Total Environment.* 148:45.96.
 - Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente (GDF-SMA). (2006), Gestión ambiental del aire en el Distrito Federal. Avances y propuestas 2000-2006, México.



- --- (2007). La calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México, 1986-2006, informe del estado y tendencias de la contaminación atmosférica, México.
- Gold D.R., Allen G., Damokosh A., Serrano P., Hayes C., Castillejos M. (1996). Comparison of Outdoor and Classroom Ozone Exposure for School Children in Mexico City. *J of Air Waste Manag Assoc.* 46(4):335-342.
- Gordillo D. (1989). La Contaminación atmosférica y el Niño Asmático en la Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Haining R., Wise S., Signoretta P. (2000). Providing Scientific Visualization for Spatial Data Analysis: Criteria and an Assessment SAGE". *Journal of Geographical Systems.* 2:121-140.
- Hernández-Urzúa M.A., Navarro A. (2001). Interleukins and Innate Immunity. *Rev Biomed.* 12(4):272-280.
- Hicks J., Medina R., Guzman A., Wachter N., Lifshitz A. (1996). Possible Effect of Air Pollutants (Mexico City) on Superoxide Dismutase Activity and Serum Lipoperoxides in the Human Adult. *Arch Med Re.* 27(2):145-149.
- Hicks J., Torres-Ramos Y., Sierra-Vargas M. (2006). Estrés Oxidante. Concepto y Clasificación. *Endocrinología y Nutrición.* 14(4):223-226.
- Hill K.E., Lyons P.R., Burk RF. (1992). Differential regulation of rat liver selenoprotein mRNAs in selenium Deficiency. *Biochem Biophys Res Commun.* 185:260-263.
- Hoek G., Forsberg B., Borowska M., Hlawiczka S., Welinder H., Branis M., Benes I., Kotesovec F., Hagen L.O., Cyrus J., Jantunen M., Roemer W., Brunekreef B. (1997). Wintertime PM10 and Black Smoke Concentrations across Europe: Results from the peace Study. *Atmospheric Environment.* 31(21):3609-3622.
- Ichiyama T., Hayashi T., Nishikawa M., Furukawa S. (1997). Levels of Transforming Growth Factor Beta-I, Tumor Necrosis Factor Alpha, and Interleukin-6 in Cerebrospinal Fluid. *Clin Infect Dis.* 25:328-329.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (2000). Calidad del Aire en las Principales Ciudades de México. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2000). XII Censo General de Población y Vivienda. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- --- (2002). Informes anuales/cartografía digital/proyecciones de México. Actualizado a 11 de Febrero de 2007. [En línea] En: <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/español/informes2002/carto/cfm?c=20>. [Febrero de 2008].
- Isaaks E.H., Srivastava R.M. (1989). An Introduction to Applied Geostatistics. *Oxford University Press.* New York, USA.
- Ji L.L. (1995). Oxidative Stress during Exercise: Implication of Antioxidant Nutrients. *Radical Biology & Medicine.* 18:1079-1086.
- Kehrer J.P. (1993). Free Radicals as Mediators of Tissue Injury and Disease. *Crit Rev Toxicol.* 23:21-48.
- Kitanidis P. (1997). Introduction to Geostatistics: Applications in Hydrogeology. *Cambridge University Press.* New York, USA.
- Krzyzanowski M., Quackenboss J.J., Lebowitz M.D. (1992). Relation of Peak Expiratory Flow Rates and Symptoms to Ambient Ozone. *Environ. Health.* 47:107-115.



- Kyriakidis P., Dungan J. (2001). A Geostatistical Approach for Mapping Thematic Classification Accuracy and Evaluating the Impact of Inaccurate Spatial Data on Ecological Model Predictions". *Environmental and Ecological Statistics*. 8:311-330.
- Lebrete E., Van del Wiel H.J., Bos H., Noij D., Boliej J.S. (1986). Volatile Organic Compounds in Dutch Homes. *Environment International*. 12(4):323-332.
- Lerdau M., Guenther A., Monson R. (1997). Plant Production and Emission of Volatile Organic Compounds. *BioScience*. 47:373-383.
- Lezama J.L., Favela R., Galindo L.M., Ibararán M.E., Sánchez S., Molina L.T. (2002). Forces Driving Pollutant Emissions in the MCMA. In *Air Quality in the Mexico Megacity: An Integrated Assessment*. Molina L.T., Molina M.J., (Eds.) (2002). *Kluwer Academic Publishers*: Dordrecht, the Netherlands.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. (1998) *Geographic Information Systems: Principles, Techniques, Applications and Management*. *Wiley & Sons*. England.
- Loomis D. (1999). Air Pollution and Infant Mortality in Mexico City. *Epidemiol.* 10:118123.
- López-Abente G., Ibáñez M.C. (2001). Aplicación de Técnicas de Análisis Espacial a la Mortalidad por Cáncer en Madrid. En: Dirección General de Salud Pública (Eds.) (2001). España.
- Low L.K., Meeks J.R., Mackerer C.R. (1998). Health Effects of the Alkylbenzenes: Toluene. *Toxicology and Industrial Health*. 4:4-75.
- Mallol J. (2004). El Asma en Niños de América Latina. *An Pediatr*. 60(1):3-5
- Medina R., Lifshitz A., Wachter N., Hicks J. (1997). Changes in Human Serum Antioxidant Capacity and Peroxidation after Four Months of Exposure to Air Pollutants. *Arch Med Res*. 28 (2): 205-208.
- Mena F.C., Montecinos G.R. (2006). Comparación de Redes Neuronales y Regresión Lineal para estimar Productividad de Sitio en Plantaciones Forestales, Utilizando Geomática. *Bosque (Valdivia)*. 27(1):35-43.
- Mena V.R., Riverón R.L. (1999). Óxido Nítrico/Sepsis: Controversias en su Metabolismo, Funciones y Utilización. *Rev Cubana Pediatr*. 71(4):238-244.
- Molina L.T., Kolb C.E., Lamb B.K., Brune W.H., Jiménez J.L., Ramos-Villegas R., Sarmiento J., Paramo-Figueroa V.H., Cárdenas B., Gutiérrez-Avedoy V., Molina M.J. (2007). Air Quality in North America's most populous city—Overview of the MCMA-2003 Campaign. *Atmos. Chem. Phys*. 7:2447-2473.
- Molina L.T., Molina M.J. (2002). Air Quality in the Mexico Megacity: An Integrated Assessment; Molina L.T., Molina M.J., (Eds.) (2002). *Kluwer Academic Publishers*. Dordrecht, the Netherlands.
- Molina L.T., Molina M.J., Velasco E., Lamb B., Westberg H., Allwine E., Sosa G., Arriaga-Colina J.L., Jobson B.T., Alexander M.L., Prazeller P., Knighton W.B., Rogers T.M., Grutter M., Herndon S.C., Kolb C., Zavala M., De Foy B., Volkamer R. (2007). Distribution, Magnitudes, Reactivities, Ratios and Diurnal patterns of Volatile Organic Compounds in the Valley of Mexico during the MCMA 2002&2003 field Campaigns. *Atmos Chem Phys*. 7:329-353.
- Molina M.J., Molina L.T. (2004). Megacities and Atmospheric Pollution. *Journal of the Air & Waste Management Association Massachusetts*. 54:644-680.



- Molina M.J., Molina L.T., Sosa G., Sheinbaum-Pardo C., San-Martini F., Zavala M.A., Mcrae G. (2002). Air Pollution Science in the MCMA: Understanding Source-Receptor Relationships through Emissions Inventories, Measurements, and Modeling. In *Air Quality in the Mexico Megacity: An Integrated Assessment*; Molina L.T., Molina M.J. (Eds.) (2002). *Kluwer Academic Publishers*. Dordrecht, the Netherlands.
- Moral F.J. (2004). Aplicación de la Geoestadística en las Ciencias Ambientales. *Ecosistemas*, 13(1)78-86.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). [En línea] En: <http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>. [Marzo 2008].
- Nel A.E., Diaz-Sanchez D., Li N. (2001). The Role of Particulate Pollutants in Pulmonary Inflammation and Asthma: Evidence for the Involvement of Organic Chemicals and Oxidative Stress. *Curr Opin Pulm Med*. 7:20-26.
- O'Donohue J., Reid M., Varghese A., Portmann B., Williams R. (1993). Micronodular Cirrhosis and Acute Liver Failure due to Chronic Copper Self-Intoxication. *Eur J Gastroenterol Hepanol*. 5(7):561-562.
- Oberholzer A., Oberholzer C., Moldawer L.L. (2000) Cytokine signaling-regulation of the Immune response in normal and critically ill states. *Crit Care Med*. 28:3-12.
- Olivares I.M., Guzmán A.M., Medina R., Hicks J.J. (2006). Especies Reactivas del Oxígeno (ERO): Bioquímica Inorgánica y Biomedicina. En: Hicks J.J. (Editor) (2006). *McGraw-Hill*, México, 2ª Ed.
- Oré R., Valdivieso R., Suárez S., Huerta D., Núñez M., Durand J. (2007). Marcadores de Estrés Oxidativo en Hipertensión Leve. *An Fac Med Lima*. (68)4:351-355.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2002). Addressing the Links Between indoor Air Pollution, Household Energy and Human Health. *WHO*: Geneva, Switzerland. [En línea] En: http://www.who.int/mediacentre/events/HSD_Plaq_10.pdf. [Mayo 2009].
- --- (2005). Air Quality Guidelines for Europe. WHO: Regional Office for Europe. [En línea] En: http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_4. [Mayo 2009].
- Ortiz-Ibarra F.J., Reyna J., Aldana R.E., Lara J. (2005). Effectiveness on the Measurement of Interleukin-6 in Cerebrospinal fluid for detection of Neonatal Bacterial Meningitis. *Infec e Inmun Perinatal*. 62:249-255.
- Pérez T.T., Iñiguez R.L., Sánchez-Valdez L., Remond R. (2003). Vulnerabilidad Espacial al Dengue: Una Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en el Municipio Playa de Ciudad de La Habana. *Rev Cubana Salud Pública*. 29(4):353-365.
- Pérez-Vidal M., Bomboi A., Mingarro M.T., Fernández R. (2000). Compuestos Orgánicos Volátiles en Ambientes Interiores. [En línea] *Cen Nacional de Sanidad*. En: <http://www.isciii.es/htdocs/centros/sanidadambiental/pdf/postersevillaVOCs.pdf>. [Junio de 2008].
- Puente C., Ramarosan R. (2006). Medición y Análisis de los compuestos orgánicos volátiles en la Atmósfera: Últimas Técnicas, Aplicabilidad y Resultados a Nivel Europeo. *ION*. 19(1):43.47.
- Rajesh M., Sulochana K.N., Coral K., Punitham R., Biswas J., Babu K., Ramakrishnan S. (2004). Determination of Carbonyl Group content in Plasma Proteins as useful marker to asses Impairment in Antioxidant defense in Patients with Eale's disease. *Indian J Ophthalmol*. 52(2):139-144.



- Reinhardt T.E., Ottmar R.D. Castilla S. (2001). Smoke Impacts from Agricultural burning in a Rural Brazilian Town. *J Air Waste Manage Assoc.* 51:1443-1140.
- Rodríguez B., Zhan C.D., Quiroz Y. (2003). Antioxidant-Rich Diet relieves Hypertension and Hypertensive Rats. *Hypertesion.* 41:341-346.
- Romero M.A., Montes G.E., Franco V.J. (2007). Aportes Geográficos Interdisciplinarios en el Estudio del Problema de la Contaminación del Aire. *Omnia.* 13(2):30-55.
- Schei M.A., Hessen J.O., Smith K.R, Bruce N., Mc-Cracken J., Lopez V. (2004). Childhood Asthma and Indoor Woodsmoke from Cooking in Guatemala. *J Expo Anal Environ Epidemiol.* 14(1):110-117.
- Sengupta S., Patil R.S., Venkatachalam P. (1996). Assessment of Population Exposure and Risk Zones Due to Air Pollution System. *Comput. Environ. And Urban Systems.* 20(3):191-199.
- SMA-DDF (Secretaría del Medio Ambiente – Gobierno del Distrito Federal), (2006). Gestión Ambiental del Aire en el Distrito Federal 2000-2006, “Avances y Propuestas”. [En línea] En: <http://www.sma.df.gob.mx/simat> [Diciembre, 2008].
- Sohal R. (1993). Aging Cytochrome Oxidase Activity and Hydrogen Peroxide Release by Mitochondria. *Free Radic Biol Med.* 14(6):583-588.
- Tapia S.A., Araya M.M. (2008). Estrés Oxidativo, Prooxidantes y Enfermedad de Crohn. (2006). *Rev Méd Chile.* 134(1):95-100.
- Telisman S. (1995) Interactions of Essential and/or Toxic Metal and Metalloids regarding Interindividual differences in Susceptibility to various Toxicants and Chronic disease in Man. *Arb Rig Rada Toksikol.* 46:459-476.
- Tobler W. (1979). Cellular Geography: Philosophy in Geography. En Gale S., Olsson G. (Eds.) (1979). *Reidel*, Dordrecht, Boston.
- Torres-Ramos Y.D., Sierra M.P., Olivares I.M., Hicks J.J. (2006). Marcadores Plasmáticos de estrés Oxidante en Población Mexicana Sana de 31 a 60 años de Edad. *Ins Nal Enf Resp Mex.* 19(3):206-213.
- Tovalín H., Stranberg B. (2007). Efectos Cancerígenos y No-Cancerígenos por Exposición a Benceno y 1,3- Butadieno en Trabajadores y Población de la Ciudad de México. *Ciencia y Trabajo.* 26:172-177.
- Tukey J.W. (1977). Exploratory Data Analysis. *Addison-Wesley*, Massachusetts, USA.
- US Environmental Protection Agency, Washington D.C., United States. (2004). The Particle Pollution Report: Current Understanding of Air Quality and Emissions through 2004. [En línea] En: www.epa.gov/airprogm/oar/airtrends/pmreport03/report_2505.pdf. [Diciembre, 2008].
- Vallejo M., Jáuregui-Renaud K., Hermosillo A.G., Márquez M.F., Cárdenas M. (2003). Efectos de la Contaminación Atmosférica en la Salud y su Importancia en la Ciudad de México. *Gac Méd Méx.* 139(1):57-63.
- Viana M., Pérez C., Querol X., Alastuey A., Nickovic S., Baldasano J.M. (2005). Spatial and Temporal Variability of PM Levels and Composition in a Complex Summer Atmospheric Scenario in Barcelona (NE Spain), *Atmospheric Environment.* 39:5343–5361.
- Witko-Sarsat V., Friedlander M., Capeillère-Blandin C., Nguyen-Khoa T., Nguyen A., Zingraff J., Jungers P., Descamps-Lastcha B. (1996). Advanced Oxidation Proteins products as a novel Marker of Oxidative Stress in Uremia. *Kidney Int.* 49(5):1304-1313.