



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS EN EL
ESTADO DE GUERRERO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
(HIDRÁULICA)

P R E S E N T A
JORGE LUIS TORRES CADENA

DIRECTOR DE TESIS
DR. CARLOS A. ESCALANTE SANDOVAL



CD.UNIVERSITARIA

SEPTIEMBRE DE 2011

JURADO ASIGNADO:

Presidente: **Dr. Silva Casarín Rodolfo**

Secretario: **Dra. Reyes Chavez Lilia**

Vocal: **Dr. Escalante Sandoval Carlos**

1 er. Suplente: **Dr. Gracia Sánchez Jesús**

2 do. Suplente: **M. I. Víctor Franco**

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

TUTOR DE TESIS:

Dr. Carlos Agustín Escalante Sandoval

FIRMA

A mis padres Eva y Luis
A mis hermanas Karla y Alba

Agradecimientos:

A Dios

Al Dr. Carlos A. Escalante, por su apoyo y asesoría durante el desarrollo de esta tesis.

A todos los profesores de la UNAM, por la formación académica que recibí de cada uno de ellos

Agradezco el apoyo económico de la beca de maestría otorgada por el CONACYT, bajo el No. de registro CVU 335800

A los compañeros del posgrado que se convirtieron en amigos, con quien he tenido el gusto de compartir este pasaje en mi vida. Gracias Luis y Leo.

Resumen

El estado de Guerrero ha padecido eventos extremos en la modalidad de sequías y huracanes cada vez más desastrosos, debido aparentemente al calentamiento global que sufre el planeta. Tales fenómenos motivan el desarrollado de diversos trabajos sobre cambio climático y calentamiento global. En este trabajo se explica y calcula las tendencias climáticas en el estado de Guerrero mediante el seguimiento de un conjunto de indicadores climáticos definidos a escala internacional.

Se analizaron 26 índices presentados por el ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) y 16 índices propuestos, en el período 1961 - 2007. La variable temperatura se estudió mediante el cálculo de 16 índices climáticos, 24 índices estudian la precipitación y 2 índices analizan la evaporación. Se obtuvieron tendencia estadísticamente significativa en 17 índices: 8 índices relacionados con la temperatura del aire, 7 índices relacionados con la precipitación y 2 índices con la evaporación.

La tendencia de los índices climáticos en las obras hidráulicas se refleja mediante la construcción de curvas intensidad – duración – período de retorno ($i - d - Tr$); la magnitud de las $i - d - Tr$ disminuye levemente en el norte del estado y en la Región Centro; sin embargo, en regiones costeras aumenta por la ocurrencia de tormentas tropicales y huracanes

Finalmente en la cuenca del río Huacapa se ejemplifica el cálculo de hidrogramas de salida bajo distintos escenarios futuros, en donde el aumento del valor del coeficiente de escurrimiento resulta preponderante en el aumento de escurrimiento superficial.

Palabras clave: calentamiento global, índices climáticos, temperatura, precipitación, evaporación, clima en Guerrero, hidrología, curvas $i - d - Tr$, hidrogramas.

ABSTRACT

The state of Guerrero has suffered from extreme events in the form of droughts and disastrous hurricanes increasing, apparently due to global warming that the planet suffers. Such phenomena motivate the development of several works on climate change and global warming. This paper explains and calculates climatic trends in the state of Guerrero by tracking a set of indicators defined internationally.

We analyzed 26 indices presented by ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection) and 16 proposed indices, in the period 1961 – 2007. The temperature variable was examined by calculating 16 climatic indices, 24 indices studied rainfall and 2 indices studied the evaporation. Statistically significant trend was obtained in 17 indices: 8 indices related with the air temperature, 7 indices related to precipitation, 2 indices to evaporation.

The trend of climate indices in hydraulic construction is reflected by the curve intensity – duration – return period ($i - d - Tr$). The magnitude of the curve $i - d - Tr$ decreased slightly in the upstate and Central Region, but in coastal areas increases because to the occurrence of tropical storm and hurricane.

Finally in the rio Huacapa exemplifies the calculation of output hydrographs under different future scenarios, where the increased value the coefficient of runoff is dominant in increasing surface runoff.

Keywords: global warming, climate indices, temperature, precipitation, evaporation, Guerrero climate, hydrology, curves $i - d - Tr$, hydrographs.

Índice

Lista de Tablas	i
Lista de Figuras	ii
Símbolos y Abreviaturas	viii
Introducción	1
Objetivo General	5
Objetivo Específico	5
1. Cambio climático	6
1.1. Detección y atribución del cambio climático	7
1.2. Escenarios de cambio climático en México	7
a) Escenarios de temperatura	8
b) Escenarios de precipitación	8
c) Relación clima – vegetación	9
1.3. Datos instrumentales del clima	9
2. Índices de cambio climático	11
2.1. Índices de cambio climático del ETCCDI	11
2.2. Índices de cambio climático propuestos	16
2.3. Selección de datos	17
2.4. Análisis y control de calidad	18
2.5. Análisis de tendencias.	18
2.5.1. Pruebas no paramétricas	19
2.5.2. Pruebas paramétricas	21
3. Procesamiento estadístico de lluvias máximas diarias	23
3.1. Tipos de precipitación	23
3.1.1. Variabilidad de la lluvia en México	24
3.2. Análisis de frecuencias	24
3.2.1. Distribuciones de probabilidad	25
3.2.2. Pruebas de independencia y homogeneidad	26
3.2.3. Curvas $i - d - Tr$	26
3.2.4. Hidrograma de salida	29
4. Aplicación	33
4.1. Aspectos Generales del estado de Guerrero	33
4.2. Selección de registros	38
4.3. Resultados de índices climáticos	39
4.4. Construcción de curvas $i - d - Tr$ e hidrograma de salida	114
Conclusiones	146
Recomendaciones	148
Bibliografía	149
Anexo 1	152
Anexo 2	154
Anexo 3	156
Anexo 4	157
Anexo 5	158
Anexo 6	160
Anexo 7	194
Anexo 8	210

Lista de Tablas

Tabla A. Estados más afectados por sequía durante el período 1988 – 1994 (Escalante y Reyes, 1998)	2
Tabla B. Tormentas tropicales y huracanes que han afectado el estado de Guerrero	3
Tabla 1.1. Código de los elementos meteorológicos contenidos en la base de datos CLICOM	10
Tabla 2.1. Índices climáticos definidos por el ETCCDI	11
Tabla 2.2. Índices propuestos en función del tipo de precipitación establecidos por CONAGUA y CENAPRED	17
Tabla 2.3. Índices propuestos para analizar trenes de lluvias.	17
Tabla 2.4. Índices de evaporación	17
Tabla 3.1. Relación frecuencia lluvia para duraciones menores a una hora	28
Tabla 3.2. Coeficientes de escurrimiento para áreas individuales (McCuen, 1998)	31
Tabla 4.1. Tipos de clima en el estado de Guerrero	36
Tabla 4.2. Regiones hidrológicas en el estado de Guerrero	37
Tabla 4.3. Corriente de agua principales en el estado de Guerrero	37
Tabla 4.4. Estaciones climatológicas analizadas en la cuenca río Huacapa	115
Tabla 4.5. Registros de precipitación máxima en 24 horas para las estaciones de la cuenca río Huacapa, (milímetros)	116
Tabla 4.6.a. Error estándar de las estaciones en análisis, en el período 1961 - 1990.	117
Tabla 4.6.b. Error estándar de las estaciones en análisis, en el período 1961 - 1990.	117
Tabla 4.7.a. Error estándar de las estaciones en análisis, en el período 1961 - 2000.	118
Tabla 4.7.b. Error estándar de las estaciones en análisis, en el período 1961 - 2000.	118
Tabla 4.8.a. Error estándar de las estaciones en análisis, en el período 1961 - 2007.	119
Tabla 4.8.b. Error estándar de las estaciones en análisis, en el período 1961 - 2007.	119
Tabla 4.9. Hp máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno, (milímetros).	121
Tabla 4.10. Variables empleadas para la obtención del cociente R.	122
Tabla 4.11. Estación 12031. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo	128
Tabla 4.12. Estación 12062. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo	129
Tabla 4.13. Estación 12075. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo	130
Tabla 4.14. Estación 12105. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo	131
Tabla 4.15. Estación 12111. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo	132
Tabla 4.16. Estación 12125. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo	133
Tabla 4.17. Estación 12134. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo	134
Tabla 4.18. Estación 12150. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo	135
Tabla 4.19. Estación 12198. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo	136
Tabla 4.20. Estación 12204. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo	137
Tabla 4.21. Estación 12229. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo	138
Tabla 4.22. Porcentaje de área ocupado por rangos de CE	139
Tabla 4.23. Variación decenal del Coeficiente de Escurrimiento en la cuenca río Huacapa	142
Tabla 4.24. Coeficiente de Escurrimiento y altura de precipitación para los distintos escenarios analizados en la cuenca río Huacapa	142
Tabla A5.1. Localización geográfica de las estaciones climatológicas analizadas	155
Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios	191

Lista de Figuras

Figura A. Variación de superficie sembrada y cosechada para el año agrícola (OI + PV) y cultivos perennes en el período 1980 – 2009, en el estado de Guerrero.	2
Figura 1.1. Cambio de temperatura a nivel anual y estacional (invierno y verano) entre el clima del período 1980 – 1999 y 2080 – 2099.	8
Figura 1.2. Cambio de precipitación a nivel anual y estacional (invierno y verano) entre el clima del período 1980 – 1999 y 2080 – 2099.	9
Figura 3.1. Relación empírica para estimar la lluvia de una hora y período de retorno 2 años, en ausencia de registros pluviográficos	27
Figura 3.2. Papel logarítmico de referencia para realizar las interpolaciones de alturas de precipitación mayores a una hora	28
Figura 4.1. División política y geográfica el estado de Guerrero	35
Figura 4.2. Mapa de Regiones Hidrológicas en el estado de Guerrero. Fuente: INEGI	38
Figura 4.3. Período de registro de las estaciones analizadas	39
Figura 4.4. Distribución de días con heladas en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007	40
Figura 4.5. Serie anual de días con $T_n < 0^{\circ}\text{C}$ para el estado de Guerrero en el período 1961 – 2007	41
Figura 4.6. Distribución de días de verano en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007	42
Figura 4.7. Serie anual de días con $T_x > 25^{\circ}\text{C}$ del estado de Guerrero y sus regiones geográficas Acapulco, Centro, Costa Chica y Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 – 2007	43
Figura 4.8. Distribución de noches tropicales para el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007	44
Figura 4.9. Serie anual de días con $T_n > 20^{\circ}\text{C}$ del estado de Guerrero y sus regiones geográficas Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 – 2007.	45
Figura 4.10. Serie anual de temperatura media T_{ij} para el estado de Guerrero en el período 1961 – 2007	46
Figura 4.11. Distribución de temperatura máxima extrema para el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007	47
Figura 4.12. Serie anual de temperatura máxima extrema, TX_x , del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 – 2007	48
Figura 4.13. Temperatura TX_x promedio para el estado de Guerrero en el período 1961 – 2007	48
Figura 4.14. Variación de la temperatura TX_x en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007	50
Figura 4.15. Variación de la temperatura TX_x en los meses Julio – Diciembre en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	51
Figura 4.16.a. Variación promedio de TX_x mensual en las regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande y La Montaña, en el período 1961 – 2007	52
Figura 4.16.b. Variación promedio de TX_x mensual en las regiones Norte, Tierra Caliente y el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007	53
Figura 4.17. Distribución del índice TN_x para el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007	54
Figura 4.18. Temperatura TN_x promedio para el estado de Guerrero en el período 1961 – 2007	54
Figura 4.19. Serie anual de temperatura máxima extrema, TN_x , del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 – 2007.	55
Figura 4.20. Variación de la temperatura TN_x en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	56
Figura 4.21. Variación de la temperatura TN_x en los meses Julio – Diciembre en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	57

Figura 4.22.a. Variación promedio de TNx mensual en las regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña y Norte, en el período 1961 – 2007	58
Figura 4.22.b. Variación promedio de TNx mensual en las región Tierra Caliente y el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007	59
Figura 4.23. Distribución del índice TXn para el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007	60
Figura 4.24. Serie anual TXn promedio del estado de Guerrero en sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007	61
Figura 4.25. Temperatura TXn promedio para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007	61
Figura 4.26. Variación de la temperatura TXn en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	62
Figura 4.27. Variación de la temperatura TXn en los meses Julio – Diciembre en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	63
Figura 4.28.a. Variación promedio de TXn mensual en las regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña y Norte, en el período 1961 – 2007	64
Figura 4.28.b. Variación promedio de TXn mensual en las región Tierra Caliente y el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007	65
Figura 4.29. Distribución de temperatura mínima extrema para el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007	66
Figura 4.30. Serie anual TNn promedio del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007	67
Figura 4.31. Variación de la temperatura TNn en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	68
Figura 4.32. Variación de la temperatura TNn en los meses Julio – Diciembre en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	69
Figura 4.33. Temperatura TNn promedio para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007	67
Figura 4.34.a. Variación promedio de TXn mensual en las regiones Acapulco, Centro, Costa Chica y Costa Grande, en el período 1961 – 2007	70
Figura 4.34.b. Variación promedio de TNn mensual en las regiones La Montaña, Norte y Tierra Caliente y el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007	71
Figura 4.35. Distribución de frecuencia de noches frías en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	72
Figura 4.36. Serie anual de días con <i>Tn10p</i> del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007	73
Figura 4.37. Distribución de frecuencia de días frescos en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	74
Figura 4.38. Serie anual de días con <i>Tx10p</i> del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007	75
Figura 4.39. Distribución de frecuencia de noches cálidas en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	76
Figura 4.40. Serie anual de días con <i>Tn90p</i> del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007	77
Figura 4.41. Distribución de frecuencia de días calurosos en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007	78
Figura 4.42. Serie anual de días con <i>Tx90p</i> del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007	77
Figura 4.43. Distribución de períodos cálidos en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	79

Figura 4.44. Serie anual <i>WSDI</i> del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007	80
Figura 4.45. Distribución de períodos fríos en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	81
Figura 4.46. Serie anual <i>CSDI</i> del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007	82
Figura 4.47. Distribución de rango diurno de temperatura en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	83
Figura 4.48. Serie anual <i>DTR</i> del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica y Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007	84
Figura 4.49. Distribución de <i>Rx1day</i> y <i>Rx5day</i> en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	85
Figura 4.50.a. Serie anual <i>Rx1day</i> para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas	85
Figura 4.50.b. Serie anual <i>Rx2day</i> y <i>Rx3day</i> para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas	86
Figura 4.50.c. Serie anual <i>Rx4day</i> y <i>Rx5day</i> para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas	87
Figura 4.50.d. Serie anual <i>Rx6day</i> y <i>Rx7day</i> para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas	88
Figura 4.50.e. Serie anual <i>Rx8day</i> y <i>Rx9day</i> para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas	89
Figura 4.50.f. Serie anual <i>Rx10day</i> para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas	90
Figura 4.51. Distribución del índice <i>SDII</i> en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	91
Figura 4.52. Serie anual <i>SDII</i> del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007	92
Figura 4.53. Distribución del índice <i>R10</i> en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	93
Figura 4.54. Serie anual <i>R10</i> del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007	92
Figura 4.55. Distribución de lluvias mayores a 20 mm en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	94
Figura 4.56. Serie anual <i>R20</i> del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007	95
Figura 4.57. Frecuencia de días con lluvia en base a la clasificación CONAGUA, en el estado de Guerrero.	96
Figura 4.58. Distribución de frecuencia de la lluvia, en días, en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007.	100
Figura 4.59. Serie anual <i>R00</i> para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 - 2007	97
Figura 4.60. Serie anual <i>R005</i> para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 - 2007	97
Figura 4.61. Serie anual <i>R520</i> para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 - 2007	98
Figura 4.62. Serie anual <i>R2070</i> para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 - 2007	98
Figura 4.63. Serie anual <i>R70150</i> para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 - 2007	99
Figura 4.64. Serie anual <i>Rm150</i> para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 - 2007	99
Figura 4.65. Distribución del índice <i>CDD</i> en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	101
Figura 4.66. Serie anual <i>CDD</i> para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 - 2007.	102

Figura 4.67. Distribución del índice CWD en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	103
Figura 4.68. Serie anual CWD para el estado de Guerrero en el período 1961 – 2007	104
Figura 4.69. Distribución del índice R95pTOT en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	105
Figura 4.70. Serie anual R95pTOT para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 – 2007	104
Figura 4.71. Distribución del índice R99pTOT en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	107
Figura 4.72. Serie anual R99pTOT para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas en el período 1961 – 2007	106
Figura 4.73. Distribución del índice PRCPTOT en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	109
Figura 4.74. Serie anual PRCPTOT para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas en el período 1961 – 2007	108
Figura 4.75. Distribución del índice EVAPTOT en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	111
Figura 4.76. Serie anual EVPTOT para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas en el período 1961 – 2007	110
Figura 4.77. Distribución del índice EVPPRCP en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	113
Figura 4.78. Serie anual EVPPRCP para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas en el período 1961 – 2007	112
Figura 4.79. Macrolocalización de la zona en estudio. Cuenca río Huacapa	114
Figura 4.80. Distribución de estaciones para la cuenca río Huacapa	115
Figura 4.81. Regionalización de distribuciones de frecuencia en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	120
Figura 4.82. Distribución de cociente R en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007	123
Figura 4.83. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12031	124
Figura 4.84. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12062	124
Figura 4.85. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12075	124
Figura 4.86. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12105	125
Figura 4.87. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12111	125
Figura 4.88. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12125	125
Figura 4.89. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12134	126
Figura 4.90. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12150	126
Figura 4.91. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12198	126
Figura 4.92. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12204	127
Figura 4.93. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12229	127
Figura 4.94. Variación del coeficiente de escurrimiento para períodos de retorno menor a 25 años.	140
Figura 4.95. Variación del coeficiente de escurrimiento para períodos de retorno mayor a 25 años	141
Figura 4.96. Hidrograma de Salida en la cuenca río Huacapa, Tr = 2 años	143
Figura 4.97. Hidrograma de Salida en la cuenca río Huacapa, Tr = 5 años	143
Figura 4.98. Hidrograma de Salida en la cuenca río Huacapa, Tr = 10 años	144
Figura 4.99. Hidrograma de Salida en la cuenca río Huacapa, Tr = 20 años	144
Figura 4.100. Hidrograma de Salida en la cuenca río Huacapa, Tr = 50 años	145
Figura 4.101. Hidrograma de Salida en la cuenca río Huacapa, Tr = 100 años	145
Figura A1.1. Vegetación y uso de suelo 1976. Estado de Guerrero	149
Figura A1.2. Vegetación y uso de suelo 2000. Estado de Guerrero	150
Figura A3.1 Orografía en el estado de Guerrero	153
Figura A4.1. Localización geográfica de estaciones climatológicas analizadas	154
Figura A6.1. Tendencia en el índice FDo	157
Figura A6.2. Tendencia en el índice SU25	158
Figura A6.3. Tendencia en el índice Tr20	159

Figura A6.4. Tendencia en el índice TXx	160
Figura A6.5. Tendencia mensual del índice TXx en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	161
Figura A6.6. Tendencia mensual del índice TXx en los meses Julio – Diciembre en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	162
Figura A6.7. Tendencia en el índice TNx en el período 1961 - 2007	163
Figura A6.8. Tendencia mensual del índice TNx en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	164
Figura A6.9. Tendencia mensual del índice TNx en los meses Julio – Agosto en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	165
Figura A6.10. Tendencia en el índice TXn en el período 1961 - 2007	166
Figura A6.11. Tendencia mensual del índice TXn en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	167
Figura A6.12. Tendencia mensual del índice TXn en los meses Julio – Agosto en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	168
Figura A6.13. Tendencia en el índice TNn en el período 1961 - 2007	169
Figura A6.14. Tendencia mensual del índice TNn en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	170
Figura A6.15. Tendencia mensual del índice TNn en los meses Julio – Diciembre en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.	171
Figura A6.16. Tendencia en el índice Tn10p en el período 1961 - 2007	172
Figura A6.17. Tendencia en el índice Tx10p en el período 1961 - 2007	173
Figura A6.18. Tendencia en el índice Tn90p en el período 1961 - 2007	174
Figura A6.19. Tendencia en el índice Tx90p en el período 1961 - 2007	175
Figura A6.20. Tendencia en el índice WSDI en el período 1961 - 2007	176
Figura A6.21. Tendencia en el índice CSDI en el período 1961 - 2007	177
Figura A6.22. Tendencia en el índice DTR en el período 1961 - 2007	178
Figura A6.23. Tendencia del índice Rxday en el período 1961 - 2007	179
Figura A6.24. Tendencia del índice SDII en el período 1961 - 2007	180
Figura A6.25. Tendencia del índice R10 en el período 1961 - 2007	181
Figura A6.26. Tendencia del índice R20 en el período 1961 - 2007	182
Figura A6.27. Tendencia de lluvias en el estado de Guerrero, en base a clasificación CONAGUA, para el período 1961 – 2007.	183
Figura A6.28. Tendencia del índice CDD en el período 1961 – 2007	184
Figura A6.28. Tendencia del índice CDW en el período 1961 – 2007	185
Figura A6.30. Tendencia del índice R95ptot en el período 1961 – 2007	186
Figura A6.31. Tendencia del índice R99ptot en el período 1961 – 2007	187
Figura A6.32. Tendencia del índice PRCPTOT en el período 1961 - 2007	188
Figura A6.33. Tendencia del índice EVATOT en el período 1961 - 2007	189
Figura A6.34. Tendencia del índice EVAPRCP en el período 1961 - 2007	190
Figura A8.1. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 2 años, duración 5 min	207
Figura A8.2. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 2 años, duración 10 min	208
Figura A8.3. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 2 años, duración 20 min	209
Figura A8.4. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 2 años, duración 30 min	210
Figura A8.5. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 2 años, duración 50 min	211
Figura A8.6. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 2 años, duración 60 min	212
Figura A8.7. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 2 años, duración 120 min	213
Figura A8.8. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 2 años, duración 240 min	214
Figura A8.9. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 10 años, duración 5 min	215
Figura A8.10. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 10 años, duración 10 min	216
Figura A8.11. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 10 años, duración 20 min	217
Figura A8.12. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 10 años, duración 30 min	218
Figura A8.13. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 10 años, duración 50 min	219
Figura A8.14. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 10 años, duración 60 min	220
Figura A8.15. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 10 años, duración 120 min	221
Figura A8.16. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 10 años, duración 240 min	222
Figura A8.17. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 20 años, duración 5 min	223

Figura A8.18. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 20 años, duración 10 min	224
Figura A8.19. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 20 años, duración 20 min	225
Figura A8.20. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 20 años, duración 30 min	226
Figura A8.21. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 20 años, duración 50 min	227
Figura A8.22. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 20 años, duración 60 min	228
Figura A8.23. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 20 años, duración 120 min	229
Figura A8.24. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 20 años, duración 240 min	230
Figura A8.25. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 50 años, duración 5 min	231
Figura A8.26. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 50 años, duración 10 min	232
Figura A8.27. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 50 años, duración 20 min	233
Figura A8.28. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 50 años, duración 30 min	234
Figura A8.29. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 50 años, duración 50 min	235
Figura A8.30. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 50 años, duración 60 min	236
Figura A8.31. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 50 años, duración 120 min	237
Figura A8.32. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 50 años, duración 240 min	238
Figura A8.33. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 100 años, duración 5 min	239
Figura A8.34. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 100 años, duración 10 min	240
Figura A8.35. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 100 años, duración 20 min	241
Figura A8.36. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 100 años, duración 30 min	242
Figura A8.37. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 100 años, duración 50 min	243
Figura A8.38. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 100 años, duración 60 min	244
Figura A8.39. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 100 años, duración 120 min	245
Figura A8.40. Isoyetas de intensidad. Período de retorno 100 años, duración 240 min	246

Símbolos y Abreviaturas

°C	Grados centígrados
AMO	Oscilación Multidecadal Atlántico (AMO)
AR	Área de la cuenca
CDD	Días secos consecutivos (Consecutive dry days)
CE	coeficiente de escurrimiento adimensional
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CLICOM	CLima COMputarizado
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CSDI	Indicador de la duración de periodos fríos (Cold spell duration indicator)
Cv-L	Coeficiente de variación por momentos - L
CWD	Días húmedos consecutivos (Consecutive wet days)
DG	Distribución Gumbel.
DG2	Distribución Gamma de dos parámetros.
DG3	Distribución Gamma de tres parámetros.
DGM	Distribución Gumbel Mixta.
DGVE	Distribución General de Valores Extremos.
DLN2	Distribución LogNormal de dos parámetros.
DLN3	Distribución LogNormal de tres parámetros.
DN	Distribución Normal.
DP3	Distribución LogPearson de tres parámetros.
DTR	Rango diurno de temperatura (Diurnal temperature range)
EEA	Error Estándar de Ajuste
ENSO	El Niño/Oscilación del Sur (El Niño/Southern Oscillation)
ETCCDI	Grupo de Expertos sobre Detección e Índices del Cambio Climático (Expert Team on Climate Change Detection and Indices)
EVPPRCP	Índice de evaporación potencial
EVPTOT	Evaporación total anual
FDo	Días de heladas (Frost days)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GSL	Duración de la estación de cultivo (Growing season Length)
h	Hora
Hp – d – Tr	Precipitación – duración – período de retorno
HT	altura total de la lluvia precipitada
i – d – Tr	Intensidad –duración – período de retorno
IDo	Días de hielo (Ice days)
IDW	Distancia Inversa Ponderada (Inverse Distance Weighted)
IEC	Índice de Eficiencia Cosechada
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change)
Km	Kilómetros
km2	Kilómetros cuadrados
LADIGS	Laboratorio de Agromapas Digitales
m	Metros
MDE	Modelo Digital de Elevación
mm	Milímetros
MO	momentos ordinarios
MPP	Momentos de Probabilidad Pesada
MV	Máxima Verosimilitud
OEIDRUS	Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PDO	Oscilación Decadal Pacífico (Pacific Decadal Oscillation)

<i>PRCPTOT</i>	<i>Precipitación total anual en los días húmedos (Annual total wet-day precipitation)</i>
<i>R00</i>	<i>Días sin lluvia</i>
<i>R005</i>	<i>Lluvia ligera</i>
<i>R10</i>	<i>Número de días con precipitación intensa (Number of heavy precipitation days)</i>
<i>R20</i>	<i>Número de días con precipitación muy intensa (Number of very heavy precipitation days)</i>
<i>R2070</i>	<i>Lluvia fuerte</i>
<i>R520</i>	<i>Lluvia moderada</i>
<i>R70150</i>	<i>Lluvia intensa</i>
<i>R95p</i>	<i>Días muy húmedos (Very wet days)</i>
<i>R99p</i>	<i>Días extremadamente secos (Extremely wet days)</i>
<i>Rm150</i>	<i>Lluvia torrencial</i>
<i>Rnn</i>	<i>Número de días sobre nn mm (Number of days above nmm)</i>
<i>RX10day</i>	<i>Máximo de lluvia en 10 días</i>
<i>RX1day</i>	<i>Máximo de lluvia en un día (Max 1-day precipitation amount)</i>
<i>RX2day</i>	<i>Máximo de lluvia en 2 días</i>
<i>RX3day</i>	<i>Máximo de lluvia en 3 días</i>
<i>RX4day</i>	<i>Máximo de lluvia en 4 días</i>
<i>Rx5day</i>	<i>Max 5-day amount (Max 5 – day precipitation amount)</i>
<i>RX6day</i>	<i>Máximo de lluvia en 6 días</i>
<i>RX7day</i>	<i>Máximo de lluvia en 7 días</i>
<i>RX8day</i>	<i>Máximo de lluvia en 8 días</i>
<i>RX9day</i>	<i>Máximo de lluvia en 9 días</i>
<i>S</i>	<i>Sumatoria de incrementos y decrementos en la prueba Mann - Kendall</i>
<i>SDII</i>	<i>Índice simple de intensidad diaria (Simple daily intensity index)</i>
<i>SMN</i>	<i>Servicio Meteorológico Nacional</i>
<i>SU25</i>	<i>Días de verano (Summer days)</i>
<i>TB</i>	<i>Tiempo base del hidrograma</i>
<i>TN10p</i>	<i>Noches frías (Cool nights)</i>
<i>TN90p</i>	<i>Noches calientes (Warm nights)</i>
<i>TNn</i>	<i>Mínima temperatura mínima</i>
<i>TNx</i>	<i>Máxima temperatura mínima</i>
<i>TP</i>	<i>Tiempo de pico del hietograma</i>
<i>TR20</i>	<i>Noches tropicales (Tropical nights)</i>
<i>TT</i>	<i>Tiempo de duración de la creciente</i>
<i>TX10p</i>	<i>Días fríos (Cool days)</i>
<i>TX90p</i>	<i>Días calientes (Warm days)</i>
<i>TXn</i>	<i>Mínima temperatura máxima</i>
<i>TXx</i>	<i>Máxima temperatura máxima</i>
<i>UNAM</i>	<i>Universidad Nacional Autónoma de México</i>
<i>UTM</i>	<i>Universal Transversa Mercator</i>
<i>WSDI</i>	<i>Indicador de la duración de periodos calientes (Warm spell duration indicator)</i>
F_t	<i>Relación de varianzas en la prueba de Fisher</i>
Hp_{1h}	<i>Lluvia máxima en una hora</i>
Hp_{24h}	<i>Lluvia máxima en 24 horas</i>
$Hp_{1hora}^{Tr=2}$	<i>Precipitación en una hora y período de retorno de dos años</i>
$Hp_{24horas}^{Tr=2}$	<i>Precipitación en 24 horas y período de retorno de dos años</i>
L_{CP}	<i>Longitud del cauce principal en metros</i>
N_s	<i>Número de secuencias en la prueba de Helmer</i>
N_c	<i>Número de cambios en la prueba de Helmer</i>
r_k	<i>Coefficiente de correlación</i>

R	<i>Relación entre la lluvia de una y 24 horas</i>
RR	<i>Factor de proporción entre el tiempo de tormenta y el tiempo base de un hidrograma</i>
R_{sp}	<i>Coefficiente de correlación de Spearman</i>
S_{CP}	<i>Pendiente del cauce principal, adimensional</i>
t_c	<i>Tiempo de concentración</i>
t_d	<i>Estadístico de la prueba t-Student</i>
t_w	<i>Estadístico de prueba del Test de Cramer</i>
$\hat{z}(x_0)$	<i>Valor estimado en un sitio no muestreado en la ubicación x_0, $\beta(x_i)$</i>
$z(x_0)$	<i>Valor observado en la ubicación x_i</i>
Z	<i>Desnivel entre el sitio más alejado y la salida en donde se pretende definir el hidrograma</i>

Introducción

El clima cambia de manera constante y su impacto se refleja en forma positiva o negativa en la naturaleza y la sociedad. Los cambios en el clima propician condiciones que el hombre no está acostumbrado a tratar, lo que conlleva a nuevas situaciones de riesgo.

El cambio climático es un proceso de la naturaleza que ha ocurrido durante millones de años, sin embargo, estamos viviendo solo una faceta de ese cambio manifestado como calentamiento global el cual se refleja en el incremento de la temperatura promedio del planeta de alrededor de 1°C respecto a los valores observados en 1850.

En el Cuarto reporte de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Meehl et al., 2007) concluyen que el calentamiento del planeta es un fenómeno inequívoco y aseguran de que existe un 90% de confianza de que el calentamiento global del siglo XX es debido al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero derivados de actividades humanas.

Sin embargo, los estudios de calentamiento global es un análisis que procede del promedio de las condiciones de temperatura en la superficie terrestre. La detección del calentamiento global sólo es posible efectuarse en áreas geográficas muy extensas (hemisféricas o continentales), de modo que las condiciones locales pueden diferir de la tendencia global.

Los cambios en los eventos extremos serán algunos de los mayores efectos del cambio climático, aunque su impacto en diversas regiones y localidades del país es aún incierto (Vázquez, 2010). Es importante aclarar que algunos cambios en el clima se deben a procesos naturales de interacción océano – atmósfera periódicos, como El Niño – Oscilación del Sur (ENSO), o la ocurrencia de oscilaciones en escala de décadas, como la Decadal Pacífico (PDO) y la Multidecadal Atlántico (AMO). Por lo tanto, se debe ser cauteloso al concluir cualquier relación entre eventos extremos y el calentamiento global, ya que dichos fenómenos son ocasionados por una cantidad variada de factores, y resulta complicado adjudicar el cambio a alguno en particular.

Especialmente el estado de Guerrero ha padecido los estragos de eventos extremos en la modalidad de sequías y huracanes. En el período de 1988 – 1994 (Escalante y Reyes, 1998) el estado de Guerrero se ubicó dentro de los 10 estados más afectados por sequía en el sector agrícola, ganadero y forestal. En la Tabla A, se indican las hectáreas dañadas y cabezas de ganado pérdidas por tal fenómeno.

Tabla A. Estados más afectados por sequía durante el período 1988 – 1994 (Escalante y Reyes, 1998)

Agricultura			Ganadería			Forestal	
Estado	Hectáreas dañadas		Estado	Cabezas de ganado		Estado	Hectáreas dañadas
Chihuahua	857,778		Chihuahua	100,070		Chihuahua	59,561
México	556,059		Sinaloa	35,559		México	51,363
Zacatecas	530,752		Baja California Sur	34,980		Durango	125,998
Oaxaca	522,496		Sonora	32,985		Jalisco	63,140
Durango	482,581		Coahuila	28,796		Guerrero	82,620
Guanajuato	470,164		Zacatecas	19,088		Chiapas	117,237
Jalisco	249,093		San Luis Potosí	14,840		Quintana Roo	153,411
Puebla	207,740		Hidalgo	10,431		Coahuila	171,681
Guerrero	204,427		Nuevo León	8,560		Michoacán	60,853
Tamaulipas	141,322		Veracruz	7,129		Distrito Federal	11,099
Total	4,222,412		Total	292,438		Total	896,963

Precisamente en el período de años 1988 – 1994 se presenta un descenso en las superficies sembradas y cosechadas en el estado de Guerrero. En la Figura A, se muestra la evolución agrícola en el período 1980 - 2009, información proporcionada al público por la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (OEIDRUS) del estado de Guerrero, de superficies sembradas y cosechadas por ciclo agrícola (otoño – invierno [OI], primavera – verano [PV]) y de cultivos perennes a nivel estatal; de igual forma se muestra un índice de eficiencia cosechada (IEC) que indica el porcentaje de hectáreas cosechadas con referencia a la superficie sembrada (Escalante y Reyes, 2005).

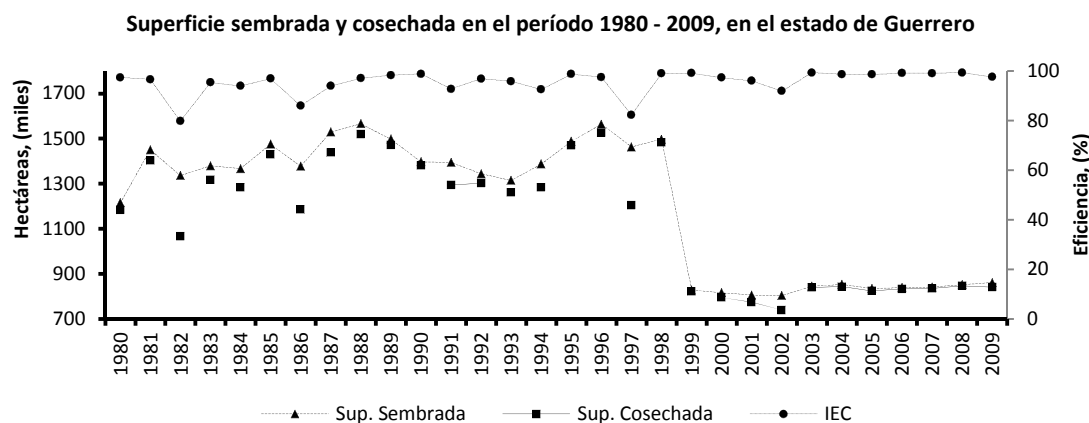


Figura A. Variación de superficie sembrada y cosechada para el año agrícola (OI + PV) y cultivos perennes en el período 1980 – 2009, en el estado de Guerrero.

En la Figura A., se observa una reducción considerable de superficie sembrada y cosechada a partir del año 1999, sin embargo el IEC mejora sustancialmente. Magaña y Morales (1999) refieren que los procesos productivos agropecuarios y forestales, tienen estrecha relación con los cambios del clima. Hoy en día, los agricultores presencian anomalías climáticas más intensas que los experimentados años atrás. Se observa el abandono de tierras cultivables, principalmente a los escasos rendimientos que se obtienen debido a la variabilidad pluvial de los últimos años (Romero, 2003). Posiblemente el descenso de superficie sembrada a partir del año 1999 se deba a nuevos requerimientos de producción, como el empleo de sistemas de riego tecnificado y semillas mejoradas que no son accesibles al común agricultor; este hecho explicaría el alto IEC en ese período y las pocas hectáreas sembradas.

Por otro lado, las inundaciones han afectado seriamente los principales centros de población. Estos fenómenos se agravan con el asentamiento de nuevas zonas urbanas, generalmente precarias, en las márgenes de los ríos que cruzan las ciudades costeras.

Las inundaciones se asocian generalmente al arribo de ciclones tropicales del Pacífico Oriental (PO) originados en las aguas cálidas adyacentes al litoral mexicano que posteriormente avanzan hacia aguas más frías.

En el período 1921 – 1996, varios huracanes tocaron la costa de Acapulco, Guerrero, en el océano Pacífico, entre ellos el ciclón No. 6, del 21 al 23 de septiembre de 1921; el ciclón No. 4 del 20 al 26 de agosto de 1935; Tara del 10 al 11 de noviembre de 1961; Wally del 17 al 18 de junio de 1965; Berenice del 22 al 23 y Claudia del 26 al 30 de junio, ambos en 1973. Entre las principales consecuencias destacan pérdidas humanas y económicas; como Tara, que originó la muerte de 400 personas en la zona de Técpan de Galeana, Guerrero, produjo el desbordamiento del río Camarón, inundaciones en La Sabana, Tres Palos y la costera Miguel Alemán, en Acapulco, y causó daños económicos considerables

El huracán Paulina causó desastres en el Puerto de Acapulco del 5 al 10 de octubre de 1997 y se considera el segundo de mayor impacto en el estado de Guerrero (Lugo e Inbar, 2002) después de Madeline, ocurrido entre septiembre y octubre de 1976, y el segundo huracán más destructivo en la historia de México, después de Gilbert registrado en septiembre de 1988, en la costa del Atlántico, considerando la cuenca hidrográfica como unidad de impacto de Ciclones Tropicales (CT), reportaron que la tormenta tropical Irwin, ocurrida el 28 de agosto de 1981, fue el meteoro de mayor impacto hidrológico en la cuenca del río La Sabana. En la Tabla B, se exponen otros huracanes y tormentas tropicales que han golpeado el estado de Guerrero.

Tabla B. Tormentas tropicales y huracanes que han afectado el estado de Guerrero

Año	Océano	Nombre	Categoría	Estados afectados	Periodo (Inicio – Fin)
1971	Pacífico	Agatha	H1	Mich, Gro	21 – 25 May
1971	Pacífico	Bridget	TT	Oax, Gro, Mich, Col, Jal	14 – 20 Jun
1973	Pacífico	Berenice	TT	Gro	22 – 23 Jun
1973	Pacífico	Claudia	TT	Gro, Mor	26 – 30 Jun
1974	Pacífico	Norma	TT	Gro	9 – 10 Sep
1974	Pacífico	Fifi	TT	Chis, Oax, Gro, Mich	14 – 22 Sep
1976	Pacífico	Madeline	H4	Gro	29 Sep – 8 Oct
1978	Pacífico	Aletta	TT	Gro, Mich	30 May – 1 Jun
1984	Pacífico	Odile	TT	Mich, Gro	17 – 22 Sep
1989	Pacífico	Cosme	H1	Gro, Mor, Mex, DF, Hgo, SLP, Tam	18-23 Jun
1991	Pacífico	Ignacio	TT	Mich, Col, Gro	16 – 18 Sep
1996	Pacífico	Cristina	TT	Oax, Gro, Chis, Tab	1-4 Jul
1996	Pacífico	Boris	H1	Gro, Mich, Jal, Nay	28 Jun-1 Jul
1996	Pacífico	Alma	H2	Gro, Mich, Jal, Col	20-27 Jun
1997	Pacífico	Paulinne	H3	Oax, Gro	5-10 Oct
1999	Pacífico	Greg	H1	Gro, Col, Mich, Jal, Sin, BCS, Son	5-9 Sep
2004	Pacífico	Lester	TT	Gro, Oax.	11-13 Oct
2005	Pacífico	Dora	TT	Gro, Mich, Colima y Jalisco	3-6 julio
2008	Pacífico	Odile	TT	Gro, Mich, Col	8 – 12 oct

NOTA: TT Tormenta Tropical. H1-5 Se refiere a la intensidad al momento de impacto en tierra en México, no a la intensidad del ciclón tropical en mar.

Fuente: Datos de 1970 a 2008. Pronóstico Meteorológico, Sistema Meteorológico Nacional. Página Web: <http://smn.cna.gob.mx/ciclones/historia/ciclones1970-2008.pdf>

La reducción de los daños causados por eventos extremos puede afrontarse con un manejo integrado de cuencas hidrológicas; tal vez no garantice el control total de los efectos no deseados de los fenómenos naturales, pero puede contribuir a mitigarlos. Un manejo integrado de cuencas deberá ser capaz de revertir los procesos de degradación como: erosión, deforestación, pérdida de suelo, contaminación del agua, contaminación del suelo; atenuar los riesgos ante: inundaciones, sequías y deslizamientos; preservar regular el régimen hidrológico y los recursos hídricos.

El estudio integral para el manejo de cuencas hidrológicas es la aplicación de principios y métodos para el uso racional e integrado de los recursos naturales de la cuenca, fundamentalmente el agua, suelo y vegetación, para lograr una producción óptima y sostenida de estos recursos con el mínimo deterioro ambiental para mejorar las condiciones socioeconómicas de los usuarios y de las poblaciones vinculadas.

Últimamente se atribuye cualquier desastre natural al calentamiento global que sufre el planeta, por lo que se han desarrollado diversos trabajos sobre cambio climático y calentamiento global que abarcan desde la climatología hasta escenarios climáticos futuros.

En México, la Coordinación del Programa de Cambio Climático del Instituto Nacional de Ecología (INE) tiene como misión impulsar las investigaciones sobre cambio climático. Para ello, ha conjuntado información sobre cada estado y para algunos sectores socioeconómicos del país, en donde incluyen datos sobre amenazas climáticas, vulnerabilidad y proyecciones de riesgo climático. De igual forma, sugieren algunas acciones de adaptación al Cambio climático para diversos sectores.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) a través del Laboratorio de Agromapas Digitales (LADIGS), ha elaborado estudios de información climática orientado al desarrollo agrícola, pecuario y forestal; contiene información normalizada mensual y decenal de 13 parámetros climatológicos: temperatura máxima media, temperatura máxima maximorum, temperatura mínima media, temperatura mínima minimorum, temperatura media, oscilación térmica, temperatura nocturna, temperatura diurna, fotoperíodo, precipitación pluvial acumulada promedio, lluvia máxima en 24 horas, días con lluvia y evaporación.

Mientras tanto, debido a la gran la demanda de resúmenes climáticos actualizados, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), a cargo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), decidió elaborar las normales climatológicas provisionales del período 1971-2000. Entre las variables analizadas se encuentran: temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media, precipitación, evaporación, número de días con lluvia, niebla, granizo y tormentas.

En este trabajo se explica y calcula las tendencias climáticas en el estado de Guerrero en el período 1961 – 2007, mediante el seguimiento de un conjunto de indicadores climáticos definidos a escala internacional, lo que permite comparar los resultados obtenidos en nuestro territorio con los obtenidos en otras zonas del planeta.

Los indicadores climáticos empleados se basan en las variables de temperatura y precipitación siguiendo la metodología propuesta por el Grupo de Expertos sobre Detección e Índices del Cambio Climático (Peterson, 2005).

Además, debido a los problemas presentes en el área de estudio, expuestos anteriormente, se presenta el análisis de tendencia de la variable evaporación, cambio de uso de suelo y vegetación entre los años 1976 – 2000.

Finalmente se analiza la tendencia de dichas variables climatológicas y su incidencia en las obras hidráulicas mediante la aplicación de curvas intensidad – duración – período de retorno; por tal razón se incorpora el factor de la cobertura vegetal para determinar hidrogramas de salida en una cuenca en particular, lo que conlleva a la comparación de eventos hidrológicos dadas las condiciones de los años 1976 y 2000, años clave en el estado de Guerrero dada la alta tasa de deforestación que lo ubican en el quinto estado con mayor pérdida de recurso forestal por año (Céspedes et al, 2010).

Objetivo General

Determinar la tendencia de las variables climatológicas de: precipitación máxima en 24 horas, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media y evaporación; así como calcular las curvas intensidad – duración – período de retorno en el estado de Guerrero para el período 1961 – 2007.

Objetivo Específico

Analizar la variación climatológica en el estado de Guerrero y determinar posibles repercusiones en el diseño de obras hidráulicas en la entidad federativa.

1. Cambio climático

El calentamiento global observado en décadas recientes es una de las evidencias de un importante cambio climático que está ocurriendo en la actualidad, cuyas causas han sido atribuidas a las actividades humanas, en particular al incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2007).

El cambio del clima es un concepto que puede prestarse a ambigüedades en su uso y que está muy ligado al estado del tiempo. El estado del tiempo (tiempo meteorológico, temperie o simplemente tiempo) se refiere a una situación instantánea de la atmósfera, o bien, al estado atmosférico y los procesos relacionados, en un intervalo relativamente corto, desde algunos minutos hasta varios días; por otro lado, el clima se refiere a las condiciones observadas en períodos lo suficientemente largos para determinar el comportamiento estadístico del estado del tiempo (Ortiz-Espejel, et al, 2010)

Esta acepción de clima resulta clave para entender posteriormente el concepto de cambio climático, ya que la caracterización del clima requiere de al menos 30 años de período, tal como lo indica la Organización Meteorológica Mundial (OMM); ejemplo de ello es la importancia de los períodos 1961 – 1990 y 1971 – 2000, ya que han sido utilizados últimamente como referencia del clima observado en décadas recientes.

Dos definiciones del término “cambio climático” son mayormente utilizadas en las comunidades científica y operacional. La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) define el cambio climático como:

“un cambio en el clima que es atribuible directa o indirectamente a las actividades humanas, que altera la composición de la atmósfera planetaria y que se observa en períodos de tiempo comparables, en forma adicional a la variabilidad climática natural”.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) por otro lado, define el cambio climático como:

“cualquier cambio en el clima producido durante el transcurso del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o a la actividad humana”.

La diferencia de las definiciones anteriores estriba en el factor responsable de dicho cambio. Para efectos de este trabajo se manejará la definición propuesta por el IPCC debido a que solo se estudiará el cambio de tendencia en las variables climatológicas, prescindiendo de las posibles causas.

1.1. Detección y atribución del cambio climático

Los cambios en el sistema climático a través del tiempo pueden deberse ya sea a variaciones en la dinámica interna del sistema, o bien a la presencia de forzamientos externos. La dinámica interna es el resultado de los procesos de interacción entre las diversas componentes del sistema climático (atmósfera, océanos y continentes); los forzamientos externos, por otra parte, pueden ser de origen natural (variaciones en la actividad solar o en la actividad volcánica) o de origen humano (aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, cambios en el uso del suelo).

Hablar de detección del cambio climático implica demostrar, generalmente en términos estadísticos, que el clima ha cambiado con algún nivel de significancia en un intervalo de tiempo determinado (IDAG, 2005). En la 'detección' del cambio climático se demuestra que existe evidencia de cambios en el clima a través del tiempo, pero no se da explicación alguna sobre el origen de dichos cambios. La acción de explicar y demostrar las causas de los cambios en el clima se conoce como atribución del cambio climático, y consiste en establecer, con un nivel de confianza dado, el origen más probable de un cambio detectado en el clima. (IDAG, 2005).

En la actualidad se trabaja en explicar el cambio en el clima en escalas más pequeñas como el tamaño de ciudades o cuencas. En estas escalas surgen otros factores que modifican el clima regional o local como es el crecimiento urbano y la presencia de islas de calor. En escalas pequeñas de evaluación surge el problema de asociar los cambios en el clima a un proceso de calentamiento global en el planeta o a procesos netamente locales.

1.2. Escenarios de cambio climático en México

Los escenarios de cambio climático no pueden proveer información del mismo tipo que los pronósticos, pues dependerán en gran medida de las decisiones que tome la humanidad en lo referente a la emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI). Sin embargo, al igual que los pronósticos estacionales del clima, la convergencia o divergencia de las simulaciones nos da una medida de confianza o incertidumbre en las proyecciones (Zermeño, 2008)

El IPCC en su cuarto informe de evaluación desarrolla varios modelos de predicción climática proyectada en 100 años; sin embargo la incertidumbre asociada a los resultados de cada modelo provoca divergencia en los resultados obtenidos a largo plazo. Aunado a la modelación matemática, compleja desde su concepción, se requiere el entendimiento de los procesos físicos que generan los cambios calculados, lo cual conlleva a una disminución de la incertidumbre propia de cada escenario.

Una predicción climática es el resultado de un intento de obtener una estimación de la evolución real del clima en el futuro, por ejemplo a escalas de tiempo estacionales, interanuales o más prolongadas. Como la evolución futura del sistema climático puede ser muy sensible a las condiciones iniciales, estas predicciones suelen ser probabilísticas (IPCC, 2007).

Algunas de las repercusiones del cambio climático en México se exponen en el reporte de la cuarta evaluación de cambio climático (AR4, Fourth Assessment Report) elaborado por el Grupo de Trabajo No. 1. En el capítulo "Global Climate Projections" se muestran las alteraciones climáticas en los continentes; México se encuentra en el apartado de América Central correspondiente al cuadrante definido por las coordenadas 10N – 30N y 83W – 116W.

Existen numerosos casos que muestran las modificaciones en el clima de México, coherentes con las variaciones de baja frecuencia en el clima global. El calentamiento tiene en nuestro país una señal definida, sobre todo en la región noroeste. Usando datos de algunas estaciones se han identificado cambios en la actividad de ondas de calor, de tormentas intensas o de períodos secos en diversas partes

El elemento climático de mayor importancia en nuestras actividades socioeconómicas es la lluvia, y la disponibilidad de agua (Magaña, et al., 2004). Sin embargo, la variable de precipitación es compleja de pronosticar. El aumento o disminución de tendencia de las variables podría afectar o beneficiar determinadas zonas, por lo que el análisis de cambio climático debe involucrarse con otras variables como crecimiento demográfico e industrial.

a) Escenarios de temperatura

Las proyecciones para México bajo cualquier escenario de emisiones indican un incremento de temperatura superficial del mismo modo que con el patrón a escala global, hacia latitudes más altas y sobre regiones continentales.

Los escenarios de temperatura del IPCC, en el AR4 se realizan en base a la climatología del período 1980 – 1999 proyectada para el período 2080 – 2099. Existe un incremento de temperatura en la región de América Central que varía de 1.8 – 5 °C con una media ponderada de 3.2°C. Los períodos estacionales tendrán una variación distinta: el período de invierno (diciembre, enero y febrero) aumentará de 1.4 – 4.6 °C, primavera (marzo, abril, mayo) aumentará de 1.9 – 5.2°C, verano (junio, julio, agosto) aumentará de 1.8 – 5.5°C, otoño (septiembre, octubre y noviembre) aumentará de 2.0 a 4.6 °C. Tales indicadores de temperatura servirán para comparar los resultados de tendencia obtenidos para el estado de Guerrero. En la Figura 1.1., se observa la variación de temperatura anual y para los períodos verano e invierno.

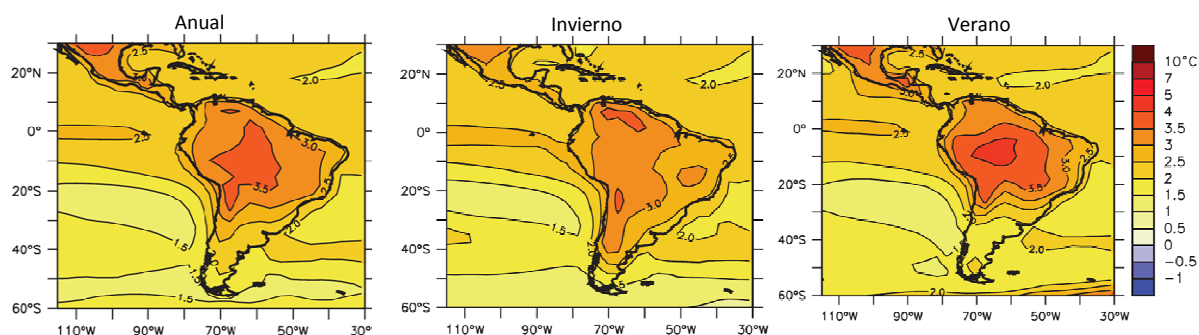


Figura 1.1. Cambio de temperatura a nivel anual y estacional (invierno y verano) entre el clima del período 1980 – 1999 y 2080 – 2099.

Fuente: Christensen, J.H., Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007*

b) Escenarios de precipitación

Las tendencias de las últimas décadas muestran que en la mayor parte de México existe una tendencia a mayor precipitación en la zona Noroeste, mientras que en los estados donde la lluvia depende de lo que ocurre en el Pacífico mexicano parece haber una tendencia a decrecer en la precipitación.

La precipitación media del área de América Central se reduce en todas las estaciones. Solo en algunas partes del noreste de México y sobre el Pacífico Oriental se prevé un aumento de la precipitación en verano. Sin embargo, como las tormentas tropicales pueden contribuir significativamente en la precipitación, esta conclusión puede ser modificada ya que la presencia de huracanes no está plenamente desarrollada en estos modelos (Christensen, et al., 2007). En la Figura 1.2., se muestra los cambios de precipitación para el período 2080 – 2099 respecto al período 1980 – 1999.

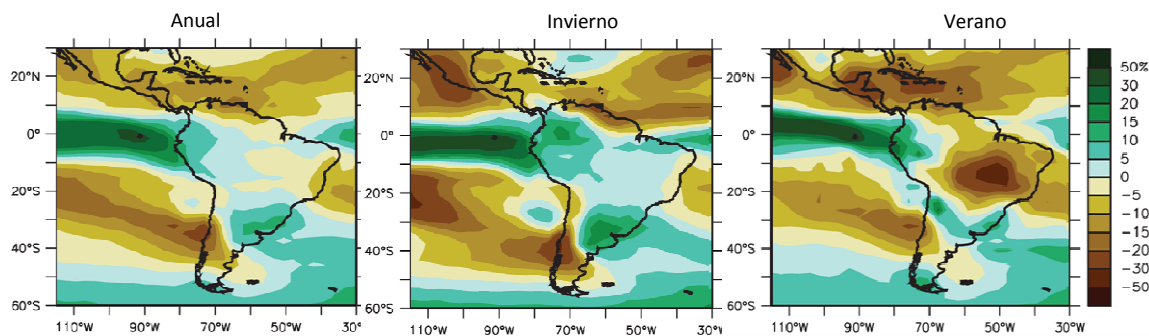


Figura 1.2. Cambio de precipitación a nivel anual y estacional (invierno y verano) entre el clima del período 1980 – 1999 y 2080 – 2099.

Fuente: Christensen, J.H., Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007*)

Para el periodo de invierno se estima una disminución promedio de la precipitación de 14%; en primavera se estima una disminución promedio de precipitación del 16%; en verano los cálculos indican descenso de precipitación en promedio de 9%; en otoño se prevé disminución de precipitación en 4%; por último la variación anual en esta región se calcula en disminución de la precipitación en 9%. Es importante aclarar que existe una amplia incertidumbre en estos valores, en donde las visiones extremas valúan una disminución de la precipitación de hasta un 48% anual, que convertiría esta región en una de las zonas de mayor impacto por cambio climático.

c) Relación clima – vegetación

Existen estudios que demuestran que la deforestación afecta el ciclo hidrológico al modificar la evaporación, la humedad en el suelo y los efectos que los árboles ejercen sobre los vientos (Sud et. al 1996).

En México, los procesos productivos agropecuarios y forestales, así como los de desarrollo urbano, tienen una estrecha relación con los cambios del clima. La transformación de los paisajes (mediante el cambio de uso de suelo y vegetación) y la contaminación han llegado a modificar el ciclo hidrológico, al cambiar la captación y retención de humedad en la superficie.

El análisis de la relación física entre el tipo de vegetación, modificación en la temperatura y precipitación requiere de modelos atmosféricos complejos fuera del alcance de este estudio. El análisis de la cobertura vegetal con los patrones hidrológicos se realizará en base a los mapas temáticos de vegetación y uso de suelo elaborados por el Instituto Nacional de Ecología (INE) en colaboración con el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) para el año 1976, el cual contiene una clasificación homóloga comparable con la correspondiente al año 2000. En el Anexo 1 se muestran los mapas proporcionados por el INE.

1.3. Datos instrumentales del clima

El análisis de las variaciones climáticas en escalas espaciales implica un mayor nivel de detalle en las observaciones. El cambio del clima en una localidad particular no necesariamente será idéntico al del promedio de toda la Tierra. De allí la importancia de analizar los datos climáticos locales con el fin de comprender el posible impacto del calentamiento planetario en regiones específicas.

En México las observaciones instrumentales del clima se encuentran disponibles en varias bases de datos, aunque en la mayoría de ellas aún se requiere implementar un estricto proceso de control de calidad. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) tiene la misión de administrar la base de datos nacional oficial del clima en México y es de carácter público. Específicamente, los datos de la red de estaciones climatológicas convencionales administrados en el sistema CLIMA COMputarizado (CLICOM) son la fuente de información climática con las dos características requeridas para el estudio del clima en la escala de las entidades federativas: un periodo de registro largo (por lo menos cuatro o cinco décadas continuas) y cobertura geográfica suficientemente densa.

La base de datos manejada por el CLICOM consta de archivos separados por entidad federativa del país. Cada archivo de datos contiene información diaria de 13 elementos meteorológicos, los cuales se muestran en la Tabla 1.1.

El período de registro empleado en cada una de las variables analizadas es de 1961 a 2007, período de 47 años suficiente para el análisis estadístico de las series de datos.

Tabla 1.1. Código de los elementos meteorológicos contenidos en la base de datos CLICOM

Código	Nombre	Unidad
001	Temperatura diaria observada a las 8:00 am	°C
002	Temperatura máxima diaria	°C
003	Temperatura mínima diaria	°C
005	Precipitación diaria	mm
018	Evaporación diaria	mm
030	Días con tormenta	0 (no hay), 1 (si hay)
031	Días con granizo	0 (no hay), 1 (si hay)
032	Días con niebla	0 (no hay), 1 (si hay)
043	Cobertura nublosa	0 (despejado) 1(medio nublado) 2(nublado)
049	Capa de nieve	Cm
056	Velocidad de viento promedio	m/s
059	Dirección de la racha	Décimas de grado
091	Días con helada	0(no hay), 1(si hay)

2. Índices de cambio climático

Diversos grupos de investigación han definido diferentes índices para propósitos particulares. Sin embargo cada índice podría tener diferentes significados dependiendo del contexto en que fue propuesto. Esta metodología de evaluar cambios en el clima resulta obsoleta para contrastar resultados con otros sitios del mundo

2.1. Índices de cambio climático del ETCCDI

El Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI) formado conjuntamente por la OMM, el proyecto de variabilidad climática (CLIVAR) y la Comisión Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM), ha propuesto un conjunto de índices de cambio climático útiles en la detección y el monitoreo de cambios en los extremos del clima (Peterson, 2005). Los índices son calculados a partir de las series de datos observados de temperatura y precipitación en el período comprendido de 1961 a 2007. Los índices del ETCCDI proveen una base teórica común de modo que pueden ser calculados consistentemente en diferentes regiones del planeta para luego comparar o integrar los resultados de diversas regiones. La Tabla 2.1., muestra los índices del ETCCDI y su descripción.

Tabla 2.1. Índices climáticos definidos por el ETCCDI, donde TN es la temperatura mínima, TX la temperatura máxima, TG la temperatura media y PRCP la precipitación máxima en 24 horas.

ID	Nombre del Indicador	Definición	UNIDAD
FDo	Frost days (Días de heladas)	Número de días en un año cuando $TN < 0^{\circ}C$	Días
SU25	Summer days (Días de verano)	Número de días en un año cuando $TX > 25^{\circ}C$	Días
IDo	Ice days (Días de hielo)	Número de días en un año cuando $TX < 0^{\circ}C$	Días
TR20	Tropical nights (Noches tropicales)	Número de días en un año cuando $TN > 20^{\circ}C$	Días
GSL	Growing season Length (Duración de la estación de cultivo)	Anual (1st Ene a 31st Dic en HN, 1st Julio a 30th Junio en HS) cuenta entre el primer periodo de por lo menos 6 días con $TG > 5^{\circ}C$ y primer periodo después de Julio 1 (Enero 1 en HS) de 6 días con $TG < 5^{\circ}C$	Días
TXx	Max Tmax	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	$^{\circ}C$
TNx	Max Tmin	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	$^{\circ}C$
TXn	Min Tmax	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	$^{\circ}C$
TNn	Min Tmin	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	$^{\circ}C$
TN10p	Cool nights (Noches frías)	Porcentaje de días cuando $TN < 10^{\text{th}}$ percentil	%
TX10p	Cool days (Días fríos)	Porcentaje de días cuando $TX < 10^{\text{th}}$ percentil	%
TN90p	Warm nights (Noches calientes)	Porcentaje de días cuando $TN > 90^{\text{th}}$ percentil	%

TX90p	Warm days (Días calientes)	Porcentaje de días cuando TX>90th percentil	%
WSDI	Warm spell duration indicator (Indicador de la duración de periodos calientes)	Número de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TX>90th percentil	Días
CSDI	Cold spell duration indicator (Indicador de la duración de periodos fríos)	Número de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TN<10th percentil	Días
DTR	Diurnal temperature range (rango diurno de temperatura)	Diferencia media mensual entre TX y TN	°C
RX1day	Max 1-day precipitation amount (Máximo de PRCP en un día)	Máximo anual de PRCP registrada en 1 día	mm
Rx5day	Max 5-day amount (Máximo de PRCP en 5 días)	Máximo anual de la PRCP registrada en 5 días consecutivos	mm
SDII	Simple daily intensity index (Índice simple de intensidad diaria)	Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (definidos por PRCP>=1.0mm) en un año	mm/día
R10	Number of heavy precipitation days (Número de días con precipitación intensa)	Número de días en un año en que PRCP>=10mm	Días
R20	Number of very heavy precipitation days (Número de días con precipitación muy intensa)	Número de días en un año en que PRCP>=20mm	Días
Rnn	Number of days above nmm (Número de días sobre nn mm)	Número de días en un año en que PRCP>=nn mm, nn es un parámetro definido por el usuario	Días
CDD	Consecutive dry days (Días secos consecutivos)	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	Días
CWD	Consecutive wet days (Días húmedos consecutivos)	Número máximo de días consecutivos con RR>=1mm	Días
R95p	Very wet days (Días muy húmedos)	Precipitación anual total en que RR>95 percentil	mm
R99p	Extremely wet days (Días extremadamente secos)	Precipitación anual total en que RR>99 percentil	mm
PRCPTOT	Annual total wet-day precipitation (Precipitación total anual en los días húmedos)	Precipitación anual total en los días húmedos (RR>=1mm)	mm

A continuación se enlistan y definen los 27 índices básicos del ETCCDI de acuerdo con lo documentado en la página electrónica http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/list_27_indices.shtml

FDo. Días con helada (Frost Days).

Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j . Contar el número de días cuando:

$$Tn_{ij} < 0^{\circ}\text{C} \quad (2.1)$$

SU25. Días de verano (Summer days)

Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j . Contar el número de días cuando:

$$Tx_{ij} > 25^{\circ}\text{C} \quad (2.2)$$

IDo. Días con hielo (Icing Days)

Sea $T_{x_{ij}}$ la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j . Contar el número de días cuando:

$$T_{x_{ij}} < 0^{\circ}\text{C} \quad (2.3)$$

TR20. Noches tropicales (Tropical nights)

Sea $T_{n_{ij}}$ la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j . Contar el número de días cuando:

$$T_{n_{ij}} > 20^{\circ}\text{C} \quad (2.4)$$

GSL. Estación de crecimiento (Growing Season Length)

Sea T_{ij} la temperatura media en el día i en el periodo j . Contar el número de días entre la primera ocurrencia de por lo menos 6 días consecutivos con $T_{ij} > 5^{\circ}\text{C}$, y la primera ocurrencia después de 1 Julio (1 Enero en Hemisferio Sur) de por lo menos 6 días consecutivos con: $T_{ij} < 5^{\circ}\text{C}$

La temperatura media puede obtenerse mediante la función 2.5, (Tejeda, 1991)

$$T_{med} = T_{\min} + y(T_{\max} - T_{\min}) \quad (2.5)$$

Donde y es una función que modela la temperatura con rápidos incrementos y decrementos lentos; a, b, c son parámetros que dependen de su posición geográfica y temporada en el año

$$\begin{aligned} y &= at^b \exp(ct) \\ a &= 0.096 \\ b &= 2.422 \\ c &= -0.339 \end{aligned} \quad (2.6)$$

TXx. Temperatura máxima extrema

Sea $T_{x_{kj}}$ la temperatura máxima diaria en el mes k , periodo j . La máxima temperatura máxima diaria cada mes es entonces:

$$TX_{x_{kj}} = \max(T_{x_{kj}}) \quad (2.7)$$

TNx. Temperatura mínima más alta

Sea $T_{n_{kj}}$ la temperatura mínima diaria en el mes k , periodo j . La máxima temperatura mínima diaria cada mes es entonces:

$$TN_{x_{kj}} = \max(T_{n_{kj}}) \quad (2.8)$$

TXn. Temperatura máxima más baja

Sea $T_{x_{kj}}$ la temperatura máxima diaria en el mes k , periodo j . La mínima temperatura máxima diaria cada mes es entonces:

$$TX_{n_{kj}} = \min(T_{x_{kj}}) \quad (2.9)$$

TNn. Temperatura mínima extrema

Sea Tn_{kj} la temperatura mínima diaria en el mes k , periodo j . La mínima temperatura mínima diaria en cada mes es entonces:

$$TNn_{kj} = \min(Tn_{kj}) \quad (2.10)$$

Tn10p. Frecuencia de noches frías

Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j y sea $Tn10p$ el día calendario del percentil 10 centrado en una ventana de 5-días. El porcentaje del tiempo es determinado, donde:

$$Tn_{ij} < Tn10p \quad (2.11)$$

Tx10p. Frecuencia de días frescos

Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j y sea $Tx10p$ el día calendario del percentil 10 centrado en una ventana de 5-días. El porcentaje del tiempo es determinado, donde:

$$Tx_{ij} < Tx10p \quad (2.12)$$

Tn90p. Frecuencia de noches cálidas

Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j y sea $Tn90p$ el día calendario del percentil 90 centrado en una ventana de 5-días. El porcentaje del tiempo es determinado, donde:

$$Tn_{ij} > Tn90p \quad (2.13)$$

Tx90p. Frecuencia de días calurosos

Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j y sea $Tx90p$ el día calendario del percentil 90 centrado en una ventana de 5-días. El porcentaje del tiempo es determinado, donde:

$$Tx_{ij} > Tx90p \quad (2.14)$$

WSDI. Duración de los períodos cálidos (Warm Spells Duration Index)

Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j y sea $Txen90$ el día calendario del percentil 90 centrado en una ventana de 5-días. Entonces el número de días por periodo es sumado donde, en intervalos de por lo menos 6 días consecutivos:

$$Tx_{ij} > Txen90 \quad (2.15)$$

CSDI. Duración de los períodos fríos (Cold Spells Duration Index)

Sea Tn_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j y sea $Txen10$ el día calendario del percentil 10 centrado en una ventana de 5-días. Entonces el número de días por periodo es sumado donde, en intervalos de por lo menos 6 días consecutivos:

$$Tn_{ij} < Txen10 \quad (2.16)$$

DTR. Rango diario de temperatura (Diurnal Temperature Range)

Sean Tx_{ij} y Tn_{ij} las temperaturas diarias máximas y mínimas respectivamente en el día i en el periodo j . Si I representa el número de días en j , entonces:

$$DTR = \frac{\sum_{i=1}^I (Tx_{ij} - Tn_{ij})}{I} \quad (2.17)$$

RX1day. Precipitación máxima en un día

Sea RR_{ij} el total diario de precipitación en el día i en el periodo j . Entonces los valores máximos de 1-día para el periodo j son:

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij}) \quad (2.18)$$

Rx5day. Precipitación máxima en cinco días

Sea RR_{kj} la cantidad de precipitación para el intervalo de cinco días terminando en k , periodo j . Entonces los valores máximos de 5-días para el periodo j son:

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj}) \quad (2.19)$$

SDII. Índice simple de intensidad diaria (Simple Daily Intensity Index)

Sea RR_{wj} la cantidad diaria de precipitación en días húmedos, $w(RR \geq 1mm)$ en el periodo j . Si w representa el número de días húmedos en j , entonces:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^w RR_{wj}}{W} \quad (2.20)$$

R10. Días con lluvia mayor a 10 mm

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j . Cuente el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq 10mm \quad (2.21)$$

R20. Días con lluvia mayor a 20 mm

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j . Cuente el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq 20mm \quad (2.22)$$

Rnn. Días con lluvia mayor a nn mm

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j . Si nn representa cualquier valor razonable de precipitación diaria entonces, cuente el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq nn \text{ mm} \quad (2.23)$$

CDD. Días secos consecutivos (Consecutive Dry Days)

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j . Contar el mayor número de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} < 1mm \quad (2.24)$$

CWD. Días húmedos consecutivos (Consecutive Wet Days)

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j . Contar el mayor número de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} \geq 1mm \quad (2.25)$$

R95pTOT. Días muy húmedos

Sea RR_{wj} la cantidad diaria de precipitación en un día húmedo $w(RR \geq 1mm)$ en el periodo j y sea $RR_{wn}95$ el percentil 95 de precipitación en los días húmedos en el periodo 1961-1990. Si w representa el número de días húmedos en el periodo, entonces:

$$R95p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \quad \text{donde} \quad RR_{wj} > RR_{wn}95 \quad (2.26)$$

R99p. Días extremadamente húmedos

Sea RR_{wj} la cantidad diaria de precipitación en un día húmedo $w(RR \geq 1mm)$ en el periodo j y sea $RR_{wn}99$ el percentil 99 de precipitación en los días húmedos en el periodo 1961-1990. Si w representa el número de días húmedos en el periodo, entonces:

$$R99p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \quad \text{donde} \quad RR_{wj} > RR_{wn}99 \quad (2.27)$$

PRCPTOT. Precipitación total

Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j . Si I representa el número de días en j , entonces

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij} \quad (2.28)$$

2.2. Índices de cambio climático propuestos

Como objeto de este trabajo se han propuesto una serie de índices basados en los umbrales propuestos por el ETCCDI. Como se observa en la Tabla 2.1., cada índice posee una nomenclatura acorde con su descripción.

El índice Rnn (días con lluvia mayor a nn mm) es adecuado para evaluar cambios en la precipitación, de acuerdo a la clasificación hecha por la CONAGUA y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2010). Dicha clasificación se muestra en la Tabla 2.2., y se le asigna un código siguiendo la pauta marcada por los índices del ETCCDI.

Tabla 2.2. Índices propuestos en función del tipo de precipitación establecidos por CONAGUA y CENAPRED

ID	Nombre del Indicador	Definición	UNIDAD
R00	Días sin lluvia	Número de días en un año con PRCP = 0 mm	Días
R005	Lluvia ligera	Número de días en un año con PRCP > 0.1 mm y PRCP ≤ 5 mm	Días
R520	Lluvia moderada	Número de días en un año con PRCP > 5 mm y PRCP ≤ 20 mm	Días
R2070	Lluvia fuerte	Número de días en un año con PRCP > 20 mm y PRCP ≤ 70 mm	Días
R70150	Lluvia intensa	Número de días en un año con PRCP > 70 mm y PRCP ≤ 150 mm	Días
Rm150	Lluvia torrencial	Número de días en un año con PRCP > 150 mm	Días

Además, se propusieron los índices mostrados en la Tabla 2.3., para determinar un posible aumento en trenes de lluvia de dos a diez días consecutivos; tales índices se calculan de forma similar a los índices RX1day y RX5day de la Tabla 2.1.

Tabla 2.3. Índices propuestos para analizar trenes de lluvias.

ID	Nombre del Indicador	Definición	UNIDAD
RX2day	Máximo de PRCP en 2 días	Máximo anual de la PRCP registrada en 2 días consecutivos	mm
RX3day	Máximo de PRCP en 3 días	Máximo anual de la PRCP registrada en 3 días consecutivos	mm
RX4day	Máximo de PRCP en 4 días	Máximo anual de la PRCP registrada en 4 días consecutivos	mm
RX6day	Máximo de PRCP en 6 días	Máximo anual de la PRCP registrada en 6 días consecutivos	mm
RX7day	Máximo de PRCP en 7 días	Máximo anual de la PRCP registrada en 7 días consecutivos	mm
RX8day	Máximo de PRCP en 8 días	Máximo anual de la PRCP registrada en 8 días consecutivos	mm
RX9day	Máximo de PRCP en 9 días	Máximo anual de la PRCP registrada en 9 días consecutivos	mm
RX10day	Máximo de PRCP en 10 días	Máximo anual de la PRCP registrada en 10 días consecutivos	mm

Respecto a la variable de evaporación se calcula la evaporación anual y la relación entre la evaporación anual con la precipitación anual. La nomenclatura empleada para estos índices se indica en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Índices de evaporación

ID	Nombre del Indicador	Definición	UNIDAD
EVPTOT	Evaporación total anual	Evaporación total anual	mm
EVPPRC	Índice de evaporación potencial	Evaporación total anual dividida entre la precipitación total anual	mm

2.3. Selección de datos

La base de datos CLICOM, presenta períodos de registro vacíos o estaciones con muy pocos datos. La evaluación de los índices descritos anteriormente requiere de registros en períodos comunes, para evitar realizar comparaciones y conjeturas en diferentes períodos y escalas de tiempo (OMM, 1994). Por lo tanto, se procedió a mejorar la cantidad de información deduciendo valores faltantes de algunas estaciones mediante técnicas de interpolación.

La técnica de interpolación empleada fue la de la distancia inversa ponderada (ver Anexo 2), la cual se aplicó a aquellas estaciones con longitud de registro mayor a 20 años y que no presentara una alta dispersión de registro de datos. Las pruebas aplicadas a los registros afectados por las técnicas de interpolación, para corroborar su correcta aplicación, se basaron en la comparación de los estadísticos muestrales antes y después del proceso de interpolación, así como pruebas de homogeneidad e independencia de las series creadas.

La OMM sugiere que las series empleadas para caracterizar el clima deberán tener un registro mayor a 30 años. Además, este período deberá ser uniforme en todas las estaciones analizadas y debe verificarse en cada una de las variables necesarias para calcular los índices: precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, ya que el número de datos disponibles puede cambiar de una variable a otra.

2.4. Análisis y control de calidad

Además de los registros faltantes, los datos pueden contener valores sospechosos que no cumplan con el comportamiento habitual de la variable seleccionada. En ocasiones, es posible que los valores sospechosos se deban a errores relacionados al proceso de medición (por ejemplo, recalibración,

reemplazo de los instrumentos o cambio de localización geográfica de la estación de medición). Sin embargo, algunos datos sospechosos pueden ser registros verídicos de la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos. Estas consideraciones adquieren suma importancia cuando las investigaciones en las que se utilizan los datos tienen por objetivo detectar las tendencias o cambio climático.

Entre los métodos empleados para el control de calidad se encuentran los siguientes:

a) *Verificación de errores lógicos*

Se verificó que la temperatura máxima no fuera menor que la mínima.

En la variable precipitación se verificó que no existan valores de lluvia menores de cero.

b) *Umbral de excedencia*

Se analizaron datos de precipitación mayores a 70 mm.

Precipitación acumulada anual menor o igual a 300 mm fueron objeto de estudio, dado que la zona presenta una precipitación media anual de 1100 mm.

c) *Comparación con fechas adyacentes*

La diferencia de temperatura entre un día y otro fue objeto de estudio, si la magnitud era superior a 2 desviaciones estándar del registro completo.

En la variable lluvia se analizaron aquellas diferencias de eventos entre un día y otro, si la magnitud del evento de un día duplica el valor del día anterior, siempre y cuando dichas magnitudes sobrepasen los 70 mm.

d) *Comparación con estaciones vecinas*

Puntos extraños determinados en los incisos a), b) y c) fueron verificados con registros de las estaciones vecinas en la misma fecha y con un día de variación

e) *Fuentes de información alternas*

Se recurrió a fuentes de información alterna para corroborar evidencia física que justifique los datos. En este caso se recurrió a fuentes en periódicos de circulación nacional y estatal, sin embargo, la búsqueda se limitó a medios electrónicos con información disponible desde el año 1995.

Además se acceso a registros de datos de tormentas tropicales y huracanes monitoreados por UNISYS (United Information Systems), accesible al público en la página electrónica <http://weather.unisys.com/hurricane/index.php>.

Esta página ofrece acceso a una gran cantidad de información sobre huracanes incluyendo gráficos de trayectoria de la tormenta, más una tabla de texto base de la información de seguimiento. El registro de huracanes en el Atlántico data desde el año 1851, mientras que en el Pacífico se tienen datos desde el año 1945.

2.5. Análisis de tendencias

La tendencia en variables climatológicas se define como la proporción del cambio que sufre la cantidad a lo largo del período, dividido por el valor inicial de la cantidad, y generalmente se expresa ya sea como un porcentaje o como una fracción (Tichy, 2001). Dicha relación de cambio puede presentar tres variantes: tendencia positiva, tendencia negativa y tendencia nula. Se considera tendencia positiva cuando existe un aumento de la cantidad en un período de tiempo; tendencia negativa implica una disminución de la cantidad, y tendencia nula se refiere al equilibrio que existe entre la disminución y aumento de una variable en un período determinado.

El hecho de encontrar o no tendencias significativas, es solamente un indicador del comportamiento reciente de las variables climáticas, a lo cual debe sumarse el contexto de la física del clima en la región de estudio (Jones y Lister 2009).

La evaluación de la tendencia en una serie de datos implica el estudio de las características estadísticas de las series, como la media, desviación estándar y los coeficientes de correlación serial. La presencia de tendencia negativa o positiva en la serie de datos es indicio de la intervención de factores externos en el proceso estudiado, y además se dice que la serie es no homogénea. En particular en los procesos hidrológicos puede indicar procesos naturales súbitos, como incendios forestales, terremotos, huracanes, deslizamientos de laderas y erupciones volcánicas; no obstante, puede ser indicio de actividades humanas como la deforestación, apertura de nuevas área de cultivo, rectificación de cauces, construcción de embalses y reforestación (Escalante y Reyes, 2005).

Las pruebas estadísticas que miden la homogeneidad de una serie de datos presentan una hipótesis nula y una regla para aceptarla o rechazarla. Cuando es posible especificar la distribución que sigue la hipótesis nula y las alternativas, las pruebas paramétricas deben ser utilizadas, en caso contrario las llamadas pruebas no paramétricas son lo más indicado.

2.5.1. Pruebas No Paramétricas

Las Pruebas de Mann – Kendall, correlación de rango de Spearman y prueba estadística de Helmer fueron las Pruebas No Paramétricas aplicadas a los índices climáticos indicados en el apartado 2.1 y 2.2.

Prueba de Mann – Kendall

El test de Mann-Kendall es un test no paramétrico, estadísticamente basado en el ranking (o número de orden) de dos variables y puede ser utilizado para tendencias en series de tiempo de datos hidrológicos si una de esas variables es el tiempo y tiene la particularidad de presentar una mayor potencia estadística en la medida que la serie de datos presenta un mayor sesgo que la aleje de una distribución normal (USGS, 2002).

Los valores de datos se evalúan como una serie de tiempo. Cada valor de datos es comparado con todos los valores de los datos siguientes. El valor inicial de la estadística de Mann-Kendall, S , se supone que es cero (es decir, no existe una tendencia).

Si el valor de los datos de un período de tiempo posterior es más alto que un valor de datos de un período de tiempo anterior, S se incrementa en 1. Por otro lado, si el valor de los datos de un período de tiempo después sea inferior a un valor de los datos de muestra anterior, S disminuye en 1. El resultado neto de todos los incrementos y decrementos de tales rendimientos, es el valor final de S .

El estadístico S de la prueba de Mann – Kendall es calculado usando la fórmula:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2.29)$$

Donde x_j y x_k son valores anuales en los años j y k , con $j > k$, y

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{si } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{si } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{si } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (2.30)$$

La hipótesis nula a probar es: “no existe correlación entre los eventos x y y ”.

La hipótesis nula se rechaza al nivel de significancia α si $|Z_S| > Z_{crit}$, donde Z_{crit} es el valor de la distribución normal estándar con una probabilidad de excedencia de $\alpha/2$. El estadístico Z_{crit} se calcula como se muestra en la formula [2.31], (USGS, 2002).

$$Z_S = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases} \quad (2.31)$$

El estadístico $\text{VAR}(S)$ se calcula como lo expresa la formula [2.32], (Salmi, et al., 2002).

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (2.32)$$

Donde n es el número de punto de datos, g es el número de grupos vinculados (un grupo vinculado es un conjunto de datos muestra que tiene el mismo valor), y t_p es el número de puntos de datos en el grupo p^{th}

Prueba de correlación de rango de Spearman

La prueba de correlación de Spearman permite determinar la correlación entre el orden en que los eventos han ocurridos y el aumento o disminución en la magnitudes de los datos. Este método no requiere asumir una distribución estadística y permite determinar la asociación de eventos con relación lineal o no lineal, (Dahmen y Hall, 1990).

El coeficiente de correlación de Spearman se define como:

$$R_{sp} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (D_i^2)}{n(n^2 - 1)} \quad (2.33)$$

Donde n es el número total de datos, i es el orden cronológico, y D es la diferencia entre rangos calculada como:

$$D_i = Kx_i - Ky_i \quad (2.34)$$

Donde Kx_i es el rango de la variable x , que es el número de orden cronológico de los datos, y Ky_i es el rango de la variable y , que es el número de orden cronológico de la serie original asignado a la correspondiente muestra ordenada.

La hipótesis nula es: “no hay tendencia en los datos, $R_{sp} = 0$ ”

El coeficiente de correlación de Spearman se evalúa frente a la distribución t-Student con un valor estadístico t_t , para probar la hipótesis nula frente la alternativa.

$$t_t = R_{sp} \left[\frac{n-2}{1-R_{sp}^2} \right]^{0.5} \quad (2.35)$$

Donde t_t tiene una distribución t-Student con $v = n - 2$ grados de libertad.

Prueba de Helmer, (Escalante y Reyes, 2005)

La prueba de Helmer consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento de la serie con respecto a su valor medio. Si una desviación de un cierto signo es seguida por otra del mismo signo, entonces se dice que se forma una secuencia S , de lo contrario se considera como un cambio C .

Si la serie es homogénea, la diferencia entre el número de secuencias (N_s), y el número de cambios (N_c) en el registro deberá ser cero, dentro de los límites de un error probable, depende de la longitud del registro(n); la serie se considera homogénea si:

$$-\sqrt{n_j}-1 \leq (N_s - N_c) \leq \sqrt{n_j}-1 \quad (2.36)$$

2.5.2. Pruebas Paramétricas

Las Pruebas Paramétricas aplicadas a los índices climáticos indicados en el apartado 2.1 son: Prueba estadística t de Student, Prueba estadística de Cramer y Prueba estadística de Fisher.

Prueba estadística de Fisher

La prueba estadística de Fisher relaciona la varianza de dos subconjuntos (de longitud similar y sin presentar traslape) de la serie completa. La ventaja de esta prueba radica en que es un buen indicador de la estabilidad de la varianza a pesar de que los datos no se apeguen a una distribución normal (Dahmen y Hall, 1990).

La hipótesis nula a probar es: “la varianza de las dos submuestras son iguales”

La prueba Fisher requiere de un coeficiente F_t que relaciona las varianzas de las submuestras como lo indica la expresión (2.37)

$$F_t = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (2.37)$$

Donde s^2 es la varianza insesgada de las submuestras calculada mediante la expresión [3.38]

$$s_{sesg}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad [2.38]$$

$$s_{insesg}^2 = \frac{n}{n-1} S_{sesg}^2 \quad (2.39)$$

Donde x_i son las observaciones, n es el número total de datos y $\bar{x}$ es la media de los datos.

El estadístico F_t se compara con la distribución-F de Fisher con $v_1 = n_1 - 2$ y $v_2 = n_2 - 2$ grados de libertad de las respectivas submuestras.

Prueba estadística t de Student, (Escalante y Reyes, 2005)

Cuando la causa probable de pérdida de homogeneidad de la serie sea un cambio abrupto en la media, la prueba del estadístico t es muy útil.

Si se considera una serie X_i^j para $i = 1, 2, \dots, n_j$, del sitio j , la cual se divide en dos conjuntos de tamaño $n_1 = n_2 = \frac{n_j}{2}$, entonces el estadístico de prueba se define con la expresión [3.40]

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}} \quad (2.40)$$

Donde $\bar{x}_1, s_1^2$ corresponden a la media y varianza de la primera parte del registro de tamaño n , y $\bar{x}_2, s_2^2$ son la media y varianza de la segunda parte del registro de tamaño n .

El valor absoluto de t_d se compara con el valor de la distribución t de Student de dos colas con $v = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y para un nivel $\alpha = 0.05$

Si y solo si el valor absoluto de t_d es mayor que aquel de la distribución t de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie X_i^j se considera no homogénea.

Prueba estadística de Cramer, (Escalante y Reyes, 2005)

Esta prueba se utiliza con el propósito de verificar homogeneidad en el registro X_i^j de la serie j para $i = 1, 2, \dots, n_j$, y también para determinar si el valor medio no varía significativamente de un período de tiempo a otro. Con este propósito se consideran tres bloques, el primero, del tamaño total de la muestra n ; el segundo de tamaño n_{60} (60% de los últimos valores de la muestra n); y el tercero de tamaño n_{30} (30% de los últimos valores de la muestra n)

$$t_w = \left\{ \frac{n_w (n_j - 2)}{n_j - n_w \left[1 + (\tau_w^j)^2 \right]} \right\}^{1/2} |\tau_w^j|; \quad \text{para } w = 60 \quad \text{y} \quad w = 30 \quad (2.41)$$

$$\tau_{60} = \frac{\bar{X}_{60} - \bar{X}}{s_{60}}, \quad \tau_{30} = \frac{\bar{X}_{30} - \bar{X}}{s_{30}} \quad (2.42)$$

$$\bar{X}_{60} = \sum_{i=1}^{n_{60}} \frac{X_k}{n_{60}} \quad \bar{X}_{30} = \sum_{i=1}^{n_{30}} \frac{X_k}{n_{30}} \quad \bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_k}{n} \quad (2.43)$$

$$s_k = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.44)$$

El estadístico de t_w tiene distribución t de Student de 2 colas con $v = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y para un nivel $\alpha = 0.05$

Si y solo si, el valor absoluto de t_w , para $w = 60$ y $w = 30$, es mayor que el de la distribución t de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie X_i^j se considera no homogénea.

3. *Procesamiento estadístico de lluvias máximas diarias*

El procesamiento estadístico de los registros disponibles de lluvias máximas en 24 horas está orientado a la determinación de eventos de diseño para la construcción de obras hidráulicas. Los eventos de diseño se asocian a períodos de retorno, los cuales están en función de las necesidades que se desean cubrir en el diseño de la estructura hidráulica.

La relación de las variables climáticas circunda en torno a la variable de precipitación, la cual, procesada estadísticamente depara en la construcción de curvas intensidad – duración – período de retorno ($i - d - Tr$), que asocia la variación de la lluvia en el tiempo con la probabilidad de ocurrencia de los eventos y posteriormente se relaciona con la capacidad de la estructura hidráulica propuesta.

3.1. Tipos de precipitación

Para la generación de tormentas se requiere de la función de ciertos factores climáticos: aire inestable, contenido de humedad relativa y mecanismo de ascenso del aire.

Se requiere alto contenido de humedad para que al ascender el aire se produzca la condensación. De acuerdo al mecanismo que determina la elevación del aire a niveles que produzcan la condensación, y por tanto, la aparición de nubes y precipitación son: orográfica, convectiva y ciclónica.

Precipitación orográfica

Una corriente de aire puede ser forzada a ascender cuando se encuentra en su camino una pronunciada elevación de terreno, ya sea una sola montaña o una cordillera. El flujo del aire es perturbado de tal manera que sube a la altura suficiente para sortear el obstáculo. Al elevarse se enfría y se condensa, dando lugar al nacimiento de nubes, principalmente cúmulos y altocúmulos, que adoptan muchas veces la forma lenticular, es decir, como una lente gigantesca.

Además del efecto de obstáculo que representa la montaña para la corriente de aire que ha de sortearla, también es una fuente de calor que contribuye a la ascensión del aire, pues la superficie bañada por el sol está más caliente que las capas atmosféricas que se hallan en la misma altitud.

Una vez que se da el movimiento de subida, el flujo de aire que tropieza por la montaña se calienta y acelera su movimiento vertical ascendente, dando lugar a la formación de grandes nubes, algunos de cumulo – nimbus o nubes de tormenta. Las nubes originadas de esta manera se designan como nubes orográficas.

Precipitación ciclónica

Una corriente de aire también puede elevarse cuando dos masas de diferentes tipos de aire se encuentran, o sea, cuando una masa de aire caliente tropieza con una “montaña” de aire frío, formando o que se denomina un frente, que es el límite que separa una región de aire caliente de un aire frío.

Si dos masas se mueven a distintas velocidades, la más cálida se desliza sobre el frente, ascendiendo a niveles superiores. Por este procedimiento algunas veces llegan a alcanzar cotas de miles de metros.

A medida que el aire va elevándose hacia la cima, se van formando distintos tipos de nubes, siendo más espesas cuando más cerca está del suelo, dando lugar a la lluvia o nieve en la parte más baja. Este sistema puede designarse como frontal o ciclónico.

Precipitación Convectiva

Como ya sabemos, el aire también puede elevarse por sí mismo, al calentarse, dando lugar a las corrientes de convección. Este proceso es muy común en los días calurosos de verano, pues el aire cercano al suelo se calienta rápidamente a causa del calor desprendido por la tierra y el irradiado por el sol, por lo que se vuelve más liviano que el que le rodea y asciende. Esto da lugar especialmente a cúmulos; pero cuando las corrientes de convección son fuertes y penetrantes se forman los cumulo – nimbus o nubes de tormenta, tan característica en verano.

3.1.1. Variabilidad de la lluvia en México

La lluvia en la República Mexicana presenta dos ciclos definidos: un período seco de noviembre a abril y un período húmedo de mayo a octubre.

La lluvia que se presenta en el período noviembre – abril proviene de frentes fríos provenientes de latitudes medias que se dirigen hacia los trópicos. En cambio la lluvia en el período mayo – octubre se origina por ciclones tropicales, ondas del este, el desplazamiento de la zona intertropical de convergencia y el monzón del oeste de México (Vázquez-Aguirre, 2007)

En escala regional las lluvias orográficas y convectivas retoman especial importancia. Esto se debe a que las costas están bordeadas por sistemas montañosos que interacciona con vientos húmedos y condensación de nubes; por otro lado, el crecimiento de la mancha urbana propicia el desarrollo de la convección local con la consecuente generación de lluvia.

3.2. Análisis de frecuencias

La determinación de un evento de diseño asociado a un periodo de retorno requiere de la aplicación del análisis de frecuencias de eventos extremos máximos.

El proceso comienza con la obtención de la información y su correspondiente verificación de cantidad y calidad de la información descrita en el apartado 2.4. Posteriormente se aplican distribuciones de probabilidad a las series de datos de lluvias si y solo si se garantiza la secuencia aleatoria de datos mediante pruebas de independencia. Los eventos de diseño en 24 horas se relacionan con diferentes duraciones en minutos que darán entrada al análisis de fenómenos hidrológicos en una cuenca específica.

Una vez completo el registro de lluvias acumuladas en 24h se debe de extraer el máximo anual y multiplicarse por 1.13 para obtener un registro de máximos diarios. Este factor es resultado de varios años de análisis de estaciones de datos pluviométricos a nivel mundial y produce valores que se aproximan mucho a los que se obtendrían de un análisis de máximos reales. Para mayor referencia consultar la publicación de la OMM No. 168.

A este registro se le ordena de mayor a menor, se le asigna un período de retorno mediante la Ley empírica de Weibull:

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (3.1)$$

Donde n es el tamaño de muestra y m es el número de orden del registro. Se le asigna una probabilidad de no excedencia con la expresión [3.2]

$$P = 1 - \frac{1}{T} \quad (3.2)$$

3.2.1. Distribuciones de probabilidad

Las distribuciones de probabilidad aplicadas en este trabajo, así como sus definiciones matemáticas fueron obtenidas de la publicación Técnicas Estadísticas en Hidrología, Escalante y Reyes 2005, las cuales son: Distribución Normal (DN), Distribución LogNormal de dos parámetros (DLN2), Distribución LogNormal de tres parámetros (DLN3), Distribución Gamma de dos parámetros (DG2), Distribución Gamma de tres parámetros (DG3), Distribución LogPearson de tres parámetros (DP3), Distribución Gumbel (DG), Distribución General de Valores Extremos (DGVE) y Distribución Gumbel Mixta (DGM). Para mayores referencias puede consultarse en la publicación de la OMM (Organización Meteorológica Mundial) titulada Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis.

El ajuste entre las diferentes distribuciones de probabilidad se compara con el menor Error Estándar de Ajuste (EEA) calculado con la expresión [3.3].

$$EEA = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{X}_i^j - X_i^j)^2}{n - mp} \right]^{1/2} \quad (3.3)$$

Donde n es el tamaño de la muestra; $\hat{X}_i^j$ son los eventos estimados por determinada distribución de probabilidad; X_i^j son los eventos registrados ordenados de mayor a menor que se le asigna un período de retorno $T = \frac{n+1}{m}$ y $P = 1 - \frac{1}{T}$, mp es el número de parámetros de la distribución de probabilidad.

Además de la elección de una distribución, el método de estimación de parámetros que se usa con la distribución puede tener un efecto en los resultados. Tradicionalmente, el método de momentos ordinarios (MO) ha sido muy usado en hidrología a pesar que se ha reconocido es ineficiente estadísticamente, en comparación con el método de máxima verosimilitud (MV). El método de momentos de probabilidad pesada (MPP) en muchos casos conviene aplicarlo debido a que se ha encontrado, según Hosking, 1985, que tiene propiedades estadísticamente comparables con el MV en cuanto se refiere al tamaño de las muestras que se utilizan en hidrología. El método basado en las estadísticas de momentos – L constituye una mejora considerable con respecto a los métodos más convencionales de máxima verosimilitud o de momentos (OMM, 1994).

3.2.2. Pruebas de Independencia y homogeneidad

Para que se pueda llevar a cabo el análisis de frecuencias se requiere que la muestra se conforme de variables aleatorias. Para probarlo se aplica prueba de independencia de Anderson (Salas et al, 1998) que hace uso del coeficiente de correlación r_k para diferente tiempo de retraso k . La expresión para obtener el coeficiente de autocorrelación serial de retraso k es:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \quad (3.4)$$

dónde

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.5)$$

Se establecen los límites

$$r_k(95\%) = \frac{-1 \pm 1.96\sqrt{n-k-1}}{n-k} \quad (3.6)$$

Se construye el correlograma de la serie para los r_k desde $k=1$ hasta $k=n/3$. Donde k es el tiempo retraso y n el tamaño de muestra

Si solo el 10% de los r_k sobrepasan los límites se considera la muestra independiente, y por lo tanto es una variable que sigue las leyes de la probabilidad

Las pruebas de homogeneidad consisten en las pruebas paramétricas descritas en el apartado 2.5.2.

3.2.3. Curvas i – d – Tr

El cálculo hidrológico de la avenida de diseño en estructuras cuya cuenca es pequeña, requiere conocer la precipitación ocurrida en un lapso de tiempo, el cual generalmente es el tiempo de concentración de la cuenca. El tiempo de concentración es muy variable, pudiendo abarcar unos cuantos minutos, horas e inclusive varios días para cuencas muy grandes.

Debido a la escasez de registros de lluvias de corta duración, ha surgido la necesidad de utilizar las relaciones promedio entre lluvias encontradas en otros países. Diversos investigadores como: F. C. Bell, D. M. Hershfield, B. M. Reich, L. L. Weiss y W. T. Wilson, han demostrado que la relación duración – lluvia encontradas en USA pueden ser aplicadas a otras partes del mundo.

Varios investigadores han establecido relaciones generales entre la intensidad, duración y frecuencia, usando la intensidad de una hora como índice. La similitud entre las curvas intensidad – duración de las diversas localidades analizadas, puede ser explicada por el hecho de que las altas intensidades provienen de tormentas de tipo convectivo y, las leyes físicas que gobiernan las características de tal lluvia, son las mismas en cualquier lugar.

En general los registro de lluvias de corta duración son bastantes escasos en países en desarrollo como México. Sin embargo, los registros de lluvias máximas diarias tienen una gran densidad y longitud de registros aceptables, por lo cual, la lluvia de duración de una hora y período de retorno de 2 años (o de cualquiera) podrá ser evaluada con una relación o cociente a las de 24 horas con igual período de retorno. Surge entonces la implementación del cociente R , el cual marca la relación entre la lluvia en una hora y en 24 horas, para un período de retorno de dos años.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM-No.168) indica lo siguiente:

“Para duraciones inferiores a 24 horas conviene estimar los valores de la frecuencia de la lluvia en una hora a partir de los valores de 24 horas y así interpolar las duraciones intermedias y extrapolar las duraciones inferiores a una hora. La lluvia de una hora con período de retorno de dos años está relacionada con la lluvia de 24 horas con período de retorno de dos años, de acuerdo con el número promedio anual de días con tormentas, mediante estudios que incluyeron una amplia variedad de climas”.

Para calcular el cociente R se emplea el método propuesto por el U. S. Weather Bureau y ampliado por B. M. Reich (1963), el cual se basa en la Figura 3.1.

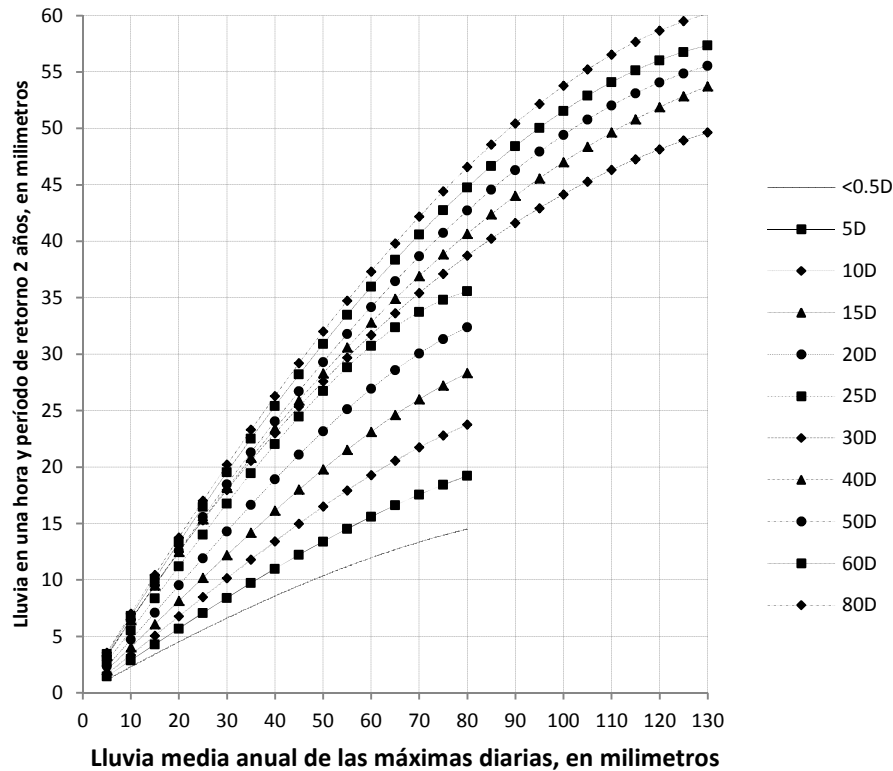


Figura 3.1. Relación empírica para estimar la lluvia de una hora y período de retorno 2 años, en ausencia de registros pluviográficos. Donde D = días con lluvia superior a 1mm

La Figura 3.1., requiere conocer la lluvia media anual de las máximas diarias (expresada en milímetros) y el número de días con tormentas convectivas (días con precipitación mayor a 1 mm). Con dicha información se calcula la precipitación en una hora y período de retorno de dos años ($Hp_{1hora}^{Tr=2}$), lo que permite obtener directamente el cociente R indicado en la formula (3.7)

$$R = \frac{Hp_{1hora}^{Tr=2}}{Hp_{24horas}^{Tr=2}} \quad (3.7)$$

Para obtener alturas de precipitación para duraciones de una hora basta con multiplicar el cociente R por los eventos de cada uno de los períodos de retorno considerados.

El procedimiento se basa en dibujar los valores de alturas de precipitación para $d = 1h$ y $d = 24h$ en papel logarítmico, por lo que el planteamiento de la interpolación es a partir de la conocida ecuación de la recta. En la Figura 3.2., se muestra el sistema de referencia empleado para graficar los valores.

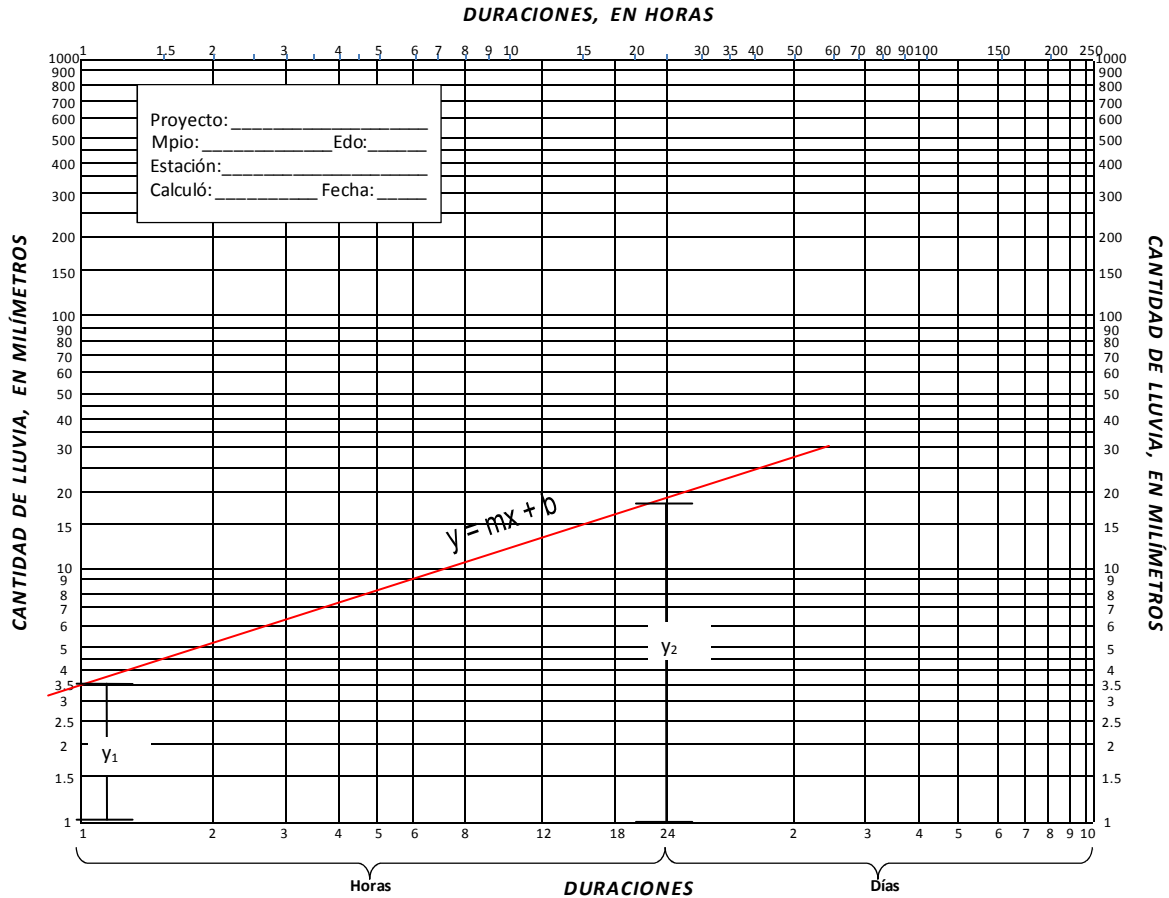


Figura 3.2 Papel logarítmico de referencia para realizar las interpolaciones de alturas de precipitación mayores a una hora.

Al realizar el cambio de variables a la ecuación de la recta aplicando logaritmos, se obtiene la ecuación siguiente:

$$y = \frac{Hp_{24h} - Hp_{1h}}{\ln(24) - \ln(1)} \ln(d) + Hp_{1h} = \frac{Hp_{24h} - Hp_{1h}}{3.1781} \ln(d) + Hp_{1h} \quad (3.8)$$

donde Hp_{24h} es la lluvia en 24 horas, Hp_{1h} es la lluvia en 1 hora y y es la altura de precipitación en la duración d

Por el contrario, si se desean obtener alturas de precipitación para duraciones menor a 1 hora debe emplearse los valores de la Tabla 3.1., publicados por la OMM en el reporte No. 168. Las relaciones mostradas tienen un error promedio al 10%.

Tabla 3.1. Relación frecuencia lluvia para duraciones menores a una hora

Duración (min)	5	10	20	30	40	45	50	60
Relación (n-minutos entre 60 minutos)	0.3	0.32	0.54	0.71	0.82	0.9	0.92	1

Con la información de alturas de precipitación en diferentes duraciones de tiempo es posible trazar las curvas $Hp - d - Tr$ (curvas precipitación – duración – período de retorno)

Para transformar las curvas $H_p - d - Tr$ a curvas $i - d - Tr$ debe considerarse a la lluvia en función del tiempo. La intensidad de la lluvia es por tanto directamente proporcional a la altura de precipitación e inversamente proporcional al tiempo. La intensidad de la lluvia I , se define con la expresión (3.9)

$$I_d^{Tr} = \frac{Hp_d^{Tr}}{d} \quad (3.9)$$

Donde I_d^{Tr} es la intensidad de la lluvia en mm/h, para un período de retorno Tr en años y una duración d en horas. Hp_d^{Tr} , es la altura de precipitación en mm para un período de retorno Tr en años y una duración d en horas. d , duración de la tormenta en horas.

3.2.4. Hidrograma de salida

La evaluación del cambio de tendencias en las variables climatológicas se resume con el cálculo de hidrogramas de salida, el cual proporciona la variación del gasto en un cauce respecto al tiempo.

Por motivos de disponibilidad de información se optó por emplear la metodología propuesta por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Sánchez-Bribiesca, 1997). La metodología toma en cuenta el almacenaje temporal de la cuenca y se establece la hipótesis de que tanto las pérdidas como la salida son proporcionales al almacenaje. Además debe considerarse que el método es aplicable a cuencas pequeñas.

La información que se requiere para calcular el hidrograma de salida es la siguiente: altura total de la lluvia precipitada (HT), tiempo de pico del hietograma en horas (TP), tiempo base del hidrograma en horas (TB), tiempo de duración de la creciente en horas (TT), coeficiente de escurrimiento adimensional (CE), área de la cuenca en km^2 (AR).

El método consiste básicamente en calibrar un factor BE que determina la lámina de agua que saldría al final del hidrograma. A partir del factor BE es posible calcular los gastos de salida mediante la expresión [4.10]

$$Q(J) = BE * AR * 10^6 * h(J) / DT \quad (3.10)$$

donde J es el intervalo de tiempo evaluado desde $J = 1, 2, 3, \dots, TT$.

Enseguida se describe el proceso de obtención de los parámetros de entrada para calcular el hidrograma de salida en cuencas pequeñas.

Altura total de lluvia precipitada (HT)

Proviene del análisis de frecuencias de lluvias en 24 horas. En el capítulo 3.2.3., se indica el cálculo de alturas de precipitación para diferentes periodos de retorno y para una duración específica que posteriormente se relaciona con tiempo de concentración de la cuenca.

Tiempo pico del hietograma en horas (TP)

Se obtiene a partir del tiempo de concentración de la cuenca en estudio. El tiempo de concentración, definido como el tiempo de viaje de una onda que avanza desde el punto más distante de la cuenca hasta su salida, se obtiene mediante la fórmula de Kirpich, expresada como:

$$t_c = 0.000325 \frac{L_{CP}^{0.77}}{S_{CP}^{0.385}} \quad (3.11)$$

Donde t_c es el tiempo de concentración en horas, L_{CP} es la longitud del cauce principal en metros y S_{CP} es la pendiente del cauce principal, adimensional.

La pendiente del cauce principal se obtiene con la fórmula de Taylor y Schwartz, la cual considera que el río se forma de una serie de canales con pendiente uniforme, cuyo tiempo de recorrido es igual al del río. a expresión empleada es la siguiente:

$$S_{CP} = \left[\frac{L_{CP}}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_m}{\sqrt{S_m}}} \right]^2 \quad (3.12)$$

Donde L_{CP} es la longitud del cauce principal en kilómetros, $l_i, i=1, \dots, m$ es la longitud de cada segmento y $S_i, i=1, \dots, m$ es la pendiente de cada segmento i , adimensional.

Considerando la definición de tiempo de retraso como la duración desde el centro de masa de la lluvia en exceso hasta el gasto pico del hidrograma, se considera como el tiempo pico del hietograma a la diferencia del tiempo pico en el hidrograma con el tiempo de retraso. Empleando las expresiones del hidrograma unitario triangular (Aparicio, 1992) el tiempo de retraso (t_r), duración en exceso (d_e) y tiempo pico (t_p) se obtienen con las expresiones (3.13), (3.14) y (3.15) respectivamente.

$$t_r = 0.6t_c \quad (3.13)$$

$$d_e = 2\sqrt{t_c} \quad (3.14)$$

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r \quad (3.15)$$

Por lo tanto, el tiempo pico en el hietograma (t_p^*) se calcula con la expresión (3.16)

$$t_p^* = t_p - t_r = \frac{d_e}{2} \quad (3.16)$$

Tiempo base del hidrograma en horas(TB)

El tiempo base, TB y el tiempo pico se relacionan mediante la expresión (3.17), (Aparicio, 1992)

$$TB = 2.67 t_p \quad (3.17)$$

Tiempo de duración de la creciente en horas (TT)

Bribiesca, (1997), sugiere calcular el tiempo de duración de la creciente a partir del tiempo base TB y un factor RR propuesto por el USBR (1974).

$$TT = R * TB \quad (3.18)$$

$$RR \approx 2.67 \left(\frac{1 - CE}{2} + \frac{0.3969 \left(\frac{L^3}{Z} \right)^{0.385}}{TB} \right) \quad (3.19)$$

Donde CE es el coeficiente de escurrimiento que depende de la cobertura vegetal y tipo de suelo; L (km) es la distancia entre el sitio más alejado y la salida en donde se pretende definir el hidrograma; Z (m) es el desnivel entre esos dos lugares.

Coefficiente de escurrimiento adimensional (CE)

El coeficiente de escurrimiento refleja la habilidad de la cuenca para transformar lluvia en escurrimiento. Existen diversos factores que influyen en el CE, como es la pendiente del terreno, características de la superficie, intensidad de la lluvia, contenido de humedad del suelo, grado de compactación, proximidad del nivel freático, etcétera.

Los valores de escurrimiento empleados se muestran en la Tabla 3.2., lo que condiciona el valor del CE al tipo de vegetación, tipo de suelo, pendiente del terreno y período de retorno evaluado.

Tabla 3.2. Coeficientes de escurrimiento para áreas individuales (McCuen, 1998)

Uso del terreno	Grupo hidrológico del suelo y pendiente promedio del terreno											
	A			B			C			D		
	0-2%	2-6%	>6%	0-2%	2-6%	>6%	0-2%	2-6%	>6%	0-2%	2-6%	>6%
Bosque	0.05 ^a	0.08	0.11	0.08	0.11	0.14	0.10	0.13	0.16	0.12	0.16	0.20
	0.08 ^b	0.11	0.14	0.10	0.14	0.18	0.12	0.16	0.20	0.15	0.20	0.25
Espacio abierto	0.05	0.10	0.14	0.08	0.13	0.19	0.12	0.17	0.24	0.16	0.21	0.28
	0.11	0.16	0.20	0.14	0.19	0.26	0.18	0.23	0.32	0.22	0.27	0.39
Cultivos	0.08	0.13	0.16	0.11	0.15	0.21	0.14	0.19	0.26	0.18	0.23	0.31
	0.14	0.18	0.22	0.16	0.21	0.28	0.20	0.25	0.34	0.24	0.29	0.41
Pradera	0.10	0.16	0.25	0.14	0.22	0.30	0.20	0.28	0.36	0.24	0.30	0.40
	0.14	0.22	0.30	0.20	0.28	0.37	0.26	0.35	0.44	0.30	0.40	0.50
Pastizal	0.12	0.20	0.30	0.18	0.28	0.37	0.24	0.34	0.44	0.30	0.40	0.50
	0.15	0.25	0.37	0.23	0.34	0.45	0.30	0.42	0.52	0.37	0.50	0.62
Residencial con lotes de 4000m ²	0.14	0.19	0.22	0.17	0.21	0.26	0.20	0.25	0.31	0.24	0.29	0.35
	0.22	0.26	0.29	0.24	0.28	0.34	0.28	0.32	0.40	0.31	0.35	0.46
Residencial con lotes de 2000m ²	0.16	0.20	0.24	0.19	0.23	0.28	0.22	0.27	0.32	0.26	0.30	0.37
	0.25	0.29	0.32	0.28	0.32	0.36	0.31	0.35	0.42	0.34	0.38	0.48
Residencial con lotes de 1350m ²	0.19	0.23	0.26	0.22	0.26	0.30	0.25	0.29	0.34	0.28	0.32	0.39
	0.28	0.32	0.35	0.30	0.35	0.39	0.33	0.38	0.45	0.36	0.40	0.50
Residencial con lotes de 1000m ²	0.22	0.26	0.29	0.24	0.29	0.33	0.27	0.31	0.36	0.30	0.34	0.40
	0.30	0.34	0.37	0.33	0.37	0.42	0.36	0.40	0.47	0.38	0.42	0.52
Residencial con lotes de 500m ²	0.25	0.28	0.31	0.27	0.30	0.35	0.30	0.33	0.38	0.33	0.36	0.42
	0.33	0.37	0.40	0.35	0.39	0.44	0.38	0.42	0.49	0.41	0.45	0.54
Industrial	0.67	0.68	0.68	0.68	0.68	0.69	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69	0.70
	0.85	0.85	0.86	0.85	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.86	0.86	0.88
Calles	0.70	0.71	0.72	0.71	0.72	0.74	0.72	0.73	0.76	0.73	0.75	0.78
	0.76	0.77	0.79	0.80	0.82	0.84	0.84	0.85	0.89	0.89	0.91	0.95
Comercial	0.71	0.71	0.72	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
	0.88	.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.90	0.89	0.89	0.90
Estacionamientos	0.85	0.86	0.87	0.85	0.86	0.87	0.85	0.86	0.87	0.85	0.86	0.87
	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97

^a Coeficiente de escurrimiento para tormentas con períodos de retorno de 25 años

^b Coeficiente de escurrimiento para períodos de retorno iguales o mayores a 25 años.

El tipo de vegetación se obtiene con los mapas temáticos del Instituto Nacional de Ecología mostrados en el Anexo 1. La pendiente del terreno se obtiene con Modelos Digitales de Elevación (MDE); en este caso se obtuvo de la página electrónica <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search.jsp>, perteneciente a la NASA (Nacional Aeronautics and Space Administration) cuyos MDE poseen resolución espacial de 30 metros.

Los grupos A, B, C y D corresponden a clasificaciones hidrológicas de suelo descritas en el Reporte Técnico No. 55 (TR-55) del United States Department of Agriculture (USDA), los cuales se describen a continuación.

Grupo A. Suelos de bajo potencial de escurrimiento y alta infiltración aun cuando están mojados. Se componen principalmente de arena y grava con excesiva capacidad de drenado y tienen una alta tasa de infiltración (mayor a 7.62 mm/h). La textura del suelo se considera a base de arena, arena arcillosa, arena con poca cantidad de arcilla

Grupo B. Suelos de moderada tasa de infiltración cuando están completamente saturados, son de profundidad media, moderada cantidad de finos y gruesos. Tienen una tasa de infiltración de 3.81 – 7.62 mm/h. La textura del suelo se considera a base de arenas finas o limo.

Grupo C. Suelos de baja tasa de infiltración cuando están completamente saturados y se compone principalmente de suelos con capa que impide altas infiltraciones de agua. El índice de infiltración es bajo, oscilando de 1.27 – 3.81 mm/h. Son suelos con arena muy fina, limos, suelos con alto contenido de arcilla

Grupo D. Suelos con alto potencial de escurrimiento, presenta tasas de infiltración muy bajas cuando está completamente saturado consiste básicamente en suelos arcillosos con potencial de expansión, suelos con alto nivel freático, suelos con tosca o arcilla en o cerca de la superficie y suelos poco profundos sobre el material impermeable. Tienen un índice bajo de transmisión del agua de 0-1.27 mm/h. Suelos con arcilla en grandes cantidades, arcilla limosa, arcilla arenosa o arcilla limosa.

En México, el Diccionario de datos edafológicos elaborado por el INEGI, 1998, define claramente las características de tipos de suelo. Por su extensión destacan el regosol, litosol y xerosol.

Área de la cuenca en km² (AR)

El área de la cuenca se obtiene a partir de la limitación hecha en programas de información geográfica a partir de Modelos Digitales de Elevación (MDE).

4. Aplicación

Enseguida se presenta el análisis de las variables climatológicas para el Estado de Guerrero, desarrollando los criterios de control de calidad, cálculo de índices climáticos, construcción de curvas $i - d - Tr$ y elaboración de hidrogramas de salida descritos en el transcurso de este trabajo.

4.1. Aspectos generales del Estado de Guerrero

Ubicación geográfica.

Las coordenadas extremas del estado de Guerrero son: al norte $18^{\circ} 53'$, al sur $16^{\circ} 19'$ de latitud norte; al este $98^{\circ} 00'$, al oeste $102^{\circ} 11'$ de longitud oeste. Colinda al norte Michoacán, México, Morelos y Puebla; al este con Puebla y Oaxaca; al sur con Oaxaca y el Océano Pacífico; y al oeste con el Océano Pacífico y Michoacán. El estado de Guerrero representa el 3.3 por ciento de la superficie del país.

División política y Regiones

El número de municipios registrados para diciembre de 2005 en el estado de Guerrero es de 81. El estado de Guerrero se encuentra territorialmente dividido en siete regiones, que distinguen rasgos económicos, sociales, culturales y geográficos.

Región Acapulco. Se localiza al sur del estado en la región geo-económica y cultural de Acapulco — siendo el único municipio que conforma dicha región— y su cabecera municipal es Acapulco, la ciudad más poblada de dicho estado

Región Costa Chica. Comienza al este de Acapulco y se extiende hasta la costa central del estado de Oaxaca. En Guerrero, posee una extensión territorial aproximada de 180 km. La región de Costa Chica está conformada por quince municipios del estado de Guerrero: Ayutla de los Libres, Azoyú, Copala, Cuautepec, Cuajinicuilapa, Florencio Villarreal, Igualapa, Juchitán, Marquelia, Ometepec, San Luis Acatlán, San Marcos, Tecoaapa, Tlacoachistlahuaca y Xochistlahuaca.

Región Costa Grande. Es una de las siete regiones que conforman el estado de Guerrero, al suroeste de México. Se ubica en parte del sur, suroeste y oeste del estado, colindando al norte con la región de Tierra Caliente y parte del estado de Michoacán, al sur con el Océano Pacífico, al oeste con el estado de Michoacán y parte del Océano Pacífico, y al este con las regiones de Acapulco y Centro.

La región de la Costa Grande está conformada por ocho municipios: Atoyac de Álvarez, Benito Juárez, Coahuayutla de José María Izazaga, Coyuca de Benítez, La Unión de Isidoro Montes de Oca, Petatlán, Tépam de Galeana y Zihuatanejo de Azueta

Región Centro. Se sitúa en la porción central de la entidad. Sus límites territoriales son al norte con la región Norte, al sur con la región de Acapulco y parte de las regiones de Costa Chica y Costa Grande, al oriente con la región de La Montaña y al poniente con la región de Tierra Caliente.

La región Centro está conformada por trece municipios del estado de Guerrero: Ahuacuotzingo, Chilapa de Álvarez, Chilpancingo de los Bravo, Eduardo Neri, General Heliodoro Castillo, José Joaquín de Herrera, Juan R. Escudero Leonardo Bravo, Mártir de Cuilapan, Mochitlán, Quechultenango, Tixtla de Guerrero y Zitlala

Región La Montaña. Se ubica al este del estado, colindando al norte con el estado de Puebla, al noroeste con la región Norte del estado, al oeste con la región Centro, al este con el estado de Oaxaca y al sur con la región de la Costa Chica.

La región de La Montaña está conformada por 19 municipios: Acatepec, Alcozauca de Guerrero, Alpoyeca, Atlamajalcingo del Monte, Atlixac, Cochoapa el Grande, Copanatoyac, Cualác, Huamuxtitlán, Iliatenco, Malinaltepec, Metlatónoc, Olinalá, Tlacoapa, Tlalixtlaquilla de Maldonado, Tlapa de Comonfort, Xalpatláhuac, Xochihuehuetlán y Zapotitlán Tablas

Región Norte. se ubica en la porción septentrional del estado, sus colindancias territoriales son al norte con los estados de México y Morelos, al sur con la región Centro, al poniente con la región de Tierra Caliente y el estado de México, al oriente con los estados de Morelos y Puebla y en parte al sur-oriental con la región de La Montaña

La región Norte está conformada por dieciséis municipios del estado de Guerrero: Apaxtla, Atenango del río, Buenavista de Cuéllar, Cocula, Copalillo, Cuetzala del Progreso, Huitzuco de los Figueroa, Iguala de la Independencia, General Canuto A. Neri, Ixcateopan de Cuauhtémoc, Pedro Ascencio Alquisiras, Pilcaya, Taxco de Alarcón, Teloloapan, Tepecoacuilco de Trujano y Tetipac.

Región Tierra Caliente. Se ubica al norponiente de la entidad. Los límites territoriales de toda la región son: al norte con el estado de Michoacán y el estado de México, al noreste con el estado de México y la región Norte, al noreste con el estado de Michoacán, al oeste con la región de la Costa Grande, al oriente con la región Norte y Centro y al sur con la región de Costa Grande

La región de Tierra Caliente en el estado de Guerrero está conformada por nueve municipios: Ajuchitlán del Progreso, Arcelia, Coyuca de Catalán, Cutzamala de Pinzón, Pungarabato, San Miguel Totolapan, Tlalchapa, Tlapahualpa y Zirándaro

En la Figura 4.1., se muestra la distribución de los municipios y los estados colindantes, así como las regiones geográficas en que se divide el estado de Guerrero.

Clima

Existen distintos tipos de clima distribuidos sobre la superficie de la entidad, los cuales se indican en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Tipos de clima en el estado de Guerrero

Tipo o subtipo	Porcentaje de la superficie
Cálido subhúmedo con lluvias en verano	63.99
Semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano	2.63
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	18.16
Templado húmedo con abundantes lluvias en verano	0.96
Templado subhúmedo con lluvias en verano	5.23
Semiseco muy cálido y cálido	8.47
Seco muy cálido y cálido	0.5

Fuente: aregional.com con base en datos del INEGI: Información Geográfica, Datos Generales.

Orografía

El estado de Guerrero es sumamente montañoso, escarpadas serranías y profundos barrancos lo atraviesan en todas las direcciones.

La sierra Madre del Sur parte del nudo Mixteco o nudo de Zempoltepetl y se extiende paralela a la costa del Pacífico, con una anchura promedio de 100 Km, recorre el estado de Guerrero en toda su longitud.

La sierra de Zultepec es una derivación montañosa que parte del nevado de Toluca y sigue la dirección del meridiano 100° de longitud occidental de Greenwich y se une a la sierra de la Galeta; la sierra de Taxco cuya ladera norte se inclina hacia el río Amacuzac y al sureste hacia al valle de Iguala, constituye las vertientes del sur del eje volcánico, donde existen en ella yacimientos de minerales de plata nativa, plomo y fluorita; la sierra de Zacualpan, que se extiende del noroeste al suroeste también se desprende del nevado de Toluca, uniéndose en el noroccidente con la sierra de Zultepec y al suroeste con la sierra de Taxco.

La orografía representa un factor importante en la variación de las componentes climáticas del estado. Cambios de temperatura en las montañas conduce a la modificación en los patrones de precipitación. Además, la transformación de zonas boscosas en pastizales o áreas agrícolas puede desencadenar incrementos en el arrastre de sedimentos e inclusive procesos de desertificación. En el Anexo A3, Figura A3.1 se muestran las elevaciones topográficas en el estado de Guerrero.

Flora y fauna

La flora en el estado de Guerrero, se caracteriza por los árboles frondosos como los amates y las parotas; éstos matizan el paisaje de las costas y tierras bajas y los encinos y ocotes como propios de la vegetación de la zona templada. La flora incluye distintas especies como el pochote y la ceiba, abundantes en la costa, que proporcionan una lana utilizadas para elaborar almohadas y cojines; la madera del ocote se emplea para alumbrar a los hogares.

Gracias a la abundancia de la fauna, los hombres del campo llevan a cabo en forma fructífera actividades como la cacería de aves y muchas otras especies. La fauna se clasifica de la siguiente manera:

- Insectos: Avispas, abejas, chicharra, comejen, zancudo.
- Reptiles: Boa, víbora de cascabel, coralillo, escorpión, iguana, etc.
- Aves: Águila, calandria, codorniz, colibrí, chachalaca, gaviota, gorrión, guacamaya, jilguero, lechuza, loro, paloma primavera, urraca, zopilote, etc.
- Mamíferos: Ardilla, conejo, coyote, gato montés, jabalí, mapache, tejón, tlacuache, venado, zorrillo, etc.

Uso de suelo

Guerrero presenta en su territorio cinco clases y dos subclases de uso potencial agrícola en donde la agricultura mecanizada continua con 7.0%, se distribuye a lo largo de la línea de costa, así como en los municipios de Ajuchitlán del Progreso e Iguala de la Independencia principalmente. La agricultura mecanizada estacional, con un porcentaje pequeño del 1.0%, se encuentra en la costa central del estado; mientras que la tracción animal continua abarca 1.5%, localizada en los municipios de Azoyú, Ometepepec, Ayutla de los Libres, Tecoaapa y Coahuayutla de José María Izazaga. La agricultura de tracción animal estacional representa 2.7%, distribuida en la costa central de la entidad, pero además en el municipio de Unión de Isidoro Montes de Oca.

En cuanto a la agricultura manual continua, la mayor concentración se localiza en los municipios de José Azueta y Petatlán, cerca de Zihuatanejo con 2.2%. La agricultura manual estacional cubre 8.0%, comprendida en los municipios de Tixtla de Guerrero, Chilapa de Álvarez, Cutzamala de Pinzón y Taxco de Alarcón, entre otros. Finalmente los terrenos no aptos para la agricultura, con 77.0% del total de la entidad.

Hidrografía

En el estado de Guerrero la evaporación se produce en el océano Pacífico, se condensa en formas de nubes, las que son llevadas por los vientos hacia el norte, donde son chocadas con el macizo montañoso que constituye la sierra Madre del Sur, produciendo la precipitación en forma de lluvia, esta agua desciende por la vertiente meridional de la sierra para formar a los ríos y arroyos que los llevan directamente al océano. El litoral, es de aproximadamente 500 kilómetros de longitud.

El estado de Guerrero cuenta con tres regiones hidrológicas, las cuales se indican en la Tabla 4.2., con sus respectivas cuencas.

Tabla 4.2. Regiones hidrológicas en el estado de Guerrero

Región Hidrológica (RH)	Cuencas
RH No. 18 (Balsas)	río Balsas – Mezcala
	río Balsas – Zirándaro
	río Balsas – Infiernillo
	río Tlapaneco
	río Grande de Amacuzac
	río Cutzamala
RH No. 19 (Costa Grande)	río Atoyac y otros
	río Coyuquilla y otros
	río Ixtapa y otros
RH No. 18 (Costa Chica – río Verde)	río La Arena y otros
	río Ometepepec o Grande
	río Nexpa y otros

Fuente: aregional.com con base en datos del INEGI: Información Geográfica, Datos Generales

Las principales corrientes de agua se indican en la Tabla 4.3. con su respectiva ubicación en cuenca hidrológica. En la Figura 4.2. se muestra la ubicación de los cuerpos de agua en el estado de Guerrero así como su división hidrológica.

Tabla 4.3. Corriente de agua principales en el estado de Guerrero

Nombre	Ubicación	Nombre	Ubicación
Balsas-Mezcala	R. Balsas	Guayameo	R. Balsas
Papagayo	R. Costa Chica-río Verde	Copala	R. Costa Chica-río Verde
Omitlán	R. Costa Chica-río Verde	Petatlán	R. Costa Grande
Cutzamala	R. Balsas	Coyuquilla	R. Costa Grande
Santa Catarina-Quetzala	R. Costa Chica-río Verde	El Coyol-Hacienda Dolores	R. Balsas
Amacuzac	R. Balsas	El Espíritu	R. Balsas
Técpán	R. Costa Grande	La Laja	R. Costa Grande
Atoyac	R. Costa Grande	Petatlán	R. Balsas
Marquelia	R. Costa Chica-río Verde	La Tigra	R. Costa Grande
Sultepec	R. Balsas	río Grande	R. Costa Chica-río Verde
Tlapaneco	R. Balsas	Las Trojas	R. Balsas

Bejucos	R. Balsas	Las Parotas	R. Balsas
Cocula	R. Balsas	Tehuexetla	R. Balsas
Oxtotitlán	R. Balsas	Otatlán	R. Balsas
Los Placeres del Oro-Los Fresnos Grandes	R. Balsas	Nexpa	R. Costa Chica-río Verde
Guadalupe	R. Balsas	San Luis	R Costa Grande
Santa Rita	R. Balsas	Yextla	R. Balsas
Acatepec	R Costa Chica-río Verde	Las Pilas	R. Balsas
Tameaco	R. Costa Chica-río Verde	Atempa	R. Balsas

FUENTE: INEGI. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:1 000000.
INEGI. Carta Topográfica, 1:1 000000 (segunda edición).



Figura 4.2. Mapa de Regiones Hidrológicas en el estado de Guerrero. Fuente: INEGI

4.2. Selección de registros

La información empleada para el análisis de las variables climáticas en el estado de Guerrero se basa en los registros de las variables de temperatura máxima, temperatura mínima, evaporación y precipitación de las estaciones climatológicas localizadas en el estado de Guerrero y además las ubicadas en las inmediaciones de la frontera con los estados de Michoacán, Estado de México, Morelos, Puebla y Oaxaca.

El estado de Guerrero cuenta con 235 estaciones climatológicas que alguna vez han reportado datos al Servicio Meteorológico Nacional. Para los estados vecinos se eligieron aquellas estaciones ubicadas a 50km de la frontera con el estado de Guerrero, resultando la siguiente cantidad de estaciones potenciales a ser utilizadas en el análisis de registros: Michoacán con 26 estaciones,

Estado de México con 95 estaciones, Morelos con 51 estaciones, Puebla con 16 estaciones y Oaxaca con 37 estaciones. Conformando un total de 460 estaciones analizadas. En la Figura A4.1 del Anexo 4, se muestra la distribución de las estaciones en el estado de Guerrero y su frontera.

El primer filtro de selección de estaciones consistió en elegir aquellas estaciones con más de 20 años de registros y que no existiera una alta dispersión de los datos. En la Figura 4.3., se muestran los períodos de reporte de datos de las estaciones analizadas para el caso de la variable de precipitación; dicho gráfico sirve además para seleccionar un período de registro común entre las estaciones analizadas.

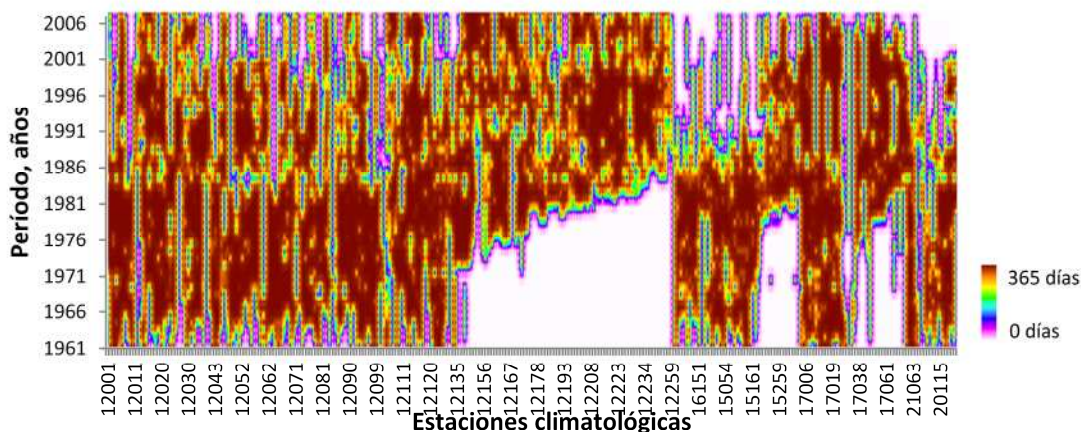


Figura 4.3. Período de registro de las estaciones analizadas

Posteriormente, mediante la técnica IDW (ver Anexo 2), se mejoró la cantidad de registros en cada una de las variables analizadas. Para el caso de la variable precipitación se logró un registro común de 285 estaciones en el período 1958 – 2008; en la variable temperatura máxima se mejoró la cantidad de información en 282 estaciones en un período de 1959 – 2007; en la variable temperatura mínima el período mejorado fue de 1961 – 2007 en 282 estaciones, y, para el caso de la variable evaporación se logró un registro común de 1961 – 2007 en 255 estaciones. Finalmente, el registro común en todas las variables analizadas comprende desde 1961 hasta el año 2007 con un total de 252 estaciones climatológicas. En el Anexo 5 se indican en una tabla el nombre de las estaciones analizadas con su respectiva ubicación geográfica.

4.3. Resultados de índices climáticos

Los índices climáticos obtenidos en este trabajo corresponden a períodos anuales para una longitud de registro de 47 años. Para los índices TXx, TXn, TNx y TNn se realizó un análisis mensual con su respectivo análisis de tendencia. Por razones de posición geográfica del estado de Guerrero, algunos índices no reportan información valiosa debido a que miden patrones de enfriamiento o heladas, como es el caso de los índices FDo e IDo.

Los resultados presentados a continuación consiste en el análisis de los índices climáticos como un promedio estatal y considerando el comportamiento de cada estación climatológica. El análisis promedio estatal se realizó formando un registro anual y mensual de todas las estaciones analizadas para un índice respectivo; mientras que el análisis detallado de cada estación permitió la delimitación de zonas de variación climática en el estado para un índice en específico. El análisis conjunto de las estaciones concluye con la elaboración de mapas de variación climática presentados en el Anexo 6 para cada índice evaluado.

La determinación del aumento o disminución en la tendencia en las series de datos se realizó con las pruebas paramétricas y no paramétricas descritas anteriormente. La prueba Mann-Kendall se eligió como la prueba de mayor peso para concluir la tendencia de la serie, mientras que las pruebas de Helmer y Spearman se emplearon para ratificar los resultados de la primera.

Las pruebas paramétricas ayudaron a precisar la característica de la serie de tiempo que se está modificando últimamente, por ejemplo, la media o desviación estándar.

FDo. Días con helada (Frost days)

En general el estado de Guerrero no presenta días con helada como se aprecia en la Figura 4.4. Las estaciones que han registrado temperaturas mínimas T_n menores a cero grados centígrados son las localizadas en los niveles elevados en el estado, ubicadas generalmente a más de 2500 m. s. n. m.

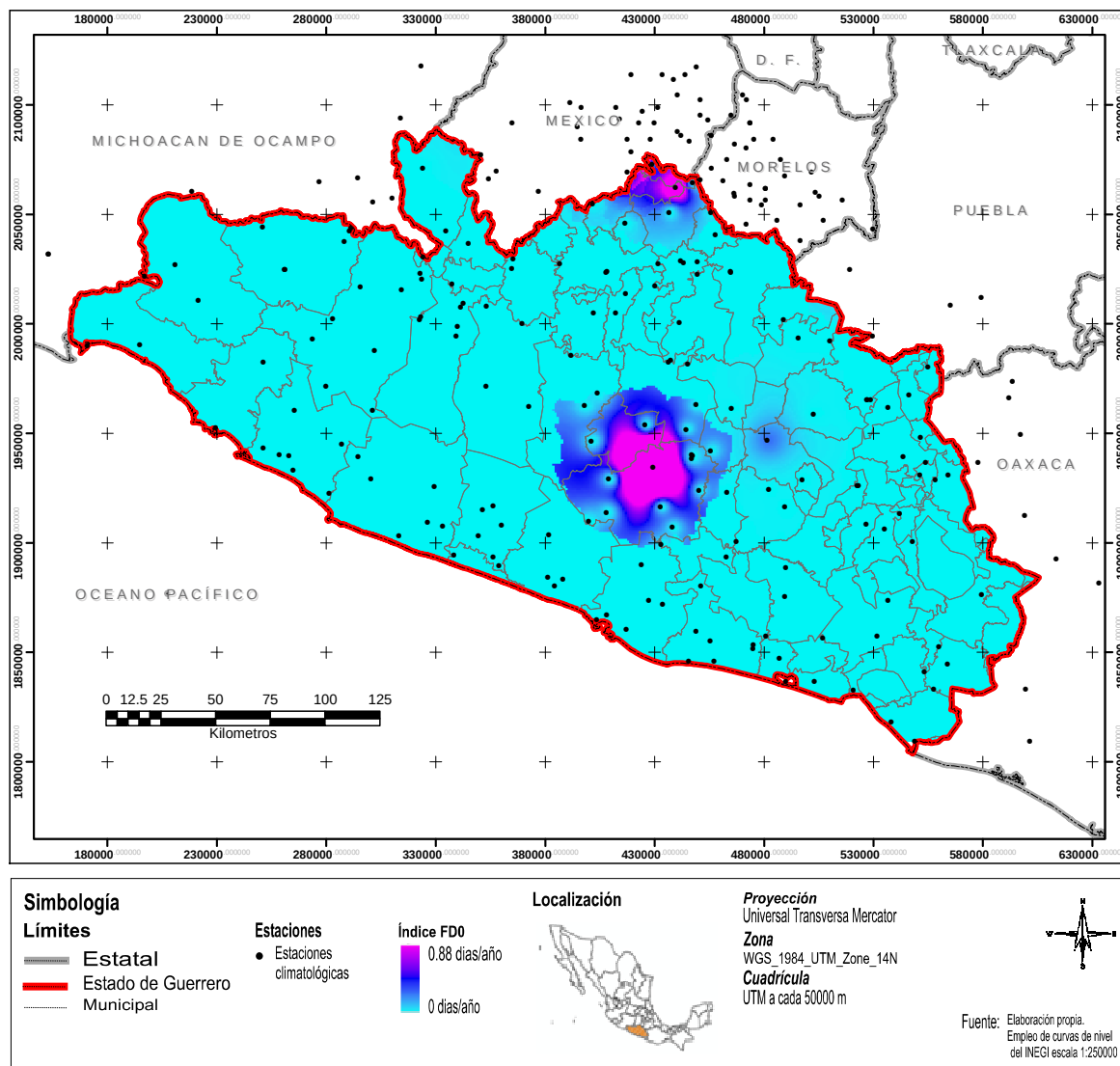


Figura 4.4. Distribución de días con heladas en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007

La estación 12075 presenta mayores días con T_n menor a 0°C ; en el año 1986 presentó 7 días, en 1987 existieron 15 días, en 1988 se registraron 14 días, en 1989 hubo 2 días y en 1990 se presentaron 4 días con temperaturas menores a 0°C ; de esta forma existen 42 días con $T_n < 0^{\circ}\text{C}$ en 47 años, desde el año 1961 a 2007, por lo que se han presentado en promedio menos de 1 día con heladas por año.

Existen solo seis estaciones climatológicas que presentan valores significantes para la variable FDo, por lo que el promedio de la variable FDo para el estado de Guerrero es muy bajo y con tendencia prácticamente nula. En la Figura 4.5., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero.

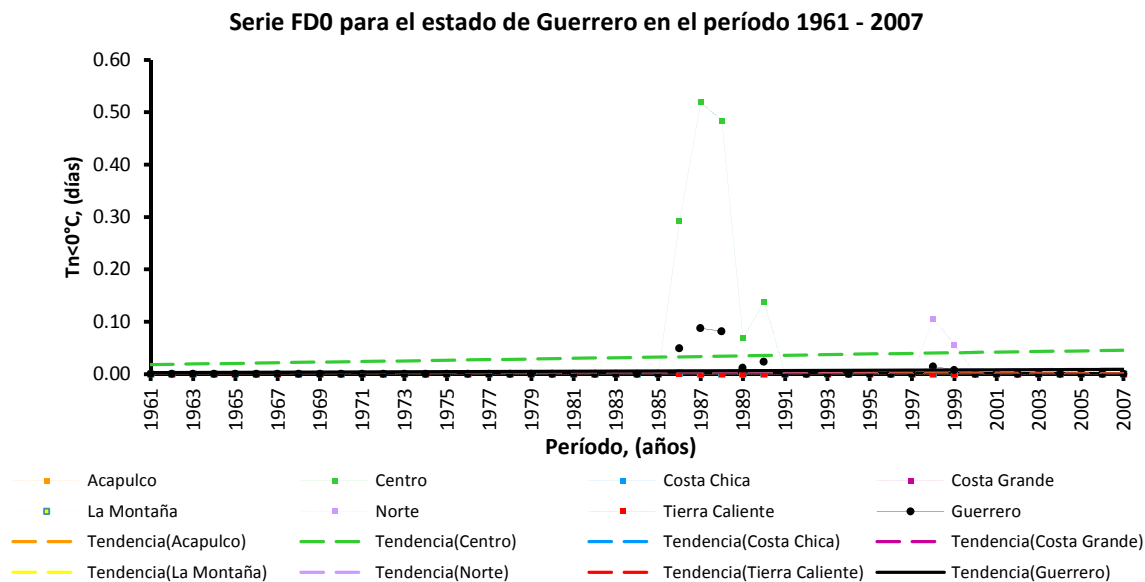


Figura 4.5. Serie anual de días con $T_n < 0^\circ\text{C}$ para el estado de Guerrero en el período 1961 – 2007

La prueba Mann-Kendall y t-Student indican tendencia nula en la serie de datos, las pruebas de Helmer y Spearman indican tendencia positiva, mientras que las pruebas Cramer y Fisher demuestran un cambio en la tendencia de la varianza y en la media del último tercio de la serie de datos.

En la Figura A6.1., se aprecia las zonas con mayor cambio de tendencia en esta variable. La zona norte colindante con el Estado de México, principalmente en los municipios de Pedro Ascencio, Tetipac y Pilcaya es la región que muestra tendencia positiva para este índice climático, es decir, existe un aumento en el número de días con heladas

SU25. Días de verano (Summer days)

Las regiones en que existen una mayor cantidad de días en el que T_x es mayor a 25°C están presentes en casi todo el estado de Guerrero. Las regiones con menor cantidad de días con $T_x > 25^\circ\text{C}$ se encuentran en altitudes mayores a los 1000 m. s. n. m, en la cima de la cadena montañosa de la Sierra Madre del Sur y en la parte norte del estado. En la Figura 4.6., se muestran las zonas de mayor recurrencia de temperaturas $T_x > 25^\circ\text{C}$.

Las pruebas de tendencia indican un aumento promedio para el estado de Guerrero para los días con T_x mayor a 25°C . Todas las pruebas no paramétricas reflejan esta tendencia positiva en las serie de datos, mientras que las pruebas paramétricas indican solo una variación en la media de los datos manteniendo una dispersión de datos similar en todo el período de análisis. En la Figura 4.7., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas.

La tendencia positiva en el estado de Guerrero es consecuencia de las tendencias en las regiones de La Montaña, Norte, Centro y en menor grado de Tierra Caliente. Este fenómeno adquiere importancia debido a que la región La Montaña, Centro y Norte se localizan en zonas montañosas donde la temperatura predominante es fría

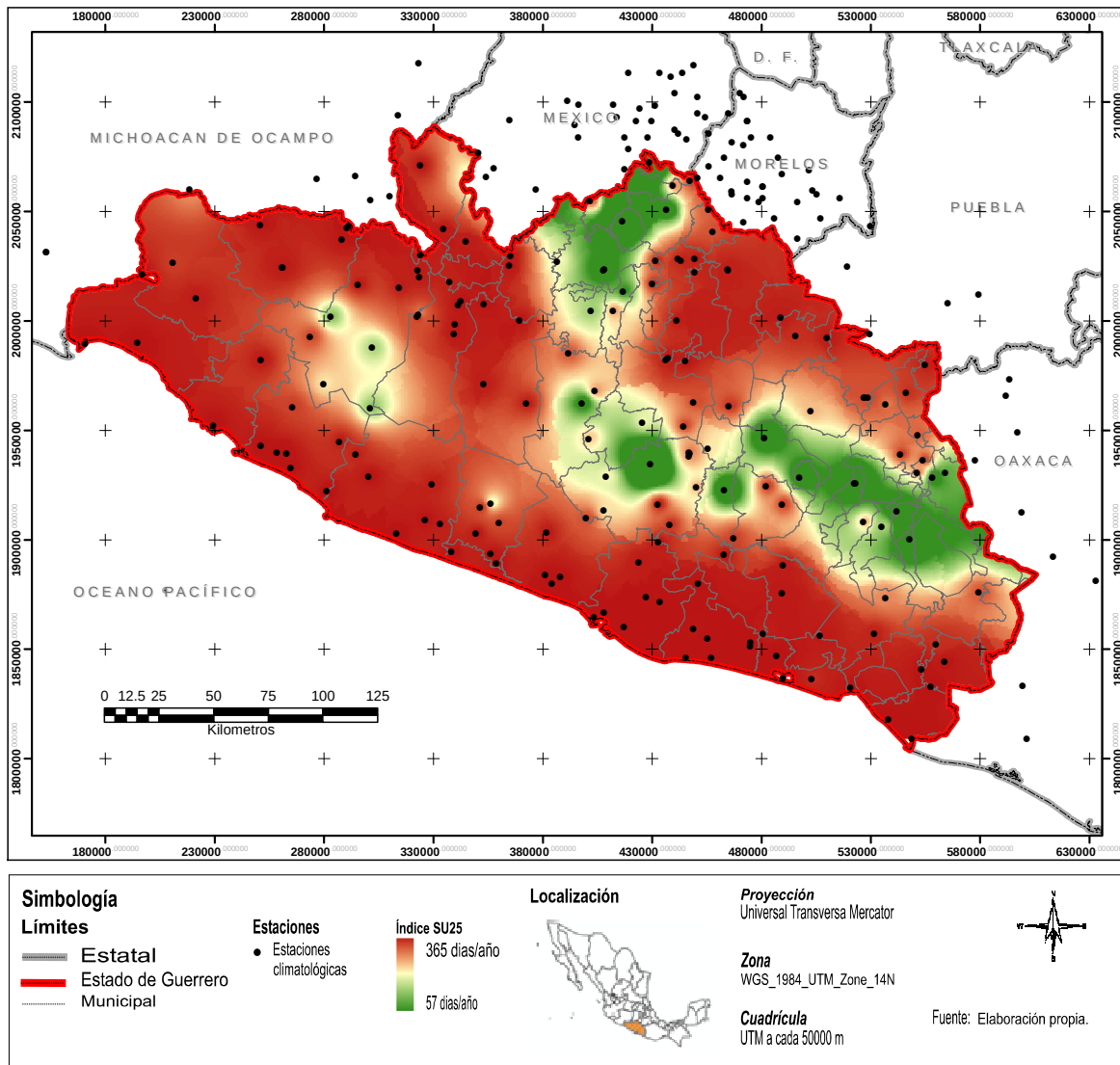


Figura 4.6. Distribución de días de verano en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

En un análisis más detallado (ver Figura A6.2., Anexo 6) se observa que el cambio de tendencia en este índice ocurre en zonas montañosas donde la dirección del viento adquiere mayor relevancia. En la región costera los vientos predominantes provienen del Océano Pacífico y se dirigen hacia el norte; este hecho se relaciona con la disminución de tendencia en la región de barlovento y el aumento de tendencia en la región de sotavento de las montañas. Es decir, en la región de barlovento de la sierra Madre del Sur hay una tendencia a aumentar los días con $T_x > 25^\circ\text{C}$. En la región norte del estado existe otra zona significativa de aumento de días de verano donde existe otro patrón de viento asociado a la zona.

Serie SU25 para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

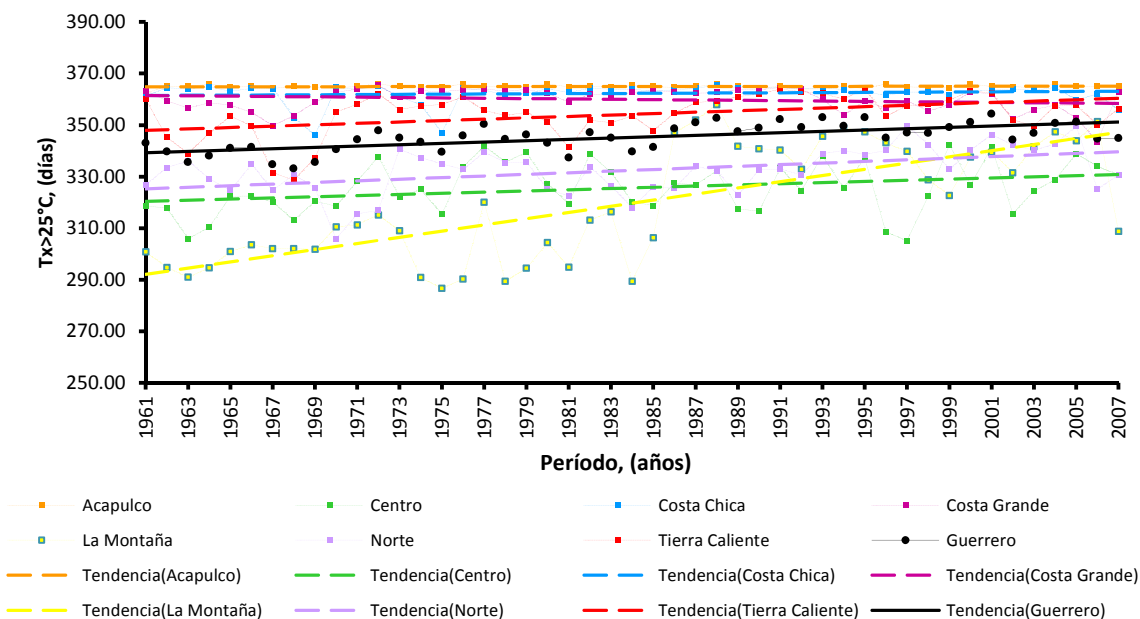


Figura 4.7. Serie anual de días con $T_x > 25^{\circ}\text{C}$ del estado de Guerrero en sus regiones geográficas Acapulco, Centro, Costa Chica y Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

Este índice muestra especial importancia debido a que la zona montañosa propicia un viento característico en la zona, denominado como viento Föhn. El viento Föhn se produce cuando y un viento fuerte y húmedo sube por la ladera barlovento de la montaña enfriándose por debajo de la temperatura de condensación, formando nubes que se mantienen adosadas a las cimas de las montañas, que provocan precipitaciones, por lo que el contenido de humedad del aire baja y así el aire que desciende por el sotavento es seco. Este fenómeno puede verse alterado por el contenido de humedad asociado a la vegetación de la zona, en donde las zonas de sotavento que han sido modificadas bruscamente por el cambio de vegetación de selvas y bosques a suelos agrícolas y pastizales puede provocar un viento más seco que el sistema de viento original.

Las regiones geográficas con aumento considerable en el número de días con $T_x > 25^{\circ}\text{C}$ son la región Centro, La Montaña y Norte; mientras que la región de Tierra Caliente existe un incremento en el sotavento de las montañas de esa zona.

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: Coyuca de Catalán, San Miguel Totolapan, Xochistlahuaca, Tlacoachistlahuaca, Metlatónoc, Malinaltepec, Atlamajalcingo, Copanatoyac, Zapotitlán Tablas, Atlixac, Chilapa, Ahuacuotzingo, Zitlala, Quechultenango, Mochitlán, Chilpancingo, Tixtla, Apaxtla, Cuetzala, Huitzuco, Arcelia, Teloloapan, General Canuto A. Neri, Pedro Ascencio, Ixcateopan, Taxco, Tetipac y Pilcaya.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: Coahuayutla, La Unión, Técpan, Atoyac, Chilpancingo, Tecoaapa, Ayutla, San Luis Acatlán, Igualapa, San Luis Acatlán, General Heliodoro Castillo, Leonardo Bravo, Eduardo Neri, Tlapa, Alpoyeca, Cualác.

IDO. Días con hielo (Icing Days)

En el estado de Guerrero no existen días con hielo. T_x siempre ha sido mayor a 0°C en el período evaluado, por lo tanto no puede realizarse un análisis de tendencia a esta serie de datos.

TR20. Noches tropicales (Tropical nights)

Las regiones donde la mayor parte del año con $T_n > 20^\circ\text{C}$ se ubican en la costa y en la frontera con el estado de Michoacán extendiéndose por la depresión del balsas. En la Figura 4.8., se aprecia como varía espacialmente el número de días con noches tropicales en el estado de Guerrero.

Las pruebas de tendencia reflejan un cambio en el número de noches tropicales para el estado de Guerrero, con tendencia a aumentar en la región de Acapulco y Tierra Caliente, y a disminuir en la región Centro, La Montaña y Norte. Tanto las pruebas paramétrica y no paramétricas coincide en que la tendencia en el estado adquiere efectos locales a lo largo del período estudiado. En la Figura 4.9., se muestra el promedio de registro anual de noches tropicales para el estado de Guerrero.

En un análisis más detallado (ver Figura A6.3., Anexo 6) se observa que el cambio de tendencia en este índice ocurre en un orden establecido. Se observa que existe un aumento de la tendencia en la zona costera y cerca de las fronteras con los estados de Michoacán y Oaxaca; en la región centro comienza a presentarse una reducción en el número de días con $T_n > 20^\circ\text{C}$, cuyo comportamiento se extiende a la parte norte del estado.

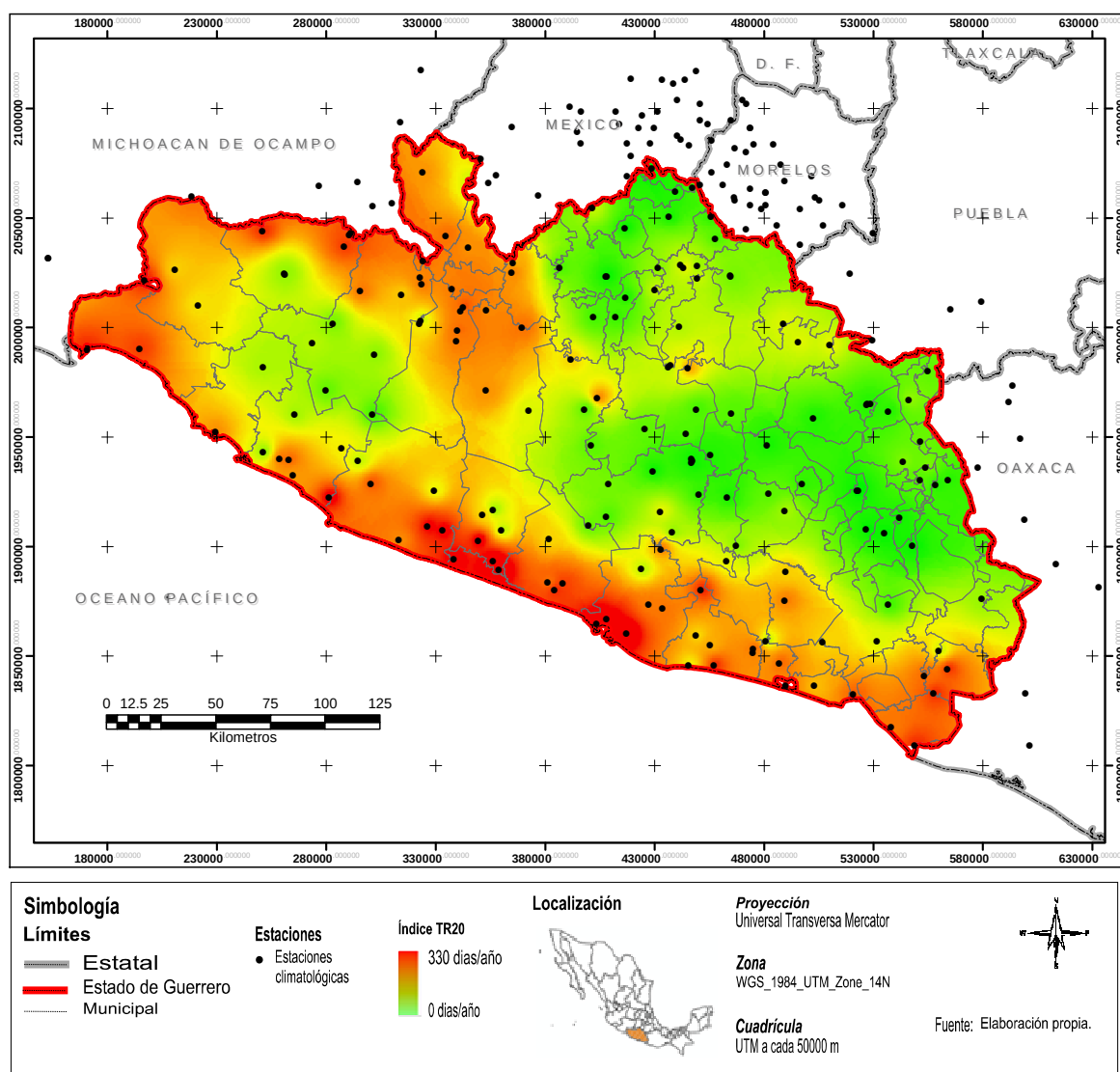


Figura 4.8. Distribución de noches tropicales para el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007

Los municipios donde existe un apreciable aumento de tendencia para este índice son: José Azueta, Coyuca, Acapulco, Florencio Villareal, Copala, Cuatepec, Azoyú, San Luis Acatlán, Cuajinicuilapa, Xochistlahuaca, Tlacoachistlahuaca, Quechultenango, Chilapa, Ahuacuotzingo, Tixtla, San Miguel Totolapan, Coyuca de Catalán, Zirándaro y Cutzamala.

Los municipios donde existe una disminución de tendencia son: La Unión, San Jerónimo, Atoyac, Juan R. Escudero, Chilpancingo, Leonardo Bravo, Alcozauca, Tlapa, Xalpatláhuac, Atlamajalcingo, Copanatoyac, Eduardo Neri, Cuetzala, Tepecoacuilco, Huitzuco, Tlalchapa, Tlapehuala, Arcelia, Tetipac, Pilcaya y Taxco

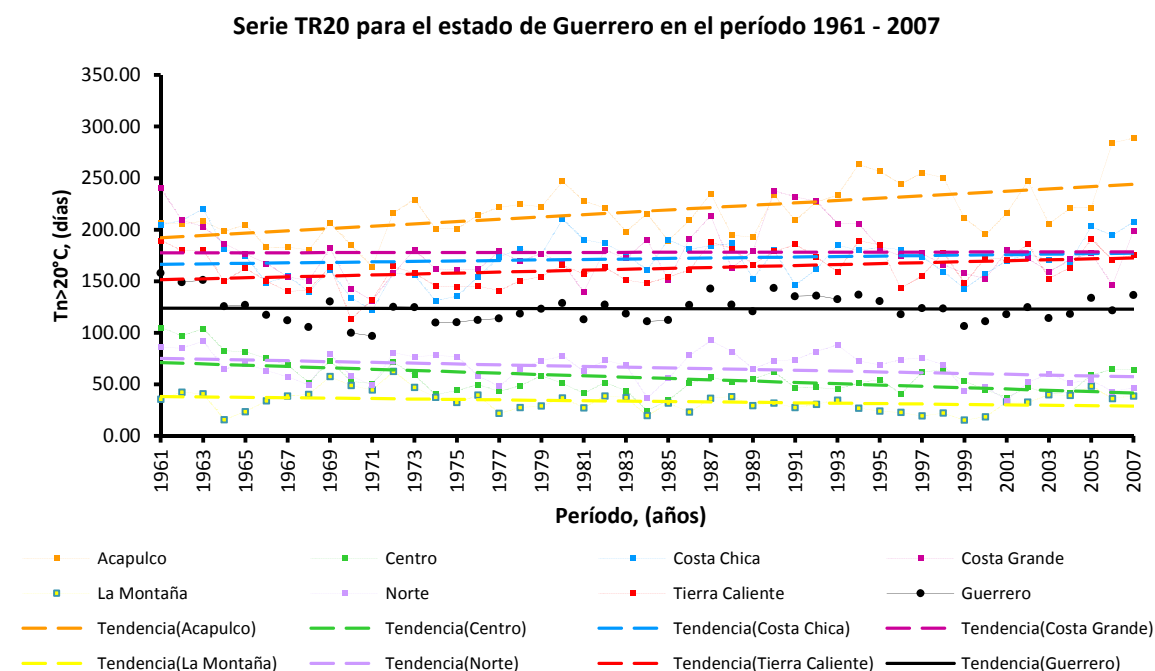


Figura 4.9. Serie anual de días con $T_n > 20^{\circ}\text{C}$ del estado de Guerrero y sus regiones geográficas Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

GSL. Estación de Crecimiento (Growing Season Length)

El índice GSL no puede obtenerse para el estado de Guerrero debido a que la temperatura media (T_{ij}) es de 24.6°C , lo cual impide obtener el segundo parámetro de por lo menos seis días consecutivos con $T < 5^{\circ}\text{C}$. En la Figura 4.10., se muestra el registro de temperatura media para el estado de Guerrero en el período 1961 – 2007.

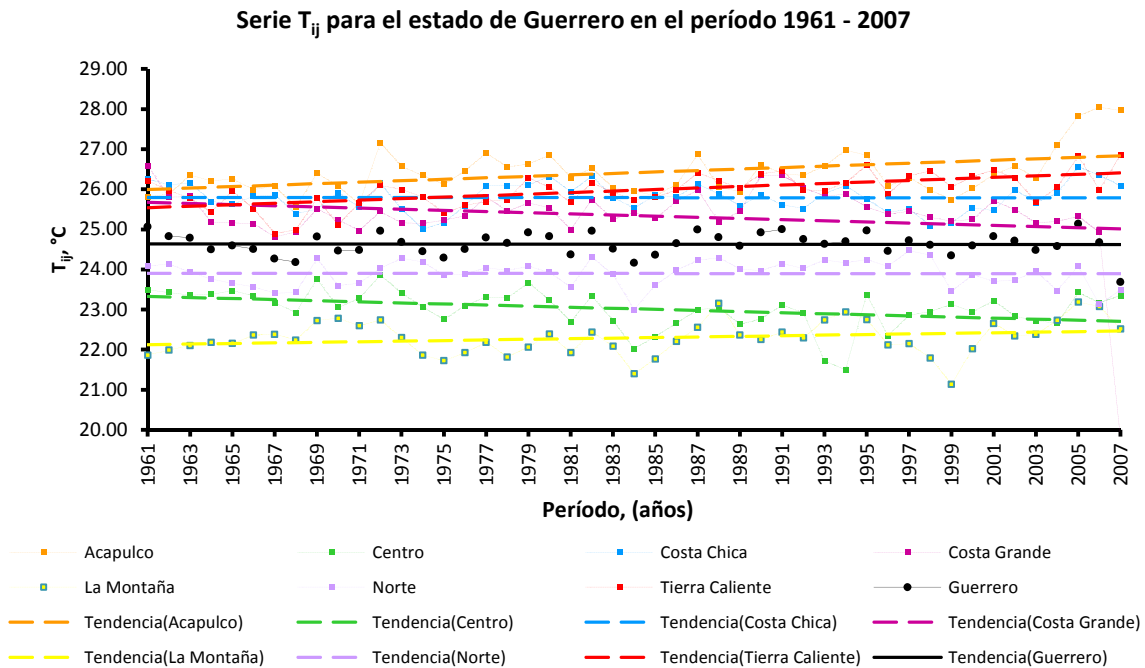


Figura 4.10. Serie anual de temperatura media T_{ij} para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

TXx. Temperatura máxima extrema

Las zonas más cálidas en el estado se localizan en la cuenca del Balsas en los límites con el estado de Michoacán, con temperaturas superiores a 37.5 °C y máximos de 45 °C. En la cuenca del río Nexpa existe otra zona cálida con TXx superiores a 37.5°C y brotes de 40°C. Sin embargo, este índice requiere un análisis mensual para comprender la evolución a través del año y su variación espacial en el estado de Guerrero. En la Figura 4.11., se aprecia como varía espacialmente la temperatura máxima anual en el estado de Guerrero. Las zonas menos cálidas presentan temperaturas de 30°C ubicándose en la cima de la Sierra Madre del Sur y en la parte norte del Estado. La temperatura media TXx en el estado de Guerrero es de 38°C oscilando entre 37.2 y 39.4°C.

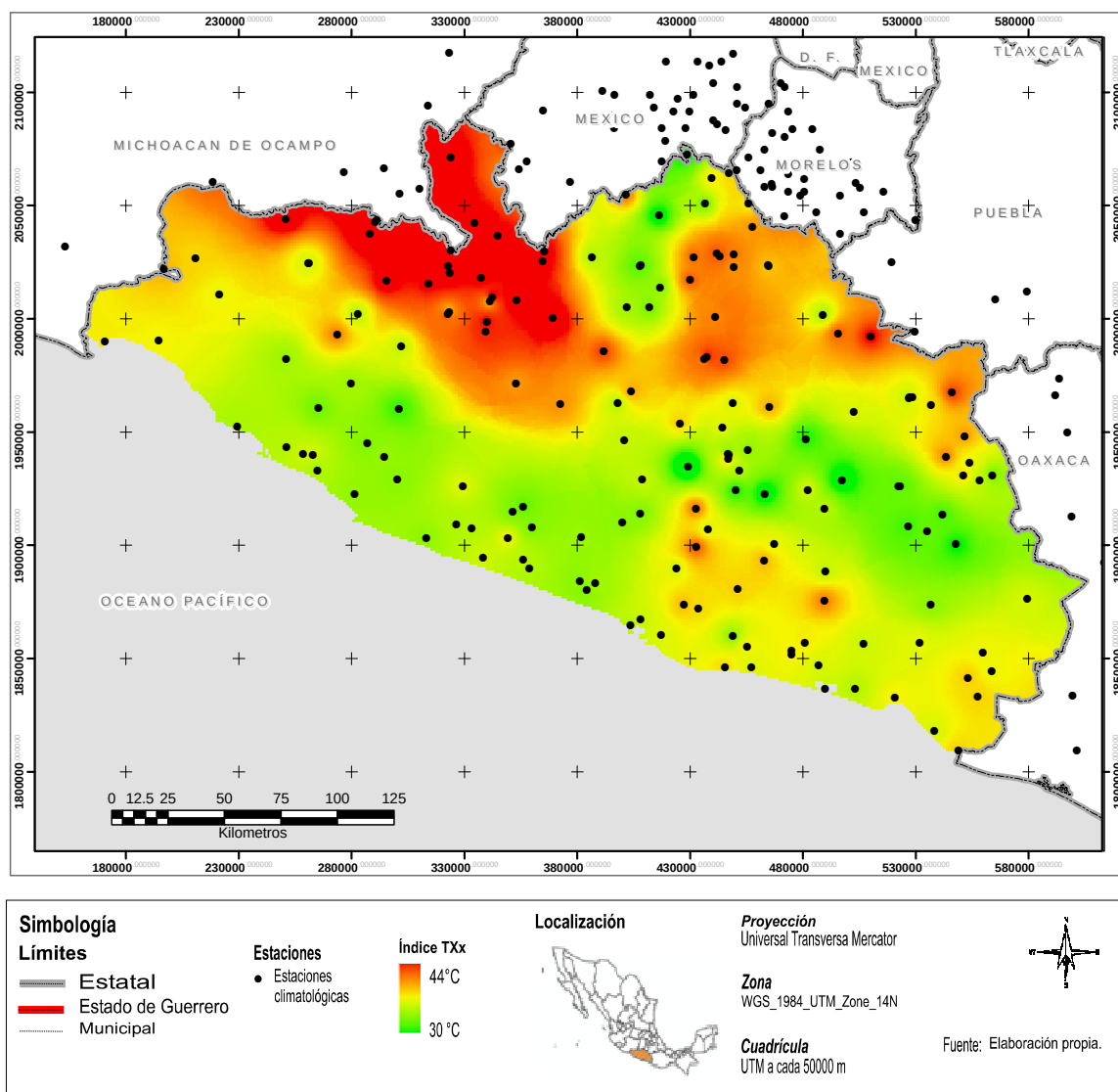


Figura 4.11. Distribución de temperatura máxima extrema para el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007

Las pruebas de tendencia no indican un aumento o disminución de la temperatura máxima extrema en el estado de Guerrero en promedio. Tanto las pruebas paramétrica y no paramétrica coincide en que la tendencia no presenta una variación significativa a lo largo del período estudiado; solo la prueba de Cramer demuestra una tendencia positiva significativa en la serie. En la Figura 4.12., se muestra el promedio de registro anual de TXx para el estado de Guerrero y para sus regiones geográficas.

En el período de Enero a Junio es posible apreciar como las zonas cálidas de la región del Balsas se expande hacia las montañas; en el mes de julio la temperatura TXx tiende a uniformizarse en el estado por la presencia de lluvias hasta llegar el mes de octubre y noviembre con un nuevo repunte de variación térmica. En el mes de Mayo se alcanza las temperaturas más altas en el estado, posteriormente comienza a descender la temperatura hasta el mes de septiembre; en el mes de octubre y noviembre se presenta un leve ascenso de temperatura que concluye en el mes de diciembre con la entrada del invierno (ver Figura 4.13).

Serie TXx para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

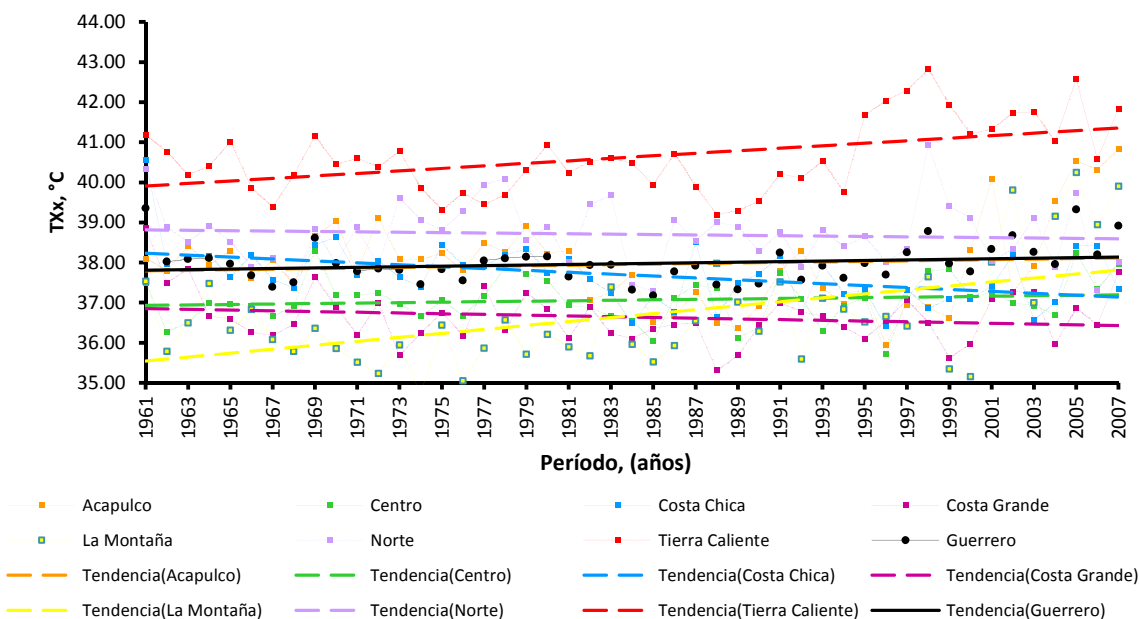


Figura 4.12. Serie anual de temperatura máxima extrema, TXx, del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

Temperatura TXx promedio en el estado de Guerrero

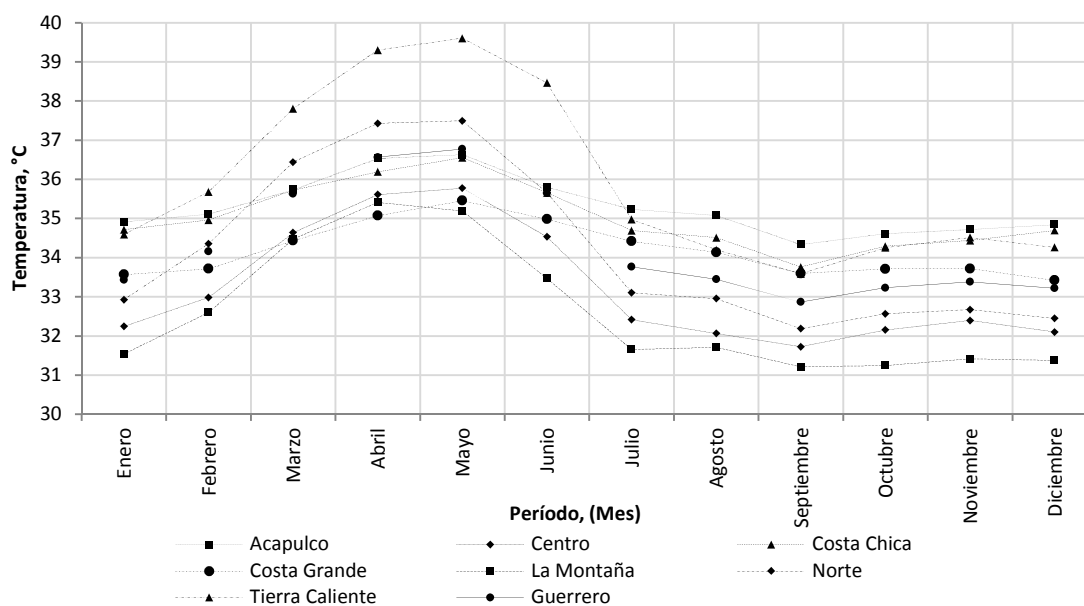


Figura 4.13. Temperatura TXx promedio para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

Regionalmente se observa aumento de temperatura en la región de La Montaña, Tierra Caliente y partes de la región Centro, mientras que en la región Costa Chica se presenta disminución de la temperatura TXx y en la región Costa Grande y Norte se aprecian esporádicas zonas de disminución de TXx. La tendencia positiva o negativa de temperatura máxima adquiere relevancia conforme el análisis se hace a nivel mensual como se describe a continuación. En la Figura A6.4. (Anexo 6), se muestran las zonas de incremento y disminución de la temperatura TXx en el estado de Guerrero.

En las Figura 4.14. y 4.15., se muestra la variación de la temperatura máxima TXx en el estado de Guerrero a nivel mensual; es importante hacer notar el rol que desempeña la orografía del estado en los contrastes térmicos que predominan en algunas regiones.

La región de Acapulco presenta tendencia nula a nivel anual, sin embargo, en el período enero – mayo la tendencia es negativa debido a la ausencia de temperaturas mayores a 37.2 °C en los años 1980 – 2000. La región Centro no denota cambios sustanciales de tenencia a nivel mensual y anual. La región Costa Chica manifiesta disminución de la temperatura TXx en la escala anual debido principalmente a la tendencia negativa de los meses julio – diciembre. En la región Costa Grande, la temperatura TXx desciende en el segundo período de la muestra para los meses de enero – julio. La región La Montaña tiende a aumentar en la temperatura TXx a nivel anual y en los meses febrero – septiembre a partir del año 1986. La región Norte no presenta hasta el momento tendencia en la serie de datos en las escalas mensual y anual. La región Tierra Caliente predomina la tendencia positiva en los meses febrero – julio lo que conduce a tendencia positiva a nivel anual.

La tendencia en el estado de Guerrero se considera nula, sin embargo, los efectos locales adquieren mayor relevancia debido a zonas puntuales de aumento y decremento de la tendencia. En los meses de septiembre, julio y abril la tendencia predominante en el estado es a aumentar la temperatura TXx, mientras que en el resto de los meses no existe tendencia positiva o negativa en la serie de datos a nivel estatal. En el Anexo 6, Figura A6.5. y A6.6, se muestra cómo varía espacialmente la tendencia para el índice TXx en el estado de Guerrero en escala mensual. En la Figura 4.16.a. y 4.16.b., puede apreciarse la evolución de las temperaturas TXx mensuales a lo largo del período de estudio 1961 – 2007 para las distintas regiones geográficas del estado de Guerrero.

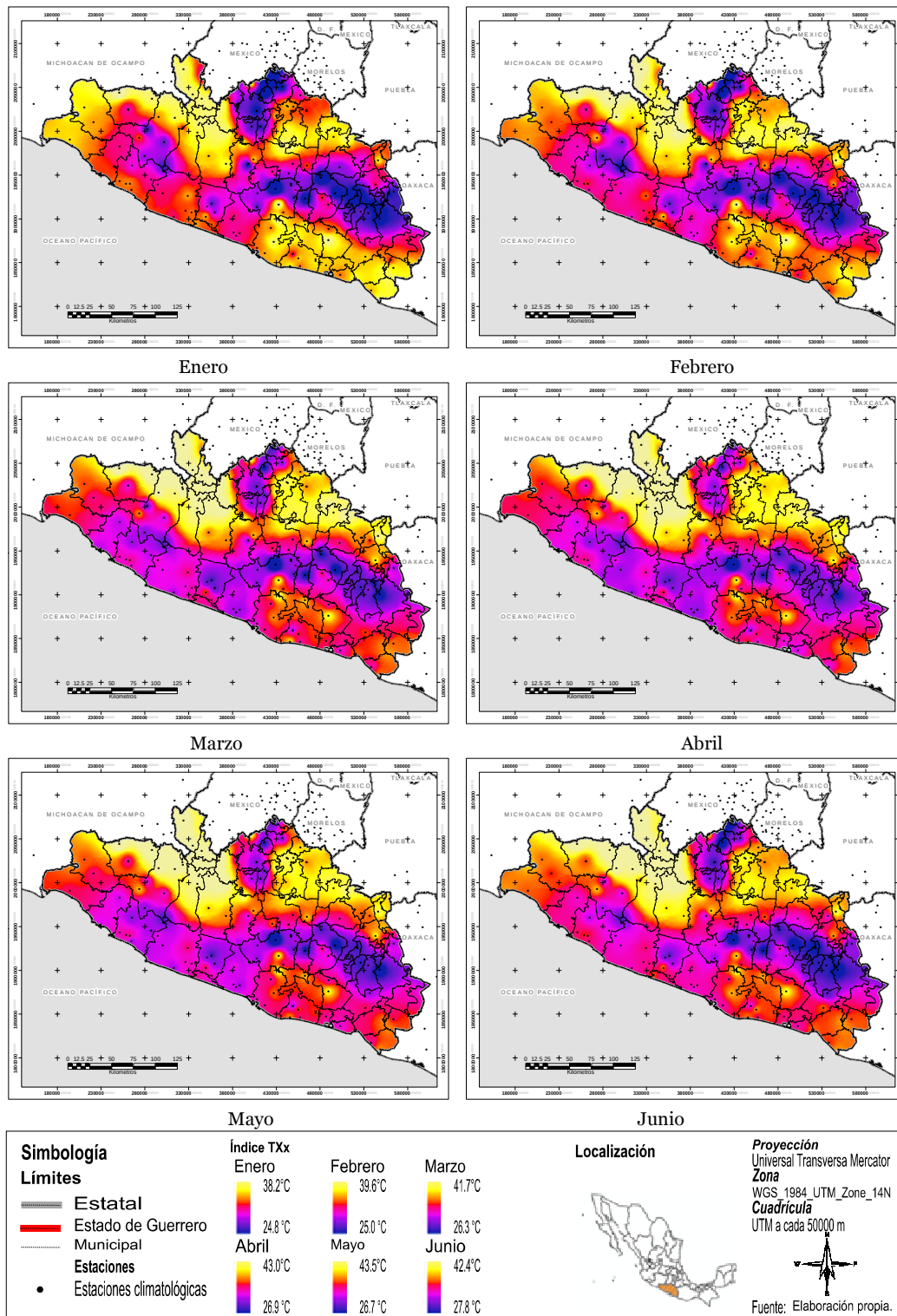


Figura 4.14. Variación de la temperatura TXx en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

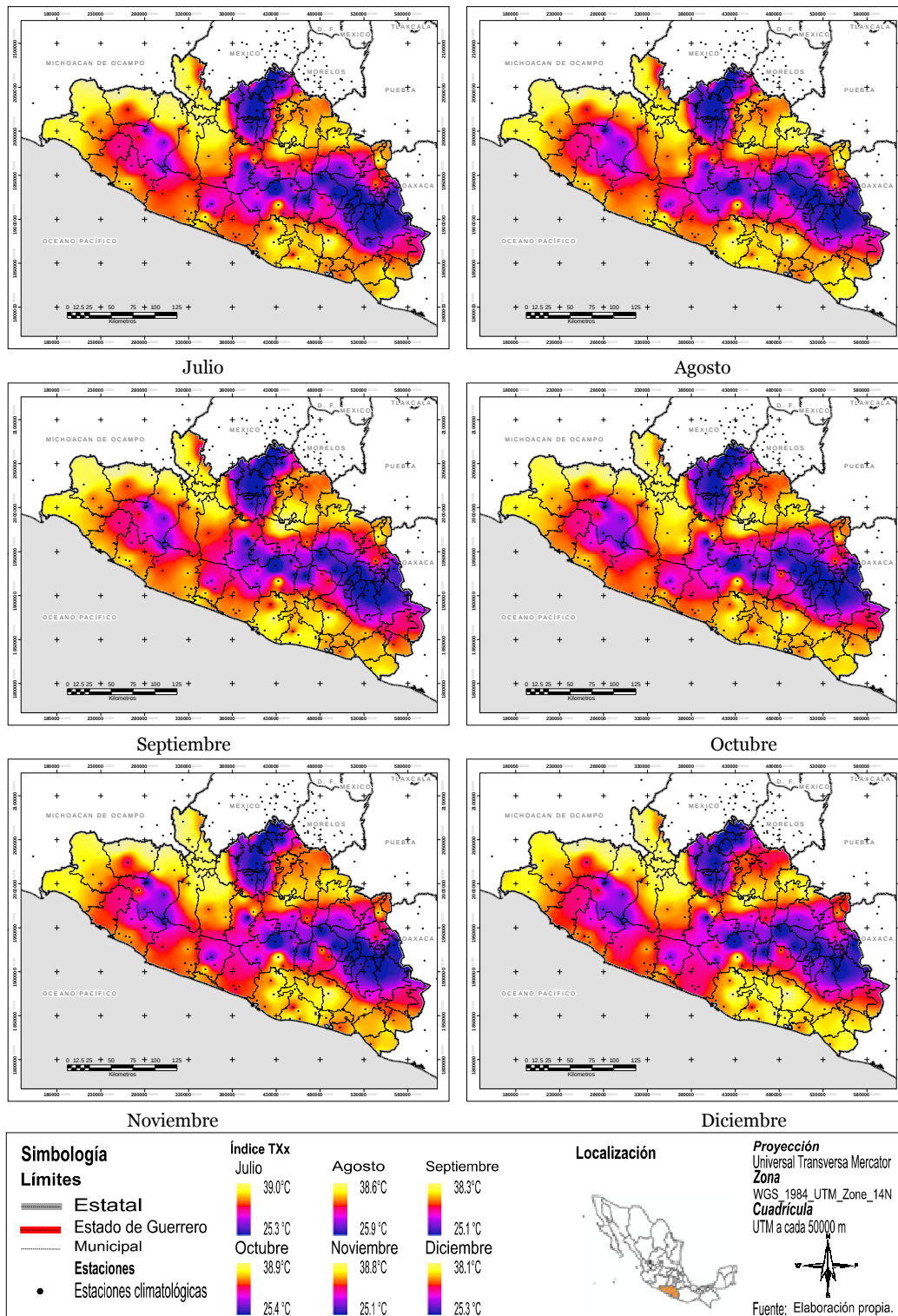


Figura 4.15. Variación de la temperatura TXx en los meses Julio – Diciembre en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

Variación de promedio de TXx en el estado de Guerrero

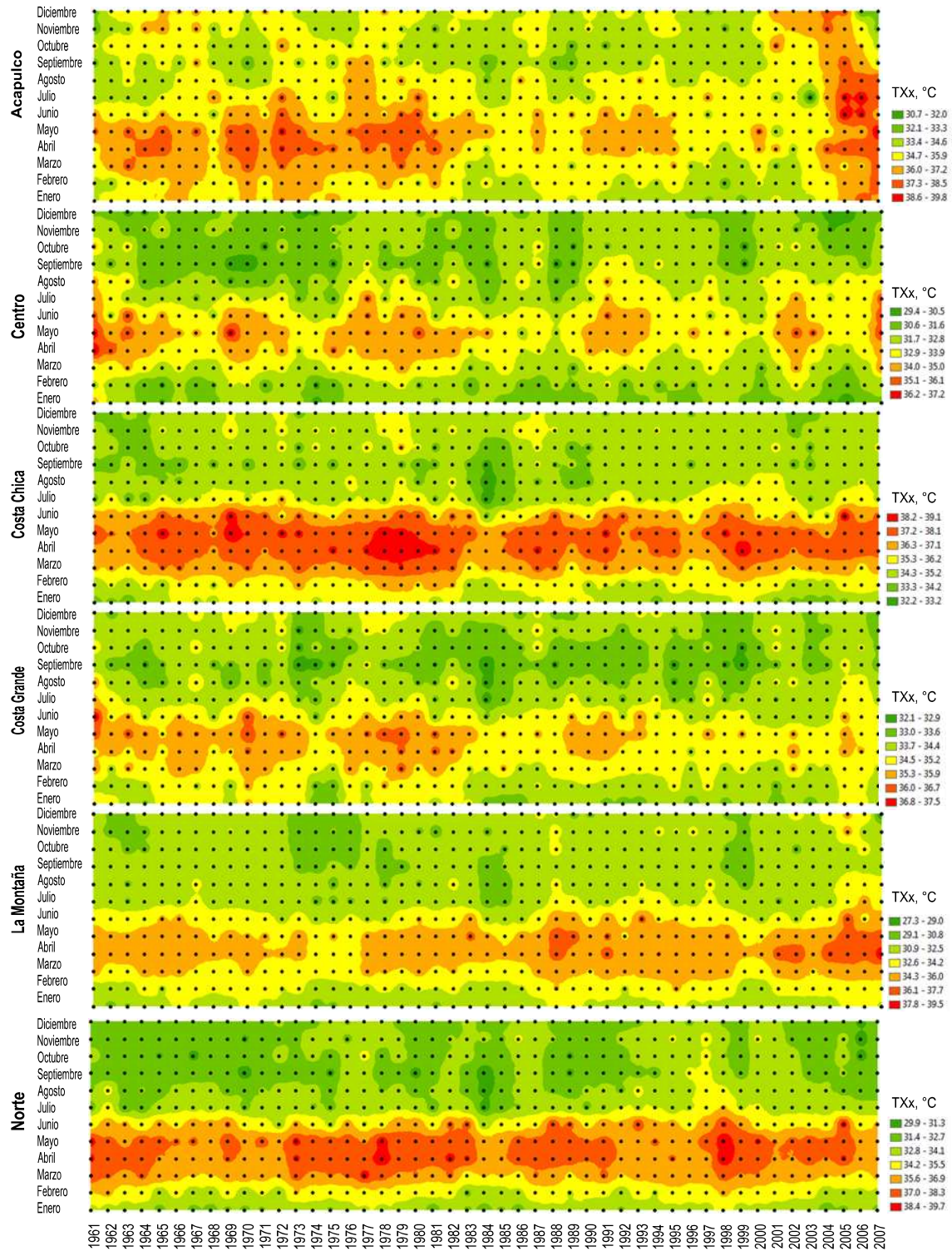


Figura 4.16.a. Variación promedio de TXx mensual en las regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande y La Montaña, en el período 1961 – 2007

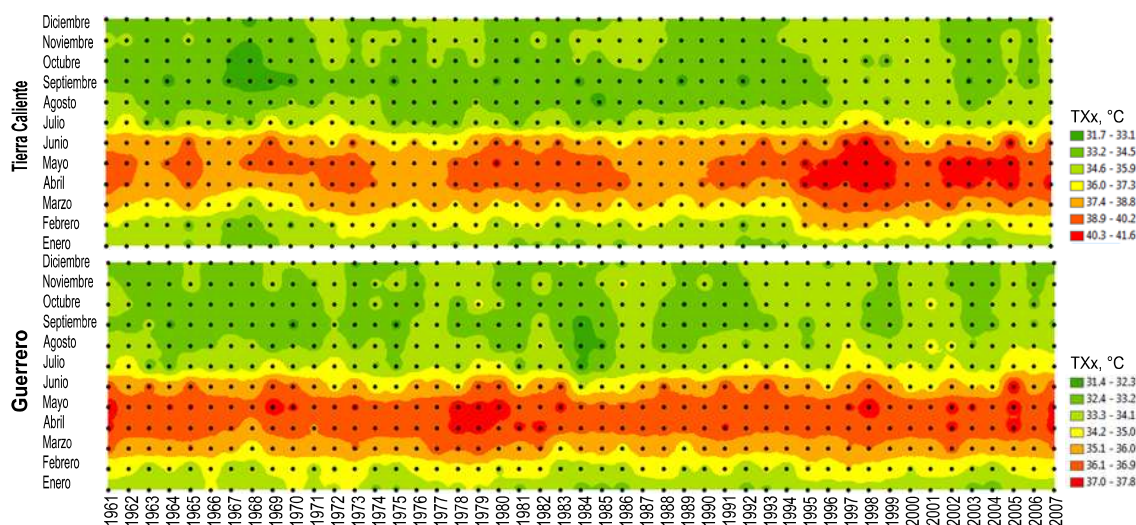


Figura 4.16.b. Variación promedio de TXx mensual en las regiones Norte, Tierra Caliente y el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007

En conclusión el índice TXx no presenta cambios sustanciales a escala anual, sin embargo, la segunda mitad del año las temperaturas TXx tienden a incrementarse.

TNx. Temperatura mínima más alta

Las zonas cálidas en el estado se localizan en la cuenca del Balsas en la región de Tierra Caliente, con temperaturas TNx superior a 25°C y extremos de 30°C. La región de Costa Chica y parte de la Costa Grande forma otra área cálida con TNx superior de 22.5°C y extremos de 27°C. En la Figura 4.17., se aprecia como varía espacialmente la temperatura TNx en el estado de Guerrero. Las zonas menos cálidas presentan temperaturas de 16.5°C ubicándose en la cima de la Sierra Madre del Sur en la región La Montaña y Norte. La temperatura media TNx en el estado de Guerrero es de 23.7°C oscilando entre 22 y 25°C.

La temperatura mensual sigue un patrón oscilante, ascendiendo gradualmente en los meses de Enero a Mayo y descendiendo de Junio a Diciembre; el mes de mayo es el más cálido para la temperatura TNx en promedio para el estado de Guerrero (ver Figura 4.18.). En los meses de Diciembre y Enero se delimitan dos zonas térmicas en el estado; la zona cálida abarca la región de Tierra Caliente, Costa Chica y Costa Grande, mientras que la región Centro, Norte y La Montaña presenta temperaturas más frías. En el período Febrero – Junio la temperatura TNx aumenta y la región cálida comienza a propagarse por la depresión del Balsas, de tal forma que la zona fría de los meses diciembre – enero se divide en dos regiones. Posteriormente, el período Julio – Noviembre la temperatura comienza a disminuir hasta regresar a la condición inicial del período de invierno.

En las Figuras 4.20. y 4.21., se muestra la variación de la temperatura máxima TNx en el estado de Guerrero a nivel mensual; es importante hacer notar el rol que desempeña la orografía del estado en los contrastes térmicos que predominan en algunas regiones.

Las pruebas de tendencia indican disminución de la temperatura TNx en el estado de Guerrero en promedio. Las pruebas no paramétricas coinciden en una variación significativa a lo largo del período estudiado con tendencia negativa. En la Figura 4.19., se muestra el promedio de registro anual de TNx para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas.

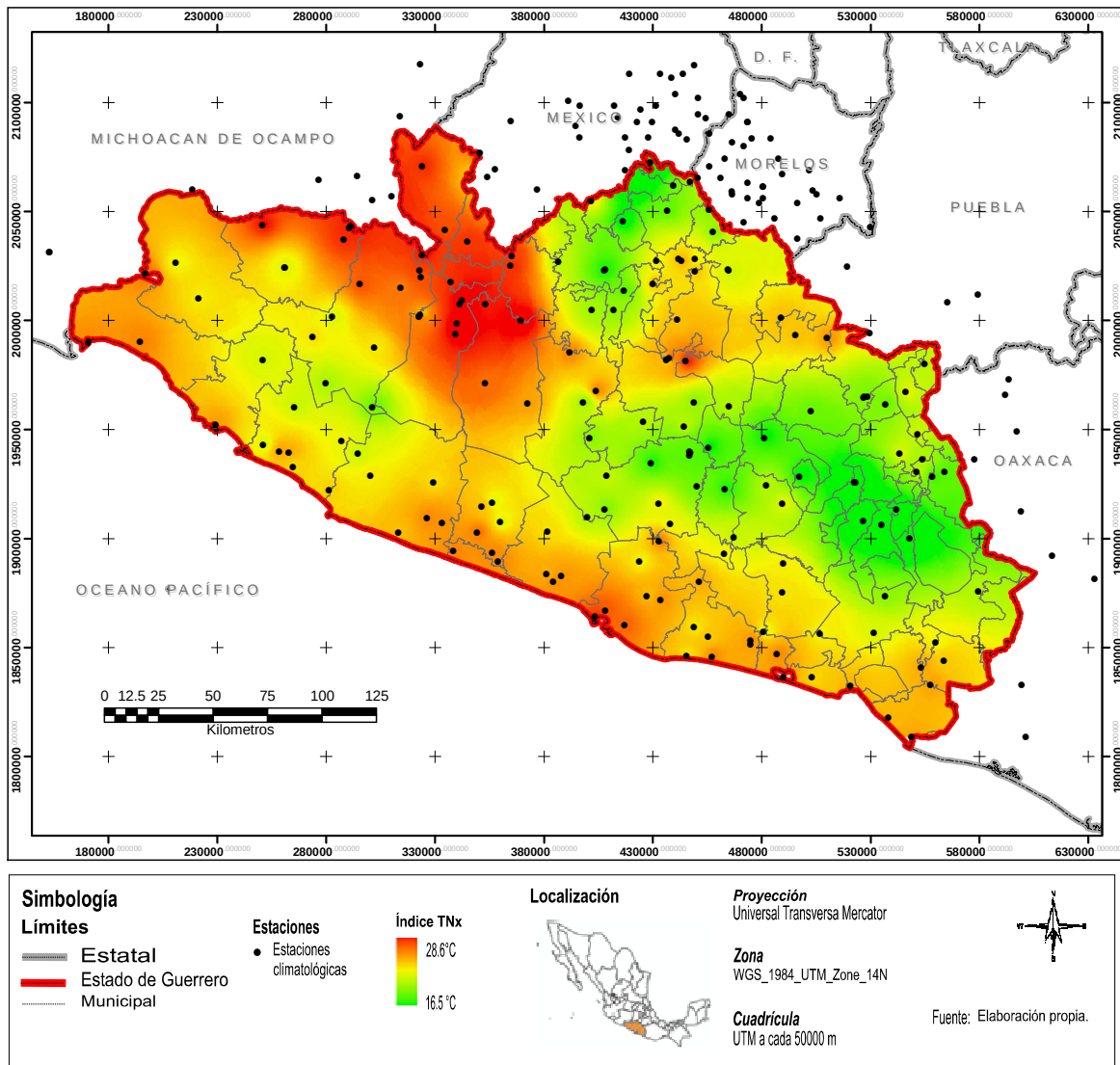


Figura 4.17. Distribución del índice TNx para el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007

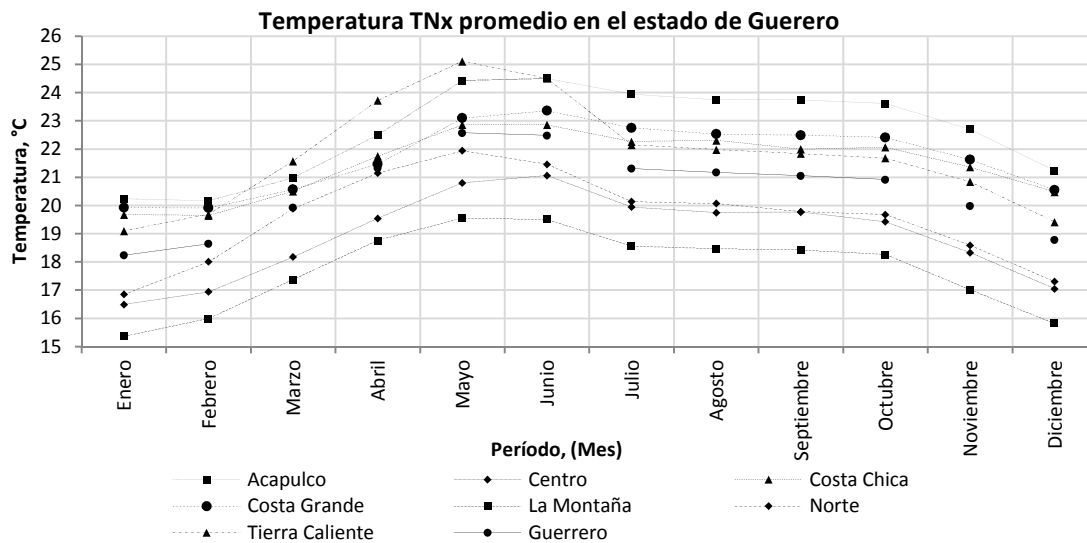


Figura 4.18. Temperatura TNx promedio para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

Serie TNx para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

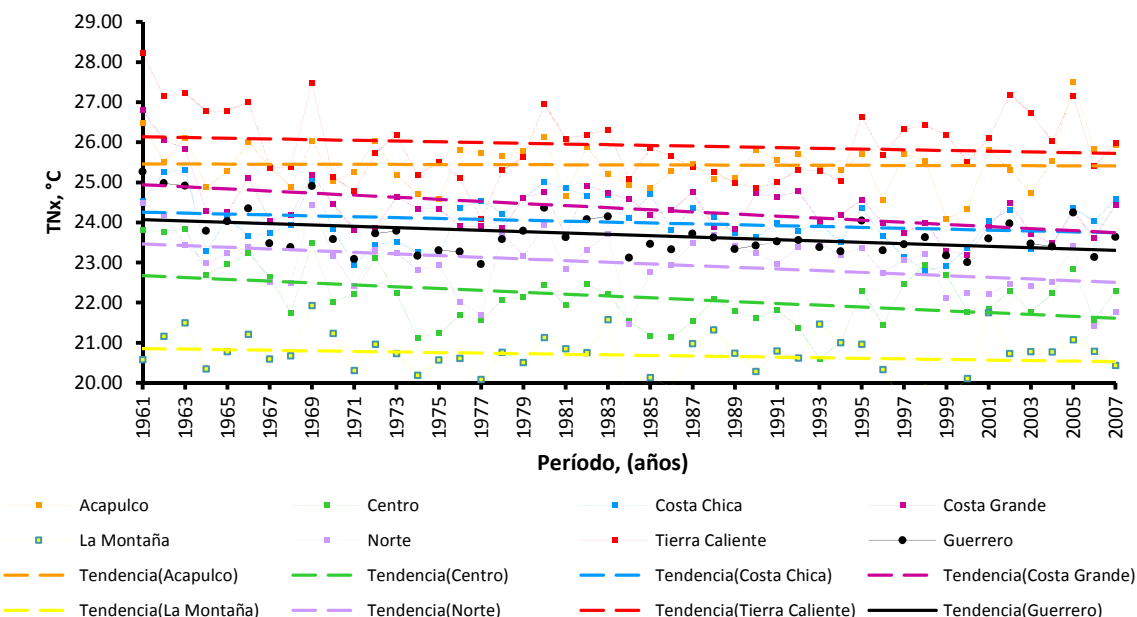


Figura 4.19. Serie anual de temperatura máxima extrema, TNx, del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

Las pruebas paramétricas indican que la variación de la media ha acontecido a lo largo del período en estudio y no es de reciente modificación, ya que la prueba de Cramer no detectó cambio alguno. Además, la varianza de la serie ha cambiado de igual manera con el transcurrir de los años. La tendencia negativa de TNx predomina en la región de la costa y se expande hacia el centro del estado, observándose además algunos brotes en la frontera con el Estado de México y Morelos. Existe una importante zona en La Montaña en que la tendencia es contraria, es decir, con tendencia positiva.

El cambio fundamental en este índice consiste en la magnitud de los eventos, que se asocia con el estadístico de la media, que han disminuido en la región de Tierra Caliente y La Montaña y que comienza a propagarse a la región de la costa. El cambio en la media de los datos está asociado a una mayor dispersión de temperatura en la región de Tierra Caliente. La tendencia en esta zona impacta directamente la temperatura mensual, cuyas variaciones se enuncian enseguida. En la Figura A6.7. (Anexo 6), se muestran las zonas de incremento y disminución de la temperatura TNx en el estado de Guerrero.

La región de Acapulco presenta tendencia nula a nivel anual, sin embargo, los meses enero – febrero tiende a aumentar la temperatura, con el aumento de 2°C en los últimos 15 años. La región Centro denota cambios sustanciales de tendencia a nivel mensual y anual; la tendencia es a decrecer en 0.5°C a partir del año 1985. La región Costa Chica no manifiesta cambio en la tendencia TNx en la escala anual y mensual; solo el mes de febrero muestra un ligero aumento a partir del año 1980. En la región Costa Grande, la temperatura TNx descende en el segundo período de la muestra para los meses de abril – septiembre. La región La Montaña tiende a preservarse la temperatura TNx a nivel anual y en los meses febrero – marzo y septiembre - diciembre. La región Norte tiende a decrecer la temperatura TNx principalmente en los meses marzo - octubre. En la región Tierra Caliente. No hay indicios de cambio de tendencia en la serie de datos tanto a nivel anual como mensual.

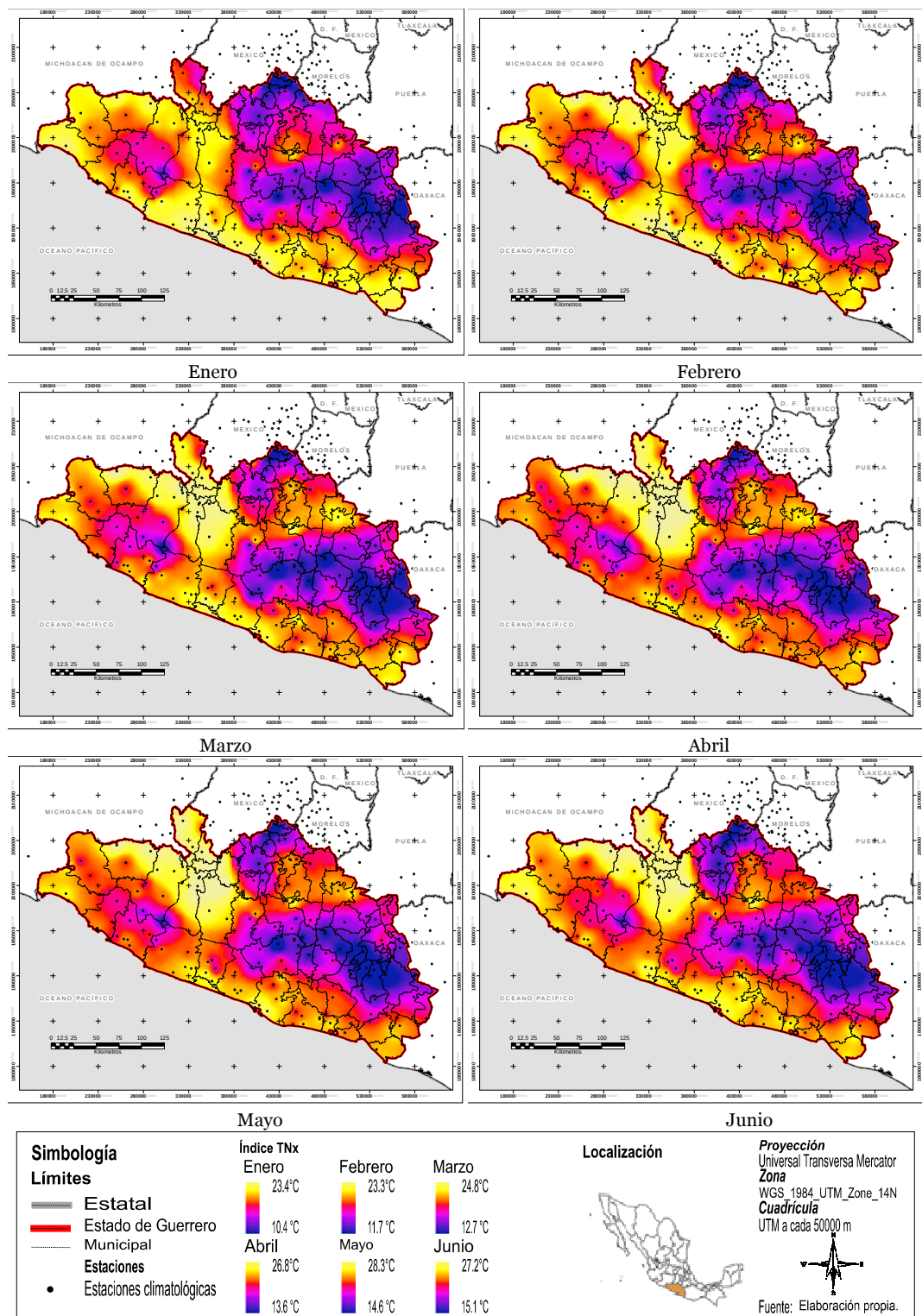


Figura 4.20. Variación de la temperatura TNx en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

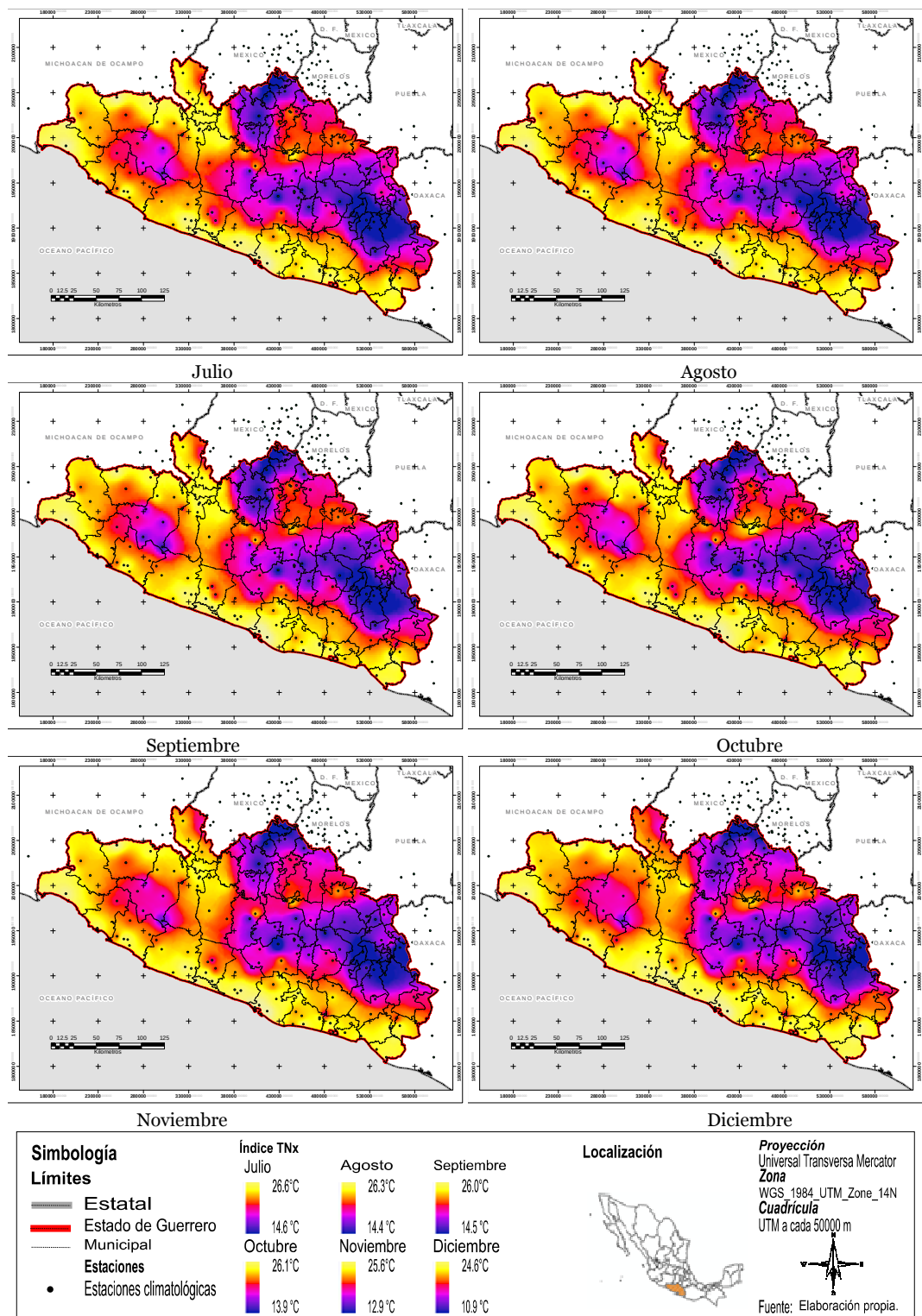


Figura 4.21. Variación de la temperatura TNx en los meses Julio – Diciembre en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

Los meses de abril - agosto la tendencia predominante en el estado es a disminuir la temperatura TNx. En el Anexo 6, Figura A6.8-6.9., se muestra cómo varía espacialmente la tendencia para el índice TNx en el estado de Guerrero en escala mensual. En la Figura 4.22., puede apreciarse la evolución de las temperaturas TNx mensuales a lo largo del período de estudio 1961 – 2007.

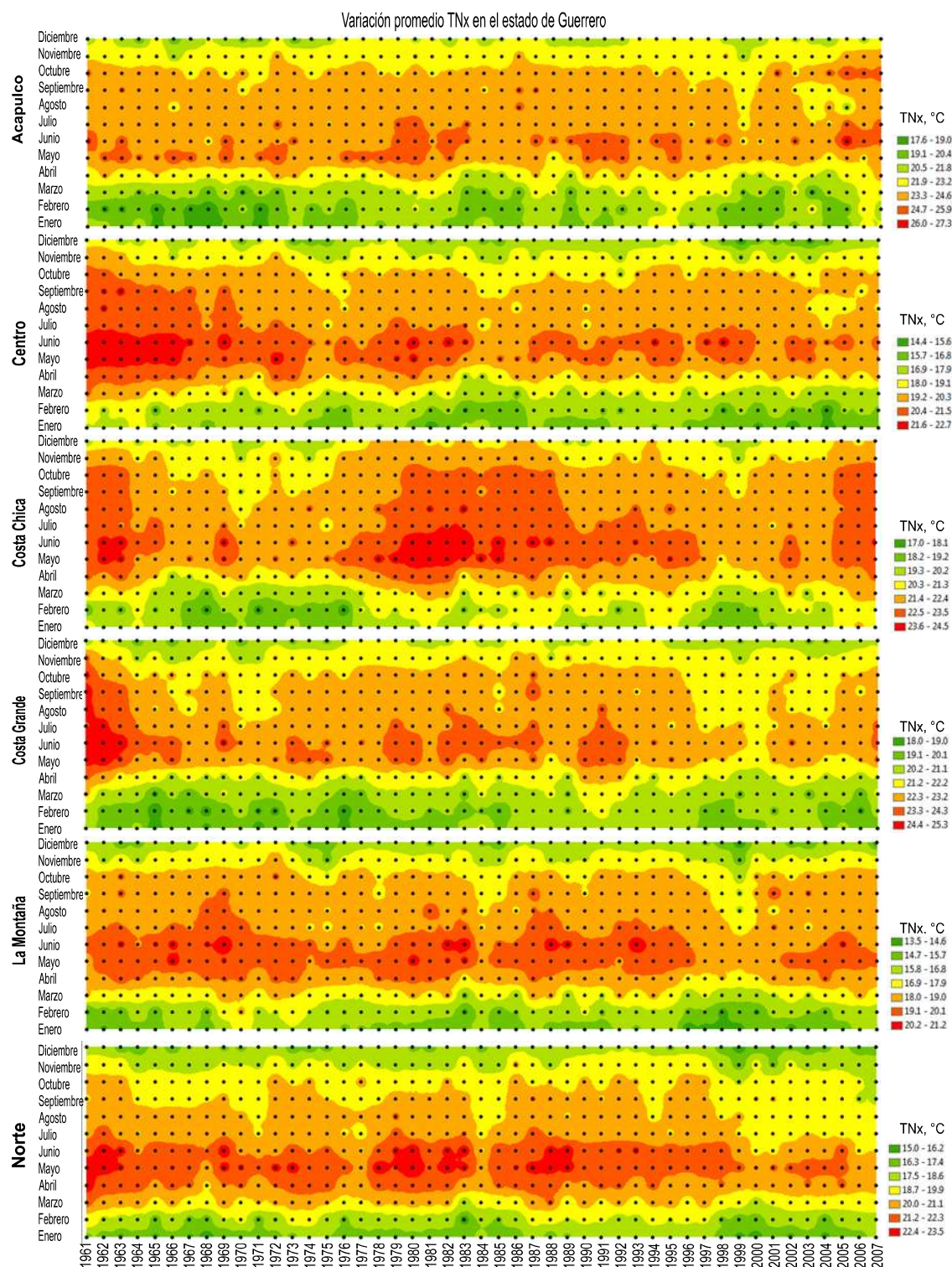


Figura 4.22.a. Variación promedio de TNx mensual en las regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña y Norte, en el período 1961 – 2007

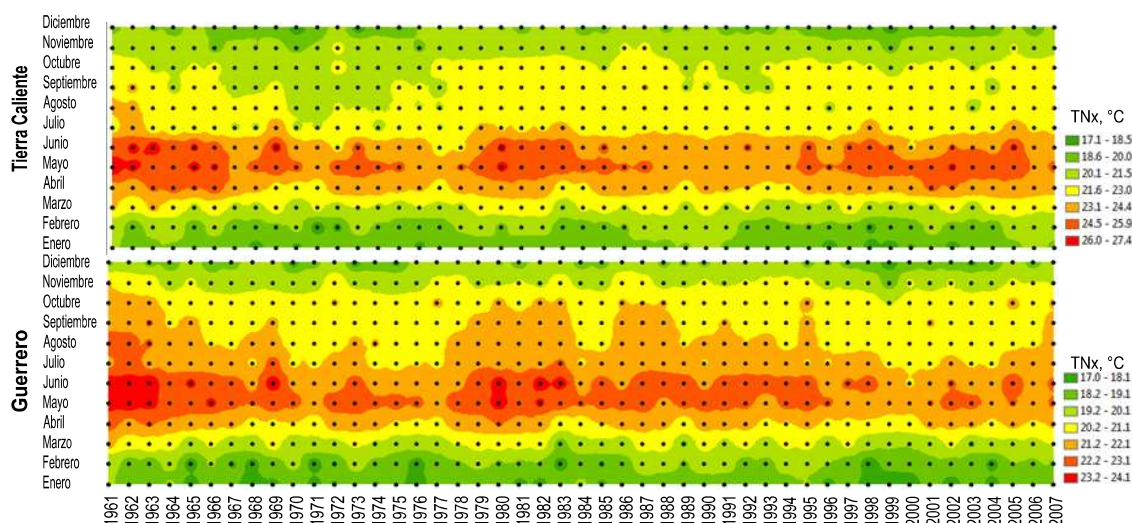


Figura 4.22.b. Variación promedio de TNx mensual en la región Tierra Caliente y el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007

Observando la Figura 4.22., se aprecia la disminución de temperatura para los meses Marzo – Septiembre a partir del año 1995 de 23.2°C a 22.2°C. El rango de temperatura de 20-21°C en los últimos diez años comienza en el mes de Julio, cuando antes comenzaba el descenso de temperatura hasta el mes de Agosto.

En conclusión el índice TNx presenta cambios a escala anual, incrementándose los efectos en los meses marzo -septiembre con una tendencia negativa.

TXn. Temperatura máxima más baja

Las características del índice TXn es similar al índice TNx. Las zonas cálidas en el estado se localizan en la cuenca del Balsas en la región de Tierra Caliente, con temperaturas TXn superiores a 25°C. La región de Costa Chica y parte de la Costa Grande forma otra área cálida con TXn superior a 25 °C y extremos de 30 °C. En la Figura 4.23., se aprecia como varía espacialmente la temperatura TXn en el estado de Guerrero. Las zonas menos cálidas presentan temperaturas de 16.5°C ubicándose en la cima de la Sierra Madre del Sur en la región Centro, La Montaña y Norte. La temperatura media TXn en el estado de Guerrero es de 24.8°C oscilando entre 21.6 y 26.4°C.

Las pruebas de tendencia indican aumento de la temperatura TXn en el estado de Guerrero en promedio. Las pruebas no paramétricas coincide en una variación significativa a lo largo del período estudiado con tendencia positiva. En la Figura 4.24., se muestra el promedio de registro anual de TXn para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas. Las pruebas paramétricas indican que la variación de la media a acontecido a lo largo del período en estudio modificándose en los últimos diez años.

Regionalmente, la tendencia negativa de TXn predomina en la región de la costa y algunas zonas centro del estado, observándose además algunos brotes en la frontera con el estado de Puebla y Morelos. La tendencia positiva en la parte de Tierra Caliente, región Norte, La Montaña y algunos puntos del centro del estado.

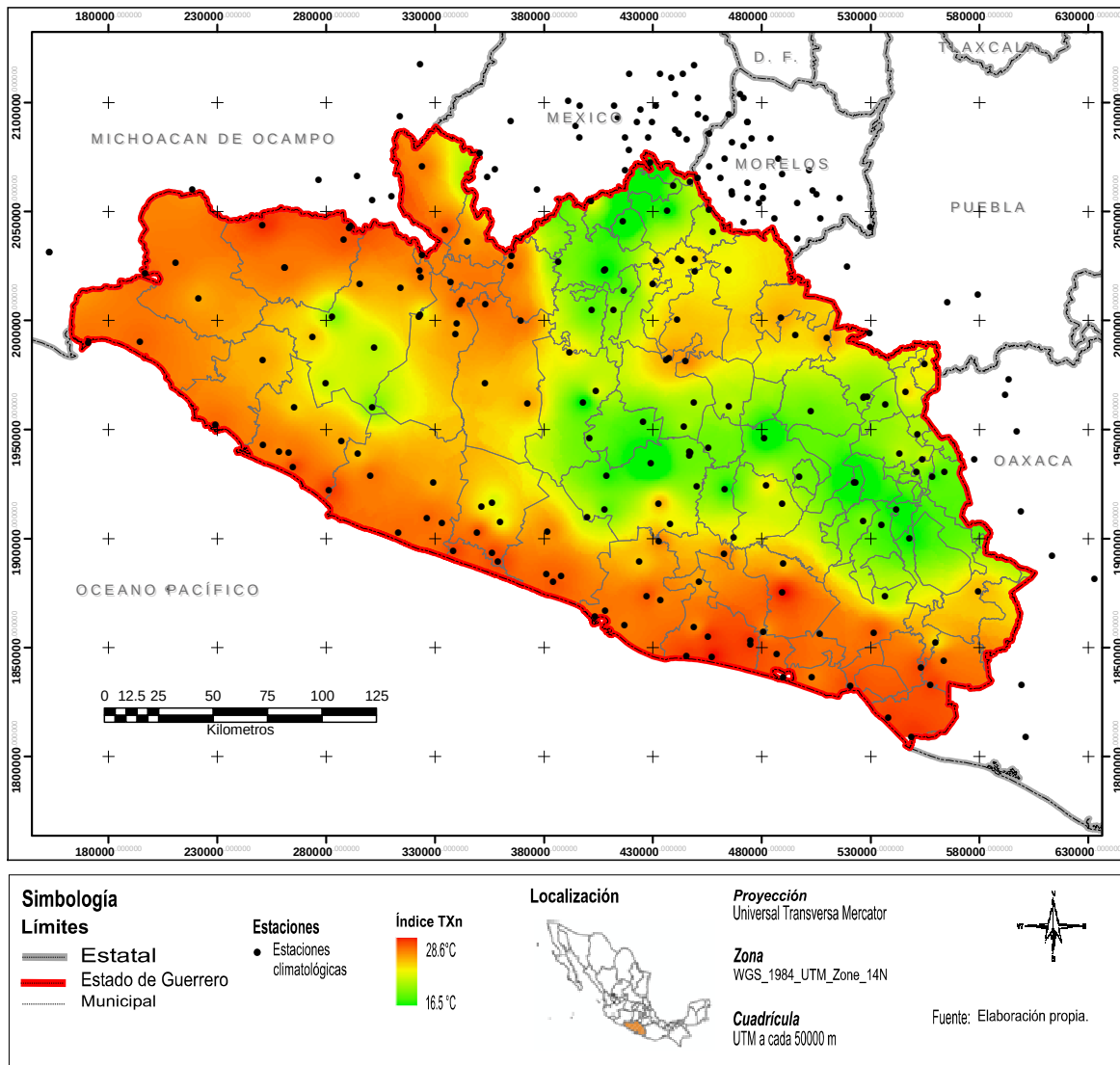


Figura 4.23. Distribución del índice TXn para el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007

La temperatura mensual TXn se eleva gradualmente en los meses de Enero – Abril y decrece hasta el mes de Septiembre, a partir del cual aumenta la temperatura 1°C y nuevamente desciende en el mes de Diciembre; el mes de mayo es el más cálido para la temperatura TXn en promedio para el estado de Guerrero (ver Figura 4.25). Las zonas cálidas se concentran en la región de Tierra Caliente y Costa Chica en los meses de Enero – Junio delimitándose claramente por la orografía del estado; en los meses de Julio – Octubre la temperatura se eleva uniformemente por toda la costa del estado y por la región del Balsas; finalmente en Noviembre y Diciembre retorna un enfriamiento en las montañas que limita las zonas cálidas a las dos condiciones iniciales.

El cambio fundamental en este índice consiste en la magnitud de los eventos, que se asocia con el estadístico de la media, que ha disminuido en la región de Tierra Caliente y La Montaña y que comienza a propagarse a la región de la costa. La tendencia en esta zona impacta directamente la temperatura mensual, cuyas variaciones se enuncian enseguida. En la Figura A6.10. (Anexo 6), se muestran las zonas de incremento y disminución de la temperatura TXn en el estado de Guerrero. En las Figura 4.26. y 4.27., se muestra la variación de la temperatura máxima TXn en el estado de Guerrero a nivel mensual; al ser variable de temperatura, la orografía del estado influye en los contrastes térmicos que predominan en algunas regiones.

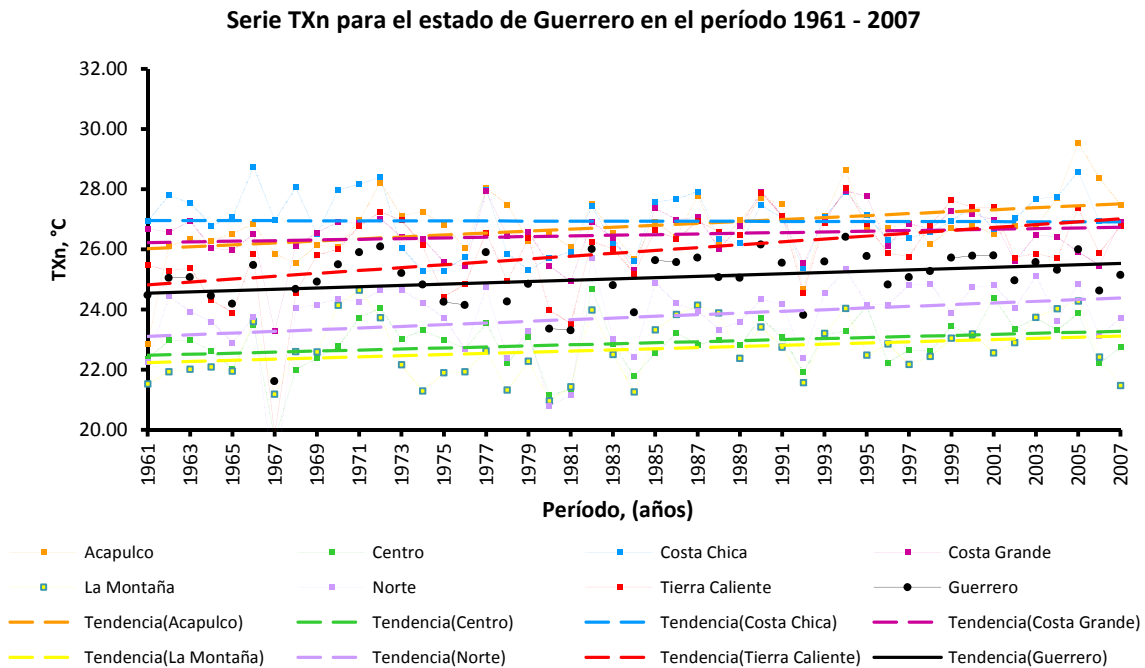


Figura 4.24. Serie anual TXn promedio del estado de Guerrero en sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

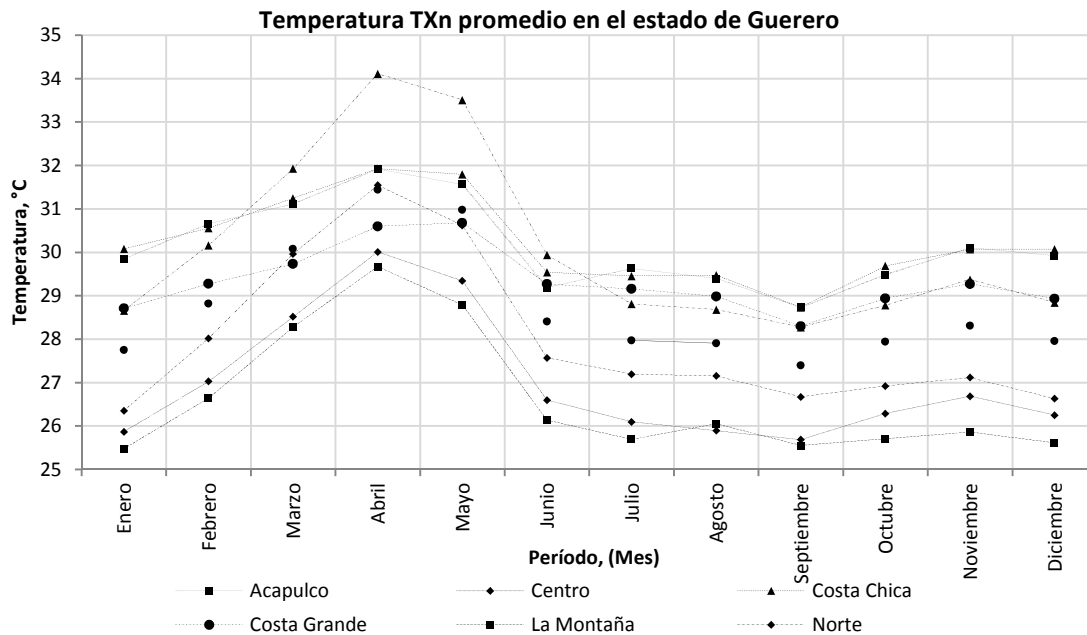


Figura 4.25. Temperatura TXn promedio para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

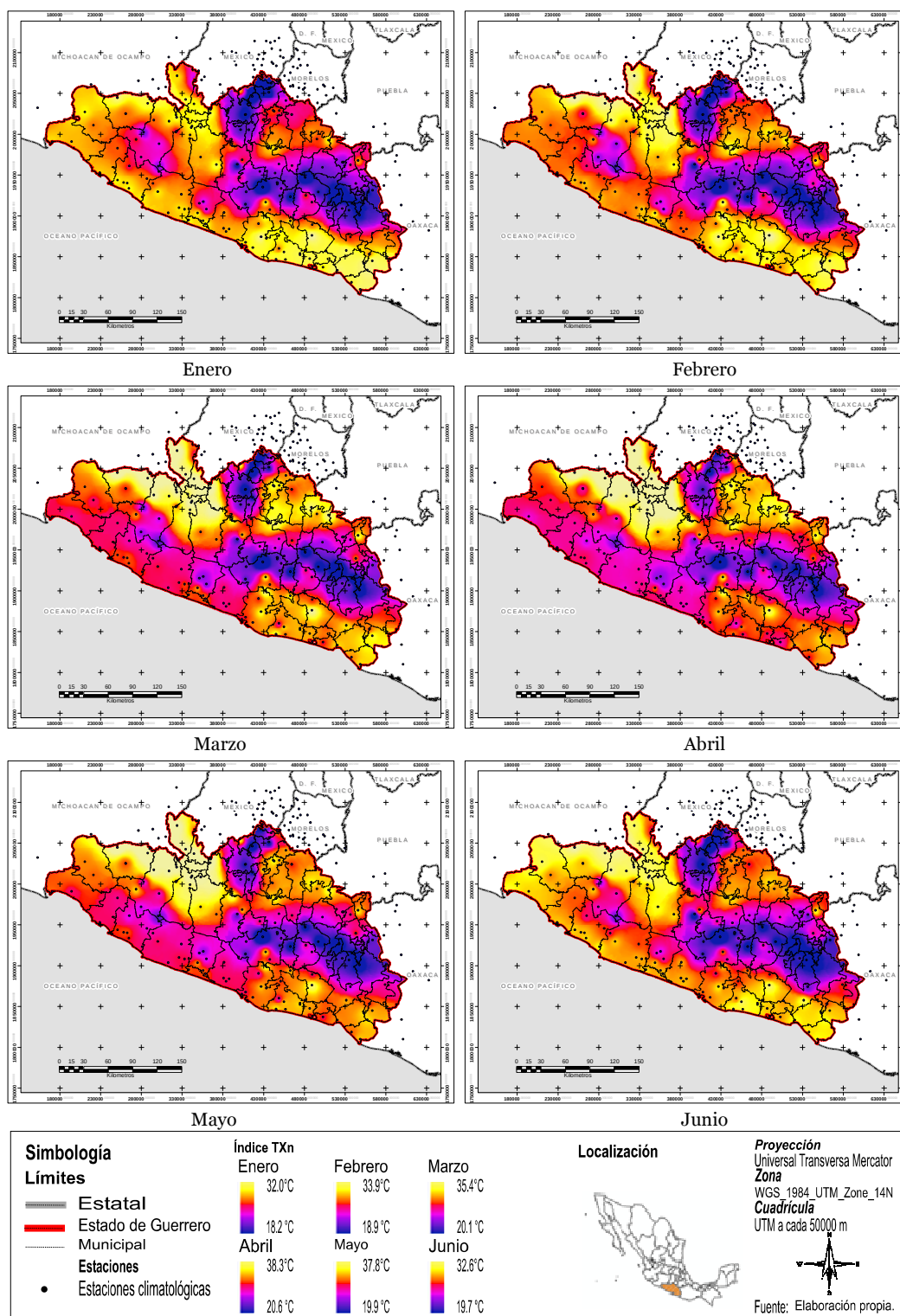


Figura 4.26. Variación de la temperatura TXn en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

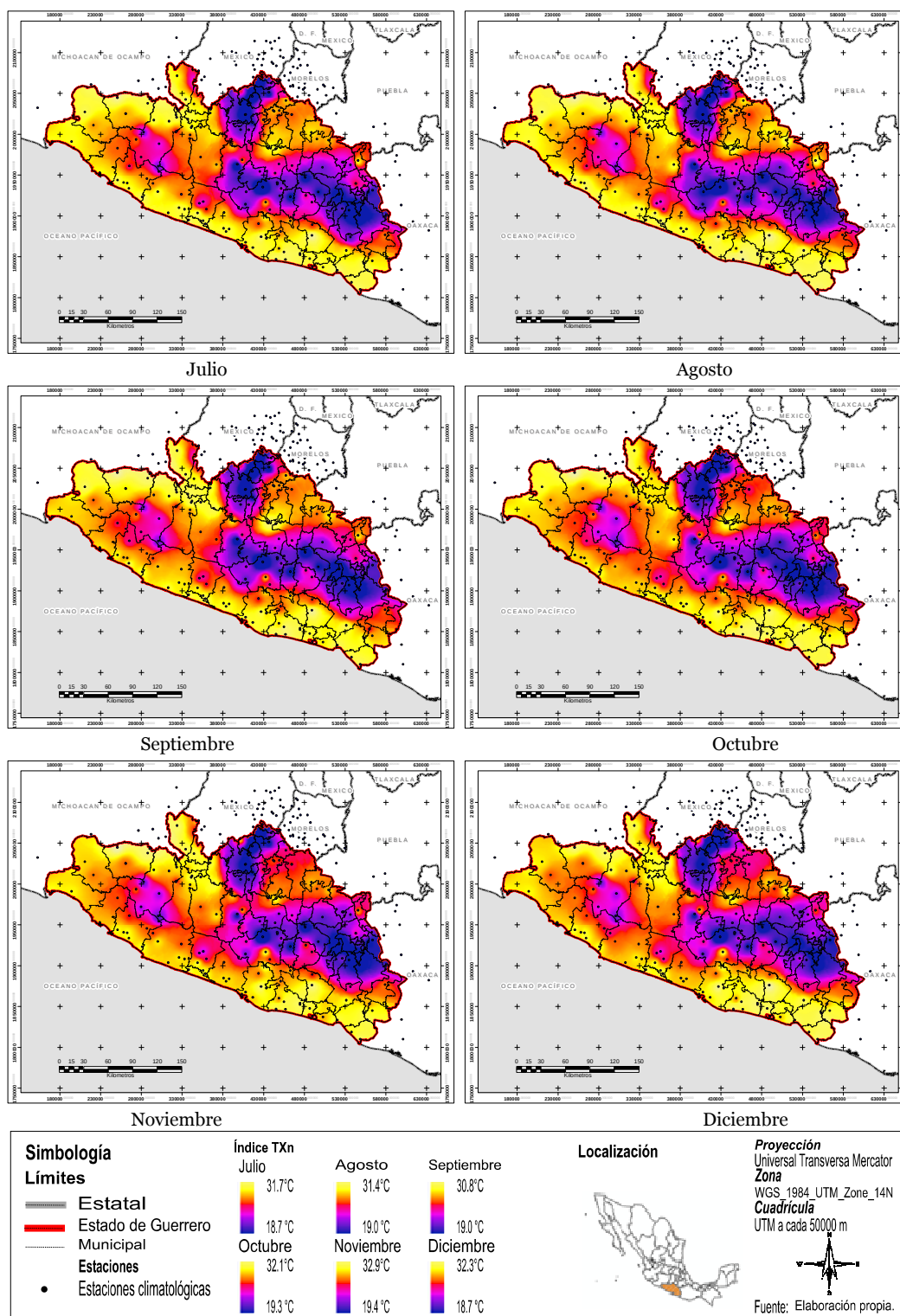


Figura 4.27. Variación de la temperatura TXn en los meses Julio – Diciembre en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

La región de Acapulco presenta tendencia positiva a nivel anual, los meses Junio – Diciembre tiende a aumentar la temperatura, presentándose registros mayores a 30 °C en los últimos 15 años. La región Centro no presencia cambios sustanciales a nivel mensual y anual; existe un ligero aumento en los meses de septiembre y octubre a partir del año 1990. La región Costa Chica no manifiesta cambio en la tendencia TXn en la escala anual y mensual; solo los meses marzo - mayo muestran un ligero decremento a partir del año 1985. En la región Costa Grande, la temperatura TXn no presenta tendencia anualmente; no obstante, los meses de junio – julio presencian aumentos de 1 °C a partir del año 1990. La región La Montaña muestra cambios sustanciales en la temperatura TXn a escala anual y mensual; solo los meses septiembre y octubre no exponen cambio de tendencia. La región Norte tiende a aumentar la temperatura TXn principalmente en los meses junio – diciembre a partir del año 1990. La región Tierra Caliente aumenta gradualmente la temperatura en la mayor parte de los meses del año; el mes de enero es el único mes sin presentar cambios sustanciales.

La tendencia predominante en el estado es a aumentar la temperatura TXn. Los meses de abril – noviembre aumenta gradualmente a partir del año 1985. En el Anexo 6, Figura A6.11 –A6.12., se muestra cómo varía espacialmente la tendencia para el índice TXn en el estado de Guerrero en escala mensual. En la Figura 4.28., puede apreciarse la evolución de las temperaturas TXn mensuales a lo largo del período de estudio 1961 – 2007.

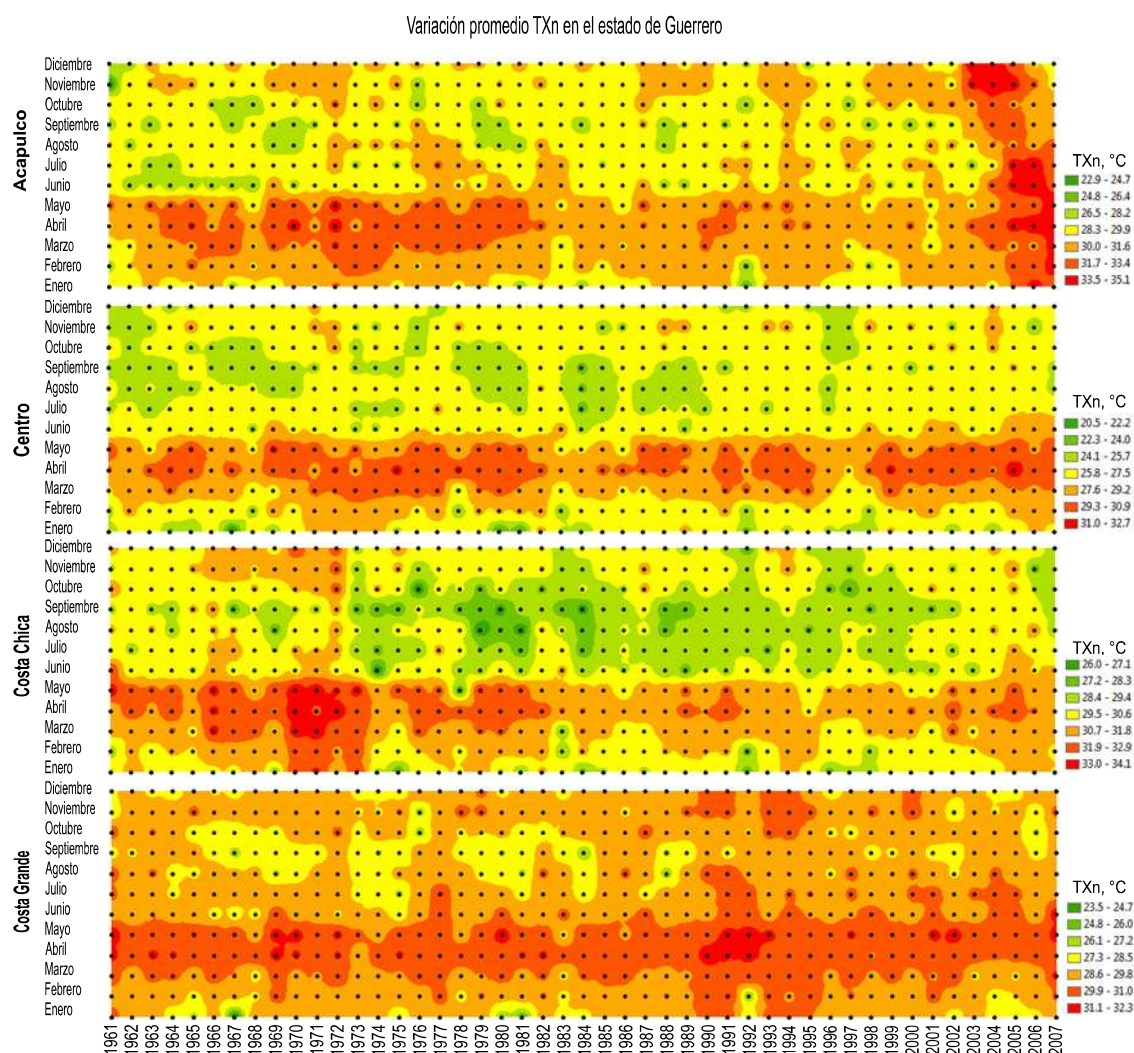


Figura 4.28.a. Variación promedio de TXn mensual en las regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña y Norte, en el período 1961 – 2007

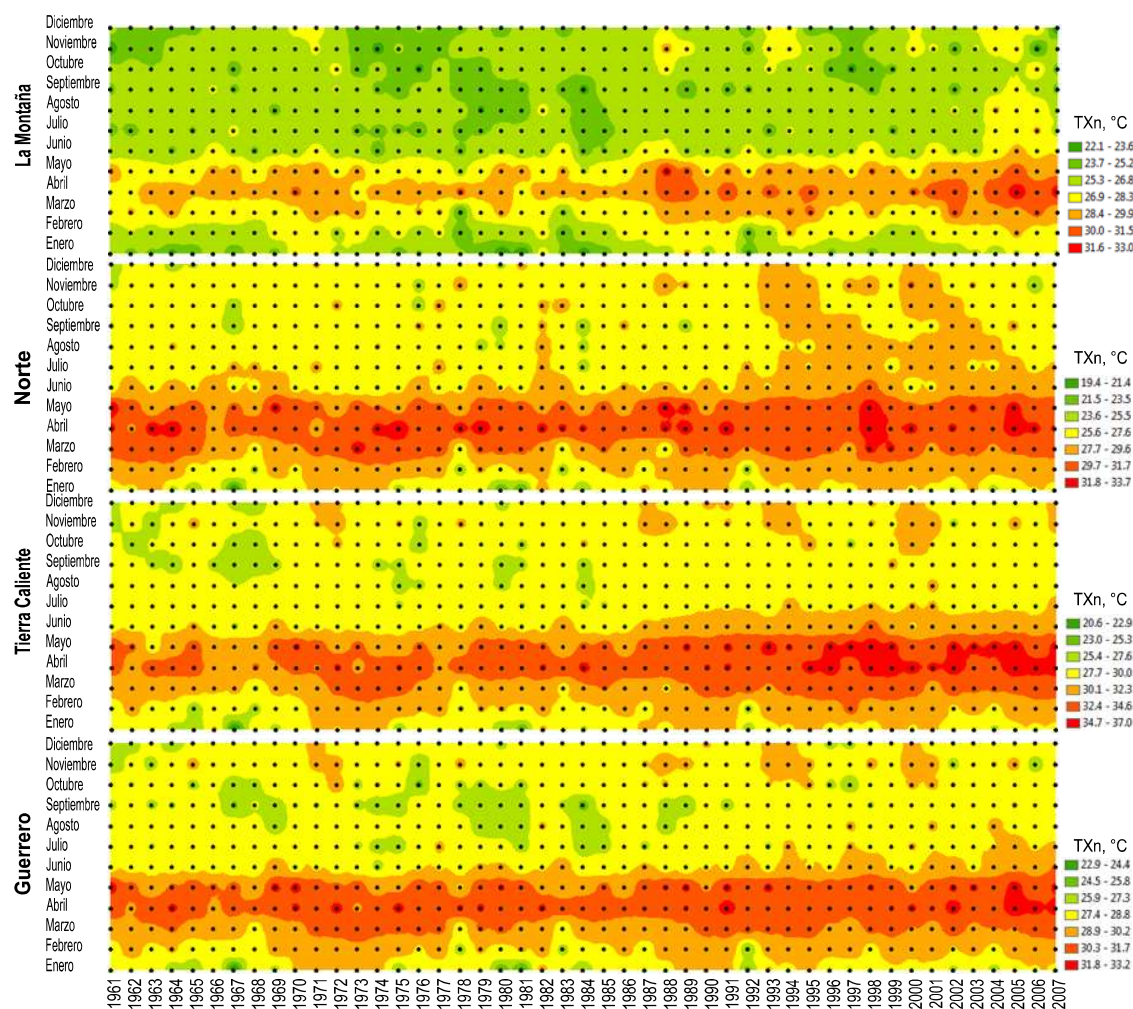


Figura 4.28.b. Variación promedio de TXn mensual en la región Tierra Caliente y el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007

En la Figura 4.28.b., se aprecia en el estado de Guerrero el aumento de temperatura para los meses marzo – agosto a partir del año 1986, en donde la superficie de 30.3 – 31.7°C sustituye regiones de 28.9 – 30.2°C. Además, la temperatura arriba de 30°C es más persistente a partir del año 1997.

En conclusión el índice TXn presenta cambios a escala anual, incrementándose los efectos en la segunda mitad del año con una tendencia positiva.

TNn. Temperatura mínima extrema

La temperatura TNn en el estado se distribuye en dos zonas contrastantes. La zona cálida, con temperaturas superiores a 10°C, se ubica en la región de Tierra Caliente y bordeando toda la costa del estado; mientras que la zona fría, con temperaturas menores a 10°C, se localiza en la región Centro, La Montaña y Norte. En la Figura 4.29., se aprecia como varía espacialmente la temperatura mínima anual en el estado de Guerrero. La temperatura media TNn en el estado de Guerrero es de 11.03°C oscilando entre 3 y 18°C.

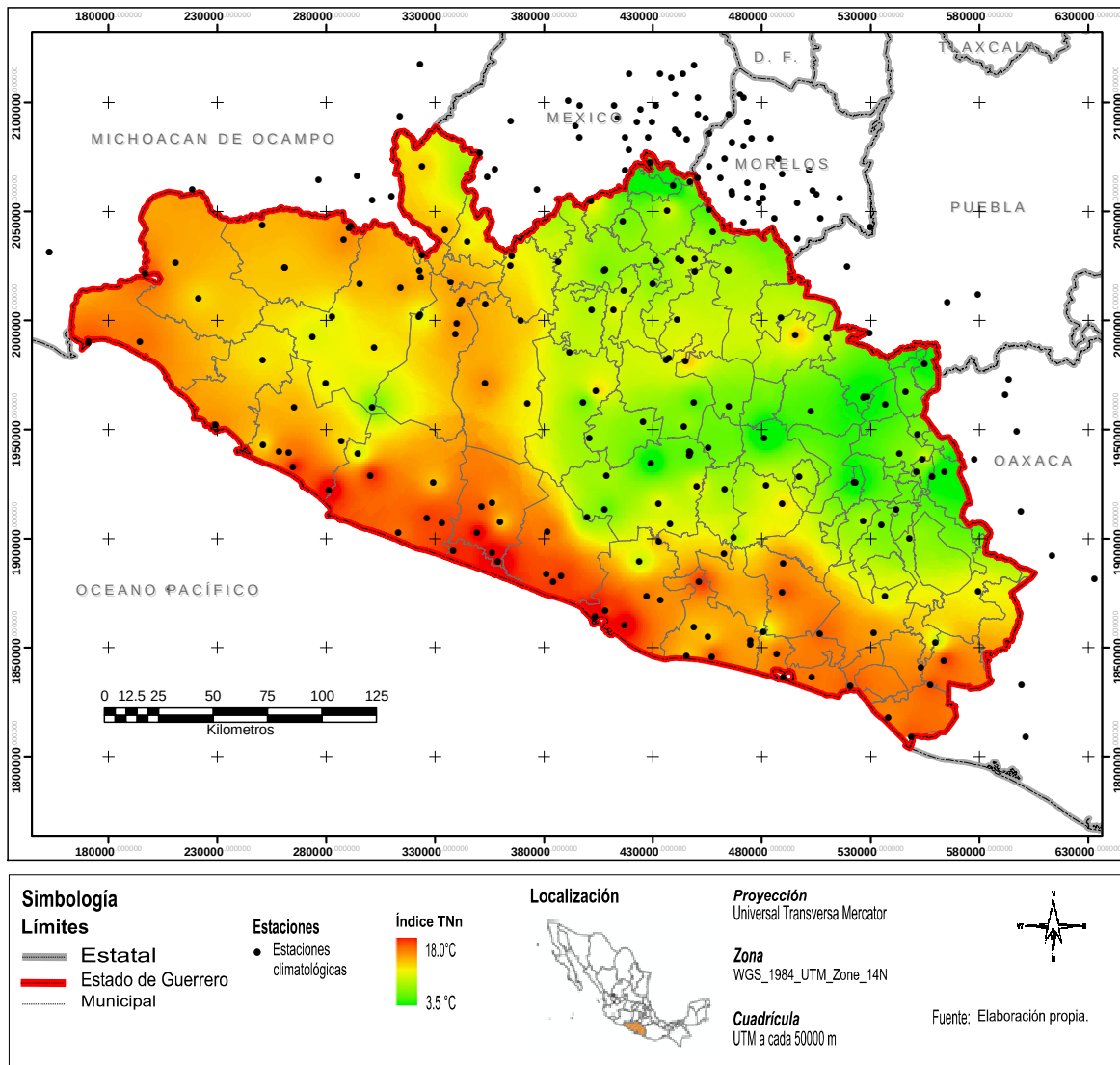


Figura 4.29. Distribución de temperatura mínima extrema para el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007

Las pruebas de tendencia no indican un aumento o disminución de la temperatura mínima extrema en el estado de Guerrero en promedio. Las pruebas paramétrica y no paramétrica coinciden en que la tendencia no presenta una variación significativa a lo largo del período estudiado. En la Figura 4.30., se muestra el promedio de registro anual de TNn para el estado de Guerrero.

Regionalmente se observa aumento de temperatura en la región de Tierra Caliente y partes de la costa, mientras que en la región Centro se presenta una ligera disminución de la temperatura TNn y esporádicas zonas de disminución en la región La Montaña y Norte. La tendencia positiva o negativa de temperatura mínima adquiere relevancia conforme el análisis se hace a nivel mensual como se describe a continuación. En la Figura A6.13. (Anexo 6), se muestran las zonas de incremento y disminución de la temperatura TNn en el estado de Guerrero.

En las Figuras 4.31. y 4.32., se muestra la variación de la temperatura máxima TNn en el estado de Guerrero a nivel mensual; nuevamente la Sierra Madre del Sur es el parteaguas que determina las condiciones climáticas en el estado de Guerrero.

Serie TNn para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

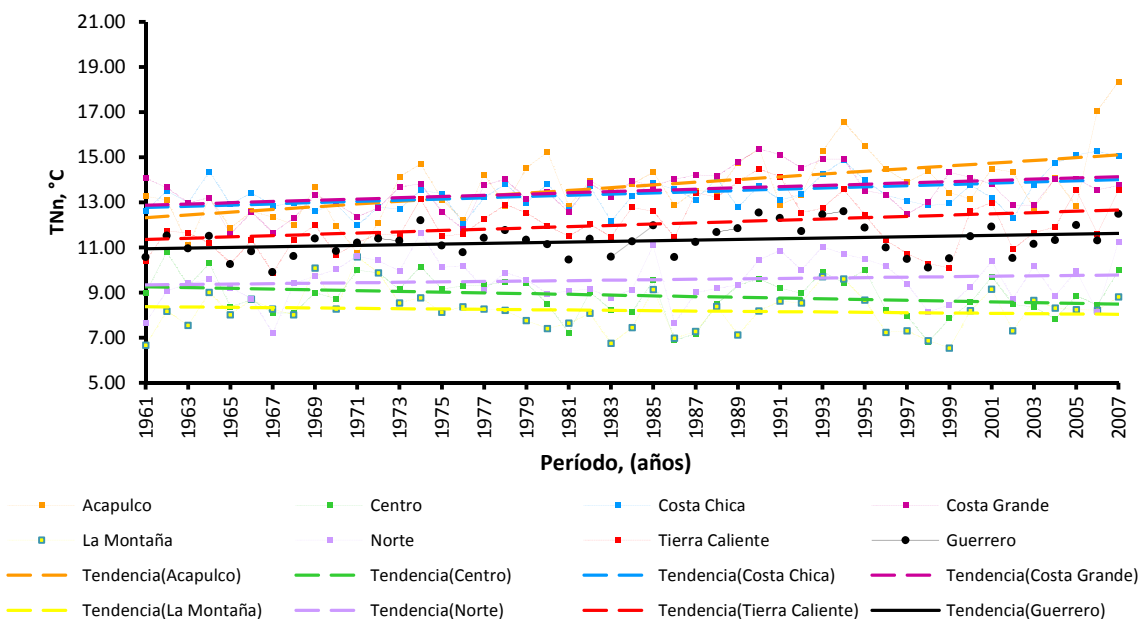


Figura 4.30. Serie anual TNn promedio del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

En el período de Enero a Junio se aprecia como las zonas cálidas de la región de Tierra Caliente se enlaza con la región costera; en el mes de julio la temperatura TNn tiende a uniformizarse en el estado por la presencia de lluvias hasta llegar el mes de Octubre; en Noviembre y Diciembre la temperatura descende nuevamente y define dos zonas cálidas para dar comienzo a un nuevo ciclo. En el mes de Enero se alcanza la temperatura más baja en el estado, posteriormente comienza a ascender la temperatura hasta el mes de Junio, (ver Figura 4.33).

Temperatura TNn promedio en el estado de Guerrero

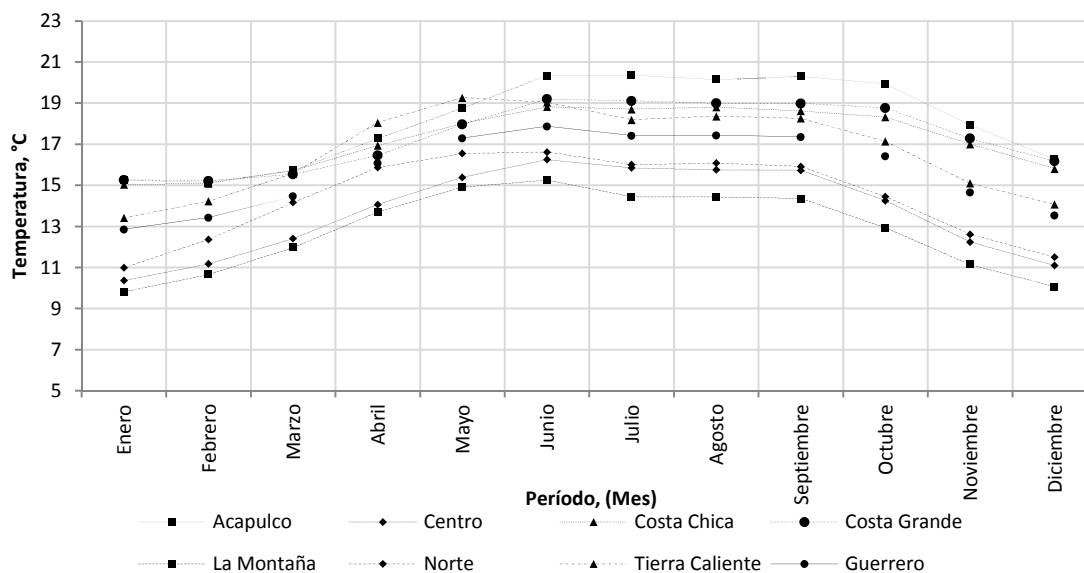


Figura 4.33. Temperatura TNn promedio para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

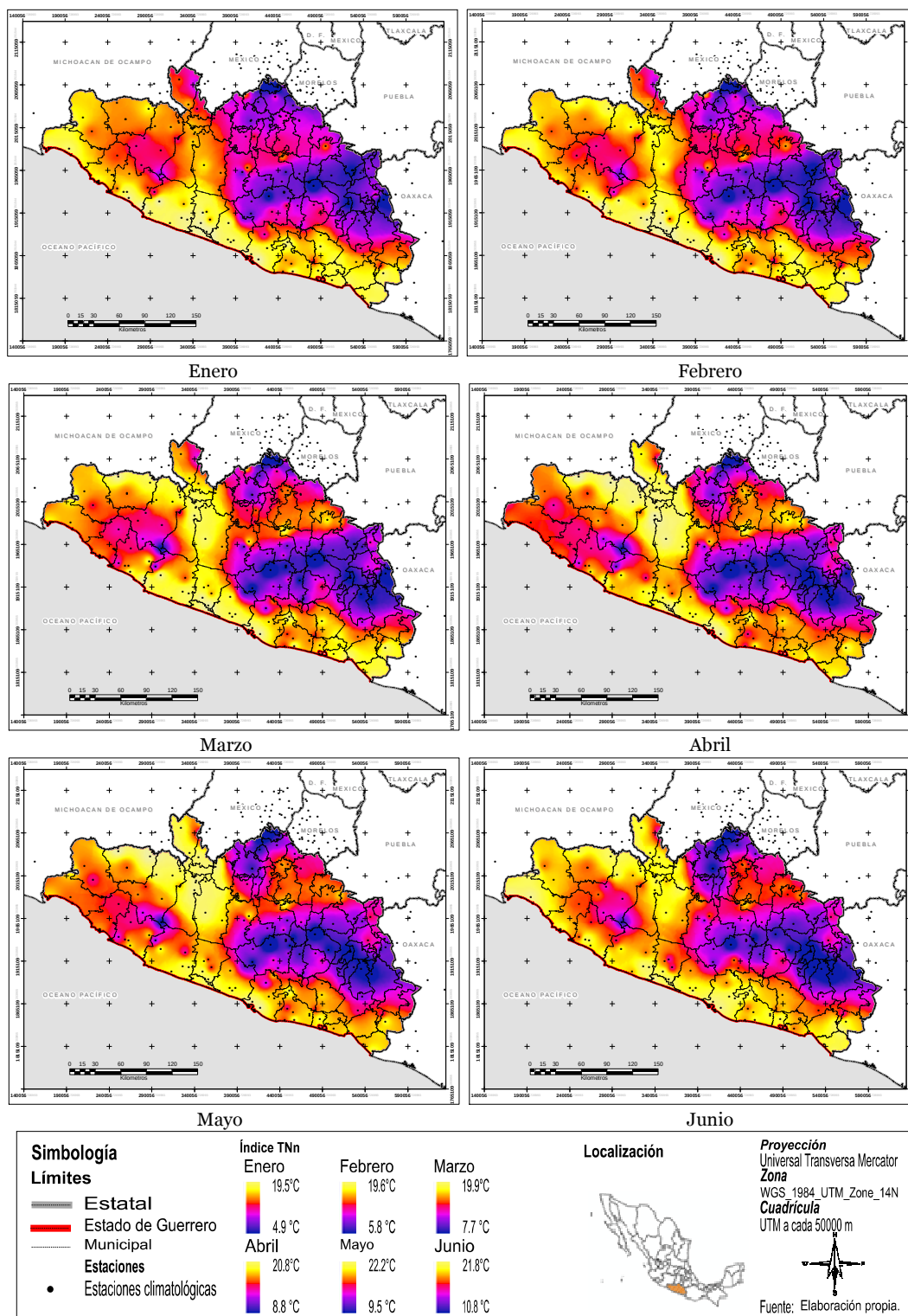


Figura 4.31. Variación de la temperatura TNn en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

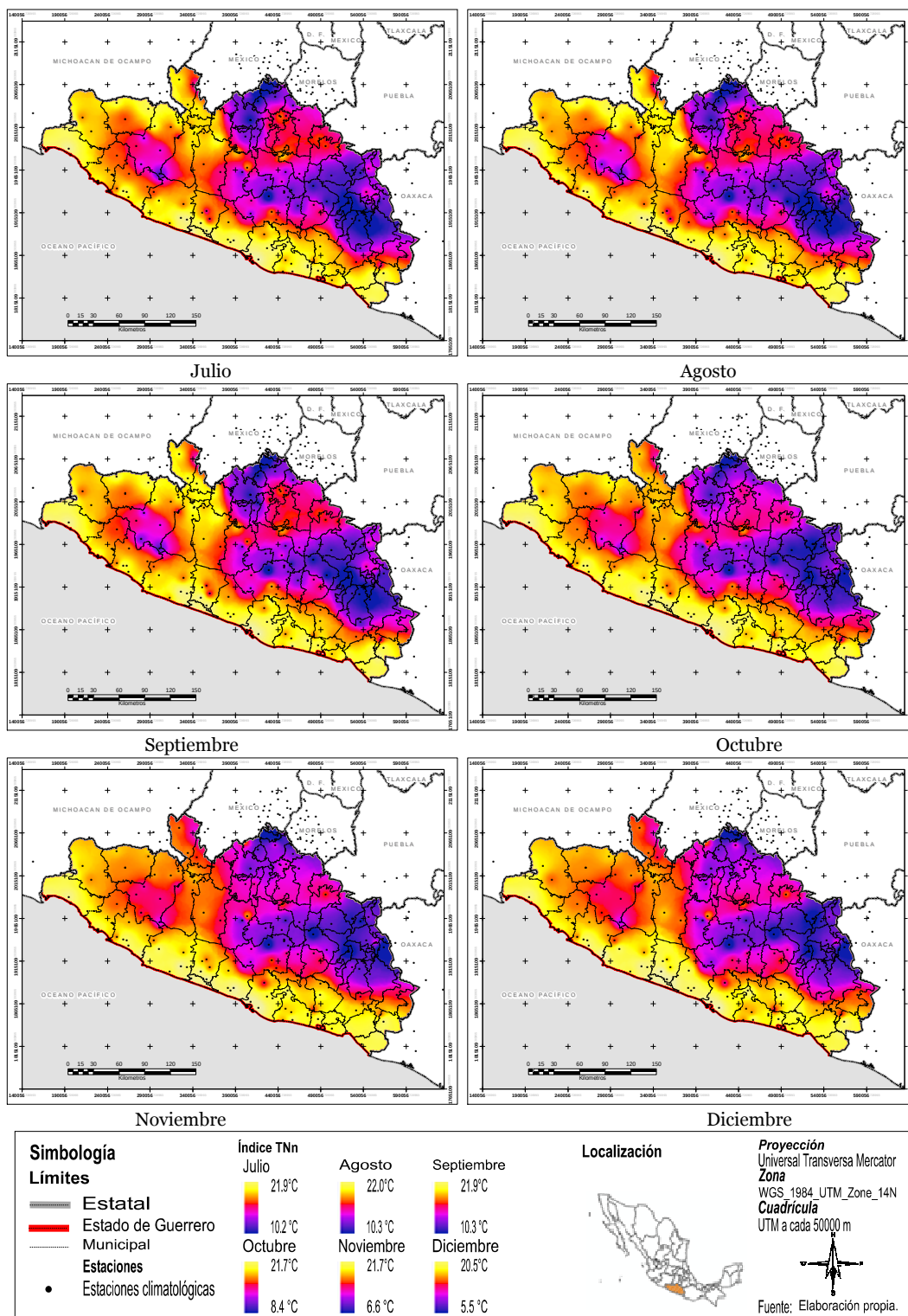


Figura 4.32. Variación de la temperatura TNn en los meses Julio – Diciembre en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

En el estado de Guerrero no se observa tendencia en la serie de datos a nivel mensual, exceptuando el mes de Febrero que presenta una tendencia positiva. En el Anexo 6, Figura A6.14.-6.15, se muestra cómo varía espacialmente la tendencia para el índice TNn en el estado de Guerrero en escala mensual. En la Figura 4.34., puede apreciarse la evolución de las temperaturas TNn mensuales a lo largo del período de estudio 1961 – 2007.

La región de Acapulco tiende a aumentar la temperatura en los meses de enero – abril y septiembre – diciembre a partir del año 1980. La región Centro no muestra variación en la tendencia de temperatura TNn en escala anual y mensual. En la región Costa Chica los meses de enero – mayo denotan un aumento de la temperatura acaecida a partir del año 1980. La región Costa Grande muestra tendencia anual positiva, resintiéndose en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, es decir, presenta inviernos más calurosos. La región La Montaña no muestra tendencia alguna en la serie de datos TNn. En la región Norte surgen algunos signos de tendencia negativa en los meses de junio – agosto a partir del año 1990. La región de Tierra Caliente presenta tendencia a aumentar la temperatura a partir del año 1980, afectando en mayor medida los meses de invierno.

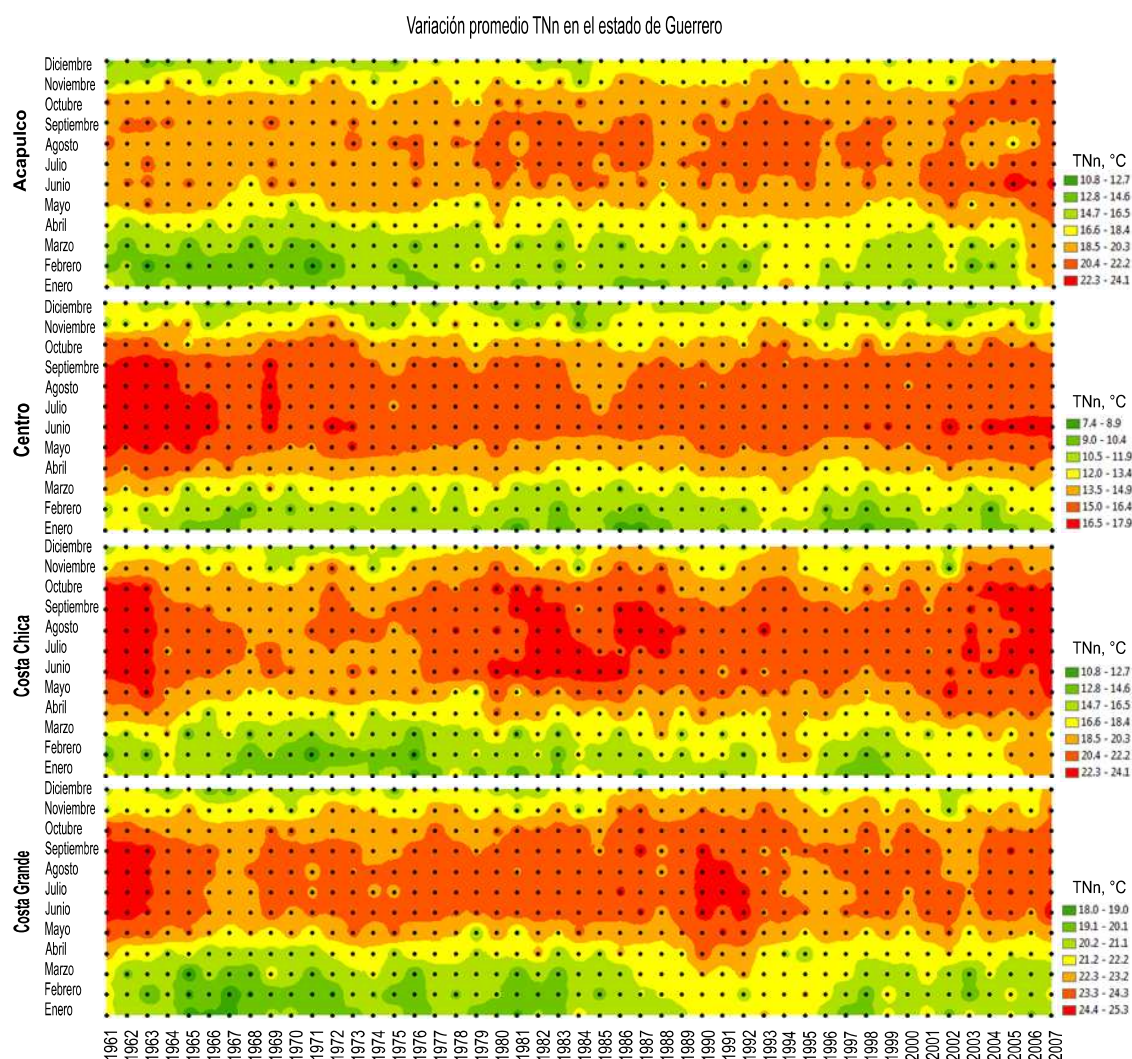


Figura 4.34.a. Variación promedio de TNn mensual en las regiones Acapulco, Centro, Costa Chica y Costa Grande, en el período 1961 – 2007

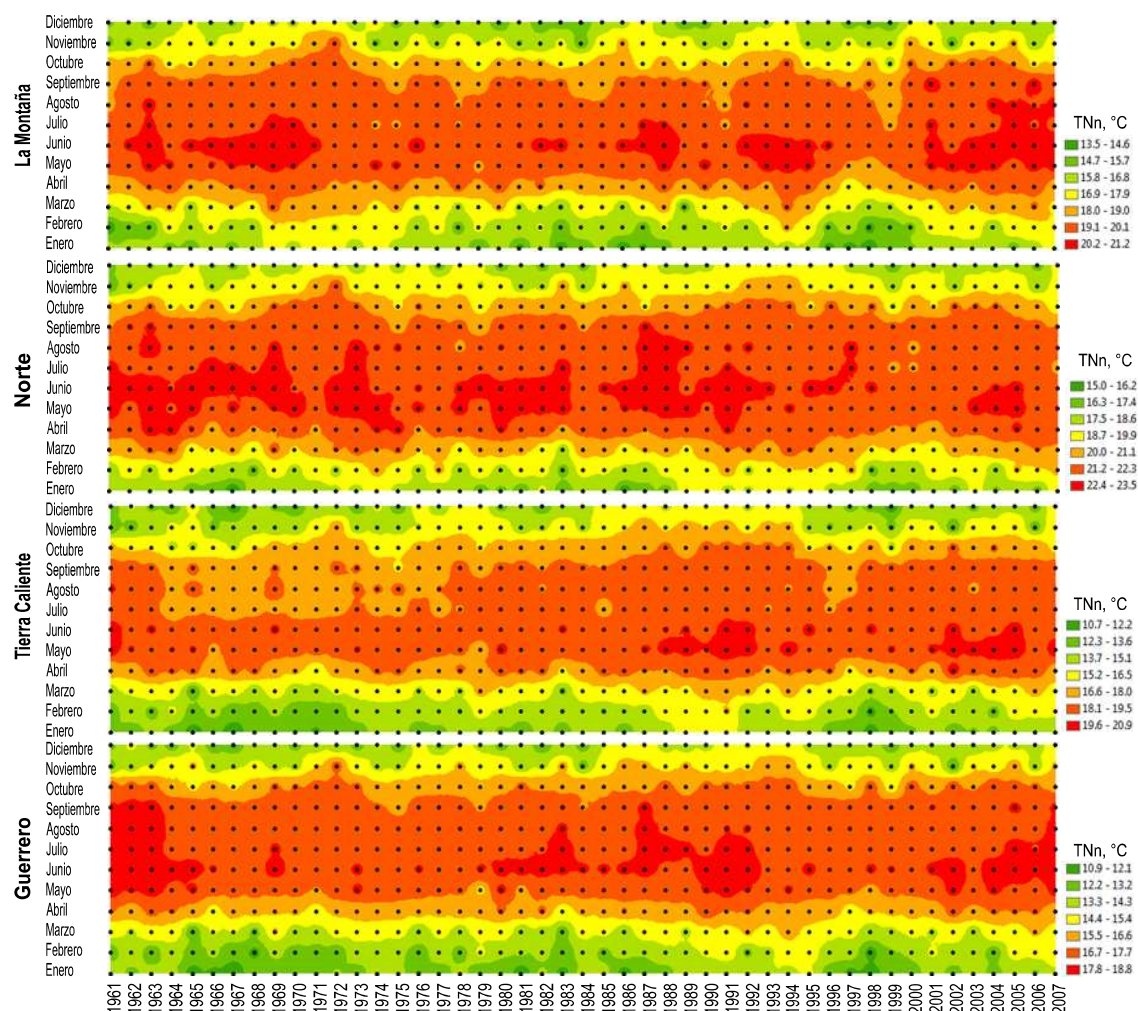


Figura 4.34.b. Variación promedio de TnN mensual en las regiones La Montaña, Norte y Tierra Caliente y el estado de Guerrero, en el período 1961 – 2007

En conclusión el índice TnN no presenta cambios sustanciales a escala anual y mensual en el estado de Guerrero, sin embargo, los efectos sobresalen en los meses de invierno y en zonas puntuales como en la región Tierra Caliente y la costa del estado.

Tn1Op. Frecuencia de noches frías

El promedio de noches frías en el estado es de 12% (43 días al año) con máximos de 25% y mínimos de 6%. Las zonas con mayor porcentaje de noches frías se localizan en los límites de las regiones Costa Chica, La Montaña y Centro, así como la región Norte colindante con el Estado de México. El índice Tn1Op se encuentra íntimamente relacionado con la orografía del estado y dichas zonas de mayor índice se ubican en zonas escarpadas o en altitudes superiores a los 2500 m. s. n. m. En la Figura 4.35., se aprecia la distribución del índice Tn1Op en el estado de Guerrero.

Las pruebas de estadísticas no indican un cambio promedio sustancial para el estado de Guerrero en el índice Tn1Op. Sin embargo la prueba de Cramer expone que hay un cambio considerable en el último tercio (últimos 15 años) de la serie analizadas. En la Figura 4.36., la cual muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero, se aprecia la variación expuesta por la prueba de Cramer y además un aumento de variación en la desviación estándar no encontrado por la prueba de Fisher debido a que el cambio en la serie de datos se presenta en una longitud menor a la mitad del tamaño de muestra.

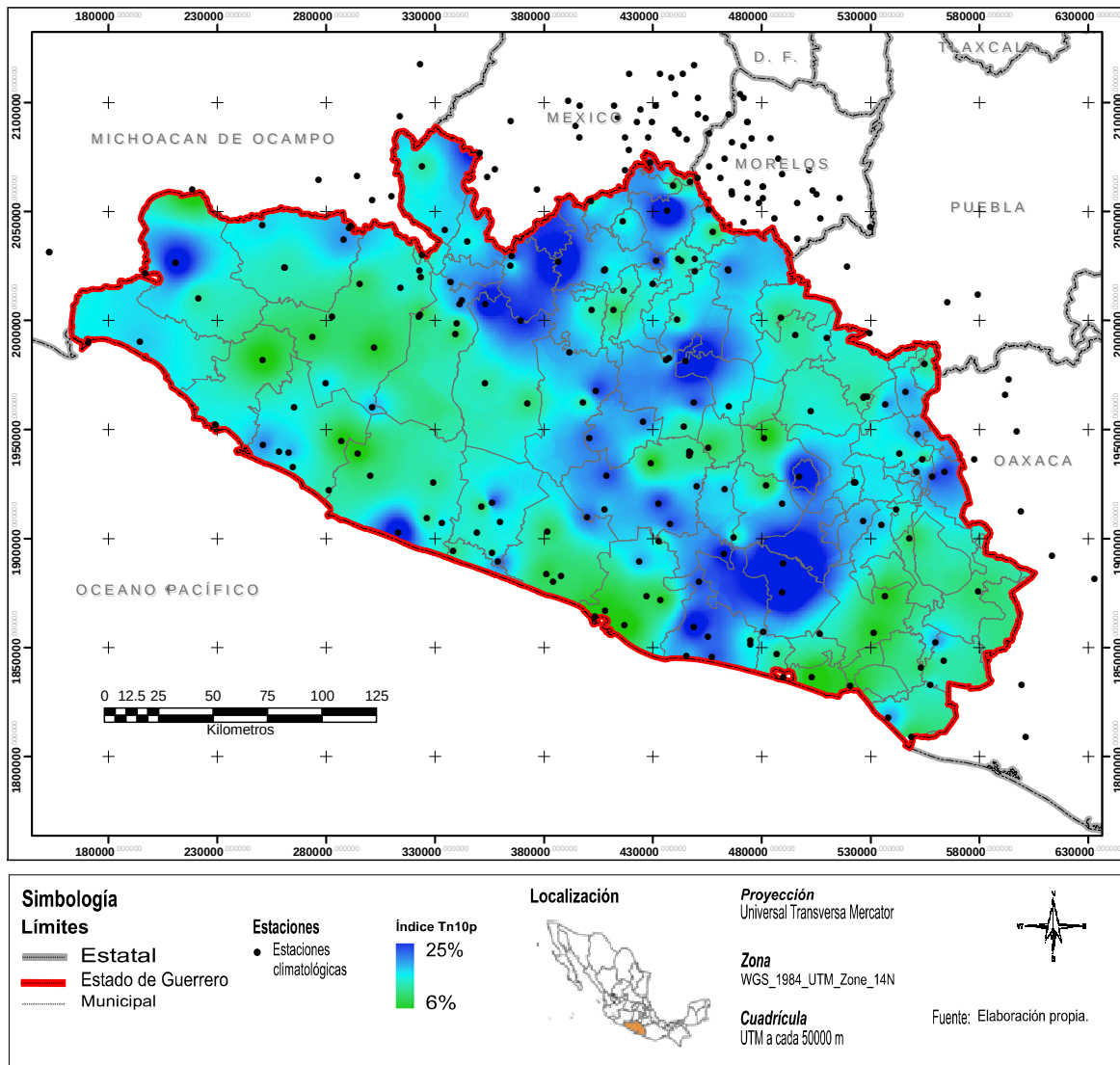


Figura 4.35. Distribución de frecuencia de noches frías en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

La región Acapulco es la más afectada, presentando tendencia negativa en este índice. La región Centro y Norte presentan un aumento de noches frías. Este hecho conduce a la falsa conclusión de que en el estado no existe tendencia alguna, debido a que la tendencia positiva de la región Norte y Centro neutraliza la tendencia negativa de la región Acapulco.

En un análisis más detallado (ver Figura A6.16., Anexo 6) se observa que el cambio de tendencia positivo en este índice ocurre en zonas montañosas donde la frecuencia de noches frías es más elevado. Por otro lado, existen varios brotes de tendencia negativa en aquellos sitios donde el índice Tn10p es bajo. Es decir, las zonas frías tienden a volverse más frías y las menos frías más cálidas.

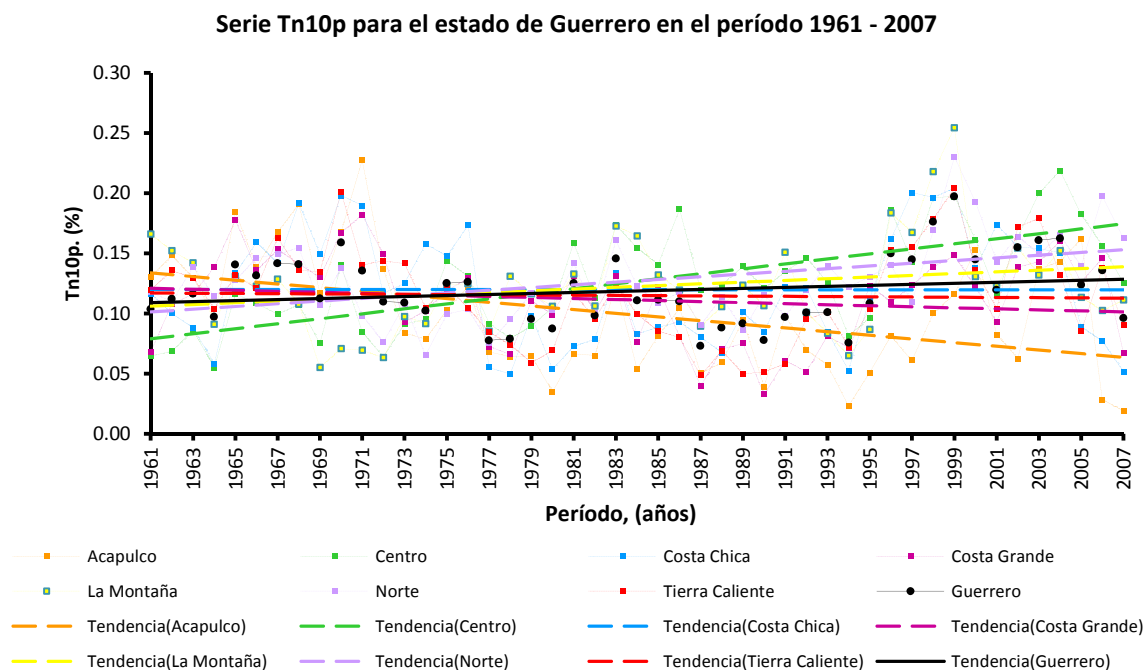


Figura 4.36. Serie anual de días con *Tn10p* del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: Ayutla, Tecoanapa, Juan R. Escudero, Mochitlán, Chilpancingo, Leonardo Bravo, Gral. Heliodoro Castillo, Eduardo Neri, Mártir de Cuilapan, Tlalchapa, Tlapehuala, Arcelia, Gral. Canuto Neri, Pedro Ascencio, Ixcateopan y Taxco.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: Acapulco, Coyuca de Benítez, Técpan, Coyuca de Catalán, Ajuchitlán del Progreso, San Miguel Totolapan, Cuajinicuilapa, Copala, Azoyú, Florencio Villareal, San Luis Acatlán, Malinaltepec, Xochistlahuaca, Tlacoachistlahuaca, Ahuacutzingo, Olinalá y Cuetzala del Progreso.

Tx10p. Frecuencia de días frescos

El promedio de días frescos en el estado es de 13% (46 días al año) con máximos de 30% y mínimos de 6%. Las zonas con mayor frecuencia de días frescos se localizan en la costa y en la cuenca del Balsas. El índice Tx10p se encuentra relacionado con la orografía y con los cauce principales del estado, como el río Balsas y Papagayo. En la Figura 4.37., se aprecia la distribución del índice Tx10p en el estado de Guerrero.

Las pruebas de estadísticas no indican un cambio promedio sustancial para el estado de Guerrero en el índice Tx10p. En la Figura 4.38., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero.

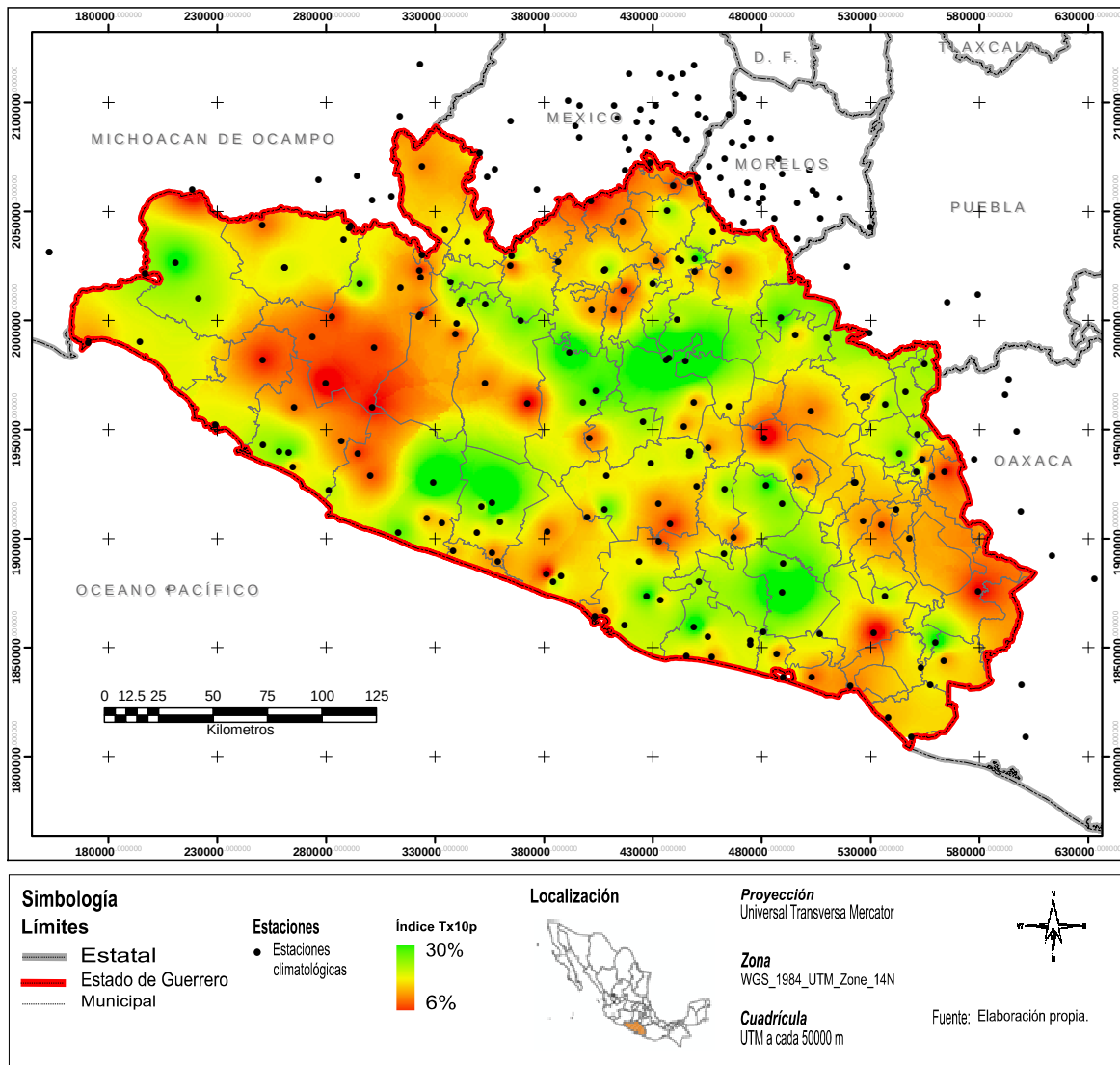


Figura 4.37. Distribución de frecuencia de días frescos en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

Regionalmente existe tendencia en el índice Tx10p (ver Figura A6.17., Anexo 6). Se observa que los días frescos disminuyen en Tierra Caliente, La Montaña y en algunas zonas de Costa Grande. Por otro lado, aumentan en pequeñas zonas de la Costa Chica y Centro. Por lo tanto, las zonas de mayor frecuencia de días frescos están disminuyendo y varias zonas que presentaban el promedio del estado están presenciando aumento en este índice.

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: Tepecoacuilco, Eduardo Neri, Leonardo Bravo, Tlapa, Cualác, Huamuxtitlán, Alpoyeca, Xochihuehuetlán, Ayutla, Tecoanapa, Quechultenango, Atoyac y Técpan.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: La Unión, José Azueta, Petatlán, San Jerónimo, Coyuca de Benítez, Zirándaro, Coyuca de Catalán, Ajuchitlán, San Miguel Totolapan, Gral. Canuto Neri, Pedro Ascencio, Ixcateopan, Tetipac, Pilcaya, Taxco, Chilpancingo, Ahuacuotzingo, Chilapa, Tlacoachistlahuaca, Copala.

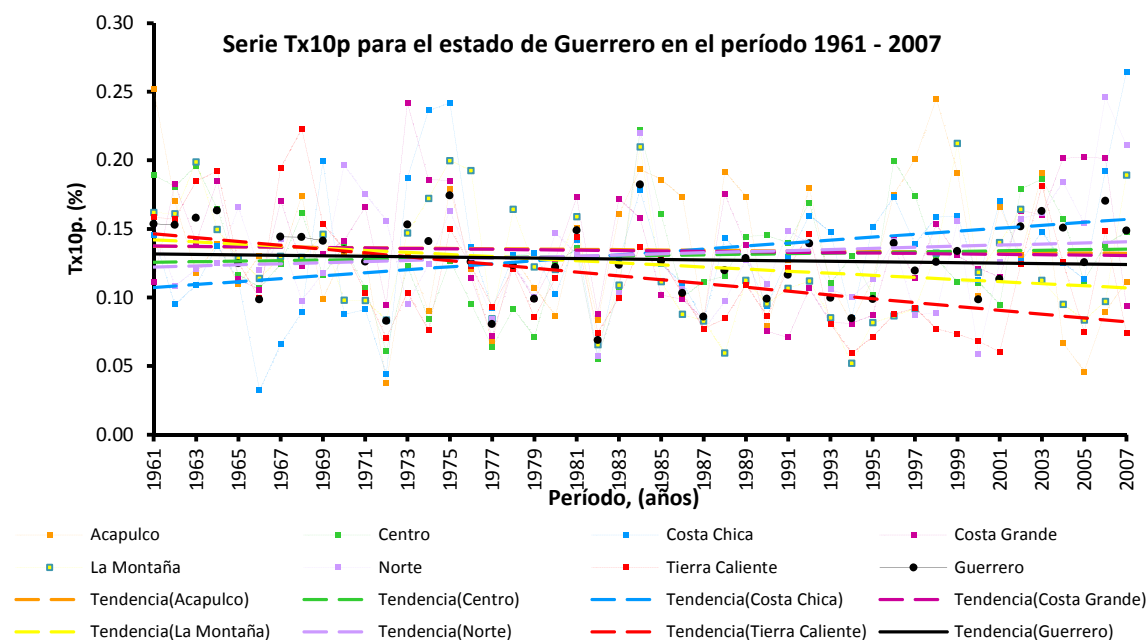


Figura 4.38. Serie anual de días con $Tx10p$ del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

Tn9op. Frecuencia de noches cálidas

El promedio de días frescos en el estado es de 12% (44 días al año) con máximos de 31% y mínimos de 6%. Las zonas con mayor frecuencia de noches cálidas se localizan en la región de Tierra Caliente y La Montaña con algunos brotes en la costa del estado. En la Figura 4.39., se aprecia la distribución del índice Tn9op en el estado de Guerrero.

Las pruebas estadísticas indican un cambio promedio para el estado de Guerrero en el índice Tn9op en el que la tendencia aumenta. En la Figura 4.40., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero.

Regionalmente existe tendencia en el índice Tn10p (ver Figura A6.18., Anexo 6). Se observa que las noches cálidas aumentan en algunas regiones de Acapulco, Tierra Caliente y La Montaña. Por otro lado, la tendencia es a decrecer en una franja que atraviesa las zonas de Costa Grande, Centro y Norte. Por lo tanto, las zonas de mayor frecuencia de noches cálidas presentan tendencia positiva y varias zonas que presentaban el promedio del estado están presenciando disminución en este índice.

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: José Azueta, Benito Juárez, Coyuca de Benítez, Acapulco, Copala, Azoyú, Zirándaro, Coyuca de Catalán, Ajuchitlán, Quechultenango, Chilapa, Ahuacuotzingo, Atlamajalcingo, Metlatónoc, Tlacoachistlahuaca y Xochistlahuaca.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: Técpan, San Marcos, Florencio Villareal, Mártir de Cuilapan, Eduardo Neri, Chilpancingo y Leonardo Bravo.

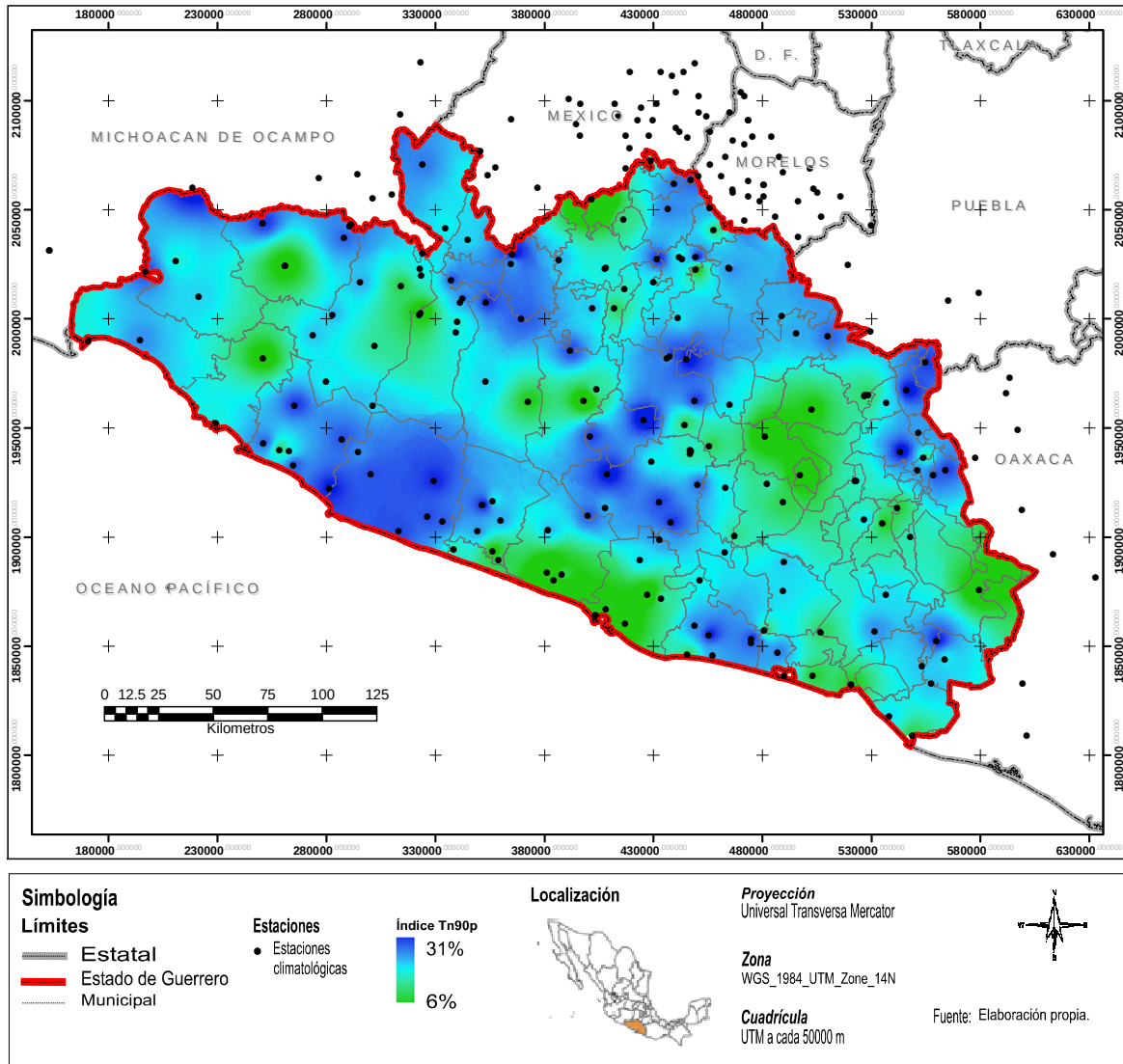


Figura 4.39. Distribución de frecuencia de noches cálidas en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

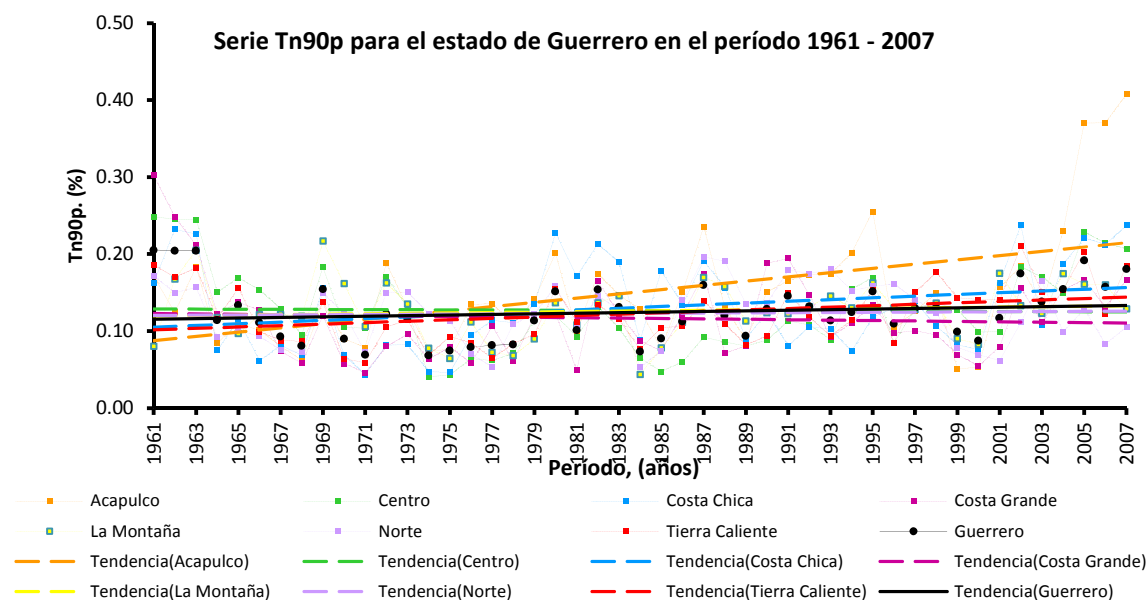


Figura 4.40. Serie anual de días con $Tn90p$ del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

Tx90p. Frecuencia de días calurosos

El promedio de días frescos en el estado es de 14% (50 días al año) con máximos de 30% y mínimos de 6%. Las zonas con mayor frecuencia de días calurosos se localizan en la región de Costa Grande y La Montaña con algunos brotes en la parte norte del estado. En la Figura 4.41., se aprecia la distribución del índice Tx90p en el estado de Guerrero.

Las pruebas estadísticas indican un cambio promedio sustancial para el estado de Guerrero en el índice Tx90p. La prueba de Cramer evidencia tendencia en varias estaciones analizadas, principalmente en la región de Tierra Caliente, La Montaña y Costa Grande. En la Figura 4.42., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero.

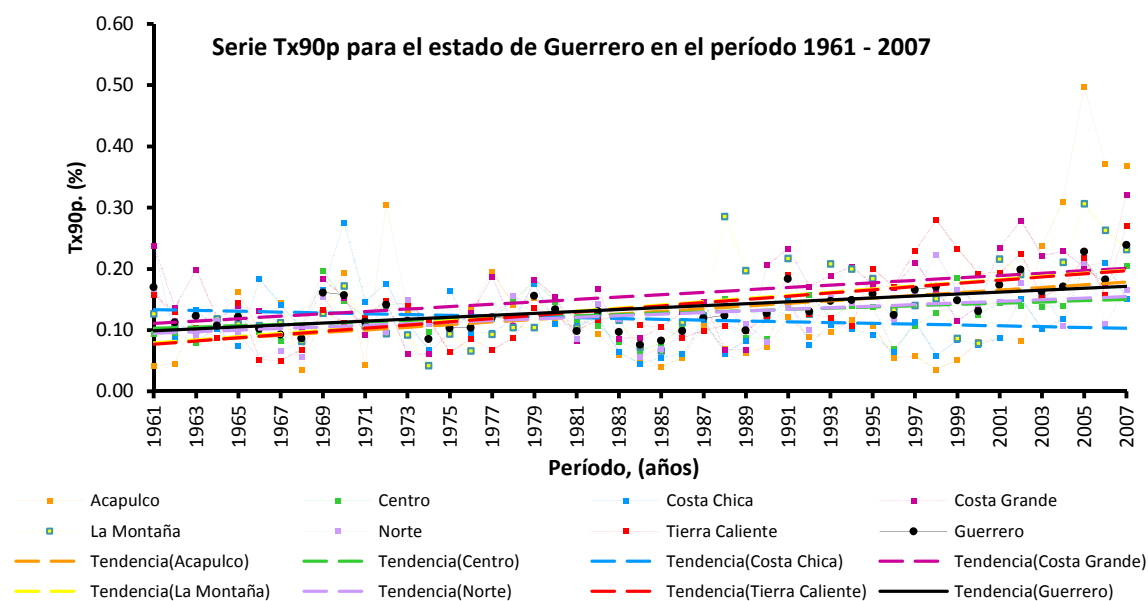


Figura 4.42. Serie anual de días con $Tx90p$ del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

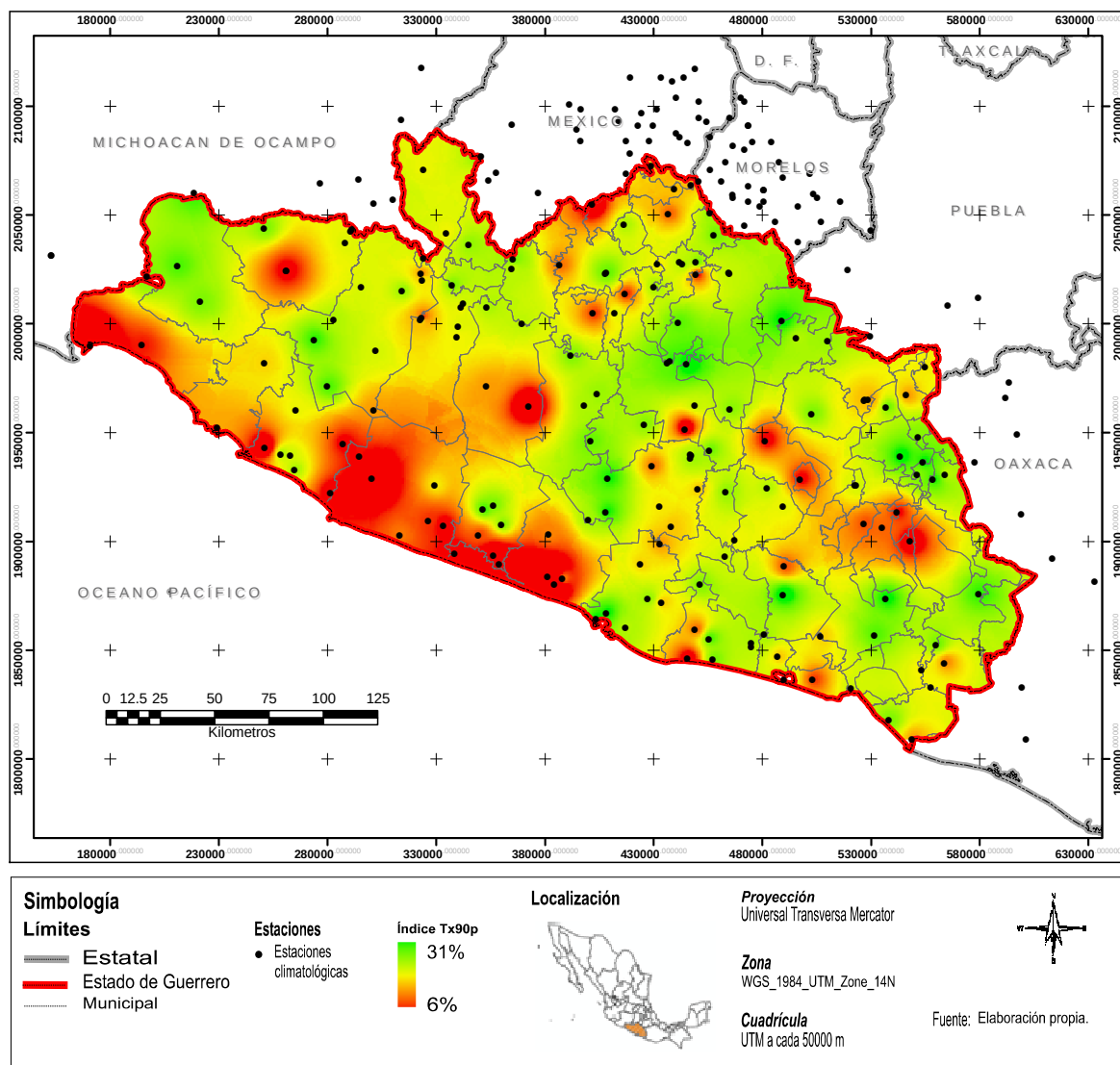


Figura 4.41. Distribución de frecuencia de días calurosos en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007

Regionalmente existe tendencia en el índice Tx90p (ver Figura A6.19., Anexo 6). Se observa que los días calurosos aumentan en algunas regiones de Tierra Caliente, La Montaña y Costa Grande. Por otro lado, la tendencia es a decrecer en la Costa Chica, zona Centro y algunas partes de la zona Norte. Por lo tanto, las zonas de mayor frecuencia de días calurosos presentan tendencia positiva y varias zonas con índice bajo están presenciando tendencia negativa.

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: Técpan, Benito Juárez, Coyuca de Benítez, Zirándaro, Coyuca de Catalán, Ajuchitlán, San Miguel Totolapan, Cutzamala, Chilpancingo, Mochitlán, Tixtla, Chilapa, Atlixac, Zapotitlán, Tlacoapa, Malinaltepec, Taxco, Tetipac y Pilcaya.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: Coahuayutla, Petatlán, San Marcos, Ayutla, San Luis Acatlán, Eduardo Neri, Tepecoacuilco, Atenango y Tlapa.

WSDI. Duración de los períodos cálidos

Los períodos cálidos en el estado duran 29 días promedio, con máximos de 72 días y mínimos de 9 días. Las zonas de períodos cálidos más prolongados se extiende en una franja que atraviesa la región Norte, Tierra Caliente y partes de la Costa Grande; en la región La Montaña existen algunas zonas con períodos prolongados de días calurosos. En la Figura 4.43., se aprecia la distribución del índice WSDI en el estado de Guerrero.

Las pruebas estadísticas indican tendencia positiva para el estado de Guerrero en el índice WSDI. El cambio de tendencia se presenta en el último tercio de la serie de datos analizada, es decir, a partir del año 1990, afectando regiones como Tierra Caliente, La Montaña, Costa Grande y Centro; mientras la Costa Chica y región Norte no presenta cambios sustanciales. En la región de la Montaña y Costa Grande la prueba de Fisher indica una fuerte variación de períodos cálidos, propiciando condiciones de años con prolongados días cálidos en comparación con el año anterior. En la Figura 4.44., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero.

En la Figura A6.20., Anexo 6, se observa que los períodos de días cálidos aumentan en regiones de Tierra Caliente, La Montaña y Costa Grande. Por otro lado, la tendencia es a decrecer en la región Centro, Costa Chica y algunas partes de la Costa Grande.

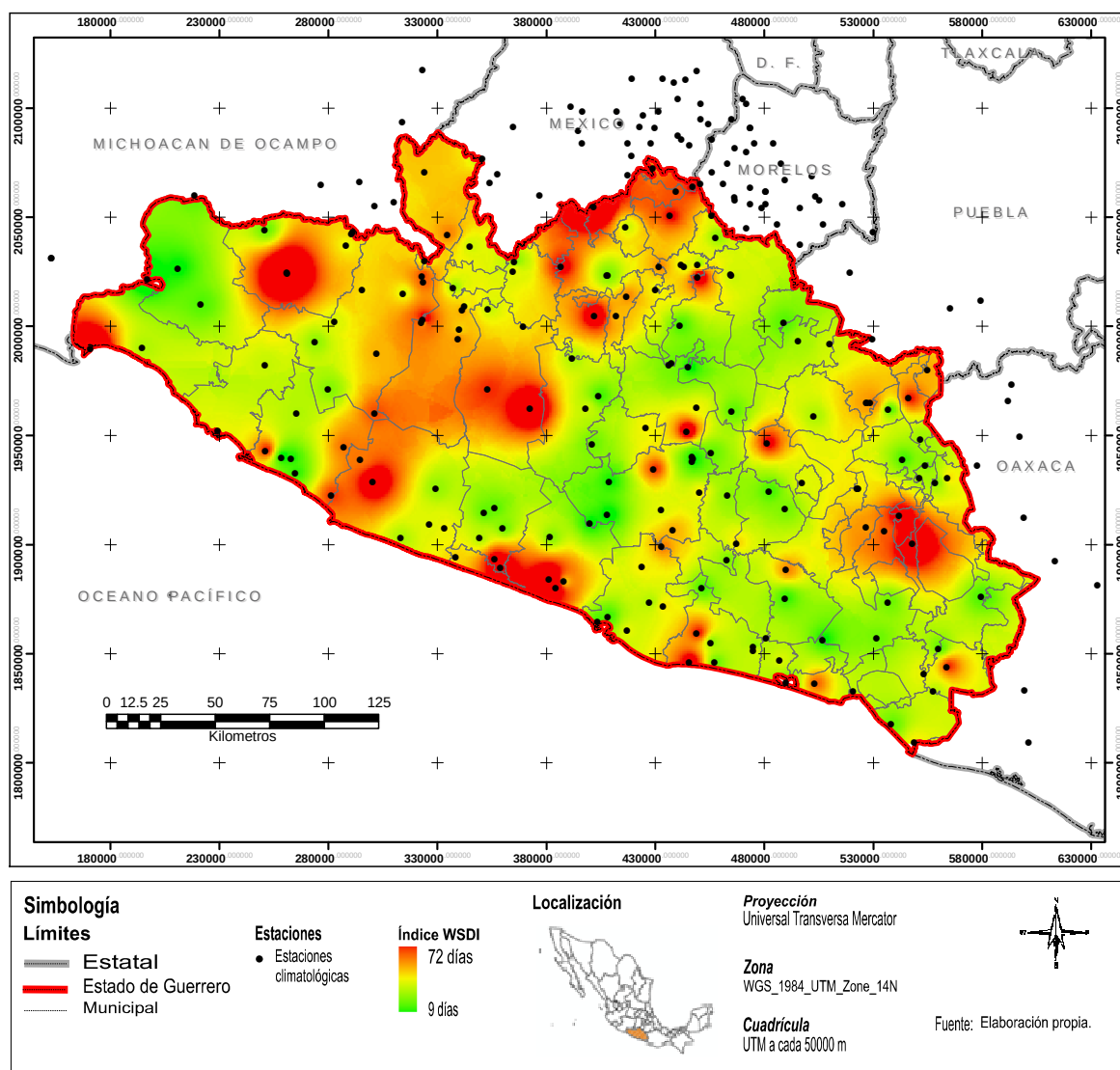


Figura 4.43. Distribución de períodos cálidos en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

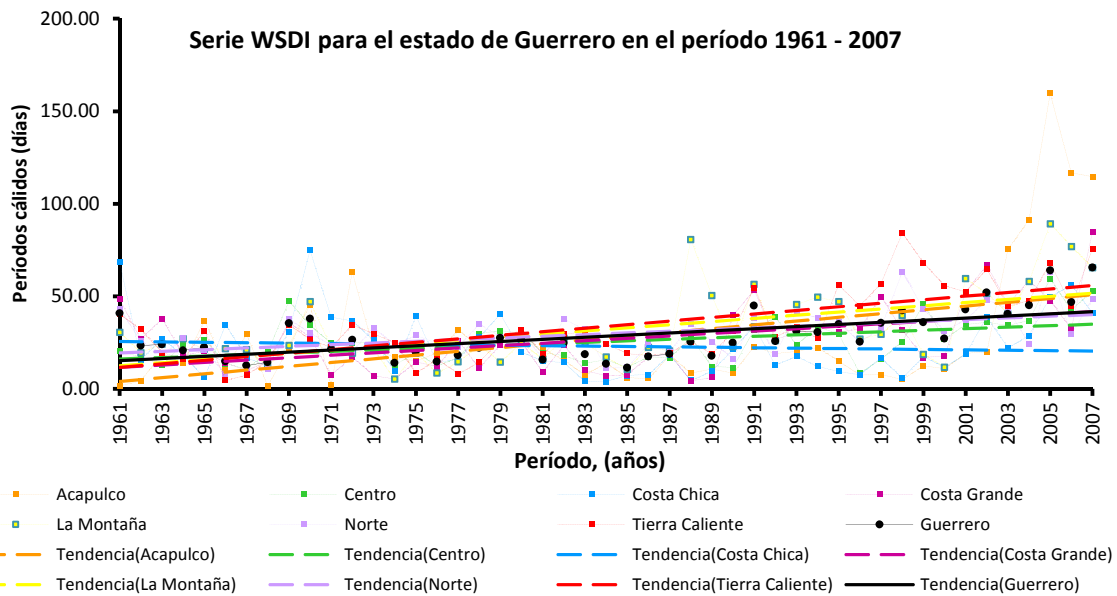


Figura 4.44. Serie anual WSDI del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: Zirándaro, Coyuca de Catalán, Ajuchitlán, San Miguel Totolapan, Arcelia, Cutzamala, La Unión, Técpan, Benito Juárez, Chilpancingo, Tixtla, Chilapa, Atlixac, Zapotitlán, Tlacoapa, Malinaltepec y Pilcaya.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: Coahuayutla, Tepecoacuilco, Iguala, Eduardo Neri, Leonardo Bravo, Gral. Heliodoro Castillo, San Luis Acatlán y Ayutla.

CSDI. Duración de los períodos fríos (Cold Spell Duration Index)

Los períodos fríos en el estado duran 25 días promedio, con máximos de 65 días y mínimos de 7 días. Las zonas de períodos fríos más prolongados se extiende en una franja que atraviesa la región Norte, Centro y partes de la Costa Chica; en la región La Montaña existen algunas zonas con períodos prolongados de días fríos. En la Figura 4.45., se aprecia la distribución del índice CSDI en el estado de Guerrero.

Las pruebas estadísticas indican tendencia positiva para el estado de Guerrero en el índice CSDI. El cambio de tendencia se presenta en el último tercio de la serie de datos analizada, en particular a partir del año 1995, afectando regiones como La Montaña, Costa Chica, Norte y Centro. En la región de Tierra Caliente y Costa Chica la prueba de Fisher indica una fuerte variación de períodos fríos, surgiendo condiciones de años con prolongados días fríos en comparación con el año anterior. En la Figura 4.46., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero.

En la Figura A6.21., Anexo 6, se observa que los períodos de días fríos aumentan en regiones de La Montaña, Centro y Norte. Por otro lado, la tendencia es a decrecer en la región Tierra Caliente y algunas partes de la Costa Grande.

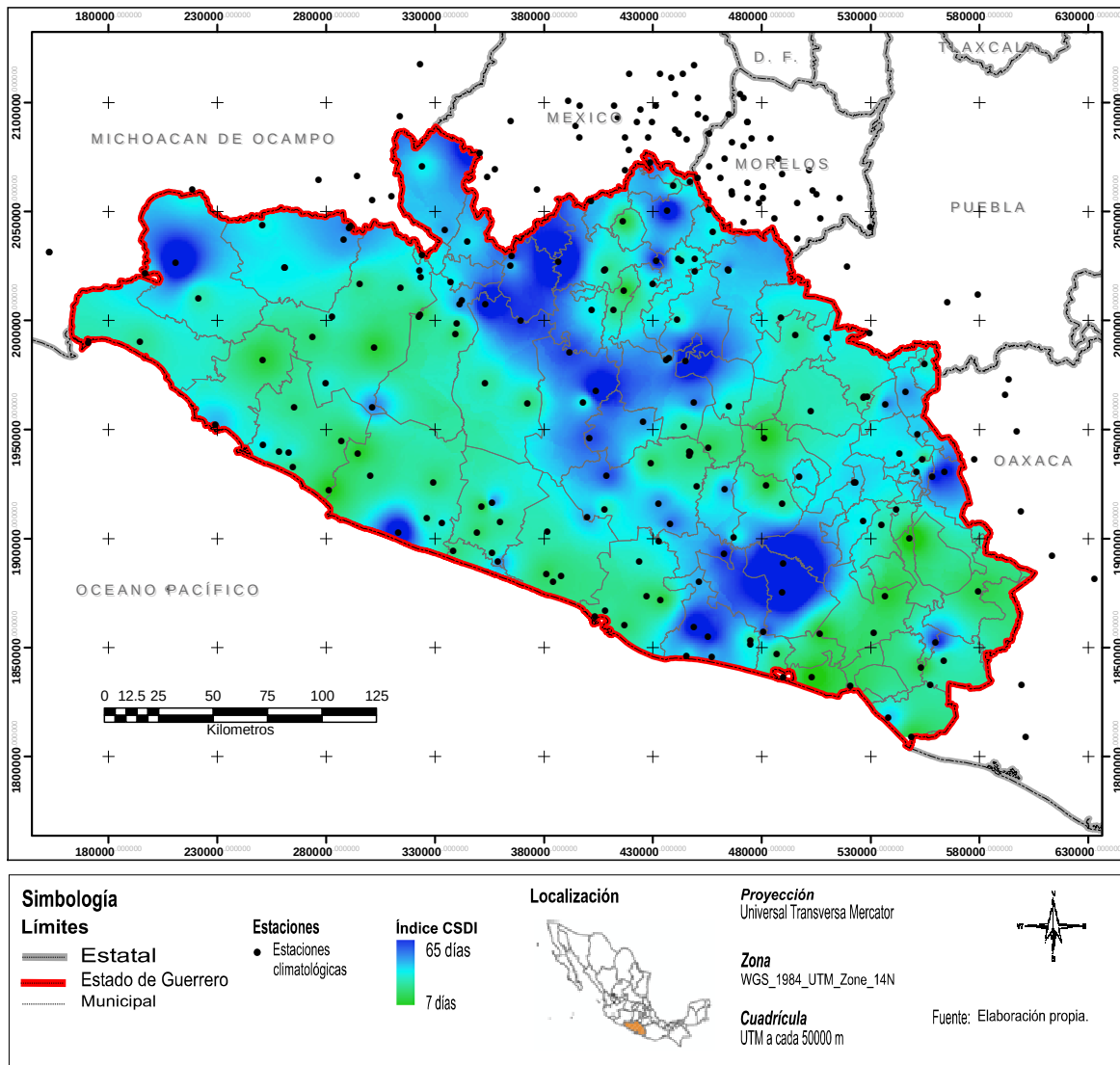


Figura 4.45. Distribución de períodos fríos en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: Chilpancingo, Leonardo Bravo, Eduardo Neri, Mártir de Cuilapan, Mochitlán, Juan R. Escudero, Tecoaapa, Ayutla, Tlalchapa, Arcelia, Gral. Canuto Neri, Cutzamala, Taxco, Ixcateopan, Pedro Ascencio Alquisiras y Alcozauca.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: Coahuayutla, José Azueta, Coyuca de Benítez, Acapulco, Florencio Villareal, Copala, Azoyú, San Luis Acatlán, Cuajinicuilapa, Tlacoachistlahuaca, Xochistlahuaca, Coyuca de Catalán, Ajuchitlán, Cuetzala, Apaxtla y Ahuacuotzingo.

Serie CSDI para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

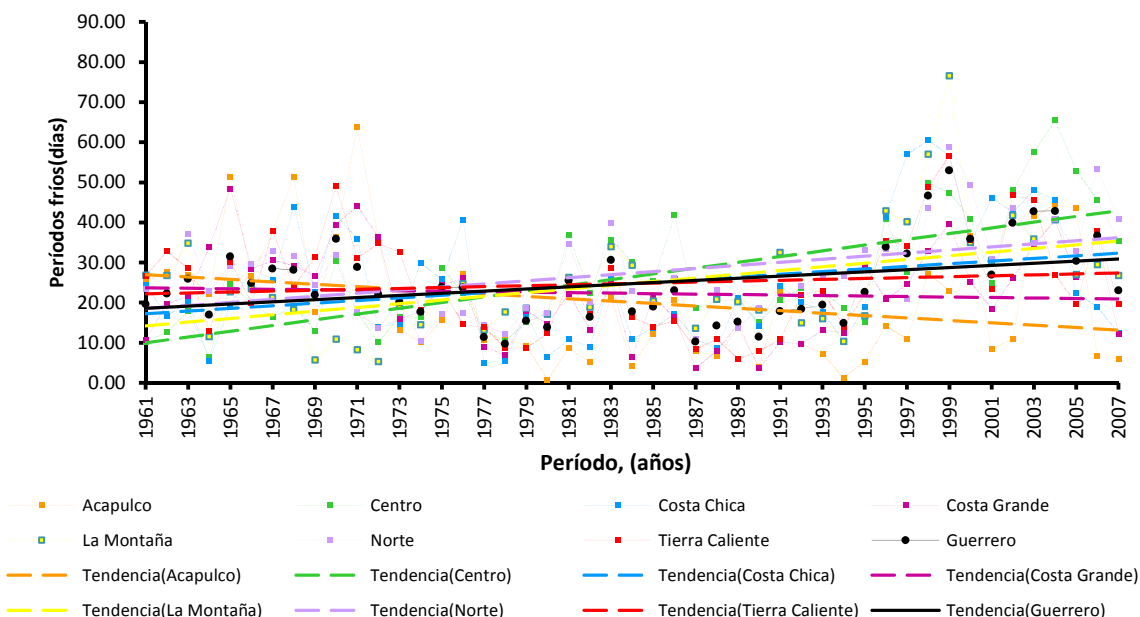


Figura 4.46. Serie anual CSDI del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

DTR. Rango diurno de temperatura (Diurnal Temperature Range)

Los contrastes de temperatura presentan magnitudes de 13.5°C promedio para el estado, con máximos de 17°C y mínimos de 8°C. Las zonas de mayor contraste se ubican en la cuenca del río Balsas, extendiéndose por la región Norte, Centro y La Montaña. En la Figura 4.47., se aprecia la distribución del índice DTR en el estado de Guerrero.

Las pruebas estadísticas indican tendencia positiva para el estado de Guerrero en el índice DTR. El cambio de tendencia se presenta en el último tercio de la serie de datos analizada, en particular a partir del año 1990, afectando regiones como La Montaña y región Norte. Esto indica una tendencia a temperaturas extremas en dichas regiones con noches más frías y días más calurosos. En la Figura 4.48., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero.

En la Figura A6.22., Anexo 6, se observa que el contraste de temperatura aumenta en regiones de La Montaña, Centro, Norte y Tierra Caliente. Por otro lado, la tendencia es a decrecer en algunas zonas de la región Costa Chica y Costa Grande y Acapulco.

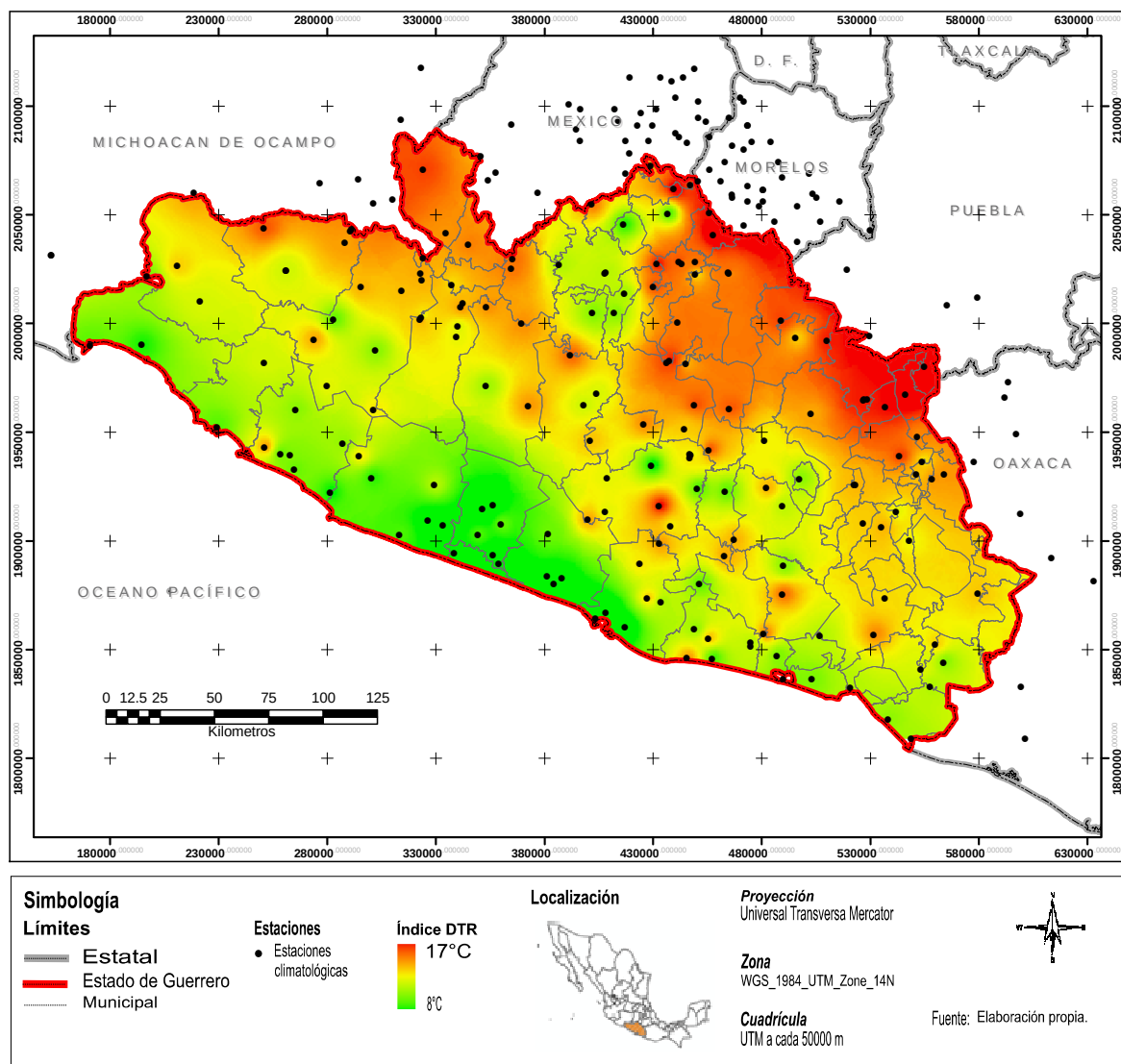


Figura 4.47. Distribución de rango diario de temperatura en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: Zirándaro, Cutzamala, Tlalchapa, Tlapehuala, San Miguel Totolapan, Arcelia, Gral. Canuto Neri, Teloloapan, Tetipac, Pilcaya, Chilpancingo, Juan R. Escudero, Mochitlán, Chilapa, Atlixac, Zapotitlán, Tlacoapa, Copanatoyac, Malinaltepec, Metlatónoc, Alcozauca, Técpan y La Unión.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: Coahuayutla, Coyuca de Benítez, Acapulco, Florencio Villareal, Copala, Azoyú, Ayutla, San Luis Acatlán, Cuajinicuilapa, Tlacoachistlahuaca, Atenango, Copalillo y Alpoyeca.

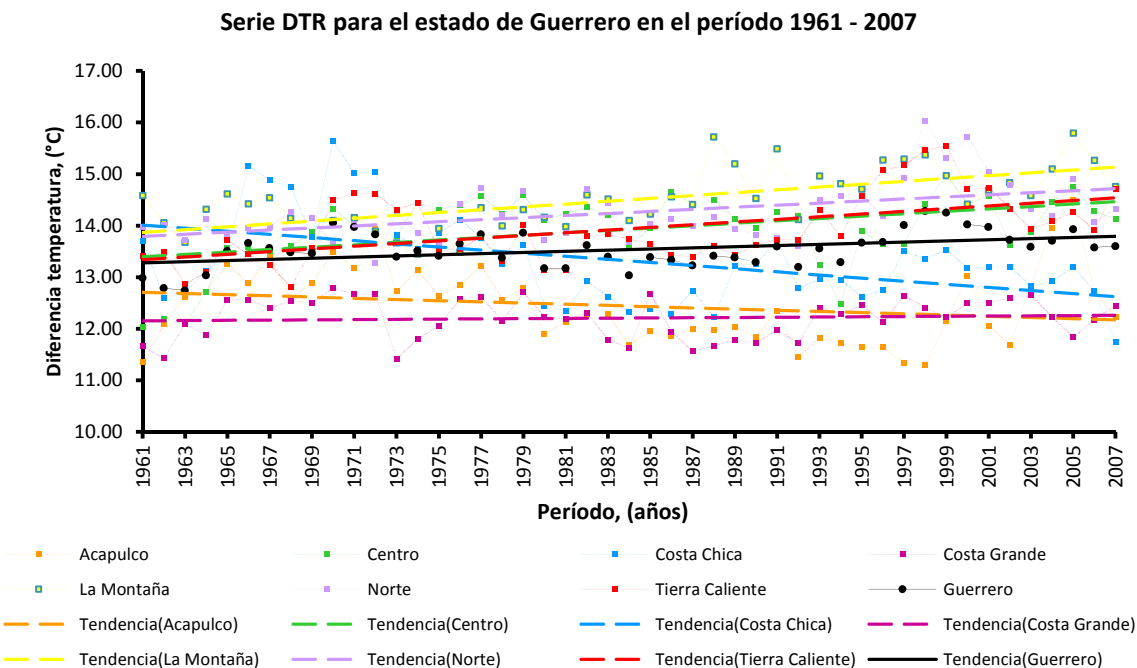


Figura 4.48. Serie anual *DTR* del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica y Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

Rxday

La serie de índice Rxday se analizó para intervalos de 1 a 10 días como se detalló anteriormente. La precipitación máxima anual se concentra sobre la costa del estado debido principalmente a frecuentes impactos de tormentas tropicales y huracanes en esa zona. El promedio de Rx1day máximo es de 140 mm y un mínimo de 46 mm, brindando un promedio estatal de 80 mm de precipitación máxima diaria. La serie Rx5day tiene como máximo un evento de 264 mm y un mínimo de 86 mm, con un promedio estatal de 32 mm. El índice Rx10day se asocia con eventos máximos a nivel estado de 368 mm y mínimos de 121 mm con un promedio de 222 mm. En la Figura 4.49., se aprecia la distribución del índice Rx1day y Rx5day en el estado de Guerrero.

Las pruebas estadísticas no indican tendencia alguna en el estado de Guerrero.. En la Figura 4.50., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero.

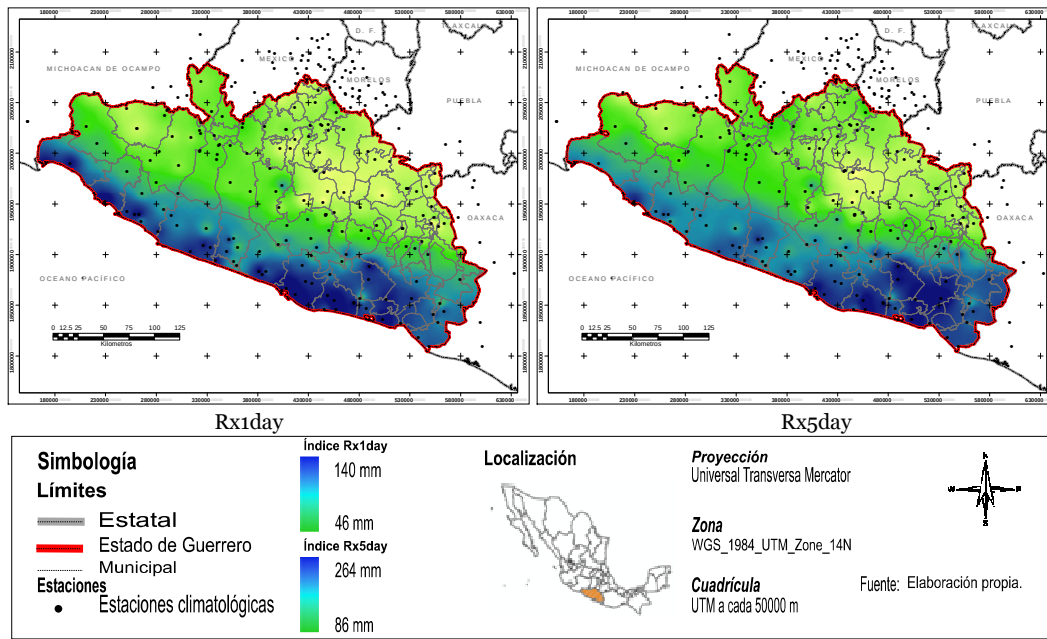


Figura 4.49. Distribución de Rx1day y Rx5day en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

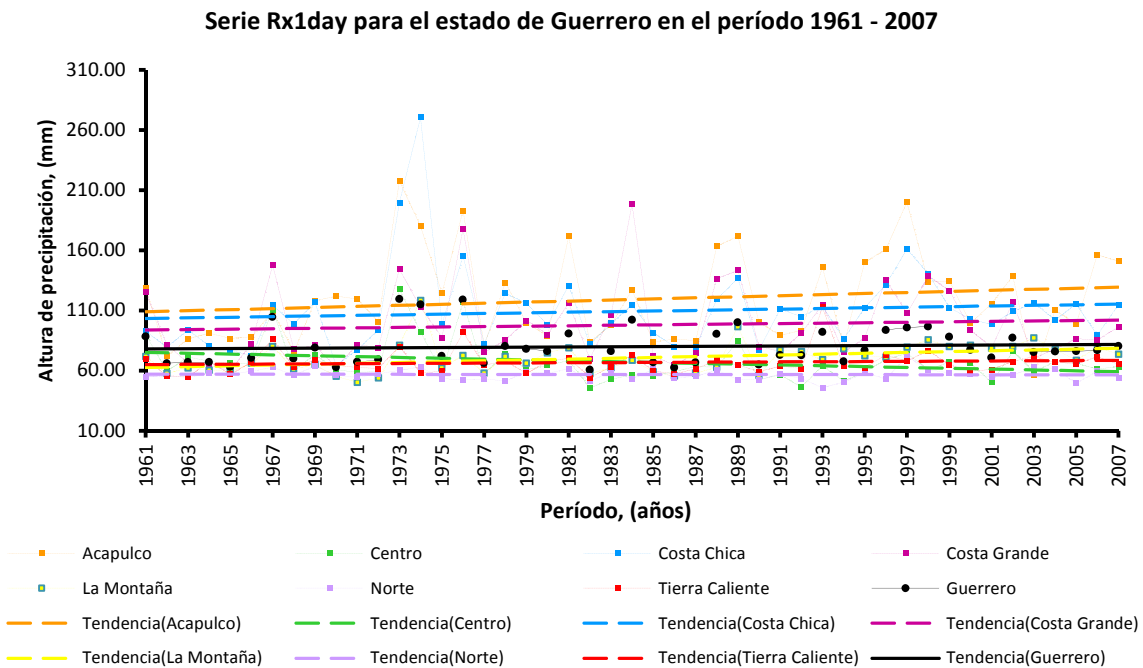
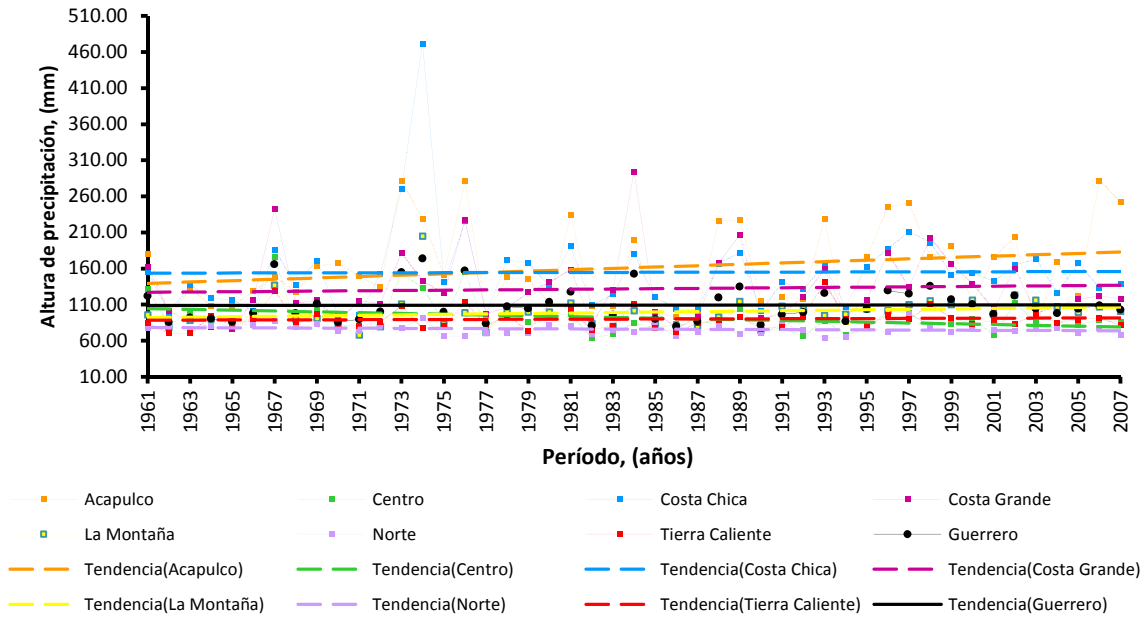


Figura 4.50.a. Serie anual Rx1day para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas

Serie Rx2day para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007



Serie Rx3day para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

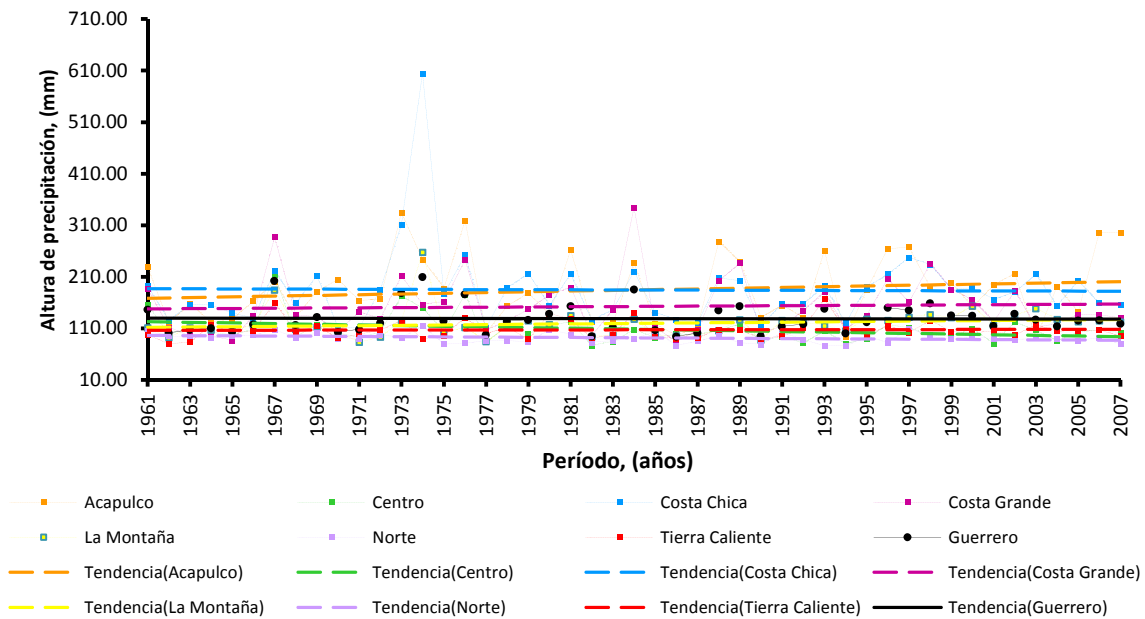
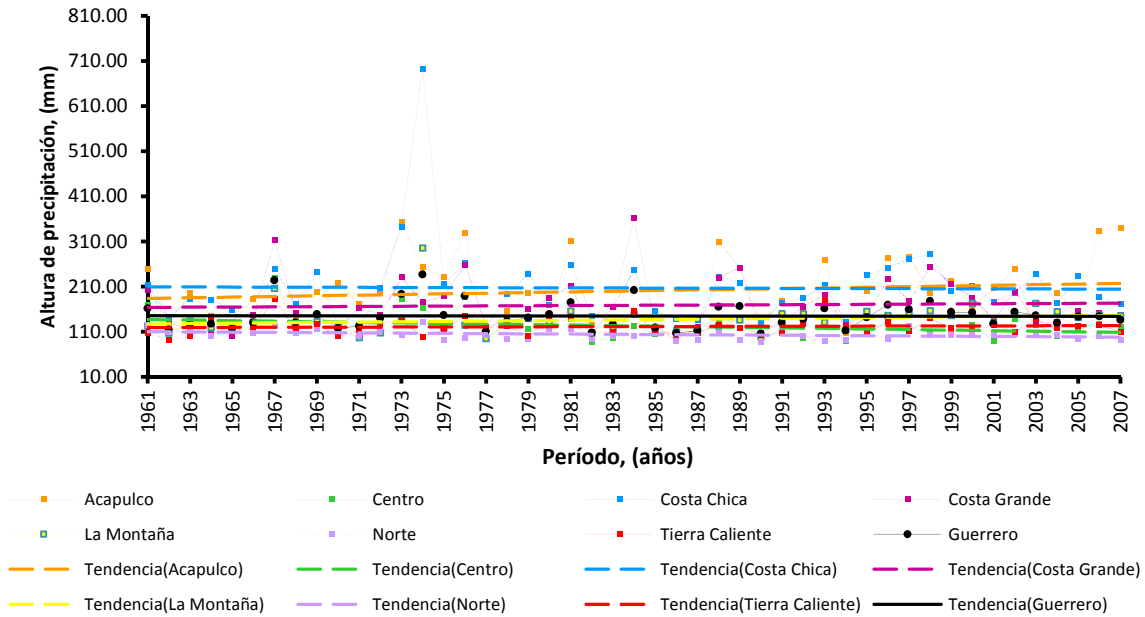


Figura 4.50.b. Serie anual Rx2day y Rx3day para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas

Serie Rx4day para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007



Serie Rx5day para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

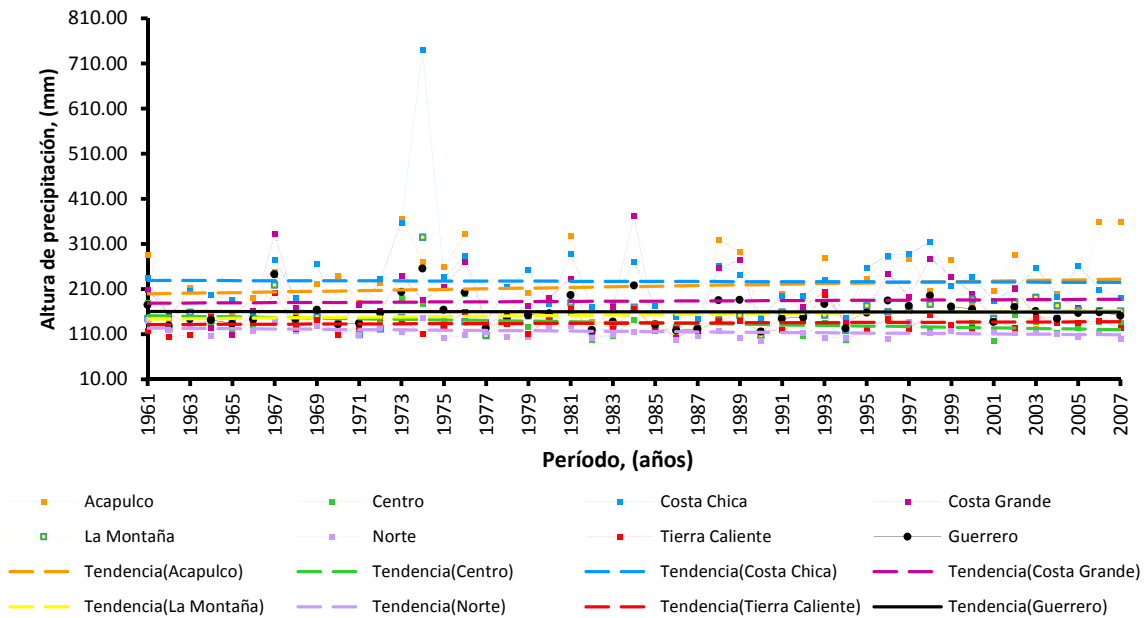
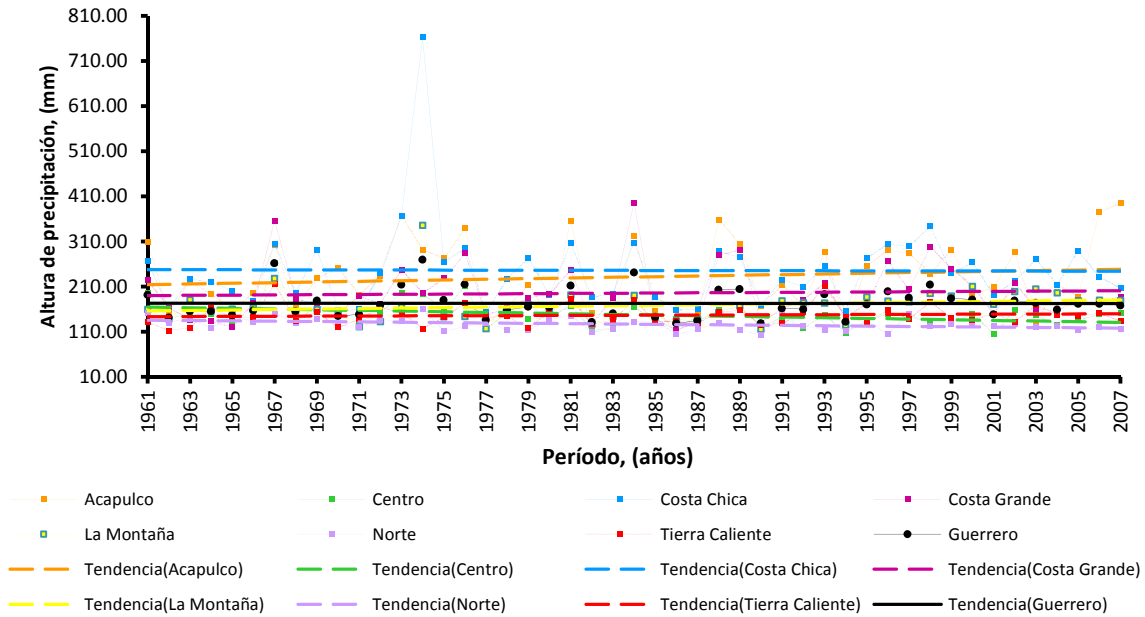


Figura 4.50.c. Serie anual Rx4day y Rx5day para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas

Serie Rx6day para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007



Serie Rx7day para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

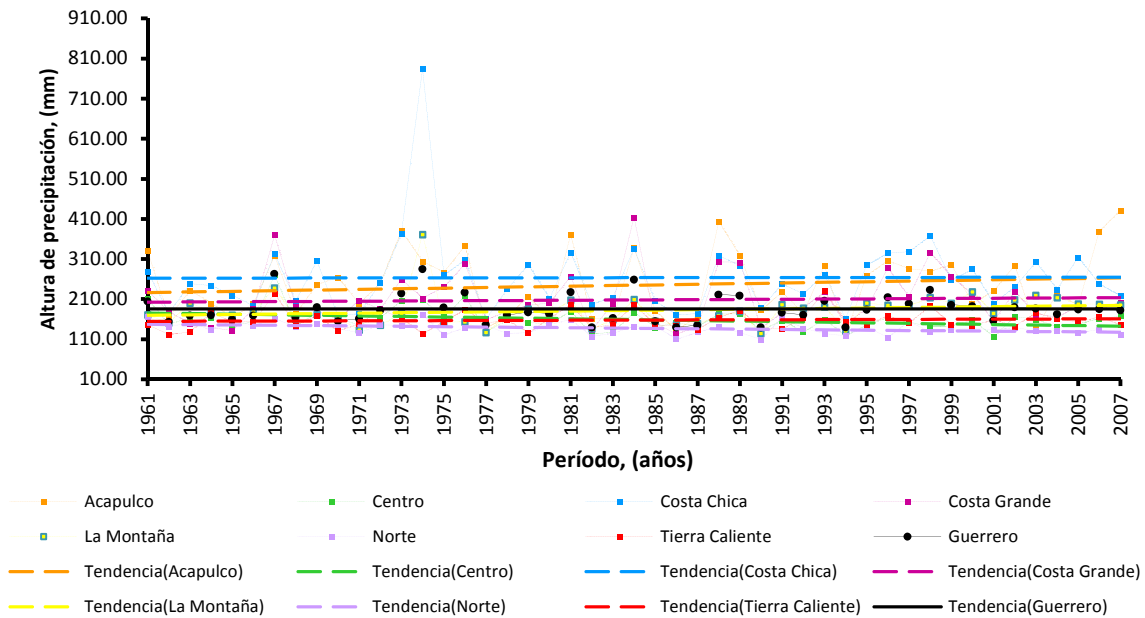
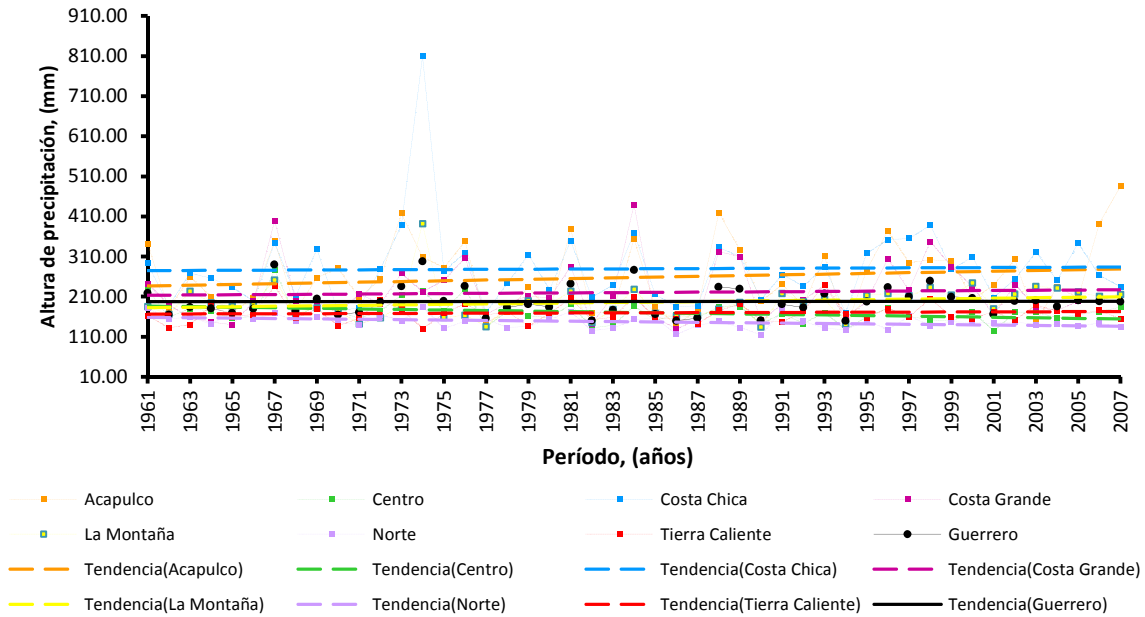


Figura 4.50.d. Serie anual Rx6day y Rx7day para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas

Serie Rx8day para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007



Serie Rx9day para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

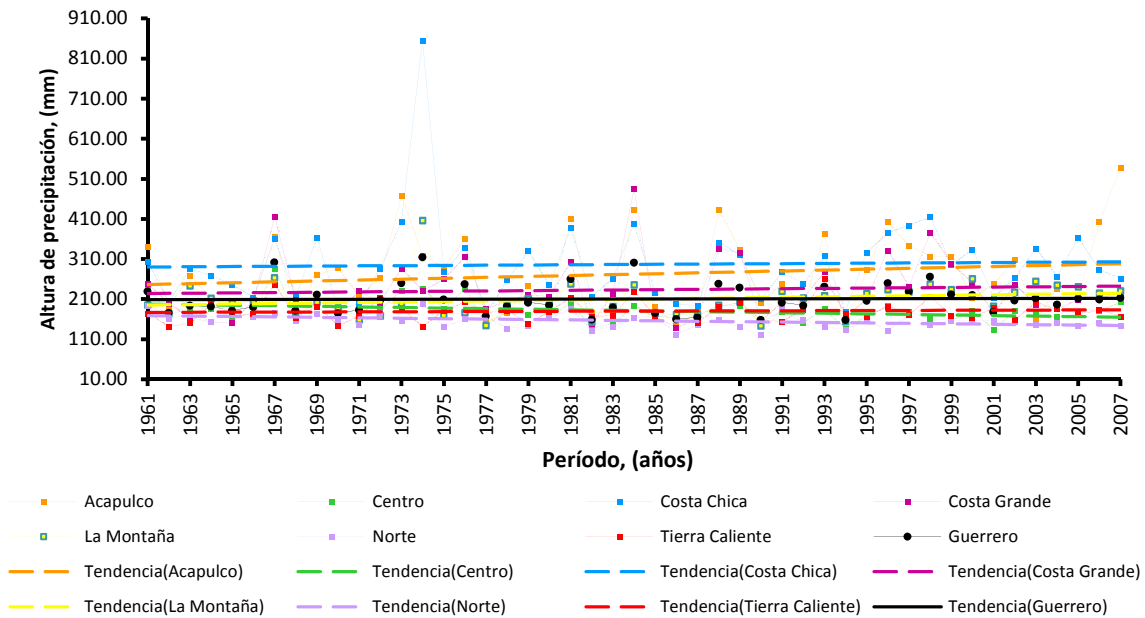


Figura 4.50.e. Serie anual Rx8day y Rx9day para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas

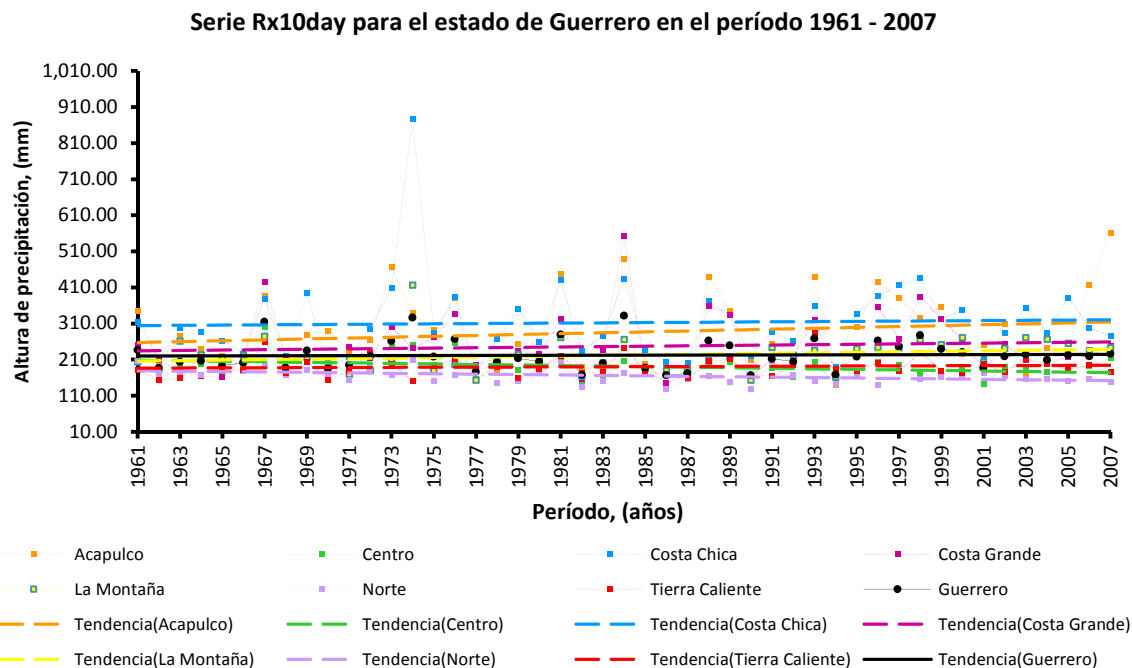


Figura 4.50.f. Serie anual Rx10day para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas

En la Figura A6.23., Anexo 6, se observa que la precipitación tiende a aumentar en algunas zonas de Acapulco, Costa Grande y Costa Chica, mientras que en el centro del estado la tendencia es a disminuir la precipitación máxima diaria. La tendencia para los diferentes índices de la serie Rxday afecta zonas muy similares. Este índice demuestra que la cantidad de lluvia en los períodos de 1 a 10 días no se ve modificada en el transcurrir del tiempo.

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: La Unión, Coahuayutla, Coyuca de Benítez, Acapulco, Copala, Cuautepec, Azoyú, Cuajinicuilapa, San Luis Acatlán, Malinaltepec, Metlatónoc y Tlapa.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: Coyuca de Catalá, Chilpancingo, Leonardo Bravo, Mártir de Cuilapan, Huitzuco, Atenango, Copalillo, Zapotitlán y Atlixac.

SDII. Índice simple de intensidad diaria (Simple Daily Intensity Index)

Las magnitudes más altas del índice SDII se localizan en la costa del estado y algunas zonas de Tierra Caliente. El índice está expresado en milímetros por día (mm/día) en períodos anuales. El promedio de SDII estatal es de 14.3mm/día, presentando magnitudes máximas de 23 mm/día y mínimas de 9 mm/día. En la Figura 4.51., se aprecia la distribución del índice SDII en el estado de Guerrero.

Las pruebas estadísticas indican tendencia positiva en el estado de Guerrero, cuya variación principal radica en la media de la serie de datos. El incremento de este índice correspondiente al último tercio de las series de datos ocurre en zonas montañosas de Acapulco, Costa Grande y Costa Chica del estado. En la Figura 4.52., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero.

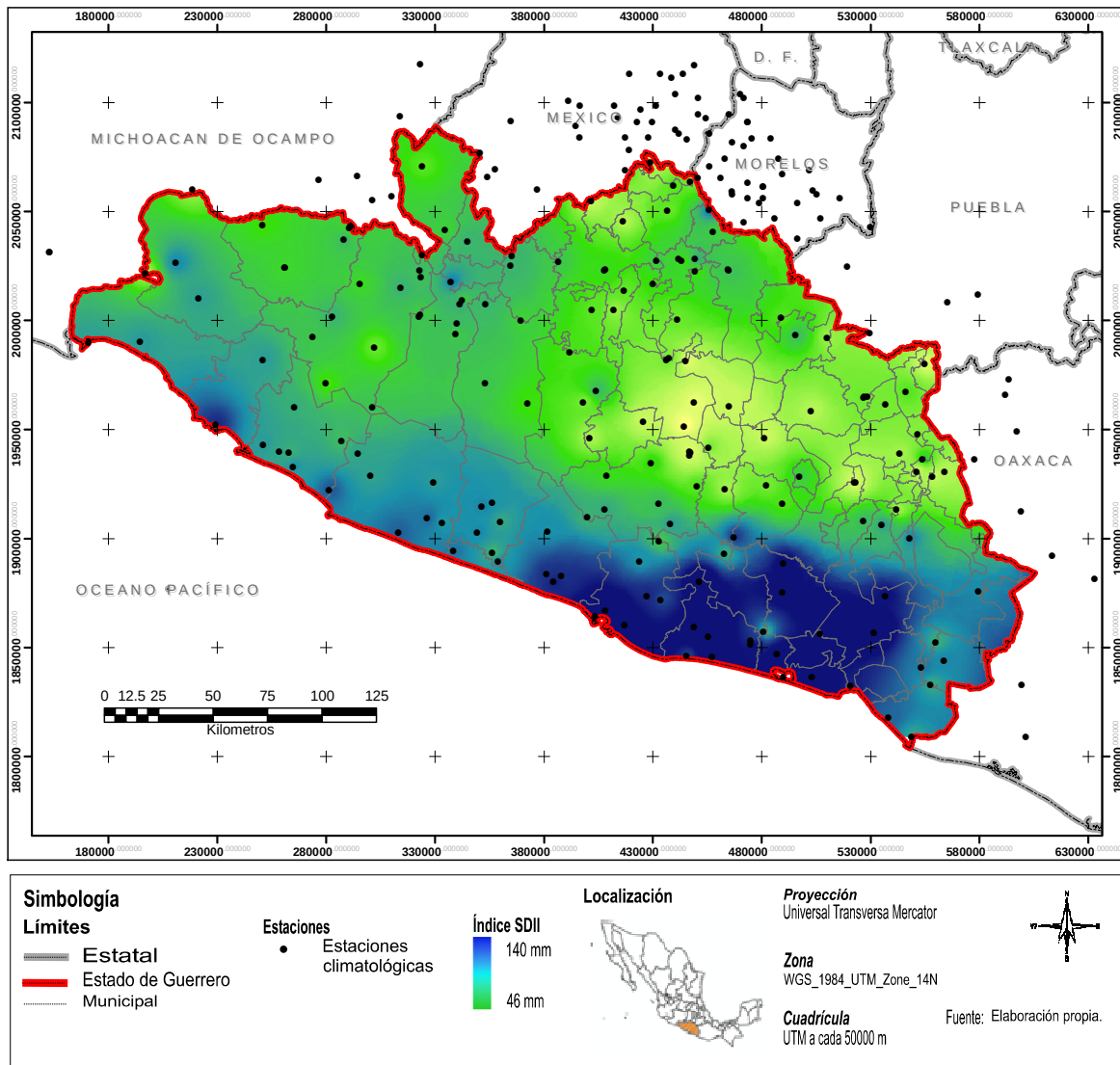


Figura 4.51. Distribución del índice SDII en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

Regionalmente se presentan variaciones aisladas, incapaces, por ahora, de formar regiones claramente definidas. En la Figura A6.24., Anexo 6, se observa las regiones donde el índice SDII tiende a aumentar, como es la Costa Grande y región Norte donde está plenamente definida y la región Costa Chica con varias islas de incremento; por otro lado, en la región Centro y Norte la tendencia es a disminuir así como en algunos sitios de frontera con el estado de Michoacán.

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: Técpan, Atoyac, San Miguel Totolapan, Cuautepec, Copala, Florencio Villareal, Malinaltepec, Metlatónoc, Atlamajalcingo, Xalpatláhuac, Tlapa, Huamuxtitlán, Xochihuehuetlán, Cualác, Alpoyeca, Tetipac, Pilcaya y Taxco.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: La Unión, Igualapa y Cutzamala.

Serie SDII para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

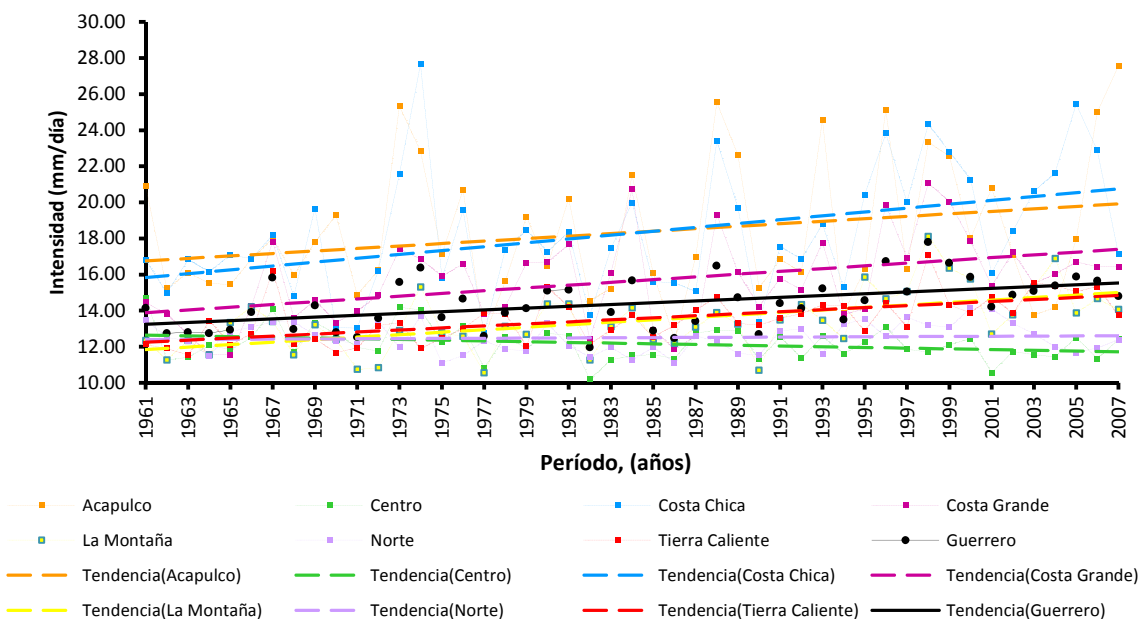


Figura 4.52. Serie anual *SDII* del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

R10. Días con lluvia mayor a 10 mm

Las regiones con lluvia mayor a 10 mm se localizan principalmente sobre las zonas montañosas. Las magnitudes más altas se ubican sobre la Sierra Madre del Sur, cuyos días van disminuyendo gradualmente de Este a Oeste. El promedio de días con lluvia mayor a 10 mm a nivel estado es de 36 días, presentando zonas con 18 y hasta 73 días. En la Figura 4.53., se aprecia la distribución del índice *R10* en el estado de Guerrero. Las pruebas estadísticas no reflejan tendencia significativa para la serie de datos estatal.

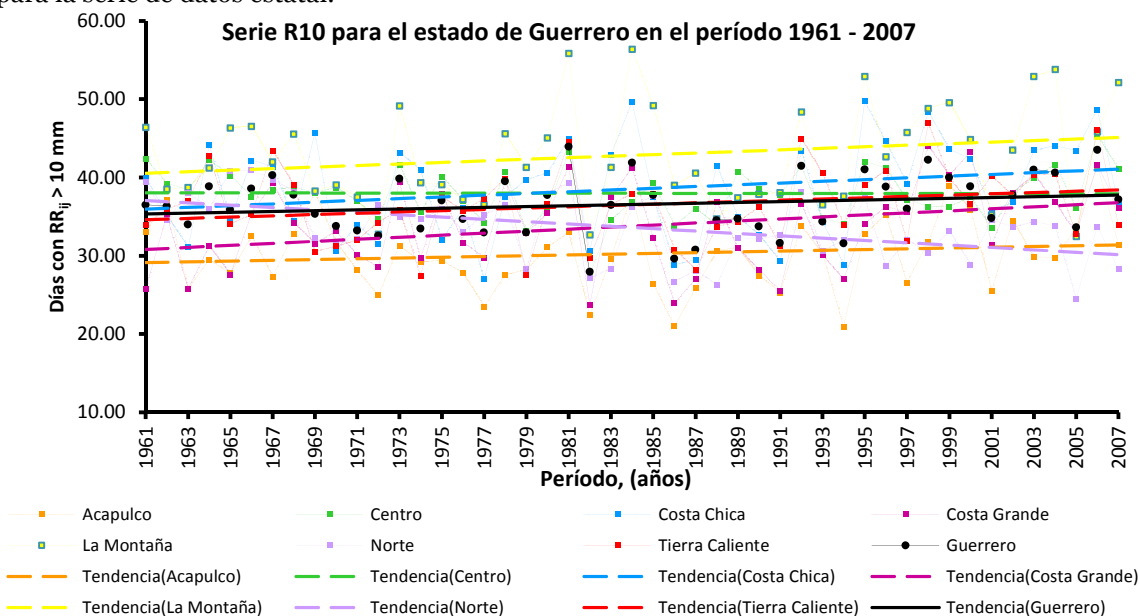


Figura 4.54. Serie anual *R10* del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

En la Figura 4.54., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero. Regionalmente se presentan algunas variaciones en la serie de datos. En la Figura A6.25., Anexo 6, se observa las regiones donde el índice R10 tiende a aumentar o disminuir. Entre la región Norte, Tierra Caliente y Centro se forma una franja con tendencia negativa acompañada de zonas aisladas en la región de La Montaña. Pueden percibirse algunos brotes de tendencia positiva en la frontera con el estado de Oaxaca y Michoacán y ligeras variaciones en la zona Centro.

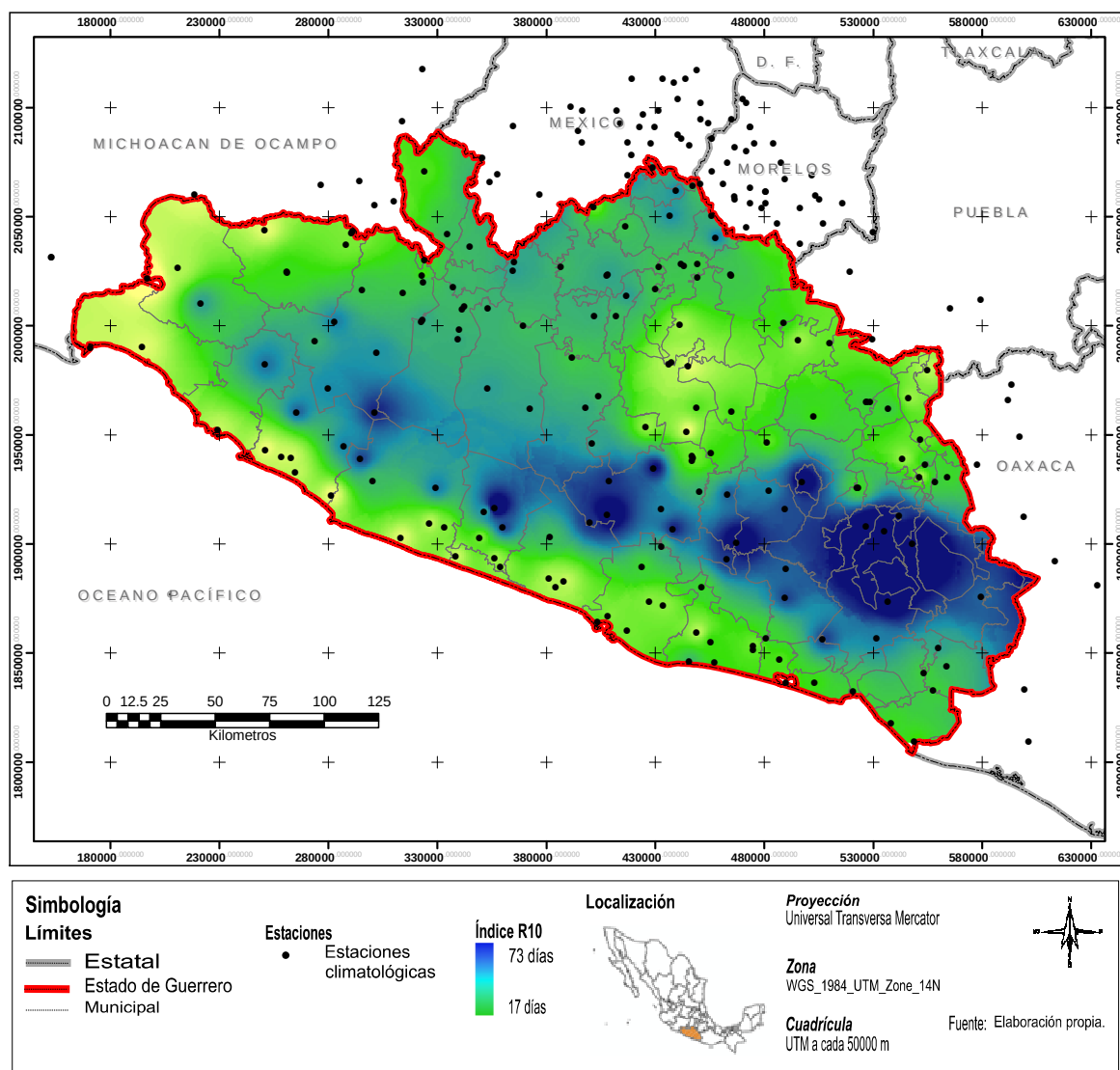


Figura 4.53. Distribución del índice R10 en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: Tetipac, Pedro Ascencio, Taxco, Gral. Canuto Neri, Teloloapan, Arcelia, Apaxtla, Cuetzala, Gral. Heliodoro Castillo, San Miguel Totolapan, Leonardo Bravo, Chilpancingo, Atenango, Copalillo, Atlixac, Zapotitlán y Copanatoyac.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: Coahuayutla, La Unión, Técpan, San Luis Acatlán, Azoyú, Cuajinicuilapa, Igualapa, Metlatónoc, Ometepec, Tlacoachistlahuaca, Eduardo Neri, Tixtla, Mochitlán, Chilapa, Alcozauc y Huamuxtitlán.

R20. Días con lluvia mayor a 20 mm

Las zonas con lluvia mayor a 20 mm predominan en zonas montañosas. En la Figura 4.55., se muestran la distribución de lluvias mayores a 20 mm en el estado de Guerrero. Las regiones de mayor recurrencia se ubican en la Sierra Madre del Sur con 73 días en promedio. Por otra parte, la región colindante de La Montaña, Centro y Norte es de las regiones con bajo índice R20 con 7 días en promedio.

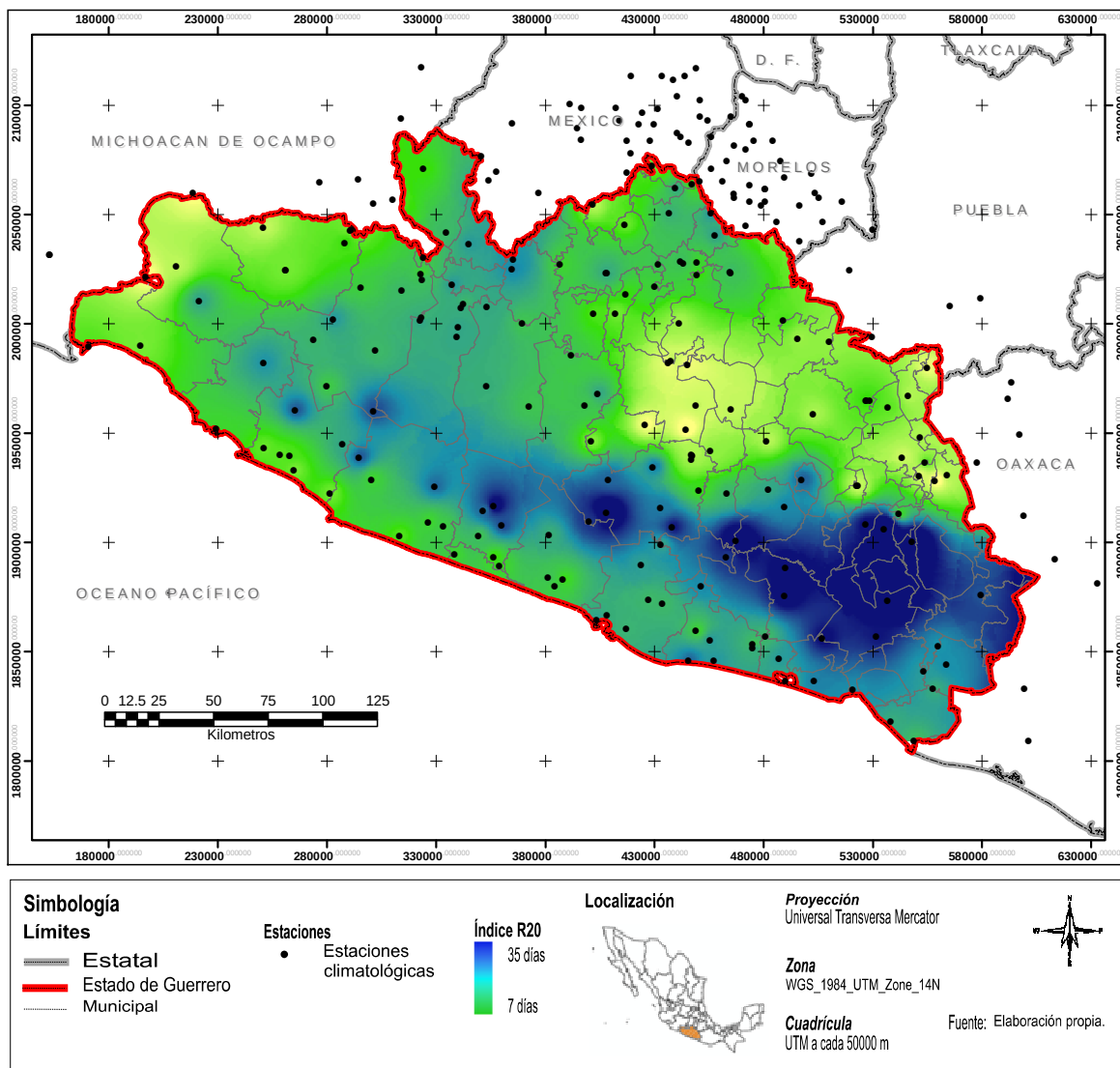


Figura 4.55. Distribución de lluvias mayores a 20 mm en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

Las pruebas de tendencia no reflejan un aumento de días con lluvia mayor a 20 mm en el estado de Guerrero. En la Figura 4.56., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero.

Regionalmente se observa que el cambio de tendencia negativo en este índice ocurre en la región Centro, Norte y extendiéndose en algunas zonas de La Montaña (ver Figura A6.26., Anexo 6). En la región este de La Montaña y Costa Chica se aprecia una franja con cambio significativo de aumento de días con lluvias mayores a 20 mm; de forma similar, en la región oeste de la Costa Grande se observa otra zona con tendencia positiva.

Serie R20 para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

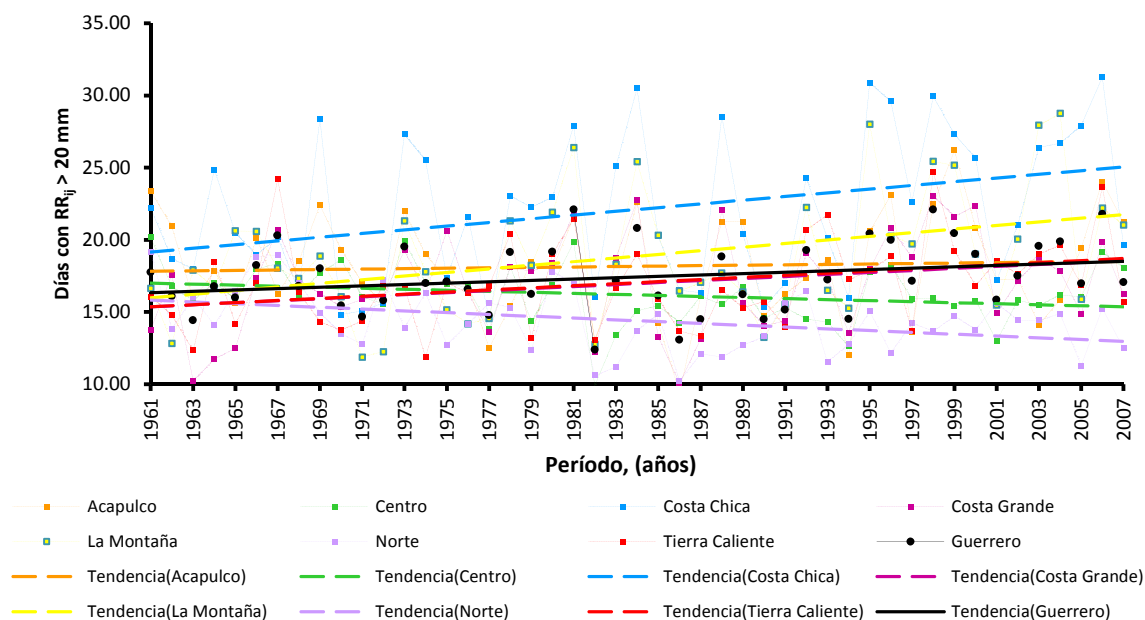


Figura 4.56. Serie anual R20 del estado de Guerrero y sus regiones Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, La Montaña, Norte y Tierra Caliente, en el período 1961 - 2007

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: La Unión, Coahuayutla, Zirándaro, Coyuca de Benítez, Benito Juárez, Copala, Azoyú, San Luis Acatlán, Malinaltepec, Metlatónoc, Atlamajalcingo, Alcozauca, Tlaxiataquilla, Alpoyeca, Eduardo Neri, Tixtla y Mochitlán.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: General Heliodoro Castillo, Leonardo Bravo, Chilpancingo, Gral. Canuto Neri, Teloloapan, Pedro Ascencio, Tetipac, Taxco, Atenango, Huitzuco, Copalillo, Ahuacuotzingo, Atlixac y Zapotitlán.

Rnn. Días con lluvia mayor a nn mm

En este apartado se expone los resultados estadísticos para alturas de precipitación acorde con la clasificación de CONAGUA. La Sierra Madre del Sur constituye un parteaguas sumamente importante que condiciona el patrón de lluvias en el barlovento y sotavento.

En promedio en el estado se presentan más días secos que lluviosos. Días con 0mm de lluvia se presenta generalmente en 277 días al año, lluvias entre 0.1-5mm ocurren en 38 días, lluvias entre 5-20mm acontecen en 32 días, lluvias de 20-70mm se presentan en 16 días, lluvias de 70-150mm ocurren al menos una vez al año, y lluvias mayores a 150mm acontecen una vez cada año. En la Figura 4.57., se muestra gráficamente la frecuencia relativa a un año en el estado de Guerrero.

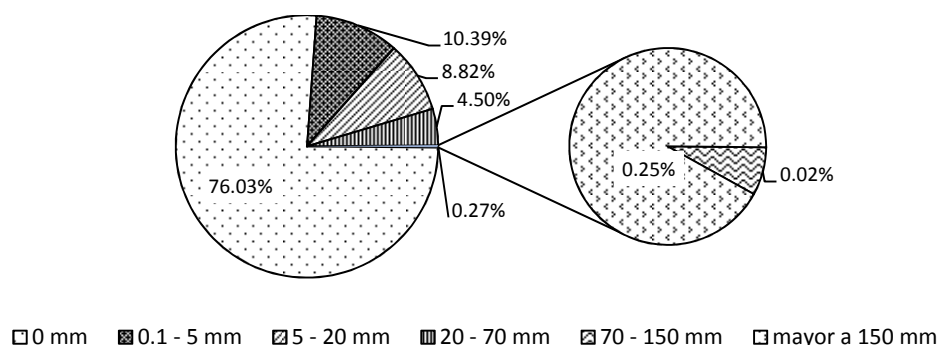


Figura 5.57. Frecuencia de días con lluvia en base a la clasificación CONAGUA, en el estado de Guerrero.

Los días secos (precipitación de 0mm) comúnmente se presenta en la costa de la entidad y en las fronteras con los estados de Michoacán y Puebla, llegando a presentarse hasta en 315 días en un año; las lluvias ligeras (0.1-5mm) se presentan con mayor regularidad en el eje de la Sierra Madre del Sur en periodos de hasta 65 días al año; las lluvias moderadas (5-20mm) son recurrentes en el centro del estado y en la región La Montaña con frecuencias máximas de 53 días al año; las lluvias fuertes (20-70mm) son netamente orográficas desarrollándose en la Sierra Madre del Sur principalmente, en frecuencias de hasta 36 días al año; las lluvias intensas (70-150mm) y torrenciales (mayor a 150mm) se originan por sistemas ciclónicos que impacten a las costas del estado al menos una vez al año, por lo tanto, magnitudes de esta lluvia acontece en las costas. En la Figura 4.58., se muestra las regiones con su respectiva frecuencia en días por año para los intervalos de lluvia descritos anteriormente.

Las pruebas de tendencia indican un aumento promedio de días secos en el estado, principalmente en la región Costa Grande y en una franja establecida en la región de Tierra Caliente y región Norte. Las lluvias ligeras no reflejan tendencia alguna a nivel estado, no obstante en la región Costa Chica y Norte es marcada la tendencia negativa. Las lluvias moderadas tienden a disminuir en el estado, remarcándose en el último tercio de la serie de datos en todas las regiones exceptuando la zona Centro. Las lluvias fuertes aumentan en el estado en los últimos 15 años principalmente en la región Costa Grande, Costa Chica, Tierra Caliente y La Montaña; en cambio en el Centro existe una ligera disminución. Las lluvias intensas no presenta cambios a nivel estatal, no obstante, en la región La Montaña y Costa Chica se aprecia un aumento de días con lluvia de esta magnitud. Las lluvias torrenciales tienden a aumentar en el estado de Guerrero, afectando la Costa Chica, Costa Grande, Acapulco y la región La Montaña. En la Figura 4.59.-4.64., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero. Las tendencias mencionadas indican un aumento de días sin lluvia, mientras que la lluvia que llega a presentarse lo hace de forma torrencial, lo cual constituye amenazas serias de inundación, deslaves, erosión y desertificación (ver Figura A6.27., Anexo 6).

Serie R00 para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

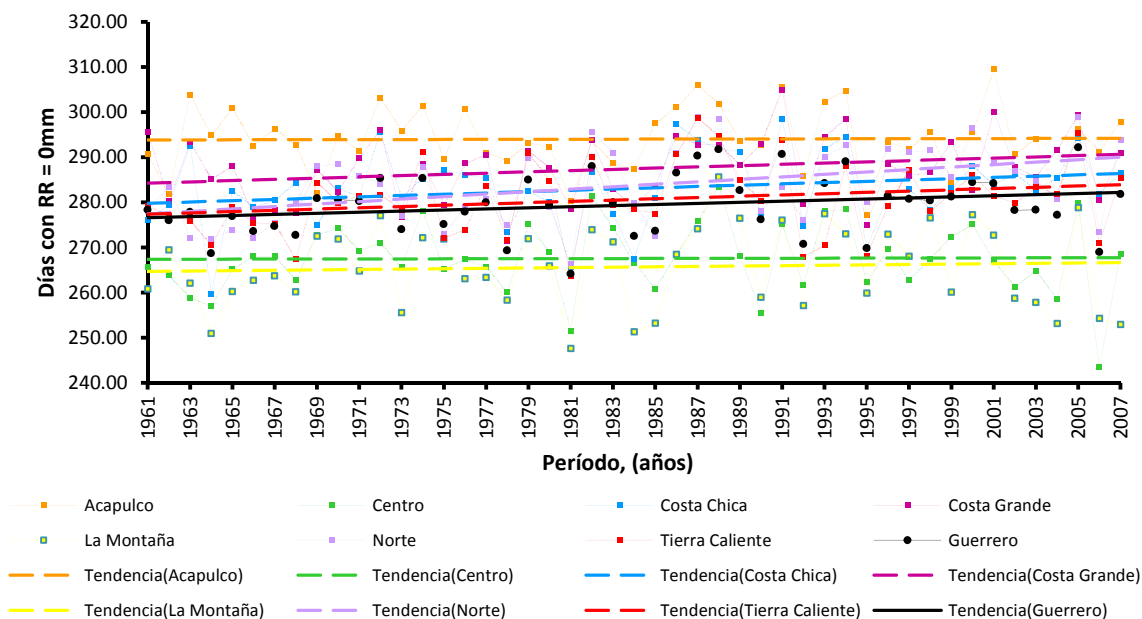


Figura 4.59. Serie anual R00 para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 – 2007

Serie R005 para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

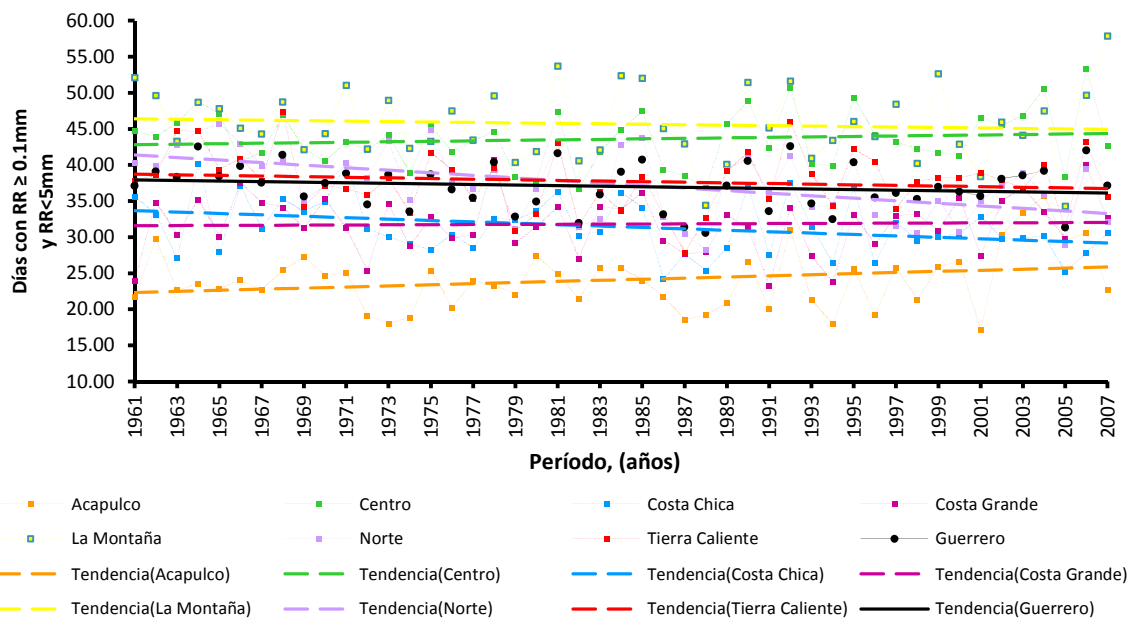


Figura 4.60. Serie anual R005 para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 – 2007

Serie R520 para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

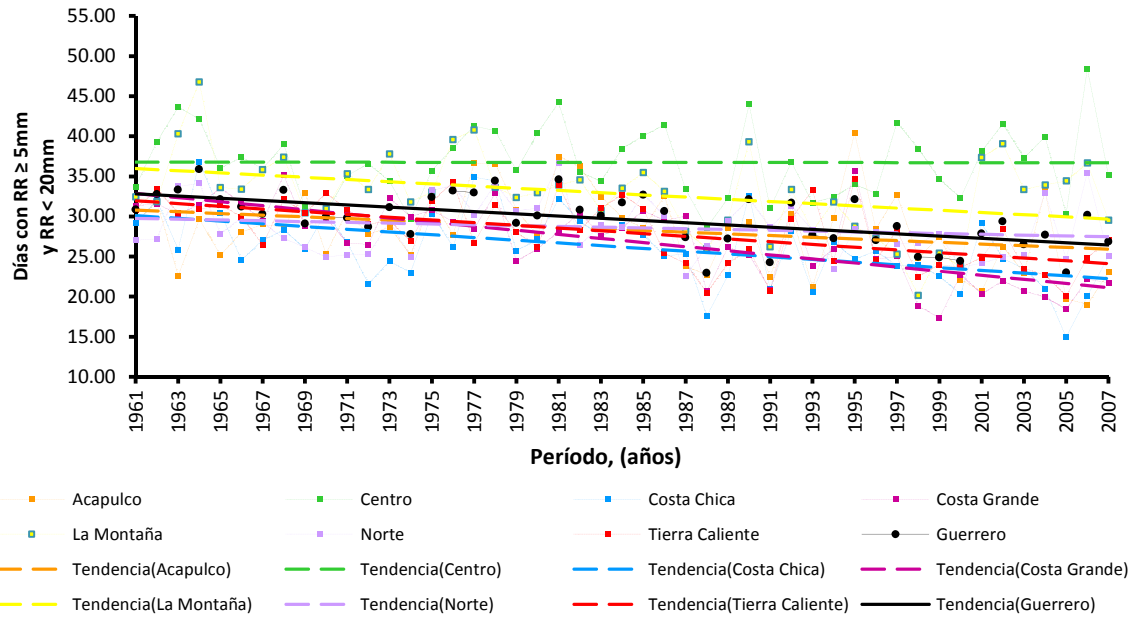


Figura 4.61. Serie anual R520 para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 – 2007

Serie R2070 para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

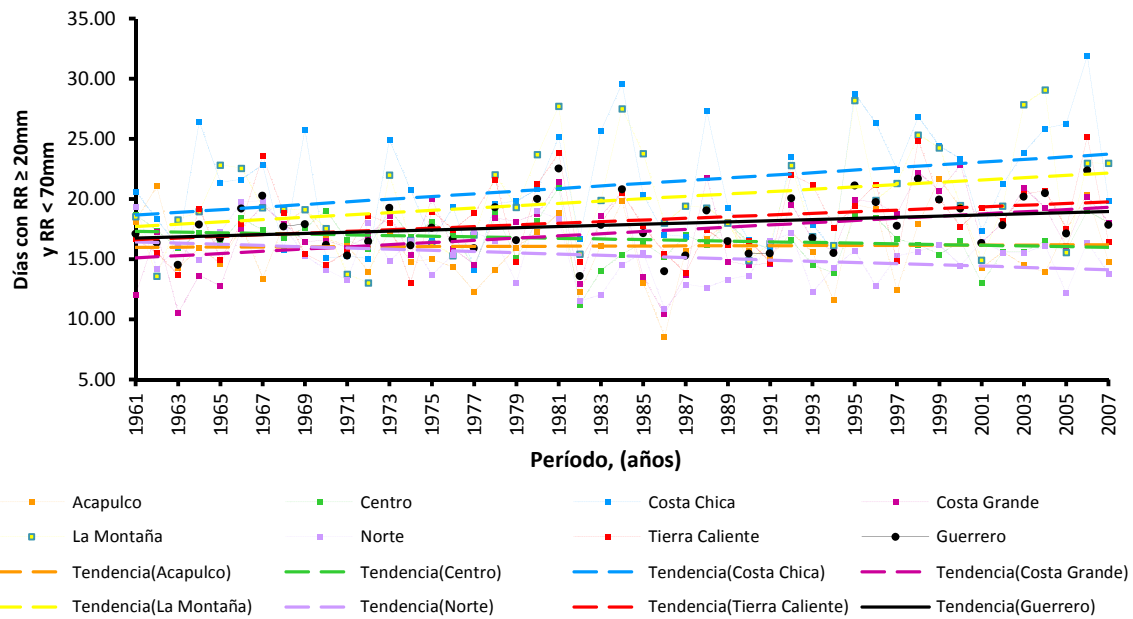


Figura 4.62. Serie anual R2070 para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 – 2007

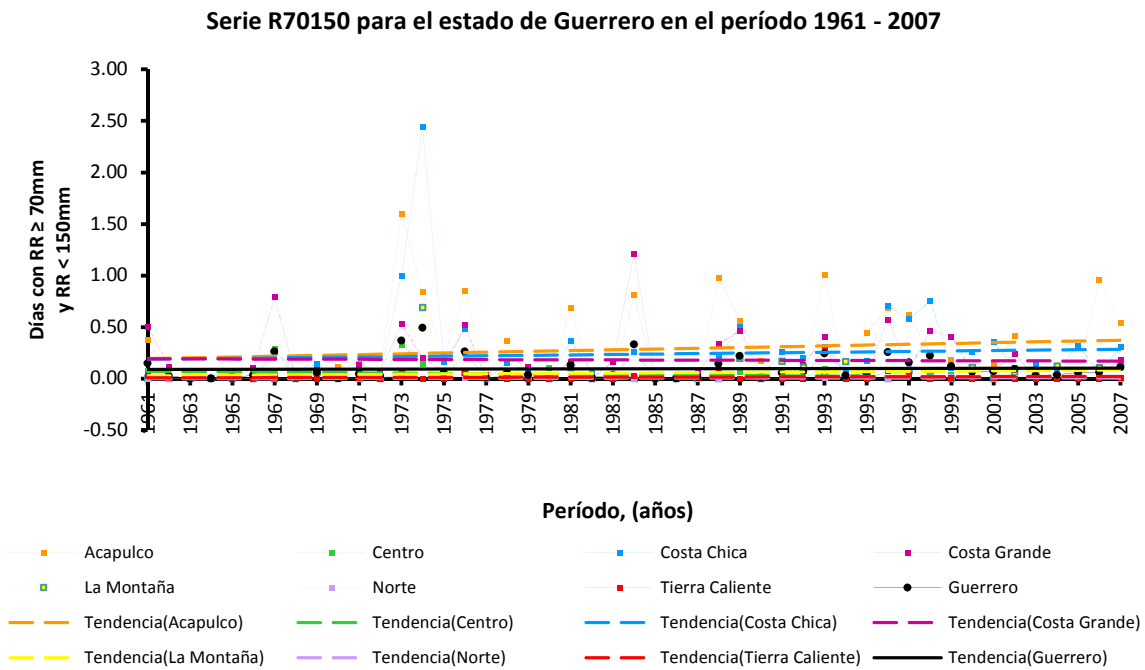


Figura 4.63. Serie anual R70150 para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 – 2007

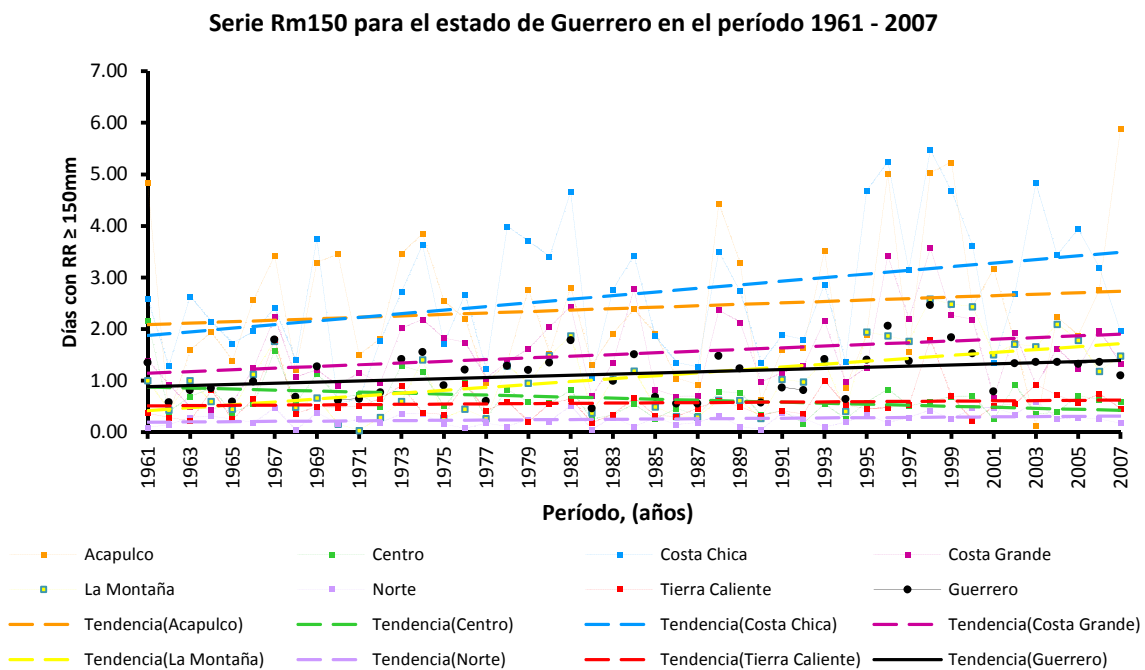


Figura 4.64. Serie anual Rm150 para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 – 2007

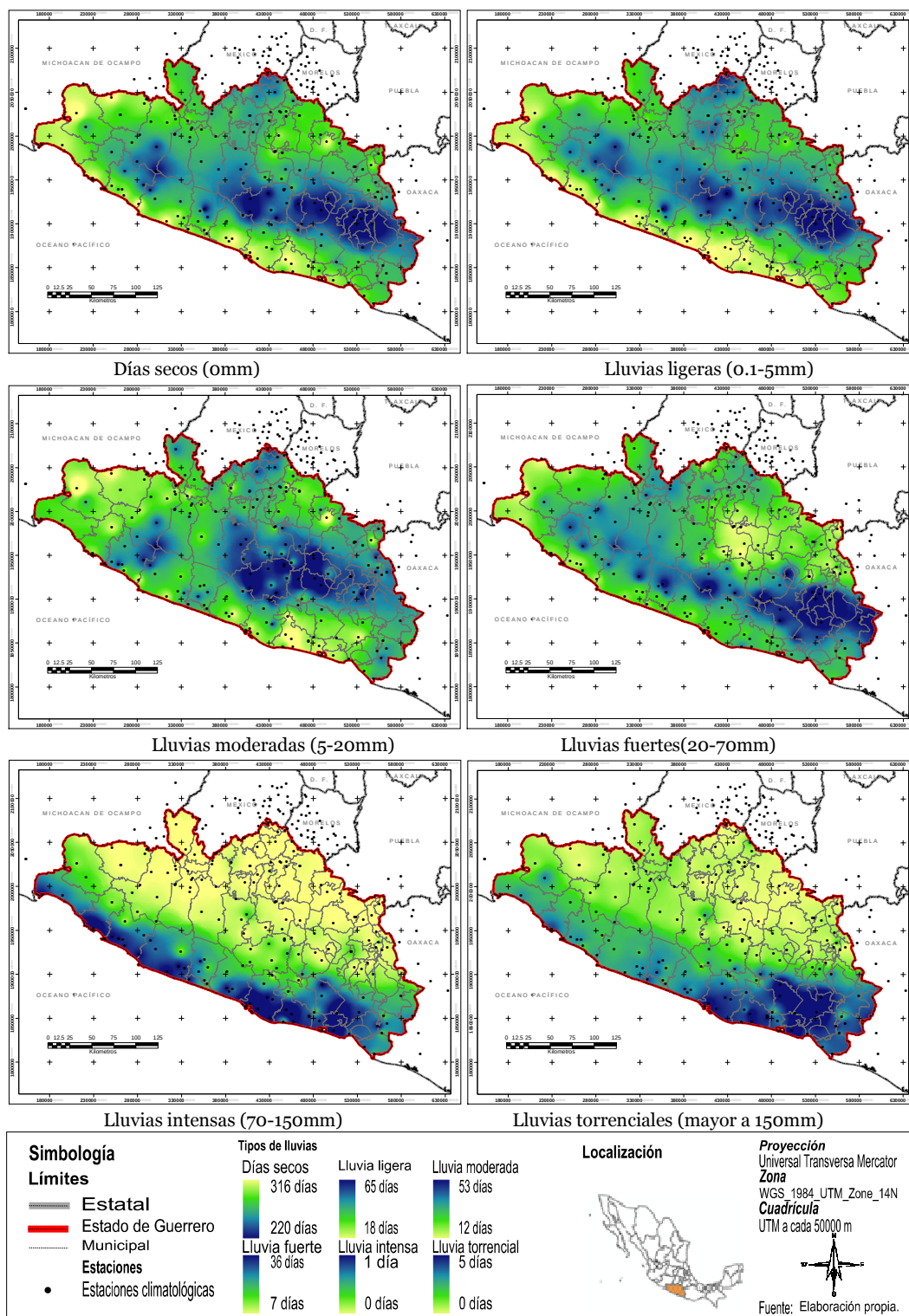


Figura 4.58. Distribución de frecuencia de la lluvia, en días, en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

CDD. Días secos consecutivos (Consecutive Dry Days)

Las regiones donde existen períodos prolongados de días sin lluvia se localizan en la región de Tierra Caliente, Costa Chica y Costa Grande; los períodos se extienden en promedio 115 días. Por otra parte, la región Centro, La Montaña y Norte presentan períodos de 91 días sin lluvia. En la Figura 4.65., se aprecia la distribución del índice CDD en el estado de Guerrero. En la costa lo que existe una mayor cantidad de días secos y días con lluvias torrenciales, debido en gran parte a la naturaleza ciclónica presente en la zona; en cambio, la región con menos días secos se ve afectada por lluvias orográficas, las cuales pueden ser de mayor recurrencia y menor intensidad en cuanto se conjuguen las condiciones meteorológicas necesarias, que conduce con la interrupción de períodos secos prolongados.

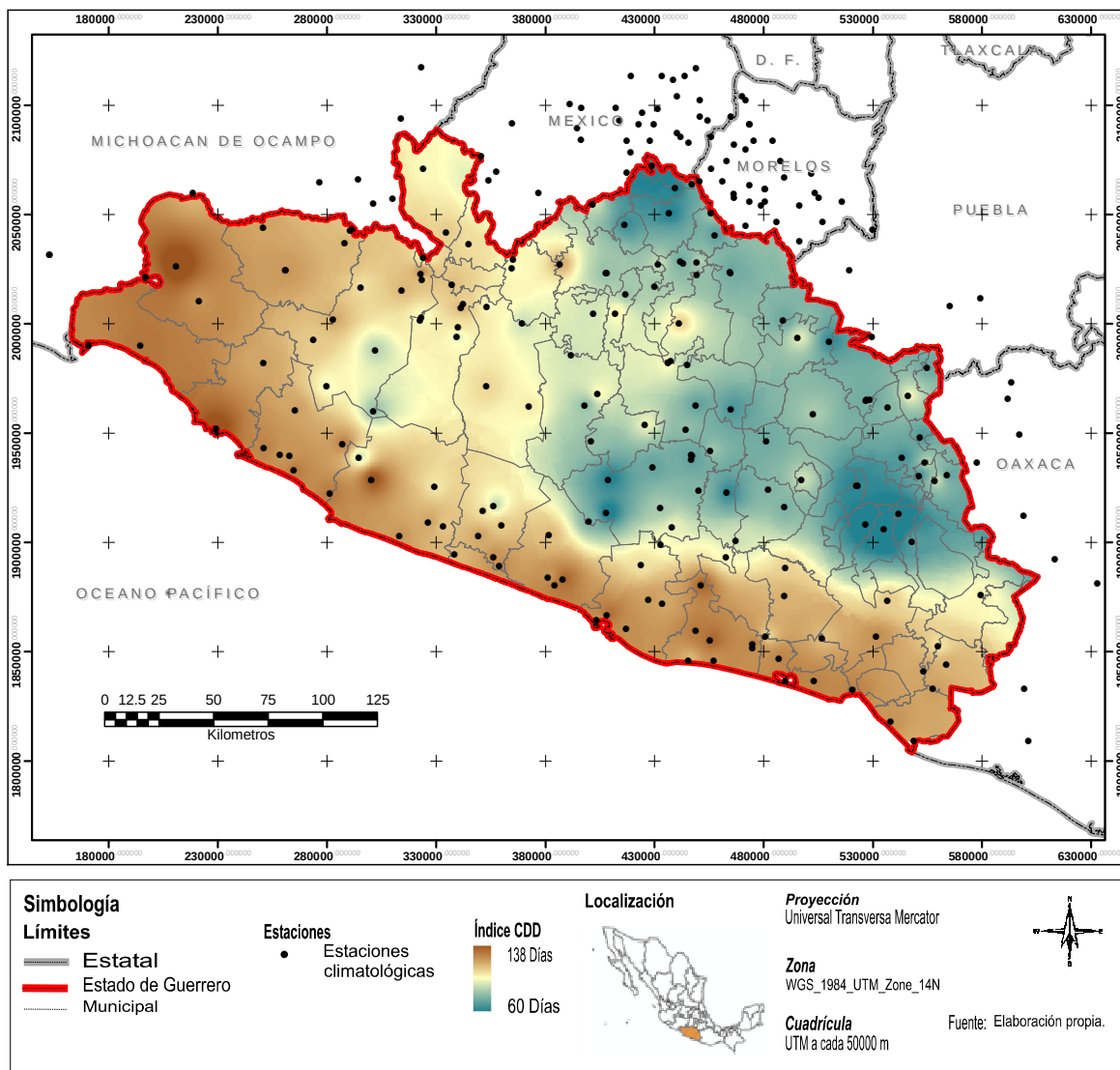


Figura 4.65. Distribución del índice CDD en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

Las pruebas estadísticas no reflejan tendencia significativa para la serie de datos estatal. En la Figura 4.66., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero.

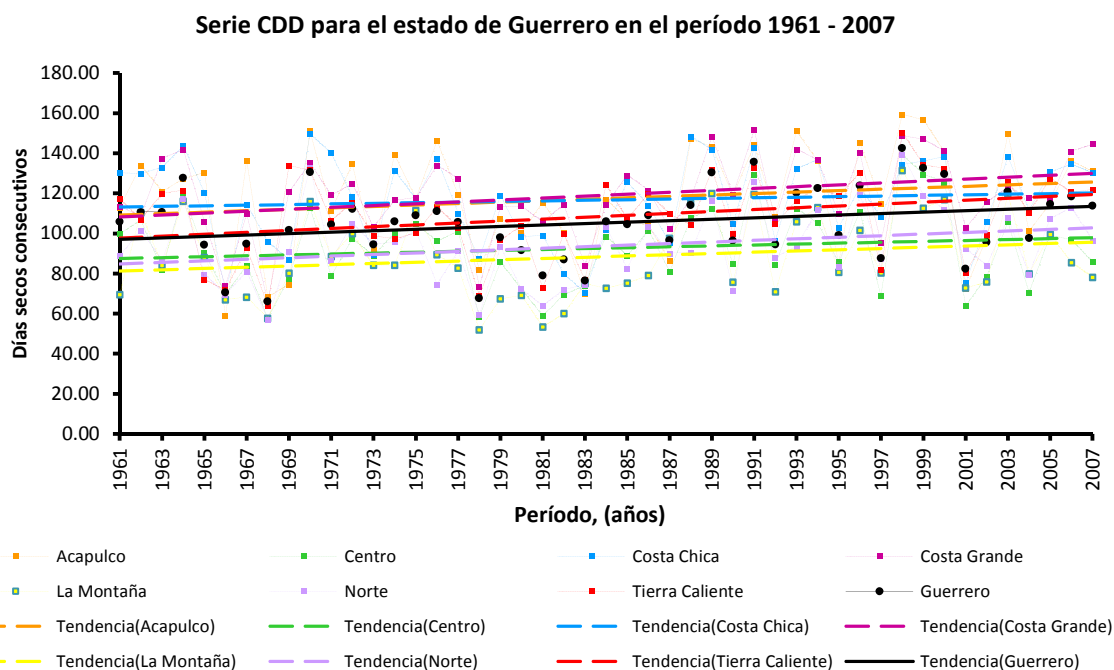


Figura 4.66. Serie anual CDD para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 – 2007

En la Figura A6.28., Anexo 6, se observa las regiones donde el índice CDD tiende a aumentar o disminuir. Las regiones donde existen períodos prolongados de días secos tienden a aumentar; además, existe una zona en La Montaña, frontera con el estado de Oaxaca, que también presenta dicha tendencia; el caso crítico está en la región de Tierra Caliente, Costa Grande y Costa chica, ya que históricamente han sido los lugares cálidos del estado y tiende a aumentar los períodos secos en base al análisis estadístico realizado.

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: Coahuayutla, Zirándaro, José Azueta, Coyuca de Catalán, Petatlán, Tépam, Cutzamala, San Miguel Totolapan, Atoyac, Apaxtla, Benito Juárez, Acapulco, Cuetzala, San Marcos, Florencio Villareal, Ahuacutzingo, Olinalá, Cualác, Xalpatláhuac, Tlalixtaquilla, Alcozauca, Tlapa y Tlacoachistlahuaca.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: Ayutla y Acatepec.

CWD. Días húmedos consecutivos (Consecutive Wet Days)

Los períodos de días húmedos consecutivos son frecuentes en la cima de la Sierra Madre del Sur, con períodos de hasta 27 días en la zona Este y decreciendo gradualmente al Oeste hasta llegar a 12 días en la región de la Costa Grande. El área de la costa y la región del Balsas son los sitios en donde trenes de lluvia consecutiva solo duran cinco días en promedio. En la Figura 4.67., se aprecia la distribución del índice CDD en el estado de Guerrero. Este índice se relaciona con el análisis de trenes de lluvia y su variabilidad en una región. En promedio para el estado se presentan en períodos de 10 días consecutivos, sin embargo, debe prestarse especial atención a aquellos sitios donde existen períodos de hasta un mes de duración, ya que las condiciones de saturación del suelo puede propiciar inundaciones y deslaves.

Las pruebas estadísticas no reflejan tendencia significativa para la serie de datos estatal. En la Figura 4.68., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero. La tendencia en las series de datos repercute en escalas regionales. En la Figura A6.29., Anexo 6, se observa las zonas donde el índice CWD tiende a aumentar o disminuir.

El índice CDW es complemento del índice CDD, ya que las zonas donde el índice CDD tiende a disminuir son similares a las zonas donde el índice CWD tiende a aumentar.

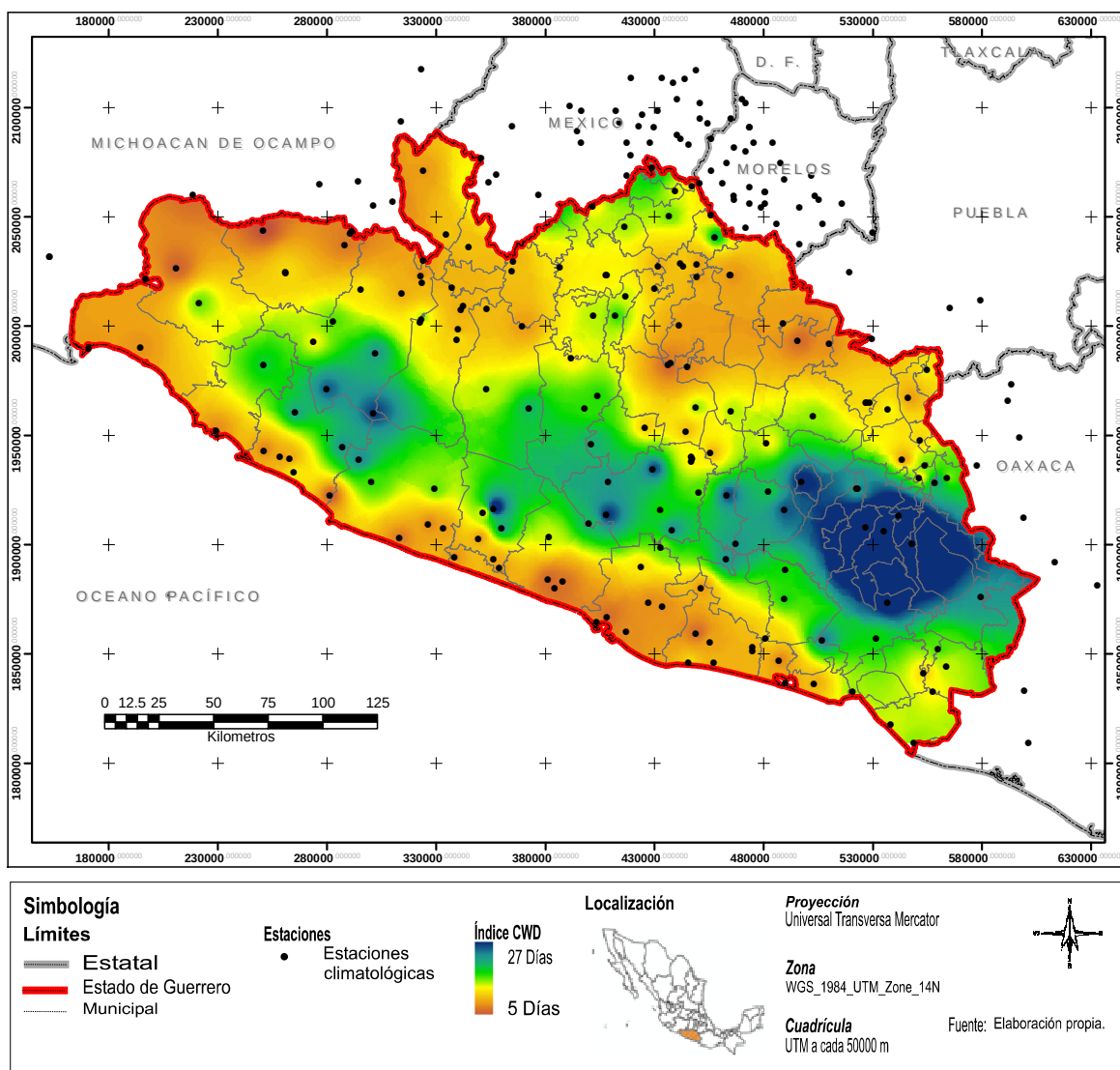


Figura 4.67. Distribución del índice CWD en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: Coahuayutla, Mártir de Cuilapan, Tixtla, Ayutla, Malinaltepec, Copanatoyac, Xalpatláhuac y Tlapa.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: Cutzamala, Tlalchapa, San Miguel Totolapan, Gral. Heliodoro Castillo, Apaxtla, Teloloapan, Cuetzala, Cocula, Azoyú, Cuajinicuilapa, Tlacoachistlahuaca, Pilcaya, Taxco y Huitzuco.

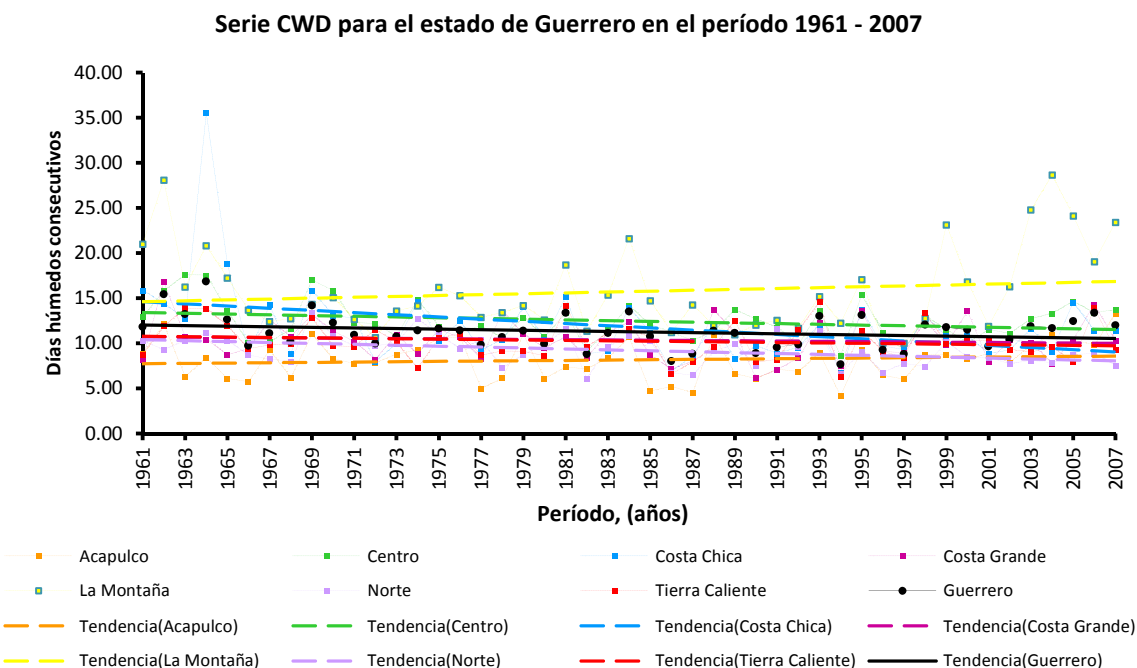


Figura 4.68. Serie anual CWD para el estado de Guerrero en el período 1961 – 2007

R95PTOT. Días muy húmedos

Las zonas con días muy húmedos se ubican principalmente sobre la costa del estado. La región ubicada en la frontera con el estado de Oaxaca presenta una mayor concentración de precipitación; Hacia el norte de la Sierra Madre del Sur la precipitación descende drásticamente, mientras que hacia el este descende gradualmente. En la Figura 4.69., se aprecia la distribución del índice R95PTOT en el estado de Guerrero. Este índice puede emplearse como complemento del índice R70150 (lluvias intensas, clasificación CONAGUA), ya que muestra el acumulado de lluvia por encima del umbral percentil 95.

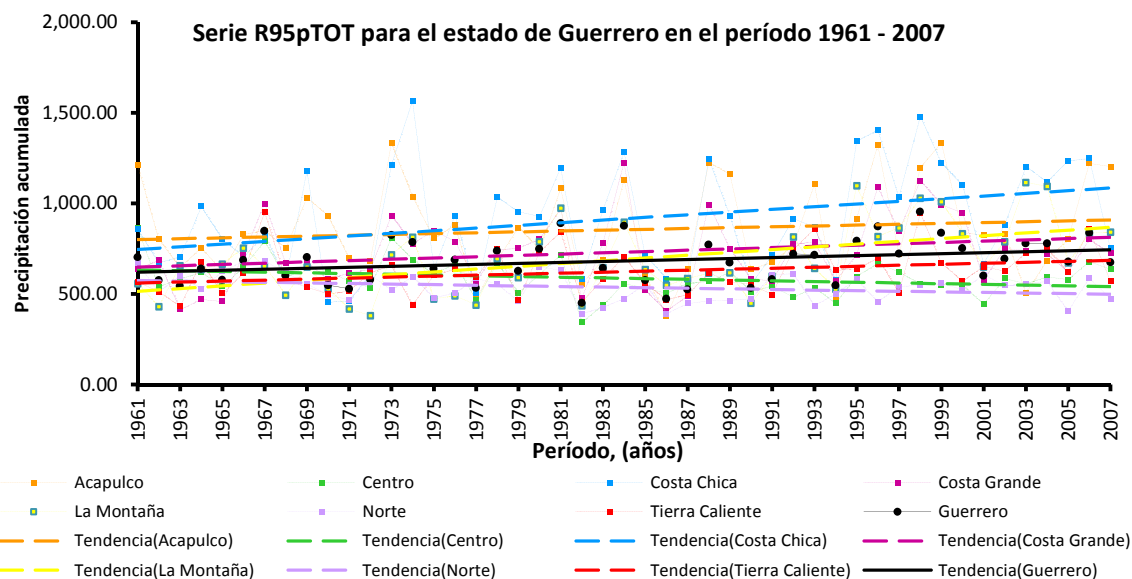


Figura 4.70. Serie anual R95pTOT para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas, en el período 1961 – 2007

Las pruebas estadísticas indican un aumento en la precipitación arriba del percentil 95 en años recientes. Tanto el número de días y el acumulado de lluvia por encima del percentil 95 ha aumentado en el último tercio de la serie analizada a nivel estatal. En la Figura 4.70., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas.

La tendencia en las series de datos repercute en escalas regionales. En la Figura A6.30., Anexo 6, se observa las zonas donde el índice R95pTOT tiende a aumentar o disminuir. La tendencia aumenta en una franja que se extiende por la frontera con el estado de Oaxaca, atraviesa la región de La Montaña y se amplifica hasta llegar a la costa; además existe otra zona en la frontera con el estado de Michoacán que abarca una porción de Tierra Caliente y se extiende en la Costa Grande. Por otro lado, hay una tendencia negativa en el centro del estado y algunas zonas de la región Norte.

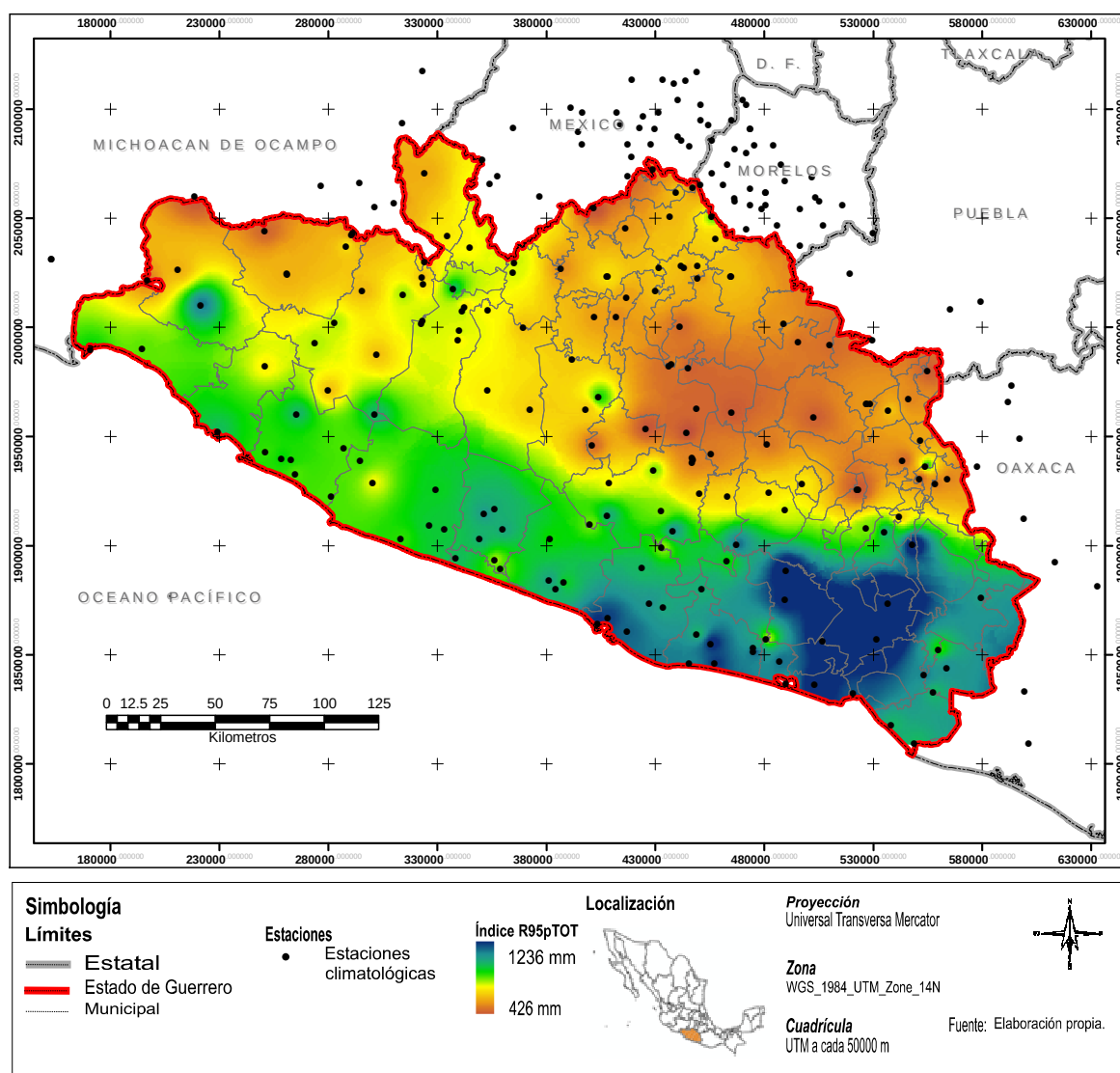


Figura 4.69. Distribución del índice R95pTOT en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: La Unión, Coahuayutla, Zirándaro, Benito Juárez, Atoyac, Coyuca de Benítez, Cuajinicuilapa, Azoyú, Copala, Florencio Villareal, Cuautepéc, San Luis Acatlán, Malinaltepec, Atlamajalcingo, Xalpatláhuac, Alcozauca, Tlalixtaquilla, Alpoyeca y Xochihuehuetlán.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: Gral. Heliodoro Castillo, Leonardo Bravo, Chilpancingo, Atlixnac, Zapotitlán, Huitzucó, Atenango y Copalillo.

R99PTOT. Días extremadamente húmedos

Las zonas con días extremadamente húmedos se ubican principalmente sobre la costa del estado. La región ubicada en la frontera con el estado de Oaxaca presenta una mayor concentración de precipitación; hacia el norte de la Sierra Madre del Sur la precipitación descende drásticamente, mientras que hacia el este descende gradualmente. En la Figura 4.71., se aprecia la distribución del índice R99PTOT en el estado de Guerrero. Este índice puede emplearse como complemento del índice Rm150 (lluvias torrenciales, clasificación CONAGUA), ya que muestra el acumulado de lluvia por encima del umbral percentil 99.

Las pruebas estadísticas indican un aumento en la precipitación arriba del percentil 99 en años recientes. Tanto el número de días y el acumulado de lluvia por encima del percentil 99 ha aumentado en el último tercio de la serie analizada a nivel estatal. En la Figura 4.72., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero.

La tendencia en las series de datos repercute en escalas regionales. En la Figura A6.31., Anexo 6, se observa las zonas donde el índice R99pTOT tiende a aumentar o disminuir. La tendencia aumenta en una franja que se extiende por la frontera con el estado de Oaxaca, atraviesa la región de La Montaña y se amplifica hasta llegar a la costa; además existe otra zona en la frontera con el estado de Michoacán que abarca una porción de Tierra Caliente y se extiende en la Costa Grande. Por otro lado, hay una tendencia negativa en el centro del estado y la región Norte que están muy próximas a unirse y formar una zona de mayor extensión.

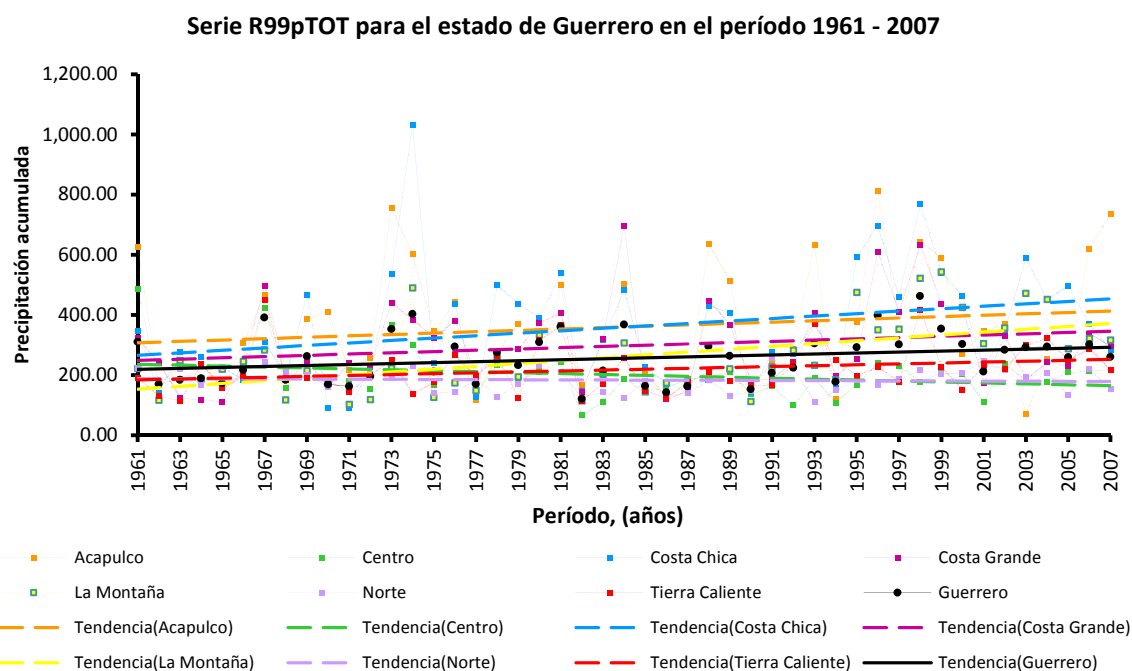


Figura 4.72. Serie anual R99pTOT para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas en el período 1961 – 2007

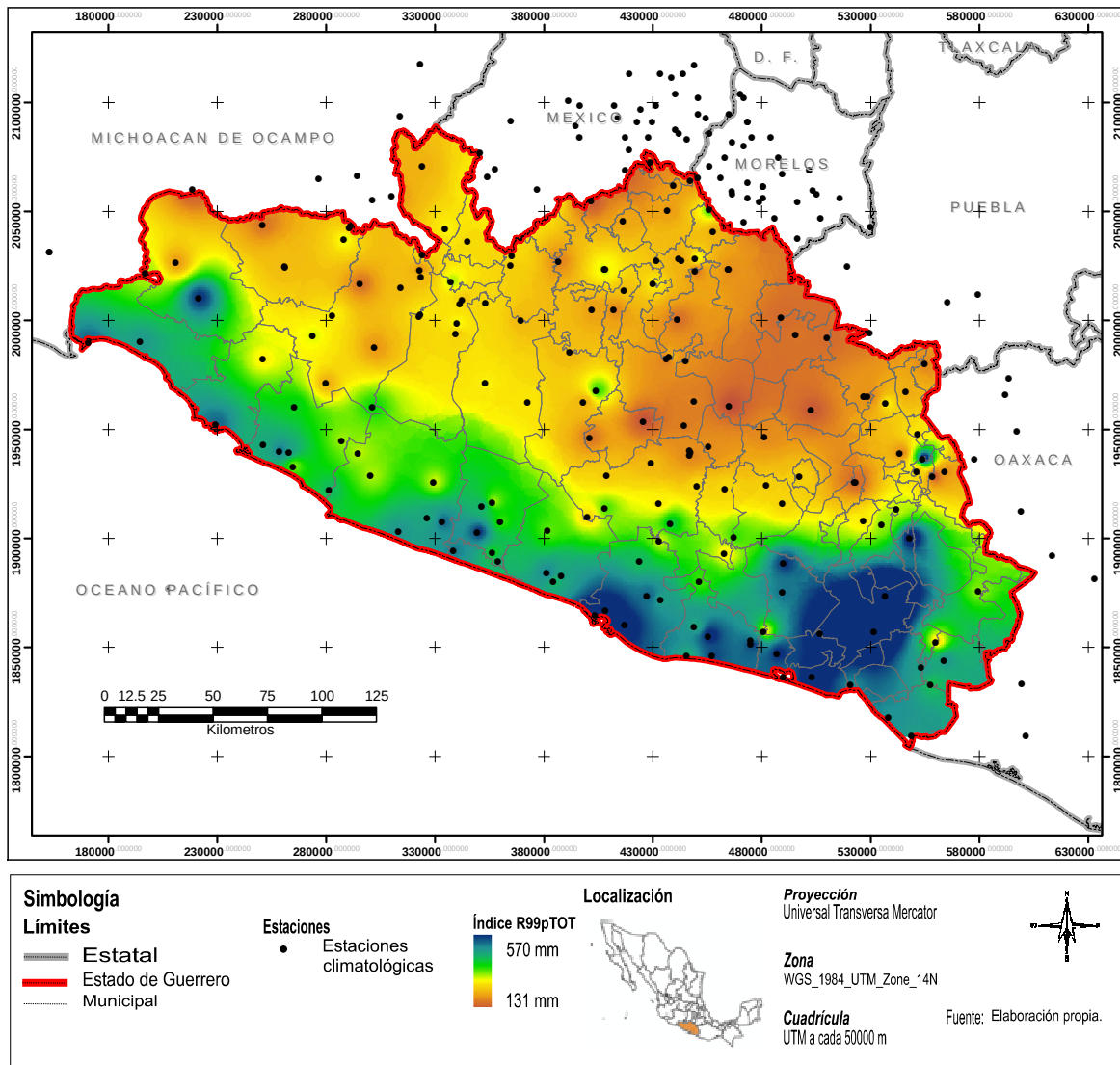


Figura 4.71. Distribución del índice R99pTOT en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: La Unión, Coahuayutla, Benito Juárez, Atoyac, Cuajinicuilapa, Azoyú, Copala, Florencio Villareal, Cuautepec, San Luis Acatlán, Malinaltepec, Atlamajalcingo, Xalpatláhuac, Alcozauca, Tlalixtaquilla, Alpoyeca, Huamuxtitlán y Xochihuehuetlán.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: Leonardo Bravo, Chilpancingo, Atlixac, Zapotitlán, Huitzuco, Atenango, Mártir de Cuilapan y Copalillo.

PRCPTOT. Precipitación Total

La región con mayor precipitación se localiza en la parte de la Sierra Madre del Sur colindante con el estado de Oaxaca con una media de 2120 mm anuales; esta precipitación decrece gradualmente de Este a Oeste hasta llegar a los 600 mm en la frontera con el estado de Michoacán. Hay una amplia zona entre la región Norte y La Montaña con precipitación baja, del orden de 600 mm, que se debe en gran parte a la barrera montañosa que bordea toda la costa. La precipitación media en el estado resulta ser de 1166 mm. En la Figura 4.73., se aprecia la distribución del índice PRCPTOT en el estado de Guerrero.

Las pruebas estadísticas demuestran que la precipitación anual está incrementándose en el estado y que este aumento es más notable en el último tercio de la serie analizada. En la Figura 4.74., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas.

La tendencia en las series de datos repercute en escalas regionales. En la Figura A6.32., Anexo 6, se observa las zonas donde el índice PRCPTOT tiende a aumentar o disminuir. La tendencia aumenta en una franja que se extiende por la frontera con el estado de Oaxaca, atraviesa la región de La Montaña llega hasta la costa; además existe otra zona en la frontera con el estado de Michoacán que abarca una porción de Tierra Caliente y se extiende en la Costa Grande. Por otro lado, hay una tendencia negativa en el centro del estado y la región Norte que están muy próximas a unirse y formar una zona de mayor extensión.

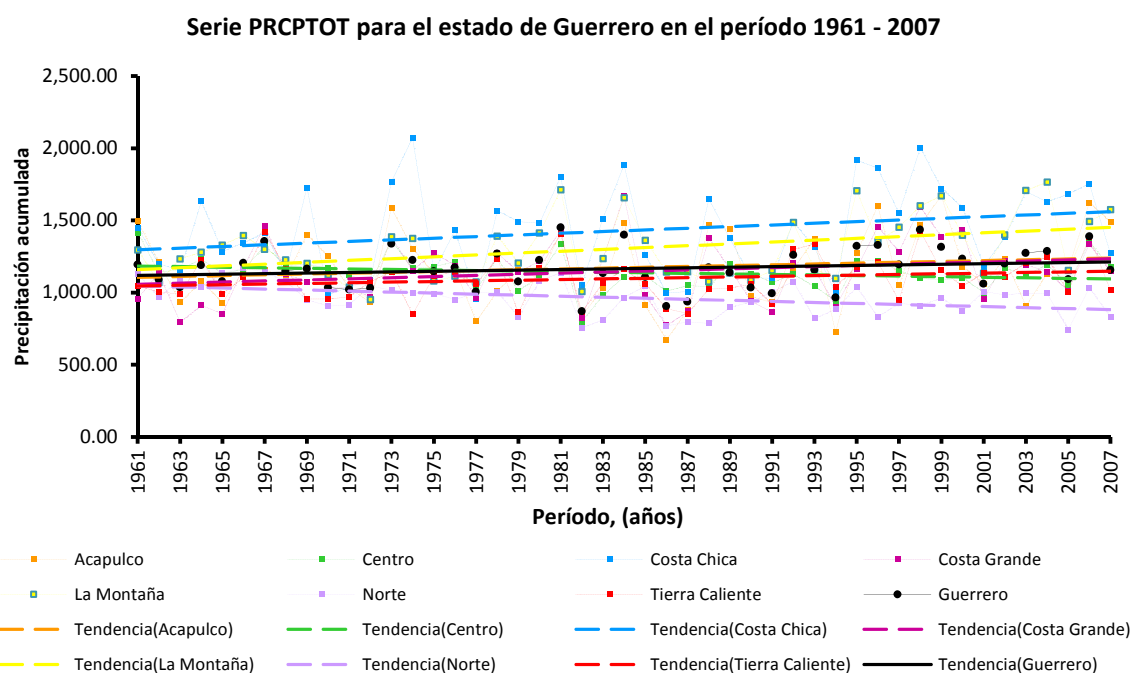


Figura 4.74. Serie anual *PRCPTOT* para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas en el período 1961 – 2007

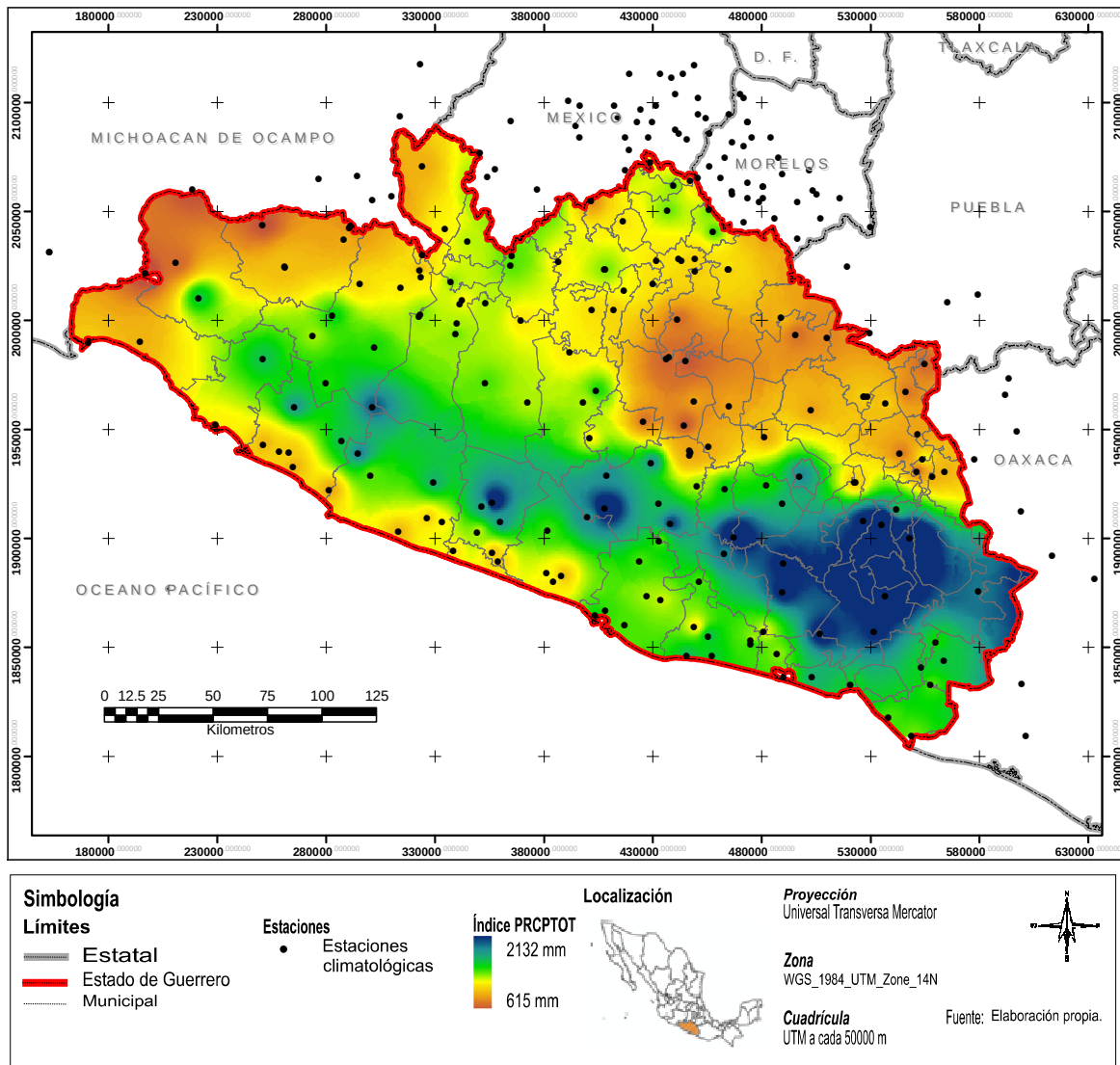


Figura 4.73. Distribución del índice PRCPTOT en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

Los municipios que presentan un aumento en la tendencia de este índice son: La Unión, Coahuayutla, Benito Juárez, Atoyac, Cuajinicuilapa, Azoyú, Copala, Florencio Villareal, Cuatepec, San Luis Acatlán, Malinaltepec, Metlatónoc, Atlamajalcingo, Xalpatláhuac, Alcozauca, Tlapa, Tlalixtaquilla, Alpoyeca, Cualác, Huamuxtitlán y Xochihuehuetlán.

Los municipios que presentan una disminución de tendencia en este índice son: Leonardo Bravo, Chilpancingo, Gral. Heliodoro Castillo, Atlixac, Zapotitlán, Ahuacuotzingo, Copalillo, Atenango, Cocula, Cuetzala, Apaxtla, Teloloapan, Gral. Canuto Neri, Pedro Ascencio, Taxco y Tetipac.

EVPTOT. Evaporación total anual

En contraparte a la precipitación anual se encuentra el índice de evaporación. Las zonas de máxima evaporación tienen una ubicación claramente definida, siguiendo toda la cuenca del río Balsas desde sus orígenes en el estado hasta su desembocadura en el Pacífico. En la Sierra Madre del Sur la evaporación es relativamente baja, del orden de la mitad de la evaporación en la cuenca del Balsas, y coincide con aquellas zonas donde la precipitación es más alta. La evaporación media en el estado es de 1953 mm, superior a la cantidad de precipitación mencionada anteriormente. En la Figura 4.75., se aprecia la distribución del índice EVPTOT en el estado de Guerrero.

Las pruebas estadísticas demuestran que la evaporación anual está decreciendo en el estado y que esta variación es más notable en el último tercio de la serie analizada. En la Figura 4.76., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero.

La tendencia en las series de datos repercute en escalas regionales. En la Figura A6.33., Anexo 6, se observa las zonas donde el índice EVPTOT tiende a aumentar o disminuir. La mayor parte del estado presenta tendencia decreciente en la evaporación. Este resultado es contrario a lo que se esperaba con la tendencia positiva del índice de días calurosos (Tx90p) y Duración de períodos cálidos (WSDI).

Los resultados del índice de evaporación tienen una explicación que involucra el análisis de otras variables no abordadas en este trabajo. Gerry Stanhill (1992), observó que en regiones de Israel la cantidad de agua que se evapora en un tanque expuesto al sol ha disminuido progresivamente; llega a la conclusión de que la evaporación del agua no depende del incremento de la temperatura ni de la humedad, sino que depende de la radiación solar directa que recibe, porque son los fotones de la luz, que al impactar sobre la superficie del agua, aportan la energía suficiente para que estos se desprendan del resto de las moléculas a las que se encuentran enlazados por puentes de hidrógeno.

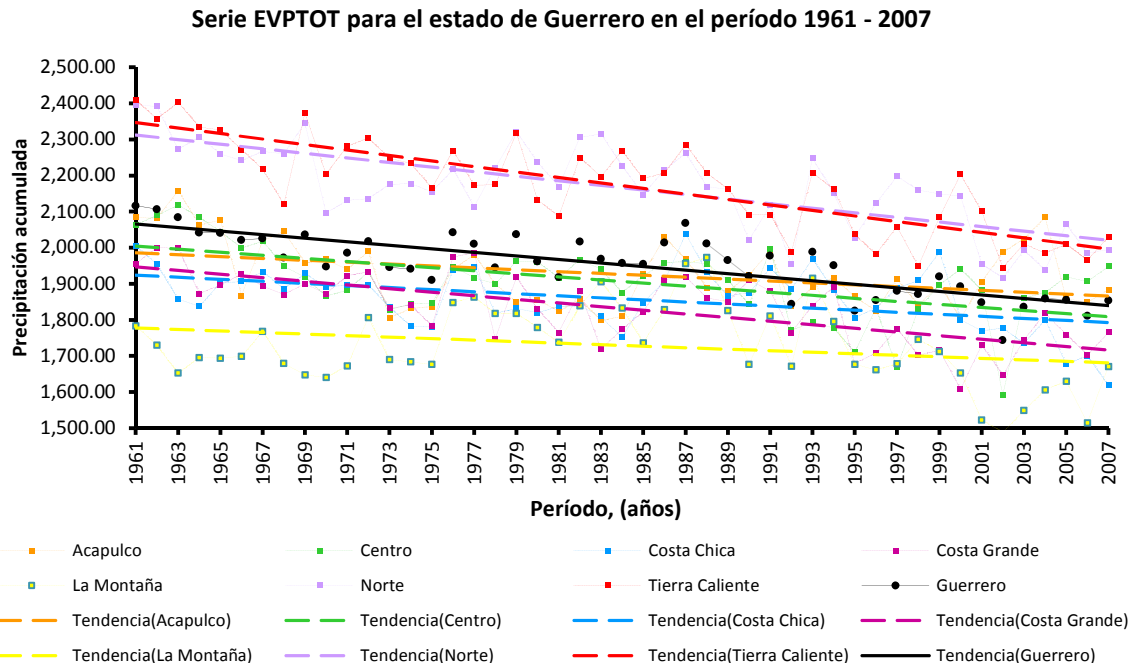


Figura 4.76. Serie anual EVPTOT para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas en el período 1961 – 2007

Este tipo de tendencia ha sido observada y corroborada por agricultores y meteorólogos de todo el mundo, a tal grado de acuñar el término de “oscurecimiento global” al fenómeno detectado en los últimos 50 años como una disminución considerable de la luz solar que alcanza la superficie del planeta.

Explicar las causas de este fenómeno queda fuera de los alcances de ese trabajo, sin embargo, las consecuencias son claras. Al haber menos radiación solar, hay menos evaporación del agua y menos formación de nubes, y por consiguiente menos precipitación.

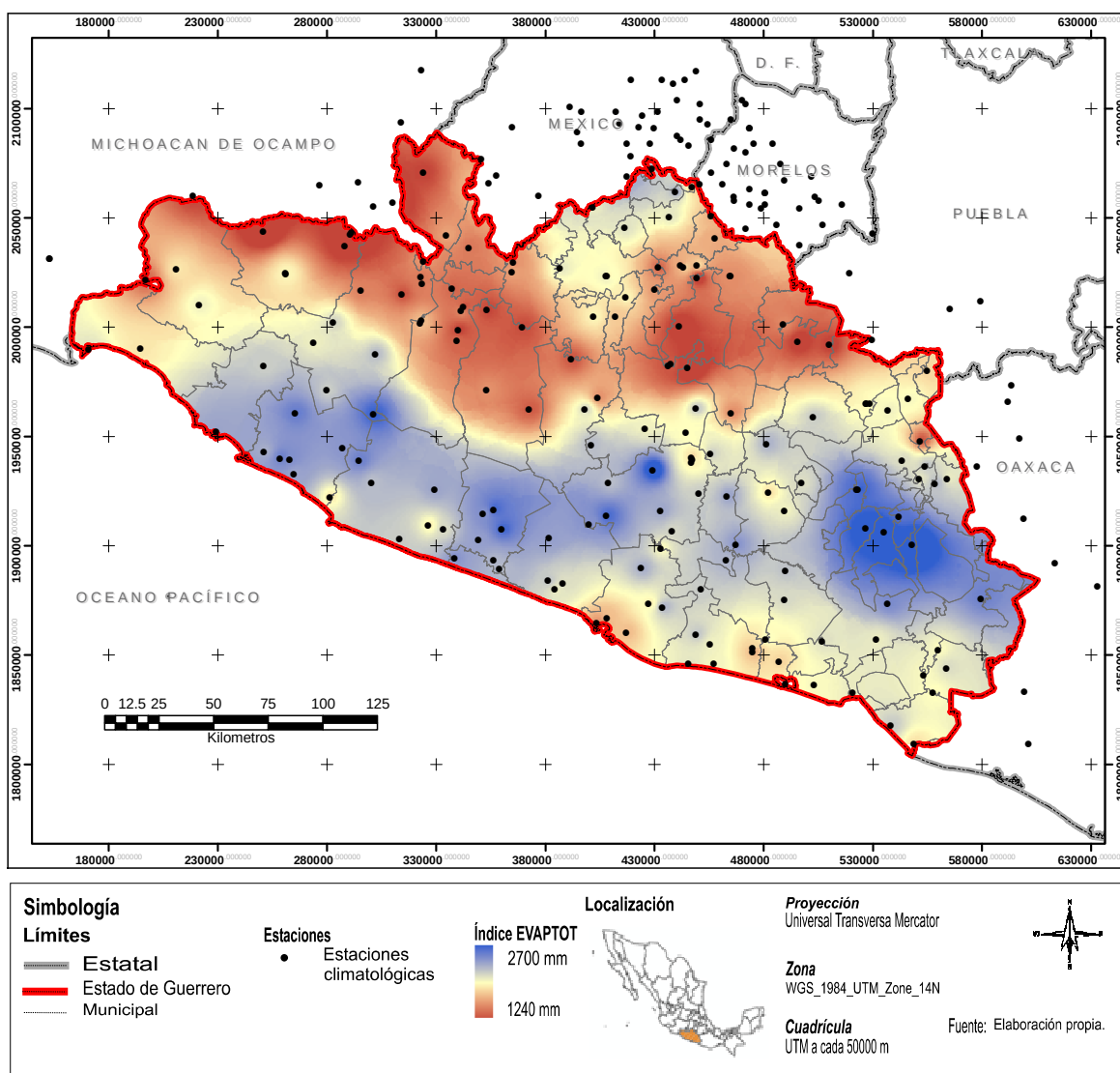


Figura 4.75. Distribución del índice EVAPTOT en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

En la Tabla A7.1., del Anexo 7 se muestran la tendencia en los municipios para los diferentes índices climáticos analizados.

EVPPRCP. Evaporación potencial

La relación entre la evaporación y precipitación está a cargo de este índice. Existen zonas donde la cantidad de agua evaporada sobrepasa hasta dos veces la cantidad de agua precipitada, como es el caso de la región de Tierra Caliente y la Montaña, valores que coinciden con los altos índices de evaporación en la zona. Los sitios donde la evaporación es igual o menor a la precipitación se ubica en las montañas de la Sierra Madre del Sur y algunas zonas de la región Norte. En promedio para el estado existe una relación 2:1, es decir, se evapora el doble de agua de la que precipita en un día. En la Figura 4.77., se aprecia la distribución del índice EVPPRCP en el estado de Guerrero.

Las pruebas estadísticas demuestran que la evaporación anual está decreciendo en el estado y que esta variación es más notable en el último tercio de la serie analizada. En la Figura 4.78., se muestra el promedio de registro anual para el estado de Guerrero.

La tendencia en las series de datos repercute en escalas regionales. En la Figura A6.34., Anexo 6, se observa las zonas donde el índice EVPPRCP tiende a aumentar o disminuir. Las zonas donde disminuye el índice está relacionada principalmente con el aumento de precipitación en esa región. Disminuye en la frontera con el estado de Oaxaca desde la región Norte, descendiendo hacia el sur hasta llegar a la costa; otra zona donde la tendencia es negativa es en la frontera con el estado de Michoacán en algunas zonas de Tierra Caliente y la Costa Grande. La zona donde la relación aumenta es el centro del estado, debido a la disminución de la precipitación en esta región.

Serie EVPPRCP para el estado de Guerrero en el período 1961 - 2007

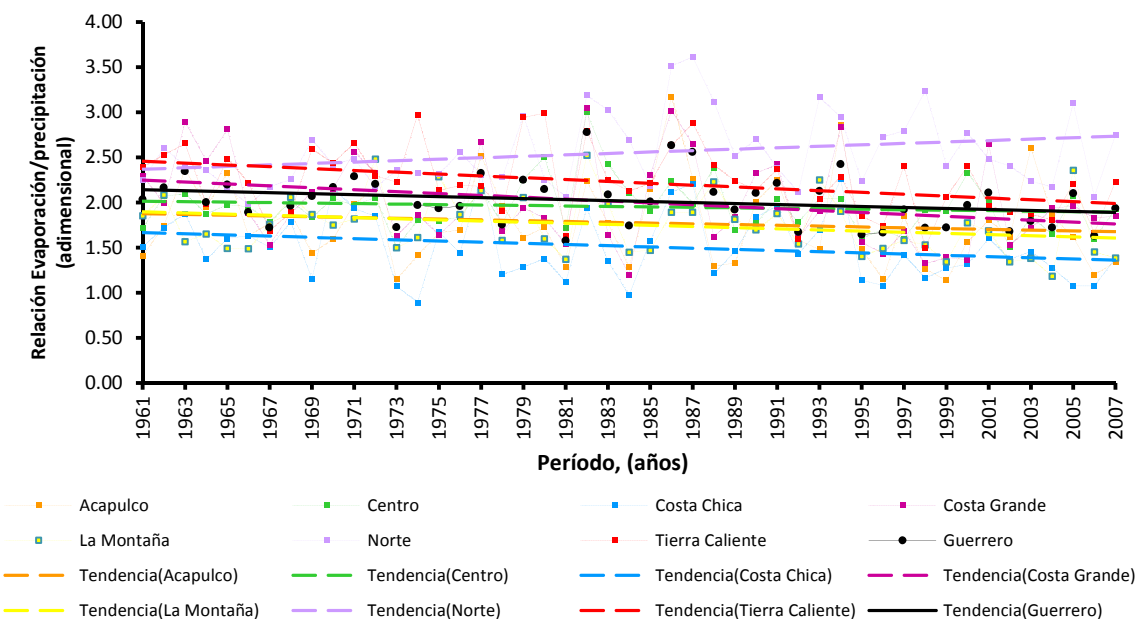


Figura 4.78. Serie anual EVPPRCP para el estado de Guerrero y sus regiones geográficas en el período 1961 – 2007

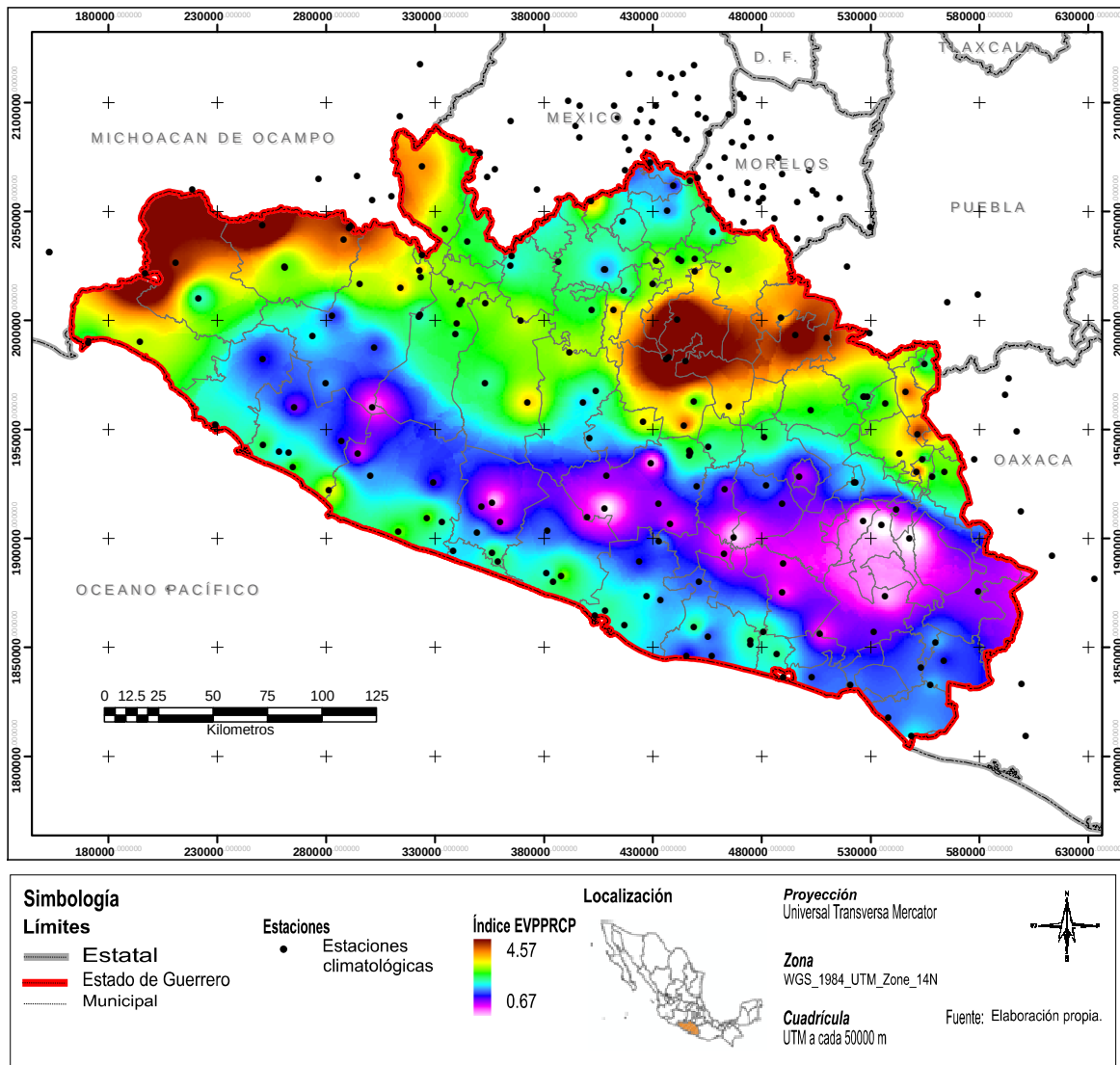


Figura 4.77. Distribución del índice EVPPRCP en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

En la Tabla A7.1., del Anexo 7 se muestran la tendencia en los municipios para los diferentes índices climáticos analizados.

4.4. Construcción de curvas $i - d - Tr$ e hidrograma de salida

La construcción de curvas $i - d - Tr$ se realizó en base a lo descrito en el capítulo 3. La complejidad de su cálculo aumenta en función de la cantidad de estaciones analizadas. Como ejemplo de cálculo se describirá el proceso para la cuenca del río Huacapa, donde se desarrolla la Ciudad de Chilpancingo

Localización de la cuenca en estudio

El sitio de estudio corresponde a la cuenca del río Huacapa, ubicada en la Región Hidrológica No. 20, Región Costa Chica. Las aguas del río Huacapa alimentan el cauce del río Azul o Petaquillas y posteriormente al río Papagayo, el cual desemboca en las aguas del Océano Pacífico. En la Figura 4.79 se muestra la localización de la cuenca río Huacapa.

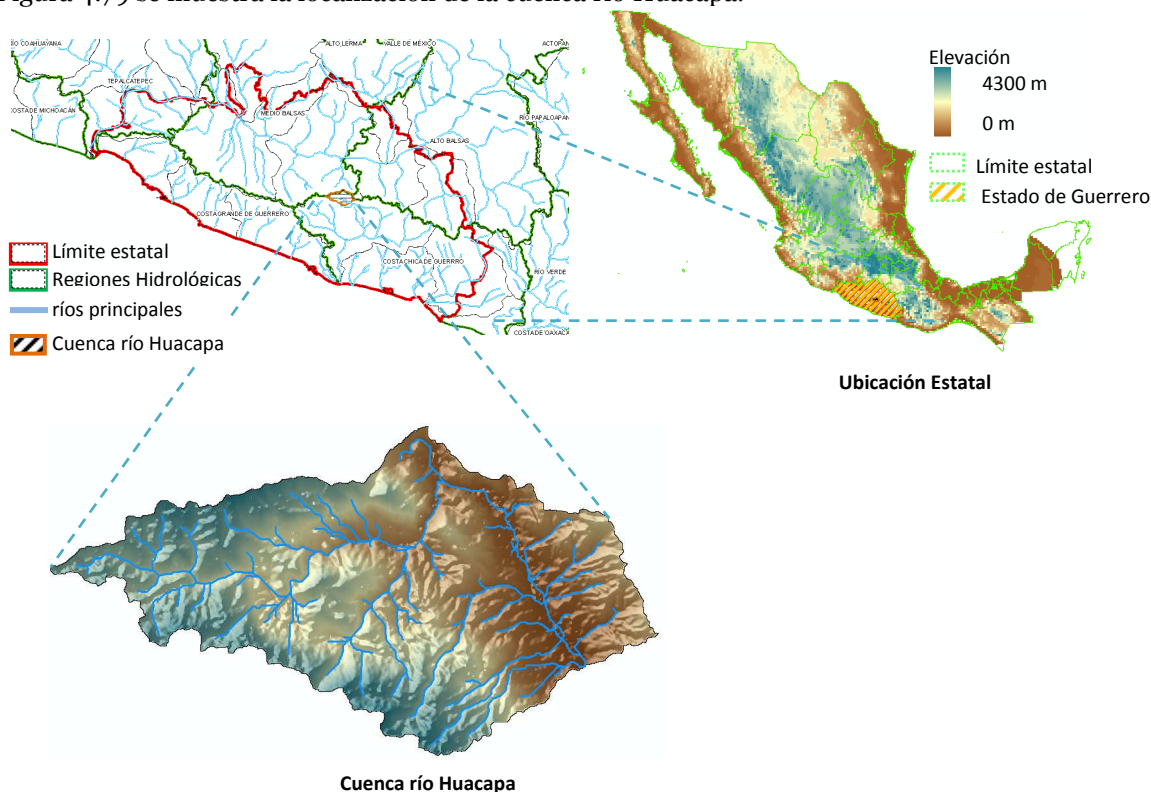


Figura 4.79. Macrolocalización de la zona en estudio. Cuenca río Huacapa

Estaciones hidroclimatológicas

El análisis y caracterización de los fenómenos meteorológicos en la cuenca del río Huacapa comprende el análisis puntual y regional de las series de lluvia acumulada de las estaciones climatológicas presentes en la zona de estudio. Las estaciones que intervienen en el análisis de la precipitación en la cuenca se encuentran indicadas en la Tabla 4.4; en la Figura 4.80 se muestra la distribución de las estaciones involucradas en el análisis de la cuenca río Huacapa.

Las estaciones analizadas presentan una longitud de registro común de 47 años, comprendidos en el período de 1961 a 2007. Es importante aclarar que la magnitud de los eventos de altura de precipitación registrada por los pluviómetros, debe de multiplicarse por un factor de corrección de 1.13, para obtener la precipitación máxima en 24h (Organización Meteorológica Mundial, OMM No. 168, pg. 420).

Tabla 4.4. Estaciones climatológicas analizadas en la cuenca río Huacapa

Clave	Nombre	Coordenadas Geográficas	
12031	Chichihualco	17.6722 N	-99.7011 O
12062	Palo Blanco (CFE)	17.4047 N	-99.4686 O
12075	Coapango	17.5000 N	-99.6667 O
12105	Zumpango del río	17.6550 N	-99.5253 O
12111	Chilpancingo (CFE)	17.5450 N	-99.4967 O
12125	Tixtla	17.5667 N	-99.4189 O
12134	Chilpancingo (DGE)	17.5333 N	-99.5000 O
12150	Omitemi	17.5569 N	-99.6875 O
12198	Petaquillas	17.4856 N	-99.4539 O
12204	Yextla	17.6033 N	-99.9333 O
12229	Chilpancingo (SMN)	17.5514 N	-99.5008 O

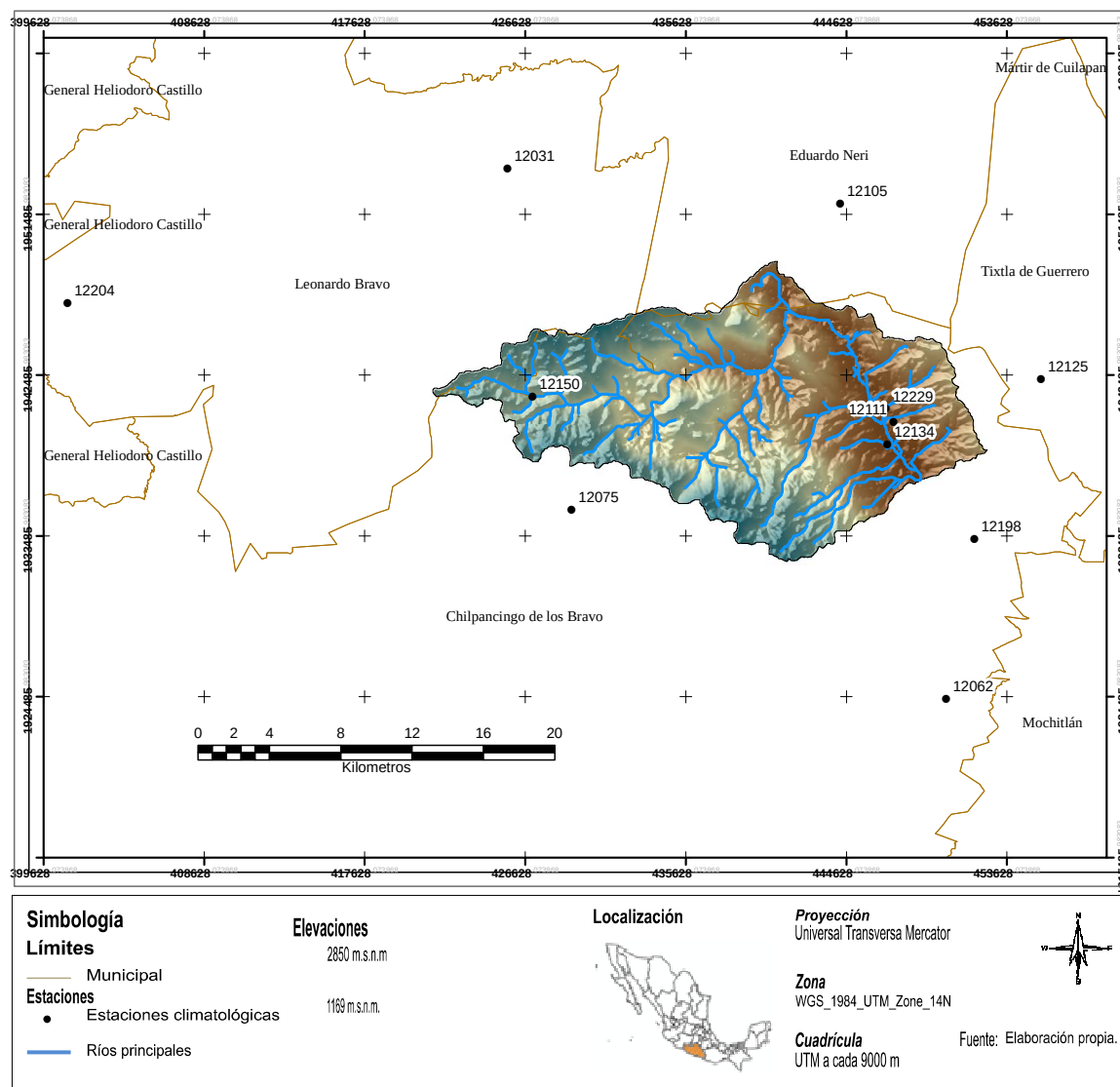


Figura 4.80. Distribución de estaciones para la cuenca río Huacapa

En la Tabla 4.5., se muestran los registros de precipitación máxima en 24 horas para las estaciones analizadas. Además se añaden los estadísticos de las series para los periodos comprendidos en los años 1961 – 1990, 1961 – 2000 y 1961 – 2007. Los periodos analizados cumplen con una longitud de registro mayor a 30 años y se emplearán posteriormente para relacionarlos con el cálculo de hidrogramas de salida en la cuenca.

Tabla 4.5. Registros de precipitación máxima en 24 horas para las estaciones de la cuenca río Huacapa, (milímetros)

Año	Estación										
	12031	12062	12075	12105	12111	12125	12134	12150	12198	12204	12229
1961	72.32	141.25	144.64	49.72	66.42	80.46	146.90	137.00	99.09	71.09	143.54
1962	46.33	82.49	77.41	61.59	77.34	56.73	79.21	69.85	50.34	63.82	57.98
1963	72.89	53.11	107.80	24.30	104.91	49.72	107.35	107.52	78.84	73.48	104.50
1964	79.10	56.50	80.57	67.80	53.28	46.33	50.40	76.43	46.22	90.95	42.02
1965	74.02	65.54	190.41	39.55	47.64	40.68	45.77	172.35	37.22	77.81	45.51
1966	44.07	87.01	57.07	45.20	47.52	42.94	58.76	53.17	46.27	58.24	40.58
1967	89.84	225.89	222.05	69.83	101.43	90.40	101.70	210.27	155.77	85.96	101.10
1968	47.92	58.42	104.98	54.24	42.00	50.85	41.25	94.97	35.18	60.29	33.93
1969	35.71	62.72	111.31	51.42	41.81	28.25	41.81	100.43	41.81	69.37	41.81
1970	46.33	62.26	81.36	36.16	81.93	33.90	42.38	74.07	57.80	110.99	81.69
1971	74.58	51.42	82.60	35.81	58.20	35.03	71.30	74.76	36.79	57.56	53.18
1972	45.05	59.89	66.67	45.20	53.11	33.90	57.07	61.87	50.74	64.23	50.87
1973	87.20	209.05	220.35	90.40	228.60	94.92	220.35	220.35	223.16	106.73	227.38
1974	64.76	148.60	113.34	63.28	109.61	49.72	109.61	112.54	124.09	90.22	107.94
1975	23.50	53.11	81.93	42.94	90.17	98.88	88.59	78.68	63.09	47.65	89.09
1976	113.79	180.80	163.85	188.16	233.23	124.30	240.13	171.45	217.20	162.95	234.51
1977	39.10	61.02	68.37	30.23	51.42	27.69	46.33	61.88	49.51	59.48	50.66
1978	67.80	115.26	144.64	26.43	105.09	70.06	119.78	140.83	92.07	95.54	107.27
1979	53.11	67.80	100.57	18.08	58.20	53.56	50.96	96.43	62.39	70.32	55.94
1980	40.68	101.70	83.28	24.86	41.17	58.76	68.82	93.23	53.77	53.45	60.56
1981	46.33	293.80	96.11	11.87	60.05	51.42	57.63	102.27	155.17	45.20	47.78
1982	39.55	67.12	53.29	11.30	28.89	47.46	65.54	31.75	44.64	45.20	40.12
1983	50.85	96.05	33.15	18.08	45.38	58.20	46.90	32.09	25.91	48.59	44.79
1984	67.80	60.75	103.86	20.34	105.49	89.27	105.88	82.26	53.66	41.25	102.27
1985	45.20	38.42	77.97	42.15	44.45	63.28	53.22	39.70	111.76	67.80	42.94
1986	67.80	79.44	42.94	53.66	42.26	91.42	42.26	54.01	43.21	90.09	40.19
1987	50.13	75.71	58.76	49.84	62.49	55.94	62.49	52.88	101.70	73.50	50.62
1988	31.08	51.54	51.98	53.11	50.40	48.70	50.87	68.70	41.90	60.35	46.90
1989	37.29	48.59	293.80	117.17	141.25	83.06	158.20	277.39	148.03	62.31	132.78
1990	79.10	47.46	50.29	37.86	51.19	65.88	42.28	45.28	28.48	40.68	45.54
1991	54.24	92.66	37.05	79.67	57.86	52.77	73.45	52.09	22.60	54.92	47.80
1992	22.60	92.66	41.84	40.68	46.90	68.82	45.63	54.81	47.57	41.70	57.29
1993	42.74	91.53	65.77	39.55	79.10	73.11	40.67	68.48	39.89	54.92	86.45
1994	57.07	70.06	48.94	42.38	46.33	30.93	30.07	54.92	84.98	26.33	41.58
1995	22.60	71.19	48.06	44.07	45.20	57.63	44.82	50.40	59.89	39.66	50.85
1996	55.90	102.83	49.16	74.02	122.61	81.16	63.01	54.58	72.89	71.98	67.80
1997	38.91	141.25	65.12	84.46	105.66	59.62	72.96	77.18	77.97	70.40	97.75
1998	46.30	66.67	44.85	51.98	41.25	34.26	36.68	49.95	47.46	43.28	37.29
1999	51.20	62.94	51.09	51.09	59.89	63.72	58.60	59.23	66.33	62.50	67.80
2000	55.56	80.00	45.98	61.02	63.73	61.87	63.70	54.81	70.63	63.62	59.89
2001	38.34	43.12	77.66	50.85	40.60	46.87	31.38	70.43	38.42	48.14	45.31
2002	57.29	114.21	67.66	55.37	104.16	88.71	110.18	58.99	117.52	95.37	109.61
2003	48.48	65.63	85.74	50.85	85.61	98.31	84.60	89.84	76.84	62.83	85.88
2004	64.41	75.02	72.90	77.97	72.92	74.17	73.01	51.08	75.71	65.20	72.89
2005	31.87	72.63	83.00	50.85	82.93	70.06	82.49	80.46	69.50	83.85	83.06
2006	23.17	64.61	88.72	46.90	72.73	73.45	69.40	90.63	42.38	77.07	74.02
2007	43.03	50.94	77.07	64.41	76.73	72.32	74.24	75.03	56.50	67.80	77.41
Período 1961 – 1990											
Media	57.77	93.42	105.51	49.35	77.50	60.72	82.46	99.81	79.19	71.50	77.47
Máximo	113.79	293.80	293.80	188.16	233.23	124.30	240.13	277.39	223.16	162.95	234.51
Período 1961 – 2000											
Media	54.51	91.86	91.58	51.24	73.84	60.14	75.08	89.27	74.15	66.86	73.46
Máximo	113.79	293.80	293.80	188.16	233.23	124.30	240.13	277.39	223.16	162.95	234.51
Período 1961 – 2007											
Media	52.91	88.52	89.70	52.06	75.09	62.33	75.08	86.96	73.25	67.55	74.18
Máximo	113.79	293.80	293.80	188.16	233.23	124.30	240.13	277.39	223.16	162.95	234.51

En la Tabla 4.5., se observa que las magnitudes de los eventos tienden a disminuir, lo cual coincide con los resultados de los índices climáticos para esta zona centro.

Las series de datos fueron sometidas al análisis de frecuencias, las cuales incluyen pruebas de independencia y homogeneidad y estimación de eventos de diseño para diferentes períodos de retorno. El proceso iterativo para evaluar los procesos indicados en el capítulo 3, se realizó mediante un programa de elaboración propia en plataforma Visual Basic 6.0, cuyos algoritmos se basan principalmente en las expresiones indicadas en Escalante y Reyes, 2005. En las Tablas 4.6 – 4.8., se exponen los resultados de bondad de ajuste aplicando las diferentes distribuciones de probabilidad para los tres períodos analizados.

Tabla 4.6.a. Error estándar de las estaciones en análisis, en el período 1961 - 1990.

Distribución de probabilidad	Estimación de parámetros	12031	12062	12075	12105	12111	12125
Normal	Momentos	5.2711	32.4867	24.5771	18.1200	27.0262	6.3804
	Momentos – L	5.2891	32.5396	24.9278	18.2451	27.0238	6.4142
LogNormal2	Momentos	4.0338	25.0673	16.3424	12.5846	21.5750	4.4501
LogNormal3	Momentos	4.2642	19.5251	14.7959	12.1095	17.3329	4.6308
	Máx Verosimilitud	4.1753	18.1491	13.2224	170.2492	17.8699	4.2713
Gamma2	Momentos	4.1386	20.5825	15.2963	12.9049	18.6907	4.4852
	Max Verosimilitud.	4.3881	25.7965	18.8571	14.8123	22.2676	5.0129
	Momentos – L	4.0531	23.1806	16.3586	14.0944	20.6335	4.3662
Gamma3	Momentos	4.2190	17.0409	13.6445	11.9461	15.7194	4.5134
	Max Verosimilitud.	4.1766	19.9673	14.8327	63.3237	96.5055	4.0453
	Momentos Prob Pesada	3.9912	12.3362	10.2979	12.0301	13.8482	3.8624
Log Pearson III	Momentos(met. directo)	64.4938	117.2022	127.6027	63.3237	96.5055	68.5692
	Momentos (met. indirecto)	3.9267	16.8640	12.6865	12.3193	16.1454	4.2167
	Máx. Verosimilitud.	63.5506	18.1152	13.0737	12.6651	55.1020	4.4159
Gumbel	Momentos	4.2463	22.6879	15.9176	13.7185	19.8735	4.5049
	Momentos – L	3.9345	24.1398	16.6291	14.5203	20.9832	4.1201
	Máx. Verosimilitud.	4.0519	30.4909	21.4057	16.1891	25.2054	4.8444
	Máx. Entropía	37.1547	46.5882	42.6661	41.0717	45.0251	37.5923
GVE	Momentos	4.1854	20.6408	15.2718	12.4979	18.1839	4.5350
	Momentos – L	4.0078	20.1318	13.2903	12.2960	17.5573	4.1773
	Máx. Verosimilitud.	4.3239	23.6329	12.8153	12.8219	16.6972	4.5694
Gumbel Mixta	Máx. Verosimilitud.	5.0348	10.2425	10.1724		17.4674	4.4214

Tabla 4.6.b. Error estándar de las estaciones en análisis, en el período 1961 - 1990.

Distribución de probabilidad	Estimación de parámetros	12134	12150	12198	12204	12229
Normal	Momentos	25.7298	22.7347	23.8858	10.1729	27.5981
	Momentos – L	25.8227	23.0685	24.0670	10.3368	27.5884
LogNormal2	Momentos	19.4330	13.7427	16.6608	8.3226	21.3404
LogNormal3	Momentos	15.4001	13.5093	15.4286	6.7339	17.4724
	Máx Verosimilitud.	23.8396	10.7765	12.6557	6.5104	14.5404
Gamma2	Momentos	16.2965	13.3287	14.2261	7.9792	18.1173
	Max Verosimilitud.	20.2964	16.7263	17.9262	8.8362	22.0526
	Momentos – L	18.0024	13.9622	14.9708	8.4159	20.0278
Gamma3	Momentos	13.4815	12.4396	16.0884	6.5927	15.6106
	Max Verosimilitud.	19.3071	8.2267	100.2988	79.8385	19.4334
	Momentos Prob Pesada	9.7441	8.8426	10.5560	6.2913	12.8955
Log Pearson III	Momentos(met. directo)	101.8807	121.7972	100.2988	22.4945	97.5654
	Momentos (met. indirecto)	13.3965	11.0841	13.5024	6.5863	15.6758
	Máx. Verosimilitud.	12.0865	11.3338	13.7231	6.4098	14.6866
Gumbel	Momentos	17.6520	14.2599	16.1705	7.1019	19.8613
	Momentos – L	18.6520	14.7217	16.7832	7.3744	20.9271
	Máx. Verosimilitud.	23.6994	19.4682	21.7537	8.5145	25.5149
	Máx. Entropía	43.6609	41.9374	43.1670	37.7516	45.1760
GVE	Momentos	16.2569	13.8854	16.2008	6.8594	18.3390
	Momentos – L	15.2259	11.8538	15.1602	6.5110	17.8716
	Máx. Verosimilitud.	49.7966	11.1847	15.2549	6.6393	16.1125
Gumbel Mixta	Máx. Verosimilitud.	10.3934	28.3660	6.2374	10.8100	8.4664

Tabla 4.7.a. Error estándar de las estaciones en análisis, en el período 1961 - 2000.

Distribución de probabilidad	Estimación de parámetros	12031	12062	12075	12105	12111	12125
Normal	Momentos	4.6522	28.5127	26.6367	15.0344	24.5553	5.0199
	Momentos – L	4.7049	28.4502	26.7493	15.1439	24.4156	5.0482
LogNormal2	Momentos	3.0026	21.5521	17.7614	9.8493	18.9873	3.0294
LogNormal3	Momentos	3.3873	15.3715	14.2243	9.8472	14.4894	3.3518
	Máx Verosimilitud.	3.4194	15.3670	9.6493	152.6266	15.2979	3.1145
Gamma2	Momentos	3.3530	18.5937	15.4636	11.0292	16.8749	3.2866
	Max Verosimilitud.	3.4989	22.6057	19.8454	12.0685	19.8467	3.6068
	Momentos – L	3.3382	20.9910	17.2039	11.9044	18.6866	3.1853
Gamma3	Momentos	3.3697	13.1148	12.3991	10.1586	12.9889	3.2866
	Max Verosimilitud.	3.4337	110.4952	13.1962	62.2151	90.4937	2.9609
	Momentos Prob Pesada	3.2606	9.5932	8.6165	10.5668	11.5025	3.0189
Log Pearson III	Momentos(met. directo)	60.1445	54.4166	112.1259	30.7248	44.5838	66.4329
	Momentos (met. indirecto)	3.1491	12.9197	11.3680	8.5211	13.1961	2.8730
	Máx. Verosimilitud.	65.8677	53.8871	9.0567	257.2645	64.0509	48.0148
Gumbel	Momentos	3.3391	19.3477	17.0096	11.1489	17.5568	3.3114
	Momentos – L	3.0959	20.6854	18.0580	11.7639	18.5346	2.9192
	Máx. Verosimilitud.	2.9203	25.8106	23.2516	12.4921	22.1294	3.0571
	Máx. Entropía	37.8434	46.0290	44.9131	41.0525	44.9542	38.3051
GVE	Momentos	3.3056	16.5134	15.0924	10.0097	15.3473	3.2507
	Momentos – L	3.1903	14.2478	12.4655	10.3329	13.9989	3.0084
	Máx. Verosimilitud.	3.4566	12.5891	9.1887	10.8242	14.4962	3.3495
Gumbel Mixta	Máx. Verosimilitud.	3.9321	9.1680	11.2689	10.8100	8.4664	5.7450

Tabla 4.7.b. Error estándar de las estaciones en análisis, en el período 1961 - 2000.

Distribución de probabilidad	Estimación de parámetros	12134	12150	12198	12204	12229
Normal	Momentos	24.9226	25.6091	22.0540	9.3592	25.3198
	Momentos – L	24.8346	25.7166	22.1544	9.5095	25.1432
LogNormal2	Momentos	18.7981	17.4975	14.5402	7.1377	19.4260
LogNormal3	Momentos	13.7027	13.8677	12.3396	6.1988	14.5874
	Máx Verosimilitud.	13.4891	12.2419	10.6700	145.6183	12.0885
Gamma2	Momentos	16.0516	15.4416	12.8303	7.3195	16.8254
	Max Verosimilitud.	19.6981	19.3896	16.3506	7.8998	20.1934
	Momentos – L	18.1524	17.2652	14.1797	7.7359	18.8141
Gamma3	Momentos	11.7641	12.1630	10.9466	6.3172	12.7492
	Max Verosimilitud.	91.5963	13.4900	12.3863	73.9072	16.2325
	Momentos Prob Pesada	9.0833	8.5209	8.0168	6.4215	10.7672
Log Pearson III	Momentos(met. directo)	47.8261	108.3585	91.5070	21.7414	46.6003
	Momentos (met. indirecto)	11.7665	11.3866	10.3738	6.5418	12.9294
	Máx. Verosimilitud.	12.9780	11.6746	10.4007	92.7674	11.9892
Gumbel	Momentos	17.1250	16.5590	14.2811	6.5050	17.9054
	Momentos – L	18.2496	17.6441	15.1194	6.7804	18.9247
	Máx. Verosimilitud.	22.5831	22.4451	19.3705	7.0243	22.9293
	Máx. Entropía	44.6330	44.6496	43.4707	38.8246	45.1798
GVE	Momentos	14.6948	14.6822	12.9758	6.2098	15.5525
	Momentos – L	12.9736	12.3833	11.4468	6.2966	14.1561
	Máx. Verosimilitud.	11.0196	11.0832	10.2579	6.6872	11.3043
Gumbel Mixta	Máx. Verosimilitud.	10.4666	8.0957	7.8156		15.4889

Tabla 4.8.a. Error estándar de las estaciones en análisis, en el período 1961 - 2007.

Distribución de probabilidad	Estimación de parámetros	12031	12062	12075	12105	12111	12125
Normal	Momentos	4.4556	27.6519	25.9370	13.9260	22.0199	3.8784
	Momentos – L	4.5088	27.4767	25.9538	14.0060	21.8995	3.8469
LogNormal2	Momentos	2.6537	20.9047	18.0079	9.5281	16.7428	2.8003
LogNormal3	Momentos	3.0215	14.1962	13.5741	9.5035	12.7195	2.8268
	Máx Verosimilitud.	3.0294	14.4556	11.7209	139.6746	13.3702	2.7619
Gamma2	Momentos	3.0259	18.3024	16.2843	10.7903	15.4370	2.7120
	Max Verosimilitud.	3.1766	21.9407	19.9138	11.3799	17.7966	2.7662
	Momentos – L	3.0220	20.7116	18.2667	11.5120	16.8873	2.5137
Gamma3	Momentos	3.0079	11.9922	12.0769	10.1144	11.8054	2.7927
	Max Verosimilitud.	3.0297	105.3806	107.5710	61.5088	88.7021	2.6949
	Momentos Prob Pesada	2.9484	9.2329	9.9824	10.7131	11.1185	2.8573
Log Pearson III	Momentos(met. directo)	58.0941	49.1822	107.5710	27.1558	39.5624	68.1006
	Momentos (met. indirecto)	2.7951	11.8271	11.4236	8.1920	11.8248	3.5472
	Máx. Verosimilitud.	62.0256	49.6109	10.7472	344.6456	80.8845	63.6970
Gumbel	Momentos	2.9624	18.7669	16.9996	10.5853	15.5595	3.2900
	Momentos – L	2.7394	20.0772	18.1484	11.1075	16.3759	2.8763
	Máx. Verosimilitud.	2.5821	24.7145	22.3541	11.2588	19.2421	2.7524
	Máx. Entropía	38.1418	46.3292	45.6025	41.3822	44.4111	39.2249
GVE	Momentos	2.9406	15.3941	14.4414	9.5207	13.4030	2.7383
	Momentos – L	2.8575	12.7460	11.9257	10.3866	12.0284	2.5845
	Máx. Verosimilitud.	3.0688	11.5658	9.9573	10.5308	11.3419	2.9076
Gumbel Mixta	Máx. Verosimilitud.	3.1425	5.8473	5.6504		12.2210	

Tabla 4.8.b. Error estándar de las estaciones en análisis, en el período 1961 - 2007.

Distribución de probabilidad	Estimación de parámetros	12134	12150	12198	12204	12229
Normal	Momentos	22.1568	25.0188	20.5919	8.4087	22.4837
	Momentos – L	22.1118	25.0189	20.6531	8.5389	22.3470
LogNormal2	Momentos	16.0894	17.5803	13.1456	6.3610	16.8270
LogNormal3	Momentos	11.6164	13.0729	10.7595	5.6961	12.4970
	Máx Verosimilitud.	10.8006	13.2492	9.5497	129.1139	9.8416
Gamma2	Momentos	14.3988	15.8923	11.9346	6.6531	15.1645
	Max Verosimilitud.	17.3767	19.3016	15.0942	7.0739	17.8638
	Momentos – L	16.1145	17.8688	13.2945	6.9911	16.7314
Gamma3	Momentos	10.2922	11.4990	9.4626	5.9071	11.2303
	Max Verosimilitud.	89.5912	103.7779	88.7491	73.7443	88.3197
	Momentos Prob Pesada	8.7723	9.0214	6.9885	6.1091	10.0665
Log Pearson III	Momentos(met. directo)	43.0670	51.5123	88.7491	20.4750	41.4249
	Momentos (met. indirecto)	10.0907	11.0615	8.9113	6.1204	11.1828
	Máx. Verosimilitud.	10.0036	106.5368	9.0709	109.2106	9.3888
Gumbel	Momentos	14.8390	16.4284	12.9553	5.8602	15.5715
	Momentos – L	15.8143	17.5713	13.7635	6.0662	16.4185
	Máx. Verosimilitud.	19.3089	21.6383	17.5390	6.0493	19.7112
	Máx. Entropía	44.0158	45.2151	43.4718	39.1621	44.4481
GVE	Momentos	12.4328	13.9370	11.3951	5.6511	13.2927
	Momentos – L	10.3890	11.4859	9.5390	5.9362	11.5836
	Máx. Verosimilitud.	8.9387	11.7713	8.7096	6.0921	9.6338
Gumbel Mixta	Máx. Verosimilitud.	5.4157	4.1507	5.2573	5.7187	11.8990

Para la construcción de las curvas $i - d - Tr$ se recomienda agrupar espacialmente aquellas zonas de igual distribución de probabilidad para homogeneizar o hacer variar gradualmente la magnitud de los diferentes períodos de retorno. En la Figura 4.81., se muestra las zonas en que finalmente se agruparon las distribuciones de probabilidad en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

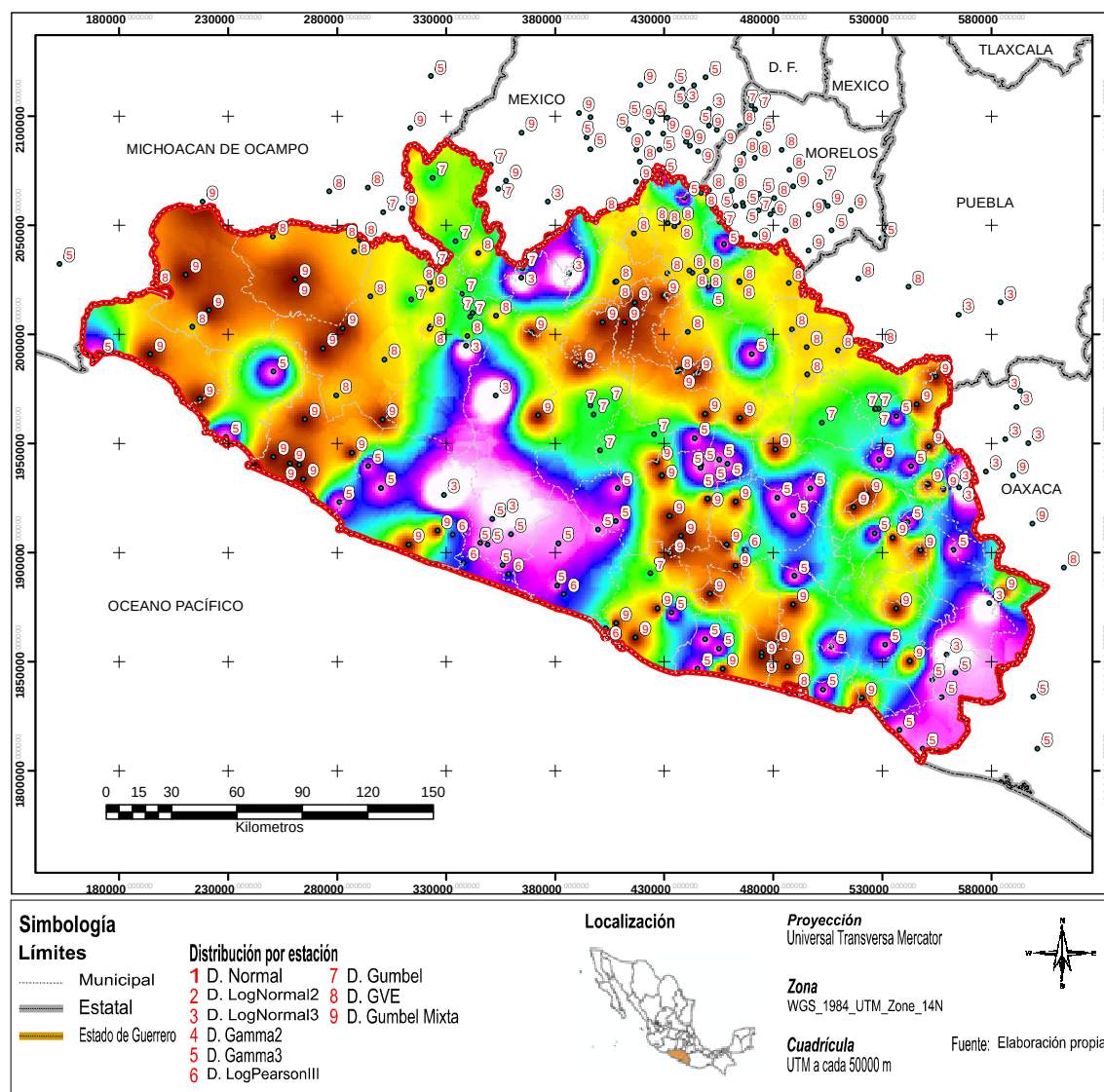


Figura 4.81. Regionalización de distribuciones de frecuencias en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

En base al Error Estándar de Ajuste se observa que la distribución que se apega de mejor manera a las series de datos ejemplificadas es la Gamma de 3 parámetros. En las Tabla 4.9., se exponen los eventos de diseño para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 1000, 5000 y 10000 años

Tabla 4.9. Hp máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno, (milímetros).

Tr	Período de 1961 - 1990										
	12031	12062	12075	12105	12111	12125	12134	12150	12198	12204	12229
2	54.0	68.2	87.4	37.3	57.0	56.1	60.6	79.6	55.4	65.0	55.1
5	73.3	127.9	139.5	67.1	101.2	79.2	108.2	140.6	123.2	89.2	101.4
10	86.3	184.8	198.7	91.8	140.5	94.2	150.4	186.9	157.9	106.3	143.5
20	98.9	228.7	235.3	117.8	183.4	108.3	196.2	233.8	187.0	123.0	189.9
50	115.6	281.3	274.5	154.0	244.4	126.0	261.3	296.9	222.9	144.8	256.4
100	128.4	319.7	302.0	182.5	293.3	139.1	313.5	345.5	249.3	161.3	310.1
500	159.5	407.1	363.9	252.0	415.1	168.6	443.0	461.5	309.6	199.6	444.2
1000	173.5	444.5	390.3	283.3	470.6	181.1	502.0	512.6	335.4	216.2	505.6
5000	207.9	531.3	451.2	358.8	605.9	209.8	645.8	634.4	395.2	255.1	655.8
10000	223.6	568.7	477.2	392.5	666.8	222.1	710.4	688.0	421.5	272.0	723.5
Tr	Período de 1961 - 2000										
	12031	12062	12075	12105	12111	12125	12134	12150	12198	12204	12229
2	50.2	72.8	71.3	40.7	56.8	57.0	55.7	75.1	57.4	61.7	54.3
5	69.2	112.8	125.0	67.8	96.8	77.3	97.1	122.4	101.5	84.2	94.7
10	82.8	168.4	169.5	89.8	131.8	89.9	134.2	156.9	143.6	99.4	131.0
20	96.6	211.8	209.0	112.9	169.6	101.4	174.6	191.2	177.7	113.9	170.9
50	115.6	261.6	257.8	144.6	223.2	115.6	232.3	236.6	218.1	132.4	227.8
100	130.7	297.3	293.7	169.6	266.1	125.9	278.6	271.3	247.4	146.2	273.7
500	169.4	378.2	375.9	230.2	372.2	148.5	394.0	352.8	314.0	177.7	388.0
1000	187.9	412.7	411.1	257.4	420.5	157.9	446.7	388.5	342.4	191.2	440.3
5000	235.3	492.7	492.9	322.7	538.0	179.3	575.2	472.7	408.4	222.4	568.0
10000	258.0	527.5	527.7	351.8	590.7	188.4	633.0	509.6	436.9	235.9	625.4
Tr	Período de 1961 - 2007										
	12031	12062	12075	12105	12111	12125	12134	12150	12198	12204	12229
2	49.8	71.4	73.7	42.2	60.1	59.2	58.8	71.6	56.5	63.7	58.1
5	67.6	106.3	109.7	67.3	98.2	79.3	98.9	105.5	99.6	84.3	97.1
10	79.4	156.1	164.9	87.9	129.4	91.7	132.1	161.1	134.6	97.9	129.7
20	90.6	200.7	210.7	109.4	162.1	103.0	167.2	203.3	171.3	110.9	164.3
50	105.3	252.3	255.1	139.2	207.3	116.9	215.9	243.7	221.8	127.8	212.5
100	116.2	289.3	285.4	162.6	242.8	127.0	254.4	271.4	261.5	140.4	250.6
500	141.5	373.0	352.7	219.6	329.2	149.2	348.4	332.8	358.0	169.7	344.0
1000	152.4	408.7	381.3	245.2	368.0	158.4	390.7	358.9	401.3	182.3	386.2
5000	177.6	491.6	447.5	306.7	461.4	179.4	492.8	419.3	505.4	211.4	487.9
10000	188.4	527.4	476.0	334.1	503.0	188.3	538.4	445.3	551.7	224.0	533.4

Enseguida se calcula el factor de relación lluvia – duración R empleando la Figura 4.1 del USWS (United State Weather Service). Para entrar en la gráfica se debe de disponer de la lluvia media anual de las máximas en 24 horas y número medio anual con lluvias superiores a 1 mm. En la Tabla 4.10., se concentra un resumen de dichos valores tanto para los diferentes periodos analizados, y en consecuencia la lluvia en una hora para Tr = 2 con el correspondiente valor final del cociente R

La discrepancia en los valores de R indica la existencia de zonas distintas respecto a la variable lluvia. Los valores elevados de R corresponden a zonas montañosas (ver Figura 4.82) que ocasionan la concentración de lluvia en una hora de forma considerable. Los valores de R en otros sitios (Hershfield, 1962) varían en función de la orografía y formación de lluvias en la región, lo cual coincide con los resultados para el estado de Guerrero.

Así el cociente $R < 0.5$ se presenta del lado del barlovento de las montañas, donde las lluvias comienzan primero y terminan después en los valles y donde los procesos orográficos son la fuente principal de fuertes lluvias.

Tabla 4.10. Variables empleadas para la obtención del cociente R.

	Período de 1961 - 1990										
	12031	12062	12075	12105	12111	12125	12134	12150	12198	12204	12229
$\bar{x}$ (máxima anual)	57.77	93.42	105.51	49.35	77.50	60.72	82.46	99.81	79.19	71.50	77.47
$\bar{x}$ (lluvias apreciables)	74.8	91.97	111.63	73.67	85.70	70.13	84.40	112.23	91.63	105.8	86.57
$Hp_{T=2}^{1h}$	35.54	51.66	55.38	31.11	45.53	37.02	47.59	53.73	46.25	42.90	45.53
$Hp_{T=2}^{24h}$	54.00	68.2	87.40	37.3	57.00	56.1	60.60	79.6	55.40	65.00	55.10
R	0.66	0.76	0.63	0.83	0.80	0.66	0.79	0.68	0.83	0.66	0.83
	Período de 1961 - 2000										
	12031	12062	12075	12105	12111	12125	12134	12150	12198	12204	12229
$\bar{x}$ (máxima anual)	54.51	91.86	91.58	51.24	74.84	60.14	75.08	89.27	74.15	66.86	73.46
$\bar{x}$ (lluvias apreciables)	76.60	91.55	111.95	76.70	85.55	75.15	85.73	111.23	89.83	98.33	86.80
$Hp_{T=2}^{1h}$	33.86	51.12	51.02	32.13	44.38	36.73	44.50	50.19	44.08	40.72	43.77
$Hp_{T=2}^{24h}$	50.20	72.8	71.3	40.7	56.80	57.00	55.70	75.10	57.40	61.7	54.30
R	0.67	0.70	0.72	0.79	0.78	0.64	0.80	0.67	0.77	0.66	0.81
	Período de 1961 - 2007										
	12031	12062	12075	12105	12111	12125	12134	12150	12198	12204	12229
$\bar{x}$ (máxima anual)	52.91	88.52	89.70	52.06	75.09	62.33	75.08	86.96	73.25	67.55	74.18
$\bar{x}$ (lluvias apreciables)	72.28	92.89	112.34	77.51	86.89	78.98	87.00	110.98	91.57	97.66	87.70
$Hp_{T=2}^{1h}$	29.73	45.89	46.32	29.30	40.53	34.20	40.53	45.30	39.74	37.22	40.13
$Hp_{T=2}^{24h}$	49.80	71.40	73.70	42.20	60.10	59.20	58.80	71.60	56.50	63.70	58.10
R	0.60	0.64	0.63	0.70	0.41	0.58	0.69	0.63	0.70	0.58	0.69

Multiplicando el cociente R por las diferentes alturas de precipitación de 24 horas de cada período de retorno se obtienen las alturas de precipitación para una hora en sus respectivos Tr. A partir de la lámina de lluvia en una hora y aplicando la ecuación 3.8., es posible obtener las láminas de lluvia en duraciones mayores a una hora. Para duraciones menores a una hora, se multiplican los factores de la Tabla 3.1., por la altura de precipitación de una hora.

Con la metodología expuesta anteriormente se obtienen alturas de precipitación en las duraciones deseadas. Por último, las intensidades se obtienen al dividir cada altura de precipitación entre su duración respectiva expresada en horas. En la Figura 4.83. – 4.93, se muestran las curvas i – d – Tr para las estaciones de la cuenca río Huacapa en los diferentes períodos analizados.

Las magnitudes de las intensidades disminuyen gradualmente en el período y zona estudiada, sin embargo, dichas variaciones no pueden apreciarse gráficamente, por lo cual en las tablas 4.11. – 4.21., se muestran los resultados para período de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años , y duraciones de 5, 10, 20, 30, 40, 45, 50, 55, 60, 120 y 240 minutos.

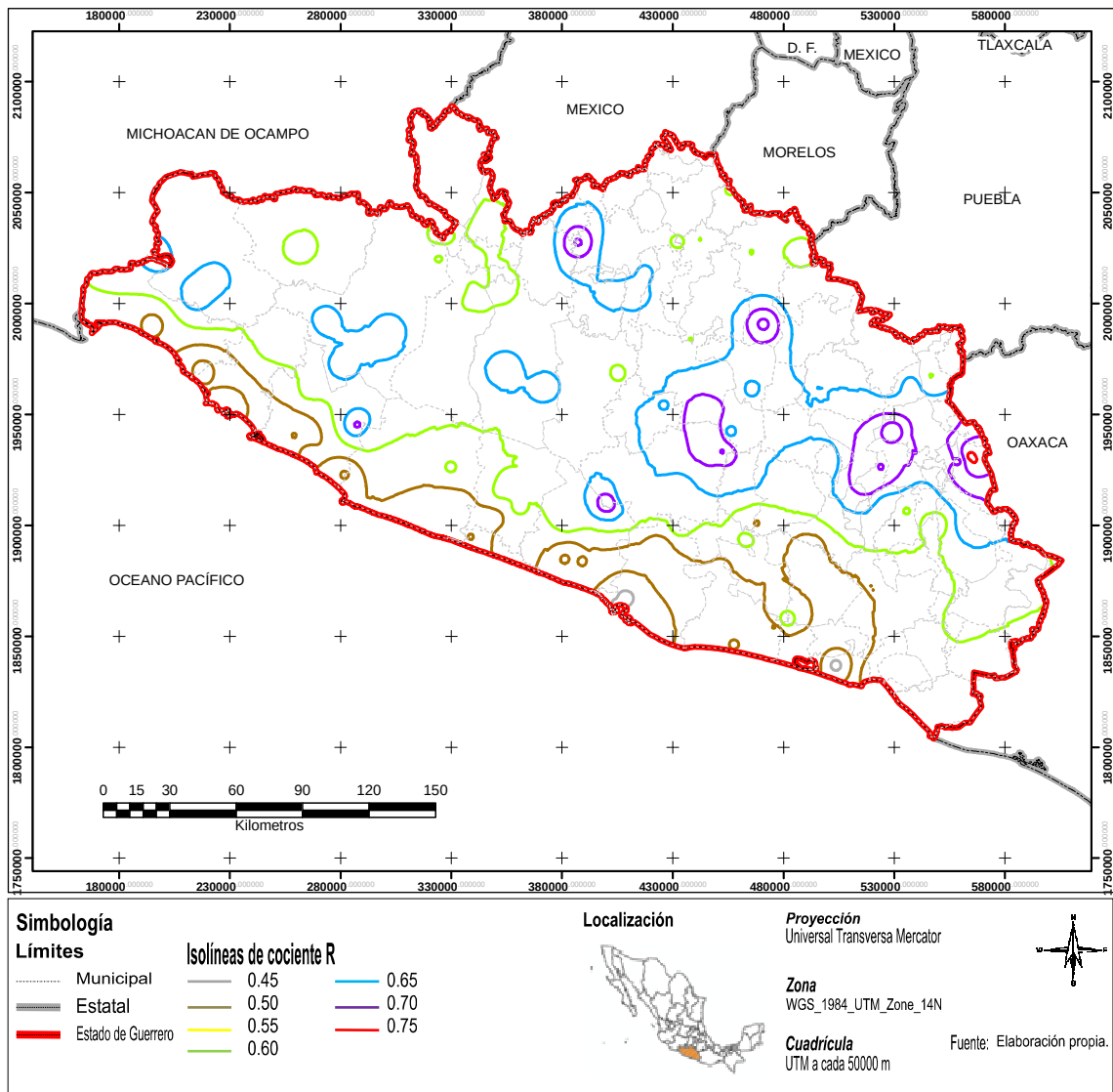


Figura 4.82. Distribución de cociente R en el estado de Guerrero, para el período 1961 - 2007

Curva i - d - Tr en la Estación 12031, para período 1961 - 2007

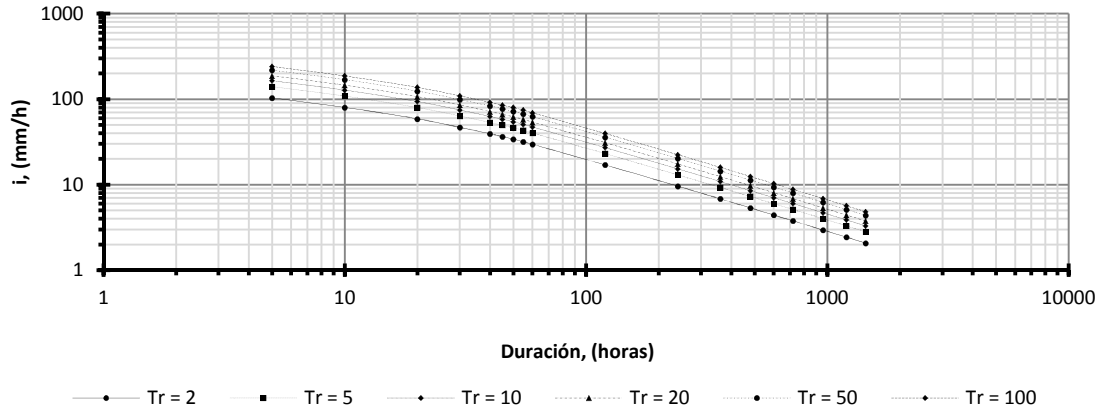


Figura 4.83 Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12031

Curva i - d - Tr en la Estación 12062, para período 1961 - 2007

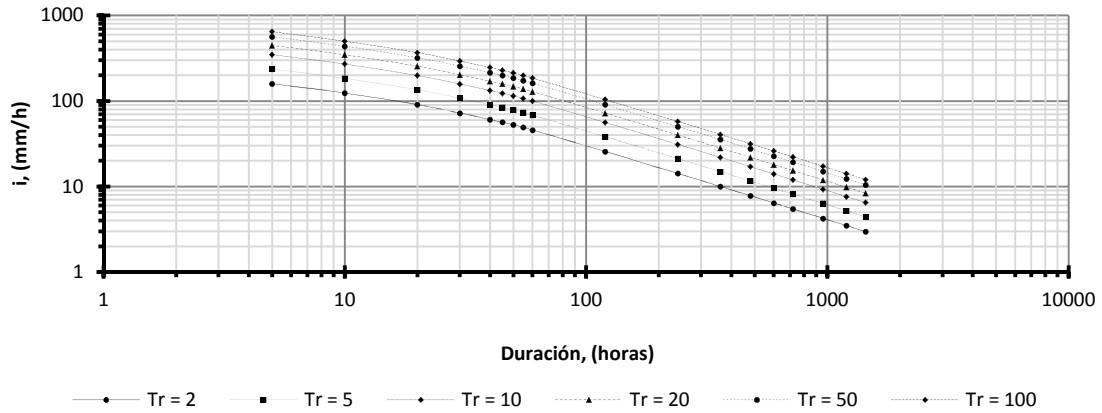


Figura 4.84. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12062

Curva i - d - Tr en la Estación 12075, para período 1961 - 2007

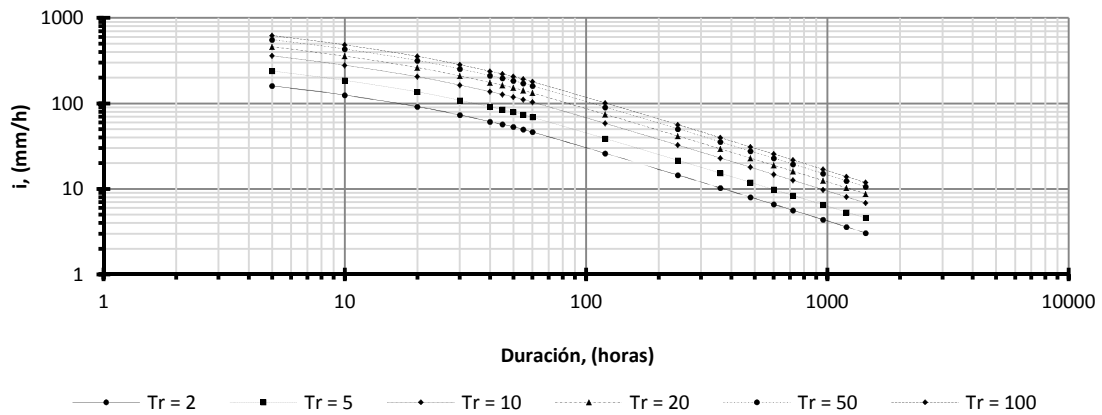


Figura 4.85. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12075

Curva i - d - Tr en la Estación 12105, para período 1961 - 2007

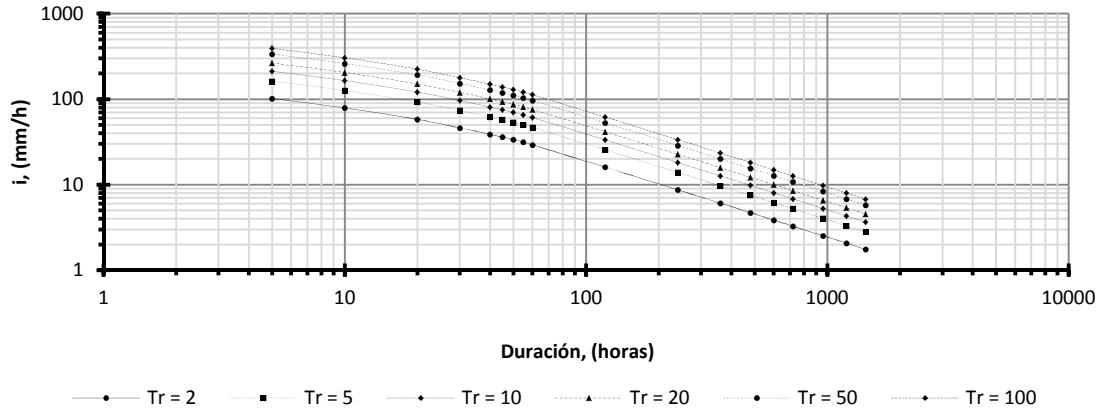


Figura 4.86. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12105

Curva i - d - Tr en la Estación 12111, para período 1961 - 2007

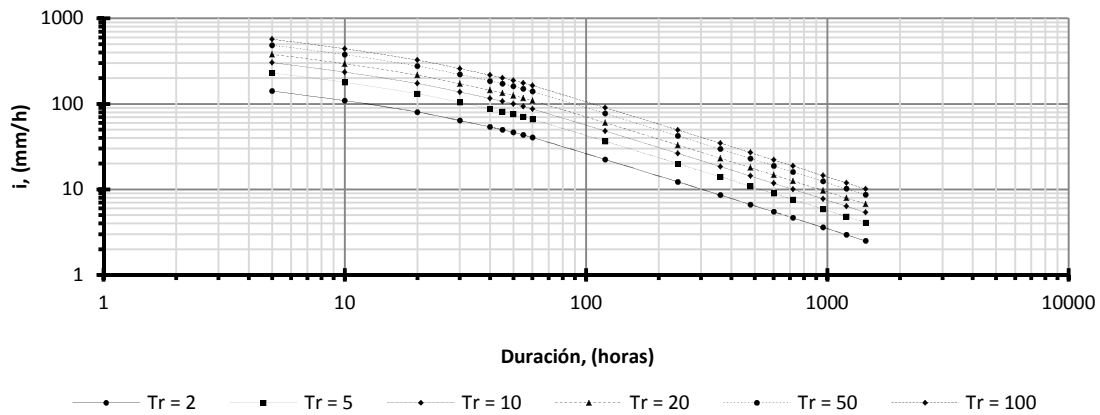


Figura 4.87. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12111

Curva i - d - Tr en la Estación 12125, para período 1961 - 2007

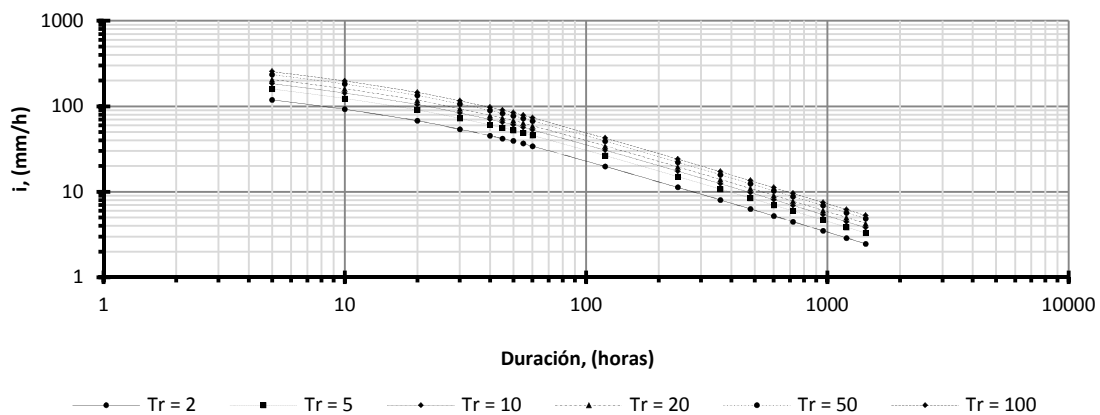


Figura 4.88. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12125

Curva i - d - Tr en la Estación 12134, para período 1961 - 2007

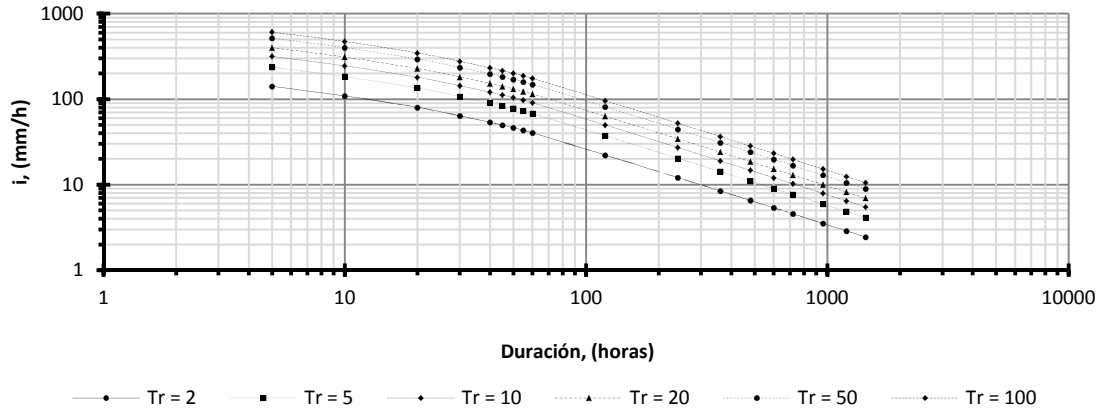


Figura 4.89. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12134

Curva i - d - Tr en la Estación 12150, para período 1961 - 2007

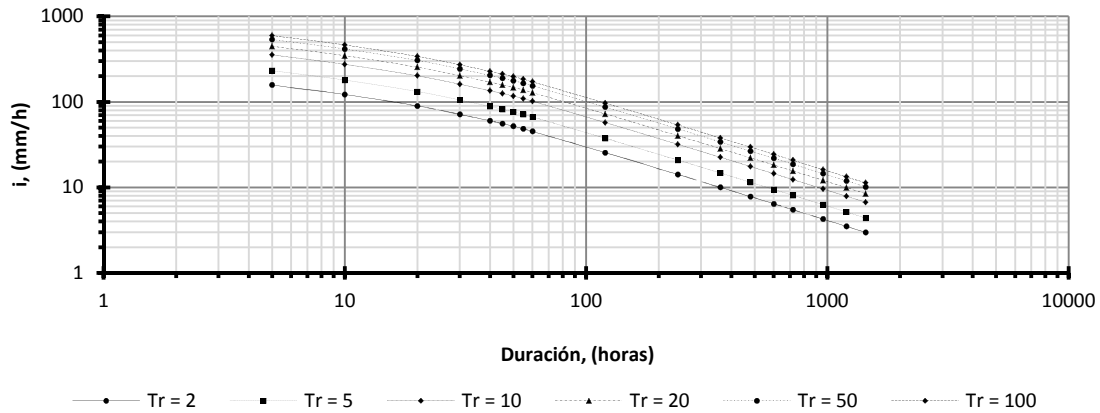


Figura 4.90. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12150

Curva i - d - Tr en la Estación 12198, para período 1961 - 2007

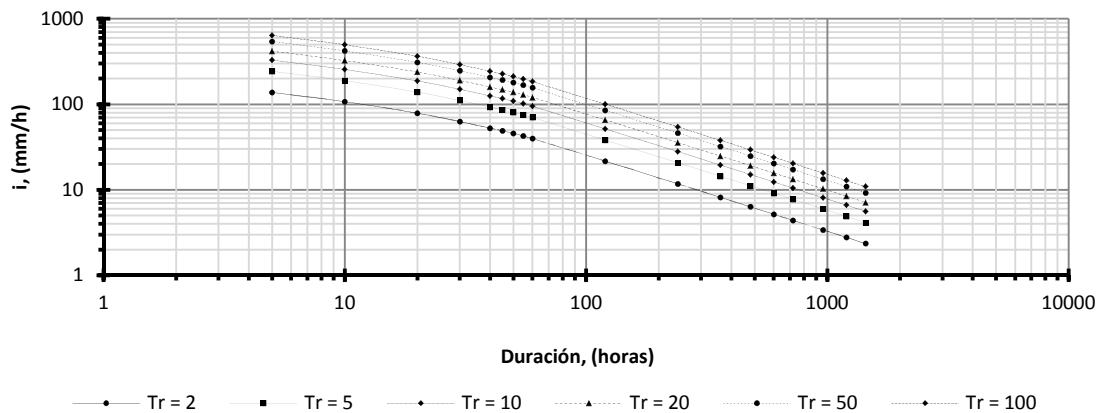


Figura 4.91. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12198

Curva i - d - Tr en la Estación 12204, para período 1961 - 2007

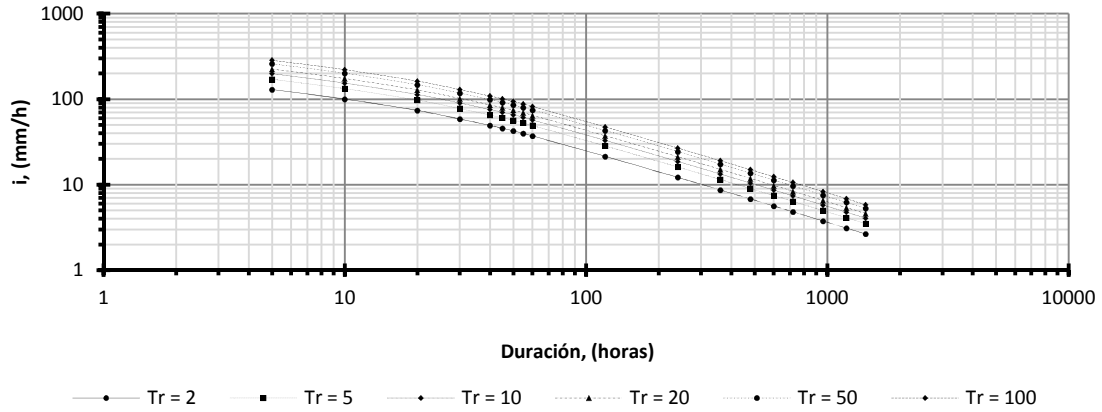


Figura 4.92. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12204

Curva i - d - Tr en la Estación 12229, para período 1961 - 2007

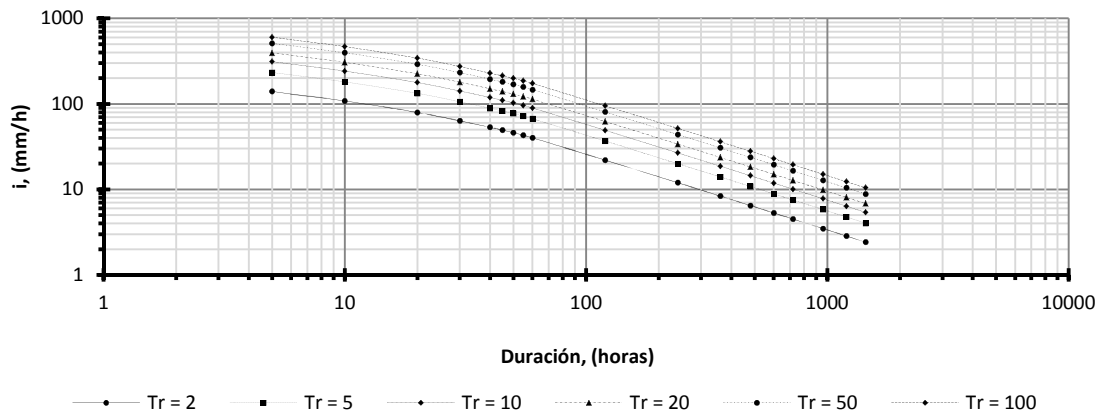


Figura 4.93. Curva intensidad – duración – período de retorno de la estación 12229

Tabla 4.11. Estación 12031. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo

Período 1961 - 1990											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	123.68	95.96	70.47	56.14	47.12	43.78	40.87	38.15	35.54	19.79	10.90
5	167.73	130.14	95.57	76.13	63.90	59.37	55.43	51.74	48.20	26.83	14.78
10	197.48	153.21	112.52	89.63	75.23	69.90	65.26	60.92	56.75	31.59	17.40
20	226.42	175.67	129.01	102.77	86.26	80.14	74.82	69.84	65.06	36.22	19.96
50	264.67	205.34	150.81	120.13	100.83	93.68	87.46	81.64	76.05	42.34	23.33
100	294.07	228.15	167.56	133.47	112.03	104.09	97.17	90.71	84.50	47.04	25.92
Período 1961 - 2000											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	117.84	91.43	67.14	53.48	44.89	41.71	38.94	36.35	33.86	18.71	10.25
5	162.53	126.10	92.61	73.77	61.92	57.53	53.71	50.13	46.70	25.81	14.13
10	194.42	150.84	110.78	88.24	74.07	68.82	64.25	59.97	55.87	30.87	16.91
20	226.73	175.91	129.19	102.91	86.38	80.25	74.92	69.94	65.15	36.00	19.72
50	271.29	210.48	154.58	123.13	103.35	96.02	89.64	83.68	77.96	43.08	23.59
100	306.92	238.13	174.88	139.30	116.92	108.64	101.42	94.68	88.20	48.74	26.69
Período 1961 - 2007											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	103.46	80.27	58.95	46.96	39.41	36.62	34.19	31.91	29.73	17.06	9.63
5	140.33	108.88	79.96	63.69	53.46	49.67	46.37	43.29	40.33	23.14	13.06
10	164.75	127.82	93.87	74.77	62.76	58.31	54.44	50.82	47.34	27.16	15.33
20	188.16	145.99	107.21	85.40	71.68	66.60	62.18	58.04	54.07	31.02	17.51
50	218.48	169.51	124.49	99.16	83.23	77.33	72.20	67.39	62.78	36.02	20.33
100	241.19	187.13	137.43	109.47	91.88	85.37	79.70	74.40	69.31	39.77	22.44
Tasa de Variación, %/año											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	-1.11	-1.11	-1.11	-1.11	-1.11	-1.11	-1.11	-1.11	-1.11	-0.90	-0.73
5	-1.13	-1.13	-1.13	-1.13	-1.13	-1.13	-1.13	-1.13	-1.13	-0.93	-0.76
10	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17	-0.97	-0.81
20	-1.21	-1.21	-1.21	-1.21	-1.21	-1.21	-1.21	-1.21	-1.21	-1.02	-0.86
50	-1.27	-1.27	-1.27	-1.27	-1.27	-1.27	-1.27	-1.27	-1.27	-1.08	-0.93
100	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.13	-0.99

Tabla 4.12. Estación 12062. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo

Período 1961 - 1990											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	179.78	139.48	102.44	81.60	68.49	63.63	59.41	55.46	51.66	27.63	14.72
5	337.15	261.58	192.11	153.02	128.44	119.34	111.41	104.00	96.88	51.82	27.60
10	487.06	377.89	277.52	221.06	185.55	172.40	160.94	150.24	139.96	74.87	39.88
20	602.74	467.64	343.44	273.57	229.62	213.35	199.17	185.93	173.20	92.65	49.35
50	741.58	575.36	422.54	336.58	282.51	262.49	245.05	228.75	213.10	113.99	60.72
100	842.63	653.76	480.12	382.44	321.00	298.25	278.44	259.92	242.13	129.52	68.99
Período 1961 - 2000											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	177.90	138.03	101.37	80.75	67.77	62.97	58.79	54.88	51.12	27.93	15.15
5	275.48	213.73	156.97	125.03	104.95	97.51	91.03	84.98	79.16	43.25	23.46
10	411.17	319.01	234.28	186.62	156.64	145.54	135.87	126.83	118.15	64.55	35.01
20	517.16	401.24	294.67	234.72	197.02	183.05	170.89	159.53	148.61	81.19	44.04
50	638.93	495.72	364.06	289.99	243.40	226.15	211.13	197.09	183.60	100.31	54.41
100	726.18	563.41	413.77	329.59	276.64	257.03	239.96	224.00	208.67	114.00	61.84
Período 1961 - 2007											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	159.70	123.91	91.00	72.49	60.84	56.53	52.77	49.26	45.89	25.73	14.25
5	237.77	184.48	135.48	107.92	90.58	84.16	78.57	73.35	68.33	38.30	21.22
10	349.13	270.87	198.93	158.46	133.00	123.58	115.37	107.70	100.32	56.24	31.16
20	448.92	348.29	255.79	203.75	171.02	158.90	148.34	138.48	129.00	72.31	40.06
50	564.38	437.88	321.58	256.16	215.00	199.77	186.50	174.09	162.18	90.91	50.37
100	647.12	502.08	368.73	293.71	246.53	229.05	213.84	199.62	185.95	104.24	57.75
Tasa de Variación, %/año											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	-0.78	-0.78	-0.78	-0.78	-0.78	-0.78	-0.78	-0.78	-0.78	-0.51	-0.28
5	-1.89	-1.89	-1.89	-1.89	-1.89	-1.89	-1.89	-1.89	-1.89	-1.64	-1.43
10	-1.86	-1.86	-1.86	-1.86	-1.86	-1.86	-1.86	-1.86	-1.86	-1.61	-1.40
20	-1.65	-1.65	-1.65	-1.65	-1.65	-1.65	-1.65	-1.65	-1.65	-1.40	-1.18
50	-1.53	-1.53	-1.53	-1.53	-1.53	-1.53	-1.53	-1.53	-1.53	-1.27	-1.05
100	-1.47	-1.47	-1.47	-1.47	-1.47	-1.47	-1.47	-1.47	-1.47	-1.21	-0.99

Tabla 4.13. Estación 12075. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo

Período 1961 - 1990											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	192.71	149.51	109.80	87.46	73.41	68.21	63.68	59.44	55.38	31.18	17.33
5	307.60	238.65	175.27	139.61	117.18	108.88	101.64	94.88	88.39	49.77	27.67
10	438.23	340.00	249.70	198.90	166.95	155.11	144.81	135.18	125.93	70.90	39.42
20	518.83	402.54	295.63	235.48	197.65	183.64	171.44	160.04	149.09	83.94	46.67
50	605.30	469.63	344.89	274.73	230.59	214.25	200.02	186.72	173.94	97.93	54.45
100	666.03	516.74	379.50	302.29	253.73	235.75	220.09	205.45	191.39	107.76	59.91
Período 1961 - 2000											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	177.56	137.76	101.17	80.59	67.64	62.85	58.67	54.77	51.02	27.72	14.97
5	311.42	241.62	177.45	141.35	118.64	110.23	102.91	96.06	89.49	48.62	26.25
10	422.14	327.52	240.53	191.60	160.82	149.42	139.49	130.22	121.31	65.91	35.58
20	520.41	403.77	296.53	236.20	198.25	184.20	171.97	160.53	149.54	81.25	43.87
50	642.06	498.14	365.84	291.41	244.60	227.26	212.16	198.06	184.50	100.24	54.12
100	731.46	567.51	416.78	331.99	278.66	258.91	241.71	225.63	210.19	114.20	61.65
Período 1961 - 2007											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	161.22	125.09	91.86	73.17	61.42	57.07	53.28	49.73	46.33	26.15	14.56
5	239.97	186.18	136.73	108.92	91.42	84.94	79.30	74.02	68.96	38.92	21.68
10	360.94	280.03	205.66	163.82	137.50	127.76	119.27	111.34	103.72	58.53	32.60
20	461.13	357.77	262.75	209.29	175.67	163.22	152.38	142.24	132.51	74.78	41.66
50	558.16	433.05	318.04	253.33	212.64	197.57	184.44	172.18	160.39	90.52	50.42
100	624.49	484.52	355.83	283.44	237.90	221.04	206.36	192.64	179.45	101.28	56.41
Tasa de Variación, %/año											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	-1.05	-1.05	-1.05	-1.05	-1.05	-1.05	-1.05	-1.05	-1.05	-0.96	-0.88
5	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58	-1.58	-1.54	-1.50
10	-1.22	-1.22	-1.22	-1.22	-1.22	-1.22	-1.22	-1.22	-1.22	-1.15	-1.09
20	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	-0.73	-0.66
50	-0.63	-0.63	-0.63	-0.63	-0.63	-0.63	-0.63	-0.63	-0.63	-0.57	-0.52
100	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	-0.51	-0.46

Tabla 4.14. Estación 12105. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo

Período 1961 - 1990											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	108.27	84.01	61.69	49.14	41.25	38.32	35.78	33.40	31.11	16.23	8.45
5	194.86	151.18	111.03	88.44	74.23	68.97	64.39	60.11	55.99	29.21	15.21
10	266.49	206.76	151.84	120.95	101.52	94.32	88.06	82.20	76.58	39.95	20.81
20	341.99	265.34	194.86	155.22	130.28	121.05	113.01	105.49	98.27	51.27	26.70
50	446.83	346.67	254.60	202.80	170.22	158.16	147.65	137.83	128.40	66.99	34.89
100	529.50	410.82	301.71	240.33	201.72	187.42	174.97	163.34	152.16	79.38	41.34
Período 1961 - 2000											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	111.82	86.75	63.71	50.75	42.60	39.58	36.95	34.49	32.13	17.00	8.97
5	186.32	144.56	106.16	84.56	70.98	65.95	61.57	57.47	53.54	28.33	14.94
10	246.84	191.51	140.65	112.03	94.04	87.37	81.57	76.14	70.93	37.53	19.80
20	310.11	240.60	176.70	140.75	118.14	109.77	102.47	95.66	89.11	47.15	24.87
50	397.40	308.33	226.44	180.37	151.39	140.66	131.32	122.59	114.20	60.42	31.87
100	465.92	361.49	265.48	211.47	177.50	164.92	153.96	143.72	133.89	70.84	37.36
Período 1961 - 2007											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	101.99	79.13	58.11	46.29	38.85	36.10	33.70	31.46	29.31	16.06	8.73
5	162.89	126.38	92.81	73.93	62.05	57.66	53.83	50.25	46.81	25.64	13.94
10	212.63	164.97	121.15	96.51	81.00	75.26	70.26	65.59	61.10	33.47	18.20
20	264.75	205.41	150.85	120.16	100.86	93.71	87.48	81.67	76.08	41.68	22.66
50	336.79	261.30	191.90	152.86	128.30	119.21	111.29	103.89	96.78	53.02	28.82
100	393.42	305.24	224.17	178.56	149.88	139.25	130.00	121.36	113.05	61.93	33.67
Tasa de Variación, %/año											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	-0.47	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	-0.16	0.12
5	-1.12	-1.12	-1.12	-1.12	-1.12	-1.12	-1.12	-1.12	-1.12	-0.83	-0.57
10	-1.36	-1.36	-1.36	-1.36	-1.36	-1.36	-1.36	-1.36	-1.36	-1.08	-0.82
20	-1.51	-1.51	-1.51	-1.51	-1.51	-1.51	-1.51	-1.51	-1.51	-1.23	-0.98
50	-1.64	-1.64	-1.64	-1.64	-1.64	-1.64	-1.64	-1.64	-1.64	-1.37	-1.12
100	-1.71	-1.71	-1.71	-1.71	-1.71	-1.71	-1.71	-1.71	-1.71	-1.44	-1.19

Tabla 4.15. Estación 12111. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo

Período 1961 - 1990											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	158.46	122.95	90.29	71.92	60.37	56.09	52.36	48.88	45.54	24.02	12.63
5	281.32	218.27	160.29	127.68	107.17	99.58	92.96	86.78	80.84	42.64	22.43
10	390.70	303.12	222.61	177.33	148.84	138.29	129.10	120.52	112.27	59.22	31.15
20	509.81	395.54	290.48	231.39	194.21	180.45	168.46	157.26	146.50	77.27	40.65
50	679.34	527.07	387.08	308.33	258.80	240.46	224.48	209.56	195.21	102.97	54.17
100	815.44	632.66	464.63	370.10	310.65	288.63	269.46	251.54	234.32	123.60	65.02
Período 1961 - 2000											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	154.45	119.83	88.00	70.10	58.84	54.67	51.04	47.64	44.38	23.55	12.45
5	263.02	204.06	149.86	119.38	100.20	93.10	86.91	81.13	75.58	40.10	21.21
10	358.13	277.86	204.06	162.54	136.43	126.76	118.34	110.47	102.91	54.60	28.88
20	460.99	357.66	262.67	209.23	175.62	163.17	152.33	142.20	132.47	70.29	37.17
50	606.62	470.65	345.65	275.33	231.10	214.72	200.45	187.12	174.32	92.49	48.91
100	723.09	561.02	412.01	328.19	275.47	255.94	238.94	223.05	207.79	110.25	58.30
Período 1961 - 2007											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	141.03	109.42	80.36	64.01	53.72	49.92	46.60	43.50	40.52	22.39	12.26
5	230.59	178.90	131.39	104.66	87.84	81.62	76.20	71.13	66.26	36.62	20.05
10	303.77	235.68	173.09	137.87	115.72	107.52	100.38	93.70	87.29	48.24	26.42
20	380.48	295.20	216.79	172.69	144.95	134.67	125.73	117.37	109.33	60.42	33.09
50	486.53	377.48	277.22	220.82	185.35	172.21	160.77	150.08	139.81	77.26	42.31
100	569.91	442.17	324.73	258.66	217.11	201.72	188.32	175.80	163.77	90.50	49.56
Tasa de Variación, %/año											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-0.45	-0.18
5	-1.21	-1.21	-1.21	-1.21	-1.21	-1.21	-1.21	-1.21	-1.21	-0.92	-0.66
10	-1.50	-1.50	-1.50	-1.50	-1.50	-1.50	-1.50	-1.50	-1.50	-1.22	-0.97
20	-1.73	-1.73	-1.73	-1.73	-1.73	-1.73	-1.73	-1.73	-1.73	-1.45	-1.21
50	-1.95	-1.95	-1.95	-1.95	-1.95	-1.95	-1.95	-1.95	-1.95	-1.69	-1.45
100	-2.08	-2.08	-2.08	-2.08	-2.08	-2.08	-2.08	-2.08	-2.08	-1.82	-1.59

Tabla 4.16. Estación 12125. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo

Período 1961 - 1990											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	128.83	99.96	73.41	58.47	49.08	45.60	42.57	39.74	37.02	20.59	11.34
5	181.74	141.00	103.55	82.49	69.23	64.33	60.05	56.06	52.22	29.05	15.99
10	216.23	167.76	123.20	98.14	82.37	76.53	71.45	66.70	62.13	34.56	19.03
20	248.56	192.85	141.63	112.81	94.69	87.98	82.13	76.67	71.42	39.73	21.87
50	289.38	224.51	164.88	131.34	110.24	102.43	95.62	89.26	83.15	46.25	25.46
100	319.33	247.75	181.95	144.93	121.65	113.03	105.52	98.50	91.76	51.04	28.10
Período 1961 - 2000											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	127.83	99.18	72.84	58.02	48.70	45.25	42.24	39.43	36.73	20.57	11.39
5	173.44	134.57	98.83	78.72	66.07	61.39	57.31	53.50	49.84	27.91	15.45
10	201.74	156.53	114.95	91.57	76.86	71.41	66.67	62.23	57.97	32.47	17.98
20	227.57	176.56	129.67	103.29	86.70	80.55	75.20	70.20	65.39	36.63	20.28
50	259.43	201.28	147.82	117.75	98.83	91.83	85.73	80.03	74.55	41.75	23.12
100	282.38	219.09	160.90	128.17	107.58	99.95	93.31	87.11	81.14	45.45	25.16
Período 1961 - 2007											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	119.02	92.34	67.81	54.02	45.34	42.13	39.33	36.71	34.20	19.83	11.28
5	159.25	123.55	90.74	72.28	60.67	56.37	52.62	49.12	45.76	26.53	15.09
10	184.18	142.90	104.94	83.59	70.16	65.19	60.86	56.81	52.92	30.69	17.46
20	206.91	160.54	117.90	93.91	78.83	73.24	68.37	63.83	59.46	34.47	19.61
50	234.94	182.28	133.87	106.63	89.50	83.16	77.63	72.47	67.51	39.14	22.27
100	255.12	197.94	145.37	115.79	97.19	90.30	84.30	78.70	73.31	42.51	24.18
Tasa de Variación, %/año											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	-0.53	-0.53	-0.53	-0.53	-0.53	-0.53	-0.53	-0.53	-0.53	-0.26	-0.05
5	-0.81	-0.81	-0.81	-0.81	-0.81	-0.81	-0.81	-0.81	-0.81	-0.55	-0.34
10	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96	-0.69	-0.48
20	-1.07	-1.07	-1.07	-1.07	-1.07	-1.07	-1.07	-1.07	-1.07	-0.81	-0.60
50	-1.19	-1.19	-1.19	-1.19	-1.19	-1.19	-1.19	-1.19	-1.19	-0.93	-0.72
100	-1.27	-1.27	-1.27	-1.27	-1.27	-1.27	-1.27	-1.27	-1.27	-1.01	-0.80

Tabla 4.17. Estación 12134. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo

Período 1961 - 1990											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	165.60	128.49	94.36	75.16	63.09	58.62	54.72	51.08	47.59	25.21	13.31
5	295.80	229.50	168.54	134.26	112.69	104.70	97.75	91.25	85.00	45.03	23.78
10	411.05	318.92	234.21	186.56	156.59	145.49	135.83	126.80	118.12	62.58	33.05
20	536.25	416.05	305.55	243.39	204.29	189.81	177.20	165.42	154.09	81.64	43.12
50	714.12	554.06	406.90	324.12	272.05	252.77	235.98	220.29	205.21	108.72	57.42
100	856.72	664.69	488.15	388.84	326.37	303.24	283.10	264.27	246.18	130.43	68.88
Período 1961 - 2000											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	154.83	120.12	88.22	70.27	58.98	54.80	51.16	47.76	44.49	23.47	12.35
5	269.88	209.39	153.78	122.49	102.81	95.53	89.18	83.25	77.55	40.91	21.52
10	372.87	289.29	212.46	169.23	142.05	131.98	123.21	115.02	107.15	56.52	29.73
20	485.27	376.50	276.51	220.25	184.87	171.77	160.36	149.69	139.45	73.56	38.70
50	645.55	500.86	367.83	293.00	245.93	228.50	213.32	199.13	185.50	97.85	51.48
100	774.38	600.80	441.23	351.47	295.00	274.10	255.89	238.87	222.52	117.38	61.75
Período 1961 - 2007											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	141.01	109.40	80.35	64.00	53.72	49.91	46.60	43.50	40.52	22.26	12.13
5	237.02	183.90	135.05	107.58	90.30	83.90	78.32	73.11	68.11	37.41	20.38
10	316.68	245.70	180.44	143.73	120.64	112.09	104.65	97.69	91.00	49.98	27.23
20	400.76	310.93	228.35	181.89	152.67	141.85	132.43	123.62	115.16	63.25	34.46
50	517.63	401.60	294.94	234.94	197.19	183.22	171.05	159.67	148.74	81.70	44.51
100	609.86	473.16	347.49	276.80	232.33	215.86	201.52	188.12	175.25	96.25	52.44
Tasa de Variación, %/año											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96	-0.71	-0.49
5	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.07	-0.85
10	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54	-1.31	-1.10
20	-1.72	-1.72	-1.72	-1.72	-1.72	-1.72	-1.72	-1.72	-1.72	-1.50	-1.30
50	-1.90	-1.90	-1.90	-1.90	-1.90	-1.90	-1.90	-1.90	-1.90	-1.68	-1.48
100	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00	-1.79	-1.59

Tabla 4.18. Estación 12150. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo

Período 1961 - 1990											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	186.98	145.07	106.54	84.86	71.23	66.18	61.79	57.68	53.73	29.68	16.25
5	330.38	256.33	188.25	149.95	125.86	116.94	109.17	101.91	94.94	52.45	28.71
10	439.24	340.79	250.28	199.36	167.33	155.47	145.15	135.49	126.22	69.73	38.17
20	549.48	426.32	313.09	249.39	209.33	194.49	181.57	169.50	157.90	87.23	47.75
50	697.79	541.39	397.59	316.71	265.83	246.99	230.58	215.25	200.51	110.77	60.64
100	812.08	630.05	462.71	368.58	309.37	287.44	268.35	250.50	233.36	128.91	70.57
Período 1961 - 2000											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	174.68	135.53	99.53	79.28	66.55	61.83	57.72	53.88	50.20	27.82	15.27
5	284.50	220.73	162.11	129.13	108.38	100.70	94.01	87.76	81.75	45.31	24.87
10	364.72	282.97	207.81	165.54	138.94	129.09	120.52	112.51	104.80	58.08	31.88
20	444.44	344.82	253.24	201.72	169.31	157.31	146.86	137.10	127.71	70.78	38.85
50	550.10	426.80	313.44	249.68	209.57	194.71	181.78	169.69	158.08	87.60	48.08
100	630.61	489.26	359.32	286.22	240.23	223.21	208.38	194.52	181.21	100.42	55.12
Período 1961 - 2007											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	157.66	122.32	89.83	71.56	60.06	55.80	52.10	48.63	45.30	25.52	14.19
5	232.29	180.23	132.36	105.43	88.49	82.22	76.76	71.66	66.75	37.60	20.91
10	354.79	275.27	202.16	161.03	135.16	125.58	117.24	109.44	101.95	57.43	31.94
20	447.68	347.33	255.08	203.19	170.55	158.46	147.93	138.09	128.64	72.46	40.30
50	536.72	416.42	305.82	243.60	204.47	189.97	177.35	165.56	154.23	86.87	48.31
100	597.63	463.67	340.52	271.25	227.67	211.53	197.48	184.35	171.73	96.73	53.80
Tasa de Variación, %/año											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	-1.02	-1.03	-1.03	-1.02	-1.03	-1.03	-1.02	-1.03	-1.03	-0.90	-0.81
5	-2.01	-2.01	-2.01	-2.01	-2.01	-2.01	-2.00	-2.00	-2.01	-1.90	-1.81
10	-1.04	-1.04	-1.04	-1.04	-1.04	-1.04	-1.04	-1.04	-1.04	-0.92	-0.81
20	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.77	-0.67
50	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.11	-1.00
100	-1.49	-1.49	-1.49	-1.49	-1.49	-1.49	-1.49	-1.49	-1.49	-1.37	-1.27

Tabla 4.19. Estación 12198. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo

Período 1961 - 1990											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	160.95	124.87	91.71	73.05	61.31	56.97	53.18	49.65	46.25	24.13	12.57
5	357.66	277.49	203.79	162.33	136.25	126.60	118.19	110.33	102.77	53.62	27.92
10	458.21	355.51	261.08	207.97	174.56	162.19	151.41	141.34	131.67	68.69	35.77
20	542.81	421.14	309.29	246.37	206.79	192.13	179.37	167.44	155.98	81.37	42.38
50	646.98	501.96	368.64	293.64	246.47	229.00	213.79	199.57	185.91	96.99	50.51
100	723.49	561.32	412.24	328.37	275.62	256.08	239.07	223.17	207.90	108.46	56.48
Período 1961 - 2000											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	153.40	119.01	87.40	69.62	58.44	54.30	50.69	47.32	44.08	23.49	12.47
5	271.19	210.40	154.52	123.09	103.31	95.99	89.61	83.65	77.93	41.53	22.05
10	383.69	297.69	218.62	174.14	146.17	135.81	126.79	118.36	110.25	58.76	31.20
20	474.77	368.35	270.52	215.49	180.87	168.05	156.89	146.45	136.43	72.71	38.60
50	582.91	452.26	332.14	264.57	222.06	206.33	192.62	179.81	167.50	89.27	47.40
100	661.16	512.97	376.73	300.08	251.87	234.02	218.48	203.95	189.99	101.26	53.76
Período 1961 - 2007											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	138.29	107.30	78.80	62.77	52.68	48.95	45.70	42.66	39.74	21.69	11.76
5	243.83	189.18	138.93	110.67	92.89	86.31	80.57	75.21	70.07	38.25	20.73
10	329.64	255.75	187.82	149.61	125.58	116.68	108.93	101.68	94.72	51.71	28.03
20	419.37	325.37	238.96	190.34	159.76	148.44	138.58	129.36	120.51	65.79	35.66
50	543.21	421.46	309.52	246.55	206.94	192.27	179.50	167.57	156.10	85.22	46.19
100	640.45	496.89	364.92	290.68	243.98	226.69	211.63	197.56	184.04	100.47	54.46
Tasa de Variación, %/año											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	-0.94	-0.94	-0.94	-0.94	-0.94	-0.94	-0.94	-0.94	-0.94	-0.68	-0.45
5	-1.93	-1.93	-1.93	-1.93	-1.93	-1.93	-1.93	-1.93	-1.93	-1.69	-1.48
10	-1.82	-1.82	-1.82	-1.82	-1.82	-1.82	-1.82	-1.82	-1.82	-1.58	-1.36
20	-1.46	-1.46	-1.46	-1.46	-1.46	-1.46	-1.46	-1.46	-1.46	-1.21	-0.99
50	-0.98	-0.98	-0.98	-0.98	-0.98	-0.98	-0.98	-0.98	-0.98	-0.72	-0.49
100	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.65	-0.39	-0.15

Tabla 4.20. Estación 12204. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo

Período 1961 - 1990											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	149.25	115.80	85.04	67.74	56.86	52.83	49.32	46.04	42.89	23.85	13.13
5	204.92	158.99	116.76	93.01	78.06	72.53	67.71	63.21	58.88	32.75	18.03
10	244.19	189.46	139.14	110.83	93.03	86.43	80.69	75.33	70.17	39.03	21.48
20	282.55	219.22	160.99	128.24	107.64	100.01	93.37	87.16	81.19	45.16	24.86
50	332.67	258.11	189.55	150.99	126.73	117.75	109.93	102.62	95.60	53.17	29.27
100	370.45	287.42	211.08	168.14	141.13	131.12	122.41	114.27	106.45	59.20	32.59
Período 1961 - 2000											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	141.71	109.95	80.75	64.32	53.99	50.16	46.83	43.71	40.72	22.65	12.47
5	193.47	150.10	110.24	87.81	73.70	68.48	63.93	59.68	55.59	30.92	17.02
10	228.31	177.14	130.09	103.63	86.98	80.81	75.45	70.43	65.61	36.49	20.09
20	261.55	202.92	149.03	118.71	99.64	92.58	86.43	80.68	75.16	41.80	23.01
50	304.12	235.95	173.28	138.03	115.85	107.64	100.49	93.81	87.39	48.61	26.76
100	335.71	260.46	191.29	152.37	127.89	118.83	110.93	103.56	96.47	53.66	29.54
Período 1961 - 2007											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	129.53	100.49	73.80	58.79	49.34	45.85	42.80	39.95	37.22	21.50	12.20
5	171.27	132.88	97.59	77.73	65.25	60.62	56.60	52.83	49.22	28.43	16.13
10	198.91	154.32	113.34	90.28	75.78	70.40	65.73	61.36	57.16	33.02	18.73
20	225.42	174.89	128.44	102.31	85.87	79.79	74.49	69.54	64.78	37.42	21.22
50	259.74	201.52	147.99	117.89	98.95	91.94	85.83	80.12	74.64	43.12	24.46
100	285.45	221.47	162.65	129.56	108.74	101.04	94.33	88.05	82.03	47.38	26.88
Tasa de Variación, %/año											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	-0.87	-0.87	-0.87	-0.87	-0.87	-0.87	-0.87	-0.87	-0.87	-0.61	-0.41
5	-1.10	-1.10	-1.10	-1.10	-1.10	-1.10	-1.10	-1.10	-1.10	-0.85	-0.65
10	-1.24	-1.25	-1.24	-1.24	-1.24	-1.25	-1.24	-1.25	-1.24	-1.00	-0.81
20	-1.36	-1.36	-1.36	-1.36	-1.36	-1.36	-1.36	-1.36	-1.36	-1.12	-0.93
50	-1.47	-1.47	-1.47	-1.47	-1.47	-1.47	-1.47	-1.47	-1.47	-1.24	-1.04
100	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54	-1.54	-1.30	-1.11

Tabla 4.21. Estación 12229. Magnitudes de intensidad – duración – período de retorno y porcentaje de variación en el tiempo

Período 1961 - 1990											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	158.42	122.91	90.27	71.90	60.35	56.07	52.35	48.87	45.52	23.81	12.43
5	291.30	226.00	165.98	132.21	110.97	103.11	96.26	89.86	83.71	43.78	22.86
10	412.38	319.95	234.97	187.17	157.10	145.97	136.27	127.21	118.50	61.98	32.36
20	545.58	423.29	310.87	247.62	207.84	193.11	180.28	168.30	156.78	82.00	42.81
50	736.60	571.49	419.71	334.32	280.61	260.72	243.40	227.22	211.67	110.71	57.79
100	890.76	691.10	507.55	404.29	339.34	315.29	294.35	274.77	255.96	133.88	69.89
Período 1961 - 2000											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	152.33	118.19	86.80	69.14	58.03	53.92	50.34	46.99	43.77	23.04	12.09
5	265.39	205.90	151.22	120.45	101.10	93.94	87.70	81.86	76.26	40.14	21.07
10	367.37	285.03	209.33	166.74	139.95	130.03	121.40	113.32	105.57	55.56	29.17
20	479.07	371.69	272.97	217.44	182.51	169.57	158.31	147.78	137.66	72.45	38.04
50	638.74	495.57	363.95	289.91	243.33	226.09	211.07	197.03	183.55	96.60	50.71
100	767.30	595.32	437.20	348.26	292.31	271.59	253.55	236.69	220.49	116.04	60.92
Período 1961 - 2007											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	139.69	108.38	79.59	63.40	53.21	49.44	46.16	43.09	40.14	22.03	11.99
5	233.45	181.12	133.02	105.96	88.93	82.63	77.14	72.01	67.08	36.81	20.04
10	311.94	242.02	177.74	141.58	118.84	110.41	103.08	96.22	89.64	49.19	26.78
20	395.13	306.56	225.14	179.34	150.53	139.86	130.57	121.89	113.54	62.30	33.92
50	511.12	396.55	291.23	231.98	194.71	180.91	168.89	157.66	146.87	80.59	43.87
100	602.86	467.73	343.50	273.62	229.66	213.39	199.21	185.96	173.24	95.06	51.75
Tasa de Variación, %/año											
Tr (años)	Duración, (minutos)										
	5	10	20	30	40	45	50	55	60	120	240
2	-0.78	-0.78	-0.79	-0.78	-0.79	-0.79	-0.79	-0.79	-0.78	-0.47	-0.20
5	-1.30	-1.30	-1.30	-1.30	-1.30	-1.30	-1.30	-1.30	-1.30	-1.01	-0.74
10	-1.62	-1.62	-1.62	-1.62	-1.62	-1.62	-1.62	-1.62	-1.62	-1.34	-1.08
20	-1.86	-1.86	-1.86	-1.86	-1.86	-1.86	-1.86	-1.86	-1.86	-1.58	-1.33
50	-2.09	-2.09	-2.09	-2.09	-2.09	-2.09	-2.09	-2.09	-2.09	-1.82	-1.58
100	-2.22	-2.22	-2.22	-2.22	-2.22	-2.22	-2.22	-2.22	-2.22	-1.96	-1.72

Solo en esta región analizada se aprecia que existe una disminución de 1% cada año en los eventos de diseño estimados. Para períodos de retorno igual a 100, la magnitud de los eventos se reduce hasta en un 1.5% cada año.

Por otro lado, la seguridad estructural en esta zona se encuentra sobrestimada cierto porcentaje en las obras hidráulicas. Sin embargo, por el lado de disponibilidad se presentan otros problemas; la administración del agua calculada en el período de 1990 debe modificarse sustancialmente, ya que después de 20 años con una programación de 1990 representa una disminución de hasta el 20% de disponibilidad de agua para diferentes usos.

En el Anexo 8 se muestran las isoyetas de intensidad de lluvia para períodos de retorno de 2, 10, 20, 50 y 100 años con duraciones de 5, 10, 20, 30, 50, 60, 120 y 240 minutos. En las isoyetas elaboradas es destacable diferenciar el patrón de lluvias existente en la costa, en la cima de la Sierra Madre del Sur y en el sotavento de la misma; este patrón es reflejo de las magnitudes presentadas por el cociente R en las diferentes zonas del estado.

Aplicación de las curvas i – d –Tr

La disminución de la precipitación en la cuenca río Huacapa, aumenta la incertidumbre acerca de las causas que originan inundaciones en las partes bajas de la cuenca. Los resultados analizados de precipitación conducen a analizar la respuesta de la cuenca ante diferentes eventos. Para ello es necesario evaluar los factores esenciales en la caracterización del drenaje y escurrimiento propio de la cuenca.

Dependiendo del modelo lluvia – escurrimiento empleado, deben elegirse aquellas variables susceptibles a cambios importantes en el transcurrir del tiempo. La variable común en la mayoría de los modelos consiste en el Coeficiente de Escurrimiento (CE), el cual es sumamente afectado por actividades como la deforestación, cambio de uso de suelo, fenómenos de desertificación y erosión.

En varios lugares resulta complicado disponer de información detallada de la evolución de la cobertura vegetal y de planes de proyección de crecimiento urbano o de conservación de recursos forestales. Para la cuenca río Huacapa se dispone de mapas temáticos de cobertura vegetal del año 1976 y 2000 proporcionados por el Instituto Nacional de Ecología (INE, Anexo 1), área de crecimiento decenal de la mancha urbana de la Ciudad de Chilpancingo desde 1960 hasta el año 2000, obtenido del Plan de Desarrollo Urbano 2003 para la Ciudad de Chilpancingo.

En la Tabla 4.2., se indican los parámetros necesarios para obtener el coeficiente de escurrimiento, en la que destaca la distinción del CE para períodos de retorno mayor y menor a 25 años. En la Figura 4.94., se muestra la evolución del CE en la cuenca río Huacapa para períodos de retorno menor a 25 años; en la Figura 4.94., se indica el cambio de CE para períodos de retorno mayor a 25 años.

Para obtener una proyección del coeficiente de escurrimiento se calculó el porcentaje de área que ocupan determinados intervalos de coeficiente de escurrimiento para los años 1960, 1970, 1980, 1990 y 2000. En la Tabla 4.22., se indican los intervalos en que se dividieron los coeficientes de escurrimiento. Las proyecciones para los años 2005 – 2030 se realizó mediante regresión lineal, verificando la conservación del área total de la cuenca.

Tabla 4.22. Porcentaje de área ocupado por rangos de CE

CE (Tr <= 25)	Año							
	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030
0.000 – 0.120	0.2476	0.2476	0.2334	0.2334	0.2334	0.2250	0.2200	0.2150
0.121 – 0.140	0.0440	0.0440	0.0426	0.0423	0.0421	0.0420	0.0410	0.0400
0.141 – 0.160	0.4521	0.4521	0.4174	0.4170	0.4157	0.4000	0.3850	0.3750
0.161 – 0.200	0.0158	0.0156	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.201 – 0.220	0.0820	0.0820	0.0742	0.0655	0.0532	0.0500	0.0450	0.0350
0.221 – 0.240	0.0483	0.0483	0.1349	0.1343	0.1279	0.1200	0.0950	0.0850
0.241 – 0.260	0.0683	0.0606	0.0417	0.0331	0.0225	0.0200	0.0140	0.0000
0.261 – 0.440	0.0296	0.0288	0.0231	0.0213	0.0165	0.0130	0.0100	0.0000
0.441 – 0.720	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
0.721 – 0.760	0.0122	0.0208	0.0327	0.0530	0.0887	0.1300	0.1900	0.2500
CE (Tr > 25)	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030
0.000 – 0.140	0.2476	0.2476	0.2334	0.2334	0.2334	0.2250	0.2200	0.2200
0.141 – 0.180	0.1485	0.1485	0.1035	0.1035	0.1035	0.0950	0.0950	0.0900
0.181 – 0.200	0.3389	0.3389	0.3246	0.3243	0.3234	0.3150	0.3150	0.3100
0.201 – 0.220	0.0087	0.0087	0.0319	0.0315	0.0310	0.0300	0.0250	0.0150
0.221 – 0.260	0.0158	0.0156	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.261 – 0.280	0.0000	0.0000	0.0299	0.0211	0.0089	0.0070	0.0060	0.0050
0.281 – 0.300	0.0820	0.0820	0.0443	0.0443	0.0443	0.0380	0.0330	0.0300
0.301 – 0.320	0.0483	0.0483	0.0761	0.0755	0.0690	0.0600	0.0470	0.0400
0.321 – 0.340	0.0683	0.0606	0.1006	0.0920	0.0813	0.0700	0.0560	0.0300
0.341 – 0.520	0.0296	0.0288	0.0231	0.0213	0.0165	0.0150	0.0130	0.0100
0.521 – 0.800	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
0.801 – 0.880	0.0000	0.0000	0.0327	0.0530	0.0887	0.1450	0.1900	0.2500
0.881 – 0.900	0.0122	0.0208	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

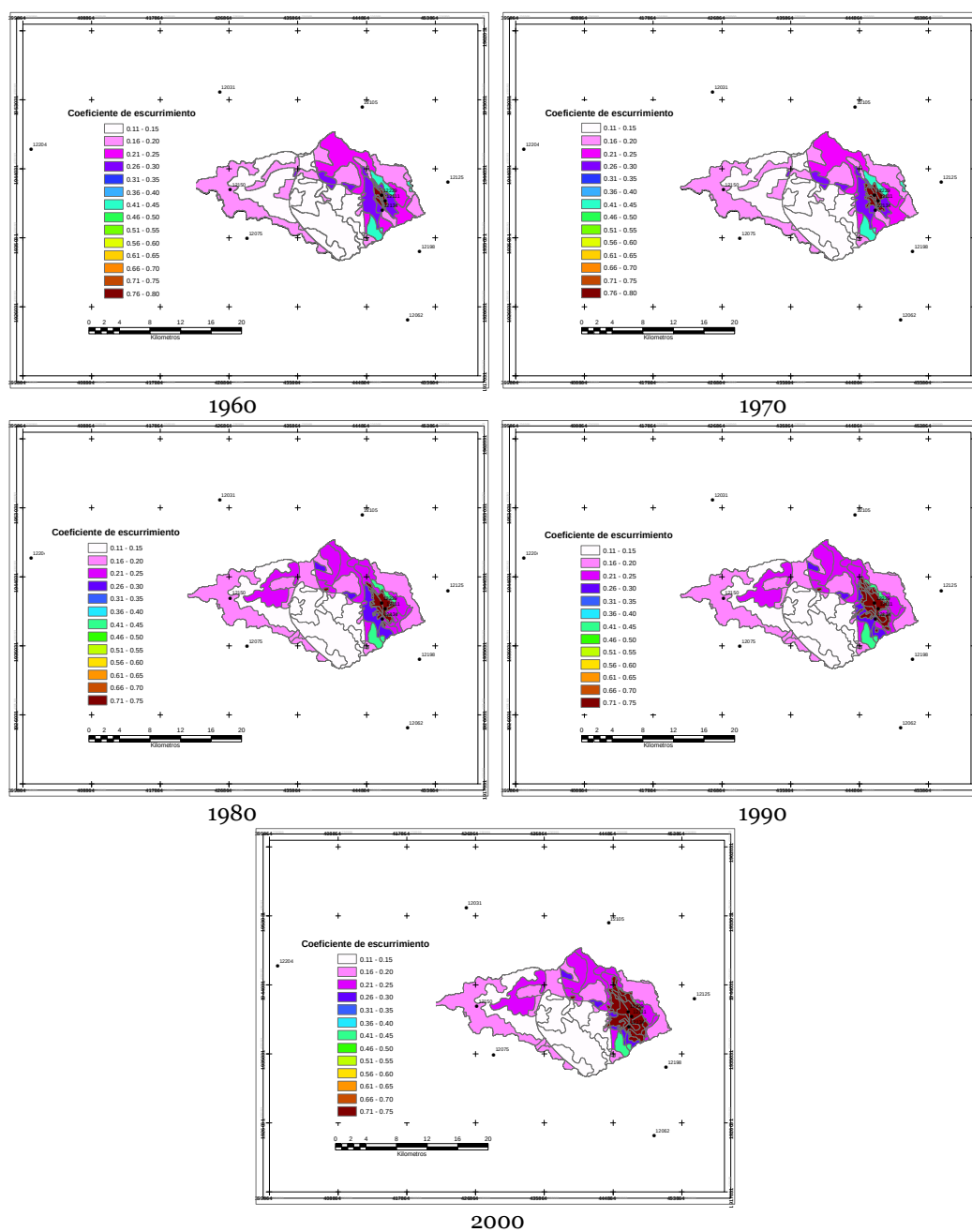


Figura 4.94. Variación del coeficiente de escurrimiento para períodos de retorno menor a 25 años

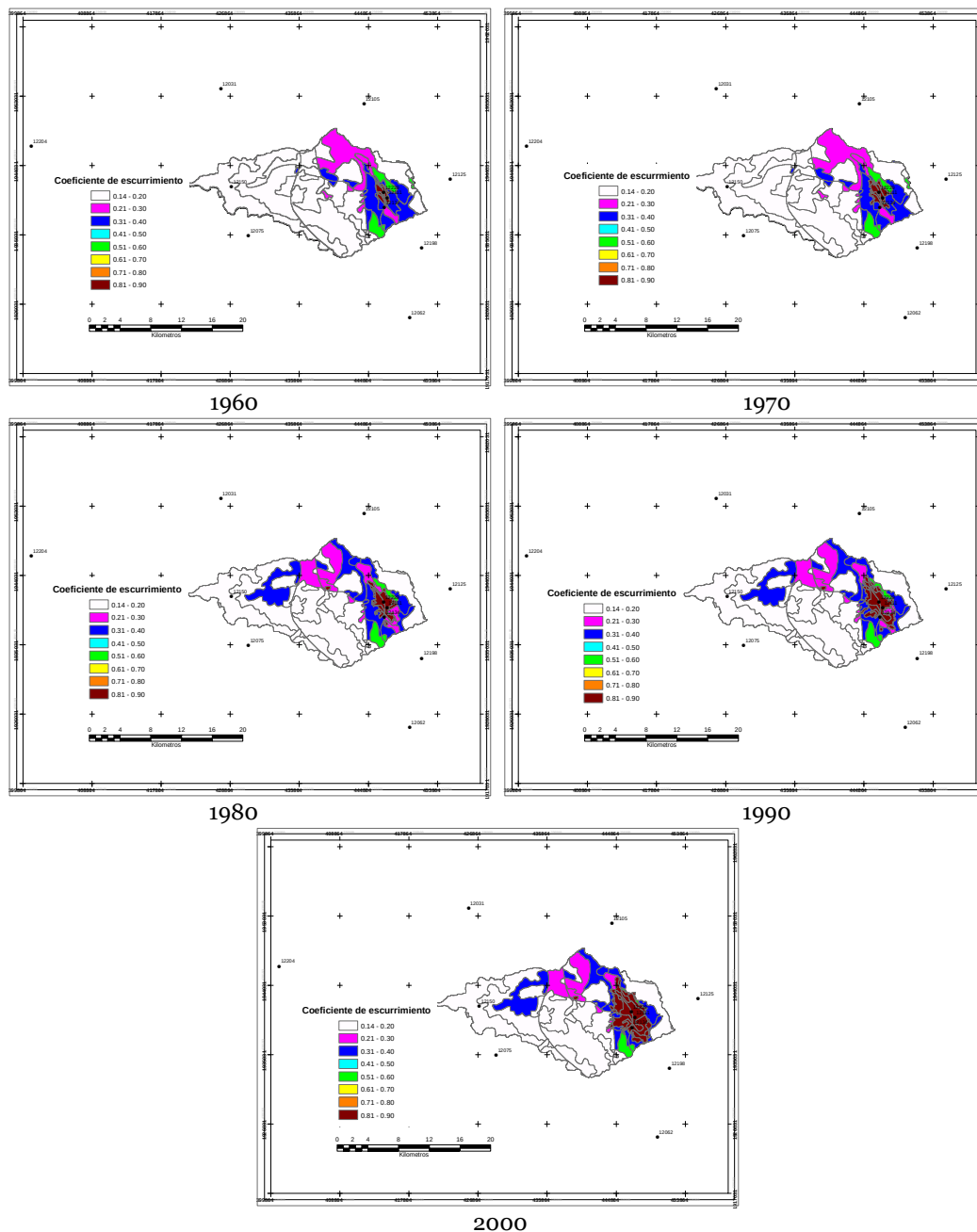


Figura 4.95. Variación del coeficiente de escurrimiento para períodos de retorno mayor a 25 años

En la Tabla 4.22., se observa que los valores que tienden a decrecer son aquellos menores a 0.4, los cuales se asocian a áreas de bosques y selvas tropicales. En cambio, $CE > 0.5$ tiende a ocupar mayores porciones de la cuenca, relacionado con el incremento de zonas de cultivos y pastizales y el crecimiento de la superficie urbana.

Para obtener un solo valor de CE representativo de la cuenca, basta con multiplicar los porcentajes de área por la media de intervalo de clase en que se subdividió el CE. En la Tabla 4.23., se muestran los valores de CE para la cuenca río Huacapa, considerando período de retorno mayor o menor a 25 años.

Tabla 4.23. Variación decenal del Coeficiente de Esguerrimiento en la cuenca río Huacapa

CE	Año							
	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030
Tr <= 25	0.1811	0.1853	0.1953	0.2056	0.2233	0.2464	0.2789	0.3095
Tr > 25	0.2249	0.2296	0.2442	0.2555	0.2750	0.3100	0.3360	0.3709

Las intensidades de lluvia y el coeficiente de esguerrimiento en la cuenca siguen tendencias contrarias. Solo resta aplicar el modelo de Hidrograma de Salida explicado en el capítulo 4, para determinar la modificación del gasto en la cuenca.

El Hidrograma de Salida se aplicará a 8 escenarios planteados; los tres primeros corresponden a condiciones pasadas asociados a los años 1990, 2000 y 2007; el cuarto escenario modela el gasto de salida con la precipitación del año 2007 y el CE del año 1990; los cuatro últimos escenarios corresponden a proyecciones futuras para los años 2020 y 2030, en donde el INE proyecta variaciones de precipitación de $\pm 5\%$ para el año 2020 y para el año 2030 de $+5\%$ y -10% .

Los parámetros que se consideran permanentes en el tiempo son las características fisiográficas de la cuenca. Enseguida se presenta las características de la cuenca empleadas en el cálculo del Hidrograma de Salida. Los parámetros que cambian para cada escenario, coeficiente de esguerrimiento y precipitación, se muestran en la Tabla 4.24.

Área de la cuenca = 265 km²

Longitud del cauce principal = 37.74 km

Pendiente del cauce principal = 0.047

Tiempo de concentración = 4.25 horas

Duración en exceso = 4.12 horas

Tiempo de retraso = 2.55 horas

Tiempo pico = 4.61 horas

Tiempo base = 12.31 horas

Tabla 4.24. Coeficiente de Esguerrimiento y altura de precipitación para los distintos escenarios analizados en la cuenca río Huacapa

Coeficiente de esguerrimiento						
Escenario	Período de retorno, (años)					
	2	5	10	20	50	100
1 (1990)	0.21	0.21	0.21	0.21	0.26	0.26
2 (2000)	0.22	0.22	0.22	0.22	0.27	0.27
3 (2007)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.29	0.29
4 (1990) ⁱ	0.21	0.21	0.21	0.21	0.26	0.26
5 (2020) ⁱⁱ	0.28	0.28	0.28	0.28	0.34	0.34
6 (2020) ⁱⁱⁱ	0.28	0.28	0.28	0.28	0.34	0.34
7 (2030) ^{iv}	0.31	0.31	0.31	0.31	0.37	0.37
8 (2030) ^v	0.31	0.31	0.31	0.31	0.37	0.37
Precipitación regional en la cuenca (metros)						
1 (1990)	0.0545	0.0959	0.1313	0.1660	0.2133	0.2503
2 (2000)	0.0518	0.0870	0.1170	0.1474	0.1888	0.2212
3 (2007)	0.0502	0.0786	0.1087	0.1367	0.1709	0.1964
4 (1990) ⁱ	0.0502	0.0786	0.1087	0.1367	0.1709	0.1964
5 (2020) ⁱⁱ	0.0527	0.0826	0.1141	0.1435	0.1794	0.2062
6 (2020) ⁱⁱⁱ	0.0477	0.0747	0.1033	0.1298	0.1623	0.1866
7 (2030) ^{iv}	0.0527	0.0826	0.1141	0.1435	0.1794	0.2062
8 (2030) ^v	0.0452	0.0708	0.0978	0.1230	0.1538	0.1767

ⁱ Precipitación del año 2007 con CE del año 1990

ⁱⁱ Precipitación incrementada en 5% respecto al período 1961 – 2007

ⁱⁱⁱ Precipitación disminuida en 5% respecto al período 1961 – 2007

^{iv} Precipitación incrementada en 5% respecto al período 1961 – 2007

^v Precipitación disminuida en 10% respecto al período 1961 – 2007

Los resultados se muestran en la Figura 4.96 – 4.102, presentando los hidrogramas de salida elaborados por períodos de retorno.

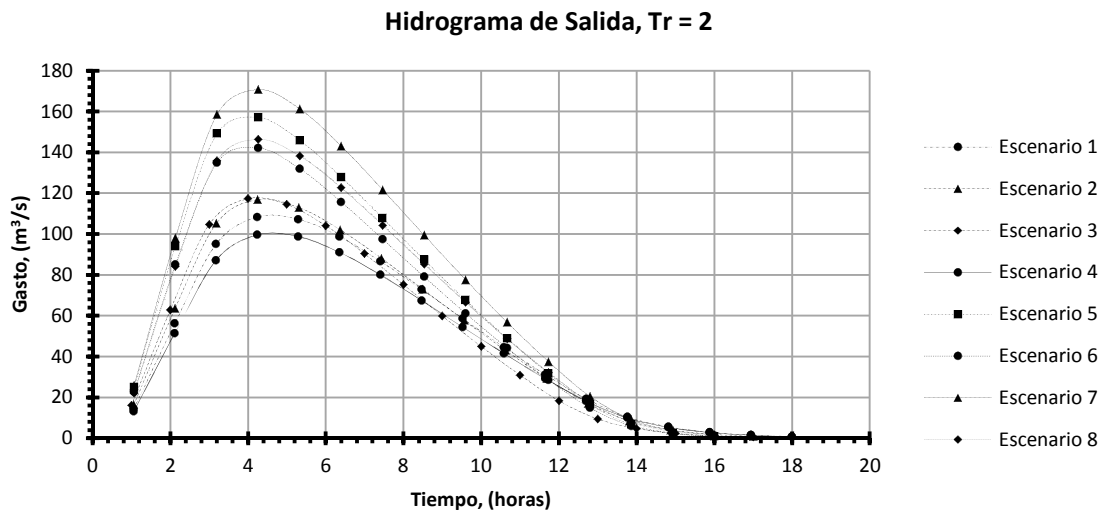


Figura 4.96. Hidrograma de Salida en la cuenca río Huacapa, Tr = 2 años

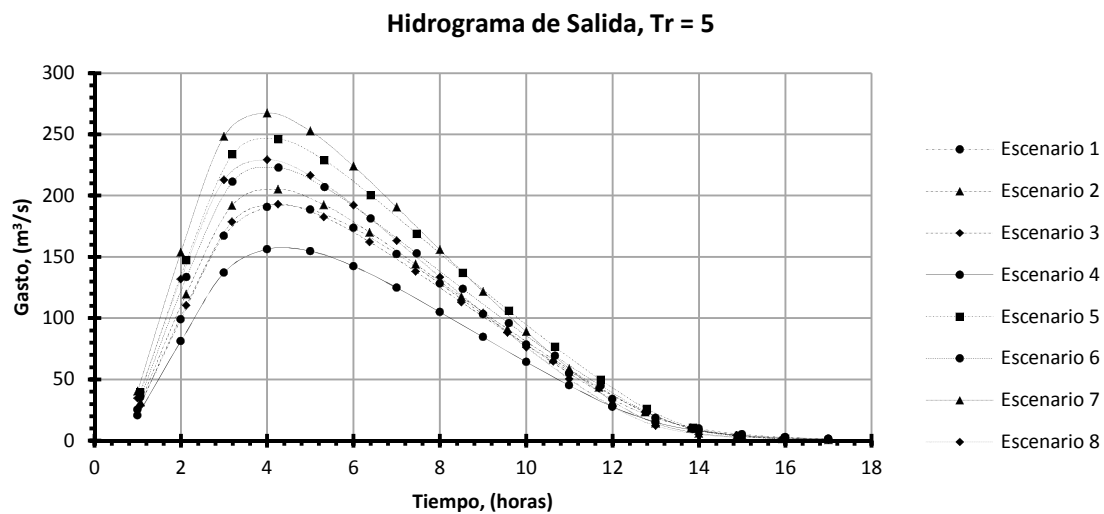


Figura 4.97 Hidrograma de Salida en la cuenca río Huacapa, Tr = 5 años

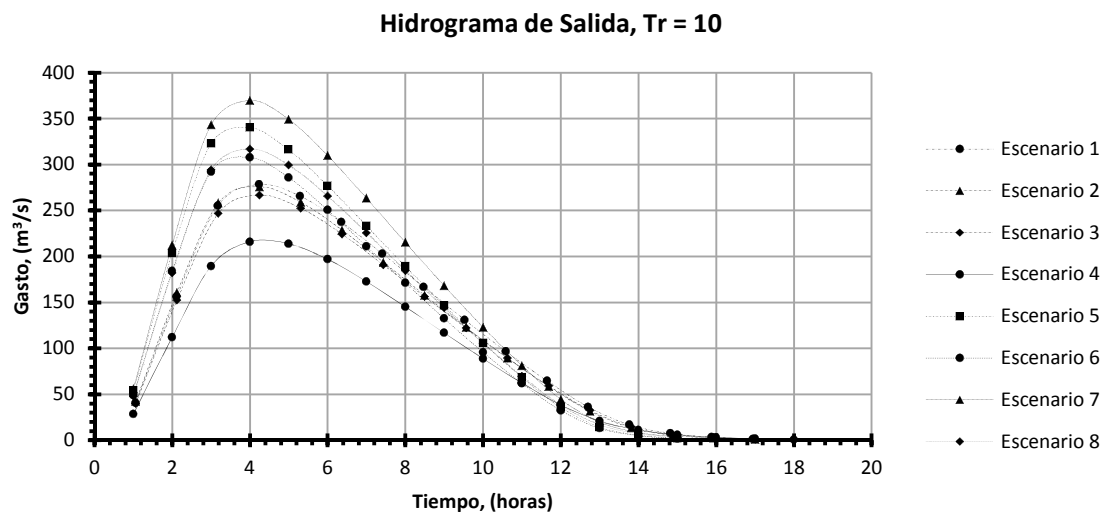


Figura 4.98 Hidrograma de Salida en la cuenca río Huacapa, Tr = 10 años

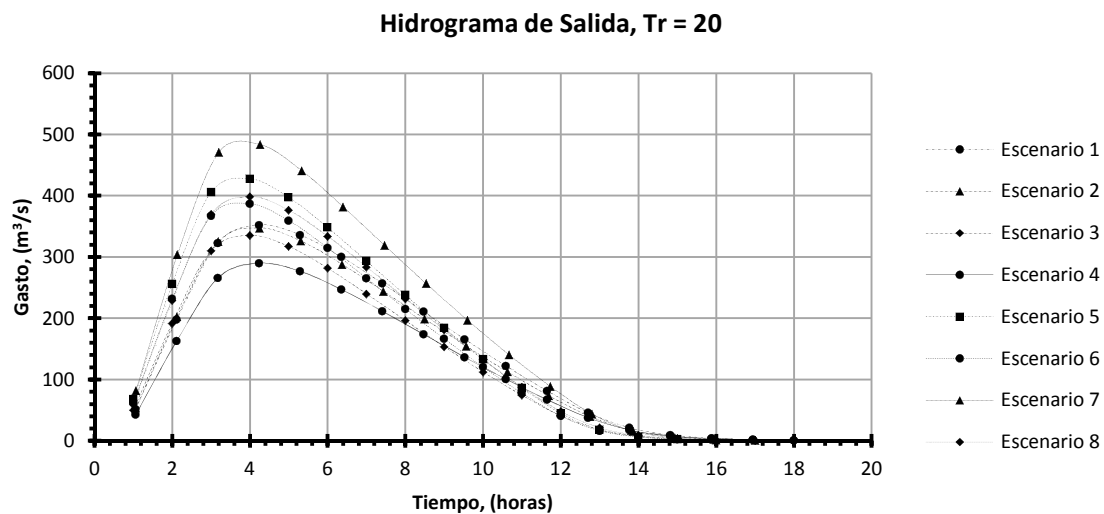


Figura 4.99 Hidrograma de Salida en la cuenca río Huacapa, Tr = 20 años

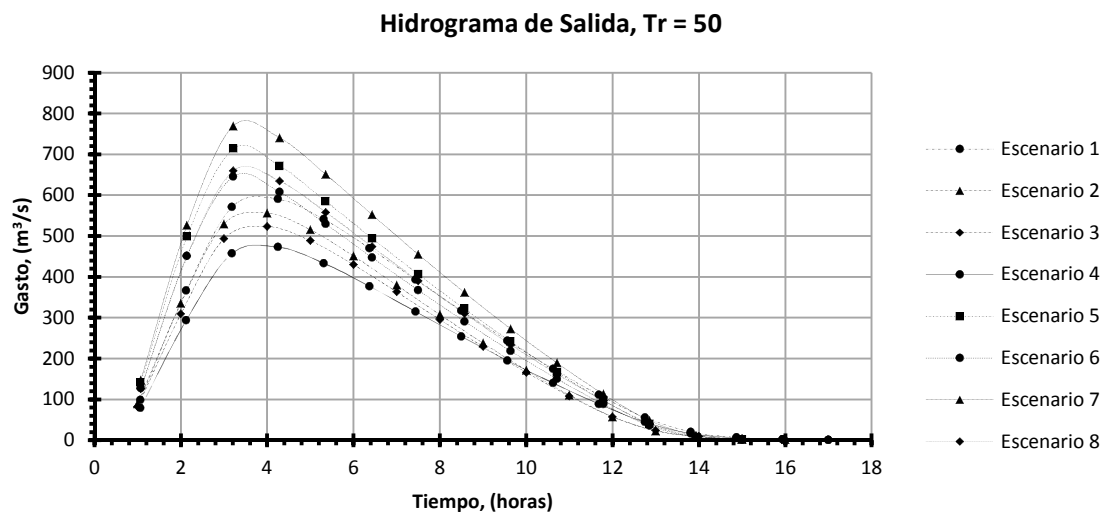


Figura 4.100 Hidrograma de Salida en la cuenca río Huacapa, Tr = 50 años

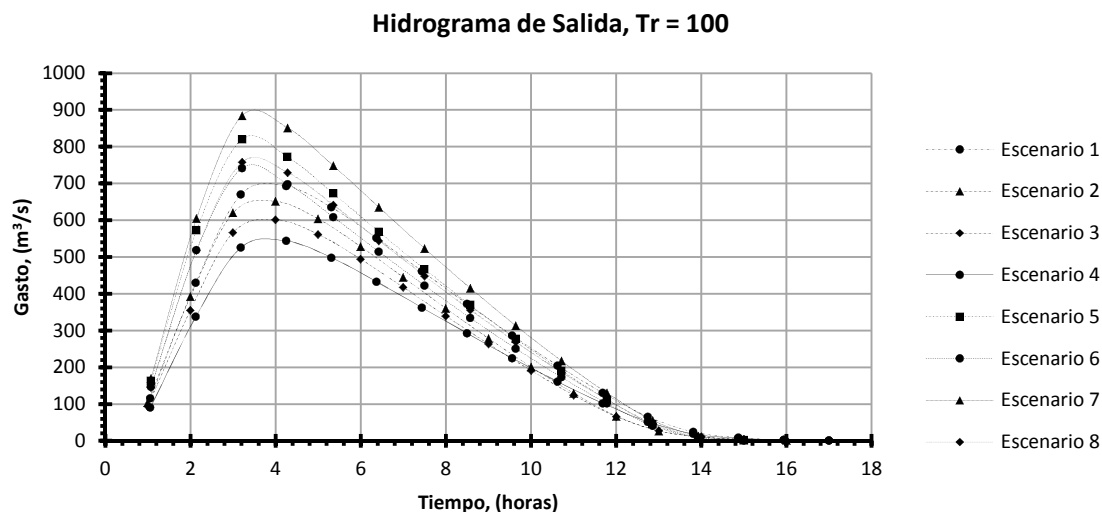


Figura 4.101. Hidrograma de Salida en la cuenca río Huacapa, Tr = 100 años

Los Hidrogramas demuestran que para períodos de retorno menor a 50 años el gasto no cambia significativamente para los años 1990 – 2007. Sin embargo, para $Tr \geq 50$, el coeficiente de escurrimiento resulta preponderante debido a que el gasto se incrementa hasta en $100\text{m}^3/\text{s}$ en el año 2007 en comparación con el año 1990, a pesar de que llueve en menor cantidad en el año 2007 con respecto a 1990; se reafirma la importancia del CE en la amplificación del gasto.

Para los escenarios de proyección se obtiene que cualquier condición provocará gastos mayores a los registrados hasta el momento, debido en gran parte al incremento de zonas urbanas y a la deforestación de bosques y selvas.

El caso crítico es para el año 2030 con un incremento de la precipitación en 5%, en donde la superficie urbana puede llegar a ocupar hasta el 25% del total de la cuenca, propiciando mayores escurrimientos y en consecuencia inundaciones en la parte baja de la cuenca.

Conclusiones

Se han analizado 26 índices presentados por el ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) y 16 índices propuestos. La variable temperatura se estudia mediante el cálculo de 16 índices climáticos, 24 índices estudian la precipitación y 2 índices analizan la evaporación. De los 42 índices climáticos, solo se ha obtenido una tendencia estadísticamente significativa en 17 índices: 8 índices relacionados con la temperatura del aire, 7 índices relacionados con la precipitación y 2 índices con la evaporación. Los resultados muestran cambios significativos en la precipitación, variable íntimamente relacionada con los procesos hidrológicos, objeto de este trabajo.

Respecto a la variable temperatura, los índices que presentan tendencia positiva significativa se encuentran: Días de verano (SU25), temperatura mínima TX (TXn), noches cálidas (Tn90p), días cálidos (TX90p), índice de duración de período cálido (WSDI), índice de duración de períodos fríos (CSDI) y amplitud térmica (DTR). Mientras que la temperatura máxima TN (TNx) fue el único índice con tendencia negativa.

Los índices de temperatura indican que los cambios sustanciales se presentan en la región del Balsas en Tierra Caliente y en las partes altas de La Montaña. La temperatura tiende a volverse extremosa principalmente por el aumento de la temperatura máxima.

En la variable precipitación, los índices con tendencia positiva fueron: índice de intensidad diaria (SDII), días de lluvia con 0 mm (R00), días con lluvia entre 20 y 70 mm (R2070), días con lluvia mayor a 150mm (Rm150), días en que la lluvia es mayor al percentil 95th(R95PTOT) y días en que la lluvia es mayor al percentil 99th(R99PTOT). Por otro lado, el índice con tendencia negativa solo fue días con lluvia entre 5 y 20 mm (R520).

Los resultados indican que la precipitación presenta cambios en la intensidad de la lluvia manteniendo el volumen de agua precipitado en el estado. La lluvia que deja de presentarse en varios días tiende a acumularse y precipitarse en menos días, conduciendo al aceleramiento de erosión del suelo, deslaves e inundaciones potenciales.

Los dos índices establecidos para la evaporación detectan una disminución en la cantidad de agua evaporada anualmente. Los resultados de evaporación no son afines con los resultados de precipitación y evaporación obtenidos e involucra otras variables importantes como radiación solar, cobertura de nubes y humedad. No obstante, las zonas alejadas de las costas, donde las lluvias no son netamente orográficas, muestran una relación entre zonas de menor evaporación y precipitación al establecer el tren de efectos de evaporación, formación de nubes y precipitación.

Respecto a la construcción de las curvas $i - d - Tr$ se observa que la magnitud disminuye levemente en regiones donde la precipitación descende en los últimos años, presentándose en el norte del estado y en la Región Centro; sin embargo, en regiones costeras es muy susceptible el aumento en magnitud de las curvas $i - d - Tr$ por la ocurrencia de un solo fenómeno meteorológico como es el caso de huracanes.

Existe un fenómeno que puede conducir a estudios meteorológicos posteriores. La transformación de zonas forestales en zonas de cultivo en regiones planas y faldas de las montañas propicia cambios en la temperatura y concentración de la humedad del aire, lo que produce que la condensación de nubes se lleve a cabo en zonas más elevadas, desencadenando la precipitación en la cima de las montañas. Este fenómeno podría explicar el hecho de que la precipitación se concentre en pocos días pero con mayor intensidad. El cambio de uso de suelo no solo modifica las condiciones atmosféricas en una región, sino que transforma sustancialmente la respuesta de escurrimiento de la cuenca.

La cuenca del río Huacapa es un claro ejemplo de los efectos que puede acarrear los cambios de tendencia en las variables estudiadas. En esta cuenca existe tendencia a aumentar la temperatura acompañada de una disminución de la precipitación y un aumento del coeficiente de escurrimiento, debido en gran parte al crecimiento de la superficie urbana.

El aumento de la temperatura propicia la condensación de nubes en niveles atmosféricos más elevados o puede desplazar el patrón de lluvia a nuevas zonas propicias. El modelo de lluvia – escurrimiento elaborado demuestra que el gasto en la cuenca aumenta a pesar de disminuir la precipitación debido a que adquiere mayor peso el cambio de uso de suelo de la cuenca por superficies menos permeables.

Este hecho conduce a dos problemas en la cuenca. Por un lado existen problemas de disponibilidad de agua para satisfacer necesidades propias de la Ciudad de Chilpancingo como es el abastecimiento de agua potable y agua destinada al riego en la agricultura; en contraparte, las zonas bajas de la cuenca son susceptibles a inundaciones debido a que el agua precipitada tiende a escurrir superficialmente en mayor cantidad.

Recomendaciones

El cambio de tendencia en los índices climáticos estudiados conduce irremediablemente en la búsqueda de causas o detonantes de tales cambios, sin embargo, aún en escala pequeña como el de una cuenca resulta complicado atribuir el cambio de tan solo un índice climático a alguna causa específica. El simple hecho de proponer restaurar zonas forestales a cambio de menos superficies de cultivo implica analizar problemas de sobrepoblación, salud, económicos y muchos otros más.

Expresado lo anterior, se aclara que las recomendaciones siguientes solo abordan aspectos hidráulicos e hidrológicos encaminados a un Manejo Integral de Cuenca. Las recomendaciones corresponden a medidas no estructurales, para estructuras existentes y estructuras por construir.

Para las estructuras existentes se recomienda preservar las condiciones de la cuenca para la cual se diseñó y proyectó la obra. Entre las acciones de mayor importancia se ubica la conservación y/o restauración de la cubierta vegetal, lo que permite obtener los siguientes beneficios hídricos:

- Aumento de la infiltración originada por la mayor porosidad del suelo a causas del incremento de materia orgánica, favoreciendo la recarga de acuíferos.
- Disminución de la velocidad de escurrimiento por los obstáculos que se originan, reduciendo zonas potenciales de deslaves y derrumbes
- Disminución de la energía cinética de la gota de lluvia al caer al suelo por intercepción

Las estructuras futuras deben diseñarse considerando lo siguiente:

- Los parámetros empleados o escenarios considerados en la determinación del gasto de diseño deberán ser aquellos que prevalezcan al terminar el período de vida útil de la estructura.
- Revisar periódicamente las condiciones de diseño y su modificación en el tiempo.

Las medidas no estructurales se recomiendan por ser alternativas factibles de realizar y no demandan una cantidad extralimitada de recursos económicos, con los cuales varias localidades del estado no cuentan.

Es necesario realizar la correcta delimitación de la zona federal y planicies inundables y así poder crear sistemas de alerta temprana para advertir a la población en casos de una eventualidad; además debe enfatizarse en la comunicación social los efectos que pueden ocasionar actividades de deforestación en las partes altas de la cuenca y tratar de aminorarlos.

Deben de elaborarse reglamentos y políticas de uso de suelo que proyecten un desarrollo sustentable de localidades. Varias localidades pueden moldearse a diversos sistemas de crecimiento y desarrollo de la sociedad antes de que la sobrepoblación sea el factor que rijan las normas de sustentabilidad.

Bibliografía

- Aparicio, F. J., (1992), Fundamentos de hidrología de superficie, Limusa, México.
- Bribiesca, J., Gracia, J., (1997), *Método para determinar hidrogramas de salida en cuencas pequeñas*. Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- Burrough, P. A., McDonnell, R. A., (1998), *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press
- Campos-Aranda, D. F., (1998), Procesos del ciclo hidrológico, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- CENAPRED, 2010, Tormentas severas. Serie fascículos
- Céspedes, S., y Moreno E., (2010), *Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México*, Investigación Ambiental, pp. 5 – 13.
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton, 2007: Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (editors)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Dahmen. E. R., Hall, M. J., (1990), Screening of Hydrologic al Data: Test for Stationarity and relative Consistency, ILRI, Publication 49.
- Escalante C. y Reyes L., (1998), *Identificación y análisis de las sequías en la región hidrológica No. 10, Sinaloa*, Revista Ingeniería Hidráulica en México, 13(2).
- Escalante, C., y Reyes L., (2005), *Análisis de sequías*, vol. I, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Escalante, C., y Reyes L., (2005), *Técnicas estadísticas en hidrología*, Universidad Nacional Autónoma de México
- IDAG, T. Barnett, F. Zwiers, G. Hegerl, M. Allen, T. Crowley, N. Gillett, K. Hasselmann, P. Jones, B. Santer, R. Schnur, P. Scott, K. Taylor, S. Tett, and A. Int Ad Hoc Detection, 2005: *Detecting and attributing external influences on the climate system: A review of recent advances*. Journal of Climate, 18, 1291-1314.
- INEGI, (1998), *Diccionario de datos edafológicos, escala 1:250000 (vectorial)*. Base de datos Geográficos
- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp.
- Jones, P. D. and D. H. Lister, (2009), *The urban heat island in Central London and urban-related warming trends in Central London since 1900*. Weather, 64, 323-327.
- Kravchenko, A. N., (2003), *Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods*, Soil Science Society of America Journal; Sep/Oct; 67, 5, Academic Research Library.

- Lugo H. J., y M. Inbar. 2002. *Desastres Naturales en América Latina*. Fondo de Cultura Económica. México, D. F.
- Magaña, Víctor, (2004). *Los impactos del niño en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación. México, 229 p.
- Magaña, V., Matías J., Morales R., Millan C., (2004), *Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y el cambio climático en México*. Cambio climático: una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología.
- McCuen, R. H., (1998), *Hydrologic Analysis and Design*, Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, U. S. A. Second edition.
- Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: *Global Climate Projections*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Naghavi, B., Xin Yu, F., (1995), *Regional frequency analysis of extreme precipitation in Louisiana*, Journal of Hydraulics Engineering, 121(11), 819 - 826.
- OMM, 1994, Guía de prácticas meteorológicas, quinta edición
- Ortiz-Espejel, Vázquez-Aguirre, (2010), *Gestión pública transversal ante el cambio climático y conceptos en materia de detección y atribución*, Realidad, datos y espacio. Revista internacional de estadística y geografía, año 1, volumen 1, pp. 26 – 39.
- Peterson, T.C., (2005), *Climate Change Indices*. WMO Bulletin, 54 (2), 83-86
- Reich, B. M., (1963), Short duration rainfall intensity estimates and other design aids for región of sparce data. Journal of hydrology, 1, No. 1, pp. 3 – 28, March.
- Romero D. A., (2003), *Influencia de la litología en las consecuencias del abandono de tierras de cultivo en medios mediterráneos semiáridos*, Papeles de Geografía, núm. 38, España, pp. 151-165.
- Salas, J. D., et al, (1980), *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*, Water Resources Publication, USA
- Sánchez-Bribiesca, J. L., (1997), *Método para determinar hidrogramas de salida en cuencas pequeñas*, IIUNAM.
- Storch, H. V., and F. W. Zwiers, (1999): *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press.
- Salmi, T., Määttä A., Anttila P., Ruoho-Airola T, Amnell T., (2002), *Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates –the Excel template application MAKESENS*. Publications on Air Quality No. 31. Report code FMI-AQ-31
- Sud,Y.C., G.K. Walker, J.-H. Kim, G.E. Liston, P.J. Sellers, y W.K.-M.Law, (1996), *Biogeophysical Consequences of a tropical deforestation scenario: A GCM simulation study*. J. Climate, 9, 3225-3247.

- Tejeda, Alberto, (1991), *An exponential model of the curve of mean monthly hourly air temperature*, *Atmósfera*, 4, pp. 139 – 144.
- Tichy, M., Bentley, S., (2001), *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Programa del IPCC sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- USBR, (1994), *Design of small dams*, A Water Resources Technical Publication, USA.
- USGS, United States Geological Survey, (2002), *Hydrologic Analysis and Interpretation*, Chapter A3: Statistical Methods in Water Resources
- Vázquez-Aguirre, J. L., (2007), *Variabilidad de la precipitación en la República Mexicana*. Tesis de maestría. Física de la atmósfera.
- Vázquez, J. L., (2010), *Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México*. En: Fortalecimiento de las capacidades en detección de cambio climático en México. Contribución para el Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Zermeño-Díaz, D. M., (2008), *Análisis probabilístico de escenarios escalados de precipitación y temperatura bajo cambio climático en México*. Tesis de maestría. Física de la atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México.

Anexo 1

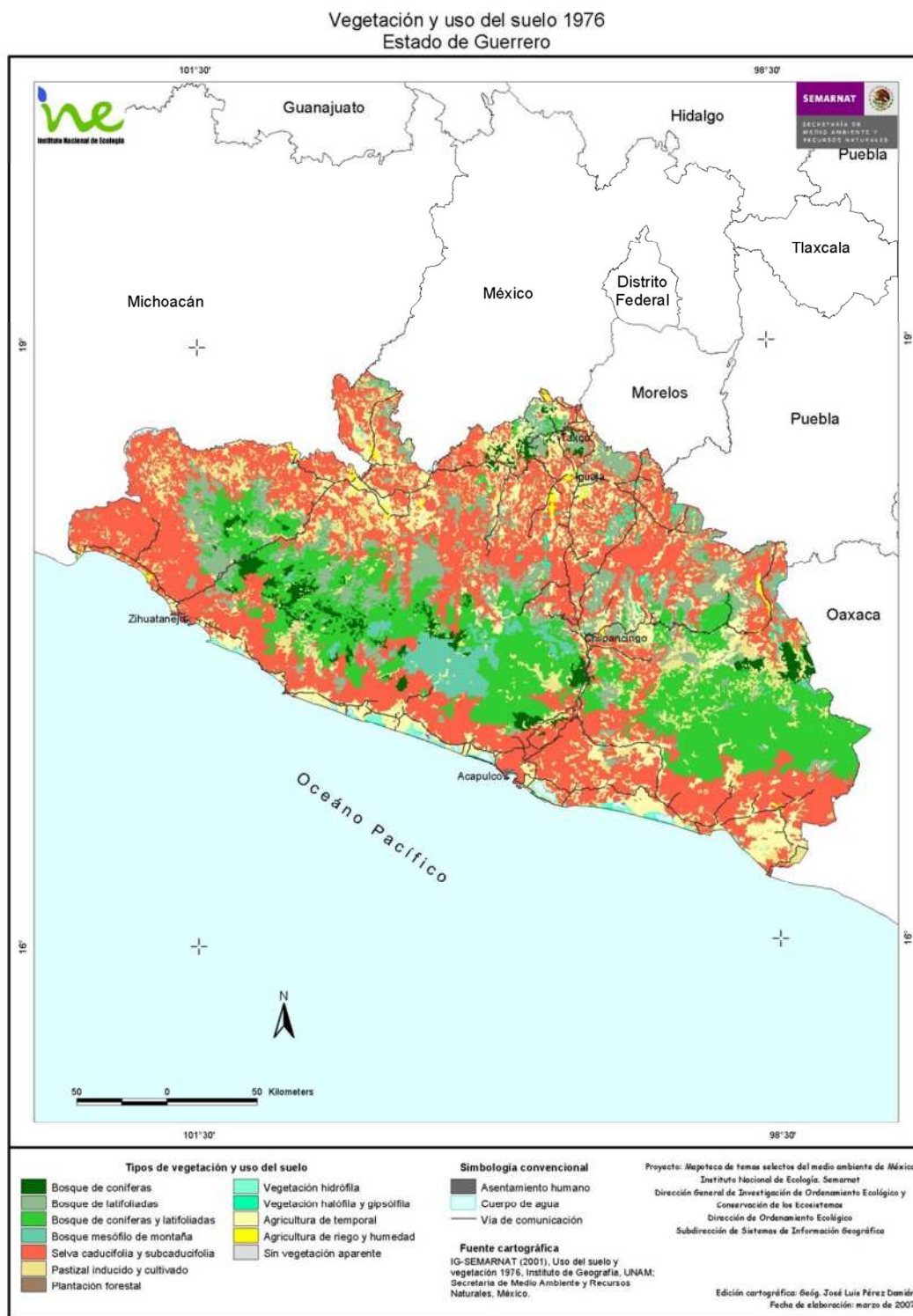


Figura A1.1. Vegetación y uso de suelo 1976. Estado de Guerrero

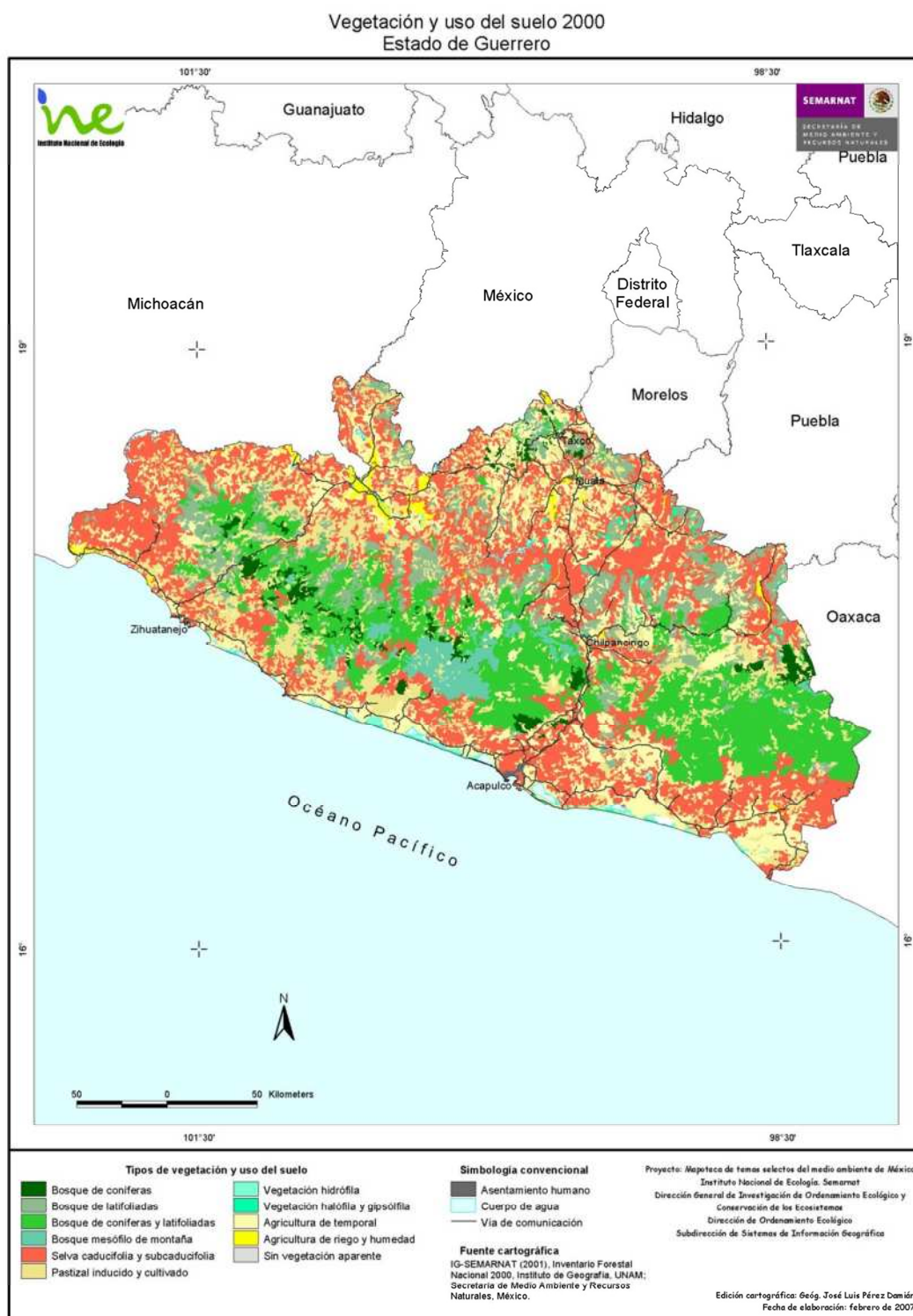


Figura A1.2. Vegetación y uso de suelo 2000. Estado de Guerrero

Anexo 2

Técnicas de interpolación

La interpolación de datos es un valioso instrumento para obtener superficies continuas del comportamiento de una variable a partir de datos puntuales en una región.

Existen dos factores que influyen en la caracterización del plano de la función de una variable, tales como la densidad de datos en la región y la técnica de interpolación implementada. Naturalmente a mayor cantidad de datos en la región existe mayor precisión en la superficie creada que describe a la variable; sin embargo, los costos asociados a la instrumentación y monitoreo de tan solo una variable impiden en varios casos la adecuada distribución de puntos de aforo.

Las técnicas de interpolación utilizadas para la construcción de mapas respecto a una variable pueden desplegarse en dos grupos: interpoladores geoestadísticos e interpoladores determinísticos.

El primer grupo genera superficies de respuesta, predicciones y mapas de probabilidad. Entre los comúnmente empleados se encuentra el método de Kriging e interpolación Óptima. En términos generales estos métodos cuantifican la estructura espacial de los datos (mediante uso de semivariogramas o correlogramas) y los predice mediante la interpolación, usando estadística.

El segundo grupo, interpolador determinístico, solo se basa en la posición que tienen los datos en algún sistema de referencia. Entre los más utilizados se encuentran el de ponderación de distancias inversas (IDW: inverse distance weighting) y “splines” o ajuste por curvas.

Diversos autores han comparado ambos grupos de interpoladores encontrando diferencias confrontadas. No obstante, existen algunos criterios para elegir la técnica de interpolación apropiada en función del sitio y la variable a analizar (Kravchenko, 2003). La IDW es recomendada cuando existe poca densidad de datos en una región y los parámetros del semivariograma o correlograma son desconocidos, así como en situaciones donde los puntos de aforo se encuentren a largas distancias.

Los métodos geoestadísticos resultan mejores que los determinísticos debido a que involucran la asociación estadística entre los eventos de cada muestra, sin embargo, requiere de una densidad de muestreo alta (Kravchenko, 2003), de al menos 50 muestras que describan la correcta distribución espacial del variograma o correlograma.

Es un hecho que a mayor asociación espacial entre las muestras, mejor resultado tendrá la superficie generada mediante el proceso de interpolación. Por ello se recomienda que exista una adecuada asociación entre los eventos de cada muestra medidos a través de algún estadístico.

La regionalización en este trabajo se basó en el coeficiente de variación y la ubicación geográfica de las estaciones. Estudios anteriores (Naghavi, 1995) han demostrado la delimitación eficiente de regiones homogéneas a través del parámetro de coeficiente de variación en análisis de precipitación.

En muchos lugares la precipitación no se apega a una distribución normal, incluso con varios años de datos. Para las distribuciones que son diferentes de lo normal, el uso de métodos estadísticos basados en el supuesto de una distribución normal puede incurrir en niveles altos de incertidumbre. Por esta razón, von Storch y Zwiers (1999) recomiendan el uso de momentos – L para estimar los momentos de mayor orden estadístico como el coeficiente de variación.

Consecuentemente, la deducción de datos faltantes se realizó mediante la técnica de interpolación IDW (Inverse Distance Weighted) de aquellas estaciones cercanas y que además presentarán un registro similar valuado a través del coeficiente de variación – L (Cv-L).

A pesar de los criterios anteriores existe un factor más a ser considerado. El clima en un año presenta variaciones debido a ciclos propios de la naturaleza como es el caso de las temporadas estacionales. Es decir, en determinadas temporadas del año los patrones climatológicos tienden a simular comportamientos, que enmarcan los fenómenos naturales en períodos de rango específicos como es el caso de ocurrencia de huracanes, déficits de precipitación, heladas, días calurosos, etcétera.

Por tal razón, la interpolación de datos se realizó en escalas mensuales, en donde los parámetros estadísticos de las estaciones se asocian mes a mes. Consecuentemente, las estaciones requeridas en un mes para deducir algún dato faltante pueden diferir de las estaciones requeridas para deducir un dato faltante en la misma estación pero en distinto mes.

Distancia Inversa Ponderada (Inverse Distance Weighted, IDW)

El método consiste en determinar el valor de un punto no muestreado con el promedio de la distancia media ponderada de los valores de los puntos muestreados que se encuentran alrededor, lo cual se expresa en la siguiente ecuación (Burrough, 1998):

$$\hat{\beta}^*(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^p} \beta(x_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^p}} \quad \hat{z}(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^r} z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^r}}$$

[A2.1]

donde:

$\hat{z}(x_0)$ es el valor estimado en un sitio no muestreado en la ubicación x_0 ,

$z(x_0) \beta(x_i)$ es el valor observado en la ubicación x_i

d_{ij} son las distancias de cada uno de los sitios observados hacia el punto no muestreado

r es el exponente del valor de la distancia ($p = 2$, por ser inversa cuadrática)

n es el número de sitios muestreados

Anexo 3

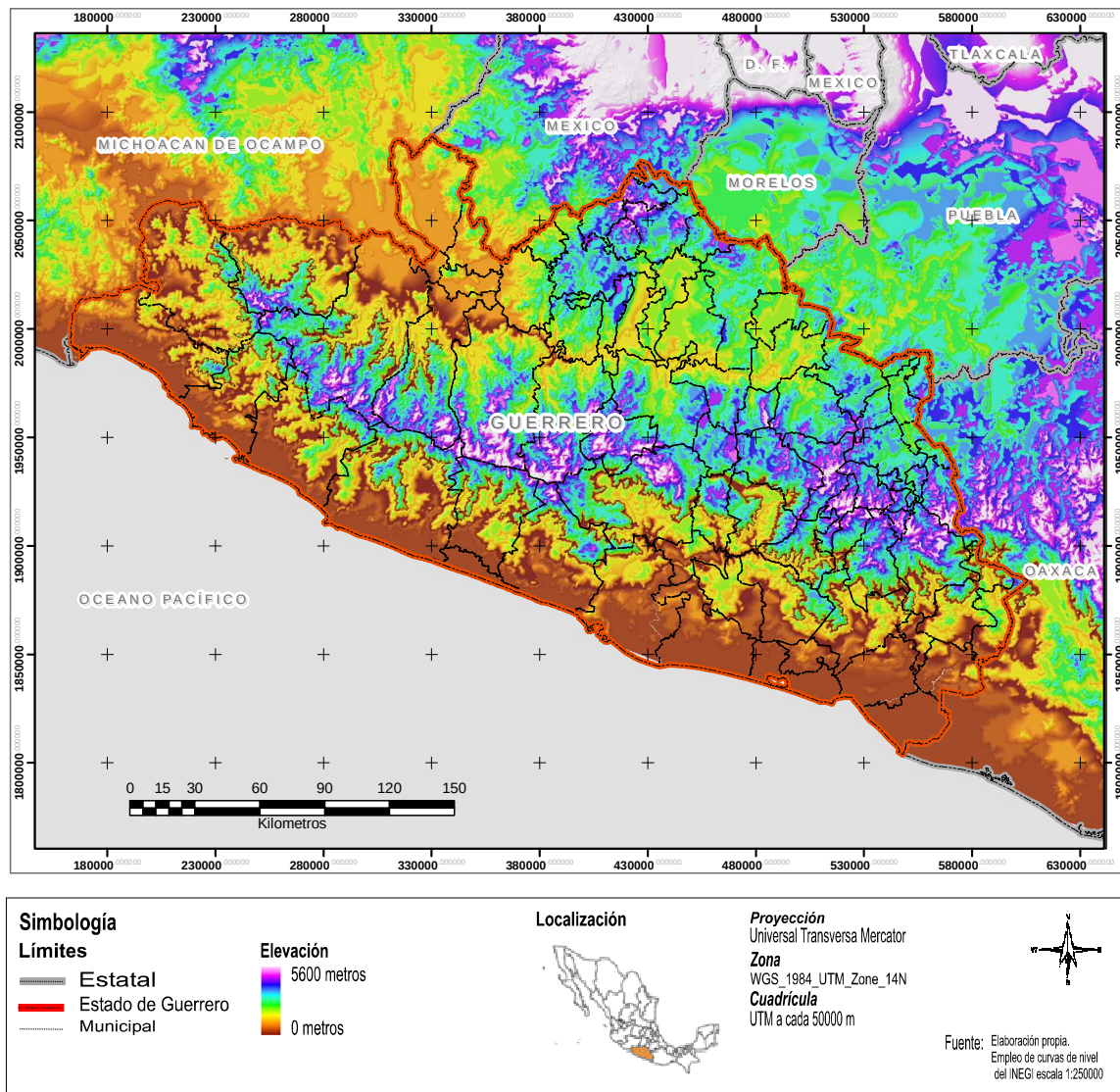


Figura A3.1 Orografía en el estado de Guerrero

Anexo 4

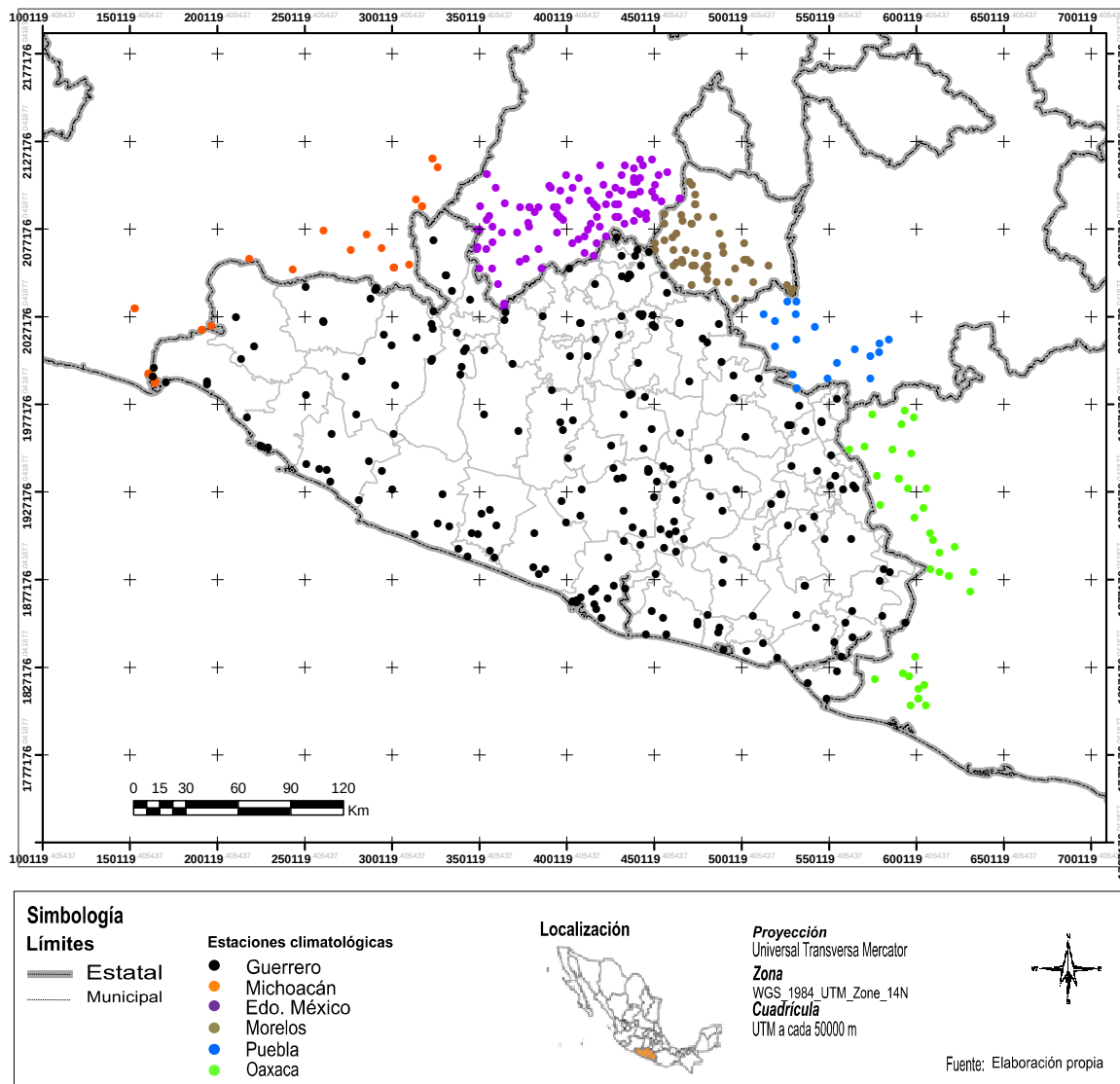


Figura A4.1. Localización geográfica de estaciones climatológicas analizadas.

Anexo 5

Tabla A5.1. Localización geográfica de las estaciones climatológicas analizadas

Estación	Coordenadas		Estación	Coordenadas		Estación	Coordenadas	
	Longitud	Latitud		Longitud	Latitud		Longitud	Latitud
12001	18.3353	100.0725	12079	17.3353	100.3533	12173	16.5794	98.8047
12003	17.1786	99.6311	12080	18.0903	100.2347	12174	17.4744	101.2144
12004	18.3381	99.6467	12082	18.2222	100.7567	12176	17.3936	99.3472
12006	17.7392	99.3294	12083	17.8286	100.3875	12177	18.1342	99.8311
12007	18.4758	101.3592	12084	18.3011	99.8722	12182	18.2153	99.7875
12008	18.3169	100.2800	12086	17.2167	100.1122	12183	16.8881	99.8619
12009	17.4144	100.6069	12088	17.2625	98.7481	12184	18.1342	99.9258
12010	17.3083	98.6056	12090	18.4167	100.4683	12185	17.7475	98.6531
12012	16.9672	99.0986	12091	17.5403	98.5906	12186	17.7556	99.4811
12014	18.4594	99.4008	12092	18.0961	99.5564	12187	16.5825	98.4608
12016	17.0417	100.1167	12093	18.2953	99.4775	12188	16.7667	99.2344
12017	17.5847	101.0061	12094	17.9181	101.3503	12191	17.0892	100.3261
12018	18.5853	99.9322	12095	17.0953	99.7150	12193	18.0208	98.9050
12019	18.3586	100.6644	12096	17.4089	99.1681	12194	17.4219	98.7886
12020	17.3333	99.6333	12097	17.1936	99.3075	12198	17.4856	99.4539
12021	18.3133	101.7350	12098	18.0333	100.5167	12200	17.4653	98.5181
12022	16.6147	98.9708	12099	17.1333	100.5194	12204	17.6033	99.9333
12023	18.0333	99.0411	12100	18.1700	100.4894	12205	16.9500	98.6556
12024	17.0333	100.0522	12102	17.4222	98.7819	12206	17.7197	98.9753
12025	17.3808	101.0583	12103	18.4667	100.9833	12208	16.3689	98.5428
12027	18.0167	101.1372	12104	17.1914	98.5497	12211	17.7478	100.2028
12029	16.7006	99.5103	12105	17.6550	99.5253	12214	16.7939	98.9356
12031	17.6722	99.7011	12106	17.4653	98.3972	12215	18.6711	99.5000
12034	17.7225	101.2111	12107	17.0853	99.0944	12219	17.0072	100.0875
12036	18.7264	100.6692	12110	17.6086	99.1758	12220	16.6167	99.0944
12037	18.1000	101.0517	12111	17.5450	99.4967	12221	17.2083	100.7572
12038	17.5322	100.9353	12112	16.8225	99.4783	12222	18.3478	99.4775
12039	17.1278	99.3486	12113	18.2997	101.2603	12223	16.8297	99.7783
12041	17.1250	100.3519	12114	17.7953	98.5644	12225	18.0733	100.5114
12042	17.4406	100.8792	12115	18.3025	99.3328	12226	16.4467	98.6419
12043	18.3022	101.2628	12116	18.3497	99.5500	12227	17.5169	98.4925
12045	17.4475	99.0253	12117	18.5028	99.7922	12229	17.5514	99.5008
12046	18.3064	99.3344	12118	17.9311	99.6014	12232	16.7000	99.4017
12047	18.3406	99.5375	12119	17.7761	98.7456	12233	17.2500	100.5686
12048	17.6225	98.5133	12120	17.2756	99.9411	12234	16.7508	99.2347
12049	17.4469	99.8581	12121	17.5650	101.3444	12236	16.7094	99.1225
12050	16.9331	99.6233	12123	18.3031	99.8681	12240	17.9764	102.1081
12051	17.8017	99.9064	12125	17.5667	99.4189	12242	16.8006	99.1792
12052	17.9833	101.8839	12126	17.7514	99.9625	12243	18.7469	99.6750
12053	17.0103	99.4583	12127	17.6444	101.5511	12244	16.7589	98.4383
12054	17.8225	101.0769	12130	18.1069	99.1047	12248	17.4444	98.4503
12055	18.1122	100.6711	12134	17.5333	99.5000	16035	101.6670	18.6170
12057	17.2442	98.6697	12135	17.7781	98.7433	16041	100.9500	18.6830
12058	17.9389	99.5917	12138	18.1542	100.5000	16046	101.8670	18.2670
12059	17.3350	99.0986	12139	18.2936	100.6758	16051	100.8830	18.5830
12060	17.7778	98.7297	12140	17.7236	100.8750	16070	100.6800	19.1480
12061	16.6836	98.4022	12141	18.2475	100.5383	16075	101.1170	18.6670
12062	17.4047	99.4686	12142	16.8664	99.9056	16113	100.8000	18.6000
12063	18.3556	100.2744	12147	18.4186	101.0056	16151	102.2830	18.3500
12064	17.5333	101.2333	12156	17.2500	99.5836	16219	100.7670	18.9330
12065	18.2333	100.9333	12158	17.2539	100.3169	15004	99.4830	19.1500
12066	16.6558	98.5006	12160	18.4750	100.9764	15006	100.1670	18.6330
12067	17.9250	99.5181	12161	17.2103	100.4167	15012	100.4170	18.7830
12068	16.8000	98.7025	12162	18.2664	100.6689	15016	99.7330	18.9170
12069	17.3167	100.3981	12163	18.4656	100.5667	15034	99.6830	18.8500
12070	17.2667	100.6333	12164	18.2453	99.6619	15038	99.5670	19.0330
12071	16.7833	99.4189	12165	17.5383	101.2739	15052	100.2830	18.9170
12072	16.9708	98.2544	12166	18.1586	100.3881	15054	99.9830	18.9830
12074	17.9728	100.8694	12167	18.5508	99.4189	15062	99.7670	19.1170
12075	17.5000	99.6667	12169	18.5500	99.6000	15067	100.3830	18.6830
12076	17.3103	99.8658	12170	17.9583	100.0222	15068	100.0000	18.9000
12077	18.1022	100.6756	12171	18.6522	99.5733	15105	99.5330	19.1170
12078	18.1689	101.6333	12172	16.9500	99.6833	15120	99.7170	18.9670

Tabla A5.1. Localización geográfica de las estaciones climatológicas analizadas (continuación)

Estación	Coordenadas		Estación	Coordenadas		Estación	Coordenadas	
	Longitud	Latitud		Longitud	Latitud		Longitud	Latitud
15122	99.5830	19.1000	17007	99.3500	18.7670	17058	99.3170	18.8330
15134	99.5670	18.8830	17008	98.9670	18.6330	17059	99.4170	18.7330
15136	99.7830	18.7170	17009	99.2830	19.0330	17061	99.4670	18.6830
15161	99.9830	18.8500	17013	99.1000	18.7000	17071	99.1500	18.8500
15166	100.3500	18.7170	17014	99.2330	18.8500	17072	99.2670	18.8170
15173	99.3330	18.9500	17015	98.8500	18.6000	17073	99.3670	18.6830
15223	99.4670	18.9500	17016	99.2500	18.6000	17076	99.3170	18.6170
15240	99.6330	19.1170	17018	99.1170	18.7670	17077	99.2500	18.6670
15248	99.5140	18.8430	17019	99.2670	18.5000	21015	98.3830	18.1670
15253	99.5500	18.8670	17021	98.9500	18.6170	21048	98.7200	18.0400
15254	99.8170	18.9330	17029	99.4170	18.8670	21050	98.8170	18.3170
15256	99.4330	18.9330	17031	99.1830	18.6000	21063	98.2500	18.2000
15259	99.8330	18.9830	17033	99.2000	18.5830	20010	98.0670	16.5830
15270	99.7830	18.8500	17036	98.7170	18.4830	20067	98.1170	17.8500
15272	99.7670	18.8000	17038	99.1330	18.5170	20088	98.0500	16.3670
15298	99.4670	19.0170	17042	99.1830	18.6500	20094	97.9330	17.1170
15299	99.6500	18.9830	17044	99.3200	18.6300	20110	98.0830	17.6330
15305	99.6670	18.9170	17047	99.2670	19.0170	20115	98.0670	17.3000
15353	100.0330	19.0000	17054	98.9830	18.7170	20130	97.7500	17.0170
17002	99.4170	18.8170	17056	99.0330	18.5830	20188	98.1330	17.7830
17006	99.2500	18.9170	17057	98.9330	18.5170	20322	98.2670	17.5170

Anexo 6

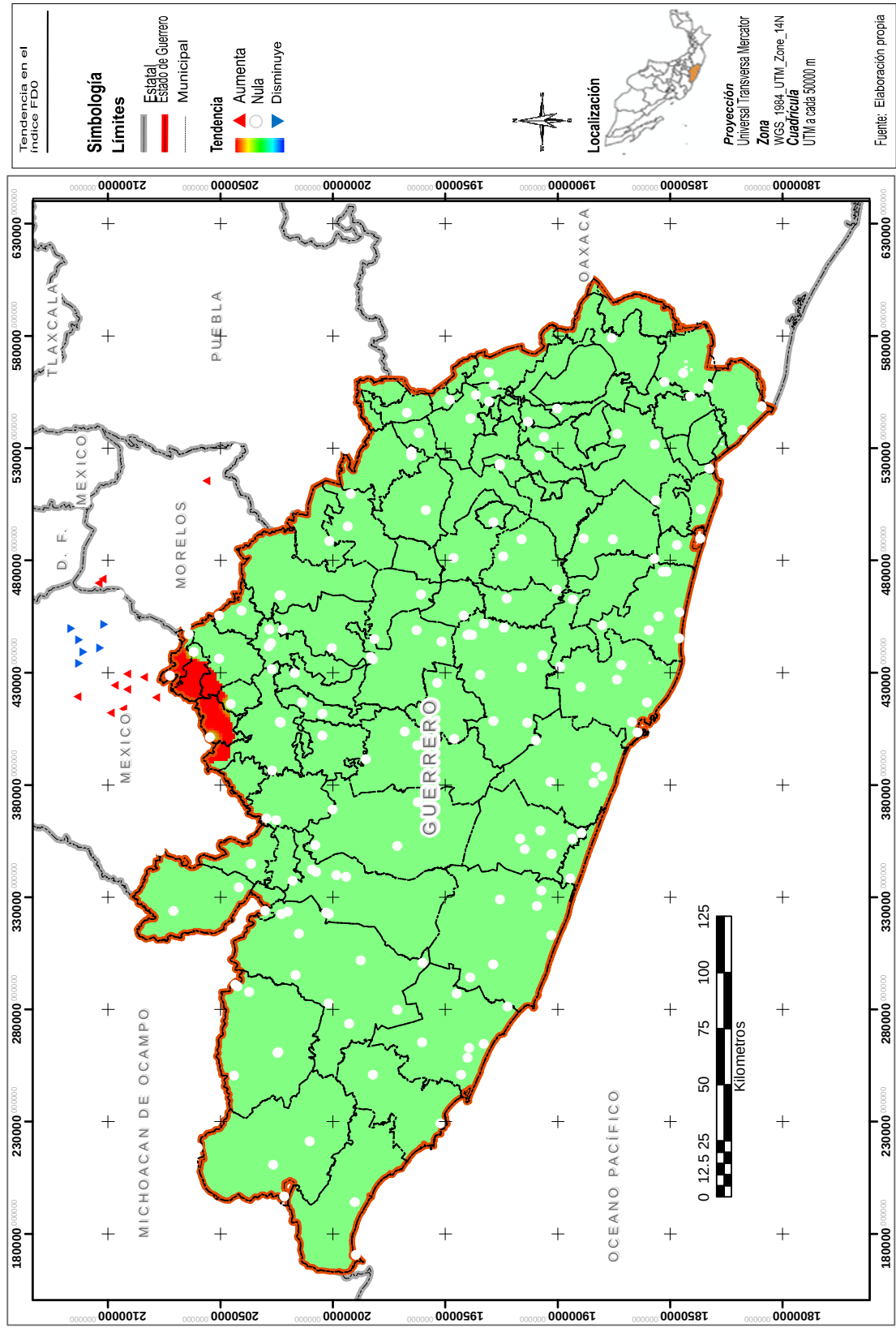


Figura A6.1. Tendencia en el índice FDI en el periodo 1961 - 2007

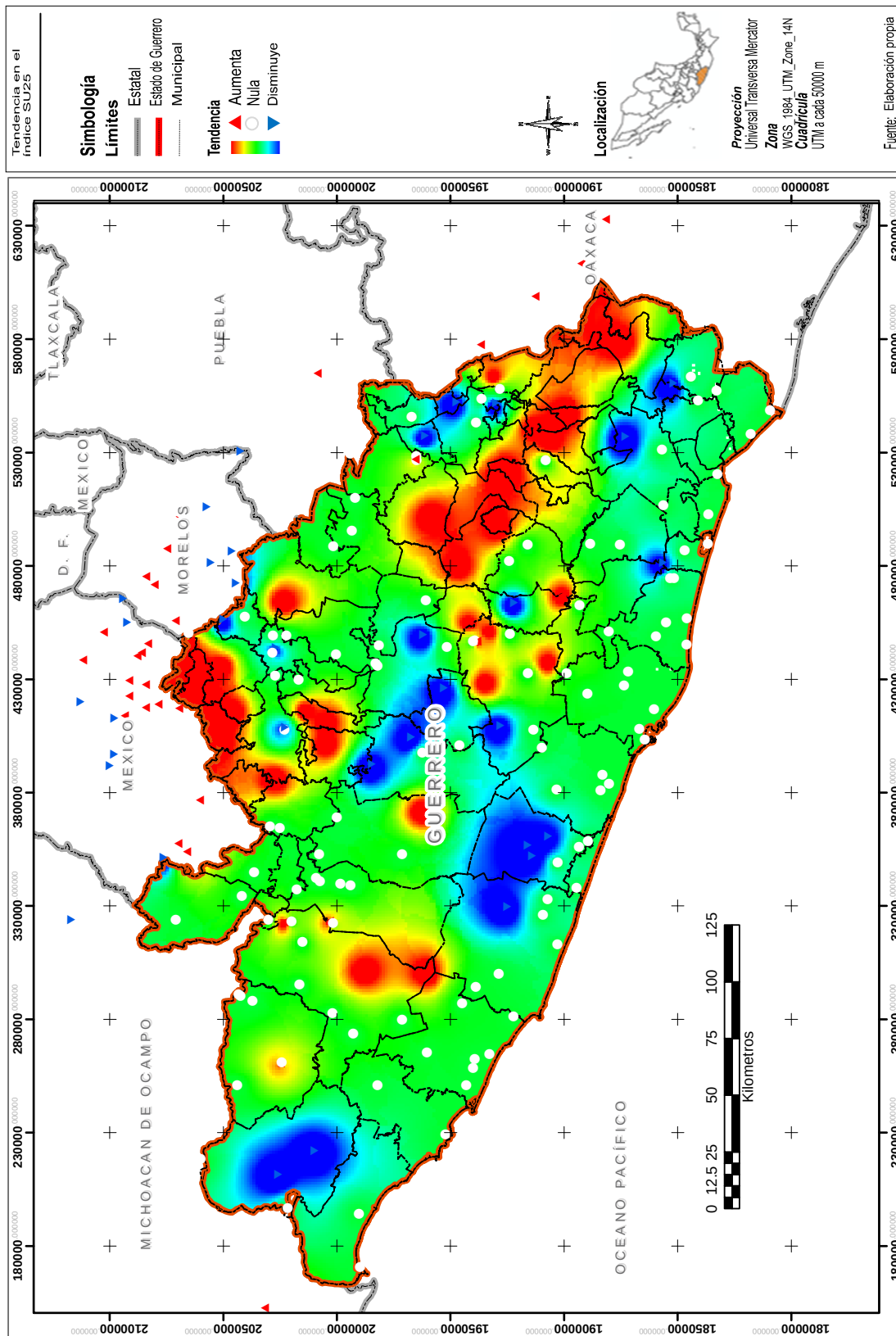


Figura A6.2. Tendencia en el índice SU25 en el periodo 1961 - 2007

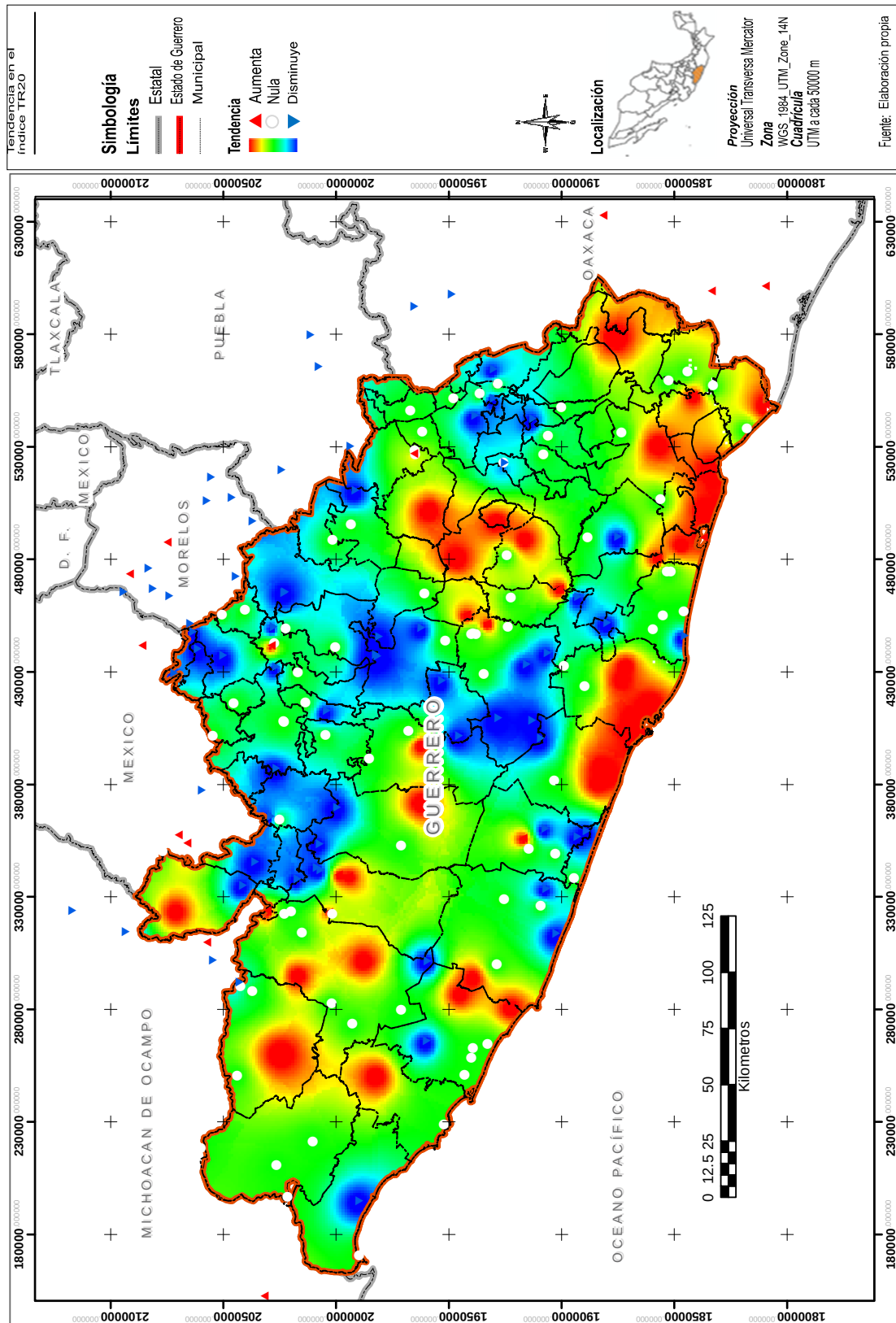


Figura A6.3. Tendencia en el índice TR20 en el período 1961 - 2007

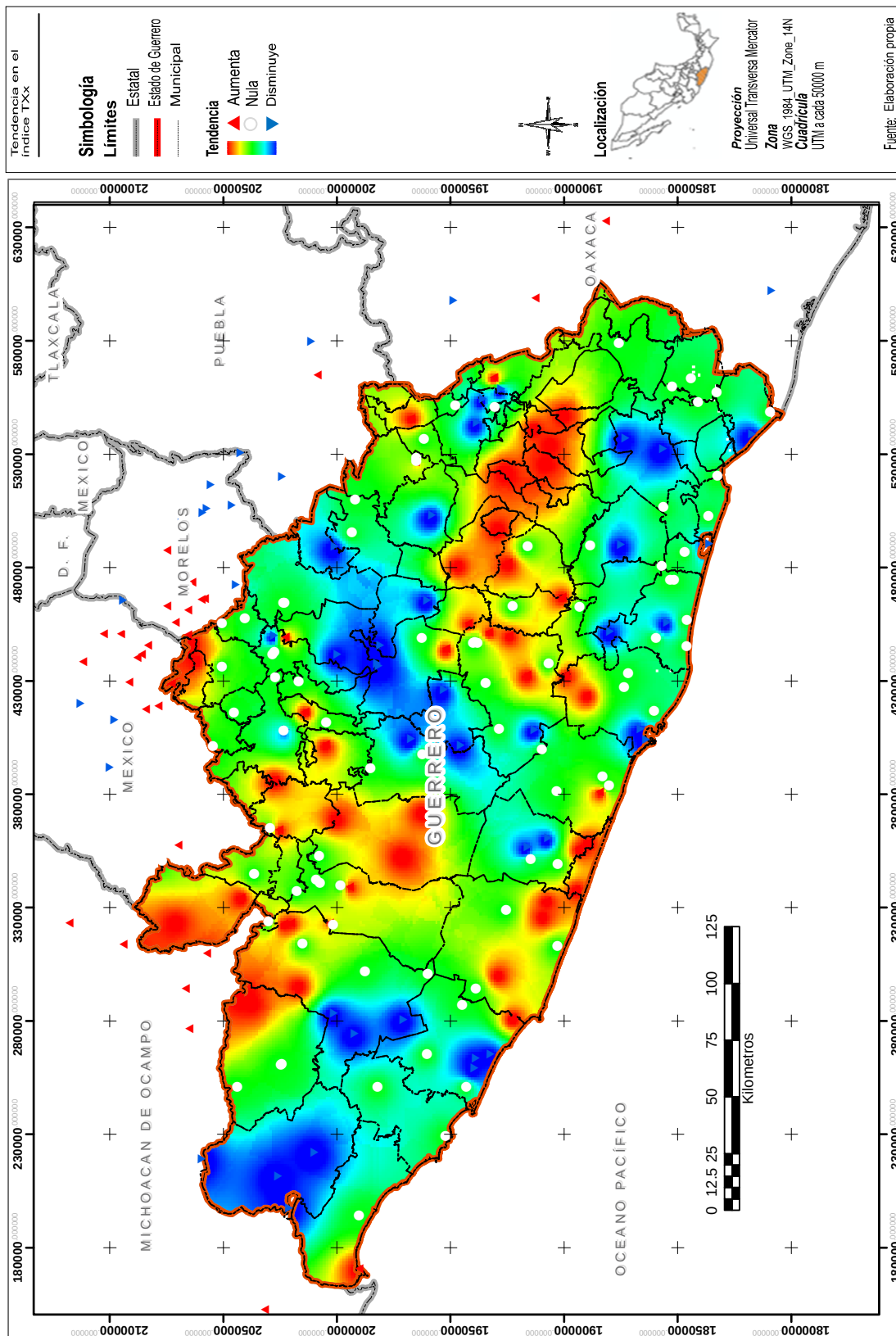


Figura A6.4. Tendencia en el índice TXx en el período 1961 - 2007

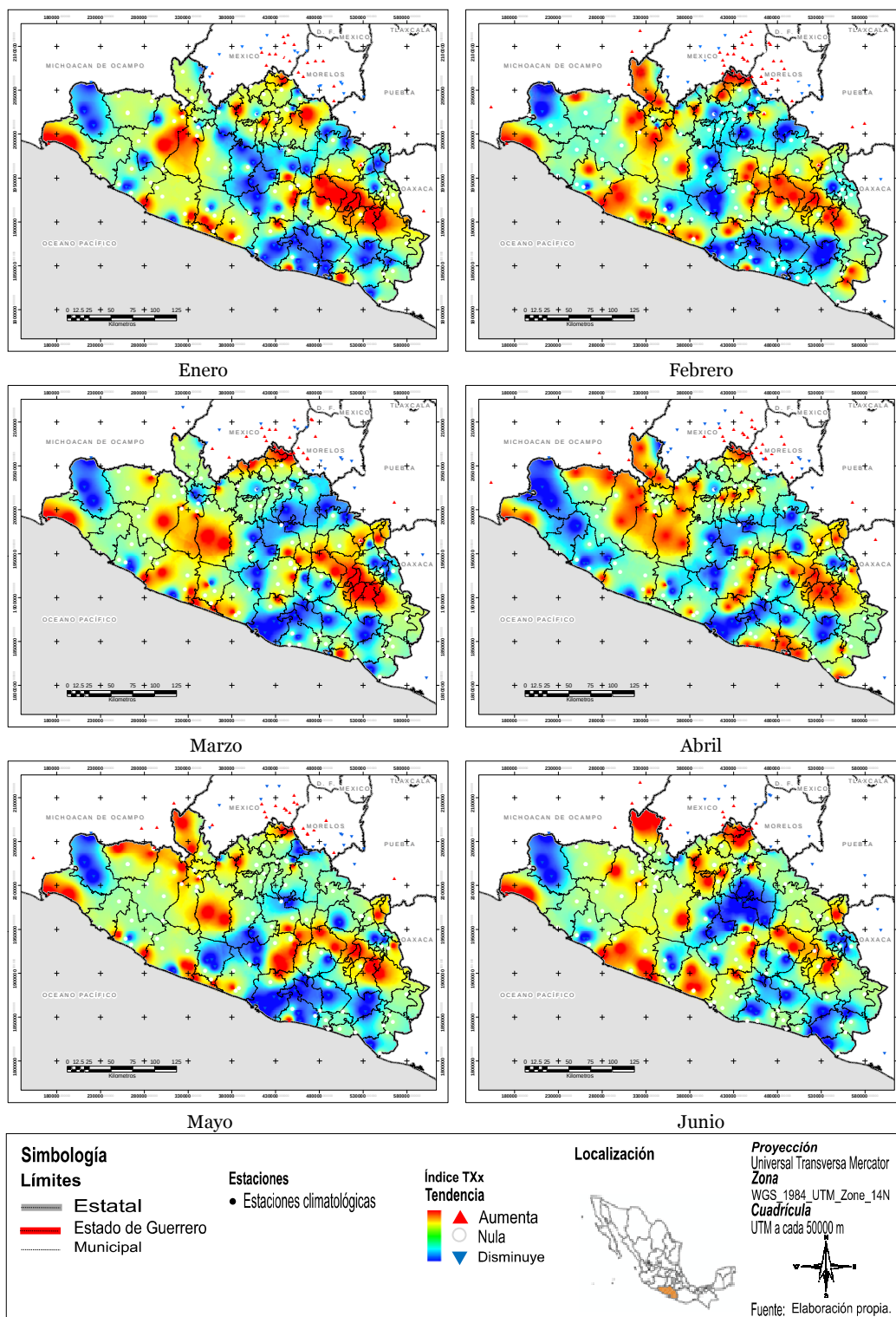


Figura A6.5. Tendencia mensual del índice TXx en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

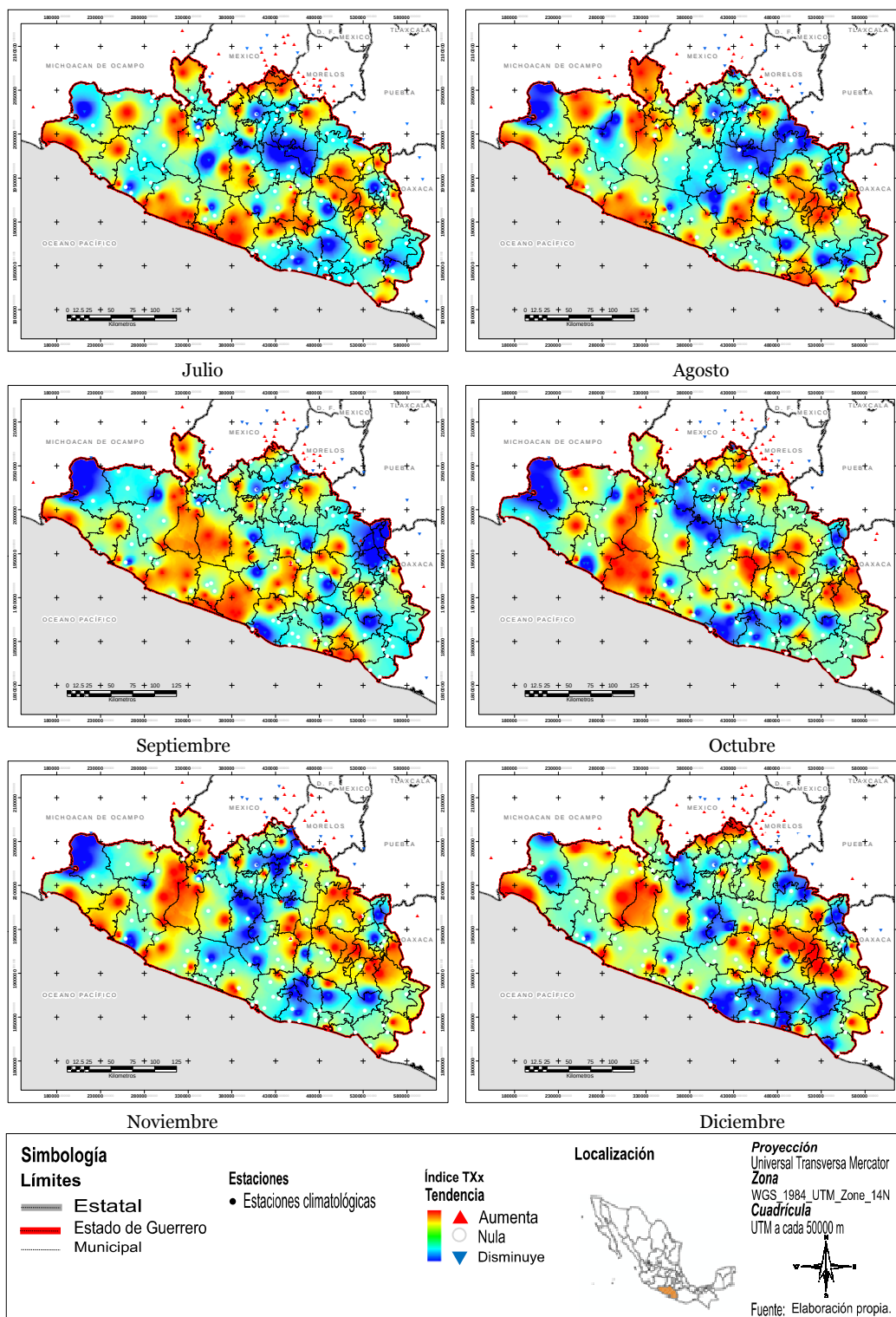


Figura A6.6. Tendencia mensual del índice TXx en los meses Julio – Diciembre en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

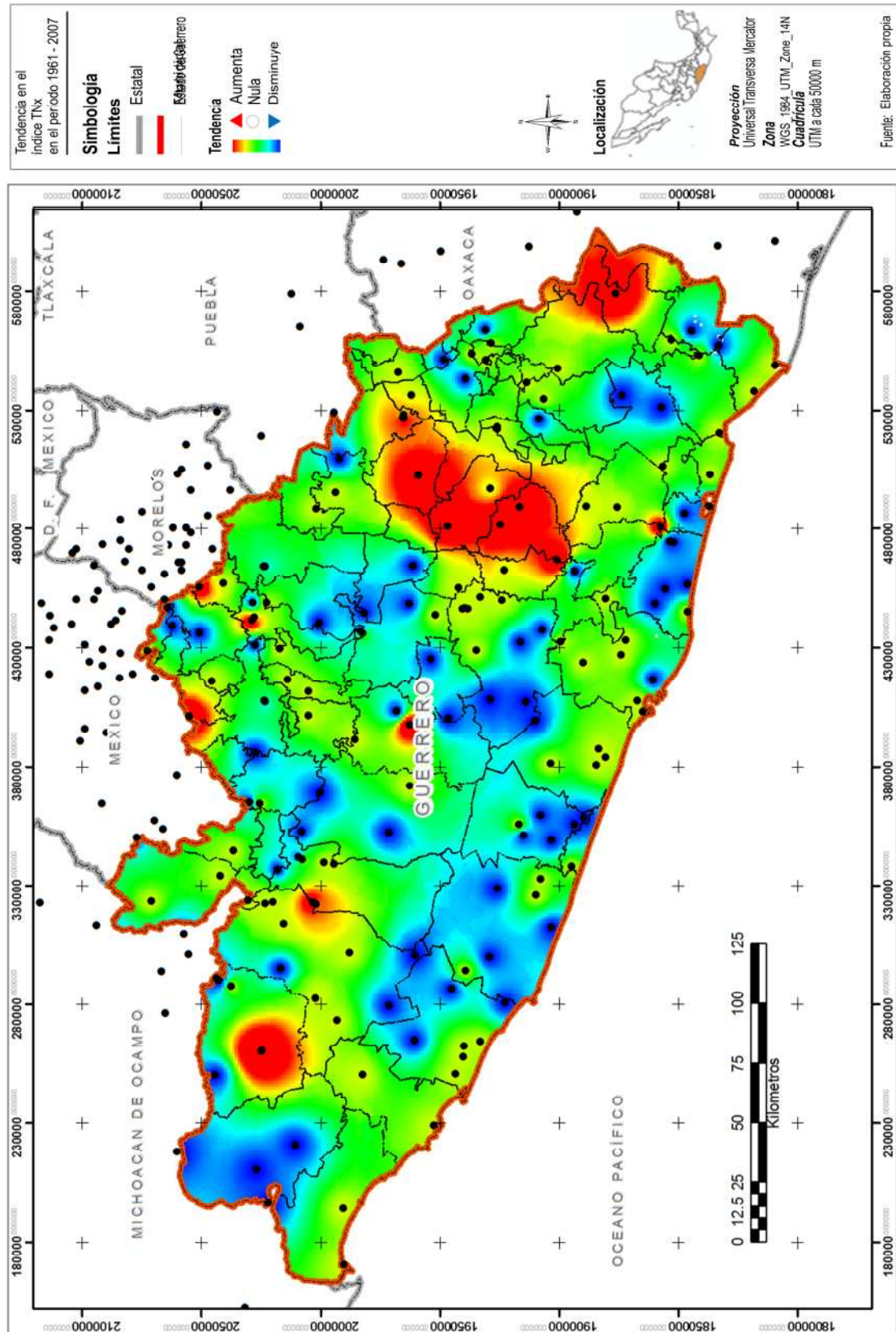


Figura A6.7. Tendencia en el índice TNx en el periodo 1961 - 2007

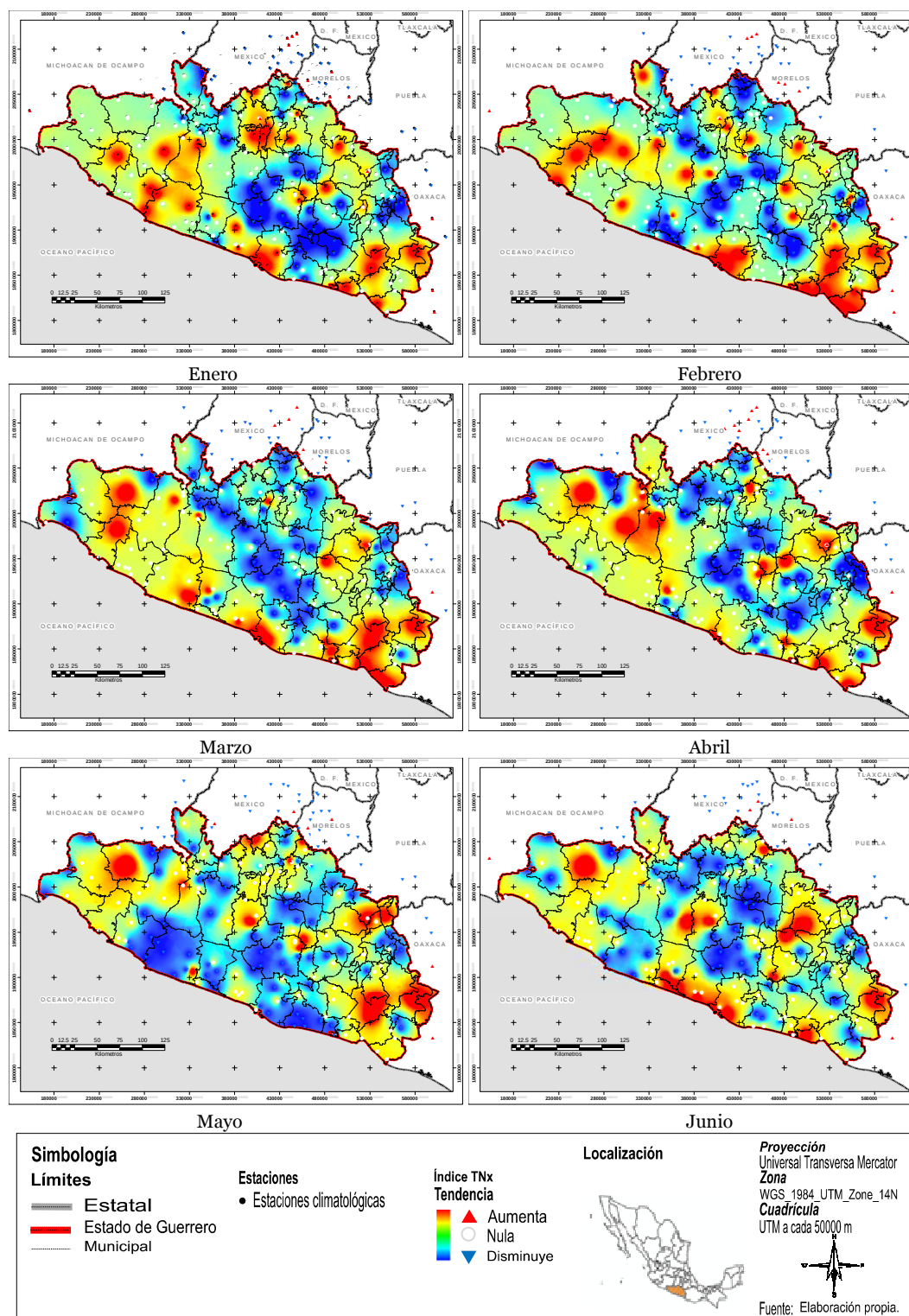


Figura A6.8. Tendencia mensual del índice TNx en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

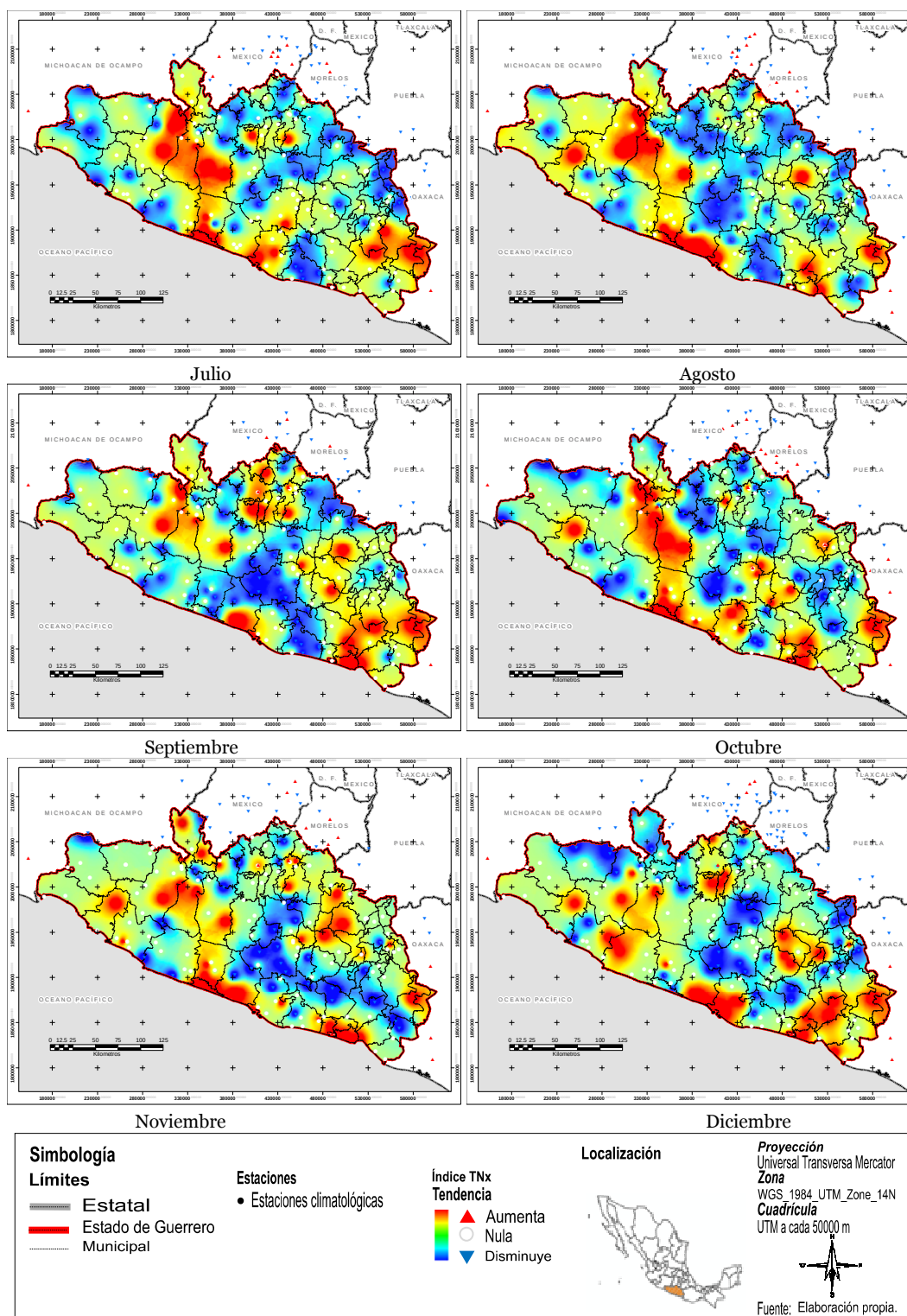


Figura A6.9. Tendencia mensual del índice TNx en los meses Julio – Agosto en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

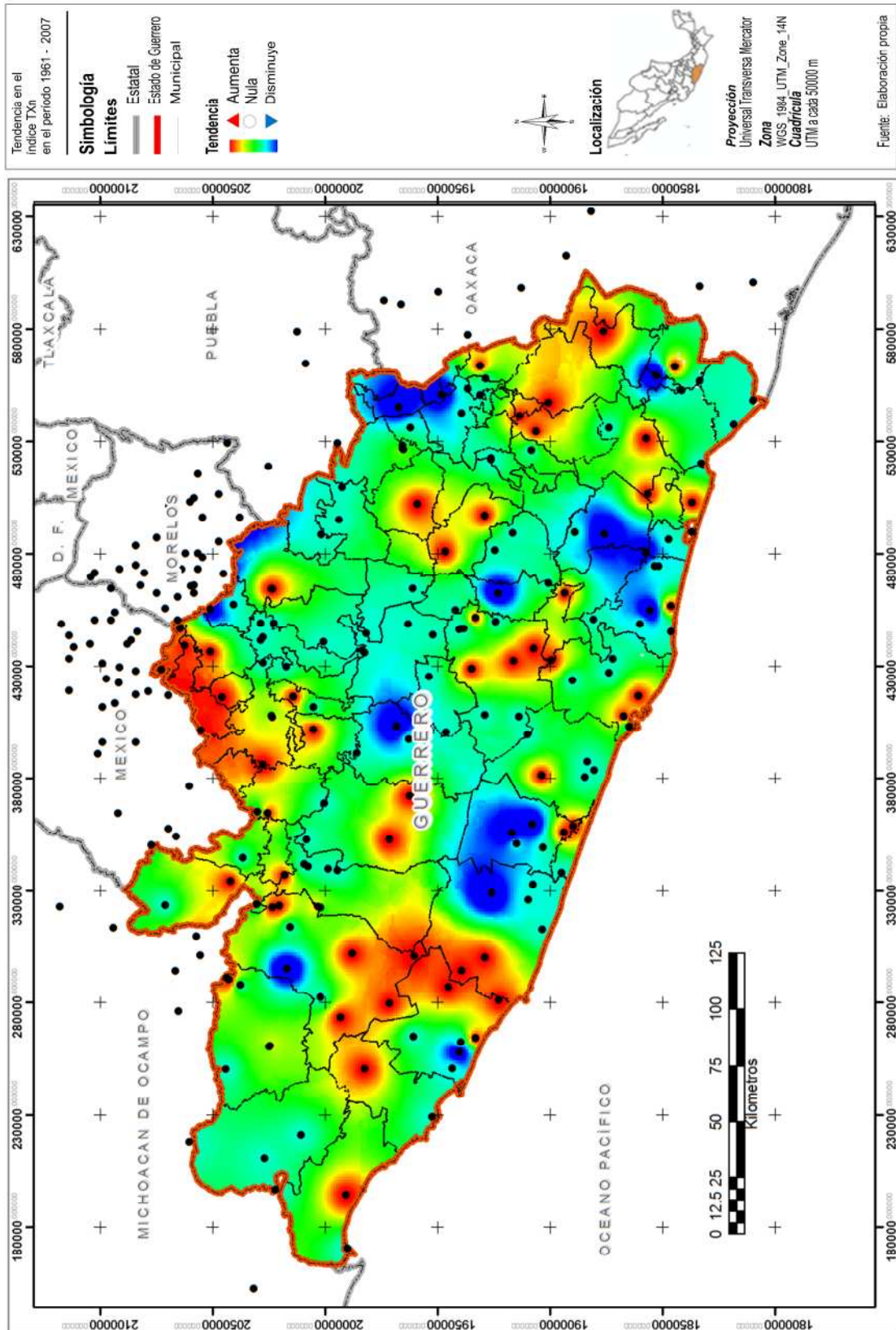


Figura A6.10. Tendencia en el índice TXn en el período 1961 - 2007

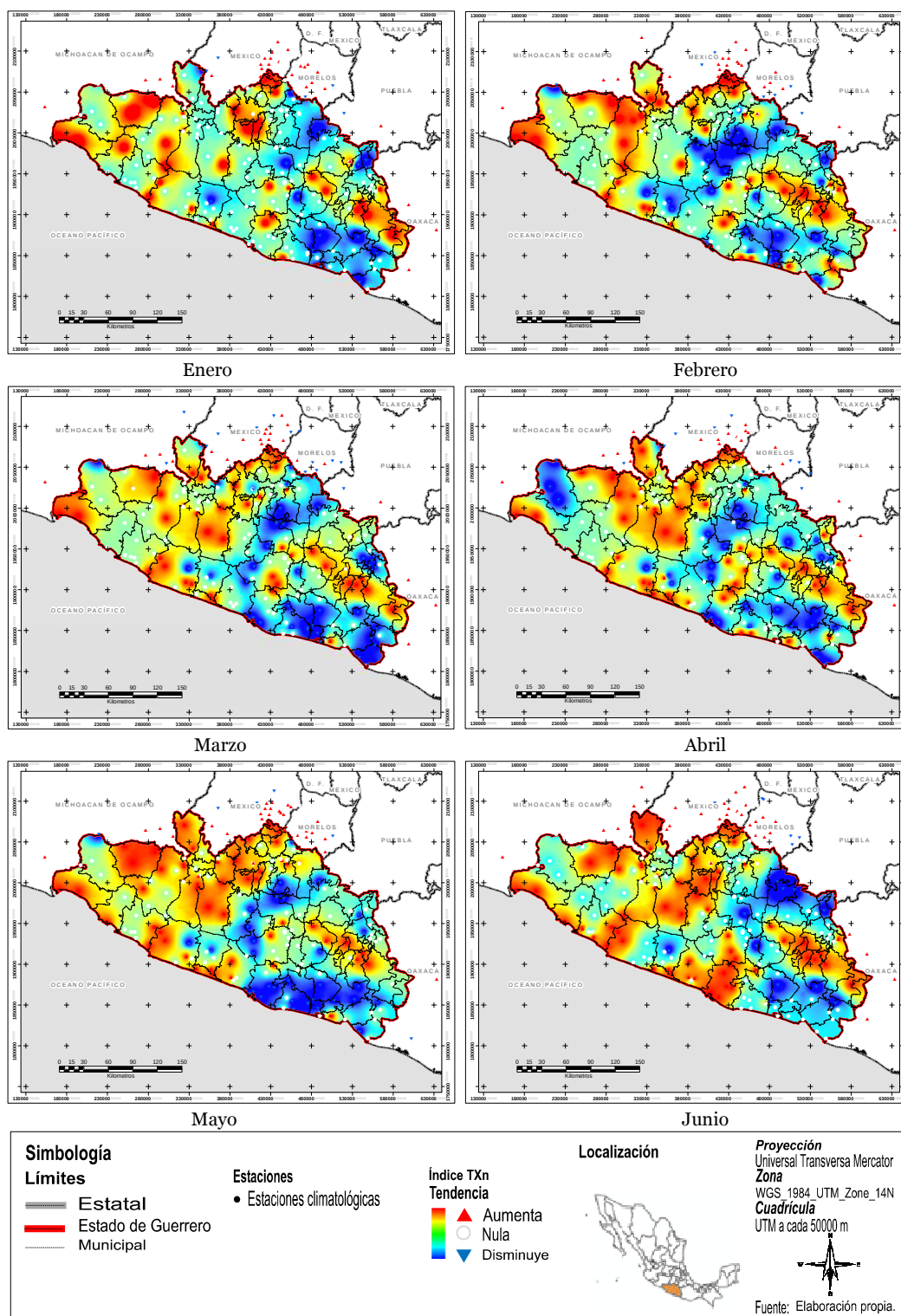


Figura A6.11. Tendencia mensual del índice TXn en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

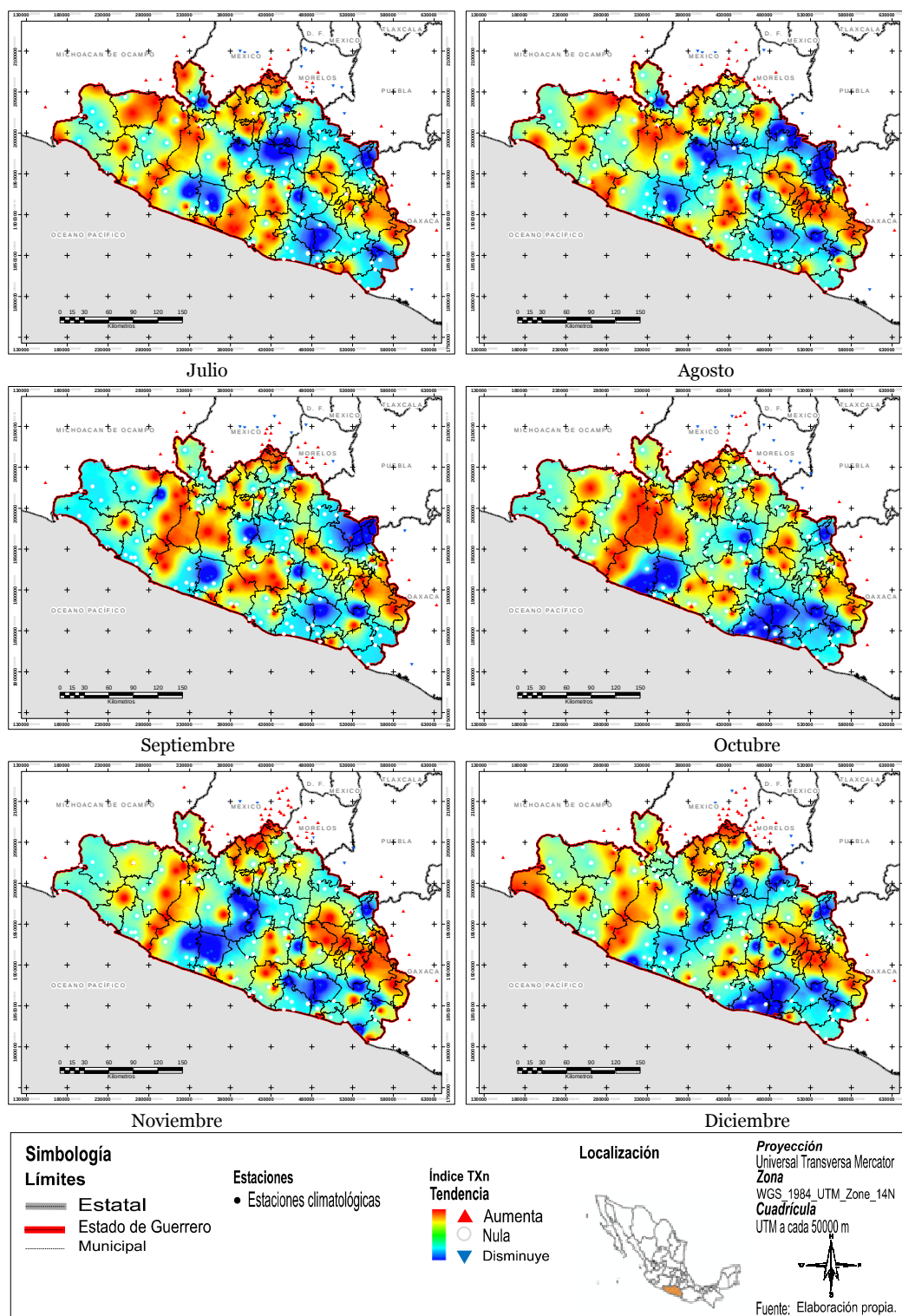


Figura A6.12. Tendencia mensual del índice TXn en los meses Julio – Agosto en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

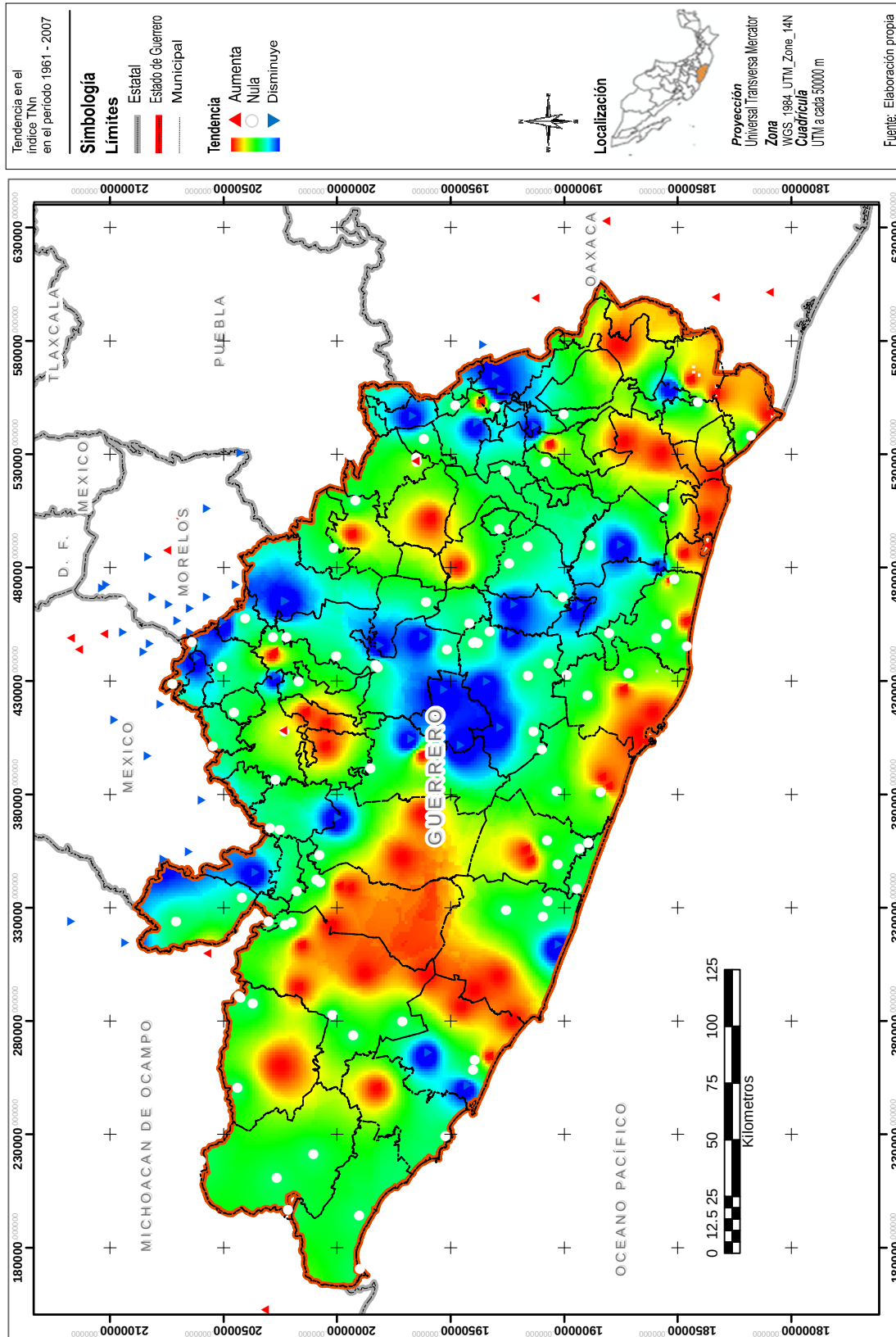


Figura A6.13. Tendencia en el índice TNn en el período 1961 - 2007

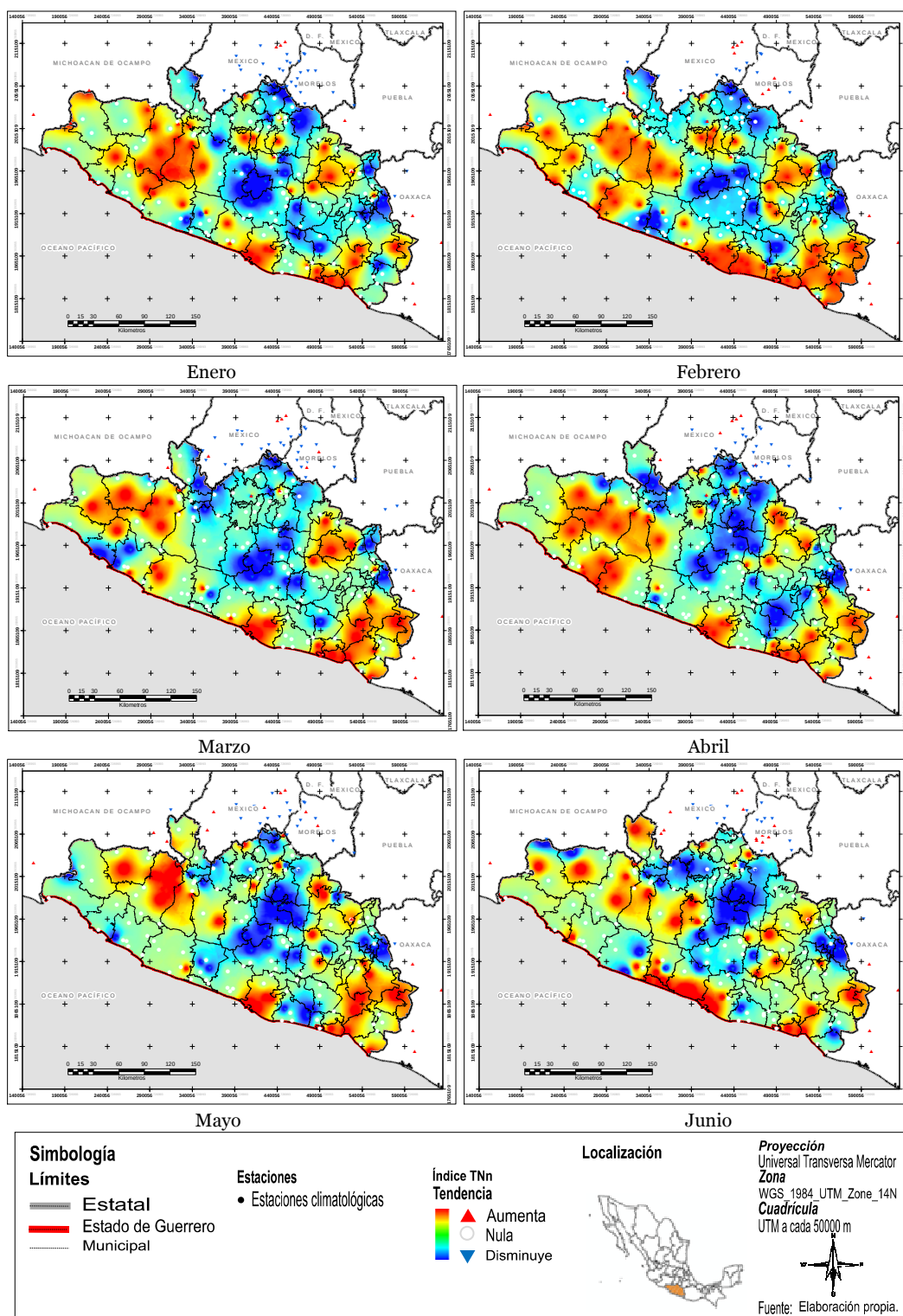


Figura A6.14. Tendencia mensual del índice TNn en los meses Enero – Junio en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

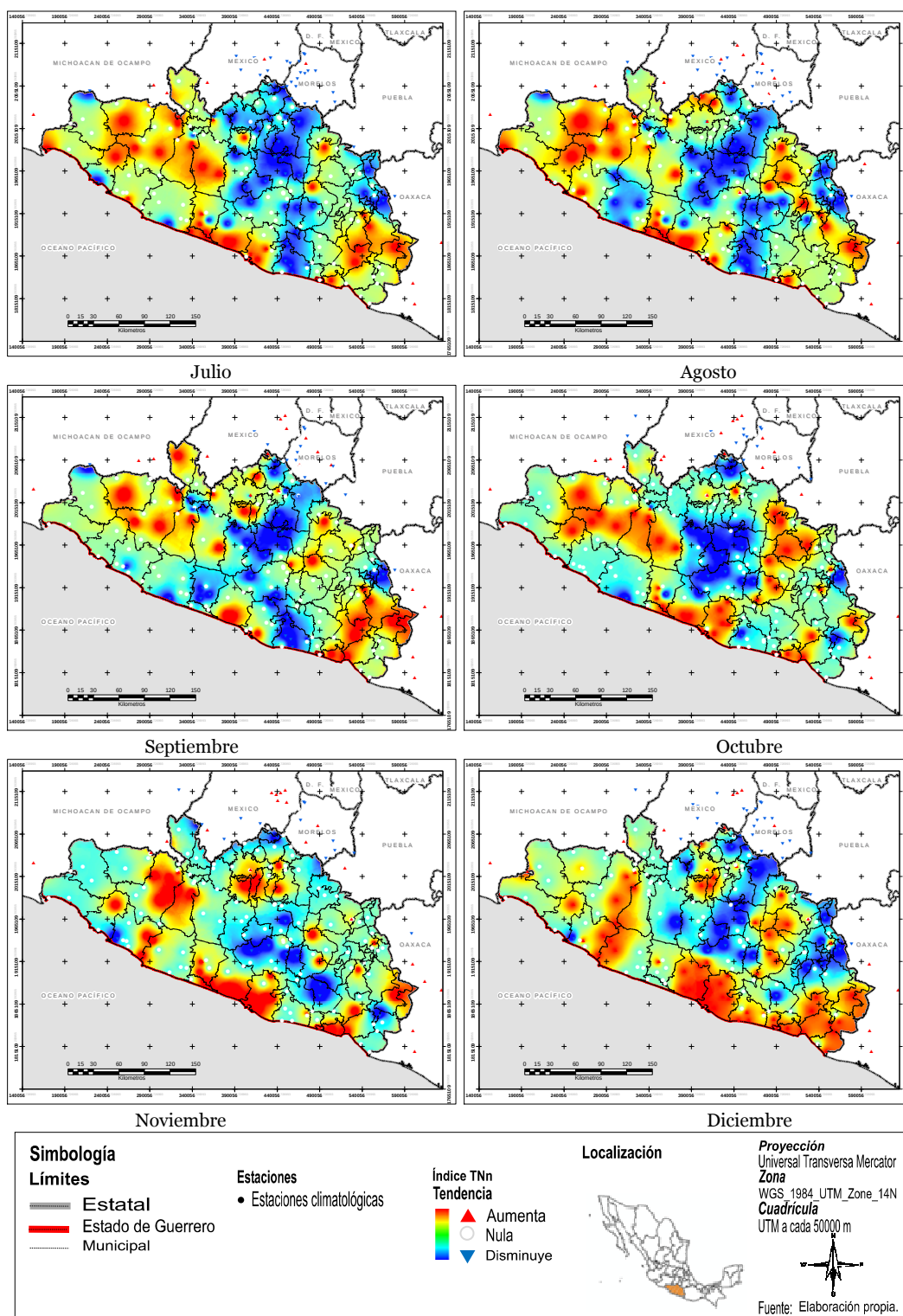


Figura A6.15. Tendencia mensual del índice Tn en los meses Julio – Diciembre en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

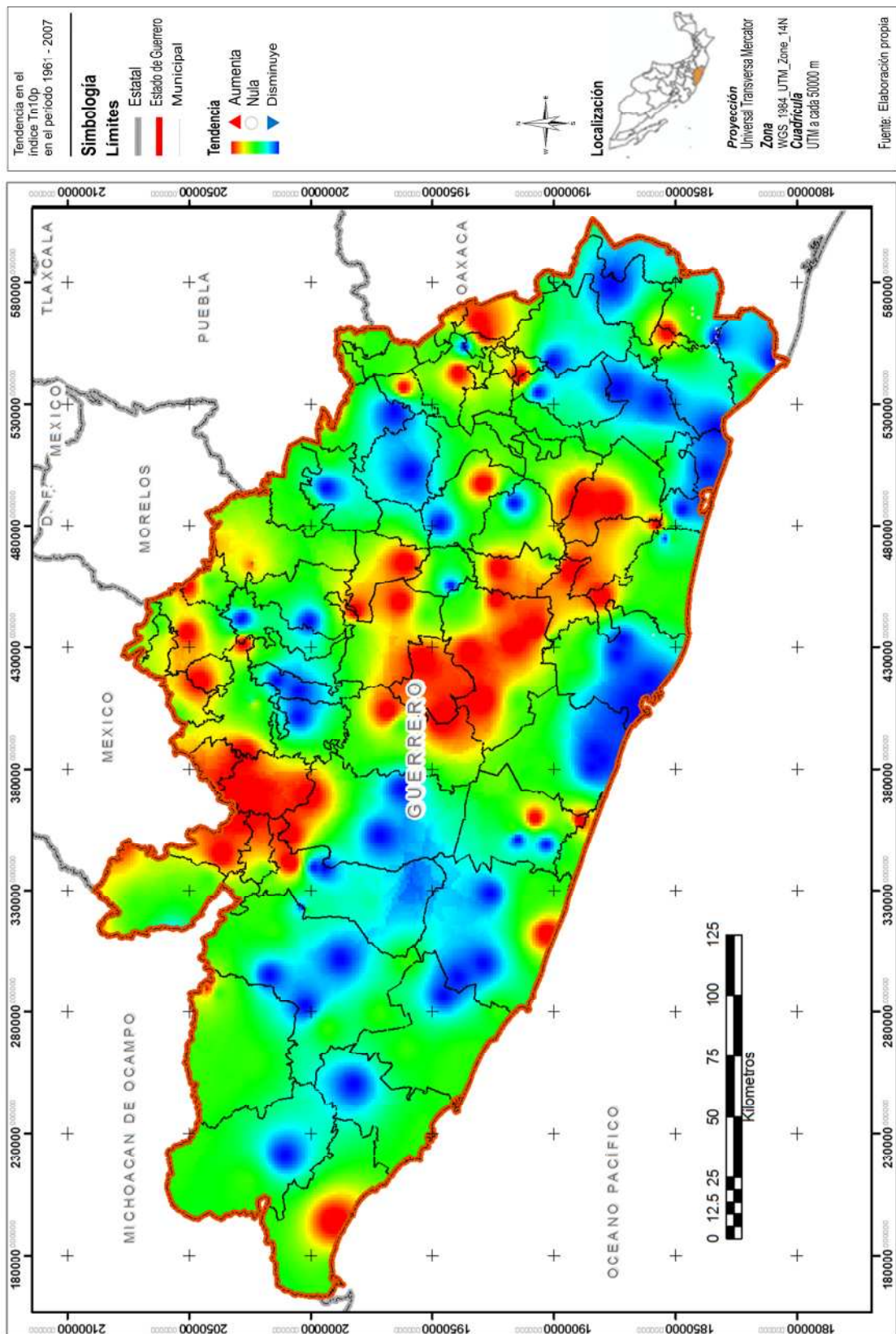


Figura A6.16. Tendencia en al índice Tn10p en el periodo 1961 - 2007

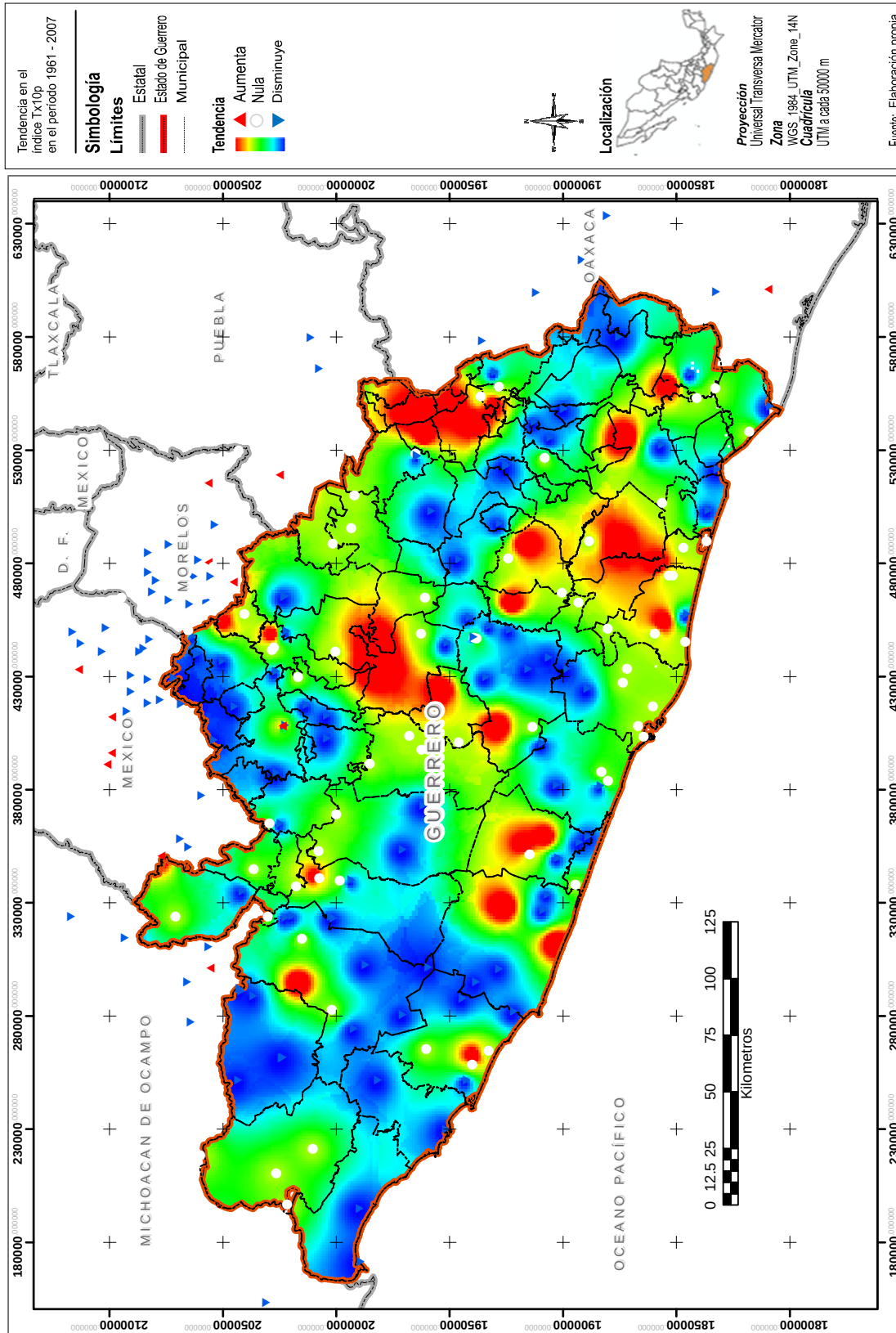


Figura A6.17. Tendencia en el índice Tx10p en el periodo 1961 - 2007

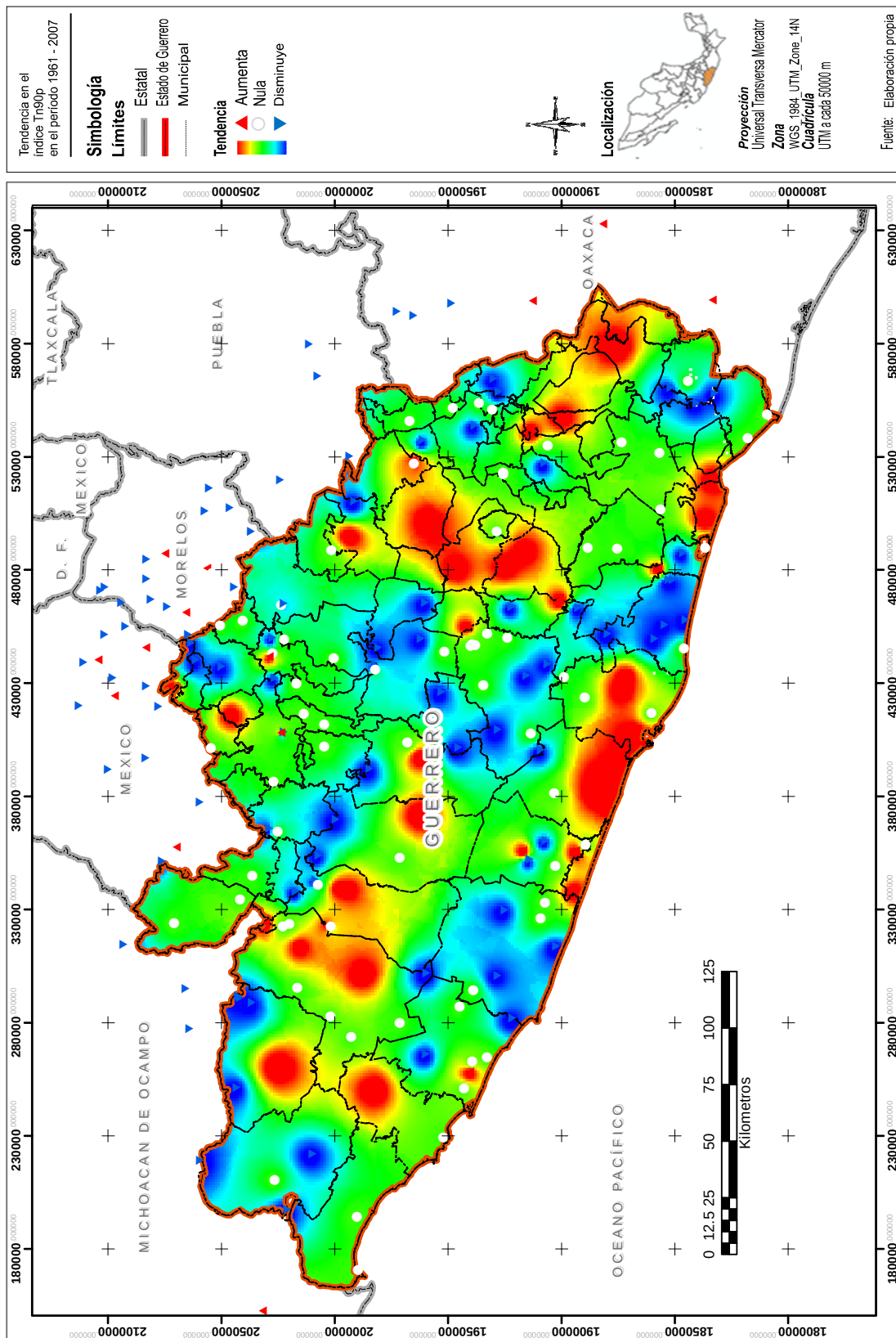


Figura A6.18. Tendencia en el índice Tn90p en el período 1961 - 2007

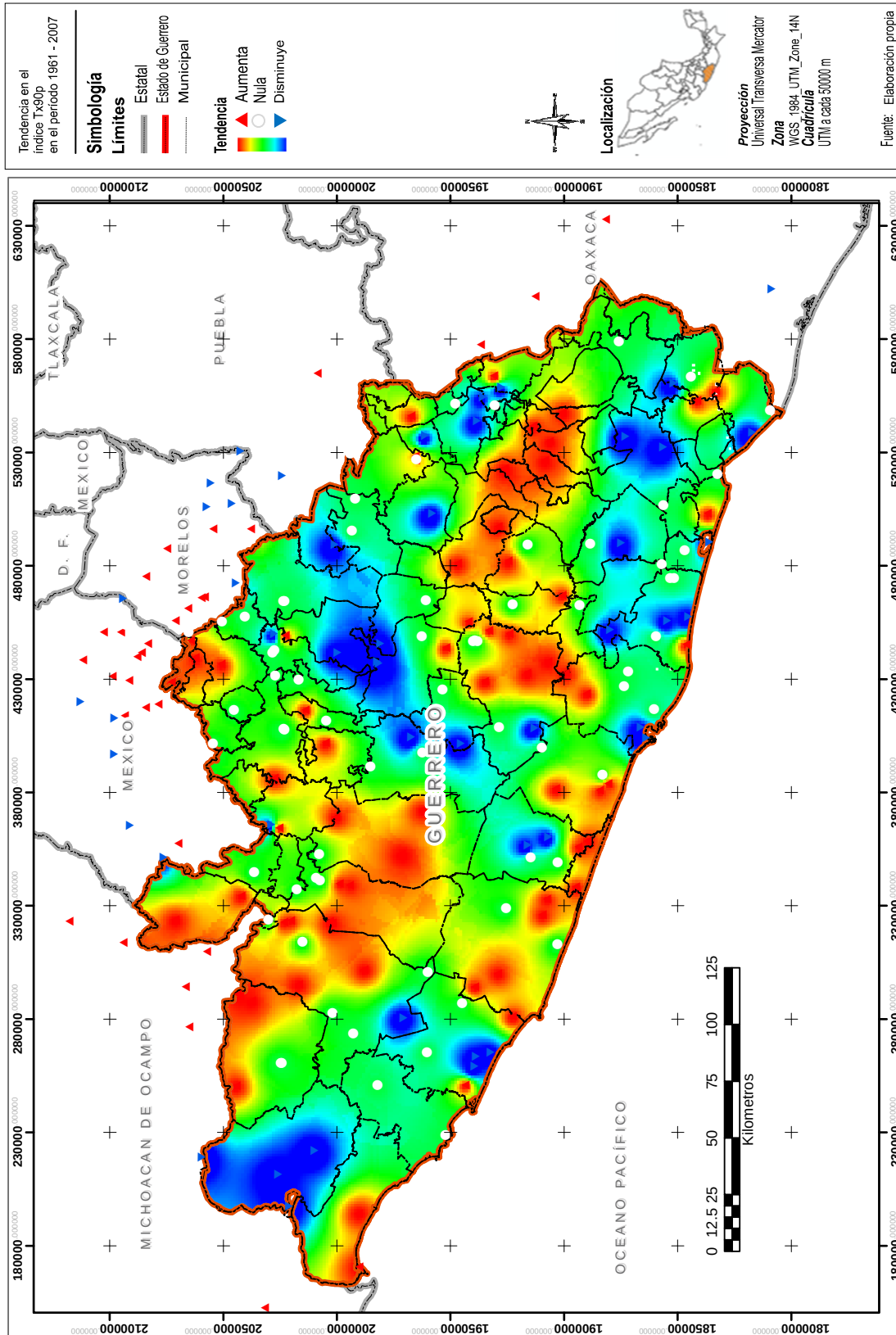


Figura A6.19. Tendencia en el índice Tx90p en el período 1961 - 2007

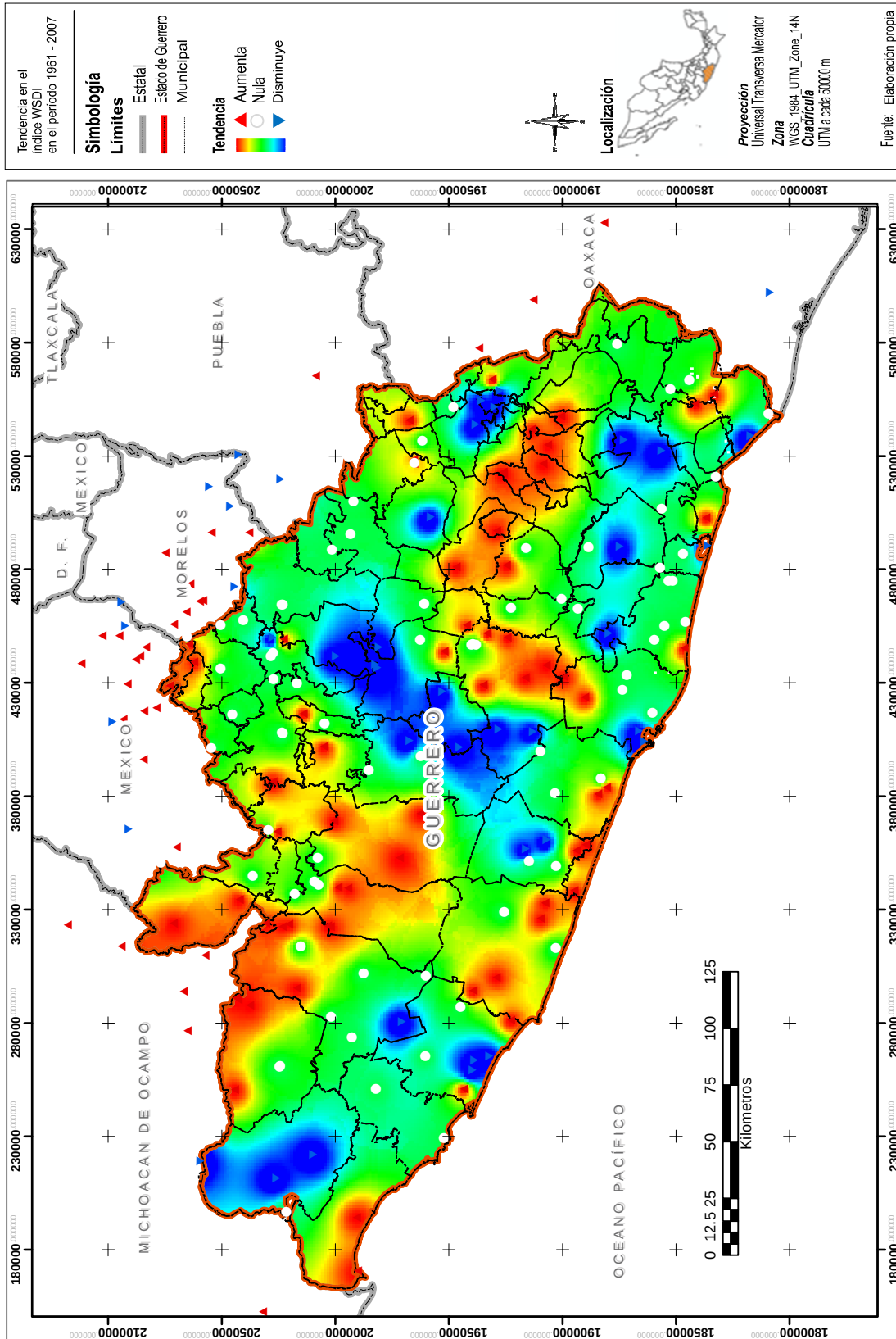


Figura A6.20. Tendencia en el índice WSDI en el período 1961 - 2007

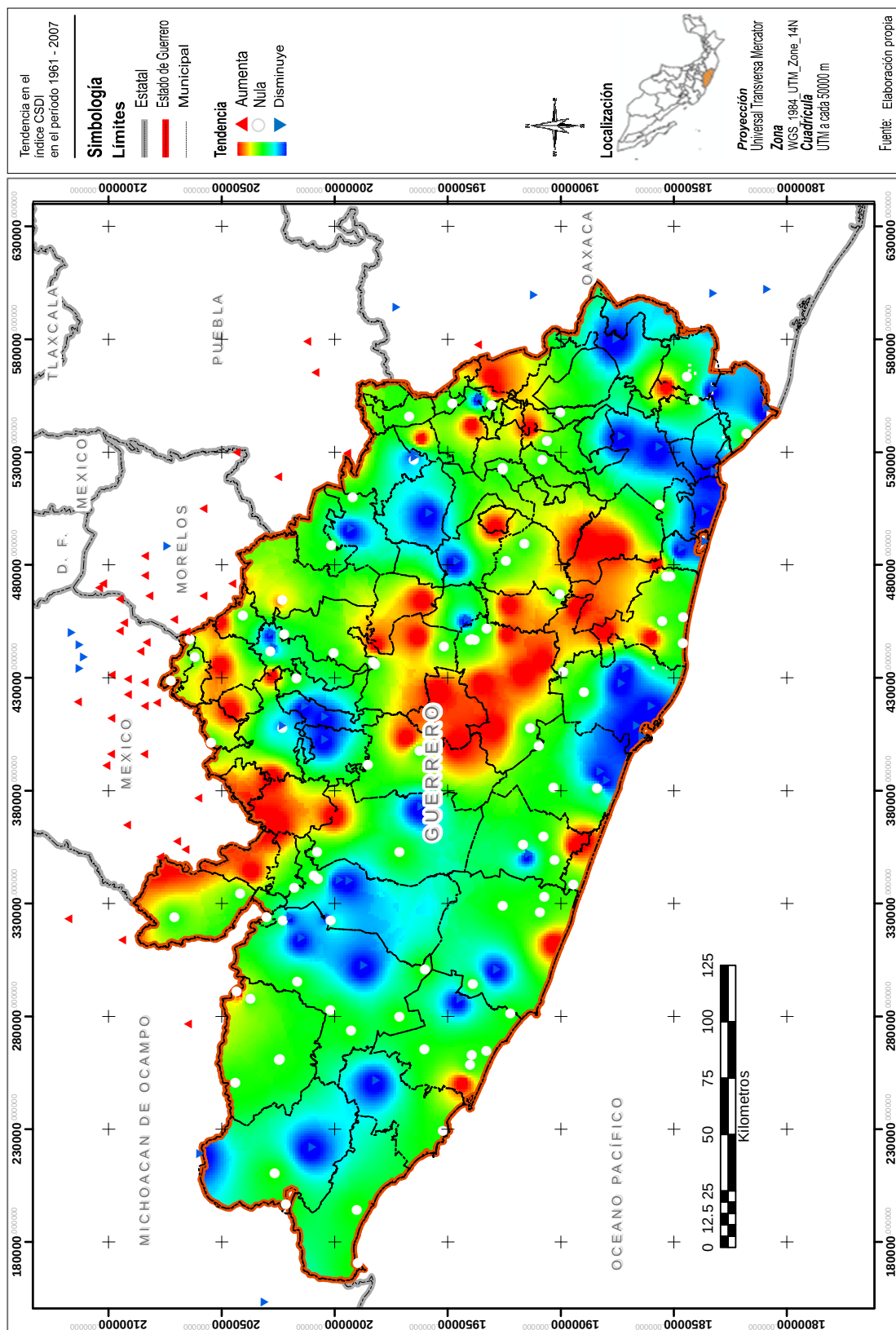


Figura A6.21. Tendencia en el índice CSDI en el período 1961 - 2007

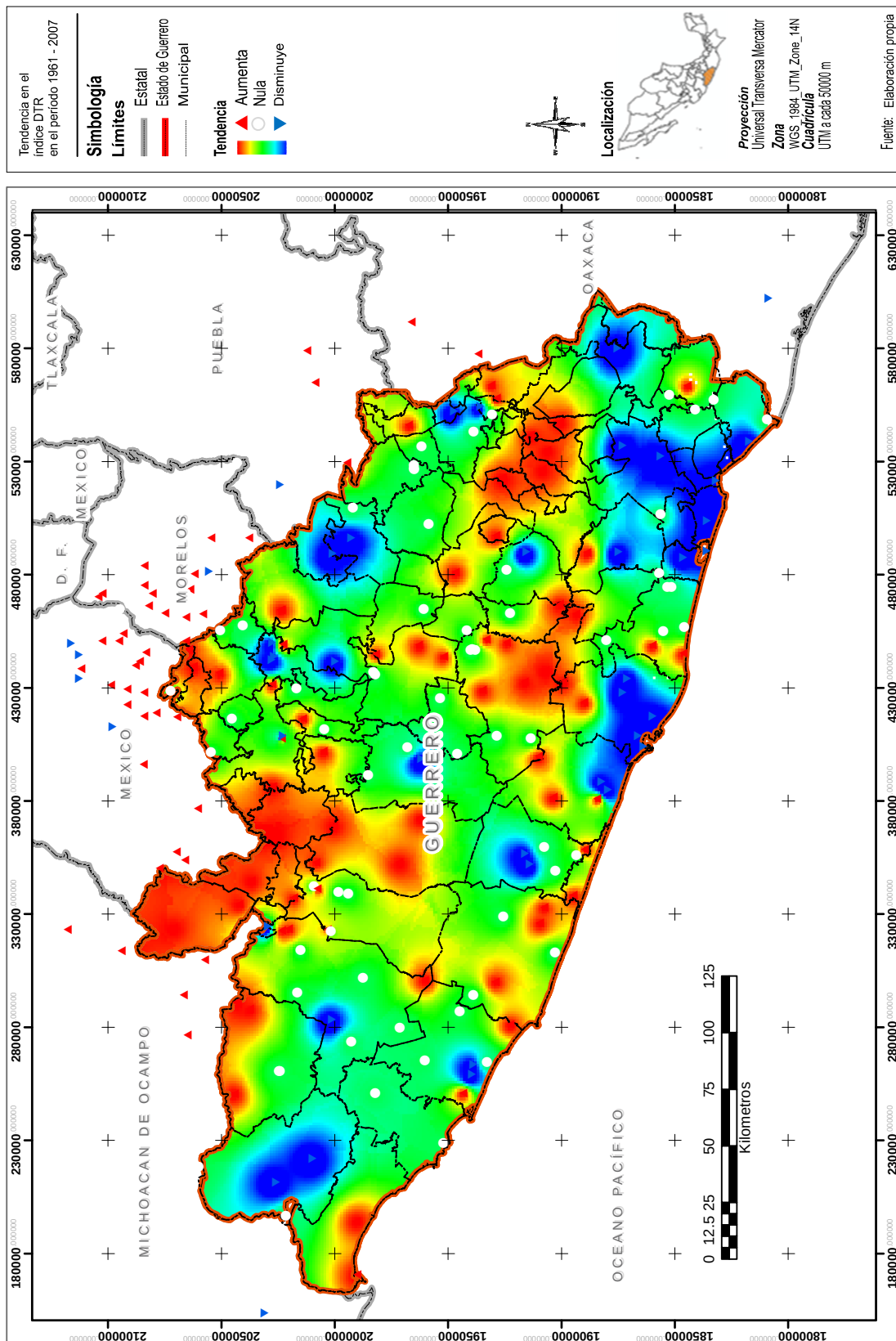


Figura A6.22. Tendencia en el índice DTR en el periodo 1961 - 2007

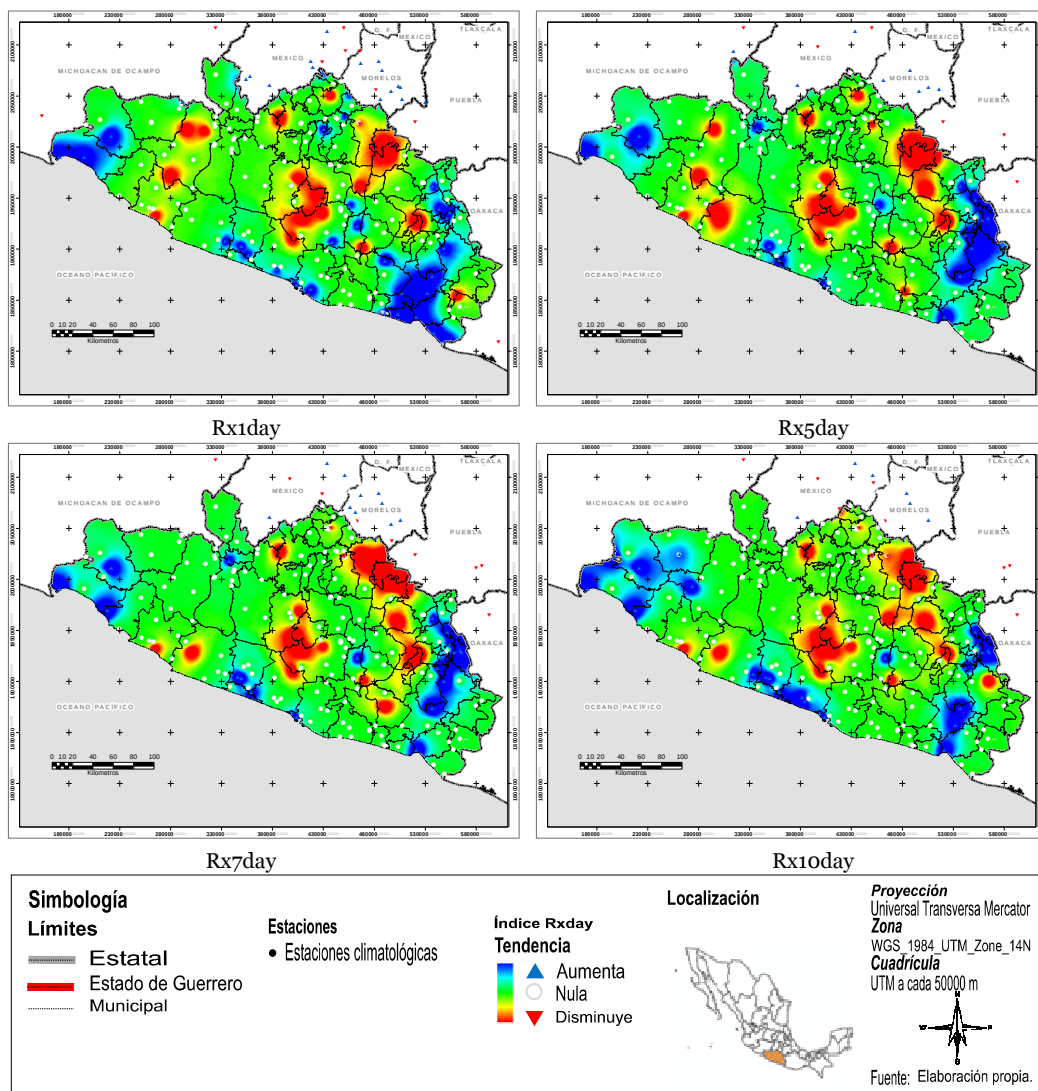


Figura A6.23. Tendencia del índice Rxday en el estado de Guerrero, para el período 1961 – 2007.

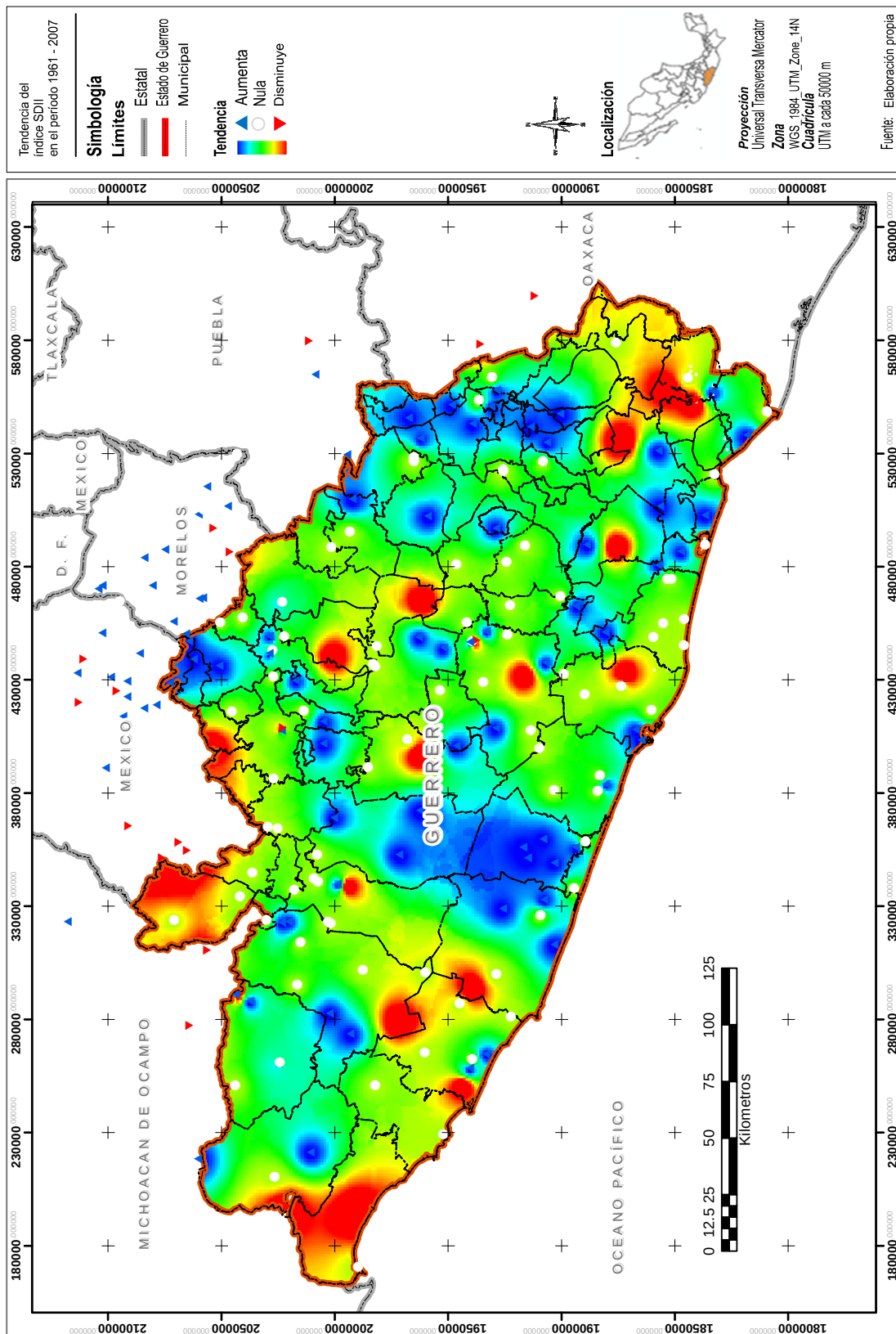


Figura A6.24. Tendencia del índice SDII en el periodo 1961 - 2007

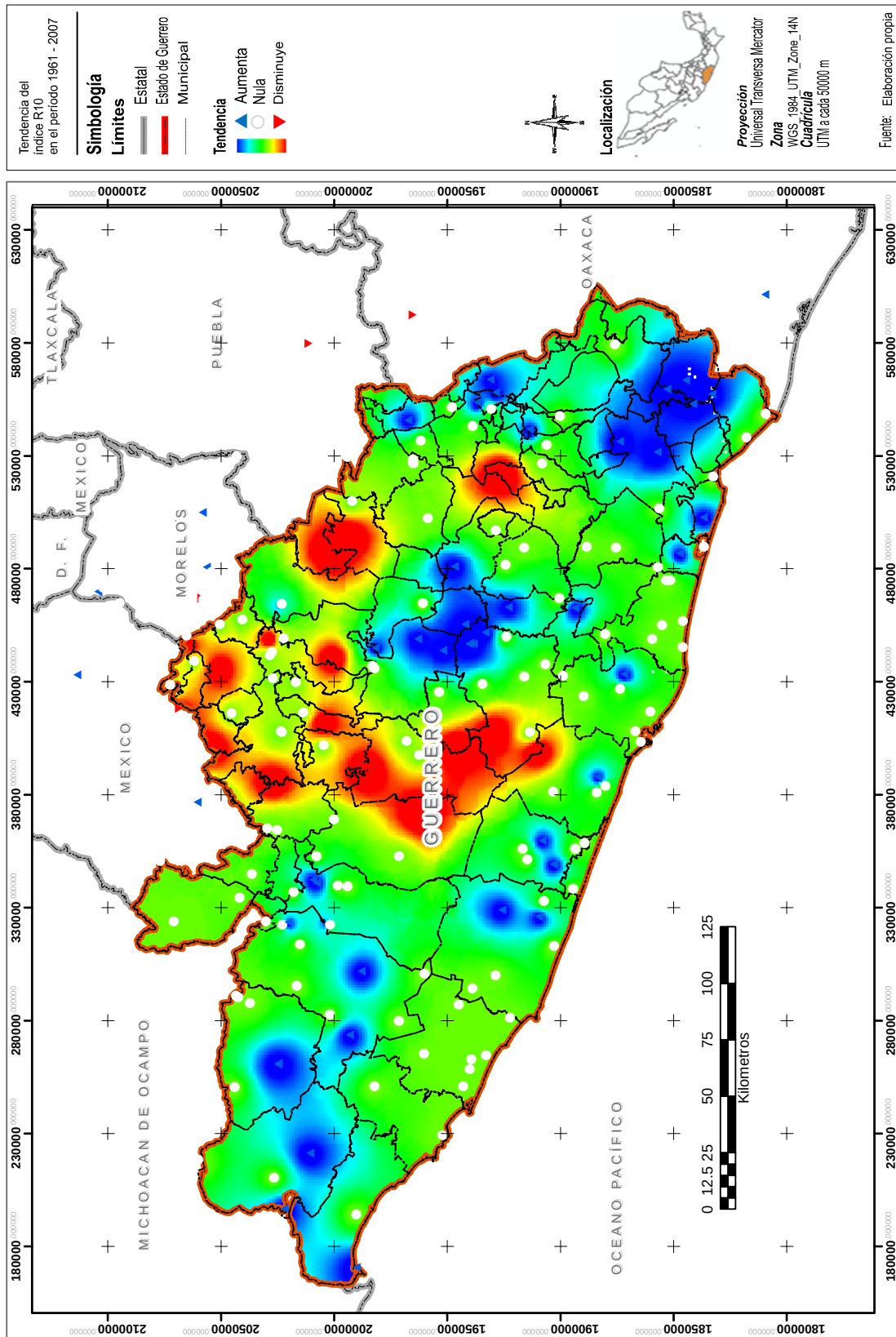


Figura A6.25. Tendencia del índice R10 en el periodo 1961 - 2007

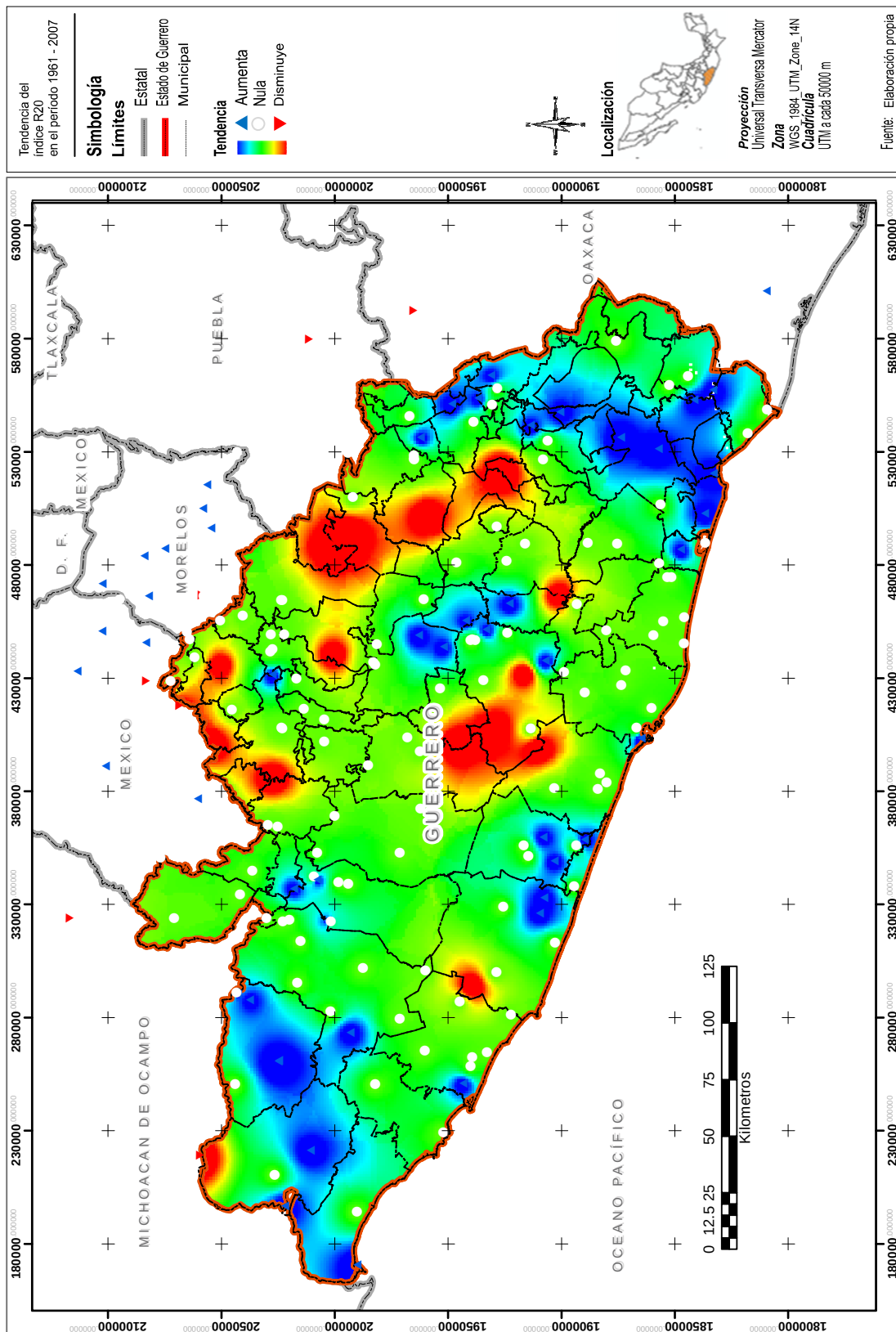


Figura A6.26. Tendencia del índice R20 en el período 1961 - 2007

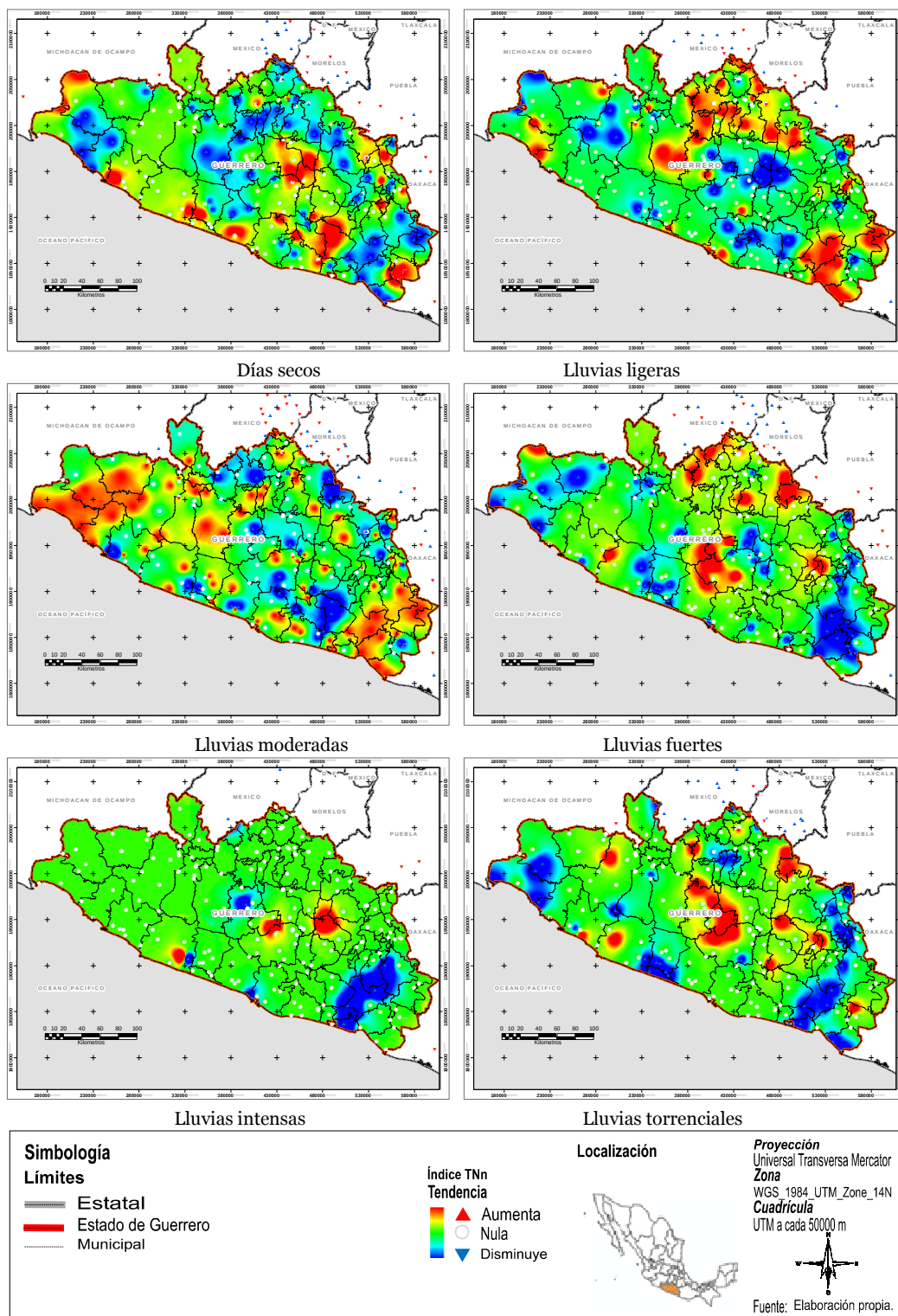


Figura A6.27. Tendencia de lluvias en el estado de Guerrero, en base a clasificación CONAGUA, para el período 1961 – 2007.

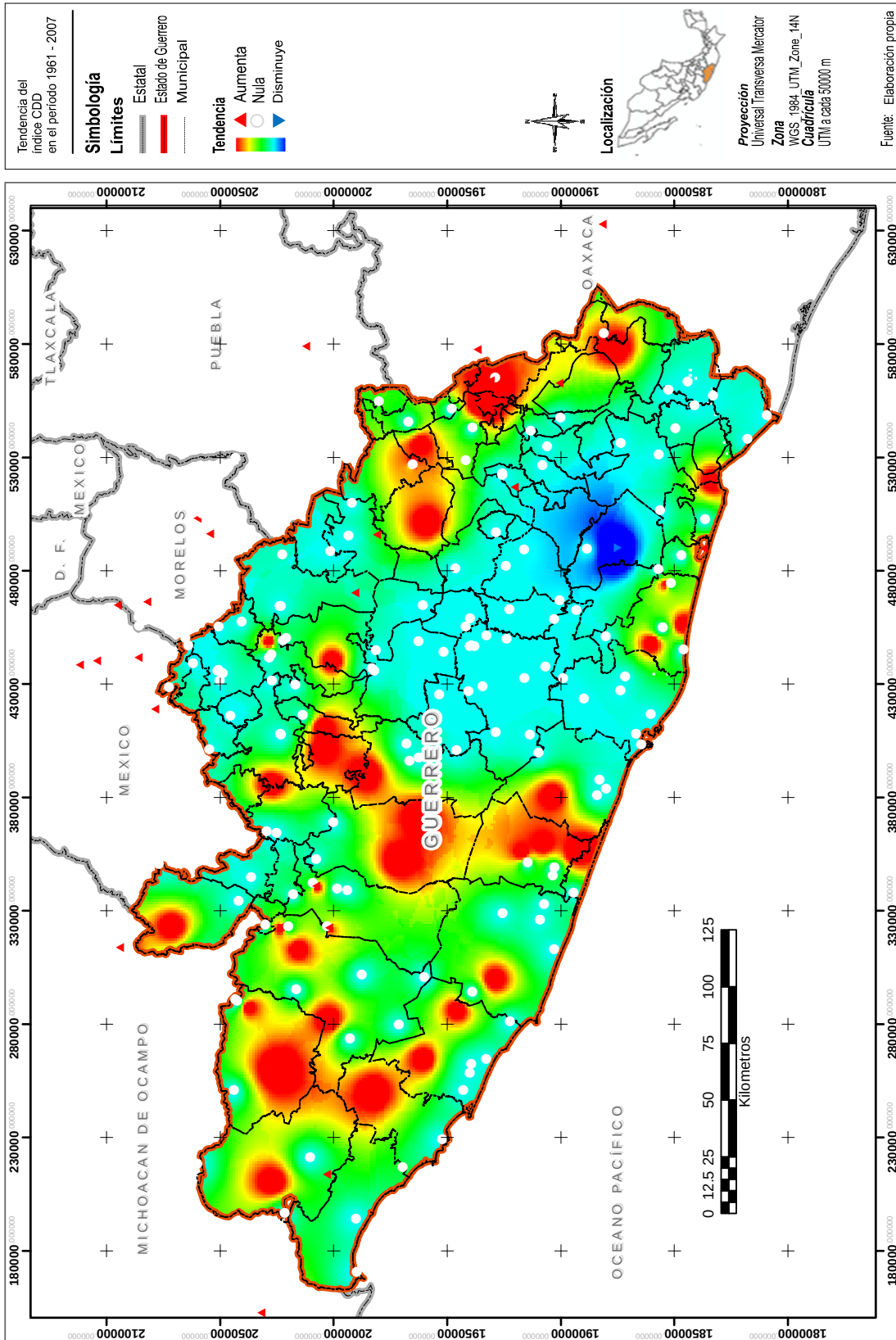


Figura A6.28. Tendencia del índice CDD en el periodo 1961 - 2007

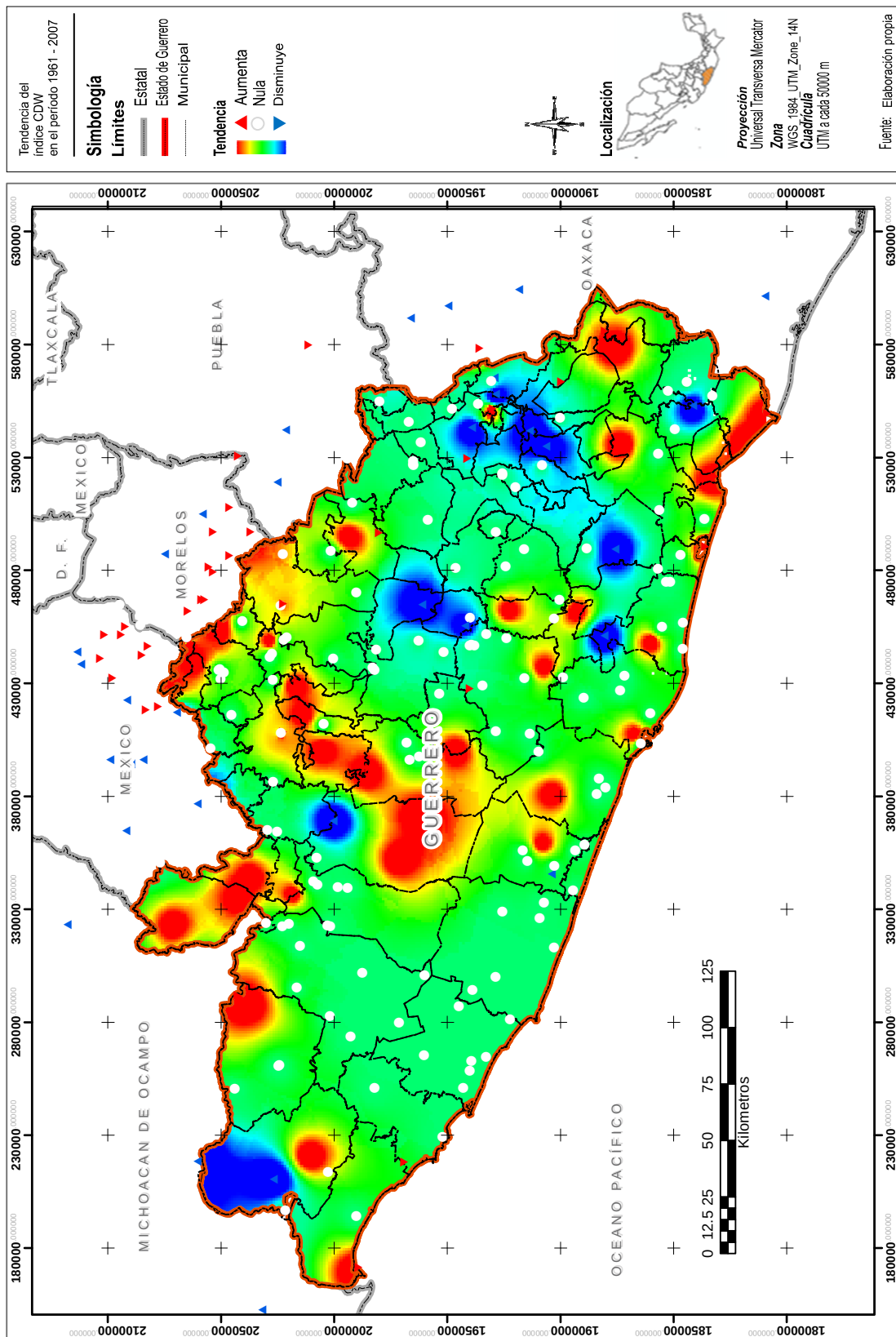


Figura A6.29. Tendencia del índice CDW en el periodo 1961 - 2007

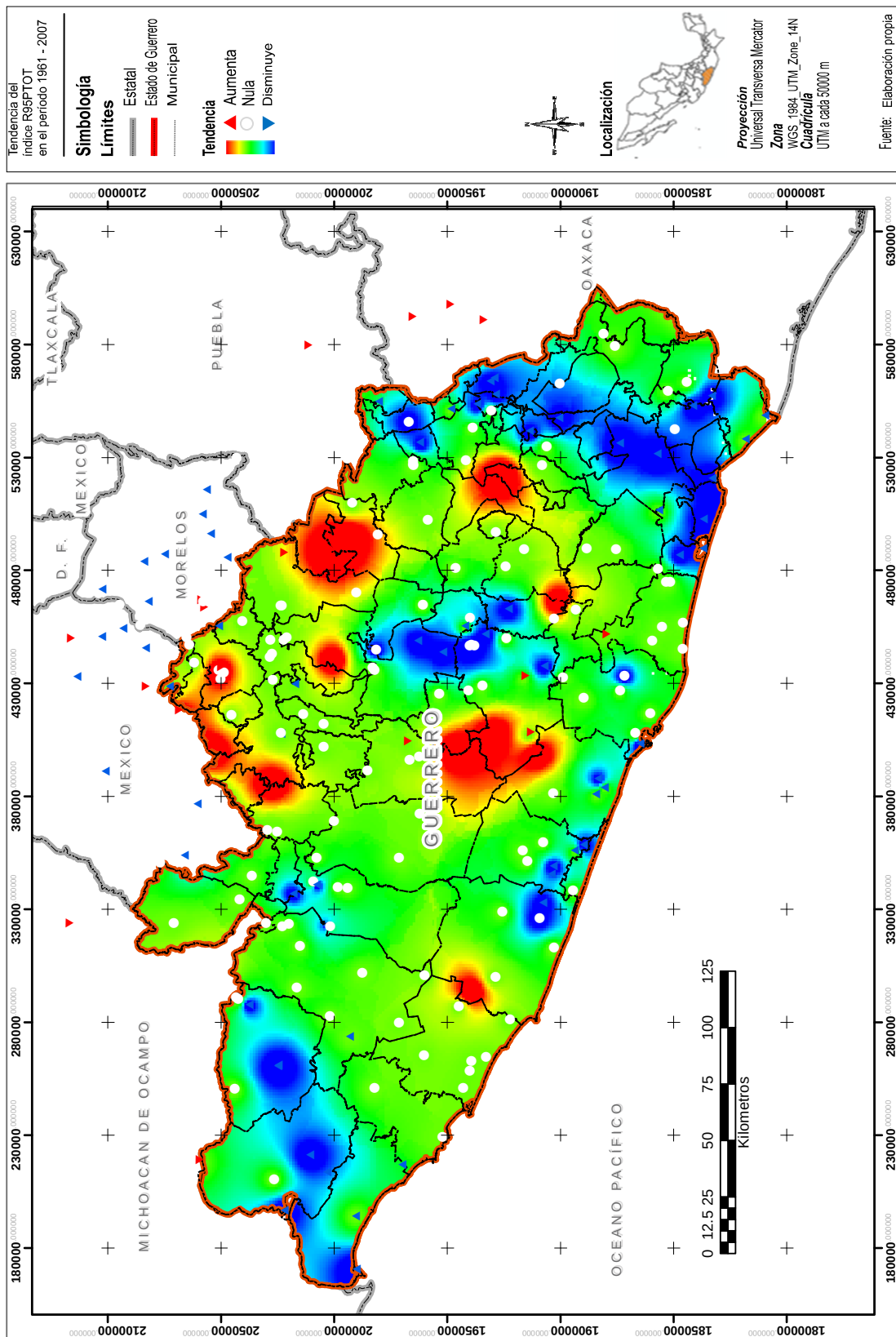


Figura A6.30. Tendencia del índice R95PTOT en el periodo 1961 - 2007

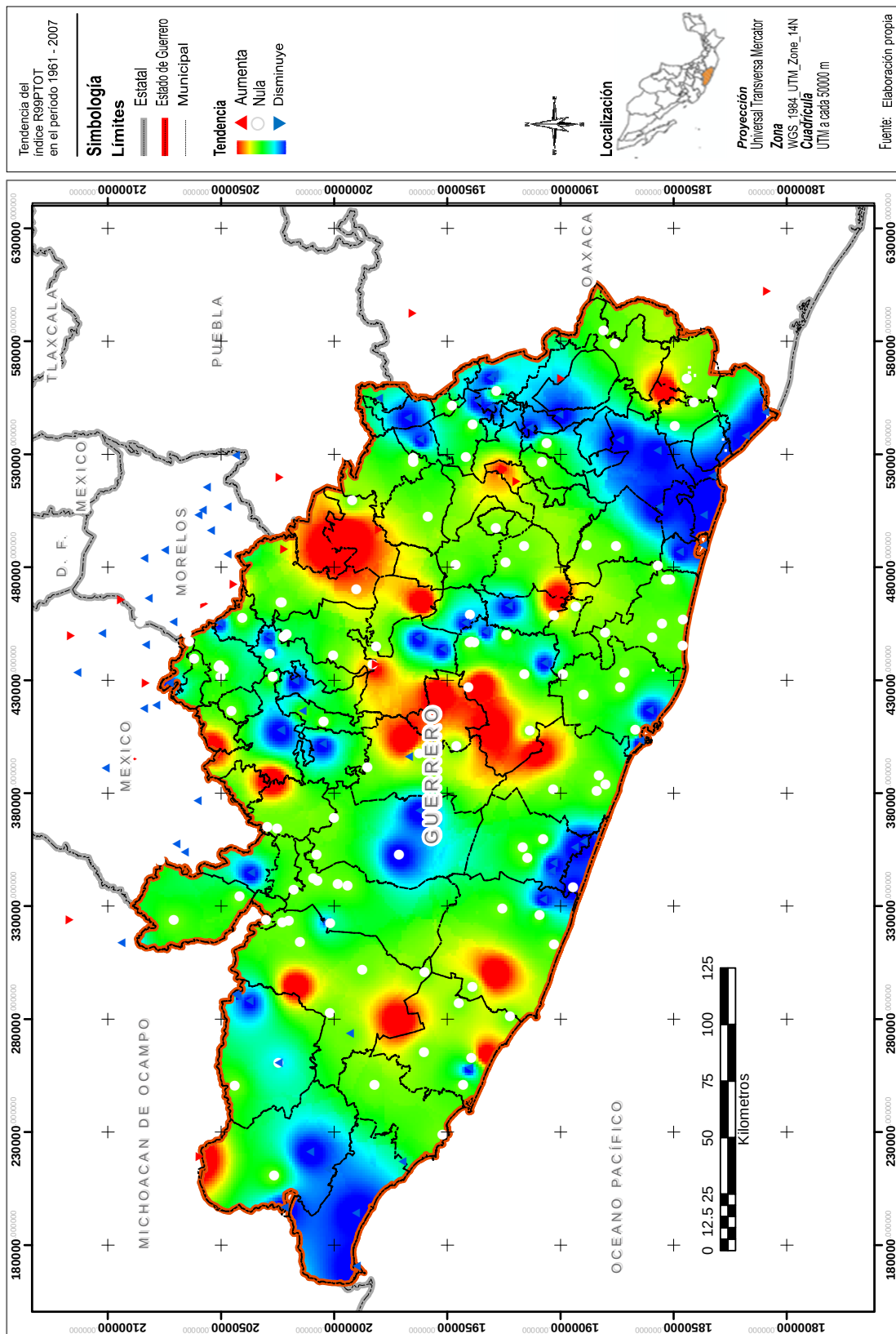


Figura A6.31. Tendencia del índice R99PTOT en el período 1961 - 2007

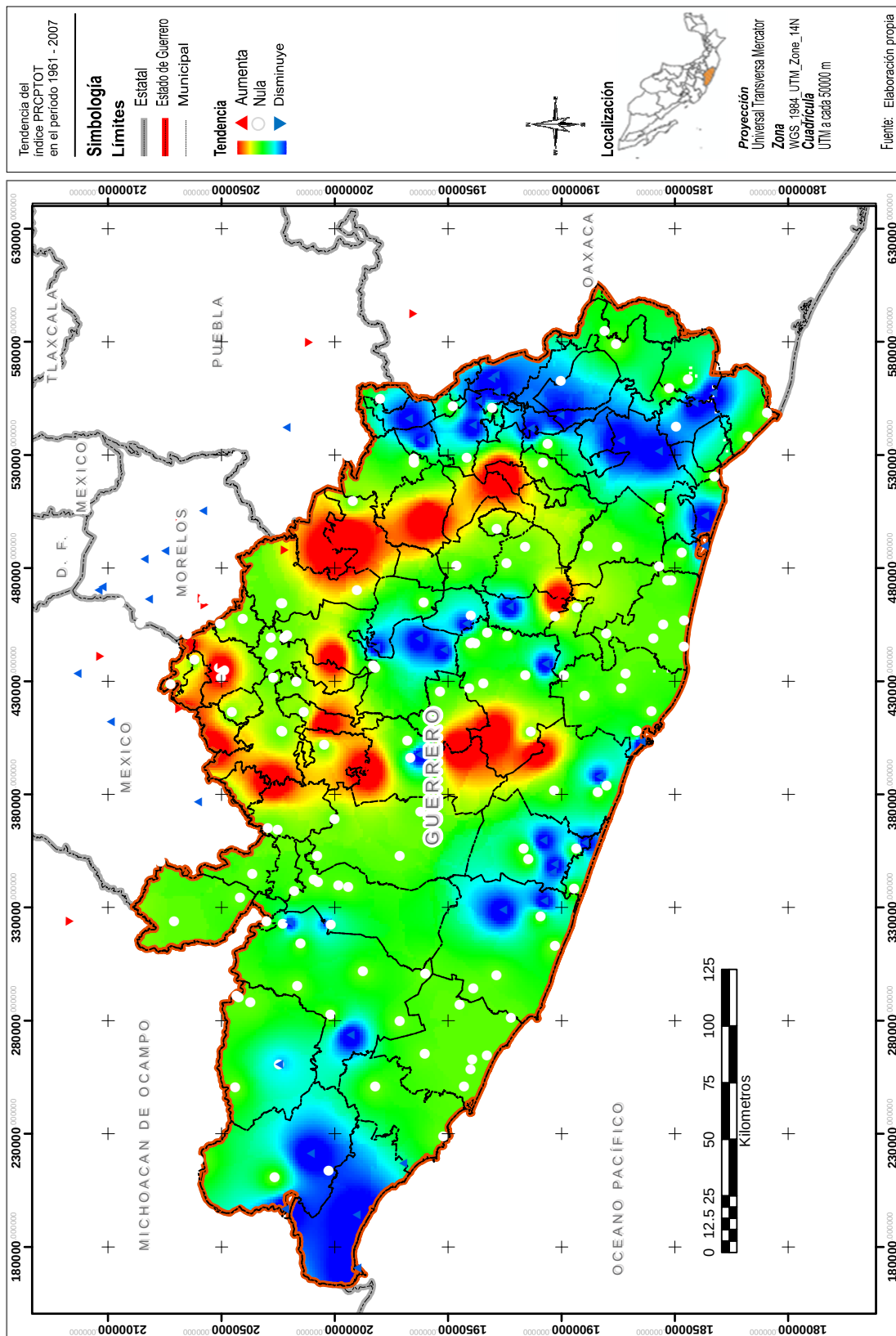


Figura A6.32. Tendencia del índice PRCPOT en el período 1961 - 2007

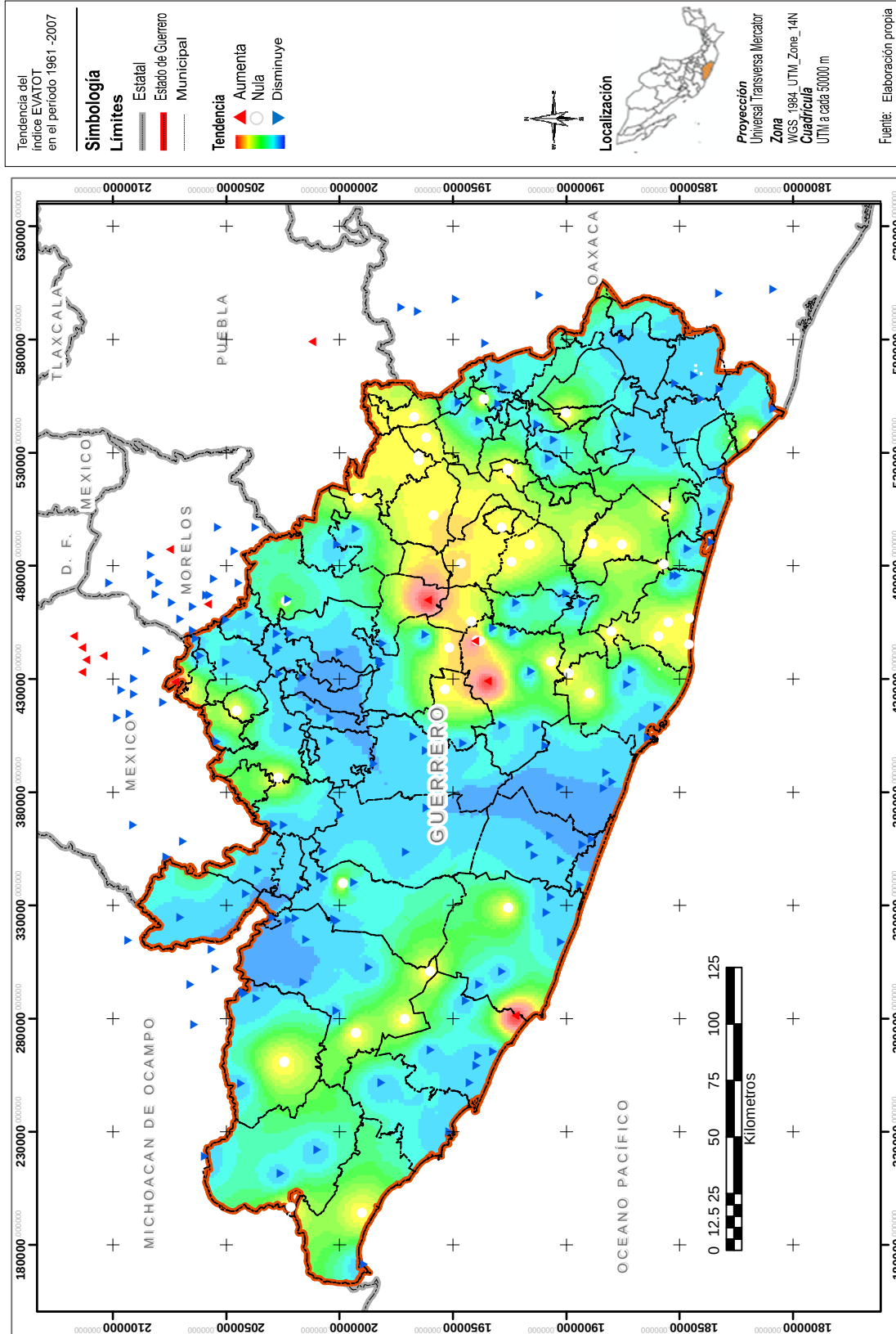


Figura A6.33. Tendencia del índice EVATOT en el período 1961 -2007

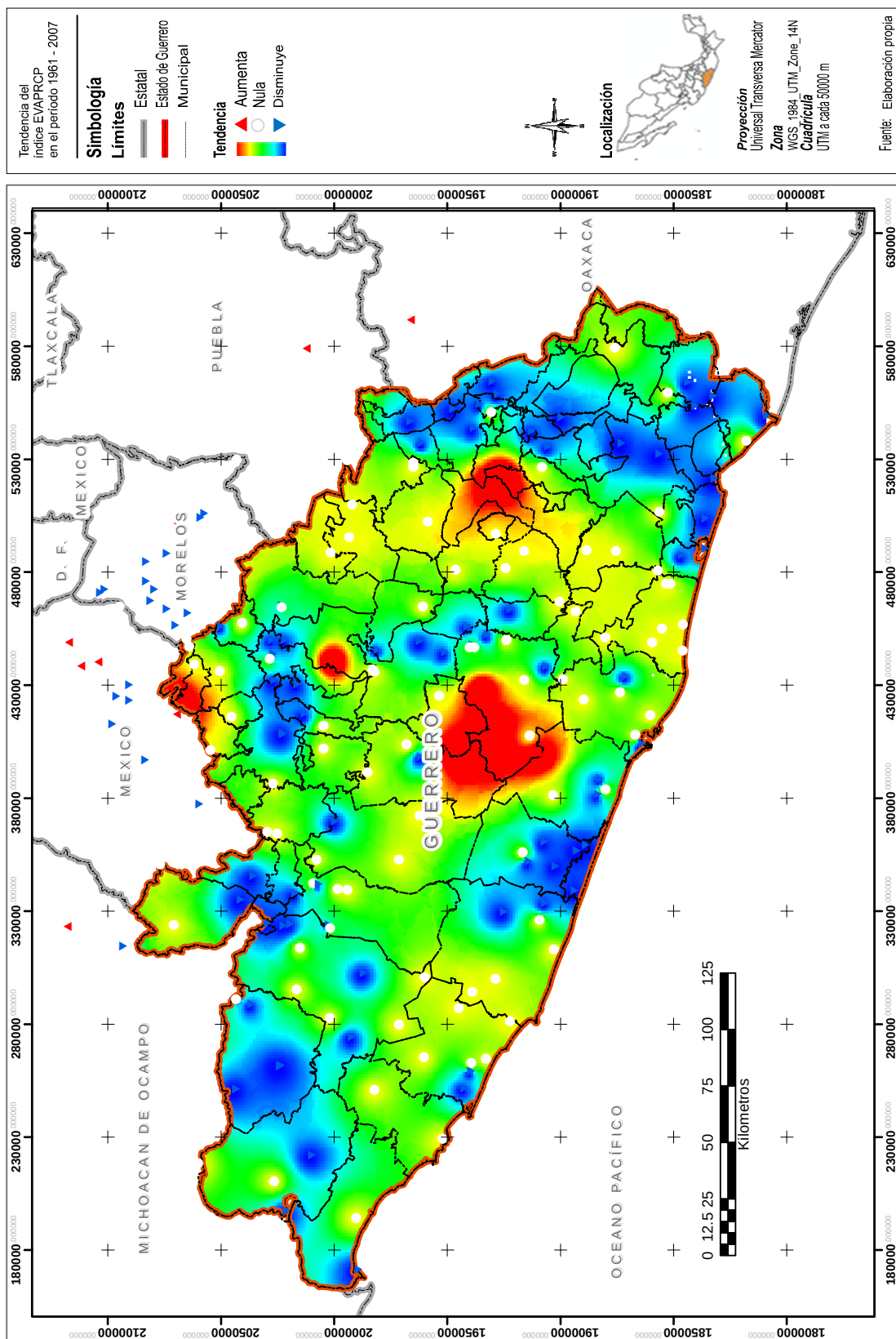


Figura A6.34. Tendencia del índice EVAPRC en el periodo 1961 - 2007

Anexo 7

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios

Municipio	FDo	SU25		FDo	SU25
Ahuacuotzingo	0	1	Xochistlahuaca	0	0
Ajuchitlán del Progreso	0	0	Xochihuehuetlán	0	0
Coyuca de Catalán	0	0	Zirándaro	0	0
Cualác	0	0	Xalpatláhuac	0	0
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	0	1
Cutzamala de Pinzón	0	0	Tlacoapa	0	0
Cuetzala del Progreso	0	0	Tixtla de Guerrero	0	0
Chilapa de Álvarez	0	1	Tlalchapa	0	0
Chilpancingo de los Bravo	0	0	Tlapehuala	0	0
Cuautepec	0	0	Tlapa de Comonfort	0	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	0	0
Atoyac de Álvarez	0	-1	Teloloapan	0	0
Atlixac	0	1	Tepecoacuilco de Trujano	0	0
Atlamajalcingo del Monte	0	1	Técpán de Galeana	0	0
Atenango del río	0	0	Tetipac	0	1
Benito Juárez	0	0	Pungarabato	0	0
Azoyú	0	0	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	0	0	San Luis Acatlán	0	0
Metlatónoc	0	0	San Miguel Totolapan	0	0
Mártir de Cuilapan	0	0	San Marcos	0	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	0	0	Taxco de Alarcón	0	0
Leonardo Bravo	0	0	Cochoapa el Grande	0	1
Mochitlán	0	0	Marquelia	0	0
Alpoyeca	0	-1	Juchitán	0	0
Apaxtla	0	0	José Joaquín de Herrera	0	1
Arcelia	0	0	Iliatenco	0	0
Alcozauca de Guerrero	0	0	Eduardo Neri	0	0
Igualapa	0	0	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	0	1	Cuajinicuilapa	0	0
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	0	0
Huamuxtitlán	0	0	Tlalixtaquilla de Maldonado	0	0
General Canuto A. Neri	0	1	Tlacoachistlahuaca	0	0
Huitzuko de los Figueroa	0	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	0	0	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	0	0	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	0	1	Petatlán	0	0
Copala	0	0	Pilcaya	0	1
Cocula	0	0	Ometepec	0	0
Coahuayutla de José María Izazaga	0	0	Pedro Ascencio Alquisiras	0	1
Buenavista de Cuéllar	0	0	Guerrero	0	1

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	IDo	TR2o		FDo	SU25
Ahuacuotzingo	0	0	Xochistlahuaca	0	1
Ajuchitlán del Progreso	0	0	Xochihuehuatlán	0	0
Coyuca de Catalán	0	0	Zirándaro	0	0
Cualác	0	0	Xalpatláhuac	0	-1
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	0	0
Cutzamala de Pinzón	0	0	Tlacoapa	0	0
Cuetzala del Progreso	0	0	Tixtla de Guerrero	0	0
Chilapa de Álvarez	0	1	Tlalchapa	0	-1
Chilpancingo de los Bravo	0	0	Tlapehuala	0	-1
Cuautepec	0	1	Tlapa de Comonfort	0	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	0	0
Atoyac de Álvarez	0	0	Teloloapan	0	0
Atlixnac	0	0	Tepecoacuilco de Trujano	0	0
Atlamajalcingo del Monte	0	0	Técpán de Galeana	0	0
Atenango del río	0	0	Tetipac	0	-1
Benito Juárez	0	0	Pungarabato	0	0
Azoyú	0	1	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	0	0	San Luis Acatlán	0	0
Metlatónoc	0	0	San Miguel Totolapan	0	0
Mártir de Cuilapan	0	0	San Marcos	0	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	0	0	Taxco de Alarcón	0	-1
Leonardo Bravo	0	-1	Cochoapa el Grande	0	0
Mochitlán	0	0	Marquelia	0	1
Alpoyeca	0	0	Juchitán	0	1
Apaxtla	0	0	José Joaquín de Herrera	0	1
Arcelia	0	-1	Iliatenco	0	0
Alcozauca de Guerrero	0	0	Eduardo Neri	0	-1
Igualapa	0	0	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	0	0	Cuajinicuilapa	0	0
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	0	0
Huamuxtitlán	0	0	Tlalixtaquilla de Maldonado	0	0
General Canuto A. Neri	0	-1	Tlacoachistlahuaca	0	0
Huitzuc de los Figueroa	0	-1	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	0	1	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	0	0	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	0	0	Petatlán	0	0
Copala	0	1	Pilcaya	0	-1
Cocula	0	0	Ometepec	0	0
Coahuayutla de José María Izazaga	0	0	Pedro Ascencio Alquisiras	0	0
Buenavista de Cuéllar	0	0	Guerrero	0	0

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	GSL	TXx		GSL	TXx
Ahuacuotzingo	0	0	Xochistlahuaca	0	0
Ajuchitlán del Progreso	0	0	Xochihuehuetlán	0	0
Coyuca de Catalán	0	0	Zirándaro	0	0
Cualác	0	0	Xalpatláhuac	0	0
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	0	1
Cutzamala de Pinzón	0	1	Tlacoapa	0	1
Cuetzala del Progreso	0	0	Tixtla de Guerrero	0	0
Chilapa de Álvarez	0	1	Tlalchapa	0	0
Chilpancingo de los Bravo	0	0	Tlapehuala	0	0
Cuautepec	0	0	Tlapa de Comonfort	0	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	0	0
Atoyac de Álvarez	0	0	Teloloapan	0	0
Atlixac	0	1	Tepecoacuilco de Trujano	0	0
Atlamajalcingo del Monte	0	1	Técpán de Galeana	0	0
Atenango del río	0	0	Tetipac	0	1
Benito Juárez	0	1	Pungarabato	0	0
Azoyú	0	0	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	0	0	San Luis Acatlán	0	0
Metlatónoc	0	0	San Miguel Totolapan	0	1
Mártir de Cuilapan	0	-1	San Marcos	0	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	0	1	Taxco de Alarcón	0	0
Leonardo Bravo	0	-1	Cochoapa el Grande	0	0
Mochitlán	0	0	Marquelia	0	0
Alpoyeca	0	0	Juchitán	0	0
Apaxtla	0	0	José Joaquín de Herrera	0	1
Arcelia	0	1	Iliatenco	0	0
Alcozauca de Guerrero	0	0	Eduardo Neri	0	0
Igualapa	0	0	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	0	0	Cuajinicuilapa	0	0
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	0	0
Huamuxtitlán	0	1	Tlalixtaquilla de Maldonado	0	0
General Canuto A. Neri	0	0	Tlacoachistlahuaca	0	0
Huitzuc de los Figueroa	0	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	0	0	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	0	0	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	0	1	Petatlán	0	0
Copala	0	0	Pilcaya	0	1
Cocula	0	0	Ometepec	0	0
Coahuayutla de José María Izazaga	0	-1	Pedro Ascencio Alquisiras	0	0
Buenavista de Cuéllar	0	0	Guerrero	0	0

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	TNx	TXn		TNx	TXn
Ahuacuotzingo	0	1	Xochistlahuaca	0	0
Ajuchitlán del Progreso	0	0	Xochihuehuetlán	0	0
Coyuca de Catalán	0	0	Zirándaro	0	0
Cualác	0	0	Xalpatláhuac	0	0
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	0	0
Cutzamala de Pinzón	0	0	Tlacoapa	0	0
Cuetzala del Progreso	0	0	Tixtla de Guerrero	0	0
Chilapa de Álvarez	1	1	Tlalchapa	0	0
Chilpancingo de los Bravo	-1	0	Tlapehuala	-1	1
Cuautepec	0	0	Tlapa de Comonfort	0	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	0	0
Atoyac de Álvarez	-1	0	Teloloapan	0	1
Atlixnac	0	0	Tepecoacuilco de Trujano	-1	0
Atlamajalcingo del Monte	0	1	Técpán de Galeana	-1	0
Atenango del río	0	0	Tetipac	0	1
Benito Juárez	-1	0	Pungarabato	0	0
Azoyú	0	0	Quechultenango	1	0
Juan R. Escudero	0	1	San Luis Acatlán	-1	0
Metlatónoc	0	1	San Miguel Totolapan	-1	0
Mártir de Cuilapan	-1	0	San Marcos	-1	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	0	1	Taxco de Alarcón	0	0
Leonardo Bravo	-1	0	Cochoapa el Grande	0	1
Mochitlán	0	0	Marquelia	0	0
Alpoyeca	-1	-1	Juchitán	0	0
Apaxtla	0	0	José Joaquín de Herrera	0	1
Arcelia	-1	0	Iliatenco	-1	0
Alcozauca de Guerrero	0	1	Eduardo Neri	-1	0
Igualapa	0	0	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	0	1	Cuajinicuilapa	0	0
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	0	0
Huamuxtitlán	0	0	Tlalixtaquilla de Maldonado	0	0
General Canuto A. Neri	0	1	Tlacoachistlahuaca	0	0
Huitzuc de los Figueroa	0	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	-1	0	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	0	0	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	0	0	Petatlán	-1	0
Copala	0	1	Pilcaya	0	1
Cocula	0	0	Ometepec	-1	0
Coahuayutla de José María Izazaga	-1	0	Pedro Ascencio Alquisiras	0	1
Buenavista de Cuéllar	0	0	Guerrero	-1	1

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	Tx10p	Tn90p		Tx10p	Tn90p
Ahuacuotzingo	-1	1	Xochistlahuaca	-1	0
Ajuchitlán del Progreso	-1	0	Xochihuehuetlán	0	0
Coyuca de Catalán	-1	0	Zirándaro	-1	0
Cualác	0	0	Xalpatláhuac	0	0
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	-1	0
Cutzamala de Pinzón	0	0	Tlacoapa	0	0
Cuetzala del Progreso	-1	0	Tixtla de Guerrero	-1	0
Chilapa de Álvarez	-1	1	Tlalchapa	0	0
Chilpancingo de los Bravo	0	0	Tlapehuala	0	0
Cuautepec	0	0	Tlapa de Comonfort	0	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	-1	0
Atoyac de Álvarez	0	0	Teloloapan	-1	0
Atlixnac	-1	0	Tepecoacuilco de Trujano	0	0
Atlamajalcingo del Monte	-1	1	Técpan de Galeana	0	0
Atenango del río	0	0	Tetipac	-1	0
Benito Juárez	-1	0	Pungarabato	0	0
Azoyú	0	-1	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	0	0	San Luis Acatlán	0	0
Metlatónoc	0	0	San Miguel Totolapan	0	0
Mártir de Cuilapan	0	-1	San Marcos	0	-1
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	0	0	Taxco de Alarcón	-1	0
Leonardo Bravo	0	-1	Cochoapa el Grande	-1	0
Mochitlán	0	0	Marquelia	-1	0
Alpoyeca	1	0	Juchitán	0	0
Apaxtla	-1	0	José Joaquín de Herrera	-1	0
Arcelia	0	0	Iliatenco	0	0
Alcozauca de Guerrero	0	0	Eduardo Neri	0	0
Igualapa	0	-1	Zitlala	-1	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	-1	0	Cuajinicuilapa	0	0
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	-1	0
Huamuxtitlán	1	0	Tlalixtaquilla de Maldonado	0	0
General Canuto A. Neri	-1	0	Tlacoachistlahuaca	-1	0
Huitzoco de los Figueroa	0	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	0	0	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	0	0	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	0	0	Petatlán	0	0
Copala	-1	1	Pilcaya	-1	0
Cocula	0	0	Ometepec	0	0
Coahuayutla de José María Izazaga	0	0	Pedro Ascencio Alquisiras	-1	0
Buenavista de Cuéllar	0	0	Guerrero	0	0

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	Tx9op	WSDI		Tx9op	WSDI
Ahuacuotzingo	0	0	Xochistlahuaca	0	0
Ajuchitlán del Progreso	1	1	Xochihuehuetlán	0	0
Coyuca de Catalán	0	0	Zirándaro	0	0
Cualác	0	0	Xalpatláhuac	0	0
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	1	1
Cutzamala de Pinzón	1	1	Tlacoapa	1	1
Cuetzala del Progreso	0	0	Tixtla de Guerrero	1	1
Chilapa de Álvarez	1	1	Tlalchapa	0	0
Chilpancingo de los Bravo	0	0	Tlapehuala	0	0
Cuautepec	0	0	Tlapa de Comonfort	0	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	0	0
Atoyac de Álvarez	0	0	Teloloapan	0	0
Atlixnac	1	1	Tepecoacuilco de Trujano	0	0
Atlamajalcingo del Monte	1	1	Técpán de Galeana	0	0
Atenango del río	0	0	Tetipac	1	1
Benito Juárez	1	1	Pungarabato	0	1
Azoyú	0	0	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	0	0	San Luis Acatlán	0	0
Metlatónoc	0	0	San Miguel Totolapan	1	1
Mártir de Cuilapan	0	0	San Marcos	0	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	1	1	Taxco de Alarcón	0	0
Leonardo Bravo	0	-1	Cochoapa el Grande	0	0
Mochitlán	1	0	Marquelia	0	0
Alpoyeca	0	0	Juchitán	0	0
Apaxtla	0	0	José Joaquín de Herrera	1	1
Arcelia	0	1	Iliatenco	0	0
Alcozauca de Guerrero	0	0	Eduardo Neri	0	0
Igualapa	0	0	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	0	0	Cuajinicuilapa	0	0
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	0	0
Huamuxtitlán	0	1	Tlalixtaquilla de Maldonado	0	0
General Canuto A. Neri	0	0	Tlacoachistlahuaca	0	0
Huitzuc de los Figueroa	0	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	0	0	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	0	0	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	1	0	Petatlán	0	0
Copala	0	0	Pilcaya	1	1
Cocula	0	0	Ometepec	0	0
Coahuayutla de José María Izazaga	-1	0	Pedro Ascencio Alquisiras	0	0
Buenavista de Cuéllar	0	0	Guerrero	1	1

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	CSDI	DTR		CSDI	DTR
Ahuacuotzingo	-1	0	Xochistlahuaca	-1	0
Ajuchitlán del Progreso	0	0	Xochihuehuetlán	0	0
Coyuca de Catalán	0	0	Zirándaro	0	0
Cualác	0	0	Xalpatláhuac	0	0
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	0	1
Cutzamala de Pinzón	0	1	Tlacoapa	0	1
Cuetzala del Progreso	-1	0	Tixtla de Guerrero	0	0
Chilapa de Álvarez	0	1	Tlalchapa	1	1
Chilpancingo de los Bravo	1	1	Tlapehuala	0	1
Cuautepec	0	-1	Tlapa de Comonfort	0	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	0	0
Atoyac de Álvarez	0	0	Teloloapan	0	0
Atlixnac	0	1	Tepecoacuilco de Trujano	0	0
Atlamajalcingo del Monte	0	1	Técpán de Galeana	0	0
Atenango del río	0	0	Tetipac	0	1
Benito Juárez	0	1	Pungarabato	0	0
Azoyú	0	0	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	1	1	San Luis Acatlán	-1	-1
Metlatónoc	0	0	San Miguel Totolapan	0	1
Mártir de Cuilapan	1	0	San Marcos	0	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	1	0
Malinaltepec	0	1	Taxco de Alarcón	0	0
Leonardo Bravo	1	0	Cochoapa el Grande	0	0
Mochitlán	1	1	Marquelia	-1	-1
Alpoyeca	0	-1	Juchitán	-1	-1
Apaxtla	0	0	José Joaquín de Herrera	1	1
Arcelia	1	1	Iliatenco	0	0
Alcozauca de Guerrero	1	1	Eduardo Neri	0	0
Igualapa	0	0	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	1	0	Cuajinicuilapa	-1	0
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	0	0
Huamuxtitlán	0	0	Tlalixtaquilla de Maldonado	0	0
General Canuto A. Neri	1	1	Tlacoachistlahuaca	0	0
Huitzuc de los Figueroa	0	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	0	-1	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	0	0	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	0	1	Petatlán	0	0
Copala	-1	-1	Pilcaya	0	1
Cocula	0	0	Ometepec	0	0
Coahuayutla de José María Izazaga	0	0	Pedro Ascencio Alquisiras	0	0
Buenavista de Cuéllar	0	0	Guerrero	1	1

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	Rx1day	Rx5day		Rx1day	Rx5day
Ahuacuotzingo	0	0	Xochistlahuaca	0	0
Ajuchitlán del Progreso	0	0	Xochihuehuetlán	0	0
Coyuca de Catalán	0	0	Zirándaro	0	0
Cualác	0	0	Xalpatláhuac	0	1
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	0	0
Cutzamala de Pinzón	0	0	Tlacoapa	0	0
Cuetzala del Progreso	0	0	Tixtla de Guerrero	0	0
Chilapa de Álvarez	0	0	Tlalchapa	0	0
Chilpancingo de los Bravo	0	0	Tlapehuala	0	0
Cuautepec	1	0	Tlapa de Comonfort	0	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	1	0
Atoyac de Álvarez	0	0	Teloloapan	0	0
Atlixac	0	0	Tepecoacuilco de Trujano	0	0
Atlamajalcingo del Monte	0	1	Técpán de Galeana	0	0
Atenango del río	-1	-1	Tetipac	0	0
Benito Juárez	0	0	Pungarabato	0	0
Azoyú	0	0	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	0	0	San Luis Acatlán	1	0
Metlatónoc	0	1	San Miguel Totolapan	0	0
Mártir de Cuilapan	0	0	San Marcos	0	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	0	0	Taxco de Alarcón	0	0
Leonardo Bravo	-1	0	Cochoapa el Grande	0	0
Mochitlán	0	0	Marquelia	1	0
Alpoyeca	0	1	Juchitán	1	0
Apaxtla	0	0	José Joaquín de Herrera	0	0
Arcelia	0	0	Iliatenco	1	1
Alcozauca de Guerrero	0	1	Eduardo Neri	0	0
Igualapa	0	0	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	0	0	Cuajinicuilapa	1	0
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	0	0
Huamuxtitlán	0	0	Tlalixtaquilla de Maldonado	0	1
General Canuto A. Neri	0	0	Tlacoachistlahuaca	0	0
Huitzuc de los Figueroa	0	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	0	0	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	-1	-1	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	0	0	Petatlán	0	0
Copala	1	0	Pilcaya	0	0
Cocula	0	0	Ometepec	0	0
Coahuayutla de José María Izazaga	0	0	Pedro Ascencio Alquisiras	0	0
Buenavista de Cuéllar	0	0	Guerrero	0	0

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	SDII	R10		SDII	R10
Ahuacuotzingo	1	0	Xochistlahuaca	0	0
Ajuchitlán del Progreso	0	0	Xochihuehuetlán	1	0
Coyuca de Catalán	0	0	Zirándaro	0	0
Cualác	1	0	Xalpatláhuac	1	0
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	0	0
Cutzamala de Pinzón	0	0	Tlacoapa	0	0
Cuetzala del Progreso	0	0	Tixtla de Guerrero	0	1
Chilapa de Álvarez	0	0	Tlalchapa	0	0
Chilpancingo de los Bravo	0	0	Tlapehuala	0	0
Cuautepec	1	0	Tlapa de Comonfort	1	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	0	0
Atoyac de Álvarez	1	0	Teloloapan	0	0
Atlixnac	0	0	Tepecoacuilco de Trujano	0	0
Atlamajalcingo del Monte	1	0	Técpán de Galeana	0	0
Atenango del río	0	-1	Tetipac	1	0
Benito Juárez	0	0	Pungarabato	0	0
Azoyú	0	1	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	0	0	San Luis Acatlán	0	1
Metlatónoc	0	0	San Miguel Totolapan	1	0
Mártir de Cuilapan	0	0	San Marcos	0	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	0	0	Taxco de Alarcón	1	0
Leonardo Bravo	0	0	Cochoapa el Grande	0	0
Mochitlán	0	1	Marquelia	0	0
Alpoyeca	1	0	Juchitán	0	0
Apaxtla	0	0	José Joaquín de Herrera	1	0
Arcelia	0	0	Iliatenco	0	1
Alcozauca de Guerrero	0	1	Eduardo Neri	0	0
Igualapa	-1	1	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	0	0	Cuajinicuilapa	0	0
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	0	0
Huamuxtitlán	1	1	Tlalixtaquilla de Maldonado	0	0
General Canuto A. Neri	0	0	Tlacoachistlahuaca	0	0
Huitzuc de los Figueroa	0	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	1	0	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	0	0	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	0	0	Petatlán	0	0
Copala	1	1	Pilcaya	1	0
Cocula	0	0	Ometepec	0	1
Coahuayutla de José María Izazaga	0	0	Pedro Ascencio Alquisiras	0	0
Buenavista de Cuéllar	0	0	Guerrero	1	0

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	R20	R00		R20	R00
Ahuacuotzingo	0	0	Xochistlahuaca	0	0
Ajuchitlán del Progreso	0	0	Xochihuehuetlán	0	0
Coyuca de Catalán	0	0	Zirándaro	1	0
Cualác	0	0	Xalpatláhuac	0	0
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	0	0
Cutzamala de Pinzón	0	0	Tlacoapa	0	0
Cuetzala del Progreso	0	1	Tixtla de Guerrero	1	0
Chilapa de Álvarez	0	0	Tlalchapa	0	0
Chilpancingo de los Bravo	0	0	Tlapehuala	0	0
Cuautepec	0	0	Tlapa de Comonfort	0	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	0	0
Atoyac de Álvarez	0	0	Teloloapan	0	0
Atlixnac	0	0	Tepecoacuilco de Trujano	0	0
Atlamajalcingo del Monte	1	0	Técpan de Galeana	0	0
Atenango del río	-1	0	Tetipac	0	0
Benito Juárez	0	0	Pungarabato	0	0
Azoyú	1	0	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	0	0	San Luis Acatlán	1	1
Metlatónoc	1	0	San Miguel Totolapan	0	1
Mártir de Cuilapan	0	0	San Marcos	0	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	0	0	Taxco de Alarcón	0	0
Leonardo Bravo	0	0	Cochoapa el Grande	0	1
Mochitlán	0	0	Marquelia	1	1
Alpoyeca	1	0	Juchitán	1	0
Apaxtla	0	1	José Joaquín de Herrera	0	0
Arcelia	0	0	Iliatenco	1	1
Alcozauca de Guerrero	0	0	Eduardo Neri	0	0
Igualapa	0	0	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	0	0	Cuajinicuilapa	0	0
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	0	1
Huamuxtitlán	0	0	Tlalixtaquilla de Maldonado	1	0
General Canuto A. Neri	0	0	Tlacoachistlahuaca	0	1
Huitzuco de los Figueroa	0	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	0	0	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	-1	1	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	0	0	Petatlán	0	0
Copala	1	0	Pilcaya	0	1
Cocula	0	1	Ometepec	0	0
Coahuayutla de José María Izazaga	0	0	Pedro Ascencio Alquisiras	0	0
Buenavista de Cuéllar	0	0	Guerrero	1	1

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	R05	R520		R05	R520
Ahuacuotzingo	0	0	Xochistlahuaca	0	-1
Ajuchitlán del Progreso	0	-1	Xochihuehuetlán	0	0
Coyuca de Catalán	0	-1	Zirándaro	0	-1
Cualác	0	0	Xalpatláhuac	0	0
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	0	0
Cutzamala de Pinzón	0	0	Tlacoapa	0	0
Cuetzala del Progreso	0	-1	Tixtla de Guerrero	1	0
Chilapa de Álvarez	0	0	Tlalchapa	0	0
Chilpancingo de los Bravo	0	0	Tlapehuala	0	0
Cuautepec	0	-1	Tlapa de Comonfort	0	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	0	-1
Atoyac de Álvarez	0	0	Teloloapan	-1	0
Atlixac	0	0	Tepecoacuilco de Trujano	0	0
Atlamajalcingo del Monte	0	0	Técpan de Galeana	0	0
Atenango del río	0	0	Tetipac	0	0
Benito Juárez	0	0	Pungarabato	0	0
Azoyú	0	-1	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	0	0	San Luis Acatlán	-1	-1
Metlatónoc	0	-1	San Miguel Totolapan	0	-1
Mártir de Cuilapan	0	0	San Marcos	0	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	0	-1	Taxco de Alarcón	0	-1
Leonardo Bravo	0	0	Cochoapa el Grande	0	-1
Mochitlán	0	0	Marquelia	-1	-1
Alpoyeca	0	0	Juchitán	-1	-1
Apaxtla	-1	-1	José Joaquín de Herrera	0	0
Arcelia	0	0	Iliatenco	0	-1
Alcozauca de Guerrero	0	0	Eduardo Neri	0	0
Igualapa	0	-1	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	0	0	Cuajinicuilapa	-1	-1
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	0	-1
Huamuxtitlán	0	0	Tlalixtaquilla de Maldonado	0	0
General Canuto A. Neri	0	0	Tlacoachistlahuaca	0	-1
Huitzuco de los Figueroa	0	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	0	0	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	0	0	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	0	0	Petatlán	0	0
Copala	0	0	Pilcaya	-1	-1
Cocula	0	0	Ometepec	0	0
Coahuayutla de José María Izazaga	0	-1	Pedro Ascencio Alquisiras	0	0
Buenavista de Cuéllar	-1	0	Guerrero	0	-1

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	R2070	R70150		R2070	R70150
Ahuacuotzingo	0	0	Xochistlahuaca	0	0
Ajuchitlán del Progreso	0	0	Xochihuehuetlán	1	0
Coyuca de Catalán	0	0	Zirándaro	0	0
Cualác	0	0	Xalpatláhuac	0	0
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	0	0
Cutzamala de Pinzón	0	0	Tlacoapa	0	0
Cuetzala del Progreso	0	0	Tixtla de Guerrero	0	0
Chilapa de Álvarez	0	0	Tlalchapa	0	0
Chilpancingo de los Bravo	0	0	Tlapehuala	0	0
Cuautepec	0	1	Tlapa de Comonfort	0	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	0	0
Atoyac de Álvarez	0	0	Teloloapan	0	0
Atlixac	0	0	Tepecoacuilco de Trujano	0	0
Atlamajalcingo del Monte	1	0	Técpan de Galeana	0	0
Atenango del río	0	0	Tetipac	0	0
Benito Juárez	0	0	Pungarabato	0	0
Azoyú	1	0	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	0	0	San Luis Acatlán	1	0
Metlatónoc	0	0	San Miguel Totolapan	0	0
Mártir de Cuilapan	0	0	San Marcos	0	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	0	0	Taxco de Alarcón	0	0
Leonardo Bravo	0	0	Cochoapa el Grande	0	0
Mochitlán	0	0	Marquelia	1	0
Alpoyeca	0	0	Juchitán	1	0
Apaxtla	0	0	José Joaquín de Herrera	0	0
Arcelia	0	0	Iliatenco	1	1
Alcozauca de Guerrero	0	0	Eduardo Neri	0	0
Igualapa	1	0	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	0	0	Cuajinicuilapa	0	0
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	0	0
Huamuxtitlán	0	0	Tlalixtaquilla de Maldonado	0	0
General Canuto A. Neri	0	0	Tlacoachistlahuaca	0	0
Huitzuco de los Figueroa	0	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	0	0	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	0	0	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	0	0	Petatlán	0	0
Copala	0	0	Pilcaya	0	0
Cocula	0	0	Ometepec	1	0
Coahuayutla de José María Izazaga	0	0	Pedro Ascencio Alquisiras	0	0
Buenavista de Cuéllar	0	0	Guerrero	1	0

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	Rm150	CDD		Rm150	CDD
Ahuacuotzingo	0	1	Xochistlahuaca	0	0
Ajuchitlán del Progreso	0	0	Xochihuehuetlán	1	0
Coyuca de Catalán	0	0	Zirándaro	0	1
Cualác	1	1	Xalpatláhuac	1	1
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	0	0
Cutzamala de Pinzón	0	0	Tlacoapa	0	0
Cuetzala del Progreso	0	0	Tixtla de Guerrero	0	0
Chilapa de Álvarez	0	0	Tlalchapa	0	0
Chilpancingo de los Bravo	0	0	Tlapehuala	0	0
Cuautepec	1	0	Tlapa de Comonfort	1	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	0	0
Atoyac de Álvarez	0	1	Teloloapan	0	0
Atlixnac	0	0	Tepecoacuilco de Trujano	0	0
Atlamajalcingo del Monte	0	0	Técpan de Galeana	0	0
Atenango del río	0	0	Tetipac	0	0
Benito Juárez	1	0	Pungarabato	0	0
Azoyú	0	0	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	0	0	San Luis Acatlán	1	0
Metlatónoc	0	0	San Miguel Totolapan	0	1
Mártir de Cuilapan	0	0	San Marcos	0	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	0	0	Taxco de Alarcón	0	0
Leonardo Bravo	-1	0	Cochoapa el Grande	0	0
Mochitlán	0	0	Marquelia	0	0
Alpoyeca	0	0	Juchitán	0	0
Apaxtla	0	1	José Joaquín de Herrera	0	0
Arcelia	0	0	Iliatenco	1	0
Alcozauca de Guerrero	0	1	Eduardo Neri	0	0
Igualapa	0	0	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	0	0	Cuajinicuilapa	1	0
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	0	0
Huamuxtitlán	0	0	Tlalixtaquilla de Maldonado	0	1
General Canuto A. Neri	0	0	Tlacoachistlahuaca	0	0
Huitzuco de los Figueroa	0	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	0	0	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	0	0	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	0	0	Petatlán	0	0
Copala	1	0	Pilcaya	0	0
Cocula	0	0	Ometepec	0	0
Coahuayutla de José María Izazaga	0	0	Pedro Ascencio Alquisiras	0	0
Buenavista de Cuéllar	0	0	Guerrero	1	0

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	CWD	R95PTOT		CWD	R95PTOT
Ahuacuotzingo	0	0	Xochistlahuaca	0	0
Ajuchitlán del Progreso	0	0	Xochihuehuetlán	0	1
Coyuca de Catalán	0	0	Zirándaro	0	0
Cualác	0	0	Xalpatláhuac	0	1
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	0	-1
Cutzamala de Pinzón	0	0	Tlacoapa	0	0
Cuetzala del Progreso	0	0	Tixtla de Guerrero	0	0
Chilapa de Álvarez	0	0	Tlalchapa	-1	0
Chilpancingo de los Bravo	0	0	Tlapehuala	0	0
Cuautepec	0	1	Tlapa de Comonfort	0	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	0	1
Atoyac de Álvarez	0	0	Teloloapan	0	0
Atlixnac	0	0	Tepecoacuilco de Trujano	0	0
Atlamajalcingo del Monte	1	1	Técpán de Galeana	0	0
Atenango del río	0	-1	Tetipac	0	0
Benito Juárez	0	1	Pungarabato	0	0
Azoyú	0	1	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	0	0	San Luis Acatlán	0	1
Metlatónoc	0	0	San Miguel Totolapan	0	0
Mártir de Cuilapan	0	0	San Marcos	0	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	0	0	Taxco de Alarcón	0	0
Leonardo Bravo	0	0	Cochoapa el Grande	0	0
Mochitlán	0	0	Marquelia	0	1
Alpoyeca	0	1	Juchitán	0	1
Apaxtla	-1	0	José Joaquín de Herrera	0	0
Arcelia	0	0	Iliatenco	0	1
Alcozauca de Guerrero	0	1	Eduardo Neri	0	0
Igualapa	0	0	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	0	0	Cuajinicuilapa	0	1
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	0	0
Huamuxtitlán	0	0	Tlalixtaquilla de Maldonado	0	1
General Canuto A. Neri	0	0	Tlacoachistlahuaca	0	0
Huitzuco de los Figueroa	0	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	0	1	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	0	0	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	0	0	Petatlán	0	0
Copala	0	1	Pilcaya	-1	0
Cocula	0	0	Ometepec	0	0
Coahuayutla de José María Izazaga	0	0	Pedro Ascencio Alquisiras	0	0
Buenavista de Cuéllar	0	0	Guerrero	0	1

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	R99PTOT	PRCPTOT		R99PTOT	PRCPTOT
Ahuacuotzingo	0	0	Xochistlahuaca	0	0
Ajuchitlán del Progreso	0	0	Xochihuehuetlán	1	0
Coyuca de Catalán	0	0	Zirándaro	0	0
Cualác	1	1	Xalpatláhuac	1	1
Coyuca de Benítez	0	0	Zapotitlán Tablas	-1	0
Cutzamala de Pinzón	0	0	Tlacoapa	0	0
Cuetzala del Progreso	0	0	Tixtla de Guerrero	0	0
Chilapa de Álvarez	0	0	Talchapa	0	0
Chilpancingo de los Bravo	0	0	Tlapehuala	0	0
Cuautepec	1	0	Tlapa de Comonfort	0	0
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	1	1
Atoyac de Álvarez	0	0	Teloloapan	0	0
Atlixac	0	0	Tepecoacuilco de Trujano	0	0
Atlamajalcingo del Monte	1	1	Técpan de Galeana	0	0
Atenango del río	-1	-1	Tetipac	0	0
Benito Juárez	1	0	Pungarabato	0	0
Azoyú	0	1	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	0	0	San Luis Acatlán	1	1
Metlatónoc	0	1	San Miguel Totolapan	0	0
Mártir de Cuilapan	0	0	San Marcos	0	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	0	0	Taxco de Alarcón	0	0
Leonardo Bravo	0	0	Cochoapa el Grande	0	1
Mochitlán	0	0	Marquelia	1	0
Alpoyeca	0	0	Juchitán	1	0
Apaxtla	0	0	José Joaquín de Herrera	0	0
Arcelia	0	0	Iliatenco	1	1
Alcozauca de Guerrero	0	1	Eduardo Neri	0	0
Igualapa	0	0	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	0	0	Cuajinicuilapa	1	0
General Heliodoro Castillo	0	0	José Azueta	0	0
Huamuxtitlán	1	1	Tlalixtaquilla de Maldonado	0	1
General Canuto A. Neri	0	0	Tlacoachistlahuaca	0	0
Huitzuc de los Figueroa	0	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	1	0	Acapulco de Juárez	0	0
Copalillo	-1	0	Iguala de la Independencia	0	0
Copanatoyac	0	0	Petatlán	0	0
Copala	1	1	Pilcaya	0	0
Cocula	0	0	Ometepec	0	0
Coahuayutla de José María Izazaga	0	0	Pedro Ascencio Alquisiras	0	0
Buenavista de Cuéllar	0	0	Guerrero	1	0

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Tabla A7.1. Tendencia de índices climáticos por municipios (continuación)

Municipio	EVPTOT	EVPPRC		R99PTOT	PRCPTOT
Ahuacuotzingo	0	0	Xochistlahuaca	-1	0
Ajuchitlán del Progreso	-1	0	Xochihuehuetlán	0	0
Coyuca de Catalán	-1	0	Zirándaro	-1	-1
Cualác	0	-1	Xalpatláhuac	-1	-1
Coyuca de Benítez	-1	0	Zapotitlán Tablas	0	0
Cutzamala de Pinzón	-1	0	Tlacoapa	-1	0
Cuetzala del Progreso	-1	0	Tixtla de Guerrero	0	-1
Chilapa de Álvarez	0	0	Tlalchapa	-1	-1
Chilpancingo de los Bravo	0	0	Tlapehuala	-1	-1
Cuautepec	-1	-1	Tlapa de Comonfort	-1	-1
Ayutla de los Libres	0	0	La Unión de Isidoro Montes de Oca	-1	0
Atoyac de Álvarez	-1	-1	Teloloapan	-1	-1
Atlixac	0	0	Tepecoacuilco de Trujano	-1	0
Atlamajalcingo del Monte	-1	-1	Técpan de Galeana	-1	0
Atenango del río	-1	0	Tetipac	0	0
Benito Juárez	-1	-1	Pungarabato	-1	-1
Azoyú	-1	-1	Quechultenango	0	0
Juan R. Escudero	-1	0	San Luis Acatlán	-1	-1
Metlatónoc	-1	-1	San Miguel Totolapan	-1	0
Mártir de Cuilapan	0	0	San Marcos	0	0
Olinalá	0	0	Tecoanapa	0	0
Malinaltepec	-1	-1	Taxco de Alarcón	-1	0
Leonardo Bravo	0	0	Cochoapa el Grande	-1	-1
Mochitlán	-1	0	Marquelia	-1	-1
Alpoyeca	-1	-1	Juchitán	-1	-1
Apaxtla	-1	0	José Joaquín de Herrera	0	0
Arcelia	-1	0	Iliatenco	-1	-1
Alcozauca de Guerrero	-1	-1	Eduardo Neri	-1	0
Igualapa	-1	-1	Zitlala	0	0
Ixcateopan de Cuauhtémoc	0	0	Cuajinicuilapa	-1	-1
General Heliodoro Castillo	-1	0	José Azueta	-1	0
Huamuxtitlán	0	-1	Tlalixtaquilla de Maldonado	-1	-1
General Canuto A. Neri	0	0	Tlacoachistlahuaca	-1	0
Huitzaco de los Figueroa	-1	0	Acatepec	0	0
Florencio Villarreal	-1	-1	Acapulco de Juárez	-1	0
Copalillo	-1	0	Iguala de la Independencia	-1	0
Copanatoyac	0	0	Petatlán	-1	0
Copala	-1	-1	Pilcaya	0	0
Cocula	-1	0	Ometepec	-1	-1
Coahuayutla de José María Izazaga	-1	-1	Pedro Ascencio Alquisiras	-1	0
Buenavista de Cuéllar	-1	0	Guerrero	-1	-1

Nota: 1 = tendencia positiva; 0 = tendencia nula; -1 = tendencia negativa

Anexo 8

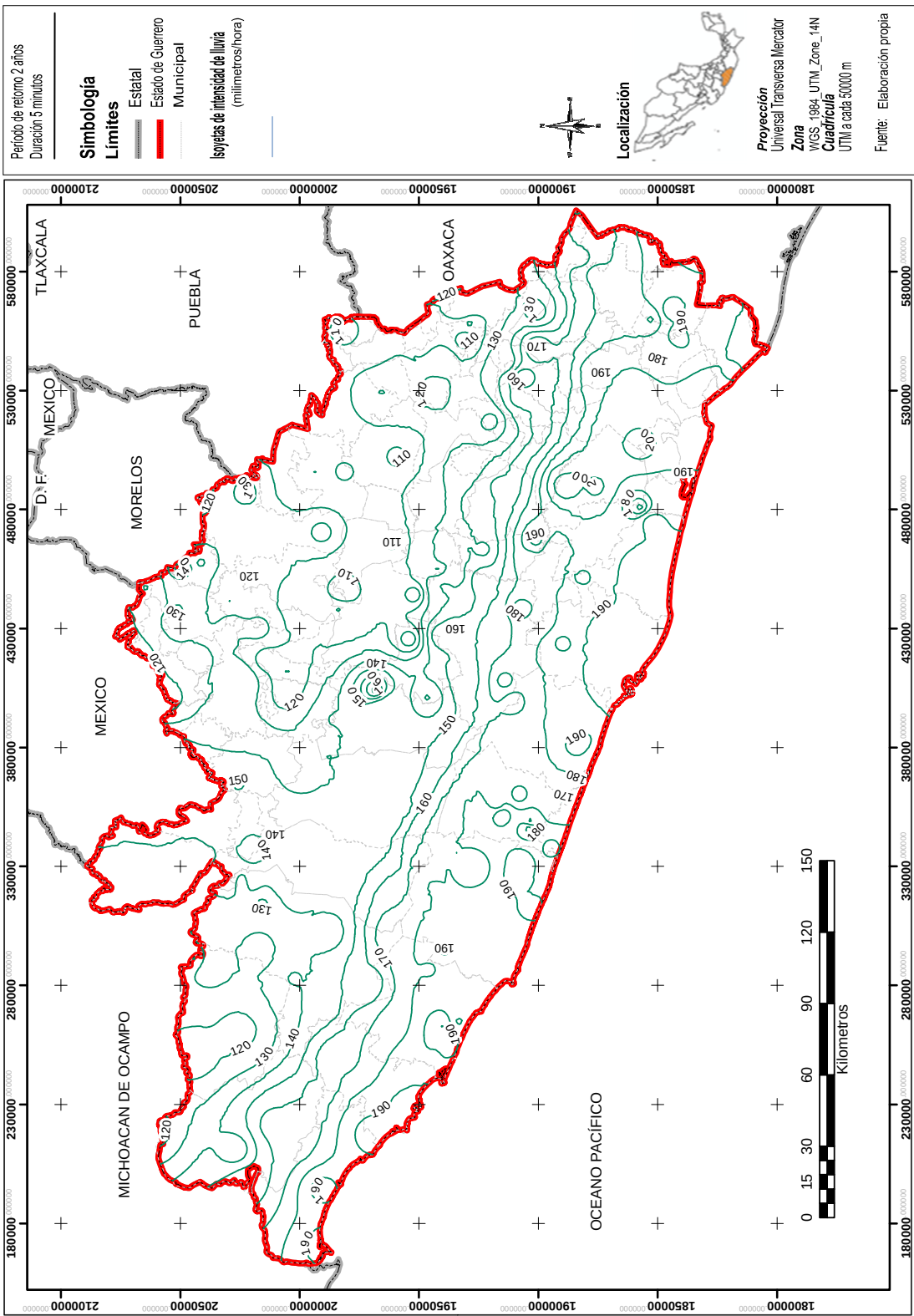


Figura A8.1. Período de retorno 2 años. Duración 5 minutos

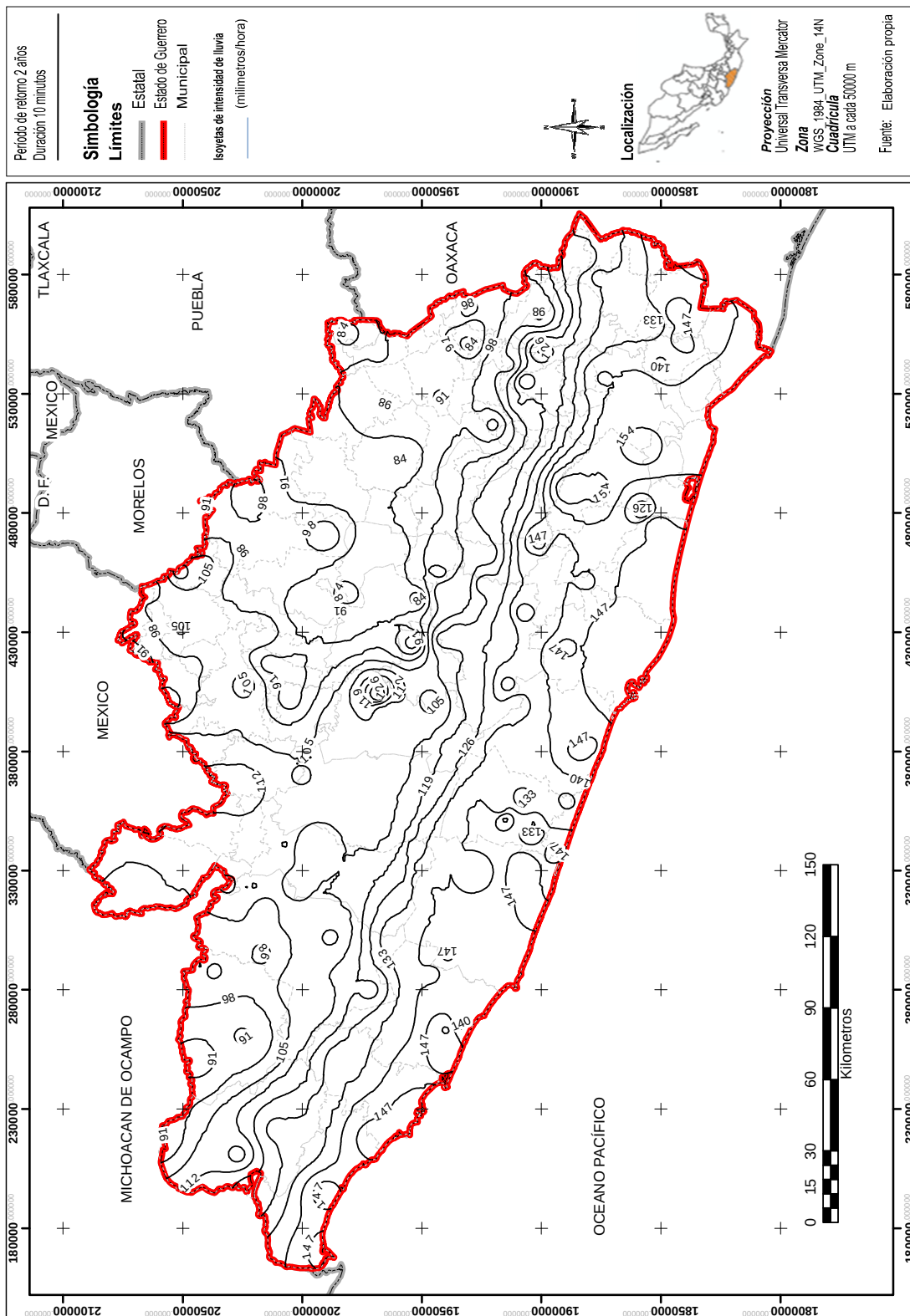


Figura A8.2. Período de retorno 2 años. Duración 10 minutos

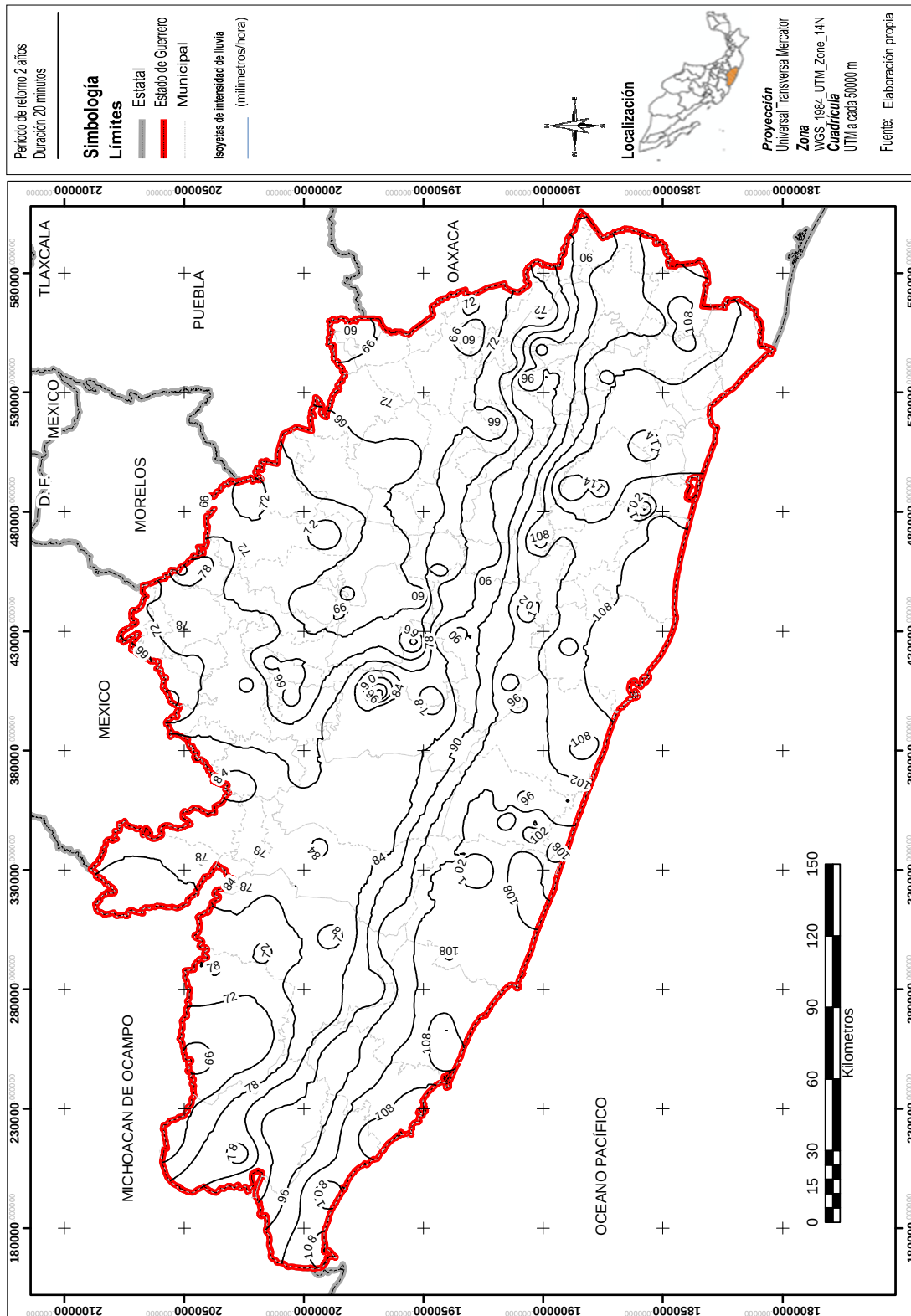


Figura A8.3. Período de retorno 2 años. Duración 20 minutos

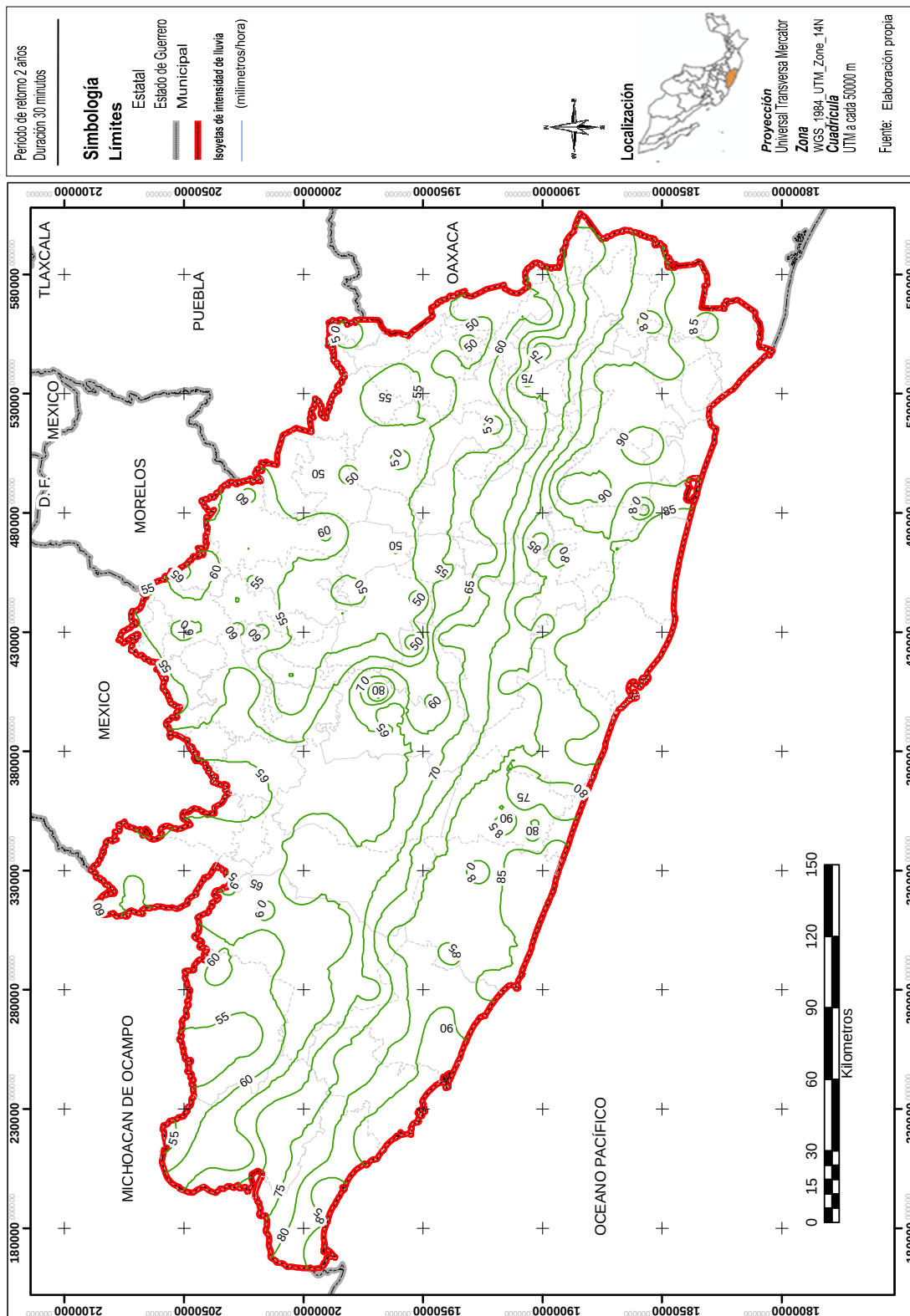


Figura A8.4. Período de retorno 2 años. Duración 30 minutos

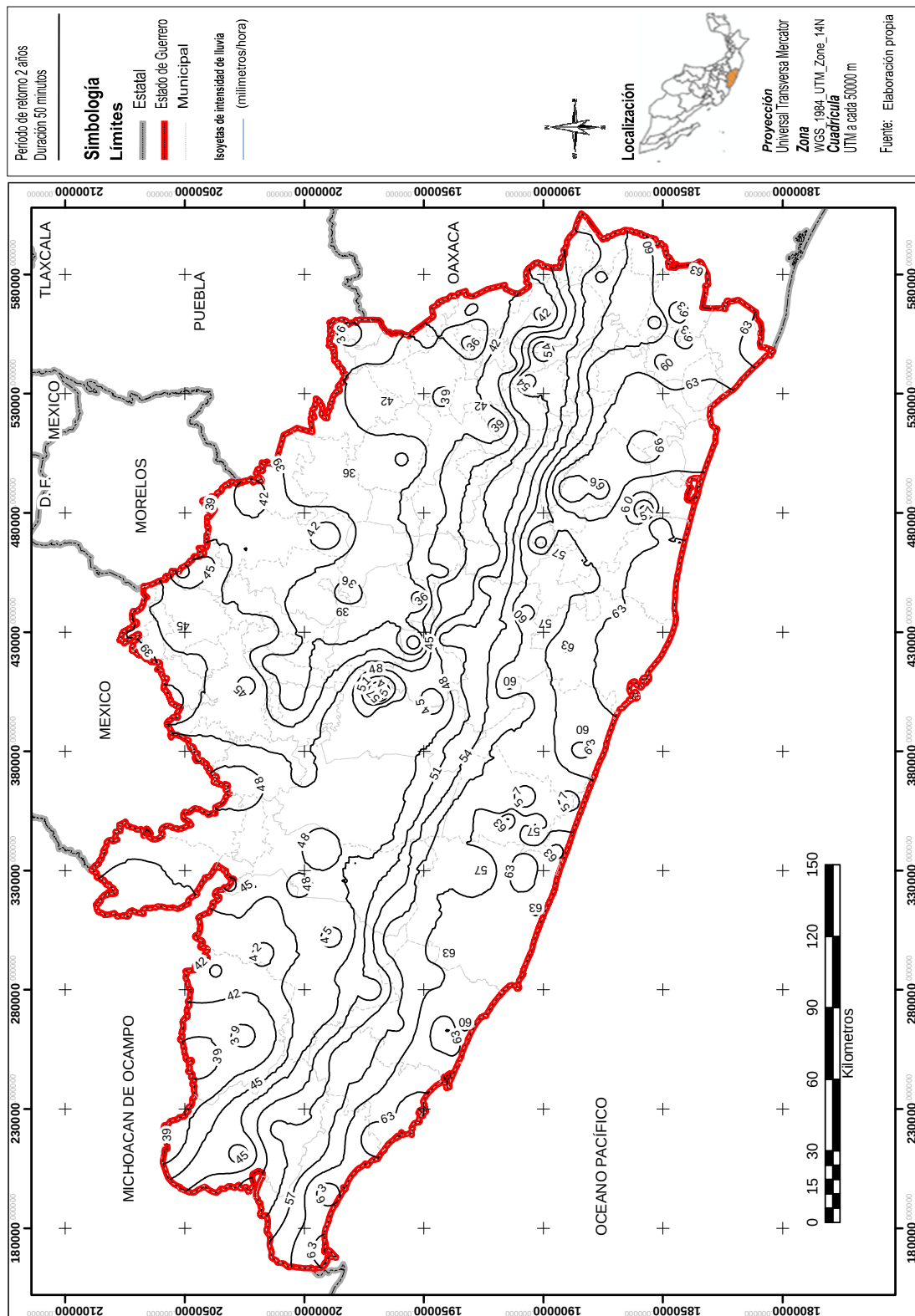


Figura A8.5. Período de retorno 2 años. Duración 50 minutos

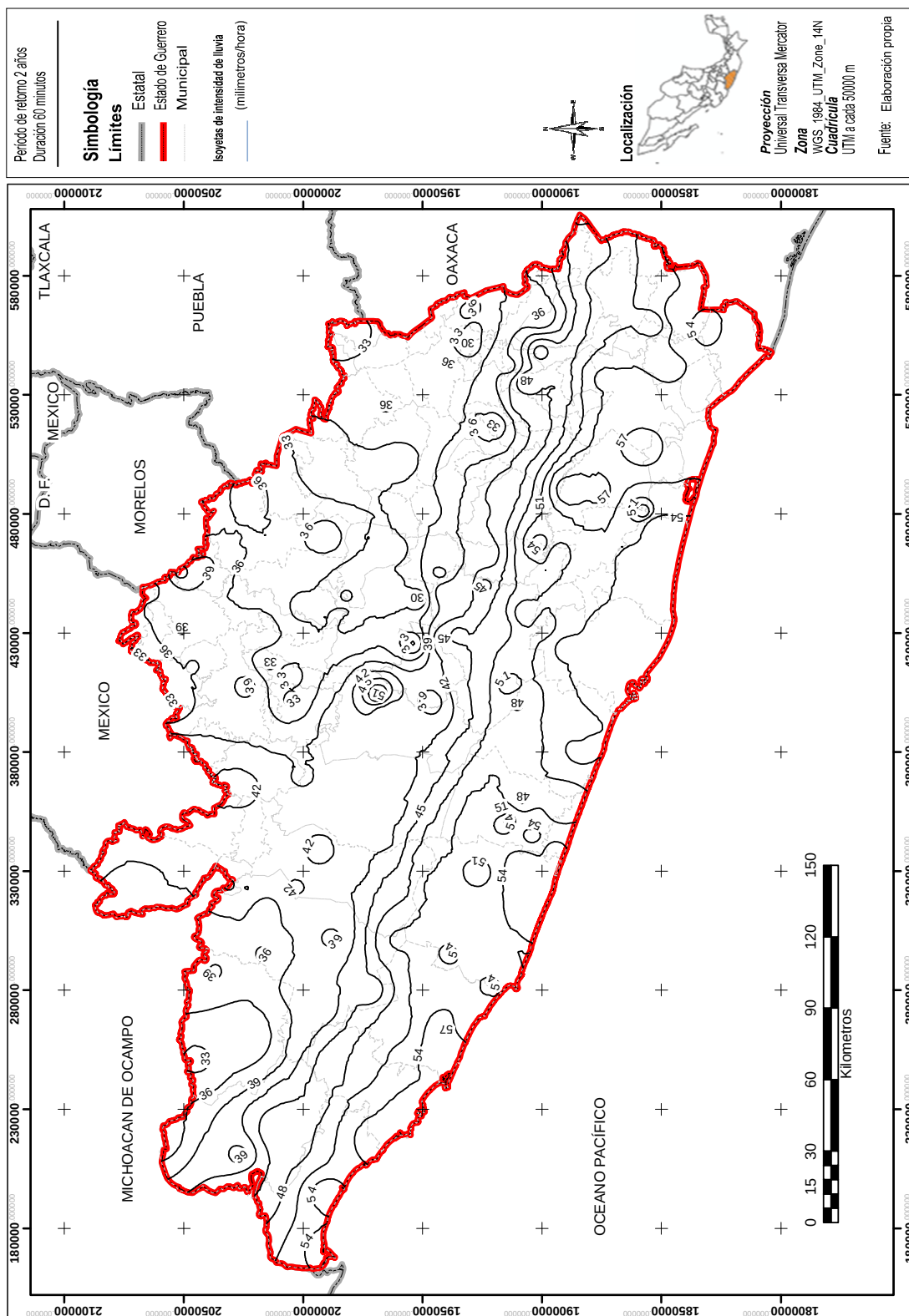
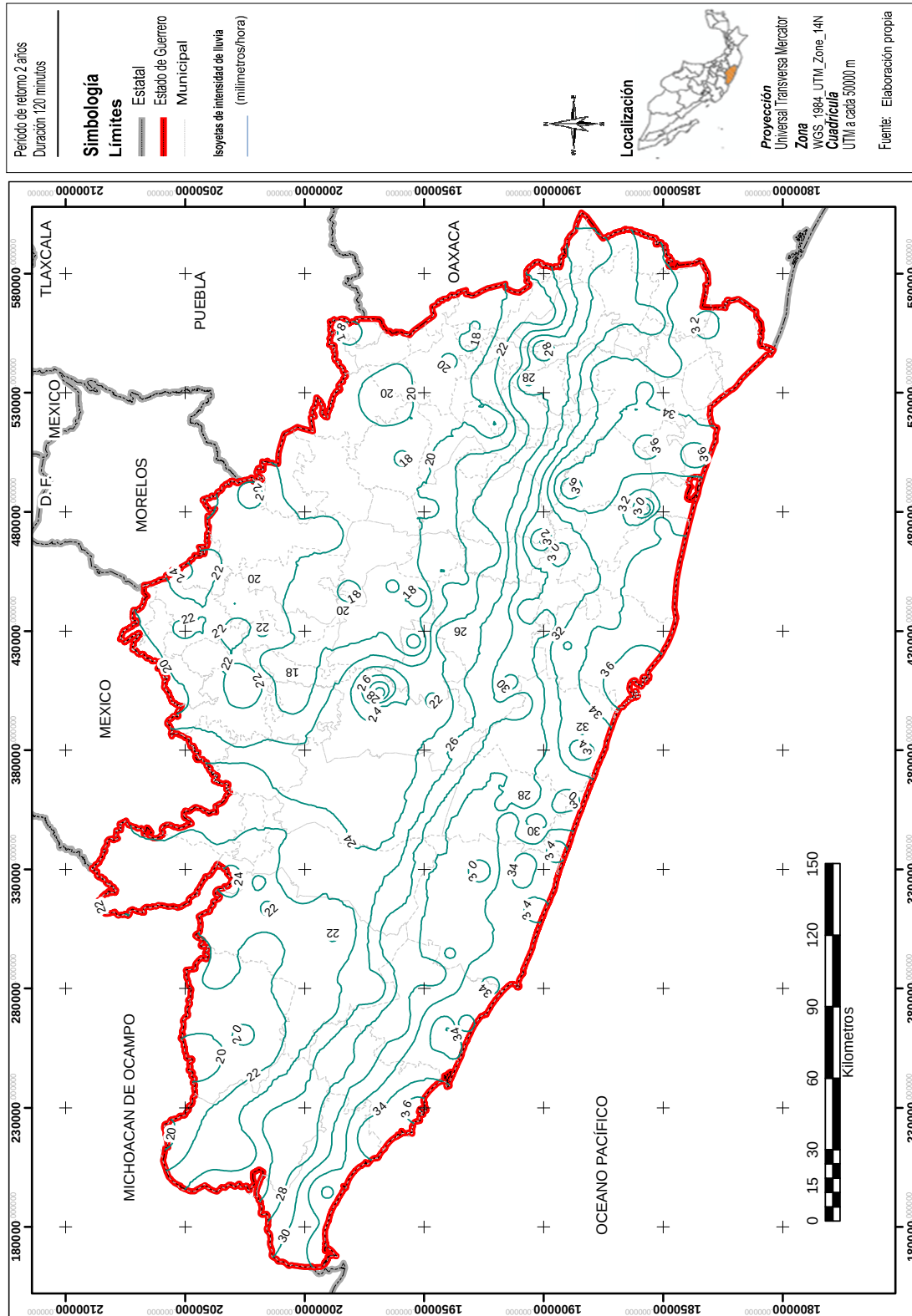


Figura A8.6. Período de retorno 2 años. Duración 60 minutos



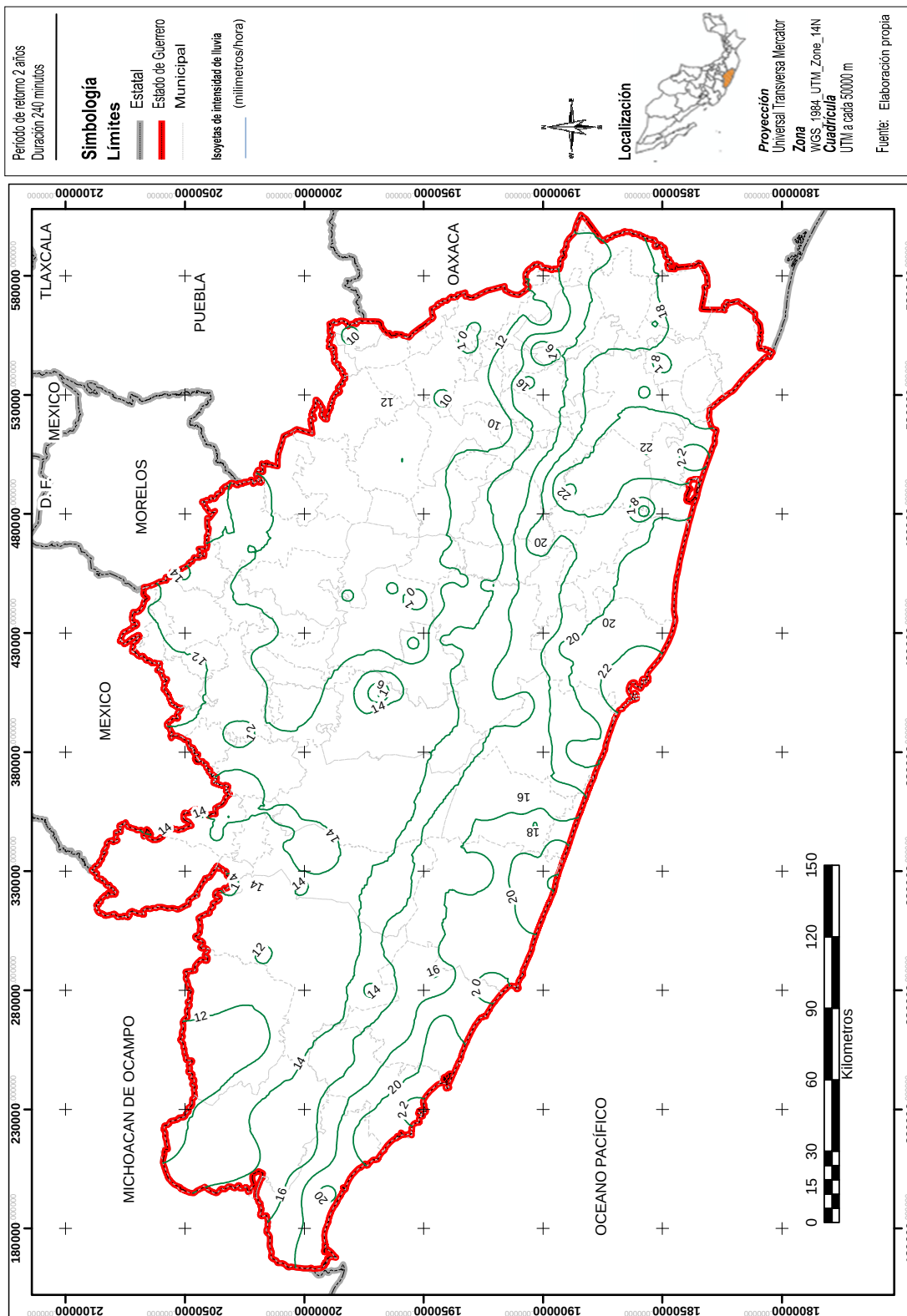


Figura A8.8. Período de retorno 2 años. Duración 240 minutos

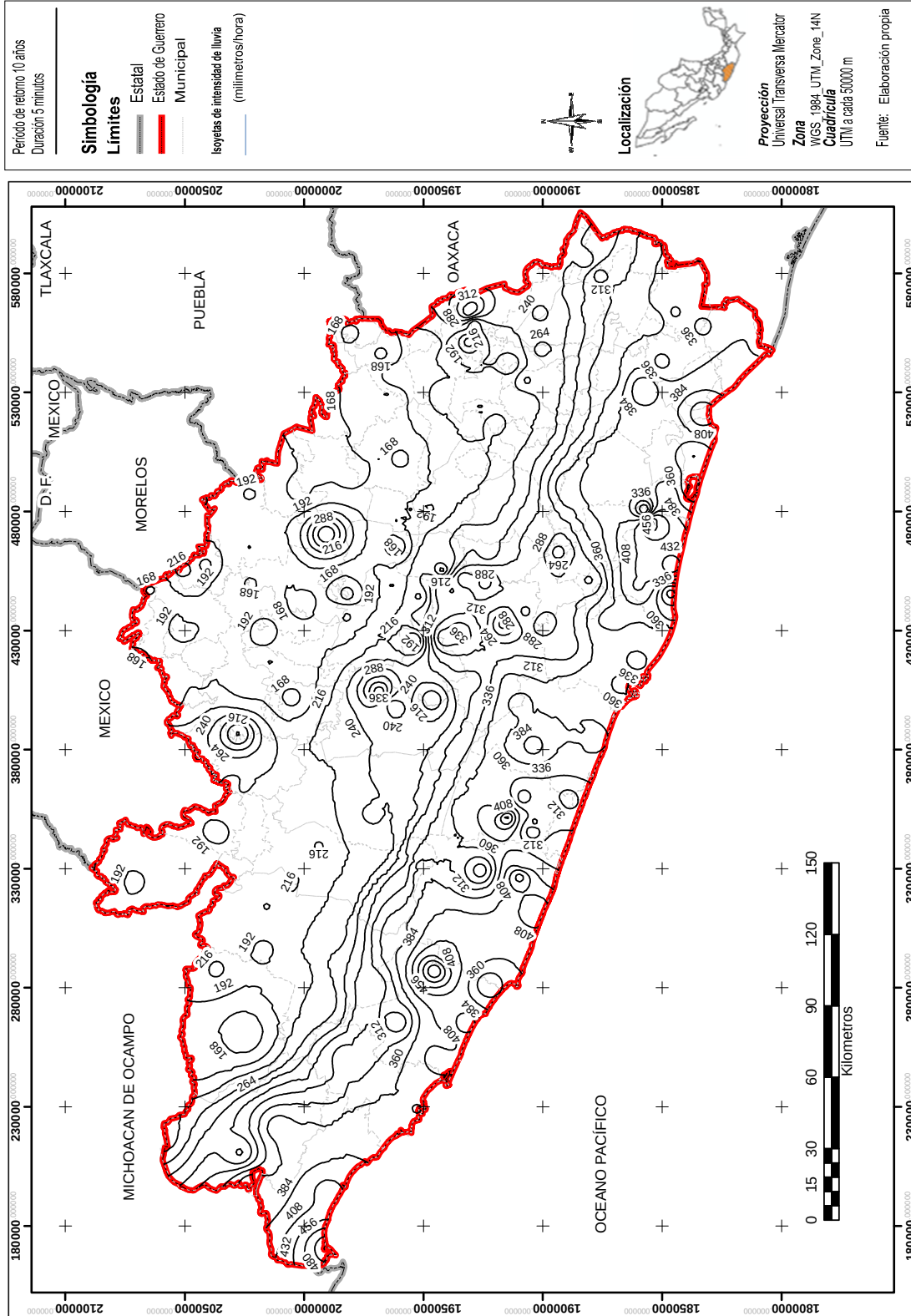


Figura A8.9. Período de retorno 10 años. Duración 5 minutos

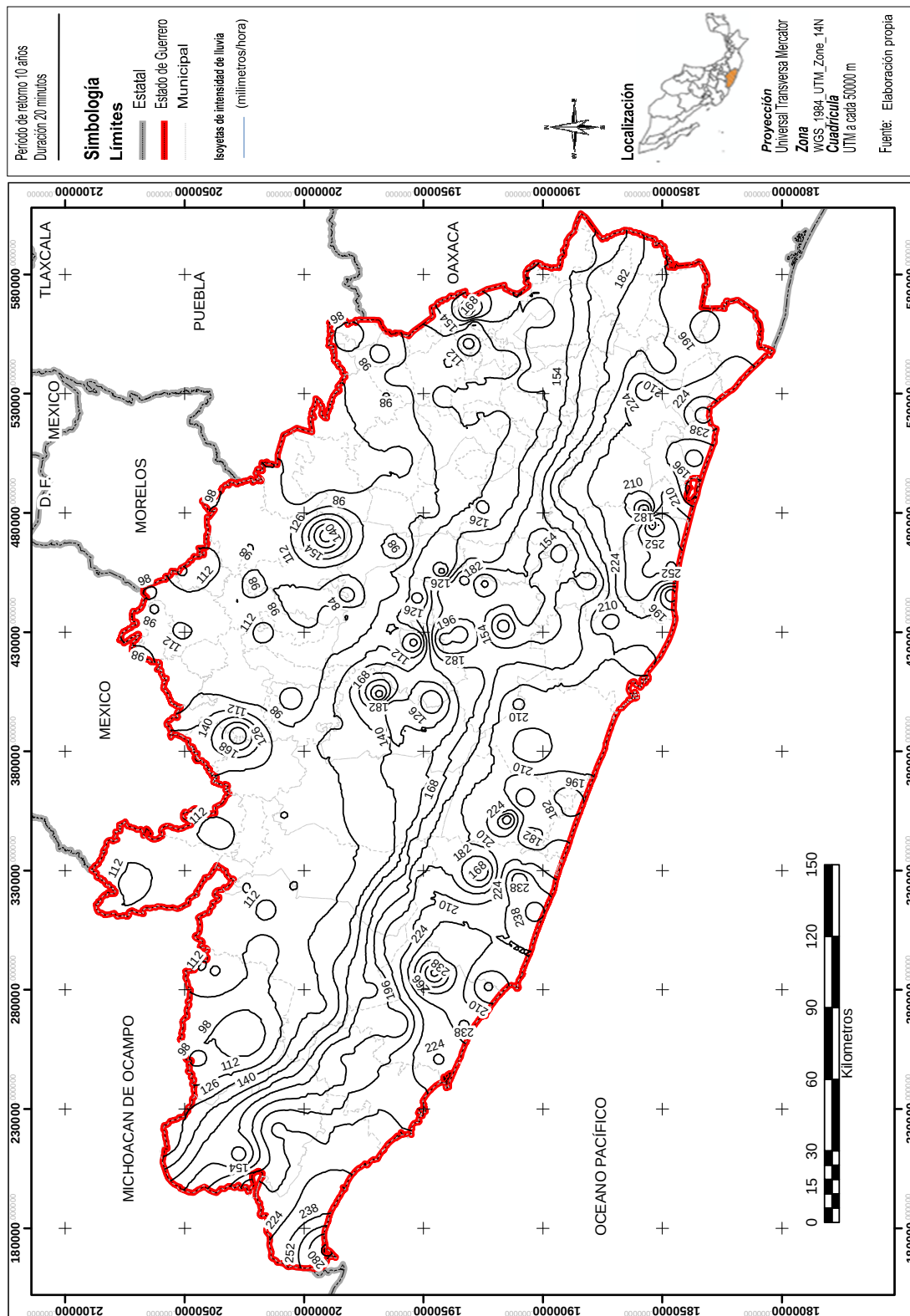


Figura A8.11. Período de retorno 10 años. Duración 20 minutos

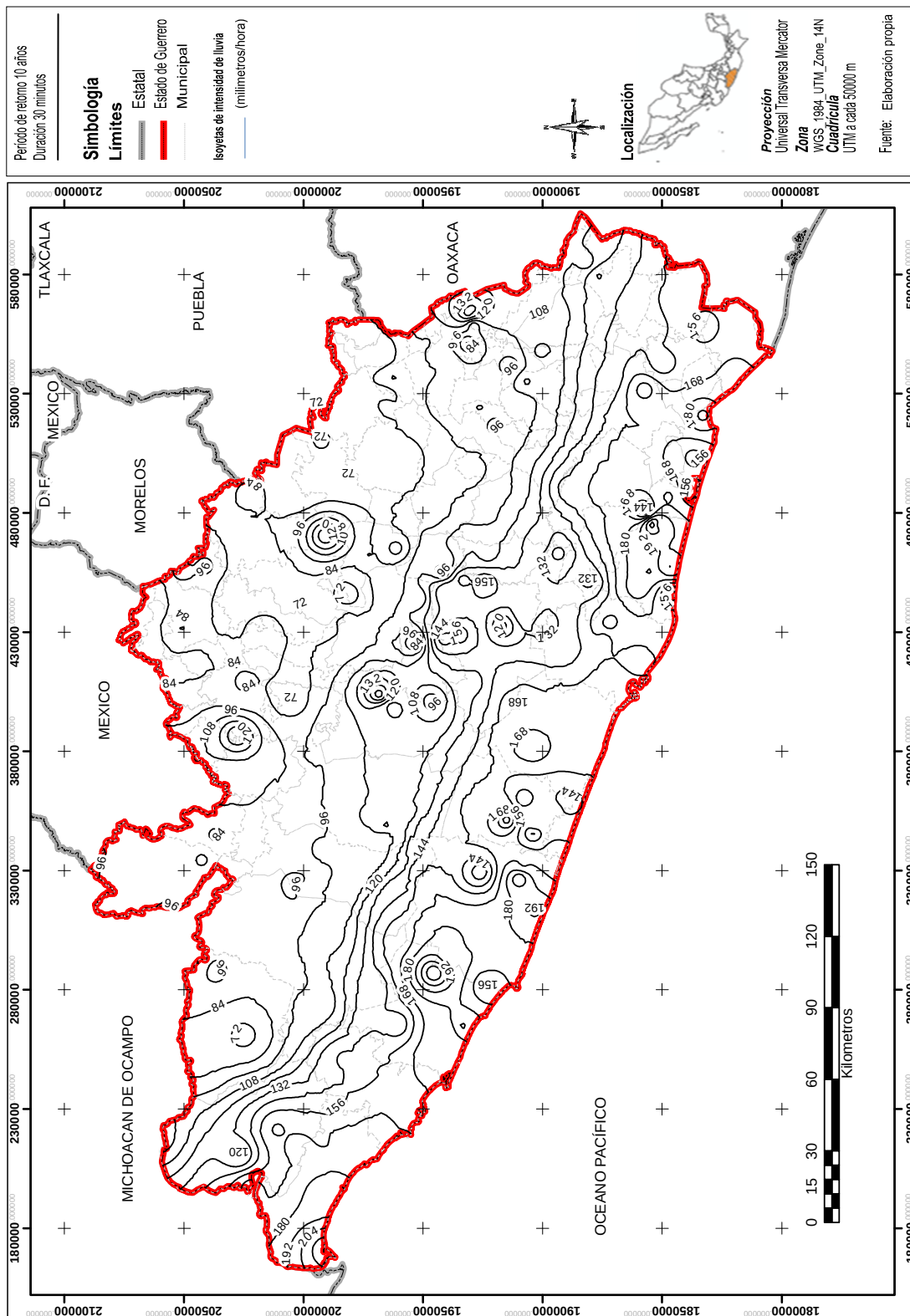


Figura A8.12. Período de retorno 10 años. Duración 30 minutos

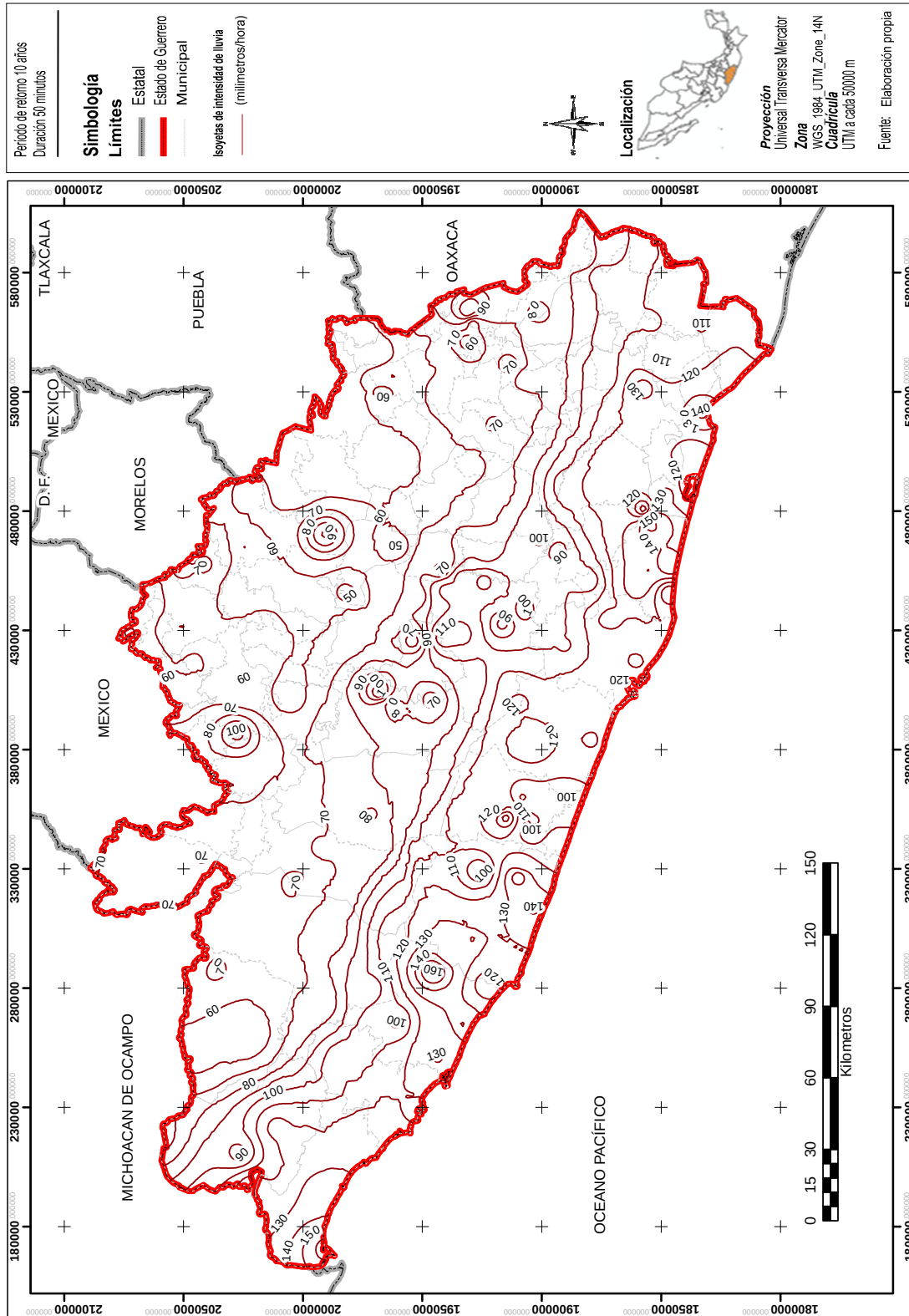


Figura A8.13. Período de retorno 10 años. Duración 50 minutos

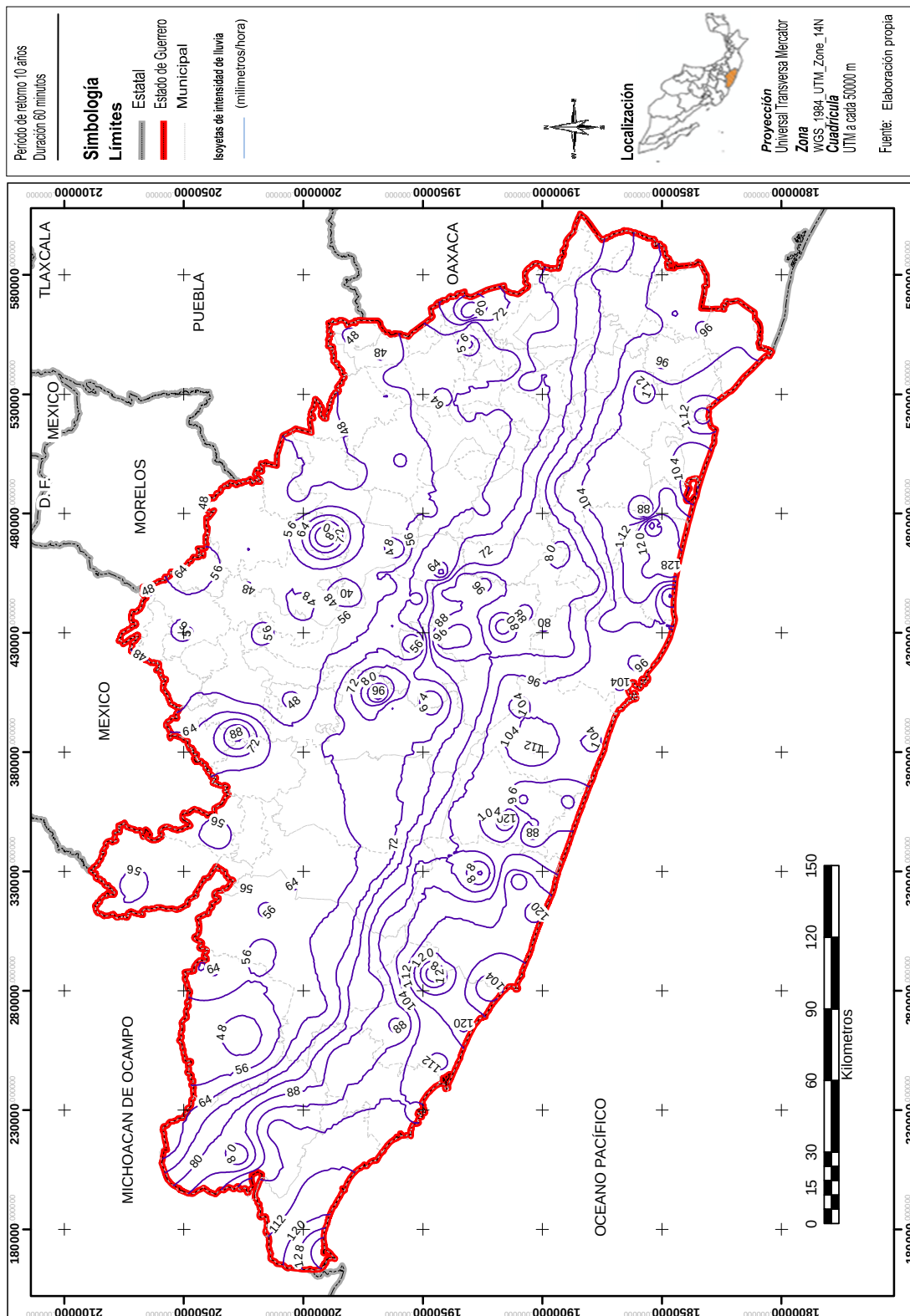


Figura A8.14. Período de retorno 10 años. Duración 60 minutos

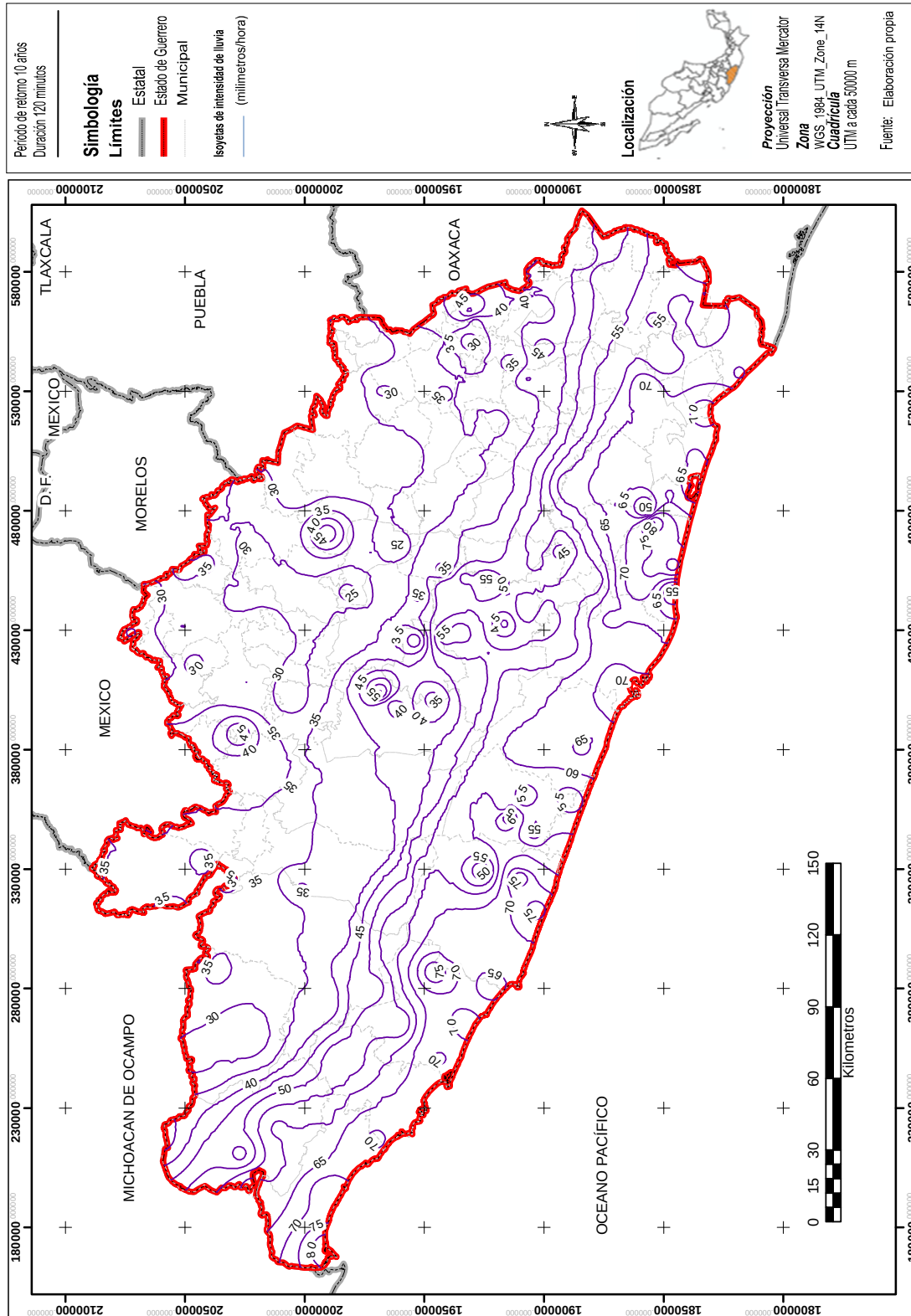


Figura A8.15. Período de retorno 10 años. Duración 120 minutos

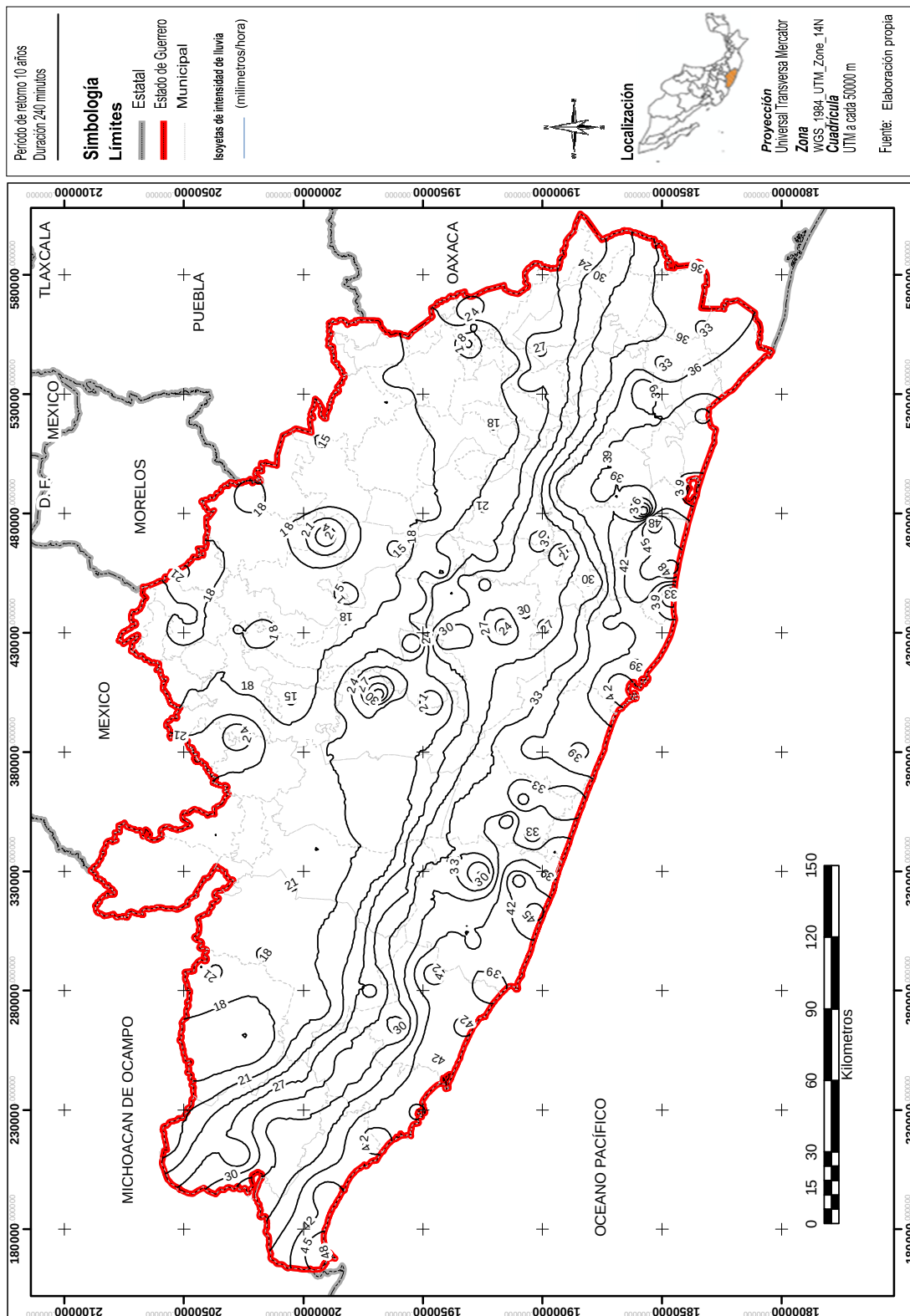


Figura A8.16. Período de retorno 10 años. Duración 240 minutos

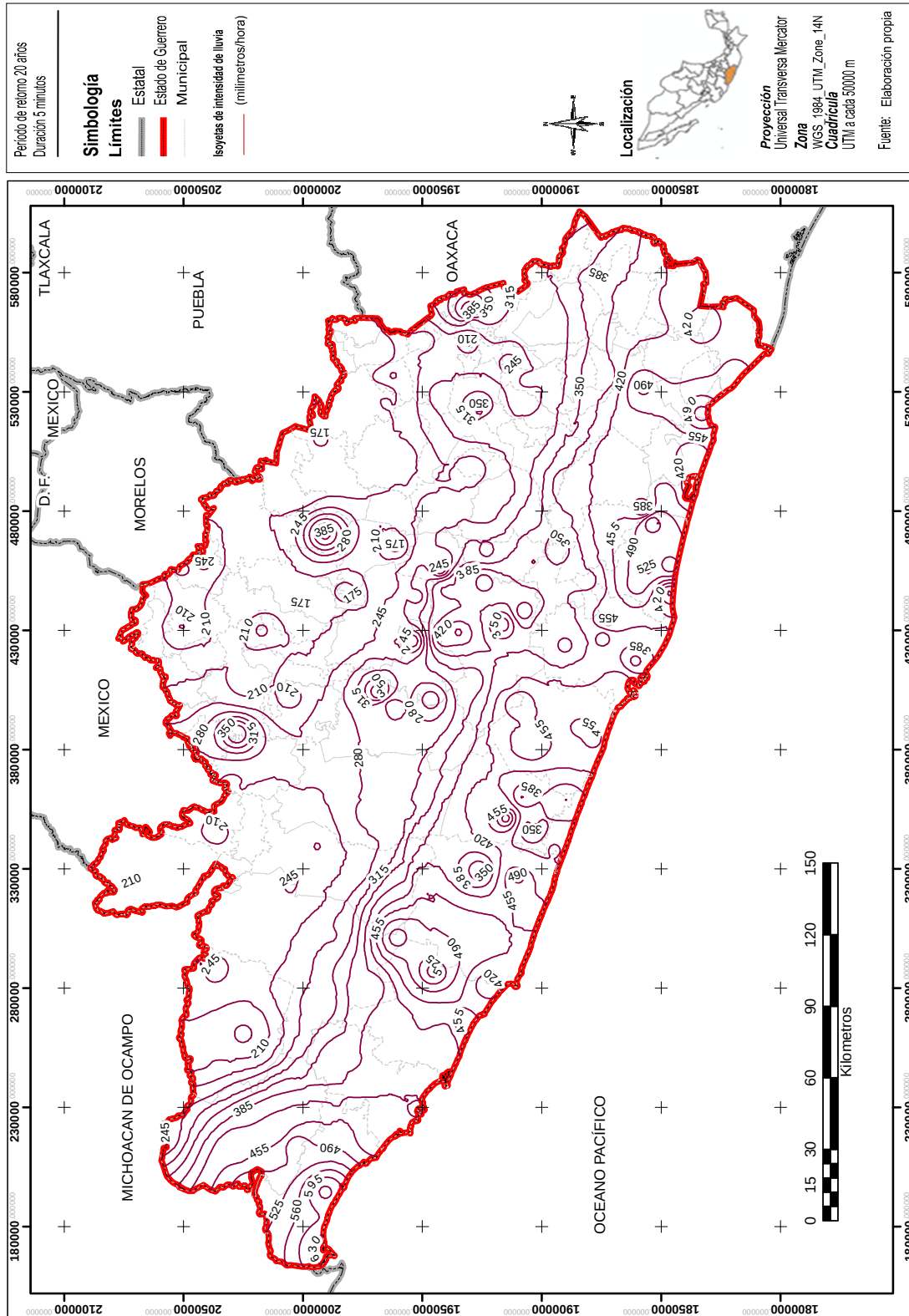


Figura A8.17. Período de retorno 20 años. Duración 5 minutos

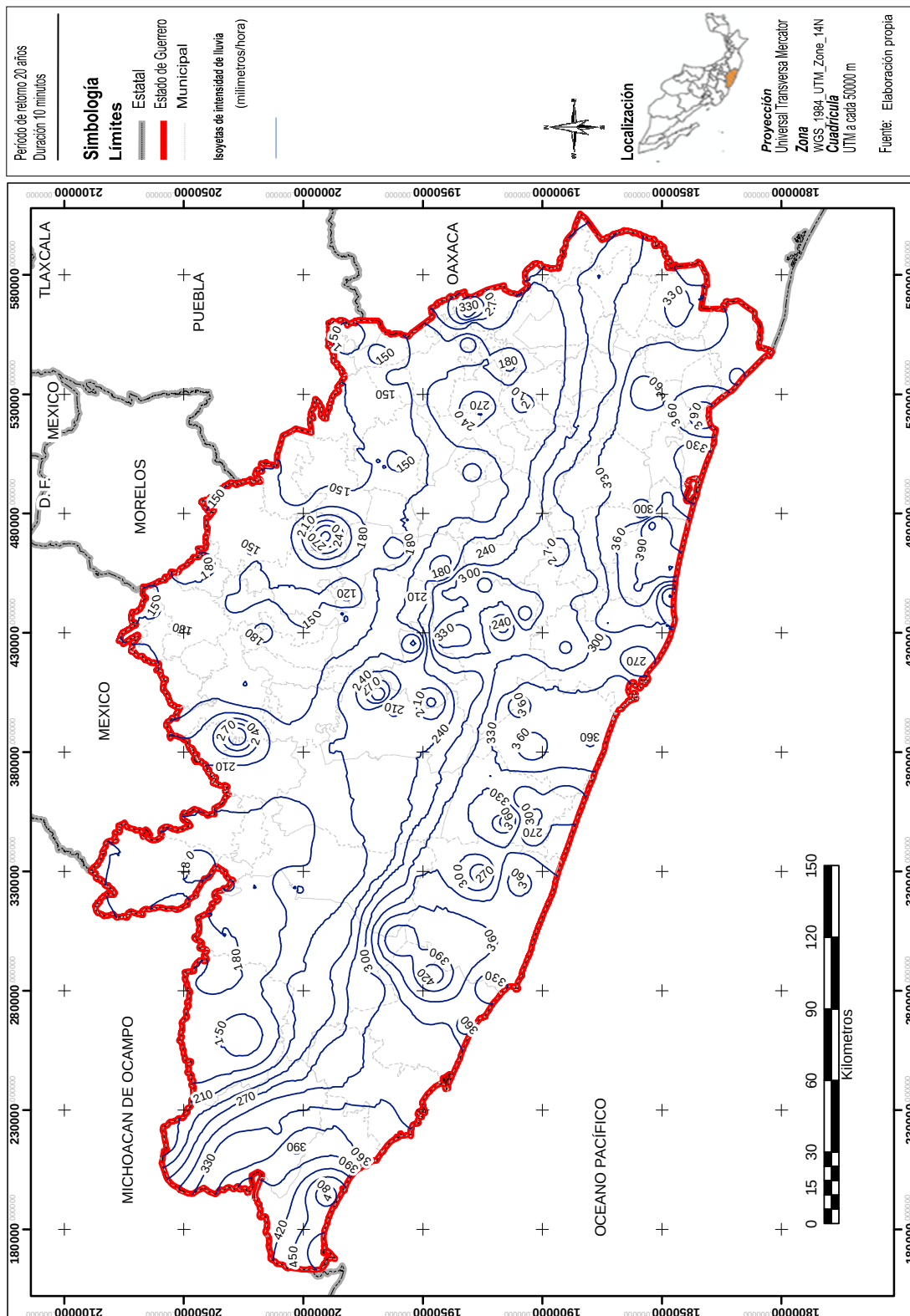


Figura A8.18. Período de retorno 20 años. Duración 10 minutos

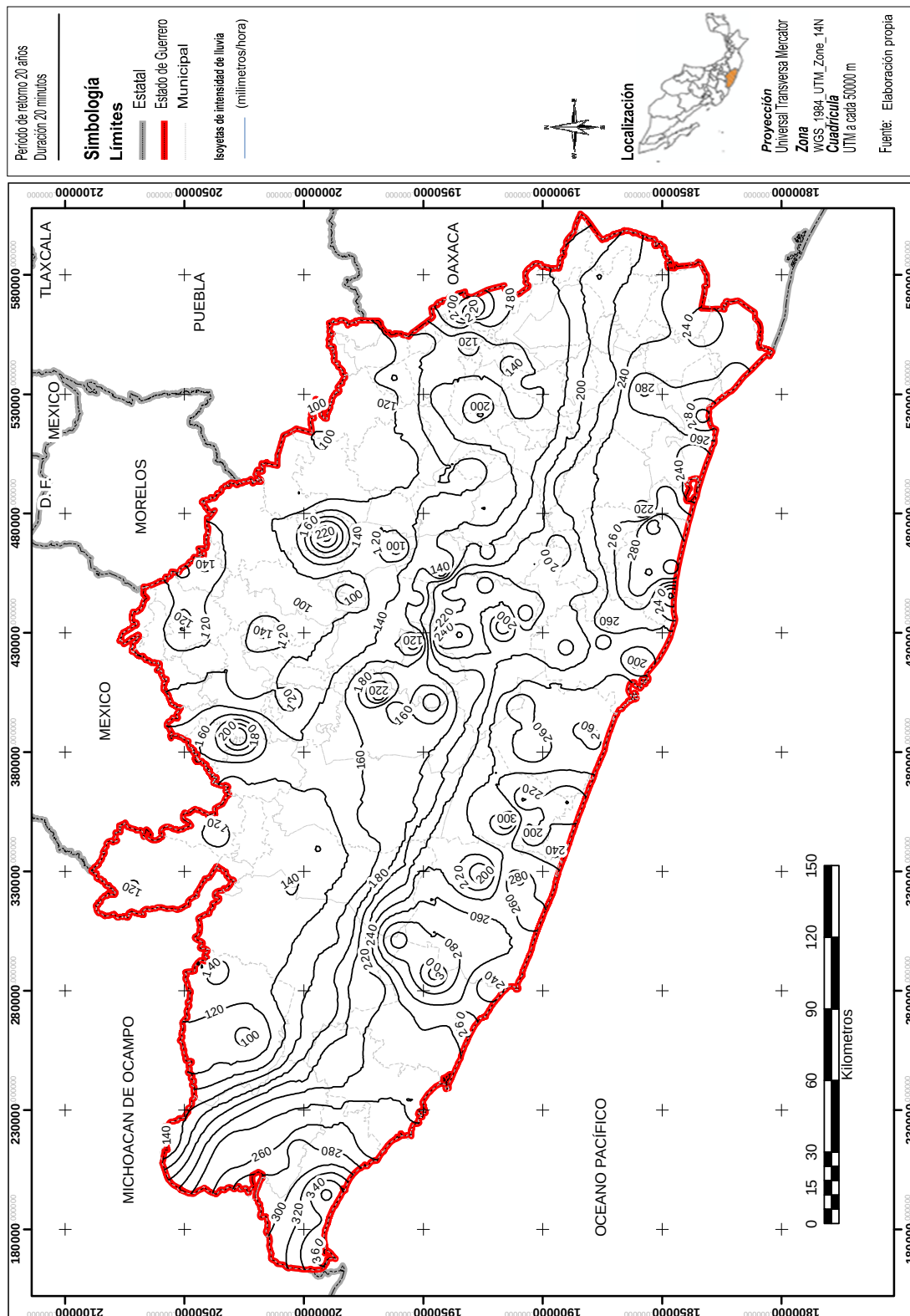


Figura A8.19. Período de retorno 20 años. Duración 20 minutos

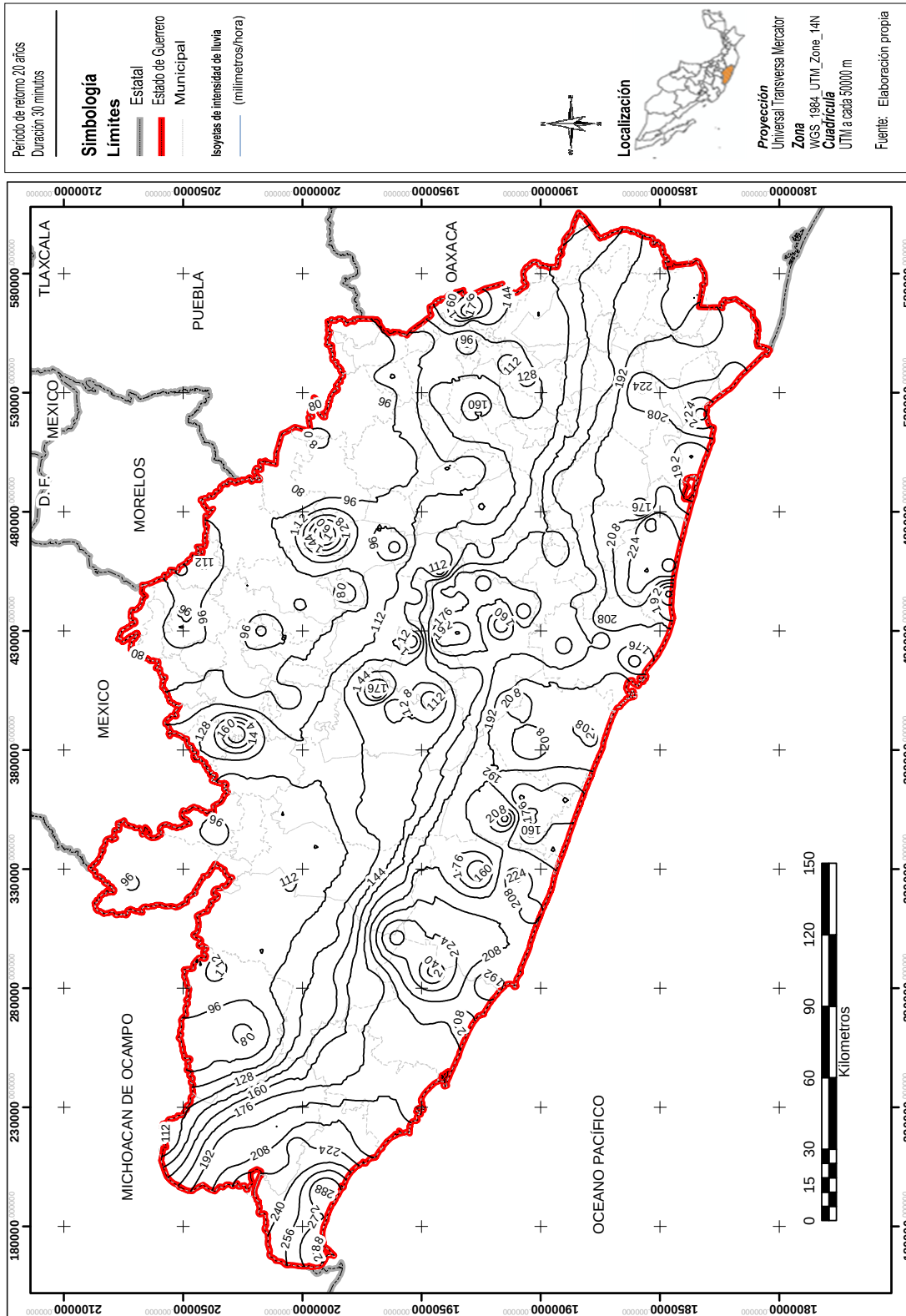


Figura A8.20. Período de retorno 20 años. Duración 30 minutos

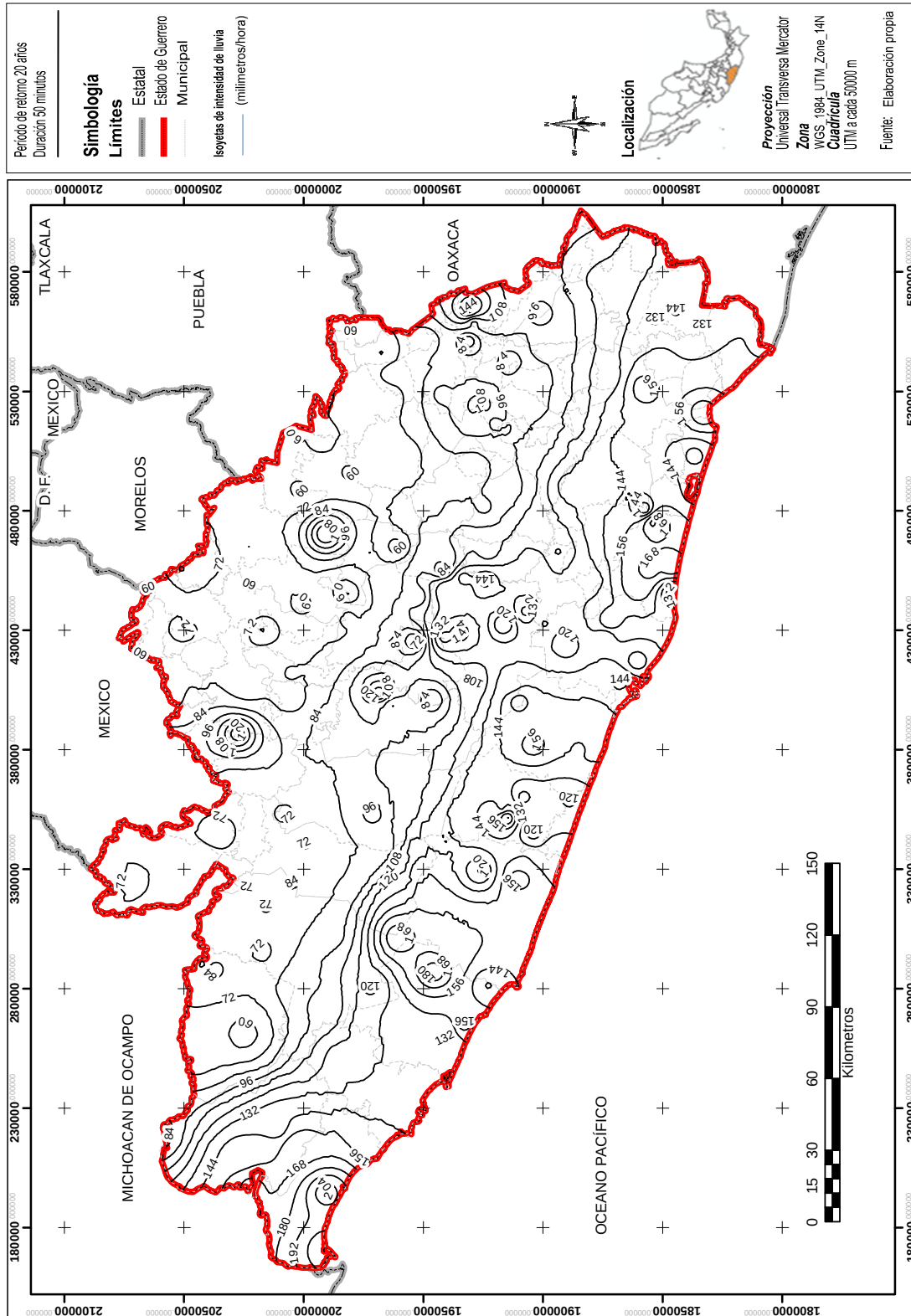


Figura A8.21. Período de retorno 20 años. Duración 50 minutos

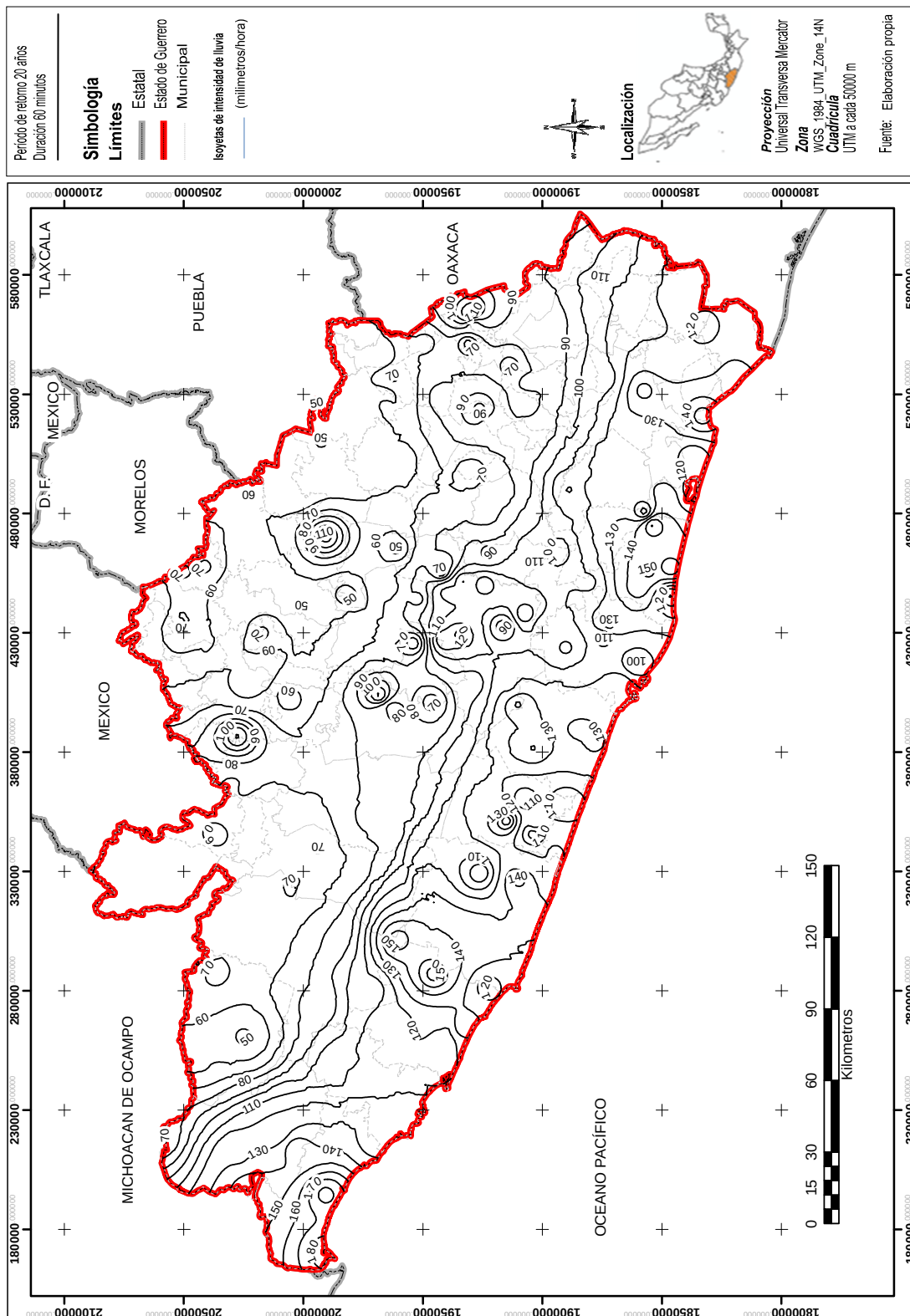


Figura A8.22. Período de retorno 20 años. Duración 60 minutos

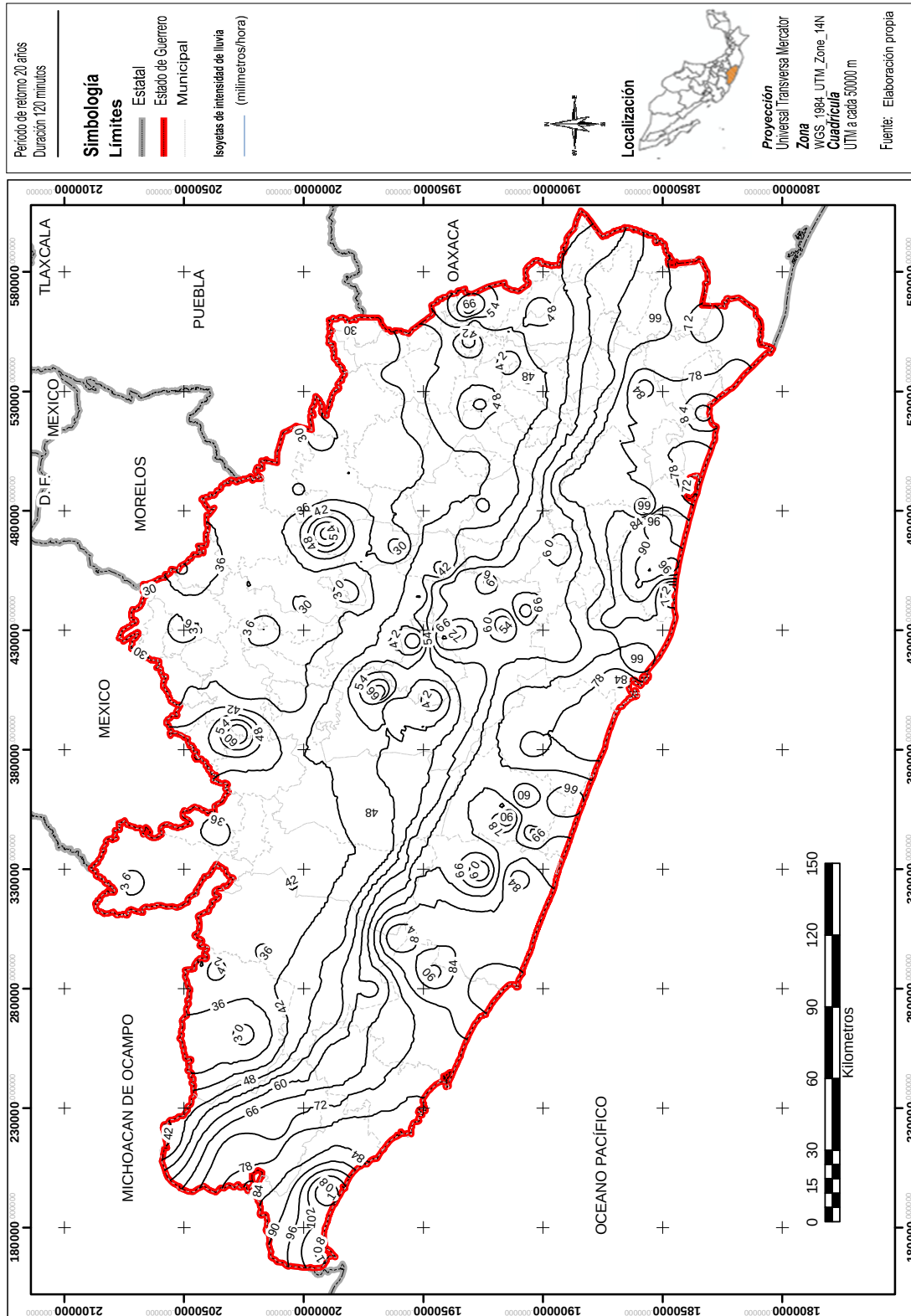


Figura A8.23. Período de retorno 20 años. Duración 120 minutos

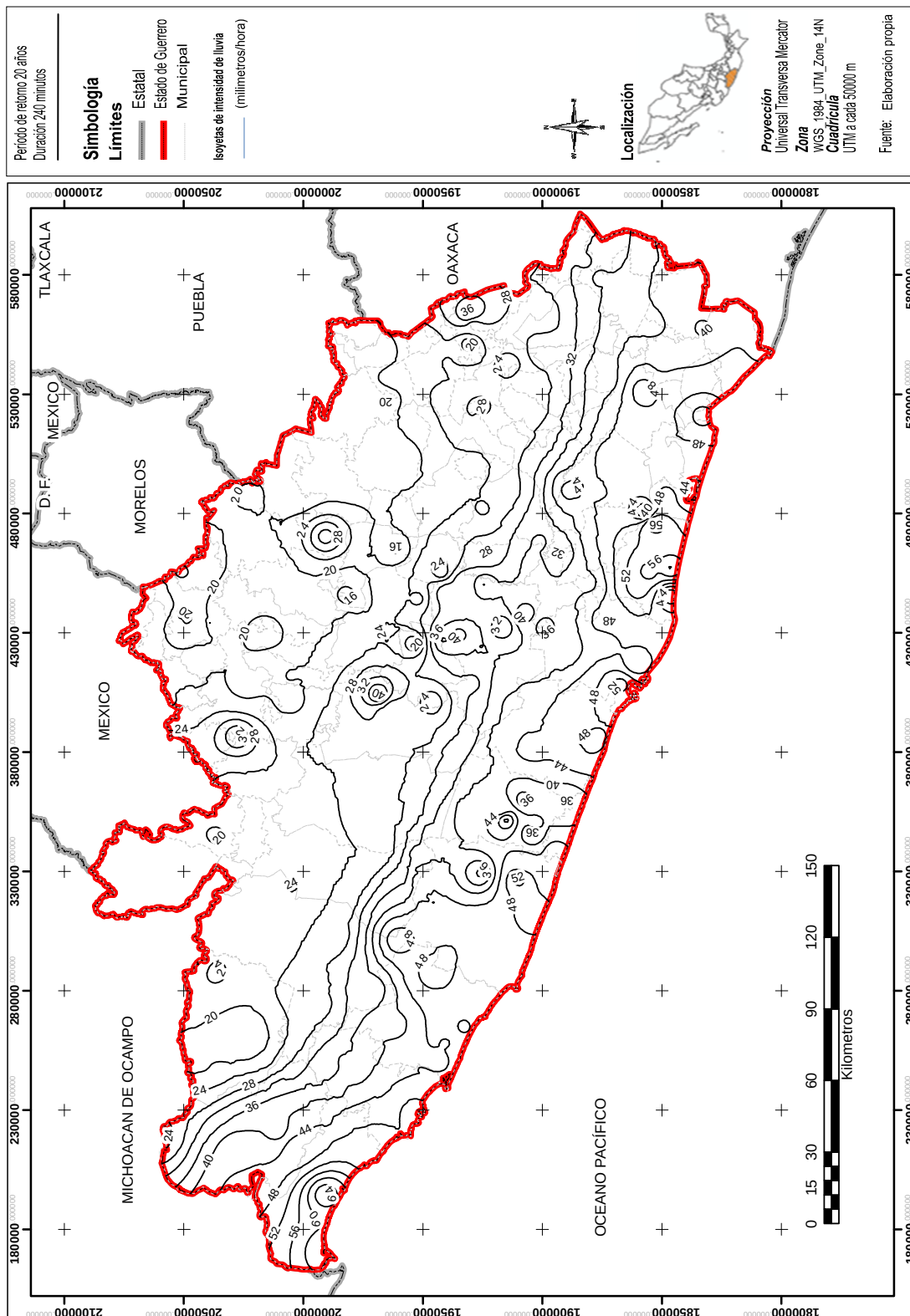


Figura A8.24. Período de retorno 20 años. Duración 240 minutos

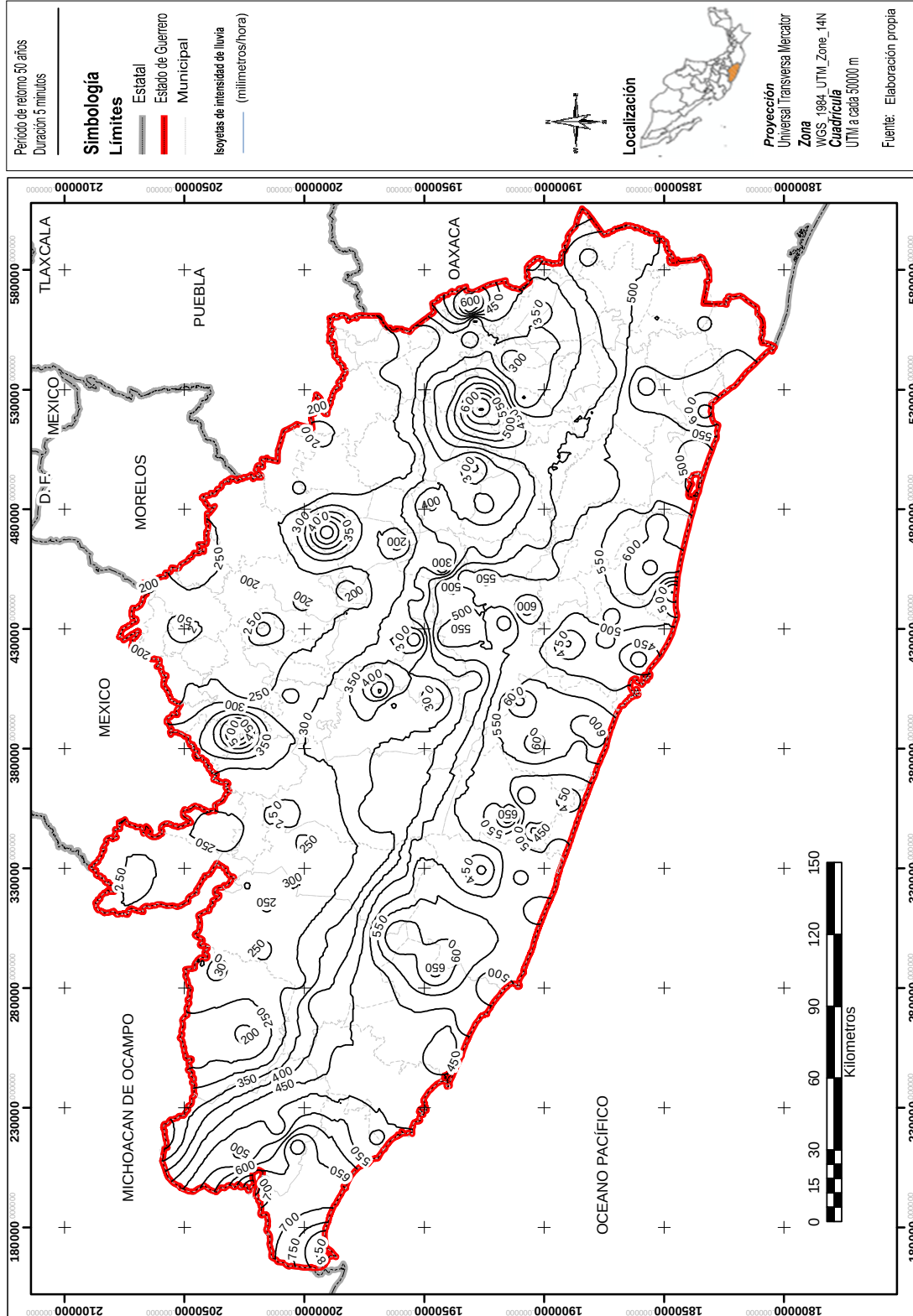


Figura A8.25. Período de retorno 50 años. Duración 5 minutos

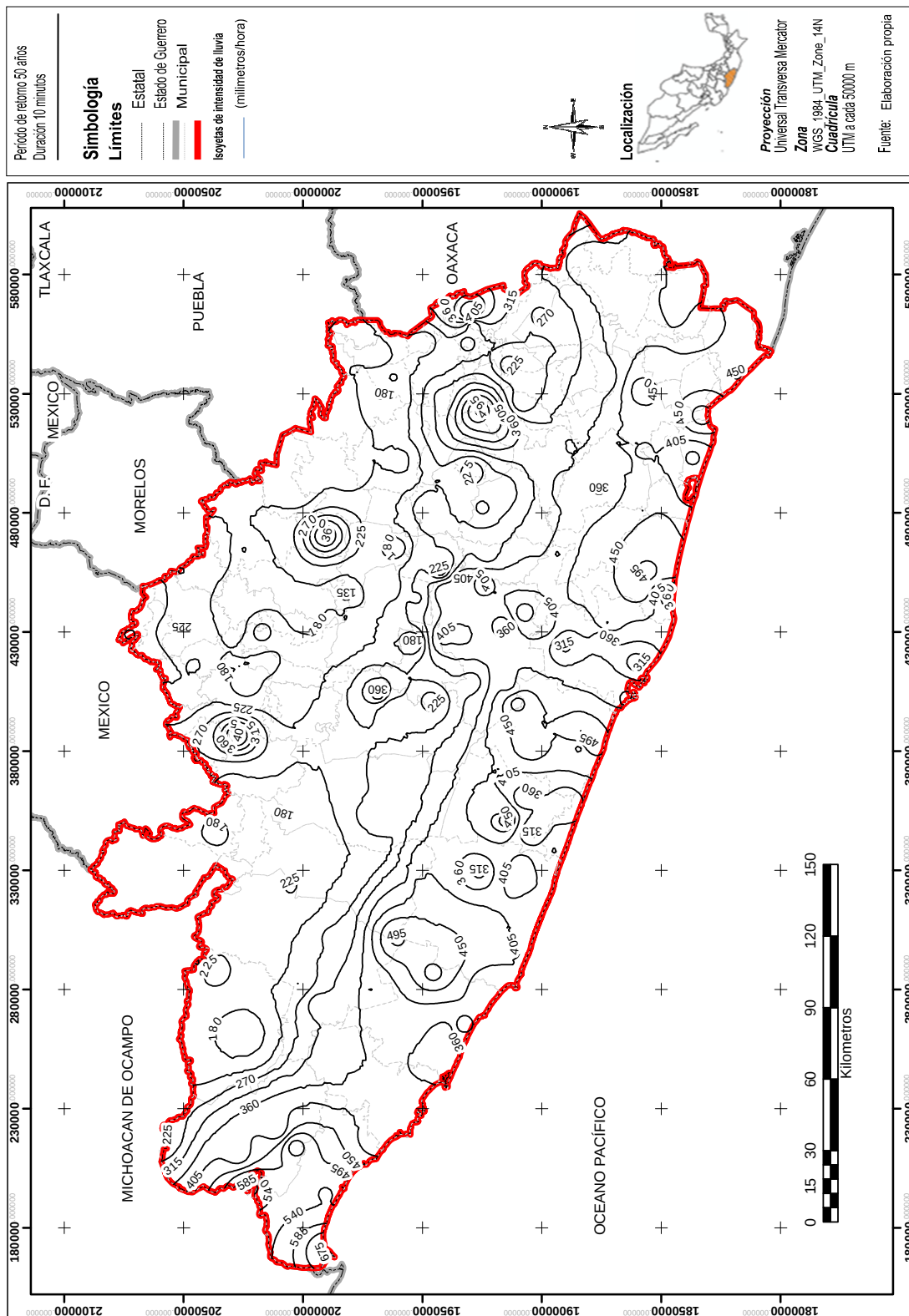
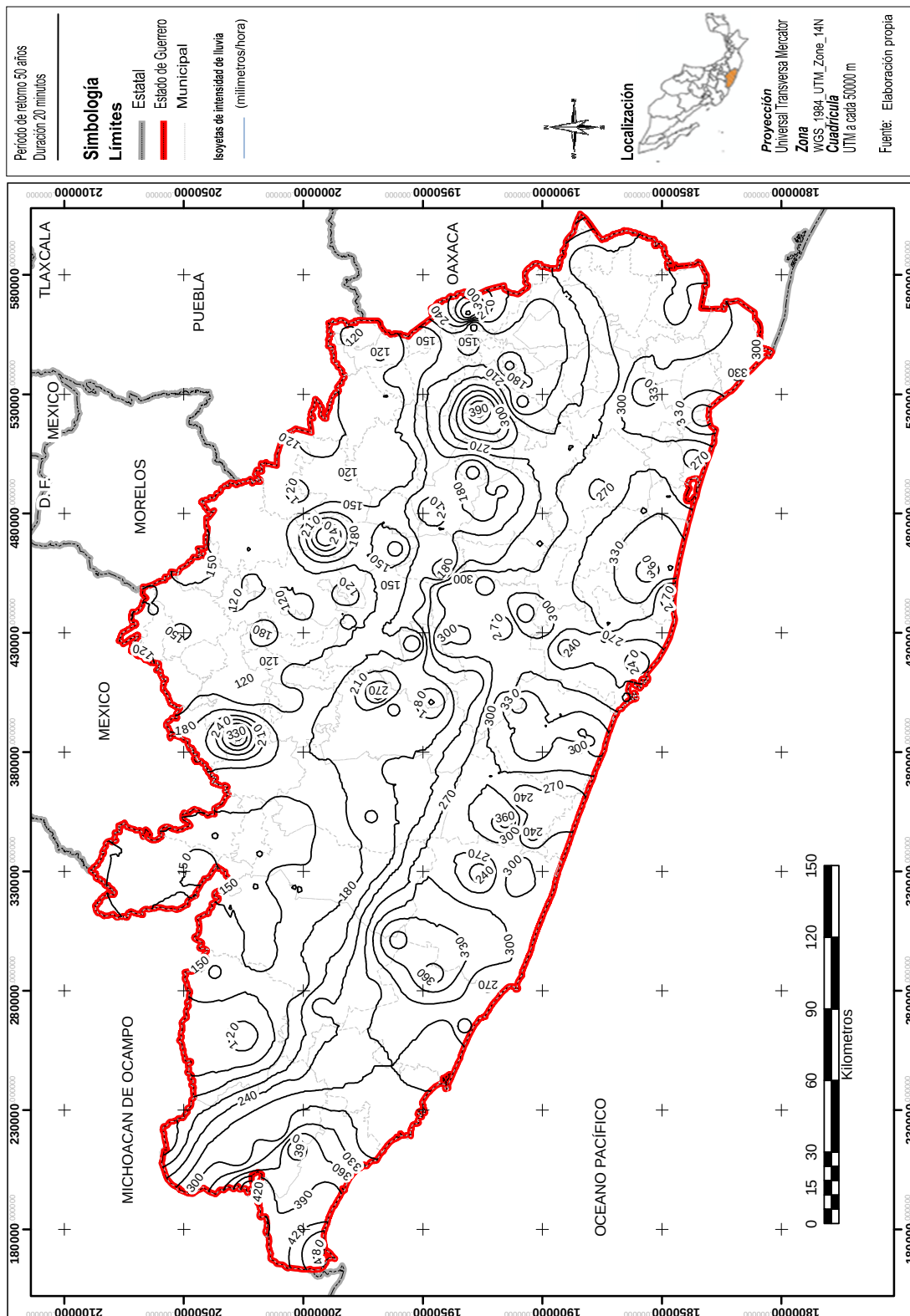


Figura A8.26. Período de retorno 50 años. Duración 10 minutos



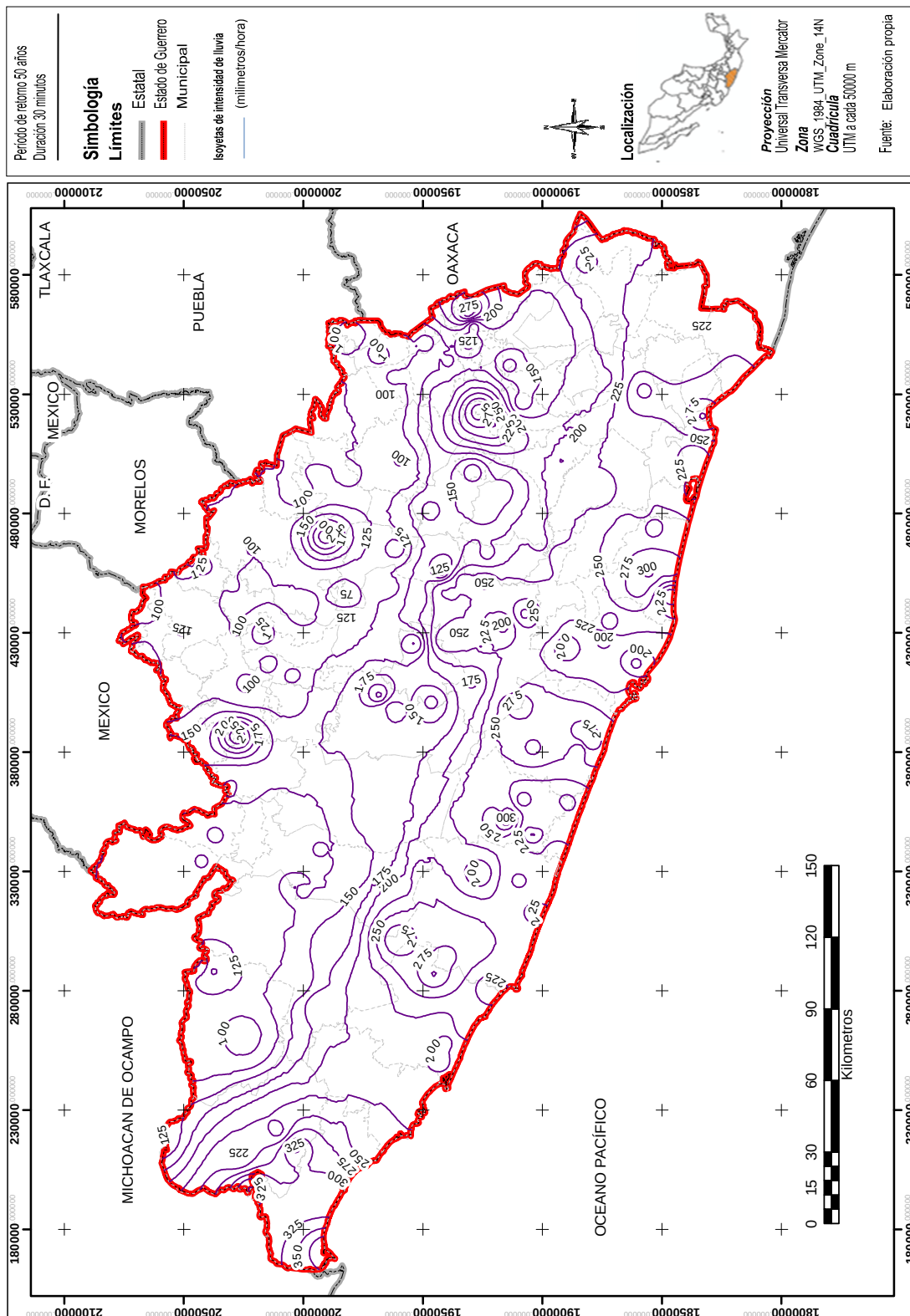


Figura A8.28. Período de retorno 50 años. Duración 30 minutos

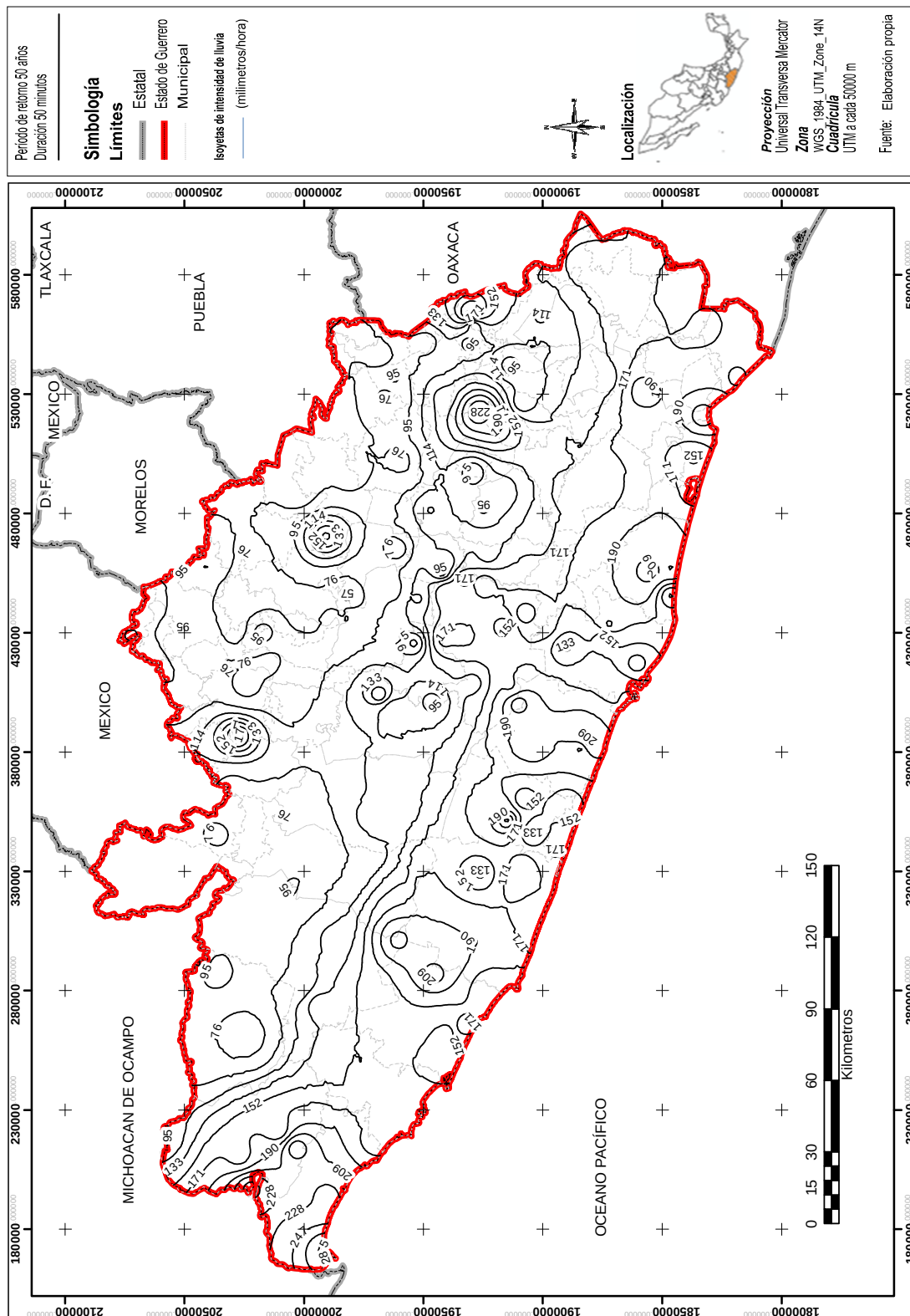


Figura A8.29. Período de retorno 50 años. Duración 50 minutos

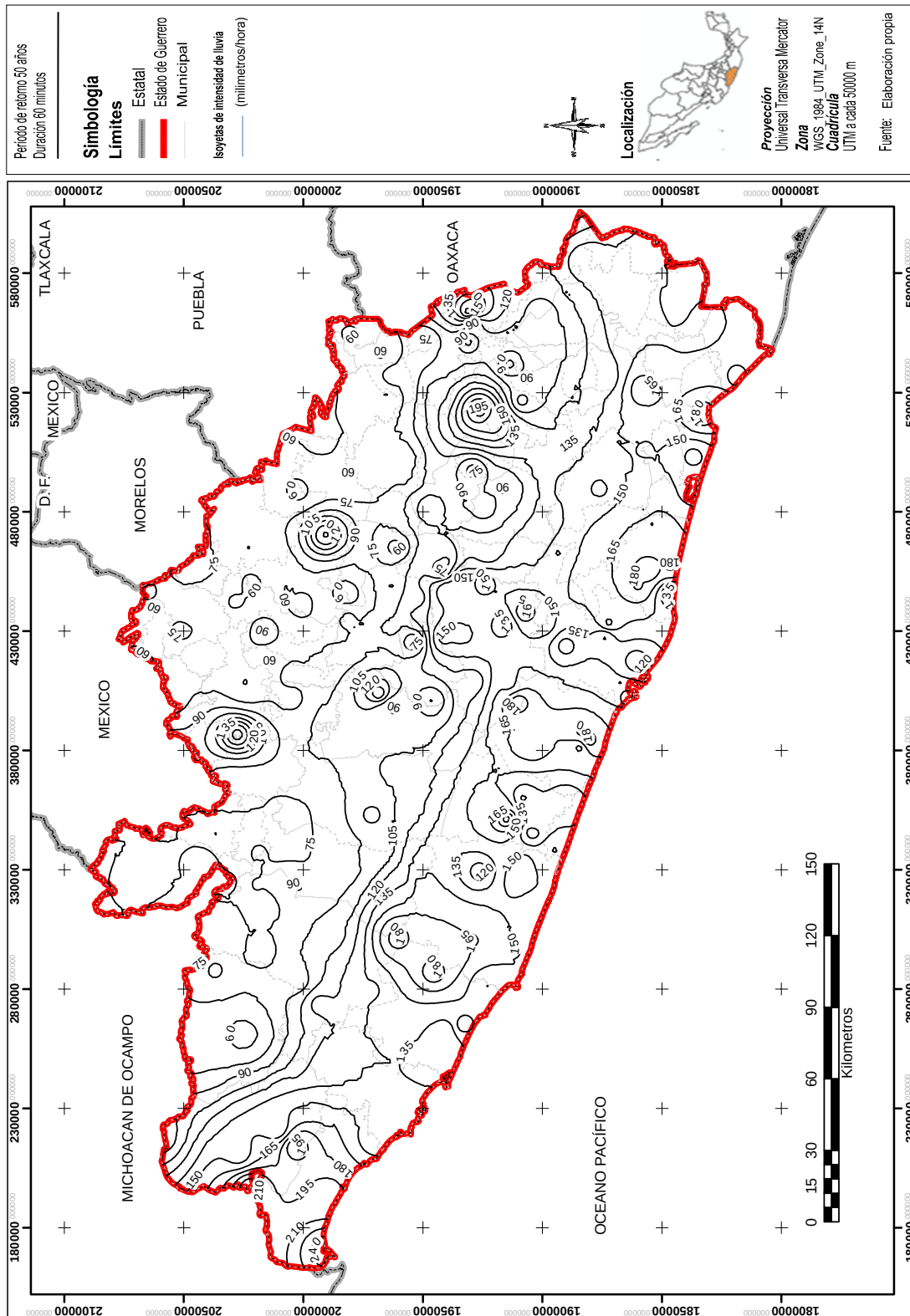


Figura A8.30. Período de retorno 50 años. Duración 60 minutos

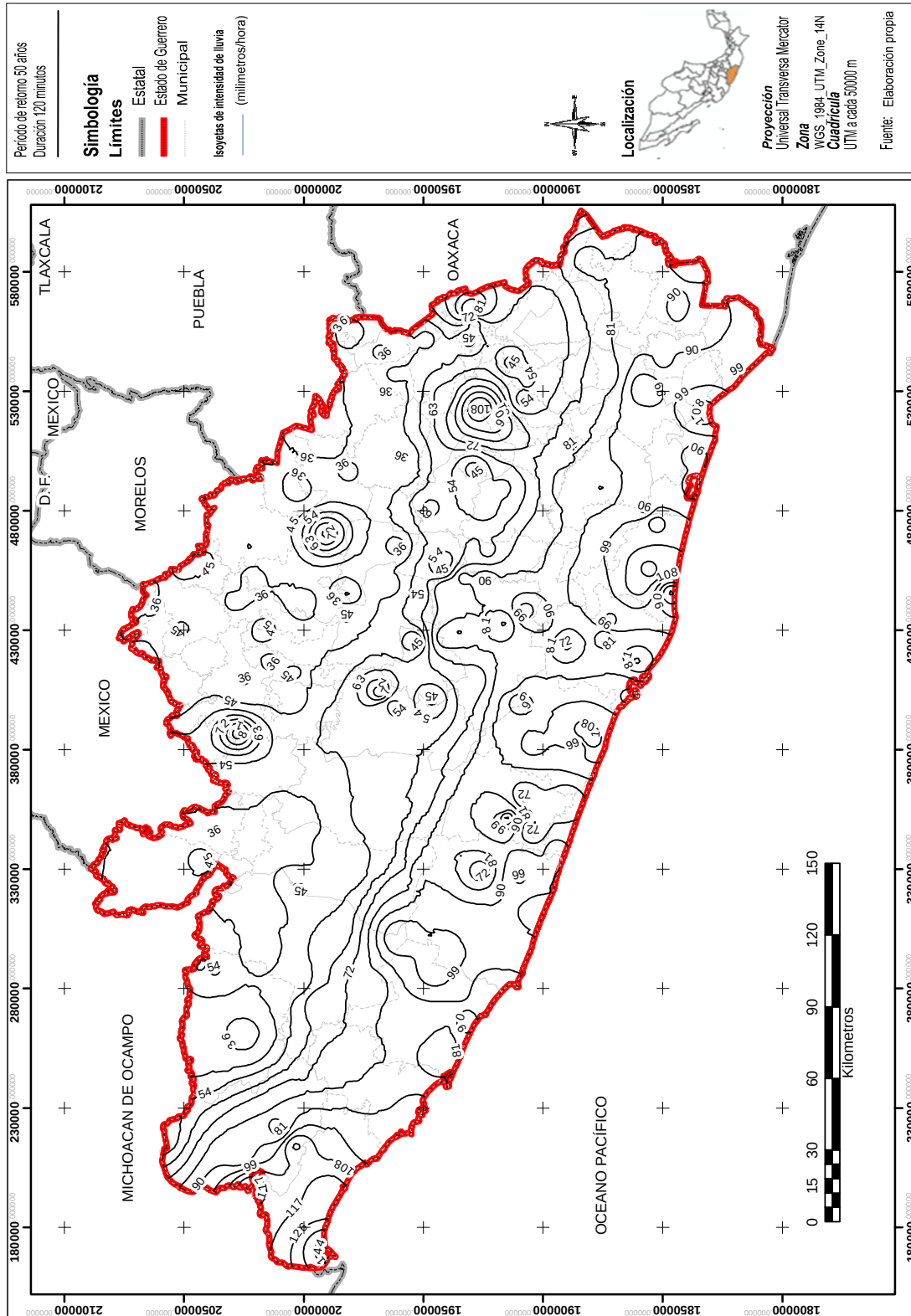


Figura A8.31. Período de retorno 50 años. Duración 120 minutos

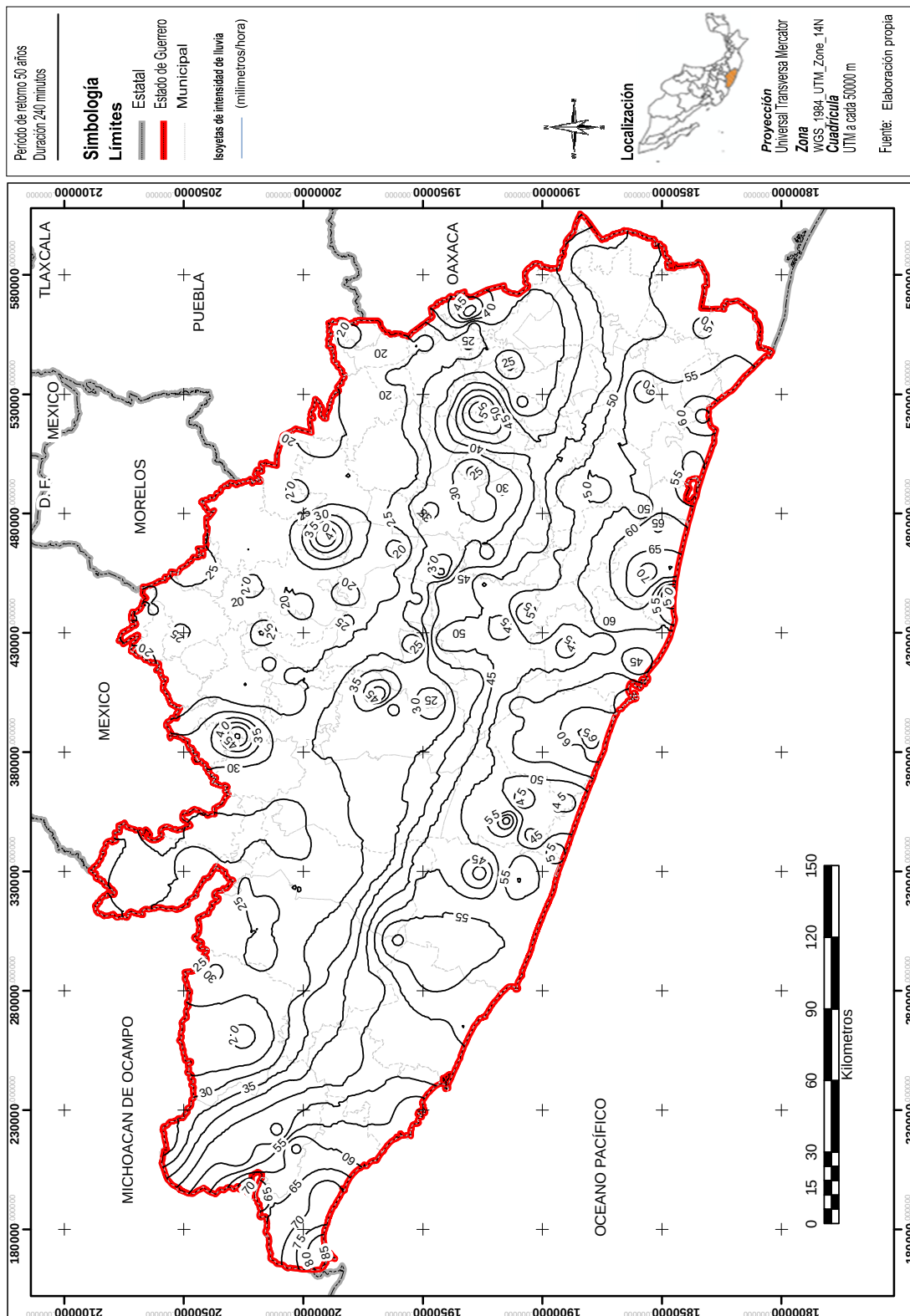


Figura A8.32. Período de retorno 50 años. Duración 240 minutos

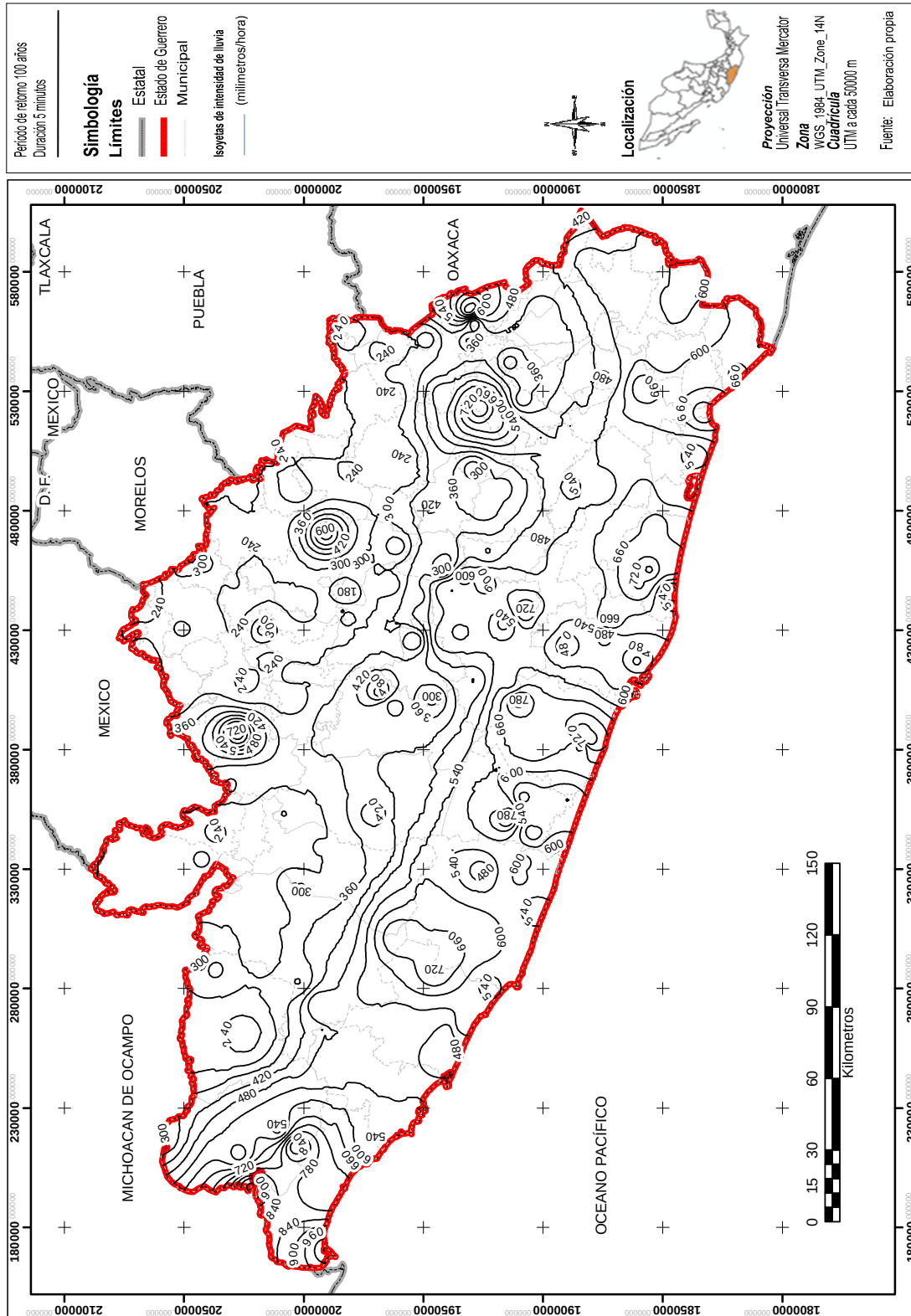


Figura A8.33. Período de retorno 100 años. Duración 5 minutos

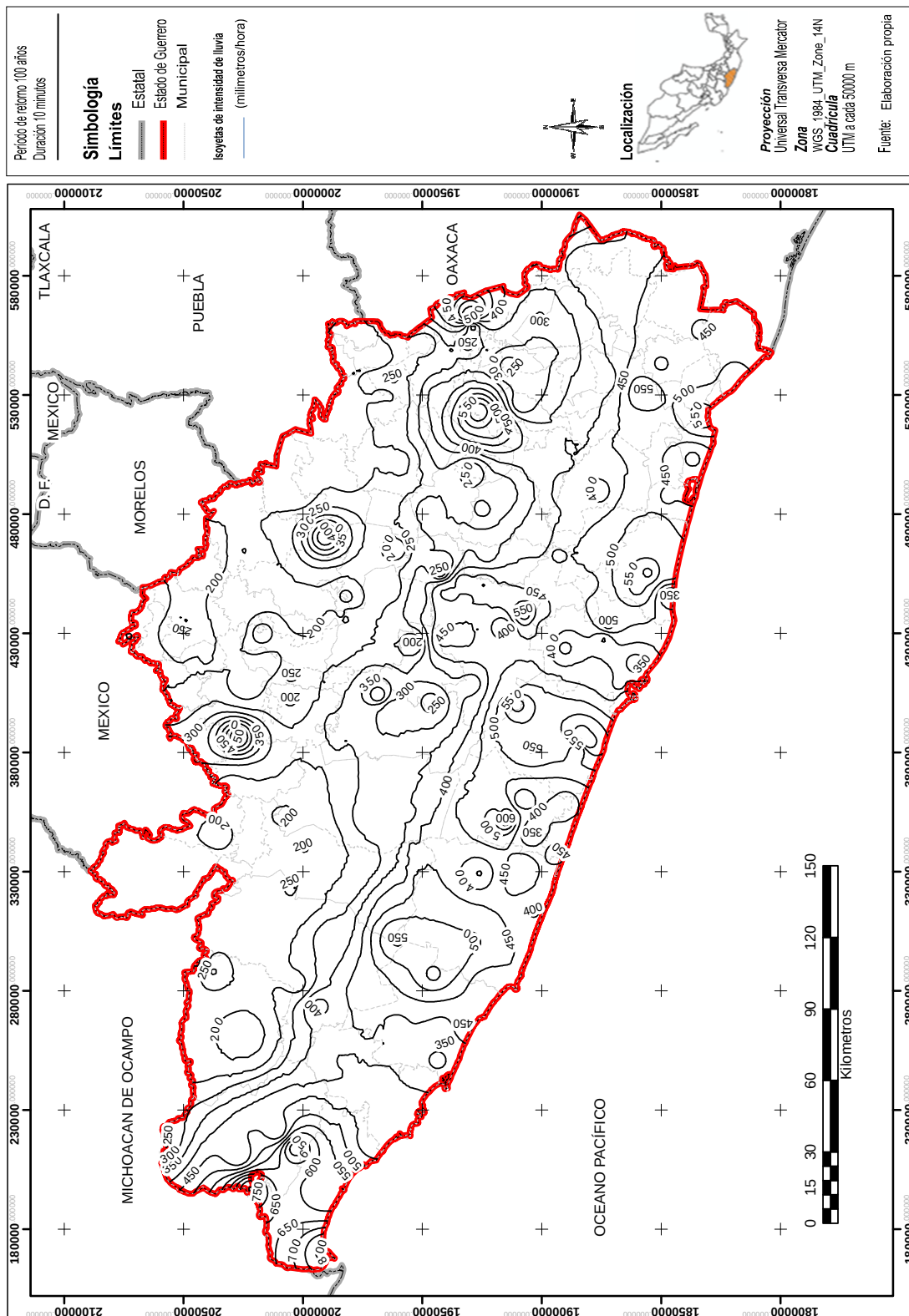


Figura A8.34. Período de retorno 100 años. Duración 10 minutos

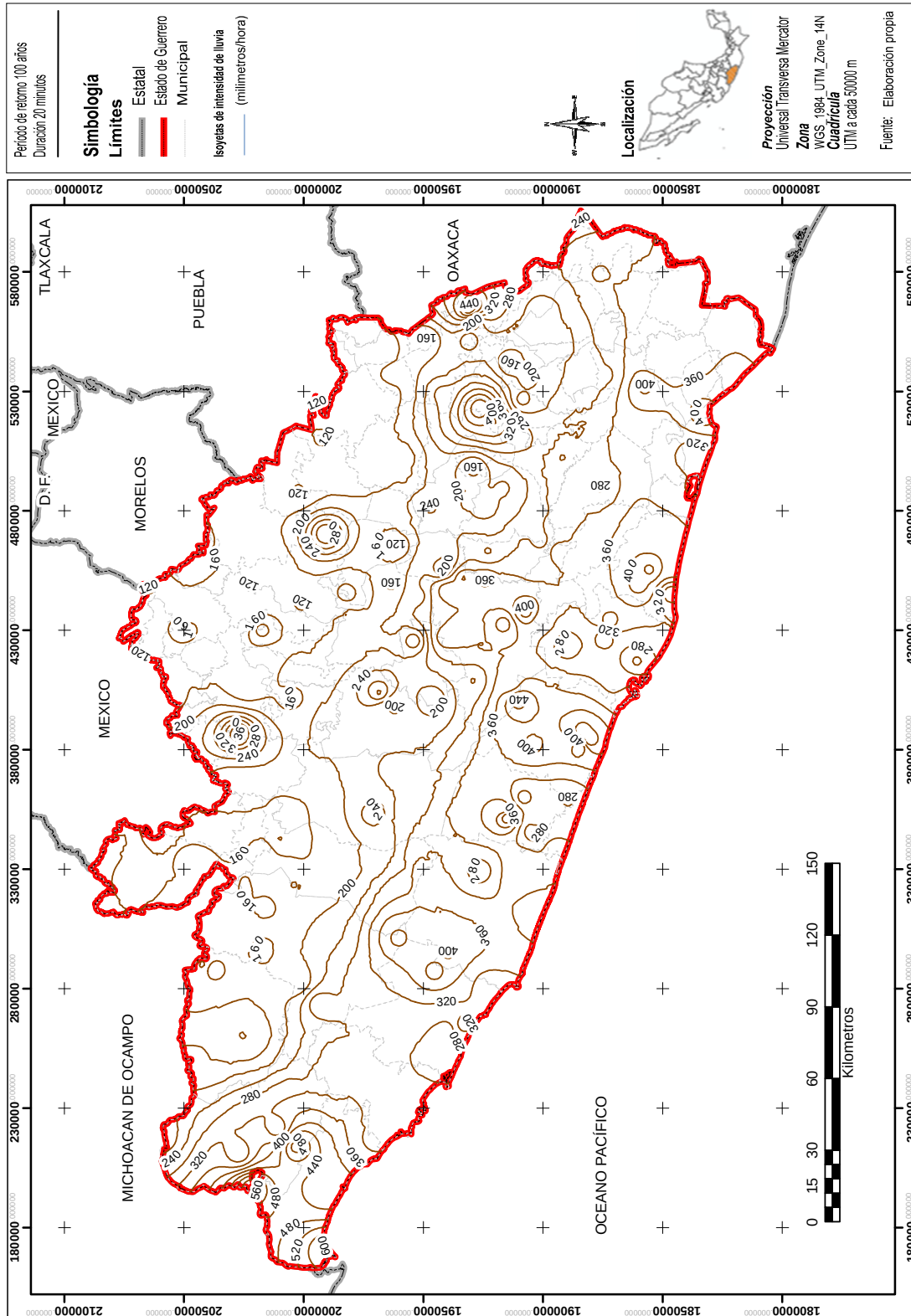


Figura A8.35. Período de retorno 100 años. Duración 20 minutos

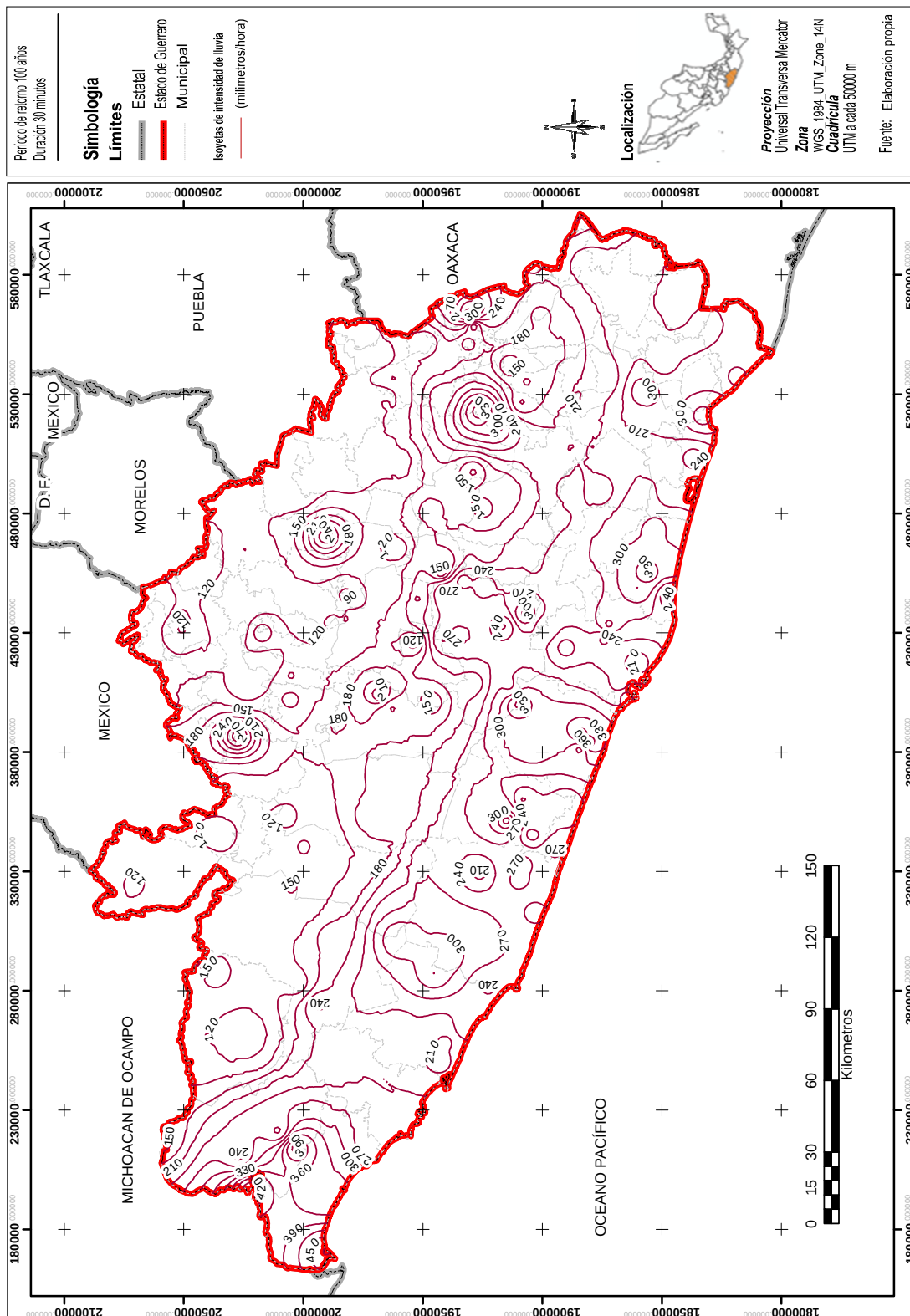
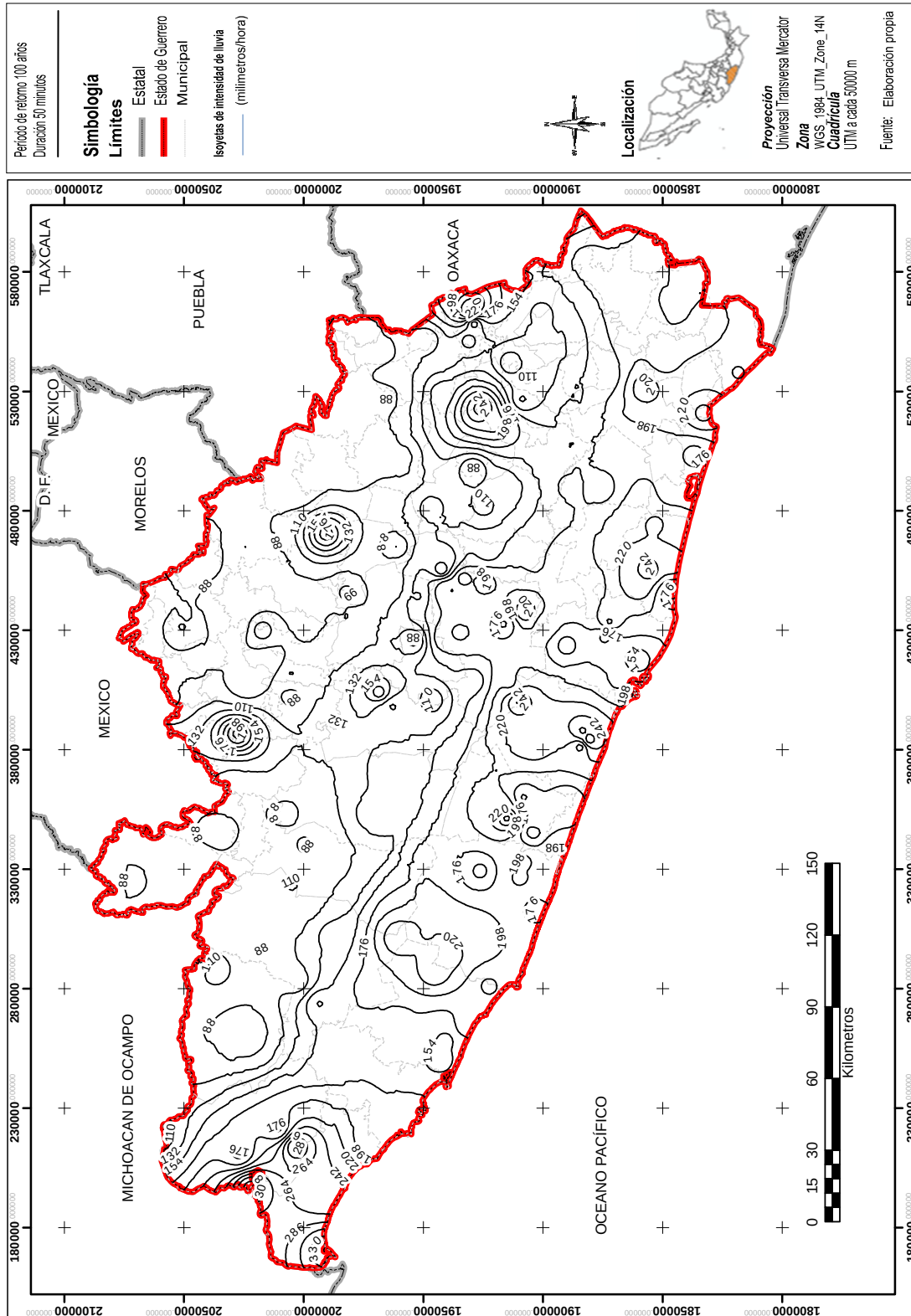


Figura A8.36. Período de retorno 100 años. Duración 30 minutos



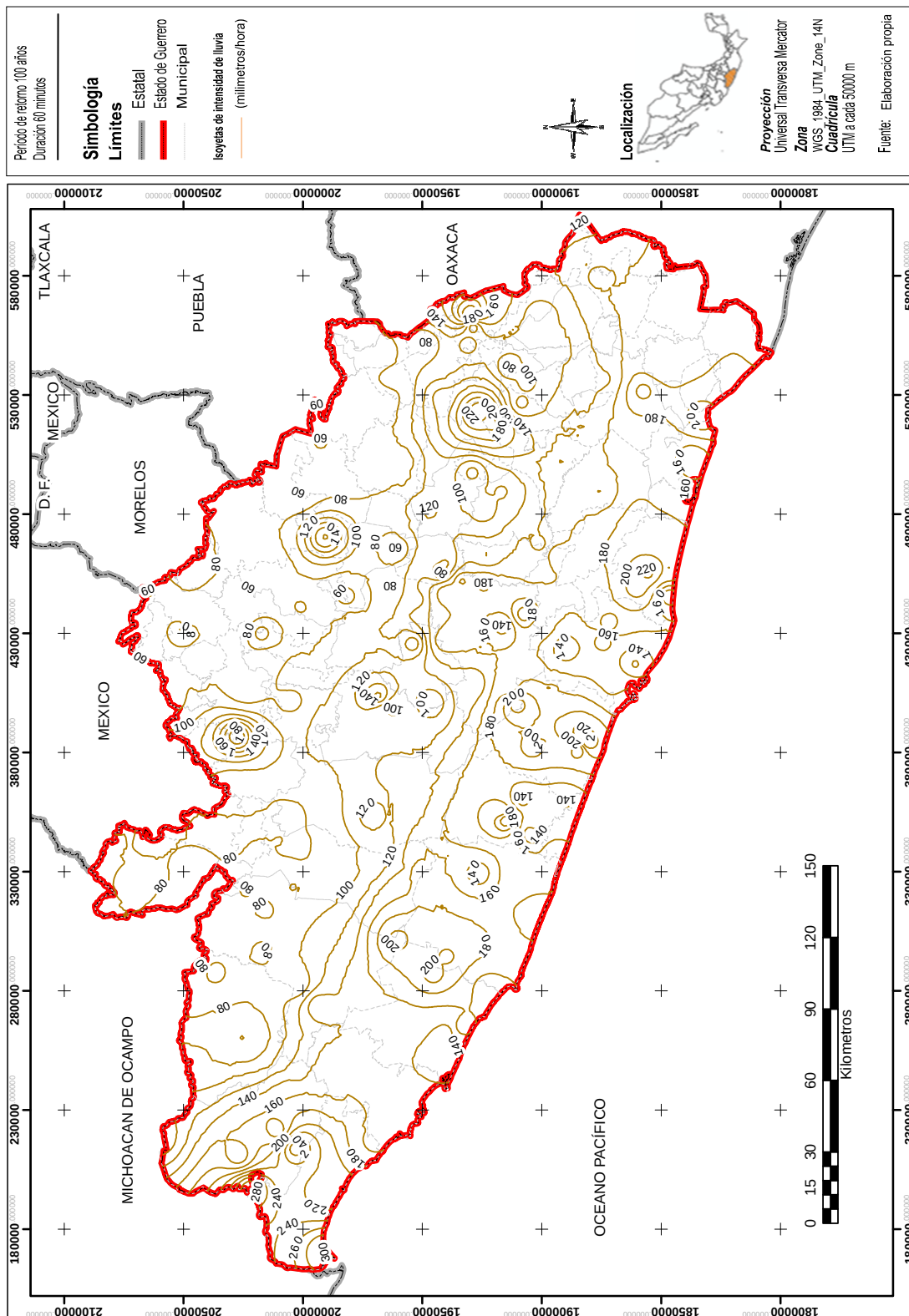


Figura A8.38. Período de retorno 100 años. Duración 60 minutos

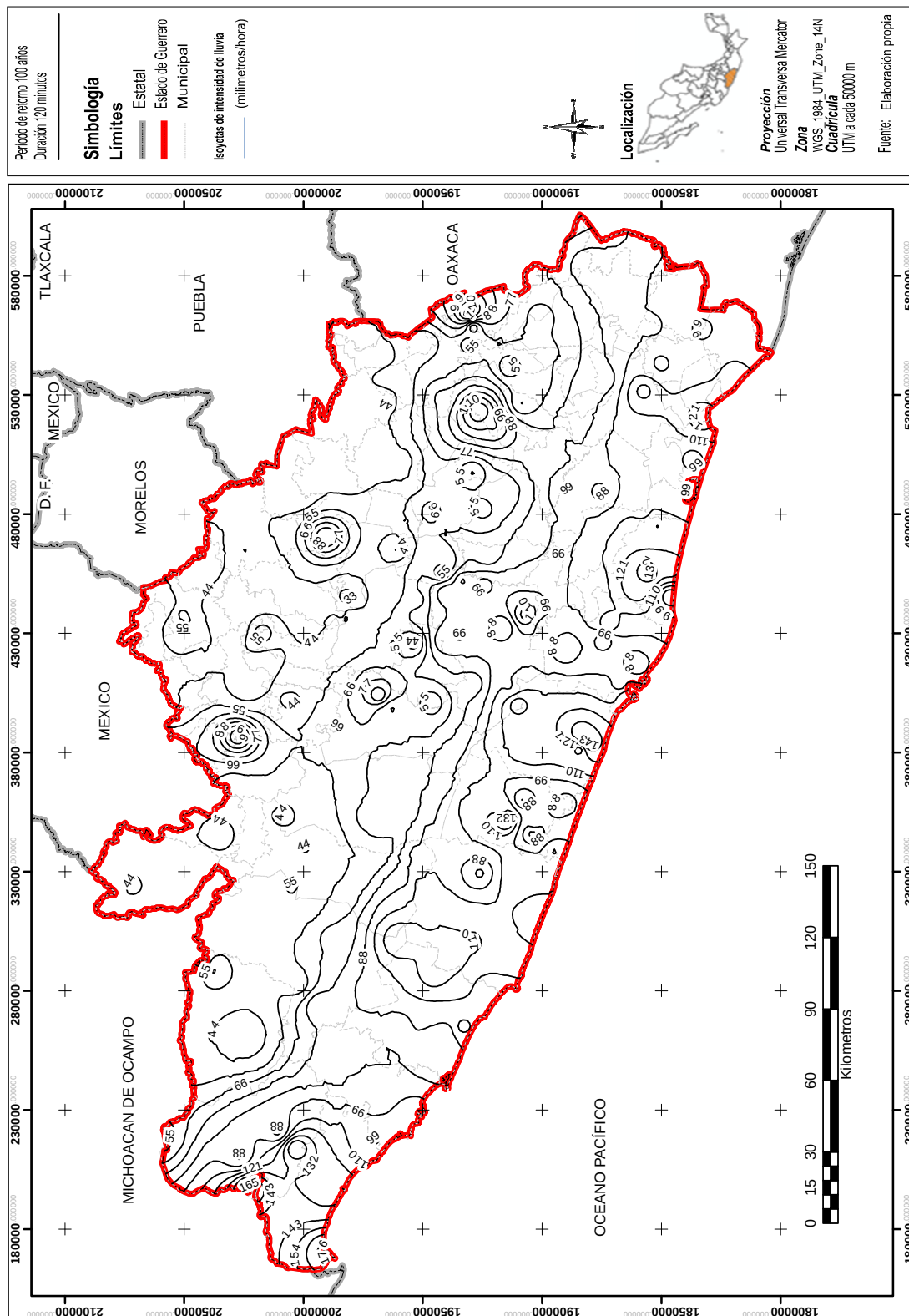


Figura A8.39. Período de retorno 100 años. Duración 120 minutos

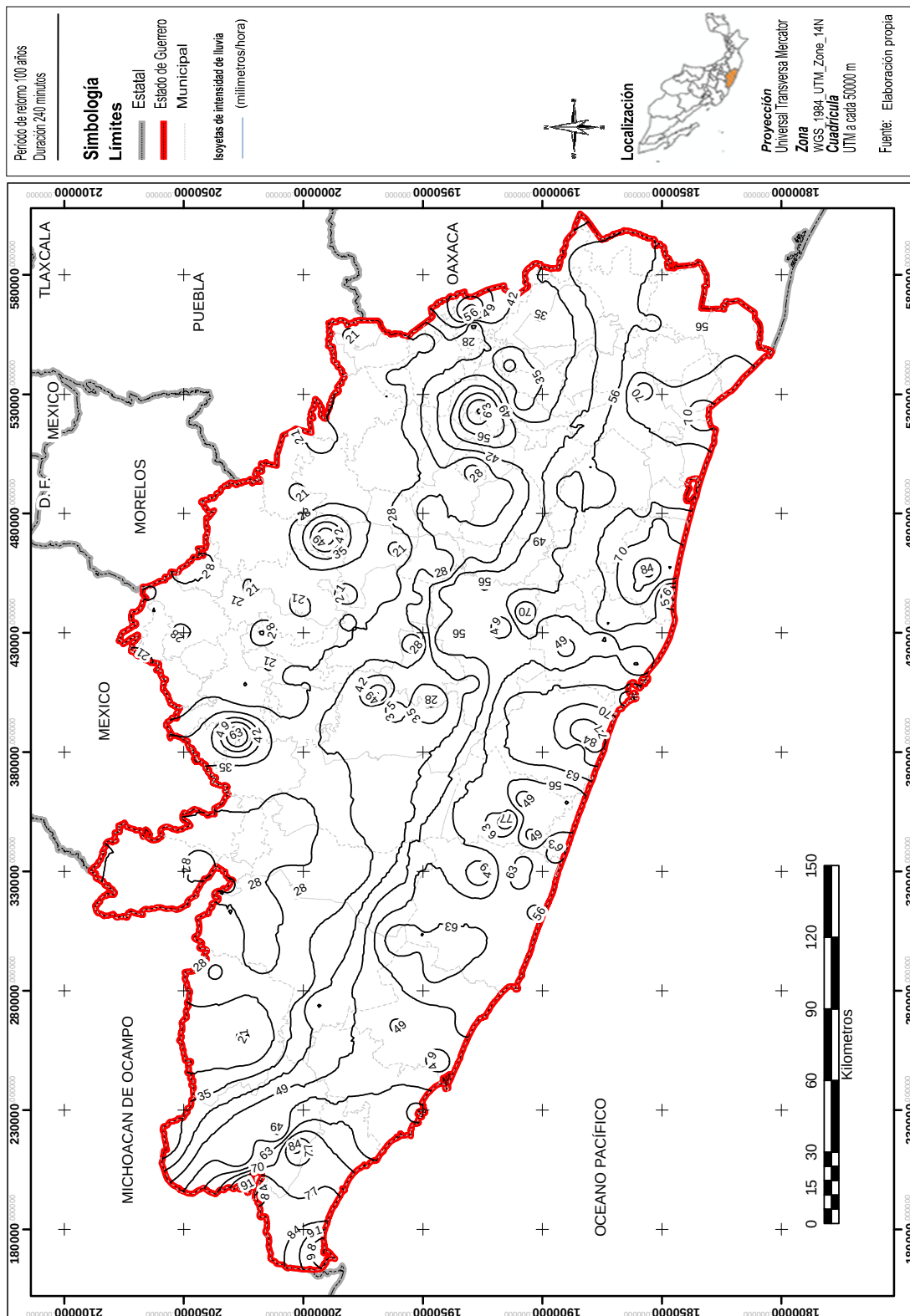


Figura A8.40. Período de retorno 100 años. Duración 240 minutos