

PROGRAMA  
DE GESTIÓN DE  
**CALIDAD DEL AIRE**  
Y DE ACCIÓN ANTE EL  
**CAMBIO CLIMÁTICO**  
ESTADO DE PUEBLA  
2021-2030

ANÁLISIS HISTÓRICO DEL CLIMA Y  
ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Programa  
**PEACC**



**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**INECC**  
INSTITUTO NACIONAL  
DE ECOLOGÍA Y  
CAMBIO CLIMÁTICO

**CAVME**  
COMISIÓN AMBIENTAL  
DE LA MEGALÓPOLIS



**Gobierno  
de Puebla**

Proyecto Financiado por el Fideicomiso 1490  
para Apoyar los Programas, Proyectos  
y Acciones Ambientales de la Megalópolis

# PROGRAMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030 DEL ESTADO DE PUEBLA

"Proyecto Financiado por el Fideicomiso 1490  
para Apoyar los Programas, Proyectos  
y Acciones Ambientales de la Megalópolis"

Este documento fue desarrollado por:  
AMBIENS Consultoría, Sustentabilidad y Gestión Climática SA de CV para la  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, DESARROLLO SUSTENTABLE Y  
ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE PUEBLA  
Bajo el proyecto con número de contrato  
GESAL-140-027/2022



Secretaría de  
Medio Ambiente,  
Desarrollo Sustentable y  
Ordenamiento Territorial  
Gobierno de Puebla

**Autores del documento:**

Biol. Saúl Castañeda Contreras

**Con la colaboración de:**

Ing. Víctor Javier Gutiérrez Avedoy

Mat. Jorge Martínez Castillejos

Este documento se elaboró para la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Gobierno del Estado de Puebla con recursos del Proyecto Financiado por el Fideicomiso 1490 “Para Apoyar los Programas, Proyectos y Acciones Ambientales de la Megalópolis”.

Citar el documento como: Análisis Histórico del Clima y Escenarios Climáticos, 2023.  
Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático, 2021-2030.  
SMADSOT – CAME – SEMARNAT.

La reproducción total o parcial de este documento podrá efectuarse mediante autorización expresa de la fuente y dándole el crédito correspondiente.

© 2023

PROGRAMA  
DE GESTIÓN DE **CALIDAD DEL AIRE**  
Y DE ACCIÓN ANTE EL **CAMBIO CLIMÁTICO**  
ESTADO DE PUEBLA  
2021-2030

**ANÁLISIS HISTÓRICO DEL CLIMA Y  
ESCENARIOS CLIMÁTICOS**

## CONTENIDO

|   |     |
|---|-----|
| 1. Análisis histórico del clima.....  | 17  |
| 2. Diagnóstico histórico e identificación de tendencias.....                                      | 17  |
| Viento.....   | 17  |
| Diagnóstico de estaciones climatológicas.....   | 19  |
| Suficiencia de datos.....   | 21  |
| Selección de estaciones.....  | 26  |
| Análisis de tendencias con datos puntuales.....   | 29  |
| Cálculo de índices y análisis de tendencias.....  | 35  |
| Índices de cambio climático.....  | 35  |
| Cálculo de índices.....   | 42  |
| 3. Tendencias.....  | 43  |
| Estado de Puebla.....   | 44  |
| Región Angelópolis.....   | 56  |
| Mixteca.....  | 67  |
| Sierra Negra.....   | 78  |
| Sierra Nororiental.....   | 89  |
| Sierra Norte.....   | 100 |
| Valle Atlixco.....  | 111 |
| Valle Serdán.....   | 122 |
| 4. Escenarios climáticos.....   | 137 |
| Exposición al cambio climático.....   | 139 |
| Precipitación.....  | 141 |
| Temperatura máxima.....   | 143 |
| Temperatura mínima.....   | 145 |
| Región Angelópolis.....   | 148 |
| Región Mixteca.....   | 153 |
| Región Sierra Negra.....  | 159 |
| Región Sierra Nororiental.....  | 165 |
| Región Sierra Norte.....  | 171 |
| Región Valle Atlixco.....   | 177 |
| Región Valle Serdán.....  | 183 |
| 5. Selección de proyecciones para la evaluación de la vulnerabilidad.....                         | 189 |
| 6. Escenarios por sector: Hídrico, forestal, Agrícola, Biodiversidad, Salud y Socioeconómico..... | 215 |
| 7. Actualización del análisis de vulnerabilidad, riesgo y resiliencia.....                        | 218 |
| Referencias.....  | 222 |

## FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Promedio de la dirección y velocidad del viento [ $m s^{-1}$ ] en el Estado durante el periodo 2015-2020. ....   | 18 |
| Figura 2. Rosa de vientos para el Estado por estación durante el periodo 2015-2020; la velocidad se presenta en $m s^{-1}$ .....   | 18 |
| Figura 3. Diagnóstico de datos de precipitación para la estación 21026; las líneas rojas indican valores faltantes, las zonas en blanco indican vacíos en las series.....      | 22 |
| Figura 4. Diagnóstico de datos de temperatura máxima para la estación 21026; las líneas rojas indican valores faltantes, las zonas en blanco indican vacíos en las series..... | 23 |
| Figura 5. Diagnóstico de datos de temperatura mínima para la estación 21026; las líneas rojas indican datos faltantes, las zonas en blanco indican vacíos en las series. ....  | 24 |
| Figura 6. Distribución de los valores de vacíos en las estaciones climatológicas.....  | 25 |
| Figura 7. Distribución de los valores de porcentaje de datos faltantes en las estaciones climatológicas.....   | 25 |
| Figura 8. Comparación de los valores anuales de temperatura máxima entre las series de las estaciones del SMN (en rojo) y SC-Earth (en negro). ....                            | 31 |
| Figura 9. Comparación de los valores anuales de temperatura mínima entre las series de las estaciones del SMN (en rojo) y SC-Earth (en negro). ....                            | 32 |
| Figura 10. Comparación de los valores anuales de temperatura media entre las series de las estaciones del SMN (en rojo) y SC-Earth (en negro). ....                            | 33 |
| Figura 11. Valores mensuales de las variables climáticas para el Estado durante el periodo 1950-2019. ....   | 34 |
| Figura 12. Valores anuales de las variables climáticas para el Estado durante el periodo 1950-2019. ....   | 34 |
| Figura 13. Distribución de los valores mensuales de precipitación para el Estado de acuerdo con datos de Dymet; los puntos rojos indican el promedio.....                      | 37 |
| Figura 14. Distribución de los valores mensuales de precipitación para las regiones del estado de acuerdo con datos de Daymet; los puntos rojos indican el promedio.....       | 37 |
| Figura 15. Distribución de los valores mensuales de temperatura máxima para el Estado de acuerdo con datos de Dymet; los puntos rojos indican el promedio. ....                | 38 |
| Figura 16. Distribución de los valores mensuales de temperatura máxima para las regiones del estado de acuerdo con datos de Daymet; los puntos rojos indican el promedio. .... | 38 |
| Figura 17. Distribución de los valores mensuales de temperatura mínima para el Estado de acuerdo con datos de Dymet; los puntos rojos indican el promedio. ....                | 39 |
| Figura 18. Distribución de los valores mensuales de temperatura mínima para las regiones del estado de acuerdo con datos de Dymet; los puntos rojos indican el promedio.....   | 39 |
| Figura 19. Precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para el Estado.....   | 45 |
| Figura 20. Diagrama de Hovmöller de la precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para el Estado. ....  | 45 |
| Figura 21. Contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para el Estado.....   | 46 |
| Figura 22. Diagrama de Hovmöller de la contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para el Estado.....   | 46 |
| Figura 23. Duración máxima del período seco (cdd) para el Estado.....  | 47 |
| Figura 24. Diagrama de Hovmöller de la duración máxima del período seco (cdd) para el Estado. ....   | 47 |
| Figura 25. Índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para el Estado.....   | 48 |
| Figura 26. Diagrama de Hovmöller del índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para el Estado.....   | 48 |
| Figura 27. Temperatura máxima media anual (tmax) para el Estado.....   | 49 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 28. Diagrama de Hovmöller de la temperatura máxima (tmax) media anual para el Estado.....   | 49 |
| Figura 29. Temperatura mínima media anual (tmin) para el Estado.....   | 50 |
| Figura 30. Diagrama de Hovmöller de la temperatura mínima media anual (tmin) para el Estado.....   | 50 |
| Figura 31. Valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para el Estado.....  | 51 |
| Figura 32. Diagrama de Hovmöller del valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para el Estado.....  | 51 |
| Figura 33. Valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para el Estado.....  | 52 |
| Figura 34. Diagrama de Hovmöller del valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para el Estado.....  | 52 |
| Figura 35. Número de días de verano (su) para el Estado.....   | 53 |
| Figura 36. Diagrama de Hovmöller del número de días de verano (su) para el Estado.....   | 53 |
| Figura 37. Número de días de heladas (fd) para el Estado.....  | 54 |
| Figura 38. Diagrama de Hovmöller del Número de días de heladas (fd) para el Estado.....  | 54 |
| Figura 39. Oscilación térmica diaria (dtr) para el Estado.....   | 55 |
| Figura 40. Diagrama de Hovmöller de la oscilación térmica diaria (dtr) para el Estado.....   | 55 |
| Figura 41. Precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para la región Angelópolis.....   | 56 |
| Figura 42. Diagrama de Hovmöller de la precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para la región Angelópolis.....                         | 56 |
| Figura 43. Contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para la región Angelópolis.....                             | 57 |
| Figura 44. Diagrama de Hovmöller de la contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para la región Angelópolis..... | 57 |
| Figura 45. Duración máxima del período seco (cdd) para la región Angelópolis.....  | 58 |
| Figura 46. Diagrama de Hovmöller de la duración máxima del período seco (cdd) para la región Angelópolis.....                                      | 58 |
| Figura 47. Índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para la región Angelópolis;.....  | 59 |
| Figura 48. Diagrama de Hovmöller del índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para la región Angelópolis.....                           | 59 |
| Figura 49. Temperatura máxima media anual (tmax) para la región Angelópolis.....   | 60 |
| Figura 50. Diagrama de Hovmöller de la temperatura máxima (tmax) media anual para la región Angelópolis.....                                       | 60 |
| Figura 51. Temperatura mínima media anual (tmin) para la región Angelópolis.....   | 61 |
| Figura 52. Diagrama de Hovmöller de la temperatura mínima media anual (tmin) para la región Angelópolis.....                                       | 61 |
| Figura 53. Valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para la región Angelópolis;.....   | 62 |
| Figura 54. Diagrama de Hovmöller del valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para la región Angelópolis.....                            | 62 |
| Figura 55. Valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para la región Angelópolis.....  | 63 |
| Figura 56. Diagrama de Hovmöller del valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para la región Angelópolis.....                            | 63 |
| Figura 57. Número de días de verano (su) para la región Angelópolis.....   | 64 |
| Figura 58. Diagrama de Hovmöller del número de días de verano (su) para la región Angelópolis.....   | 64 |
| Figura 59. Número de días de heladas (fd) para la región Angelópolis;.....   | 65 |
| Figura 60. Diagrama de Hovmöller del Número de días de heladas (fd) para la región Angelópolis.....  | 65 |
| Figura 61. Rango de temperatura diario (dtr) para la región Angelópolis.....   | 66 |
| Figura 62. Diagrama de Hovmöller del rango de temperatura diario (dtr) para la región Angelópolis.....   | 66 |
| Figura 63. Precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para la región Mixteca.....   | 67 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 64. Diagrama de Hovmöller de la precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para la región Mixteca. ....                              | 67 |
| Figura 65. Contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para la región Mixteca .....                                  | 68 |
| Figura 66. Diagrama de Hovmöller de la contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para la región Mixteca. ....      | 68 |
| Figura 67. Duración máxima del período seco (cdd) para la región Mixteca .....   | 69 |
| Figura 68. Diagrama de Hovmöller de la duración máxima del período seco (cdd) para la región Mixteca. ....   | 69 |
| Figura 69. Índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para la región Mixteca .....  | 70 |
| Figura 70. Diagrama de Hovmöller del índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para la región Mixteca. ....                                | 70 |
| Figura 71. Temperatura máxima media anual (tmax) para la región Mixteca .....  | 71 |
| Figura 72. Diagrama de Hovmöller de la temperatura máxima (tmax) media anual para la región Mixteca. ....  | 71 |
| Figura 73. Temperatura mínima media anual (tmin) para la región Mixteca. ....  | 72 |
| Figura 74. Diagrama de Hovmöller de la temperatura mínima media anual (tmin) para la región Mixteca. ....  | 72 |
| Figura 75. Valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para la región Mixteca; .....  | 73 |
| Figura 76. Diagrama de Hovmöller del valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para la región Mixteca. ....                                 | 73 |
| Figura 77. Valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para la región Mixteca; .....  | 74 |
| Figura 78. Diagrama de Hovmöller del valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para la región Mixteca. ....                                 | 74 |
| Figura 79. Número de días de verano (su) para la región Mixteca; .....   | 75 |
| Figura 80. Diagrama de Hovmöller del número de días de verano (su) para la región Mixteca. ....  | 75 |
| Figura 81. Número de días de heladas (fd) para la región Mixteca; .....  | 76 |
| Figura 82. Diagrama de Hovmöller del Número de días de heladas (fd) para la región Mixteca. ....   | 76 |
| Figura 83. Rango de temperatura diario (dtr) para la región Mixteca. ....  | 77 |
| Figura 84. Diagrama de Hovmöller del rango de temperatura diario (dtr) para la región Mixteca. ....  | 77 |
| Figura 85. Precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para la región Sierra Negra; .....  | 78 |
| Figura 86. Diagrama de Hovmöller de la precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para la región Sierra Negra. ....                         | 78 |
| Figura 87. Contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para la región Sierra Negra; .....                            | 79 |
| Figura 88. Diagrama de Hovmöller de la contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para la región Sierra Negra. .... | 79 |
| Figura 89. Duración máxima del período seco (cdd) para la región Sierra Negra; .....   | 80 |
| Figura 90. Diagrama de Hovmöller de la duración máxima del período seco (cdd) para la región Sierra Negra. ....                                      | 80 |
| Figura 91. Índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para la región Sierra Negra; .....  | 81 |
| Figura 92. Diagrama de Hovmöller del índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para la región Sierra Negra. ....                           | 81 |
| Figura 93. Temperatura máxima media anual (tmax) para la región Sierra Negra; .....  | 82 |
| Figura 94. Diagrama de Hovmöller de la temperatura máxima (tmax) media anual para la región Sierra Negra. ....                                       | 82 |
| Figura 95. Temperatura mínima media anual (tmin) para la región Sierra Negra; .....  | 83 |
| Figura 96. Diagrama de Hovmöller de la temperatura mínima media anual (tmin) para la región Sierra Negra. ....                                       | 83 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 97. Valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para la región Sierra Negra;.....  | 84 |
| Figura 98. Diagrama de Hovmöller del valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para la región Sierra Negra. ....                                  | 84 |
| Figura 99. Valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para la región Sierra Negra;.....  | 85 |
| Figura 100. Diagrama de Hovmöller del valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para la región Sierra Negra.....                                  | 85 |
| Figura 101. Número de días de verano (su) para la región Sierra Negra;.....  | 86 |
| Figura 102. Diagrama de Hovmöller del número de días de verano (su) para la región Sierra Negra.....   | 86 |
| Figura 103. Número de días de heladas (fd) para la región Sierra Negra;.....   | 87 |
| Figura 104. Diagrama de Hovmöller del Número de días de heladas (fd) para la región Sierra Negra.....  | 87 |
| Figura 105. Rango de temperatura diario (dtr) para la región Sierra Negra;.....  | 88 |
| Figura 106. Diagrama de Hovmöller del rango de temperatura diario (dtr) para la región Sierra Negra.....   | 88 |
| Figura 107. Precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para la región Sierra Nororiental;.....  | 89 |
| Figura 108. Diagrama de Hovmöller de la precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para la región Sierra Nororiental.....                         | 89 |
| Figura 109. Contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para la región Sierra Nororiental;.....                            | 90 |
| Figura 110. Diagrama de Hovmöller de la contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para la región Sierra Nororiental..... | 90 |
| Figura 111. Duración máxima del período seco (cdd) para la región Sierra Nororiental;.....   | 91 |
| Figura 112. Diagrama de Hovmöller de la duración máxima del período seco (cdd) para la región Sierra Nororiental.....                                      | 91 |
| Figura 113. Índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para la región Sierra Nororiental;.....  | 92 |
| Figura 114. Diagrama de Hovmöller del índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para la región Sierra Nororiental.....                           | 92 |
| Figura 115. Temperatura máxima media anual (tmax) para la región Sierra Nororiental;.....  | 93 |
| Figura 116. Diagrama de Hovmöller de la temperatura máxima (tmax) media anual para la región Sierra Nororiental.....                                       | 93 |
| Figura 117. Temperatura mínima media anual (tmin) para la región Sierra Nororiental;.....  | 94 |
| Figura 118. Diagrama de Hovmöller de la temperatura mínima media anual (tmin) para la región Sierra Nororiental.....                                       | 94 |
| Figura 119. Valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para la región Sierra Nororiental;.....   | 95 |
| Figura 120. Diagrama de Hovmöller del valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para la región Sierra Nororiental.....                            | 95 |
| Figura 121. Valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para la región Sierra Nororiental.....  | 96 |
| Figura 122. Diagrama de Hovmöller del valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para la región Sierra Nororiental.....                            | 96 |
| Figura 123. Número de días de verano (su) para la región Sierra Nororiental;.....  | 97 |
| Figura 124. Diagrama de Hovmöller del número de días de verano (su) para la región Sierra Nororiental.....   | 97 |
| Figura 125. Número de días de heladas (fd) para la región Sierra Nororiental;.....   | 98 |
| Figura 126. Diagrama de Hovmöller del Número de días de heladas (fd) para la región Sierra Nororiental.....  | 98 |
| Figura 127. Rango de temperatura diario (dtr) para la región Sierra Nororiental;.....  | 99 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 128. Diagrama de Hovmöller del rango de temperatura diario (dtr) para la región Sierra Nororiental.....   | 99  |
| Figura 129. Precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para la región Sierra Norte;.....  | 100 |
| Figura 130. Diagrama de Hovmöller de la precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para la región Sierra Norte.....                           | 100 |
| Figura 131. Contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para la región Sierra Norte;.....                              | 101 |
| Figura 132. Diagrama de Hovmöller de la contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para la región Sierra Norte. ....  | 101 |
| Figura 133. Duración máxima del período seco (cdd) para la región Sierra Norte; .....  | 102 |
| Figura 134. Diagrama de Hovmöller de la duración máxima del período seco (cdd) para la región Sierra Norte.....  | 102 |
| Figura 135. Índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para la región Sierra Norte; ....  | 103 |
| Figura 136. Diagrama de Hovmöller del índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para la región Sierra Norte. ....                            | 103 |
| Figura 137. Temperatura máxima media anual (tmax) para la región Sierra Norte;.....  | 104 |
| Figura 138. Diagrama de Hovmöller de la temperatura máxima (tmax) media anual para la región Sierra Norte.....   | 104 |
| Figura 139. Temperatura mínima media anual (tmin) para la región Sierra Norte;.....  | 105 |
| Figura 140. Diagrama de Hovmöller de la temperatura mínima media anual (tmin) para la región Sierra Norte.....   | 105 |
| Figura 141. Valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para la región Sierra Norte.....  | 106 |
| Figura 142. Diagrama de Hovmöller del valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para la región Sierra Norte. ....                             | 106 |
| Figura 143. Valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para la región Sierra Norte;.....   | 107 |
| Figura 144. Diagrama de Hovmöller del valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para la región Sierra Norte. ....                             | 107 |
| Figura 145. Número de días de verano (su) para la región Sierra Norte; .....   | 108 |
| Figura 146. Diagrama de Hovmöller del número de días de verano (su) para la región Sierra Norte.....   | 108 |
| Figura 147. Número de días de heladas (fd) para la región Sierra Norte;.....   | 109 |
| Figura 148. Diagrama de Hovmöller del Número de días de heladas (fd) para la región Sierra Norte.....  | 109 |
| Figura 149. Rango de temperatura diario (dtr) para la región Sierra Norte; .....   | 110 |
| Figura 150. Diagrama de Hovmöller del rango de temperatura diario (dtr) para la región Sierra Norte.....   | 110 |
| Figura 151. Precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para la región Valle Atlixco;.....   | 111 |
| Figura 152. Diagrama de Hovmöller de la precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para la región Valle Atlixco.....                          | 111 |
| Figura 153. Contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para la región Valle Atlixco. ....                             | 112 |
| Figura 154. Diagrama de Hovmöller de la contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para la región Valle Atlixco. .... | 112 |
| Figura 155. Duración máxima del período seco (cdd) para la región Valle Atlixco.....   | 113 |
| Figura 156. Diagrama de Hovmöller de la duración máxima del período seco (cdd) para la región Valle Atlixco. ....                                      | 113 |
| Figura 157. Índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para la región Valle Atlixco.....  | 114 |
| Figura 158. Diagrama de Hovmöller del índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para la región Valle Atlixco.....                            | 114 |
| Figura 159. Temperatura máxima media anual (tmax) para la región Valle Atlixco;.....   | 115 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 160. Diagrama de Hovmöller de la temperatura máxima (tmax) media anual para la región Valle Atlixco. ....                                      | 115 |
| Figura 161. Temperatura mínima media anual (tmin) para la región Valle Atlixco; .....   | 116 |
| Figura 162. Diagrama de Hovmöller de la temperatura mínima media anual (tmin) para la región Valle Atlixco. ....                                      | 116 |
| Figura 163. Valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para la región Valle Atlixco.....  | 117 |
| Figura 164. Diagrama de Hovmöller del valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para la región Valle Atlixco. ....                           | 117 |
| Figura 165. Valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para la región Valle Atlixco.....  | 118 |
| Figura 166. Diagrama de Hovmöller del valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para la región Valle Atlixco.....                            | 118 |
| Figura 167. Número de días de verano (su) para la región Valle Atlixco. ....  | 119 |
| Figura 168. Diagrama de Hovmöller del número de días de verano (su) para la región Valle Atlixco. ....  | 119 |
| Figura 169. Número de días de heladas (fd) para la región Valle Atlixco.....  | 120 |
| Figura 170. Diagrama de Hovmöller del Número de días de heladas (fd) para la región Valle Atlixco. ....   | 120 |
| Figura 171. Rango de temperatura diario (dtr) para la región Valle Atlixco.....   | 121 |
| Figura 172. Diagrama de Hovmöller del rango de temperatura diario (dtr) para la región Valle Atlixco. ....  | 121 |
| Figura 173. Precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para la región Valle Serdán.....  | 122 |
| Figura 174. Diagrama de Hovmöller de la precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para la región Valle Serdán.....                          | 122 |
| Figura 175. Contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para la región Valle Serdán;.....                             | 123 |
| Figura 176. Diagrama de Hovmöller de la contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para la región Valle Serdán. .... | 123 |
| Figura 177. Duración máxima del período seco (cdd) para la región Valle Serdán.....   | 124 |
| Figura 178. Diagrama de Hovmöller de la duración máxima del período seco (cdd) para la región Valle Serdán. ....                                      | 124 |
| Figura 179. Índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para la región Valle Serdán.....  | 125 |
| Figura 180. Diagrama de Hovmöller del índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para la región Valle Serdán. ....                           | 125 |
| Figura 181. Temperatura máxima media anual (tmax) para la región Valle Serdán.....  | 126 |
| Figura 182. Diagrama de Hovmöller de la temperatura máxima (tmax) media anual para la región Valle Serdán. ....                                       | 126 |
| Figura 183. Temperatura mínima media anual (tmin) para la región Valle Serdán. ....   | 127 |
| Figura 184. Diagrama de Hovmöller de la temperatura mínima media anual (tmin) para la región Valle Serdán. ....                                       | 127 |
| Figura 185. Valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para la región Valle Serdán;.....  | 128 |
| Figura 186. Diagrama de Hovmöller del valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para la región Valle Serdán. ....                            | 128 |
| Figura 187. Valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para la región Valle Serdán.....   | 129 |
| Figura 188. Diagrama de Hovmöller del valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para la región Valle Serdán.....                             | 129 |
| Figura 189. Número de días de verano (su) para la región Valle Serdán;.....   | 130 |
| Figura 190. Diagrama de Hovmöller del número de días de verano (su) para la región Valle Serdán.....  | 130 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 191. Número de días de heladas (fd) para la región Valle Serdán;  | 131 |
| Figura 192. Diagrama de Hovmöller del Número de días de heladas (fd) para la región Valle Serdán.....  | 131 |
| Figura 193. Rango de temperatura diario (dtr) para la región Valle Serdán.....   | 132 |
| Figura 194. Diagrama de Hovmöller del rango de temperatura diario (dtr) para la región Valle Serdán.....   | 132 |
| Figura 195. Distribución de los valores del índice prctot por región para el periodo 1980-2020; los puntos rojos indican el valor promedio.....                                    | 133 |
| Figura 196. Distribución de los valores del índice pr95 por región para el periodo 1980-2020; los puntos rojos indican el valor promedio.....                                      | 133 |
| Figura 197. Distribución de los valores del índice cdd por región para el periodo 1980-2020; los puntos rojos indican el valor promedio.....                                       | 133 |
| Figura 198. Distribución de los valores del índice sdii por región para el periodo 1980-2020; los puntos rojos indican el valor promedio.....                                      | 134 |
| Figura 199. Distribución de los valores del índice txx por región para el periodo 1980-2020; los puntos rojos indican el valor promedio.....                                       | 134 |
| Figura 200. Distribución de los valores del índice tnn por región para el periodo 1980-2020; los puntos rojos indican el valor promedio.....                                       | 134 |
| Figura 201. Distribución de los valores del índice su por región para el periodo 1980-2020; los puntos rojos indican el valor promedio.....  | 135 |
| Figura 202. Distribución de los valores del índice fd por región para el periodo 1980-2020; los puntos rojos indican el valor promedio.....  | 135 |
| Figura 203. Distribución de los valores del índice dtr por región para el periodo 1980-2020; los puntos rojos indican el valor promedio.....                                       | 135 |
| Figura 204. Proporción de las tendencias de los índices en el estado y las regiones durante el periodo 1980-2020 .....   | 136 |
| Figura 205. Rangos de valores de cambio de las variables climáticas proyectados para el Estado por horizonte temporal; prec [mm], tmax [°C], tmin [°C]. .....                      | 141 |
| Figura 206. Promedio de precipitación anual acumulada en el Estado para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. ....            | 142 |
| Figura 207. Cambio promedio de la precipitación anual [mm] proyectado para el Estado de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. ....                                     | 142 |
| Figura 208. Cambio promedio de la precipitación mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para el Estado de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. ....                         | 143 |
| Figura 209. Promedio de la temperatura máxima anual en el Estado para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. ....              | 144 |
| Figura 210. Cambio promedio de la temperatura máxima anual [°C] proyectado para el Estado de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. ....                                | 144 |
| Figura 211. Cambio promedio de la temperatura máxima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para el Estado de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                     | 145 |
| Figura 212. Promedio de la temperatura mínima anual en el Estado para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. ....              | 146 |
| Figura 213. Cambio promedio de la temperatura mínima anual [°C] proyectado para el Estado de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. ....                                | 146 |
| Figura 214. Cambio promedio de la temperatura mínima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para el Estado de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                     | 147 |
| Figura 215. Promedio de precipitación anual acumulada en la región Angelópolis para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático..... | 149 |
| Figura 216. Cambio promedio de la precipitación anual [mm] proyectado para la región Angelópolis de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. ....                         | 149 |
| Figura 217. Cambio promedio de la precipitación mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Angelópolis de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. ....             | 150 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 218. Promedio de la temperatura máxima anual en la región Angelópolis para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....    | 150 |
| Figura 219. Cambio promedio de la temperatura máxima anual [°C] proyectado para la región Angelópolis de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                      | 151 |
| Figura 220. Cambio promedio de la temperatura máxima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Angelópolis de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....          | 151 |
| Figura 221. Promedio de la temperatura mínima anual en la región Angelópolis para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....    | 152 |
| Figura 222. Cambio promedio de la temperatura mínima anual [°C] proyectado para la región Angelópolis de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                      | 152 |
| Figura 223. Cambio promedio de la temperatura mínima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Angelópolis de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....          | 153 |
| Figura 224. Promedio de precipitación anual acumulada en la región Mixteca para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....      | 154 |
| Figura 225. Cambio promedio de la precipitación anual [mm] proyectado para la región Mixteca de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                               | 155 |
| Figura 226. Cambio promedio de la precipitación mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Mixteca de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                   | 155 |
| Figura 227. Promedio de la temperatura máxima anual en la región Mixteca para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....        | 156 |
| Figura 228. Cambio promedio de la temperatura máxima anual [°C] proyectado para la región Mixteca de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                          | 156 |
| Figura 229. Cambio promedio de la temperatura máxima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Mixteca de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....              | 157 |
| Figura 230. Promedio de la temperatura mínima anual en la región Mixteca para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....        | 157 |
| Figura 231. Cambio promedio de la temperatura mínima anual [°C] proyectado para la región Mixteca de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                          | 158 |
| Figura 232. Cambio promedio de la temperatura mínima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Mixteca de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....              | 158 |
| Figura 233. Promedio de precipitación anual acumulada en la región Sierra Negra para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático..... | 160 |
| Figura 234. Cambio promedio de la precipitación anual [mm] proyectado para la región Sierra Negra de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                          | 160 |
| Figura 235. Cambio promedio de la precipitación mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Sierra Negra de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....              | 161 |
| Figura 236. Promedio de la temperatura máxima anual en la región Sierra Negra para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....   | 161 |
| Figura 237. Cambio promedio de la temperatura máxima anual [°C] proyectado para la región Sierra Negra de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                     | 162 |
| Figura 238. Cambio promedio de la temperatura máxima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Sierra Negra de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....         | 162 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 239. Promedio de la temperatura mínima anual en la región Sierra Negra para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....         | 163 |
| Figura 240. Cambio promedio de la temperatura mínima anual [°C] proyectado para la región Sierra Negra de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                           | 163 |
| Figura 241. Cambio promedio de la temperatura mínima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Sierra Norte de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....               | 164 |
| Figura 242. Promedio de precipitación anual acumulada en la región Sierra Nororiental para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático..... | 166 |
| Figura 243. Cambio promedio de la precipitación anual [mm] proyectado para la región Sierra Nororiental de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                          | 166 |
| Figura 244. Cambio promedio de la precipitación mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Sierra Nororiental de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....              | 167 |
| Figura 245. Promedio de la temperatura máxima anual en la región Sierra Nororiental para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....   | 167 |
| Figura 246. Cambio promedio de la temperatura máxima anual [°C] proyectado para la región Sierra Nororiental de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                     | 168 |
| Figura 247. Cambio promedio de la temperatura máxima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Sierra Nororiental de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....         | 168 |
| Figura 248. Promedio de la temperatura mínima anual en la región Sierra Nororiental para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....   | 169 |
| Figura 249. Cambio promedio de la temperatura mínima anual [°C] proyectado para la región Sierra Nororiental de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                     | 169 |
| Figura 250. Cambio promedio de la temperatura mínima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Sierra Nororiental de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....         | 170 |
| Figura 251. Promedio de precipitación anual acumulada en la región Sierra Norte para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....       | 172 |
| Figura 252. Cambio promedio de la precipitación anual [mm] proyectado para la región Sierra Norte de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                                | 172 |
| Figura 253. Cambio promedio de la precipitación mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Sierra Norte de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                    | 173 |
| Figura 254. Promedio de la temperatura máxima anual en la región Sierra Norte para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....         | 173 |
| Figura 255. Cambio promedio de la temperatura máxima anual [°C] proyectado para la región Sierra Norte de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                           | 174 |
| Figura 256. Cambio promedio de la temperatura máxima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Sierra Norte de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....               | 174 |
| Figura 257. Promedio de la temperatura mínima anual en la región Sierra Norte para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....         | 175 |
| Figura 258. Cambio promedio de la temperatura mínima anual [°C] proyectado para la región Sierra Norte de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                           | 175 |
| Figura 259. Cambio promedio de la temperatura mínima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Sierra Norte de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....               | 176 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 260. Promedio de precipitación anual acumulada en la región Valle Atlixco para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                      | 178 |
| Figura 261. Cambio promedio de la precipitación anual [mm] proyectado para la región Valle Atlixco de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. ....  | 178 |
| Figura 262. Cambio promedio de la precipitación mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Valle Atlixco de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. ....                                  | 179 |
| Figura 263. Promedio de la temperatura máxima anual en la región Valle Atlixco para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                        | 179 |
| Figura 264. Cambio promedio de la temperatura máxima anual [°C] proyectado para la región Valle Atlixco de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. ....   | 180 |
| Figura 265. Cambio promedio de la temperatura máxima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Valle Atlixco de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                              | 180 |
| Figura 266. Promedio de la temperatura mínima anual en la región Valle Atlixco para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                        | 181 |
| Figura 267. Cambio promedio de la temperatura mínima anual [°C] proyectado para la región Valle Atlixco de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. ....   | 181 |
| Figura 268. Cambio promedio de la temperatura mínima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Valle Atlixco de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                              | 182 |
| Figura 269. Promedio de precipitación anual acumulada en la región Valle Serdán para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                       | 184 |
| Figura 270. Cambio promedio de la precipitación anual [mm] proyectado para la región Valle Serdán de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....  | 184 |
| Figura 271. Cambio promedio de la precipitación mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Valle Serdán de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                                    | 185 |
| Figura 272. Promedio de la temperatura máxima anual en la región Valle Serdán para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                         | 185 |
| Figura 273. Cambio promedio de la temperatura máxima anual [°C] proyectado para la región Valle Serdán de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....   | 186 |
| Figura 274. Cambio promedio de la temperatura máxima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Valle Serdán de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                               | 186 |
| Figura 275. Promedio de la temperatura mínima anual en la región Valle Serdán para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                         | 187 |
| Figura 276. Cambio promedio de la temperatura mínima anual [°C] proyectado para la región Valle Serdán de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....   | 187 |
| Figura 277. Cambio promedio de la temperatura mínima mensual [ $\Delta$ mm] proyectado para la región Valle Serdán de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....                               | 188 |
| Figura 278. proyecciones de cambio climático seleccionadas para evaluar la vulnerabilidad. ....   | 190 |
| Figura. 279 Mapa de cambio proyectado en la temperatura máxima (Dtmax) y precipitación (Dprec) en relación al periodo de referencia , de acuerdo con la proyección HadGEM3-GC31-LL_ssp585_2041-2060. .... | 215 |
| Figura. 280 Superficie del estado con pérdida de idoneidad climática proyectada diferente número de especies.....   | 217 |

## TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1. Número de estaciones climatológicas localizadas dentro de una zona de amortiguamiento de 20 km alrededor del estado de Puebla. ....   | 19  |
| Tabla 2. Número de estaciones climatológicas por región y tipo de clima; OE: otras entidades. ....   | 19  |
| Tabla 3. Tipos de clima representados por las estaciones. ....   | 20  |
| Tabla 4. Estaciones climatológicas seleccionadas. ....   | 26  |
| Tabla 5. Valores de diagnóstico de las estaciones climatológicas con periodo temporal 1950-2020; NA (%): porcentaje de datos faltantes. ....   | 27  |
| Tabla 6. Descripción de los índices climáticos extremos del ETCCDI. ....   | 36  |
| Tabla 7. Elementos que conforman las proyecciones de cambio climático consideradas. ....   | 139 |
| Tabla 8. Valores de cambio extremos de las variables climáticas proyectados para el Estado; prec [mm], tmax [°C], tmin [°C]. ....  | 140 |
| Tabla 9. Valores de cambio extremos de las variables climáticas proyectados para la región Angelópolis; prec [mm], tmax [°C], tmin [°C]. ....  | 148 |
| Tabla 10. Valores de cambio extremos de las variables climáticas proyectados para la región Mixteca; prec [mm], tmax [°C], tmin [°C]. ....   | 153 |
| Tabla 11. Valores de cambio extremos de las variables climáticas proyectados para la región Sierra Negra; prec [mm], tmax [°C], tmin [°C]. ....  | 159 |
| Tabla 12. Valores de cambio extremos de las variables climáticas proyectados para la región Sierra Nororiental; prec [mm], tmax [°C], tmin [°C]. ....  | 165 |
| Tabla 13. Valores de cambio extremos de las variables climáticas proyectados para la región Sierra Norte; prec [mm], tmax [°C], tmin [°C]. ....  | 171 |
| Tabla 14. Valores de cambio extremos de las variables climáticas proyectados para la región Valle Atlixco; prec [mm], tmax [°C], tmin [°C]. ....   | 177 |
| Tabla 15. Valores de cambio extremos de las variables climáticas proyectados para la región Valle Serdán; prec [mm], tmax [°C], tmin [°C]. ....  | 183 |
| Tabla 16. Narrativas de las SSP de las proyecciones seleccionadas para la evaluación de la vulnerabilidad. ....  | 189 |
| Tabla 17. Porcentaje de la superficie de las comunidades vegetales representativas del sector con pérdida de idoneidad climática proyectada. ....  | 216 |
| Tabla 18. Porcentajes máximos y mínimos de aumento de la superficie estatal con idoneidad climática de vectores de la tripanosomiasis americana en el Estado, de acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático. .... | 218 |

# ANÁLISIS HISTÓRICO DEL CLIMA

---

## 1. ANÁLISIS HISTÓRICO DEL CLIMA

El régimen climático del planeta es un proceso dinámico que ha evolucionado a lo largo de millones de años, influenciado por su propia dinámica interna, así como por diferentes factores externos, llamados forzamientos (Srivastav, 2019). La temperatura promedio de la tierra ha presentado una tendencia al aumento desde la década de los 1950 (IPCC, 2013) y seguirá aumentando hasta al menos mediados de siglo XXI en todos los escenarios de emisiones considerados (IPCC, 2022). La variabilidad climática y el cambio climático tienen impactos en todos los sectores y actividades humanas; la capacidad adaptativa de la sociedad determina si estos impactos derivarán en una alta vulnerabilidad (Yaro y Hesselberg, 2016).

El estado de Puebla presenta una diversidad de climas influenciada en gran medida por los rasgos de su relieve (CONABIO, 2011). En las secciones siguientes se presenta un análisis de las características y estadísticas climáticas en el Estado, así como los cambios proyectados a futuro de acuerdo con diferentes proyecciones de cambio climático.

## 2. DIAGNÓSTICO HISTÓRICO E IDENTIFICACIÓN DE TENDENCIAS

### VIENTO

Para caracterizar el movimiento de las masas de aire en el Estado, se obtuvieron datos de velocidad y dirección del viento del Sistema Global de Predicción (GFS por sus siglas en inglés) de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) y los Centros Nacionales para la Predicción Ambiental (NCEP por sus siglas en inglés), registrados cada 5 horas a 10 m de altura, durante el periodo 2015-2020, con una resolución espacial de 0.5 grados, aproximadamente 50 km. En las figuras 1 y 2 se muestran los valores promedio de dirección y velocidad obtenidos, así como rosas de viento estacionales.

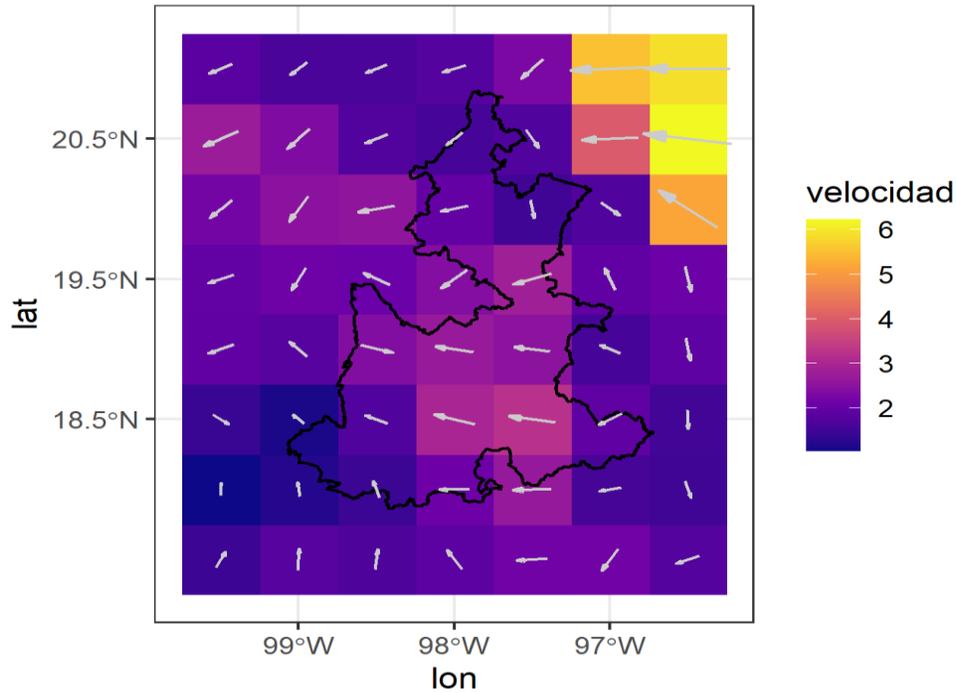


FIGURA 1. PROMEDIO DE LA DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO [ $\text{m s}^{-1}$ ] EN EL ESTADO DURANTE EL PERIODO 2015-2020.

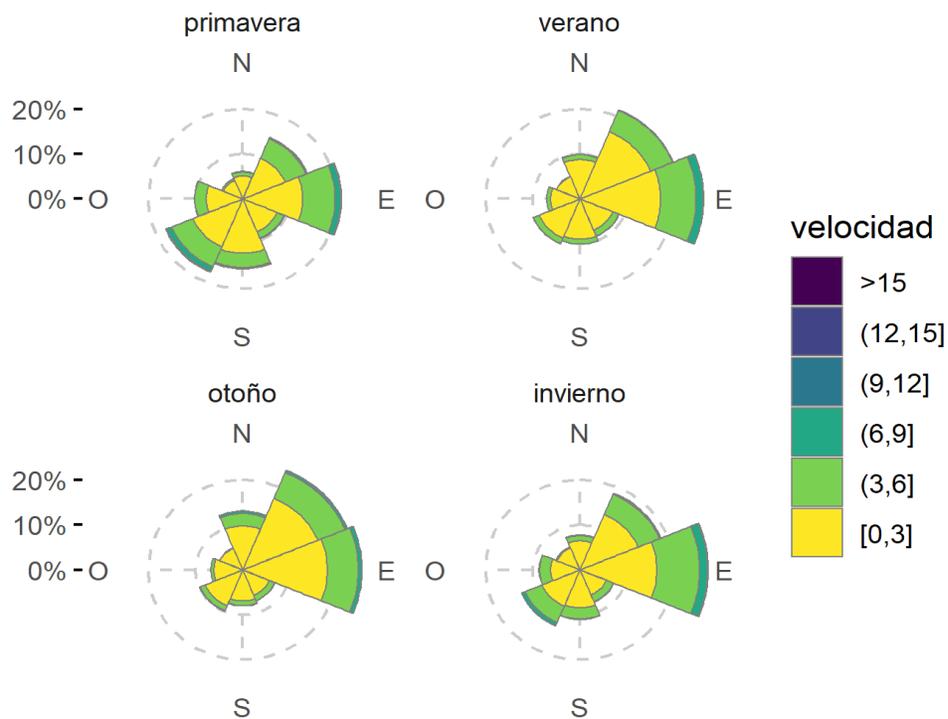


FIGURA 2. ROSA DE VIENTOS PARA EL ESTADO POR ESTACIÓN DURANTE EL PERIODO 2015-2020; LA VELOCIDAD SE PRESENTA EN  $\text{m s}^{-1}$ .

En general, los vientos dominantes durante el año provienen del este y noreste con velocidades de entre 0 y 3 m s<sup>-1</sup>, aunque se alcanzan velocidades de más de 15 m s<sup>-1</sup>. Durante la primavera, la mayoría de los vientos tienen dirección este, suroeste y sur, donde la mayor frecuencia de velocidades está entre 0 y 3 m s<sup>-1</sup>. En el verano, las direcciones este, noreste y suroeste predominan, mientras que en el otoño la frecuencia de direcciones este y noreste se mantiene, pero incrementan los vientos del norte. Durante el invierno, las direcciones este, noreste y suroeste son las que predominan en el Estado.

## DIAGNÓSTICO DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

Para caracterizar la temperatura y precipitación del estado se obtuvieron datos de las variables precipitación (prec), temperatura máxima (tmax), temperatura mínima (tmin) y temperatura promedio (tprom) de las estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) localizadas en el territorio estatal y dentro de una zona de amortiguamiento de 20 km alrededor de los límites del estado de Puebla. De las 326 estaciones dentro de esta zona, 144 se localizan en el territorio estatal y 182 en las entidades colindantes (Tabla 1), en 215 municipios en los que se presentan 12 tipos de clima (Tablas 2 y 3).

TABLA 1. NÚMERO DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS LOCALIZADAS DENTRO DE UNA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO DE 20 KM ALREDEDOR DEL ESTADO DE PUEBLA.

| ESTADO                          | NO. DE ESTACIONES |
|---------------------------------|-------------------|
| Guerrero                        | 9                 |
| Hidalgo                         | 20                |
| México                          | 12                |
| Morelos                         | 20                |
| Oaxaca                          | 27                |
| Puebla                          | 144               |
| Tlaxcala                        | 41                |
| Veracruz de Ignacio de la Llave | 53                |

TABLA 2. NÚMERO DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS POR REGIÓN Y TIPO DE CLIMA<sup>1</sup>; OE: OTRAS ENTIDADES.

| Tipo de clima     | Angelópolis | Mixteca | Sierra negra | Sierra nororiental | Sierra norte | Valle Atlixco | Valle Serdán | OE |
|-------------------|-------------|---------|--------------|--------------------|--------------|---------------|--------------|----|
| Cálido húmedo     | 0           | 0       | 1            | 3                  | 5            | 0             | 0            | 13 |
| Cálido subhúmedo  | 0           | 13      | 0            | 0                  | 0            | 4             | 0            | 25 |
| Seco muy cálido   | 0           | 0       | 6            | 0                  | 0            | 0             | 0            | 0  |
| Seco semicálido   | 0           | 0       | 2            | 0                  | 0            | 0             | 0            | 0  |
| Semicálido húmedo | 0           | 0       | 1            | 10                 | 3            | 0             | 1            | 18 |

<sup>1</sup> De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificado por E. García, con aportaciones del INEGI.

| Tipo de clima        | Angelópolis | Mixteca | Sierra negra | Sierra nororiental | Sierra norte | Valle Atlixco | Valle Serdán | OE |
|----------------------|-------------|---------|--------------|--------------------|--------------|---------------|--------------|----|
| Semicálido subhúmedo | 0           | 4       | 0            | 0                  | 0            | 2             | 0            | 18 |
| Semifrío subhúmedo   | 2           | 0       | 0            | 0                  | 0            | 0             | 1            | 5  |
| Semiseco muy cálido  | 0           | 4       | 0            | 0                  | 0            | 0             | 0            | 4  |
| Semiseco semicálido  | 0           | 0       | 3            | 0                  | 0            | 0             | 0            | 1  |
| Semiseco templado    | 0           | 0       | 5            | 0                  | 0            | 0             | 14           | 9  |
| Templado húmedo      | 0           | 0       | 1            | 8                  | 4            | 0             | 2            | 16 |
| Templado subhúmedo   | 13          | 3       | 2            | 3                  | 10           | 5             | 9            | 73 |

Fuente: Elaboración propia con datos del SMN.

TABLA 3. TIPOS DE CLIMA REPRESENTADOS POR LAS ESTACIONES.

| TIPO DE CLIMA        | DESCRIPCIÓN  |
|----------------------|--|
| Cálido húmedo        | Clima con temperatura media anual mayor de 22° C y cuyo régimen de lluvias corresponde a todo el año o abundantes lluvias en verano.   |
| Cálido subhúmedo     | Clima con temperatura media anual mayor de 22° C y cuyo régimen de lluvias es de verano y presentan sequía en invierno.  |
| Seco muy cálido      | Climas secos, cuya característica principal es que la evaporación excede a la precipitación y la temperatura media anual es mayor a 22°C y la del mes más frío mayor a 18°C.   |
| Seco semicálido      | Climas secos, cuya característica principal es que la evaporación excede a la precipitación y la temperatura media anual manual oscila entre 18 y 22°C.  |
| Semicálido húmedo    | Clima con temperatura media anual entre 18°C y 22°C y cuyo régimen de lluvias corresponde a todo el año o abundantes lluvias en verano.  |
| Semicálido subhúmedo | Clima con temperatura media anual entre 18 y 22°C y cuyo régimen de lluvias es de verano y presentan sequía en invierno.   |
| Semifrío subhúmedo   | Clima con temperatura media anual entre 5°C y 12°C y cuyo régimen de lluvias es de verano y presentan sequía en invierno.  |
| Semiseco muy cálido  | Clima con temperatura media anual mayor a 22 °C y del mes más frío menor 18 °C y cuyo cociente de precipitación es mayor de 22.9.  |
| Semiseco semicálido  | Son climas en los cuales el cociente de precipitación es mayor de 22.9, éste se obtiene considerando el grado de humedad que se obtiene del cociente de la precipitación entre la temperatura (P/T) y cuya temperatura media anual oscila entre 18°C y 22°C. |
| Semiseco templado    | Son climas en los cuales el cociente de precipitación es mayor de 22.9, éste se obtiene considerando el grado de humedad que se obtiene del cociente de la precipitación entre la temperatura (P/T) y cuya temperatura media anual oscila entre 12°C y 18°C. |
| Templado húmedo      | Clima con temperatura media anual entre 12°C y 18°C y cuyo régimen de lluvias corresponde a todo el año o abundantes lluvias en verano.  |
| Templado subhúmedo   | Clima con temperatura media anual entre 12°C y 18°C y cuyo régimen de lluvias es de verano y presentan sequía en invierno.   |

Fuente: Elaboración propia.

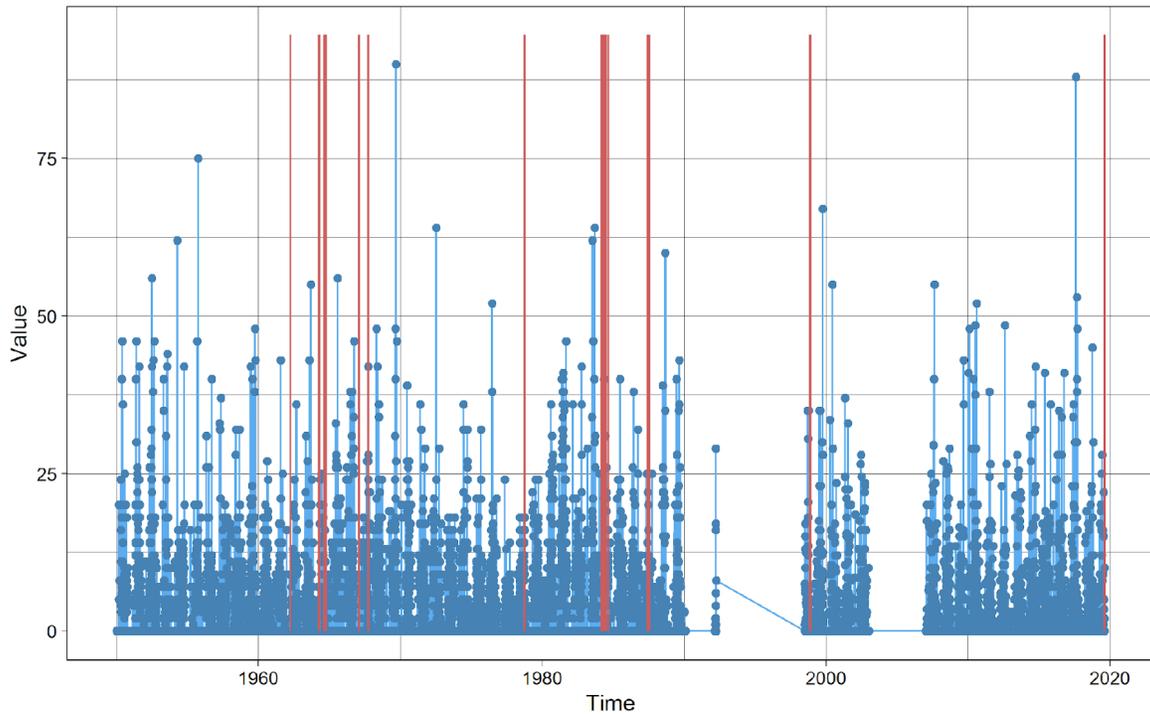
## SUFICIENCIA DE DATOS

Prácticamente todos los datos provenientes de estaciones climatológicas presentan vacíos, datos anómalos o sesgos sistemáticos, producto de reubicaciones o cambio en los instrumentos, reglas y métodos de observación (Yan *et al.* 2014), fallo en instrumentos, falta de mantenimiento, o problemas en las unidades centrales de procesamiento de las estaciones automáticas (WMO, 2021).

Se realizó un diagnóstico de la suficiencia de datos de las 326 estaciones climatológicas. Para cada estación se extrajeron las fechas de inicio y fin de operación y se calcularon: a) el periodo temporal que abarca la serie climática, b) los años con datos, c) los vacíos en las series, i.e. años no registrados y d) el porcentaje de datos faltantes para las variables *prec*, *tmax* y *tmin*. En las figuras 3 a 5 se presenta un ejemplo del resumen gráfico del diagnóstico para la estación 21026 Ciudad Serdán. Ésta se localiza en Chalchicomula de Sesma, en la cuenca del río Atoyac, a una altitud de 2561 m.s.n.m.m.

Los vacíos en las series de las 326 estaciones son considerables; el valor promedio calculado es de 4.33 años, alcanzando valores máximos de hasta 35 años (Figura 6). El promedio de datos faltantes para la variable *prec* es de 0.4%, con un valor máximo de 7.2%. Para las variables *tmax* y *tmin*, los valores son prácticamente iguales (6.8 y 6.7 respectivamente) y considerablemente mayores que los de *prec*. En este caso, ambas variables alcanzan porcentajes máximos de datos faltantes de 75.5% (Figura 7).

**A** Distribution of Missing Values  
Time Series with highlighted missing regions



**B** Missing Values per Interval  
Amount of NA and non-NA for successive intervals

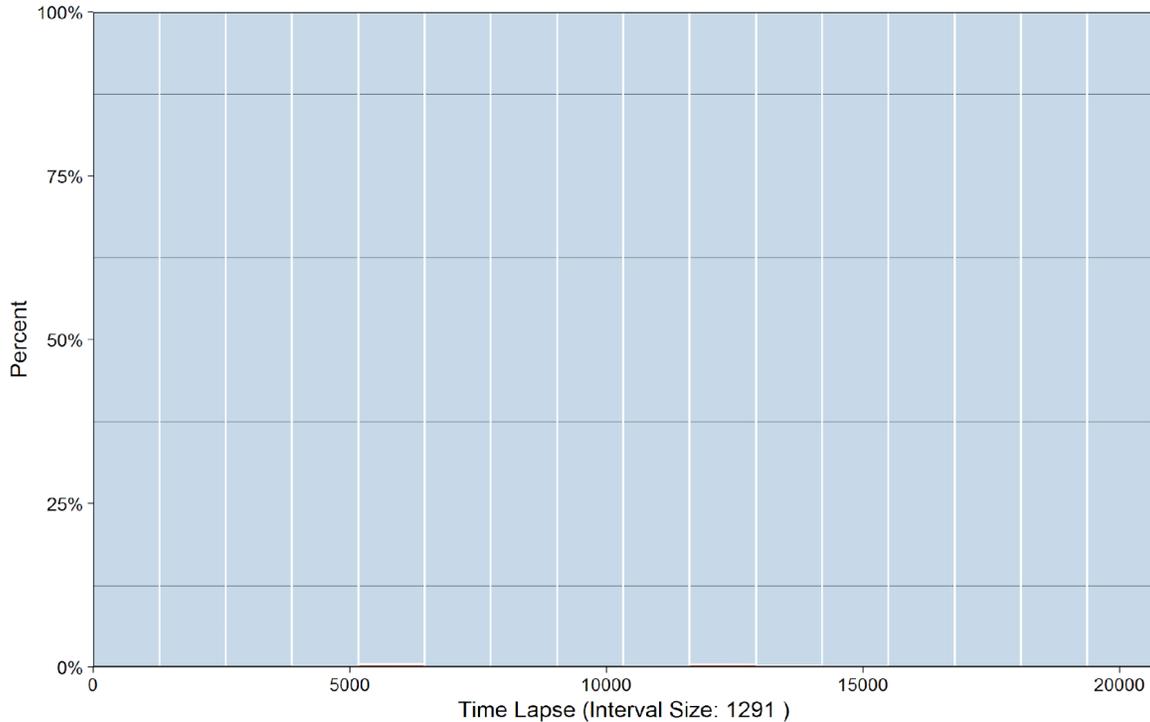
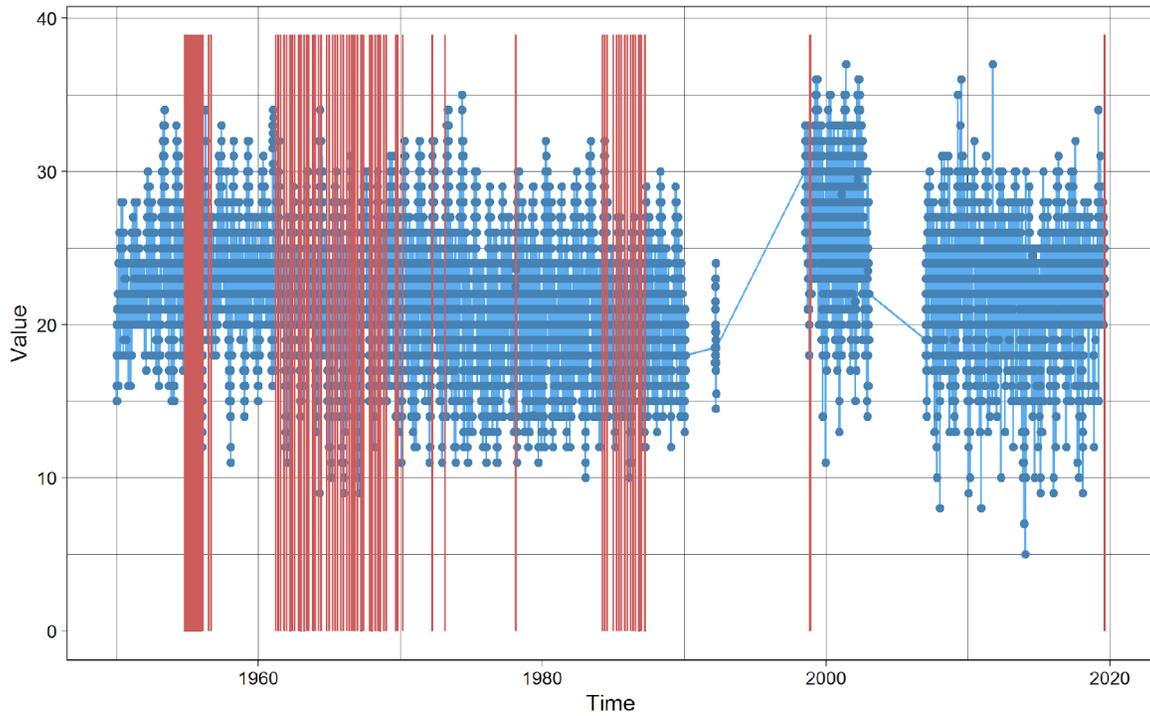


FIGURA 3. DIAGNÓSTICO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN PARA LA ESTACIÓN 21026; LAS LÍNEAS ROJAS INDICAN VALORES FALTANTES, LAS ZONAS EN BLANCO INDICAN VACÍOS EN LAS SERIES.

**A** Distribution of Missing Values  
Time Series with highlighted missing regions



**B** Missing Values per Interval  
Amount of NA and non-NA for successive intervals

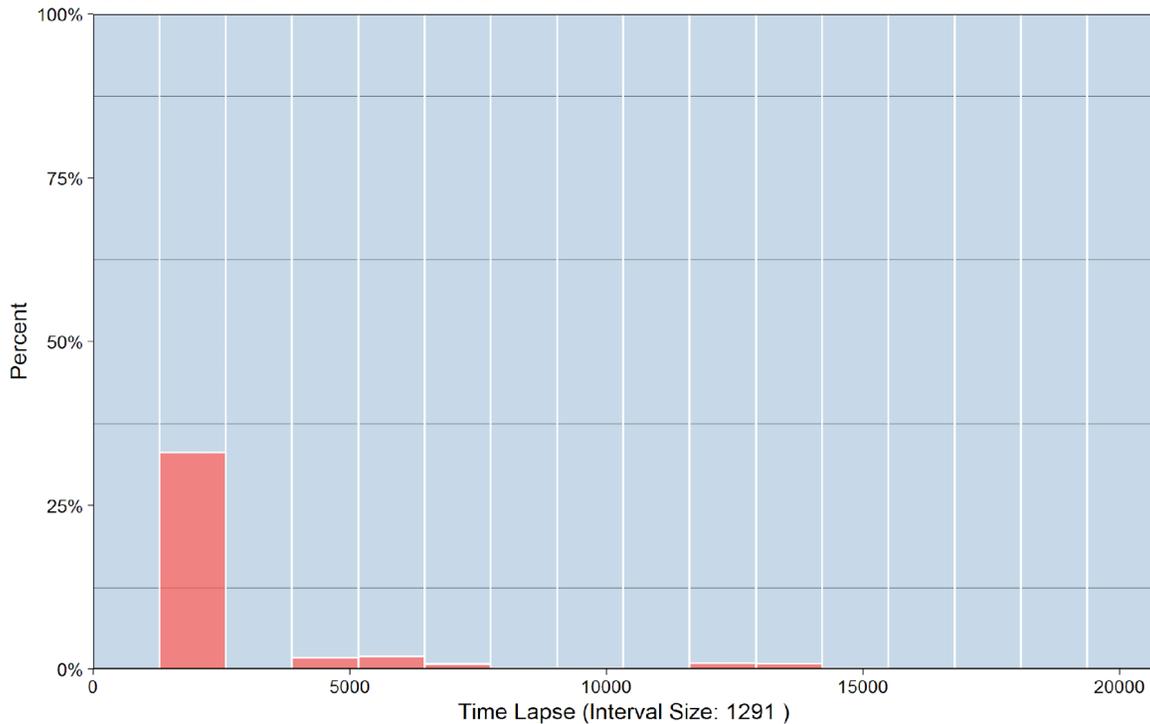
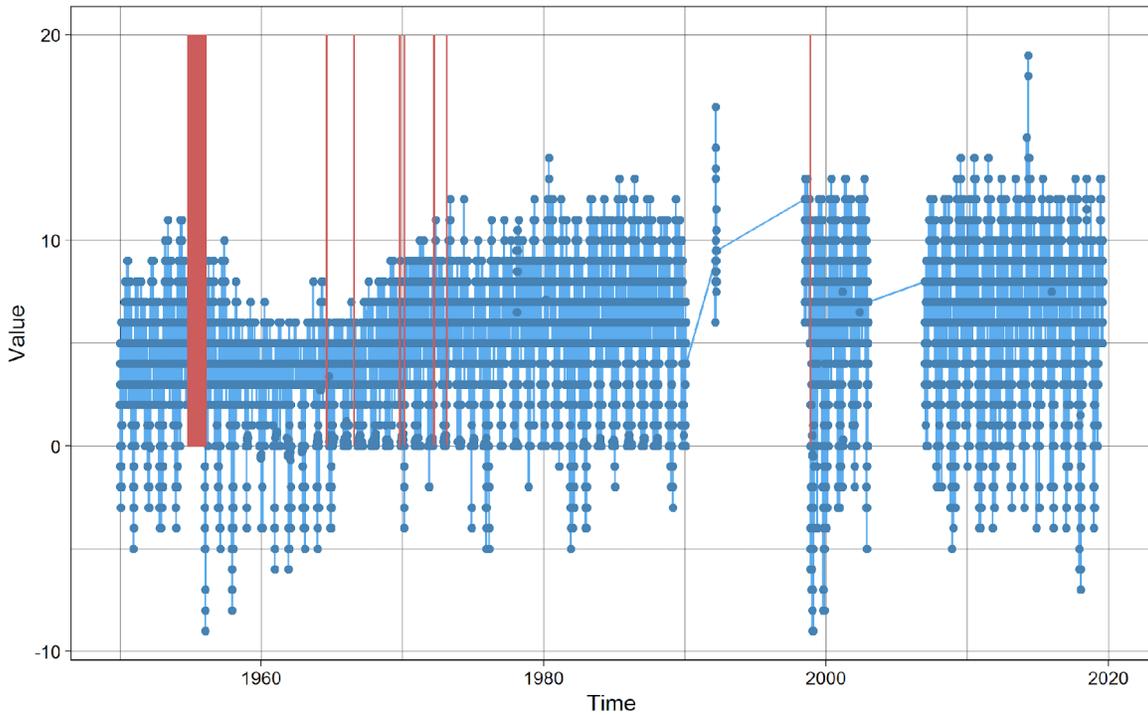


FIGURA 4. DIAGNÓSTICO DE DATOS DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN 21026; LAS LÍNEAS ROJAS INDICAN VALORES FALTANTES, LAS ZONAS EN BLANCO INDICAN VACÍOS EN LAS SERIES.

**A** Distribution of Missing Values

Time Series with highlighted missing regions



**B** Missing Values per Interval

Amount of **NA** and **non-NA** for successive intervals

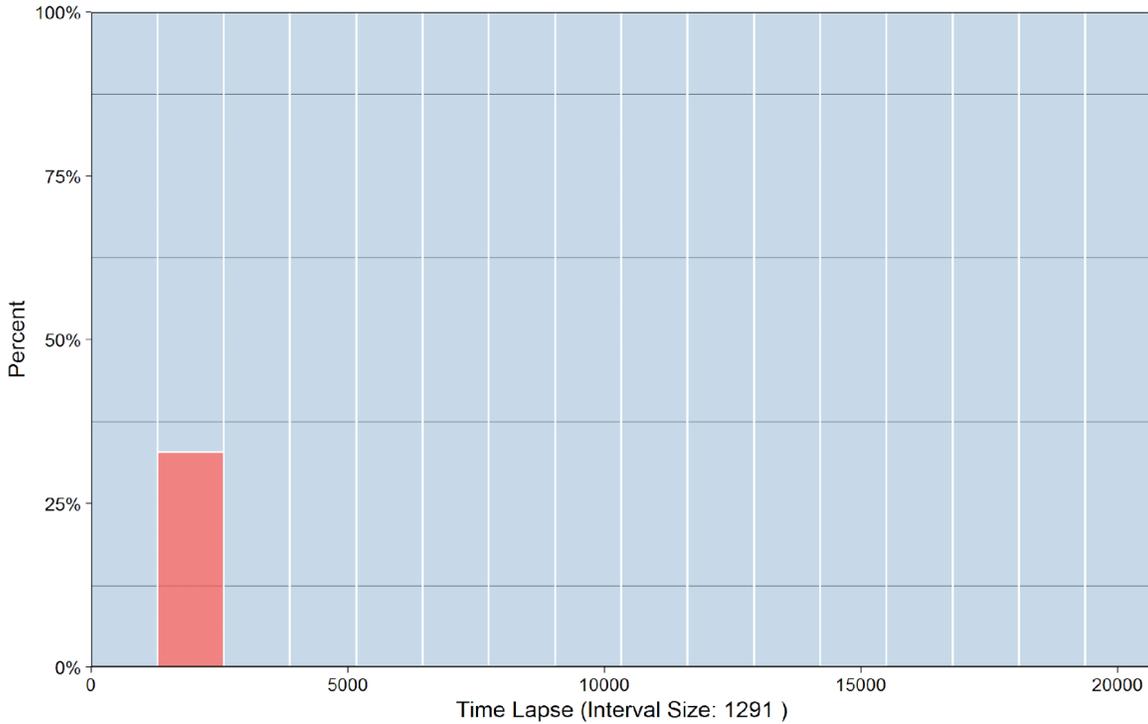


FIGURA 5. DIAGNÓSTICO DE DATOS DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA LA ESTACIÓN 21026; LAS LÍNEAS ROJAS INDICAN DATOS FALTANTES, LAS ZONAS EN BLANCO INDICAN VACÍOS EN LAS SERIES.

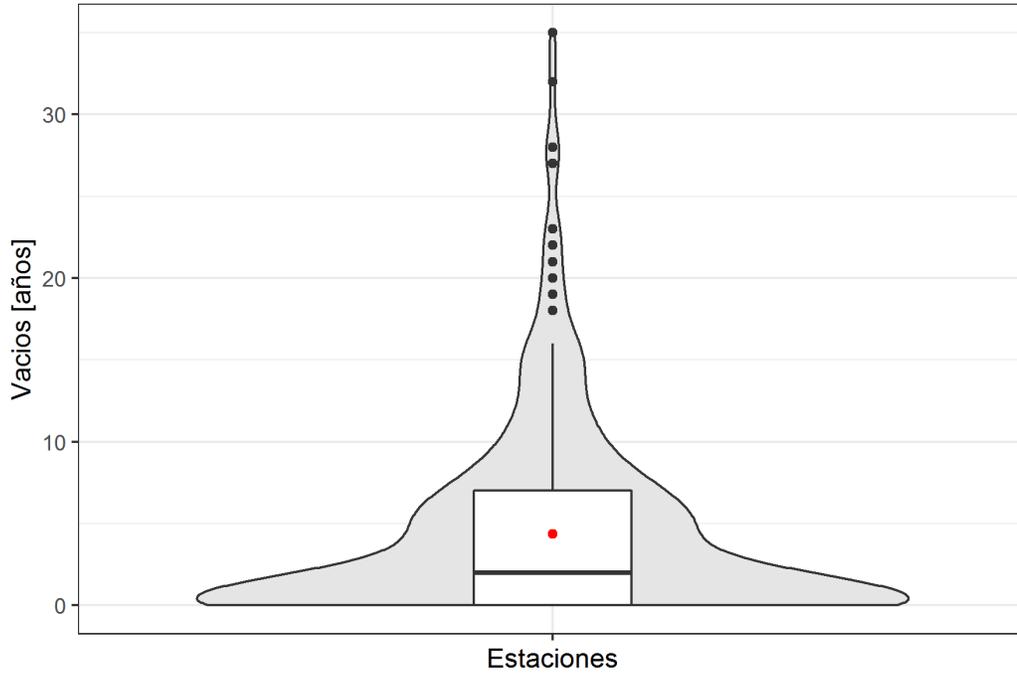


FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE VACÍOS EN LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS.

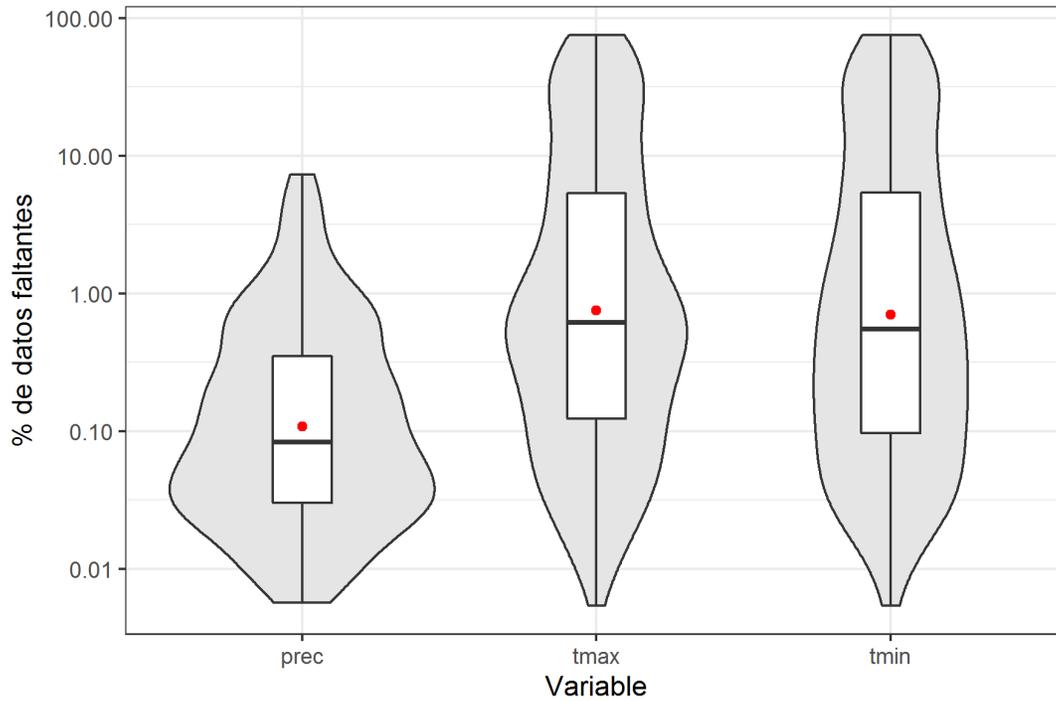


FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE DATOS FALTANTES EN LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS.

## SELECCIÓN DE ESTACIONES

Para realizar una caracterización climática del estado e identificar tendencias en las variables consideradas, se seleccionaron de las 326 estaciones iniciales aquellas que cumplieran con los siguientes criterios: a) localizadas en el estado de Puebla, b) con datos diarios dentro del periodo temporal comprendido entre 1951 y 2019, c) sin años vacíos dentro del periodo de operación, y d) con porcentaje de datos faltantes  $\leq 1.7\%$  en cada variable (valor del tercer cuartil de la distribución de datos faltantes de las estaciones durante el periodo 1950-2019). 31 estaciones cumplieron con estos criterios (Tabla 4, Mapa M158).

TABLA 4. ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS SELECCIONADAS.

| ID    | NOMBRE                       | REGIÓN             | ELEVACIÓN | LON      | LAT     |
|-------|------------------------------|--------------------|-----------|----------|---------|
| 21086 | Tepeaca                      | Angelópolis        | 2241      | -97.8969 | 18.9811 |
| 21163 | El Batán                     | Angelópolis        | 2099      | -98.1778 | 18.9797 |
| 21015 | Axutla                       | Mixteca            | 911       | -98.3881 | 18.1706 |
| 21016 | Balcón diablo                | Mixteca            | 2104      | -98.1322 | 18.8975 |
| 21063 | Pixtla                       | Mixteca            | 1112      | -98.2603 | 18.1997 |
| 21166 | Anonas                       | Mixteca            | 965       | -98.3161 | 18.0200 |
| 21175 | Santa Ana Tepejillo          | Mixteca            | 1443      | -97.8486 | 18.0547 |
| 21216 | Tepoxtitlán                  | Mixteca            | 1943      | -97.6786 | 18.3872 |
| 21013 | Axusco                       | Sierra Negra       | 936       | -97.2003 | 18.2336 |
| 21070 | San Antonio Cañada           | Sierra Negra       | 1837      | -97.2972 | 18.5139 |
| 21075 | San Lorenzo                  | Sierra Negra       | 1692      | -97.4447 | 18.4947 |
| 21084 | Telpatlán                    | Sierra Negra       | 2199      | -97.1447 | 18.5281 |
| 21092 | Tilapa                       | Sierra Negra       | 881       | -97.1072 | 18.1572 |
| 21093 | Tlacotepec de Benito Juárez  | Sierra Negra       | 1932      | -97.6700 | 18.6867 |
| 21110 | Zapotitlán Salinas           | Sierra Negra       | 1869      | -97.4828 | 18.3494 |
| 21043 | Huahuaxtla                   | Sierra Nororiental | 1494      | -97.6072 | 19.9156 |
| 21057 | Mapilco                      | Sierra Nororiental | 1097      | -97.6167 | 19.9833 |
| 21068 | Rancho Apulco                | Sierra Nororiental | 1359      | -97.6081 | 19.9197 |
| 21098 | Tlatlauquitepec              | Sierra Nororiental | 1649      | -97.4639 | 19.9194 |
| 21162 | Campo Experimental Teziutlán | Sierra Nororiental | 1962      | -97.3706 | 19.8122 |
| 21174 | Tepecapan                    | Sierra Nororiental | 1047      | -97.6492 | 19.9708 |
| 21208 | Gómez Poniente               | Sierra Nororiental | 993       | -97.4892 | 19.9381 |
| 13085 | Presa Tezoyo                 | Sierra Norte       | 2602      | -98.3083 | 19.8542 |
| 21008 | Aquixtla                     | Sierra Norte       | 2179      | -97.9356 | 19.7956 |
| 21047 | Ixtacamaxtitlan              | Sierra Norte       | 2097      | -97.8142 | 19.6228 |
| 21066 | Pueblo Nuevo                 | Sierra Norte       | 2686      | -98.1111 | 19.9556 |
| 21049 | Izúcar de Matamoros          | Valle Atlixco      | 1321      | -98.4672 | 18.6231 |
| 21020 | Morelos Cañada               | Valle Serdán       | 2360      | -97.4269 | 18.7603 |
| 21027 | Ciudad Serdán                | Valle Serdán       | 2562      | -97.4578 | 18.9444 |
| 21039 | Guadalupe Potreros           | Valle Serdán       | 2755      | -97.3242 | 18.8742 |
| 21060 | Palmar de Bravo              | Valle Serdán       | 2191      | -97.5472 | 18.8369 |

Fuente: Elaboración propia.

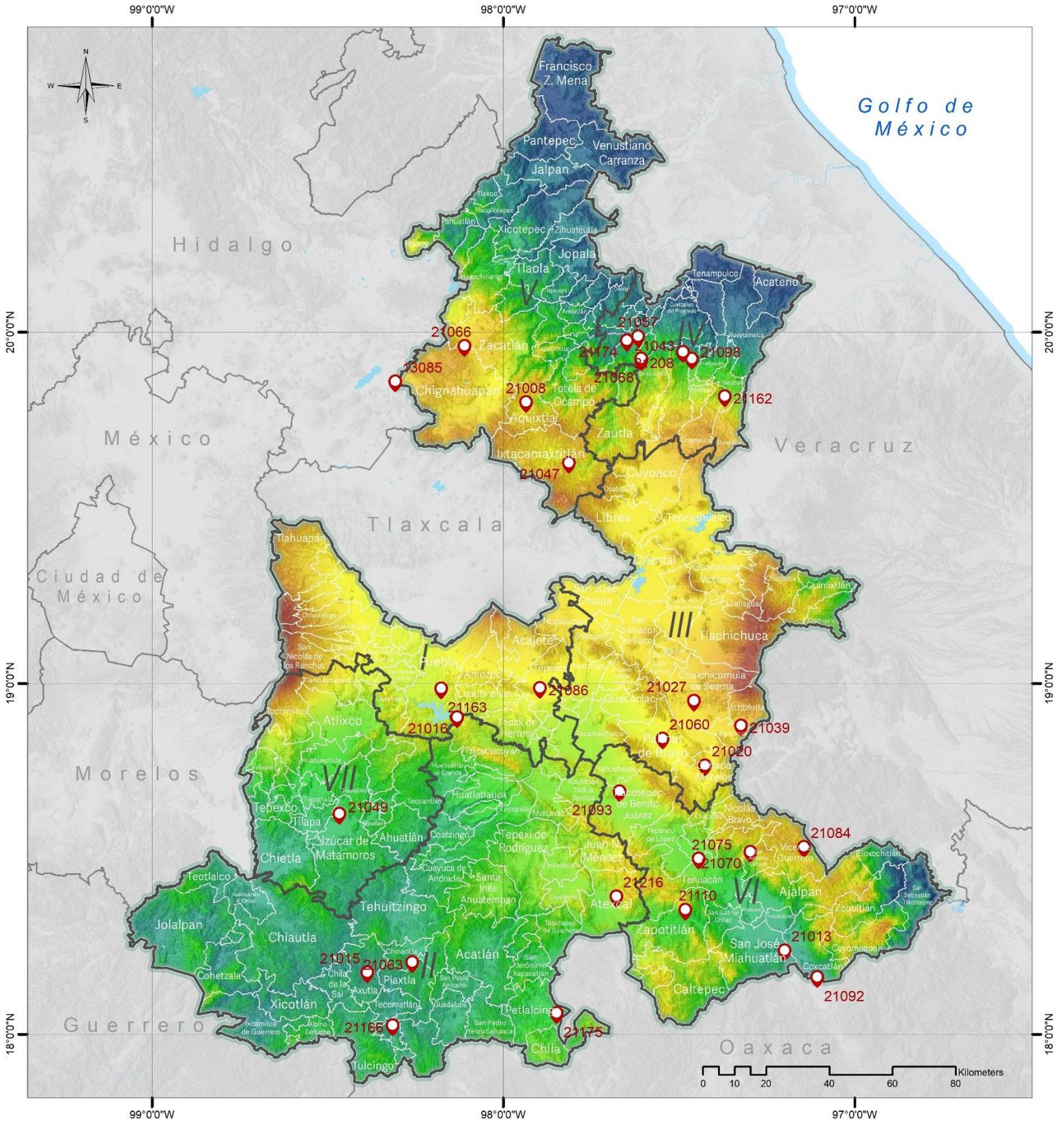
TABLA 5. VALORES DE DIAGNÓSTICO DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS CON PERIODO TEMPORAL 1950-2020; NA (%): PORCENTAJE DE DATOS FALTANTES.

| ID    | AÑOS CON DATOS | AÑO INICIAL | AÑO FINAL | PREC NA (%) | TMAX NA (%) | TMIN NA (%) |
|-------|----------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| 13085 | 63             | 1953        | 2015      | 0.08        | 0.56        | 0.11        |
| 21008 | 49             | 1961        | 2009      | 0.00        | 0.04        | 0.05        |
| 21013 | 25             | 1958        | 1982      | 0.05        | 0.01        | 0.02        |
| 21015 | 46             | 1955        | 2000      | 0.16        | 0.63        | 0.12        |
| 21016 | 70             | 1950        | 2019      | 0.05        | 0.12        | 0.11        |
| 21020 | 16             | 1969        | 1984      | 0.00        | 0.04        | 0.04        |
| 21027 | 20             | 1969        | 1988      | 0.03        | 0.01        | 0.00        |
| 21039 | 16             | 1969        | 1984      | 0.00        | 0.04        | 0.04        |
| 21043 | 56             | 1954        | 2009      | 0.06        | 0.80        | 0.23        |
| 21047 | 66             | 1954        | 2019      | 0.05        | 0.35        | 0.13        |
| 21049 | 45             | 1955        | 1999      | 0.07        | 0.36        | 0.25        |
| 21057 | 19             | 1961        | 1979      | 0.00        | 0.81        | 0.94        |
| 21060 | 50             | 1969        | 2018      | 0.12        | 0.32        | 1.69        |
| 21063 | 70             | 1950        | 2019      | 0.21        | 0.10        | 0.15        |
| 21066 | 37             | 1961        | 1997      | 0.08        | 0.05        | 0.04        |
| 21068 | 22             | 1957        | 1978      | 0.03        | 0.09        | 0.32        |
| 21070 | 26             | 1955        | 1980      | 0.03        | 0.58        | 0.31        |
| 21075 | 19             | 1967        | 1985      | 0.63        | 0.18        | 0.16        |
| 21084 | 64             | 1955        | 2019      | 0.08        | 0.05        | 0.12        |
| 21086 | 37             | 1950        | 1986      | 0.01        | 0.01        | 0.03        |
| 21092 | 16             | 1964        | 1980      | 0.04        | 0.06        | 0.04        |
| 21093 | 45             | 1950        | 1994      | 0.01        | 0.48        | 0.01        |
| 21098 | 38             | 1953        | 1990      | 0.02        | 0.14        | 0.14        |
| 21110 | 13             | 1972        | 1984      | 0.00        | 0.00        | 0.00        |
| 21162 | 13             | 1978        | 1990      | 0.02        | 0.45        | 0.45        |
| 21163 | 23             | 1978        | 2000      | 0.71        | 0.46        | 0.42        |
| 21166 | 15             | 1980        | 1994      | 0.00        | 0.00        | 0.00        |
| 21174 | 18             | 1979        | 1997      | 0.00        | 0.24        | 0.19        |
| 21175 | 16             | 1980        | 1995      | 0.06        | 1.32        | 0.69        |
| 21208 | 15             | 1983        | 1997      | 0.10        | 0.04        | 0.04        |
| 21216 | 10             | 1983        | 1992      | 0.12        | 0.09        | 0.00        |

Nota: PRE NA, precipitación datos faltantes; TMA NA, temperatura máxima datos faltantes; TMIN NA, temperatura mínima datos faltantes.

Fuente: elaboración propia.

Dados los periodos temporales y porcentaje de datos faltantes de las estaciones seleccionadas, se usó como insumo para el cálculo de la tendencia de las variables climáticas del Estado, el Conjunto de datos SC-Earth (Tang et al., 2021).



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Altitud**  
msnm
- Max: 5417
- Min: 55
- Estaciones Seleccionadas
- Regiones Puebla**
- I, Angélpolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M158. Estaciones seleccionadas**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008

## ANÁLISIS DE TENDENCIAS CON DATOS PUNTUALES

### SC-Earth

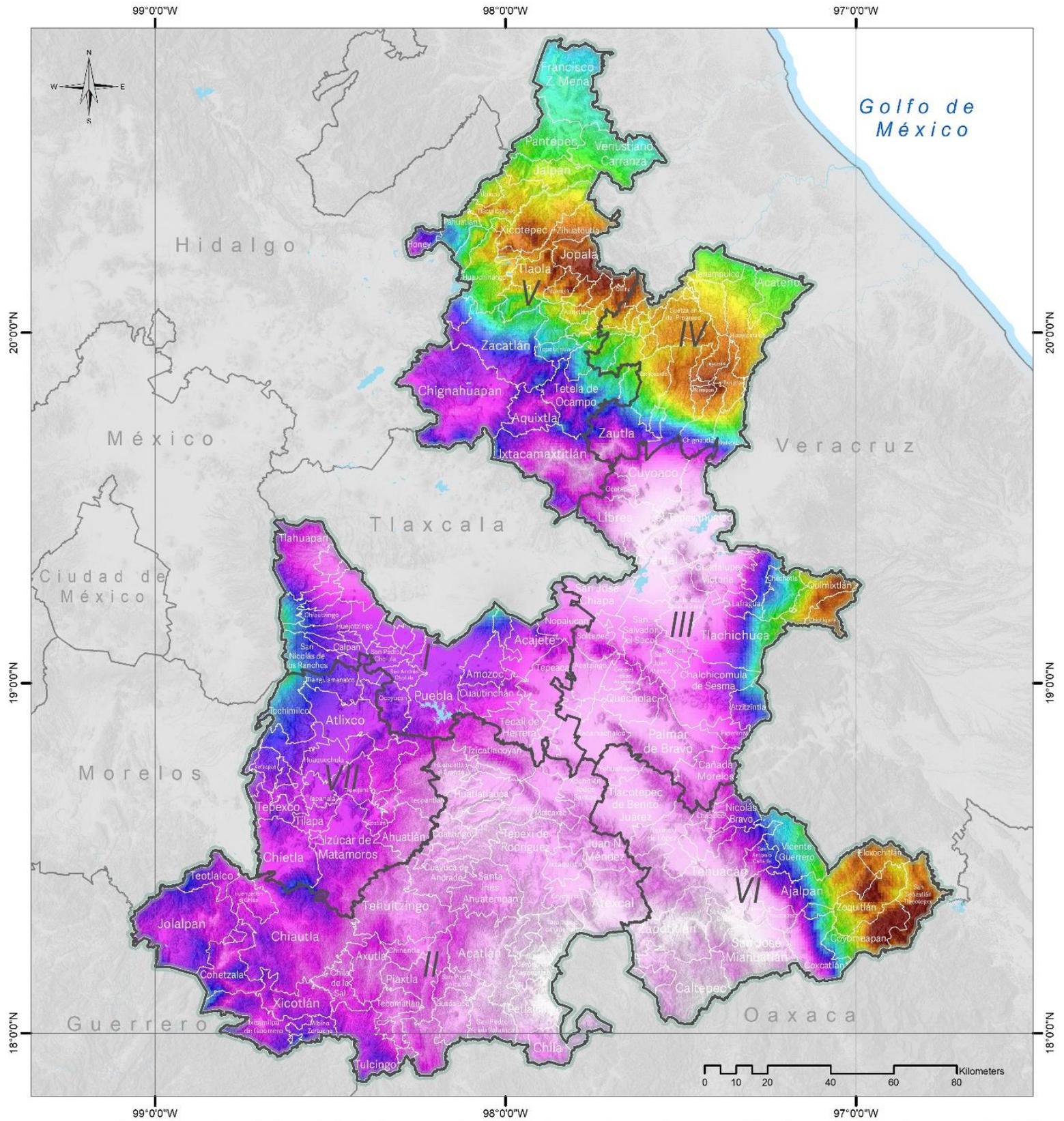
SC-Earth es una serie climática completa a nivel global de datos puntuales diarios para el periodo 1950-2019, construida a partir de datos observacionales de estaciones climatológicas de los repositorios: a) Global Historical Climatology Network-Daily database (GHCN-D), y, b) Global Surface Summary of the Day (GSOD) (Tang et al., 2021). Los datos de GHCN-D se someten a un estricto control de calidad que incluye verificaciones de integridad básica, verificaciones de valores atípicos, de consistencia interna y temporal, de consistencia espacial y de megaconsistencia (Durre et al., 2010). El control de calidad de GSOD no es tan estricto, pero fue incluido en la construcción de la serie completa para aumentar el número de estaciones disponibles y por contar con variables climáticas no incluidas en GHCN-D.

Usando como auxiliar para el relleno de los vacíos de información la quinta generación del análisis atmosférico del clima global (ERA5) (Hersbach et al., 2020), la serie completa se generó usando diferentes estrategias basadas en el mapeo de cuantiles, interpolación espacial y aprendizaje automático (machine learning), y fue sujeta a corrección de sesgos y control de calidad.

Se extrajeron las 31 estaciones seleccionadas del conjunto SC-Earth, para contar con datos originales, y sus series climáticas se compararon con las series de las estaciones originales del SMN (Figuras 8 al 10). Se calcularon los promedios mensuales (Mapa M159) y anuales (Figura 8) de los datos diarios y se identificaron las tendencias para esta última agregación con la prueba no paramétrica de *Mann-Kendall* (Mann 1945; Kendall 1975). Esta prueba permite identificar tendencias monotónicas, es decir, si los valores de las variables aumentan o disminuyen, así como evaluar si las tendencias identificadas son estadísticamente significativas. Para calcular la magnitud de las tendencias se usó el estimador de pendiente de Theil-Sen (Theil, 1950; Sen, 1968). Un valor positivo en el estadístico indica una tendencia al aumento, mientras que un valor negativo significa que la tendencia es hacia la disminución.

Los datos del periodo 1950-2019, muestran que los meses más cálidos son abril y mayo, y, diciembre y enero presentan las menores temperaturas. La temperatura máxima promedio es de 24.8°C, la mínima de 10.4°C y la media registra los 17.6°C. La precipitación promedio anual es de 864.4 mm (Figura 11). En los meses de julio y agosto, se presenta una disminución en la precipitación debido al fenómeno de la canícula, el cual ocurre en algunas regiones del País durante el verano y se caracteriza por una disminución o ausencia de lluvia acompañada por altas temperaturas y cielos despejados.

Con los promedios anuales, las temperaturas máximas, mínimas y promedio presentan una tendencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) durante el periodo 1950-2019, presentando un aumento de 0.5°C, 0.7°C y 0.6°C respectivamente, no así la precipitación, que, si bien también presenta tendencia al aumento de 102 mm, ésta no es estadísticamente significativa (Figura 12).



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Precipitación**
- mm
- Max: 2,848.97
- Min: 494.445

- Regiones Puebla**
- I, Angüepois
  - II, Mixtecos
  - III, Serón y Valles Centrales
  - IV, Sierra Nororiental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M159. Precipitación**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008

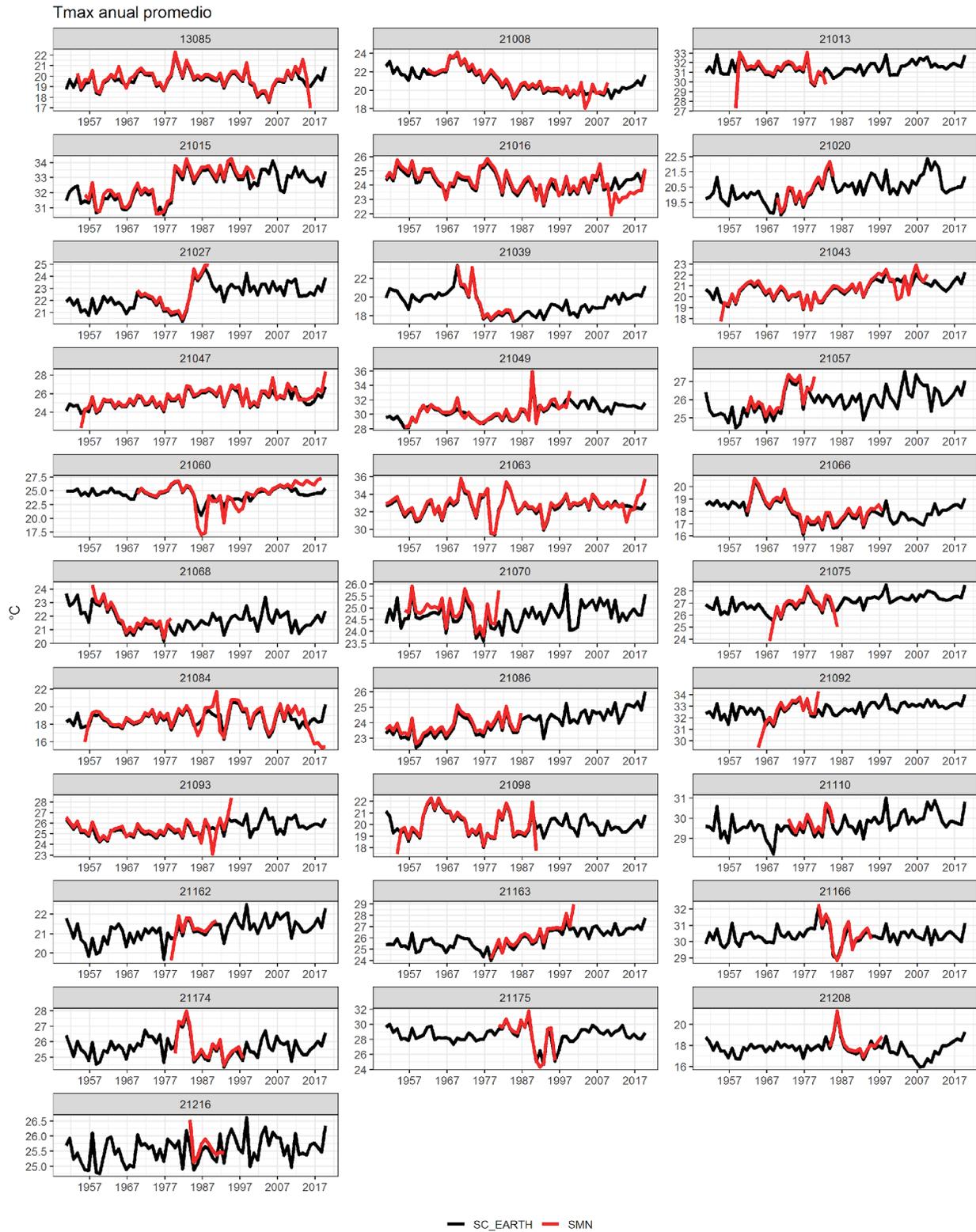


FIGURA 8. COMPARACIÓN DE LOS VALORES ANUALES DE TEMPERATURA MÁXIMA ENTRE LAS SERIES DE LAS ESTACIONES DEL SMN (EN ROJO) Y SC-EARTH (EN NEGRO).

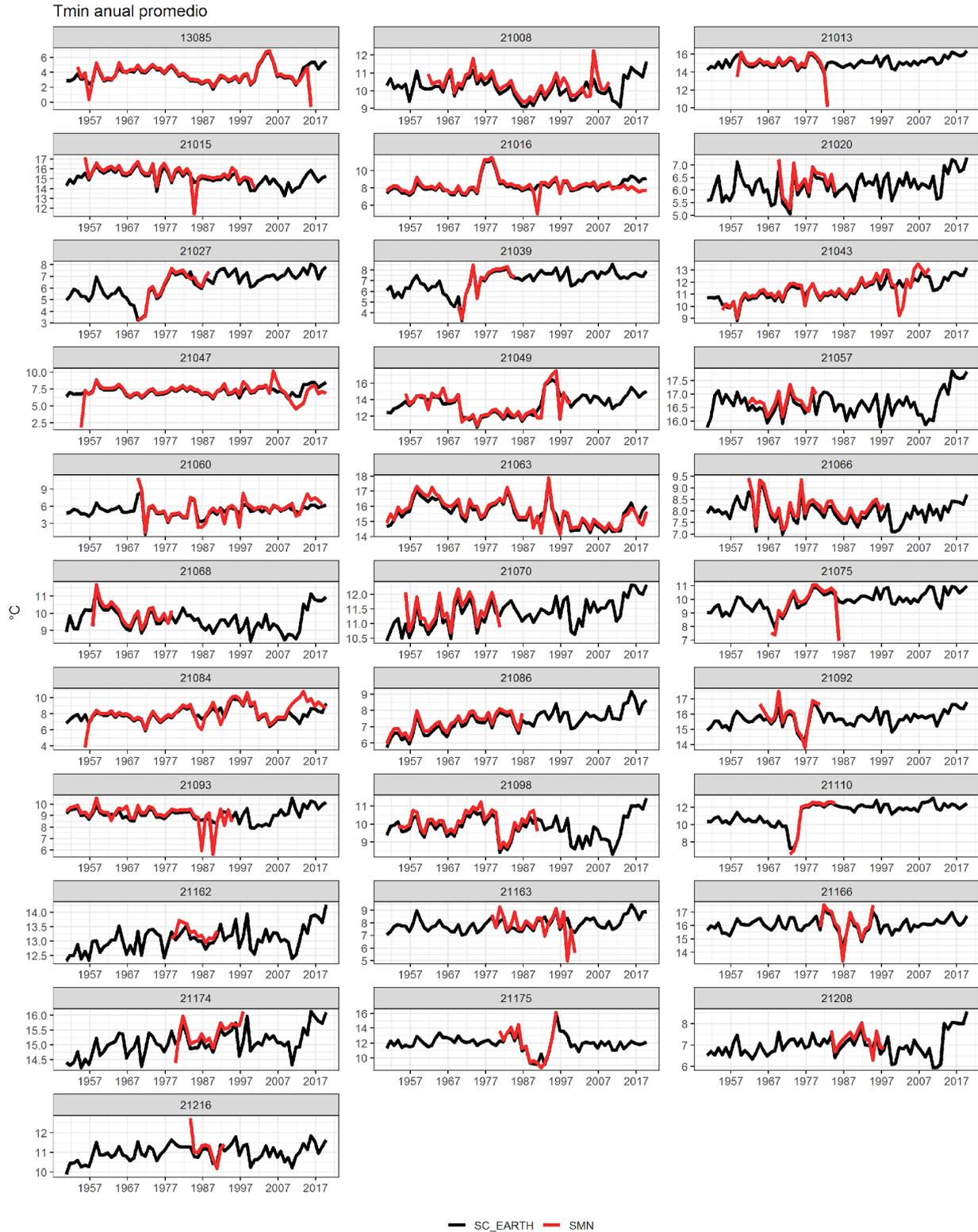


FIGURA 9. COMPARACIÓN DE LOS VALORES ANUALES DE TEMPERATURA MÍNIMA ENTRE LAS SERIES DE LAS ESTACIONES DEL SMN (EN ROJO) Y SC-EARTH (EN NEGRO).

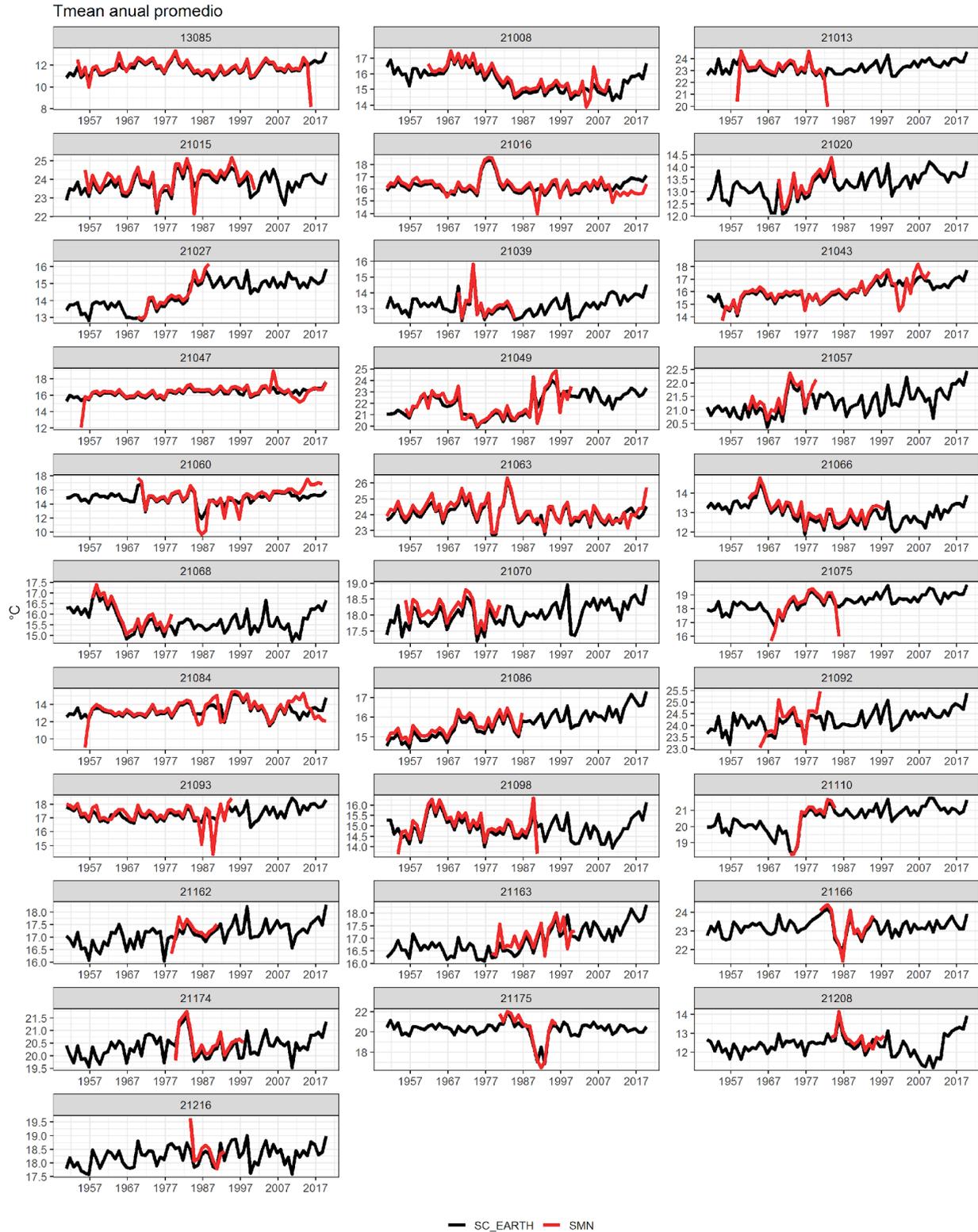


FIGURA 10. COMPARACIÓN DE LOS VALORES ANUALES DE TEMPERATURA MEDIA ENTRE LAS SERIES DE LAS ESTACIONES DEL SMN (EN ROJO) Y SC-EARTH (EN NEGRO).

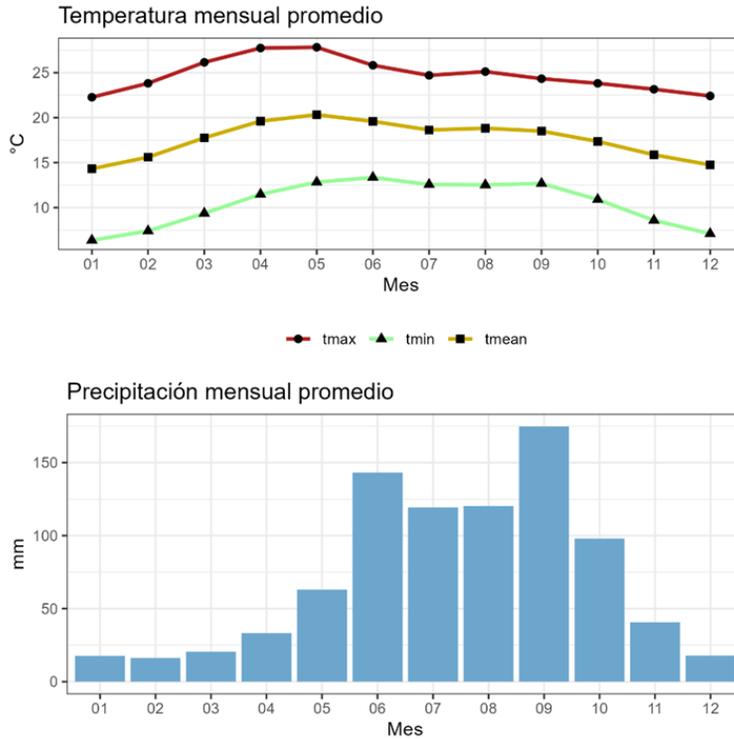


FIGURA 11. VALORES MENSUALES DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA EL ESTADO DURANTE EL PERIODO 1950-2019.

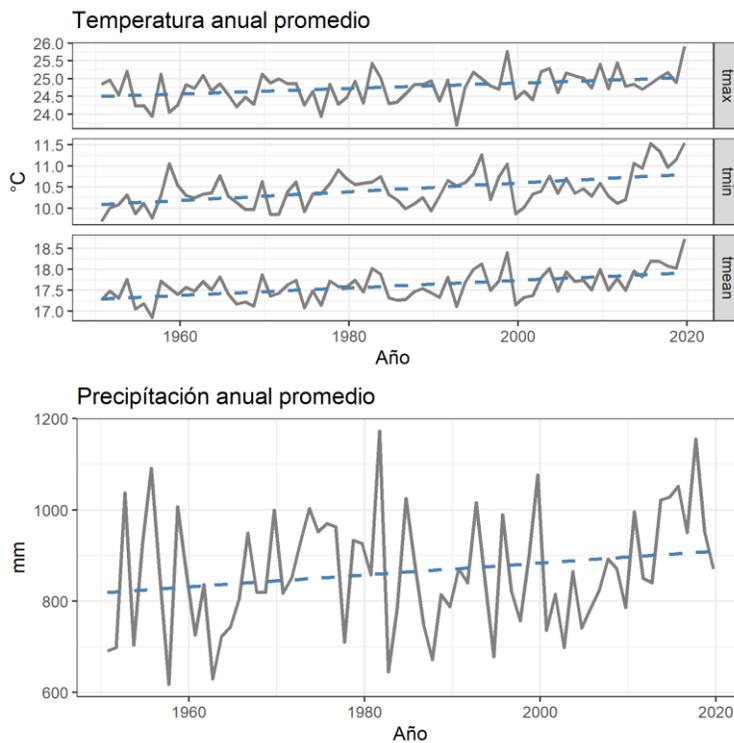


FIGURA 12. VALORES ANUALES DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA EL ESTADO DURANTE EL PERIODO 1950-2019.

## CÁLCULO DE ÍNDICES Y ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Los conjuntos de datos de observaciones meteorológicas espacialmente irregulares interpolados a una cuadrícula regular son importantes para realizar análisis climáticos (Haylock *et al.*, 2008), y su uso ha aumentado en los años recientes (Laiti *et al.*, 2018). Se han generado diferentes conjuntos de datos cuadrículados a diversas escalas y resoluciones espaciales y temporales (Dieulin *et al.*, 2019; Werner *et al.*, 2019; Avila-Diaz *et al.*, 2020; Thiemig *et al.*, 2022), que, a diferencia de los datos puntuales obtenidos de estaciones climatológicas, donde las observaciones están asociadas espacialmente a un par de coordenadas, representan superficies continuas de los valores que toman las variables climáticas correspondientes.

## ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO

La agregación de la información climática a nivel mensual puede velar información relevante sobre el comportamiento de los valores extremos, frecuentemente asociados a impactos en los sistemas naturales y humanos (Zhang *et al.*, 2011). Para identificar cambios en los eventos climáticos extremos se han desarrollado una serie de índices, cuyas tendencias se pueden asociar con el calentamiento global (Alexander *et al.*, 2006). El Grupo de Expertos en Detección de Cambio Climático e Índices (ETCCDI), conformado de forma conjunta por la Organización Meteorológica Mundial (WMO), el proyecto de variabilidad climática (CLIVAR) y la Comisión Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM), desarrolló 27 índices de cambio climático (Tabla 6) que permiten describir la frecuencia, duración e intensidad de eventos extremos (Alexander *et al.*, 2006). Éstos índices, derivados de observaciones diarias de la temperatura y precipitación, son estadísticamente robustos, cubren una amplia gama de climas, tienen una alta relación señal-ruido y pueden ser comparados de forma coherente entre diferentes países (Zhang *et al.*, 2011).

En general, hay dos métodos para calcular índices climáticos extremos en formato cuadrículado: a) mediante el cálculo de los índices para estaciones climatológicas individuales y posteriormente generar la cuadrícula de los índices, y b) cuadricular los datos diarios de las estaciones y posteriormente calcular los índices para la cuadrícula (Zhang *et al.*, 2011). Si bien existen conjuntos de datos cuadrículados de índices climáticos extremos a escala global (Donat *et al.*, 2013; Dunn *et al.*, 2020), la resolución espacial de éstos no es la más adecuada para realizar una caracterización e identificar tendencias en las regiones del estado.

Dada la suficiencia y calidad de los datos disponibles, se utilizó la segunda aproximación para identificar las tendencias en los índices para el Estado a nivel estatal y regional, a partir del conjunto de datos Daymet V4.

TABLA 6. DESCRIPCIÓN DE LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS EXTREMOS DEL ETCCDI.

| ÍNDICE                          | DESCRIPCIÓN  |
|---------------------------------|--|
| <b>Índices de precipitación</b> |  |
| Rx1day                          | Precipitación máxima en un día                                       |
| Rx5day                          | Precipitación máxima en cinco días                                   |
| SDII                            | Índice de intensidad de precipitación simple                         |
| R10mm                           | Días con lluvia mayor a 10 mm  |
| R20mm                           | Días con lluvia mayor a 20 mm  |
| Rnnmm                           | Días con lluvia mayor a un umbral establecido                        |
| CDD                             | Duración máxima del periodo seco                                     |
| CWD                             | Días húmedos consecutivos  |
| R95pTOT                         | Contribución a la precipitación total de días muy húmedos            |
| R99pTOT                         | Contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos |
| PRCPTOT                         | Precipitación total anual en días húmedos                            |
| <b>Índices de temperatura</b>   |  |
| FD                              | Número de días de heladas  |
| SU                              | Número de días de verano   |
| ID                              | Días con hielo   |
| TR                              | Noches tropicales  |
| GSL                             | Duración de la estación de crecimiento                               |
| TXx                             | Valor máximo de la temperatura máxima diaria                         |
| TNx                             | Valor máximo de la temperatura mínima diaria                         |
| TXn                             | Valor mínimo de la temperatura máxima diaria                         |
| TNn                             | Valor mínimo de la temperatura mínima diaria                         |
| TN10p                           | Porcentaje de días en que TN < percentil 10                          |
| TX10p                           | Porcentaje de días en que TX < percentil 10                          |
| TN90p                           | Porcentaje de días en que TN < percentil 90                          |
| TX90p                           | Porcentaje de días en que TX < percentil 90                          |
| WSDI                            | Duración de los periodos cálidos                                     |
| CSDI                            | Duración de los periodos fríos                                       |
| DTR                             | Rango de temperatura diario  |

Fuente: Elaboración propia.

## Daymet V4

Daymet V4 es un conjunto de datos climáticos diarios cuadrículados para el periodo 1980-2020 con una resolución espacial de 1km<sup>2</sup>. Construida mediante una combinación de interpolación, extrapolación y ponderaciones a partir de los datos observacionales de las estaciones climatológicas de la Global Historical Climatology Network-Daily database (GHCN-D) V3.26), Daymet refleja las relaciones espaciales y temporales entre una cuadrícula y las estaciones meteorológicas circundantes (Thornton *et al.*, 2021). Sujeto a un proceso de corrección de sesgos e inconsistencias en las observaciones de temperatura y precipitación, así como errores relacionados con el sesgo del sensor de temperatura, este conjunto de datos ha sido usado para calcular los índices climáticos extremos del ETCCDI, y para evaluar el desempeño de los índices calculados a partir de escenarios de cambio climático (Avila-Diaz *et al.*, 2021; Wilson *et al.*, 2022).

Al igual que para los datos puntuales obtenidos de SC-EARTH, se agregaron los valores diarios de Daymet a escala mensual y anual para todo el periodo, para conocer el comportamiento de las variables a nivel estatal y regional; la distribución de los valores mensuales de las cuadrículas se presenta en las Figuras 13 a 18 y su distribución espacial anual en los Mapas M160 y M161.

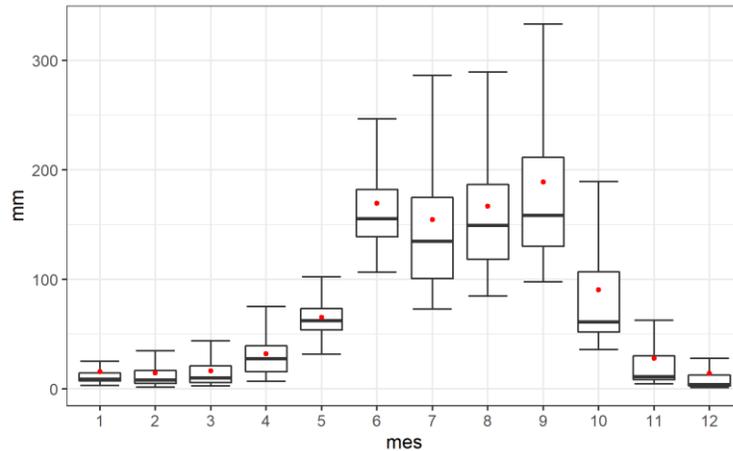


FIGURA 13. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON DATOS DE DYMET; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL PROMEDIO.

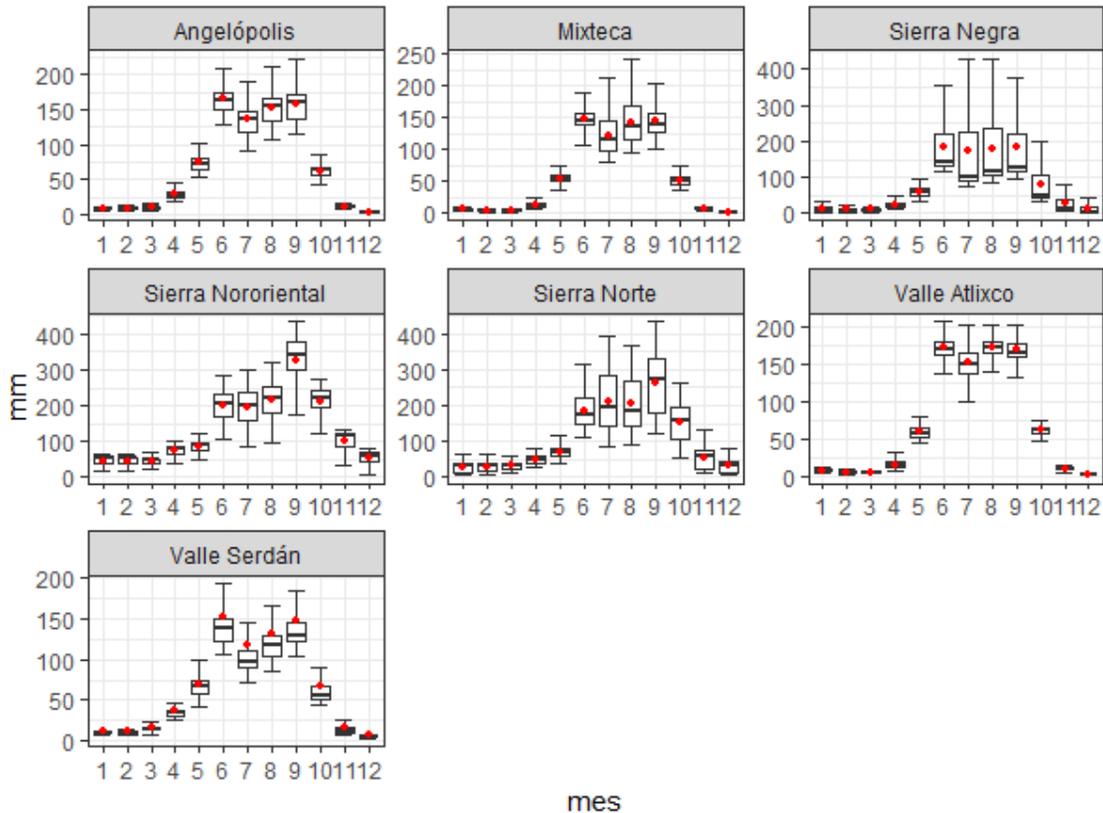


FIGURA 14. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN PARA LAS REGIONES DEL ESTADO DE ACUERDO CON DATOS DE DAYMET; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL PROMEDIO.

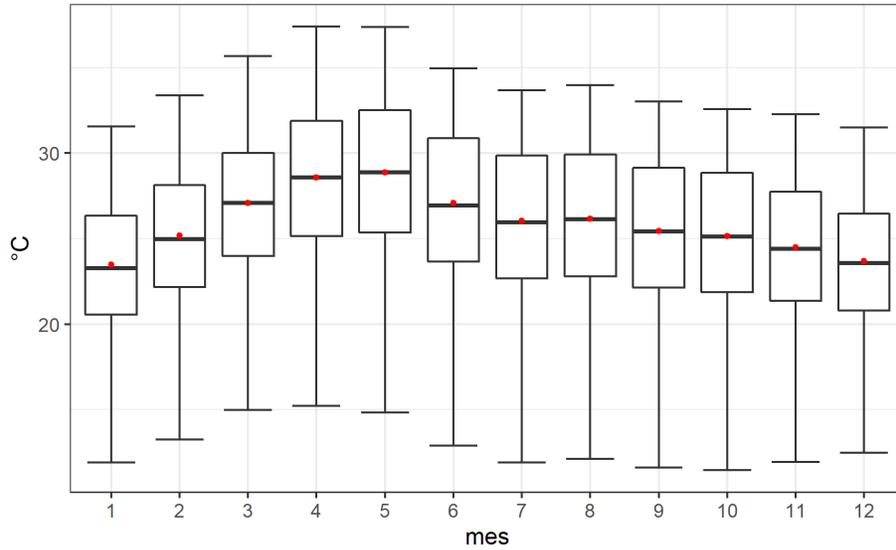


FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES MENSUALES DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON DATOS DE DYMET; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL PROMEDIO.

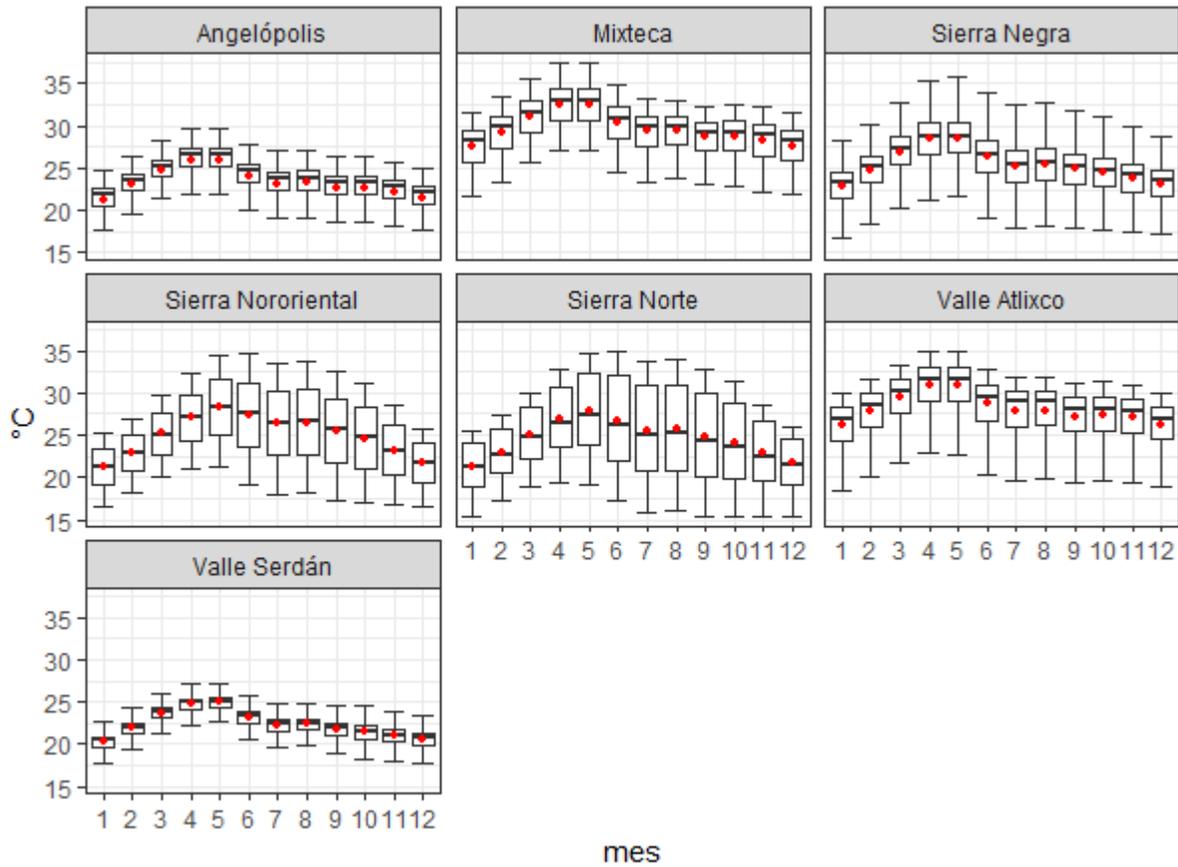


FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES MENSUALES DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA LAS REGIONES DEL ESTADO DE ACUERDO CON DATOS DE DAYMET; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL PROMEDIO.

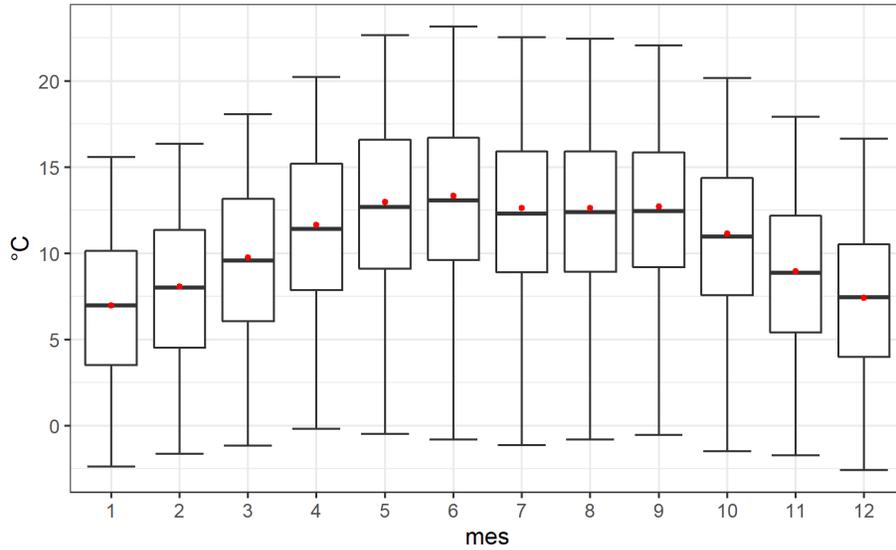


FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES MENSUALES DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON DATOS DE DYMET; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL PROMEDIO.

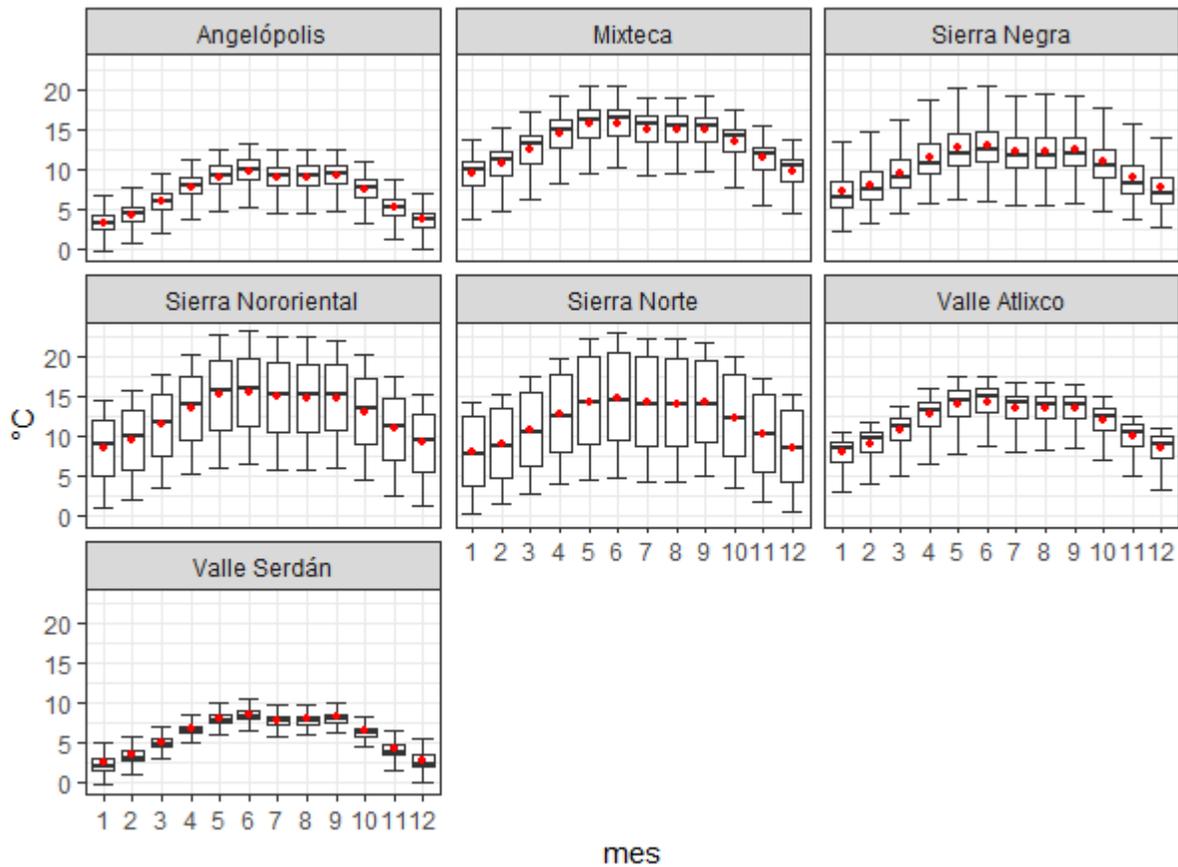
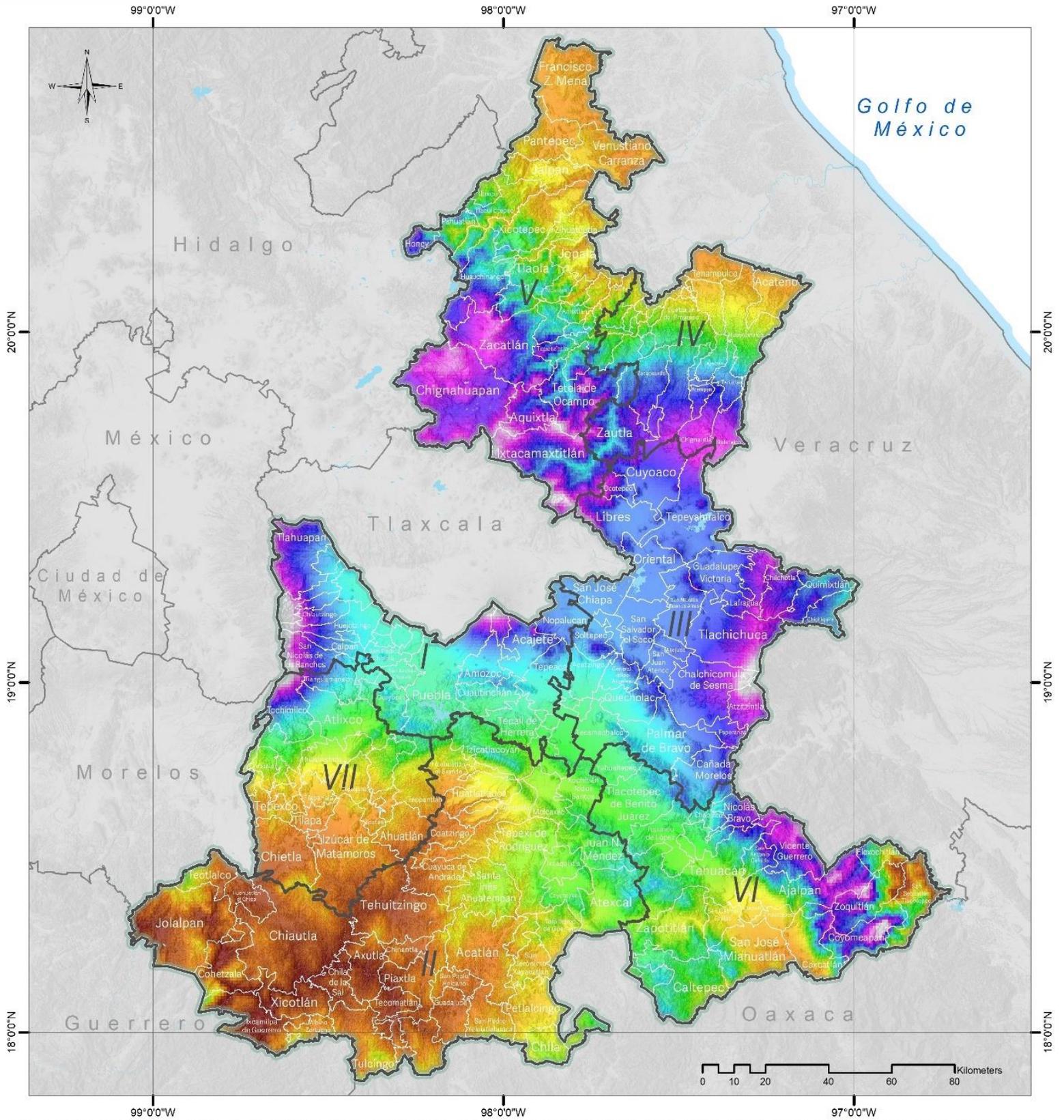


FIGURA 18. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES MENSUALES DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA LAS REGIONES DEL ESTADO DE ACUERDO CON DATOS DE DYMET; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL PROMEDIO.



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Temperatura Máxima**
- Máx: 33.7888
  - Mín: 10.6732

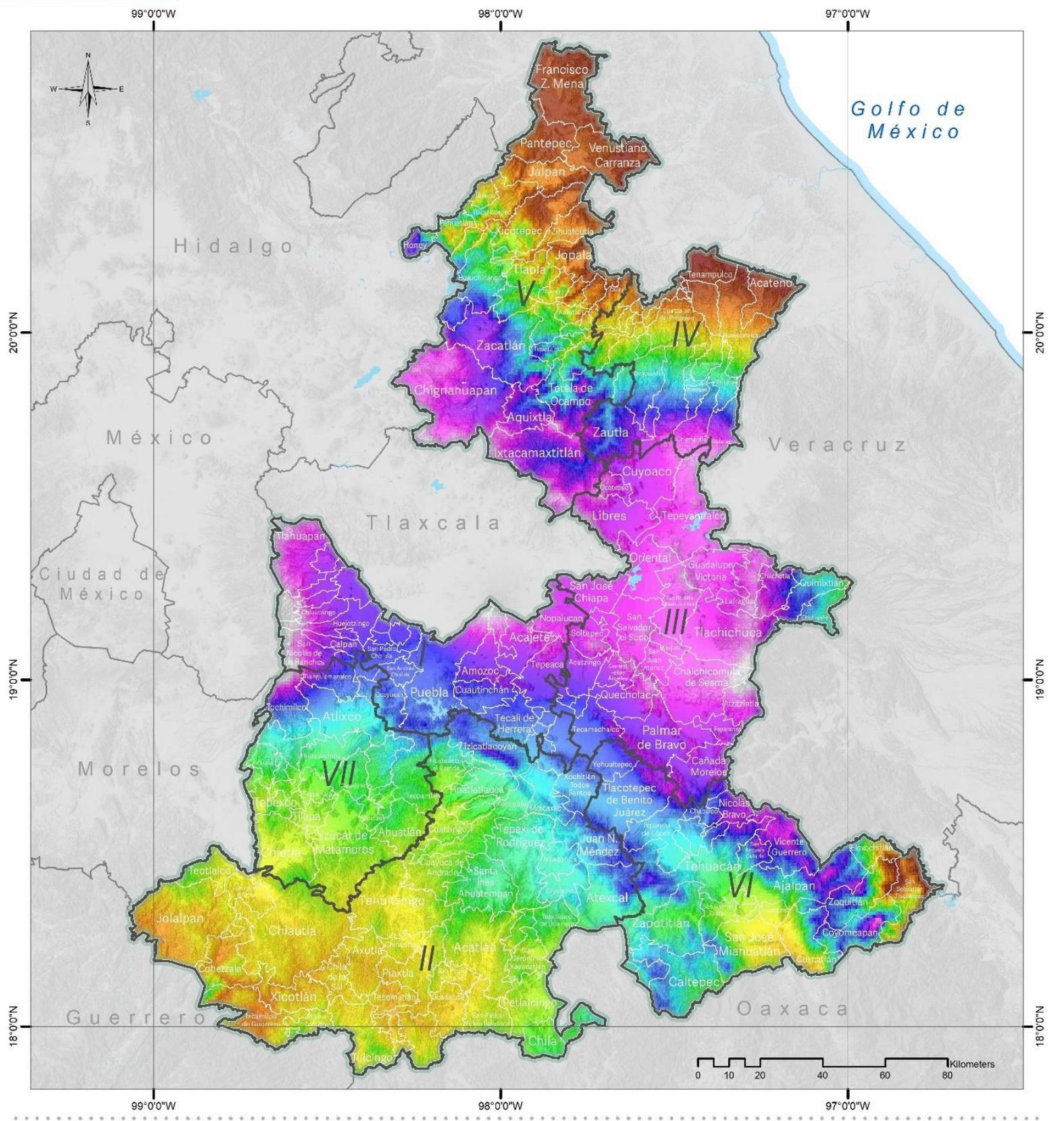
- Regiones Puebla**
- I. Angerópolis
  - II. Mixtecas
  - III. Secán y Valles Centrales
  - IV. Sierra Nororiental
  - V. Sierra Norte
  - VI. Tehuacán y Sierra Negra
  - VII. Valle Atlixco y Matamoros



**M160. Temperatura Máxima**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
  - Cuerpos de agua
  - Límite del Estado de Puebla
  - Límite estatal
- Temperatura Mínima**  
°C
- - Max: 19.4963
  - Min: -1.2413
- Regiones Puebla**
- I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Serdán y Valles Centrales
  - IV, Sierra Nororiental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros
  - VIII, Valle Atlixco y Matamoros



**M161. Temperatura Mínima**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008

## CÁLCULO DE ÍNDICES

Con los valores diarios del conjunto de datos Daymet V4, se calcularon los índices en cuadrícula de precipitación y temperatura a nivel estatal y regional mediante los paquetes de R `climindex.pcic` (Bronaugh, 2020) y `climindex.pcic.ncdf` (Bronaugh, 2014), usando como referencia el periodo 1980-2009.

### Índices de precipitación

a) Precipitación total anual en días húmedos (PRCPTOT).

Sea  $RR_{ij}$  la cantidad de precipitación diaria en el día  $i$  en el período  $j$ , entonces:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$

b) Contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (R95P)

$$R95pTOT = \frac{100 \times R95p}{PRCPTOT}$$

c) Duración máxima del período seco (CDD): número máximo de días consecutivos con  $RR < 1$  mm.

Sea  $RR_{ij}$  la cantidad de precipitación diaria en el día  $i$  en el período  $j$ . Cuente el mayor número de días consecutivos donde  $RR_{ij} < 1$  mm.

d) Índice de intensidad de precipitación simple (SDII).

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

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$

### Índices de temperatura

a) Valor máximo de la temperatura máxima diaria (TXX).

Sean  $TX_x$  las temperaturas máximas diarias en el mes  $k$ , periodo  $j$ . La temperatura máxima diaria máxima mensual es entonces

$$TXX_{kj} = \max(TXx_{kj}).$$

b) Valor mínimo de la temperatura mínima diaria (TNN).

Sean  $TN_n$  las temperaturas mínimas diarias en el mes  $k$ , periodo  $j$ . La temperatura mínima diaria mínima de cada mes es entonces

$$TNn_{kj} = \min (TNn_{kj}).$$

c) Número de días de verano (SU).

Conteo anual de días en que  $TX$  (temperatura máxima diaria)  $> 25^\circ\text{C}$ . Sea  $TX_{ij}$  la temperatura máxima diaria del día  $i$  en el año  $j$ . El número de días en que  $TX_{ij} > 25^\circ\text{C}$ .

d) Número de días de heladas (FD).

Conteo anual de días en que  $TN$  (temperatura mínima diaria)  $< 0^\circ\text{C}$ . Sea  $TN_{ij}$  la temperatura mínima diaria del día  $i$  en el año  $j$ . Cuente el número de días en los que  $TN_{ij} < 0^\circ\text{C}$ .

e) Rango de temperatura diario (DTR)

Sean  $TX_{ij}$  y  $TN_{ij}$  la temperatura máxima y mínima diaria respectivamente en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Si  $I$  representa el número de días en  $j$ , entonces:

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (TX_{ij} - TN_{ij})}{I}$$

### 3. TENDENCIAS

Para identificar las tendencias en los índices de cambio climático se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) y el estimador de pendiente de Theil-Sen (Theil, 1950; Sen, 1968). La prueba de Mann-Kendall es un método estadístico que se utiliza para identificar tendencias en una serie de datos a lo largo del tiempo. Un valor positivo en el estadístico de la prueba indica una tendencia al aumento mientras que un valor negativo significa que la tendencia es hacia la disminución. Por su parte, la pendiente de Theil-Sen es una medida de la magnitud de la tendencia, que indica cuánto cambian los datos, en promedio, por unidad de tiempo.

Dado que los índices en cuadrícula, así como sus tendencias, presentan tantos valores como celdas de  $1\text{km}^2$  intersecta cada región, los resultados se presentan mediante figuras en las que se indica: a) el promedio de los índices para el periodo temporal 1980-2020, b) el valor del estadístico de Mann-Kendall, que indica el sentido de la tendencia, c) la pendiente y d) las zonas en las que las tendencias identificadas son estadísticamente significativas. También se presentan diagramas de Hovmöller (Hovmöller, 1949), que son una herramienta visual usada en meteorología para representar cómo cambia una

variable atmosférica en el tiempo y el espacio, generalmente la longitud o la latitud geográfica. En los diagramas se representa la evolución temporal de los índices de cambio climático en relación con la longitud geográfica. Las columnas representan el promedio del índice respectivo en la longitud geográfica indicada en el eje x; los renglones (eje y) están ordenados cronológicamente de forma descendente (2020 en el límite superior y 1980 en el límite inferior) y cada uno representa un año del periodo analizado. Un cambio de color en la dirección vertical (eje y) indica un cambio en el valor del índice con el tiempo. Un cambio de color a lo largo del eje horizontal indica cómo varía el índice a lo largo de la longitud.

En las Figuras 19 a 194 se presentan los resultados de las tendencias de los índices de cambio climático identificadas, para el Estado y para cada región, durante el periodo 1980-2020, tomando como referencia el periodo 1980-2009. Las figuras representan los diferentes elementos mencionados que permiten al lector interpretar los resultados en el territorio estatal. En ellas se muestran a) el Promedio: que indica el valor promedio del índice respectivo para el periodo 1980-2020, b) el valor Z: que corresponde al valor de la prueba de Mann-Kendall, el cual indica la dirección de la tendencia. Valores positivos indican que el índice respectivo ha aumentado durante el periodo 1980-2020, mientras que valores negativos indican una disminución; mientras mayor es el valor absoluto, mayor es la tendencia. C) Pendiente: pendiente de Sen, la cual indica cuánto cambia el valor del índice respectivo en promedio D)  $p.\text{valor} < 0.05$ : indica las zonas con un valor p menor a 0.05, y representan los lugares donde la tendencia del índice de cambio climático es estadísticamente significativa, es decir, que es muy poco probable que la tendencia observada se deba al azar. Los valores de los elementos se indican en la rampa de color respectiva, excepto para el p.valor, el cual se indica en color verde.

## ESTADO DE PUEBLA

### *Índices de precipitación*

#### **a. Precipitación total anual en días húmedos (PRCPTOT)**

Este índice brinda información en general sobre la cantidad de precipitación en un área, un mayor valor del índice sugiere condiciones más húmedas. Su incremento puede estar asociado con un mayor crecimiento de la vegetación, menor riesgo de incendios forestales, mayor productividad de cultivos, y mayor recarga de los acuíferos y disponibilidad de agua, pero también mayor probabilidad de inundaciones y contaminación de agua subterránea. Su disminución, por el contrario, puede tener efectos en sentido inverso. En general, ~41% de la superficie del estado presenta un aumento en los valores de PRCPTOT durante los 41 años del periodo, mientras que aproximadamente el 59% presenta disminución; sin embargo, únicamente en el 30% de la superficie

identificada con disminución la tendencia es estadísticamente significativa. La Sierra Nororiental es la región que ha experimentado una tendencia a la disminución estadísticamente significativa en la mayor parte de su territorio (~91%), mientras que en aproximadamente el 86% del territorio de la región Valle Serdán se identificó tendencia al aumento, aunque no estadísticamente significativa.

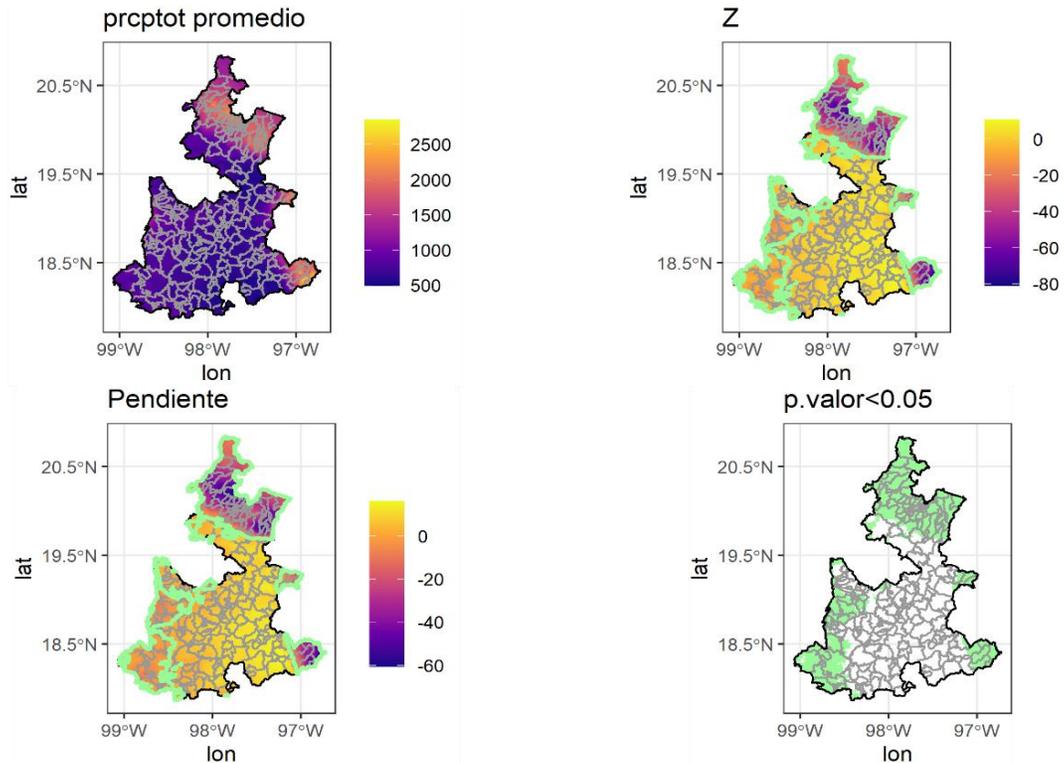


FIGURA 19. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA EL ESTADO

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p. valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

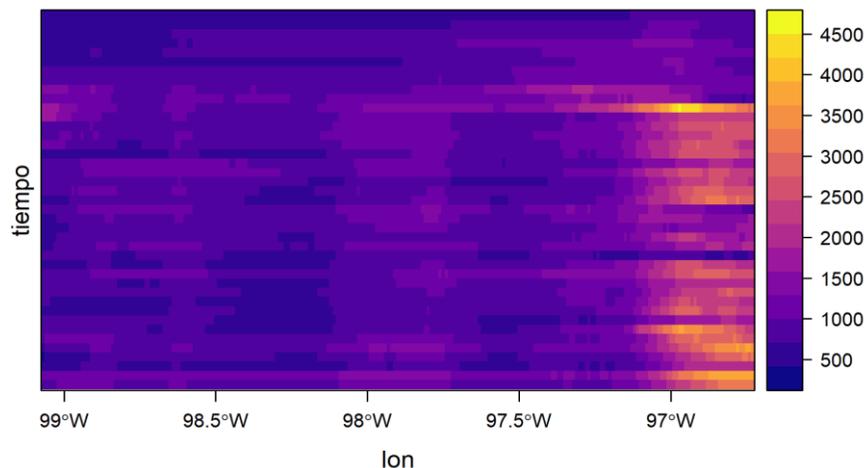


FIGURA 20. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA EL ESTADO.

## b. Contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (R95P)

Este índice representa el porcentaje de la precipitación total anual que proviene de días con precipitación muy intensa (por encima del percentil 95). Su aumento es indicativo de más eventos de precipitación extremos, que pueden aumentar el riesgo de inundaciones, deslaves, pérdida de cultivos e impactos negativos en la infraestructura y biodiversidad, así como contaminación de agua subterránea. Aproximadamente el 73% de la superficie estatal presenta evidencia de la disminución de este índice, de la cual, en el 46% la tendencia es estadísticamente significativa. El 24% de la superficie del estado presenta valores de tendencia positivos, aunque no es estadísticamente significativa. La Sierra Nororiental es la región que ha experimentado una tendencia a la disminución estadísticamente significativa en la mayor parte de su territorio (~92%), y Valle Serdán, por el contrario, presenta valores positivos en el 84% de su superficie.

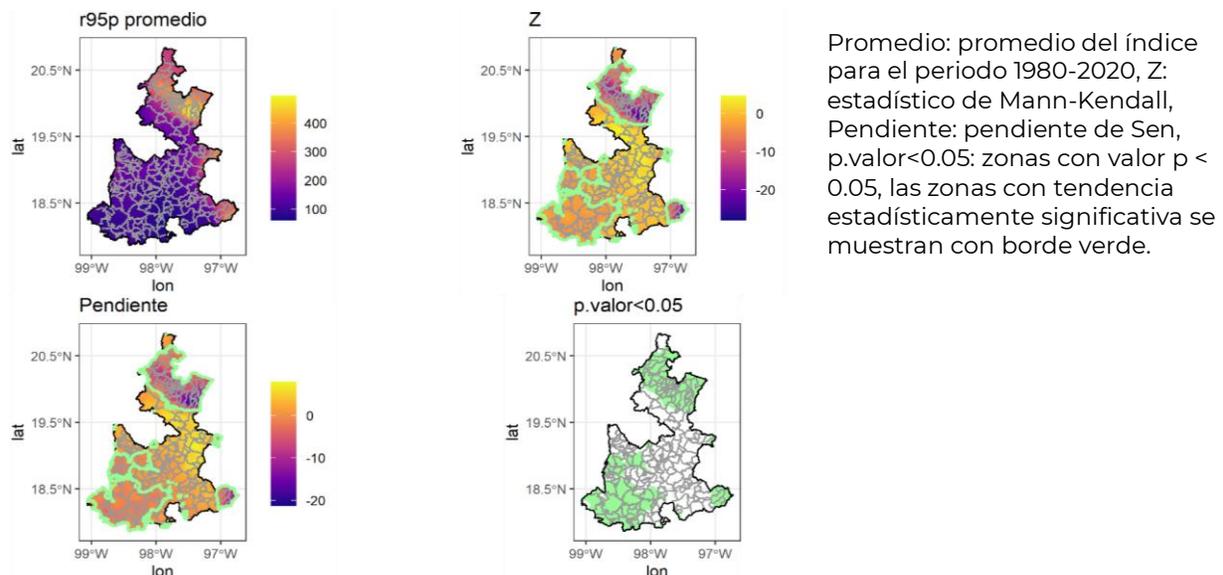


FIGURA 21. CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA EL ESTADO

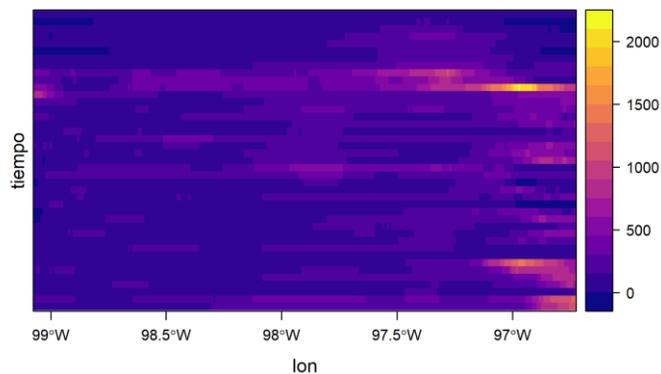


FIGURA 22. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA EL ESTADO.

### c. Duración máxima del período seco (CDD)

Definido como el número máximo de días consecutivos con precipitación menor a 1 mm, su aumento puede tener efectos negativos en el sector agrícola, aumento del riesgo de incendios forestales e impactos en la diversidad biológica, así como disminución de la disponibilidad de agua y recarga de los acuíferos. El 23% de la superficie del estado presenta un aumento, no estadísticamente significativo, en los valores del CDD, mientras que en el 76% (42% con tendencia estadísticamente significativa) los valores de este índice presentan evidencia de una tendencia a la disminución. La región Mixteca ha experimentado una tendencia a la disminución estadísticamente significativa en la mayor parte de su territorio (~87%), mientras que en la Sierra Nororiental los valores de CDD presentan un aumento en el 87% de su superficie (no estadísticamente significativo).

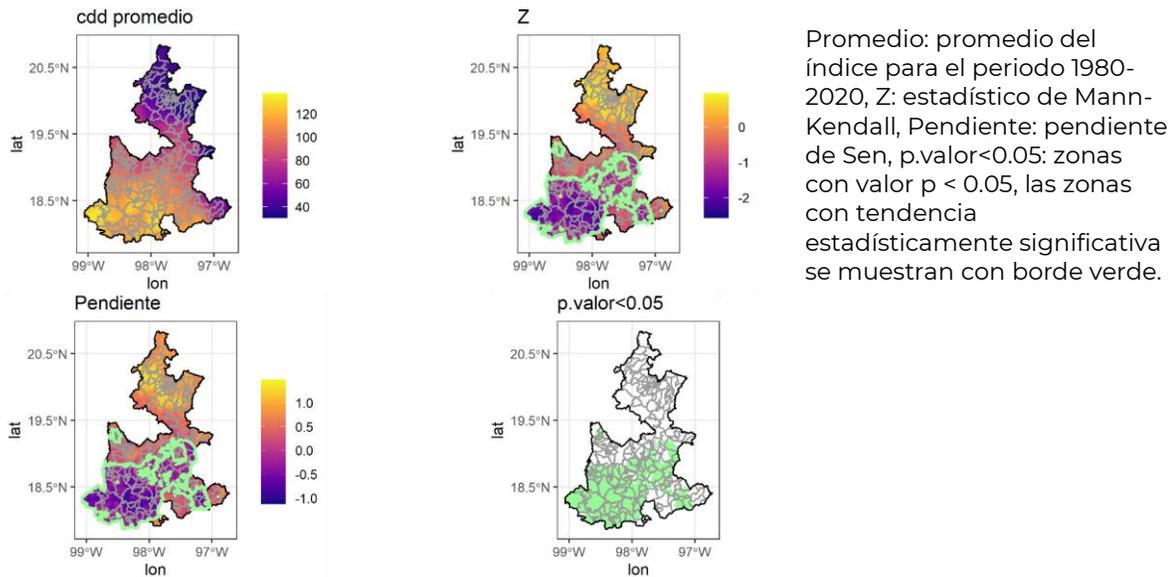


FIGURA 23. DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA EL ESTADO

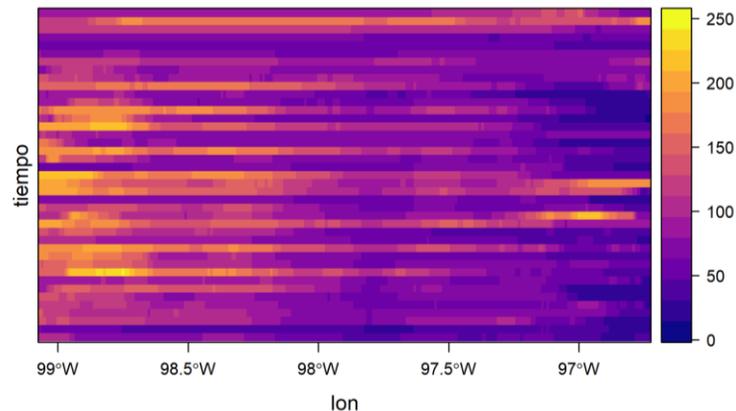


FIGURA 24. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA EL ESTADO.

## Índice de intensidad de precipitación simple (SDII)

El SDII se define como la cantidad de precipitación promedio en días húmedos (días con precipitación superior a 1 mm). Un aumento en el SDII indica una mayor precipitación en los días húmedos; los efectos asociados a la tendencia, ya sea positiva o negativa, dependen de la magnitud de los valores del índice. El 76% del estado presenta evidencia de una tendencia a la disminución del SDII (52% estadísticamente significativa), mientras que en el 27% los valores aumentan. Aproximadamente el 90% de la superficie del Valle de Atlixco presenta una tendencia a la disminución; Valle Serdán, por el contrario, presenta valores que sugieren una tendencia al aumento, aunque no estadísticamente significativa, en aproximadamente el 89% de su superficie.

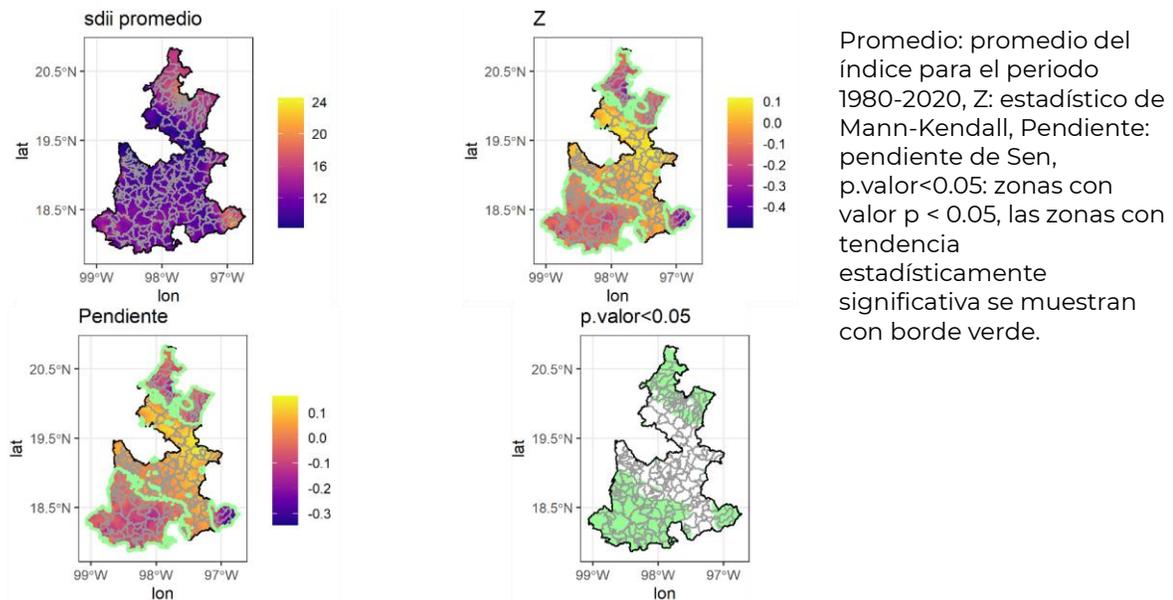


FIGURA 25. ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA EL ESTADO

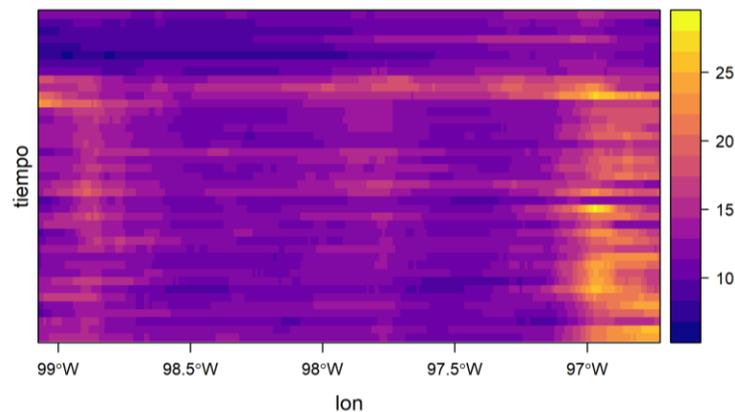


FIGURA 26. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA EL ESTADO.

## Índices de temperatura

### a. Temperatura máxima media anual (TMAX)

Los cambios en este índice pueden reflejar diferentes impactos en distintos sectores. Un aumento en TMAX puede estar asociado a olas de calor más intensas y frecuentes, las cuales pueden tener efectos negativos en la salud humana y distribución de las especies, así como aumentar el riesgo de incendios forestales y eventos de sequía exacerbados, o cambios en la fenología de las especies.

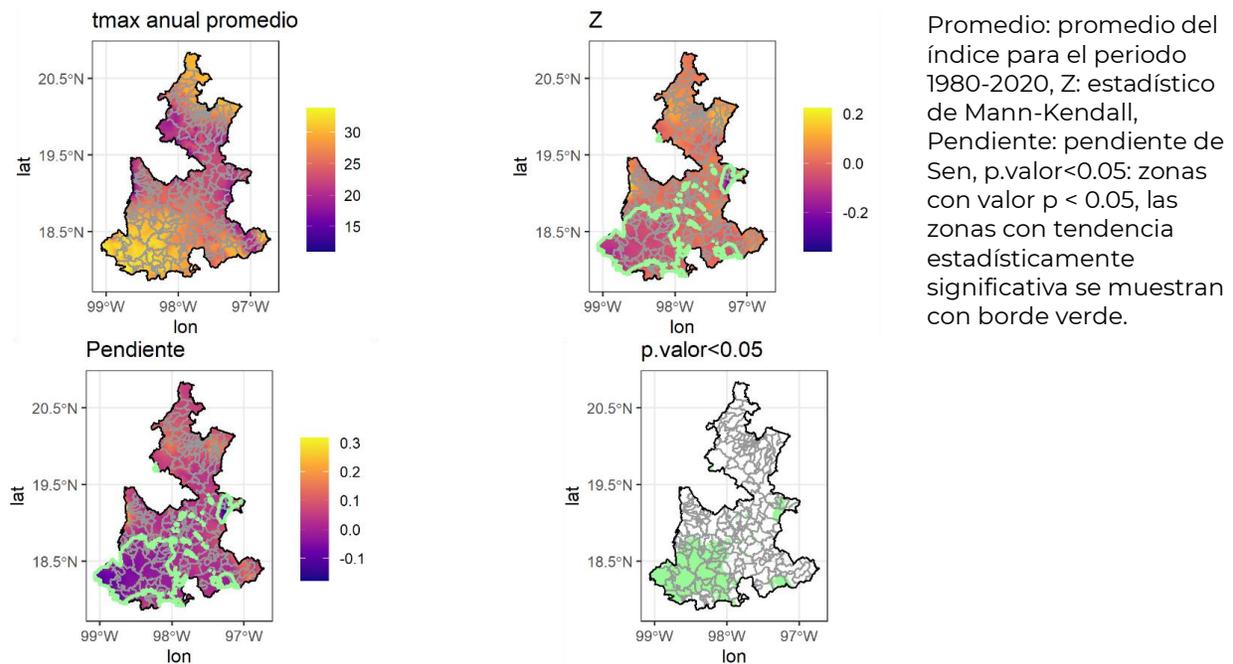


FIGURA 27. TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL (TMAX) PARA EL ESTADO

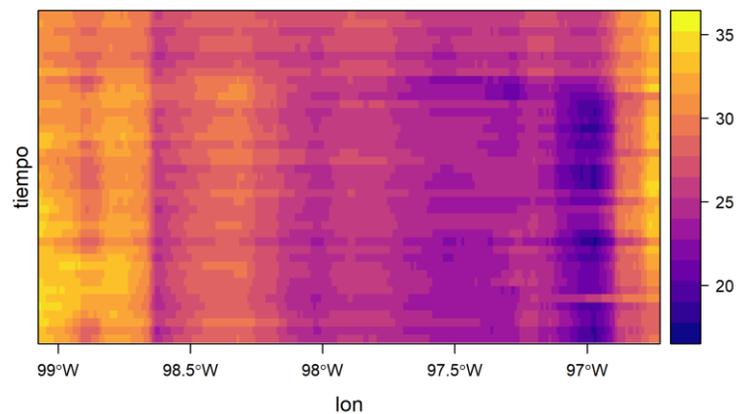


FIGURA 28. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (TMAX) MEDIA ANUAL PARA EL ESTADO.

## b. Temperatura mínima media anual (TMIN)

Al igual que para TMAX, cambios en el valor de TMIN pueden reflejar diferentes impactos de acuerdo con el sentido y la magnitud de estos; como cambios fenológicos en las especies o alteraciones en los ciclos y productividad de los cultivos, hasta el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero mediante mecanismos de retroalimentación positiva.

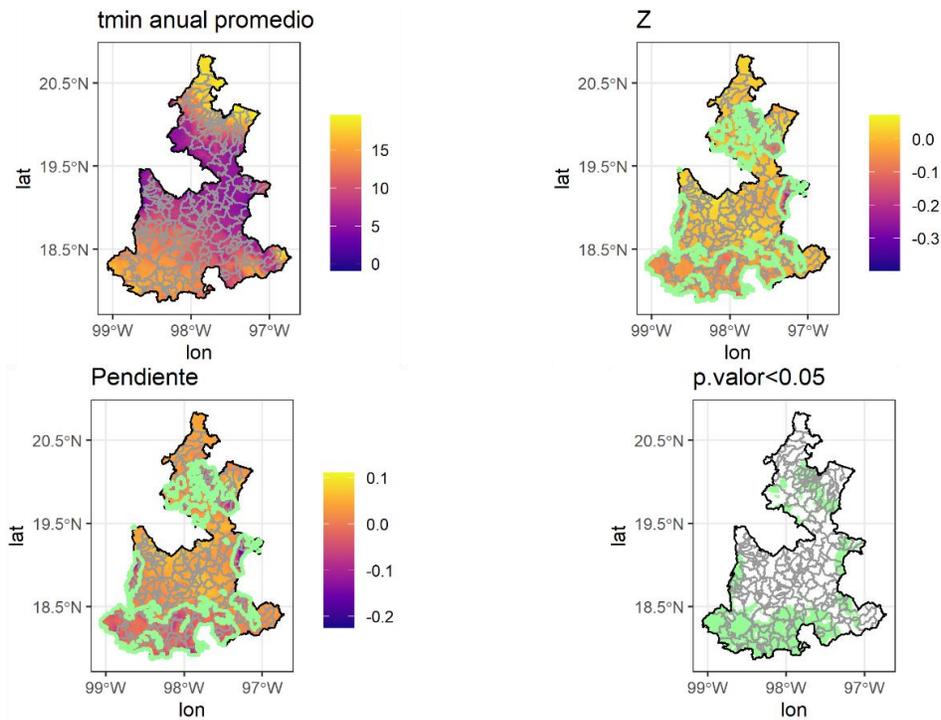


FIGURA 29. TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA EL ESTADO

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

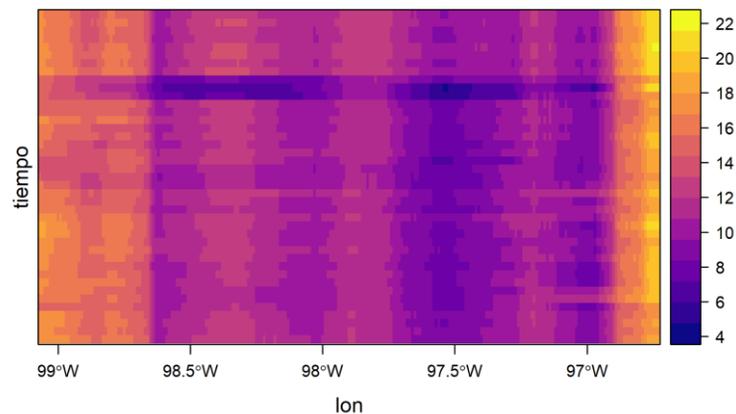


FIGURA 30. DIAGRAMA DE HOIVÖLLER DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA EL ESTADO.

### c. Valor máximo de la temperatura máxima diaria (TXX)

Este índice representa la temperatura máxima diaria más alta en un año. Un aumento en TXX indica temperaturas más altas, lo que puede tener impactos negativos en la agricultura, la silvicultura, la disponibilidad de agua y la salud humana. En el 40% de la superficie del estado los valores de este índice tienden a aumentar entre 1980 y 2020, aunque no de forma estadísticamente significativa. En cambio, en el 27% de la superficie estatal, este índice presenta una tendencia a la disminución estadísticamente significativa. La Mixteca es la región con mayor porcentaje de superficie con tendencia a la disminución estadísticamente significativa (57%), mientras que el 80% de la superficie de la región Angelópolis presenta tendencia al aumento del TXX (no estadísticamente significativo).

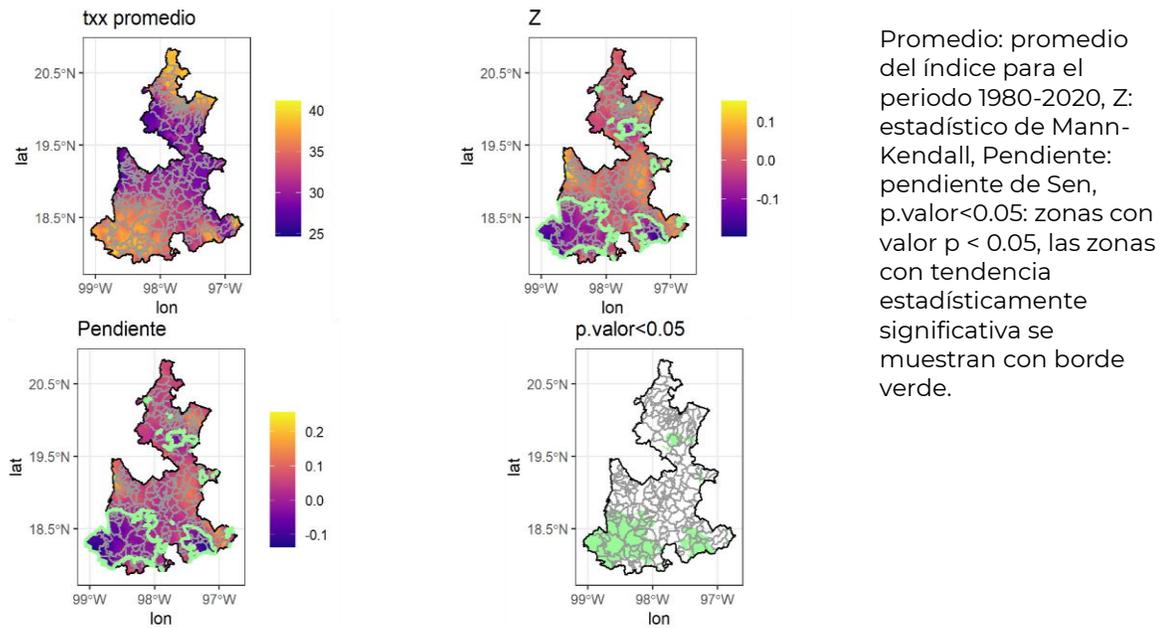


FIGURA 31. VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA EL ESTADO

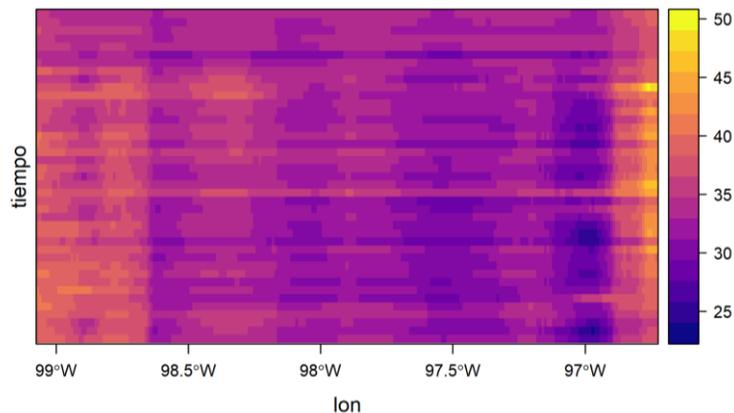


FIGURA 32. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA EL ESTADO.

#### d. Valor mínimo de la temperatura mínima diaria (TNN)

TNN indica el valor de la temperatura mínima diaria más baja en un año; un aumento en TNN indica temperaturas mínimas más cálidas. El 50% de la superficie del estado presenta una tendencia estadísticamente significativa a la disminución en este índice, mientras que el aumento, detectado en únicamente ~6%, no es significativo. La región Mixteca presenta una tendencia estadísticamente significativa a la disminución durante el periodo analizado en aproximadamente el 80% de su superficie; el 27% de la superficie de la región Angelópolis presenta valores que sugieren una tendencia al aumento en este índice, sin embargo, esta no es estadísticamente significativa.

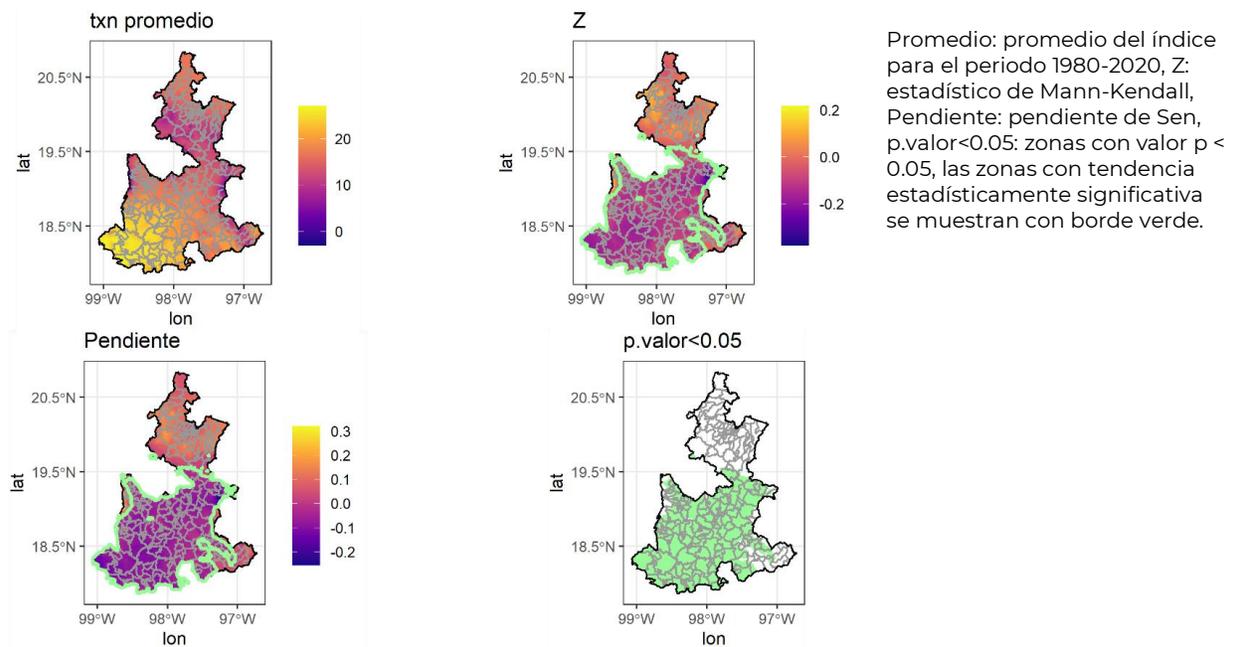


FIGURA 33. VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA EL ESTADO

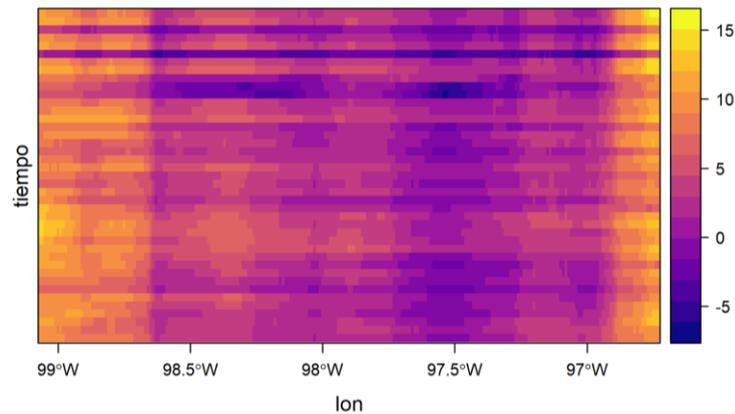


FIGURA 34. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA EL ESTADO.

### e. Número de días de verano (SU)

Este índice se define como el número de días en un año con temperaturas mínimas por encima del percentil 25 de la estación más cálida. Dependiendo de la magnitud de los valores de cambio, un aumento en SU puede tener efectos negativos en la disponibilidad de agua, aumentar el consumo de energía, e impactos en la salud entre otros. En aproximadamente el 26% de la superficie del estado se presenta una tendencia estadísticamente significativa a la disminución de este índice; la tendencia al incremento, prevalente en ~56% del estado no es estadísticamente significativa. La región del Valle de Atlixco presenta una tendencia significativa a la disminución del SU en aproximadamente el 71% de su área, mientras que en la Sierra Norte, aunque los valores sugieren una tendencia al aumento en el 90% de la región, esta no es significativa.

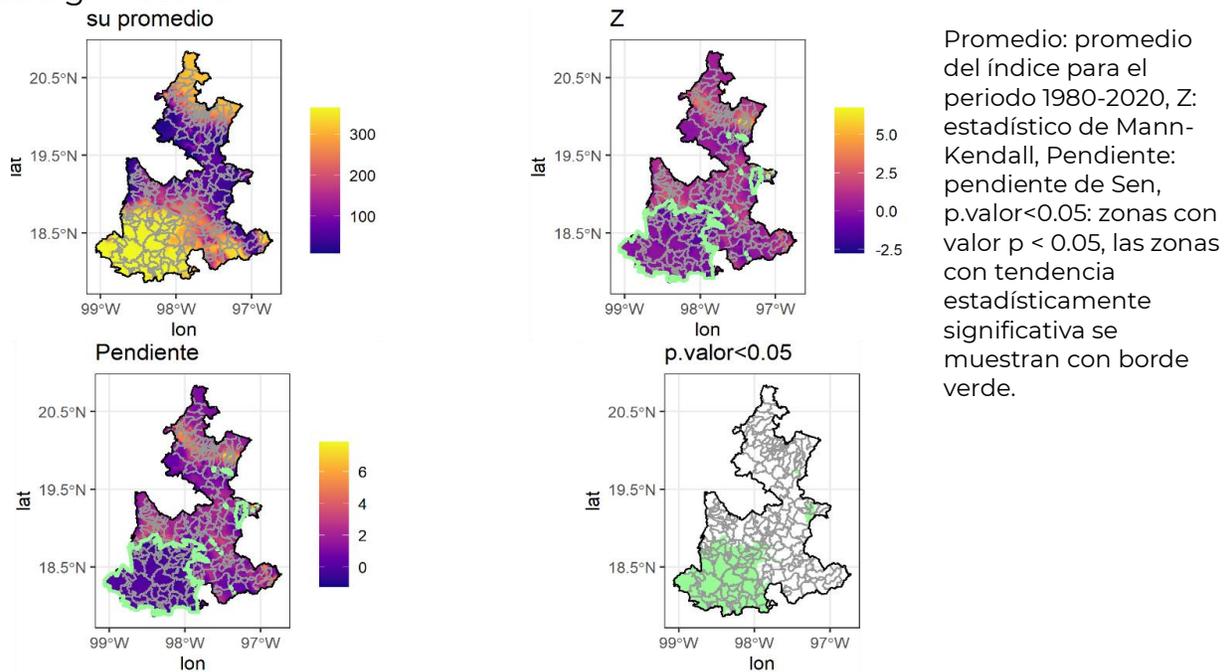


FIGURA 35. NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA EL ESTADO

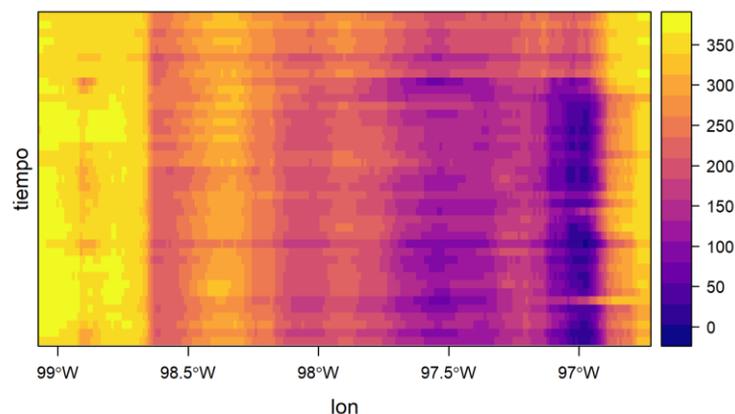
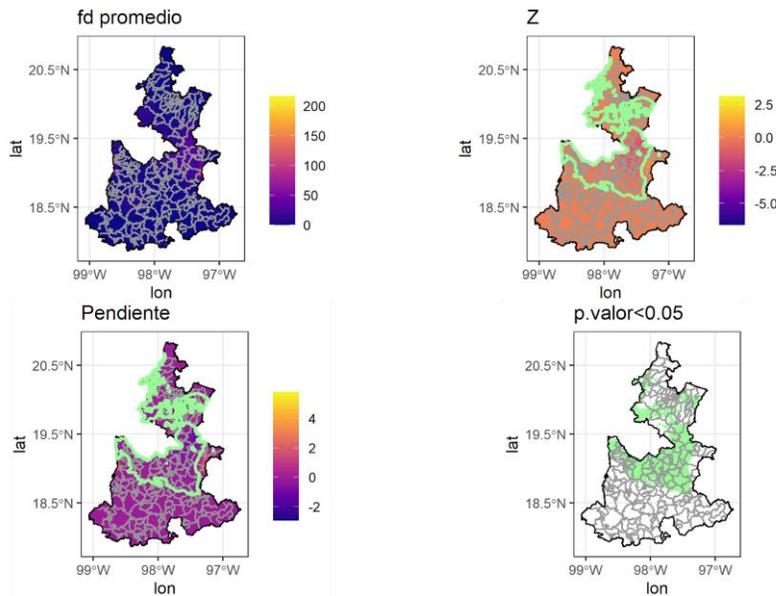


FIGURA 36. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA EL ESTADO.

## f. Número de días de heladas (FD)

FD representa el número de días en un año con temperaturas mínimas por debajo de 0°C, cuyo aumento puede tener efectos negativos importantes en el sector agrícola. Durante el periodo 1980-2020, este índice presentó una tendencia a la disminución en aproximadamente el 28% del área estatal (23% significativa y 5% no significativa estadísticamente). En ~5% del área la tendencia sugiere un aumento de FD, aunque no significativa. La región cuyo mayor porcentaje de superficie presenta una tendencia significativa a la disminución en el número de días de heladas es Angelópolis (77%). Por el contrario, en Valle Serdán, un 12% de la superficie los valores han ido en aumento; sin embargo, al no ser estadísticamente significativa, no se puede concluir que haya una tendencia en tal sentido.



Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

FIGURA 37. NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA EL ESTADO

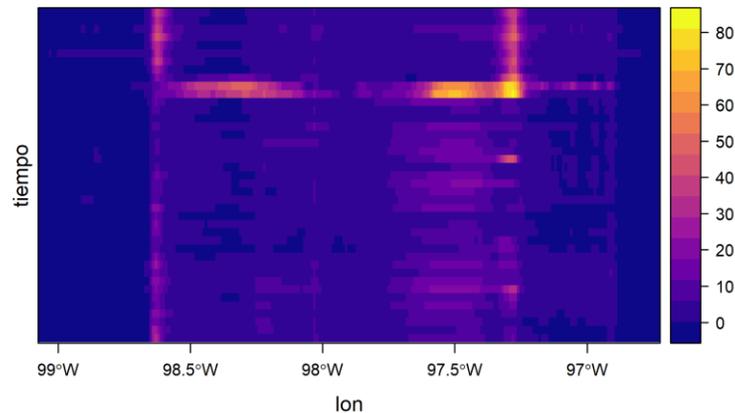
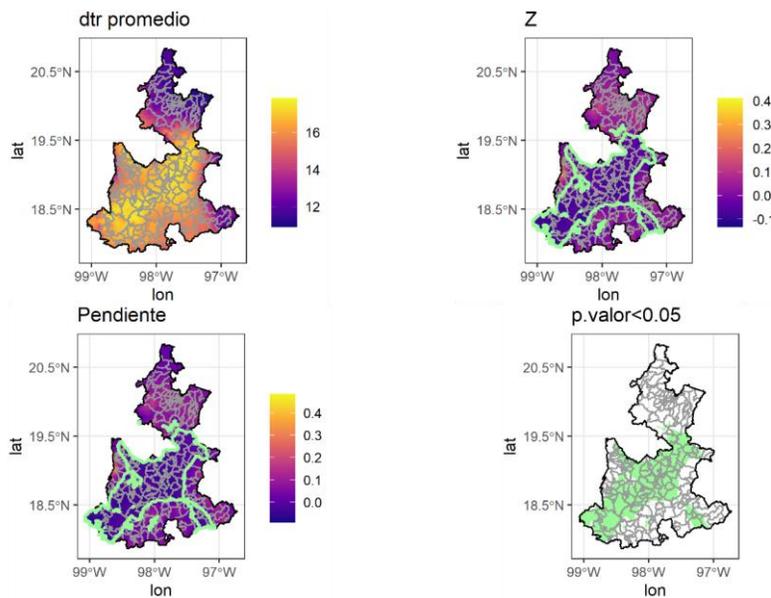


FIGURA 38. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA EL ESTADO.

### g. Oscilación térmica diaria (DTR)

El índice DTR da cuenta de la diferencia entre la temperatura máxima y mínima diaria, el cual es una variable relevante asociada con el nicho ecológico de las especies y su distribución espacial. Dependiendo de la magnitud de la tendencia de este índice, pueden ocurrir cambios en la distribución y fenología de las especies animales y vegetales, ocasionando diferentes efectos en los ecosistemas. 57% del área del estado presenta una tendencia a la disminución de este índice, 41% estadísticamente significativa, y en el 43% se ha presentado una tendencia opuesta no significativa. En Angelópolis, el 73% de la superficie ha presentado una tendencia a la disminución de la DTR, mientras que en la Sierra Nororiental la tendencia durante el periodo analizado es inversa y no significativa.



Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

FIGURA 39. OSCILACIÓN TÉRMICA DIARIA (DTR) PARA EL ESTADO

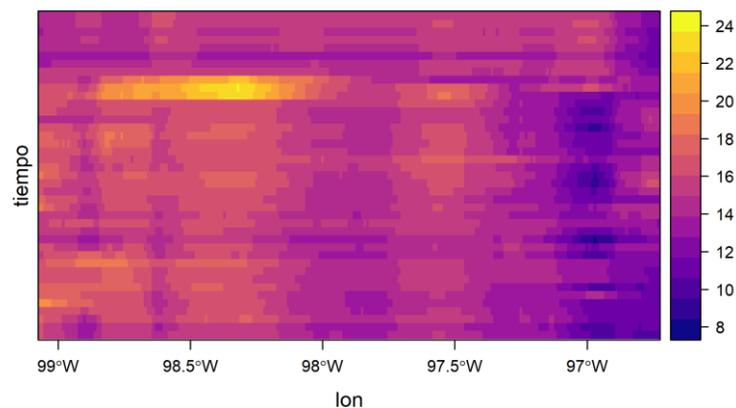


FIGURA 40. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA OSCILACIÓN TÉRMICA DIARIA (DTR) PARA EL ESTADO.

## REGIÓN ANGELÓPOLIS

### Índices de precipitación

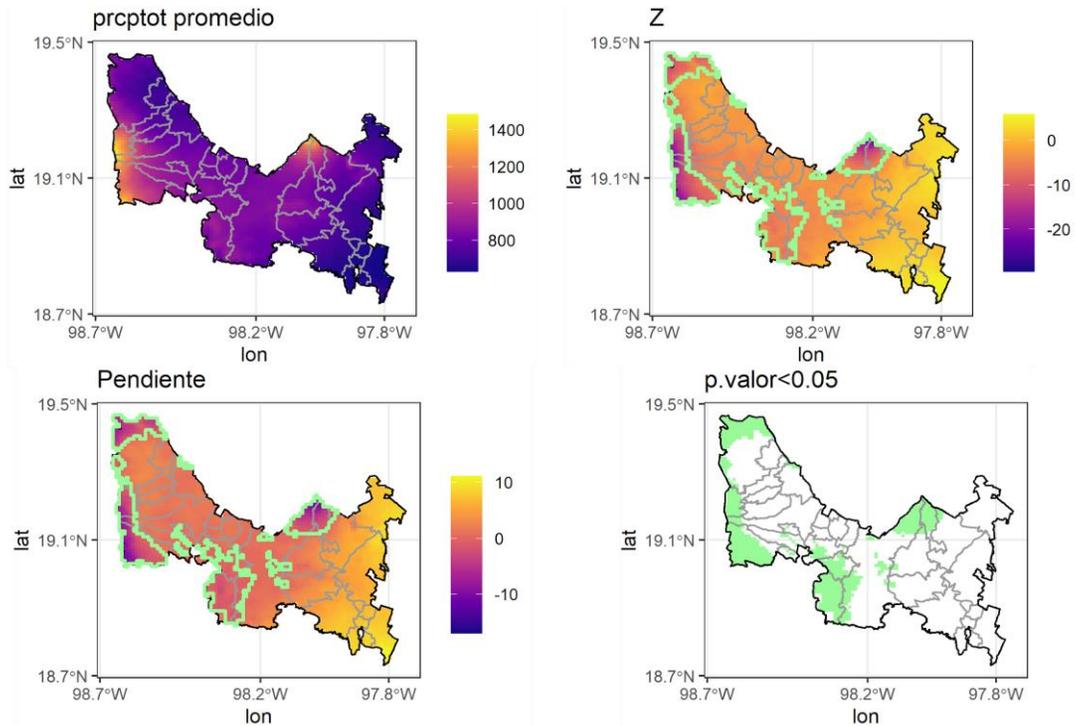


FIGURA 41. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

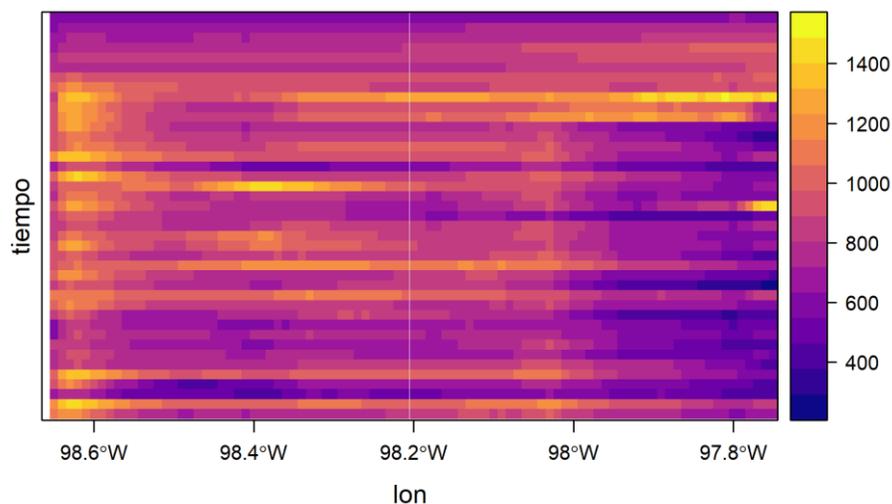


FIGURA 42. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS.

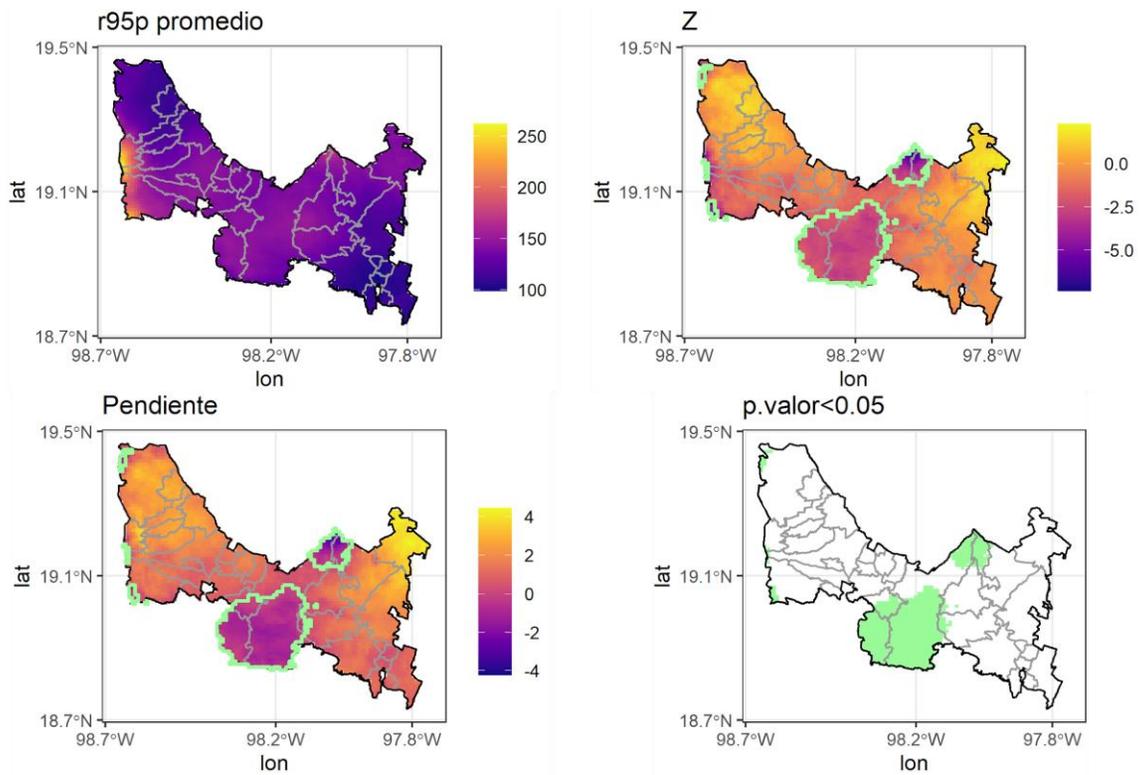


FIGURA 43. CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (r95p) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

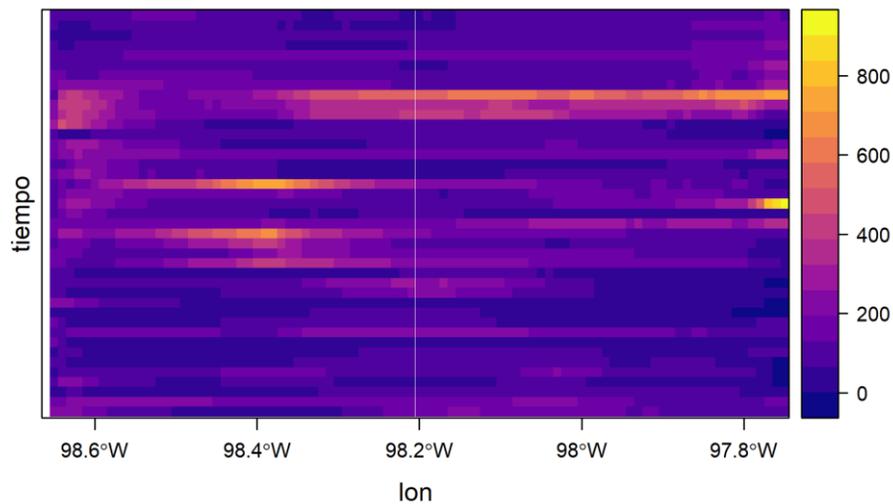


FIGURA 44. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (r95p) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS.

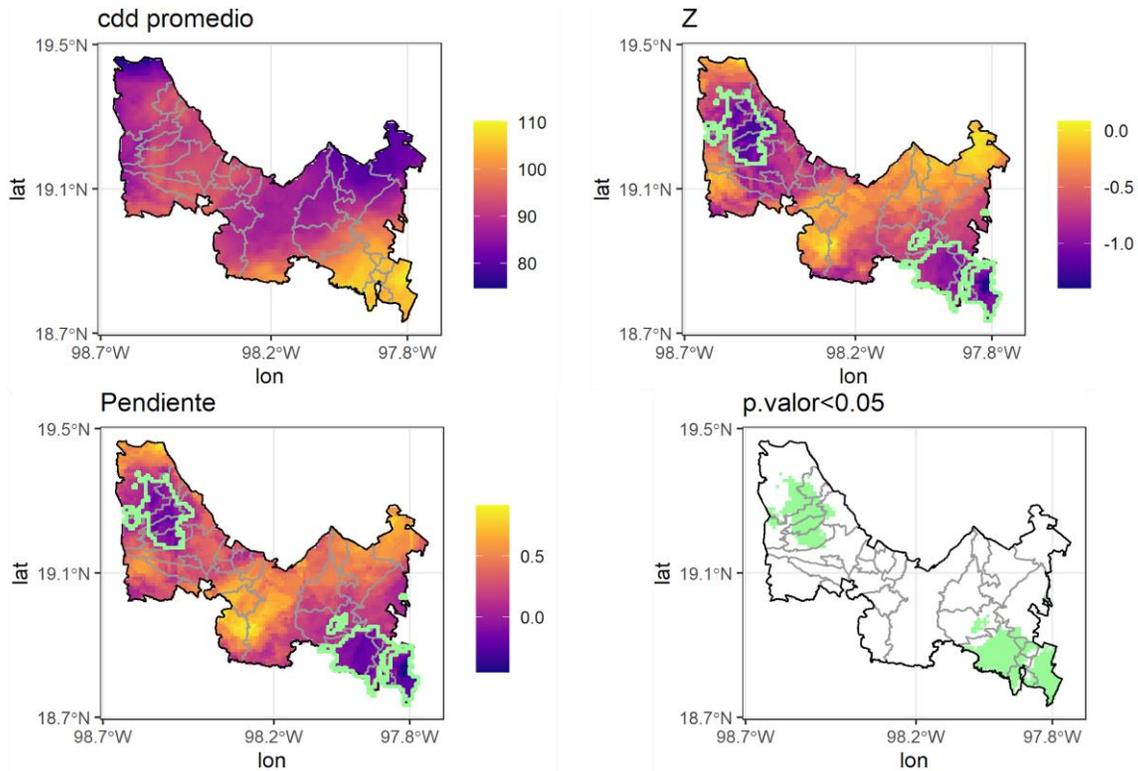


FIGURA 45. DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

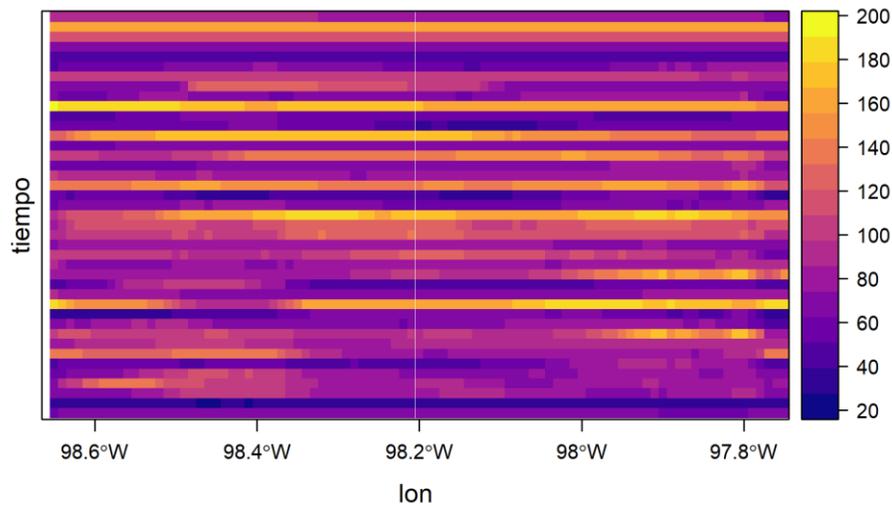


FIGURA 46. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS.

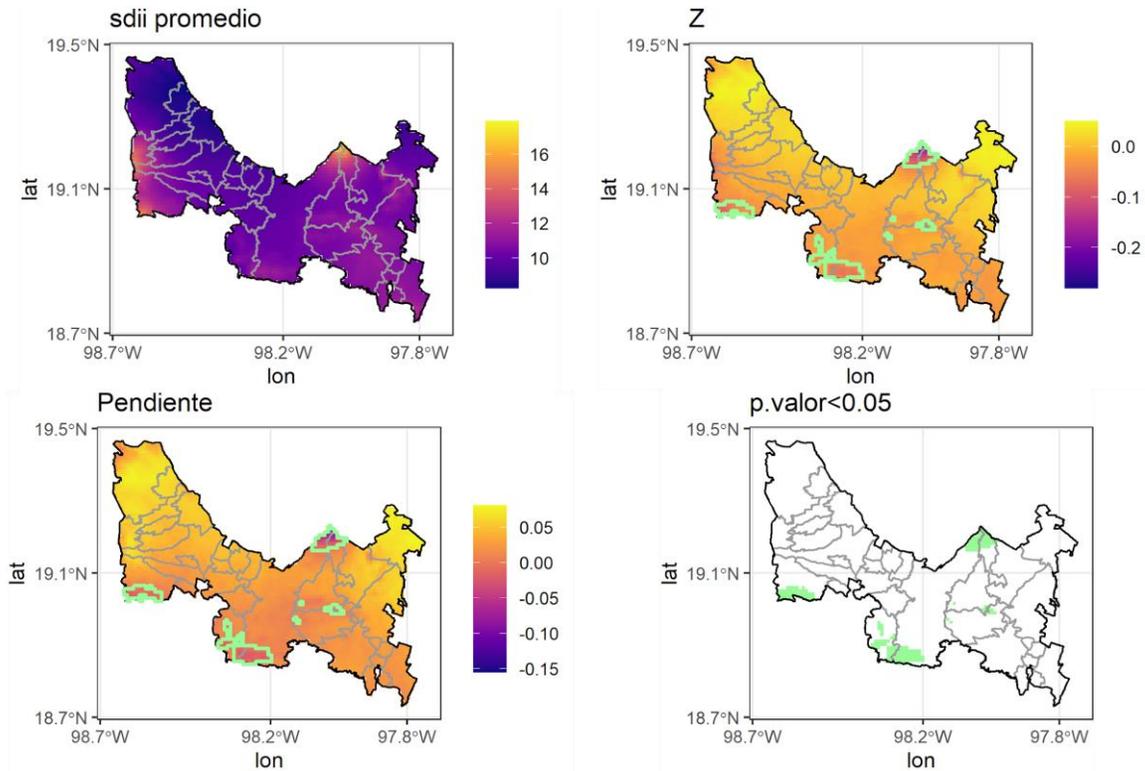


FIGURA 47. ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

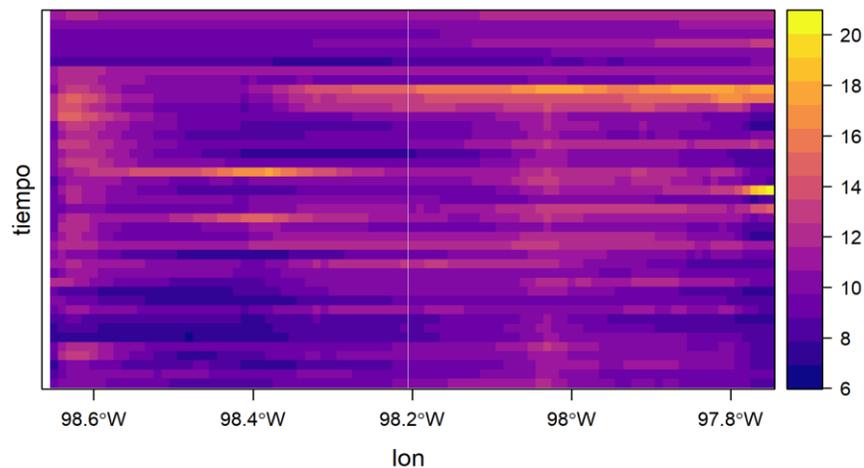


FIGURA 48. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS.

## Índices de temperatura

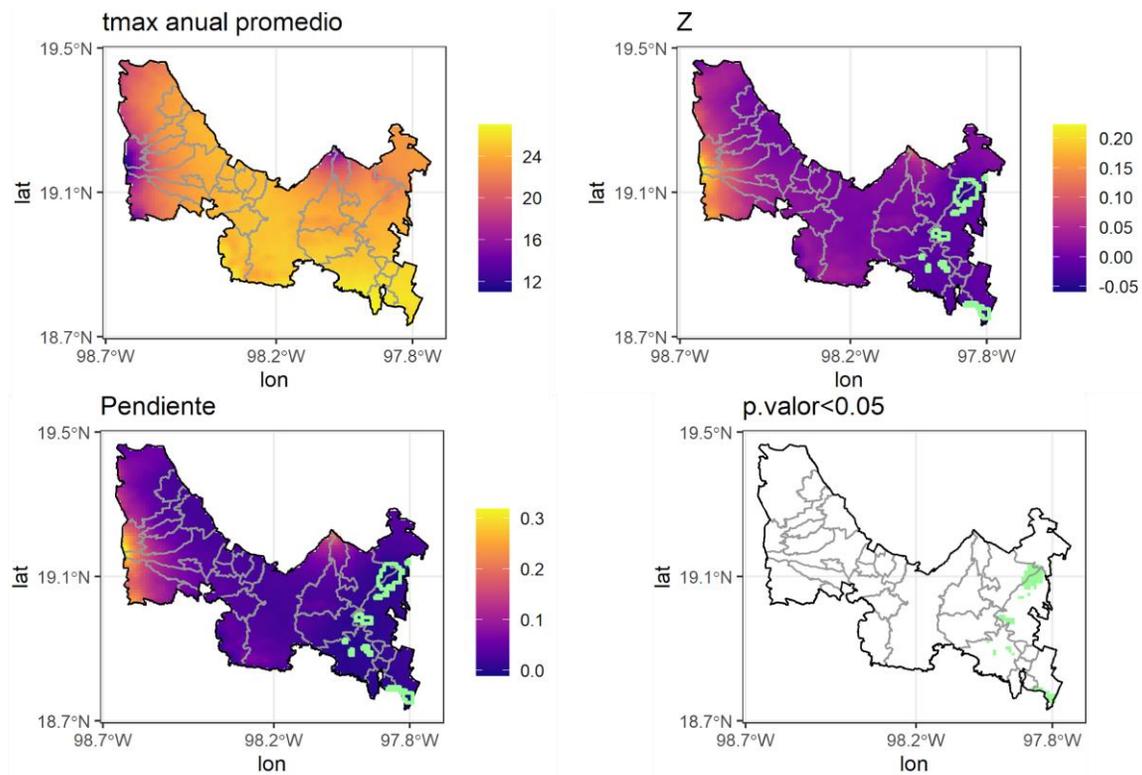


FIGURA 49. TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL (TMAX) PARA LA REGIÓN ÁNGELÓPOLIS

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

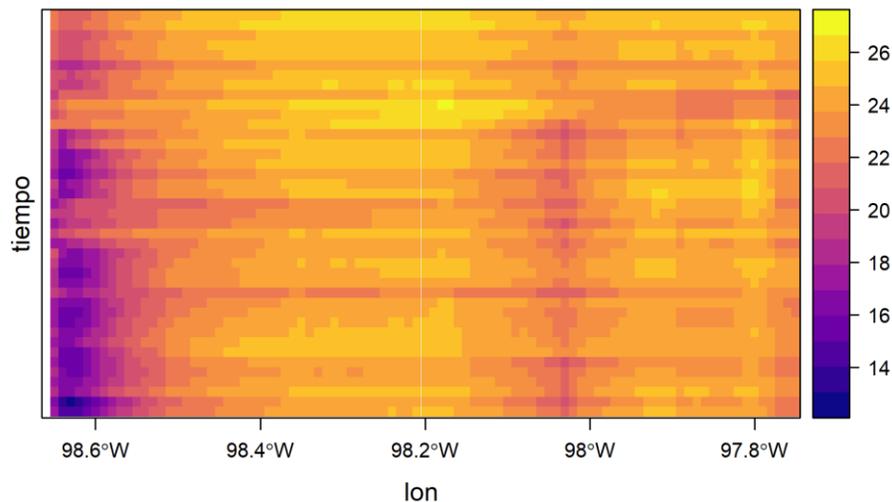


FIGURA 50. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (TMAX) MEDIA ANUAL PARA LA REGIÓN ÁNGELÓPOLIS.

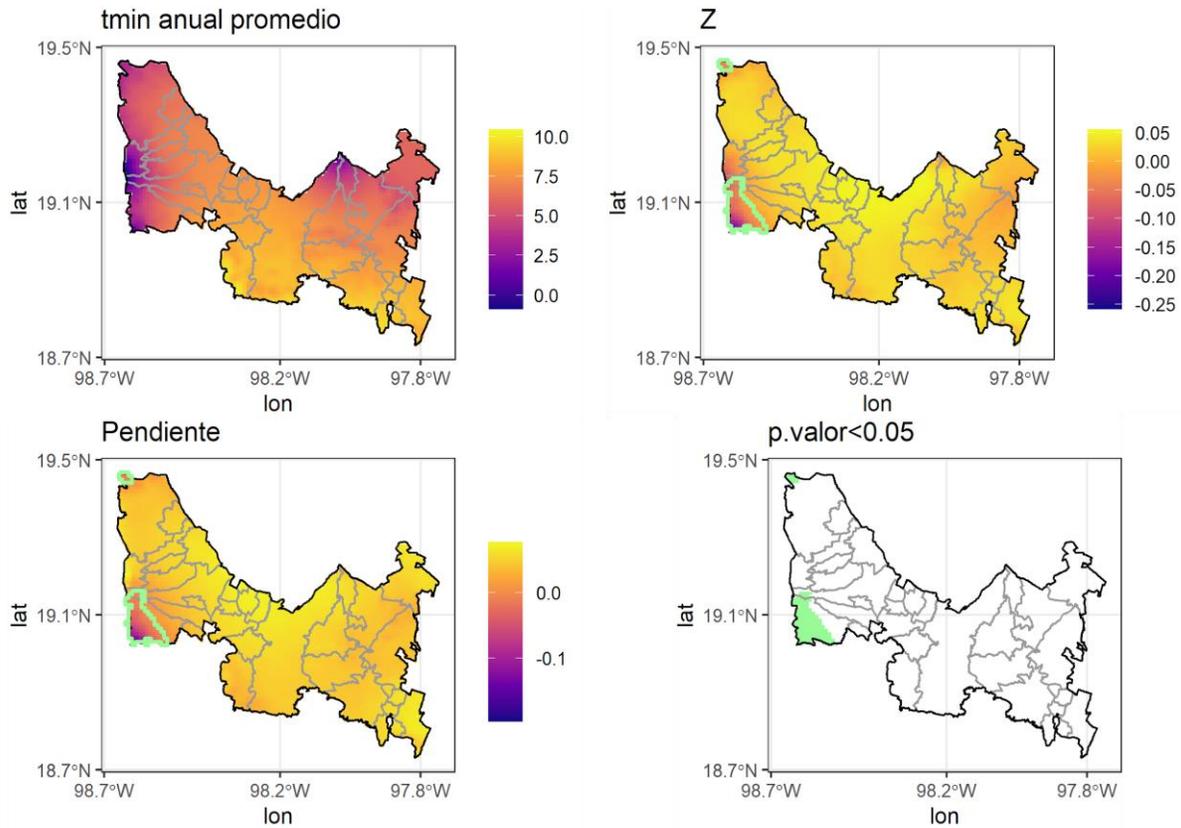


FIGURA 51. TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

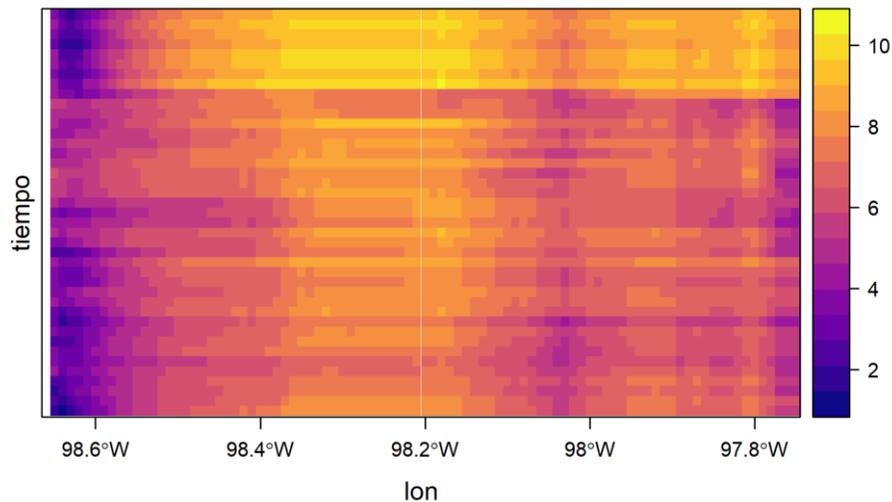


FIGURA 52. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS.

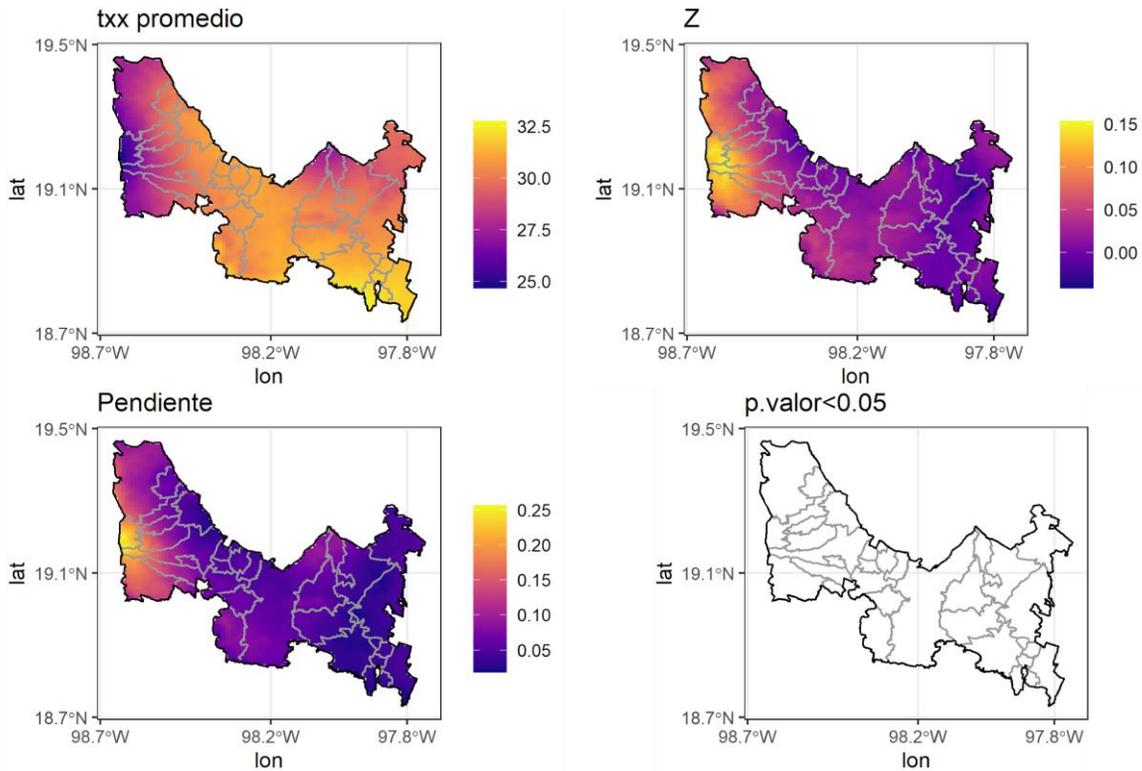


FIGURA 53. VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

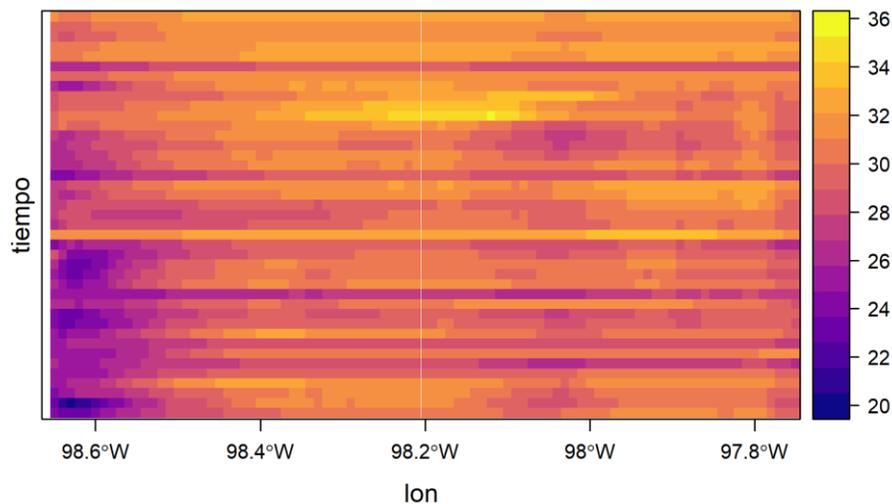


FIGURA 54. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS.

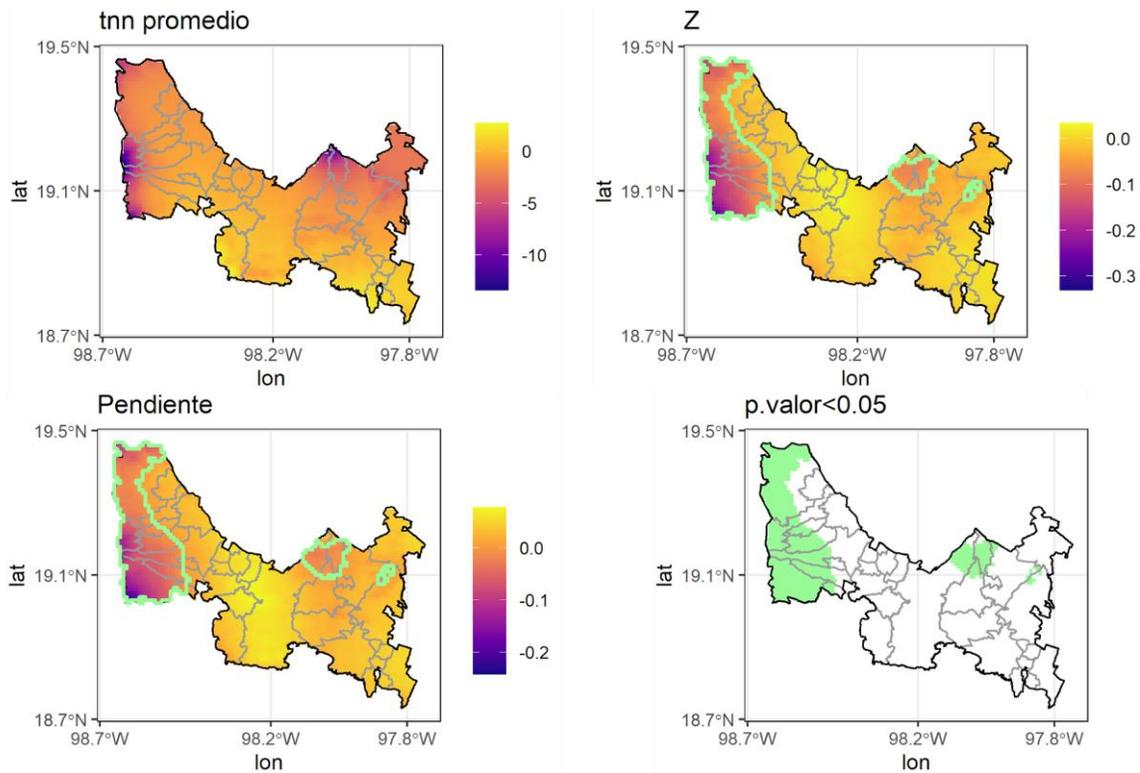


FIGURA 55. VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

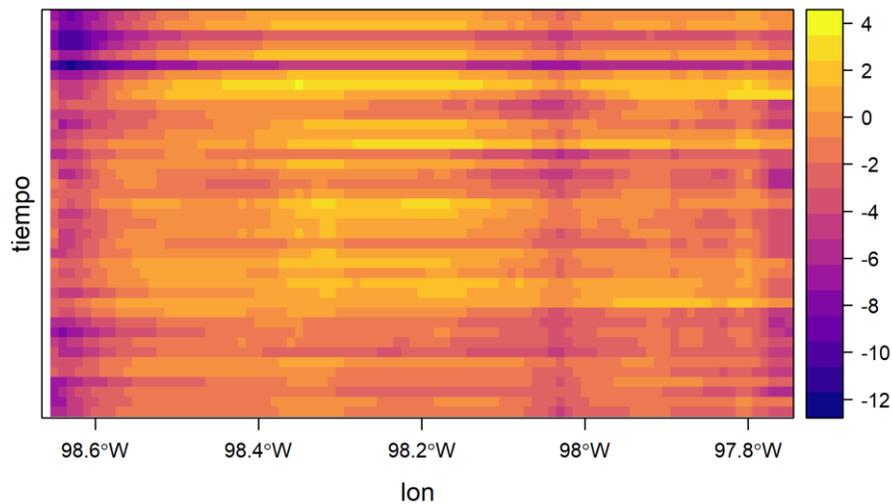


FIGURA 56. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS.

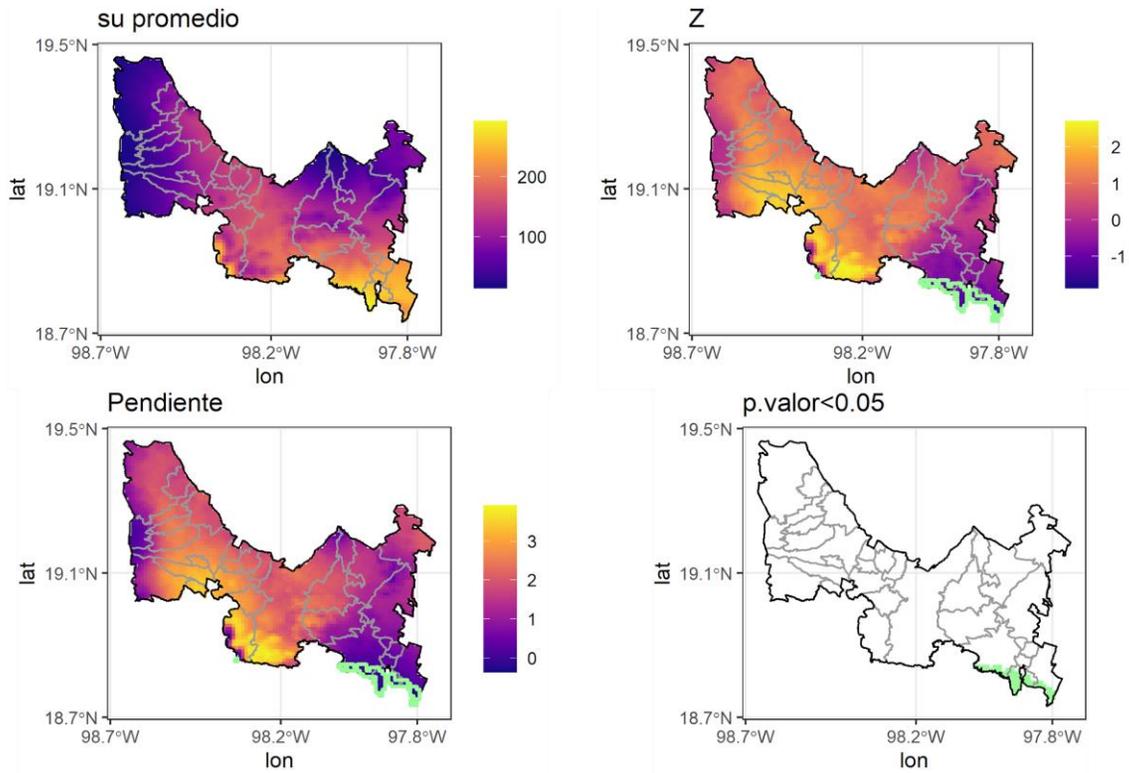


FIGURA 57. NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

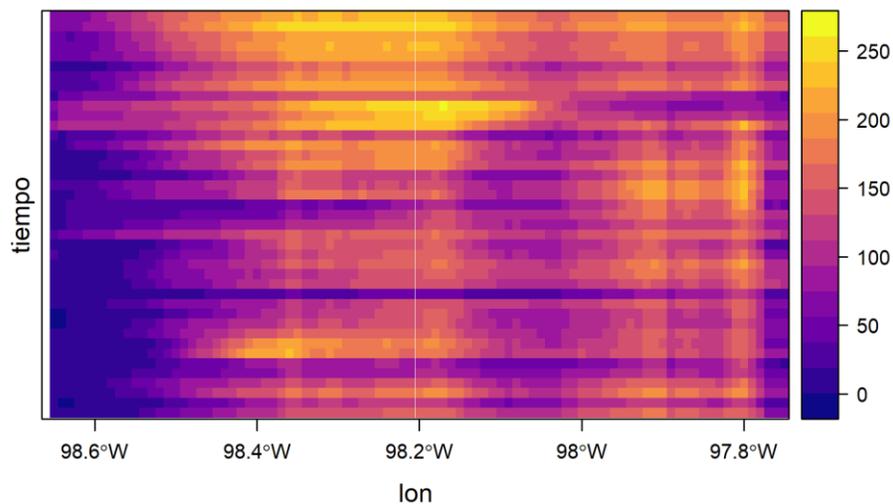


FIGURA 58. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS.

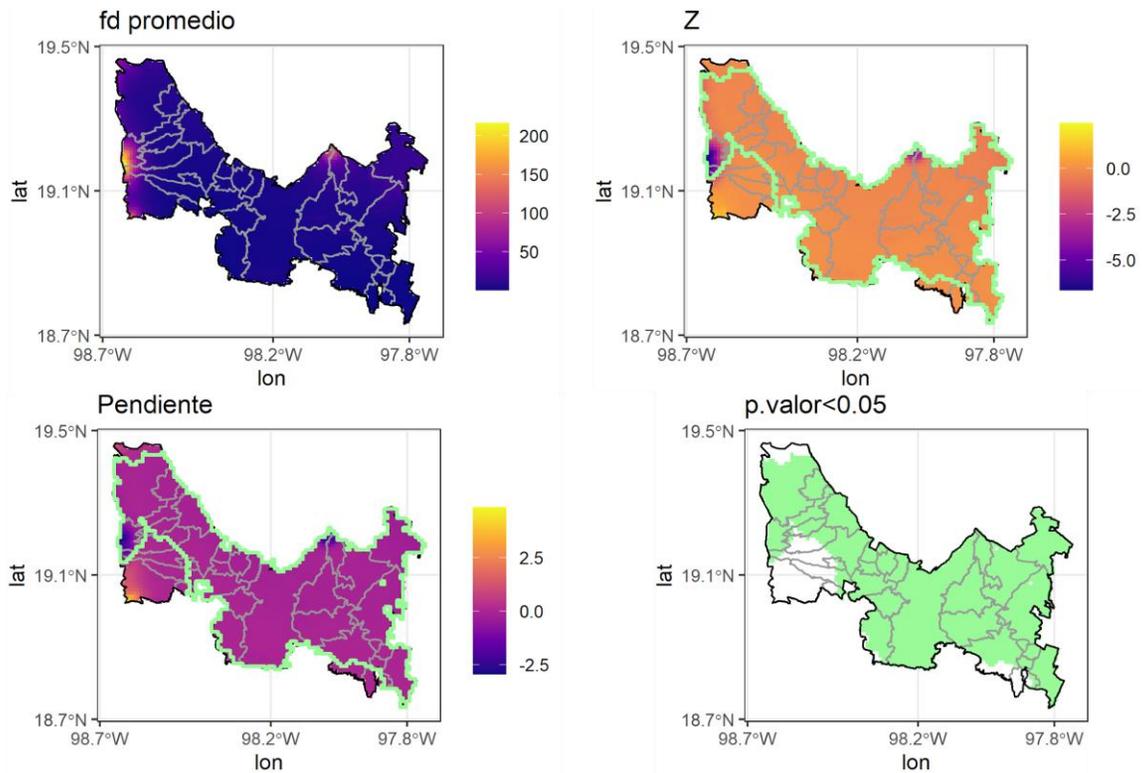


FIGURA 59. NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

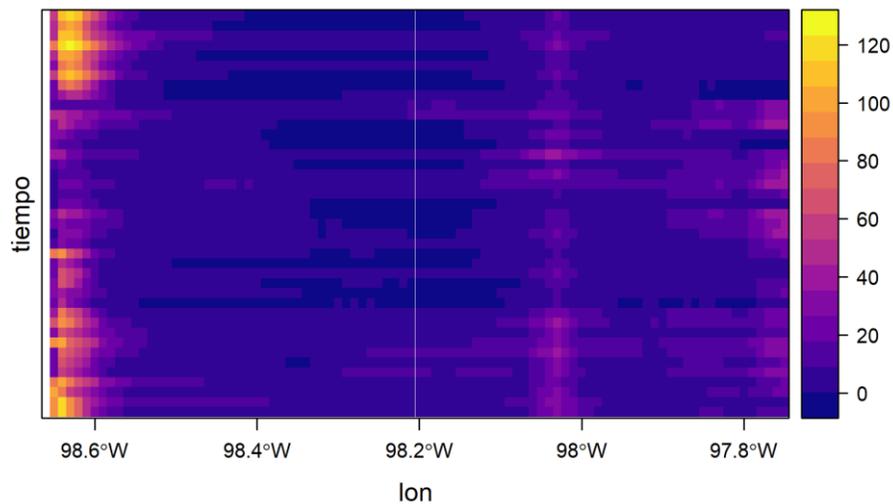
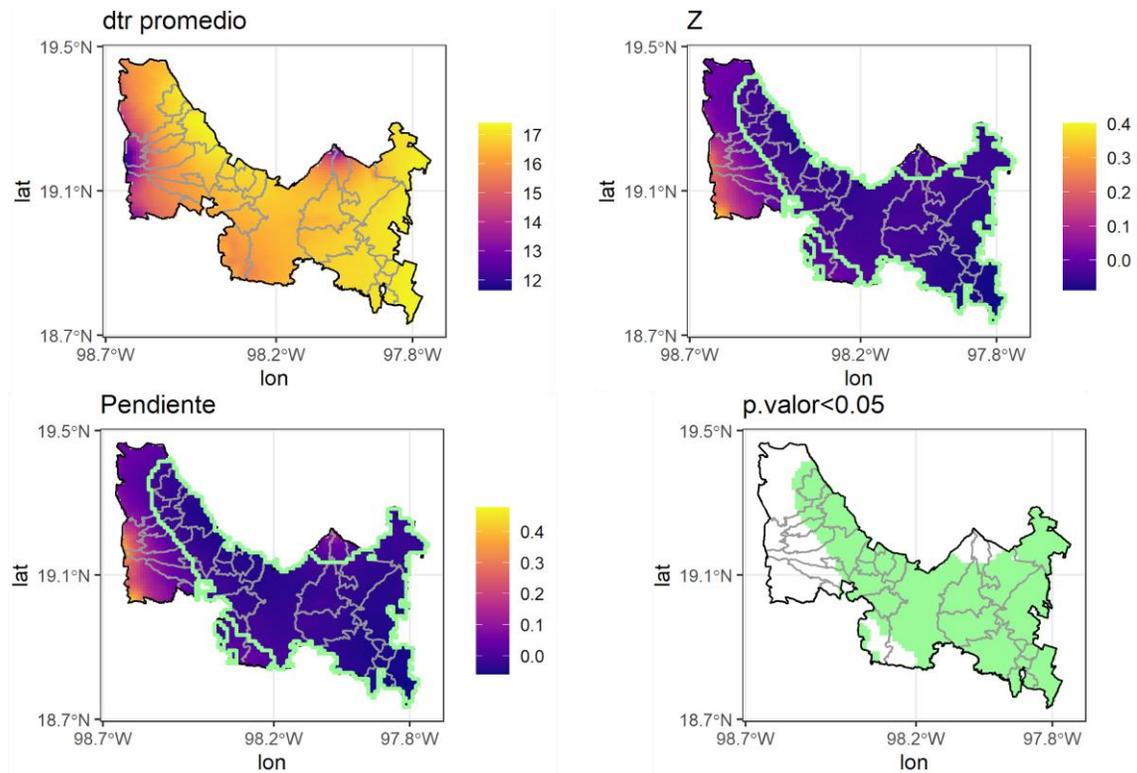
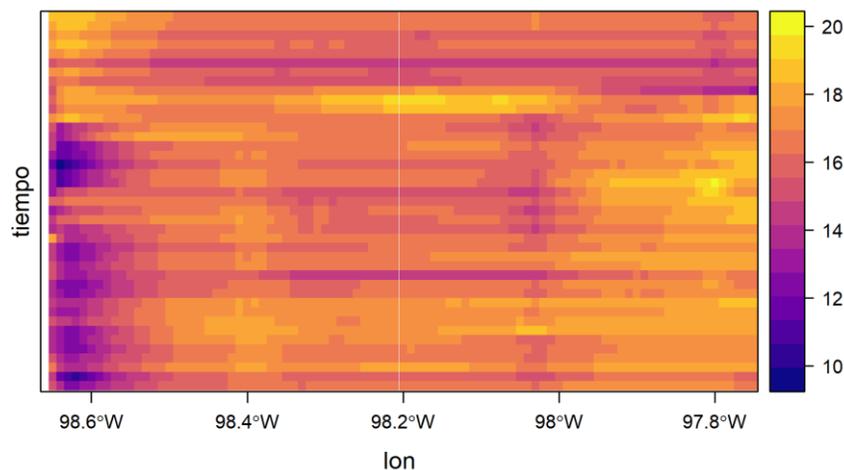


FIGURA 60. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS.



**FIGURA 61. RANGO DE TEMPERATURA DIARIO (DTR) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS**

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.



**FIGURA 62. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL RANGO DE TEMPERATURA DIARIO (DTR) PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS.**

MIXTECA

Índices de precipitación

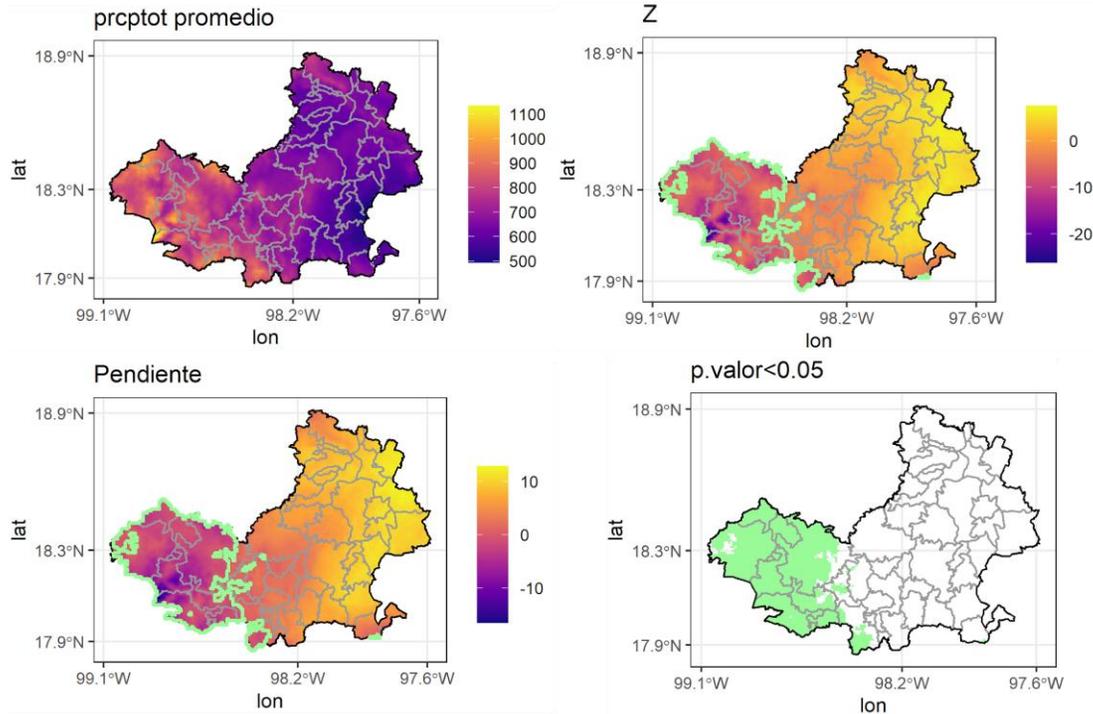


FIGURA 63. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA LA REGIÓN MIXTECA

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

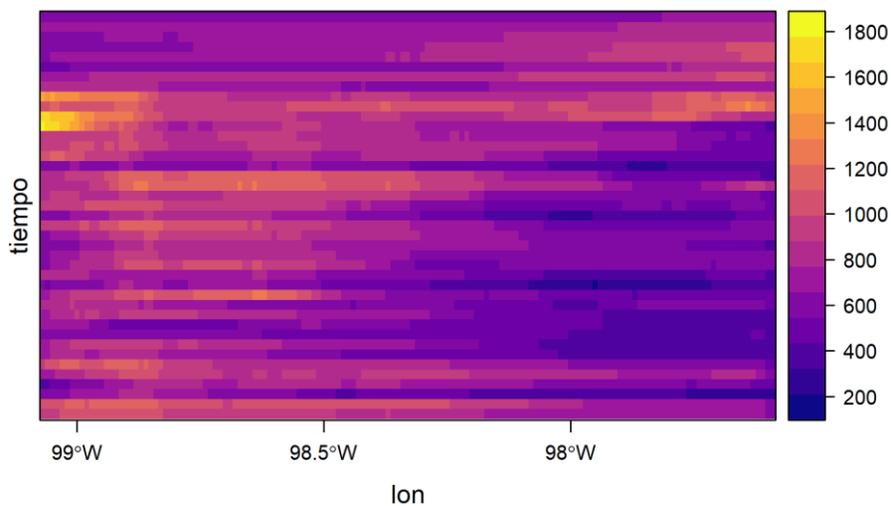


FIGURA 64. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA LA REGIÓN MIXTECA.

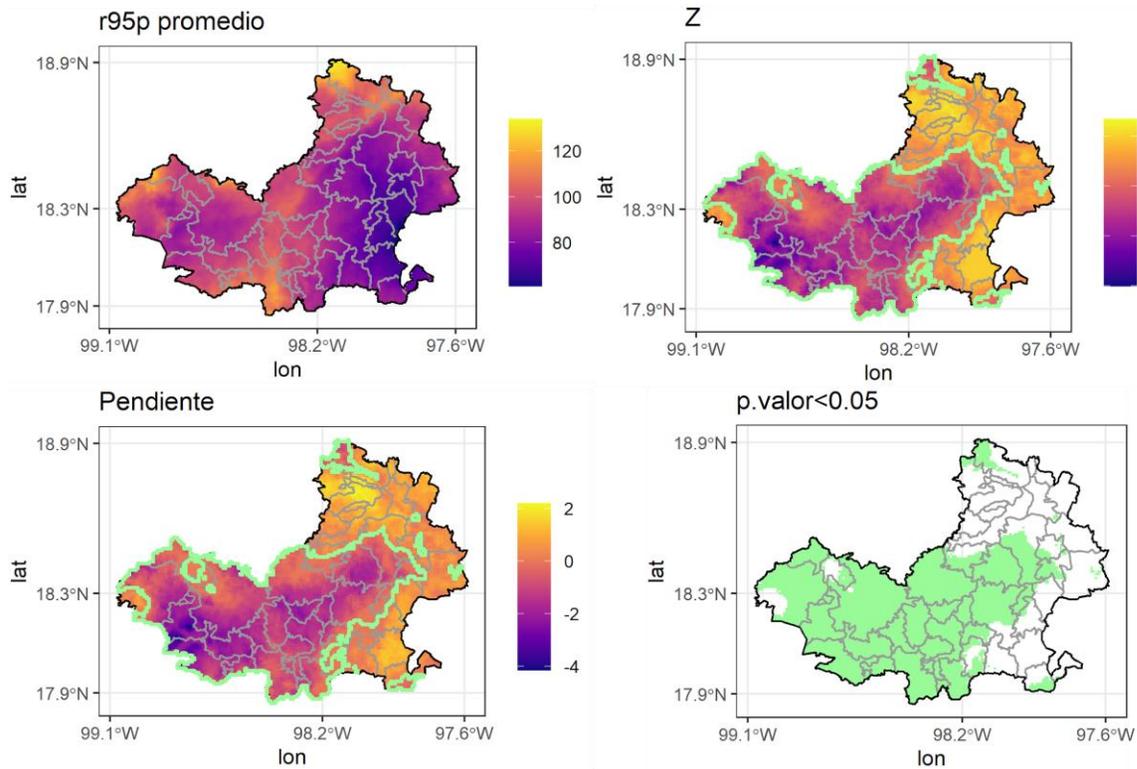


FIGURA 65. CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA LA REGIÓN MIXTECA

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

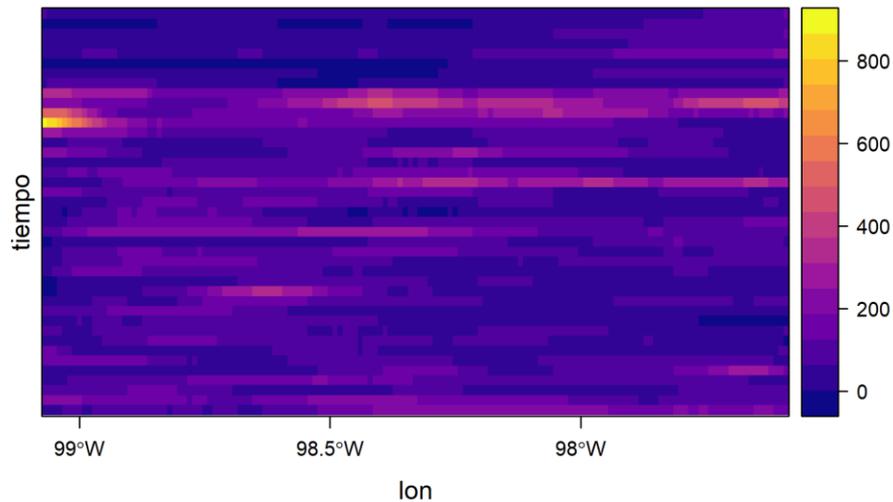


FIGURA 66. DIAGRAMA DE HOIVMÖLLER DE LA CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA LA REGIÓN MIXTECA.

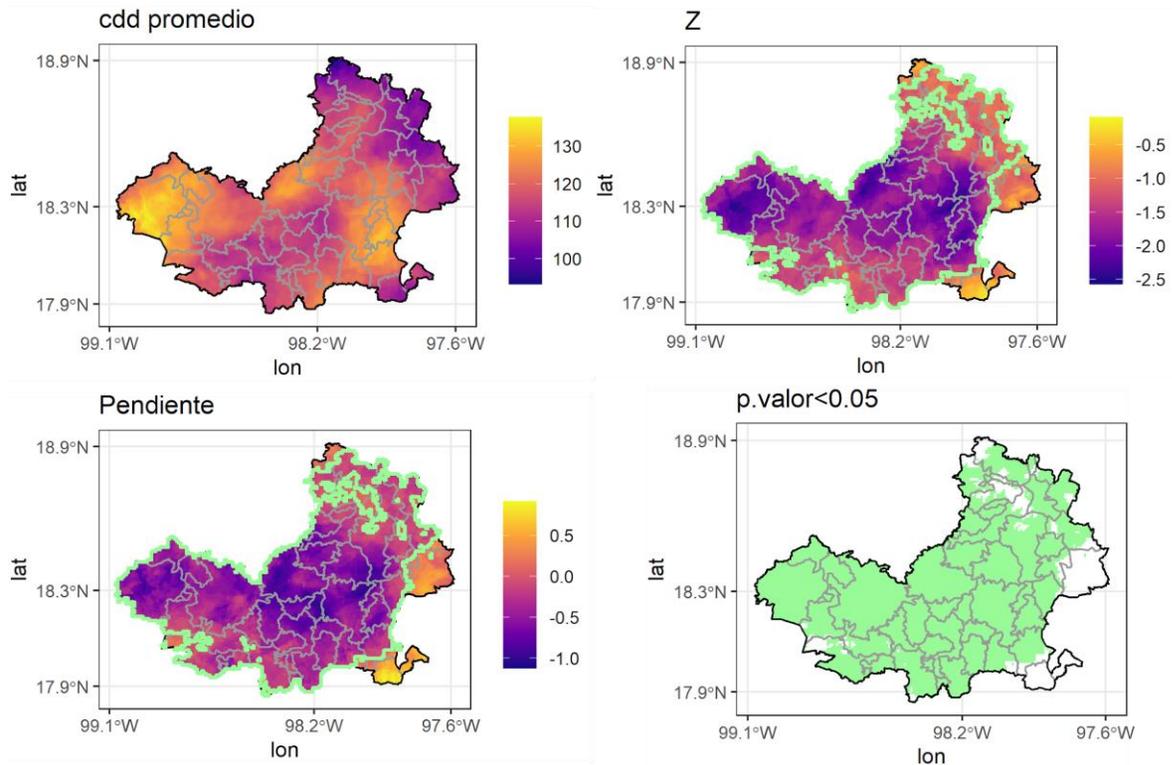


FIGURA 67. DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA LA REGIÓN MIXTECA

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

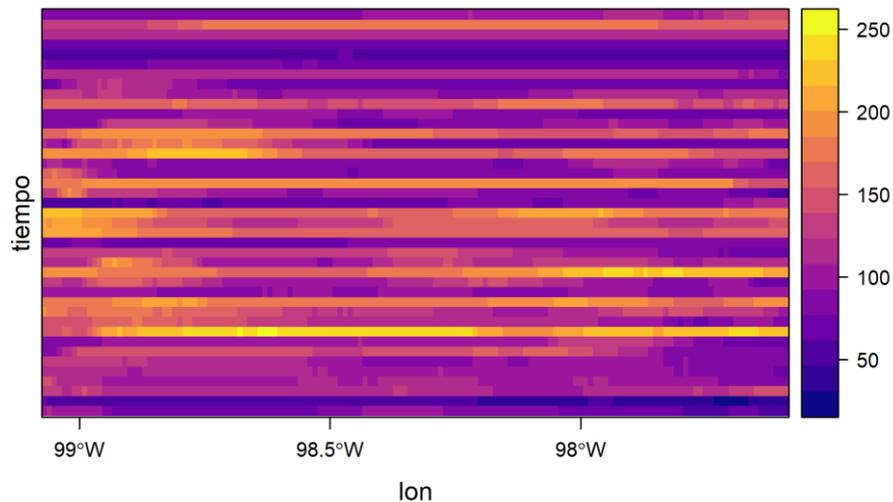


FIGURA 68. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA LA REGIÓN MIXTECA.

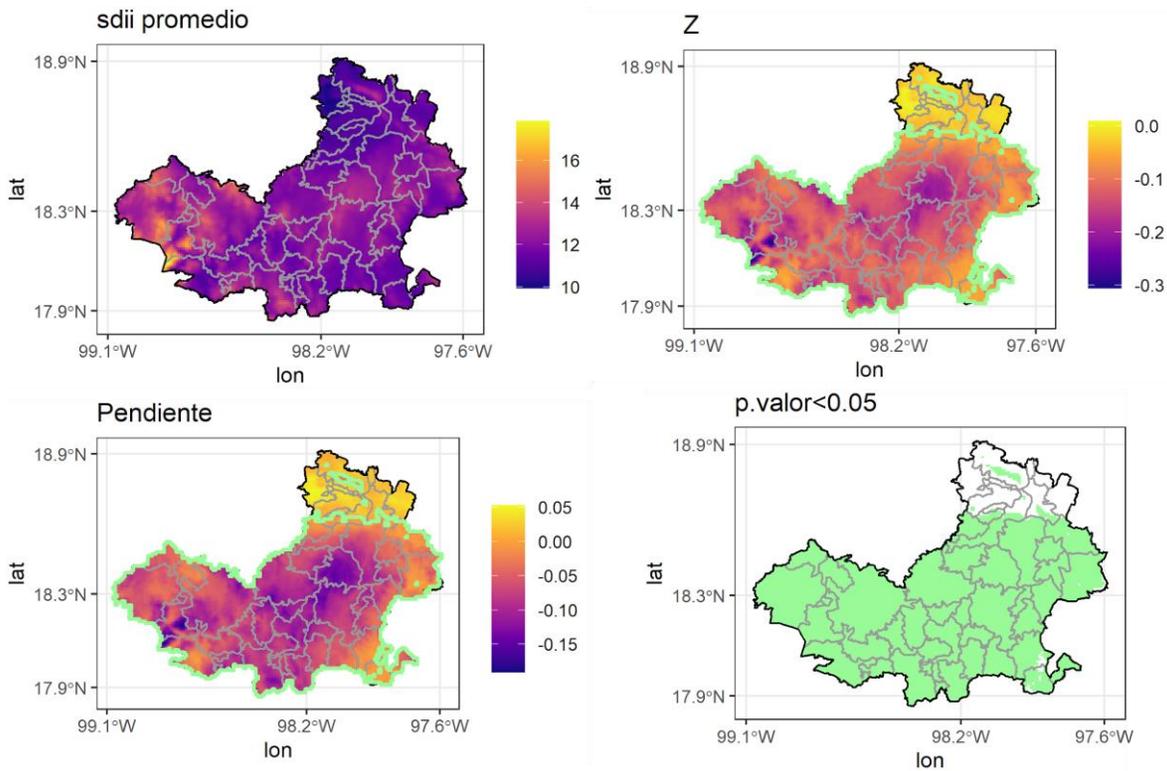


FIGURA 69. ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA LA REGIÓN MIXTECA

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

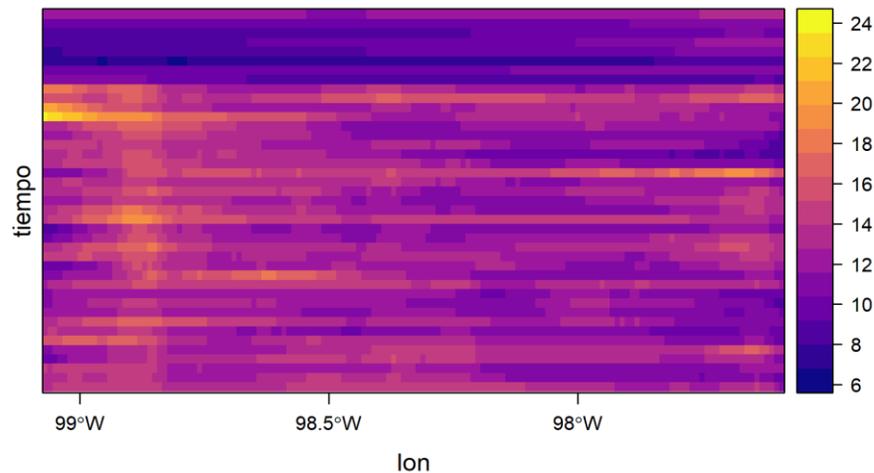


FIGURA 70. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA LA REGIÓN MIXTECA.

## Índices de temperatura

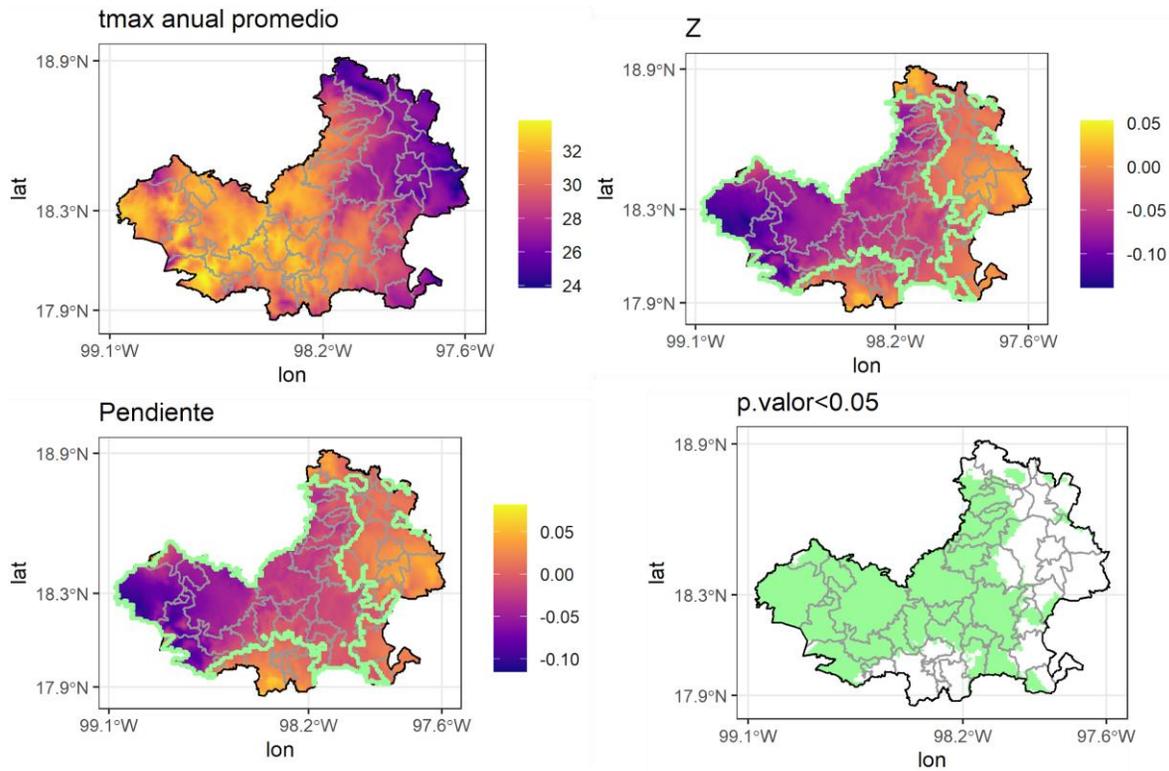


FIGURA 71. TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL (TMAX) PARA LA REGIÓN MIXTECA

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

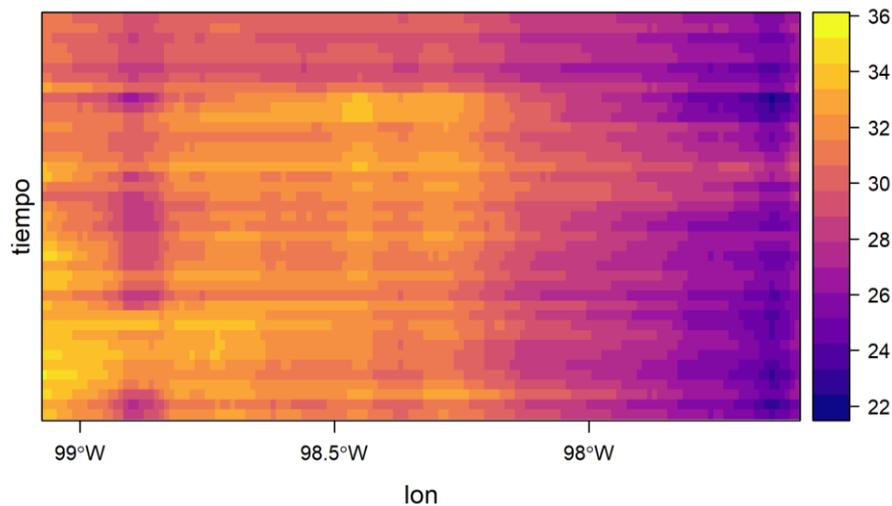


FIGURA 72. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (TMAX) MEDIA ANUAL PARA LA REGIÓN MIXTECA.

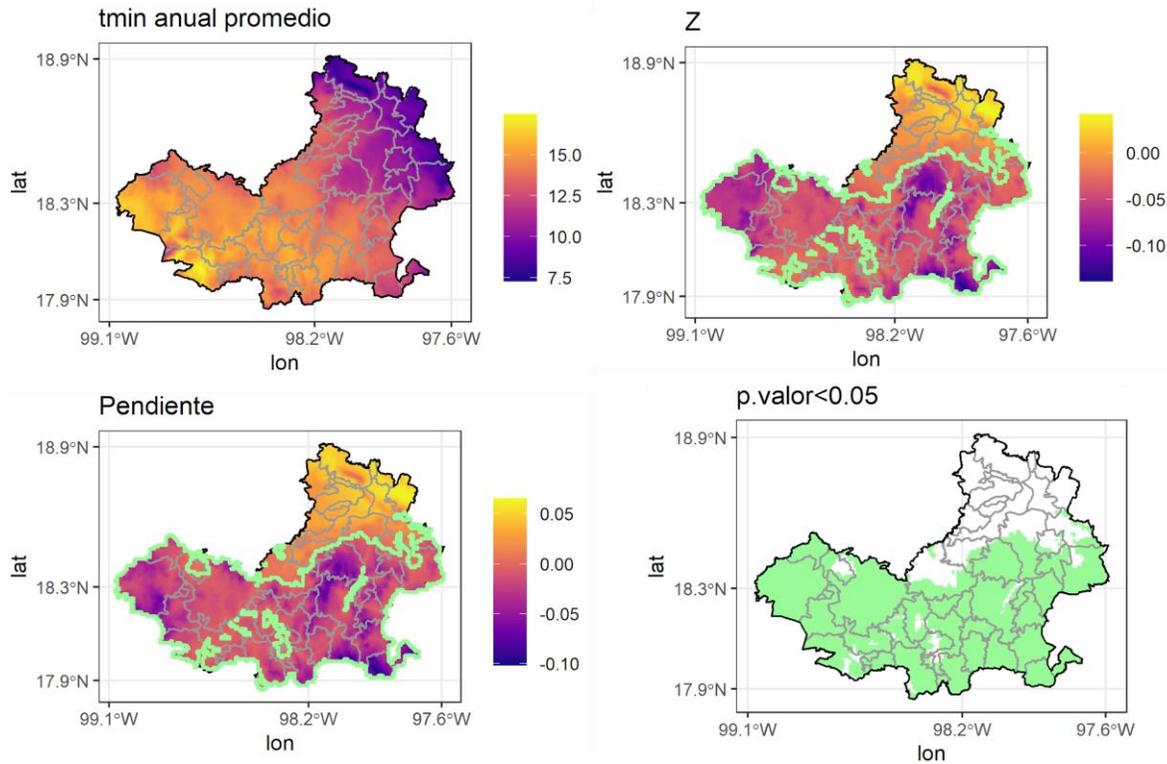


FIGURA 73. TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA LA REGIÓN MIXTECA

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

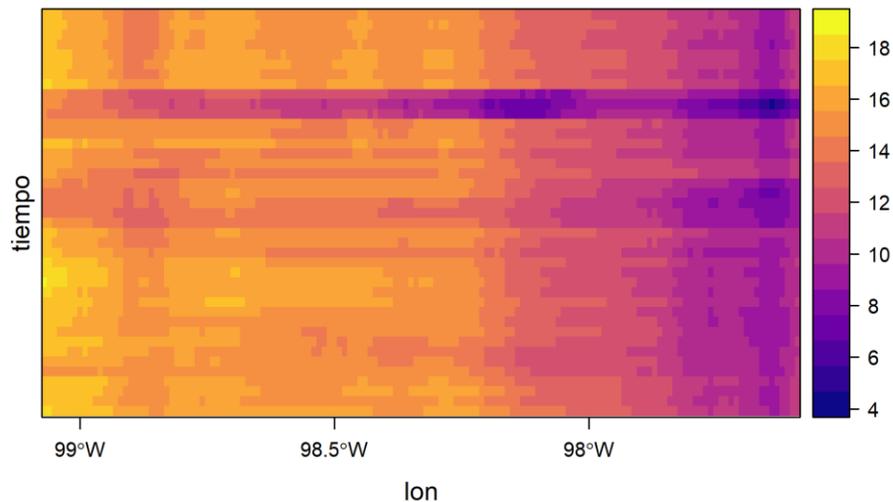


FIGURA 74. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA LA REGIÓN MIXTECA.

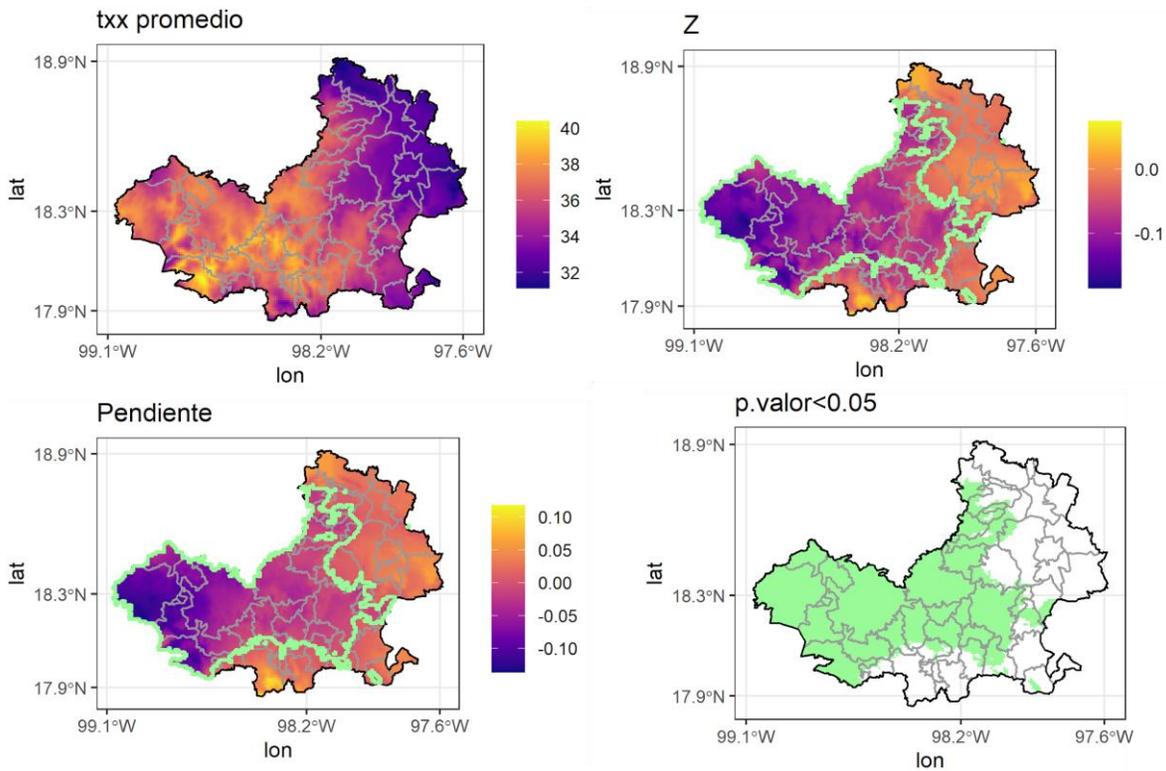


FIGURA 75. VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA LA REGIÓN MIXTECA; Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

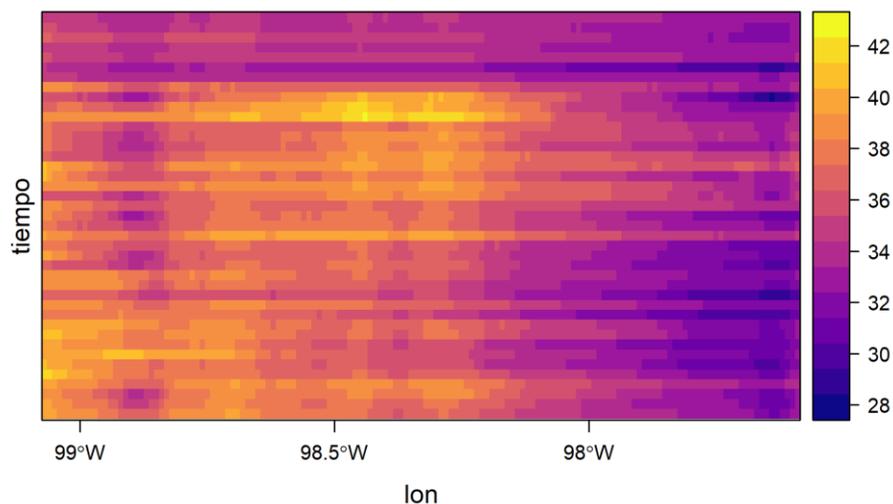


FIGURA 76. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA LA REGIÓN MIXTECA.

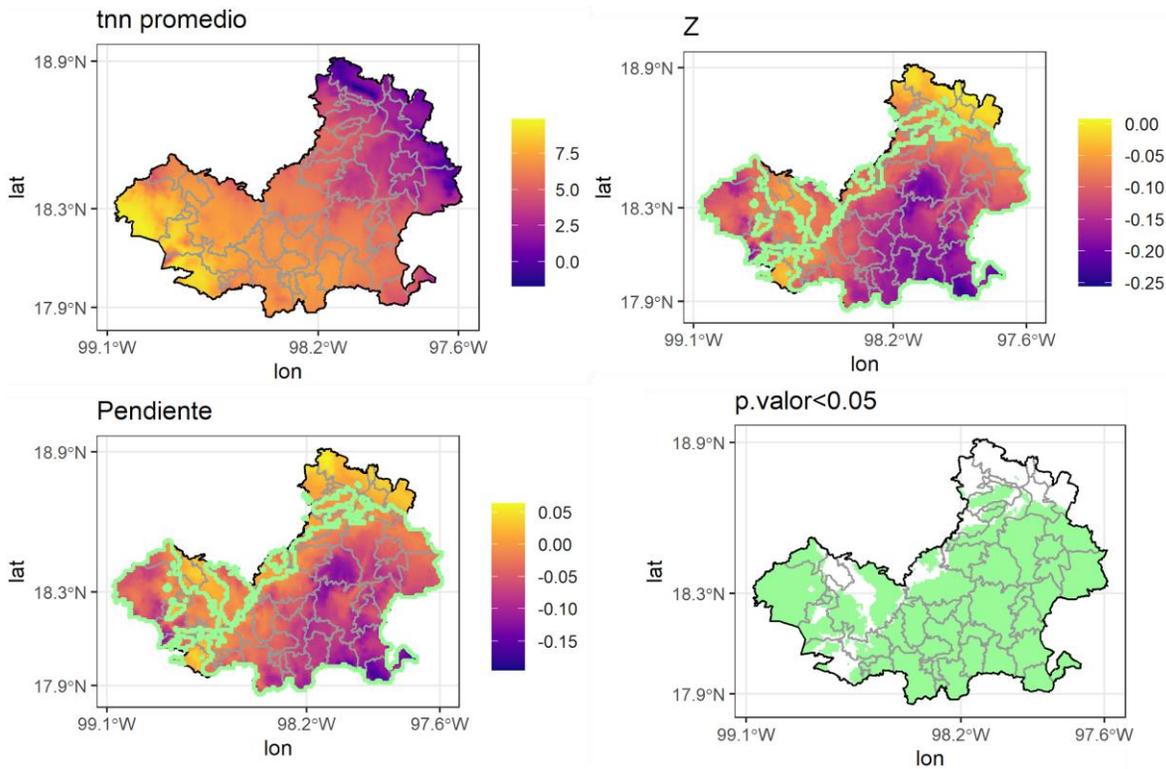


FIGURA 77. VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA LA REGIÓN MIXTECA; Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

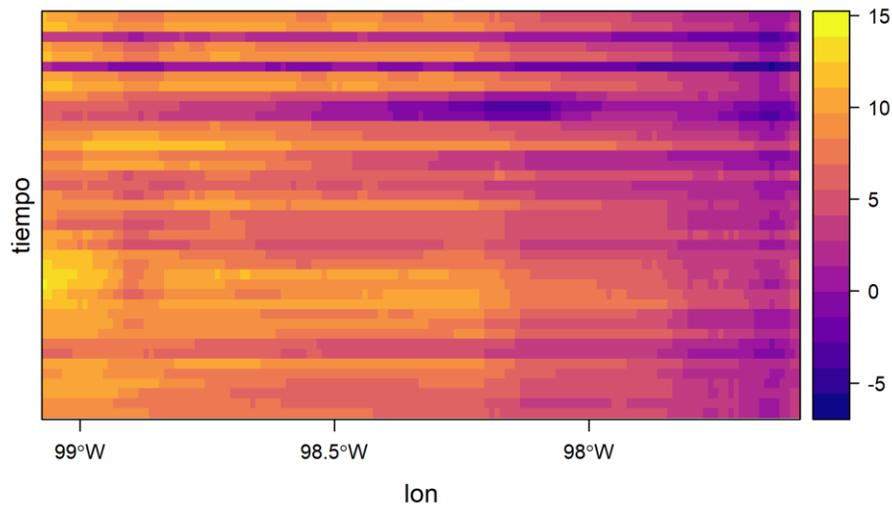


FIGURA 78. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA LA REGIÓN MIXTECA.

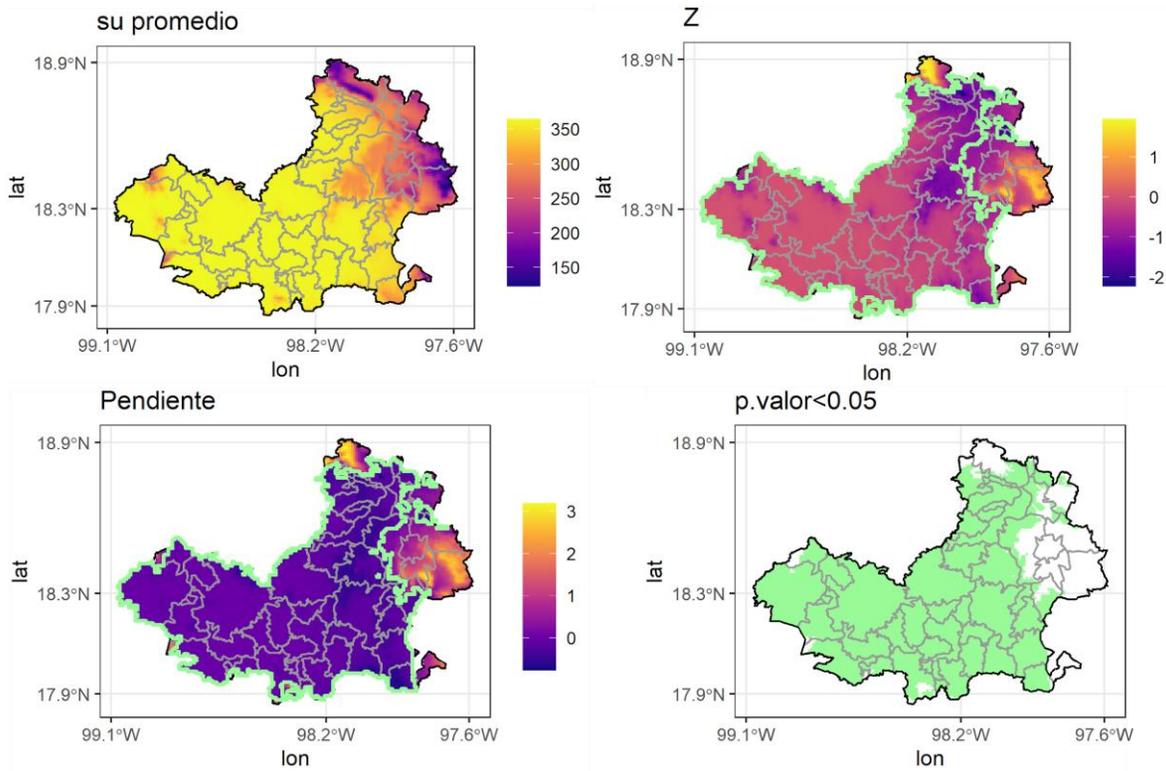


FIGURA 79. NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA LA REGIÓN MIXTECA;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

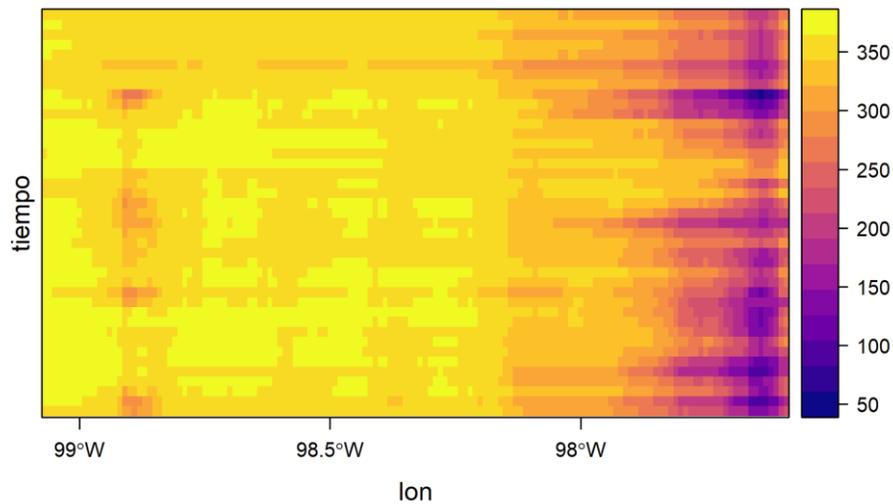


FIGURA 80. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA LA REGIÓN MIXTECA.

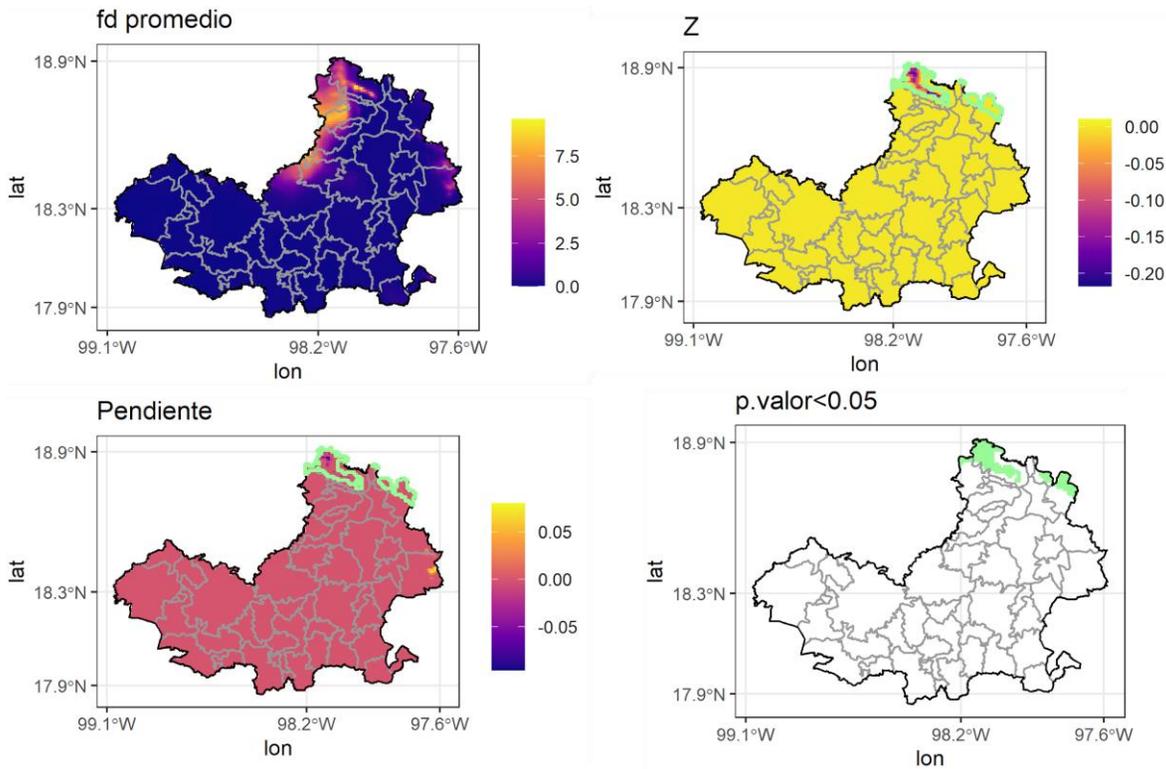


FIGURA 81. NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA LA REGIÓN MIXTECA;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

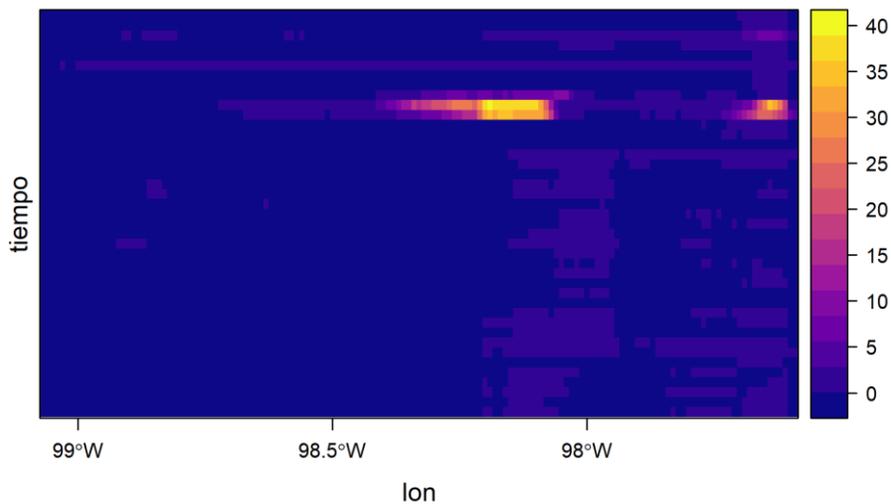
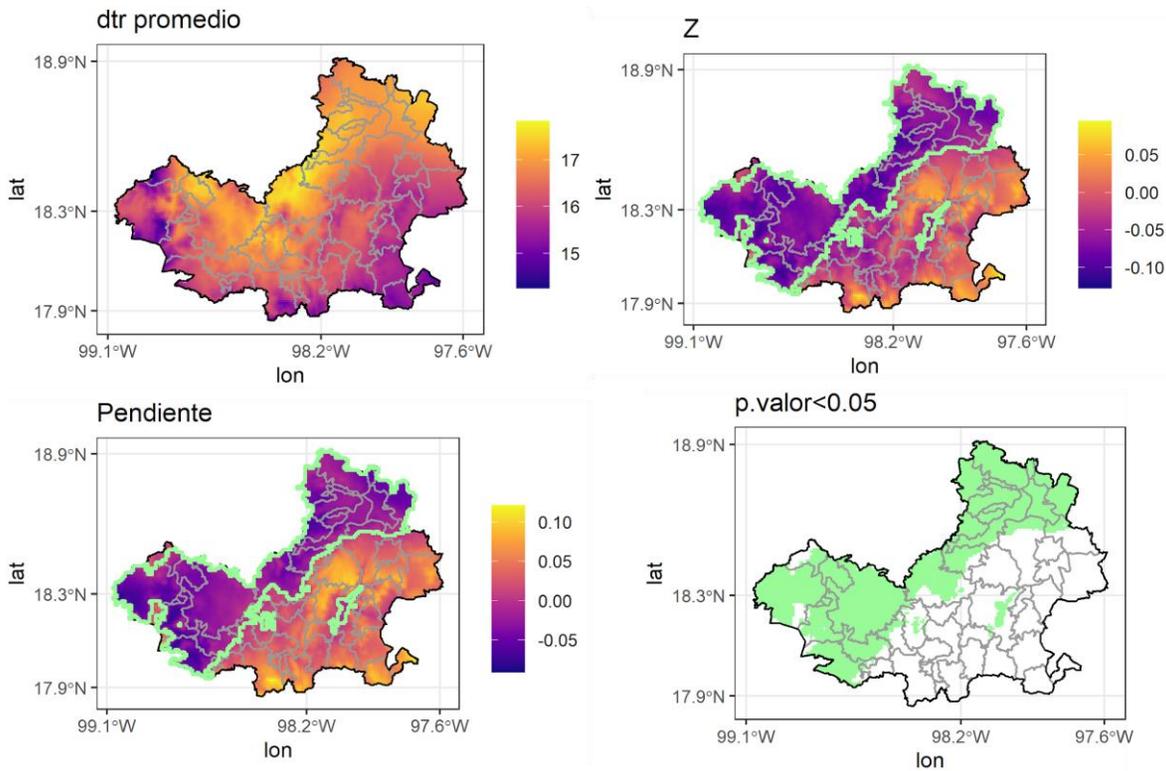
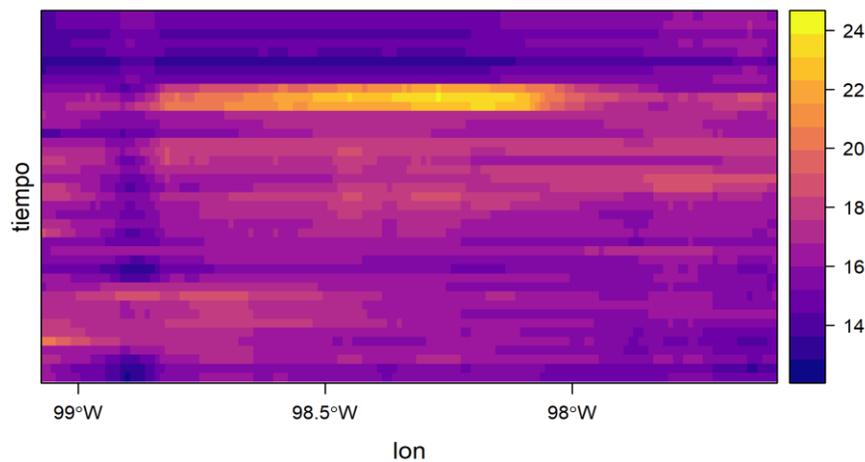


FIGURA 82. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA LA REGIÓN MIXTECA.



**FIGURA 83. RANGO DE TEMPERATURA DIARIO (DTR) PARA LA REGIÓN MIXTECA**

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.



**FIGURA 84. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL RANGO DE TEMPERATURA DIARIO (DTR) PARA LA REGIÓN MIXTECA.**

## SIERRA NEGRA

### Índices de precipitación

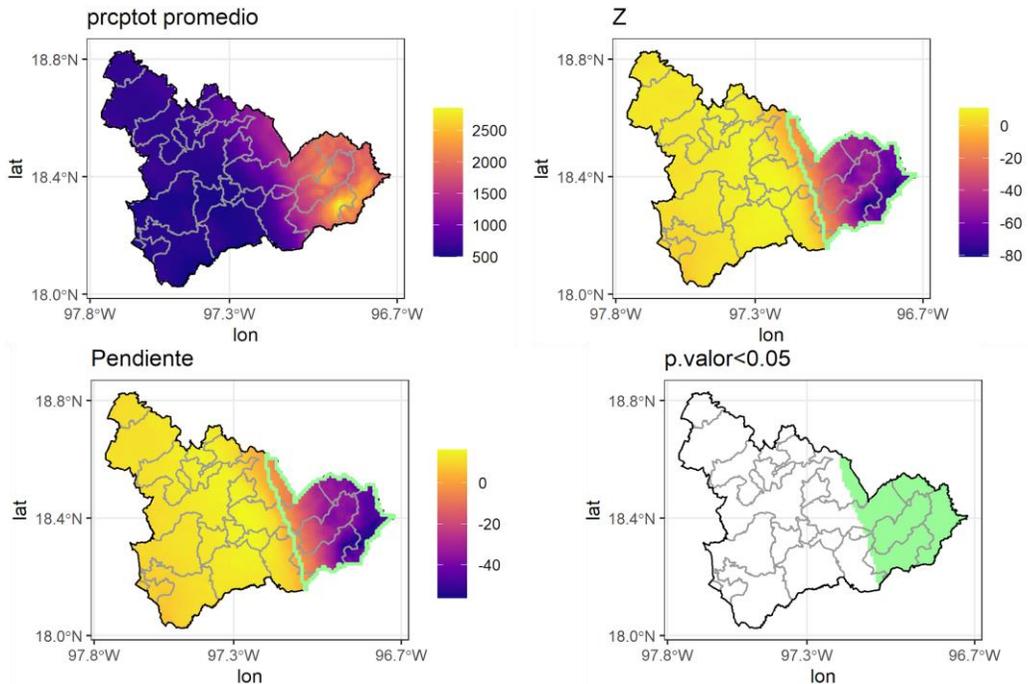


FIGURA 85. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

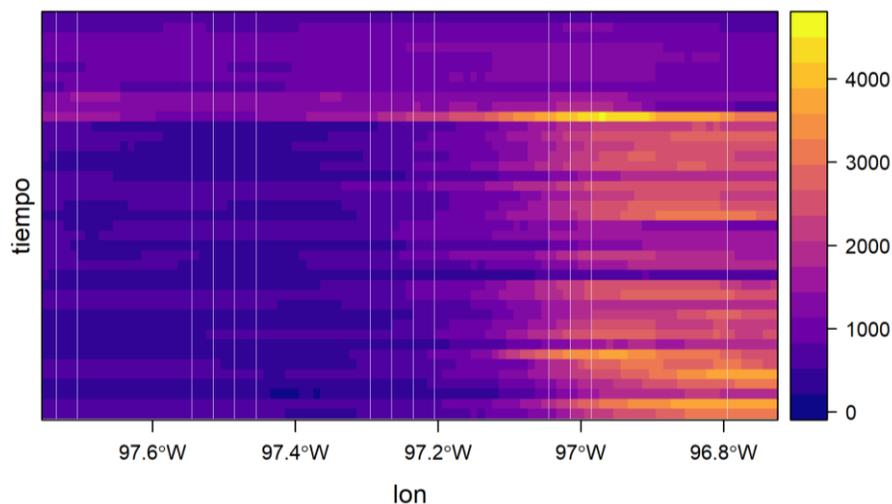


FIGURA 86. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA.

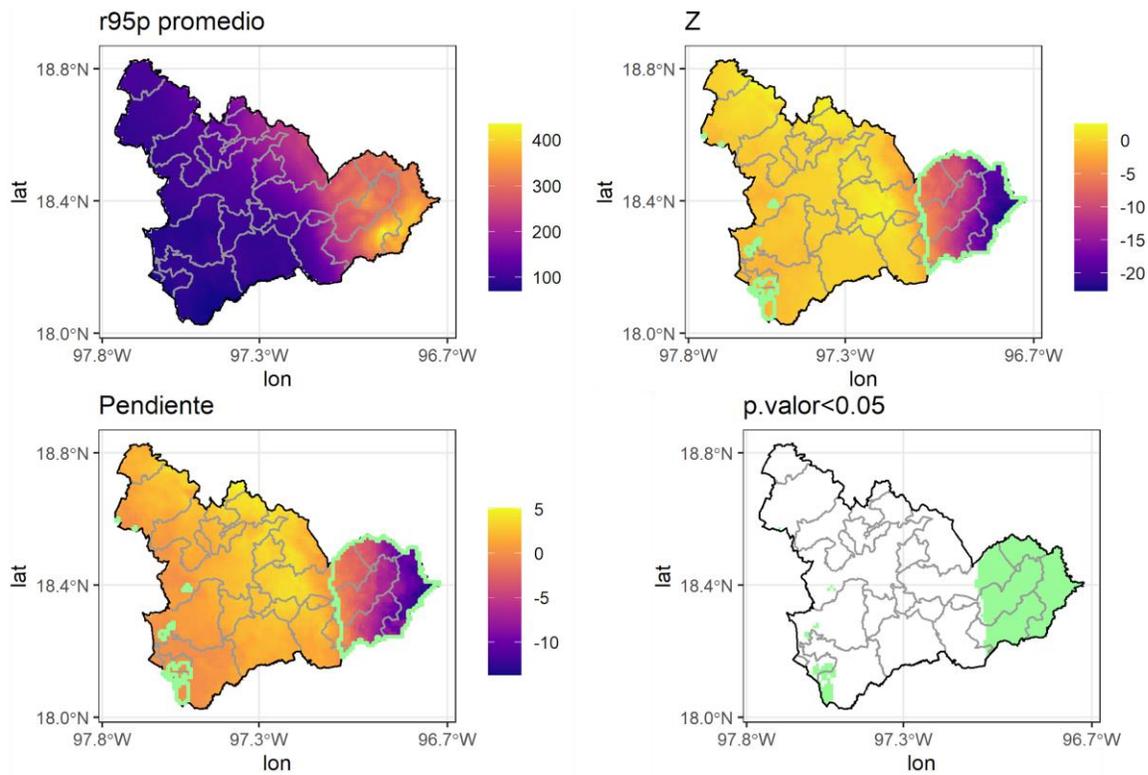


FIGURA 87. CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

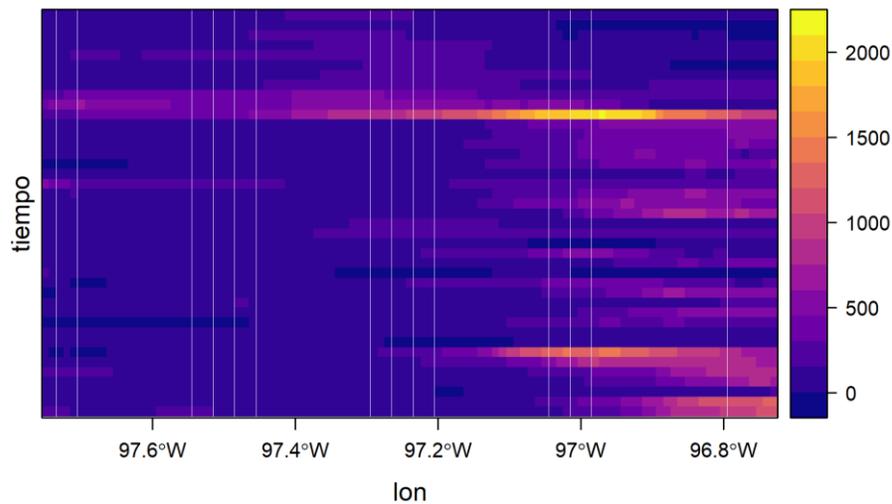


FIGURA 88. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA.

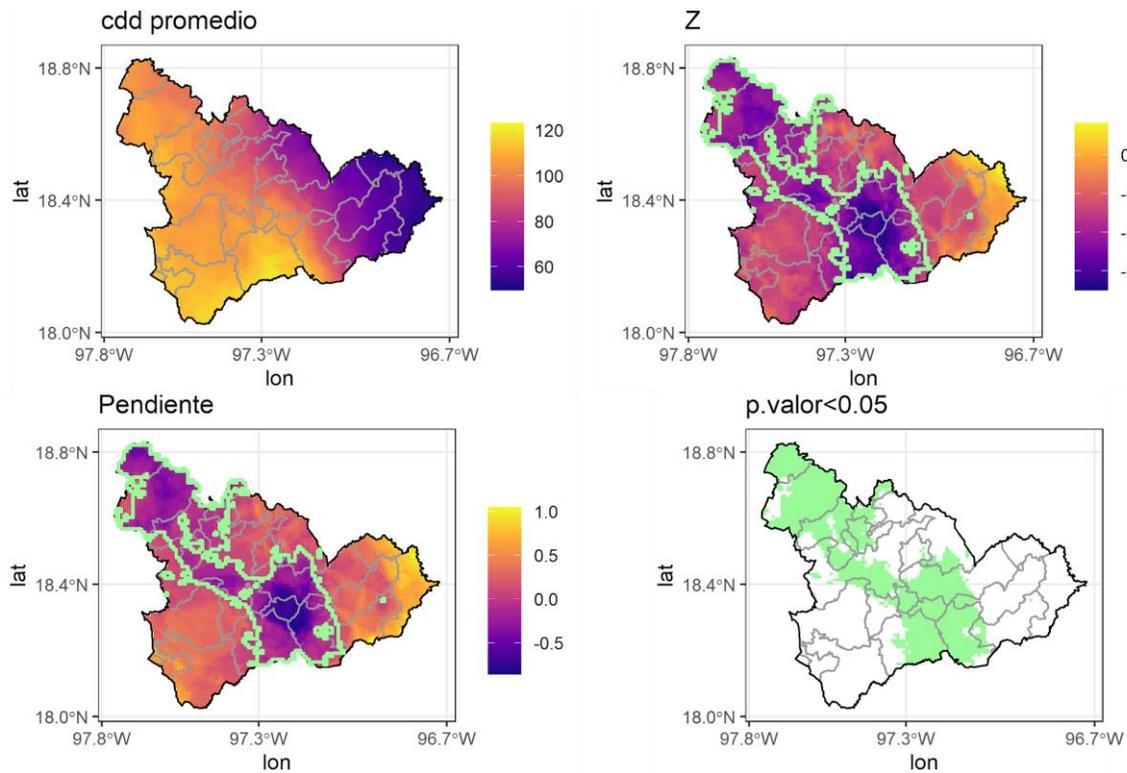


FIGURA 89. DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

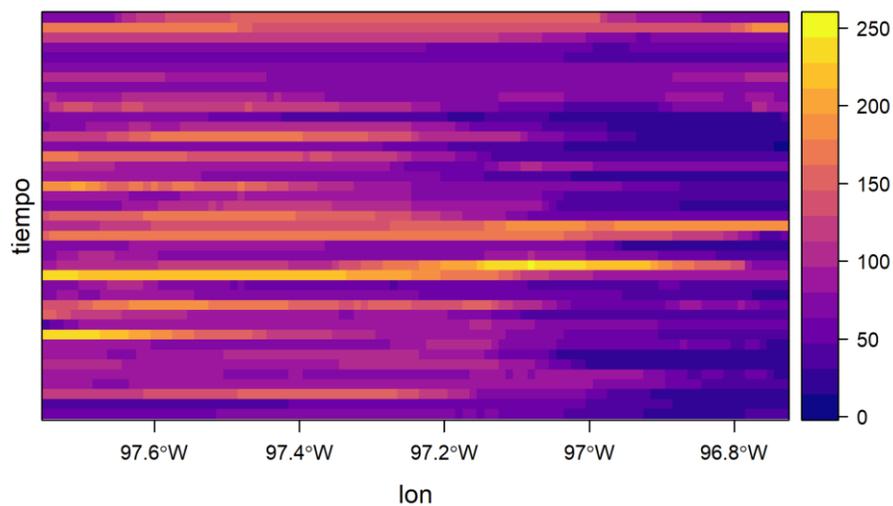


FIGURA 90. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA.

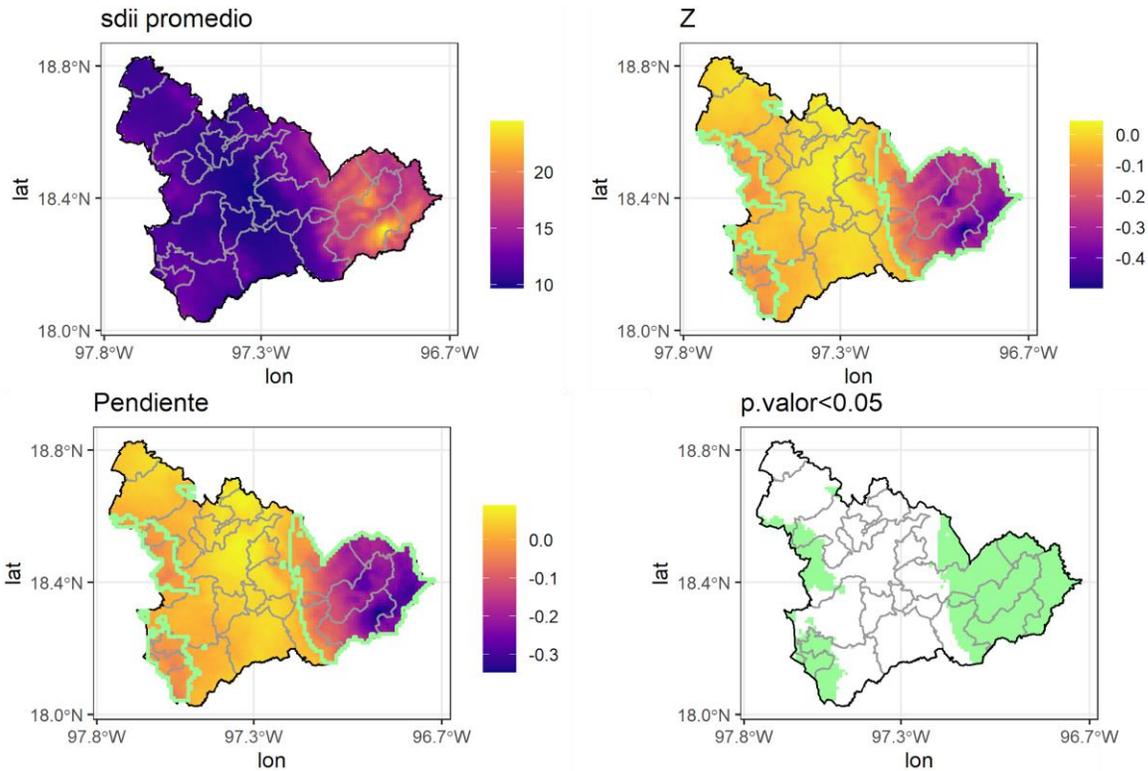


FIGURA 91. ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

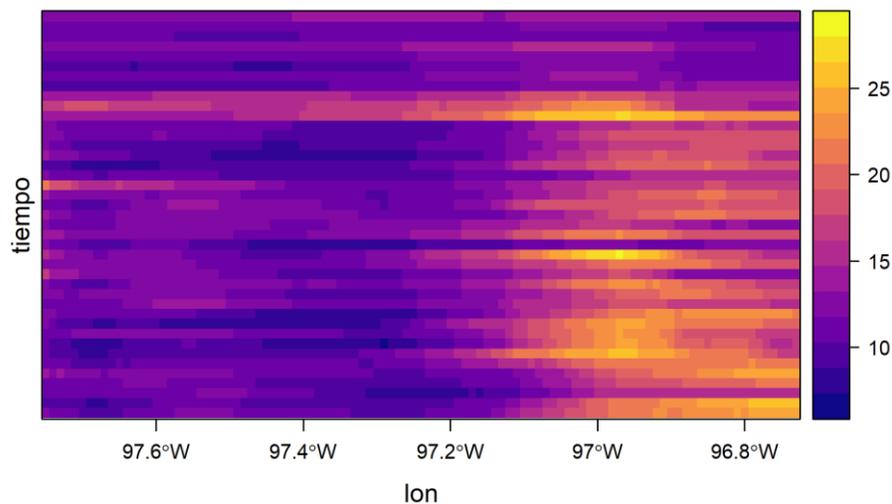


FIGURA 92. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA.

## Índices de temperatura

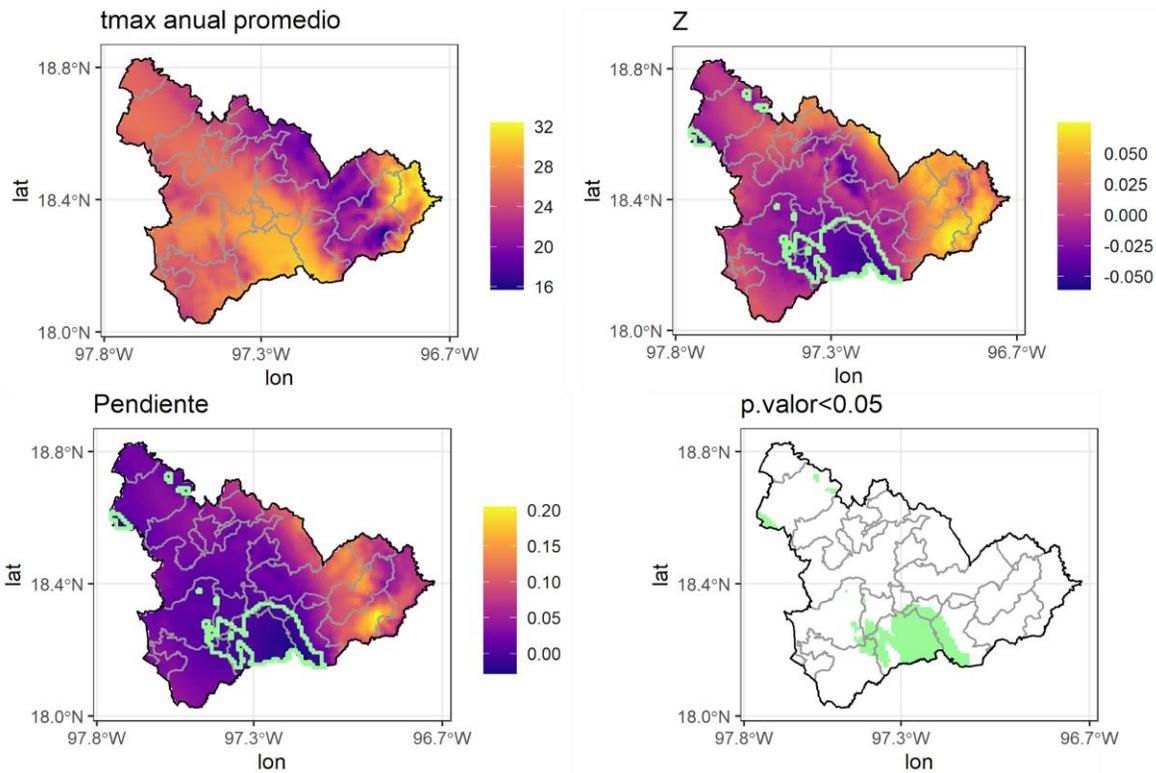


FIGURA 93. TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL (TMAX) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor < 0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

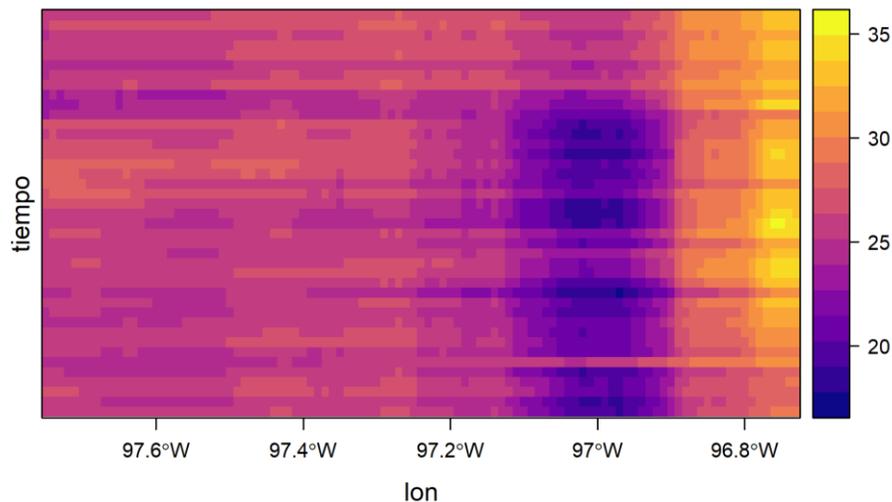


FIGURA 94. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (TMAX) MEDIA ANUAL PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA.

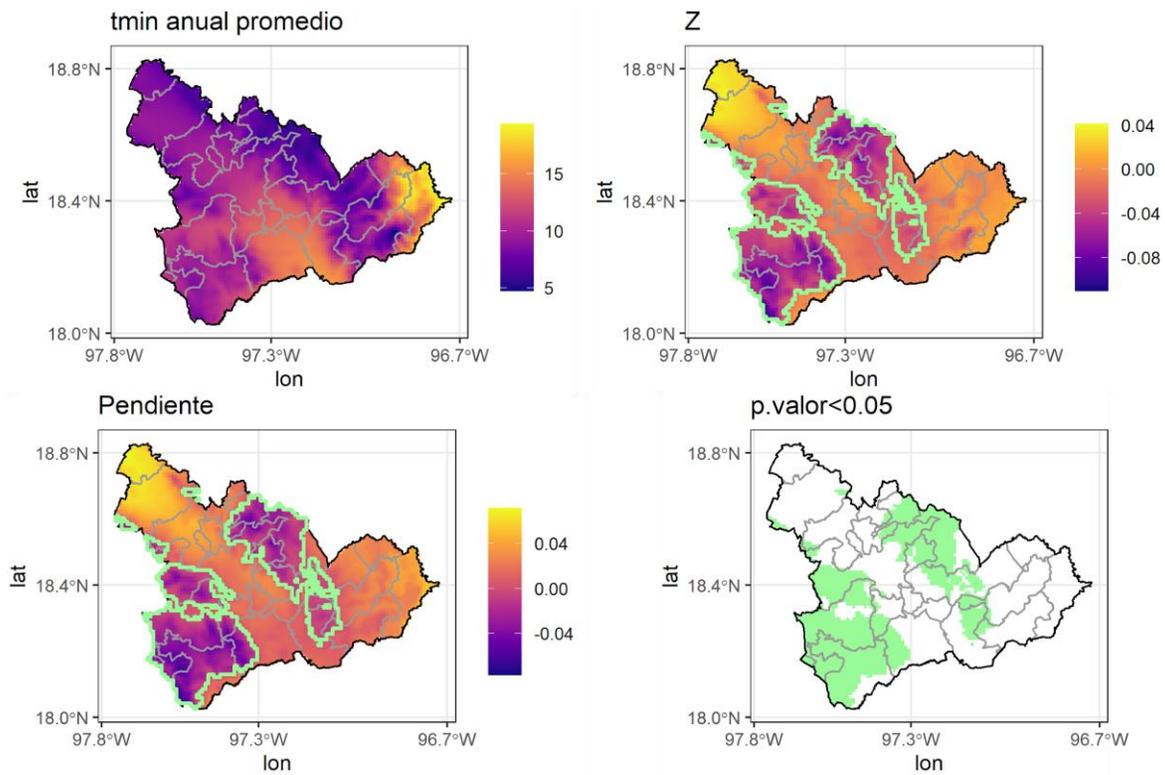


FIGURA 95. TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

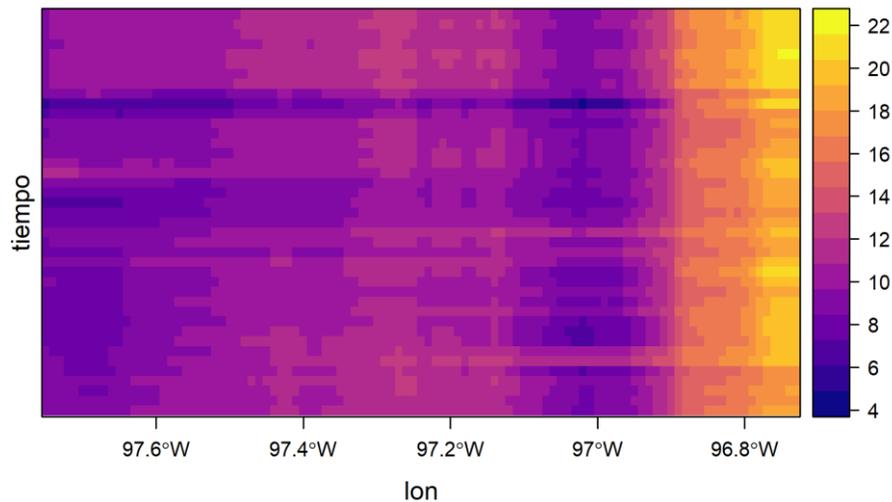


FIGURA 96. DIAGRAMA DE HOIVÖLLER DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA.

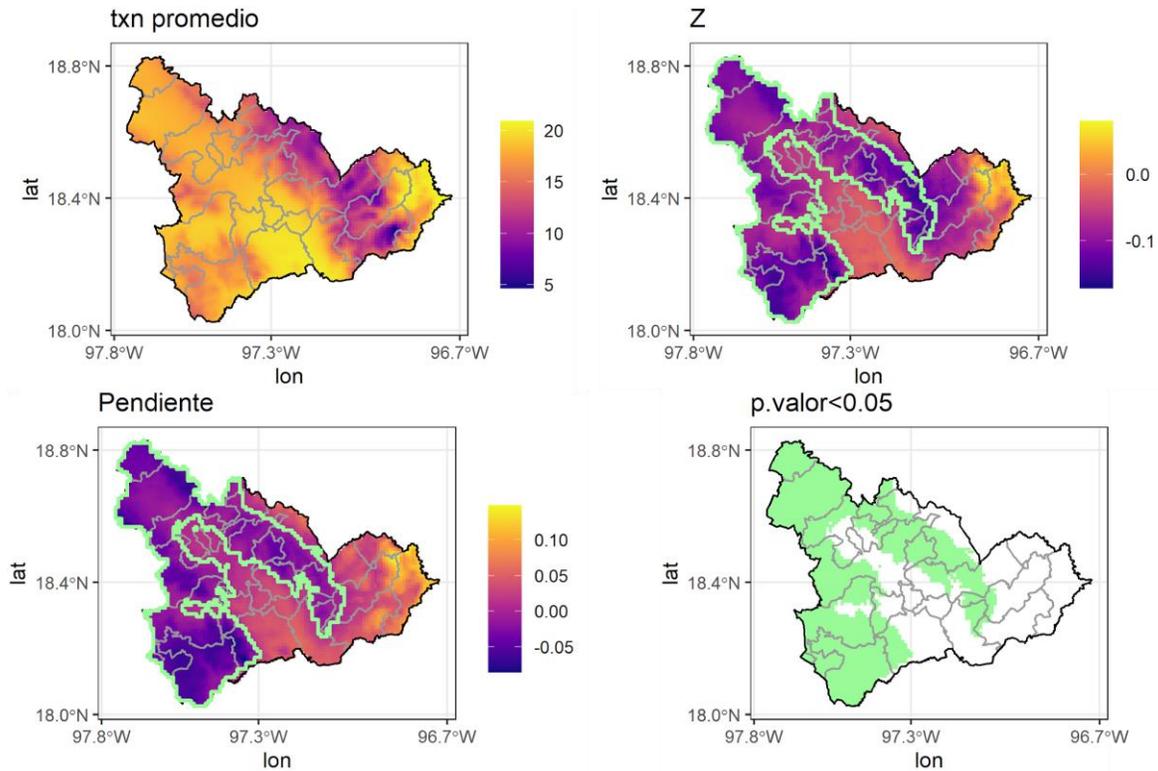


FIGURA 97. VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

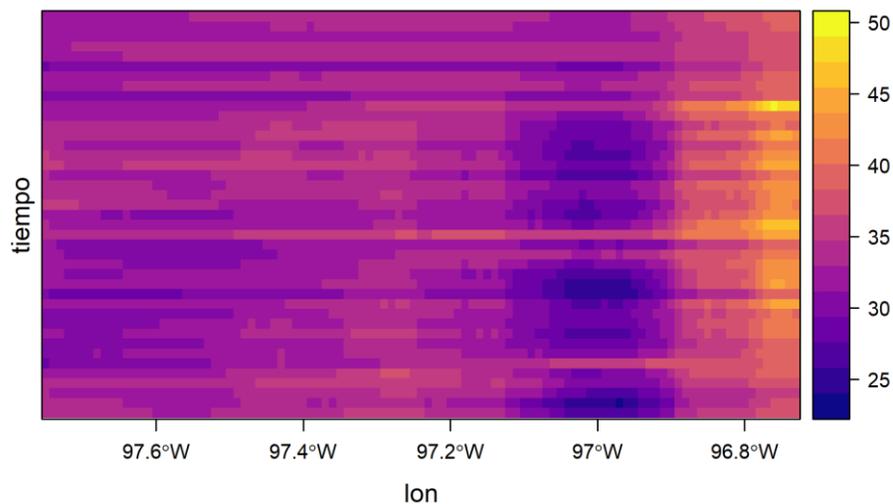


FIGURA 98. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA.

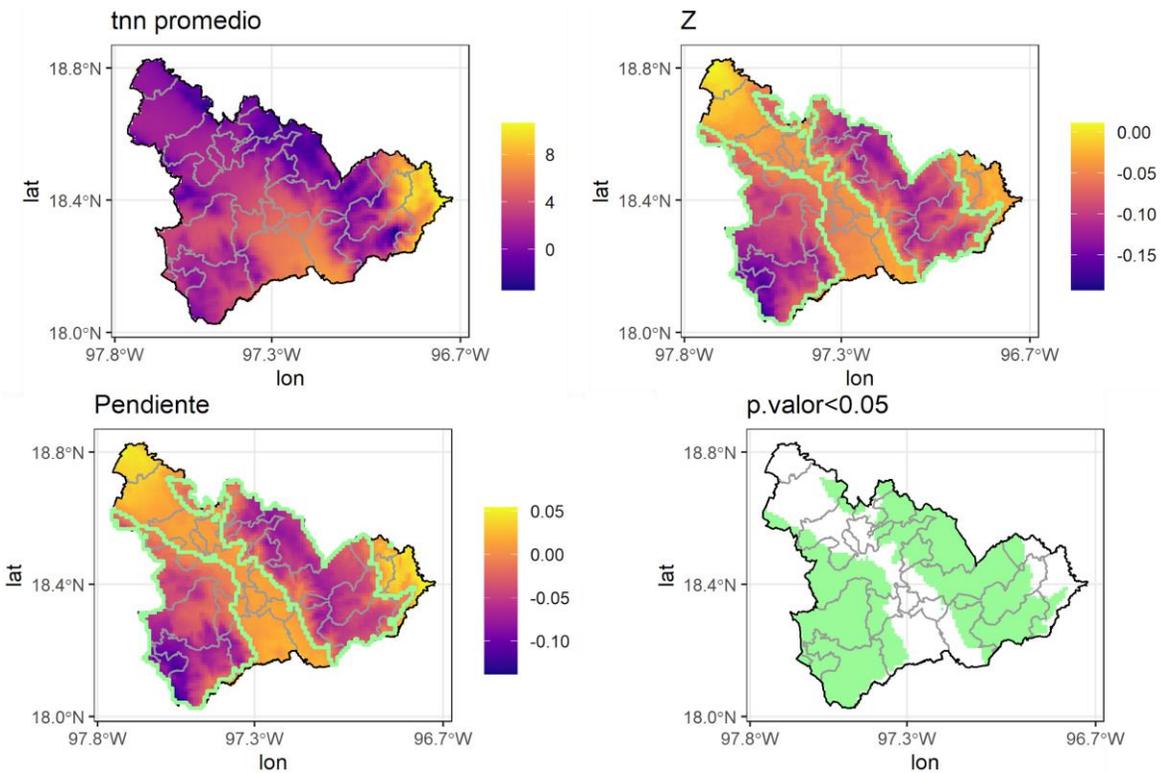


FIGURA 99. VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

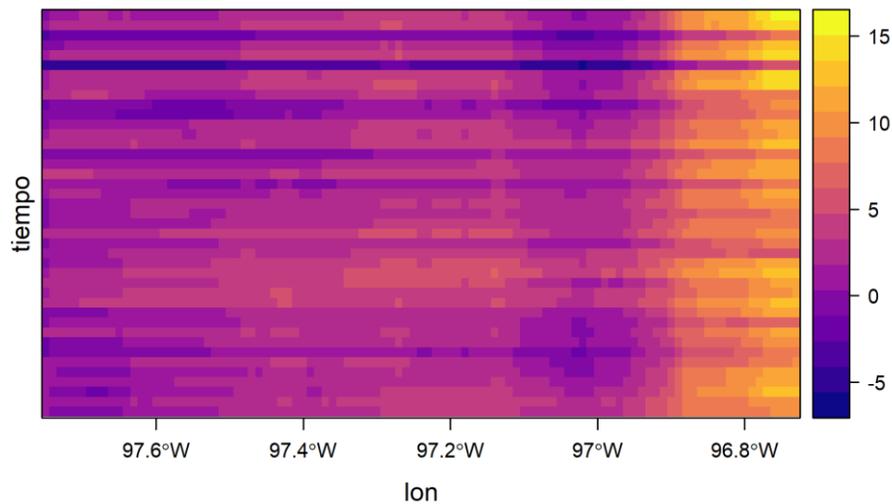


FIGURA 100. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA.

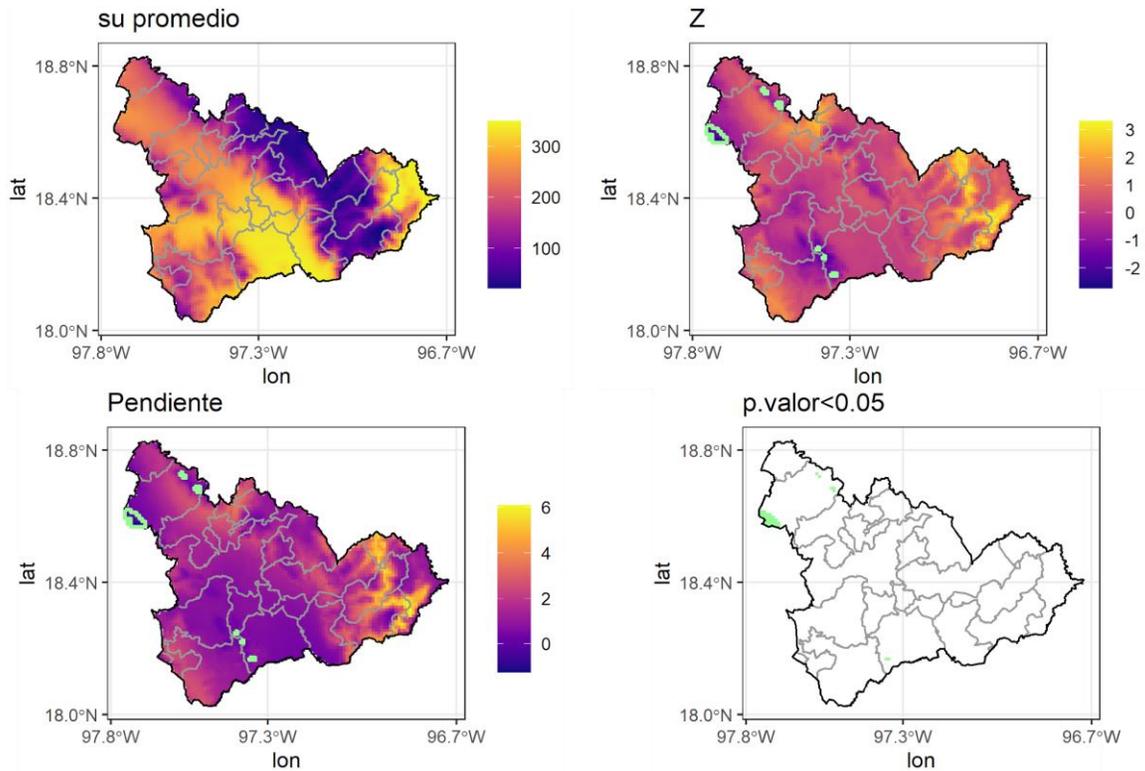


FIGURA 101. NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

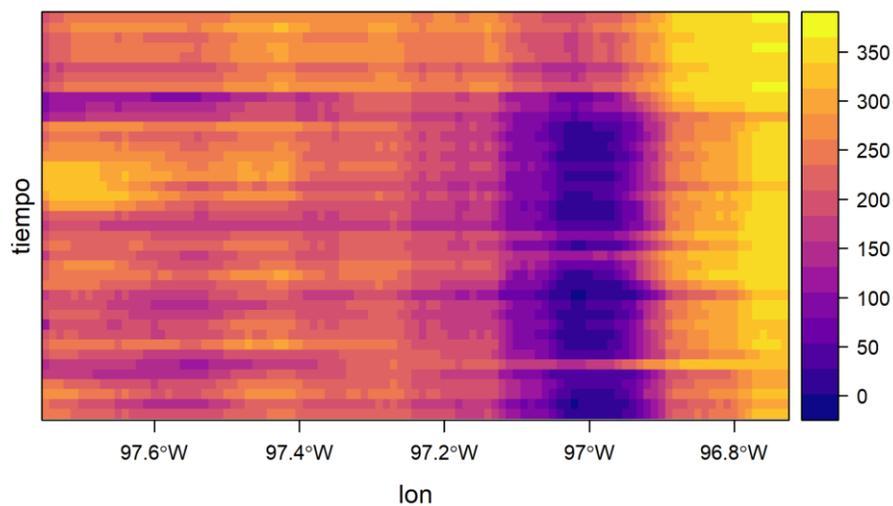


FIGURA 102. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA.

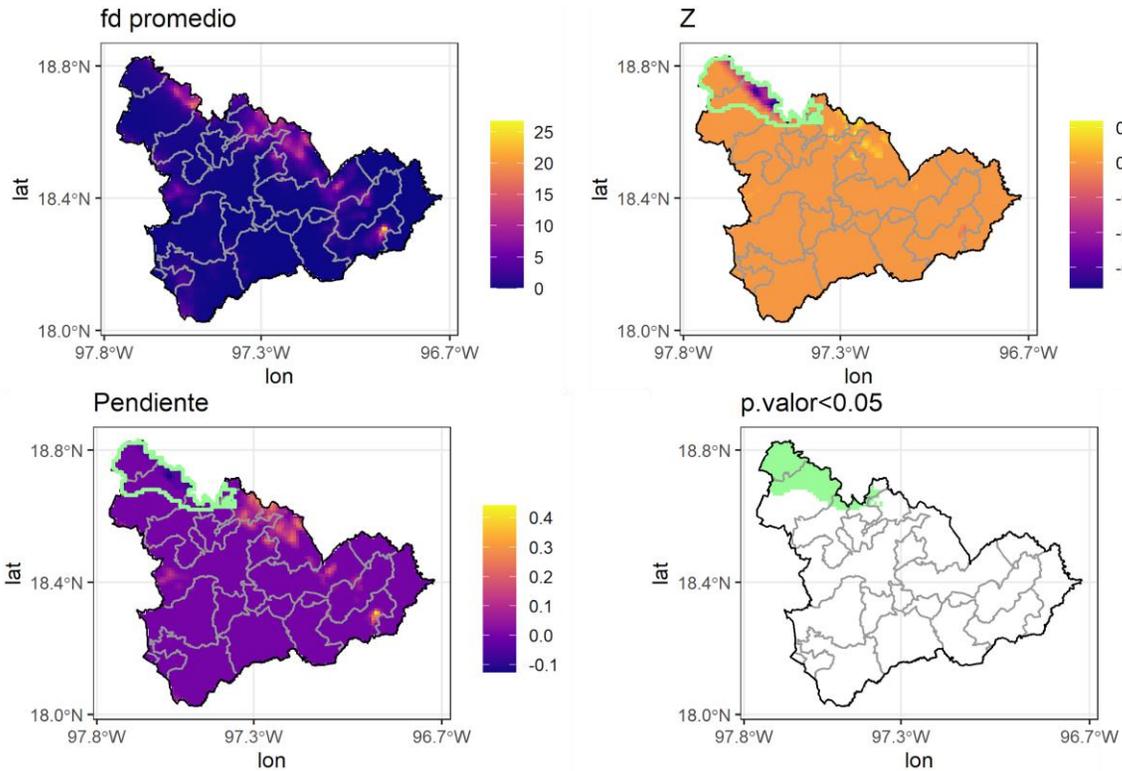


FIGURA 103. NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

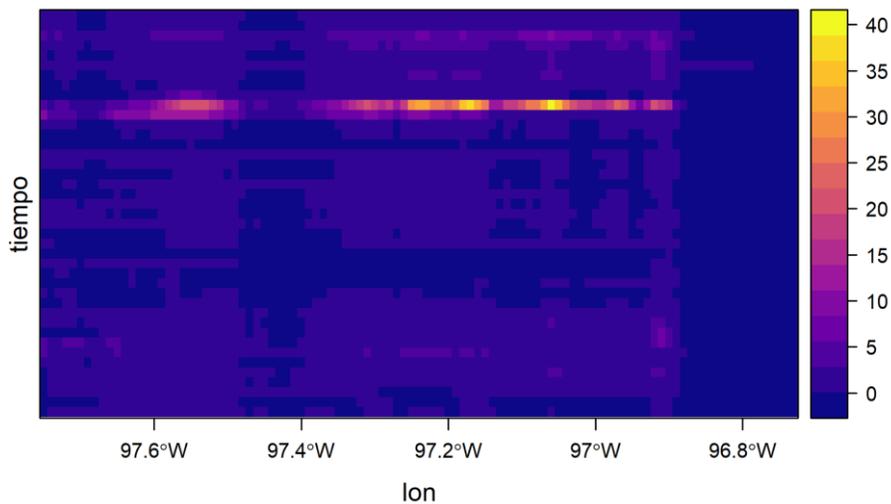


FIGURA 104. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA.

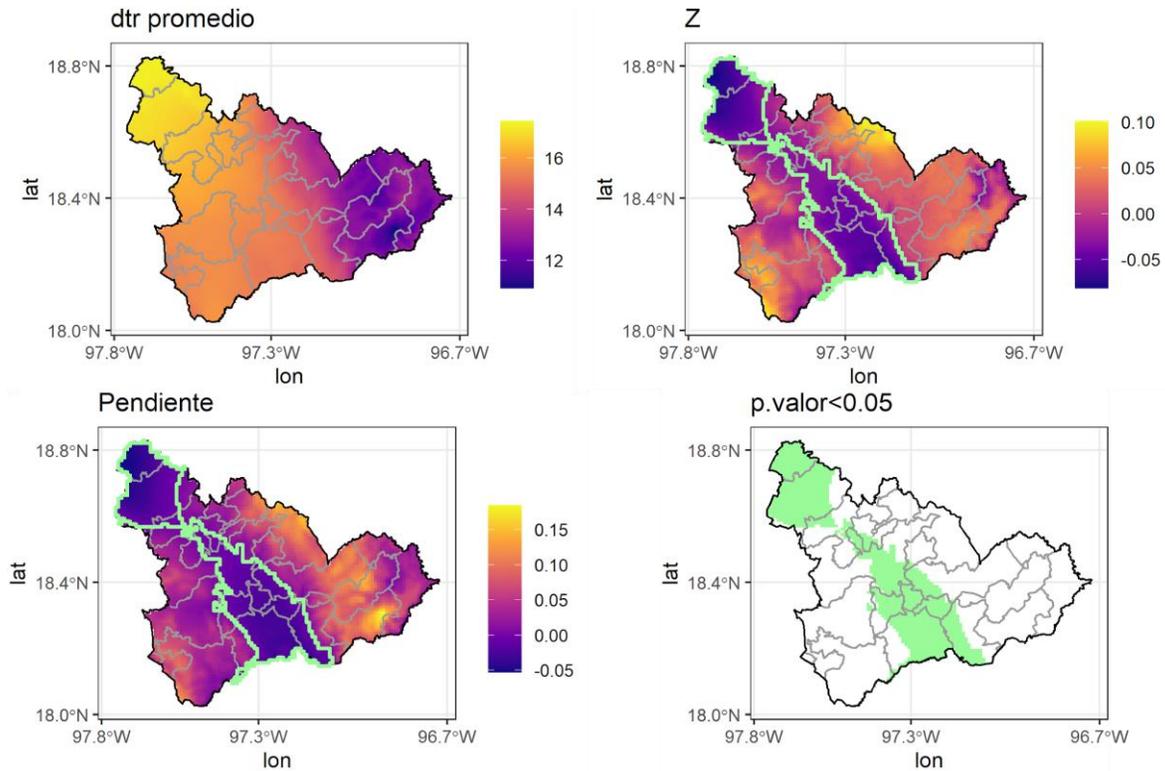


FIGURA 105. RANGO DE TEMPERATURA DIARIO (DTR) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

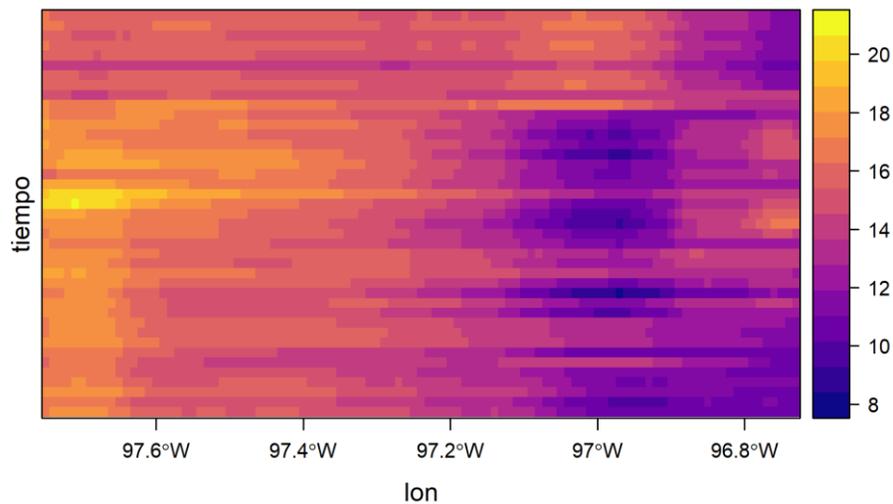


FIGURA 106. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL RANGO DE TEMPERATURA DIARIO (DTR) PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA.

## SIERRA NORORIENTAL

### Índices de precipitación

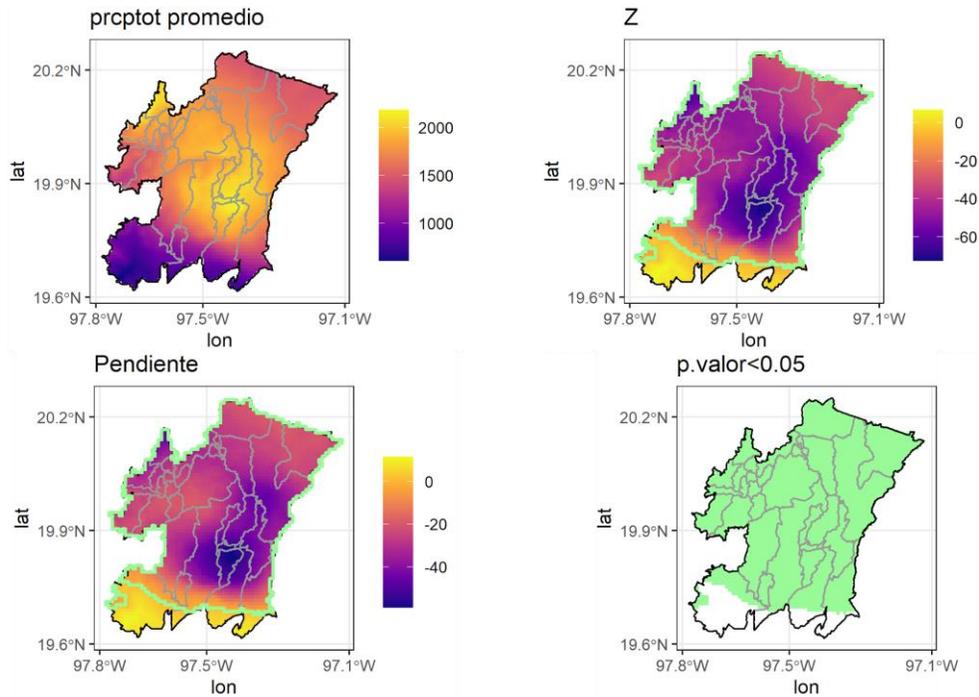


FIGURA 107. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

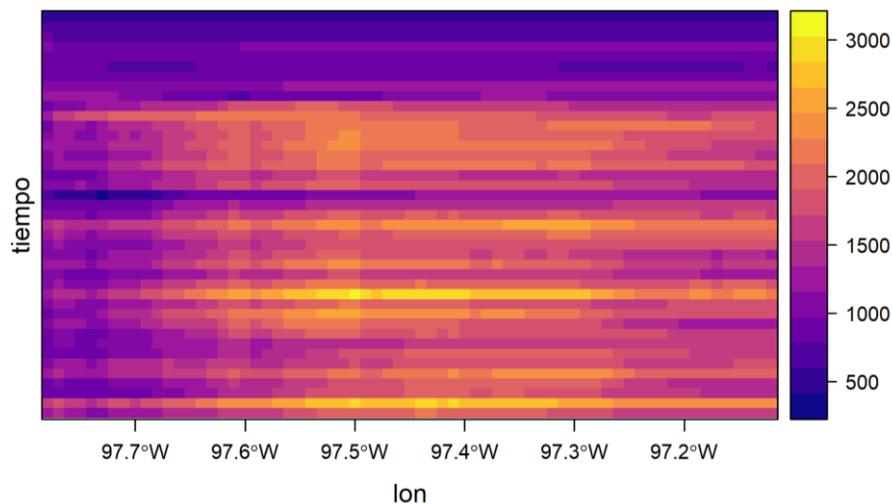


FIGURA 108. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL.

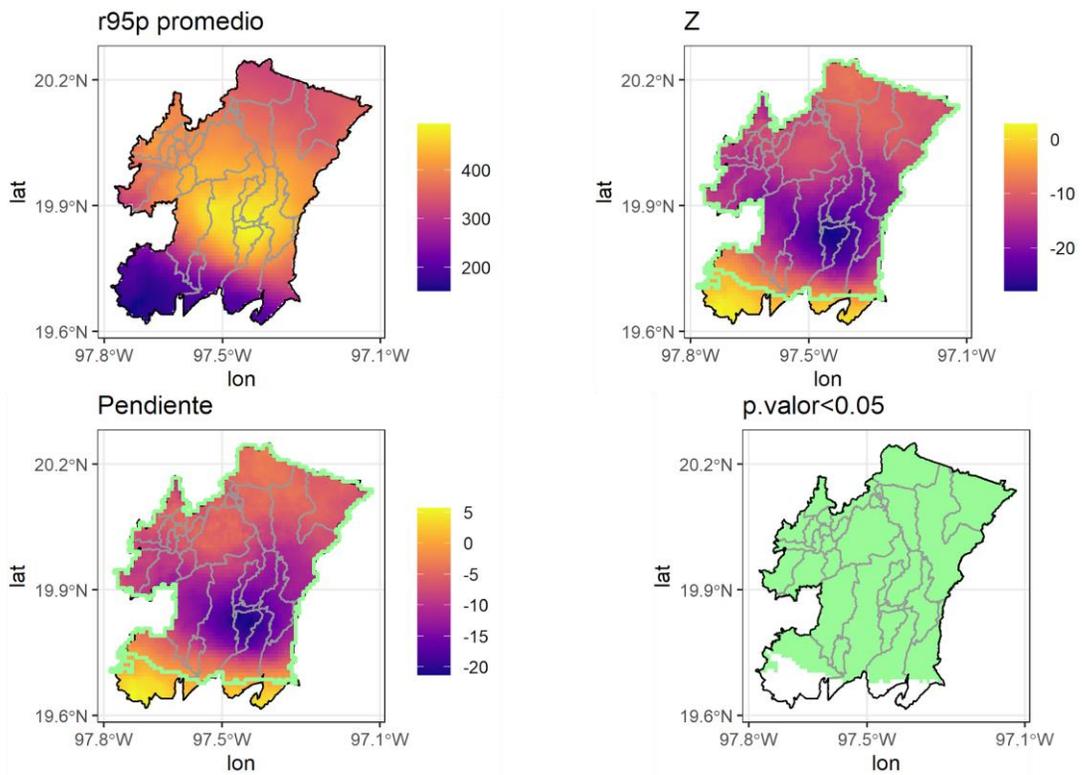


FIGURA 109. CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

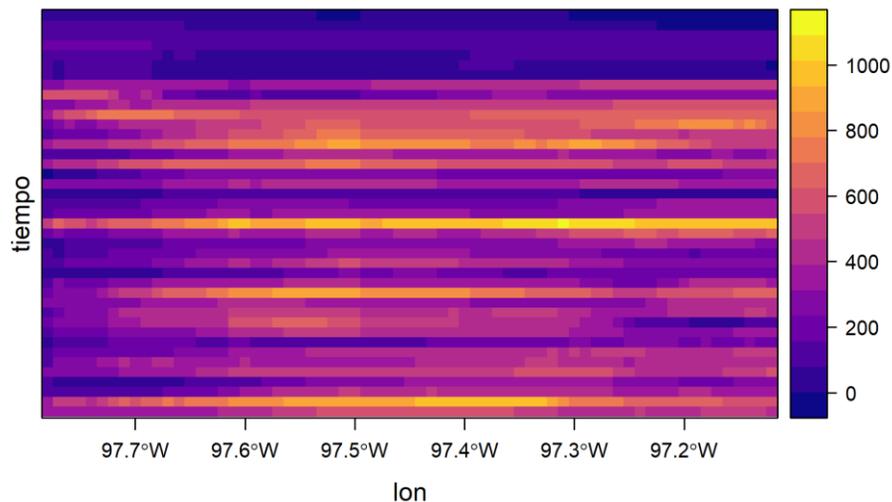


FIGURA 110. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL.

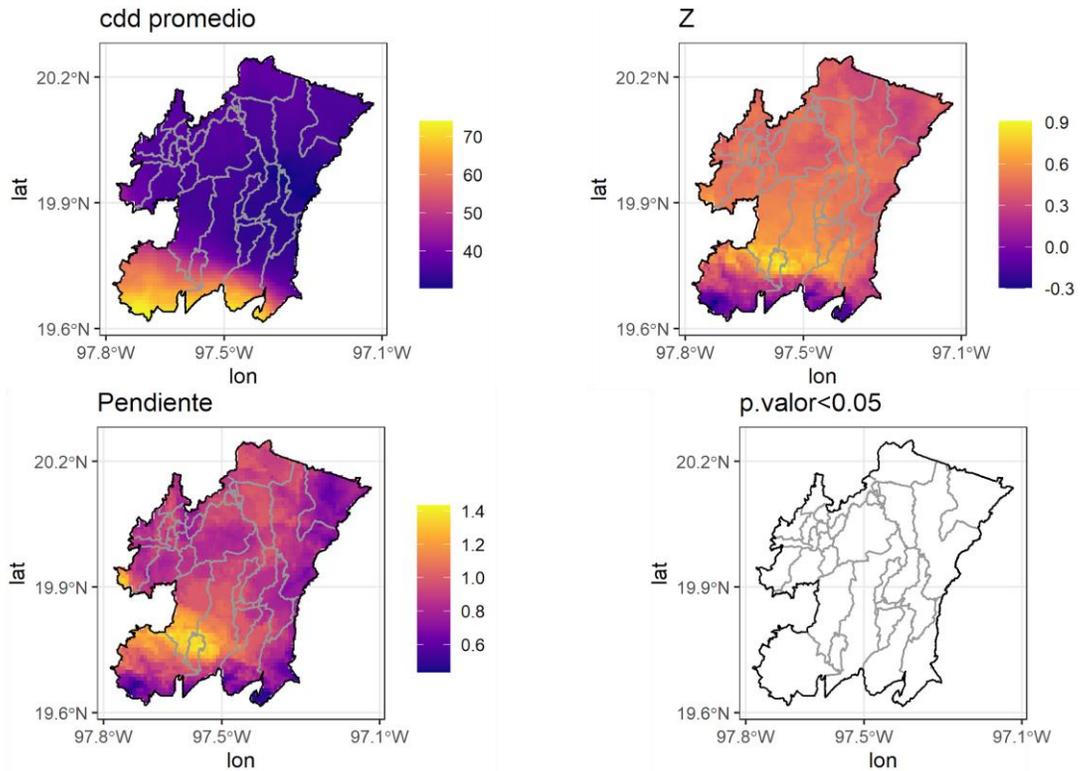


FIGURA 111. DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

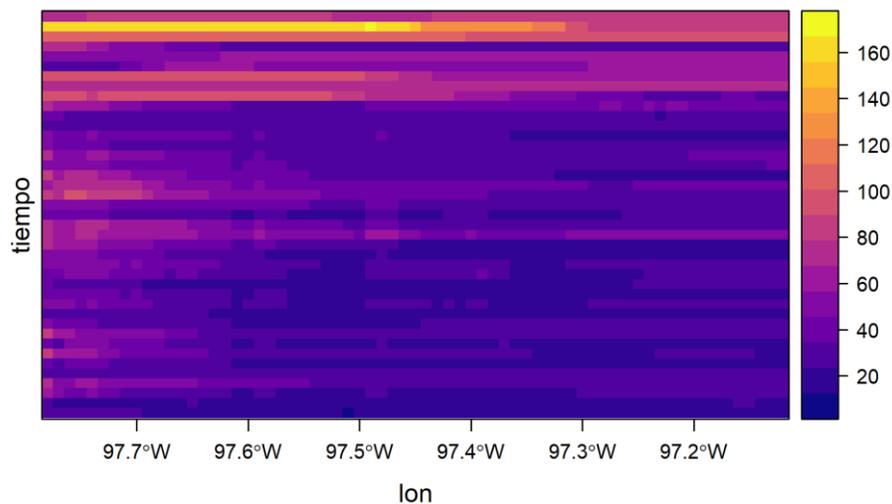


FIGURA 112. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL.

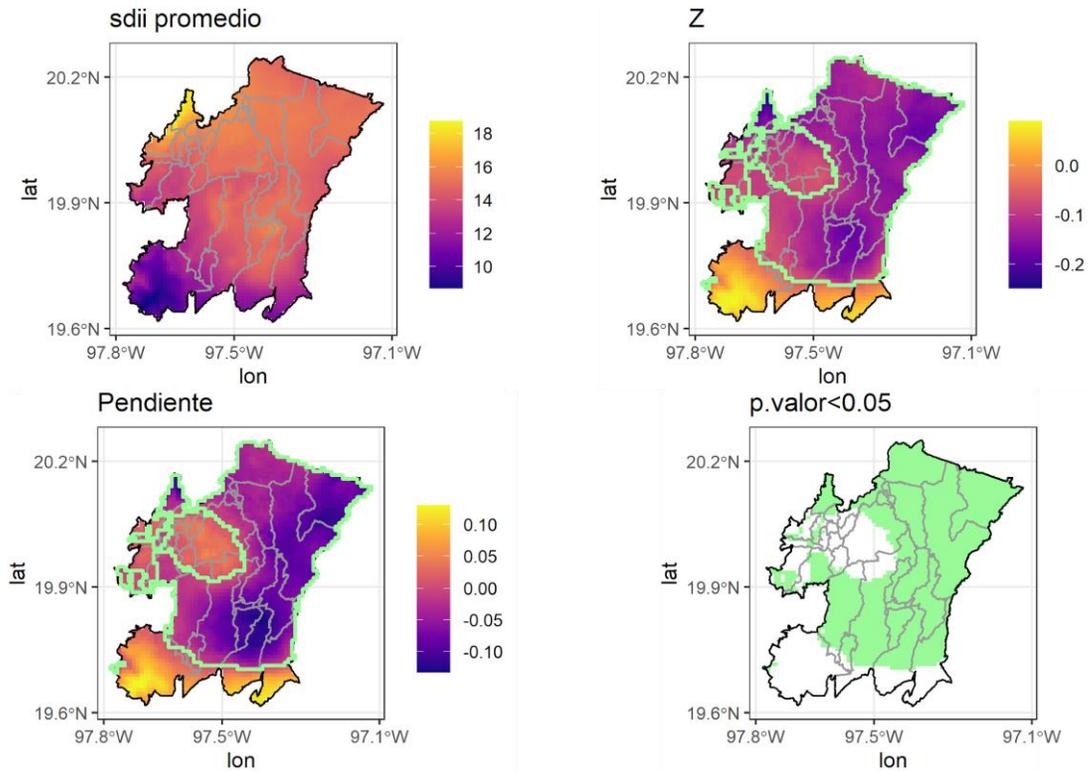


FIGURA 113. ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

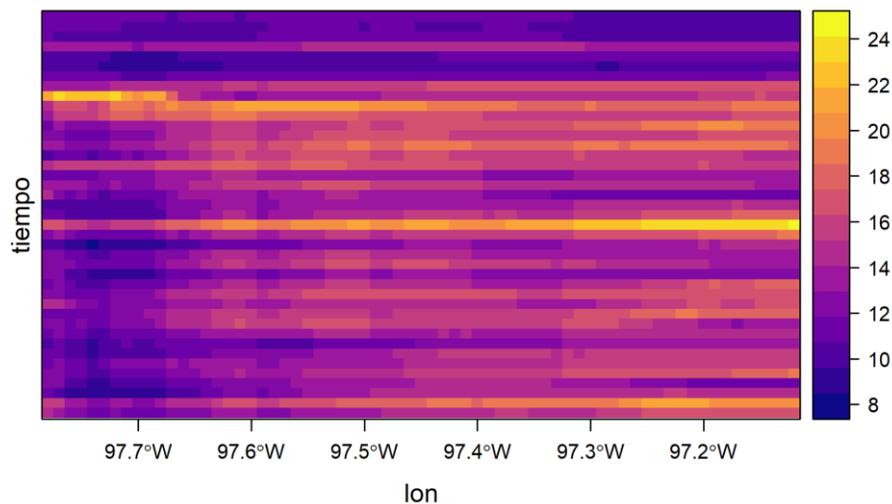


FIGURA 114. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL.

## Índices de temperatura

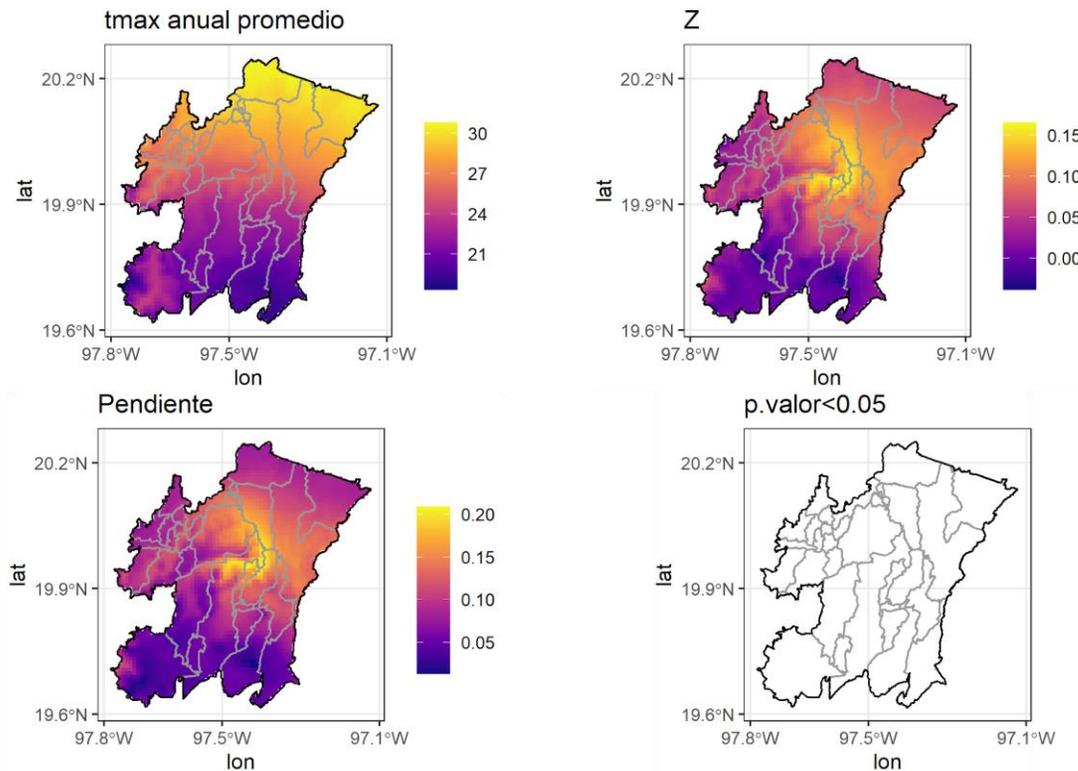


FIGURA 115. TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL (TMAX) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL; Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor < 0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

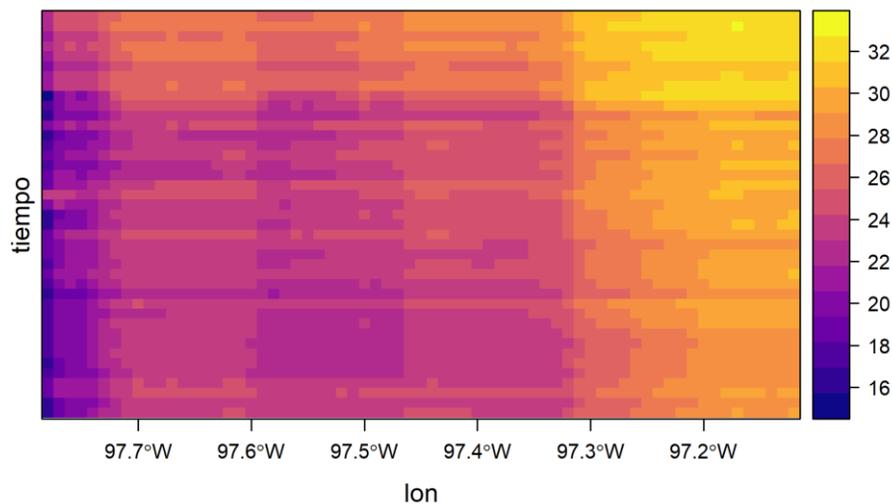


FIGURA 116. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (TMAX) MEDIA ANUAL PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL.

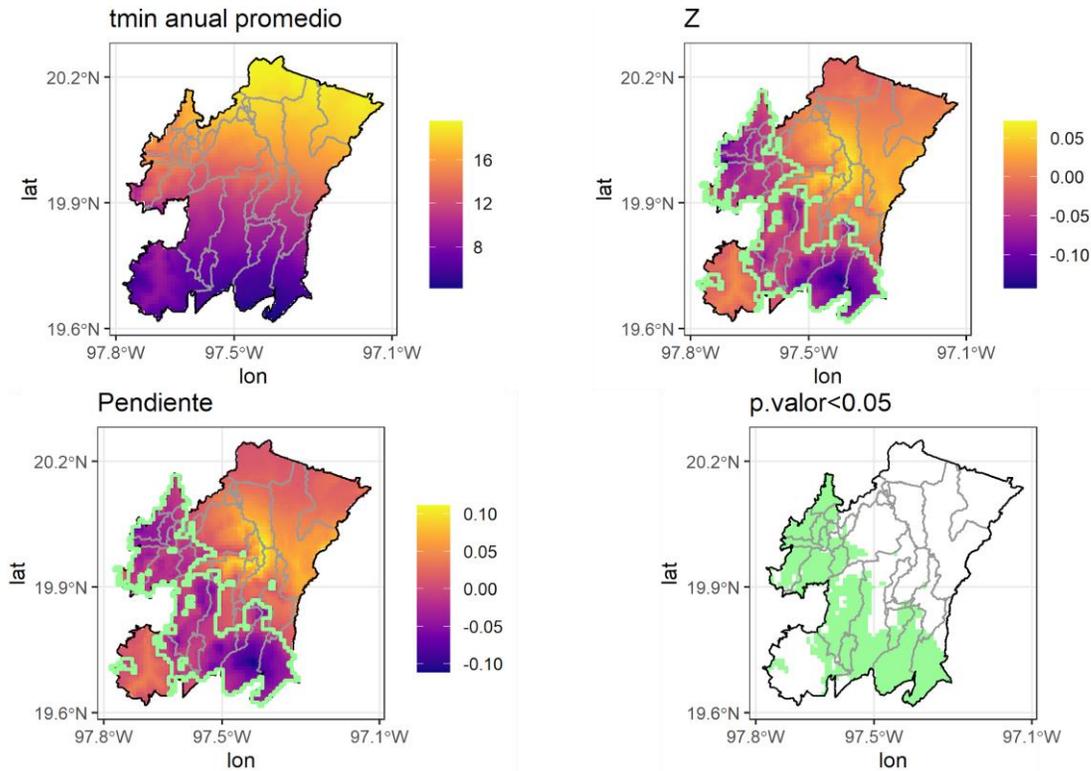


FIGURA 117. TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL; Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

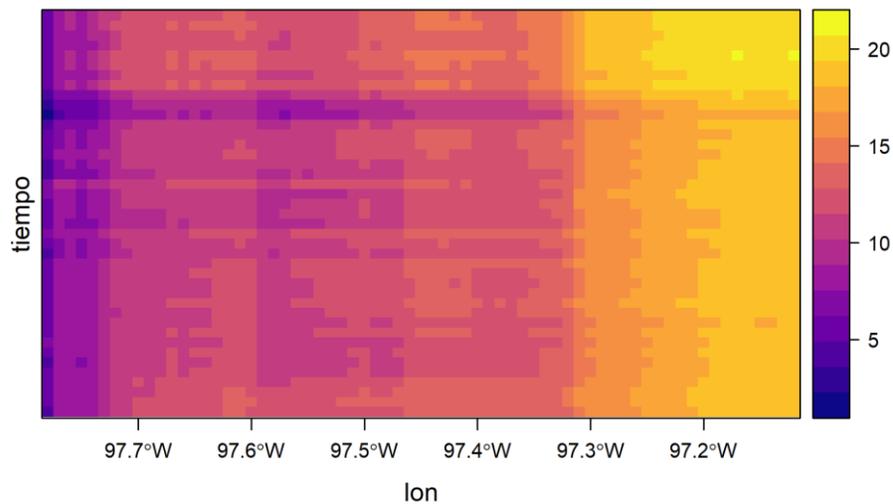


FIGURA 118. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL.

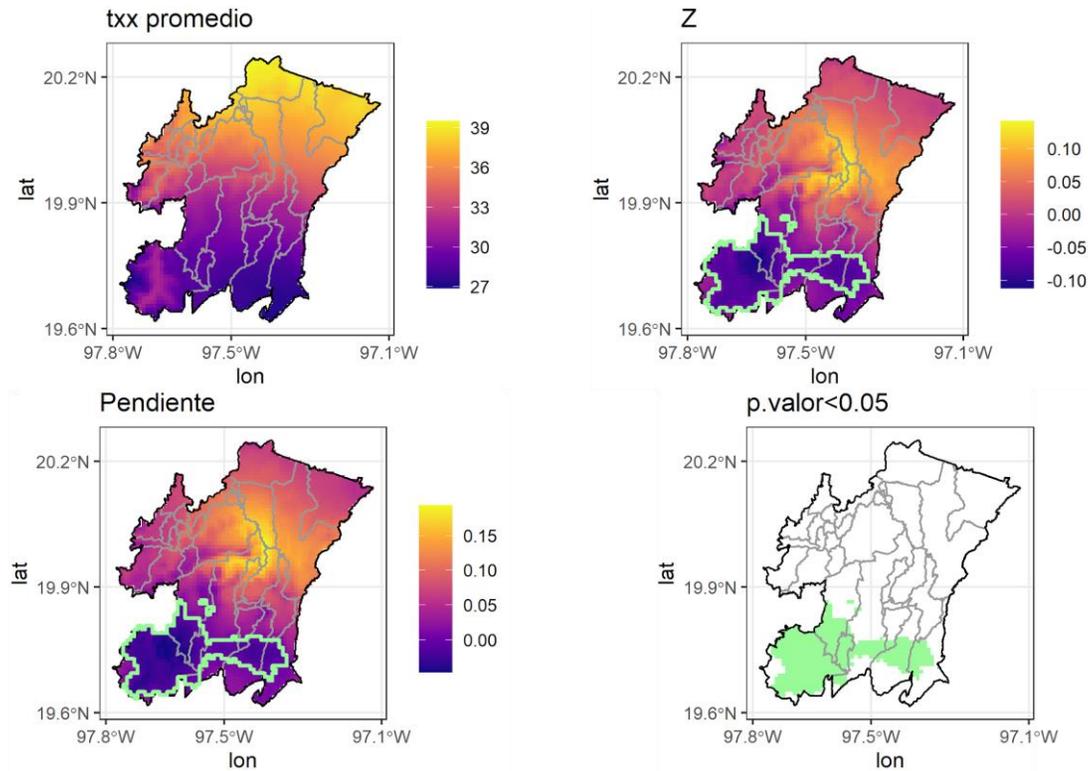


FIGURA 119. VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

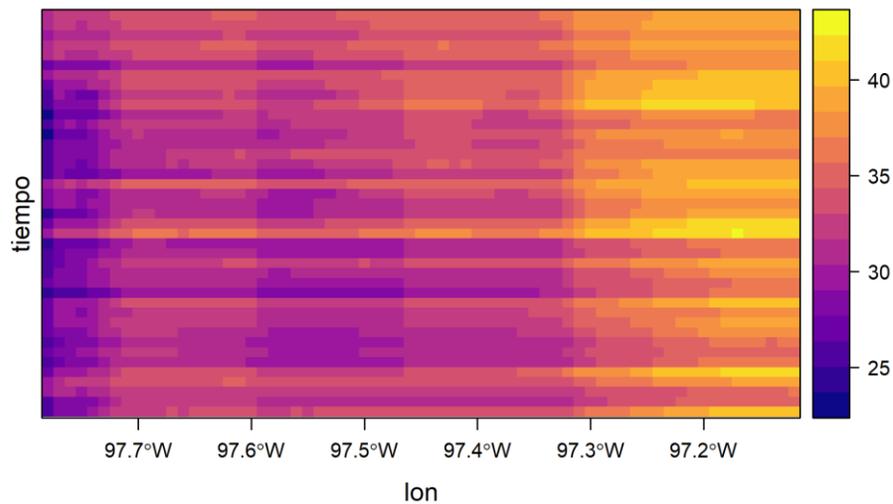


FIGURA 120. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL.

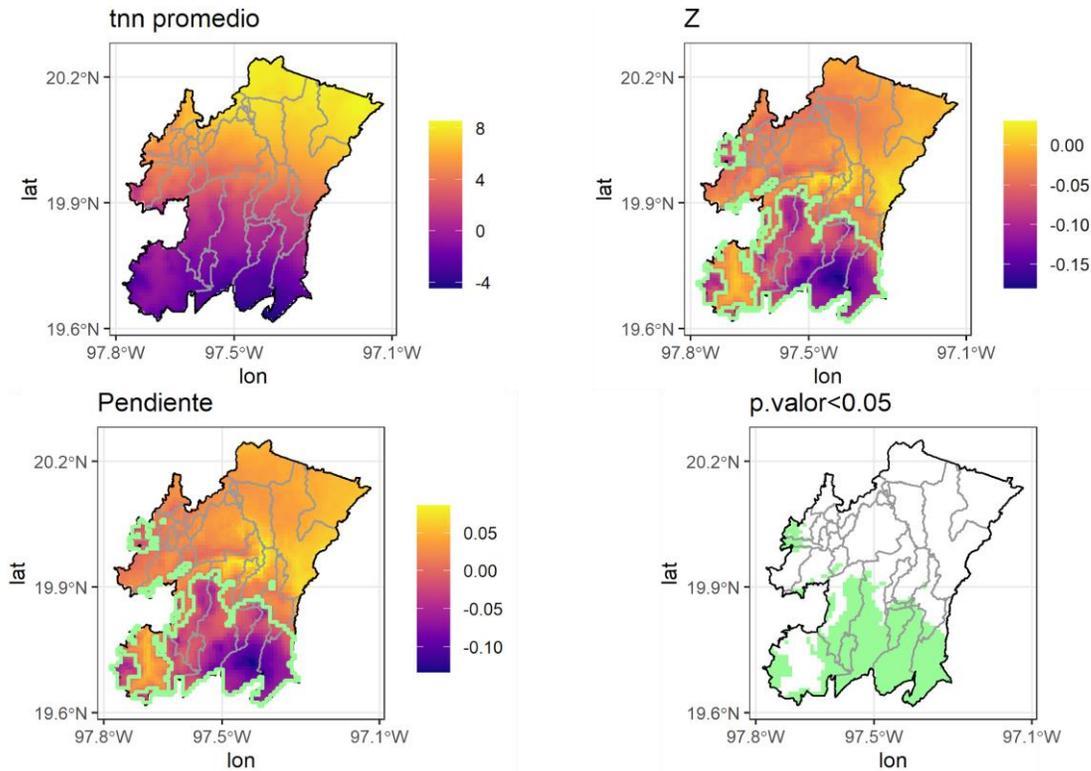


FIGURA 121. VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

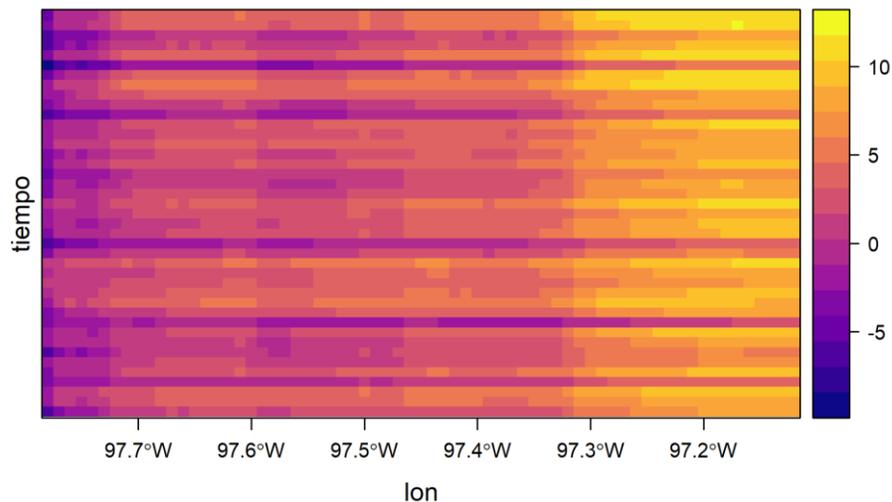


FIGURA 122. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL.

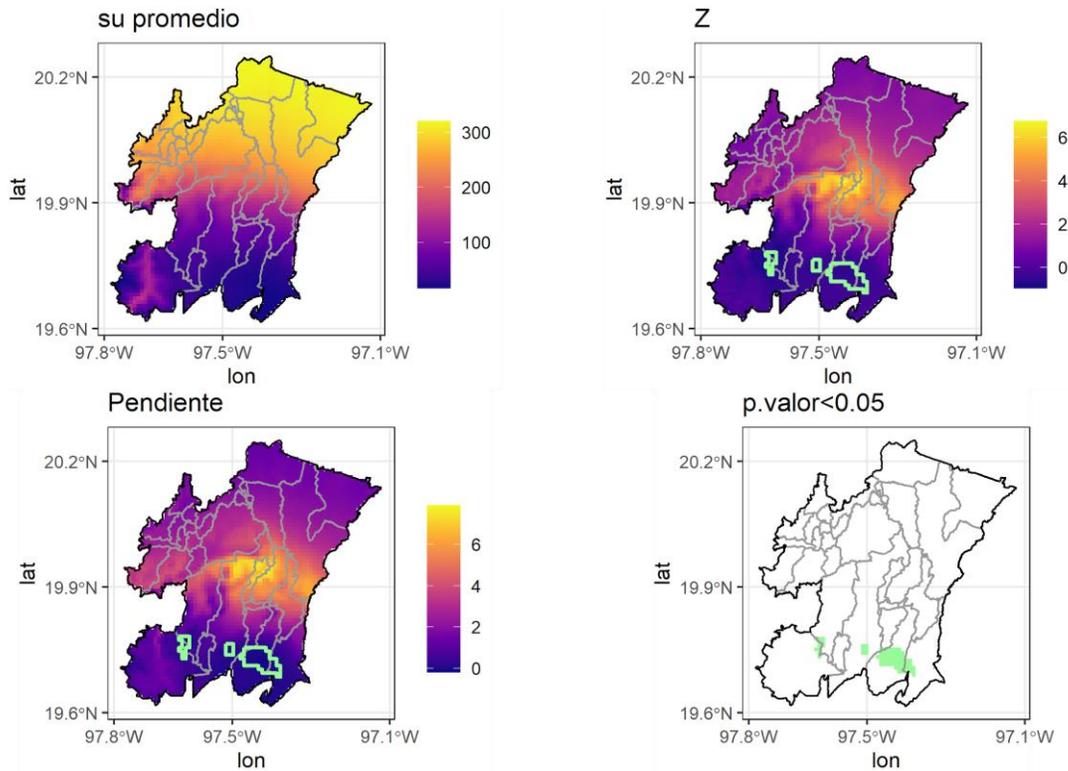


FIGURA 123. NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

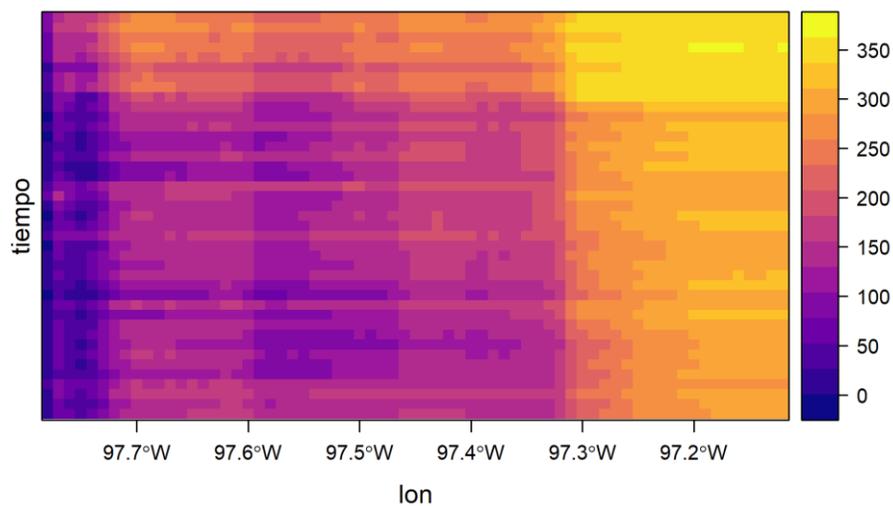


FIGURA 124. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL.

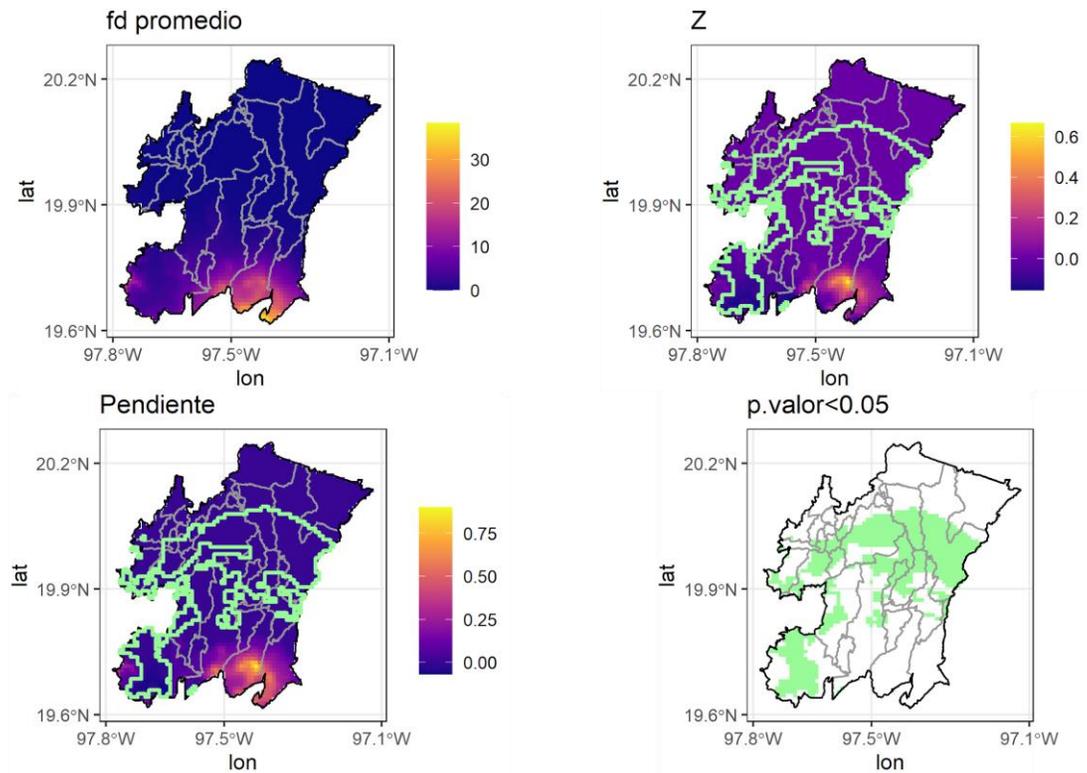


FIGURA 125. NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

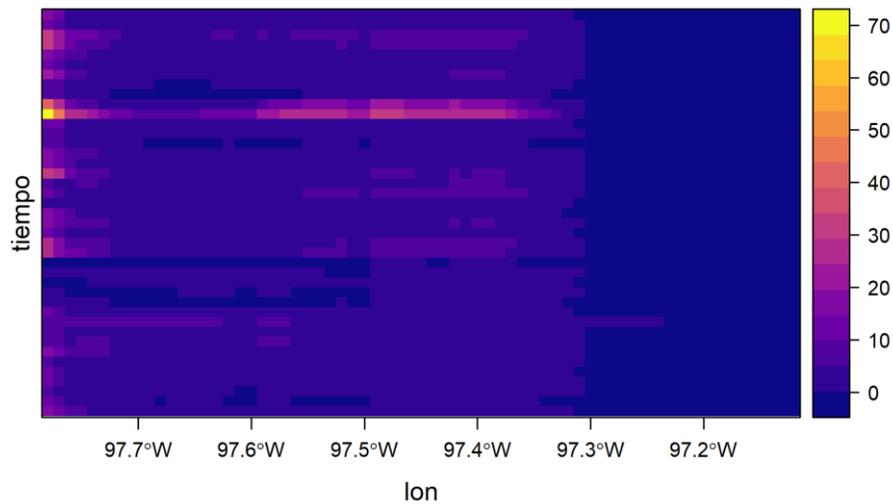


FIGURA 126. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL.

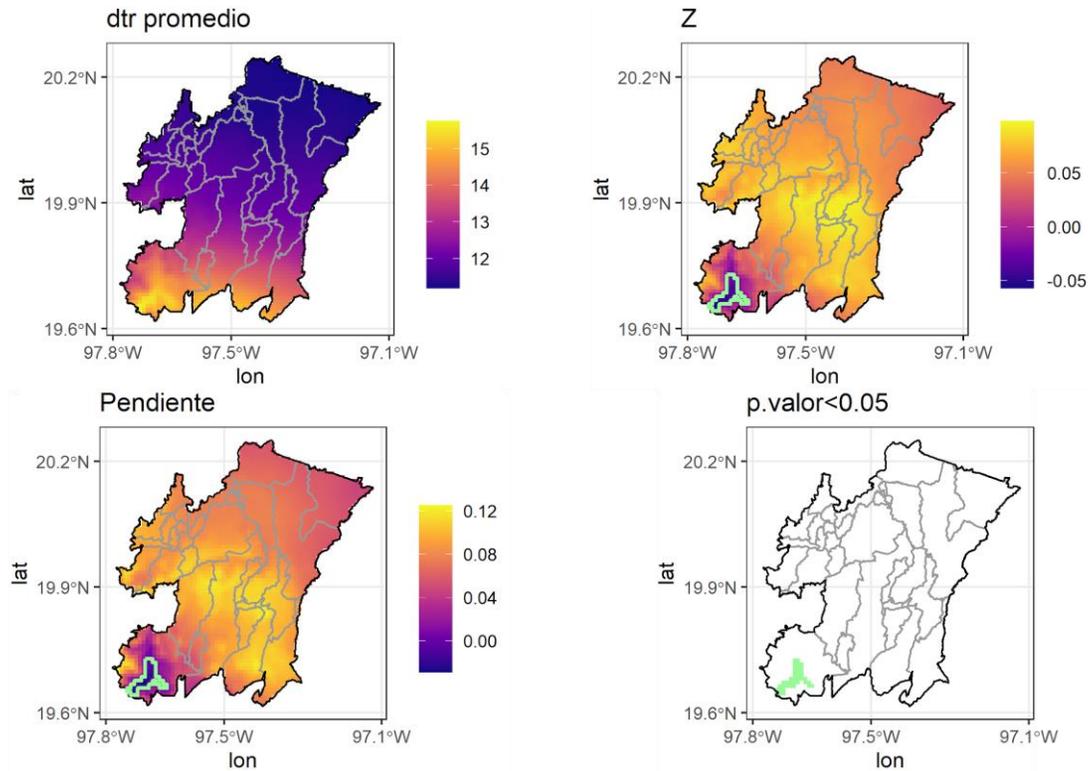


FIGURA 127. RANGO DE TEMPERATURA DIARIO (DTR) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor < 0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

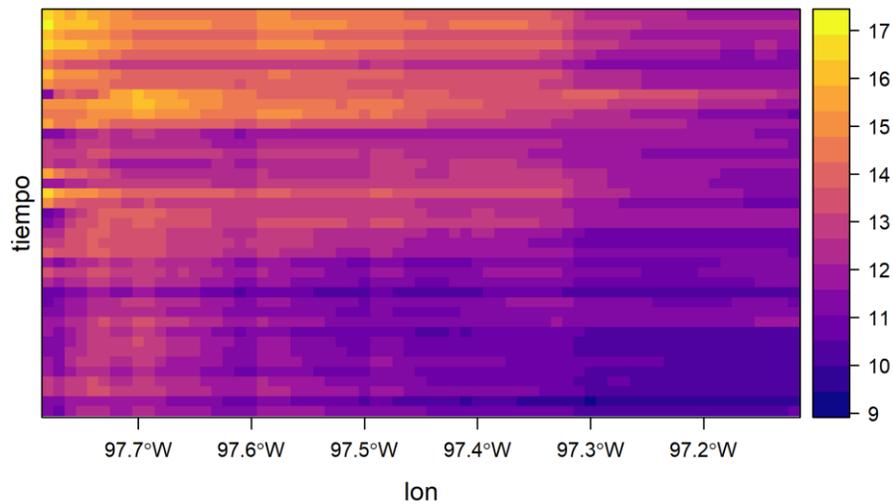


FIGURA 128. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL RANGO DE TEMPERATURA DIARIO (DTR) PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL.

## SIERRA NORTE

### Índices de precipitación

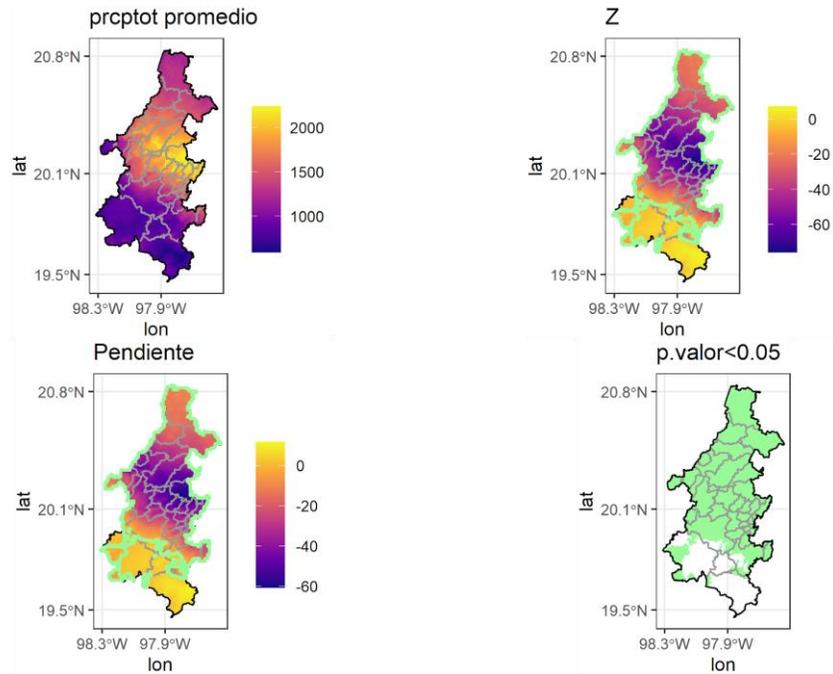


FIGURA 129. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

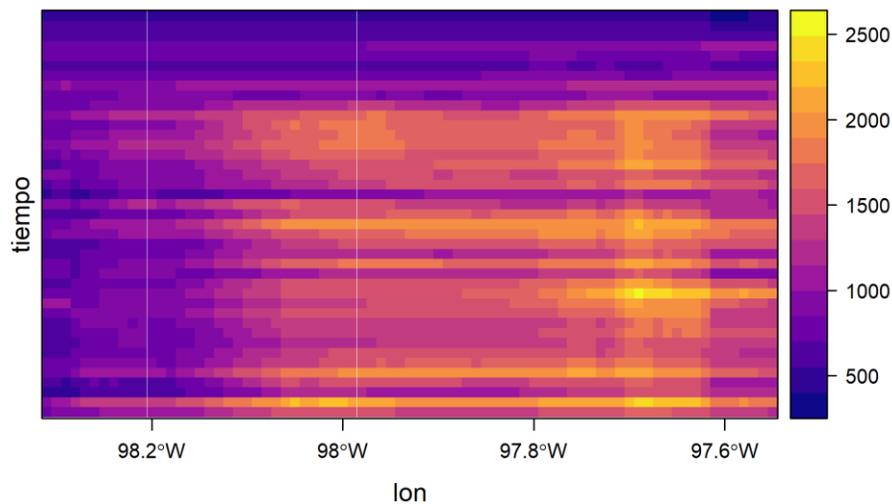


FIGURA 130. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE.

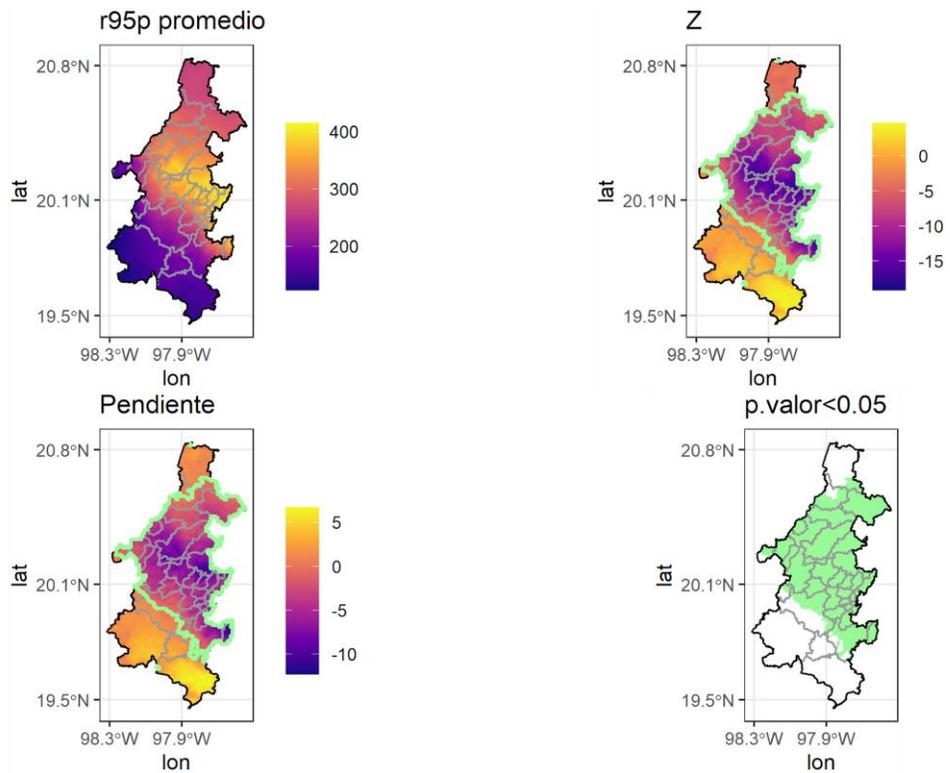


FIGURA 131. CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

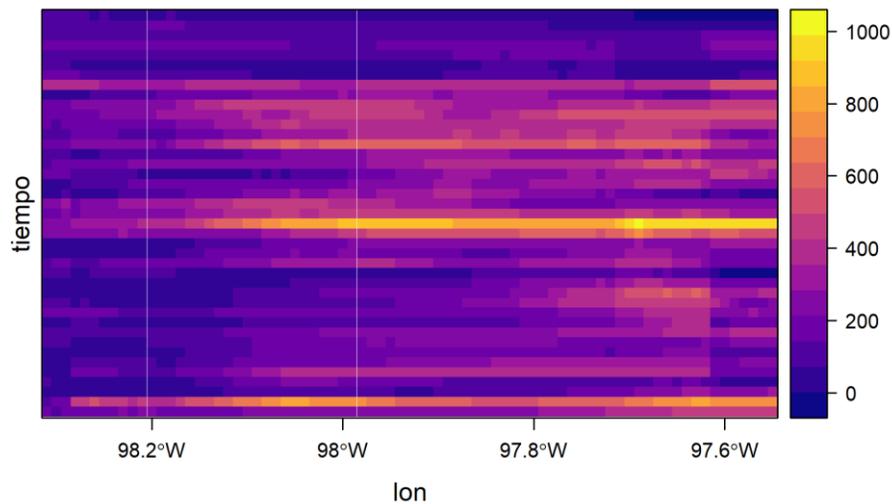


FIGURA 132. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE.

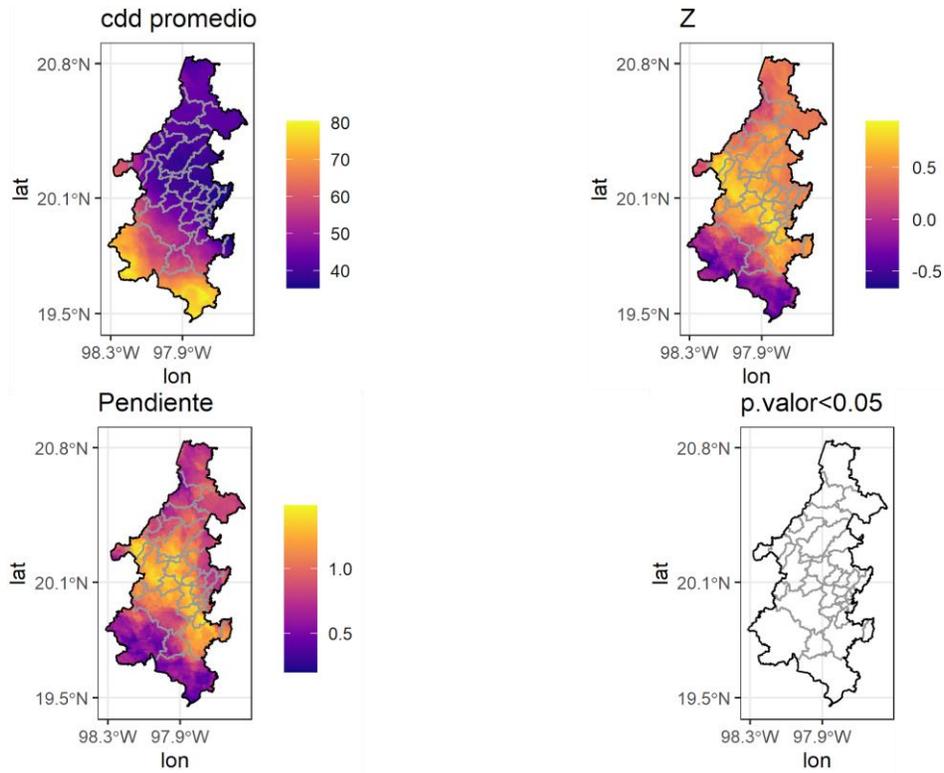


FIGURA 133. DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

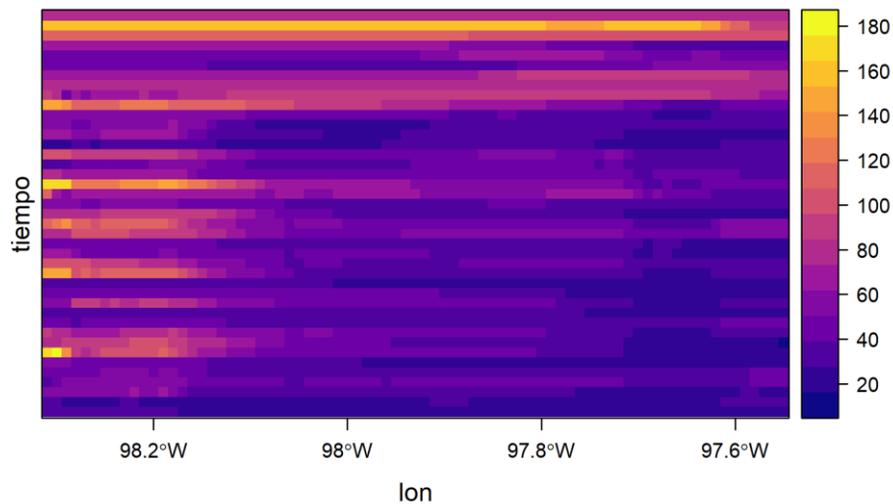


FIGURA 134. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE.

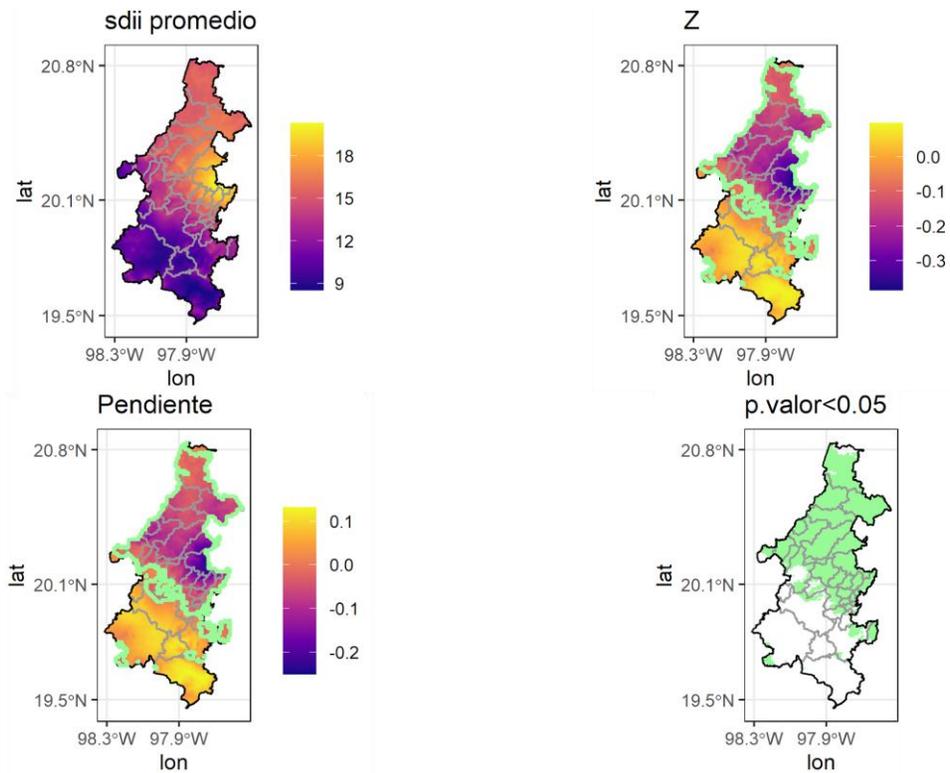


FIGURA 135. ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

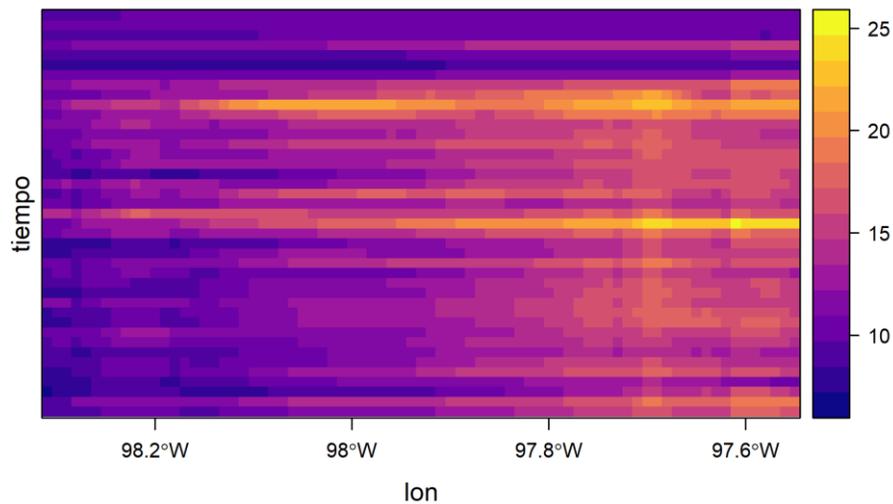


FIGURA 136. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE.

## Índices de temperatura

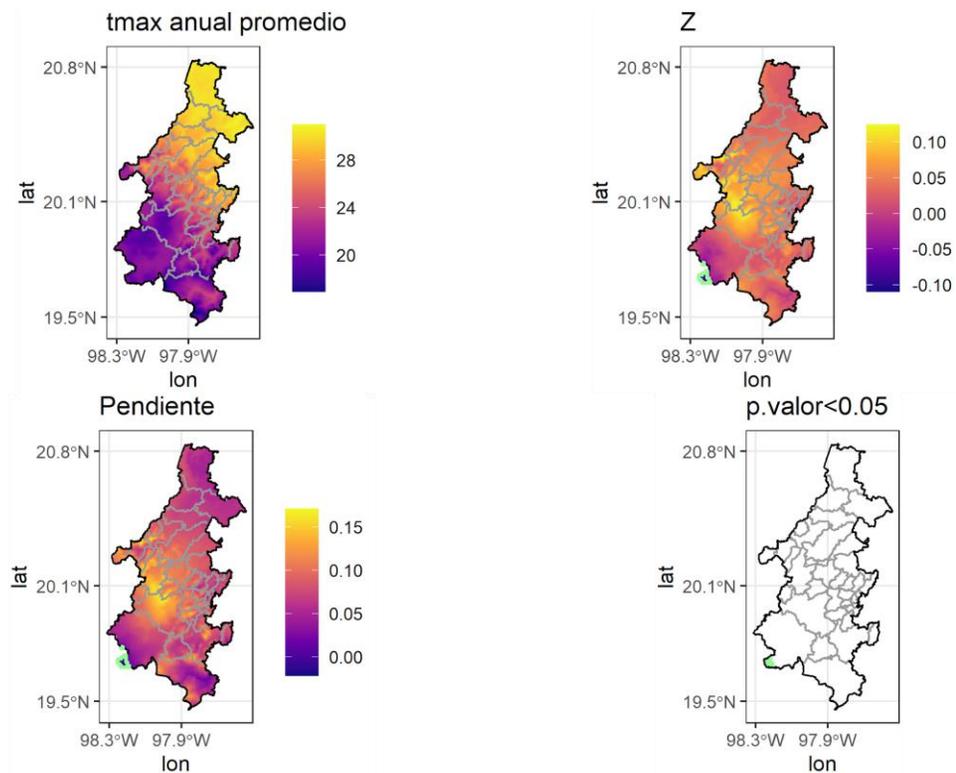


FIGURA 137. TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL (TMAX) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE; Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

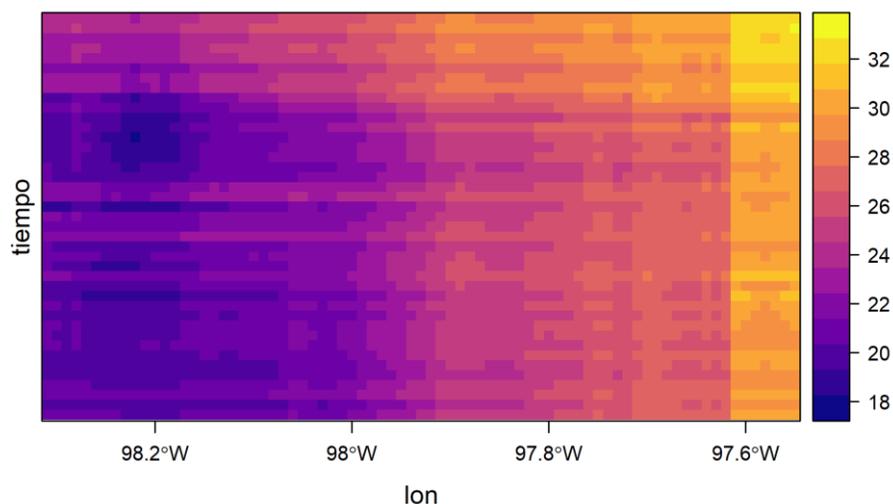


FIGURA 138. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (TMAX) MEDIA ANUAL PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE.

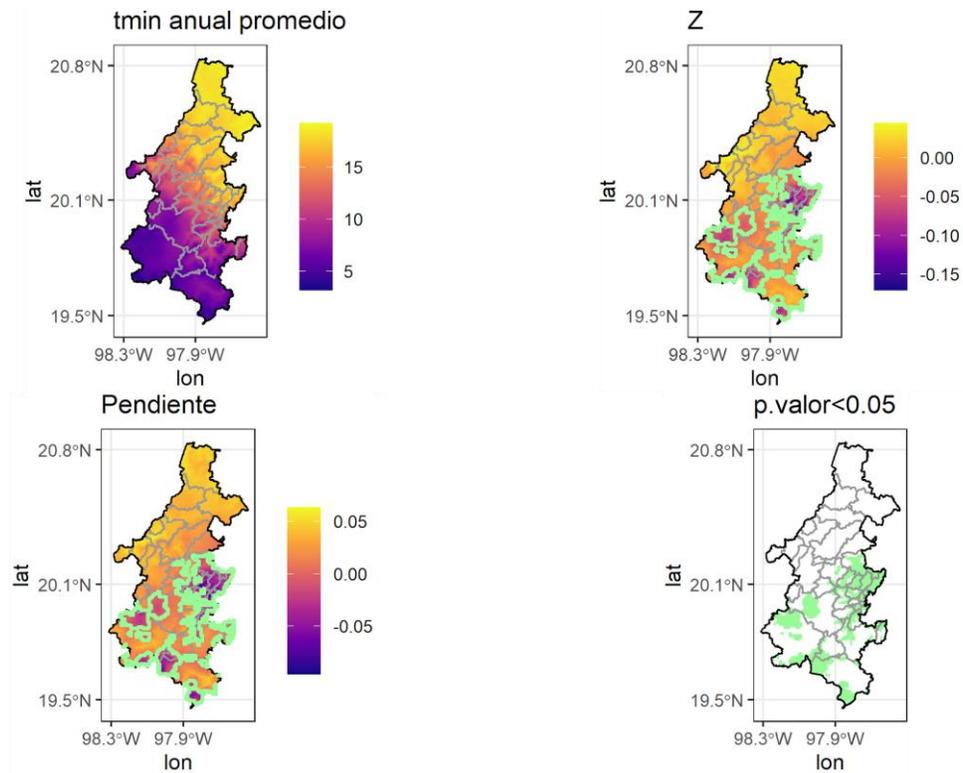


FIGURA 139. TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

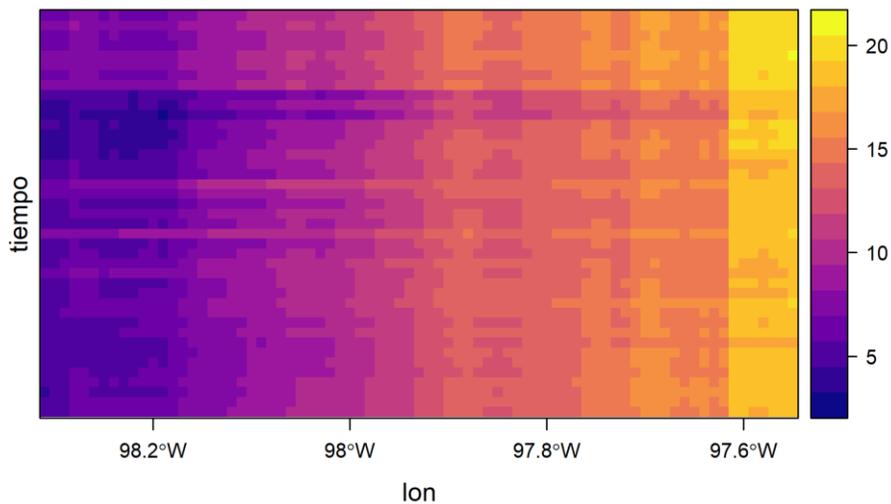


FIGURA 140. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE.

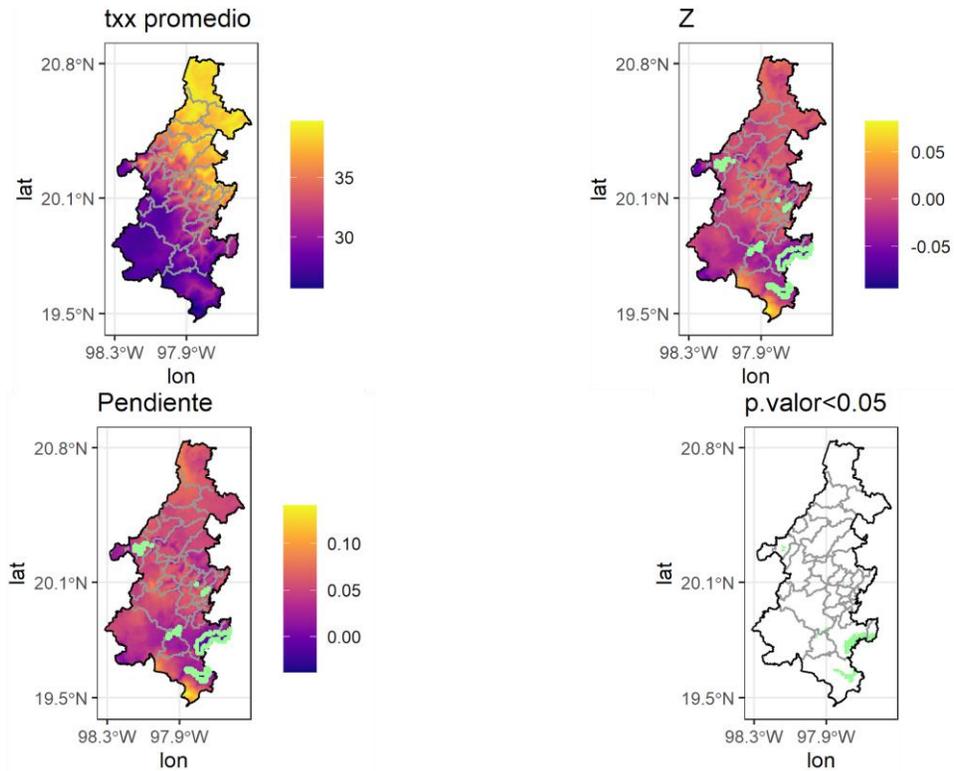


FIGURA 141. VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE.

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

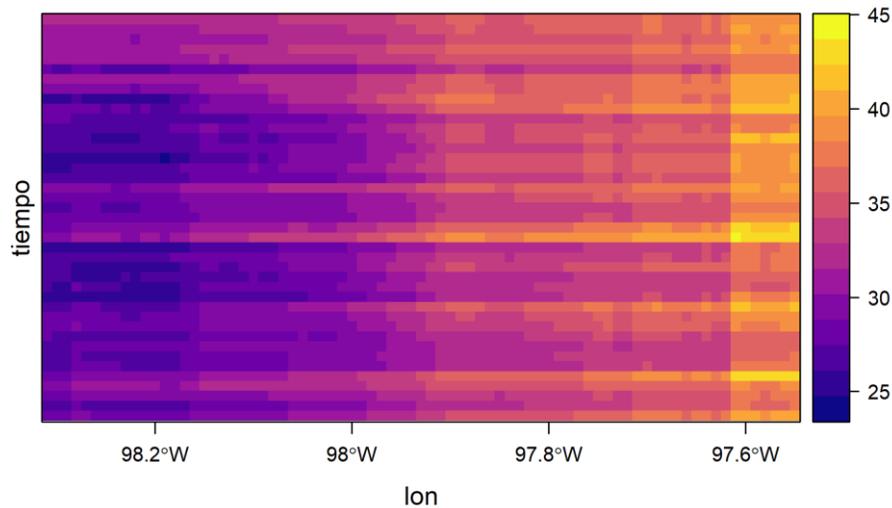


FIGURA 142. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE.

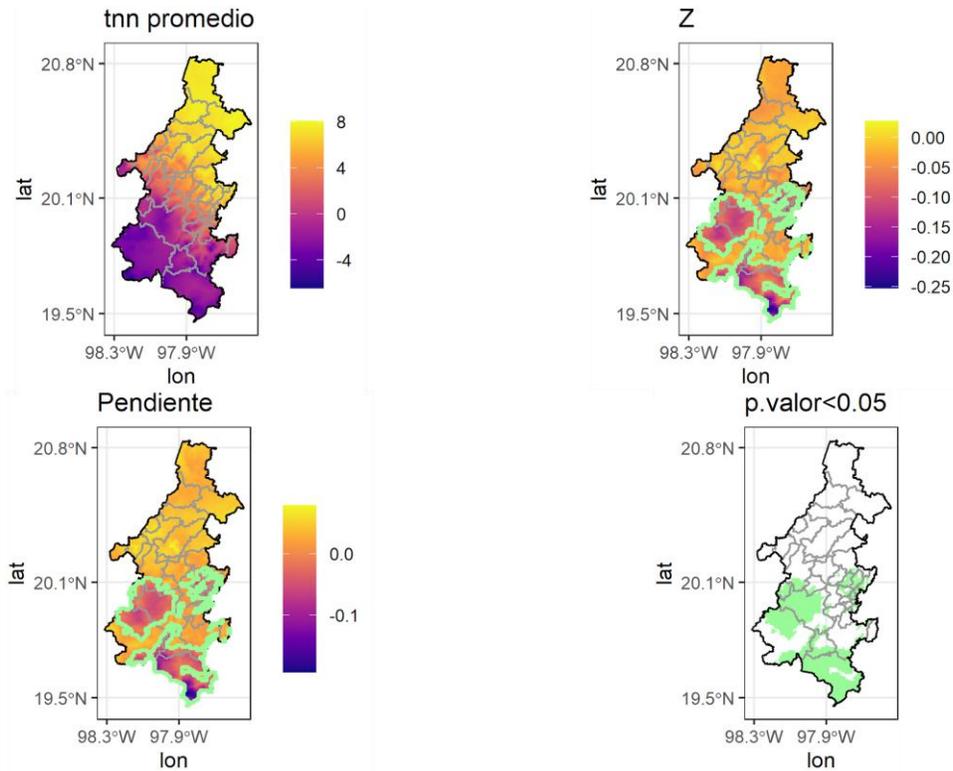


FIGURA 143. VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

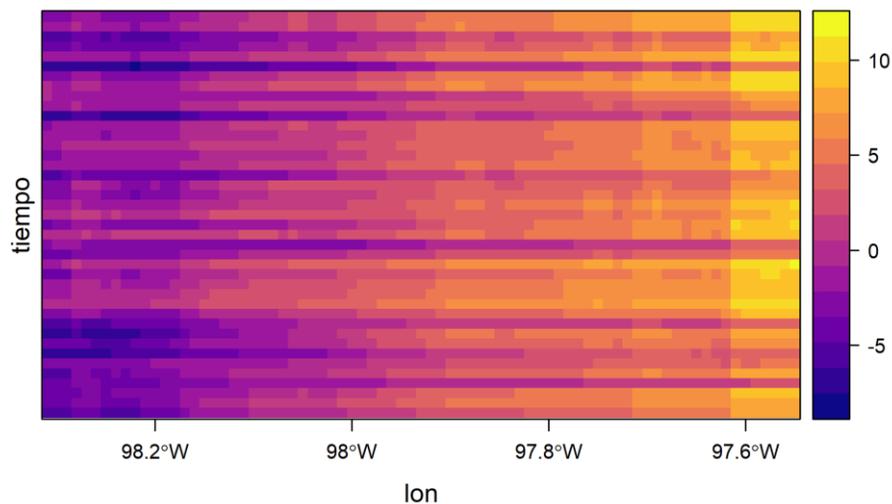


FIGURA 144. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE.

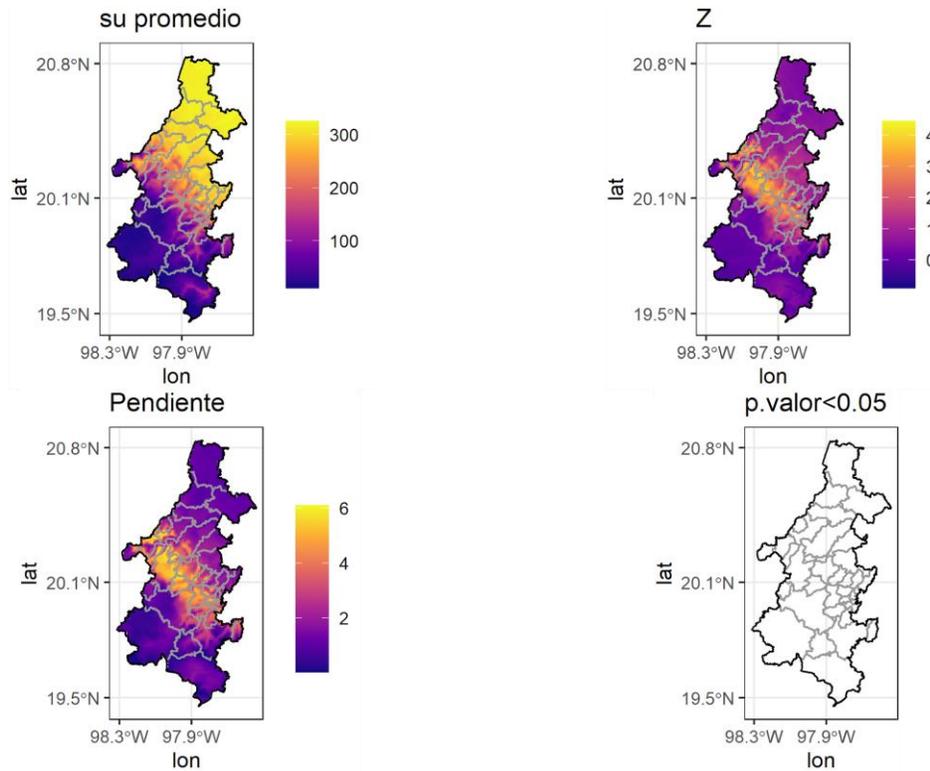


FIGURA 145. NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

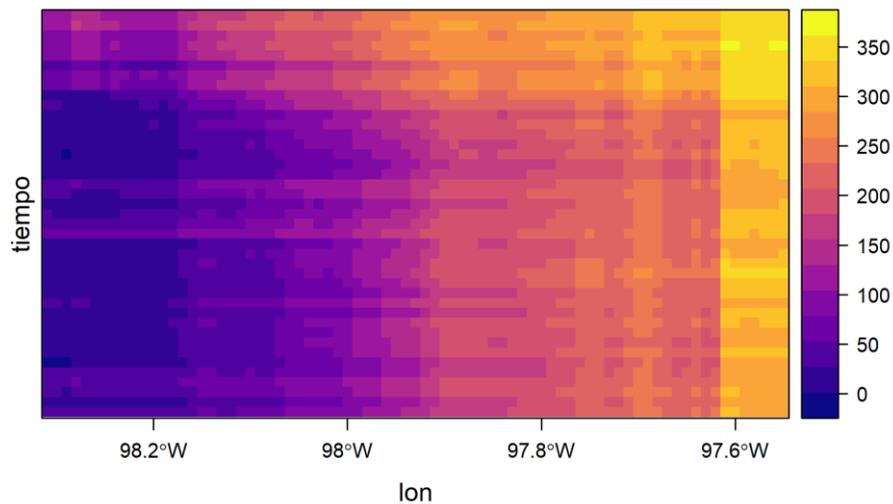


FIGURA 146. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE.

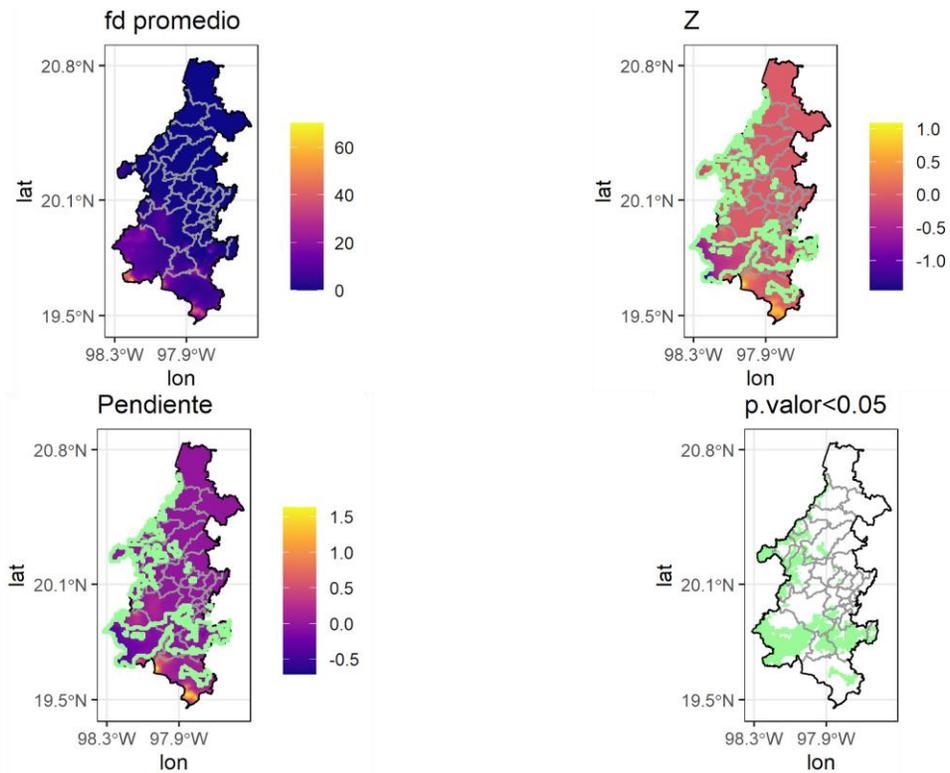


FIGURA 147. NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

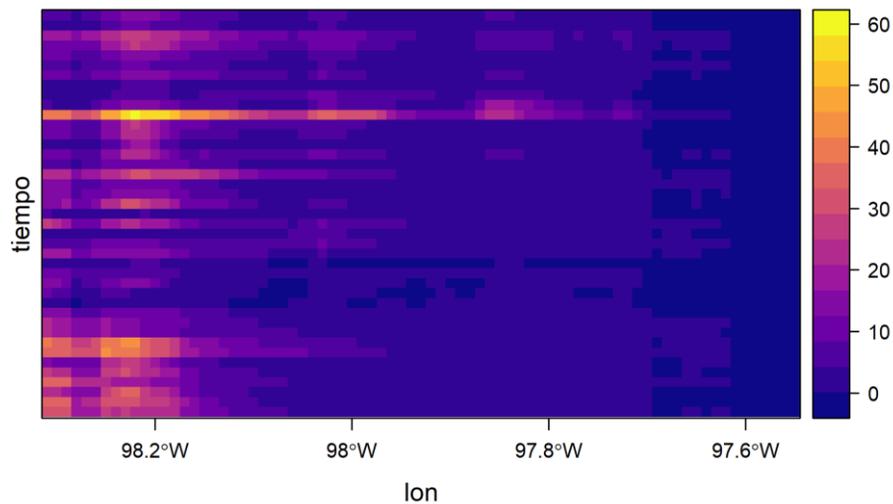


FIGURA 148. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE.

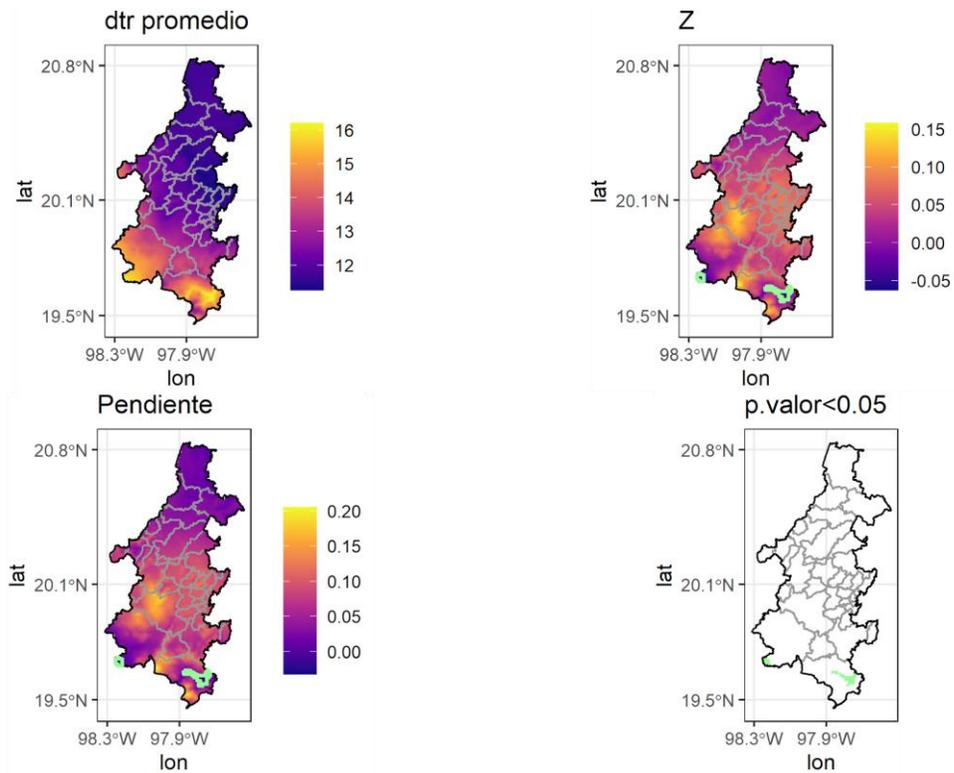


FIGURA 149. RANGO DE TEMPERATURA DIARIO (DTR) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

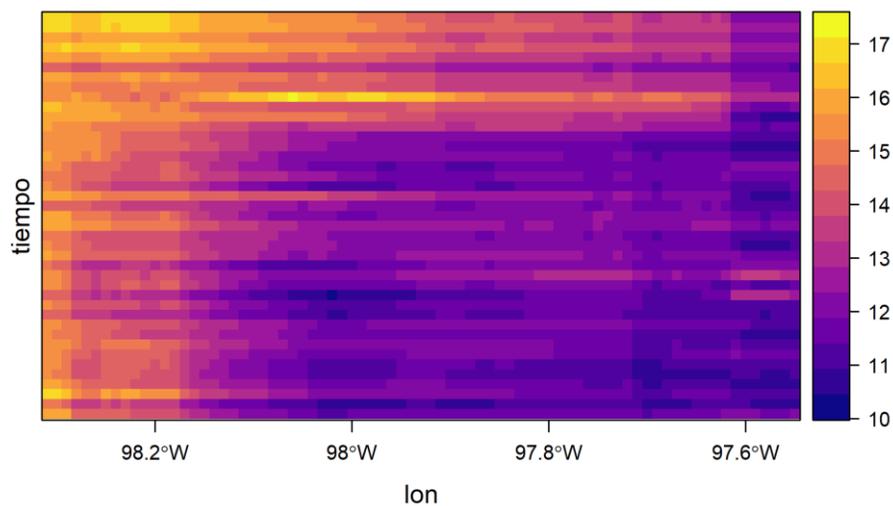


FIGURA 150. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL RANGO DE TEMPERATURA DIARIO (DTR) PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE.

## VALLE ATLIXCO

### Índices de precipitación

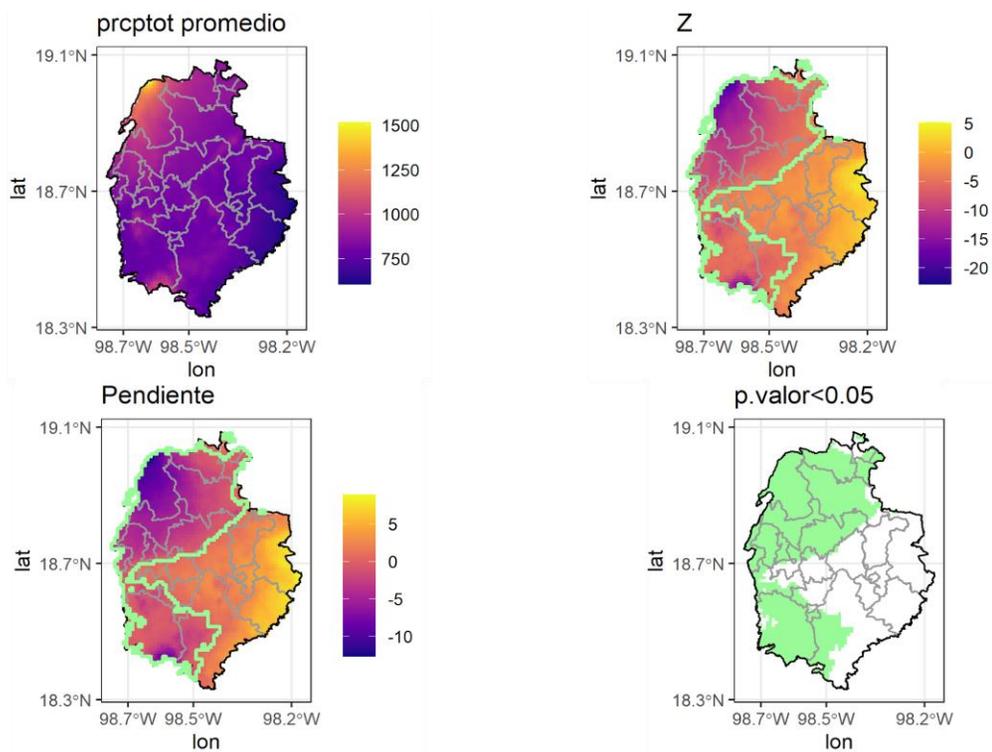


FIGURA 151. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

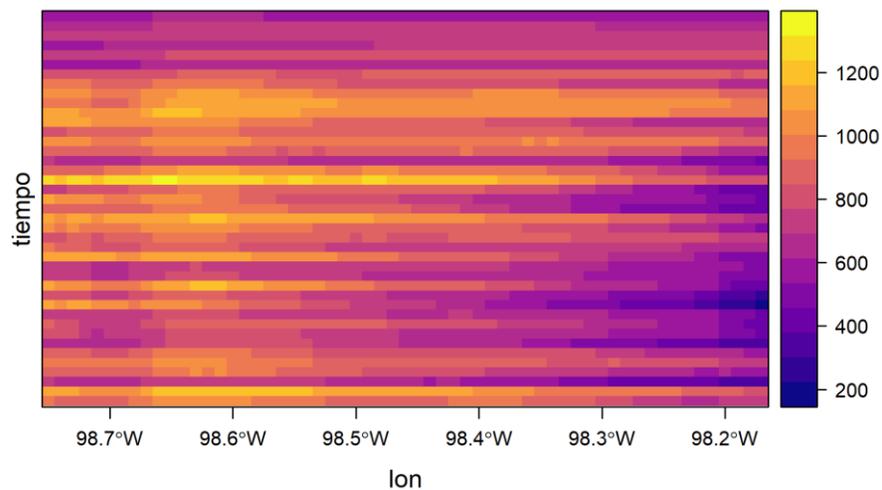


FIGURA 152. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

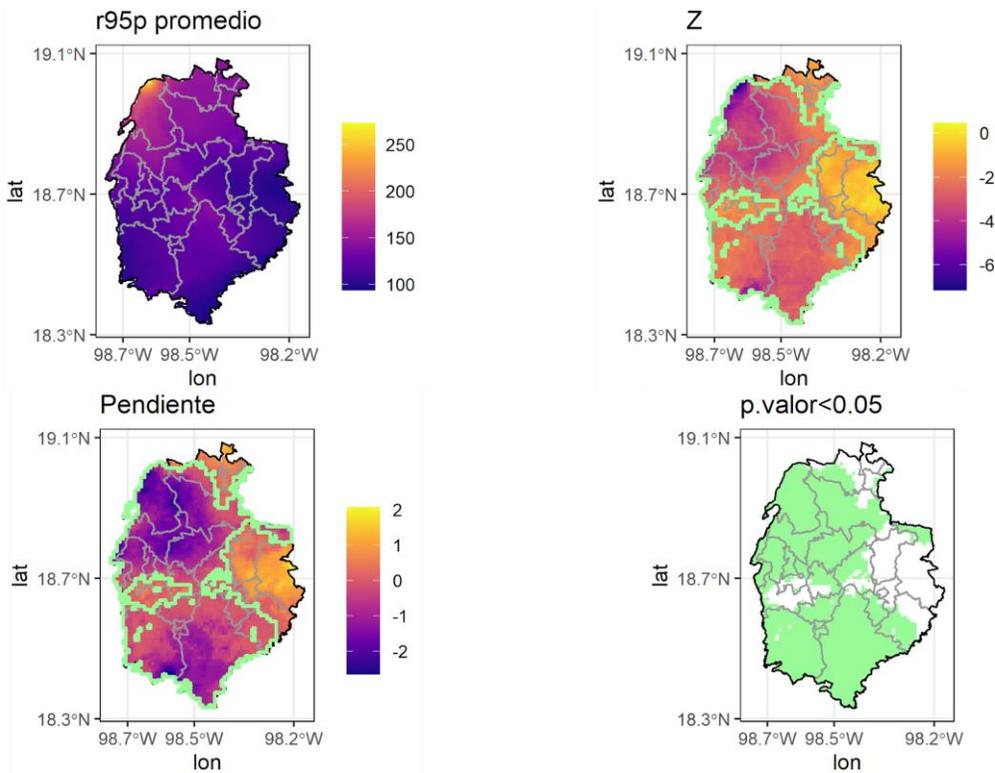


FIGURA 153. CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

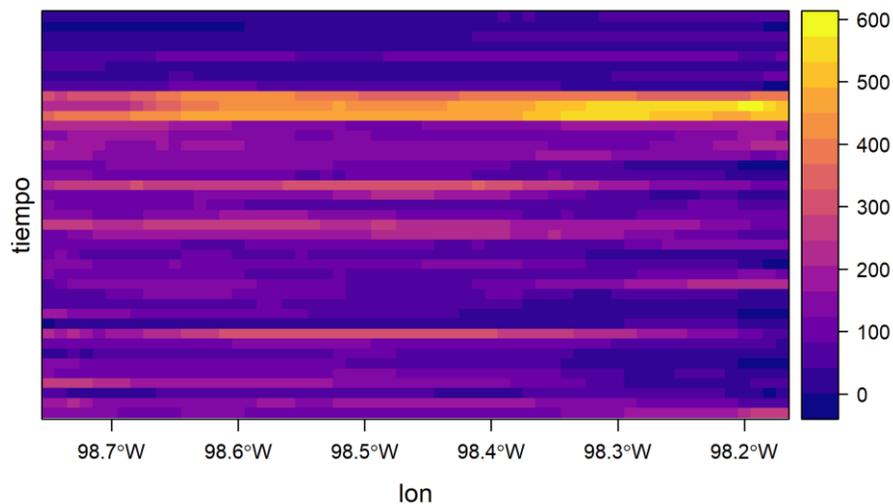


FIGURA 154. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

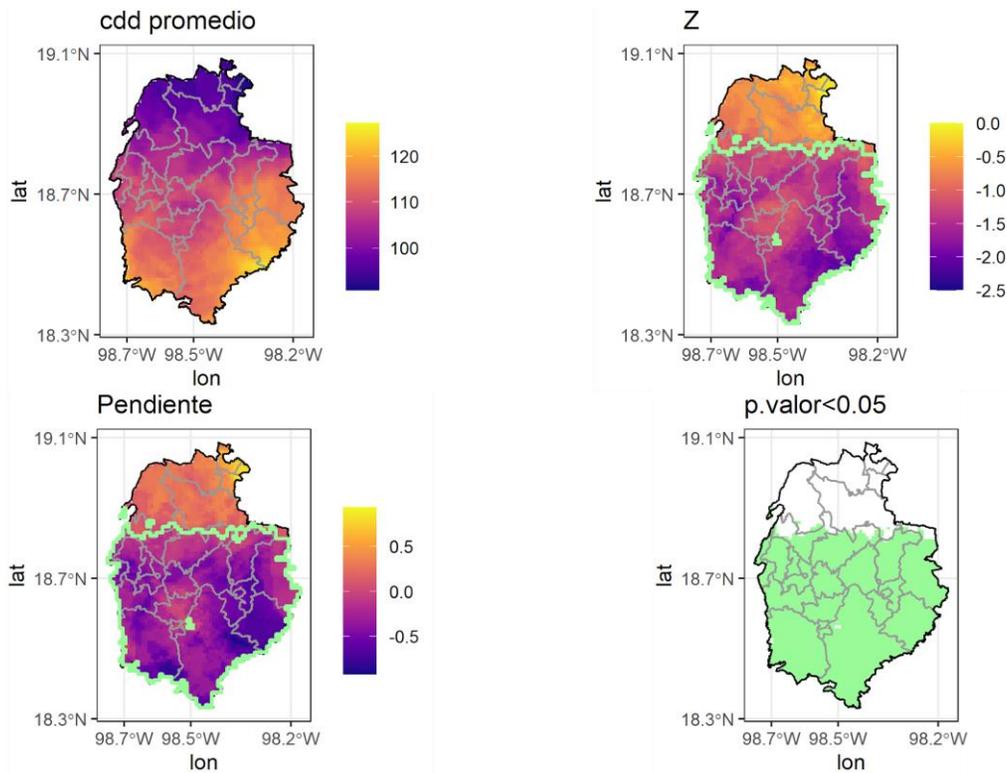


FIGURA 155. DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

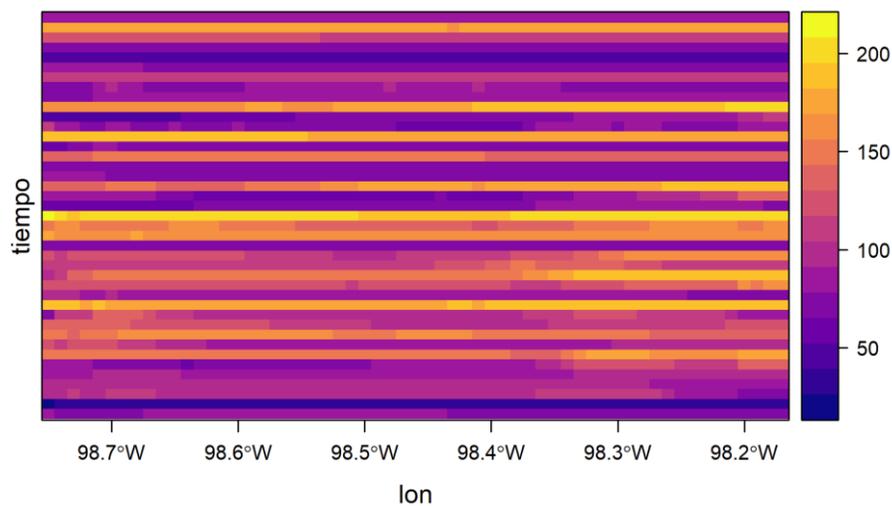


FIGURA 156. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

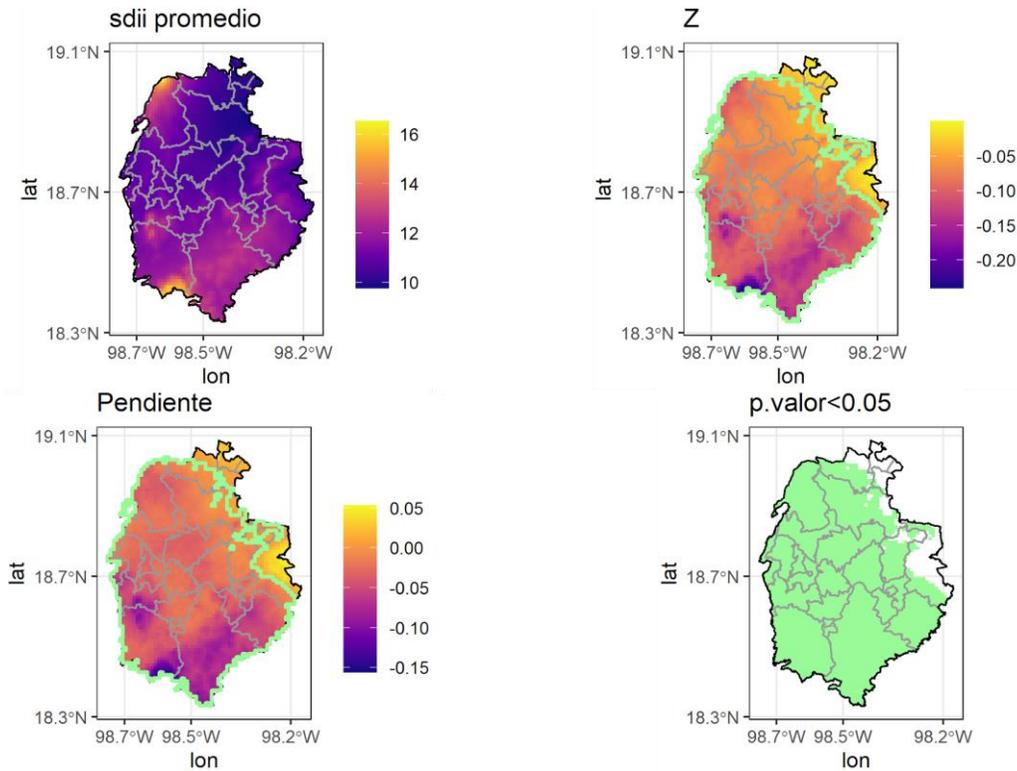


FIGURA 157. ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

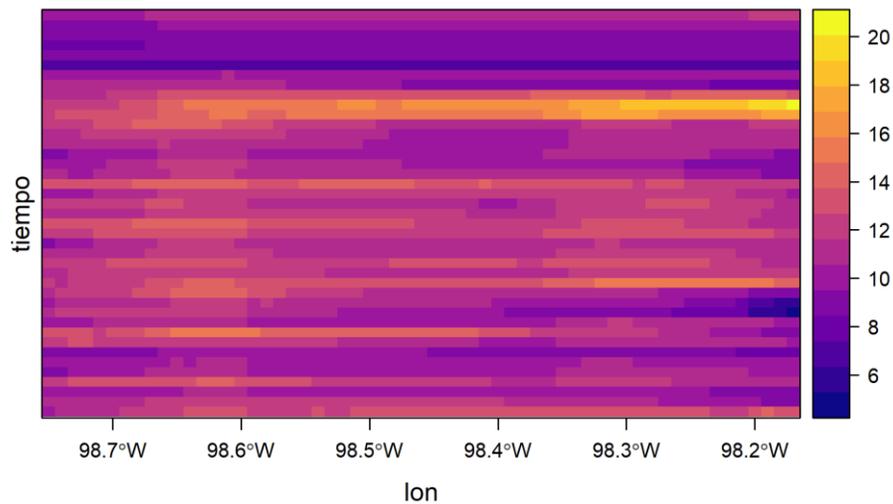


FIGURA 158. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

## Índices de temperatura

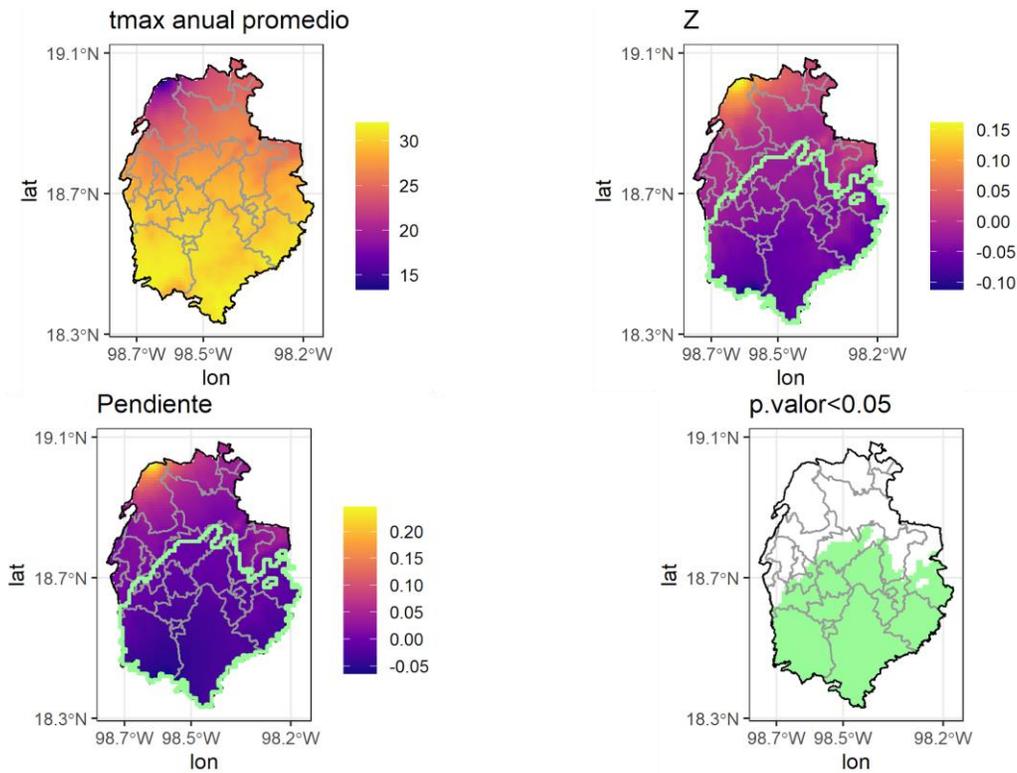


FIGURA 159. TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL (TMAX) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO; Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

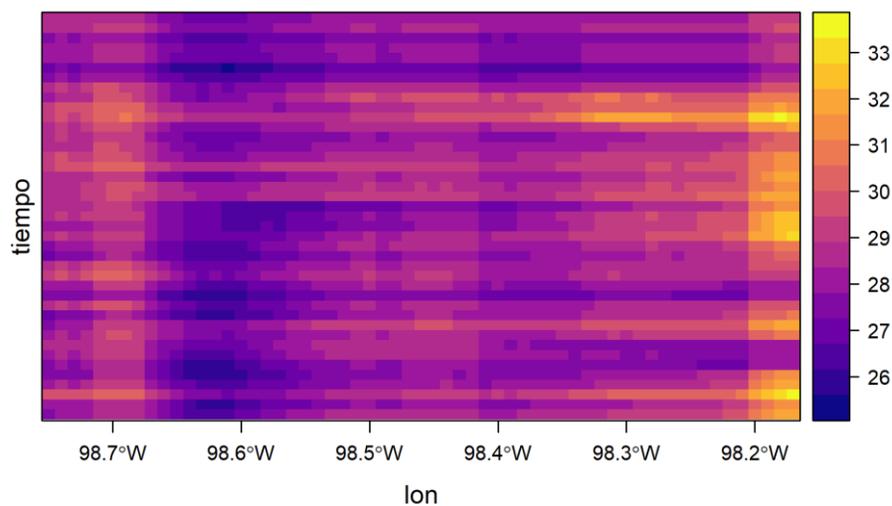


FIGURA 160. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (TMAX) MEDIA ANUAL PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

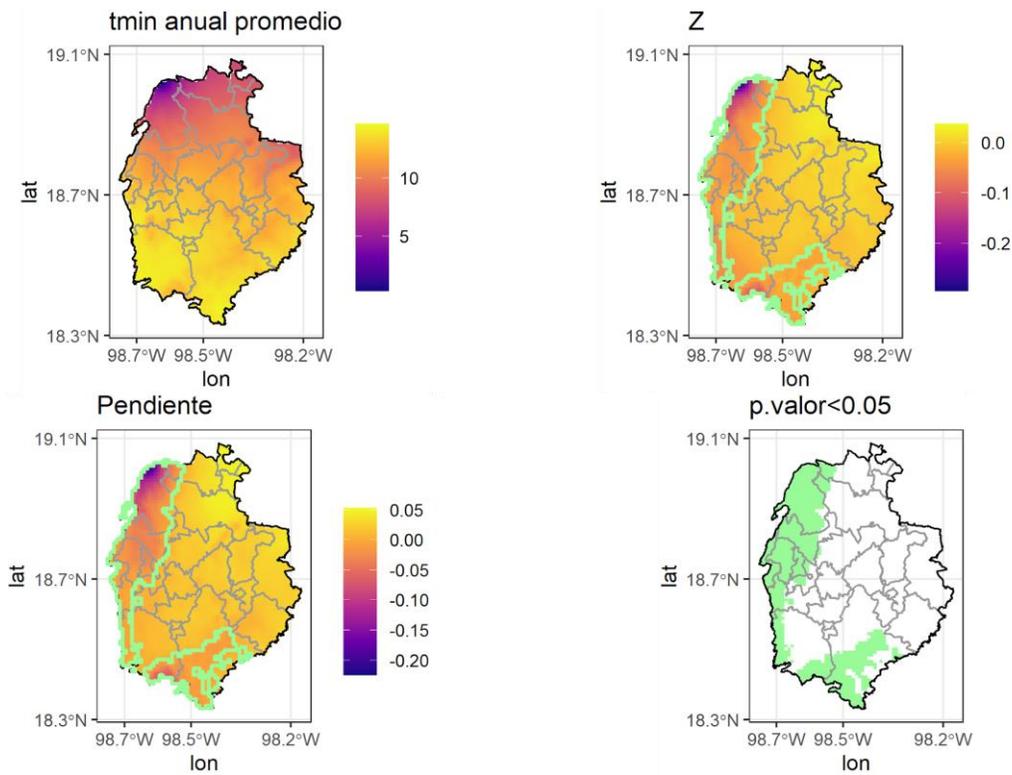


FIGURA 161. TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

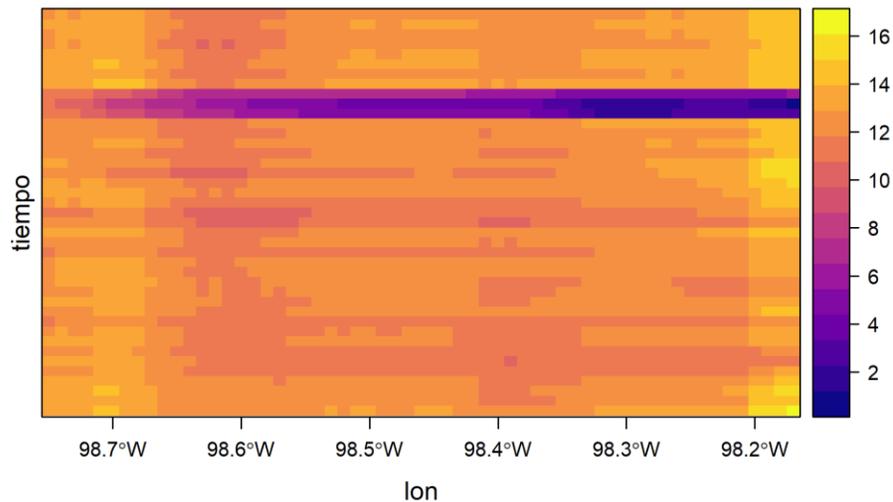


FIGURA 162. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

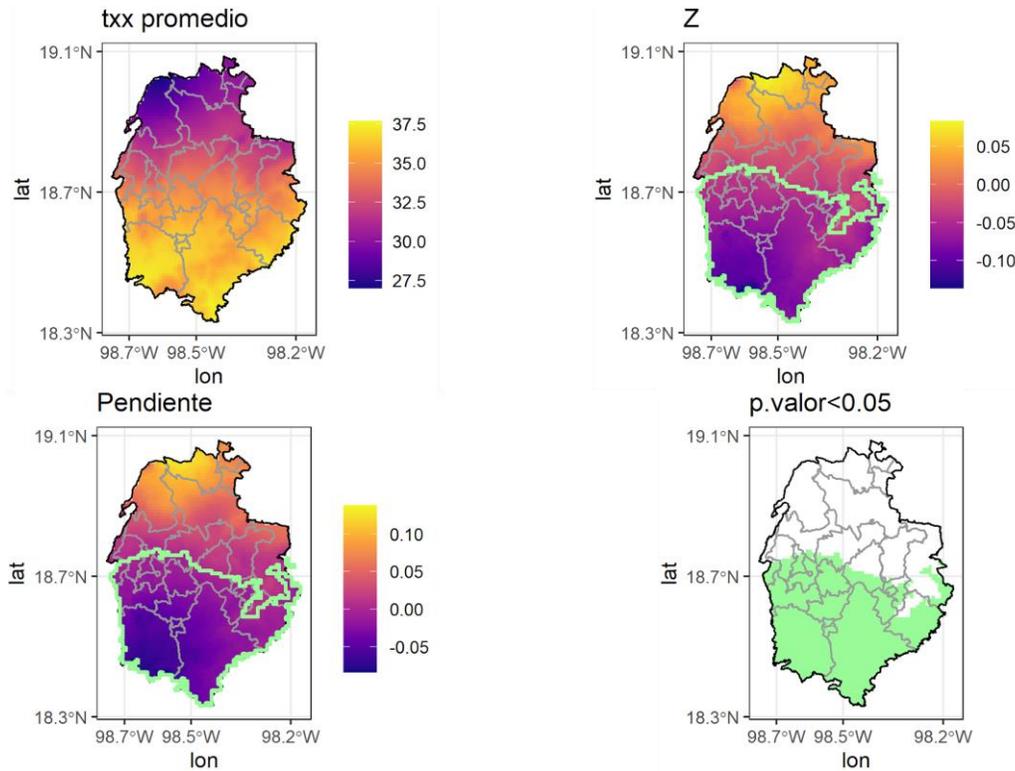


FIGURA 163. VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

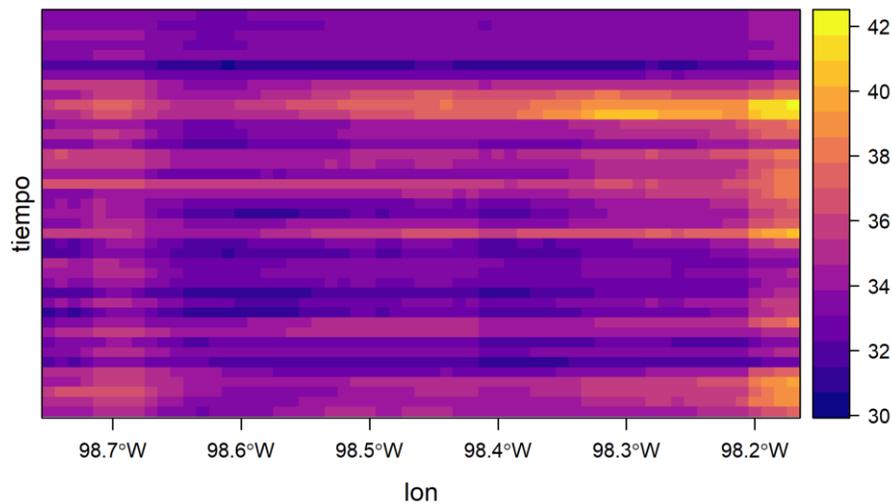


FIGURA 164. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

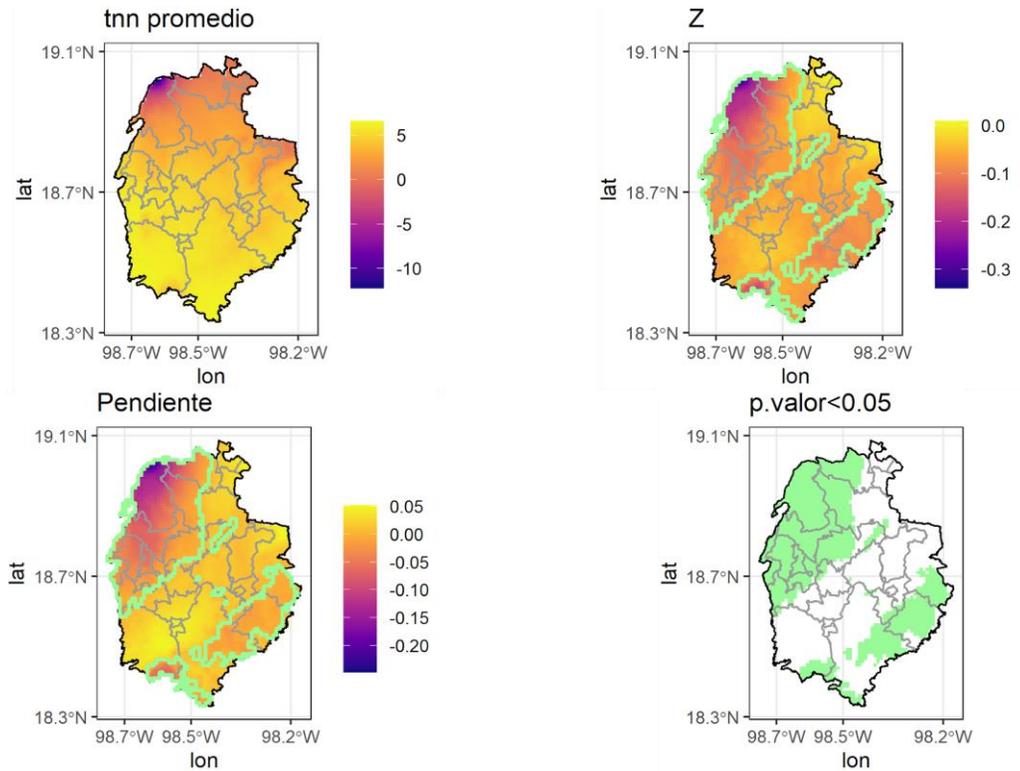


FIGURA 165. VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

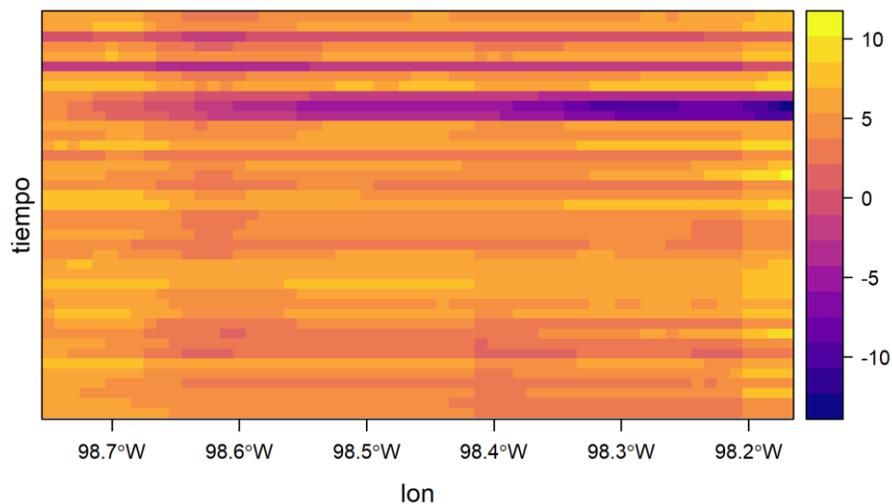


FIGURA 166. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

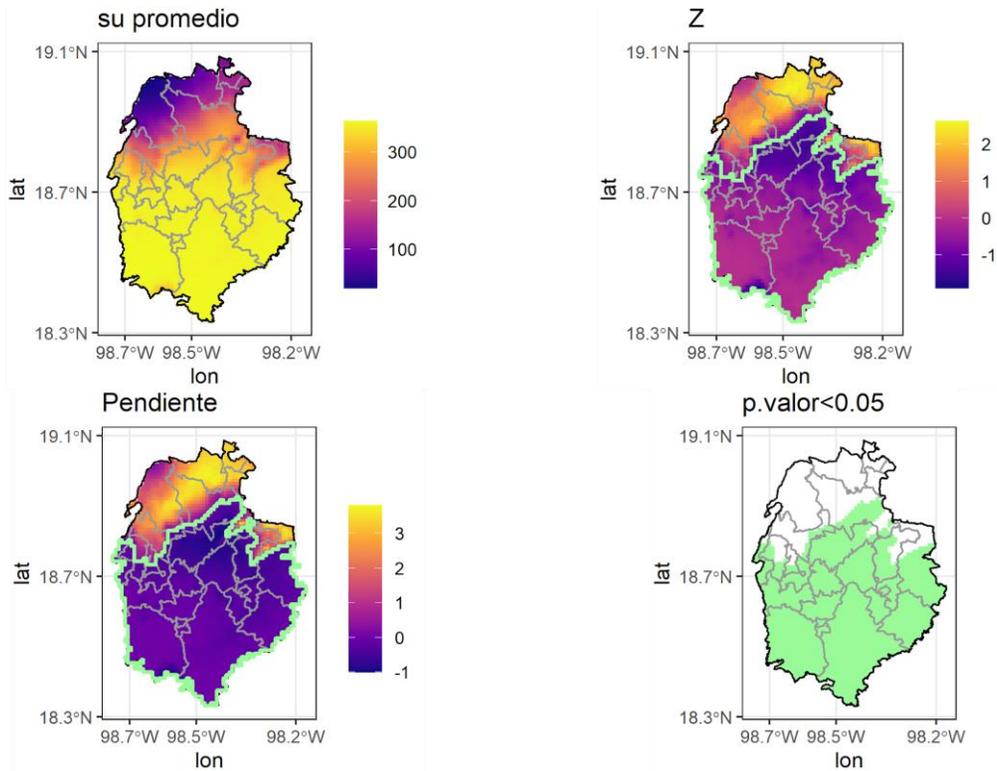


FIGURA 167. NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

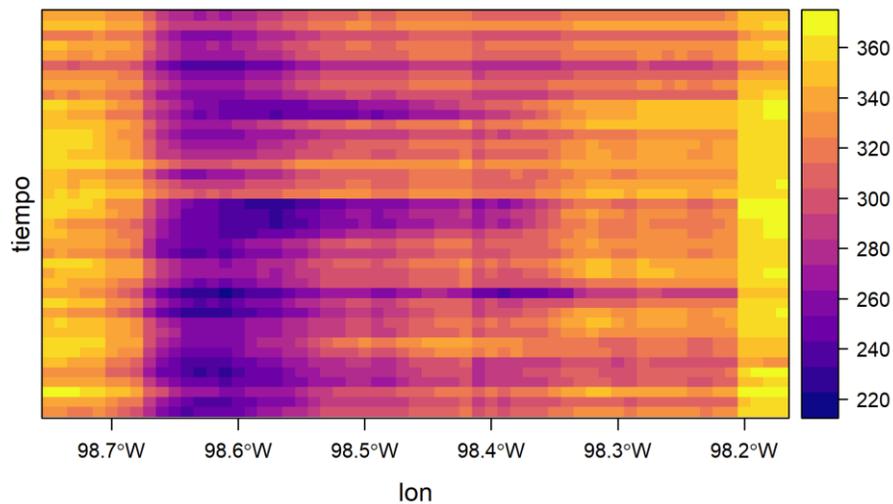


FIGURA 168. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

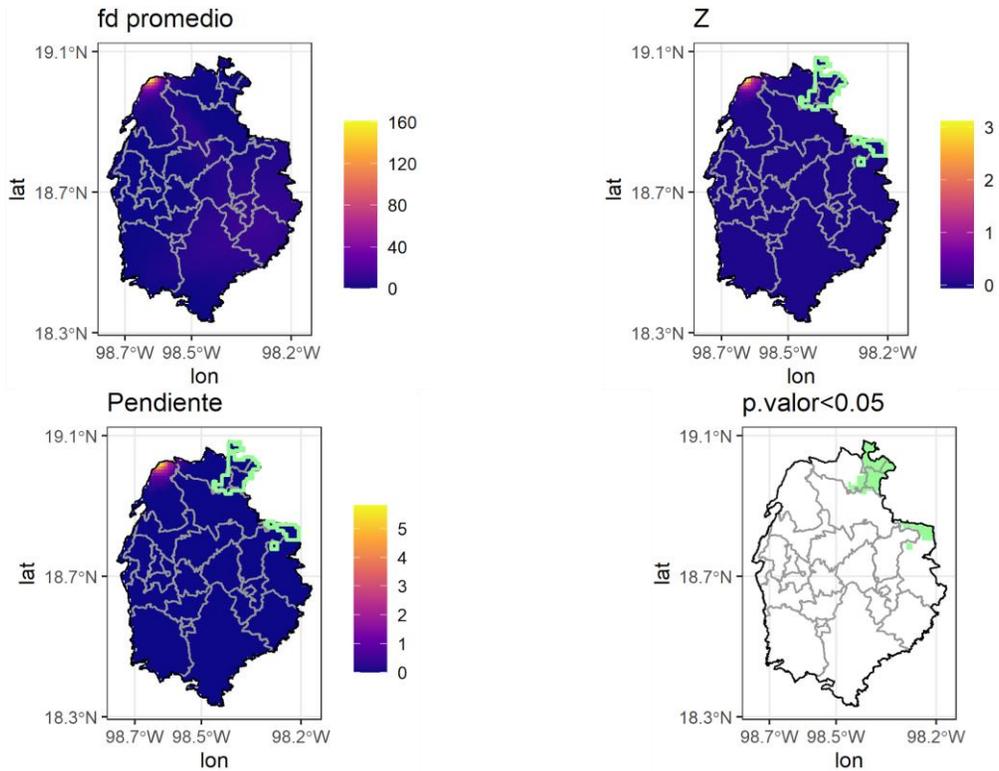


FIGURA 169. NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

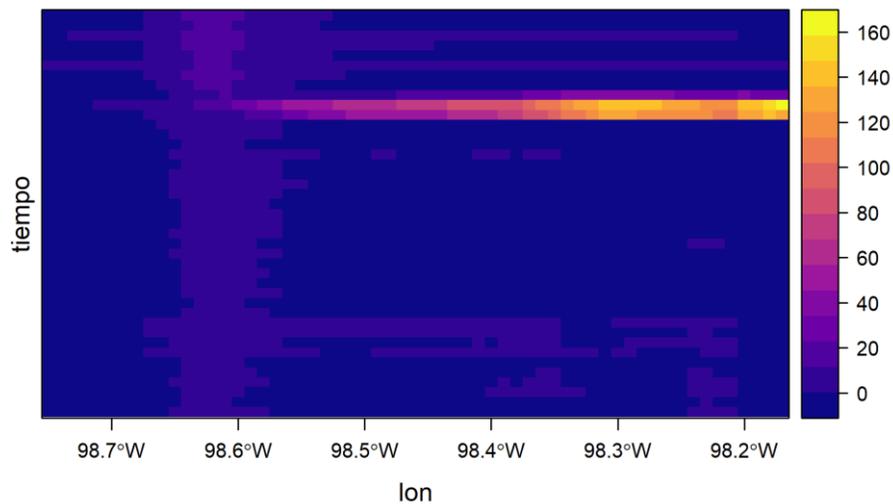


FIGURA 170. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

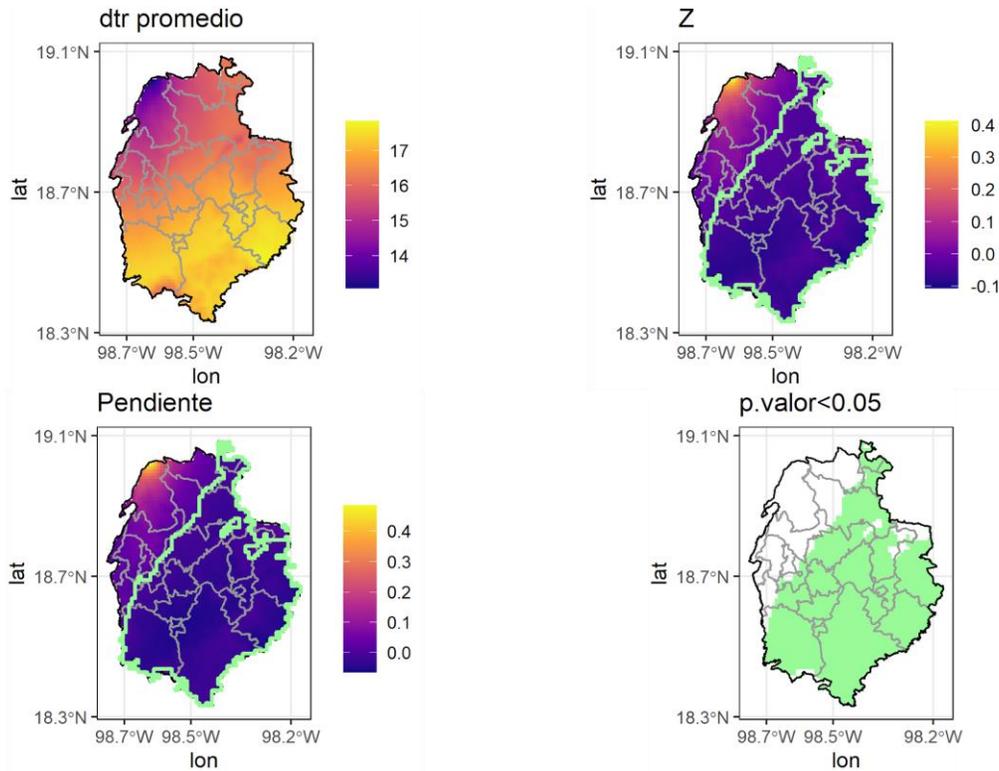


FIGURA 171. RANGO DE TEMPERATURA DIARIO (DTR) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

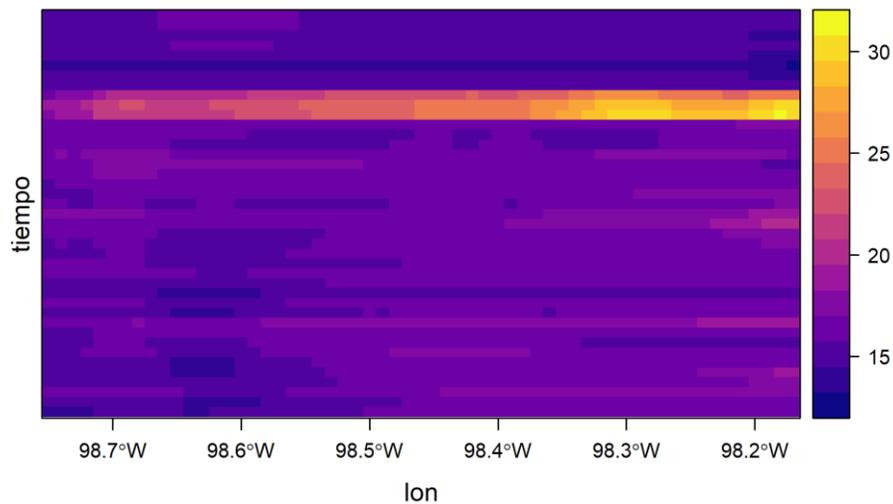


FIGURA 172. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL RANGO DE TEMPERATURA DIARIO (DTR) PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO.

## VALLE SERDÁN

### Índices de precipitación

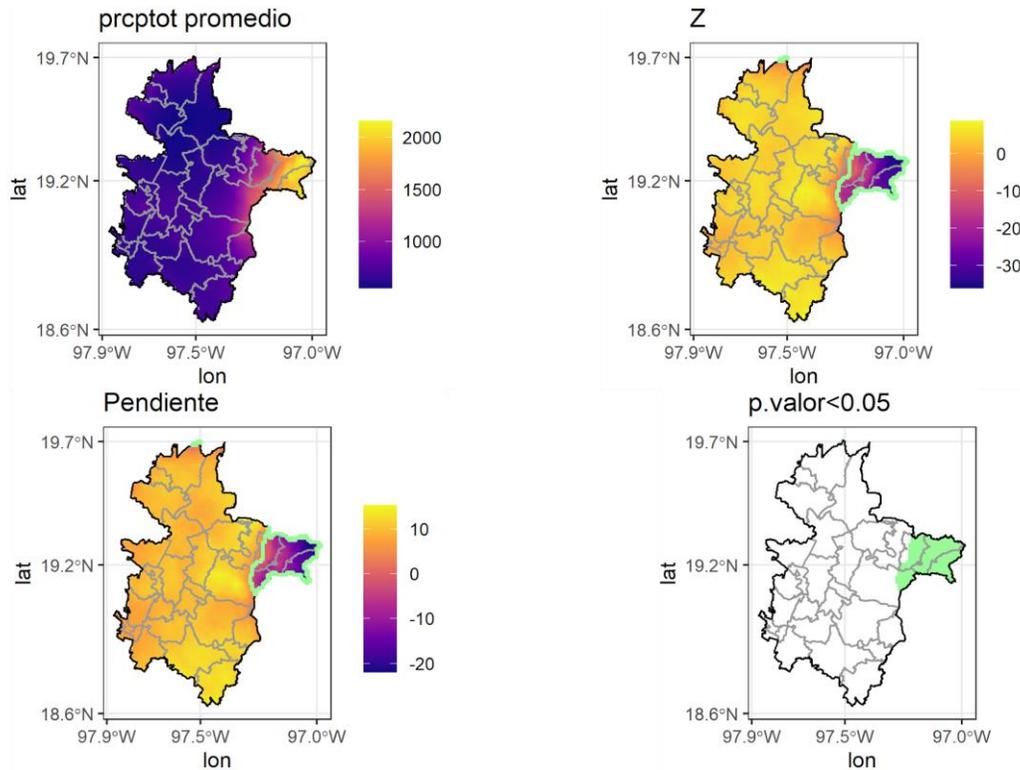


FIGURA 173. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

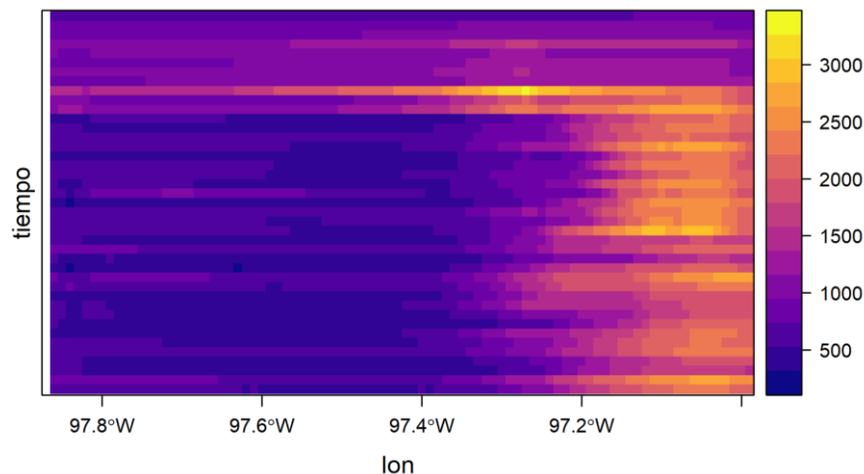


FIGURA 174. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

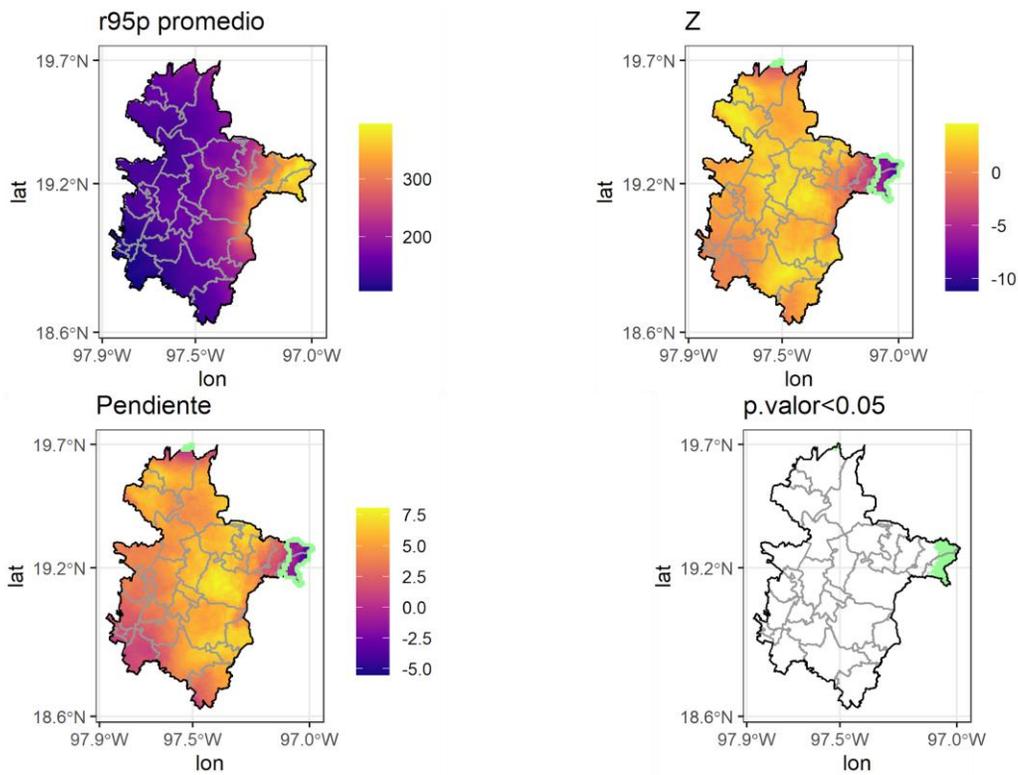


FIGURA 175. CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

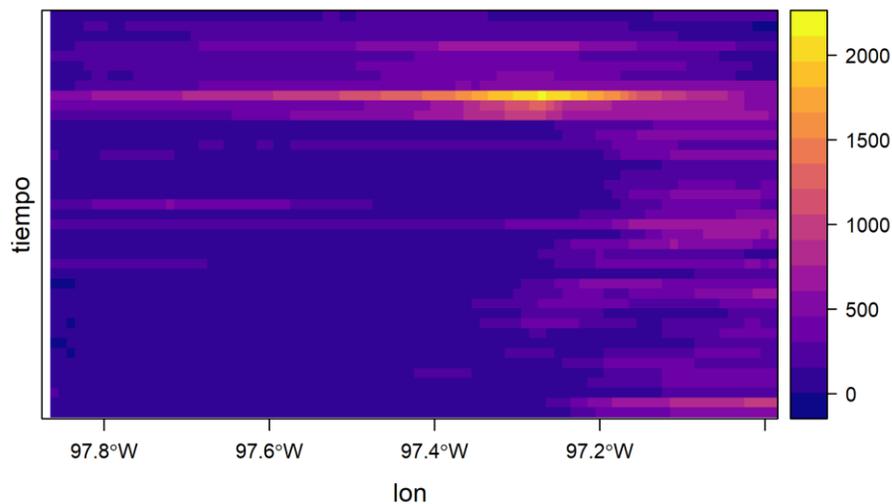


FIGURA 176. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

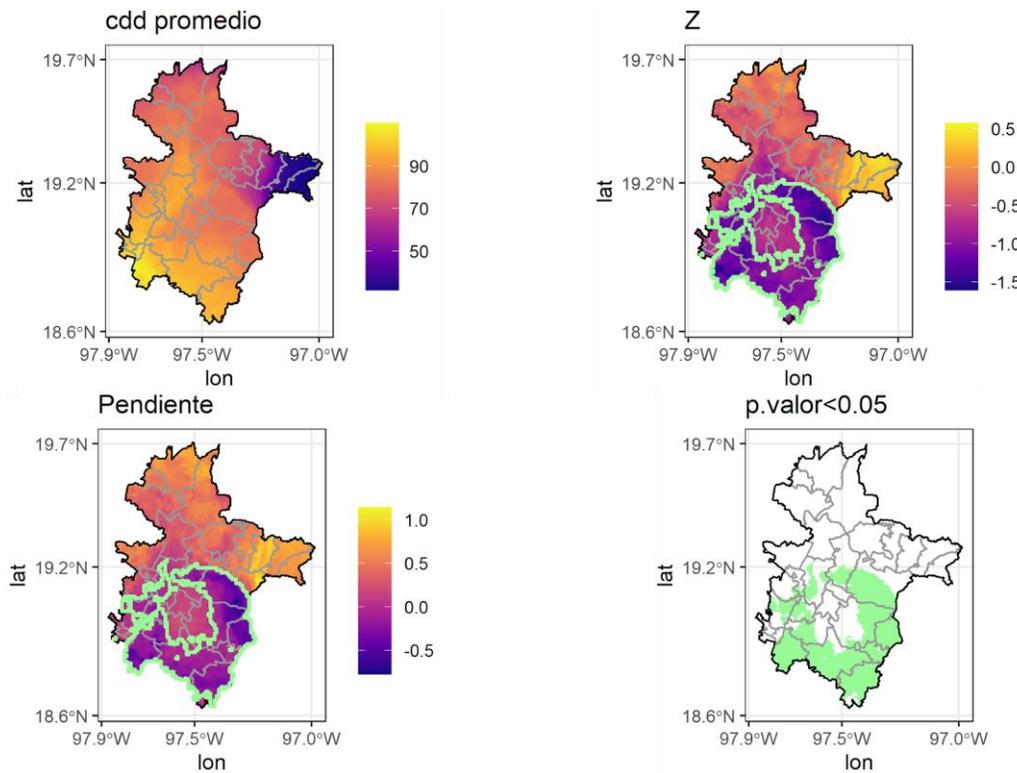


FIGURA 177. DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

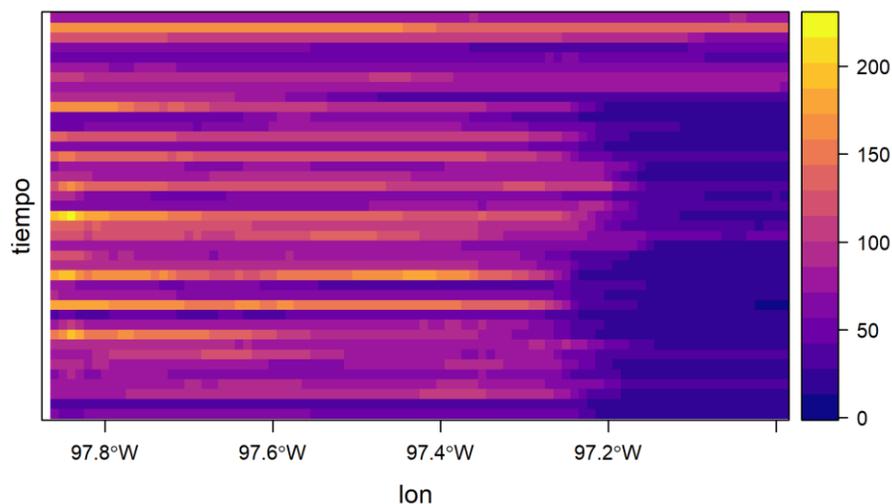


FIGURA 178. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

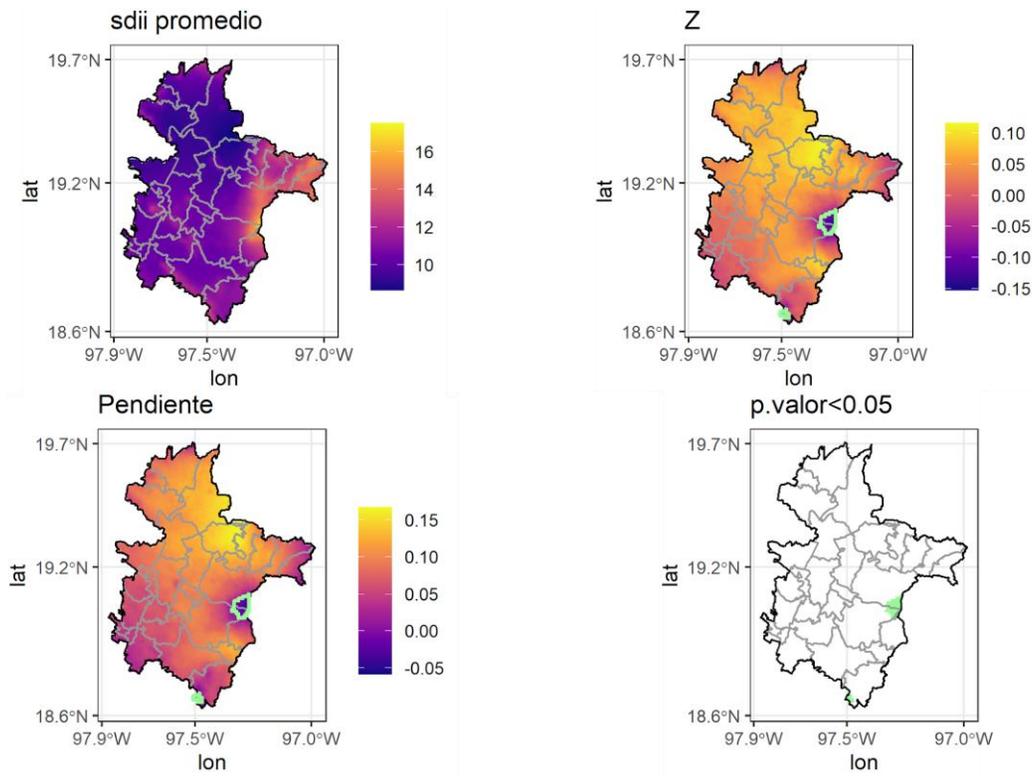


FIGURA 179. ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

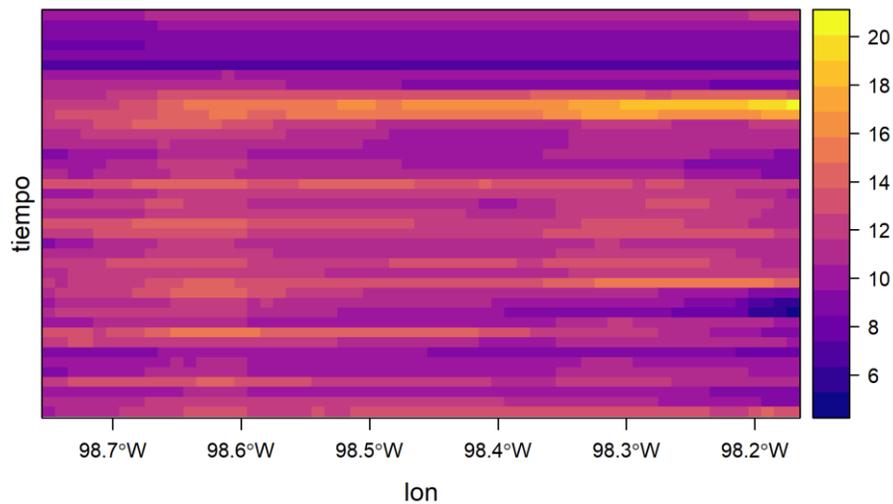


FIGURA 180. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

## Índices de temperatura

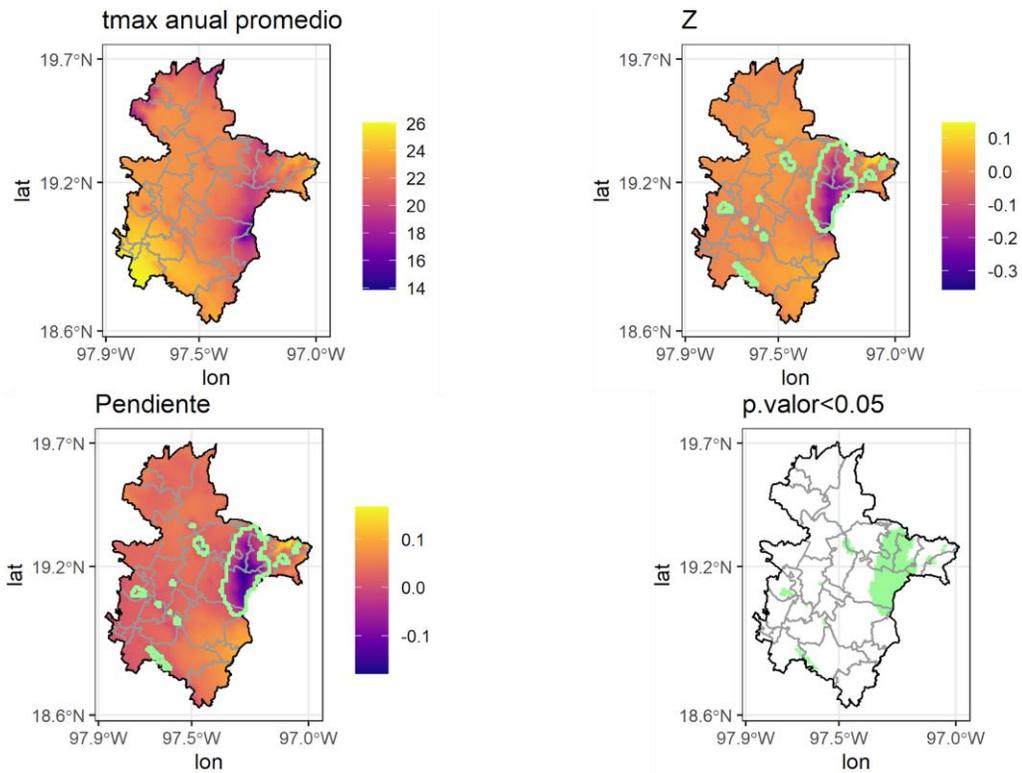


FIGURA 181. TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL (TMAX) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor < 0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

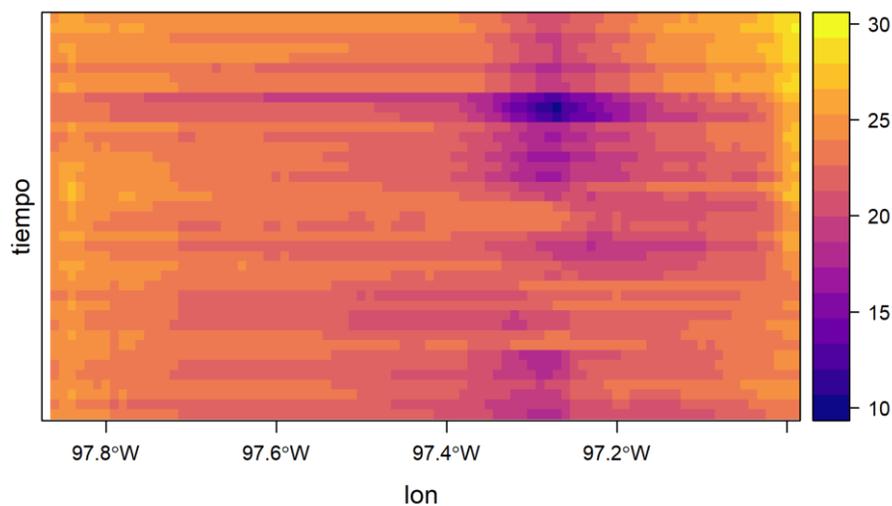


FIGURA 182. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (TMAX) MEDIA ANUAL PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

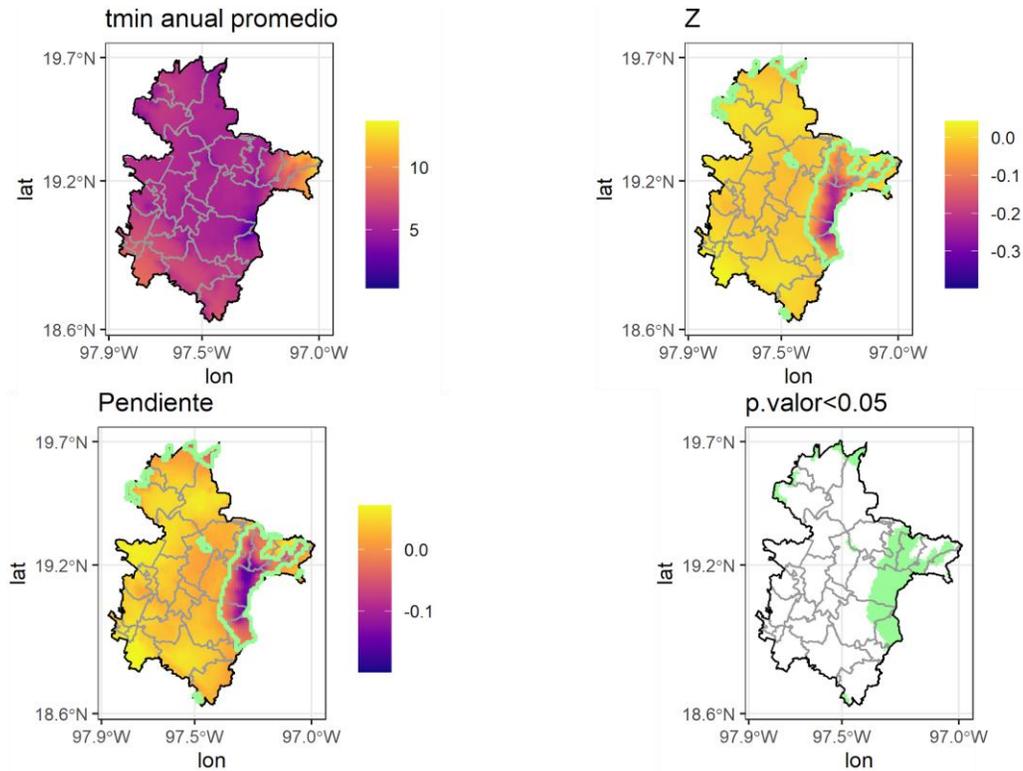


FIGURA 183. TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

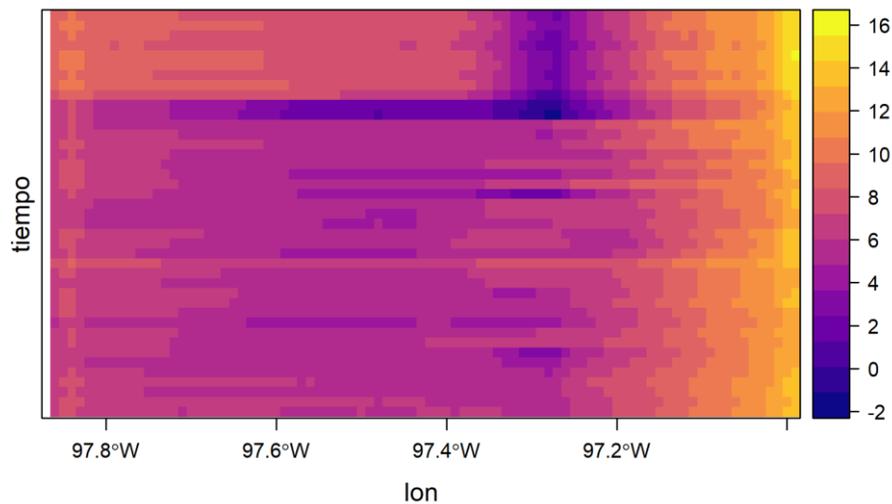


FIGURA 184. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

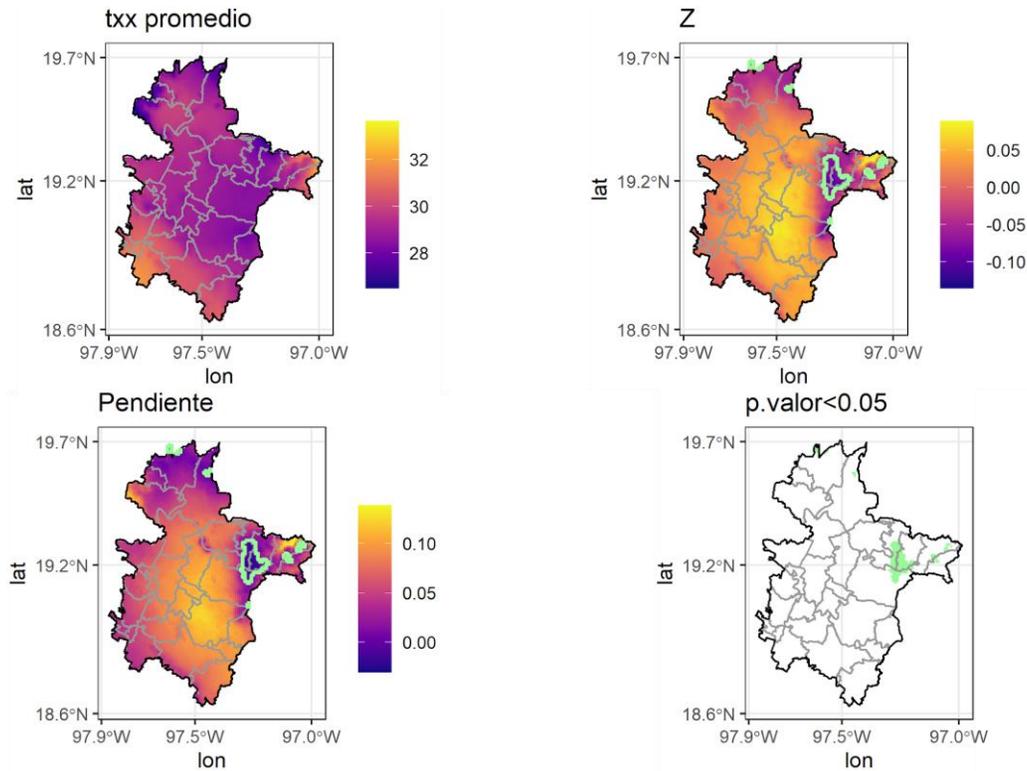


FIGURA 185. VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

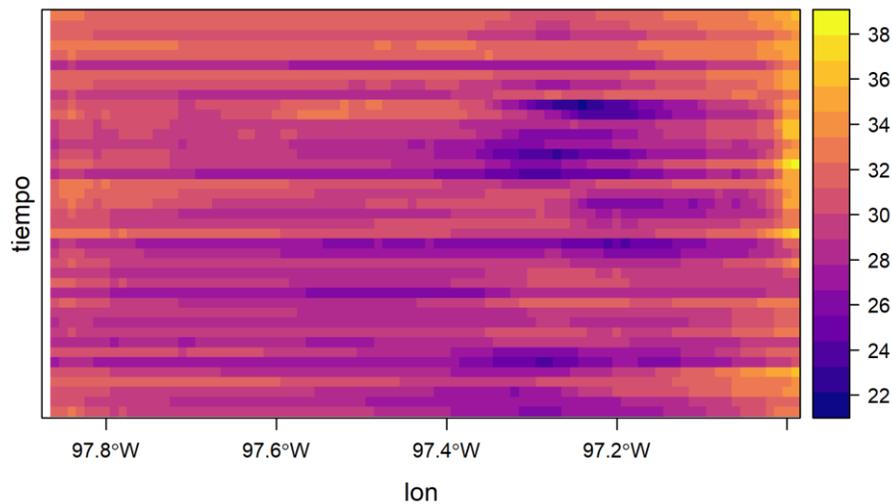


FIGURA 186. DIAGRAMA DE HOIVÖLLER DEL VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

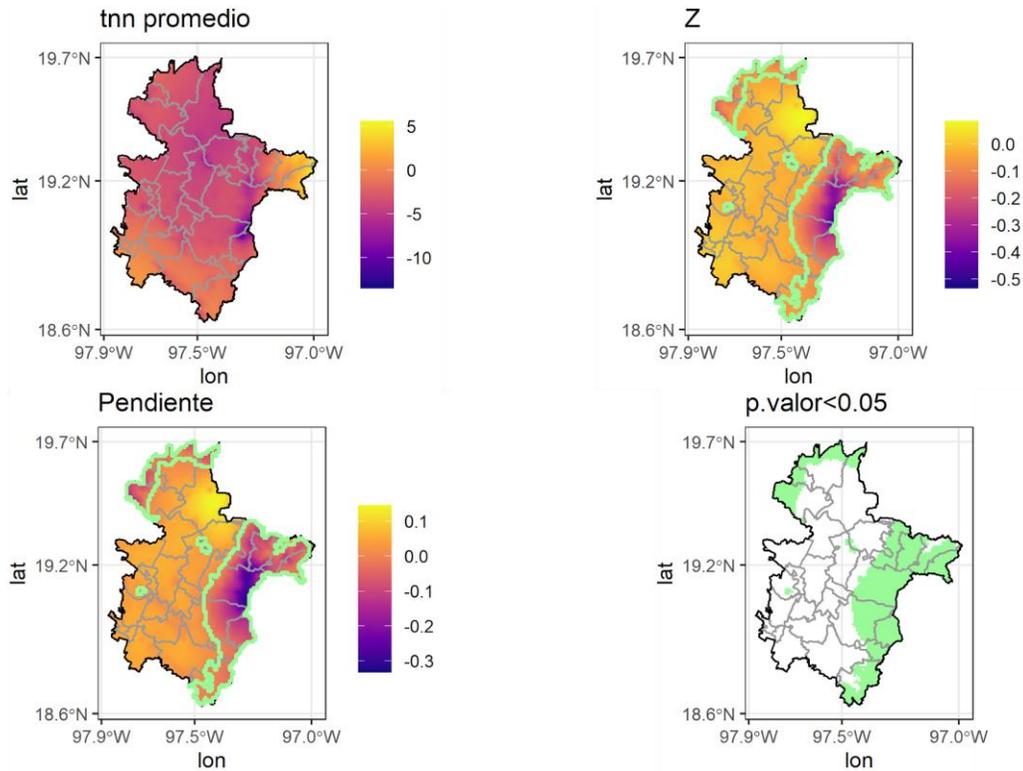


FIGURA 187. VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

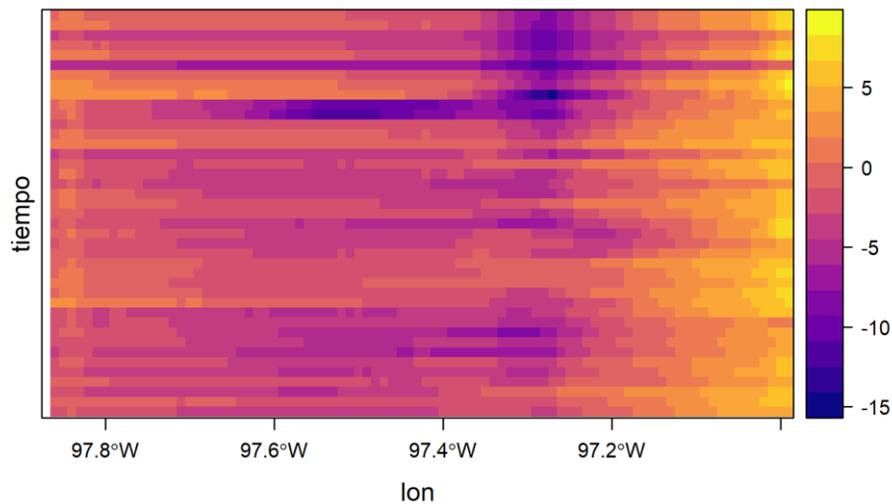


FIGURA 188. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

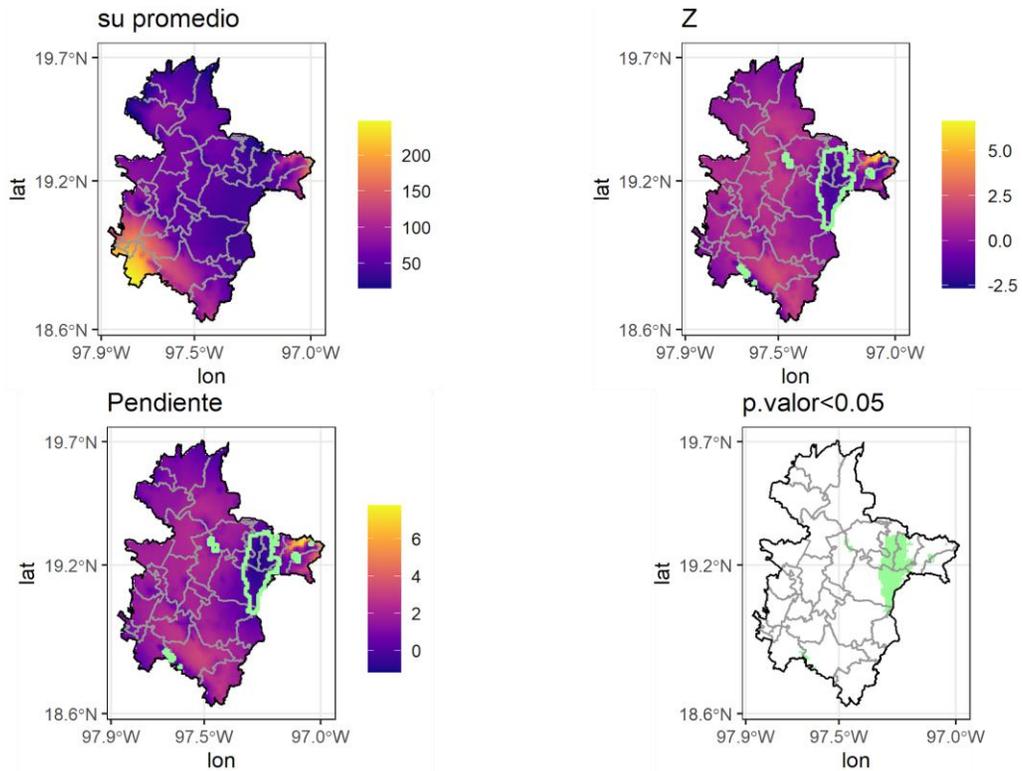


FIGURA 189. NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

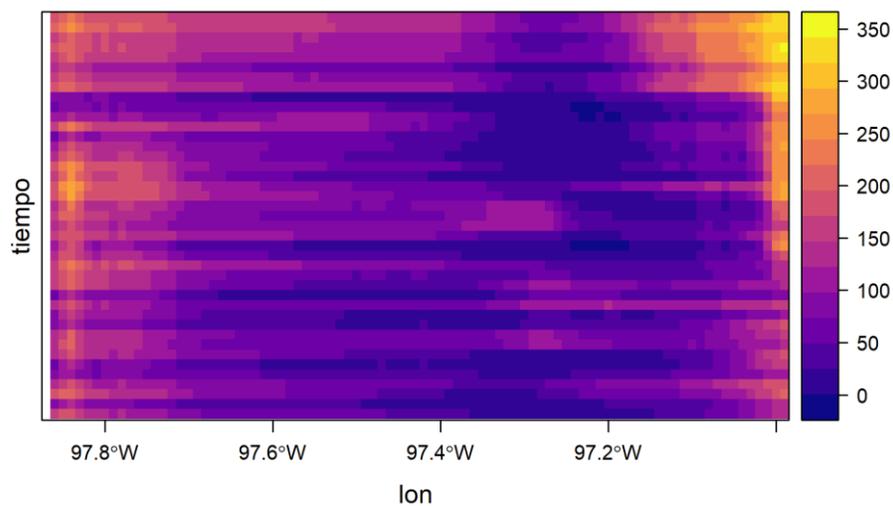


FIGURA 190. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

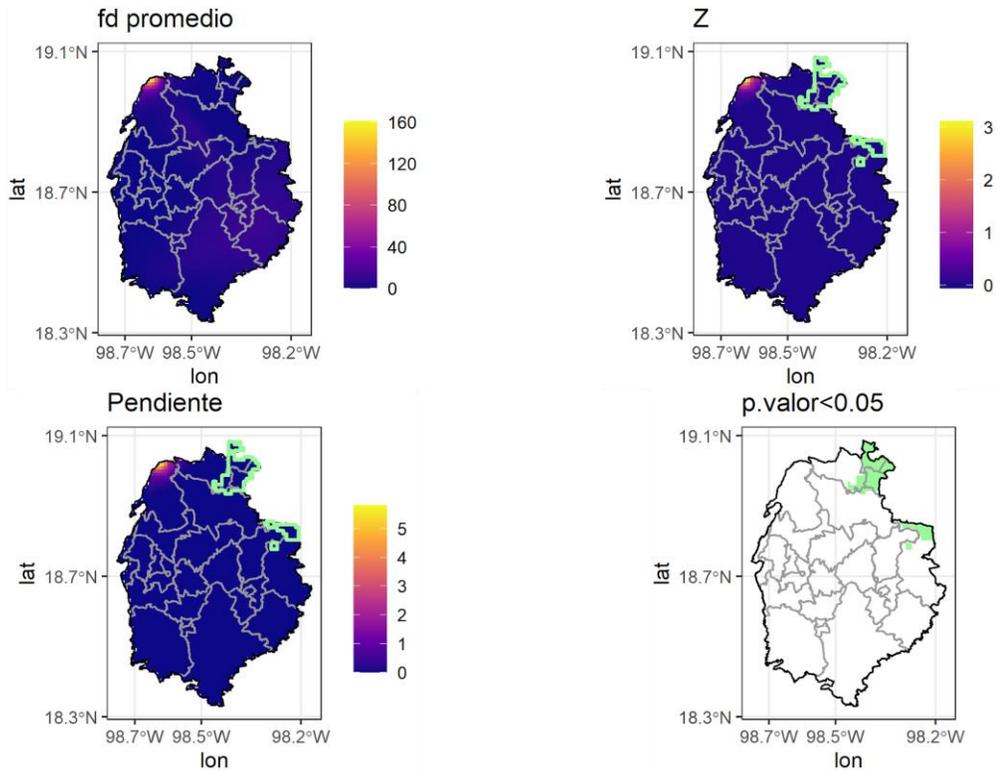


FIGURA 191. NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN;

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor p < 0.05, las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

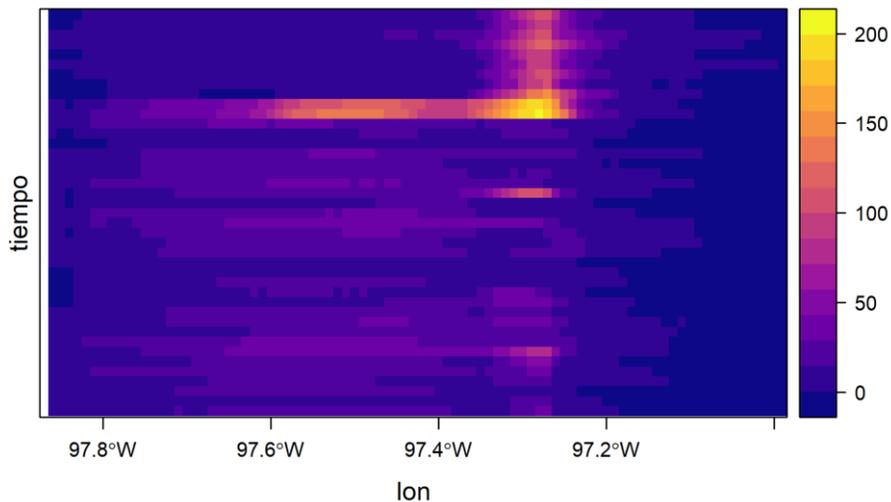


FIGURA 192. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

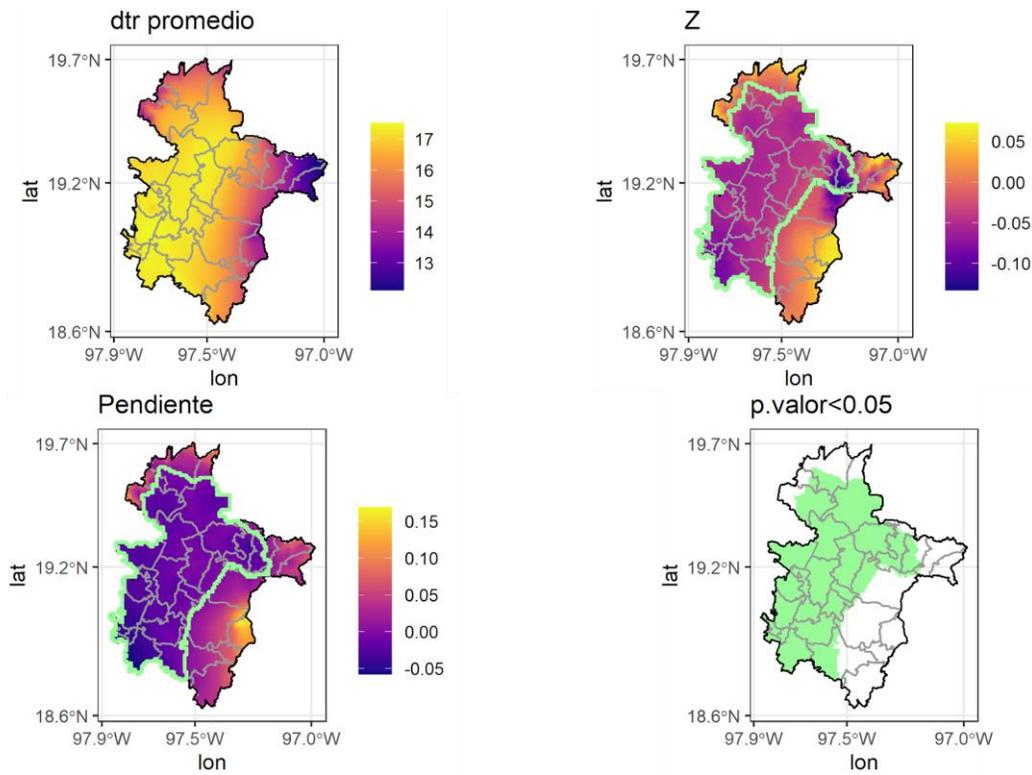


FIGURA 193. RANGO DE TEMPERATURA DIARIO (DTR) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

Promedio: promedio del índice para el periodo 1980-2020, Z: estadístico de Mann-Kendall, Pendiente: pendiente de Sen, p.valor<0.05: zonas con valor  $p < 0.05$ , las zonas con tendencia estadísticamente significativa se muestran con borde verde.

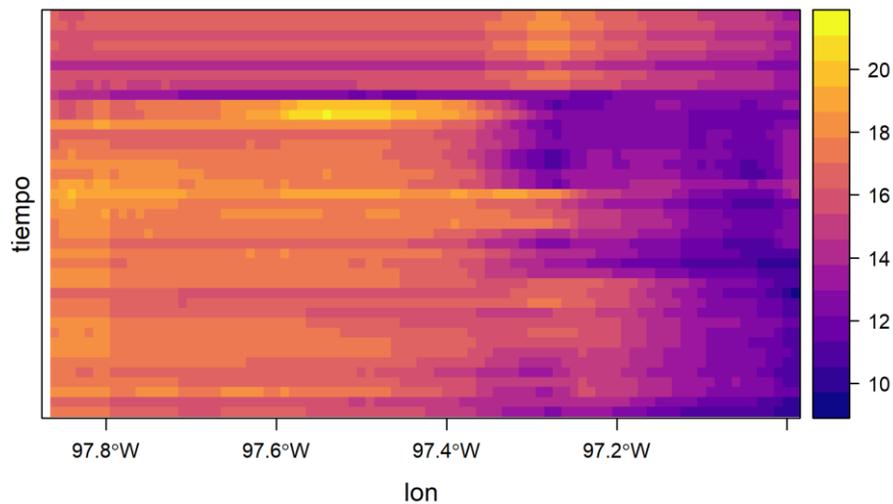


FIGURA 194. DIAGRAMA DE HOVMÖLLER DEL RANGO DE TEMPERATURA DIARIO (DTR) PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN.

Las Figuras 195 a 203 muestran la distribución de los valores de los índices para las siete regiones del Estado. Éstas permiten comparar el comportamiento correspondiente durante el periodo 1980-2020.

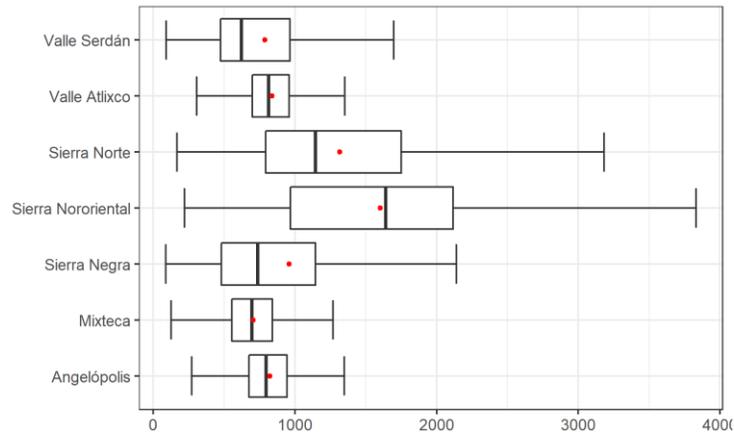


FIGURA 195. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE PRCTOT POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL VALOR PROMEDIO.

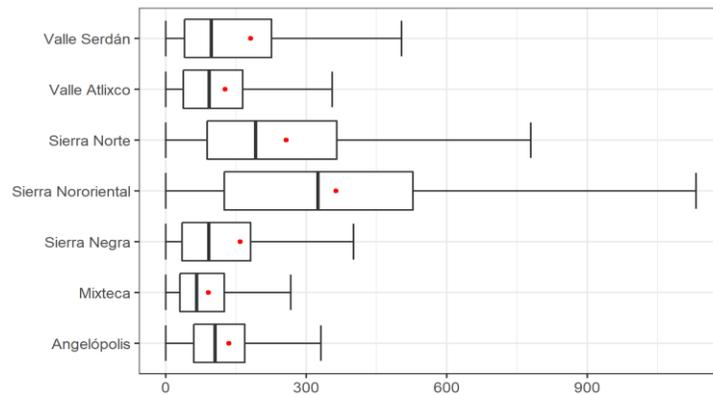


FIGURA 196. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE PR95 POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL VALOR PROMEDIO.

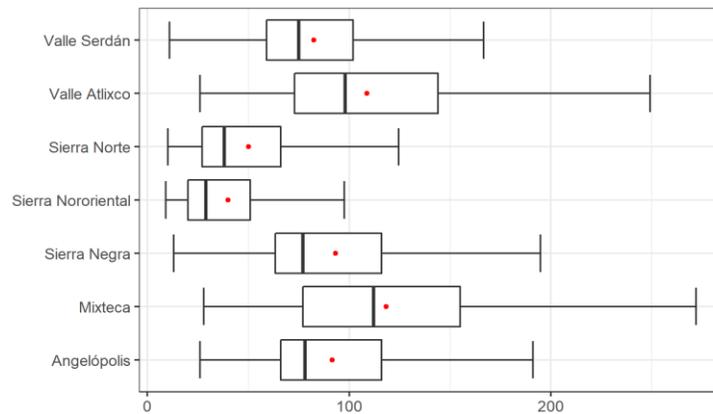


FIGURA 197. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE CDD POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL VALOR PROMEDIO.

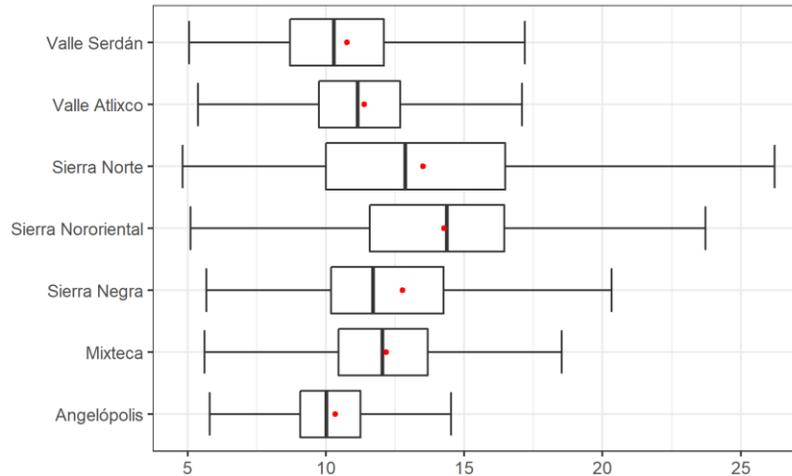


FIGURA 198. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE SDII POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL VALOR PROMEDIO.

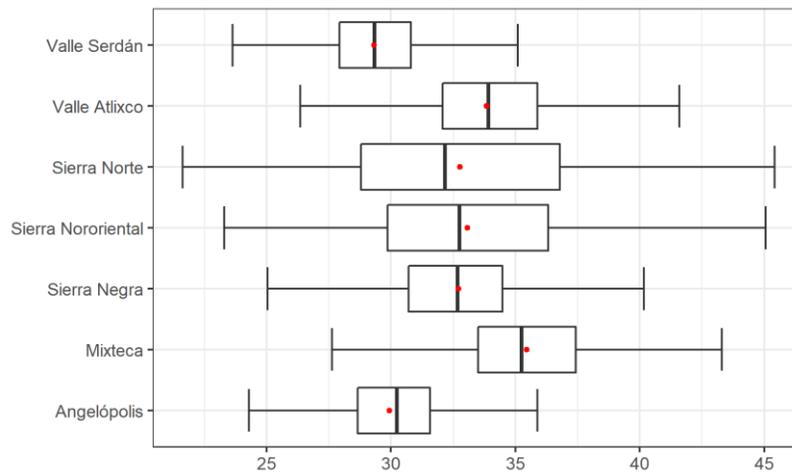


FIGURA 199. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE TXX POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL VALOR PROMEDIO.

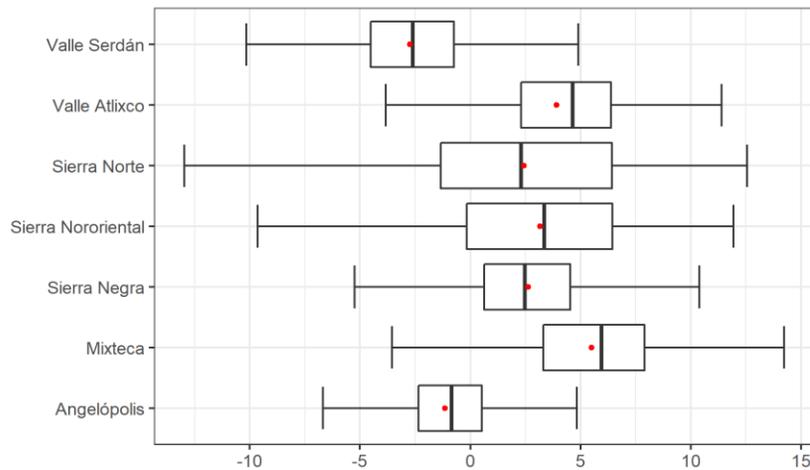


FIGURA 200. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE TNN POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL VALOR PROMEDIO.

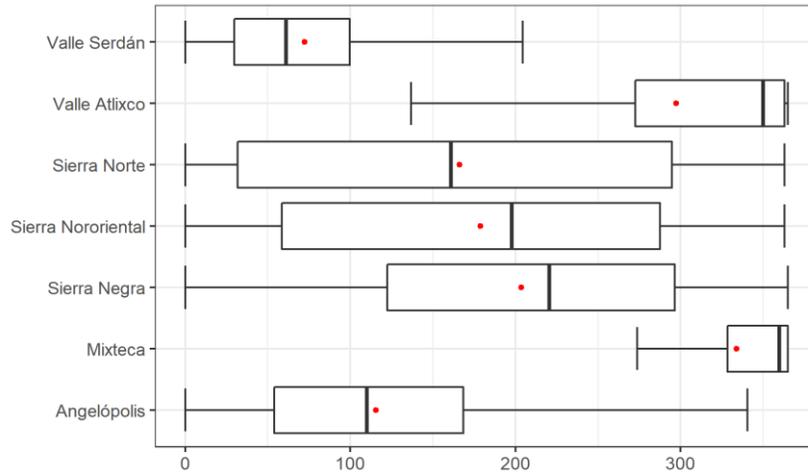


FIGURA 201. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE SU POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL VALOR PROMEDIO.

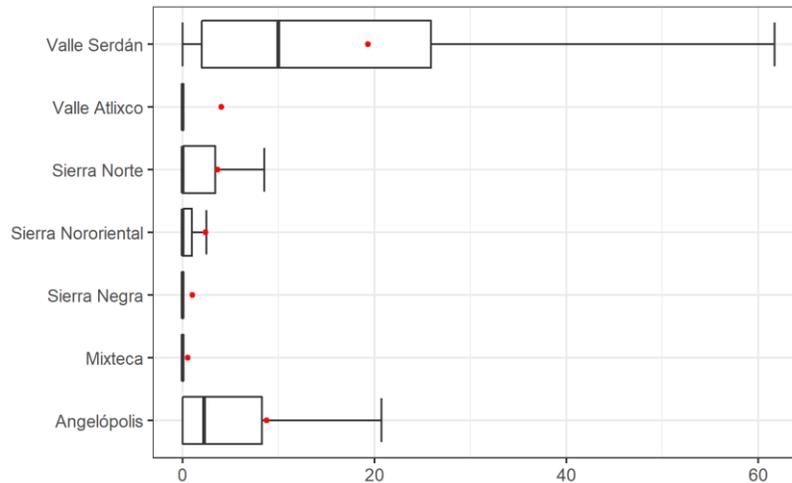


FIGURA 202. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE FD POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL VALOR PROMEDIO.

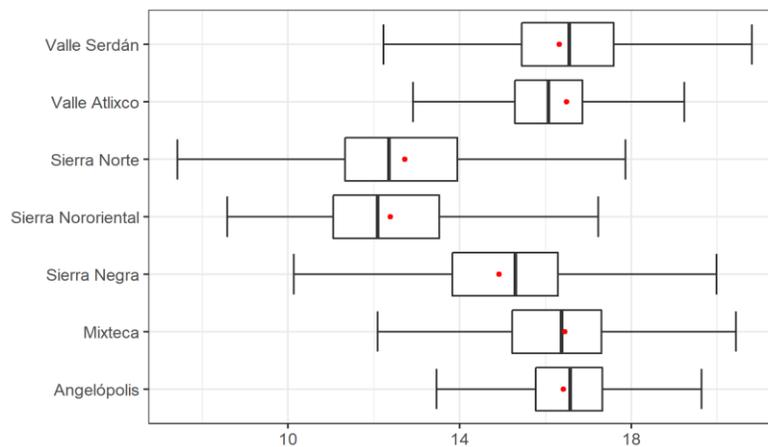


FIGURA 203. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DTR POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020; LOS PUNTOS ROJOS INDICAN EL VALOR PROMEDIO.

Como se aprecia en las Figuras 43 a 196, la heterogeneidad y distribución espacial de las tendencias impide caracterizar al estado y sus regiones con un solo valor. Para resumir de forma general el comportamiento de los índices, se calculó la proporción de la superficie del estado y de las regiones de acuerdo con el sentido y significancia estadística de las tendencias identificadas (Figura 204).

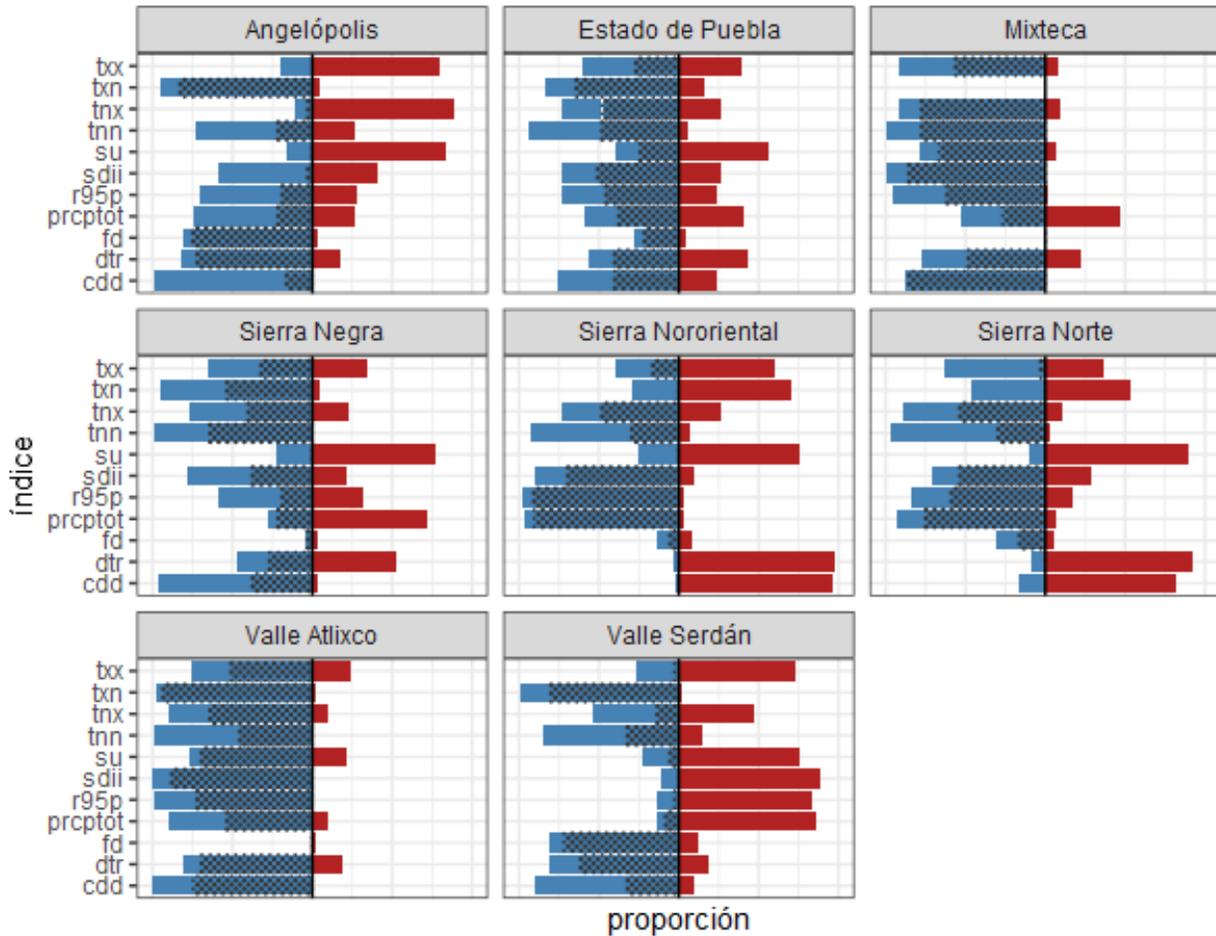


FIGURA 204. PROPORCIÓN DE LAS TENDENCIAS DE LOS ÍNDICES EN EL ESTADO Y LAS REGIONES DURANTE EL PERIODO 1980-2020

De acuerdo con el sentido y significancia estadística: azul: tendencia a la disminución, rojo: tendencia al aumento; la zona punteada indica que la tendencia es estadísticamente significativa.

## ESCENARIOS CLIMÁTICOS

### 4. ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Los escenarios de cambio climático son una representación plausible y a menudo simplificada del clima futuro, basados en un conjunto internamente coherente de relaciones climatológicas, los cuales se construyen para ser utilizados para conocer las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico, y a menudo sirven de insumo para las simulaciones de los impactos (Fernández et al., 2015).

Para la construcción de proyecciones de cambio climático se consideran diferentes elementos, como los Modelos de Circulación General (MGC) y las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP).

Los Modelos de Circulación General (MGC) son modelos matemáticos que simulan el sistema climático de la Tierra. Estos modelos representan los procesos físicos en la atmósfera, el océano, la criosfera y la superficie terrestre, y constituyen una herramienta para simular la respuesta del sistema climático global al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero.

Las SSP, o "Shared Socioeconomic Pathways" (Trayectorias Socioeconómicas Compartidas), son escenarios que describen posibles trayectorias futuras de desarrollo socioeconómico en ausencia de políticas de cambio climático a nivel global (Kriegler et al., 2012). Estos escenarios se utilizan en los modelos de cambio climático para proyectar posibles resultados de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros factores que afectan el clima. Cada SSP se basa en una narrativa específica que describe una posible evolución de la sociedad, que van desde un mundo centrado en el crecimiento sostenible y la igualdad (SSP1) a uno rápido de crecimiento económico y uso de energía sin restricciones (SSP5) (Riahi et al., 2017).

En 1992 el IPCC publicó un primer conjunto de escenarios de cambio climático, denominado IS92; para el año 2000 lanzó una segunda generación de proyecciones con escenarios de emisión contenidos en su Reporte Especial sobre Escenarios de Emisiones (SRES, por sus siglas en inglés). Estos escenarios fueron utilizados en sus dos informes posteriores: a) el Tercer Informe de Evaluación (TAR, por sus siglas en inglés) en 2001 y b) el Cuarto Informe de Evaluación (AR4, por sus siglas en inglés) en 2007. Finalmente, en 2014, para el Quinto Informe de Evaluación (AR5, por sus siglas en inglés) se desarrollaron nuevos escenarios llamados Trayectorias de Concentraciones Representativas (Representative Concentration Pathways, RCP) (IPCC, 2014; Wayne, 2013). En el Sexto Informe de Evaluación (AR6, por sus siglas en inglés) (IPCC, 2021) se

presentó la última actualización de escenarios la cual se denomina “Trayectorias Socioeconómicas Compartidas” (Shared Socioeconomic Pathways, SSP). En CMIP6 las nuevas versiones de los escenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, y RCP8.5 ahora son llamados SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP4-6.0, y SSP5-8.5, cada uno de los cuales resulta en niveles de forzamiento radiativo similares para el año 2100 como sus predecesores en AR5. Asimismo, estos nuevos escenarios ofrecen una selección más amplia de futuros socioeconómicos posibles, al incluir nuevas posibles trayectorias los escenarios SSP3-7.0, SSP4-3.4, SSP5-3.4OS y el SSP1-1.9 (Hausfather, 2019).

En general, las fuentes de incertidumbre de las proyecciones de los escenarios de cambio climático son múltiples. El sistema climático es complejo, lo cual hace poco posible representarlo en su totalidad por medio de un modelo numérico; dichas representaciones contienen una serie de supuestos y parametrizaciones que cada centro de modelación climática aborda de manera diferente (Santoso, Idinoba e Imbach, 2008). Existen tres fuentes principales de incertidumbre en las proyecciones climáticas: la variabilidad natural del clima (la evolución del clima está influenciada por fluctuaciones naturales impredecibles que ocurren incluso sin ningún cambio en las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI)), la generada por los modelos (generada por la estructura del modelo, la medición de las condiciones iniciales, los parámetros de las variables y su relación, es decir los modelos simulan su propio clima) y la debida a las trayectorias de las emisiones futuras de gases de efecto invernadero (las trayectorias de las emisiones futuras de GEI son inciertas, por lo que no es posible en este momento determinar cuál de las trayectorias se seguirá) (INECC, 2022).

Debido a la gran cantidad de modelos climáticos y los recursos computacionales disponibles, se hace casi imposible incluir todos los modelos para estudios en el contexto de cambio climático. Para efectos prácticos, se selecciona un modelo climático o un pequeño conjunto para hacer las evaluaciones. Aunque es importante utilizar un conjunto que sea representativo de la región de interés y así mostrar un amplio rango de incertidumbre, la selección de modelos que se incluirán en este conjunto no es sencilla y se puede basar en diferentes criterios (Lutz *et al.*, 2016).

Los criterios de selección pueden estar en función del desempeño del modelo, es decir, su habilidad para simular el clima presente y del pasado cercano (Pierce *et al.*, 2009; Biemans *et al.*, 2013), pero Incluso en los casos en que se evalúa el desempeño de los modelos climáticos, la selección de modelos resultante no garantiza que esas proyecciones del clima futuro sean confiables (Altamirano del Carmen *et al.*, 2021, Estrada *et al.*, 2022). También puede depender en la disponibilidad de las variables, o tomando en cuenta la independencia de los modelos para generar una selección de un conjunto mayor, donde los modelos seleccionados son representativos del conjunto más grande (Evans *et al.*, 2013). La selección de modelos climáticos sigue siendo un

problema sin resolver, ya que las métricas de uso común pueden no brindar información sobre la capacidad de los modelos para reproducir la señal del cambio climático observado e indicar mucho menos sobre su capacidad para proyectar el clima futuro (Knutti et al., 2010).

## Exposición al cambio climático

Los modelos de circulación general (MGC) por lo general tienen una resolución espacial de entre 2 a 3 grados (1 grado de longitud equivale aproximadamente a 111 km). Por ejemplo, herramientas recientes como el AIRCC-Clim (Assessment of Impacts and Risks of Climate Change – Probabilistic Climate Model Emulator) tiene salidas de 2.5 x 2.5 de grado. Esta escala es suficiente cuando se realizan análisis y evaluaciones a una escala regional, sin embargo, para analizar los Elementos Clave del Territorio (ECT) planteados en el estado de Puebla se necesita de una mayor resolución espacial, por lo que se utilizaron los resultados del conjunto de datos climáticos WorldClim<sup>2</sup>. Este insumo tiene una resolución espacial de ~1 km, alcanzada mediante una serie de procesos (WorldClim, 2022), la cual permite representar espacialmente el fenómeno de forma adecuada para el estado de Puebla y sus regiones.

Se obtuvieron de WorldClim 72 proyecciones de cambio climático, dadas por la combinación de 6 MGC: a) CNRM-CM6-1, b) HadGEM3-GC31-LL, c) INM-CM4-8, d) MIROC-ES2L, e) MPI-ESM1-2-HR, y f) MRI-ESM2-0; 3 SSP: a) SSP 2-4.5, b) SSP 3-7.0 y c) SSP 5-8.5; y cuatro horizontes temporales (HT): a) 2021-2040, b) 2041-2060, c) 2061-2080, y d) 2081-2100 (Tabla 7).

TABLA 7. ELEMENTOS QUE CONFORMAN LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO CONSIDERADAS.

| MODELO DE CIRCULACIÓN GENERAL (MGC) | TRAYECTORIA SOCIOECONÓMICA COMPARTIDA (SSP) | HORIZONTE TEMPORAL (HT) | VARIABLES                 |
|-------------------------------------|---|-------------------------|---------------------------|
| CNRM-CM6-1                          |   |                         | Temperatura máxima (tmax) |
| HadGEM3-GC31-LL                     | ssp245                                      | 2021-2040               |                           |
| INM-CM4-8                           | ssp370                                      | 2041-2060               | Temperatura mínima (tmin) |
| MIROC-ES2L                          | ssp585                                      | 2061-2080               |                           |
| MPI-ESM1-2-HR                       |   | 2081-2100               | Precipitación (prec)      |
| MRI-ESM2-0                          |   |                         |                           |

Fuente: Elaboración propia

Para caracterizar la exposición del Estado al cambio climático se calculó el cambio (anomalías  $\Delta$ ) en los valores promedio de las variables de a) temperatura máxima (tmax), b) temperatura mínima (tmin) y c) precipitación

<sup>2</sup> <https://www.worldclim.org/>

(prec), de las 72 proyecciones de cambio climático, en relación con el periodo de referencia (1970-2000) de WorldClim, el cual tiene la misma resolución espacial y extensión geográfica que las proyecciones.

Éstos se agregaron espacialmente promediando los valores para el territorio estatal y para cada una de las regiones, cuyos resultados se resumen en las secciones, gráficas y tablas siguientes. En la tabla 8 se presentan los valores de cambio extremos, i.e. mínimos y máximos, de las variables de acuerdo con sus respectivas proyecciones de cambio climático; en la Figura 205 se presentan gráficamente los rangos de los valores de cambio extremos agrupados por horizonte temporal.

**TABLA 8. VALORES DE CAMBIO EXTREMOS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PROYECTADOS PARA EL ESTADO; PREC [MM], TMAX [°C], TMIN [°C].**

| Variable         | MGC             | SSP    | Min/Max | Valor  |
|------------------|-----------------|--------|---------|--------|
| <b>2021-2040</b> |                 |        |         |        |
| prec             | INM-CM4-8       | ssp370 | Min     | -70.3  |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 19.7   |
| tmax             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp370 | Min     | 1.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 1.8    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 2.3    |
| <b>2041-2060</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MIROC-ES2L      | ssp370 | Min     | -92.7  |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp245 | Max     | 48.9   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.5    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 2.9    |
| tmin             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp245 | Min     | 1.7    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 3.6    |
| <b>2061-2080</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -164.0 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp245 | Max     | 30.1   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.8    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 4.3    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 5.3    |
| <b>2081-2100</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -221.1 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp245 | Max     | 16.1   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.0    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 6.1    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.5    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 7.3    |

Fuente: Elaboración propia

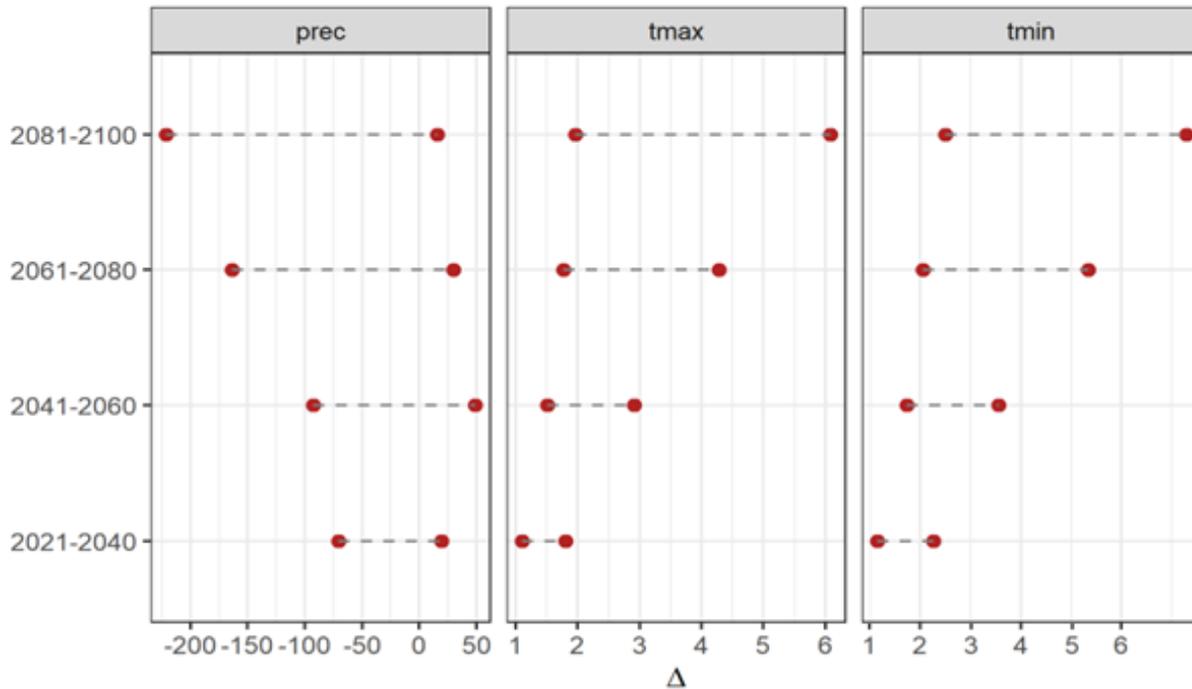


FIGURA 205. RANGOS DE VALORES DE CAMBIO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PROYECTADOS PARA EL ESTADO POR HORIZONTE TEMPORAL; PREC [MM], TMAX [°C], TMIN [°C].

## PRECIPITACIÓN

Dos MGC prevén un aumento en la precipitación anual acumulada en el Estado para algunos horizontes temporales (HT) (Figura 206), cuyo valor máximo alcanza los 48.9 mm durante el periodo 2041-2060 de acuerdo con el MGC HadGEM3-GC31-LL SSP 2-45; el resto de las proyecciones indican una disminución que puede ir desde los 70.3 mm en el horizonte temporal cercano (2021-2040) de hasta 221 mm para el horizonte lejano. En la figura 207 se muestran los valores promedio de cambio en mm para la superficie Estatal, de acuerdo con las proyecciones consideradas.

Considerando los valores mensuales, a diferencia de la temperatura, la dirección del cambio en la precipitación tampoco es consistente en todas las proyecciones, presentándose una importante incertidumbre. Algunas proyecciones prevén un aumento de la precipitación mientras que otras una disminución. El modelo HadGEM3-GC31-LL es el que presenta los mayores aumentos, principalmente en el mes de junio y durante el otoño. En general, la mayor disminución se prevé durante los meses de verano.

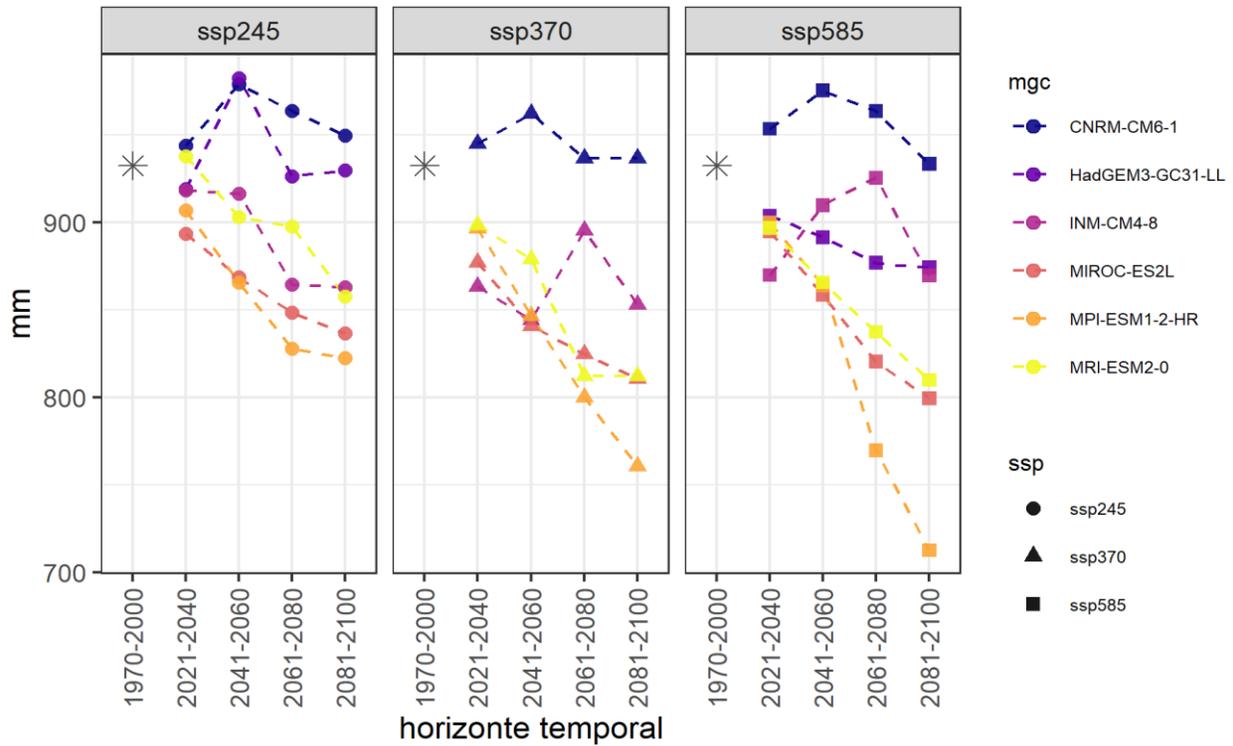


FIGURA 206. PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN ANUAL ACUMULADA EN EL ESTADO PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

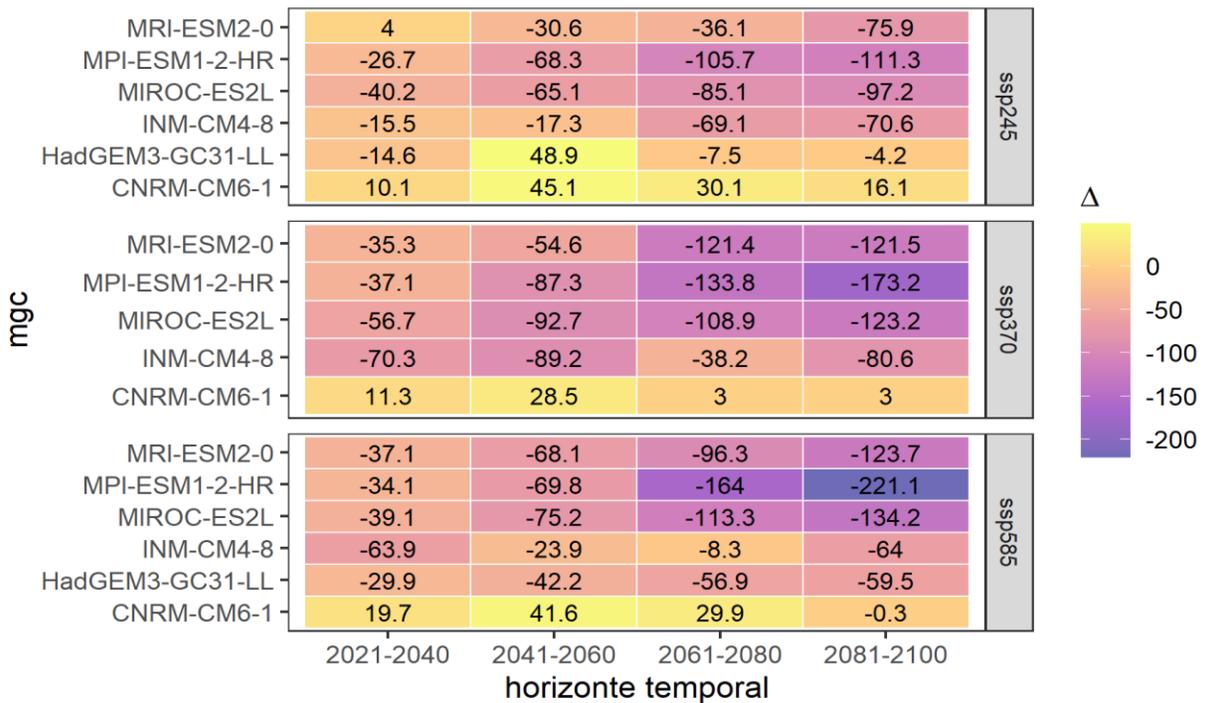


FIGURA 207. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL [MM] PROYECTADO PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

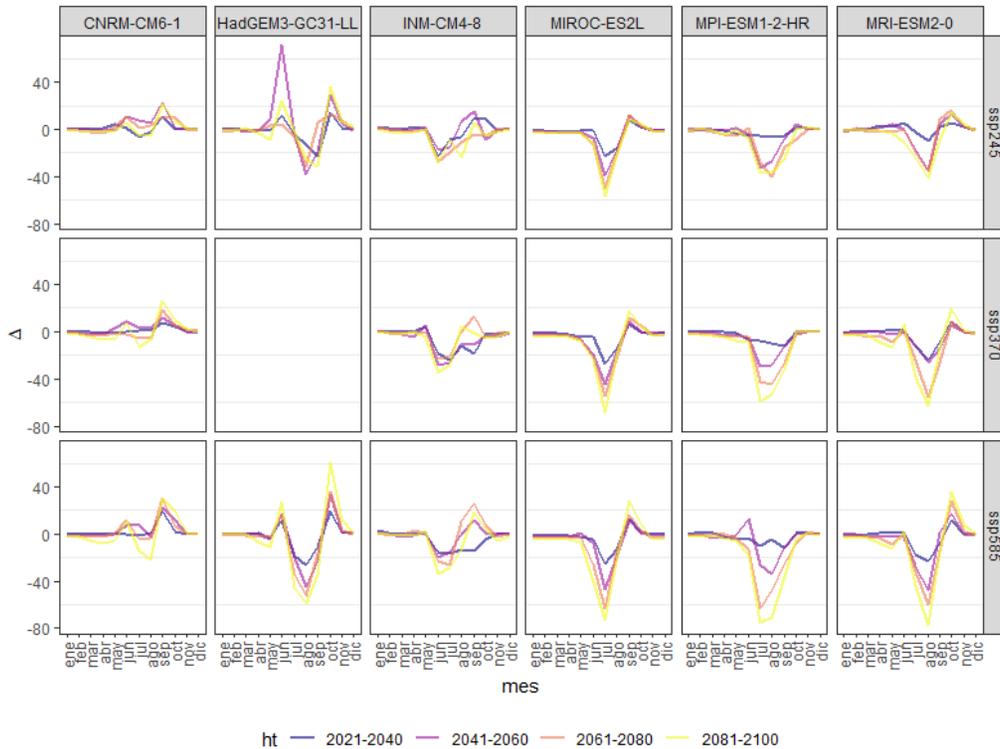


FIGURA 208. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

## TEMPERATURA MÁXIMA

Todas las proyecciones consideradas prevén un aumento de la temperatura máxima del estado (Figura 209). Los valores de cambio promedio calculados pueden ir desde 1.1°C a 1.8 °C en el periodo 2021-2040, de 1.5 a 2.9 en el 2041-2060, de 1.8 a 4.3°C para el 2061-2080 y hasta entre 2 y 6.1 °C en el horizonte lejano (2081-2100) (Figura 210).

Considerando los valores mensuales, también se proyecta que la temperatura máxima aumente en todas las proyecciones; los mayores aumentos se observan en el escenario de altas emisiones (SSP 5-8.5) donde es más pronunciado durante los meses de verano, y de forma ascendente mientras más lejano es el horizonte temporal.

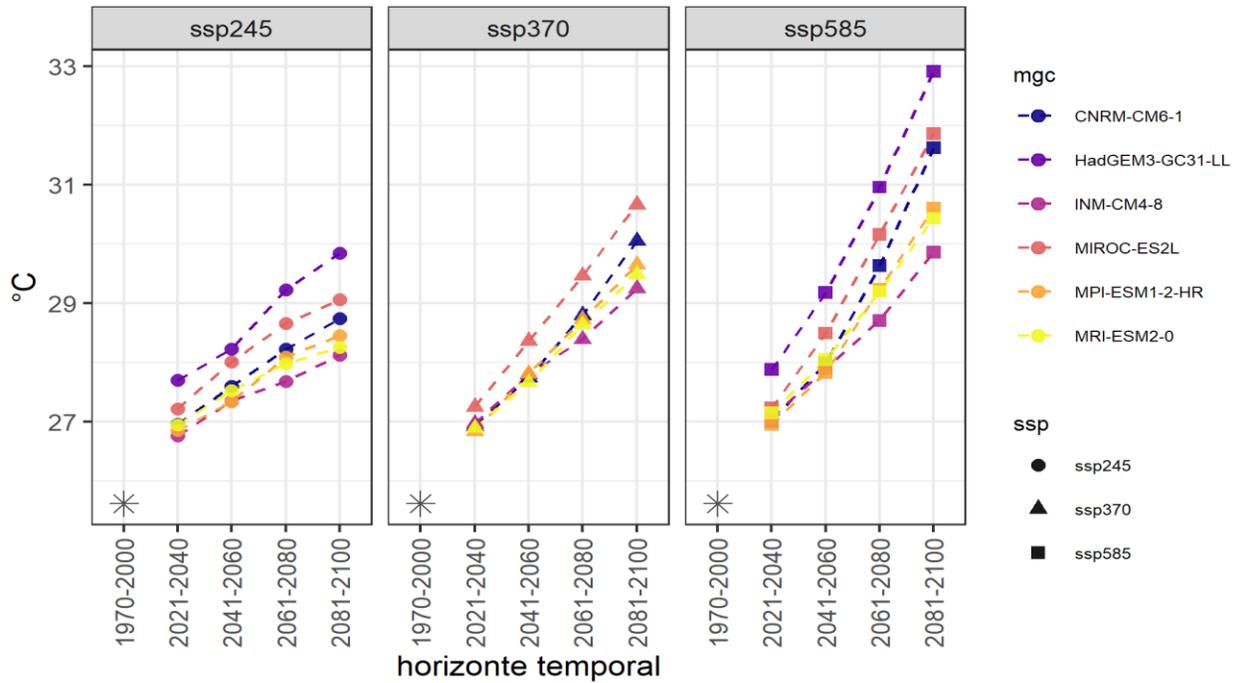


FIGURA 209. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL EN EL ESTADO PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

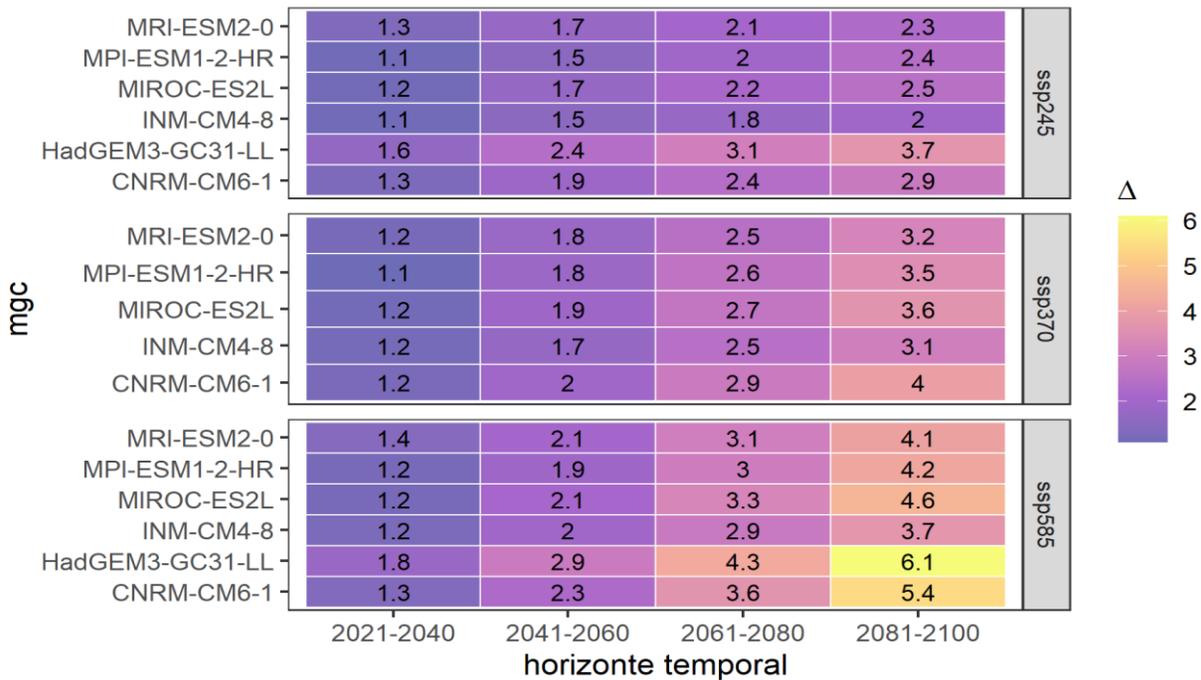


FIGURA 210. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

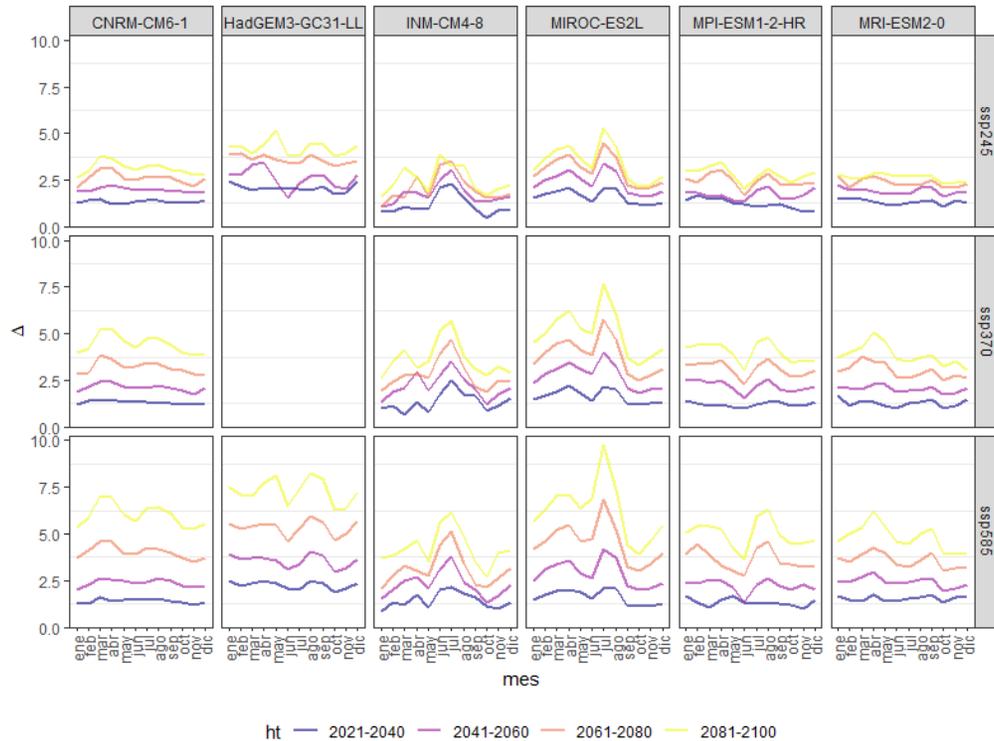


FIGURA 211. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

## TEMPERATURA MÍNIMA

Todas las proyecciones consideradas prevén un aumento de la temperatura mínima del estado (Figura 212). Los valores de cambio promedio calculados pueden ir desde 1.1 a 2.3°C en el periodo 2021-2040, de 1.7 a 3.6 para el periodo 2041-2060, de 2.1 a 5.3°C para el periodo 2061-2080, y hasta entre 2.5 a 7.3°C en el futuro lejano. (Figura 213).

Considerando los valores mensuales, al igual que para la temperatura máxima, también se proyecta que la temperatura mínima aumente en todas las proyecciones; los mayores aumentos se observan en el escenario de altas emisiones (SSP 5-8.5) y de forma ascendente mientras más lejano es el horizonte temporal. De forma general, los mayores aumentos se presentan durante la primavera, y algunos modelos de circulación como el HadGEM3-GC31-LL proyectan aumentos importantes durante los meses de otoño e invierno, o en el verano (INM-CM4-8).

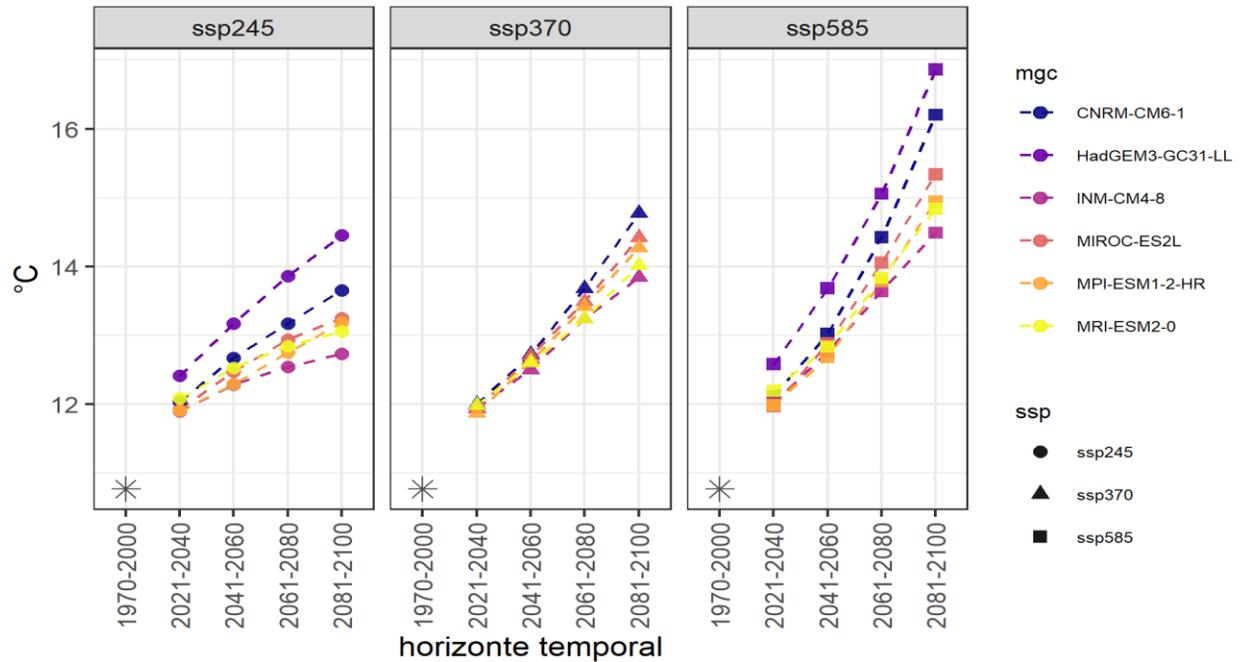


FIGURA 212. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL EN EL ESTADO PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

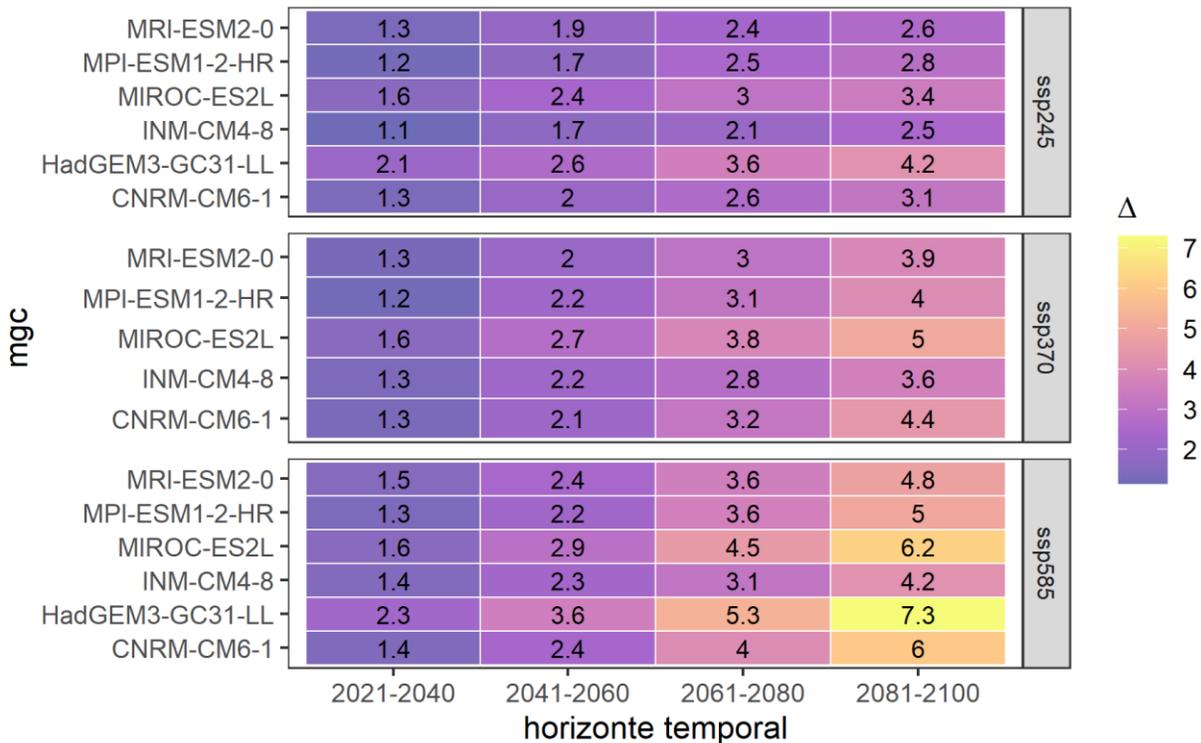


FIGURA 213. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

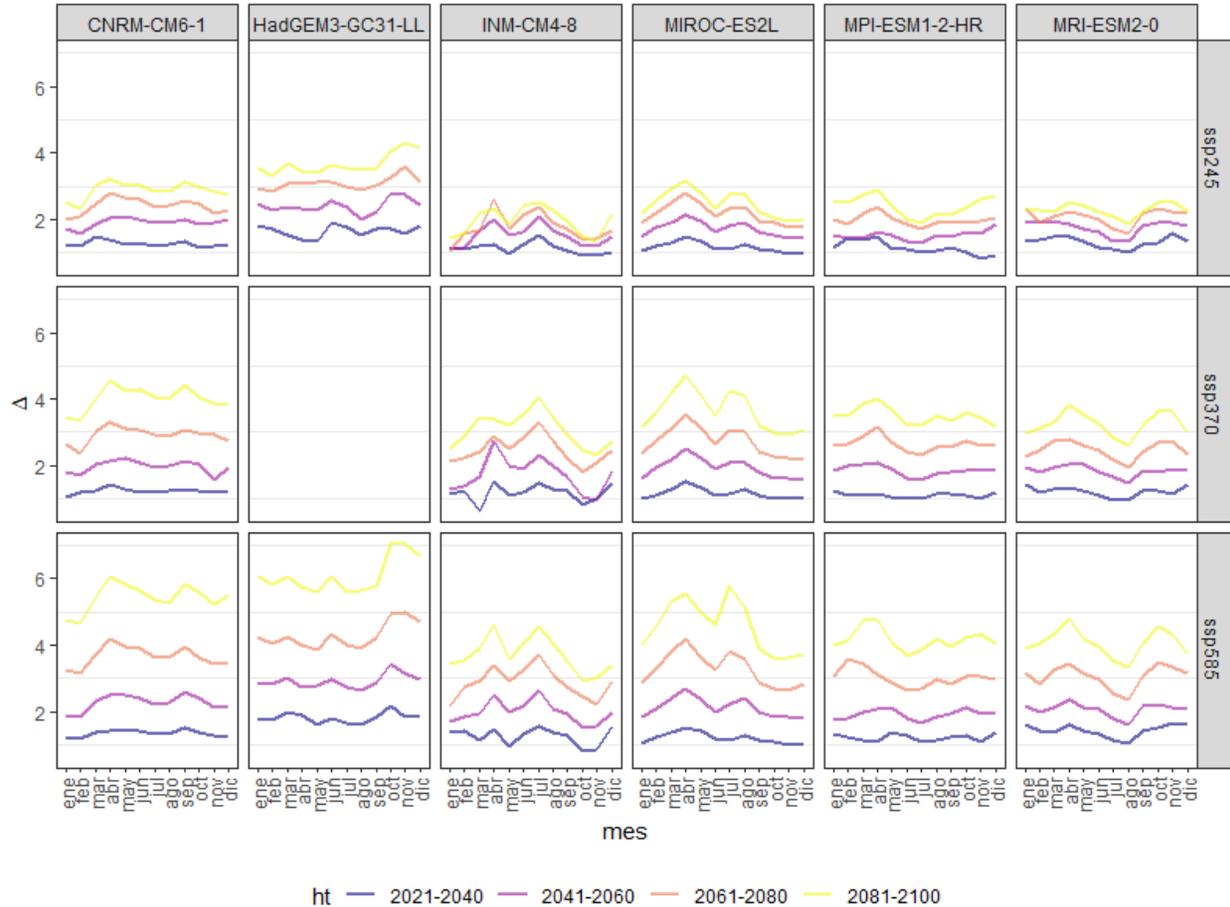


FIGURA 214. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

## REGIÓN ANGELÓPOLIS

El cambio en la precipitación proyectado en esta región puede ir desde una disminución de 247.1 mm a un aumento de 58.8 mm. La temperatura máxima puede aumentar en promedio de 1.2 a 7.5°C, mientras que la mínima podría aumentar de 1.1 a 8.1°C. En la tabla y figuras siguientes se presentan los valores de cambio y las tendencias proyectadas.

TABLA 9. VALORES DE CAMBIO EXTREMOS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PROYECTADOS PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS; PREC [MM], TMAX [°C], TMIN [°C].

| Variable         | MGC             | SSP    | Min/Max | Valor  |
|------------------|-----------------|--------|---------|--------|
| <b>2021-2040</b> |                 |        |         |        |
| prec             | INM-CM4-8       | ssp370 | Min     | -51.1  |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 29.0   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.2    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 2.3    |
| tmin             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp245 | Min     | 1.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 1.8    |
| <b>2041-2060</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp370 | Min     | -88.2  |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 58.8   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.8    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 3.6    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.5    |
|                  |                 |        | Max     | 2.9    |
| <b>2061-2080</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -193.1 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 50.5   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 5.5    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.8    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 4.2    |
| <b>2081-2100</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -247.1 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 31.6   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.6    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 7.5    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.0    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 6.1    |

Fuente: Elaboración propia

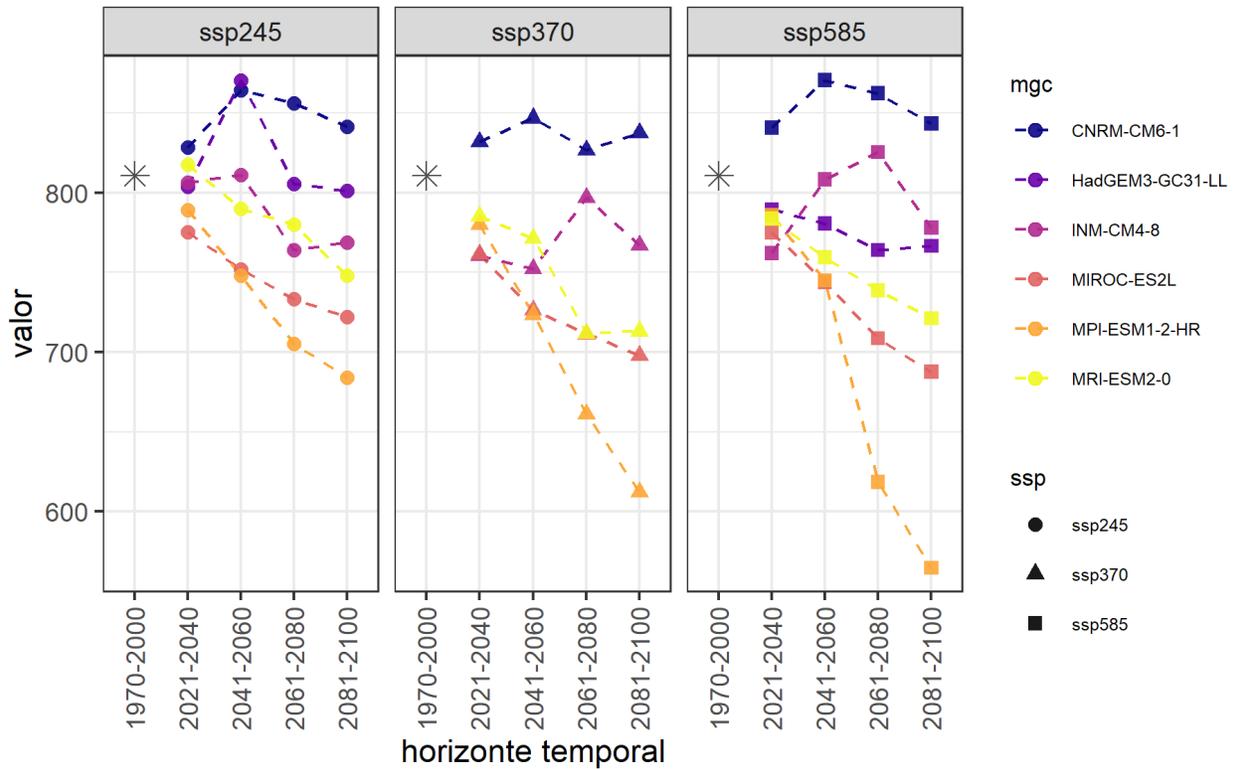


FIGURA 215. PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN ANUAL ACUMULADA EN LA REGIÓN ANGELÓPOLIS PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

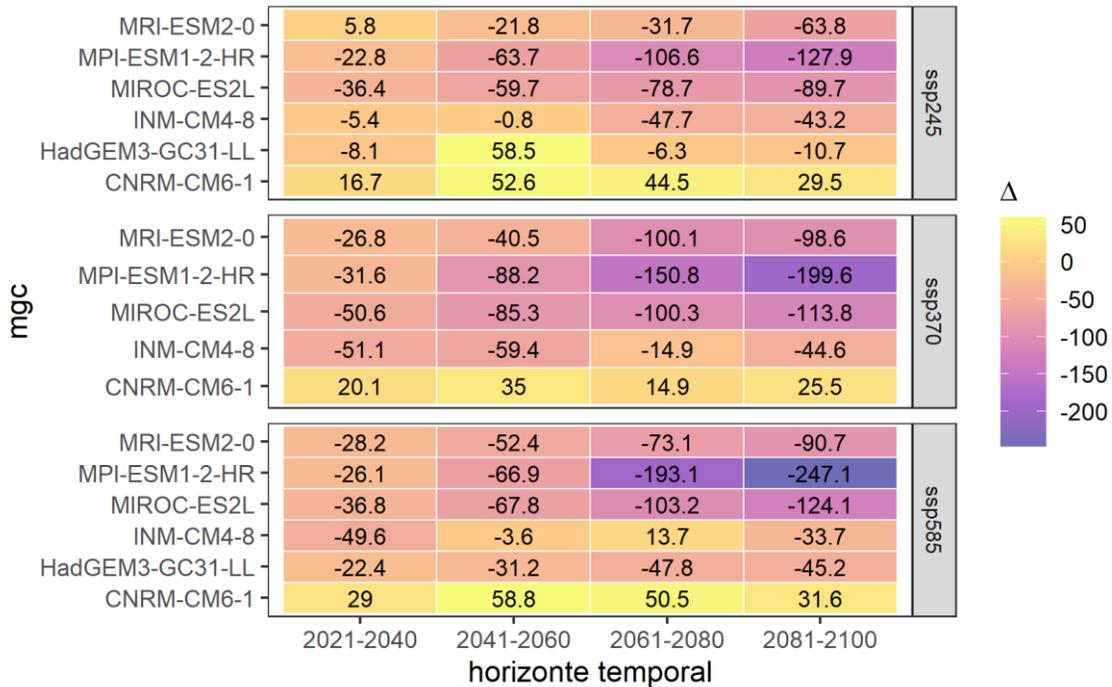


FIGURA 216. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL [MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

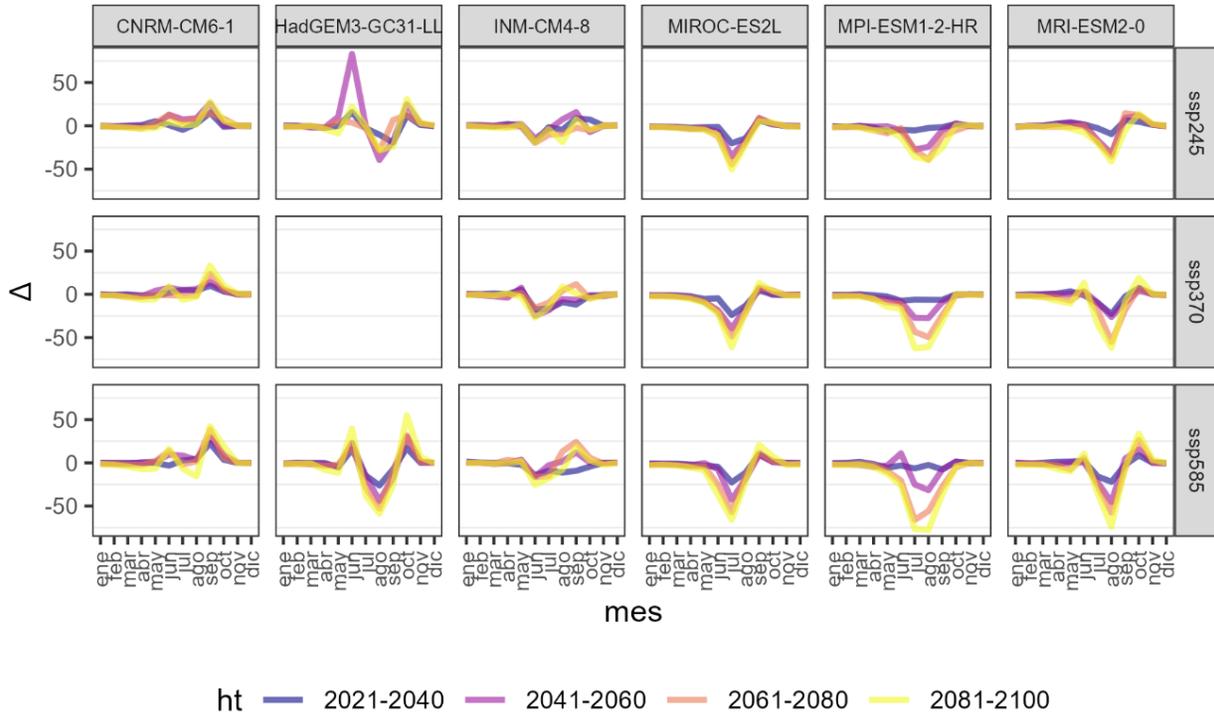


FIGURA 217. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN ANGELÓPOLIS DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

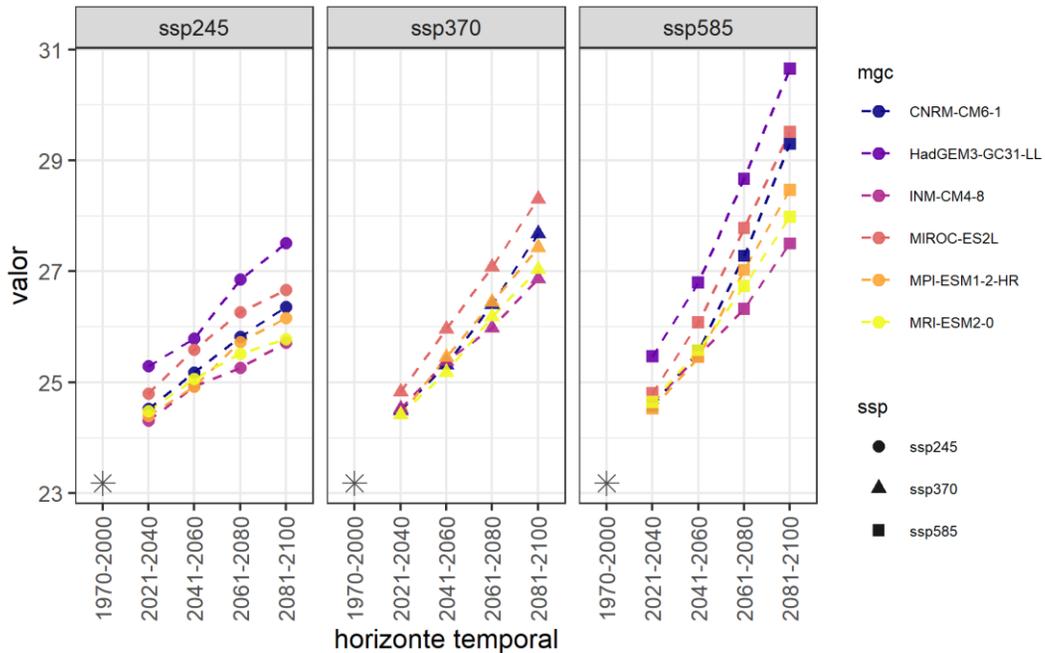


FIGURA 218. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL EN LA REGIÓN ANGELÓPOLIS PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

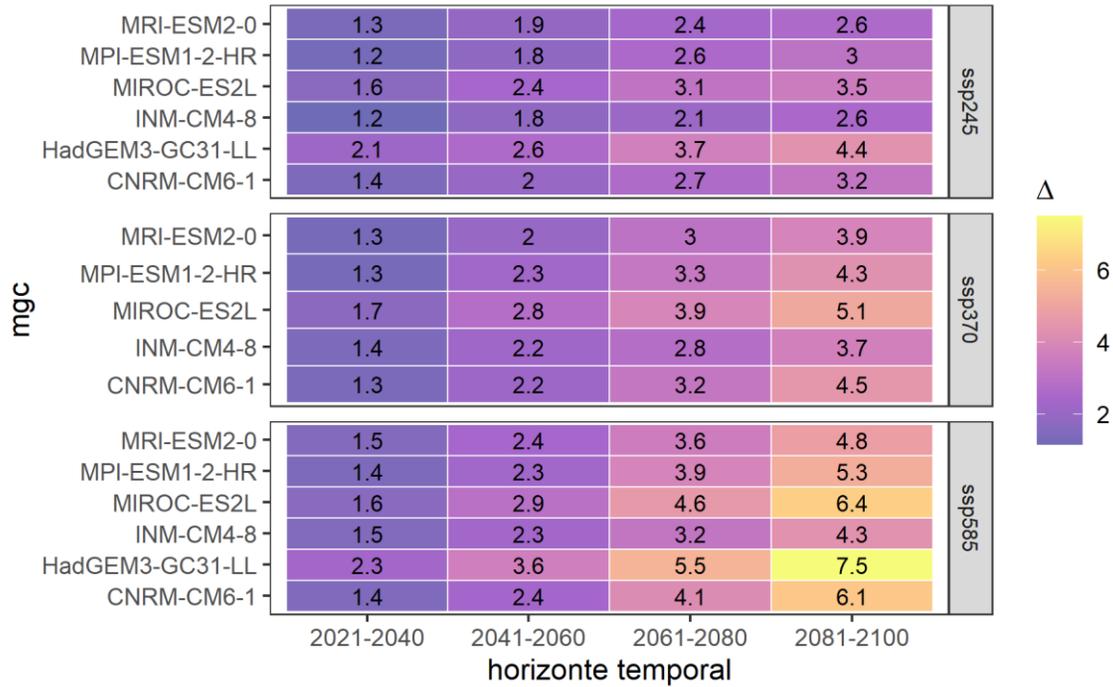


FIGURA 219. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA LA REGIÓN ÁNGELÓPOLIS DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

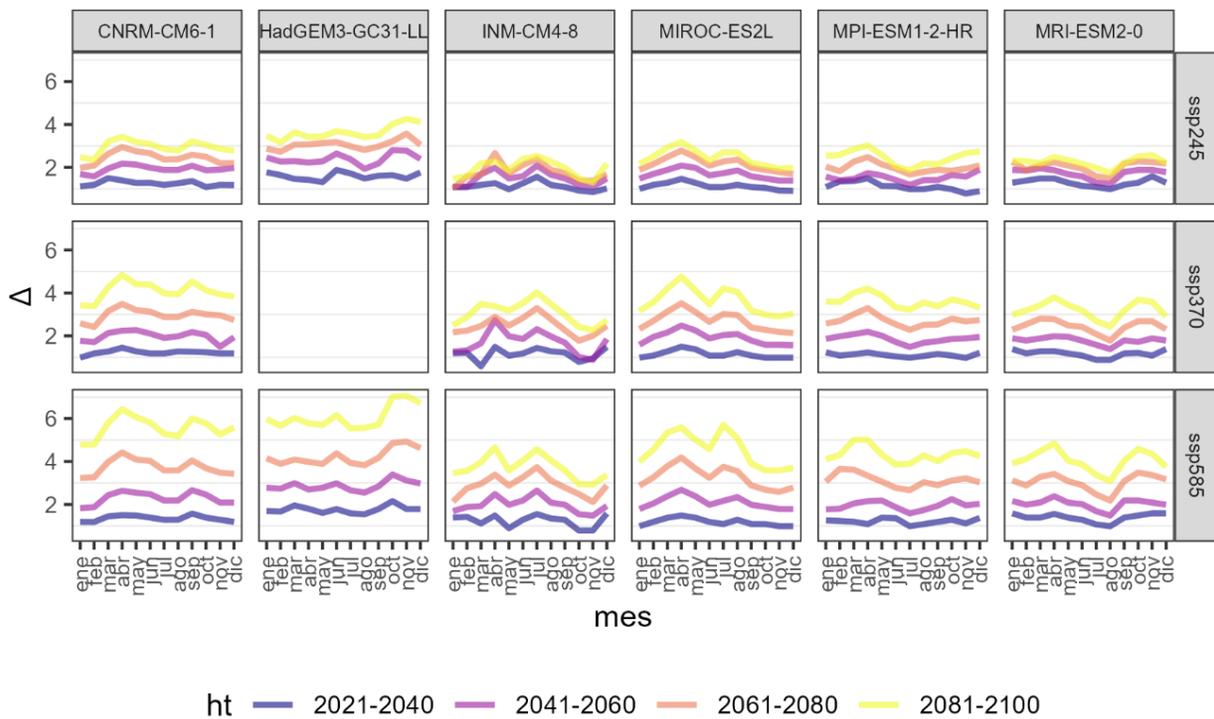


FIGURA 220. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL [Δ MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN ÁNGELÓPOLIS DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

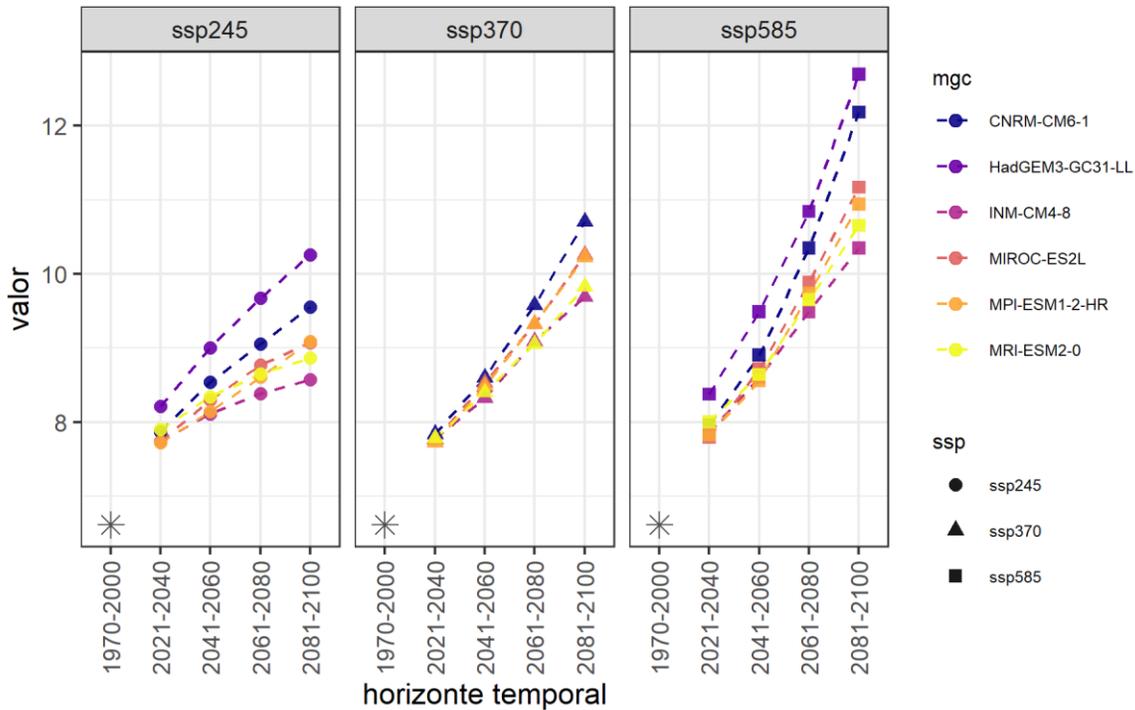


FIGURA 221. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL EN LA REGIÓN ÁNGELÓPOLIS PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

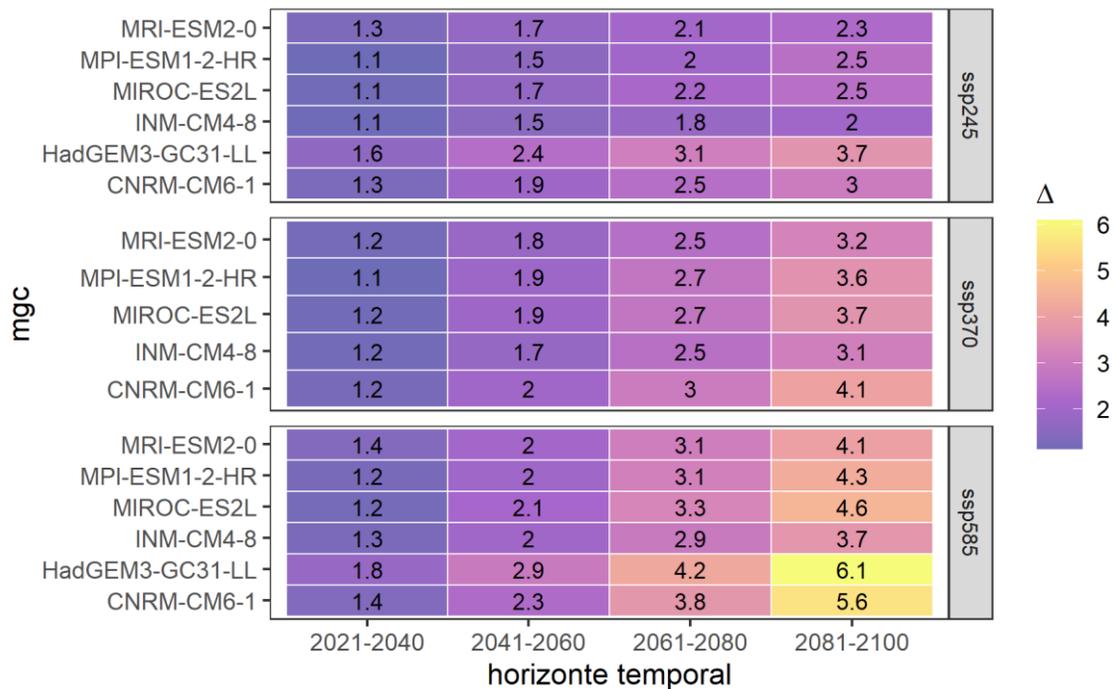


FIGURA 222. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA LA REGIÓN ÁNGELÓPOLIS DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

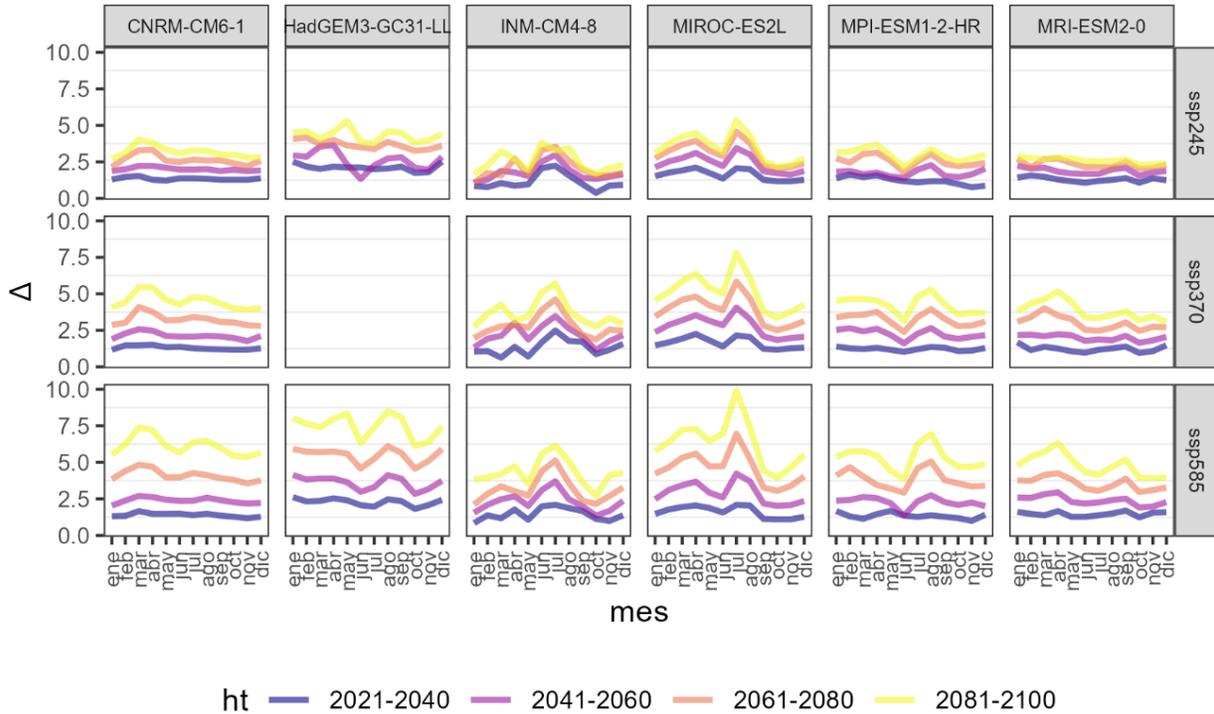


FIGURA 223. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN ÁNGELÓPOLIS DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

### REGIÓN MIXTECA

El cambio en la precipitación proyectado en esta región puede ir desde una disminución de 193 mm a un aumento de 70.1 mm para el periodo 2081-2100. La temperatura máxima puede aumentar en promedio de 1.1 a 7.5°C, mientras que la mínima podría aumentar de 1.1 a 6.2°C para los periodos 2021-2040 y 2081-2100 respectivamente. En la tabla y figuras siguientes se presentan los valores de cambio y las tendencias proyectadas.

TABLA 10. VALORES DE CAMBIO EXTREMOS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PROYECTADOS PARA LA REGIÓN MIXTECA; PREC [MM], TMAX [°C], TMIN [°C].

| VARIABLE         | MGC             | SSP    | MIN/MAX | VALOR |
|------------------|-----------------|--------|---------|-------|
| <b>2021-2040</b> |                 |        |         |       |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp370 | Min     | -43.0 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 32.8  |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.1   |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 2.3   |
| tmin             | MIROC-ES2L      | ssp245 | Min     | 1.1   |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 1.8   |

| VARIABLE         | MGC             | SSP    | MIN/MAX | VALOR  |
|------------------|-----------------|--------|---------|--------|
| <b>2041-2060</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp370 | Min     | -89.3  |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 55.4   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.7    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 3.6    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.5    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 3.0    |
| <b>2061-2080</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -140.3 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 64.2   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.0    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 5.4    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.8    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 4.4    |
| <b>2081-2100</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -193.0 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 70.1   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.5    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 7.5    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.0    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 6.2    |

Fuente: Elaboración propia

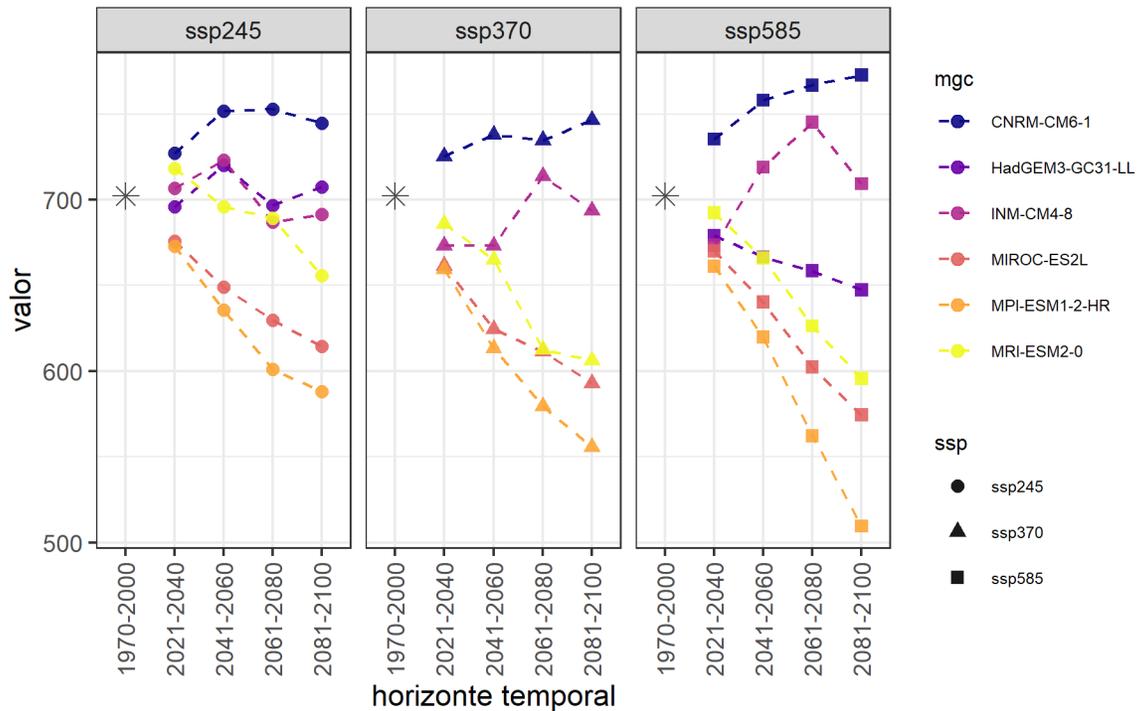


FIGURA 224. PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN ANUAL ACUMULADA EN LA REGIÓN MIXTECA PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

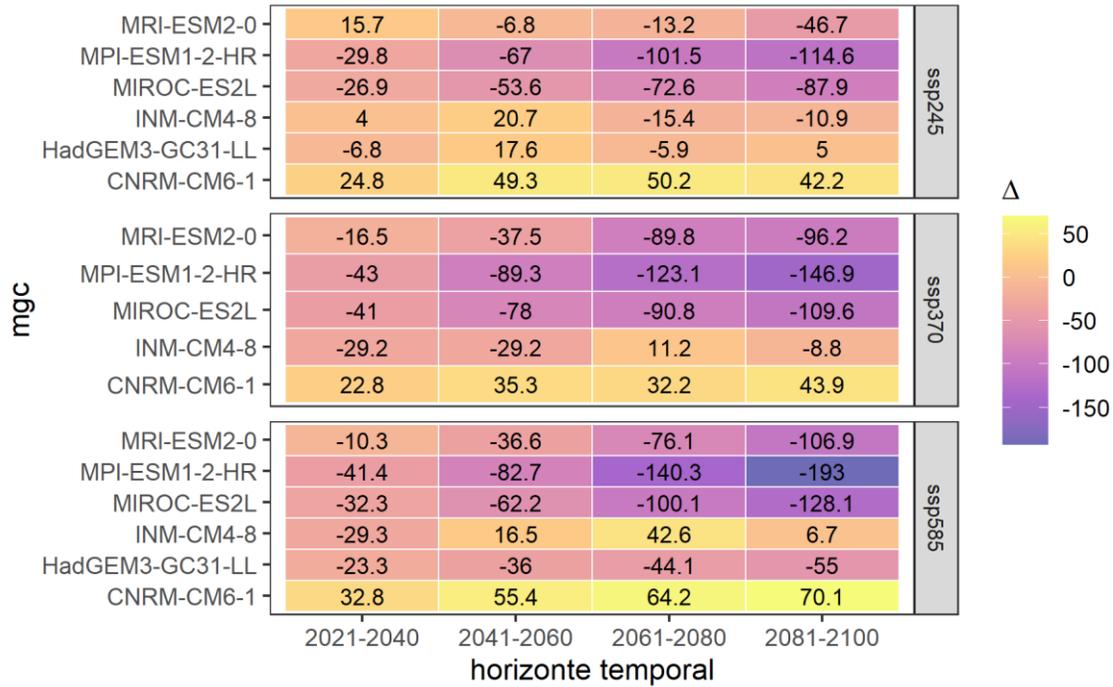


FIGURA 225. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL [MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN MIXTECA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

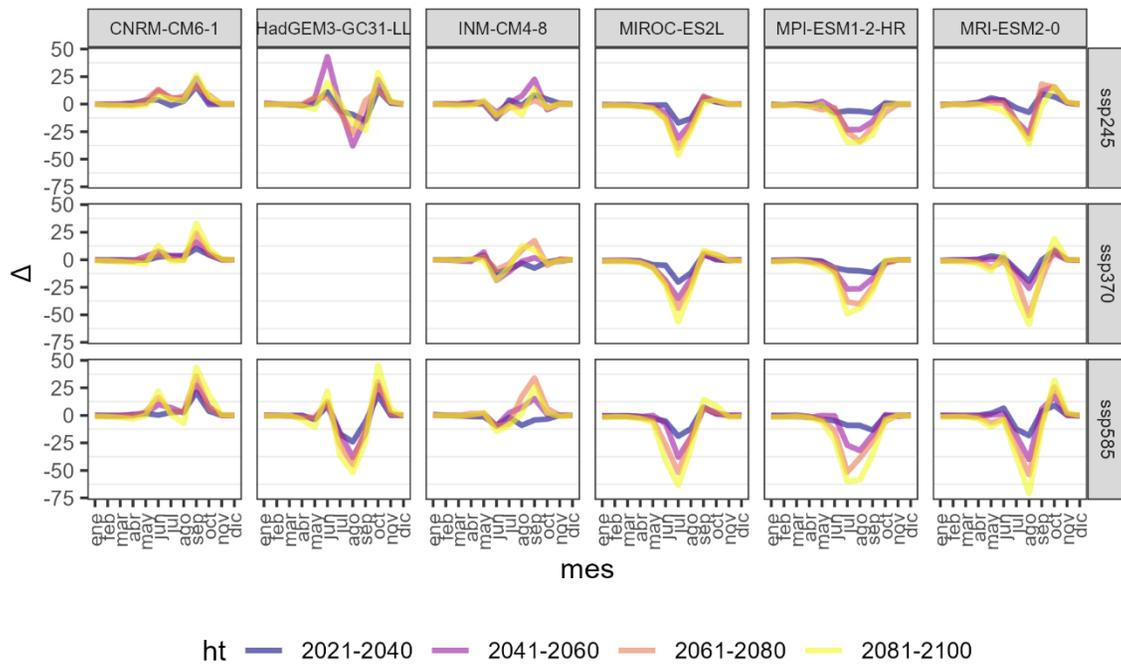


FIGURA 226. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL [Δ MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN MIXTECA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

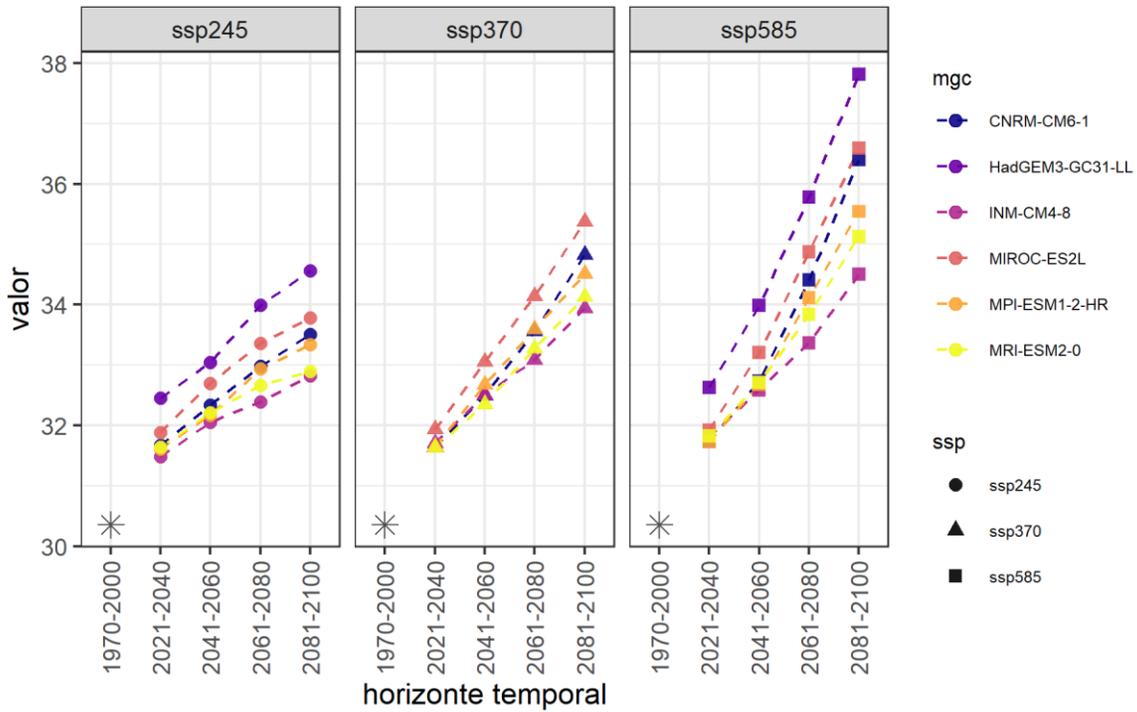


FIGURA 227. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL EN LA REGIÓN MIXTECA PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

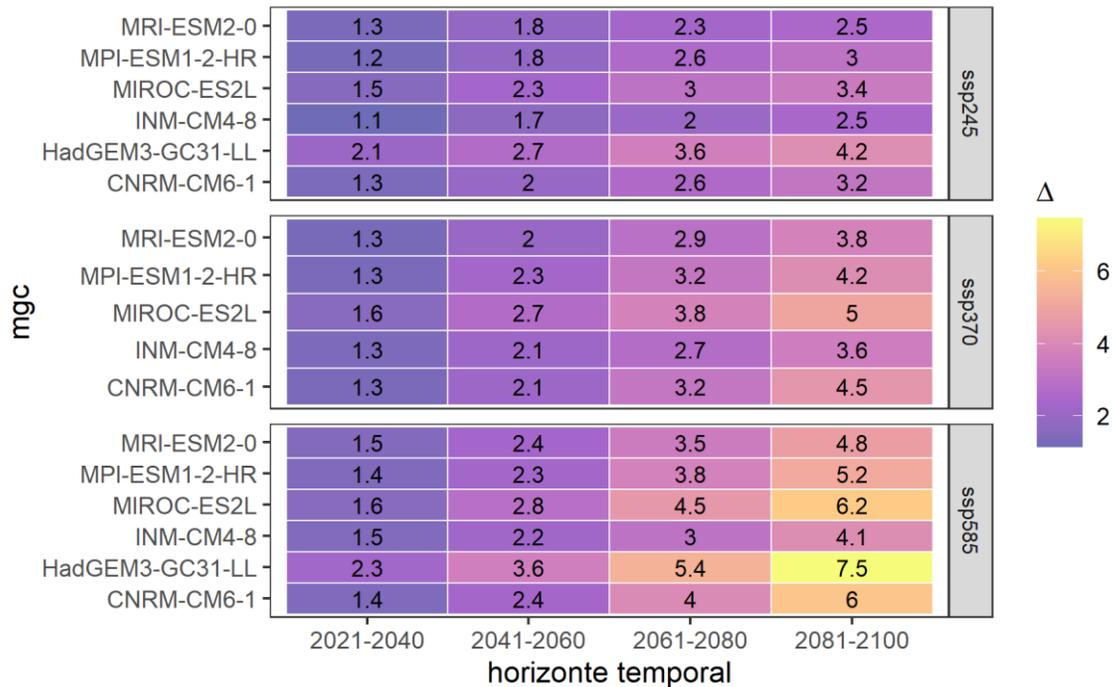


FIGURA 228. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA LA REGIÓN MIXTECA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

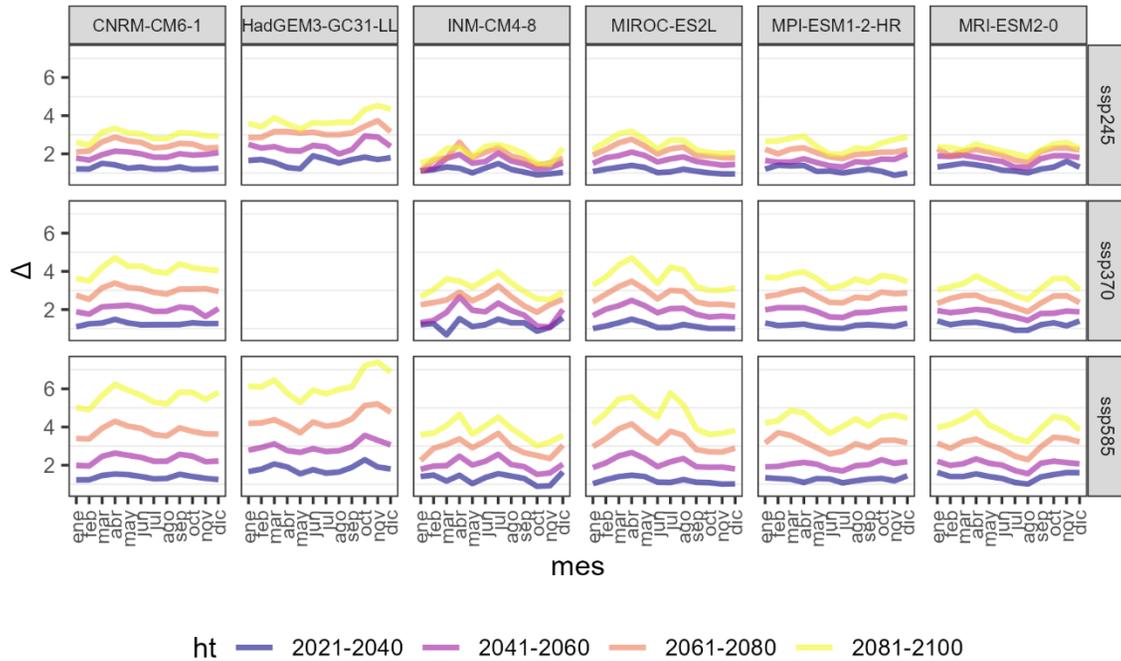


FIGURA 229. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN MIXTECA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

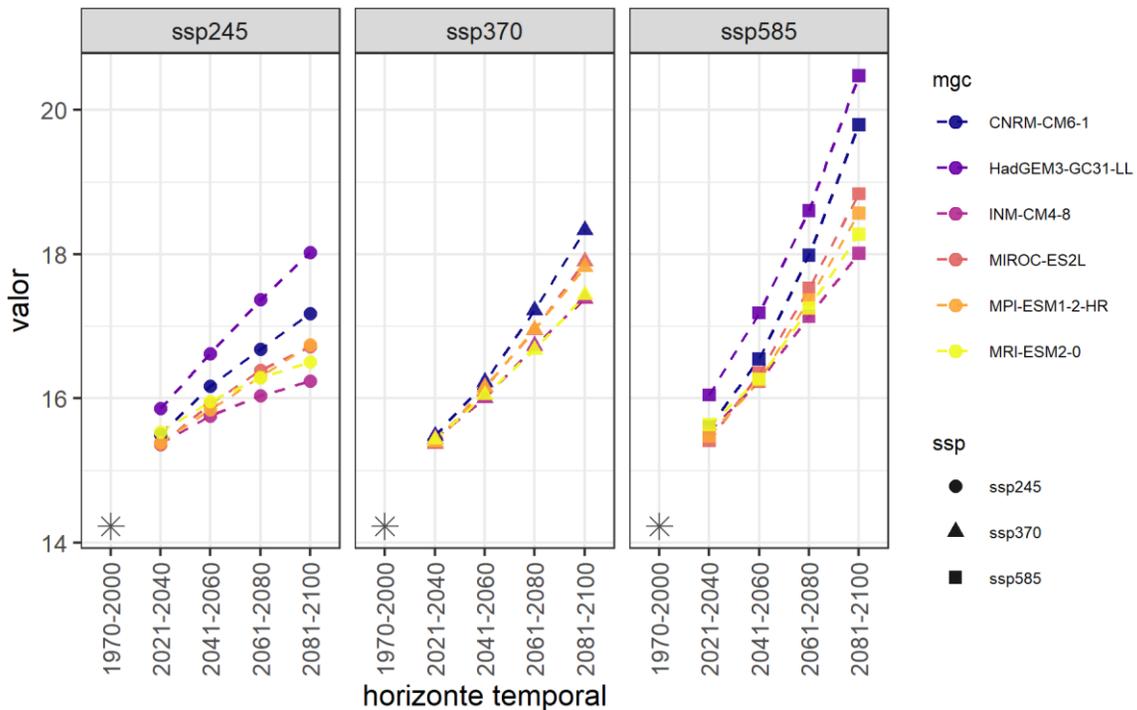


FIGURA 230. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL EN LA REGIÓN MIXTECA PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

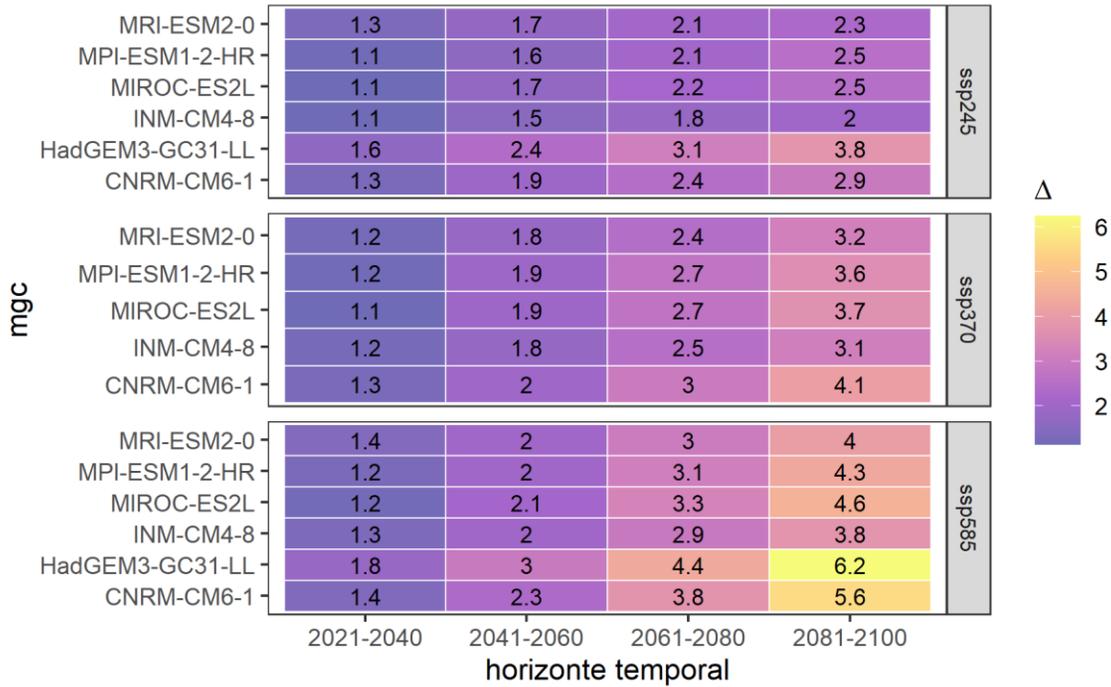


FIGURA 231. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA LA REGIÓN MIXTECA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

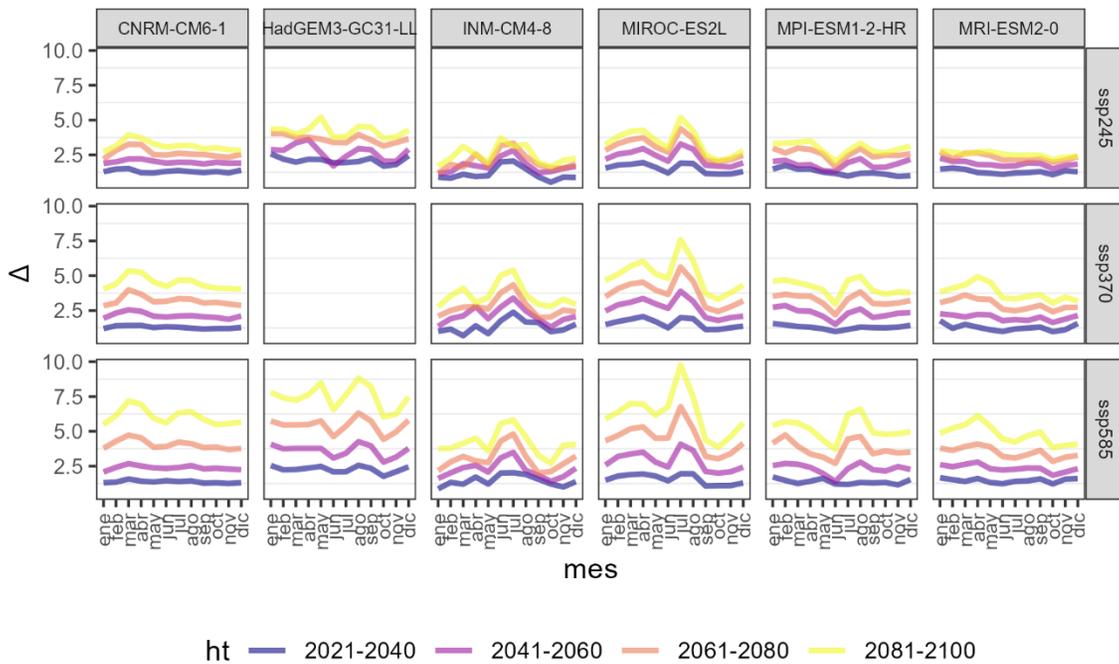


FIGURA 232. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL [Δ MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN MIXTECA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

## REGIÓN SIERRA NEGRA

El cambio en la precipitación proyectado en esta región puede ir desde una disminución de 254.8 mm para el periodo 2081-2100, a un aumento de 42.7 mm durante el periodo 2041-2060. La temperatura máxima puede aumentar un promedio de 1.2 a 7.4°C, mientras que la mínima podría aumentar de 1.1 a 6.2°C para los periodos 2021-2040 y 2081-2100 respectivamente. En la tabla y figuras siguientes se presentan los valores de cambio y las tendencias proyectadas.

TABLA 11. VALORES DE CAMBIO EXTREMOS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PROYECTADOS PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA; PREC [MM], TMAX [°C], TMIN [°C].

| Variable         | MGC             | SSP    | Min/Max | Valor  |
|------------------|-----------------|--------|---------|--------|
| <b>2021-2040</b> |                 |        |         |        |
| prec             | INM-CM4-8       | ssp370 | Min     | -64.2  |
|                  | MRI-ESM2-0      | ssp245 | Max     | 17.6   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.2    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 2.3    |
| tmin             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp370 | Min     | 1.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 1.9    |
| <b>2041-2060</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp370 | Min     | -116.2 |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp245 | Max     | 42.7   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.7    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 3.6    |
| tmin             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp245 | Min     | 1.5    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 3.0    |
| <b>2061-2080</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -180.4 |
|                  | INM-CM4-8       | ssp585 | Max     | 24.7   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 5.4    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.8    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 4.4    |
| <b>2081-2100</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -254.8 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp245 | Max     | 6.1    |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.5    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 7.4    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.0    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 6.2    |

Fuente: Elaboración propia

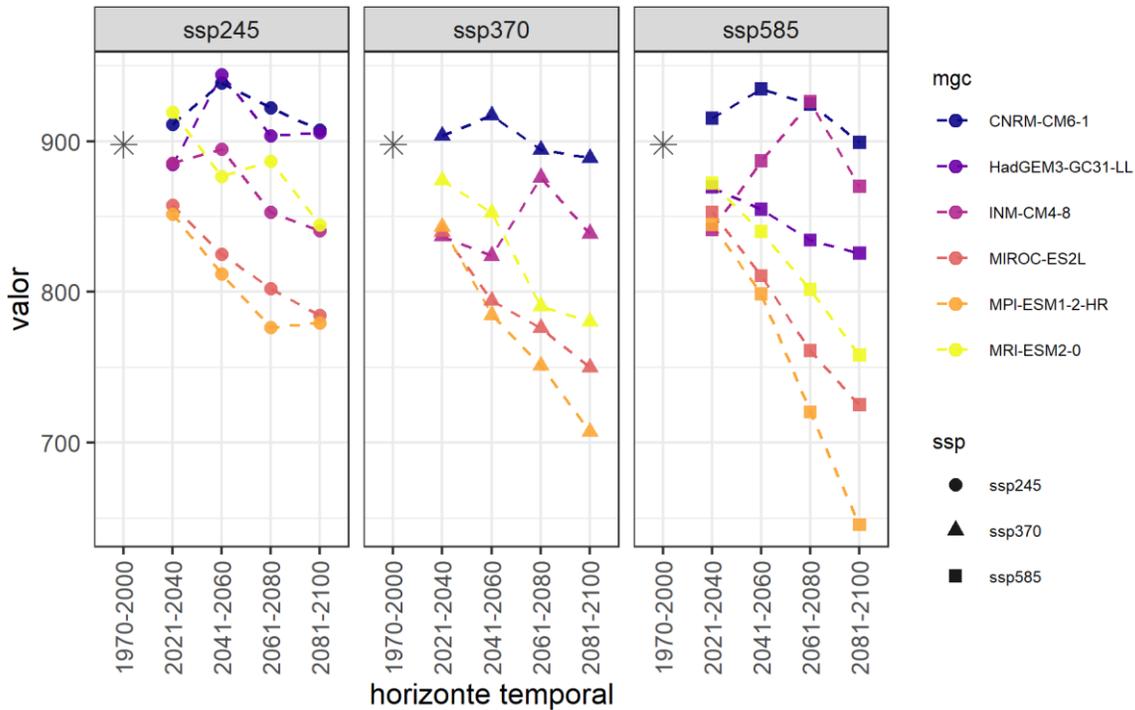


FIGURA 233. PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN ANUAL ACUMULADA EN LA REGIÓN SIERRA NEGRA PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

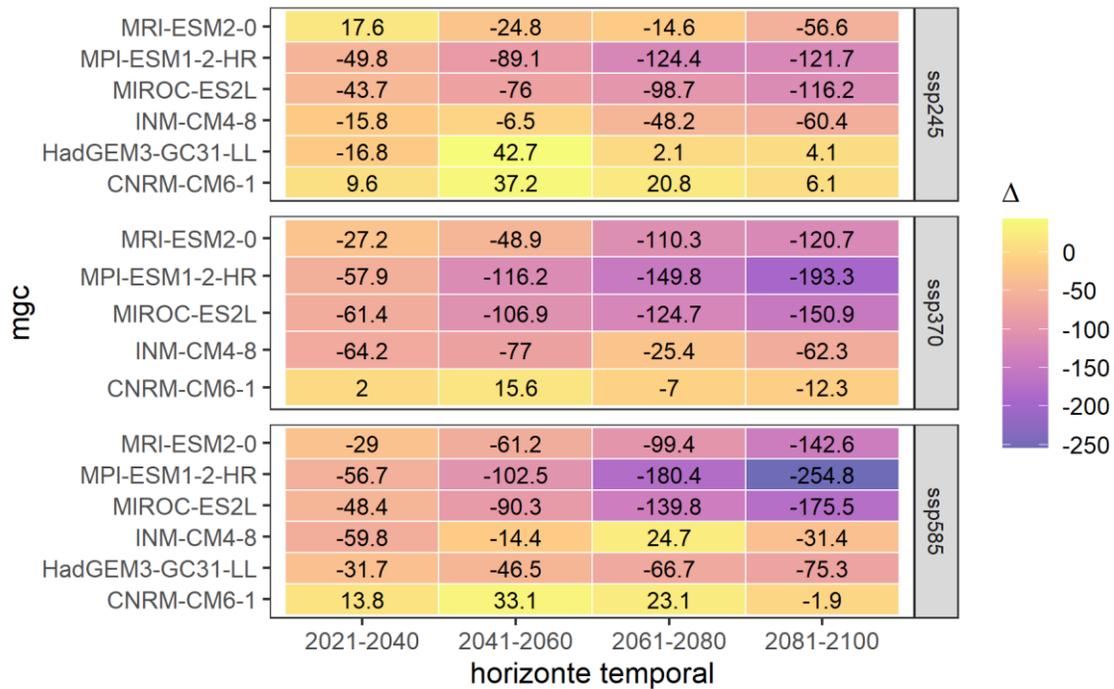


FIGURA 234. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL [MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

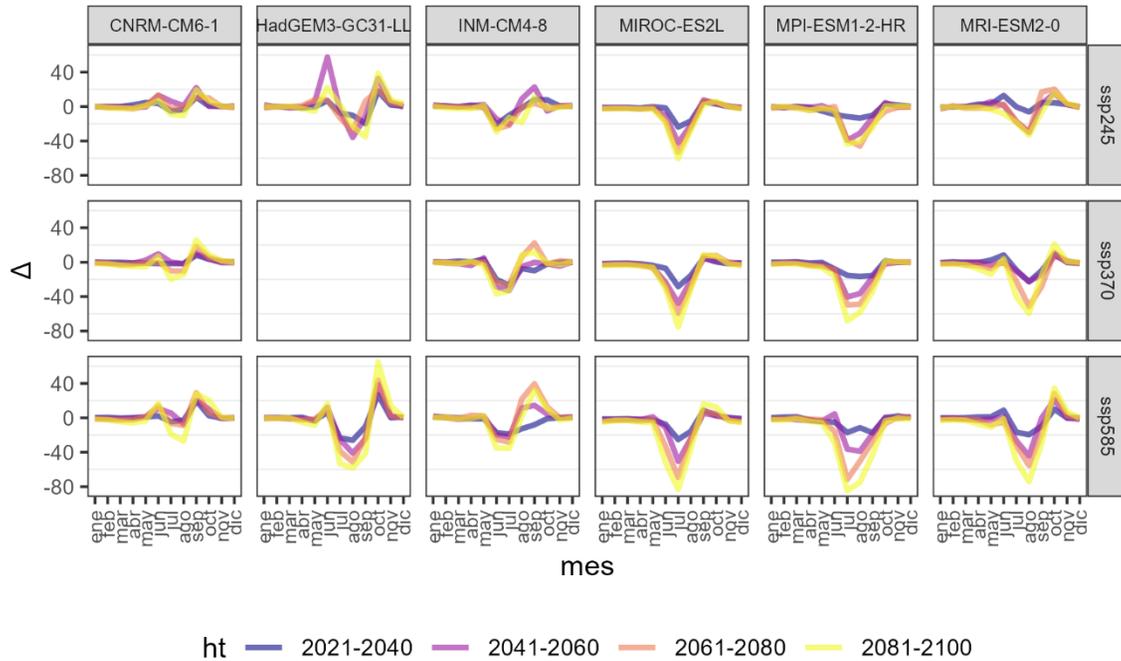


FIGURA 235. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

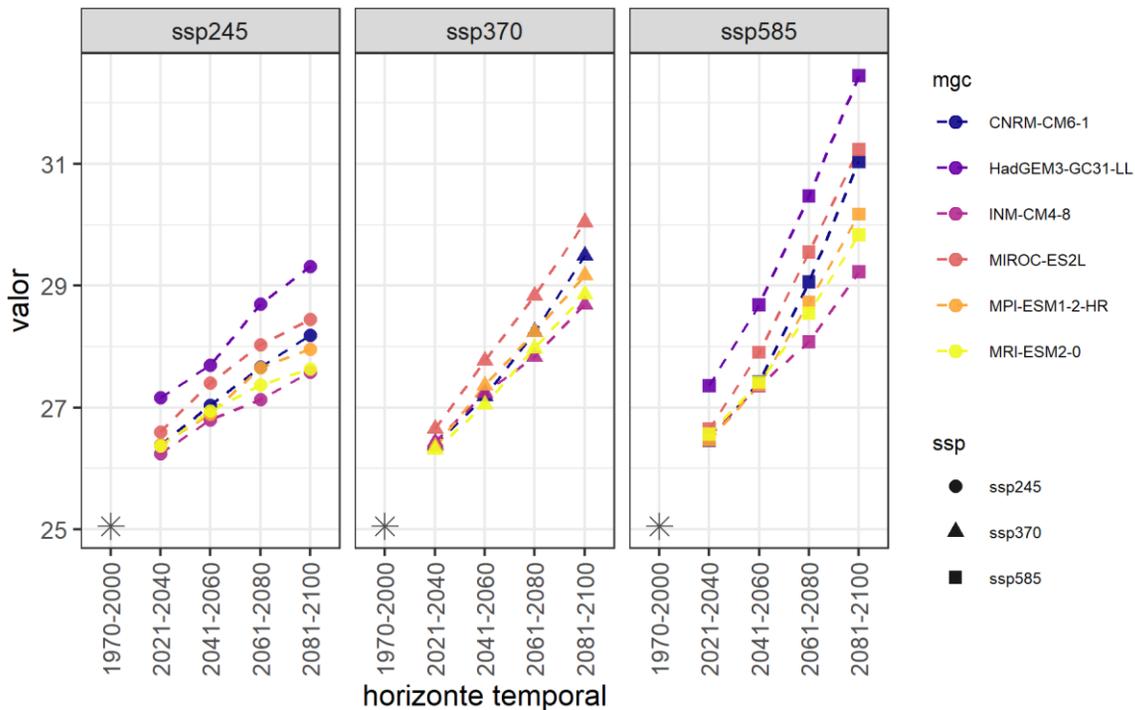


FIGURA 236. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL EN LA REGIÓN SIERRA NEGRA PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

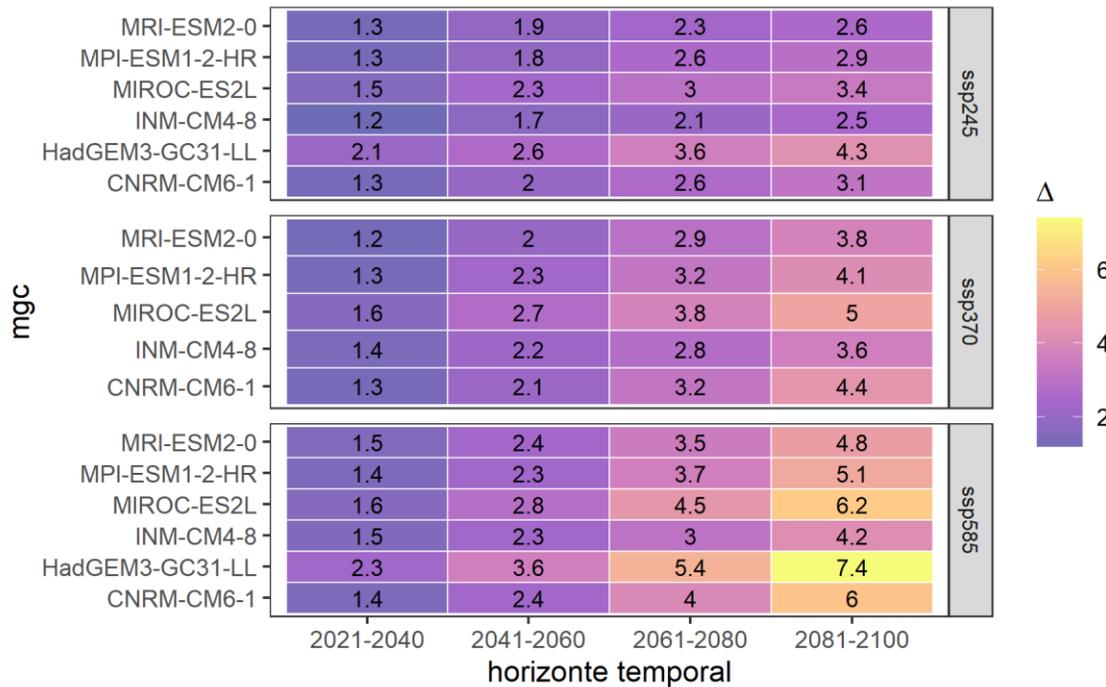


FIGURA 237. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

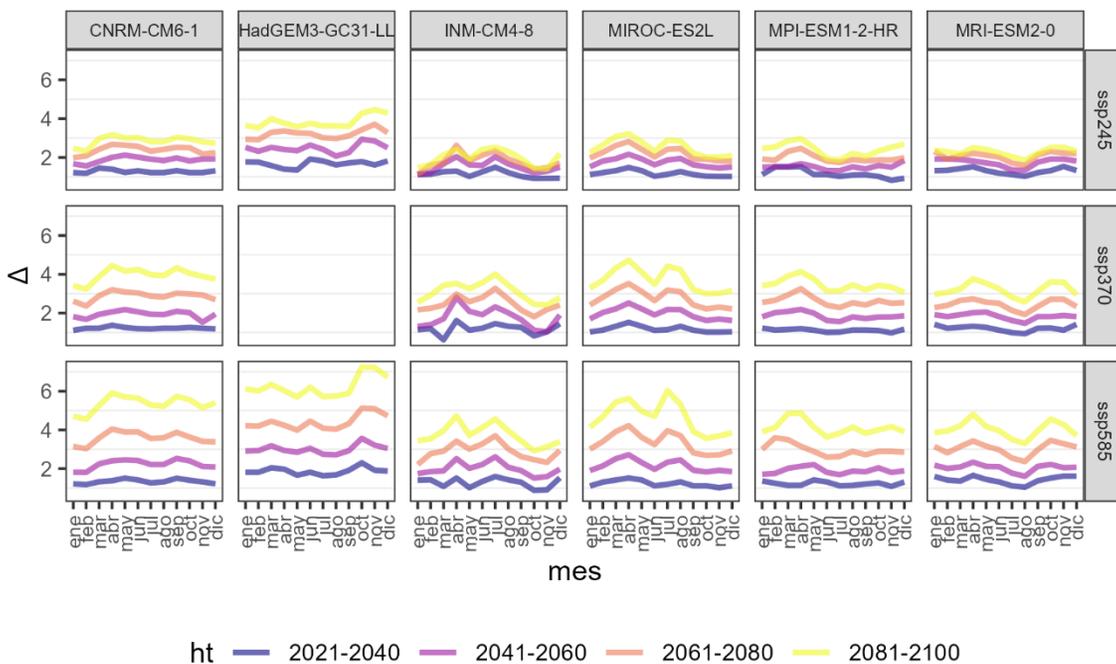


FIGURA 238. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL [Δ MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

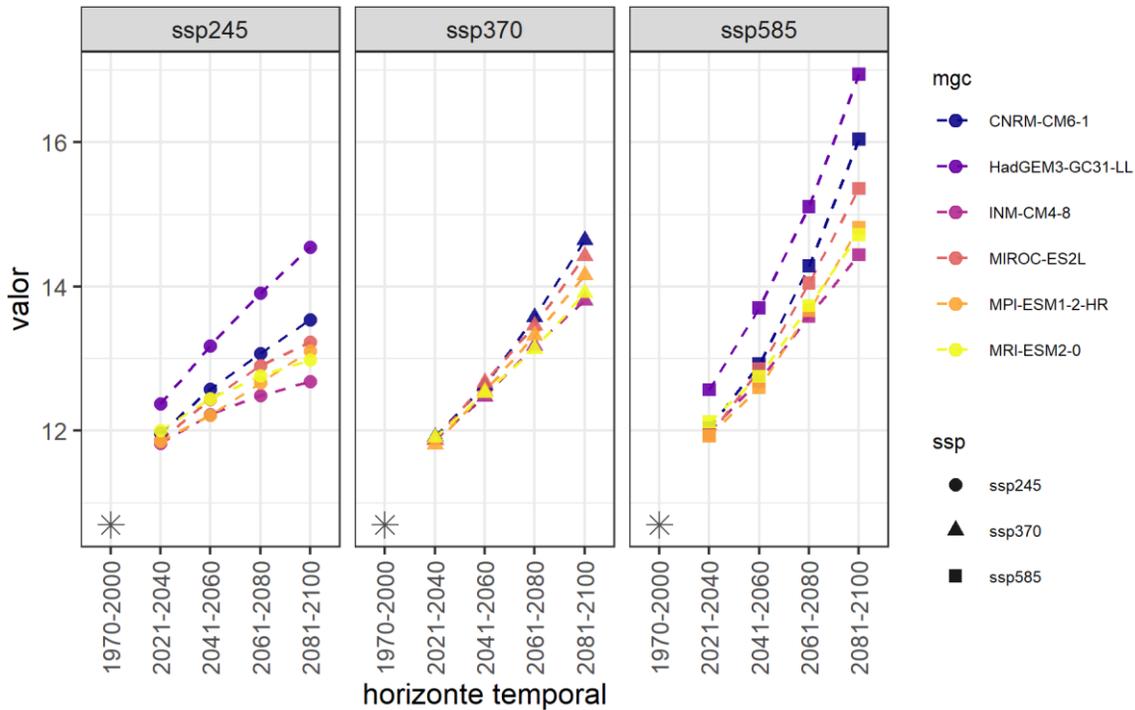


FIGURA 239. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL EN LA REGIÓN SIERRA NEGRA PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

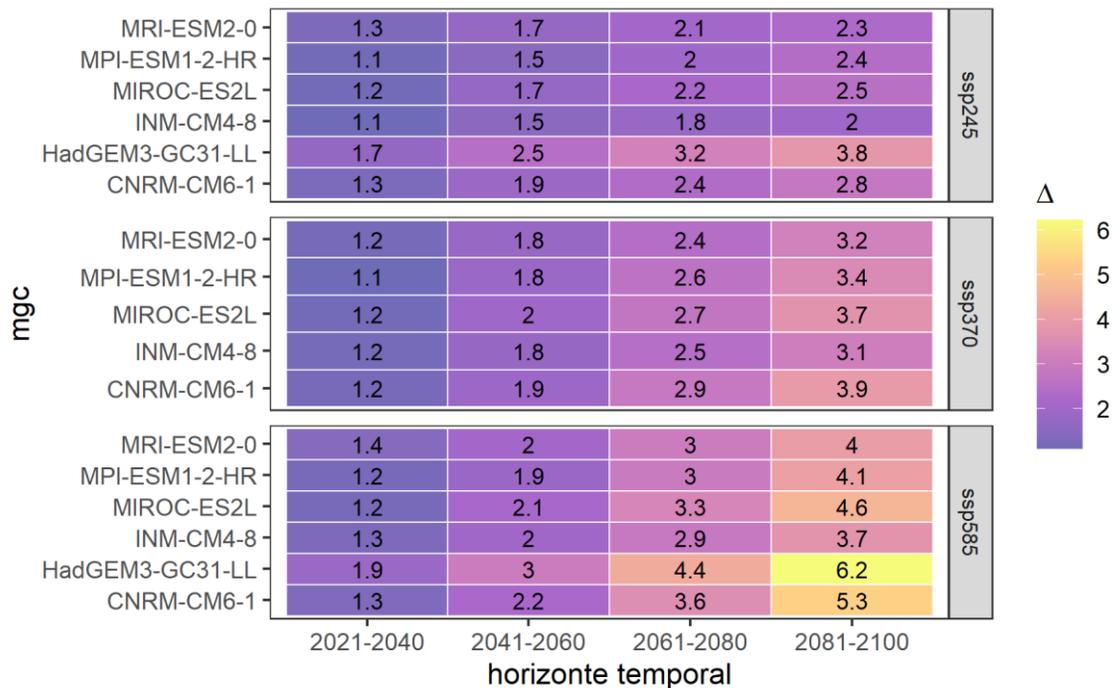


FIGURA 240. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NEGRA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO

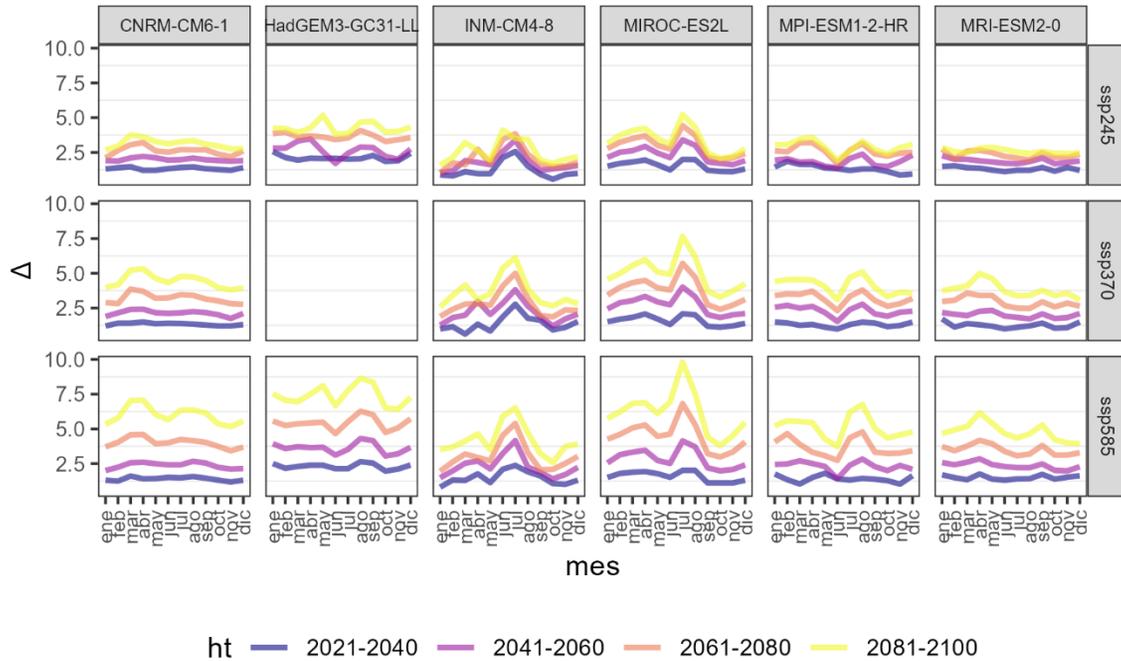


FIGURA 241. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

## REGIÓN SIERRA NORORIENTAL

El cambio en la precipitación proyectado en esta región puede ir desde una disminución de 223.9 mm para el periodo 2081-2100, a un aumento de 83.9 mm durante el periodo 2041-2060. La temperatura máxima puede aumentar un promedio de 1 a 6.8°C, mientras que la mínima podría aumentar de 1 a 5.8°C para los periodos 2021-2040 y 2081-2100 respectivamente. En la tabla y figuras siguientes se presentan los valores de cambio y las tendencias proyectadas.

TABLA 12. VALORES DE CAMBIO EXTREMOS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PROYECTADOS PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL; PREC [MM], TMAX [°C], TMIN [°C].

| Variable         | MGC             | SSP    | Min/Max | Valor  |
|------------------|-----------------|--------|---------|--------|
| <b>2021-2040</b> |                 |        |         |        |
| prec             | INM-CM4-8       | ssp370 | Min     | -135.4 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | -1.9   |
| tmax             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp370 | Min     | 1.0    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 2.2    |
| tmin             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp370 | Min     | 1.0    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 1.8    |
| <b>2041-2060</b> |                 |        |         |        |
| prec             | INM-CM4-8       | ssp370 | Min     | -195.8 |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp245 | Max     | 83.9   |
| tmax             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp245 | Min     | 1.5    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 3.3    |
| tmin             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp245 | Min     | 1.4    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 2.8    |
| <b>2061-2080</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MRI-ESM2-0      | ssp370 | Min     | -191.9 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp245 | Max     | -1.7   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.0    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 5.0    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.7    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 4.1    |
| <b>2081-2100</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -223.9 |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp245 | Max     | -11.1  |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.4    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 6.8    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.9    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 5.8    |

Fuente: Elaboración propia

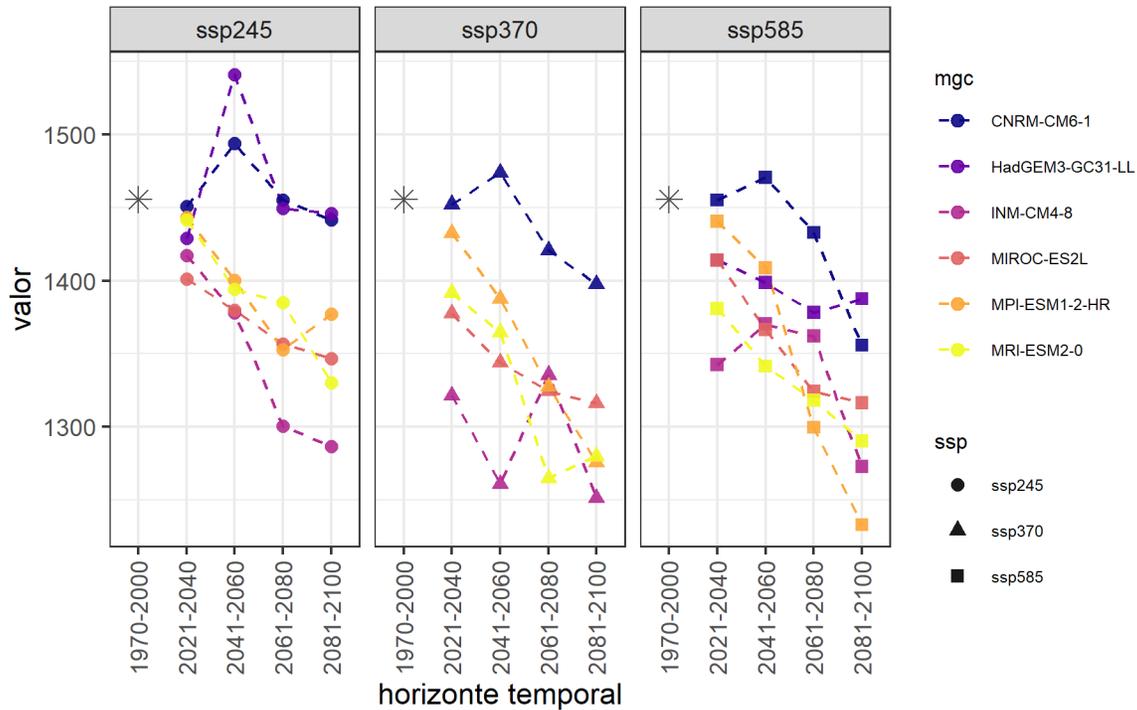


FIGURA 242. PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN ANUAL ACUMULADA EN LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

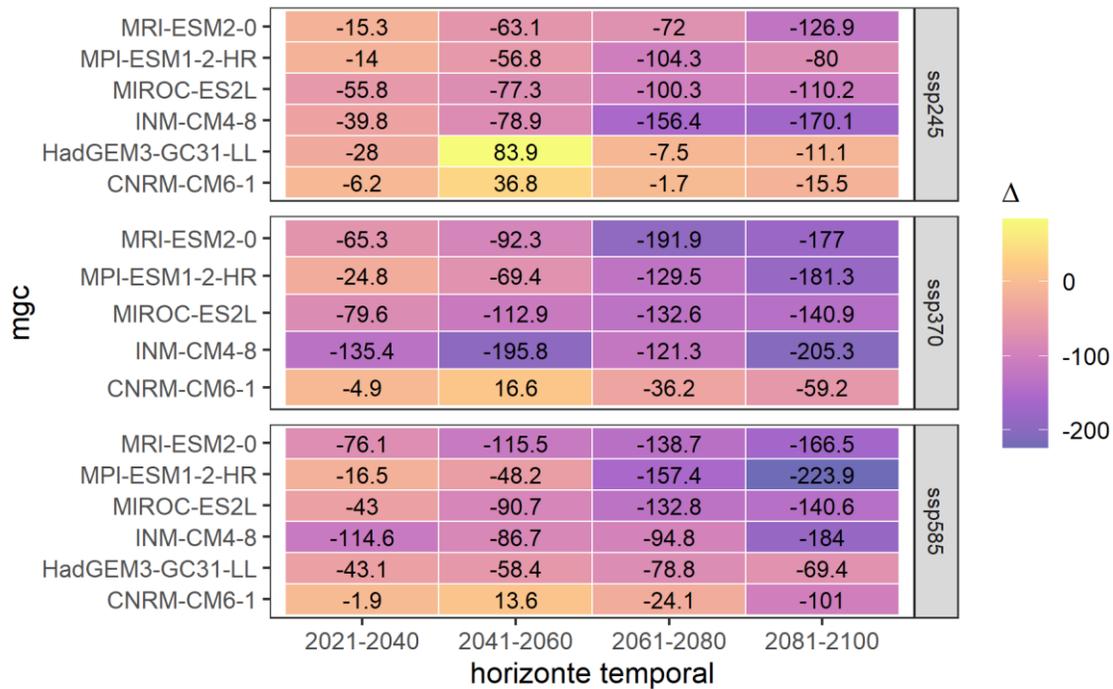


FIGURA 243. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL [MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

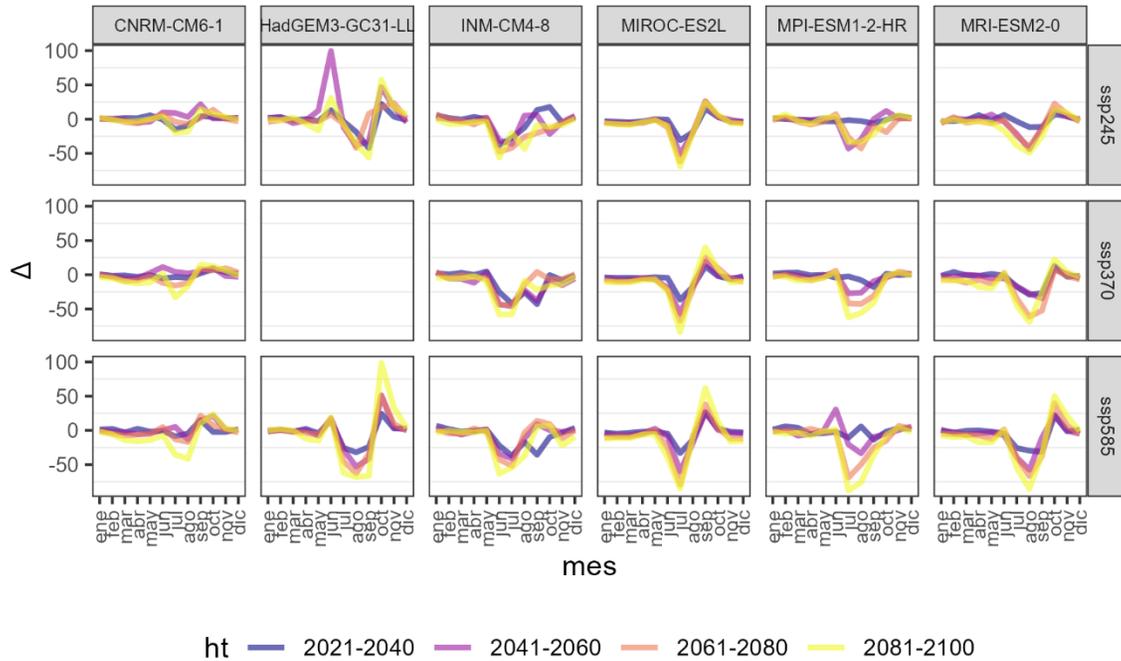


FIGURA 244. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

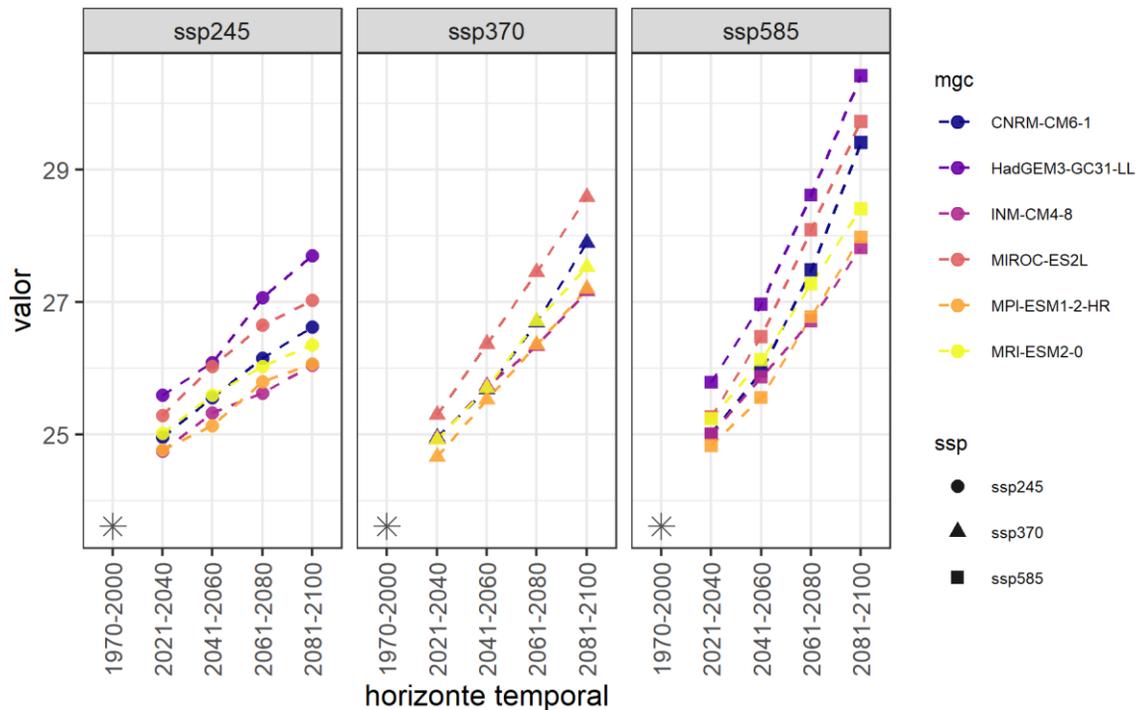


FIGURA 245. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL EN LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

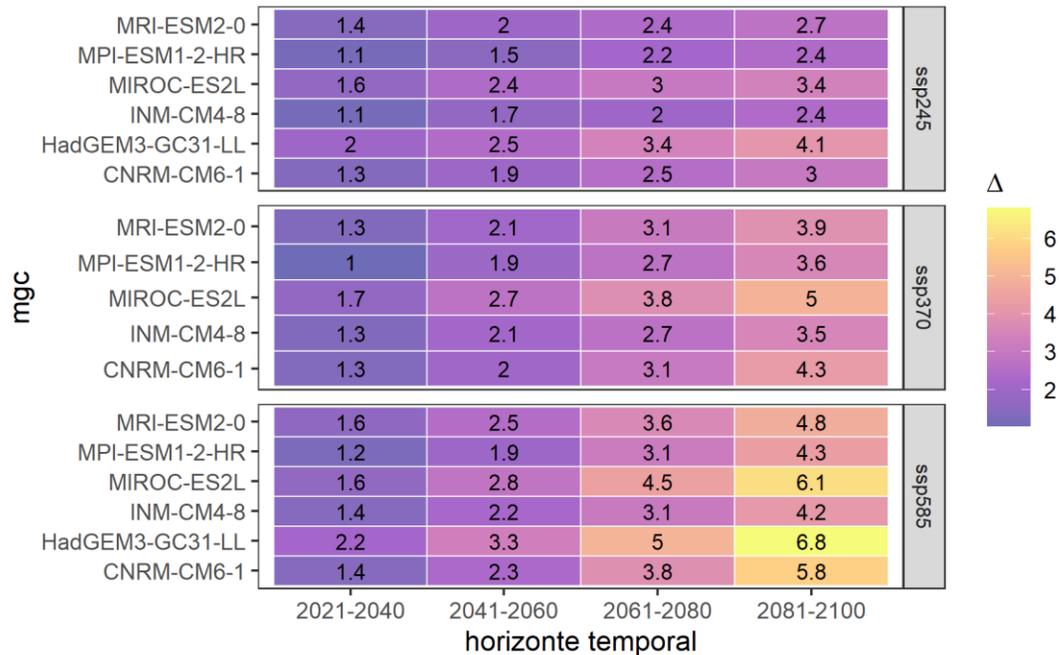


FIGURA 246. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

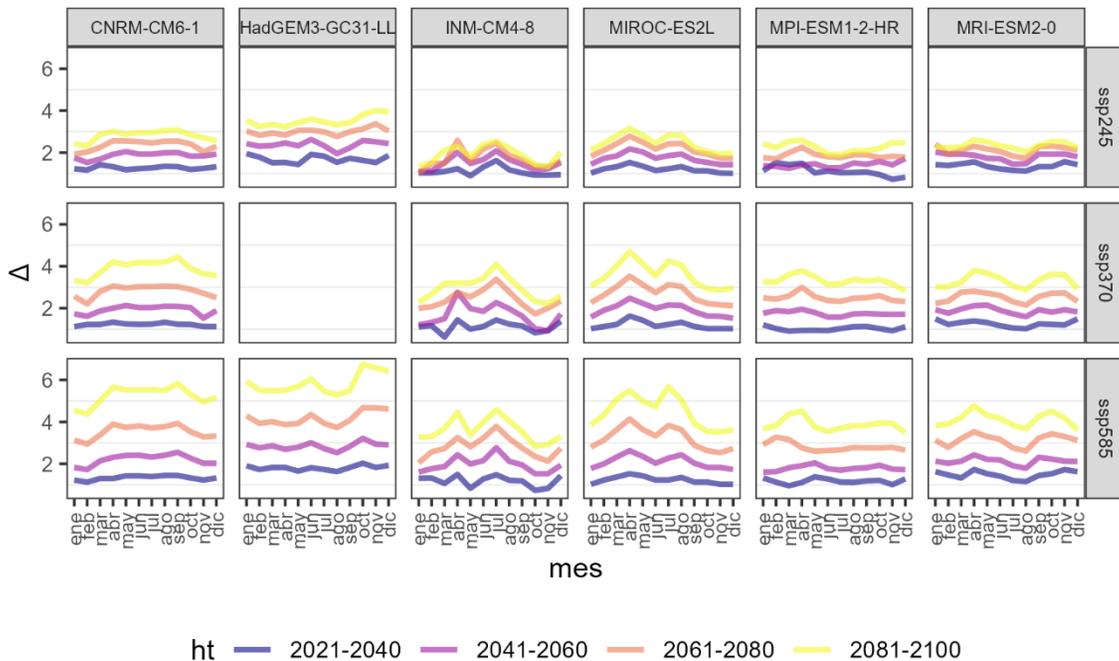


FIGURA 247. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL [Δ MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

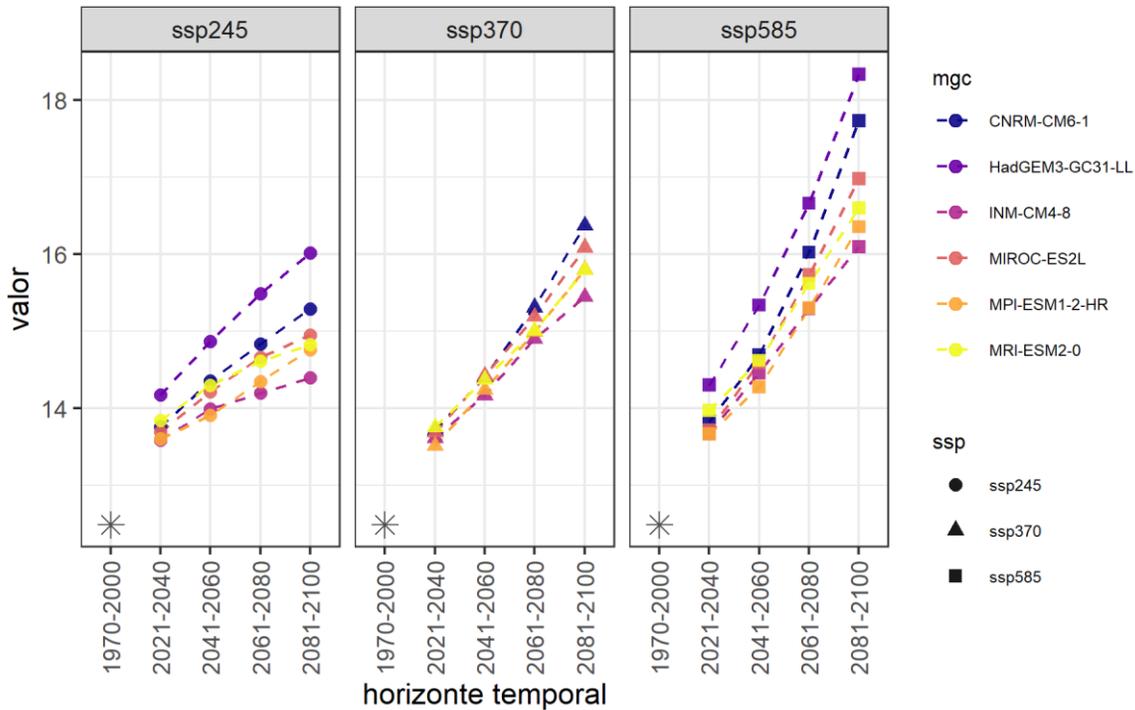


FIGURA 248. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL EN LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

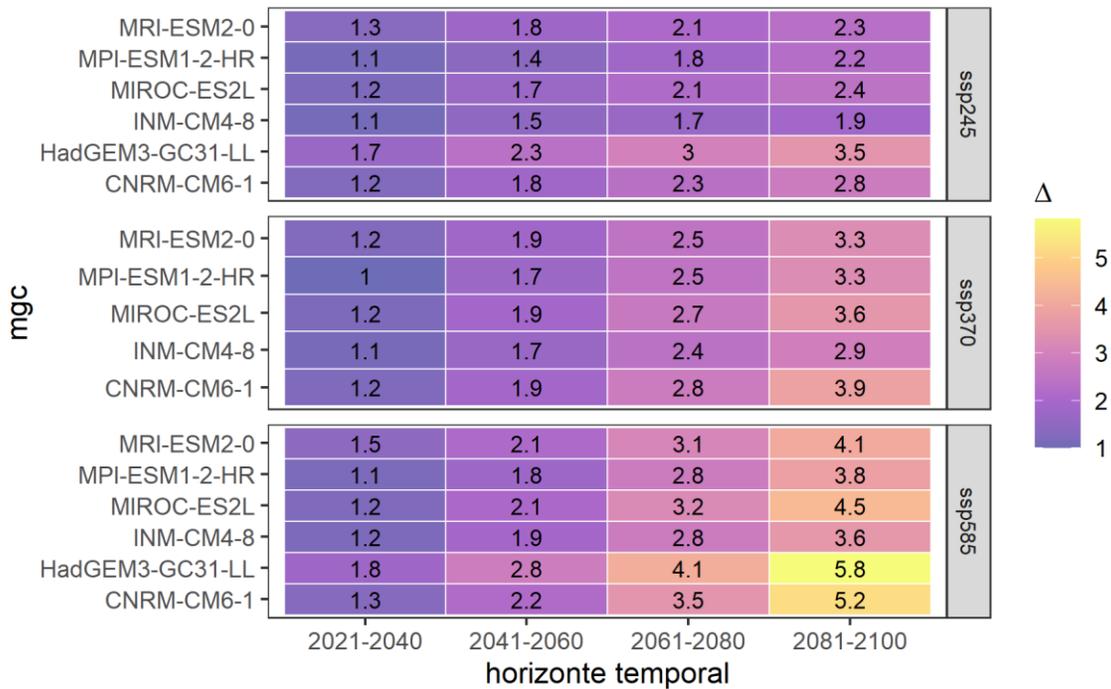


FIGURA 249. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

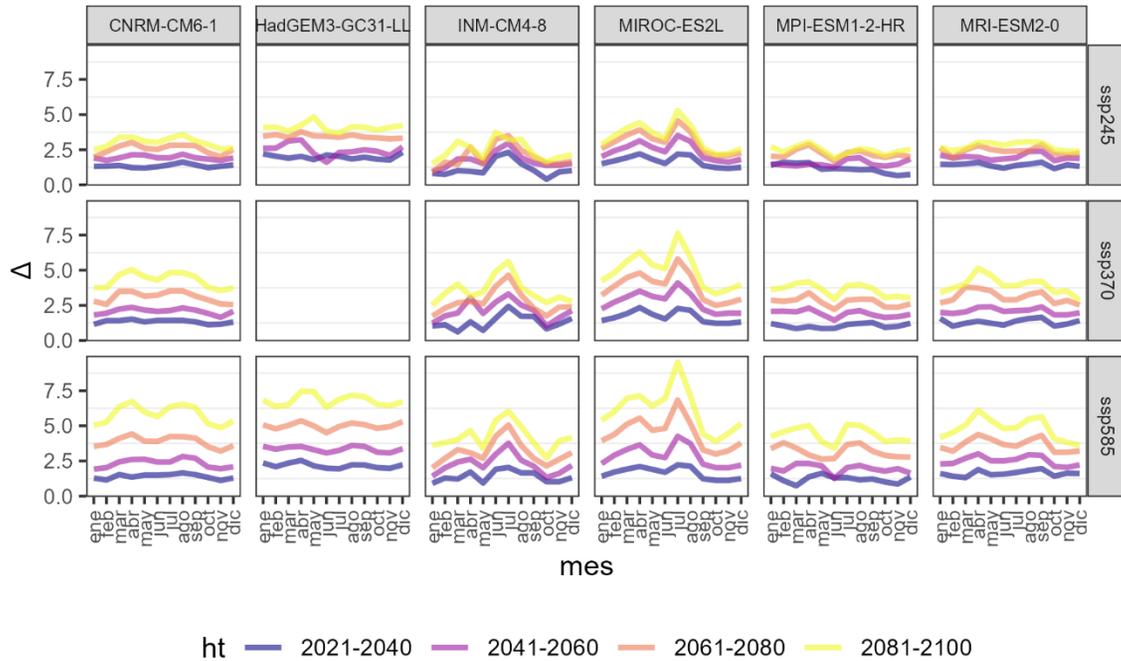


FIGURA 250. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NORORIENTAL DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

## REGIÓN SIERRA NORTE

El cambio en la precipitación proyectado en esta región puede ir desde una disminución de 277.3 mm para el periodo 2081-2100, a un aumento de 80.6 mm durante el periodo 2041-2060. La temperatura máxima puede aumentar un promedio de 1.1 a 7.0°C, mientras que la mínima podría aumentar de 1 a 5.9°C para los periodos 2021-2040 y 2081-2100 respectivamente. En la tabla y figuras siguientes se presentan los valores de cambio y las tendencias proyectadas.

TABLA 13. VALORES DE CAMBIO EXTREMOS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PROYECTADOS PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE; PREC [MM], TMAX [°C], TMIN [°C].

| Variable         | MGC             | SSP    | Min/Max | Valor  |
|------------------|-----------------|--------|---------|--------|
| <b>2021-2040</b> |                 |        |         |        |
| prec             | INM-CM4-8       | ssp370 | Min     | -154.7 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 12.7   |
| tmax             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp370 | Min     | 1.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 2.2    |
| tmin             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp370 | Min     | 1.0    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 1.8    |
| <b>2041-2060</b> |                 |        |         |        |
| prec             | INM-CM4-8       | ssp370 | Min     | -206.8 |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp245 | Max     | 80.6   |
| tmax             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp245 | Min     | 1.6    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 3.4    |
| tmin             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp245 | Min     | 1.4    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 2.8    |
| <b>2061-2080</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -206.1 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp245 | Max     | 17.8   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 5.1    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.7    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 4.2    |
| <b>2081-2100</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -277.3 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp245 | Max     | -7.9   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.5    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 7.0    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.9    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 5.9    |

Fuente: Elaboración propia

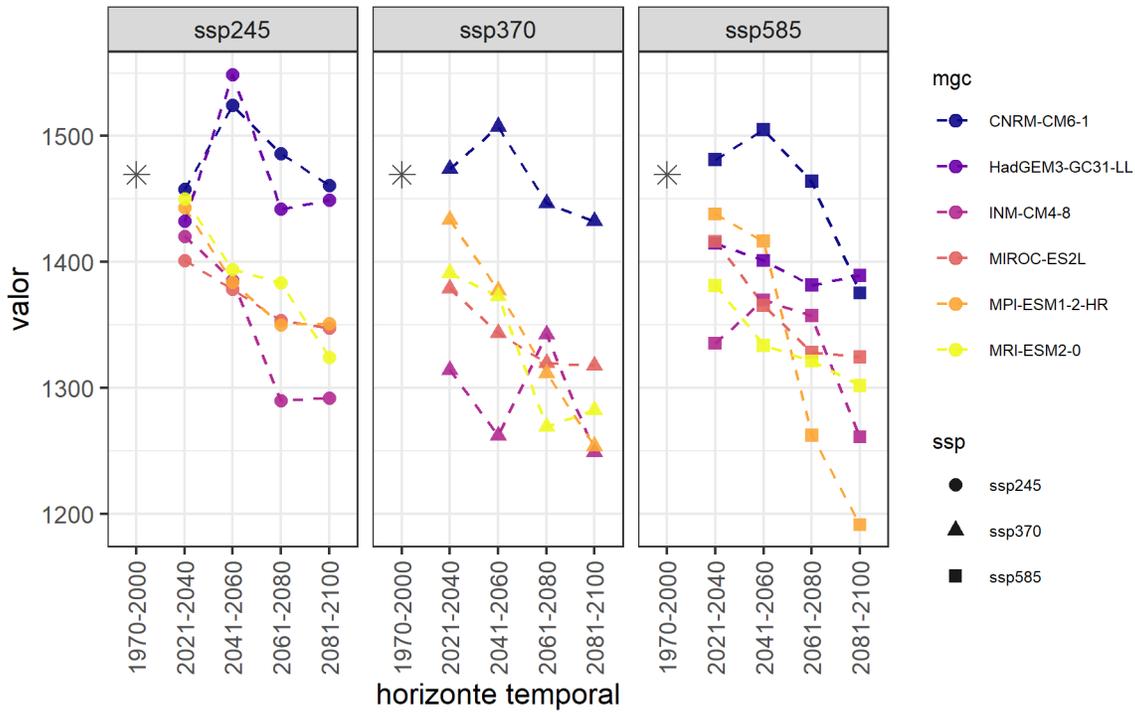


FIGURA 251. PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN ANUAL ACUMULADA EN LA REGIÓN SIERRA NORTE PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

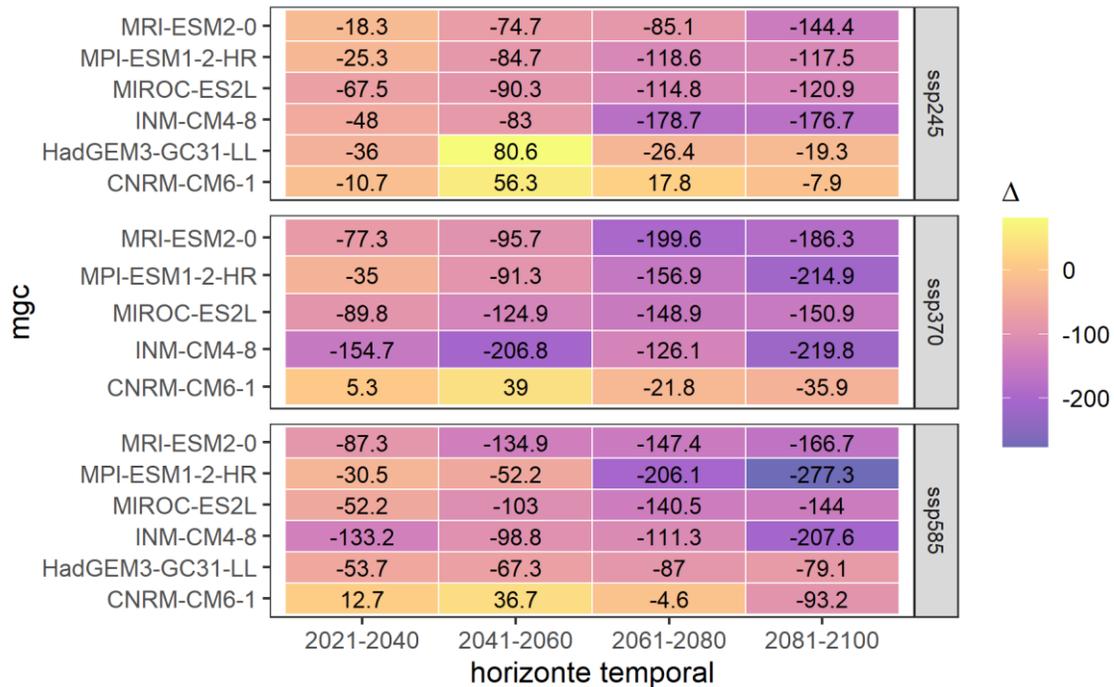


FIGURA 252. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL [MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

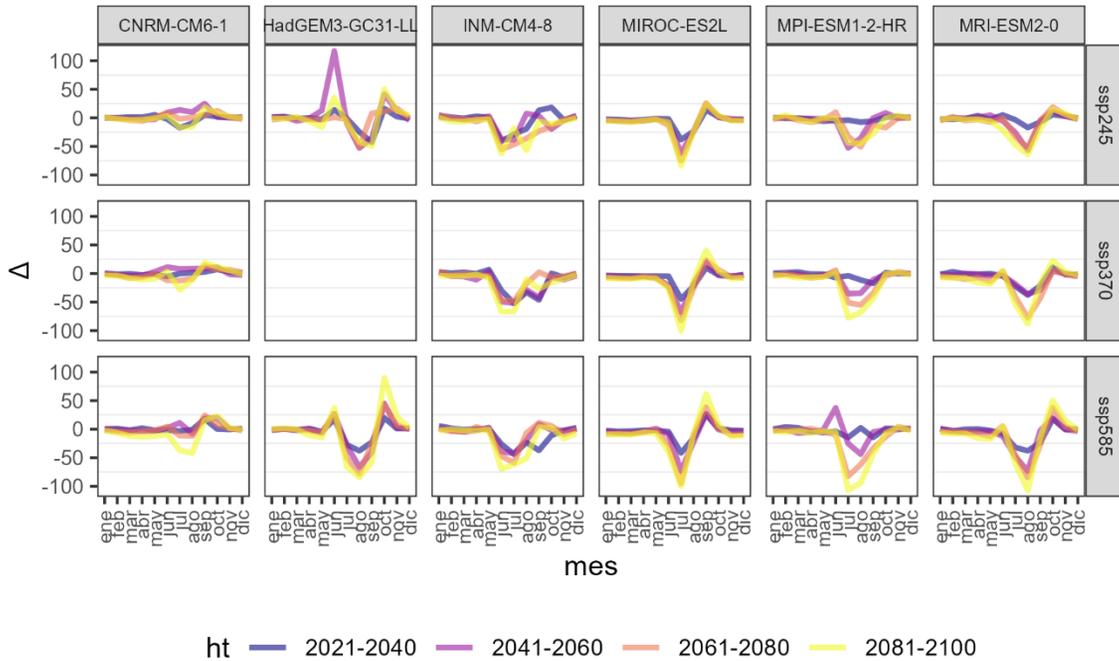


FIGURA 253. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

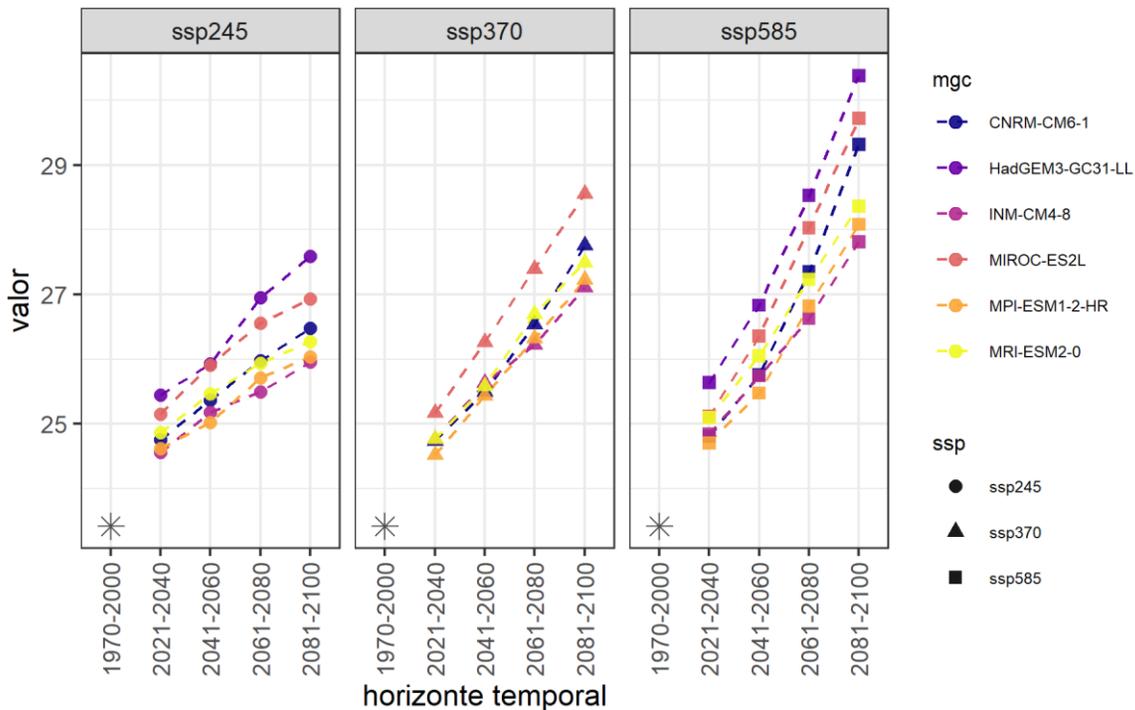


FIGURA 254. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL EN LA REGIÓN SIERRA NORTE PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

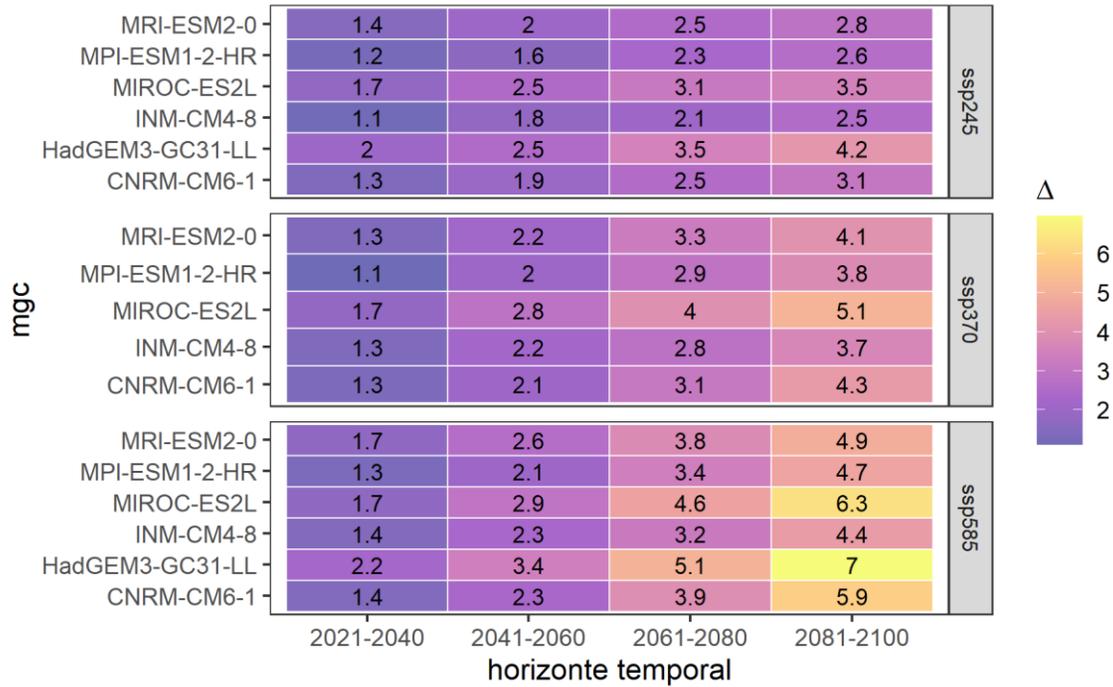


FIGURA 255. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

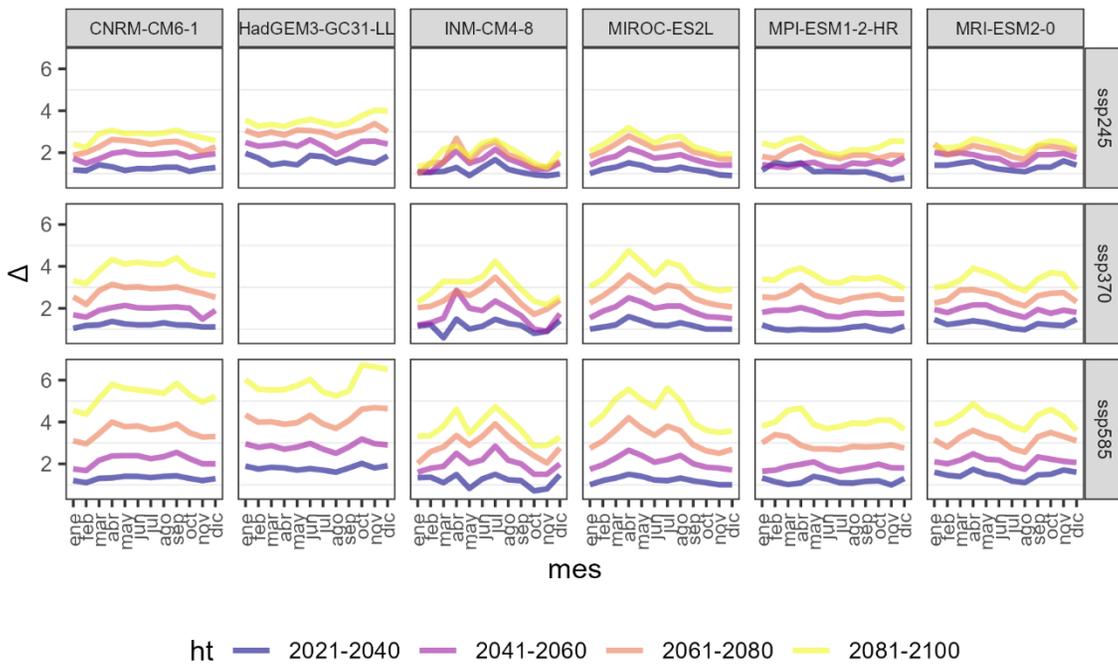


FIGURA 256. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL [Δ MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

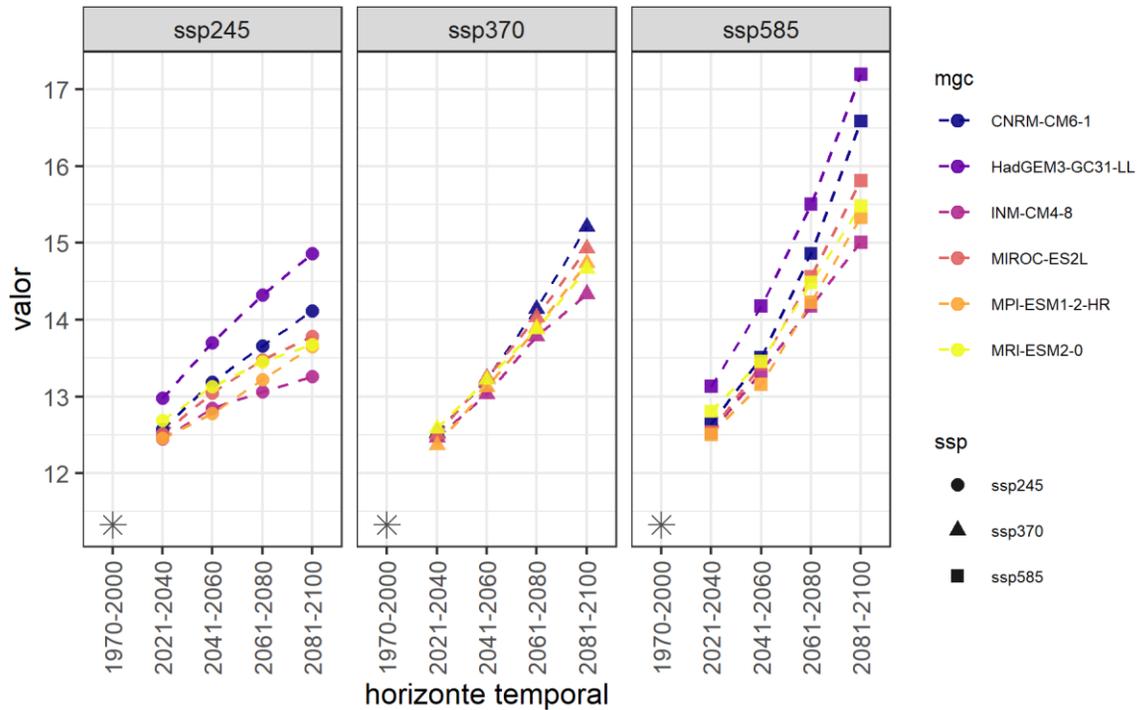


FIGURA 257. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL EN LA REGIÓN SIERRA NORTE PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

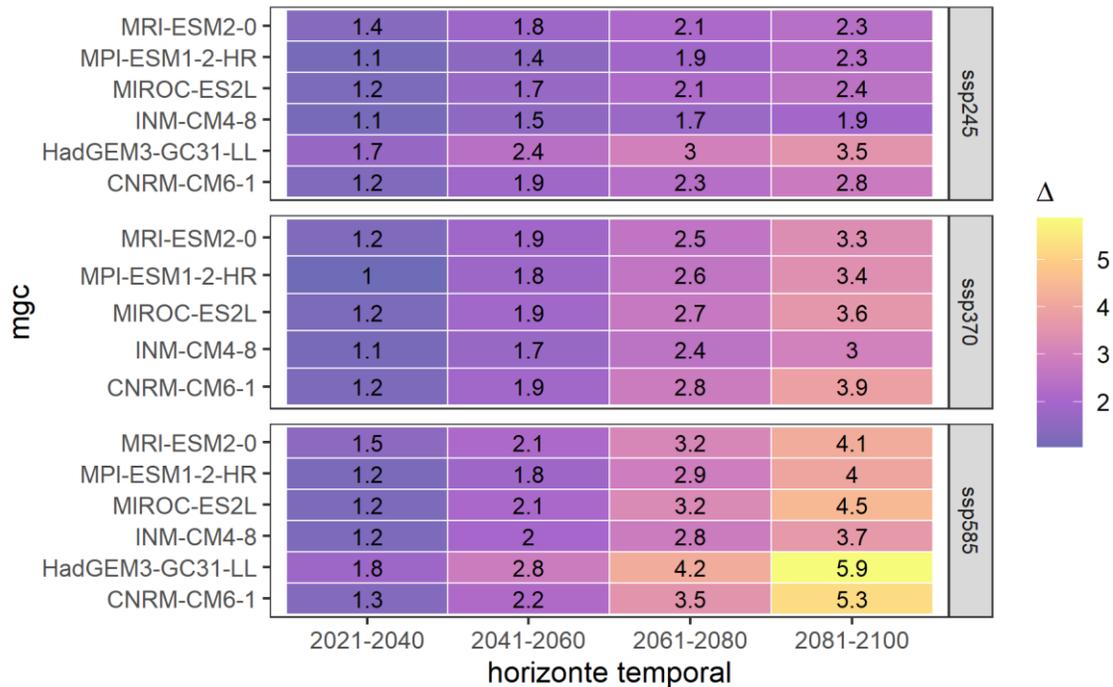


FIGURA 258. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

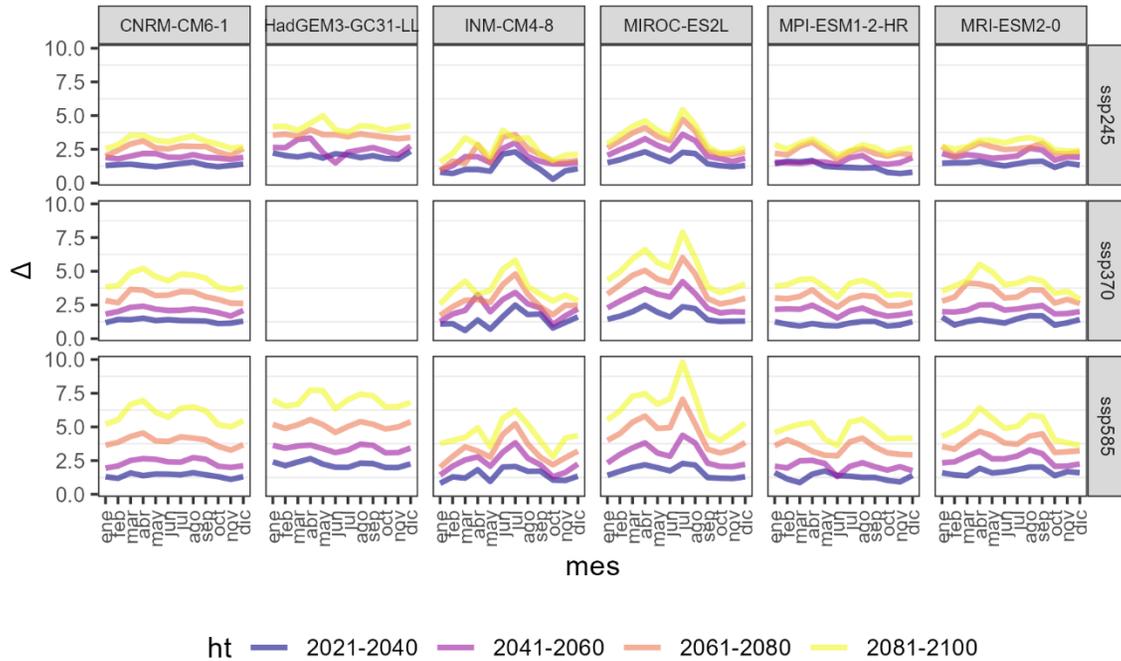


FIGURA 259. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN SIERRA NORTE DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

## REGIÓN VALLE ATLIXCO

El cambio en la precipitación proyectado en esta región puede ir desde una disminución de 526.8 mm a un aumento de 81 mm para el periodo 2081-2100. La temperatura máxima puede aumentar un promedio de 1.1 a 7.5°C, mientras que la mínima podría aumentar de 1.1 a 6.2°C para los periodos 2021-2040 y 2081-2100 respectivamente. En la tabla y figuras siguientes se presentan los valores de cambio y las tendencias proyectadas.

TABLA 14. VALORES DE CAMBIO EXTREMOS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PROYECTADOS PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO; PREC [MM], TMAX [°C], TMIN [°C].

| Variable         | MGC             | SSP    | Min/Max | Valor  |
|------------------|-----------------|--------|---------|--------|
| <b>2021-2040</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MIROC-ES2L      | ssp370 | Min     | -48.9  |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 40.7   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 2.3    |
| tmin             | MIROC-ES2L      | ssp245 | Min     | 1.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 1.8    |
| <b>2041-2060</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp370 | Min     | -101.6 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 75.3   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.7    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 3.6    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.5    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 2.9    |
| <b>2061-2080</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -195.8 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 78.0   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 5.5    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.8    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 4.3    |
| <b>2081-2100</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -256.8 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 81.0   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.5    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 7.5    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.0    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 6.2    |

Fuente: Elaboración propia

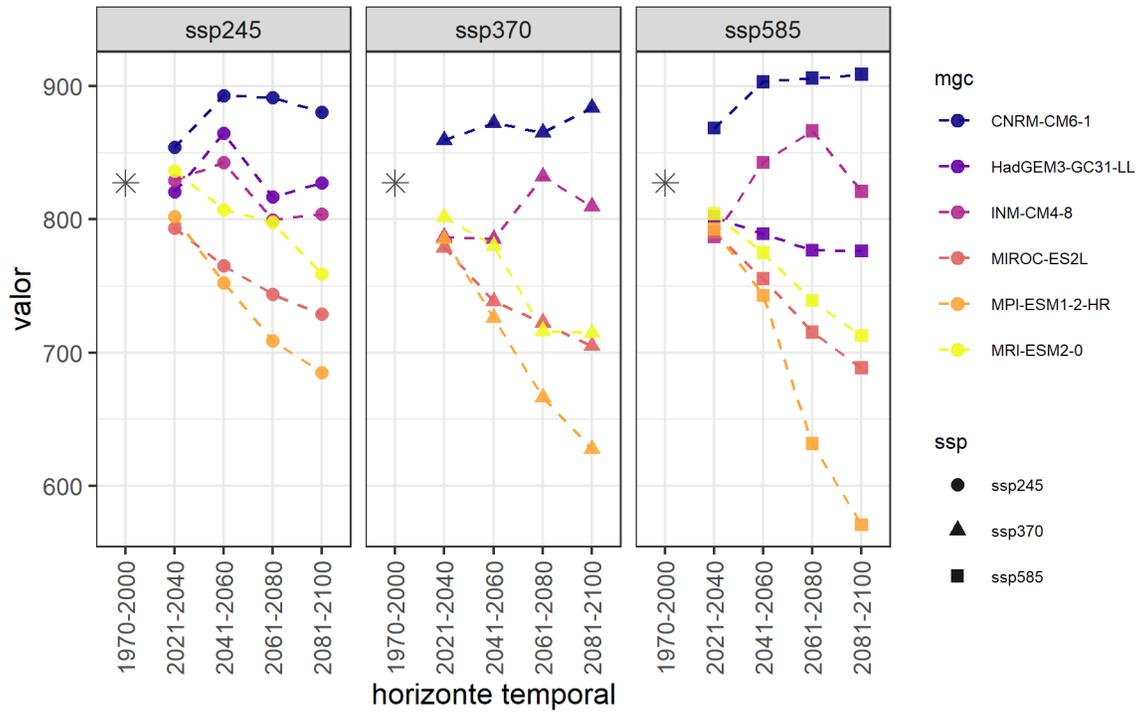


FIGURA 260. PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN ANUAL ACUMULADA EN LA REGIÓN VALLE ATLIXCO PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

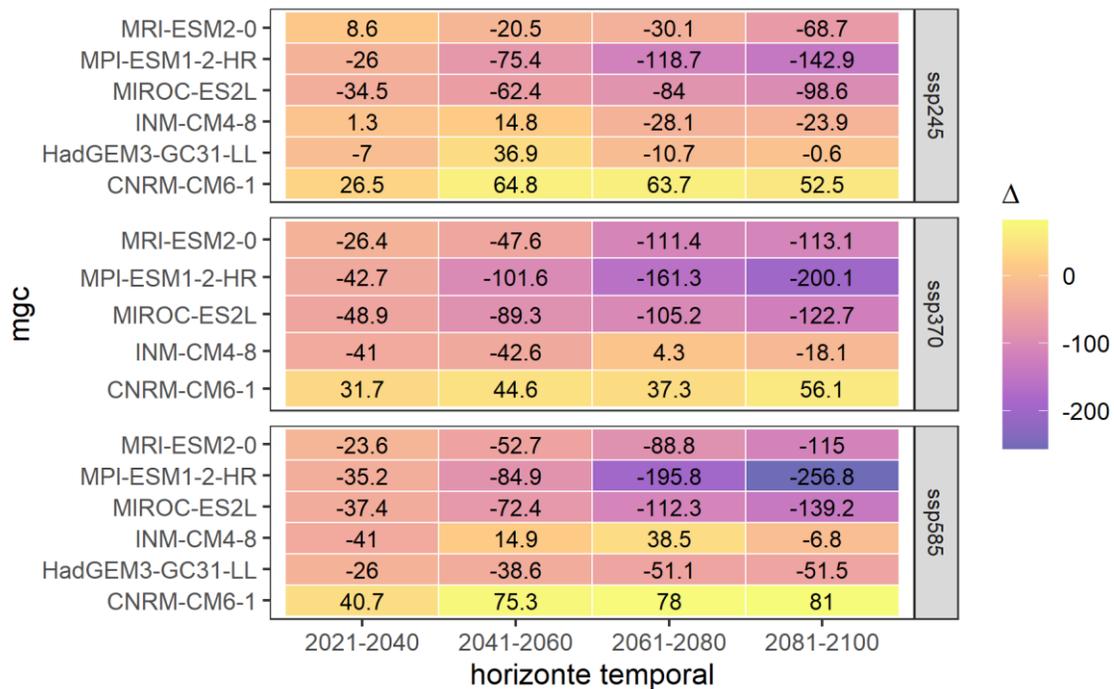


FIGURA 261. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL [MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

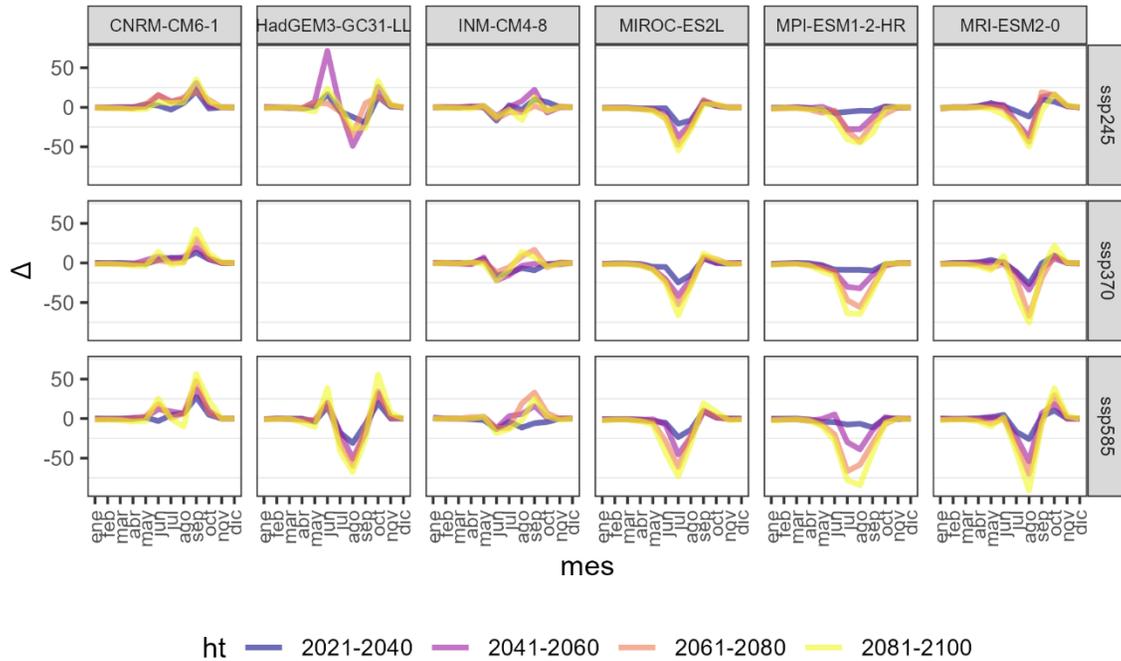


FIGURA 262. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

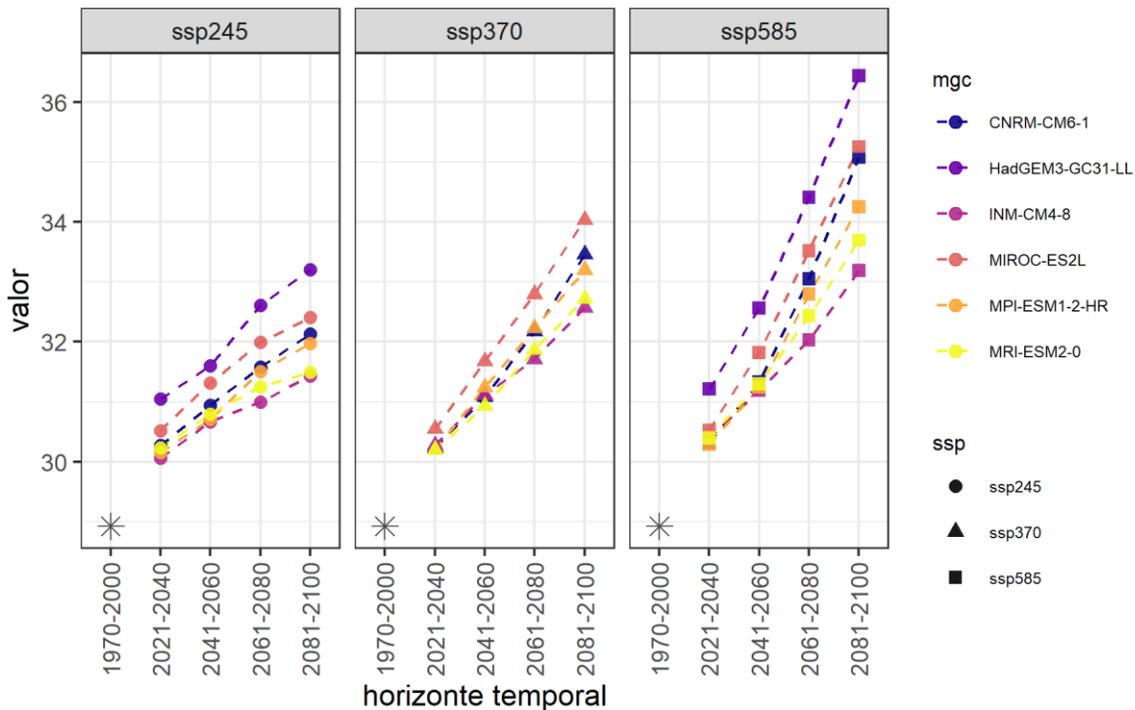


FIGURA 263. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL EN LA REGIÓN VALLE ATLIXCO PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

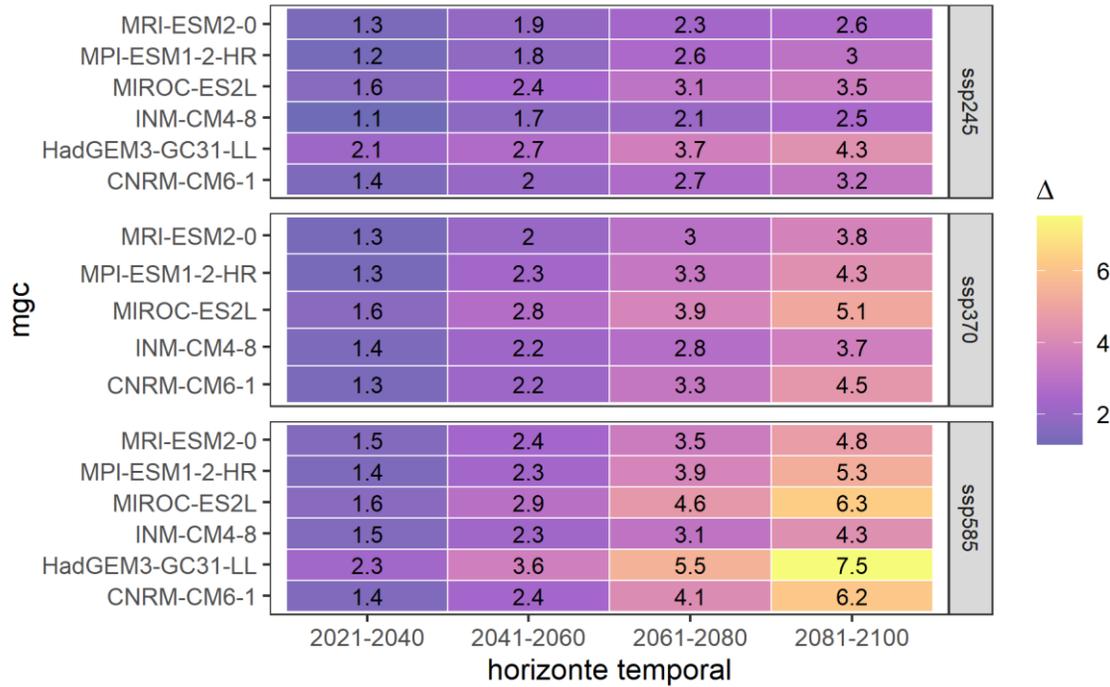


FIGURA 264. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

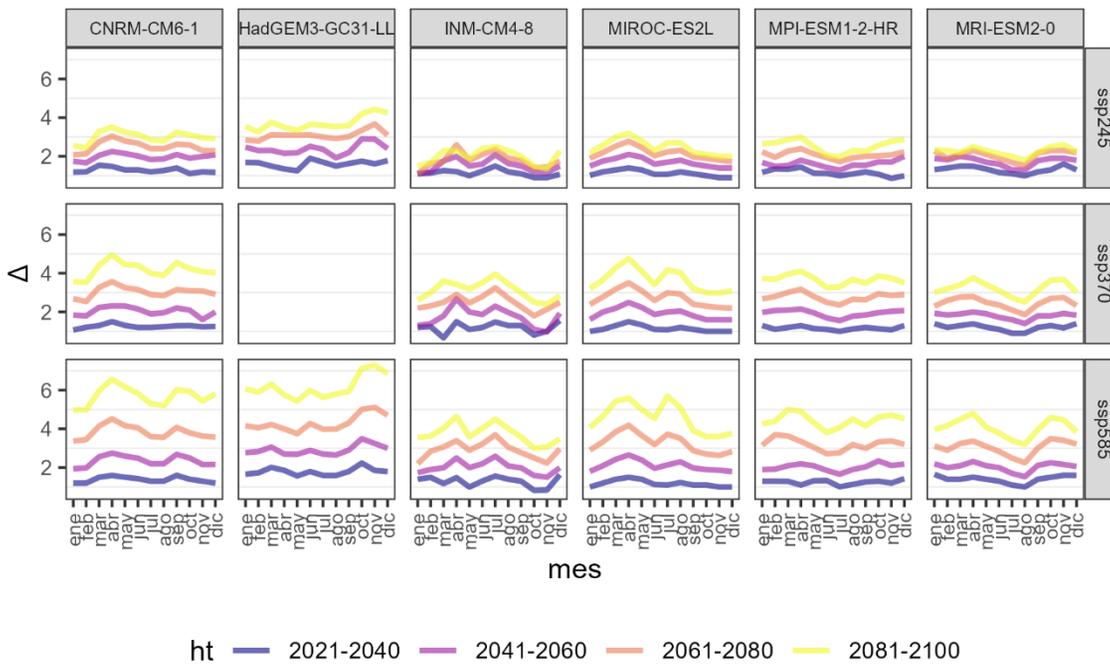


FIGURA 265. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL [Δ MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

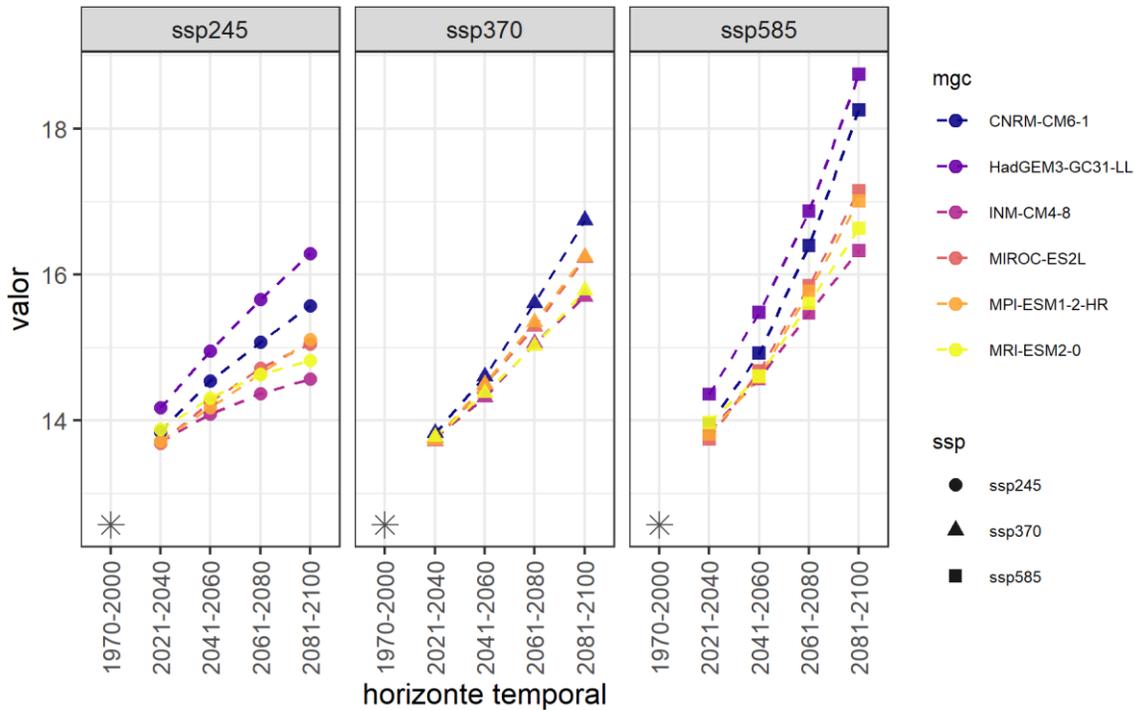


FIGURA 266. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL EN LA REGIÓN VALLE ATLIXCO PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

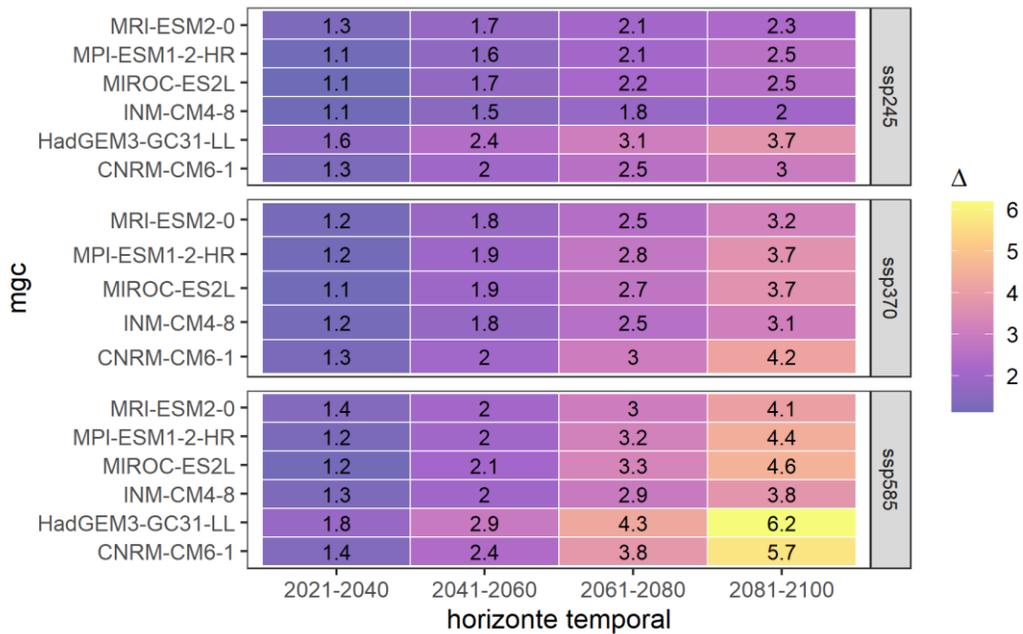


FIGURA 267. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

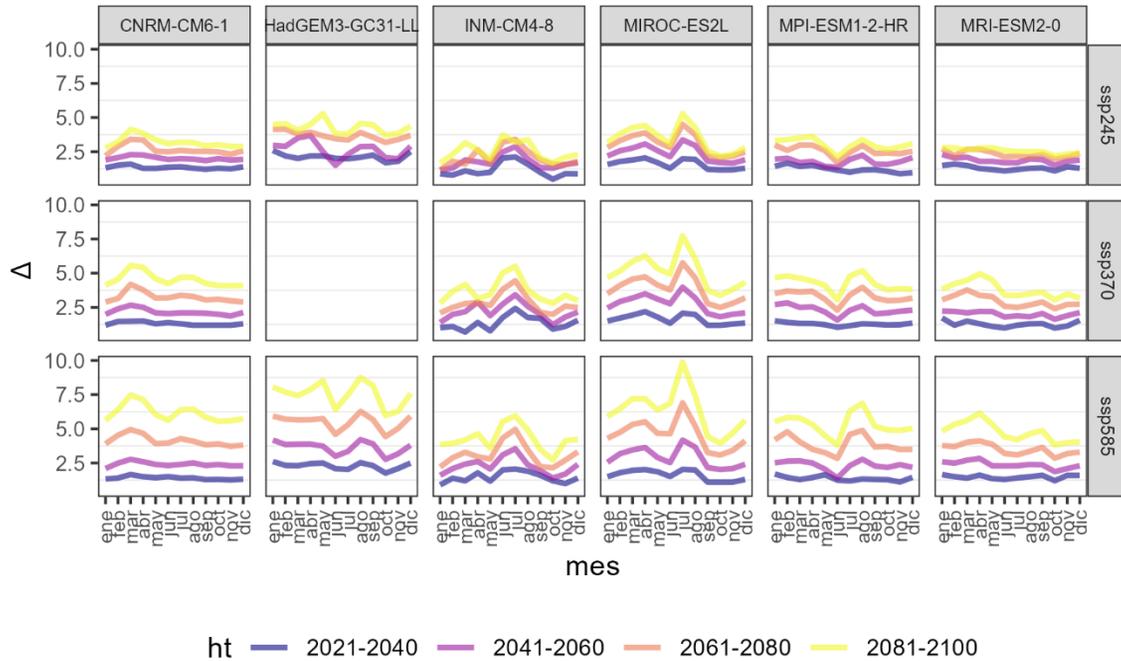


FIGURA 268. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN VALLE ATLIXCO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

## REGIÓN VALLE SERDÁN

El cambio en la precipitación proyectado en esta región puede ir desde una disminución de 139.4 mm en el periodo 2081-2100, a un aumento de 56.6 mm para el periodo 2041-2060. La temperatura máxima puede aumentar un promedio de 1.2 a 7.2°C, mientras que la mínima podría aumentar de 1.1 a 6.0°C para los periodos 2021-2040 y 2081-2100 respectivamente. En la tabla y figuras siguientes se presentan los valores de cambio y las tendencias proyectadas.

TABLA 15. VALORES DE CAMBIO EXTREMOS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PROYECTADOS PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN; PREC [MM], TMAX [°C], TMIN [°C].

| Variable         | MGC             | SSP    | Min/Max | Valor  |
|------------------|-----------------|--------|---------|--------|
| <b>2021-2040</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MIROC-ES2L      | ssp370 | Min     | -48.9  |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 40.7   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 2.3    |
| tmin             | MIROC-ES2L      | ssp245 | Min     | 1.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 1.8    |
| <b>2041-2060</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp370 | Min     | -101.6 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 75.3   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.7    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 3.6    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.5    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 2.9    |
| <b>2061-2080</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -195.8 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 78.0   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.1    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 5.5    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 1.8    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 4.3    |
| <b>2081-2100</b> |                 |        |         |        |
| prec             | MPI-ESM1-2-HR   | ssp585 | Min     | -256.8 |
|                  | CNRM-CM6-1      | ssp585 | Max     | 81.0   |
| tmax             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.5    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 7.5    |
| tmin             | INM-CM4-8       | ssp245 | Min     | 2.0    |
|                  | HadGEM3-GC31-LL | ssp585 | Max     | 6.2    |

Fuente: Elaboración propia

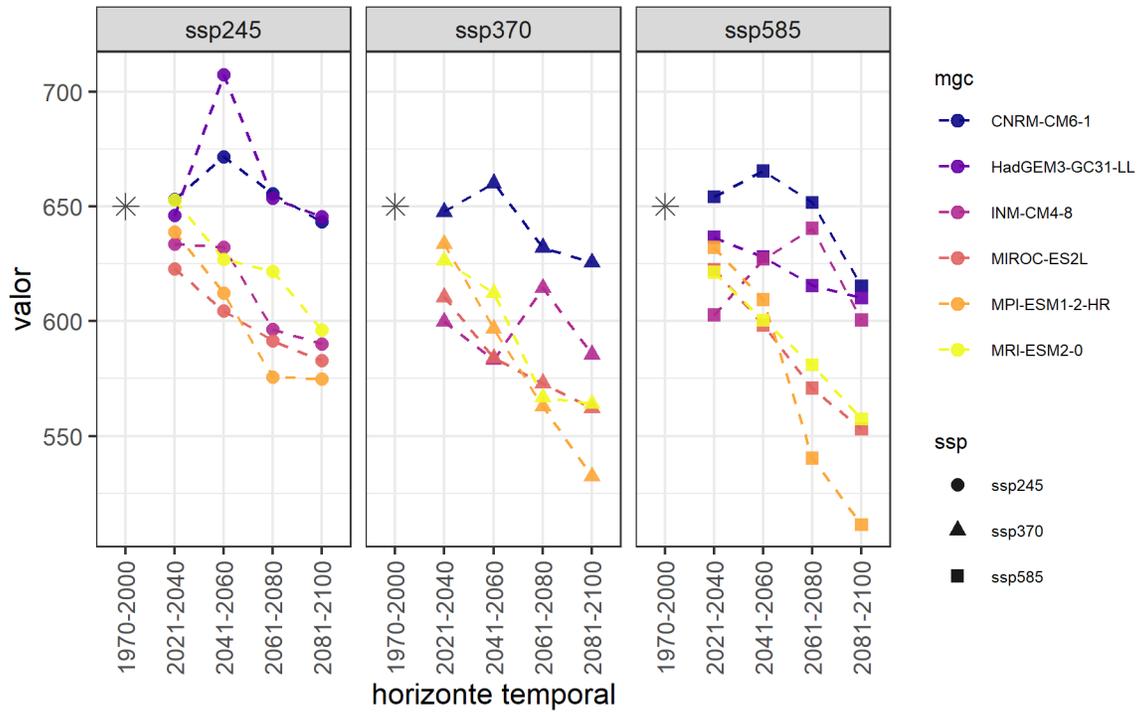


FIGURA 269. PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN ANUAL ACUMULADA EN LA REGIÓN VALLE SERDÁN PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

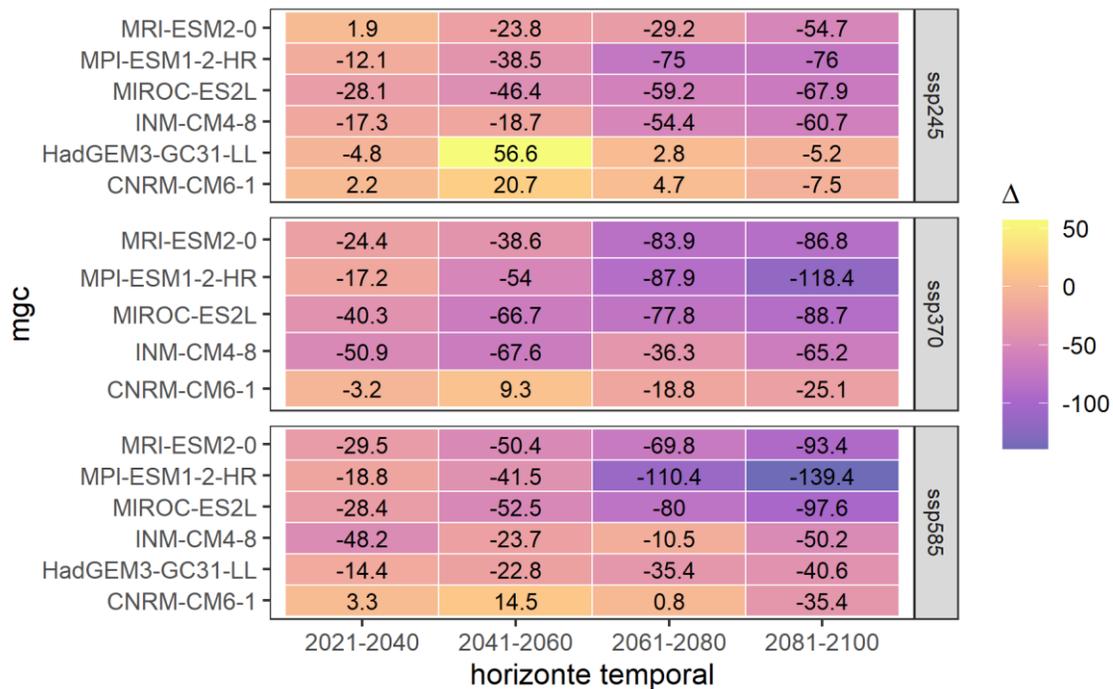


FIGURA 270. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL [MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

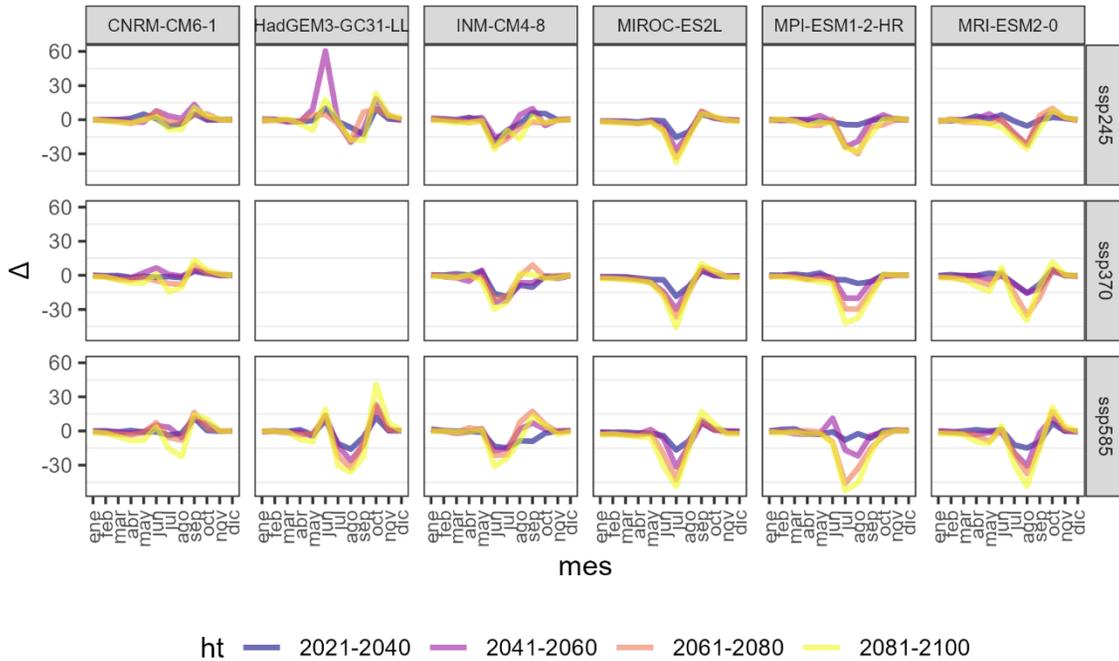


FIGURA 271. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

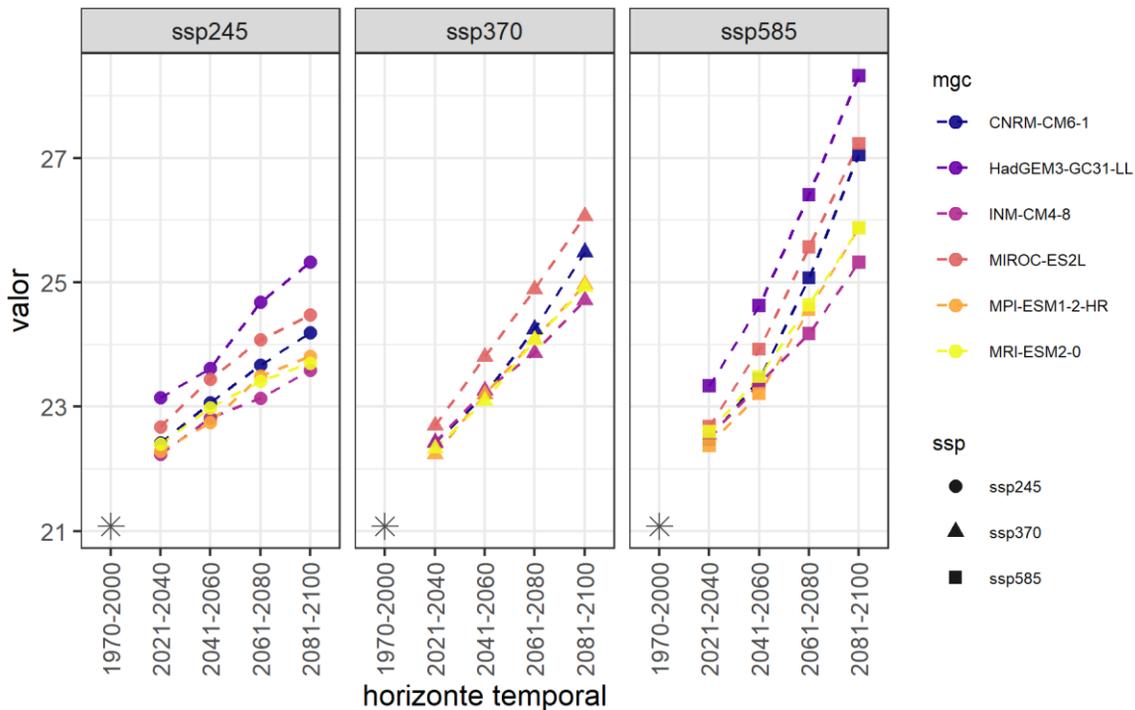


FIGURA 272. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL EN LA REGIÓN VALLE SERDÁN PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

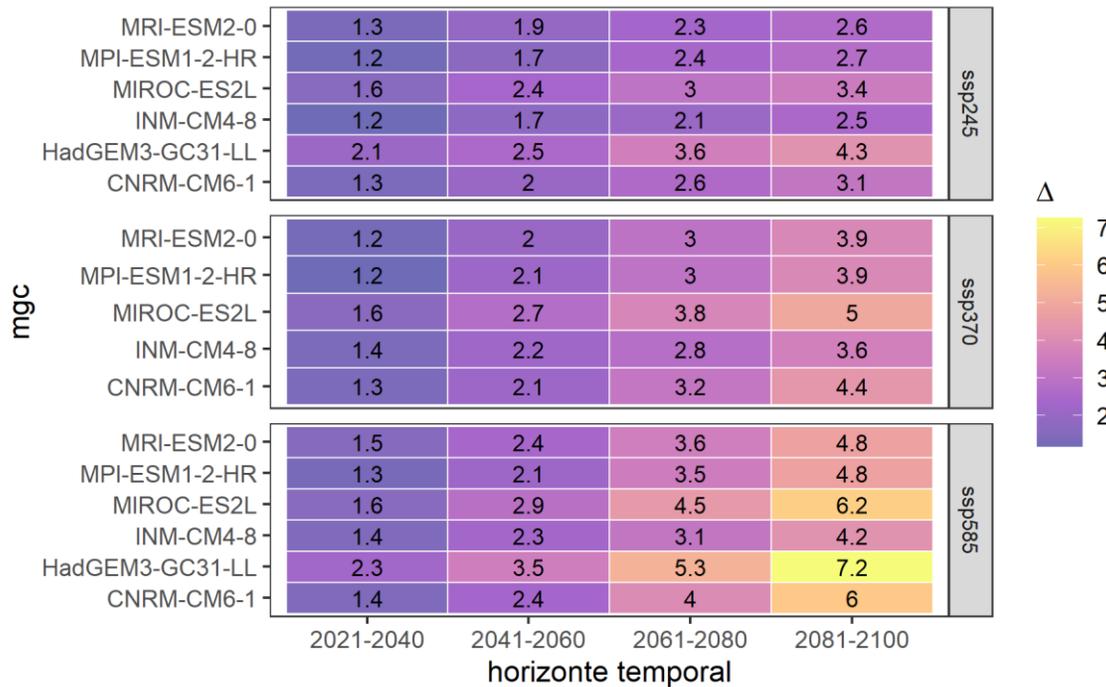


FIGURA 273. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

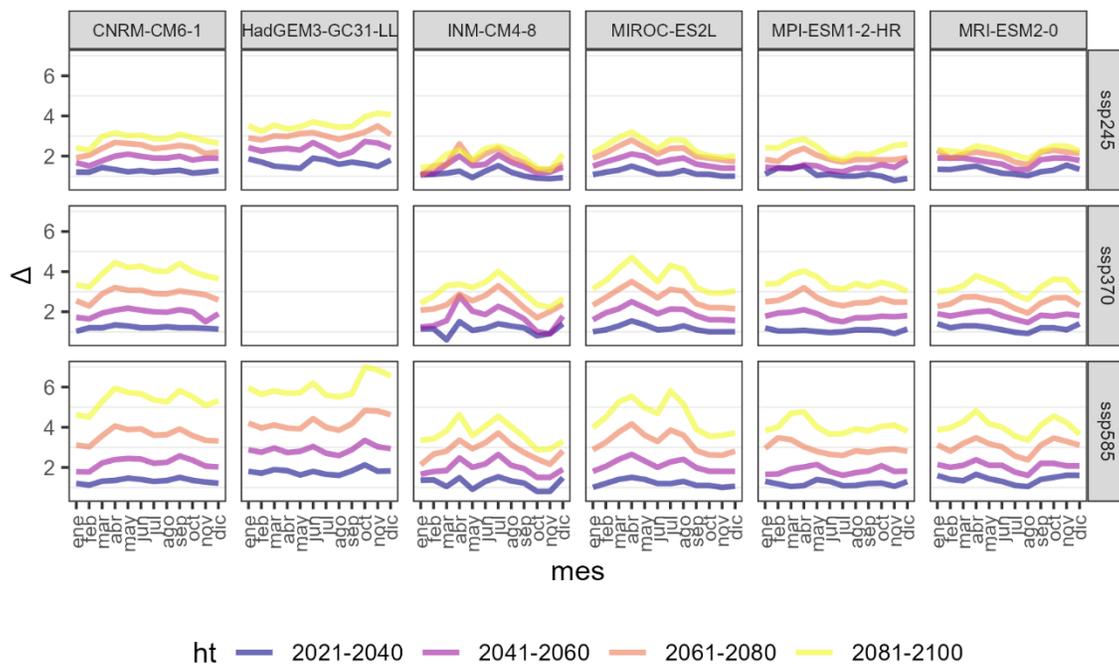


FIGURA 274. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL [Δ MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

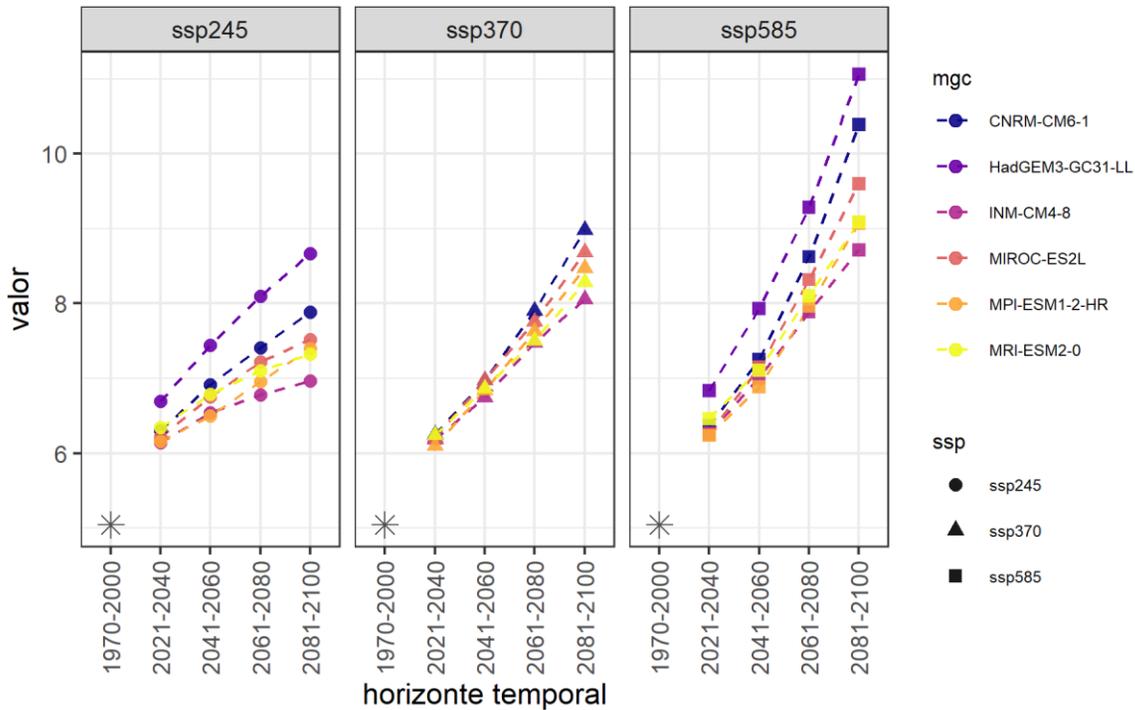


FIGURA 275. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL EN LA REGIÓN VALLE SERDÁN PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

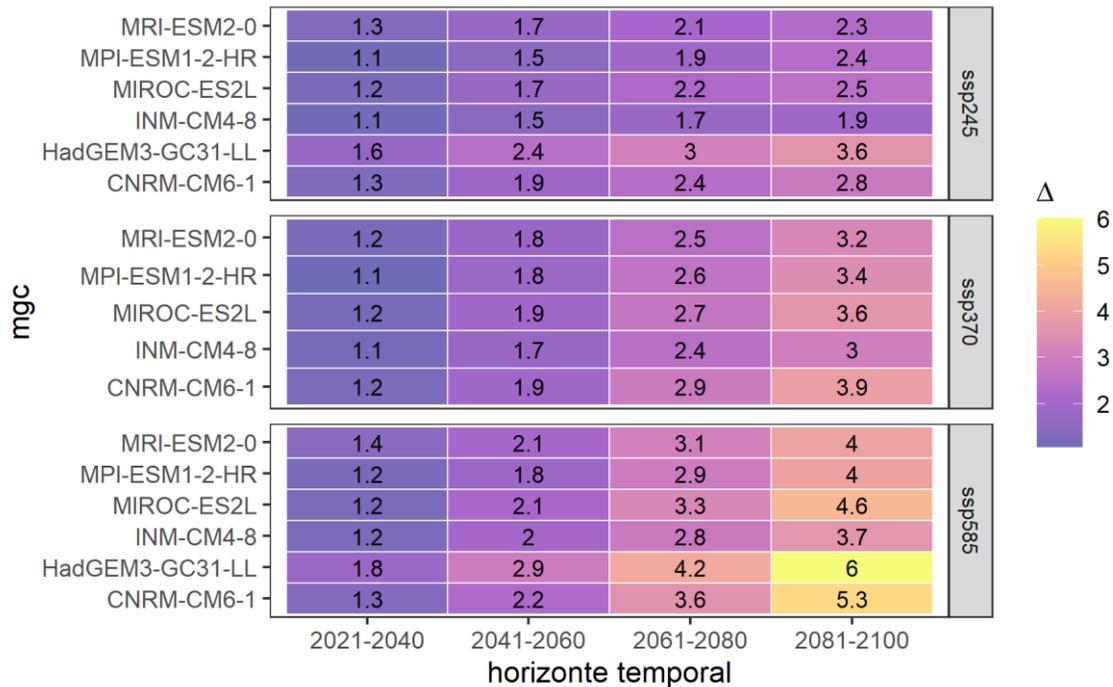


FIGURA 276. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

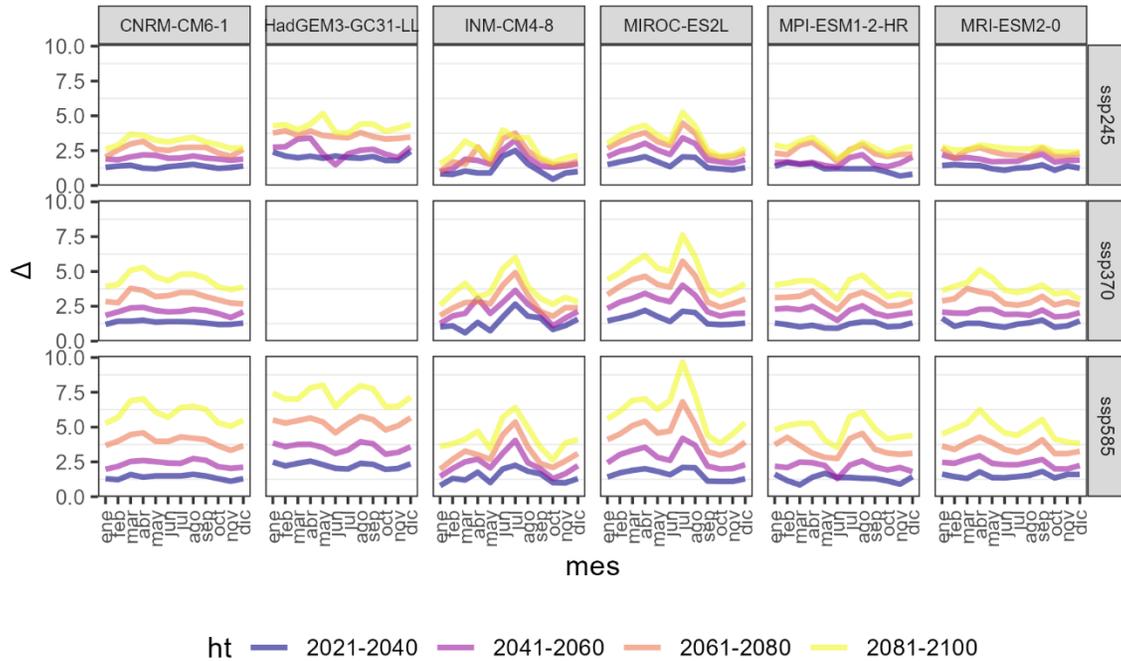


FIGURA 277. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL [ $\Delta$  MM] PROYECTADO PARA LA REGIÓN VALLE SERDÁN DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL\_SSP\_3-7.0 no está disponible.

## 5. SELECCIÓN DE PROYECCIONES PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Considerando lo expuesto en la sección anterior, se seleccionaron dos SSP: a) el SSP 5-8.5 y b) el SSP 2-4.5. Esta selección comprende un escenario de altas emisiones y uno de estabilización media, respectivamente, cuyas narrativas se presentan en la tabla 16. Estos escenarios cubren el rango de posibles trayectorias (Lutz *et al.*, 2016) y son de los más utilizados por la comunidad climática (Joyce y Coulson, 2020; San José *et al.*, 2016). El escenario RCP 2.6 es técnicamente factible, pero uno de los supuestos clave es la participación de todos los países en la toma de acciones de mitigación, por lo cual puede estar alejado de la realidad. Dado que es necesario desarrollar escenarios de cambio climático robustos y realistas para planificar las medidas de adaptación, es posible descartar este RCP (Lutz *et al.*, 2016), así como el SSP1-2.6.

TABLA 16. NARRATIVAS DE LAS SSP DE LAS PROYECCIONES SELECCIONADAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.

| Trayectoria Socioeconómica Compartida (SSP) | Narrativa  |
|---|--|
| SSP 2                                       | A menudo referido como el escenario de "camino intermedio", supone que las tendencias sociales, económicas y tecnológicas continuarán siguiendo sus patrones históricos. El desarrollo y el crecimiento de los ingresos son desiguales, con algunos países progresando bien mientras que otros se quedan atrás. Los sistemas ambientales experimentan degradación, pero hay algunas mejoras, y la intensidad del uso de recursos y energía disminuye. El crecimiento de la población mundial es moderado y se estabiliza en la segunda mitad del siglo.  |
| SSP 5                                       | También conocido como el escenario de "Desarrollo impulsado por los combustibles fósiles", supone un mundo que deposita una creciente confianza en los mercados competitivos, la innovación y las sociedades participativas para producir un rápido progreso tecnológico y desarrollo del capital humano. Este camino hacia el desarrollo sostenible se combina con la explotación de abundantes recursos de combustibles fósiles y la adopción de estilos de vida intensivos en recursos y energía en todo el mundo. Todos estos factores conducen a un rápido crecimiento de la economía mundial, mientras que la población mundial alcanza su pico y disminuye en el siglo XXI. |

Los horizontes temporales (HT) que se usarán en este estudio son: a) el horizonte temporal cercano de 2021-2040 y b) el horizonte lejano 2061-2080. Para la toma de decisiones es necesario responder a problemáticas inmediatas o bien planificar el futuro a corto plazo, que pueden ser días, meses o algunos años. Una gestión a corto plazo es relevante, sobre todo en aquellos países en desarrollo, como México, por lo que es necesario generar capacidades

adaptativas ante impactos en el contexto de cambio climático. Sin embargo, hay situaciones que necesitan una visión a largo plazo, por ejemplo, proyectos de infraestructura, como embalses de riego, desarrollos costeros y defensas contra inundaciones, entre otras (Nissan *et al.*, 2019).

Los modelos globales de circulación general que se utilizarán serán: a) el HADGEM3-GC31-LL y b) el MPI-ESM1-2-HR, ya que brindan un abanico de resultados y tienen una buena capacidad para simular las respuestas del sistema climático a los cambios en los forzamientos radiativos, y capturar una gama de respuestas climáticas en diferentes regiones y condiciones, entre ellas México (Altamirano del Carmen *et al.*, 2021) (Figura 278).

En los mapas 191 a 214 se presentan los valores de cambio calculados para la precipitación y temperaturas máximas y mínimas, de acuerdo con las ocho proyecciones de cambio climático seleccionadas.

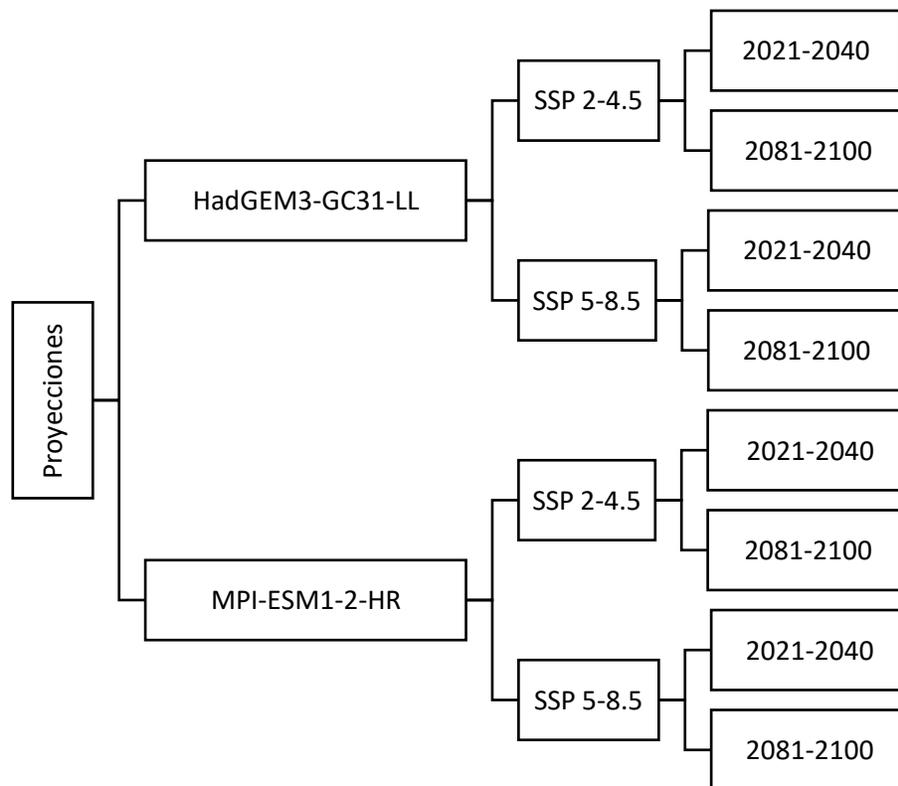
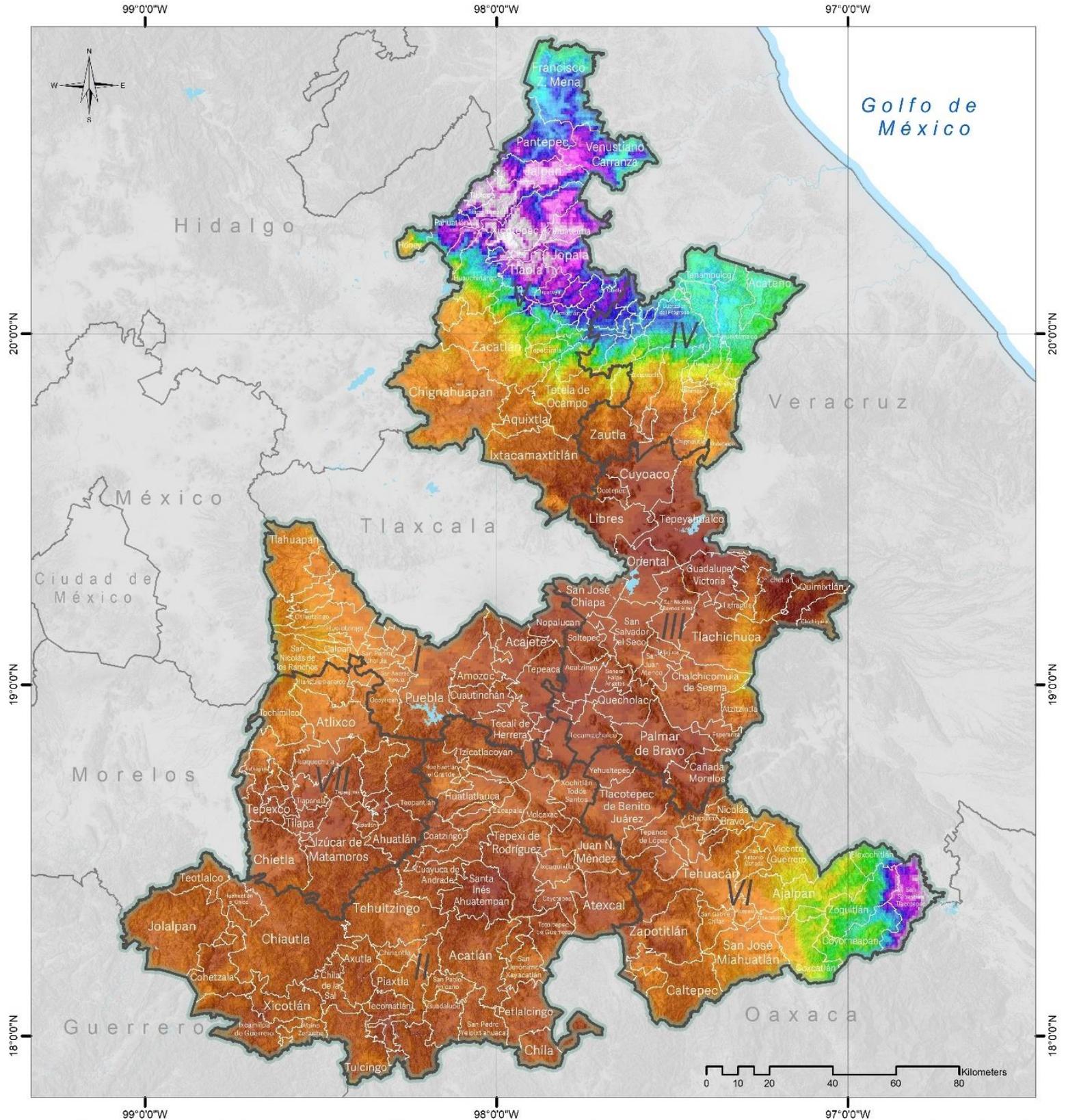


FIGURA 278. PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO SELECCIONADAS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD.



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- PREC\_HADGEM3.GC31...**
- Value
- Max : 2
- Min : -91

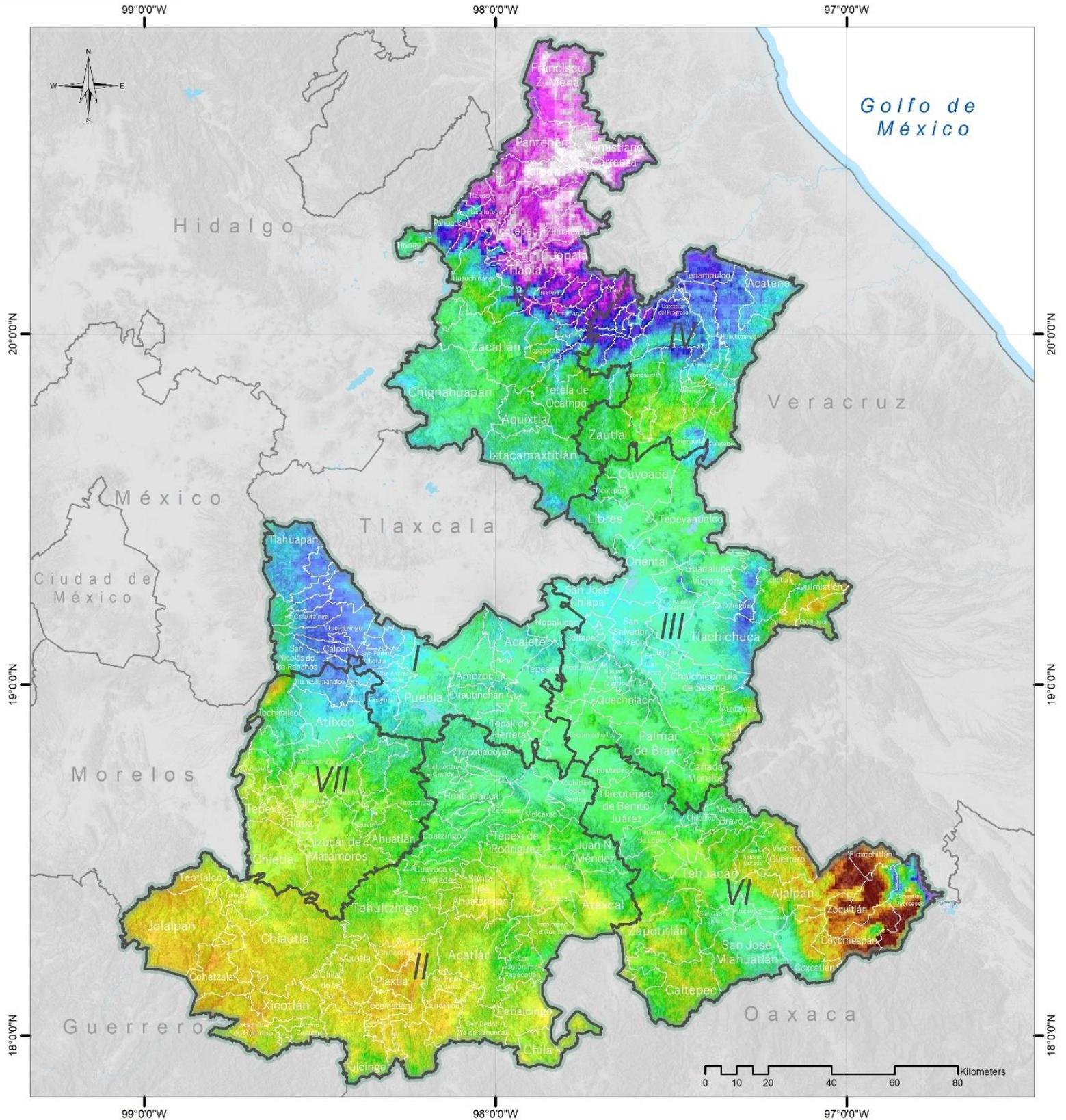
- Regiones Puebla**
- I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Serdán y Valles Centrales
  - IV, Sierra Nororiental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M191. PREC HADGEM3.GC31.LL  
SSP245 2021-2040**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

PREC\_HADGEM3.GC31...  
Value  
Max: 48  
Min: -54

**Regiones Puebla**

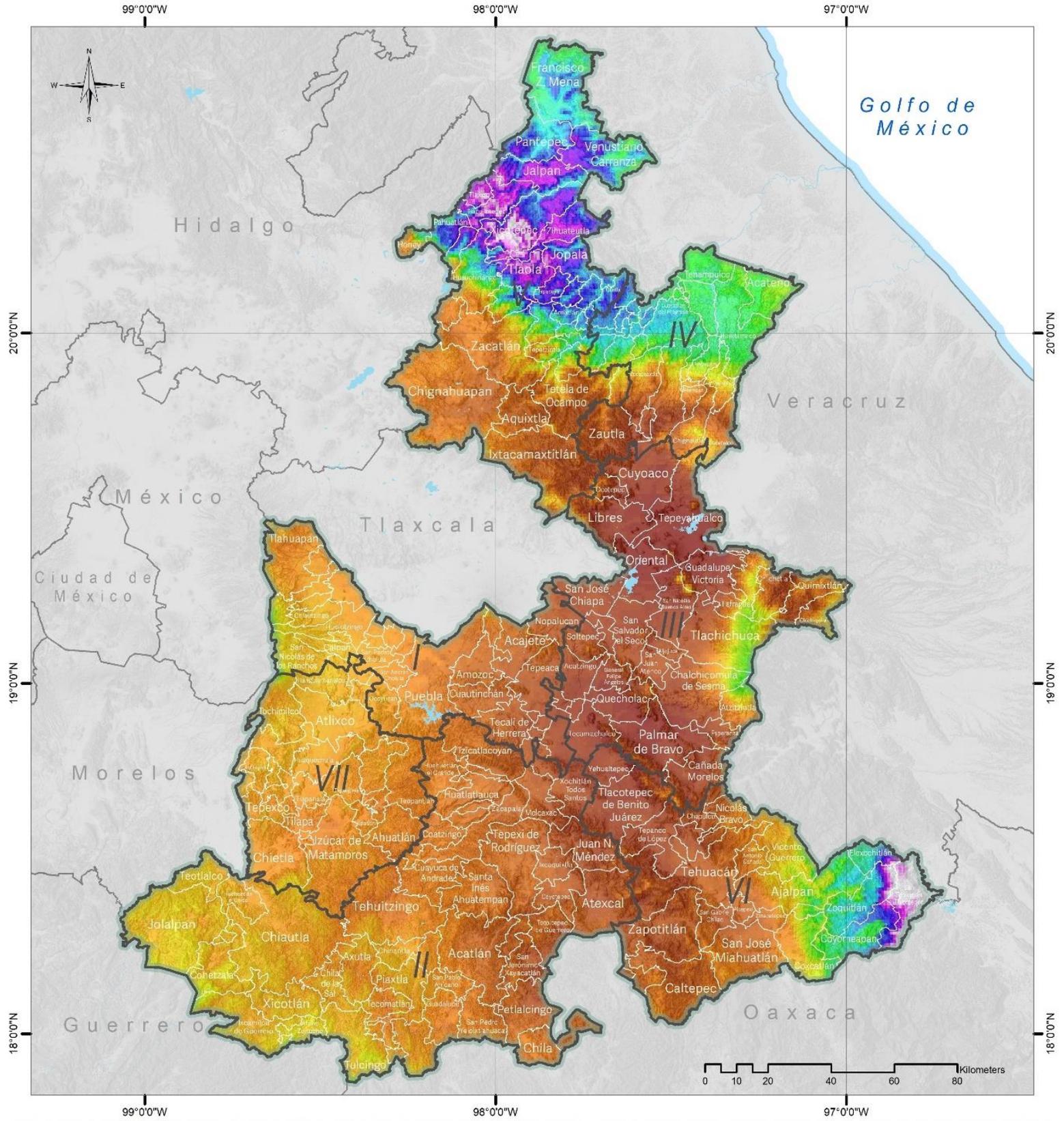
- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M192. PREC HADGEM3.GC31.LL  
SSP245 2081-2100**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Prec\_HadGEM3.GC31....**
- Value
- Max: -4
- Min: -142

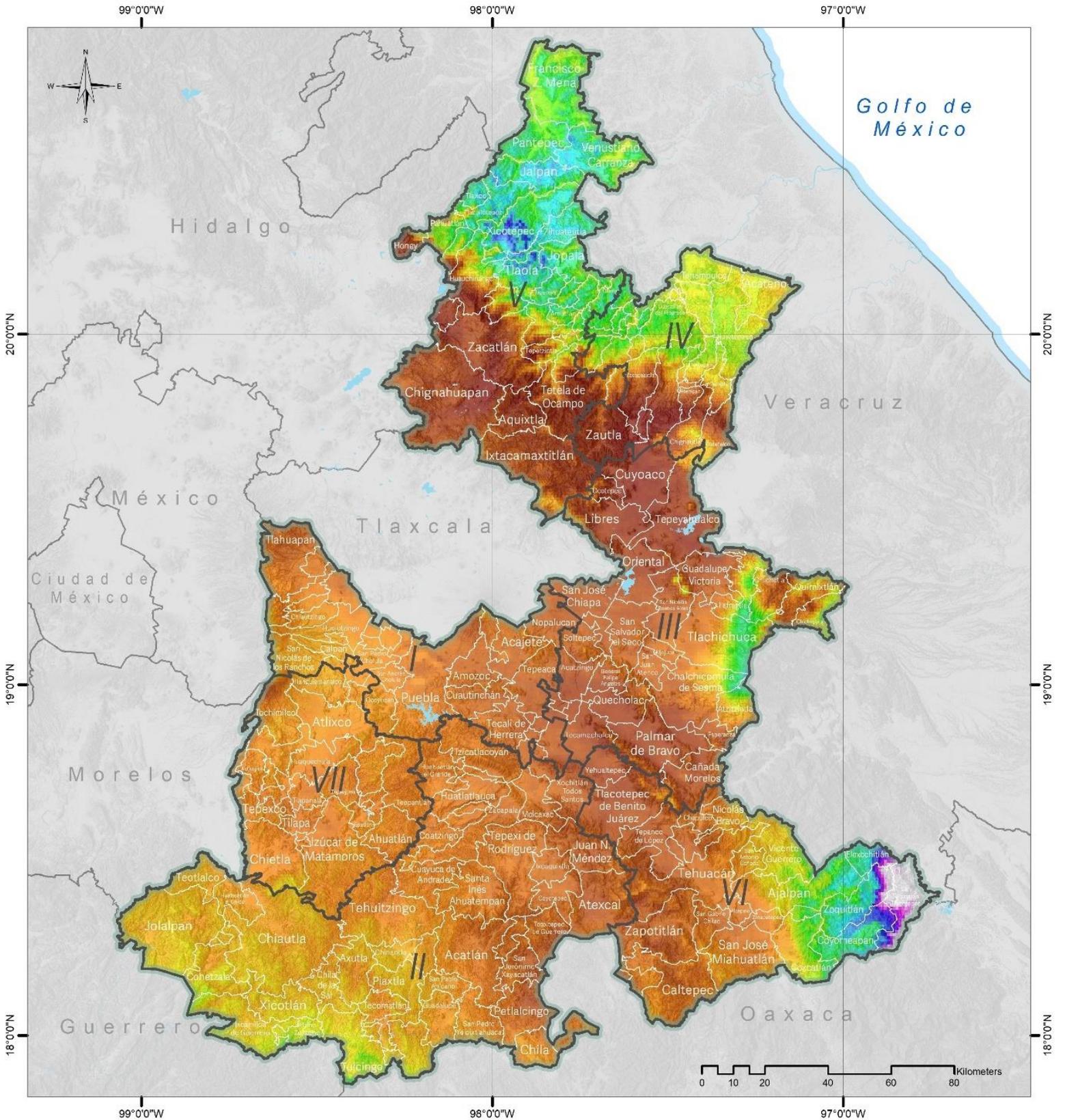
- Regiones Puebla**
- I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Serdán y Valles Centrales
  - IV, Sierra Nororiental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M193. PREC\_HADGEM3.GC31.LL  
SSP585 2021-2040**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

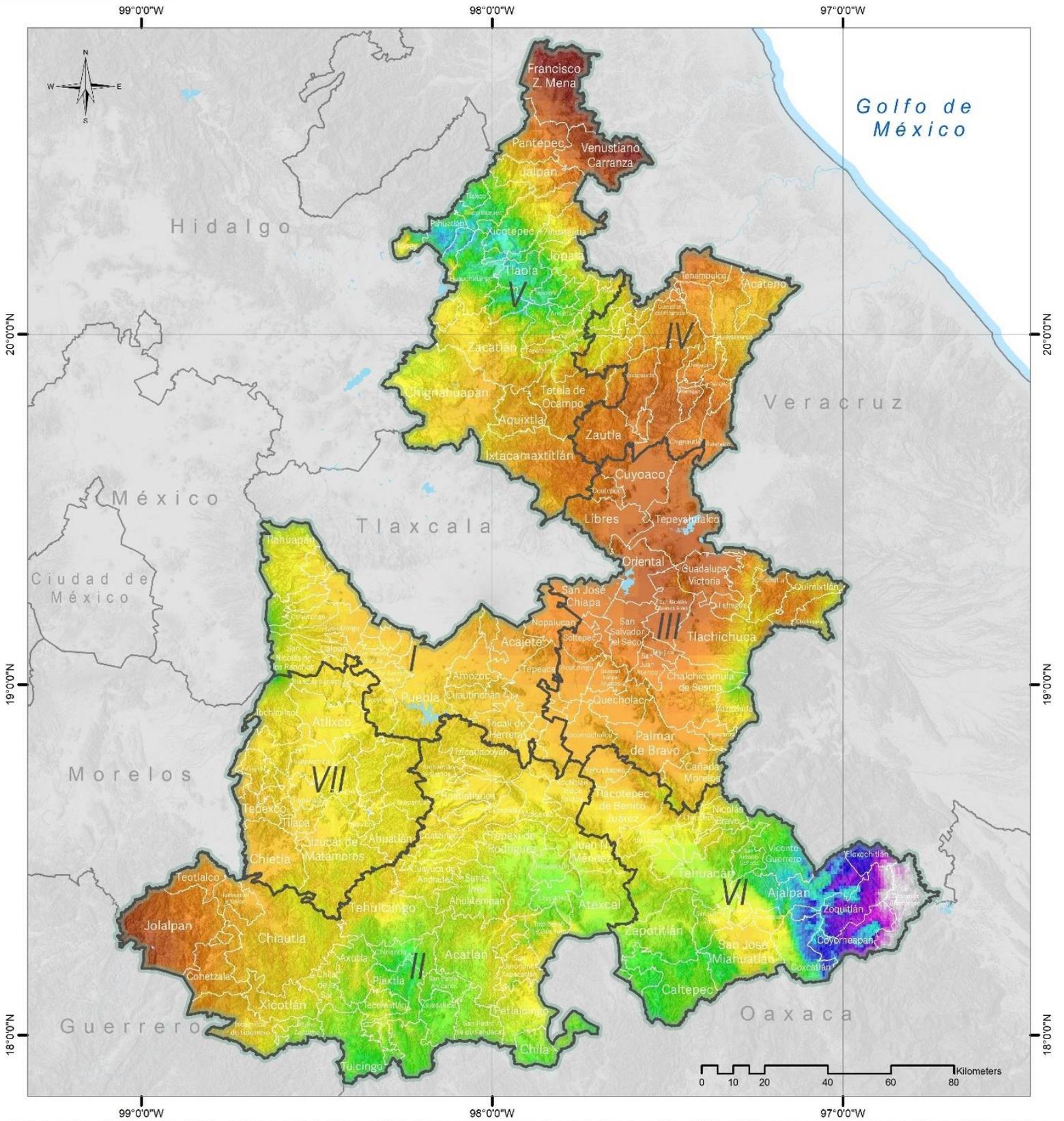
- Límite municipal
  - Cuerpos de agua
  - Límite del Estado de Puebla
  - Límite estatal
  - Prec\_HadGEM3.GC31.LL**
  - Value
  - Max: -7
  - Min: -338
- Regiones Puebla**
  - I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Serdán y Valles Centrales
  - IV, Sierra Nororiental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M194. PREC HADGEM3.GC31.LL  
SSP585 2081-2100**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Prec MPI.ESM1.2.HR\_s...**
- Value
- Max : 18
- Min : -141

**Regiones Puebla**

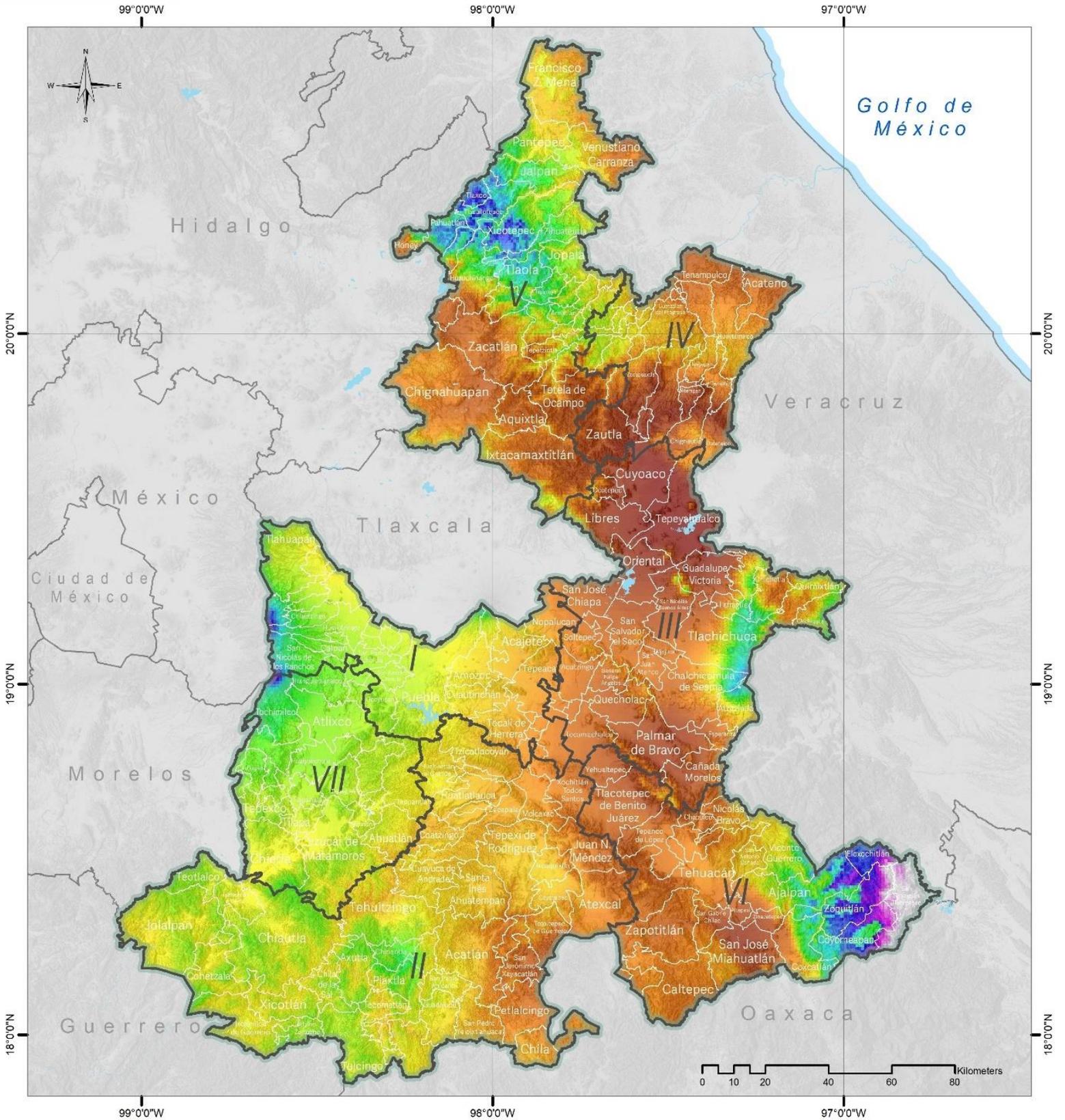
- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M195. PREC MPI.ESM1.2.HR  
SSP245 2021-2040**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Prec MPI.ESM1.2.HR\_s...**

- Value
- Max: -38
- Min: -402

**Regiones Puebla**

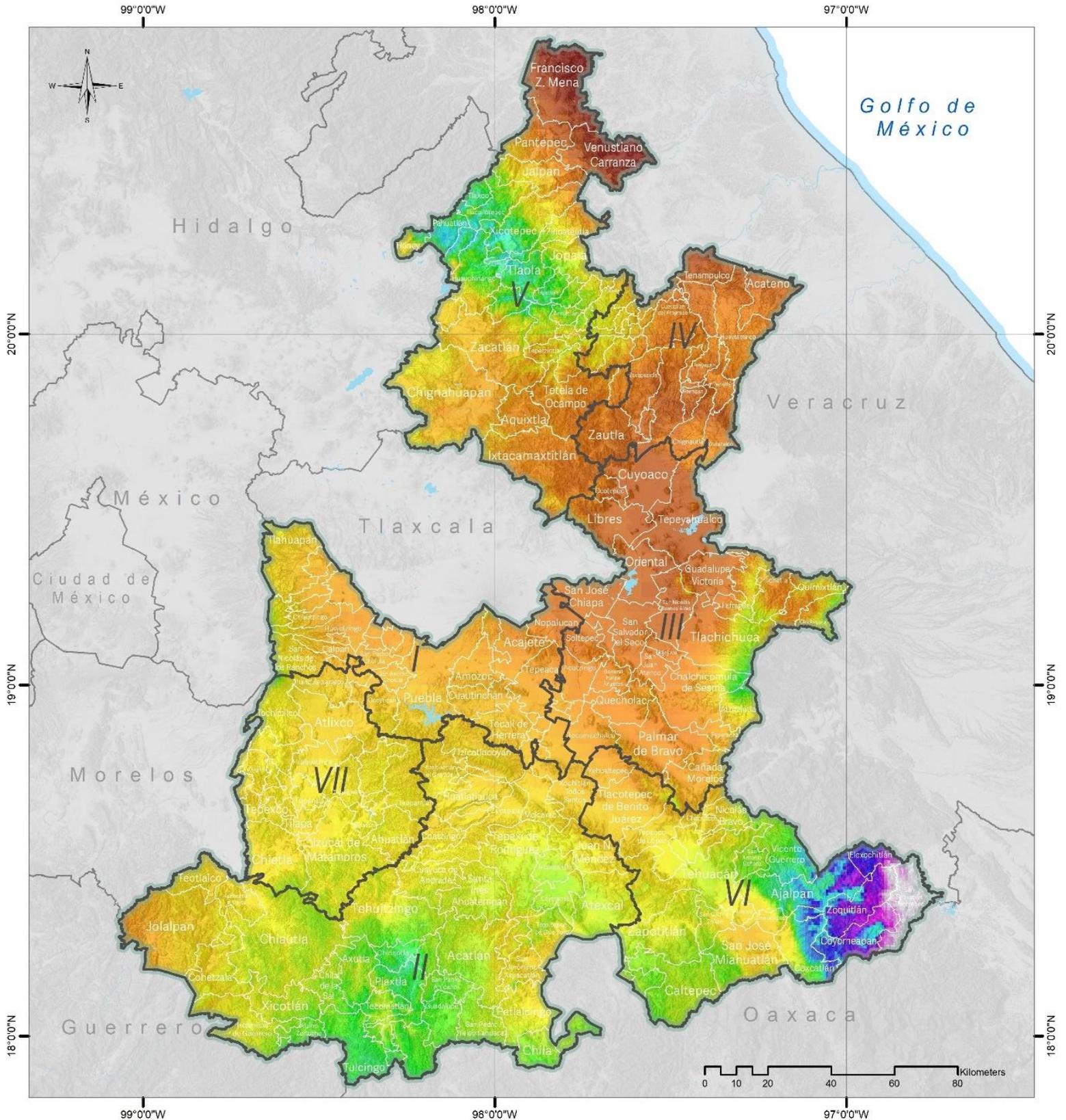
- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M196. PREC MPI.ESM1.2.HR  
SSP245 2081-2100**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

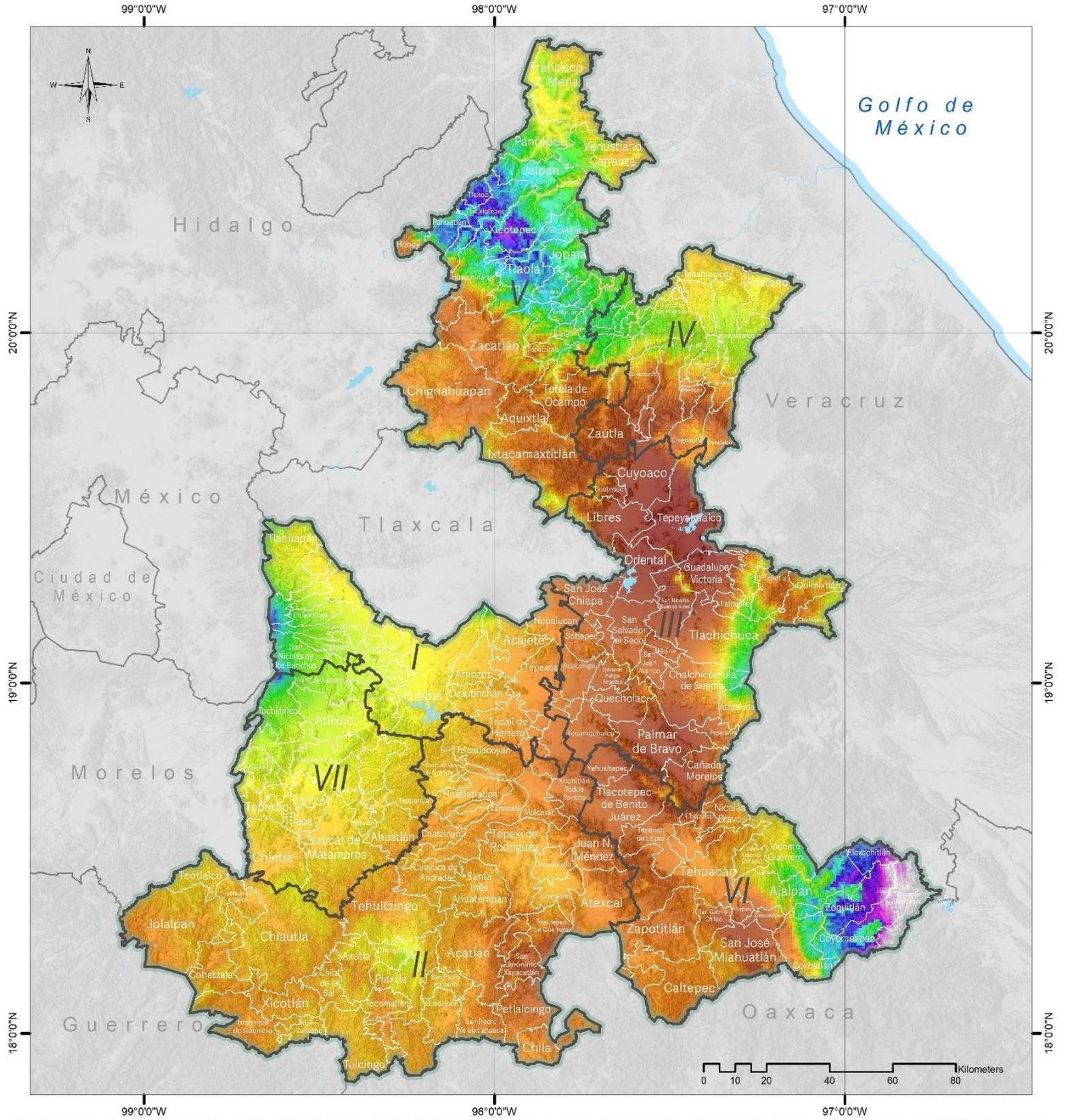
- Límite municipal
  - Cuerpos de agua
  - Límite del Estado de Puebla
  - Límite estatal
  - Prec. MPI.ESM1.2.HR\_s...**
  - Value
  - Max : 12
  - Min : -160
- Regiones Puebla**
  - I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Sordán y Valles Centrales
  - IV, Sierra Nororiental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M197. PREC MPI.ESM1.2.HR  
SSP585 2021-2040**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal



- Regiones Puebla**
- I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Serdán y Valles Centrales
  - IV, Sierra Nororiental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros

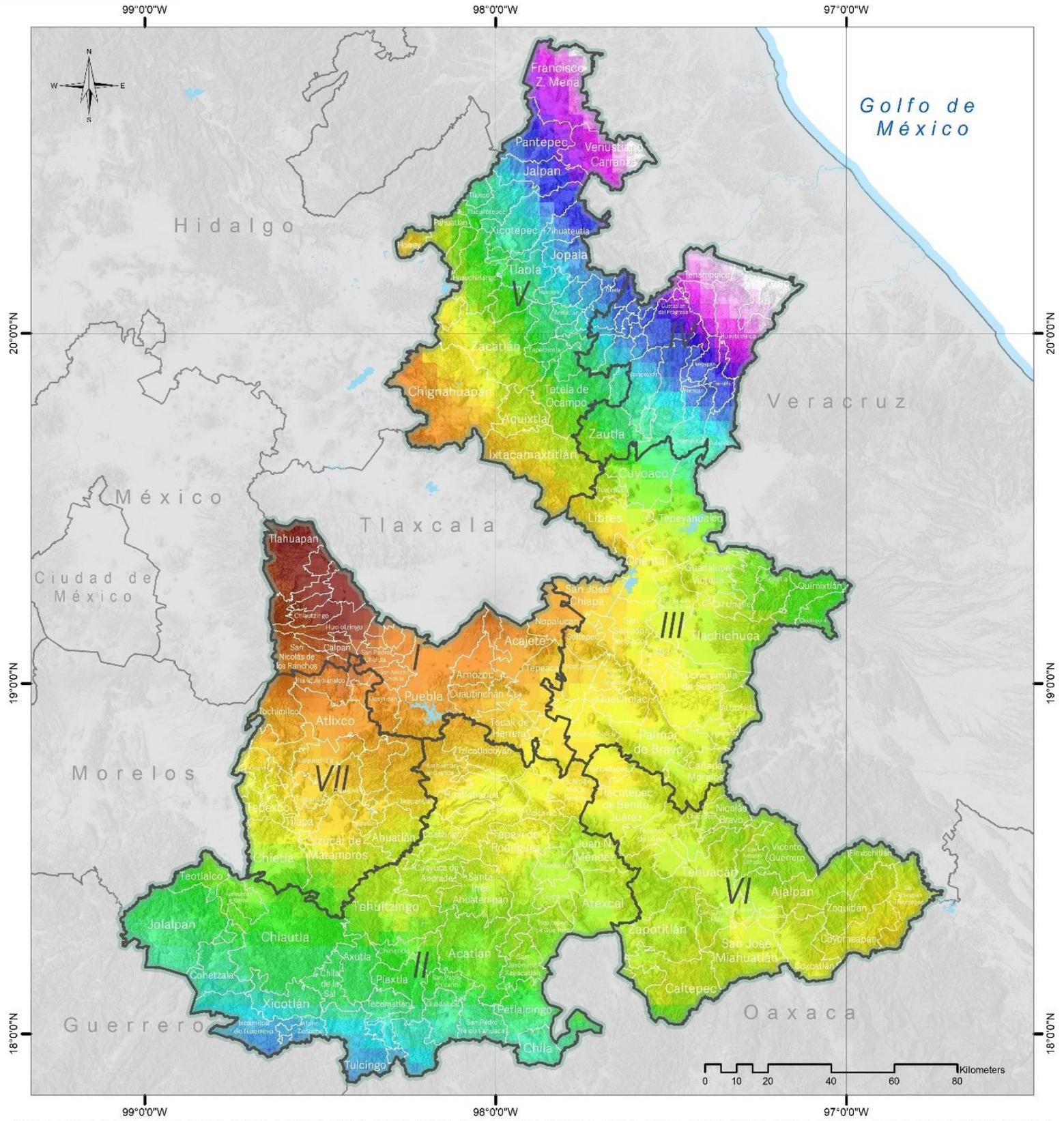


**M198. PREC MPI.ESM1.2.HR  
SSP585 2081-2100**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008





**Simbología**

- Límite municipal
  - Cuerpos de agua
  - Límite del Estado de Puebla
  - Límite estatal
- Tmax HADGEM3.GC31.LL  
SSP245 2081-2100**
- Value
- Max : 4.44167
  - Min : 3.84167

**Regiones Puebla**

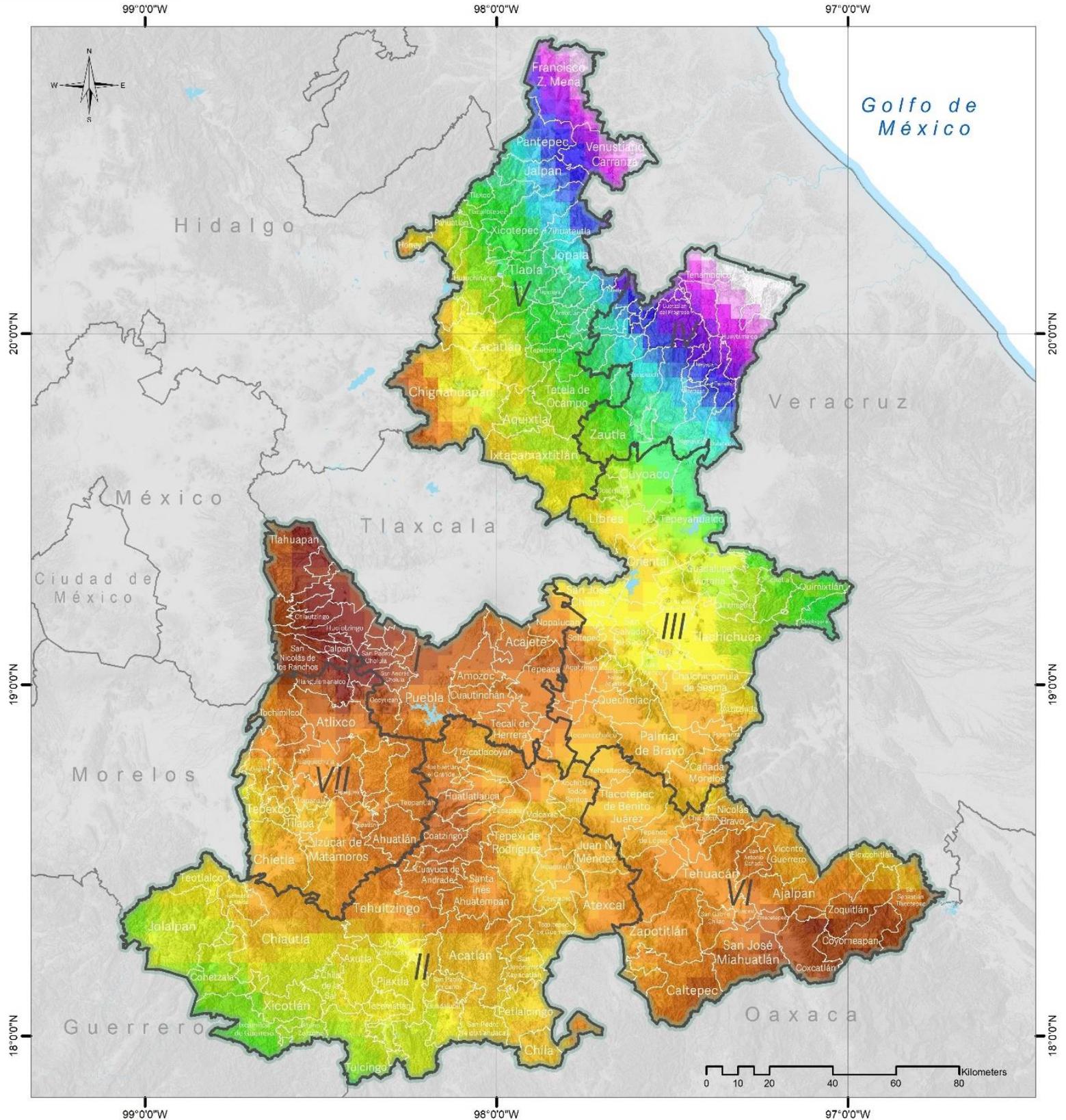
- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M200. TMAX HADGEM3.GC31.LL  
SSP245 2081-2100**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
  - Cuerpos de agua
  - Límite del Estado de Puebla
  - Límite estatal
- Tmax HADGEM3.GC31.LL  
SSP585 2021-2040**

Value  

 Max: 23416/  
 Min: 2.05

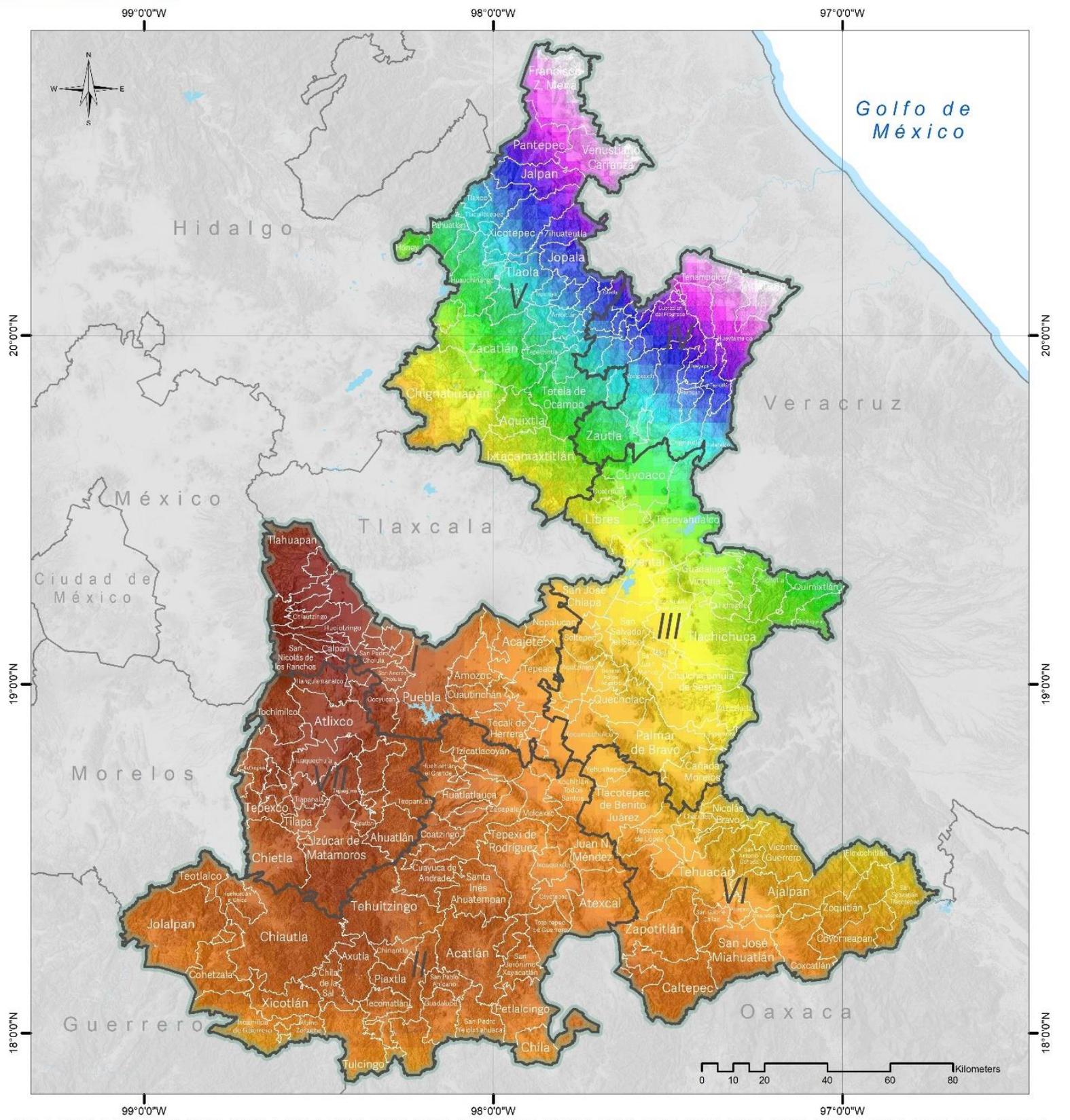
- Regiones Puebla**
- I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Seracán y Valles Centrales
  - IV, Sierra Nororiental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M201. TMAX HADGEM3.GC31.LL  
SSP585 2021-2040**

Fuente: Elaboración Propia  
 Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
 Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
 Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
  - Cuerpos de agua
  - Límite del Estado de Puebla
  - Límite estatal
- Tmax HADGEM3.GC31.LL  
SSP585 2041-2100**
- Value
- - Max: 26
  - Min: 6.33333

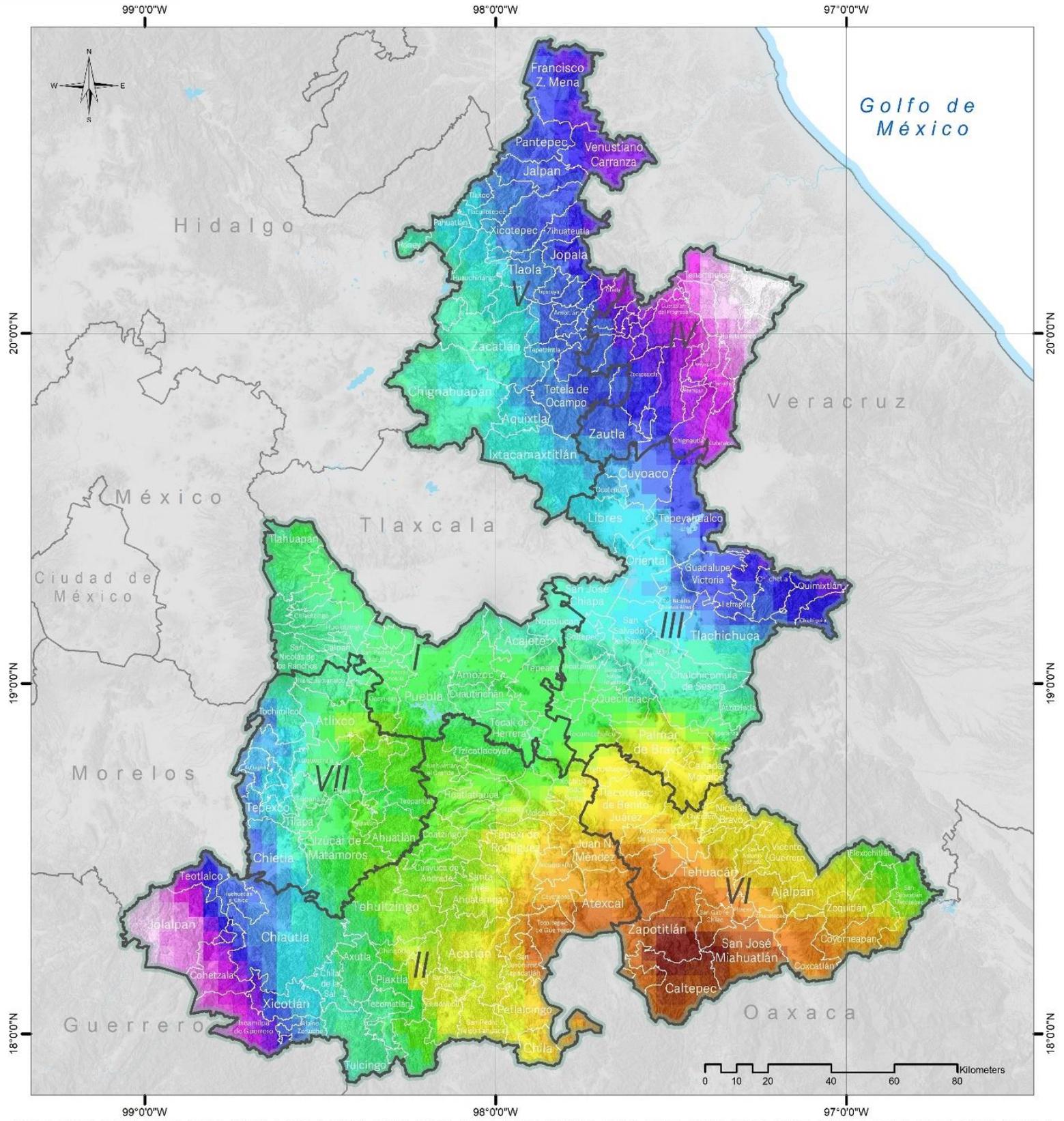
- Regiones Puebla**
- I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Serdán y Valles Centrales
  - IV, Sierra Nororiental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Aulxco y Matamoros



**M202. TMAX HADGEM3.GC31.LL  
SSP585 2081-2100**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Tmax MPI.ESM1.2.HR  
SSP245 2021-2040**

Value  

 Max : 140833  
 Min : 104167

**Regiones Puebla**

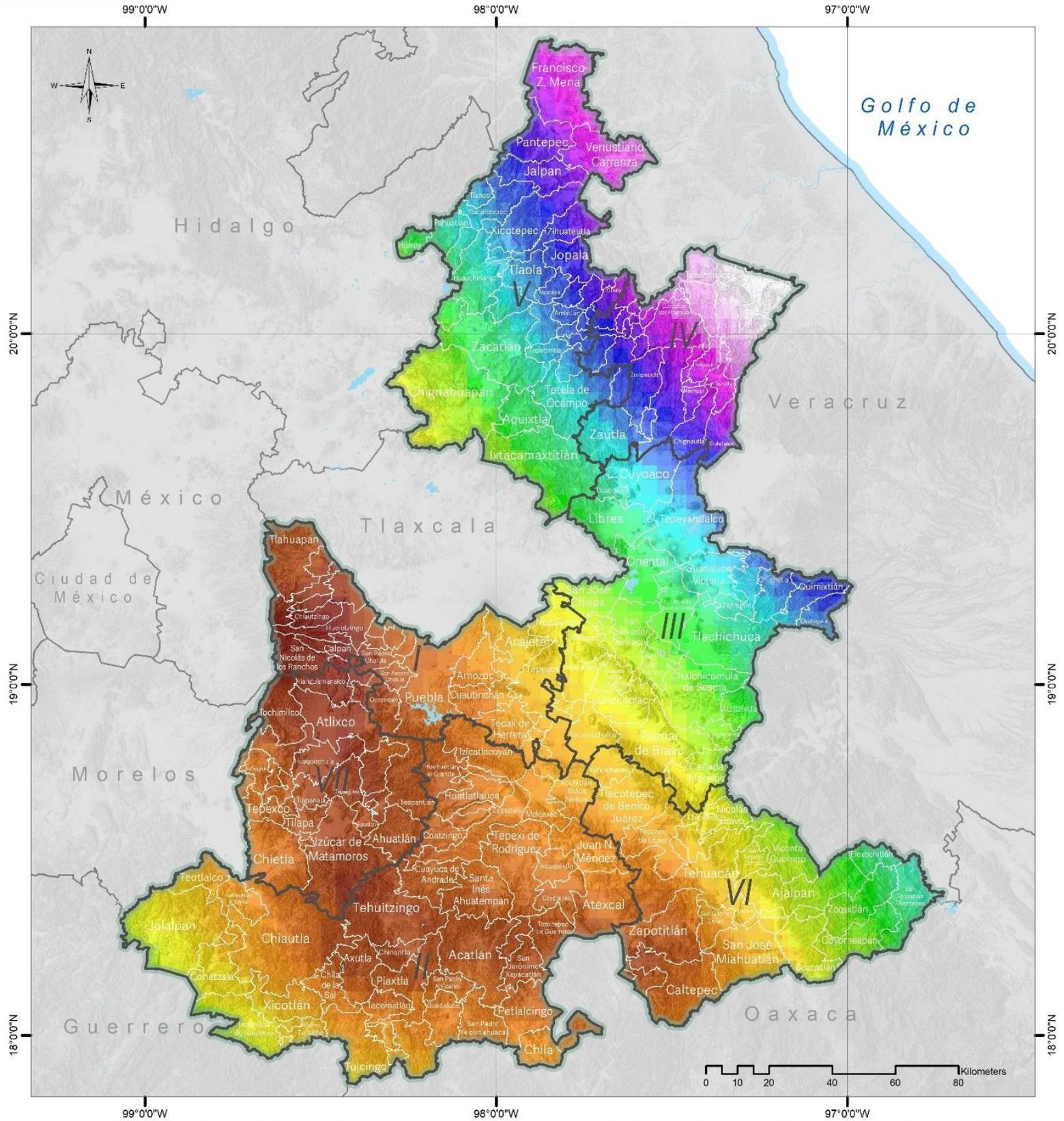
- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valles Atlixco y Matamoros



**M203. TMAX MPI.ESM1.2.HR  
SSP245 2021\_2040**

Fuente: Elaboración Propia  
 Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
 Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
 Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Tmax MPI.ESM1.2.HR  
SSP245 2081-2100**

Value  

 Max : 3,11667  
 Min : 2,18333

**Regiones Puebla**

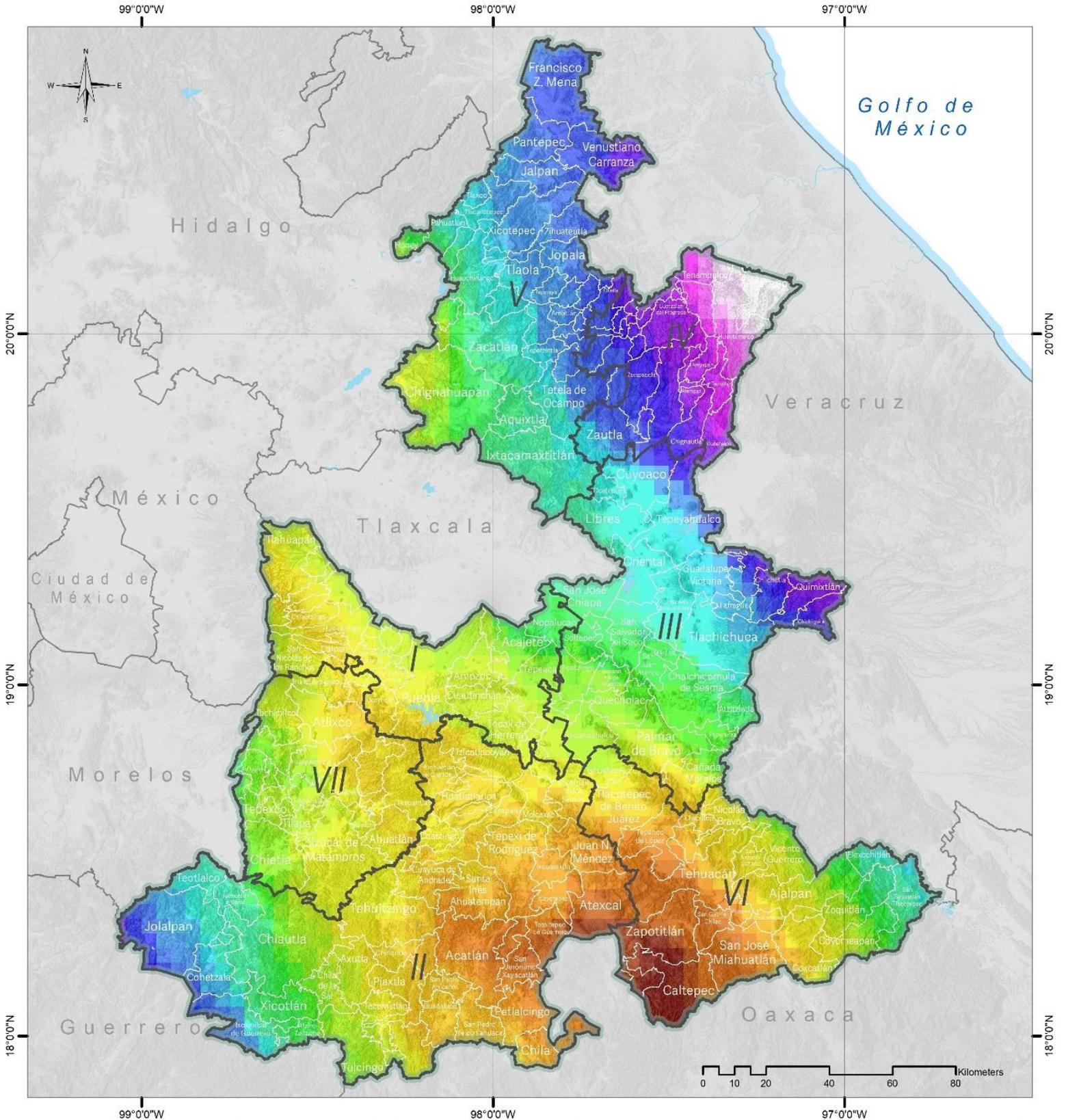
- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M204. TMAX MPI.ESM1.2.HR  
SSP245 2081-2100**

Fuente: Elaboración Propia  
 Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
 Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
 Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Tmax MPI.ESM1.2.HR  
SSP585 2021-2040**

Value  
 Max.: 149167  
 Min.: 11

**Regiones Puebla**

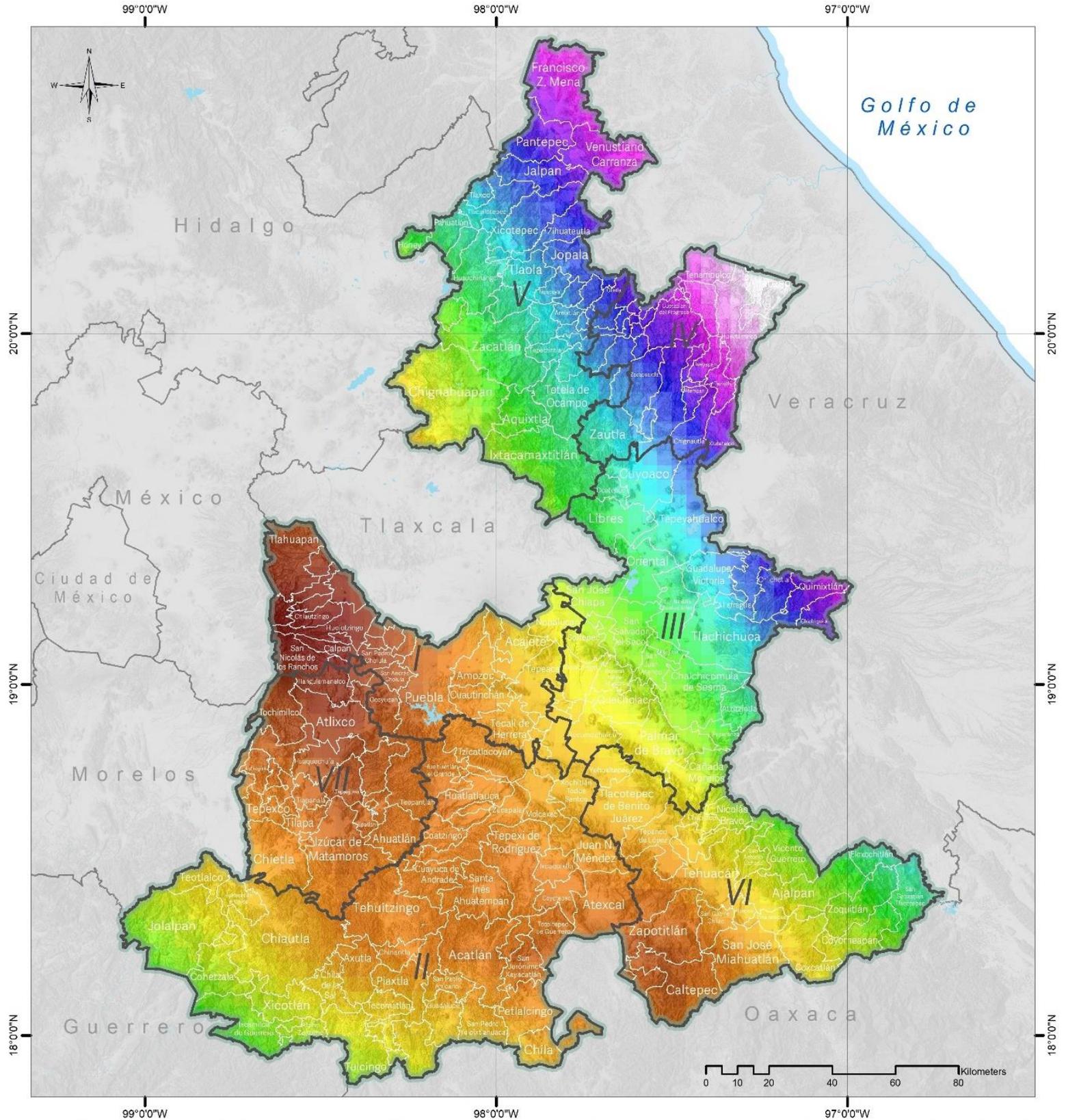
- I, Angolópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M205. TMAX MPI.ESM1.2.HR  
SSP585 2021-2040**

Fuente: Elaboración Propia  
 Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
 Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
 Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Tmax MPI.ESM1.2.HR SSP585 2081-2100**

- Value
- Max : 5.5
  - Min : 3.875

**Regiones Puebla**

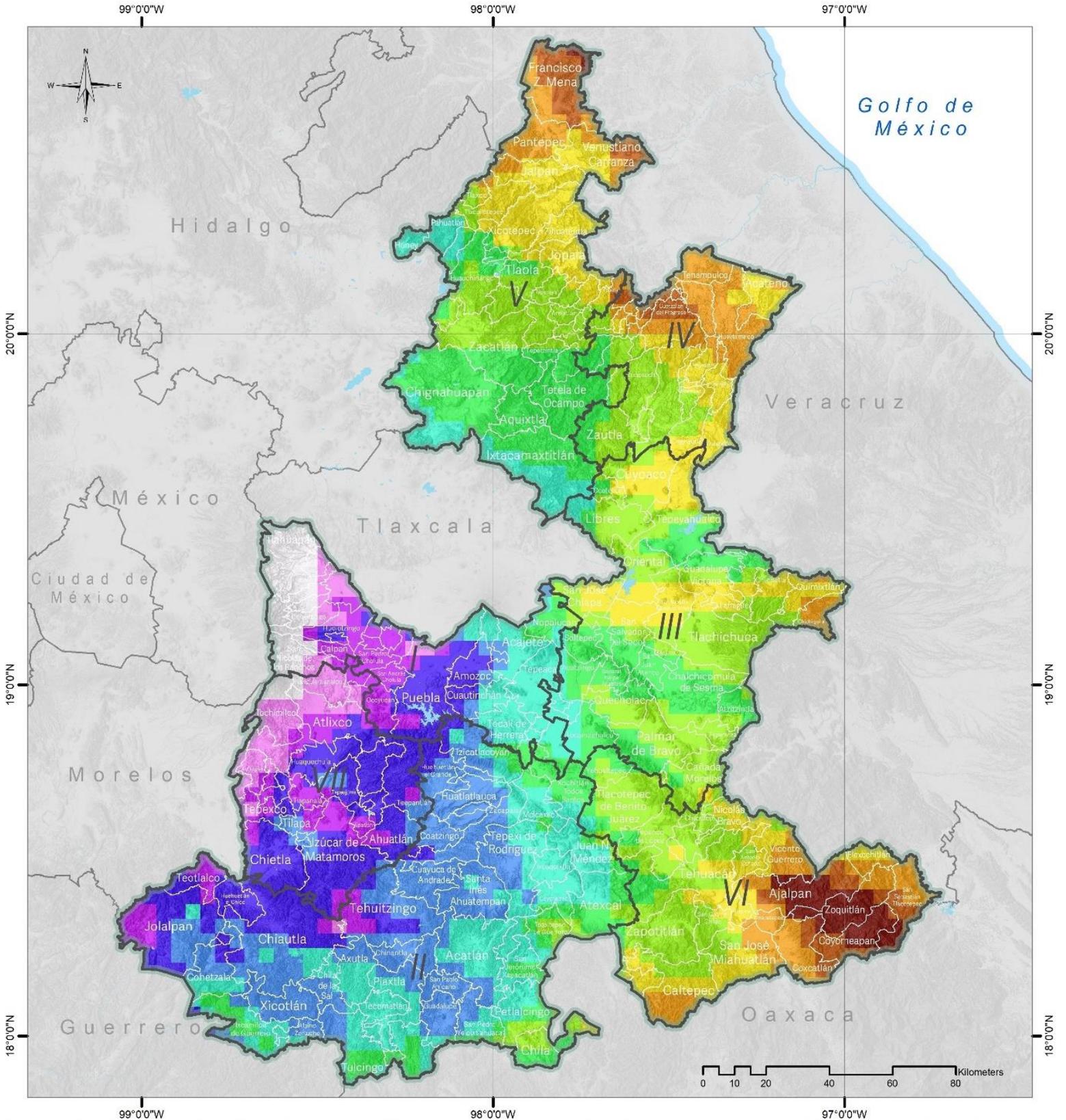
- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M206. TMAX MPI.ESM1.2.HR SSP585 2081-2100**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Tmin HADGEM3.GC31.LL SSP245 2021-2040**

Value  
Max: 1.68333  
Min: 1.575

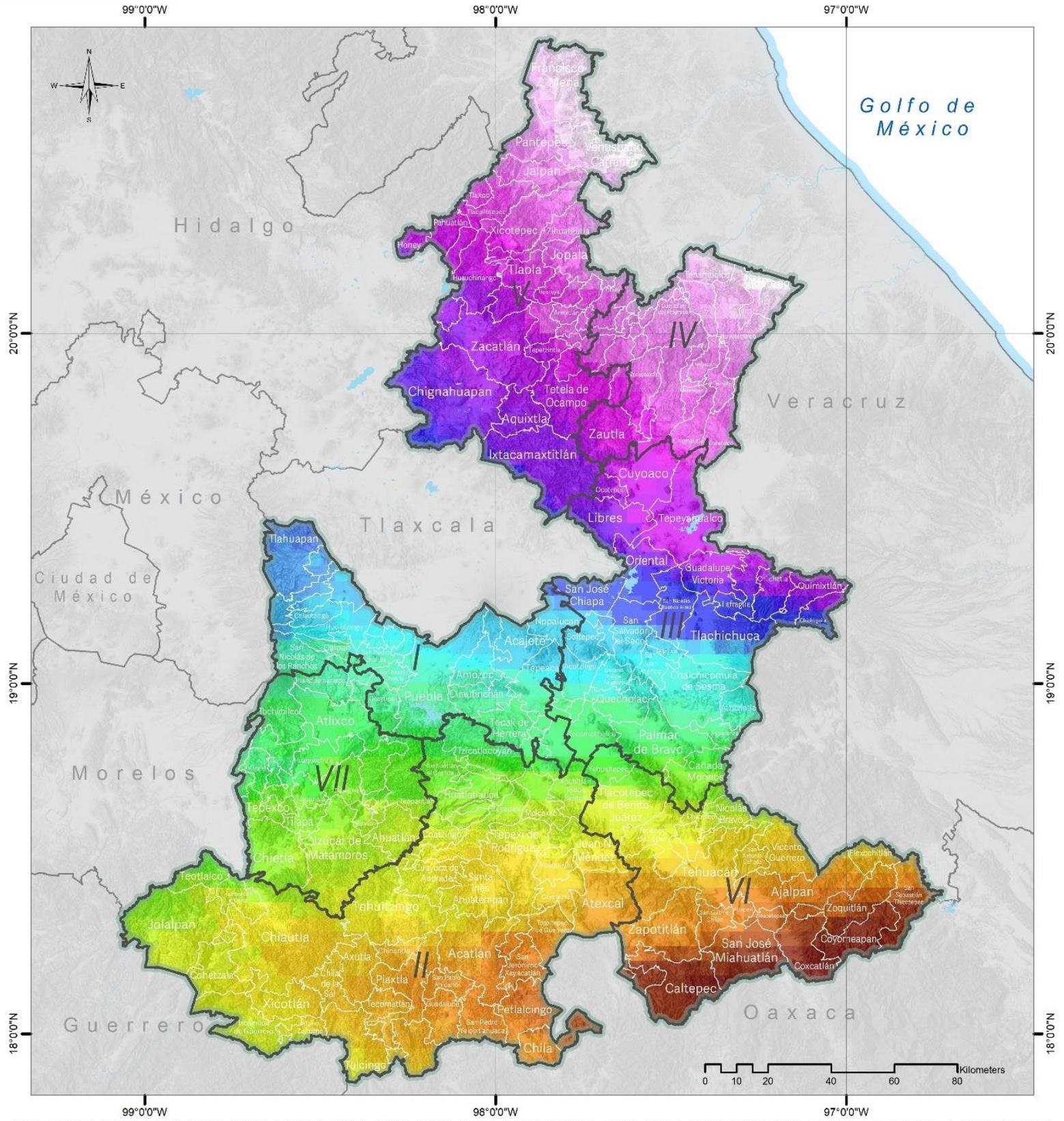
- Regiones Puebla**
- I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Serdán y Valles Centrales
  - IV, Sierra No-oriental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M207. TMIN HADGEM3.GC31.LL SSP245 2021-2040**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

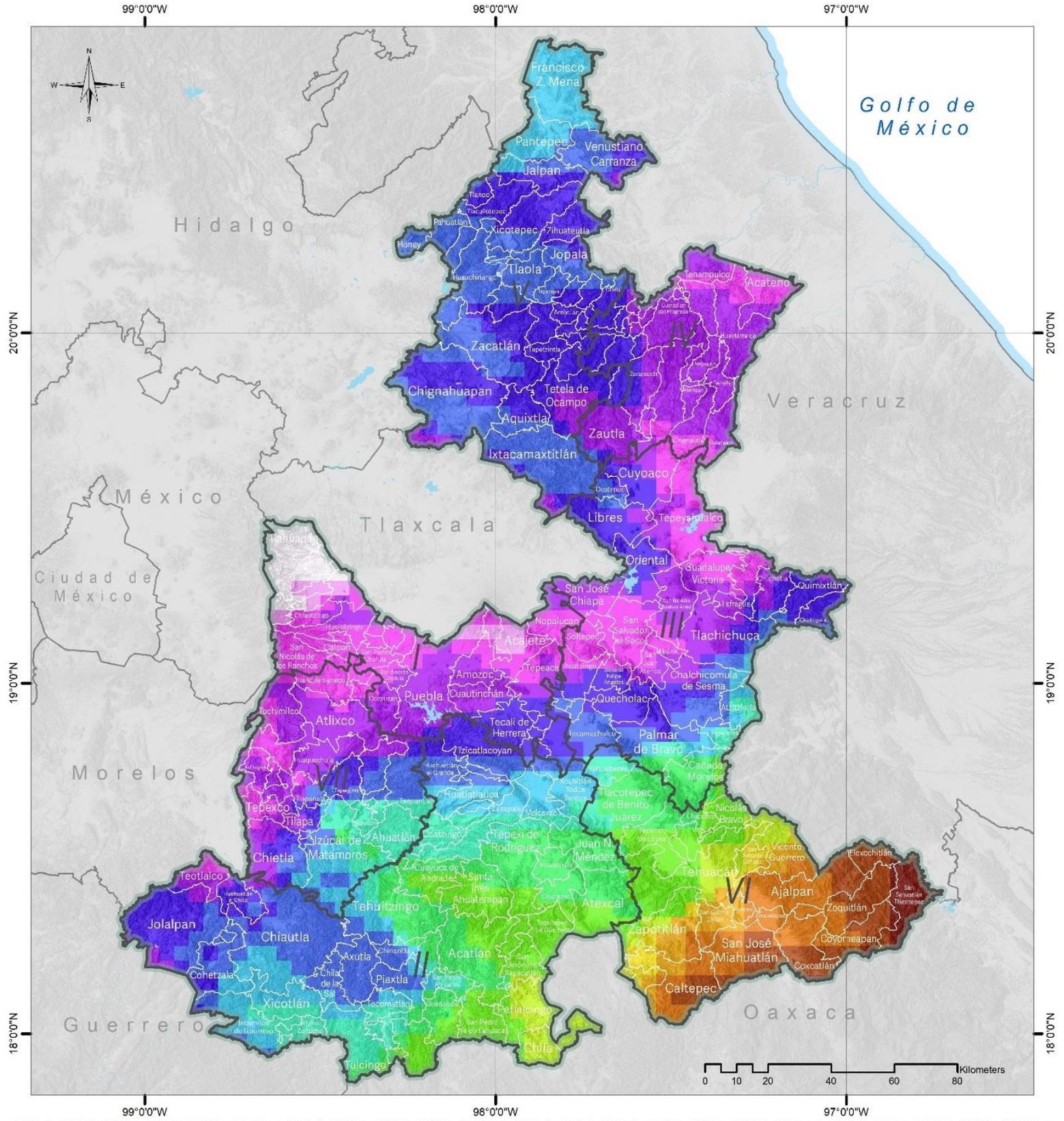
- Límite municipal
  - Cuerpos de agua
  - Límite del Estado de Puebla
  - Límite estatal
- Tmin HADGEM3.GC31.LL SSP245 2041-2100**
- Value
- Max: 3.95
  - Min: 3.45
- Regiones Puebla**
- I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Sordán y Valles Centrales
  - IV, Sierra Nororiental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M208. TMIN HADGEM3.GC31.LL SSP245 2081-2100**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

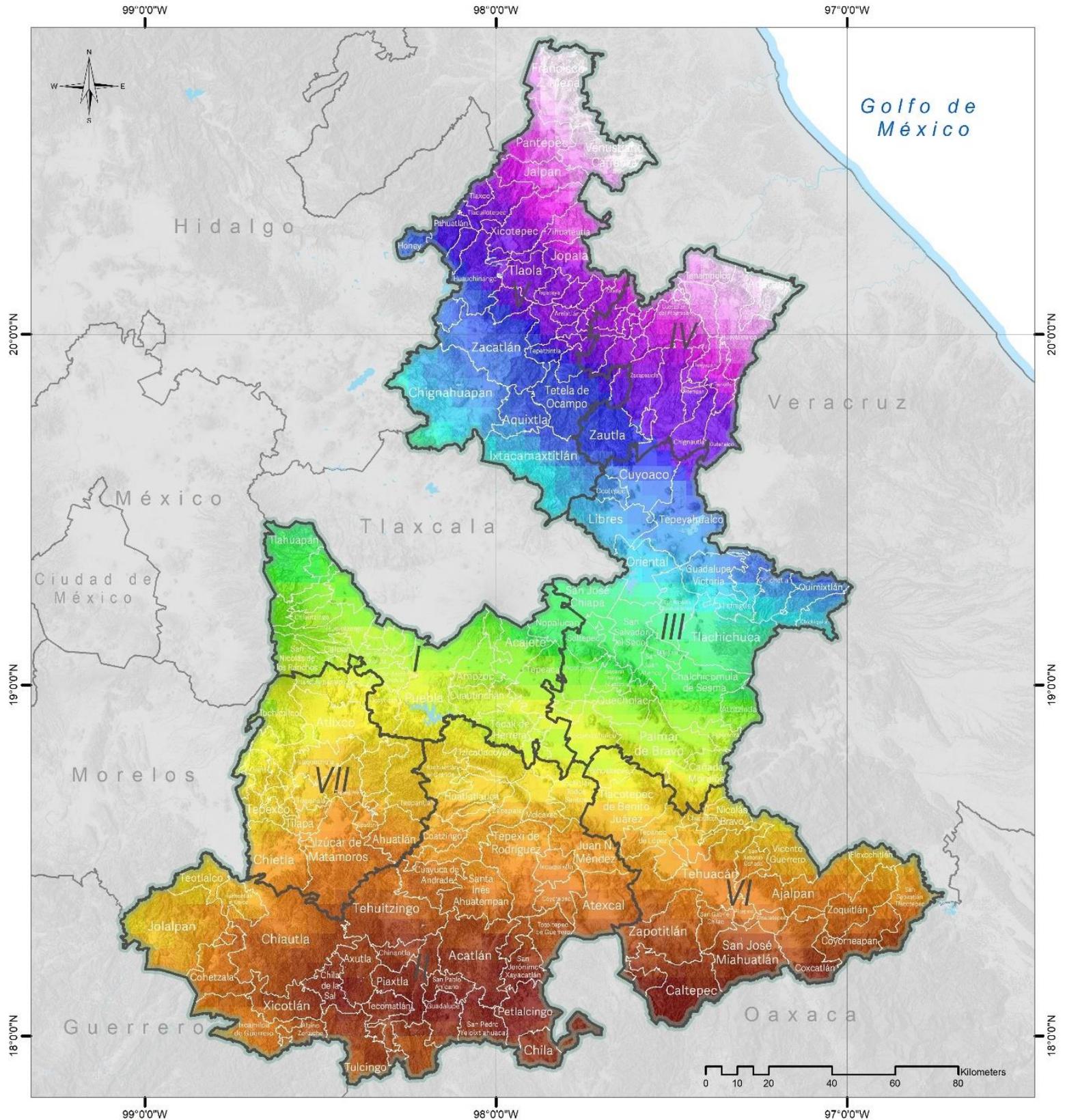
- Límite municipal
  - Cuerpos de agua
  - Límite del Estado de Puebla
  - Límite estatal
  - Tmin HADGEM3.GC31.LL SSP585 2021-2040**
  - Value**
  - Max: 1.86334
  - Min: 1.75
- 
- Regiones Puebla**
  - I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Sierrón y Valles Centrales
  - IV, Sierra Noro-oriental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M209. TMIN HADGEM3.GC31.LL SSP585 2021-2040**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
  - Límite del Estado de Puebla
  - Límite estatal
  - Límite de agua
- Tmin HADGEM3.GC31.LL SSP585 2081-2100**
- Value**
- Max : 6.325
  - Min : 5.68333

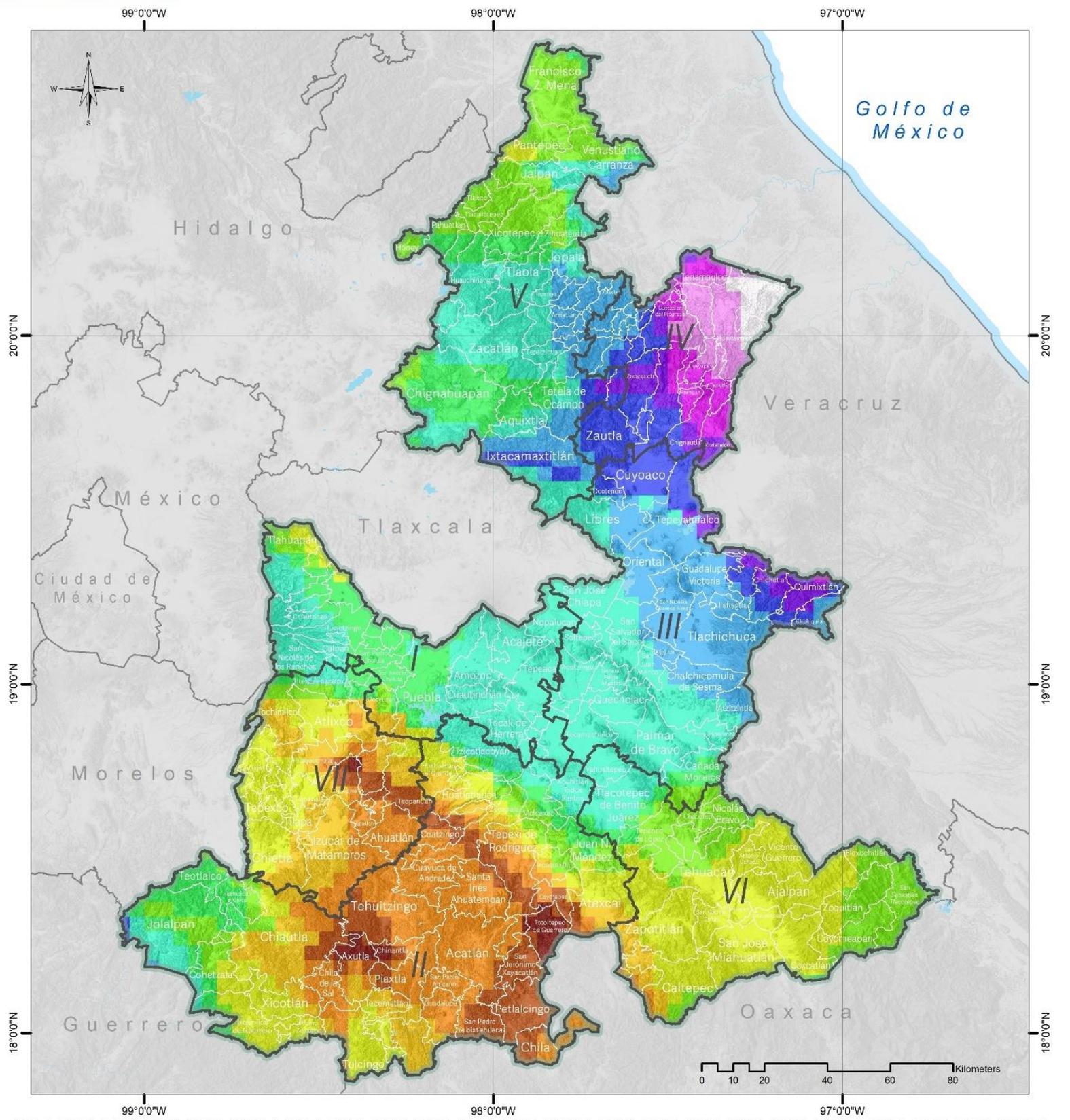
- Regiones Puebla**
- I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Sierrón y Valles Centrales
  - IV, Sierra Norte
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atláxco y Matamoros



**M210. TMIN HADGEM3.GC31.LL SSP585 2081-2100**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geostatístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

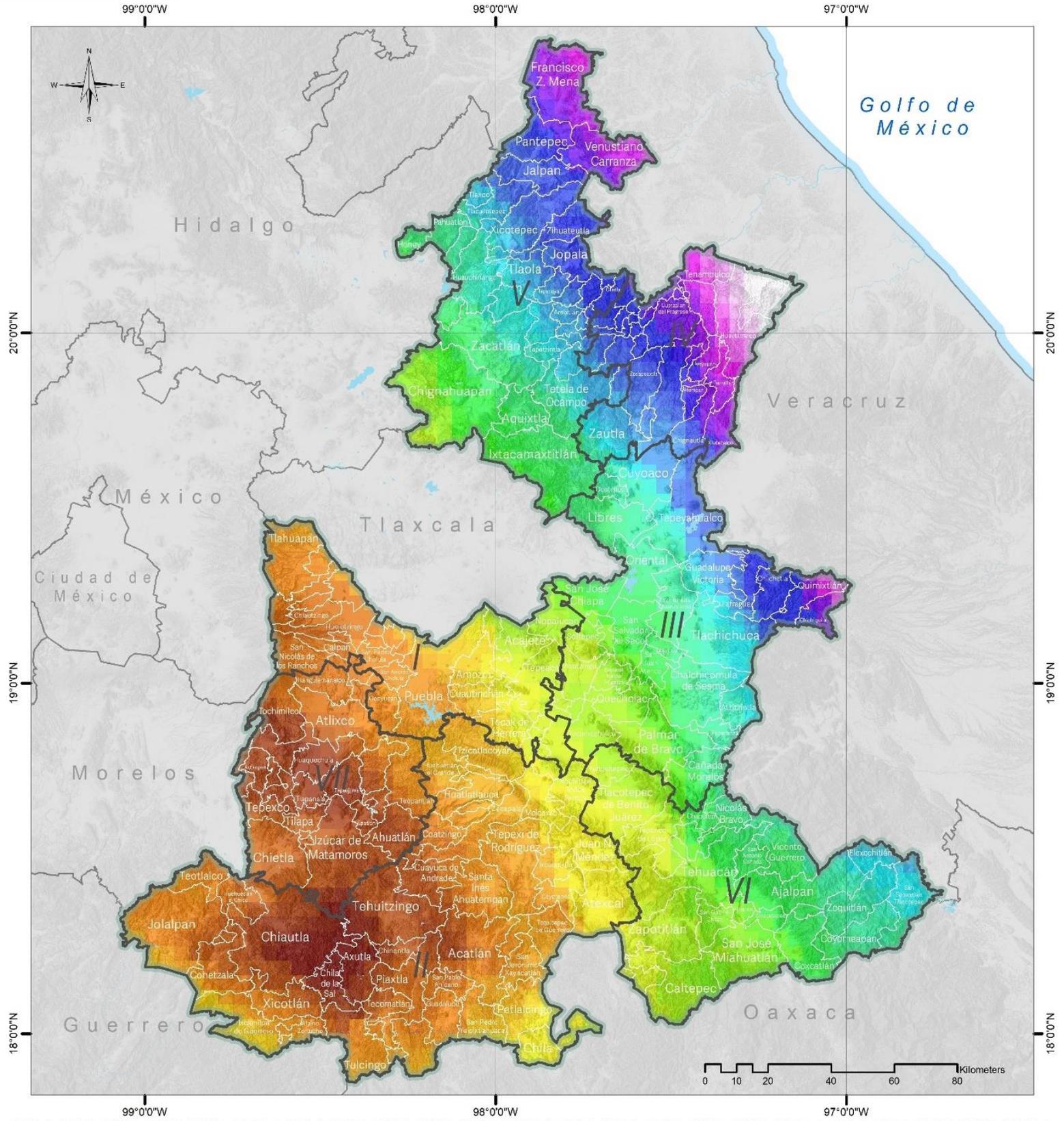
- Límite municipal
  - Cuerpos de agua
  - Límite de Estado de Puebla
  - Límite estatal
  - Tmin MPI ESM1.2 HR SSP245 2021-2040**
  - Value
  - Max: 1.175
  - Min: 1.25833
- 
- Regiones Puebla**
  - I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Sordán y Valles Centrales
  - IV, Sierra Nororiental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M211. TMIN MPI ESM1.2 HR  
SSP245 2021-2040**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

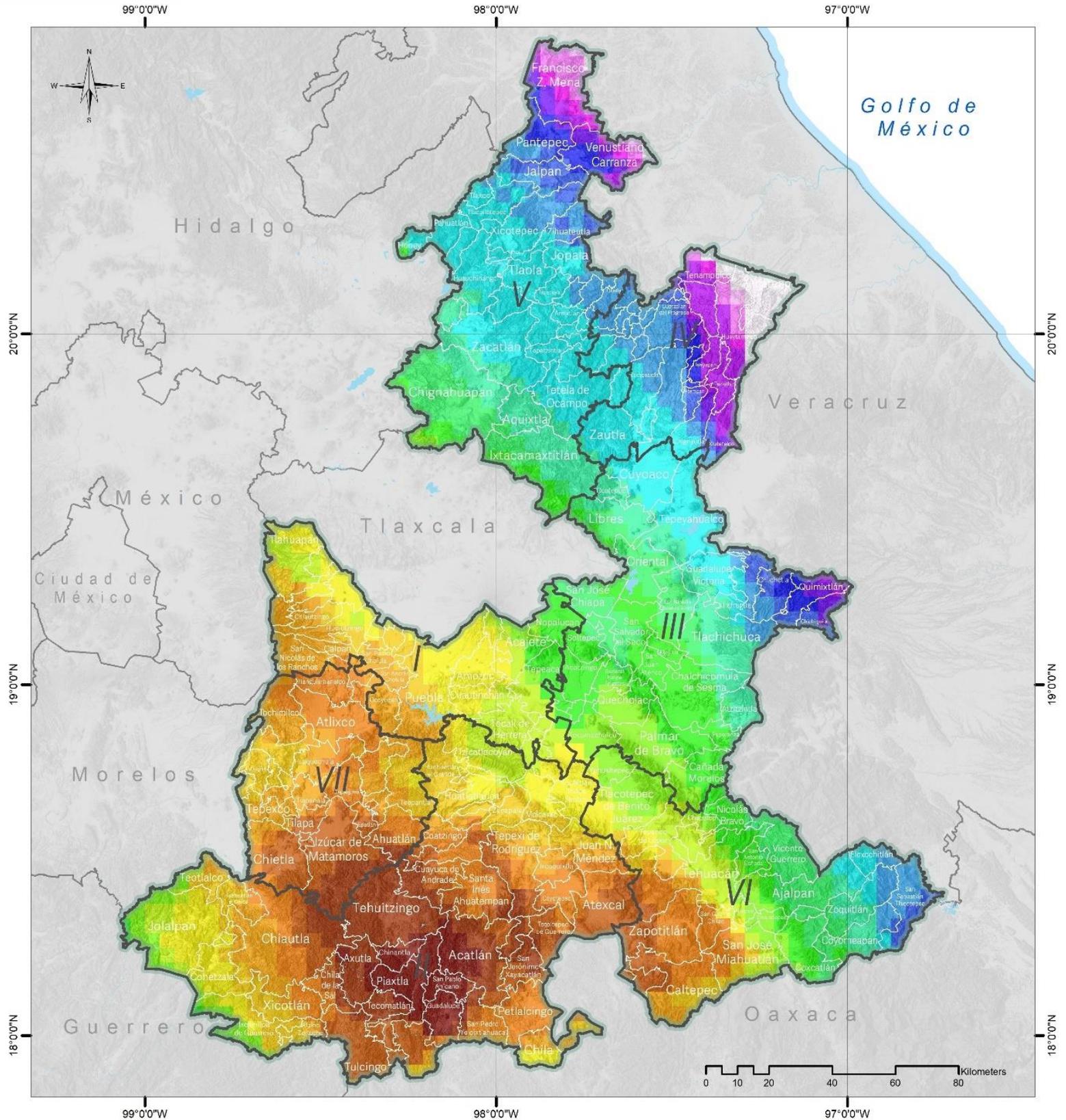
- Límite municipal
  - Cuerpos de agua
  - Límite de Estado de Puebla
  - Límite estatal
  - Tmin MPLESM1.2.HR\_SSP245 2081-2100**
  - Value**
  - Max : 2.53167
  - Min : 2.08167
- 
- Regiones Puebla**
  - I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Sordán y Valles Centrales
  - IV, Sierra Nororiental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M212. TMIN MPI ESM1.2 HR  
SSP245 2081-2100**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

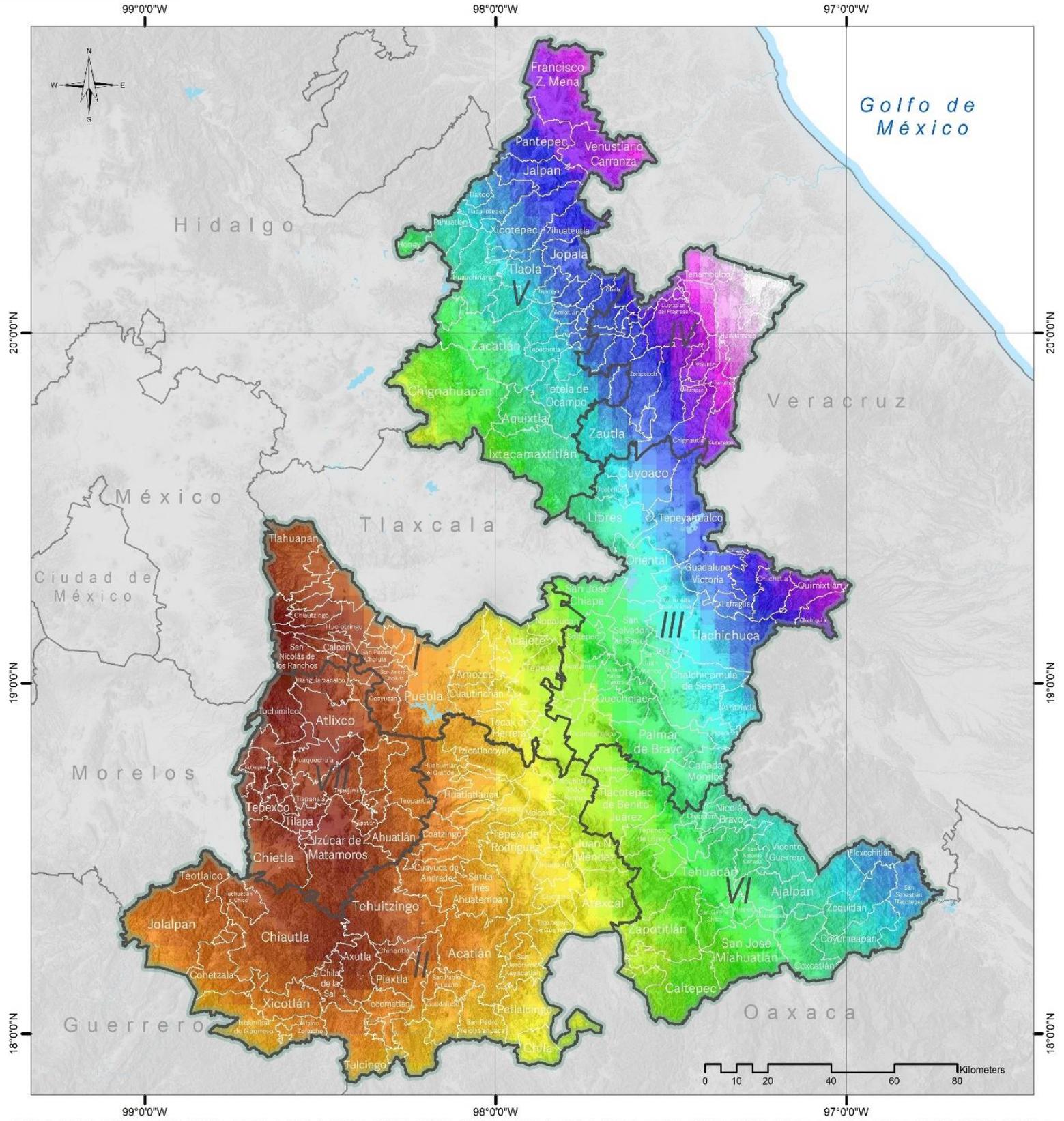
- Límite municipal
  - Cuerpos de agua
  - Límite del Estado de Puebla
  - Límite estatal
  - Tmin MPI ESM1.2 HR SSP585 2021-2040**
  - Value**
  - Max: 1.275
  - Min: 1.06667
- Regiones Puebla**
- I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Sordán y Valles Centrales
  - IV, Sierra Nororiental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M213. TMIN MPI ESM1.2 HR SSP585 2021-2040**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
  - Cuerpos de agua
  - Límite de Estado de Puebla
  - Límite estatal
  - Tmin MPLESM1.2.HR SSP585 2081-2100**
  - Value**
  - Max : 4.49167
  - Min : 3.35833
- Regiones Puebla**
- I, Angelópolis
  - II, Mixteca
  - III, Sordán y Valles Centrales
  - IV, Sierra Nororiental
  - V, Sierra Norte
  - VI, Tehuacán y Sierra Negra
  - VII, Valle Atlixco y Matamoros



**M214. TMIN MPI ESM1.2 HR  
SSP585 2081-2100**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008

## 6. ESCENARIOS POR SECTOR: HÍDRICO, FORESTAL, AGRÍCOLA, BIODIVERSIDAD, SALUD Y SOCIOECONÓMICO

Si bien los cambios proyectados en el clima de la tierra se darán a magnitudes y velocidades diferentes, según la escala espacial a la que se analicen, se han identificado los efectos actuales y a futuro que tendrá el cambio climático en diferentes sectores, con cierto nivel de confianza. A partir de los escenarios del AR6 considerados, se identificaron algunos efectos que los cambios en la temperatura y precipitación tendrán en diferentes sectores a nivel estatal.

Aproximadamente la mitad de la población mundial sufre de escasez de agua durante al menos un mes al año debido al clima y otros factores, ocasionando un impacto desproporcionado a sectores vulnerables de la población. Se espera que los riesgos asociados a las sequías e inundaciones, así como los daños que ocasionan estos fenómenos, se incrementen a medida que la temperatura global aumente. Los impactos del cambio climático relacionados con el agua afectarán a diferentes sectores económicos, ocasionado la disminución del producto interno bruto mundial (IPCC, 2022).

La mayoría de las proyecciones de cambio climático consideradas indican una disminución de la precipitación anual acumulada y un aumento de la temperatura. Este fenómeno representa una amenaza para la recarga de los acuíferos del estado en el futuro, y para los cuales, se calculó la vulnerabilidad ante el cambio climático.

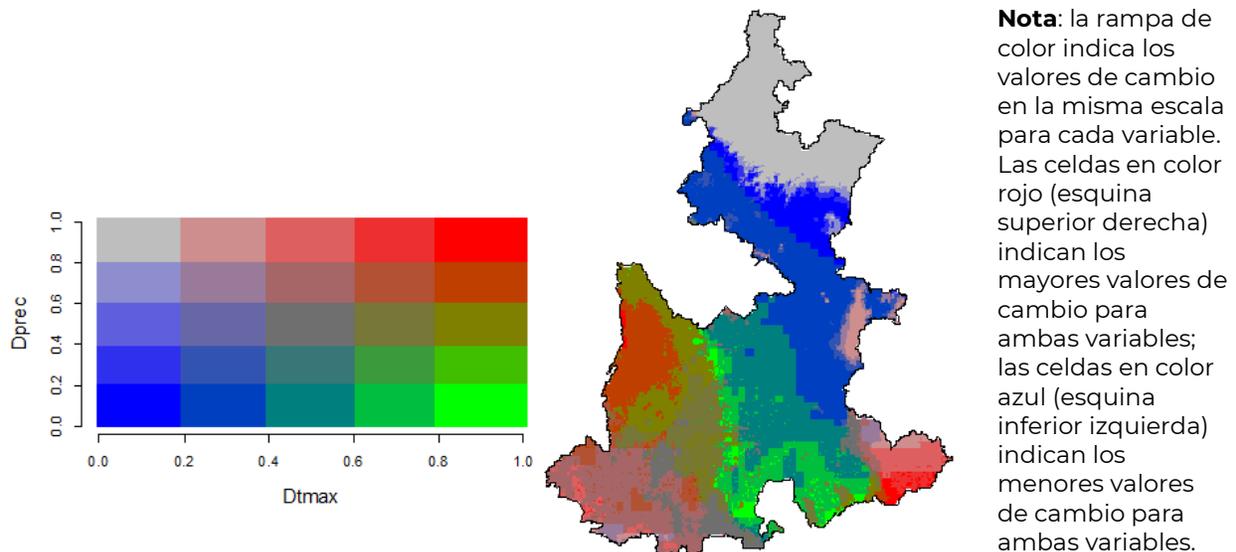


FIGURA. 279 MAPA DE CAMBIO PROYECTADO EN LA TEMPERATURA MÁXIMA (DTMAX) Y PRECIPITACIÓN (DPREC) EN RELACIÓN AL PERIODO DE REFERENCIA, DE ACUERDO CON LA PROYECCIÓN HADGEM3-GC31-LL\_ssp585\_2041-2060.

El aumento a nivel global de la temperatura y la ocurrencia de eventos climáticos extremos como las sequías, olas de calor, así como los incendios, afectan a los bosques tropicales aumentando la mortalidad y reduciendo el crecimiento de los árboles, comprometiendo así su capacidad de regeneración. El cambio climático también ha alterado la estructura y la composición de especies de comunidades vegetales. Se prevé que el aumento de la temperatura, los fenómenos climáticos extremos, las sequías y los incendios afectarán la proporción y frecuencia de la disponibilidad de recursos forestales (IPCC, 2022).

De acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático, aproximadamente el 24% de los 13847 km<sup>2</sup> de comunidades vegetales identificadas como representativas del sector forestal del Estado, aproximadamente el 24% perderán idoneidad climática en el futuro; esto es, que las variables climáticas que se presume determinan el nicho ecológico de las especies presentarán valores no análogos a los actuales, modificando potencialmente la distribución de los tipos de vegetación.

**TABLA 17. PORCENTAJE DE LA SUPERFICIE DE LAS COMUNIDADES VEGETALES REPRESENTATIVAS DEL SECTOR CON PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA.**

| <b>Clave</b> | <b>Tipo de vegetación</b>                         | <b>% pérdida de idoneidad climática</b> |
|--------------|---|---|
| BA           | Bosque de abies                                   | 91.1                                    |
| BM           | Bosque mesófilo de montaña                        | 41.9                                    |
| BPQP         | Bosque de pino, encino, pino-encino y encino-pino | 33.9                                    |
| MC           | Matorral crasicaule                               | 36.3                                    |
| MDR          | Matorral desértico rosetófilo                     | 60.5                                    |
| SBC          | Selva baja caducifolia                            | 0.8                                     |

Fuente: Elaboración propia

Los impactos del cambio climático han afectado negativamente al sector agrícola, comprometiendo la capacidad de satisfacer las demandas alimenticias de la población. Durante los últimos 50 años, el calentamiento global ha frenado el crecimiento de la productividad de los cultivos en diferentes latitudes, y la frecuencia de pérdidas repentinas ha aumentado desde mediados del siglo XX. Se proyecta que áreas globales de cultivos pierdan su idoneidad climática de acuerdo con diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero que, junto con otros factores, pondrán a entre 8 y 80 millones de personas en riesgo de hambruna a mediados de este siglo (IPCC, 2022).

Los cambios en la temperatura y precipitación proyectados en el estado de Puebla podrían generar una pérdida en aptitud del maíz de temporal por encima de un 80% de acuerdo algunas proyecciones y modelos en las distintas regiones. En este estudio la región Mixteca presenta la mayor pérdida de acuerdo con todos los escenarios, incluso en las áreas con riego.

Se han presentado alteraciones en los ecosistemas del planeta. La pérdida de especies, el aumento de las enfermedades y los eventos de mortandad masiva de plantas y animales han conducido a un evento de extinción impulsada por el clima. En el futuro, se espera que continúen las alteraciones en la fenología, en los eventos estacionales, así como cambios en las distribuciones geográficas de plantas y animales. Los ecosistemas únicos y amenazados estarán en alto riesgo en el corto plazo, a niveles de calentamiento globales de 1.2°C, el cual se incrementará con cada décima de grado de calentamiento (IPCC, 2022).

El cambio proyectado en los valores de un conjunto de variables que presumiblemente representan a los factores abióticos del nicho ecológico de las especies, llamadas variables bioclimáticas, permite identificar cómo cambiará potencialmente la distribución geográfica de las especies en el futuro debido al cambio climático. De acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático, aproximadamente 4815 km<sup>2</sup> de la superficie del estado de Puebla perderán idoneidad climática para entre 86 y 162 especies pertenecientes a diferentes grupos biológicos.

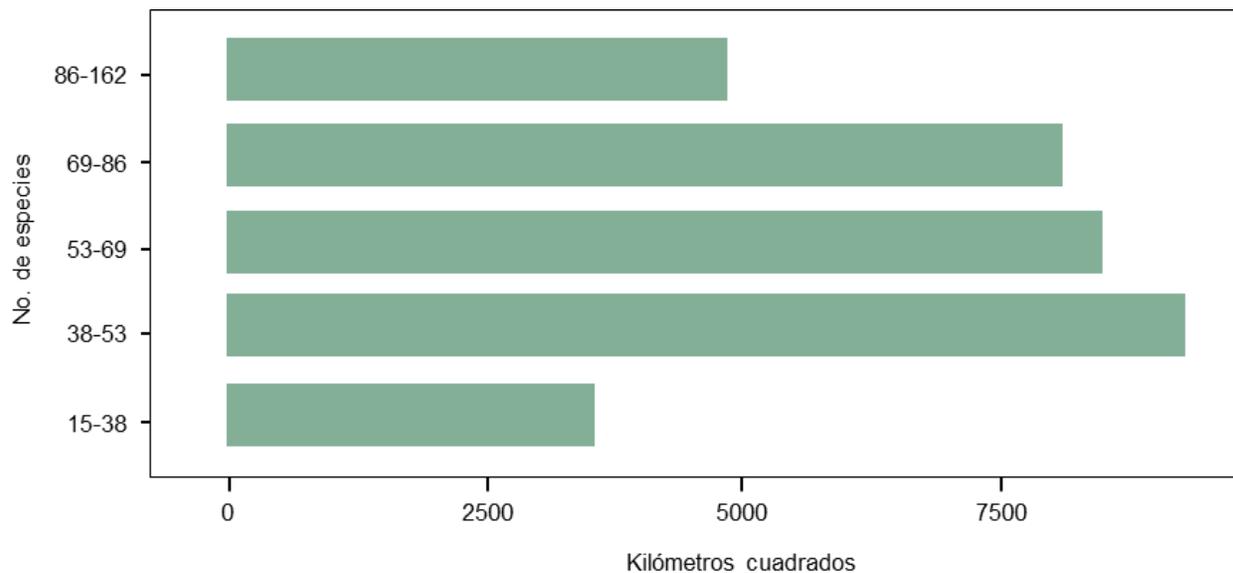


FIGURA. 280 SUPERFICIE DEL ESTADO CON PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA DIFERENTE NÚMERO DE ESPECIES.

La salud física y mental de las personas ha sido afectada negativamente por los efectos del cambio climático. Las ondas de calor se han intensificado, agravando la contaminación del aire en las ciudades, han aumentado la mortalidad relacionada con el calor y contribuido a la expansión de vectores de enfermedades. Se prevé un aumento significativo en los problemas de salud y muertes prematuras a corto y mediano plazo a nivel global, con un exceso de mortalidad de 250000 muertes al año atribuibles a causas relacionadas con el clima, como el calor, la desnutrición, malaria y diarrea (IPCC, 2022).

Los cambios proyectados en la temperatura y precipitación del Estado tendrán efectos en la incidencia de enfermedades zoonóticas. Se prevé que la distribución geográfica de algunas especies de triatomos, chinches vectores de la tripanosomiasis americana, también conocida como enfermedad de chagas, se modifique en el territorio estatal de acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático.

TABLA 18. PORCENTAJES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE AUMENTO DE LA SUPERFICIE ESTATAL CON IDONEIDAD CLIMÁTICA DE VECTORES DE LA TRIPANOSOMIASIS AMERICANA EN EL ESTADO, DE ACUERDO CON OCHO PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

| Especie                      | % aumento de idoneidad climática |        |
|------------------------------|----------------------------------|--------|
|                              | máximo                           | mínimo |
| <i>Dipetalogaster maxima</i> | 40.3                             | 12.7   |
| <i>Rhodnius prolixus</i>     | 433.2                            | 88.2   |
| <i>Triatoma barberi</i> ,    | 36.4                             | 6.6    |
| <i>Triatoma gerstaeckeri</i> | 42.4                             | 0.8    |
| <i>Triatoma mexicana</i>     | 151.1                            | 15.5   |
| <i>Triatoma nitida</i>       | 801.7                            | 73.3   |
| <i>Triatoma protracta</i>    | 0                                | 0      |
| <i>Triatoma rubida</i>       | 58188.8                          | 111.1  |

Fuente: Elaboración propia

## 7. ACTUALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD, RIESGO Y RESILIENCIA

La vulnerabilidad al cambio climático es un concepto complejo que involucra diferentes factores. En la Ley General de Cambio Climático se define como el “nivel a que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del Cambio Climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos.”

En la Ley General de Cambio Climático define a la vulnerabilidad como el “*nivel a que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del Cambio Climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos.*” (DOF, 2012 última reforma 06 de noviembre de 2020). Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) la vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (IPCC, 2014).

La evaluación de la vulnerabilidad es un proceso esencial para comprender y abordar los riesgos asociados con el cambio climático, garantizar la adaptación y aumentar la resiliencia de las comunidades y ecosistemas. Existen diferentes marcos conceptuales y aproximaciones para evaluar la vulnerabilidad de diferentes sectores ante este fenómeno, cada una de las cuales enfatiza diferentes aspectos. Ya sea bajo una perspectiva biofísica, socioeconómica, o bajo un enfoque integrado, cada una sustentada en diferentes metodologías particulares para su análisis (Bruno Soares *et al.*, 2012), las evaluaciones en general consideran tres atributos de los sistemas analizados: la exposición, como componente externo, representada por el cambio en el clima, la sensibilidad, y la capacidad adaptativa del sistema, como componentes internos de este (Thornton *et al.*, 2014; Gumel, 2022).

Para el desarrollo del presente Programa se usó la aproximación que la define como una función del carácter, la magnitud, la tasa de cambio y variación climática a los que está expuesto un sistema, la sensibilidad y la capacidad de adaptación que presenta el sistema (Parry *et al.* 2007). De acuerdo con el marco teórico establecido por el IPCC (IPCC, 2007), la vulnerabilidad se calculó considerando tres componentes: a) exposición, b) sensibilidad y c) capacidad adaptativa mediante la fórmula:

$$\text{Vulnerabilidad} = (\text{Exposición} + \text{Sensibilidad}) - \text{Capacidad adaptativa}$$

La exposición se define como la magnitud, carácter y velocidad de las variaciones climáticas que afectan un sistema; la sensibilidad es el grado en que el sistema es afectado por la variabilidad climática y el cambio climático debido a las características que lo definen, y la capacidad adaptativa como aquellos recursos, capital humano e instrumentos que representan una mayor posibilidad de adaptación (INECC, 2019).

Mediante esta aproximación, usada por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) para construir el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC)<sup>3</sup>, y retomada en la Ley General de Cambio Climático (2012) y por la Estrategia Estatal de Cambio Climático 2021-2030 de Puebla<sup>4</sup>, se identificó la vulnerabilidad de diferentes Elementos Clave del Territorio (ECT) representativos de los sectores hídrico, forestal, agrícola, biodiversidad y socioeconómico.

Los ECT son elementos bióticos y abióticos considerados relevantes por su presencia y representatividad en el territorio, por la relevancia de los servicios ecosistémicos que proveen a la sociedad, las amenazas actuales a las que están

<sup>3</sup> <https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/index.html#zoom=10&lat=21.9286&lon=-102.0057&layers=1>

<sup>4</sup> [https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Publicacion\\_de\\_la\\_Estrategia\\_Estatal\\_de\\_Cambio\\_Climatico\\_2021-2030\\_T2\\_04042022.pdf](https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Publicacion_de_la_Estrategia_Estatal_de_Cambio_Climatico_2021-2030_T2_04042022.pdf)

expuestos y su estado de conservación, así como por los impactos que potencialmente tendrá el cambio climático sobre ellos. Mediante diferentes fuentes y métodos, se identificaron ECT representativos para los sectores mencionados, así como delimitaciones de interés, representadas por cuerpos de agua, áreas naturales protegidas, subcuencas hidrográficas y humedales de importancia internacional. A partir de los ETC, se identificaron Objetos de Conservación Socio-Ambientales (OCSA) de forma participativa, en los talleres realizados en las macrorregiones del estado en el marco del proceso de socialización del PROAIRE-PEACC.

Los OCSA son definidos por CONANP-PNUD (2022) como “elementos focales de conservación, con una contribución muy relevante en el mantenimiento de los ecosistemas o en la generación de servicios ecosistémicos críticos, de los cuales se benefician las comunidades humanas de la región. Adicionalmente, los OCSA, son elementos que son vulnerables al cambio climático y/o de los cuales se deriva la vulnerabilidad de las comunidades humanas. Pueden ser ecosistemas que contribuyen a amortiguar los impactos asociados al cambio climático, por ejemplo: manglares como infraestructura verde de protección a los eventos meteorológicos extremos”.

El presente Programa representa una actualización, respecto a los instrumentos en materia de cambio climático existentes para el Estado, al incorporar los escenarios de cambio climático generados en el marco del proyecto de intercomparación de modelos de clima acoplados fase 6 (CMIP6)<sup>5</sup> incorporados en el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (AR6) (IPCC, 2021). Estas proyecciones climáticas están basadas en nuevas vías futuras de desarrollo social, las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP), relacionadas a las Trayectorias de Concentraciones Representativas (RCP). A diferencia de los escenarios del CMIP5, los escenarios del CMIP6 se construyeron con versiones actualizadas de modelos climáticos, y se basan en las SSP y en datos actualizados sobre tendencias de emisiones recientes (O'Neill *et al.*, 2016).

Una característica importante de las evaluaciones de vulnerabilidad realizadas para el presente Programa es la representación espacialmente explícita. El conocer la distribución espacial de los criterios y resultados de los análisis, así como su representación en mapas, resulta de suma importancia ya que permite identificar regiones (“hotspots”) donde el sistema, o alguno de sus elementos, son particularmente vulnerables, apoya a la formulación de políticas públicas, y permite priorizar y eficientizar los esfuerzos de adaptación (Preston *et al.*, 2011).

---

<sup>5</sup> <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip6>

La gran cantidad de escenarios disponibles impone la necesidad de hacer una selección de un número manejable para realizar estudios de vulnerabilidad y adaptación. Para identificar la exposición del estado al cambio climático, se seleccionaron 72 proyecciones dadas por la combinación de 6 Modelos de Circulación General (MCG): a) CNRM-CM6-1, b) HadGEM3-GC31-LL, c) INM-CM4-8, d) MIROC-ES2L, e) MPI-ESM1-2-HR, y f) MRI-ESM2-0; 3 SSP: a) SSP 2-4.5, b) SSP 3-7.0 y c) SSP 5-8.5; y cuatro horizontes temporales (HT): a) 2021-2040, b) 2041-2060, c) 2061-2080, y d) 2081-2100. Estas fueron obtenidas del conjunto de datos climáticos WorldClim<sup>6</sup>, las cuales son distribuidas en formato raster y tienen una resolución espacial de ~1 km, que es adecuada para para la escala del estado. De estas 72 proyecciones se realizó una subselección de ocho para calcular la vulnerabilidad de los ECT identificados, las cuales cubren el rango de posibles trayectorias (Lutz *et al.*, 2016) y son de los más utilizados por la comunidad climática (Joyce y Coulson, 2020; San José *et al.*, 2016).

La ley General de Cambio Climático (SEMARNAT, 2012) define a la resiliencia como la “Capacidad de los sistemas naturales o sociales para recuperarse o soportar los efectos derivados del cambio climático.” (DOF, 2012 última reforma 06 de noviembre de 2020). En un sentido más amplio, es un enfoque que presenta una forma para guiar y organizar el pensamiento, generada a partir de la observación, utilizando modelos como herramienta de comprensión, la incorporación de actores y grupos de interés en la gestión adaptativa, así como el aprendizaje de los procesos ecosistémicos y la incorporación de las ciencias sociales para entender la dinámica de los sistemas socio-ecológicos (Folke, 2006).

Tomando como base los resultados de las evaluaciones de la vulnerabilidad ante al cambio climático de los diferentes sectores del estado, se generaron una serie de recomendaciones y medidas de adaptación. Estas medidas, basadas tanto en ecosistemas, como en infraestructura y comunidades, tienen el objetivo de disminuir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de los diferentes sectores ante los impactos del cambio climático, incrementando la capacidad adaptativa y/o disminuyendo la sensibilidad de los ECT evaluados, por medio de las acciones propuestas.

---

<sup>6</sup> <https://www.worldclim.org/>

## REFERENCIAS

Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., ... y Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5).

Altamirano del Carmen, M. A., Estrada, F., y Gay-García, C. (2021). A new method for assessing the performance of general circulation models based on their ability to simulate the response to observed forcing. *Journal of Climate*, 34(13), 5385-5402.

Anexo II: Glosario [Agard, J., E.L.F. Schipper, J. Birkmann, M. Campos, Dubeux, Y. Nojiri, L. Olsson, B. Osman-Elasha, M. Pelling, M.J. Prather, M.G. Rivera-Ferre, O.C. Ruppel, A. Sallenger, K.R. Smith, A.L. St. Clair, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, and T.E. Bilir (eds.)]. En: Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5\\_WGII\\_glossary\\_ES.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_WGII_glossary_ES.pdf)

Avila-Diaz, A., Bromwich, D. H., Wilson, A. B., Justino, F., y Wang, S. H. (2021). Climate extremes across the North American Arctic in modern reanalyses. *Journal of Climate*, 34(7), 2385-2410.

Biemans H., Speelman L.H., Ludwig F., Moors E.J., Wiltshire A.J., Kumar P., Gerten D., y Kabat P. (2013). Future water resources for food production in five South Asian river basins and potential for adaptation – a modeling study. *Sci. Total Environ.* 468–469: S117–S131.

Bronaugh, D., for the Pacific Climate Impacts Consortium. (2014). [climdex.ppic.ncdf](https://climdex.ppic.ncdf.org/): Functions to compute CLIMDEX indices over a NetCDF grid.

Bronaugh, D., for the Pacific Climate Impacts Consortium. (2020). [climdex.ppic](https://climdex.ppic.org/): PCIC Implementation of Climdex Routines.

CONANP y PNUD México (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) 2020. Resumen Ejecutivo del Programa de Adaptación al Cambio Climático de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2011). La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado. México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Dieulin, C., Mahé, G., Paturel, J. E., Ejjiyar, S., Trambly, Y., Rouché, N., y El Mansouri, B. (2019). A new 60-year 1940/1999 monthly-gridded rainfall data set for Africa. *Water*, 11(2), 387.

Donat, M. G., Alexander, L. V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Dunn, R. J., ... y Kitching, S. (2013). Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(5), 2098-2118.

DOF (2012). Ley General de Cambio Climático. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Diario Oficial de la Federación, publicada el 6 de junio de 2012, última reforma 06 de noviembre de 2020.

Dunn, R. J., Alexander, L. V., Donat, M. G., Zhang, X., Bador, M., Herold, N., ... y Bin Hj Yussof, M. N. A. (2020). Development of an updated global land in situ-based data set of temperature and precipitation extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(16), e2019JD032263.

Durre, I., Menne, M. J., Gleason, B. E., Houston, T. G., y Vose, R. S. (2010). Comprehensive automated quality assurance of daily surface observations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(8), 1615-1633.

Estrada, F., Calderón-Bustamante, O., Botzen, W., Velasco, J. A., y Tol, R. S. (2022). AIRCC-Clim: a user-friendly tool for generating regional probabilistic climate change scenarios and risk measures. *Environmental Modelling & Software*, 157, 105528.

Evans, J. P., Ji, F., Abramowitz, G., y Ekström, M. (2013). Optimally choosing small ensemble members to produce robust climate simulations. *Environmental Research Letters*, 8(4), 044050.

Fernández, E. A., Zavala, H. J., Romero, C. R., Conde, A. A. C., y Trejo, V. I. (2015). Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en México y Centroamérica. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, SEMARNAT e Instituto de Geografía, UNAM.

Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global environmental change*, 16(3), 253-267.  
IPCC (2014).

Gumel, D. Y. (2022). Assessing climate change vulnerability: A conceptual and theoretical review. *Journal of Sustainability and Environmental Management*, 1(1), 22-31.

Hausfather Z. (2019). CMIP6: the next generation of climate models explained. Carbonbrief clear on climate. Recuperado el 09 de diciembre de 2021 en <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained>.

Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., y New, M. (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D20).

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... y Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049.

Hovmöller, E. (1949). The trough-and-ridge diagram. *Tellus*, 1(2), 62-66.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2022). López-Díaz F., Nava Assad Y.S., Rojas Barajas, M., González Terrazas D.I. Guía de Escenarios de Cambio Climático para Tomadores de Decisiones. pp 65.

IPCC. (2013). Summary for Policymakers. En: Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (Eds.) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, y B. Zhou (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp.

INECC. 2019. Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México. 1ª. Edición (libro electrónico). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. Disponible en: [https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC\\_LibroDigital.pdf](https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf)

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (Eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.

Joyce, L. A., y Coulson, D. P. (2020). *Climate scenarios and projections: A technical document supporting the USDA Forest Service 2020 RPA Assessment*.

Kendall, M.G. (1975). *Rank correlation methods*. Griffin, Londres.

Kriegler, E., O'Neill, B. C., Hallegatte, S., Kram, T., Lempert, R. J., Moss, R. H., y Wilbanks, T. (2012). The need for and use of socio-economic scenarios for climate change analysis: a new approach based on shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*, 22(4), 807-822.

Knutti, R., Furrer, R., Tebaldi, C., Cermak, J., y Meehl, G. A. (2010). Challenges in combining projections from multiple climate models. *Journal of Climate*, 23(10), 2739-2758.

Laiti, L., Mallucci, S., Piccolroaz, S., Bellin, A., Zardi, D., Fiori, A., ... y Majone, B. (2018). Testing the hydrological coherence of high-resolution gridded precipitation and temperature data sets. *Water Resources Research*, 54(3), 1999-2016.

Lutz, A. F., ter Maat, H. W., Biemans, H., Shrestha, A. B., Wester, P., y Immerzeel, W. W. (2016). Selecting representative climate models for climate change impact studies: an advanced envelope-based selection approach. *International Journal of Climatology*, 36(12), 3988-4005.

Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259.

Nissan, H., Goddard, L., de Perez, E. C., Furlow, J., Baethgen, W., Thomson, M. C., y Mason, S. J. (2019). On the use and misuse of climate change projections in international development. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 10(3), e579.

O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., ... y Sanderson, B. M. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461-3482.

Parry, M., Parry, M. L., Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden, P., y Hanson, C. (Eds.). (2007). *Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC*. Cambridge University Press.

Pierce, D. W., Barnett, T. P., Santer, B. D., y Gleckler, P. J. (2009). Selecting global climate models for regional climate change studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(21), 8441-8446.

Preston, B. L., Yuen, E. J., y Westaway, R. M. (2011). Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks. *Sustainability science*, 6, 177-202.

Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., ... y Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global environmental change*, 42, 153-168.

San José R., Pérez J.L., González R.M., Pecci J., Garzón A., y Palacios M. (2016). Impacts of the 4.5 and 8.5 RCP global climate scenarios on urban meteorology and air quality: Application to Madrid, Antwerp, Milan, Helsinki and London. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. Volume 293. 192-207 pp. ISSN 0377-0427

Santoso, H., Idinoba, M., y Imbach, P. A. (2008). *Climate Scenarios: What we need to know and how to generate them*. Working paper no. 45. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR). 27 p.

Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389.

Srivastav, A. (2019). *The science and impact of climate change*. Singapore: Springer Nature Singapore.

Tang, G., Clark, M. P., y Papalexiou, S. M. (2021). SC-earth: a station-based serially complete earth dataset from 1950 to 2019. *Journal of Climate*, 34(16), 6493-6511.

Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. *Indagationes mathematicae*, 12(85), 173.

Thiemig, V., Gomes, G. N., Skøien, J. O., Ziese, M., Rauthe-Schöch, A., Rustemeier, E., ... y Salamon, P. (2022). EMO-5: a high-resolution multi-variable gridded meteorological dataset for Europe. *Earth System Science Data*, 14(7), 3249-3272.

Thornton, P. E., Shrestha, R., Thornton, M., Kao, S. C., Wei, Y., y Wilson, B. E. (2021). Gridded daily weather data for North America with comprehensive uncertainty quantification. *Scientific Data*, 8(1), 1-17.

Wayne, G.P. (2013). *The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways*. Skeptical Science. Version 1.0, Agosto de 2013. 25 pp.

Werner, A. T., Schnorbus, M. A., Shrestha, R. R., Cannon, A. J., Zwiers, F. W., Dayon, G., y Anslow, F. (2019). A long-term, temporally consistent, gridded daily meteorological dataset for northwestern North America. *Scientific data*, 6(1), 1-16.

Wilson, A. B., Avila-Diaz, A., Oliveira, L. F., Zuluaga, C. F., y Mark, B. (2022). Climate extremes and their impacts on agriculture across the Eastern Corn Belt Region of the US. *Weather and Climate Extremes*, 37, 100467.

WorldClim (2022). Downscaling future and past climate data from GCMs. Disponible en: <https://worldclim.org/data/downscaling.html>

World Meteorological Organization (WMO). (2021). *Guidelines on Surface Station Data Quality Control and Quality Assurance for Climate Applications*. World Meteorological Organization.

Yan, Z., Li, Z., y Xia, J. (2014). Homogenization of climate series: The basis for assessing climate changes. *Science China Earth Sciences*, 57, 2891-2900.

Yaro, J. A., y Hesselberg, J. (Eds.). (2016). *Adaptation to climate change and variability in rural West Africa*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.

Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G. C., Jones, P., Tank, A. K., Peterson, T. C., ... y Zwiers, F. W. (2011). Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(6), 851-870.