

Índice de contenido

b) informe final y memoria descriptiva relativa a la ejecución de las actividades	10
INTRODUCCIÓN	10
Sistemas atmosféricos de la América Tropical	11
Contexto climático nacional	13
La variabilidad climática interanual	14
a) Temperatura	15
b) Precipitación	18
c) Humedad Relativa	20
d) Presión Atmosférica en superficie	21
e) Dirección y Velocidad del Viento en Superficie	22
f) Cambios y eventos extremos	22
METODOLOGÍA	25
SELECCIÓN DE LOS MODELOS DEL PROYECTO CMIP5	25
REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN OBSERVADA DISPONIBLE	26
a) Precipitación	27
b) Temperatura Media	30
c) Temperatura Máxima	31
d) Temperatura Mínima	32
e) Humedad Relativa	33
f) Viento y Presión	34
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS MODELOS GLOBALES PARA EL SALVADOR	34
REDUCCIÓN DE ESCALA ESTADÍSTICA	36
MÉTODO DE ENSAMBLE DE CONFIABILIDAD PONDERADA (REA)	36
RESULTADOS	38
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS MODELOS GLOBALES PARA EL SALVADOR	38
ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y CLIMATOLÓGICO DE LAS SERIES GENERADAS	45
a) Precipitación	45

b) Temperatura Media.....	52
c) Temperatura Máxima.....	59
d) Temperatura Mínima	66
e) Humedad Relativa	73
ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS CAMBIOS PROYECTADOS PARA LAS VARIABLES CLIMÁTICAS.....	80
a) Precipitación.....	80
b) Temperatura Media.....	93
c) Temperatura Máxima.....	106
d) Temperatura Mínima	119
e) Humedad Relativa	131
f) Presión en Superficie.....	143
g) Velocidad del Viento.....	153
h) Dirección del Viento	163
CONCLUSIONES	173
RECOMENDACIONES	175
REFERENCIAS.....	178

Lista de Figuras

Figura 1. Relación de la climatología de la precipitación mensual (expresada en mm) a lo largo de costa del Caribe y Pacífico en Centroamérica. Tomado de Magaña et. al., (1999).....	12
Figura 2. Climograma anual de la precipitación (barras grises), temperatura media (línea negra), temperatura máxima (línea roja con puntos blancos) y temperatura mínima (líneas con puntos azules) para las estaciones El Papalón (San Miguel) y Los Andes (Santa Ana). Periodo 1961-1990.	14
Figura 3. Distribución espacial de la temperatura media en El Salvador. Periodo de datos 1961-1990.	16
Figura 4. Distribución espacial de la temperatura máxima en El Salvador. Periodo de datos 1961-1990.	17
Figura 5. Distribución espacial de la temperatura mínima en El Salvador. Periodo de datos 1961-1990..	18
Figura 6. Distribución espacial de la precipitación en El Salvador. Periodo de datos 1961-1990.	20
Figura 7. Distribución espacial de la Humedad Relativa en El Salvador. Periodo de datos 1961-1990.....	21
Figura 8. Distribución espacial de la Presión Atmosférica en Superficie en El Salvador. Periodo de datos 1961-1990.	21
Figura 9. Distribución espacial del Viento en Superficie en El Salvador. Periodo de datos 1961-1990.....	22
Figura 10. Anomalías del porcentaje anual del número de días y noches cálidos/fríos, para el periodo 1961-2003. Tomado de Aguilar., et., al., (2003).	23
Figura 11. Número de Eventos que sobrepasan el umbral de 100 mm acumulados en a) dos días (área azul), b) cinco días y c) 10 días (área en rojo) de lluvias en la estación Ilopango, en El Salvador, durante el periodo 1971-2011. Tomado de MARN, (2013).	24
Figura 12. Distribución espacial de las estaciones con datos suficientes y confiables para Precipitación en el periodo 1961-1990.	28
Figura 13. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de la Temperatura Media, considerando el periodo 1961-1990.	30
Figura 14. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de Temperatura Máxima, considerando el periodo 1961-1990.	31
Figura 15. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de Temperatura Mínima, considerando el periodo 1961-1990.	32
Figura 16. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de Humedad Relativa, considerando el periodo 1961-1990.	33
Figura 17. Distribución de los puntos del Reanálisis ERA-20CM con datos para el periodo 1961-1990.	34
Figura 17. Comportamiento de la precipitación mensual observada y proyectada por los modelos globales para la estación Santa Ana El Palmar (A-12) en el periodo 1961-1990.	39
Figura 18. Comportamiento de la temperatura media mensual observada y proyectada por los modelos globales para la estación Santa Ana El Palmar (A-12) en el periodo 1961-1990.	40
Figura 19. Comportamiento de la temperatura máxima mensual observada y proyectada por los modelos globales para la estación Santa Ana El Palmar (A-12) en el periodo 1961-1990.	41
Figura 20. Comportamiento de la temperatura mínima mensual observada y proyectada por los modelos globales para la estación Santa Ana El Palmar (A-12) en el periodo 1961-1990.	42
Figura 21. Comportamiento de la humedad relativa mensual observada y proyectada por los modelos globales para la estación Santa Ana El Palmar (A-12) en el periodo 1961-1990.	43
Figura 23. Series mensuales de la precipitación mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para las estaciones: Los Andes (A-18) (a), Ilopango (S-10) (b) y Santiago de María (U-6) (c).	48
Figura 24. Histogramas para la precipitación mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Los Andes (A-18).	49

Figura 25. Histogramas para la precipitación mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Ilopango (S-10)	50
Figura 26. Histogramas para la precipitación mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Santiago de María (U-6).....	51
Figura 27. Series mensuales de la temperatura media mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para las estaciones: Los Andes (A-18) (a), Ilopango (S-10) (b) y Santiago de María (U-6) (c).	55
Figura 28. Histogramas para la temperatura media mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Los Andes (A-18).....	56
Figura 29. Histogramas para la temperatura media mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Ilopango (S-10)	57
Figura 30. Histogramas para la temperatura media mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Santiago de María (U-6).....	58
Figura 31. Series mensuales de la temperatura máxima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para las estaciones: Los Andes (A-18) (a), Ilopango (S-10) (b) y Santiago de María (U-6) (c).	62
Figura 32. Histogramas para la temperatura máxima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Los Andes (A-18).....	63
Figura 33. Histogramas para la temperatura máxima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Ilopango (S-10)	64
Figura 34. Histogramas para la temperatura máxima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Santiago de María (U-6).	65
Figura 35. Series mensuales de la temperatura mínima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para las estaciones: Los Andes (A-18) (a), Ilopango (S-10) (b) y Santiago de María (U-6) (c).	69
Figura 36. Histogramas para la temperatura mínima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Los Andes (A-18).....	70
Figura 37. Histogramas para la temperatura mínima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Ilopango (S-10)	71
Figura 38. Histogramas para la temperatura mínima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Santiago de María (U-6).	72
Figura 39. Series mensuales de la humedad relativa mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para las estaciones: Los Andes (A-18) (a), Ilopango (S-10) (b) y Santiago de María (U-6) (c).	76
Figura 40. Histogramas para la humedad relativa mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Los Andes (A-18).....	77
Figura 41. Histogramas para la humedad relativa mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Ilopango (S-10)	78
Figura 42. Histogramas para la humedad relativa mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Santiago de María (U-6).....	79
Figura 43. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.	83
Figura 44. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.	84
Figura 45. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.	85
Figura 46. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.	86

Figura 47. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.	87
Figura 48. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.	88
Figura 49. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.	89
Figura 50. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.	90
Figura 51. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la precipitación anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2021-2050.	91
Figura 52. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la precipitación anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2071-2100.	92
Figura 53. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.	96
Figura 54. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.	97
Figura 55. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.	98
Figura 56. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.	99
Figura 57. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.	100
Figura 58. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.	101
Figura 59. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.	102
Figura 60. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.	103
Figura 61. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la temperatura media anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2021-2050.	104
Figura 62. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la temperatura media anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2071-2100.	105
Figura 63. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.	109
Figura 64. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.	110
Figura 65. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.	111
Figura 66. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.	112
Figura 67. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.	113
Figura 68. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.	114
Figura 69. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.	115
Figura 70. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.	116

Figura 71. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la temperatura máxima anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2021-2050.....	117
Figura 72. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la temperatura máxima anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2071-2100.....	118
Figura 73. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.....	121
Figura 74. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.....	122
Figura 75. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.....	123
Figura 76. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.....	124
Figura 77. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.....	125
Figura 78. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.....	126
Figura 79. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.....	127
Figura 80. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.....	128
Figura 81. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la temperatura mínima anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2021-2050.	129
Figura 82. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la temperatura mínima anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2071-2100.	130
Figura 83. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.....	133
Figura 84. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.....	134
Figura 85. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.....	135
Figura 86. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.....	136
Figura 87. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.....	137
Figura 88. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.....	138
Figura 89. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.....	139
Figura 90. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.....	140
Figura 91. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la humedad relativa anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2021-2050.	141
Figura 92. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la humedad relativa anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2071-2100.	142
Figura 93. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.....	145

Figura 94. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.....	146
Figura 95. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.....	147
Figura 96. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.....	148
Figura 97. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.....	149
Figura 98. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.....	150
Figura 99. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.....	151
Figura 100. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.....	152
Figura 101. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.....	155
Figura 102. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.....	156
Figura 103. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.....	157
Figura 104. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.....	158
Figura 105. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.....	159
Figura 106. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.....	160
Figura 107. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.....	161
Figura 108. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.....	162
Figura 109. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.....	165
Figura 110. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.....	166
Figura 111. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.....	167
Figura 112. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.....	168
Figura 113. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.....	169
Figura 114. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.....	170
Figura 115. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.....	171
Figura 116. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.....	172

Lista de Tablas

Tabla 1. Listado de Modelos de Circulación Global disponibles para la elaboración de escenarios de clima futuros.....	26
Tabla 2. Listado de estaciones meteorológicas en El Salvador, con datos suficientes y confiables para la variable de Precipitación, considerando el periodo 1961-1990.....	29
Tabla 3. Listado de estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de Temperatura Media, considerando el periodo 1961-1990.....	30
Tabla 4. Listado de estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de Temperatura Máxima, considerando el periodo 1961-1990.....	31
Tabla 5. Listado de las estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de la Temperatura Mínima, considerando el periodo 1961-1990.....	32
Tabla 6. Listado de estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de Humedad Relativa, considerando el periodo 1961-1990.....	33
Tabla 7. Ponderaciones de los 14 Modelos de Circulación Global seleccionados, según los valores obtenidos en las métricas para cada variable climática. Los colores denotan valores bajos (rojos), medios (amarillos) o verdes (altos) del ejercicio de la ponderación.....	44
Tabla 8. Modelos de Circulación Global seleccionados para la elaboración de los escenarios climáticos.	45
Tabla 9. Promedio de los cambios porcentuales de la precipitación (%) bajo los 4 escenarios RCP en los periodos de referencia para El Salvador.....	81
Tabla 10. Promedio de los cambios porcentuales mensuales de la precipitación (%) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2021-2050. En verde se señalan la mayor coincidencia en los cambios positivos (incrementos) mientras que en naranja son los cambios negativos (disminuciones) en las lluvias.....	81
Tabla 11. Promedio de los cambios porcentuales mensuales de la precipitación (%) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2071-2100. En verde se señalan la mayor coincidencia en los cambios positivos (incrementos) mientras que en naranja son los cambios negativos (disminuciones) en las lluvias. El color más tenue es indicativo de cambios menos marcados al compararlo con el primer periodo.	82
Tabla 12. Promedio de las anomalías de la temperatura media (°C) bajo los 4 escenarios RCP en los periodos de referencia para El Salvador.....	95
Tabla 13. Promedio de las anomalías mensuales de la temperatura media (°C) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2021-2050.....	95
Tabla 14. Promedio de las anomalías mensuales de la temperatura media (°C) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2071-2100.....	95
Tabla 15. Promedio de las anomalías de la temperatura máxima (°C) bajo los 4 escenarios RCP en los periodos de referencia para El Salvador.....	108
Tabla 16. Promedio de las anomalías mensuales de la temperatura máxima (°C) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2021-2050.....	108
Tabla 17. Promedio de las anomalías mensuales de la temperatura máxima (°C) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2071-2100.....	108
Tabla 18. Promedio de las anomalías de la temperatura mínima (°C) bajo los 4 escenarios RCP en los periodos de referencia para El Salvador.....	120
Tabla 19. Promedio de las anomalías mensuales de la temperatura mínima (°C) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2021-2050.....	120
Tabla 20. Promedio de las anomalías mensuales de la temperatura mínima (°C) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2071-2100.....	120
Tabla 21. Promedio de las anomalías de la humedad relativa (%) bajo los 4 escenarios RCP en los periodos de referencia para El Salvador.....	132

Tabla 22. Promedio de las anomalías mensuales de la humedad relativa (%) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2021-2050.	132
Tabla 23. Promedio de las anomalías mensuales de la humedad relativa bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2071-2100.	132
Tabla 24. Promedio de las anomalías de la presión atmosférica en superficie (hPa) bajo los 4 escenarios RCP en los periodos de referencia para El Salvador.	143
Tabla 25. Promedio de las anomalías mensuales de la presión atmosférica en superficie (hPa) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2021-2050.	144
Tabla 26. Promedio de las anomalías mensuales de la presión atmosférica en superficie (hPa) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2071-2100.	144
Tabla 27. Promedio de las anomalías de la velocidad del viento (m/s) bajo los 4 escenarios RCP en los periodos de referencia para El Salvador.	154
Tabla 28. Promedio de las anomalías mensuales de la velocidad del viento (m/s) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2021-2050.	154
Tabla 29. Promedio de las anomalías mensuales de la velocidad del viento (m/s) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2071-2100.	154

b) informe final y memoria descriptiva relativa a la ejecución de las actividades

INTRODUCCIÓN

En 2013 el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*) realizó la publicación de la primera parte del quinto informe de evaluación (AR5), en el cual se detalla el estado del arte del entendimiento científico del cambio climático (IPCC, 2013). En este informe además se ha ejecutado la quinta fase del proyecto de intercomparación de las simulaciones de los escenarios de Cambio Climático (*Coupled Modeling Inter Comparison Project 5, CMIP5*) (Taylor et al., 2012). Este proyecto incluye simulaciones a largo plazo del clima del siglo XX, y proyecciones para el siglo XXI y algunas hasta el siglo XXIII.

En la actualidad el proyecto lo integran alrededor de 40 grupos internacionales de modelación, los cuales utilizan modelos acoplados Océano-Atmósfera (AOGCM), y algunos utilizan los “Earth System Models”, los cuales, además de la Atmósfera y el Océano, incluyen en sus simulaciones la vegetación y ciclo de carbono interactivo (IPCC, 2013). A la fecha, los modelos son la única herramienta disponible para poder hacer una proyección climática futura, y solamente grandes instituciones como universidades, centros meteorológicos y de investigación en clima tienen las capacidades tecnológicas, físicas, investigativas y de personal para desarrollar este tipo de modelos.

Por otra parte, la evaluación de los impactos asociados al cambio climático tradicionalmente se ha desarrollado usando un proceso secuencial, es decir, cada etapa inicia cuando recibe los resultados de la etapa anterior. Bajo este esquema, este proceso requiere mucho tiempo en la entrega de la información entre diversas disciplinas que participan en la investigación (la física, la química, la biología y las ciencias sociales, entre otras).

Ahora, los investigadores del cambio climático de las diversas disciplinas científicas han establecido un nuevo proceso en paralelo para el desarrollo de los escenarios de cambio climático (Moss et. al., 2010). Y para ello se ha cambiado la forma de hacer la investigación climática, y se definieron nuevos escenarios muy amplios de forzamiento radiativo, llamados “Caminos Representativos de Concentración” (*Representative Concentration Pathways, RCP*), con el fin de poder seguir un proceso en paralelo, es decir, que cada disciplina pudiese iniciar sus propias investigaciones sin la necesidad de esperar la entrega de información proveniente de alguna otra disciplina. El IPCC, como usuario de los RCP y como ente central de todo el proceso de selección, solicitó que se tenga en cuenta la compatibilidad con la

literatura de referencia y los anteriores escenarios de mitigación (SRES). Se definieron 4 RCP: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5. Los RCP ofrecen un punto de partida para las nuevas investigaciones; sin embargo, es importante reconocer sus usos y sus límites. No son ni predicciones ni recomendaciones políticas, pero sí fueron elegidos para asignar una amplia gama de resultados climáticos. Los RCP no pueden ser tratados como un conjunto coherente de lógica interna. Por ejemplo, el RCP 8.5 no puede ser usado como un escenario referente de “no-política climática” con respecto a los otros RCP, pues cada uno de estos escenarios contiene una serie de suposiciones socioeconómicas, tecnológicas y biofísicas diferentes (IDEAM et. al., 2015).

Sistemas atmosféricos de la América Tropical

En la América tropical, la interacción de los sistemas atmosféricos se expresa de manera particular, debido a la localización del continente en medio del Océano Pacífico, el Océano Atlántico y el Mar Caribe, por la presencia del sistema orográfico de los Andes con la compleja red de valles y montañas, y por la Amazonía (Hidalgo, 2014).

En la zona tropical, comprendida entre las latitudes 30°N y 30°S, en cercanías a la superficie se desarrollan vientos provenientes del noreste y del sureste, ocasionados por el movimiento del aire desde la alta subtropical hacia la baja ecuatorial y la intervención de la fuerza de Coriolis. Estos vientos se conocen como vientos alisios, los cuales son vientos que, a pesar de que pueden variar su dirección por efectos de topografía y rozamiento, son por lo general persistentes y regulares.

Cerca del Ecuador los vientos alisios convergen, haciendo que el aire cálido ascienda y provocando que el aire se enfríe por expansión, con lo cual se favorece la condensación y por lo tanto el desarrollo de nubes. Esta zona en la que convergen los vientos alisios del noreste y del sureste se conoce como la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) que se caracteriza por la presencia de nubes de gran desarrollo vertical, aumento de la inestabilidad atmosférica y una mayor frecuencia e intensidad de las precipitaciones sobre ella (Armenta, 2013).

La ZCIT se desplaza latitudinalmente, siguiendo el desplazamiento aparente del Sol con respecto a la Tierra. A lo largo del año, la sección del Pacífico oriental de esta zona se mueve entre los 5°S y los 11°N, y la sección continental entre los 10°S y los 8°N.

Centroamérica posee una topografía compleja, compuesta por diversas cadenas de islas y por zonas continentales con montañas de diferentes altitudes y formas. El clima de la región es tropical a lo largo del año, y está controlado principalmente por el paso de la ZCIT sobre el continente, el paso de huracanes y Ondas del Este (Pérez et. al., 2015). La

interacción del Golfo de México, el Pacífico Tropical, el Atlántico Tropical y su interacción con la topografía del continente también influyen en forma significativa en el clima de la región (Becker et. al., 2013).

Por tal motivo el régimen climático en la región centroamericana tiene aspectos muy similares en cada uno de los países que la conforman, sin embargo, los mismos muestran características propias y específicas. Desde el punto de vista regional, el régimen de la temperatura presenta fluctuaciones muy pequeñas a lo largo del año, con valores máximos en los meses de marzo y abril y valores mínimos en los meses de octubre, noviembre y diciembre. Sin embargo, el caso de la precipitación ha sido objeto de diversos estudios dada su relevancia y vinculación con los impactos asociados en los sectores de desarrollo. El régimen anual de la precipitación muestra un carácter bimodal donde los valores máximos son observados en los meses de Junio y Septiembre y los mínimos relativos en Julio y agosto. Este mínimo relativo es conocido como la Sequía de Medio Verano o Canícula (MSD – *Midsummer Drought*– por su sigla en inglés) (Magaña et. al., 1999), y se considera uno de los moduladores de la variabilidad climática regional más importantes (ver Figura 1).

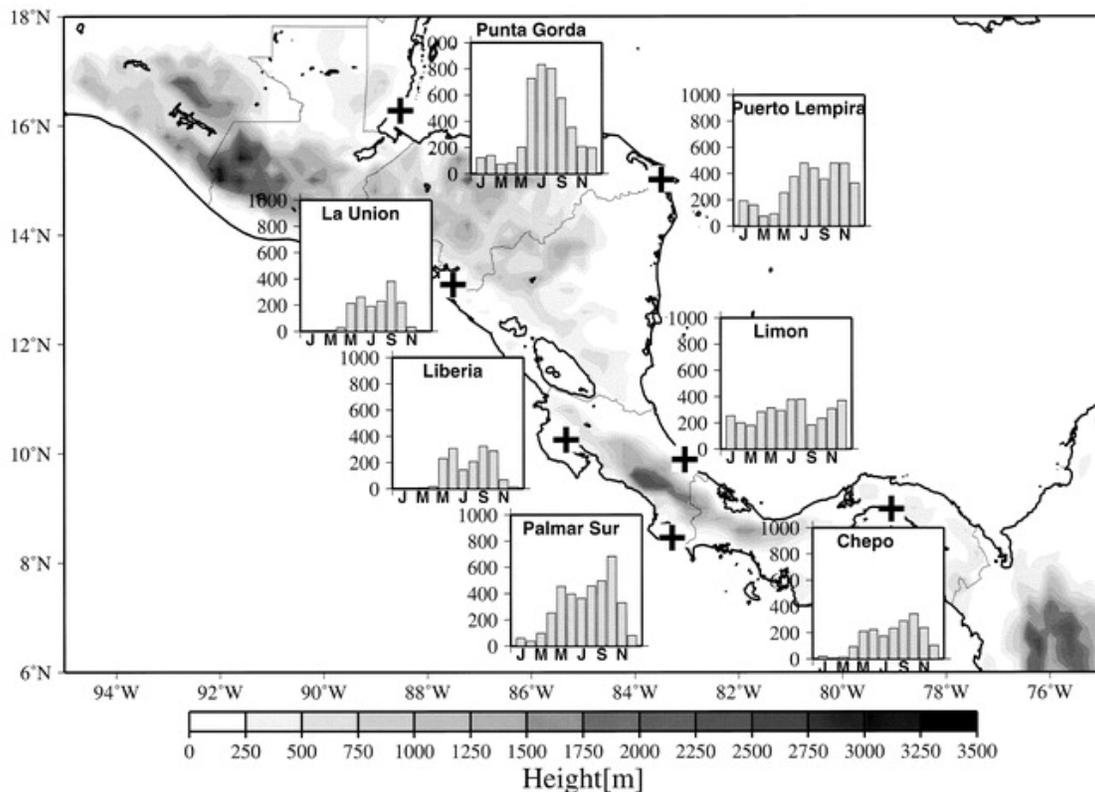


Figura 1. Relación de la climatología de la precipitación mensual (expresada en mm) a lo largo de costa del Caribe y Pacífico en Centroamérica. Tomado de Magaña et. al., (1999).

Es de mencionar que la MSD no está asociada como tal al paso de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) sobre el continente, pero sí está influenciada por la ZCIT del Pacífico Oriental, afectando su intensidad y/o duración. De hecho, Pérez (2000) indica que la posición, intensidad y densidad de la convección asociada a la ZCIT en esa región, puede resultar en periodos de lluvia intensa o de sequías. A pesar de que su variabilidad aun es un tema poco estudiado, Magaña y Yanai (1995) indican que experimenta periodos de intensa y débil actividad convectiva, en gran parte controlados por ondas tropicales.

De la misma forma, el paso de la ZCIT por el Caribe hace que los vientos alisios se debiliten durante el aumento de la actividad convectiva (es decir cuando la ZCIT está sobre la zona) y viceversa. La intensificación de los vientos alisios ocurre durante Julio y Agosto, y junto con su interacción con el sistema orográfico de Centroamérica ocasiona que se den las mayores precipitaciones a lo largo de la costa Caribe y las menores hacia la costa Pacífica.

Así mismo, la temporada de huracanes en el Atlántico ocurre entre los meses de mayo a noviembre, con una frecuencia máxima entre agosto y septiembre. De acuerdo a Landsea (1993), más del 80% de los Ciclones Tropicales son generados por Ondas Africanas u Ondas Tropicales, también conocidas como Ondas del Este y que son mecanismos distintos a los generadores de los ciclones de latitudes medias. Los huracanes son también considerados moduladores del clima regional, con serias consecuencias e impactos de diversa índole (negativos y/o positivos) asociados a su paso.

Otro sistema que influye en el clima de Centroamérica es la Oscilación Madden-Julian (MJO), la cual es una oscilación que se propaga hacia el oriente con un ciclo de 30 a 60 días. Esta oscilación influye en la modulación de la ocurrencia de eventos extremos a escala subestacional, e incide en el paso de la ZCIT por el continente, ocasionando en sus fases activas la intensificación de la MSD.

Contexto climático nacional

De acuerdo a Haggarty (1988) El Salvador tiene un clima tropical con estaciones húmedas y secas pronunciadas, donde los valores de las temperaturas varían principalmente con la elevación y muestran poco cambio estacional. Hacia las tierras bajas o planicies del Pacífico suelen ser uniformemente calientes, mientras que en la meseta central y las zonas de montaña, los valores son menos cálidos (ver

Figura 2).

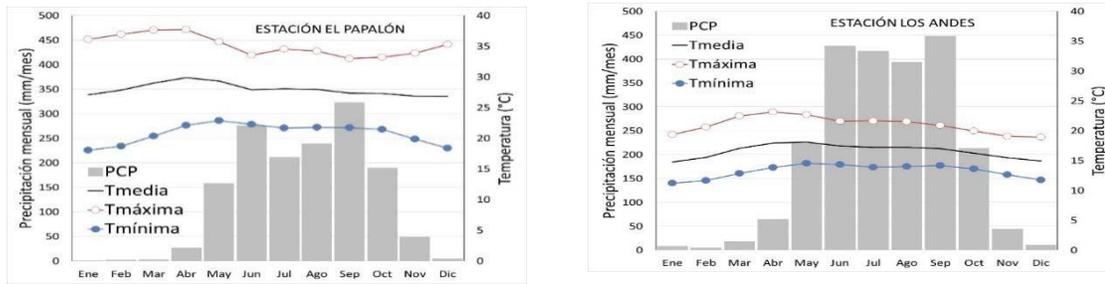


Figura 2. Climograma anual de la precipitación (barras grises), temperatura media (línea negra), temperatura máxima (línea roja con puntos blancos) y temperatura mínima (líneas con puntos azules) para las estaciones El Papalón (San Miguel) y Los Andes (Santa Ana). Periodo 1961-1990.

Dicho régimen climático es influenciado por una serie de sistemas meteorológicos que permiten una particular caracterización de la variabilidad interanual en El Salvador. Estos fenómenos son:

- Los frentes fríos provenientes de América del Norte
- La Zona de Convergencia Inter Tropical (ZCIT)
- Las Ondas del Este, y
- Los Huracanes del Caribe y El Pacífico oriental.

De acuerdo con Aguilar et. al., (2007) el clima de El Salvador “está influenciado principalmente por las aguas adyacentes del océano Pacífico y por sistemas meteorológicos asociados a la zona de convergencia intertropical (ZCIT) y a las ondas del Este que entran por la zona oriental o bordeándola por el Golfo de Fonseca.

Así también, tanto el clima local como la marcha diurna meteorológica con frecuencia son influenciados directamente por sistemas ciclónicos tropicales migratorios, los cuales se acercan por el este o indirectamente cuando dichos sistemas se desplazan desde el golfo de Honduras hacia el oeste, llegando a atravesar el istmo de Tehuantepec en el sur del golfo de México, en su ruta hacia el océano Pacífico”.

La variabilidad climática interanual

Considerando¹ los datos observados del Servicio Meteorológico Nacional de El Salvador para el periodo de referencia 1961-1990, es posible analizar la climatología interanual así como para la generación de campos meteorológicos (Anexo I) que permitan identificar su comportamiento espaciotemporal.

¹ Obtenidos por medio del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

a) Temperatura

Tal y como se indicara en la Figura 2, la temperatura presenta cambios poco significativos, con valores máximos en Abril y mayo, mientras que los valores mínimos se presentan en Diciembre y Enero. Este mismo patrón lo siguen sus valores extremos tanto mínimos como máximos. Como es de notarse de manera espacial, los valores de temperatura suele apegarse a la orografía, indicando valores relativamente cálidos hacia las partes bajas o costeras, mientras que las planicies de mediana y alta montaña, los valores suelen ser menos cálidos e inclusive fríos.

Los valores de la Temperatura Media se distribuyen a lo largo de El Salvador entre los 15 y los 30°C, siendo el centro y el oriente del país las regiones más cálidas. Los meses de menores temperaturas relativas son los correspondientes a la temporada seca (de Noviembre a Febrero), con valores entre 15 y 28°C. En la temporada de lluvias, la temperatura media se encuentra entre 17 y 30°C, siendo Abril el mes más cálido, con temperaturas superiores a los 18°C (ver Anexo I-B). A nivel anual, la Temperatura Media oscila entre los 19 y los 28°C (ver Figura 3), siendo el oriente, el suroccidente y una zona del norte de El Salvador las regiones que presentan mayores temperaturas, con valores superiores a los 26°C. Mientras que en la parte central y occidental la Temperatura Media oscila entre los 16 y los 24°C.

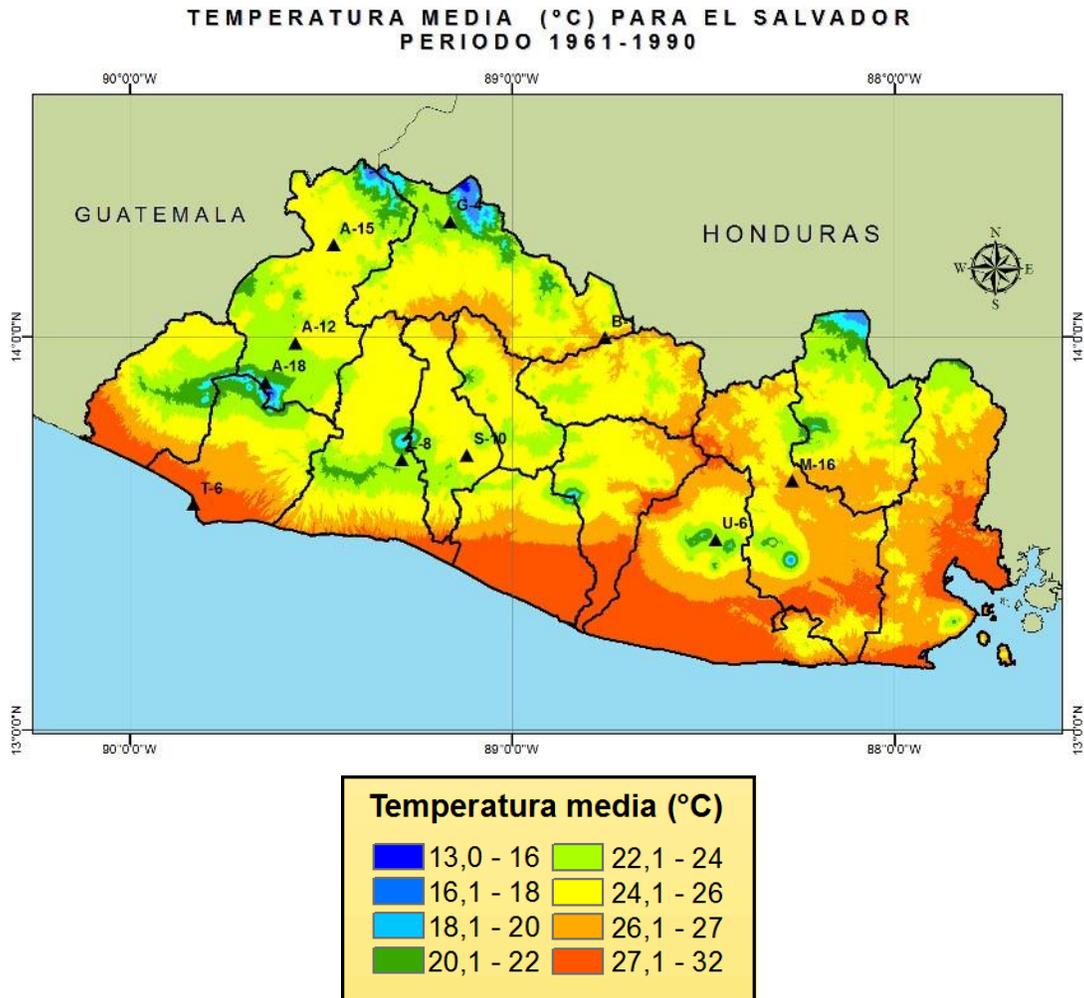


Figura 3. Distribución espacial de la temperatura media en El Salvador. Periodo de datos 1961-1990.

La Temperatura Máxima presenta pocas variaciones, con valores entre 19 y 38°C. Al igual que la Temperatura Media, los mayores valores se presentan en el centro y el oriente de El Salvador. Los mayores valores se dan entre los meses de Febrero y Mayo (entre 21 y 38°C), y los menores entre Octubre y Enero (entre 19 y 37°C) (ver Anexo I-C). El promedio anual de la Temperatura Máxima presenta valores entre 21 y 36°C, siendo el centro y el oriente del país la zona con mayores valores, superiores a los 30°C (ver Figura 4).

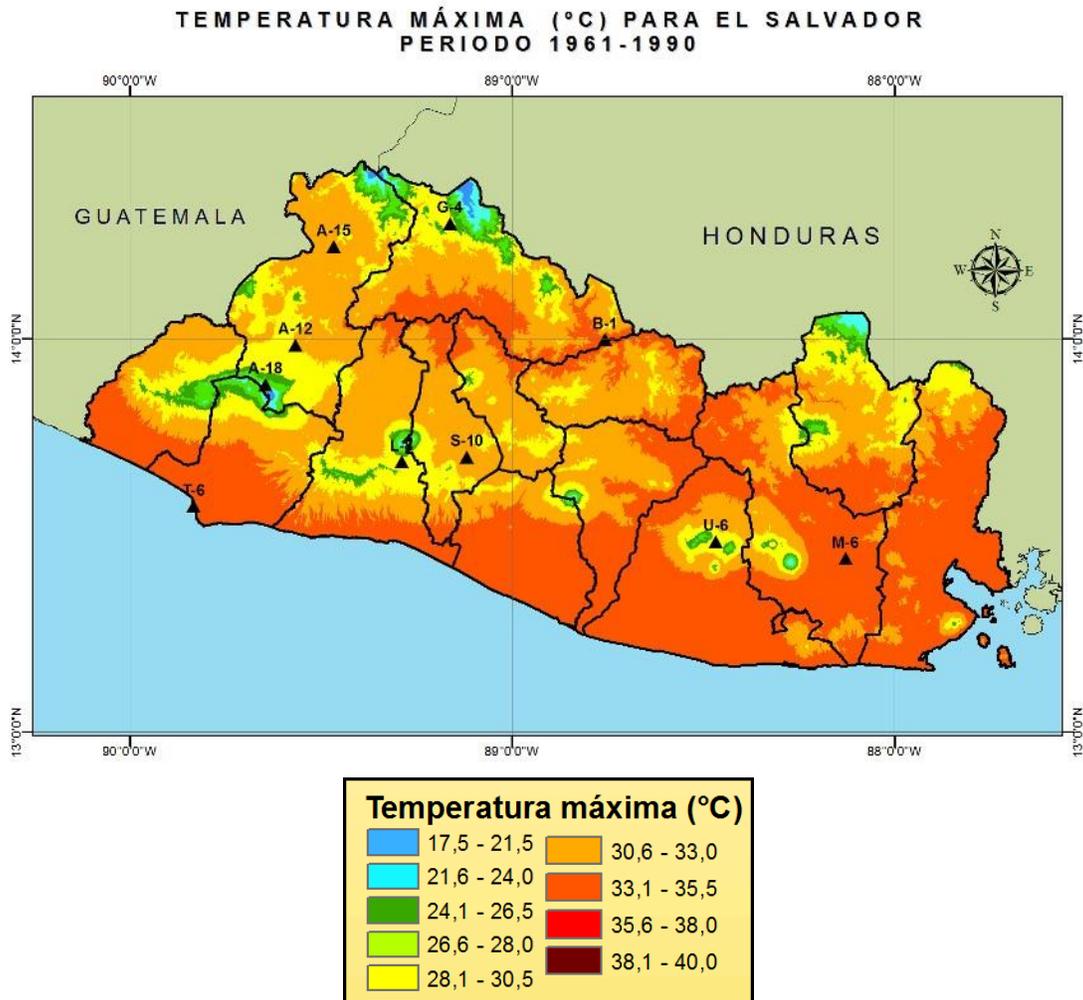


Figura 4. Distribución espacial de la temperatura máxima en El Salvador. Periodo de datos 1961-1990.

La Temperatura Mínima a lo largo del año presenta valores entre los 11 y los 25°C, siendo el centro-occidente del país la región con menores valores (entre 11-16°C). Los meses de menores Temperaturas Mínimas son los correspondientes a Diciembre-Enero-Febrero, con valores que no superan los 23°C, mientras que los máximos valores de esta variable se presentan entre Mayo y Septiembre, con valores entre 14-25°C (ver Anexo I-D). El promedio anual de la Temperatura Mínima oscila entre los 13 y los 24°C (ver Figura 5). El oriente de El Salvador presenta valores entre 18-22°C, mientras que el centro y el occidente del país presenta valores de 13-18°C, con una zona puntual en el suroccidente que presenta valores superiores a los 20°C para esta variable.

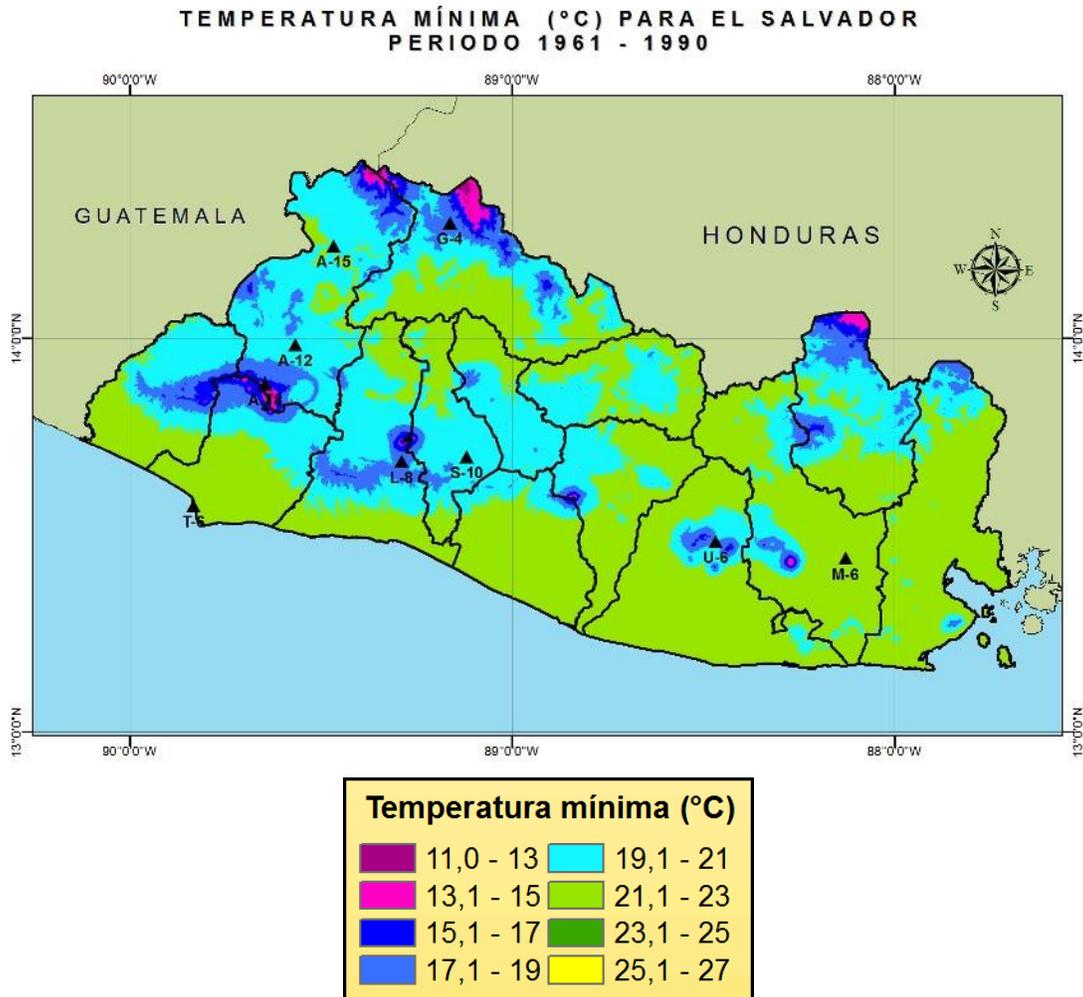


Figura 5. Distribución espacial de la temperatura mínima en El Salvador. Periodo de datos 1961-1990.

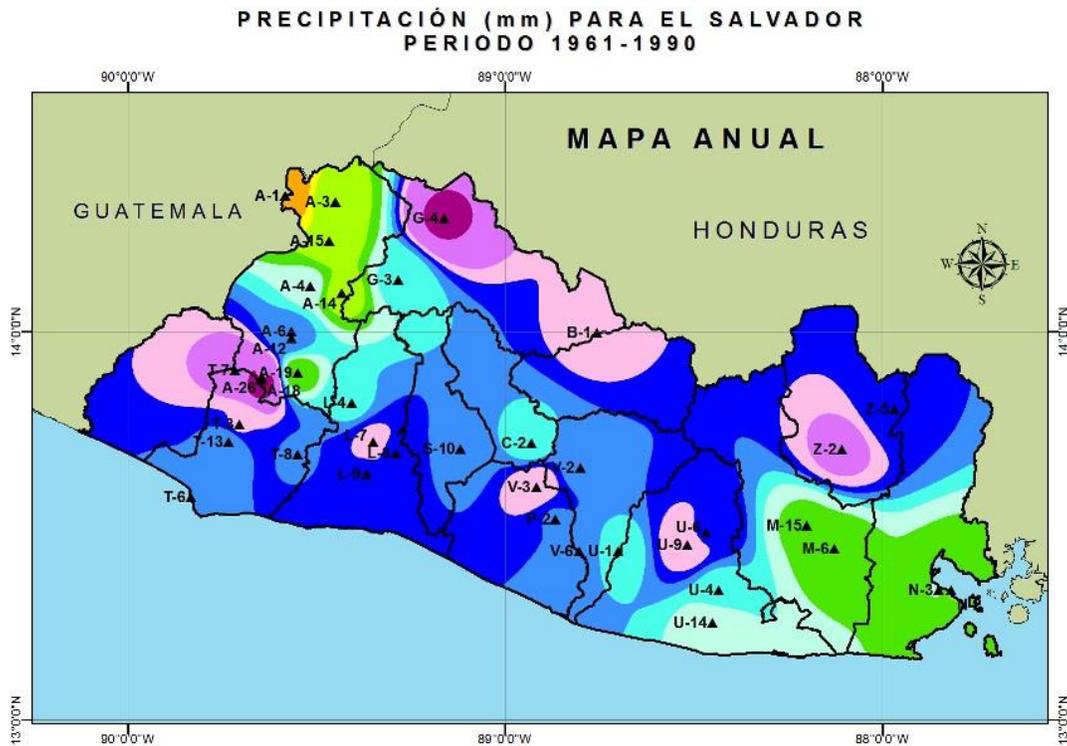
b) Precipitación

En el caso de la precipitación, la distribución de sus valores es proporcional al forzamiento orográfico en El Salvador, en coherencia con la Figura 2. Espacialmente en los primeros cuatro meses del año se da un periodo prácticamente seco, con valores que no superan los 75mm mensuales y siendo el sur y el oriente del país las regiones con los menores valores. Entre Mayo y Octubre se presenta la temporada de lluvias en El Salvador, con valores mensuales superiores a los 100mm en todo El Salvador, y en el norte del mismo con valores mayores a los 200mm.

En esta temporada los meses de mayores precipitaciones son Junio y Septiembre, con valores entre 200 y 500mm para todo el país, mientras que en Julio y Agosto se evidencia la Sequía de Medio Verano, ya que en estos meses se presentan los mínimos relativos de la temporada de lluvias, con valores de precipitación entre 100 y 300mm en la mayor parte del país y apenas en algunas zonas puntuales del occidente de El Salvador ésta alcanza a superar los 400 milímetros. Así mismo, en los meses de Noviembre y Diciembre vuelve a ser una temporada seca, con valores que no alcanzan los 100mm mensuales (ver Anexo I-

A).

A nivel anual, el noroccidente y el suroriente del país presentan valores relativamente bajos de precipitación (entre 1000 y 1500mm al año). En la parte central del territorio nacional las precipitaciones no alcanzan los 1800mm anuales, mientras que el norte y el sur occidente son las zonas con mayores precipitaciones, con valores que superan los 2000mm anuales (ver Figura 6).



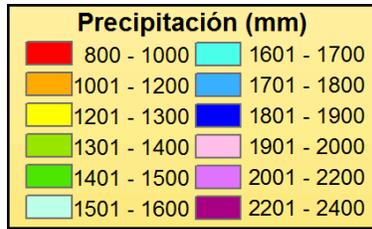


Figura 6. Distribución espacial de la precipitación en El Salvador. Periodo de datos 1961-1990.

c) Humedad Relativa

Los valores de la Humedad Relativa oscilan entre 50-90% a lo largo del año. Los meses más húmedos se dan entre Mayo y Octubre. Como es de esperarse, entre estos meses se encuentran los que corresponden a la temporada de lluvias. De Junio a Octubre se presentan los mayores valores, los cuales son superiores al 75% en todo el territorio nacional. En la temporada seca, la Humedad Relativa oscila entre el 50-70%, siendo Febrero y Marzo los meses con menores valores (ver Anexo I-E). El promedio anual de esta variable oscila entre el 65-85%, siendo el suroccidente del país la zona más húmeda, con valores superiores al 80% y la zona más seca una región en el oriente de El Salvador, con valores del orden del 65% (ver Figura 7).



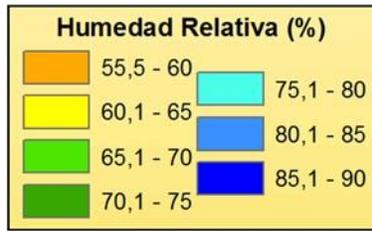


Figura 7. Distribución espacial de la Humedad Relativa en El Salvador. Periodo de datos 1961-1990.

d) Presión Atmosférica en superficie

La presión atmosférica en superficie en El Salvador presenta pocas variaciones a lo largo del año. Esta variable presenta valores entre 960 y 1020 hPa en la parte costera (sur del país), mientras que en la zona central ésta oscila entre los 930 y los 940 hPa. La parte norte del país posee valores entre 940 y 950 hPa, desplazándose levemente hacia el centro de El Salvador en los meses de Abril-Mayo y Septiembre-Octubre (ver Anexo I-F). A nivel anual se mantienen estos mismos valores, siendo los más altos en la parte costera del país y los bajos hacia el centro y norte del mismo (ver Figura 8).

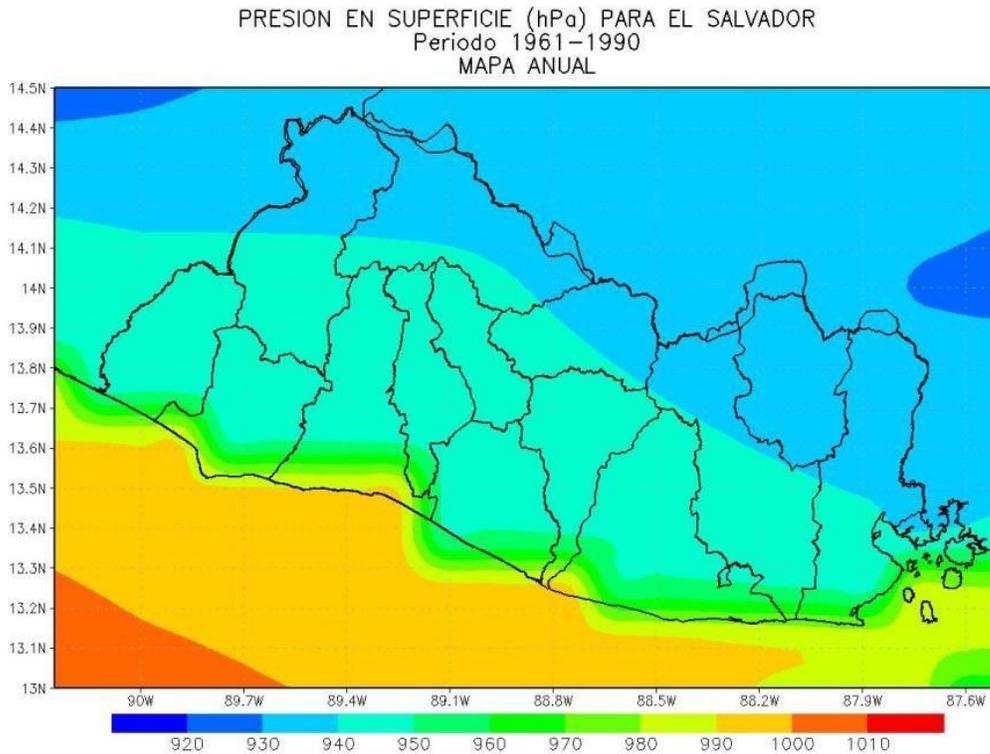


Figura 8. Distribución espacial de la Presión Atmosférica en Superficie en El Salvador. Periodo de datos 1961-1990.

e) Dirección y Velocidad del Viento en Superficie

El viento en superficie en El Salvador proviene principalmente del noreste. A principios de año, éste presenta una dirección casi totalmente norte; entre Marzo y Mayo posee una dirección noreste, pasando a ser prácticamente de dirección este en Junio. Desde Julio y hasta Septiembre vuelve a tener dirección Noreste, y en el último trimestre vuelve a presentar una dirección norte (ver Anexo I-G).

Por otra parte, la velocidad del viento en superficie presenta valores de 1 a 6 m/s (3,6 a 21,6 km/h), presentándose los mayores valores en Diciembre, Enero y Febrero en el este de la costa Pacífica del país. De Marzo a Junio los valores oscilan entre 1 y 3 m/s (3,6 a 10,8 km/h); En Julio y Agosto en la parte continental el viento mantiene valores entre 2 y 4 m/s, mientras que la zona costera presenta valores entre 4 y 5 m/s (14,4 a 18 km/h). Finalmente, entre Agosto y Noviembre los valores de la velocidad del viento vuelven a presentar valores de 2 a 4 m/s (7,2 a 14,4 km/h) (ver Anexo I-G). A nivel anual la velocidad promedio varía entre los 2 y 5 m/s (7,2 a 18 km/h), presentando una dirección noreste en casi todo el territorio nacional (ver Figura 9).

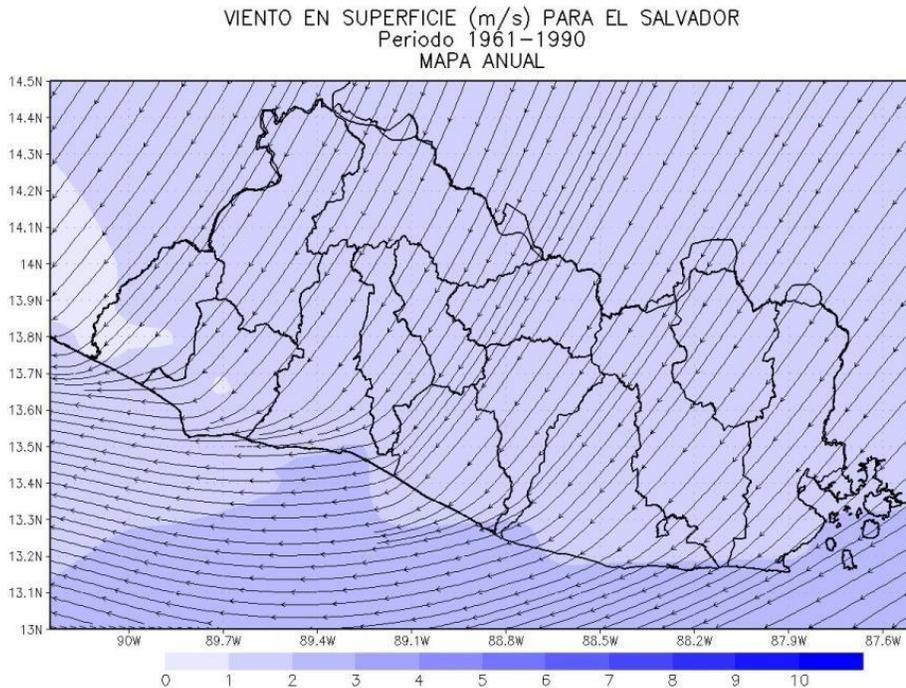


Figura 9. Distribución espacial del Viento en Superficie en El Salvador. Periodo de datos 1961-1990.

f) Cambios y eventos extremos

Los cambios de la variabilidad climática están cada vez más asociados al cambio climático, ya sea de manera directa o indirectamente. Tan solo la Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (PCN) de El Salvador (MAG, 2000) ya indicaba la existencia de una tendencia estadísticamente significativa hacia el incremento de los valores de temperatura, que en términos medios indica un calentamiento del orden de los 1.2 °C. Lo anterior, resulta cónsono con lo indicado por Aguilar et., Al (2005) en términos de que la región centroamericana en su conjunto, que incluye a El Salvador, presenta una tendencia marcada hacia mayores días y noches más cálidos, implicado a su vez menos noches frescas (ver Figura 10).

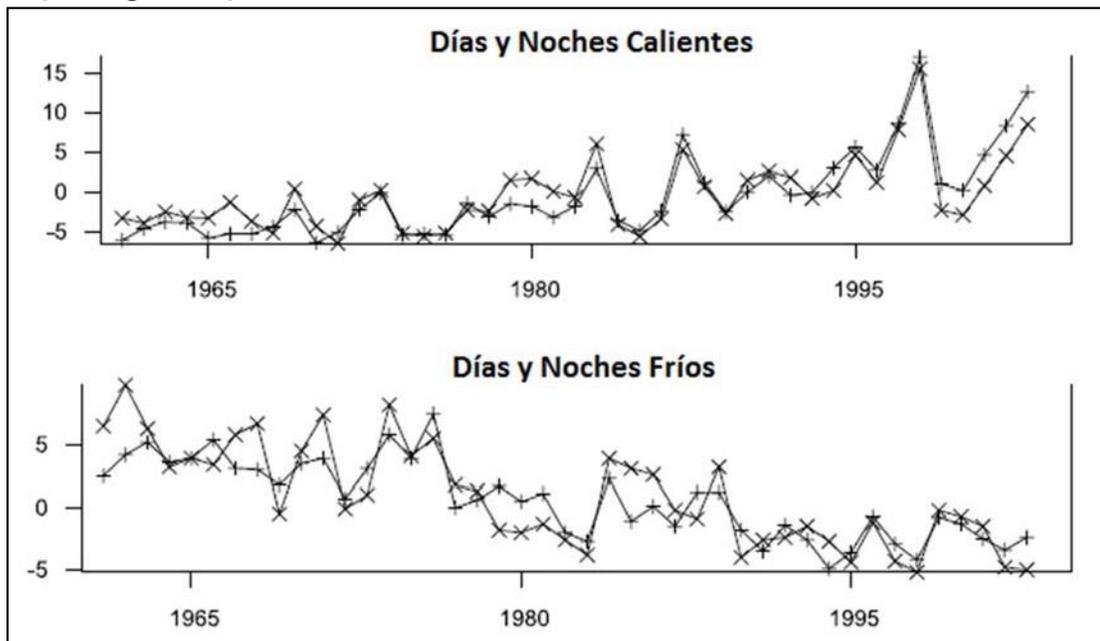


Figura 10. Anomalías del porcentaje anual del número de días y noches cálidos/fríos, para el periodo 1961-2003. Tomado de Aguilar., et., al., (2003).

Para la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático (SCN) (MARN, 2013), se indica que el régimen anual de la lluvia tanto espacial como temporalmente, muestra alteraciones en las últimas décadas, asociándolo a desastres ya sea ante la falta o exceso de precipitación. Particularmente se indica que los años 2005 y 2010 han sido los más lluviosos entre el período 1971-2010, y donde además se menciona ocurrencia de un calentamiento en el agua superficial del mar en el Atlántico Tropical Norte con los valores más altos registrados en los últimos 150 años (siendo el más cálido el año 2010) y, con ello, las temporadas de huracanes en esa región han sido extraordinarias en intensidad y cantidad.

Por el otro lado, MARN (2013) también indica que las ocurrencias de periodos de sequías está aumentando, donde los años 1994, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2007, 2010 y 2012, son una muestra de ello.

Es por ello que Aguilar et. Al, (2007) indica que el territorio es uno de los más vulnerables del país a los eventos climáticos extremos, debido a las sequías e inundaciones frecuentes. En el caso de las sequías, éstas se presentan anualmente o asociadas a las condiciones del evento El Niño.

Para el caso de las precipitaciones, existe una clara tendencia a mayores ocurrencias de eventos extremos, no importando su sitio de génesis. Lo anterior, representa un reto adicional para la atención y respuesta ante las emergencias asociadas a inundaciones por eventos hidroclimáticos.

De hecho, la SCN evidencia una clara tendencia a mayores eventos extremos en la última década, considerando el caso de la estación Ilopango (Figura 11), y donde además se relaciona con los eventos de La Niña y La Niña.

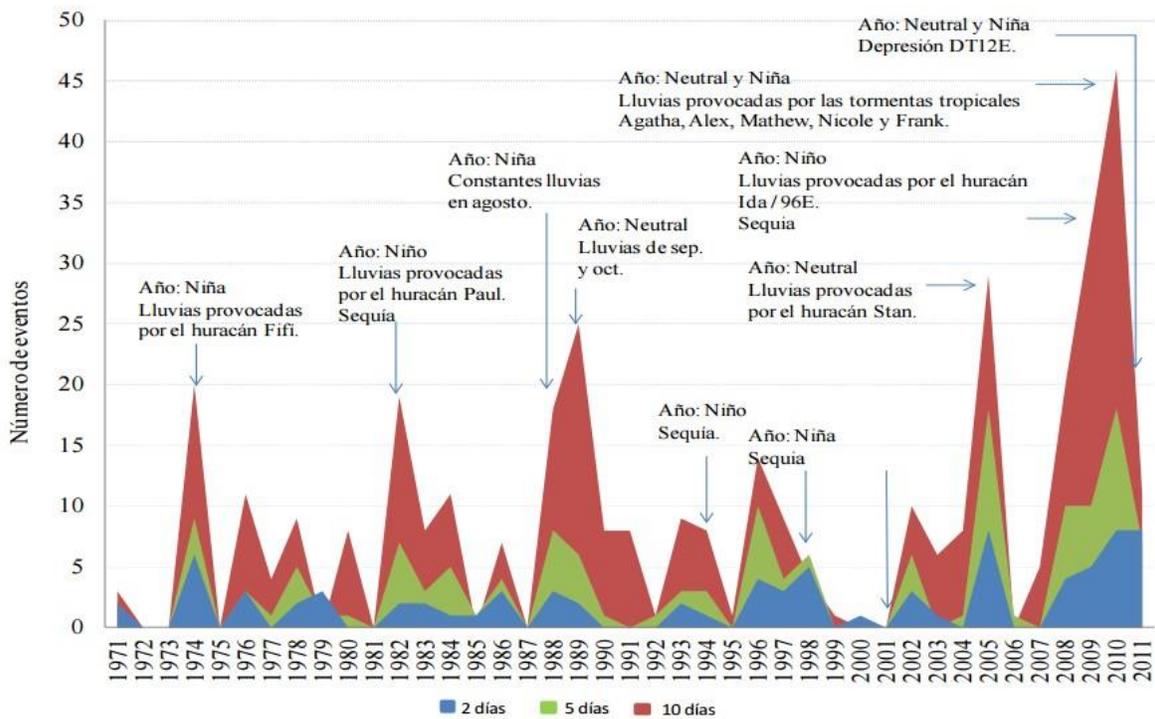


Figura 11. Número de Eventos que sobrepasan el umbral de 100 mm acumulados en a) dos días (área azul), b) cinco días y c) 10 días (área en rojo) de lluvias en la estación Ilopango, en El Salvador, durante el periodo 1971-2011. Tomado de MARN, (2013).

METODOLOGÍA

SELECCIÓN DE LOS MODELOS DEL PROYECTO CMIP5

Los Modelos de Circulación General (GCM por su sigla en inglés), son una representación numérica tridimensional de la dinámica atmosférica, y por lo tanto de la circulación general alrededor del planeta. Estos modelos buscan representar procesos físicos en la atmósfera, los océanos, la criósfera y en la superficie terrestre, y en la actualidad son la herramienta disponible más avanzada que se tiene para simular la respuesta futura del sistema climático global a los aumentos en los gases efecto invernadero (IPCC, 2013).

Para la selección de los modelos a utilizar para los escenarios de Cambio Climático para El Salvador, se realizó el inventario de los GCM disponibles en la base de datos del proyecto CMIP5, y se descargaron los datos mensuales existentes para las variables: precipitación, temperaturas (media, máxima y mínima), humedad relativa, presión y dirección y velocidad del viento. Se descargaron los datos de los modelos para los que existiesen datos tanto para el periodo histórico 1961-2005 como para los RCP en el periodo futuro 2011-2100, de las variables mencionadas anteriormente. Con este criterio, se tomaron los datos de 15 modelos (Tabla 1).

Además, del conjunto total de modelos del CMIP5 se evaluaron 42 modelos en el proyecto de generación de los escenarios de Cambio Climático para Colombia, dentro de la Tercera Comunicación Nacional de ese país (IDEAM et. al., 2015), y se encontró que, al analizar las variables mencionadas anteriormente, en comparación con los datos observados y/o de diversos reanálisis (ERA40, CRU, CFSR, entre otros), los modelos que mejor representan las condiciones climáticas para Colombia, Ecuador y gran parte de la región tropical de Centro y Suramérica son los 15 modelos seleccionados que se utilizaron en esta evaluación.

Tabla 1. Listado de Modelos de Circulación Global disponibles para la elaboración de escenarios de clima futuros.

Modelo	Institución	Resolución (º de arco²)
bcc-csm1-1-m	BCC – Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	2.8125x2.7906
CCSM4	NCAR – National Center for Atmospheric Research	1.25x0.9424
CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO-QCCCE – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence	1.875x1.8653
FIO-ESM	FIO – The First Institute of Oceanography, SOA, China	2.81x2.77
GFDL-CM3	NOAA-GFDL – NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	2.5x2
GISS-E2-H	NASA-GISS – NASA Goddard Institute for Space Studies	2.5x2
GISS-E2-R	NASA-GISS – NASA Goddard Institute for Space Studies	2.5x2
HadGEM2-AO	Met Office Hadley Centre	1.88x1.25
IPSL-CM5A-LR	IPSL - Institut Pierre-Simon Laplace	3.75x1.8947
IPSL-CM5A-MR	IPSL - Institut Pierre-Simon Laplace	2.5x2.5352
MIROC5	MIROC – Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	1.40625x1.4008
MIROC-ESM-CHEM	MIROC – Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	2.8125x2.7906
MIROC-ESM	MIROC – Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	2.8125x2.7906
MRI-CGCM3	MRI – Meteorological Research Institute	1.125x1.12148
NorESM1-ME	NCC – Norwegian Climate Centre	2.5x1.8947

REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN OBSERVADA DISPONIBLE

Tanto para el proceso de reducción de escala estadística como para la validación de los resultados obtenidos son necesarios datos observados. Éstos se definen como los valores de las variables meteorológicas registrados por las estaciones del mismo tipo durante determinados intervalos de tiempo. Para los estudios climáticos y de cambio climático, comúnmente se suele trabajar con datos a escala mensual, y se requiere de al menos 30 años con series completas de información.

²Un grado de arco equivale aproximadamente a 111 kilómetros.

En lo concerniente a la revisión de los datos observados entregados por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el Servicio Meteorológico Nacional de El Salvador a mediados de febrero de 2017, se realizó la revisión para el periodo de referencia definido por ellos (1961-1990). Para cada variable, se hizo la revisión de las estaciones que tuviesen datos mensuales suficientes (con al menos el 85% de la información) y confiable (después del proceso de revisión de homogeneidad y control de calidad de las series) para este periodo. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada variable.

a) Precipitación

La información entregada para esta variable corresponde a 124 estaciones, de las cuales, tras el proceso de revisión, únicamente 39 cuentan con información suficiente y confiable para el periodo 1961-1990 (Figura 12 y

Tabla 2).

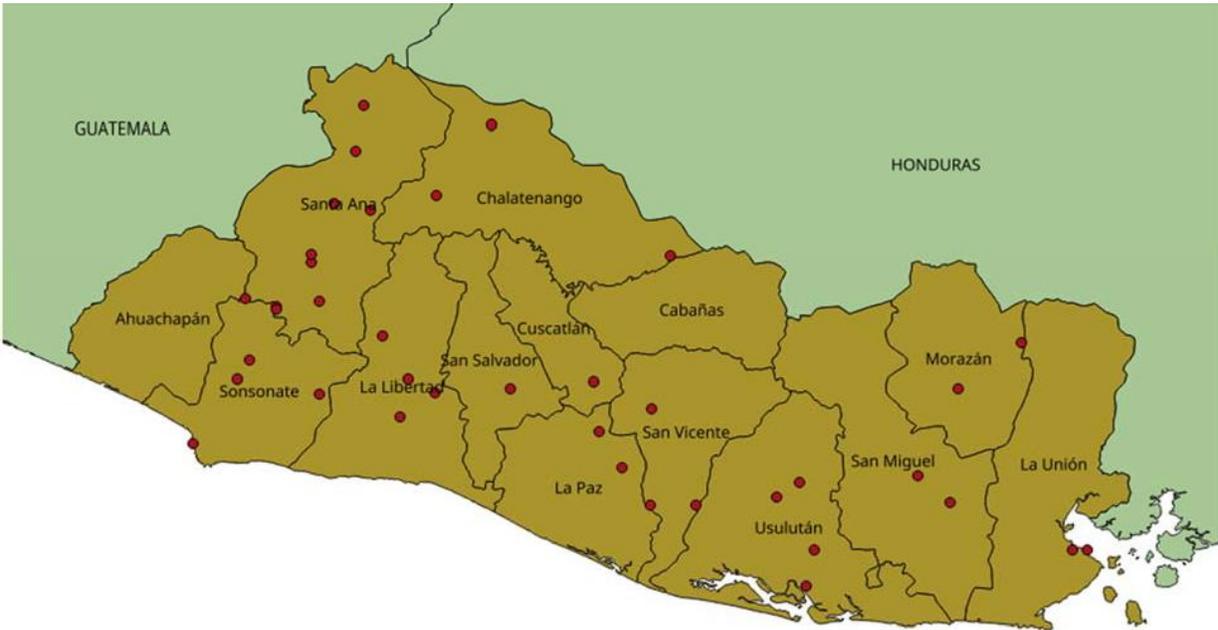


Figura 12. Distribución espacial de las estaciones con datos suficientes y confiables para Precipitación en el periodo 1961-1990.

Tabla 2. Listado de estaciones meteorológicas en El Salvador, con datos suficientes y confiables para la variable de Precipitación, considerando el periodo 1961-1990.

Estación	Nombre	Departamento	Latitud	Longitud	Elevación
A-1	SAN JERONIMO	SANTA ANA	14,350	-89,583	490
A-12	SANTA ANA EL PALMAR	SANTA ANA	13,983	-89,567	725
A-14	GUARNECIA	SANTA ANA	14,100	-89,433	310
A-15	GUIJA	SANTA ANA	14,233	-89,467	485
A-18	LOS ANDES	SANTA ANA	13,883	-89,645	1770
A-19	COATEPEQUE	SANTA ANA	13,893	-89,550	780
A-26	FINCA PLAN DEL HOYO	SANTA ANA	13,877	-89,647	1765
A-3	METAPAN FICA	SANTA ANA	14,333	-89,450	480
A-4	TEXIS JUCTION	SANTA ANA	14,117	-89,517	400
A-6	SANTA ANA SANTA LUCIA	SANTA ANA	14,000	-89,567	640
B-1	CHORRERA DEL GUAYABO	CABAÑAS	13,997	-88,757	190
C-2	COJUTEPEQUE	CUSCATLAN	13,713	-88,930	810
G-3	NUEVA CONCEPCION	CHALATENANGO	14,133	-89,283	320
G-4	LA PALMA	CHALATENANGO	14,292	-89,162	1000
L-4	SAN ANDRES	LA LIBERTAD	13,817	-89,407	460
L-7	COLON - CASA BLANCA	LA LIBERTAD	13,717	-89,350	650
L-8	SANTA TECLA	LA LIBERTAD	13,687	-89,288	965
L-9	COMASAGUA	LA LIBERTAD	13,633	-89,367	1010
M-15	BENEFICIO EL SITIO	SAN MIGUEL	13,500	-88,200	140
M-6	EL PAPALON	SAN MIGUEL	13,440	-88,127	80
N-2	CUTUCO FICA	LA UNION	13,333	-87,817	5
N-3	LA UNION FICA	LA UNION	13,333	-87,850	20
P-2	ZACATECOLUCA	LA PAZ	13,517	-88,867	190
S-10	ILOPANGO	SAN SALVADOR	13,698	-89,118	615
T-13	SONSONATE CLES	SONSONATE	13,717	-89,733	220
T-3	IZALCO	SONSONATE	13,762	-89,705	390
T-6	ACAJUTLA	SONSONATE	13,573	-89,833	15
T-7	CUCUMACAYAN	SONSONATE	13,900	-89,717	380
T-8	FINCA EL TRIUNFO	SONSONATE	13,683	-89,550	560
U-1	SAN MARCOS LEMPA	USULUTAN	13,433	-88,700	20
U-14	PUERTO PARADA	USULUTAN	13,250	-88,450	2
U-4	USULUTAN - FICA	USULUTAN	13,333	-88,433	75
U-6	SANTIAGO DE MARIA	USULUTAN	13,483	-88,467	920
U-9	FINCA SANTMA. TRINIDAD	USULUTAN	13,450	-88,517	618
V-2	SAN VICENTE FICA	SAN VICENTE	13,650	-88,800	440
V-3	SAN JACINTO	SAN VICENTE	13,600	-88,917	840
V-6	SANTA CRUZ PORRILLO	SAN VICENTE	13,433	-88,803	30
Z-2	SAN FRANCISCO GOTERA	MORAZAN	13,697	-88,107	250
Z-5	CORINTO	MORAZAN	13,800	-87,967	820

b) Temperatura Media

La información entregada para esta variable corresponde a 55 estaciones, de las cuales únicamente 10 cuentan con información confiable y suficiente (Figura 13 y Tabla 3).

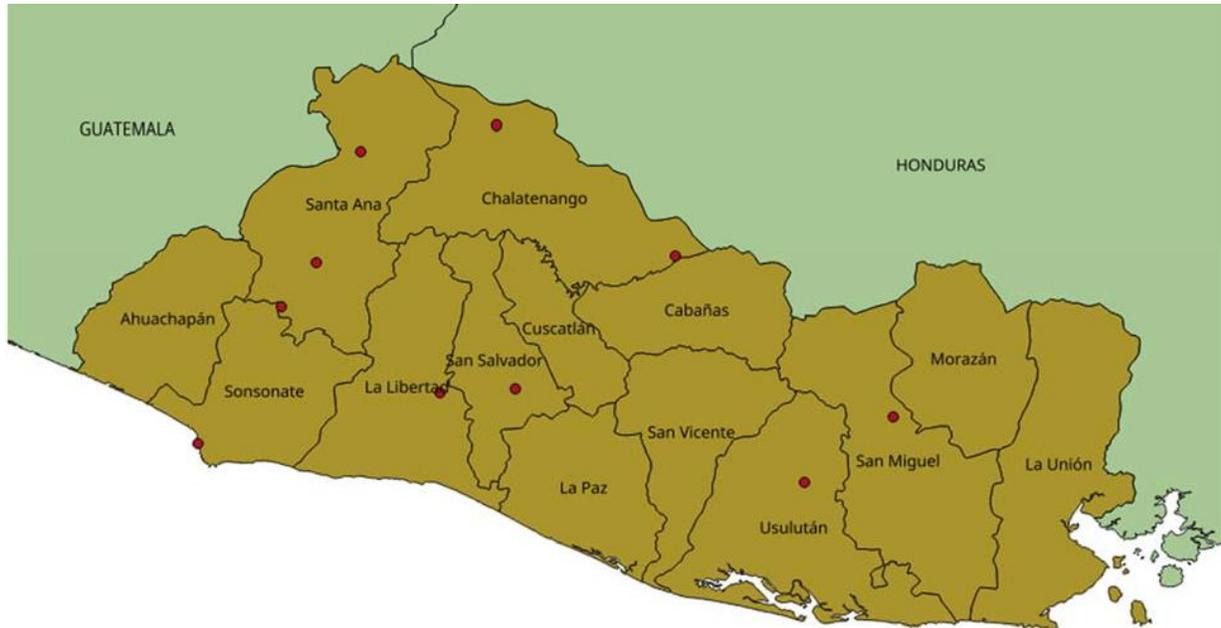


Figura 13. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de la Temperatura Media, considerando el periodo 1961-1990.

Tabla 3. Listado de estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de Temperatura Media, considerando el periodo 1961-1990.

Estación	Nombre	Departamento	Latitud	Longitud	Elevación
A-12	SANTA ANA EL PALMAR	SANTA ANA	13,983	-89,567	725
A-15	GUIJA	SANTA ANA	14,233	-89,467	485
A-18	LOS ANDES	SANTA ANA	13,883	-89,645	1770
B-1	CHORRERA DEL GUAYABO	CABAÑAS	13,997	-88,757	190
G-4	LA PALMA	CHALATENANGO	14,292	-89,162	1000
L-8	SANTA TECLA	LA LIBERTAD	13,687	-89,288	965
M-6	EL PAPALÓN	SAN MIGUEL	13,633	-88,267	190
S-10	ILOPANGO	SAN SALVADOR	13,698	-89,118	615
T-6	ACAJUTLA	SONSONATE	13,573	-89,833	15
U-6	SANTIAGO DE MARIA	USULUTAN	13,483	-88,467	920

c) Temperatura Máxima

La información entregada para esta variable corresponde a 55 estaciones, de las cuales solamente 10 cuentan con información confiable y suficiente para el periodo 1961-1990 (Figura 14 y Tabla 4).

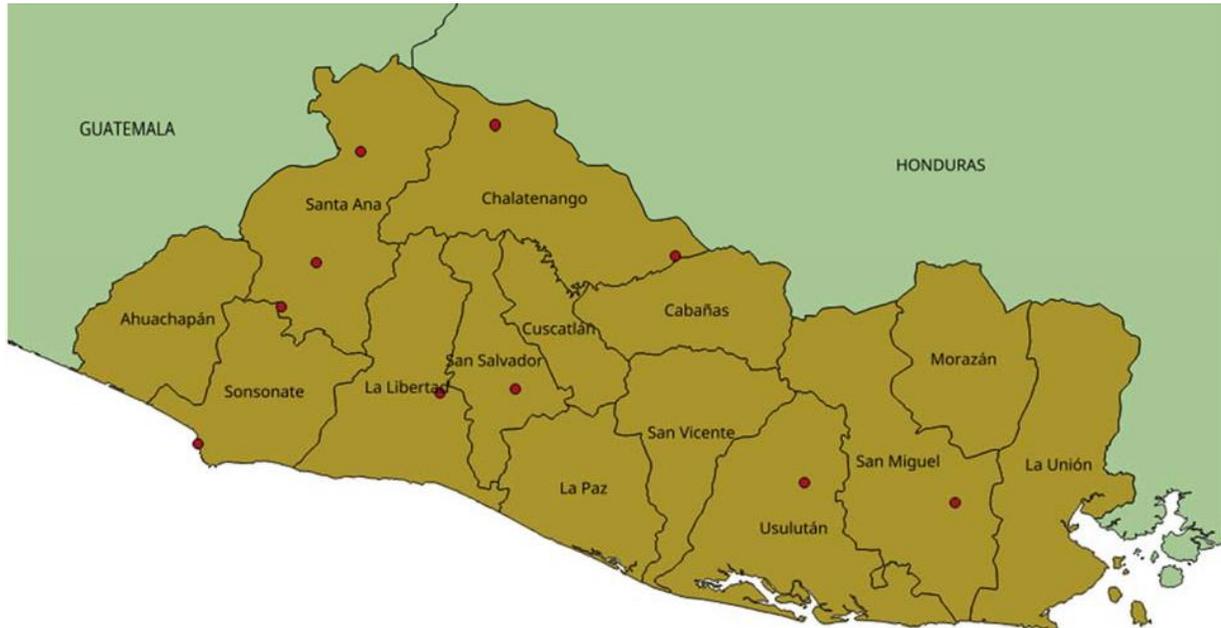


Figura 14. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de Temperatura Máxima, considerando el periodo 1961-1990.

Tabla 4. Listado de estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de Temperatura Máxima, considerando el periodo 1961-1990.

Estación	Nombre	Departamento	Latitud	Longitud	Elevación
A-12	SANTA ANA EL PALMAR	SANTA ANA	13,983	-89,567	725
A-15	GUIJA	SANTA ANA	14,233	-89,467	485
A-18	LOS ANDES	SANTA ANA	13,883	-89,645	1770
B-1	CHORRERA DEL GUAYABO	CABAÑAS	13,997	-88,757	190
G-4	LA PALMA	CHALATENANGO	14,292	-89,162	1000
L-8	SANTA TECLA	LA LIBERTAD	13,687	-89,288	965
M-6	EL PAPALON	SAN MIGUEL	13,440	-88,127	80
S-10	ILOPANGO	SAN SALVADOR	13,698	-89,118	615
T-6	ACAJUTLA	SONSONATE	13,573	-89,833	15
U-6	SANTIAGO DE MARIA	USULUTAN	13,483	-88,467	920

d) Temperatura Mínima

La información entregada para esta variable corresponde a 55 estaciones, de las cuales, para 1961-1990, solamente 9 cuentan con información confiable y suficiente (Figura 15 y Tabla 5).



Figura 15. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de Temperatura Mínima, considerando el periodo 1961-1990.

Tabla 5. Listado de las estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de la Temperatura Mínima, considerando el periodo 1961-1990.

Estación	Nombre	Departamento	Latitud	Longitud	Elevación
A-12	SANTA ANA EL PALMAR	SANTA ANA	13,983	-89,567	725
A-15	GUIJA	SANTA ANA	14,233	-89,467	485
A-18	LOS ANDES	SANTA ANA	13,883	-89,645	1770
G-4	LA PALMA	CHALATENANGO	14,292	-89,162	1000
L-8	SANTA TECLA	LA LIBERTAD	13,687	-89,288	965
M-6	EL PAPALON	SAN MIGUEL	13,440	-88,127	80
S-10	ILOPANGO	SAN SALVADOR	13,698	-89,118	615
T-6	ACAJUTLA	SONSONATE	13,573	-89,833	15
U-6	SANTIAGO DE MARIA	USULUTAN	13,483	-88,467	920

e) Humedad Relativa

La información entregada para esta variable corresponde a 56 estaciones, de las cuales solamente 9 cuentan con información para el periodo 1961-1990 (Figura 16 y Tabla 6).



Figura 16. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de Humedad Relativa, considerando el periodo 1961-1990.

Tabla 6. Listado de estaciones meteorológicas con datos suficientes y confiables para la variable de Humedad Relativa, considerando el periodo 1961-1990.

Estación	Nombre	Departamento	Latitud	Longitud	Elevación
A-12	SANTA ANA EL PALMAR	SANTA ANA	13,983	-89,567	725
A-15	GUIJA	SANTA ANA	14,233	-89,467	485
A-18	LOS ANDES	SANTA ANA	13,883	-89,645	1770
B-1	CHORRERA DEL GUAYABO	CABAÑAS	13,997	-88,757	190
L-8	SANTA TECLA	LA LIBERTAD	13,687	-89,288	965
M-6	EL PAPALON	SAN MIGUEL	13,440	-88,127	80
S-10	ILOPANGO	SAN SALVADOR	13,698	-89,118	615
T-6	ACAJUTLA	SONSONATE	13,573	-89,833	15
U-6	SANTIAGO DE MARIA	USULUTAN	13,483	-88,467	920

f) Viento y Presión

Para Presión Atmosférica en Superficie y Dirección y Velocidad del Viento, debido a la muy poca información mensual observada que se tiene de estas variables para el periodo de referencia, se trabajó con los datos del reanálisis ERA-20CM. Este reanálisis fue realizado por el *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), y posee información de reanálisis desde el año 1900 hasta 2010 para múltiples variables climáticas, a una resolución temporal diaria y mensual y una resolución espacial de 0.125° de arco (aproximadamente 15Km). Para El Salvador, se trabajó con la información mensual del periodo 1961-1990 para los 117 puntos del reanálisis que abarcan al país (Figura 17).



Figura 17. Distribución de los puntos del Reanálisis ERA-20CM con datos para el periodo 1961-1990.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS MODELOS GLOBALES PARA EL SALVADOR

Tomando los datos mensuales observados en el periodo 1961-1990 para las variables meteorológicas de interés que son Precipitación, Temperaturas Media, Máxima y Mínima y Humedad Relativa, y los datos mensuales de los 14 modelos a utilizar³ (Tabla 1) para las

³ Para el modelo FIO-ESM no existen datos mensuales de Humedad Relativa para los escenarios RCP, por lo tanto, este modelo se descartó en la evaluación.

mismas estaciones, las mismas variables e igual periodo de referencia, se realizó la revisión de las series originales de los modelos.

Con los datos mensuales de los modelos globales en el periodo de referencia 1961-1990 para las 5 variables mencionadas anteriormente, se realizó la evaluación del comportamiento de las mismas, comparándolas con los datos mensuales observados de estaciones para el mismo periodo, y con base en tres métricas:

- Correlación (Indica la fuerza y la dirección de una relación lineal y de proporcionalidad entre dos variables estadísticas. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra)

$$c = \frac{\sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f}) \times (O_n - \bar{O})}{\left[\sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})^2 \times \sum_{n=1}^N (O_n - \bar{O})^2 \right]^{1/2}}$$

- BIAS (Sesgo. Es una medida de exactitud. Mide la diferencia entre el valor simulado y el valor medido de la variable)

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - O_n)$$

- RMSE (Raíz del Error Cuadrático Medio. Es una medida de desempeño cuantitativa, y consiste en la raíz cuadrada de la sumatoria de los errores cuadráticos. El RMSE amplifica y penaliza con mayor fuerza aquellos errores de mayor magnitud)

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - O_n)^2 \right]^{1/2}$$

Para cada variable climática, se realizó la evaluación de estas métricas a los datos de cada una de las estaciones seleccionadas, y con base en los valores de las métricas, se otorgó una ponderación a cada uno de los 14 modelos seleccionados. De igual forma, se realizó una evaluación promedio para todo el país con base en las métricas y ponderaciones de las estaciones con datos disponibles para cada una de las variables climáticas.

REDUCCIÓN DE ESCALA ESTADÍSTICA

Debido a la resolución que poseen los modelos globales, es necesario realizar un proceso de reducción de escala o downscaling con el fin de obtener series de datos a una resolución espacial adecuada para generar las proyecciones climáticas. Con los datos mensuales observados y de los 5 modelos seleccionados, se realizó el proceso de reducción de escala estadística, aplicando el método de “Corrección del Sesgo” (Pabón, 2011; Walsh, 2011; Walsh y Trainor, 2012). Con esta metodología, en términos generales, se busca reducir la diferencia entre los valores observados y los valores simulados, mediante la aplicación de un factor de ajuste a los datos simulados por los modelos globales, de la siguiente forma:

$$X_{i,j}^* = \alpha_j X_{i,j}^{\text{mod}}$$

Donde $X_{i,j}^*$ es el valor ajustado de la variable X del año i-ésimo y del mes j-ésimo; $X_{i,j}^{\text{mod}}$ es el valor simulado de la variable X del año i-ésimo y del mes j-ésimo, y α_j es el factor de ajuste para el mes j-ésimo, el cual se calcula como:

$$\alpha_j = \frac{X^{\text{obs}}}{X^{\text{mod}}}$$

Siendo X^{obs} : Promedio multianual de la serie de datos observados para el mes j-ésimo; y X^{mod} : Promedio multianual de la serie de datos simulados para el mes j-ésimo.

Para usar esta metodología, se deben tener series observadas con al menos 10 años de datos, con el fin de obtener promedios multianuales aceptables y coherentes con la variabilidad climática de cada estación.

MÉTODO DE ENSAMBLE DE CONFIABILIDAD PONDERADA (REA)

Una vez obtenidos los datos de cada modelo, el siguiente paso es obtener una única serie de proyecciones climáticas, la cual se obtiene a partir del ensamble de los mismos. Existen diversos métodos de ensamble en la literatura científica, que van desde el más básico que consiste en darle la misma ponderación o peso estadístico a cada modelo, hasta métodos que involucran otras variables climáticas y técnicas estadísticas. Para el caso de los escenarios climáticos se seleccionó el método de Ensamble de Confiabilidad Ponderada (REA - *Reliability Ensemble Averaging*) (Giorgi & Mearns, 2001; Tebaldi & Knutti, 2007).

Éste método de ensamble otorga ponderaciones a los modelos de circulación general teniendo en cuenta dos criterios:

- Un criterio de desempeño: Se basa en la capacidad del modelo para reproducir diferentes aspectos del clima presente. En este sentido el modelo que tenga la mejor representación del periodo de referencia tiende a ser el más confiable en las simulaciones de cambio climático.
- Un criterio de convergencia: está basado en los cambios simulados a través de los modelos para un mismo escenario de emisiones, es decir que una mayor convergencia hacia el futuro entre los modelos implica mayor confiabilidad en la señal encontrada.

Este método permite calcular el promedio y el rango de incertidumbre de las proyecciones de cambio climático regionales de diferentes conjuntos de simulaciones de los modelos con base en los dos criterios anteriores (IDEAM, 2015).

En este método, el cambio promedio ΔT es dado por el promedio ponderado de los miembros del ensamble, así:

$$\Delta T = \bar{\Delta T} = \frac{\sum_i R_i \Delta T_i}{\sum_i R_i}$$

Donde R es un factor de fiabilidad de cada modelo, definido así:

$$R_i = [(R_{B,i})^m \times (R_{D,i})^n]^{1/(m+n)}$$

$R_{B,i}$ es el factor que mide la fiabilidad del modelo como una función del sesgo del modelo o del desempeño que tiene con respecto al clima presente, y $R_{D,i}$ es un factor que mide la habilidad del modelo en términos de la distancia del cambio calculado para un modelo dado con respecto al cambio promedio de todos los modelos evaluados, es decir, cuanto mayor sea la distancia menor será la fiabilidad del modelo y viceversa. El criterio de desempeño del método REA se representa con $R_{B,i}$ mientras que el criterio de convergencia se representa con $R_{D,i}$. Los factores m y n corresponden al peso usado para cada criterio.

RESULTADOS

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS MODELOS GLOBALES PARA EL SALVADOR

Tomando los datos mensuales observados en el periodo 1961-1990 para las variables meteorológicas de interés que son Precipitación, Temperaturas Media, Máxima y Mínima y Humedad Relativa, y los datos mensuales de los 14 modelos a utilizar⁴ (Tabla 1) para las mismas estaciones, las mismas variables e igual periodo de referencia, se realizó la revisión de las series originales de los modelos. Esta revisión de sus registros y su comportamiento temporal indica que:

- la mayoría de los modelos considerados para el presente análisis, representan adecuadamente el ciclo interanual, a pesar de la sobrestimación y/o subestimación de los valores de la variable. Lo anterior, es considerado como “normal” como parte del comportamiento en los Modelos de Circulación Global, tomando en cuenta la resolución espacial con la que suelen manejar en el arreglo de los datos.

A manera de ejemplo, se muestran los datos mensuales y el comportamiento interanual para la estación “Santa Ana El Palmar (A-12)” de las variables climáticas: precipitación (Figura 18), temperatura media (Figura 19), temperatura máxima (Figura 20), temperatura mínima (Figura 21) y humedad relativa (Figura 22).

En dichas gráficas, al analizar la climatología de la marcha anual de la precipitación, es posible notar aspectos de mayor detalle. Por ejemplo, la mayoría de los modelos, logra captar el ciclo anual, así como los valores máximos y mínimos de precipitación, destacándose que en la mayoría de los modelos, los valores suelen ser subestimados.

Este comportamiento es similar para los casos de la temperatura (media, mínima y máxima), donde los modelos logran representar su ciclo anual, destacándose que para la temperatura media, la mayoría de los modelos sobreestiman los valores, mientras que para los valores extremos, es decir, temperatura mínima y máxima, los resultados de los modelos suelen estar tanto por encima como por debajo de los valores observados.

⁴Para el modelo FIO-ESM no existen datos mensuales de Humedad Relativa para los escenarios RCP, por lo tanto, este modelo se descartó en la evaluación.

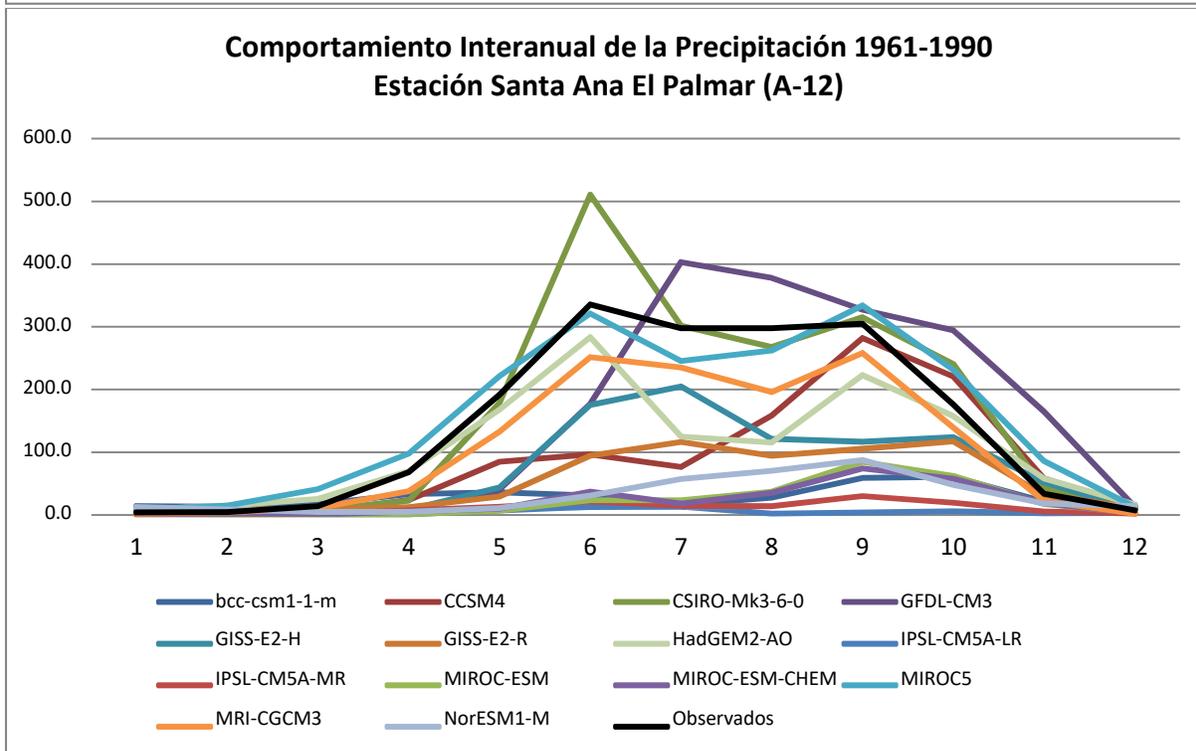
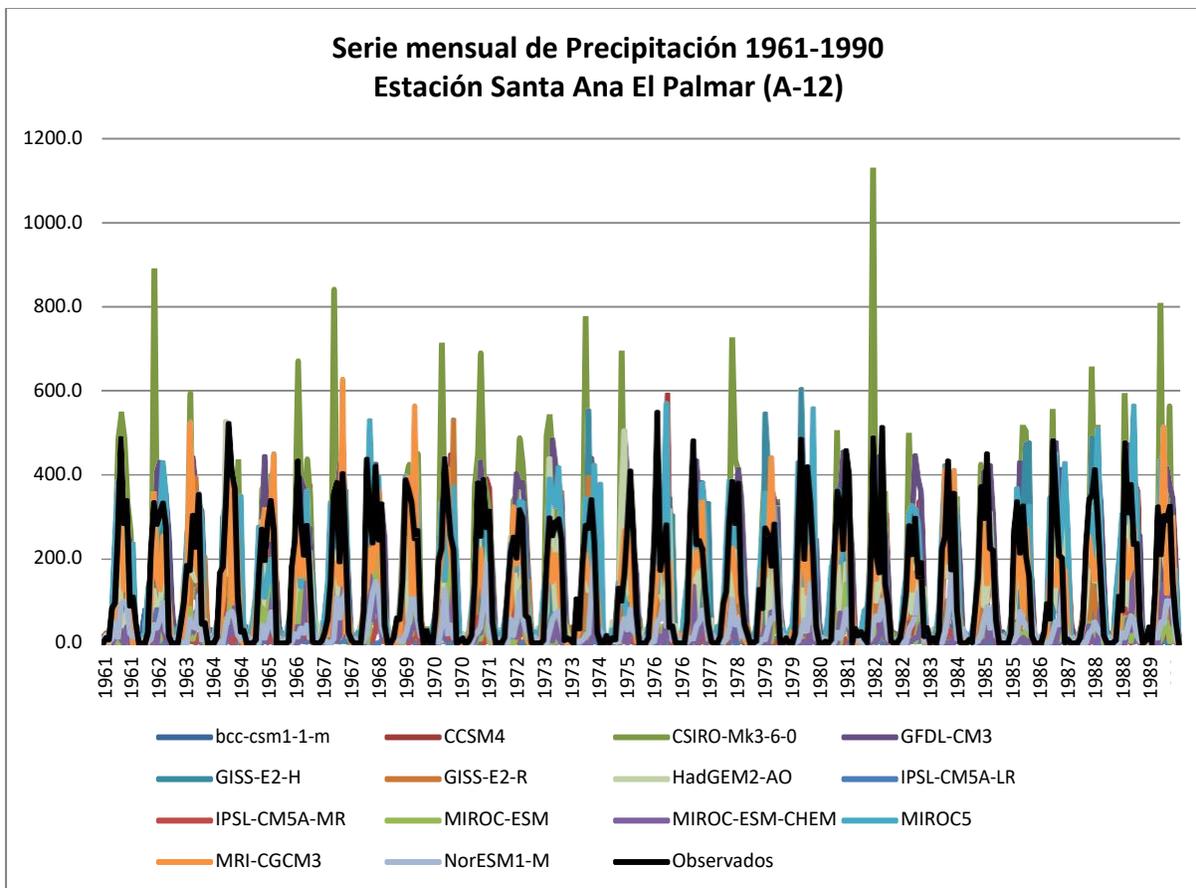


Figura 18. Comportamiento de la precipitación mensual observada y proyectada por los modelos globales para la estación Santa Ana El Palmar (A-12) en el periodo 1961-1990.

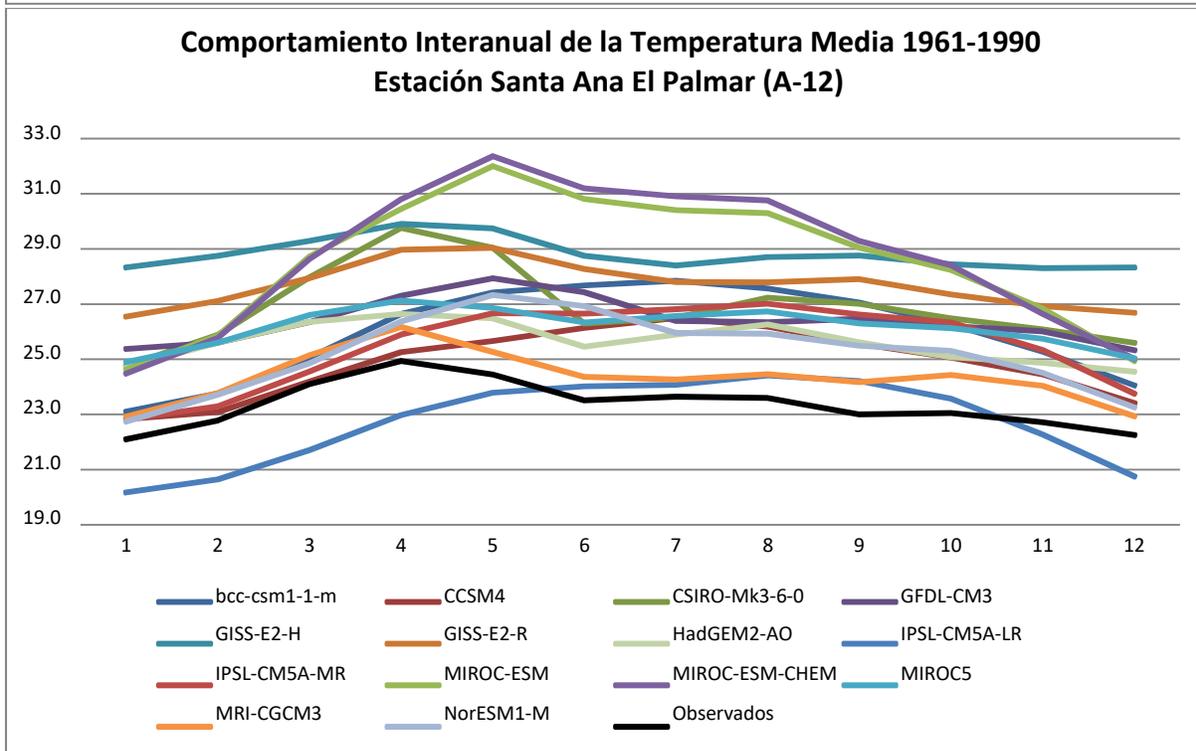
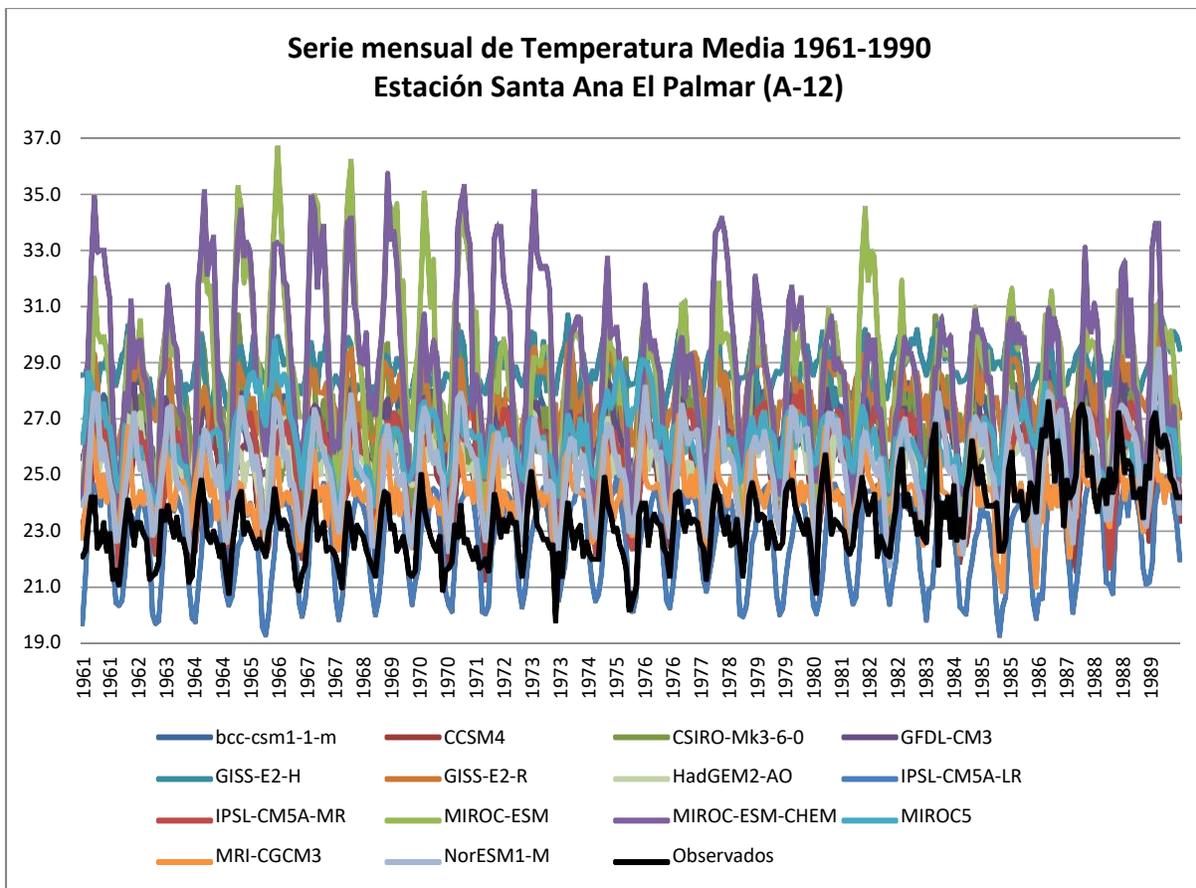
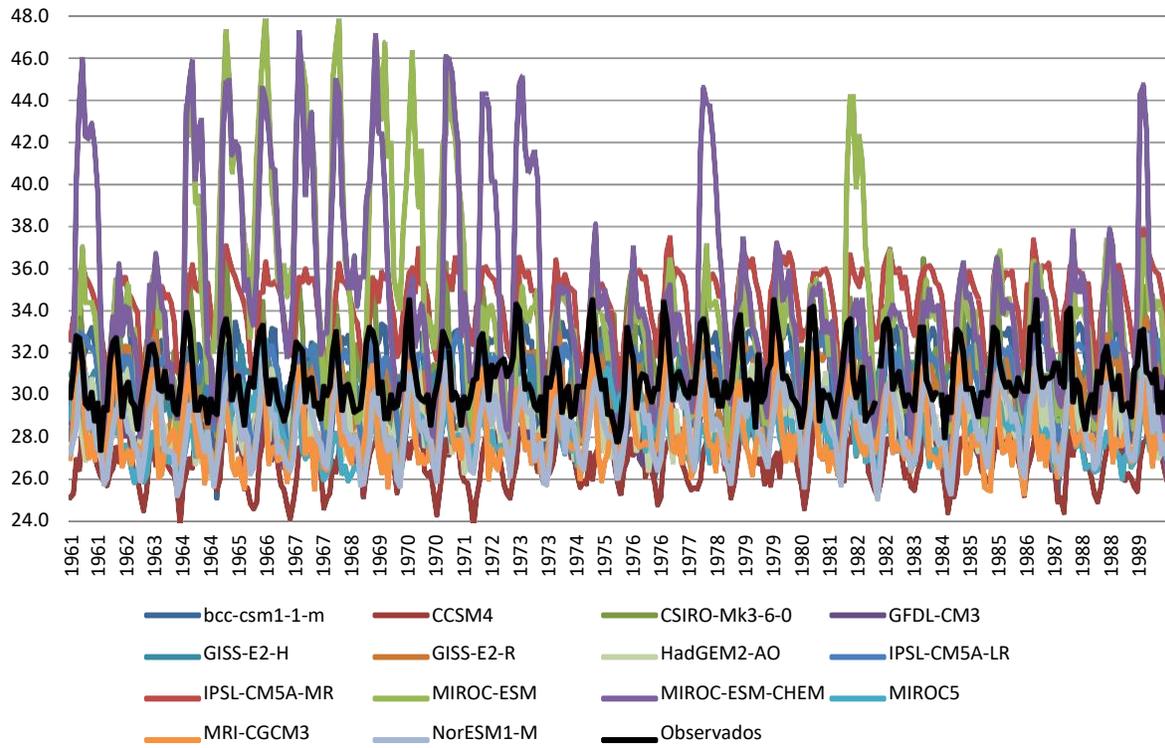


Figura 19. Comportamiento de la temperatura media mensual observada y proyectada por los modelos globales para la estación Santa Ana El Palmar (A-12) en el periodo 1961-1990.

Serie mensual de Temperatura Máxima 1961-1990 Estación Santa Ana El Palmar (A-12)



Comportamiento Interanual de la Temperatura Máxima 1961-1990 Estación Santa Ana El Palmar (A-12)

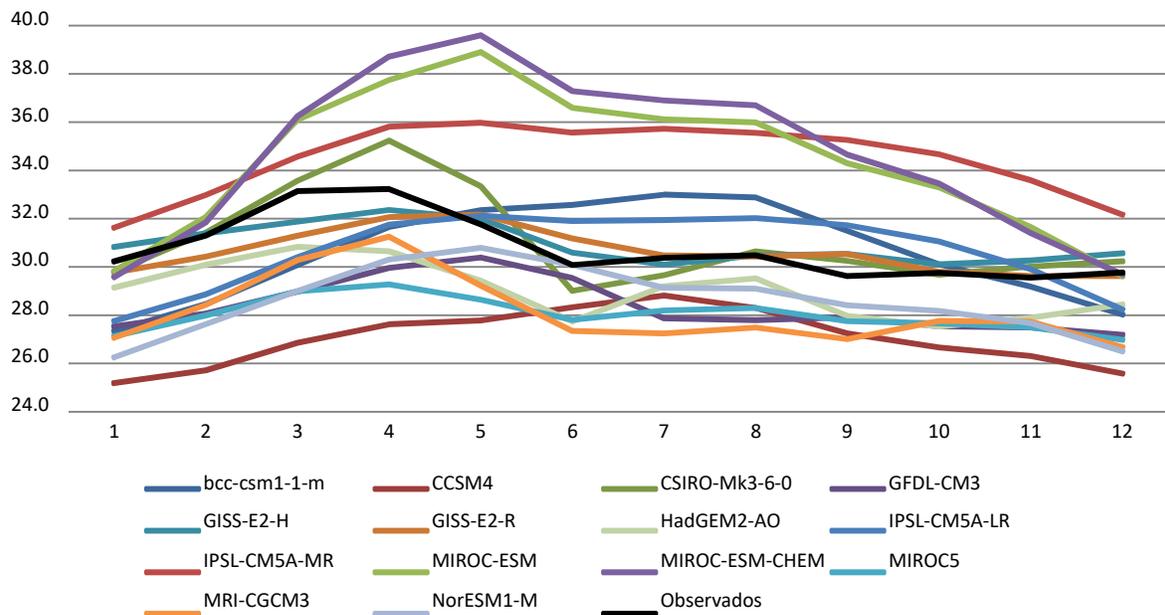
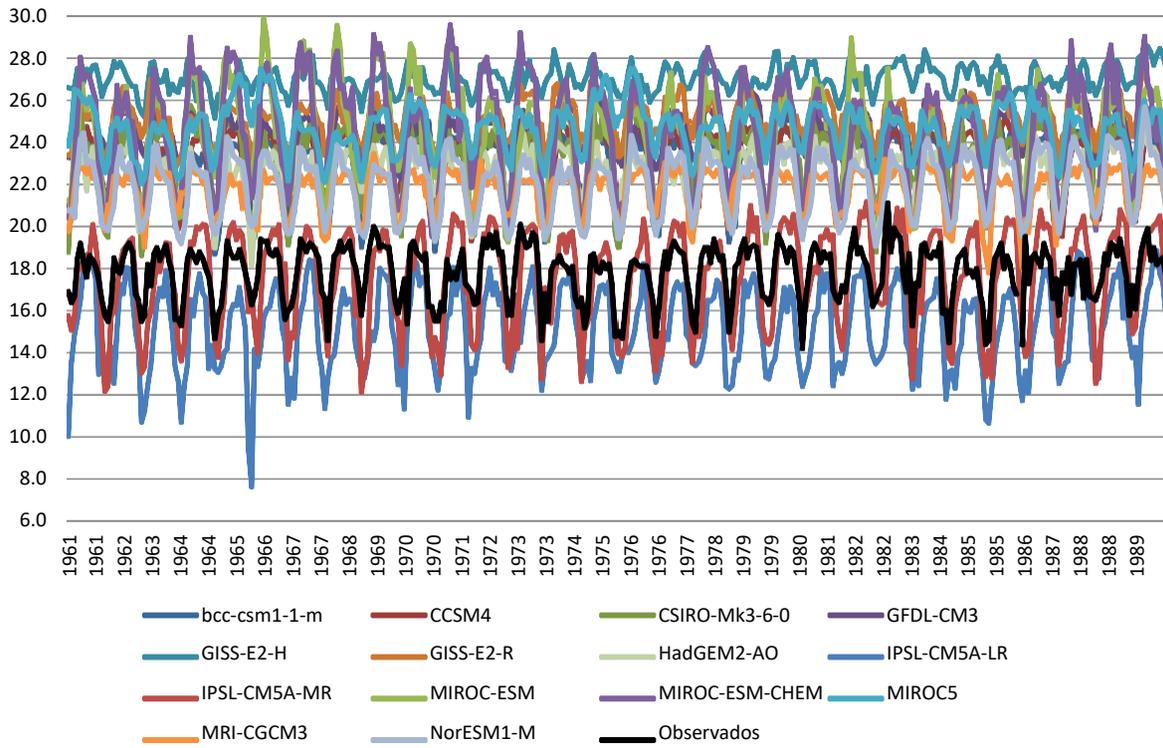


Figura 20. Comportamiento de la temperatura máxima mensual observada y proyectada por los modelos globales para la estación Santa Ana El Palmar (A-12) en el periodo 1961-1990.

**Serie mensual de Temperatura Mínima 1961-1990
Estación Santa Ana El Palmar (A-12)**



**Comportamiento Interanual de la Temperatura Mínima 1961-1990
Estación Santa Ana El Palmar (A-12)**

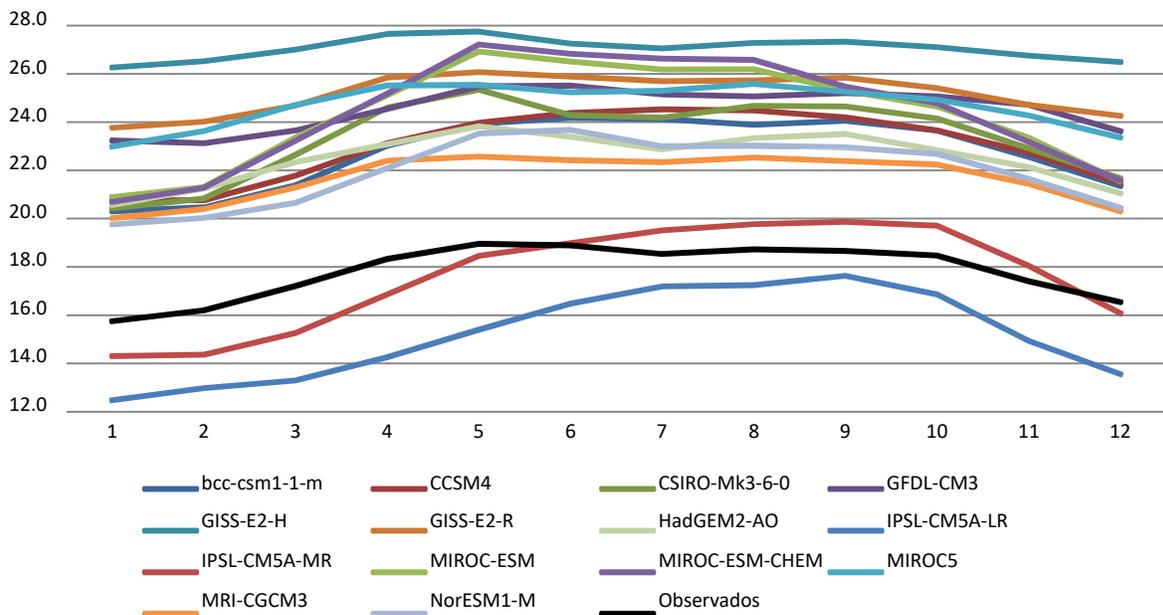


Figura 21. Comportamiento de la temperatura mínima mensual observada y proyectada por los modelos globales para la estación Santa Ana El Palmar (A-12) en el periodo 1961-1990.

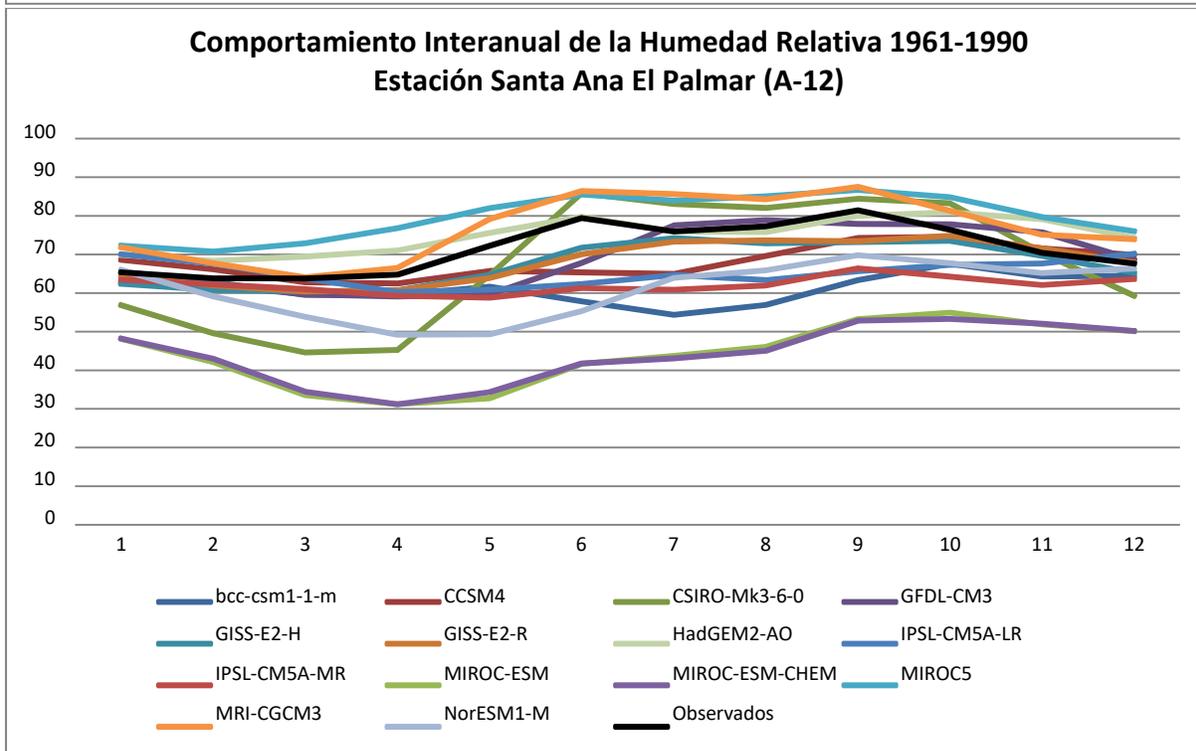
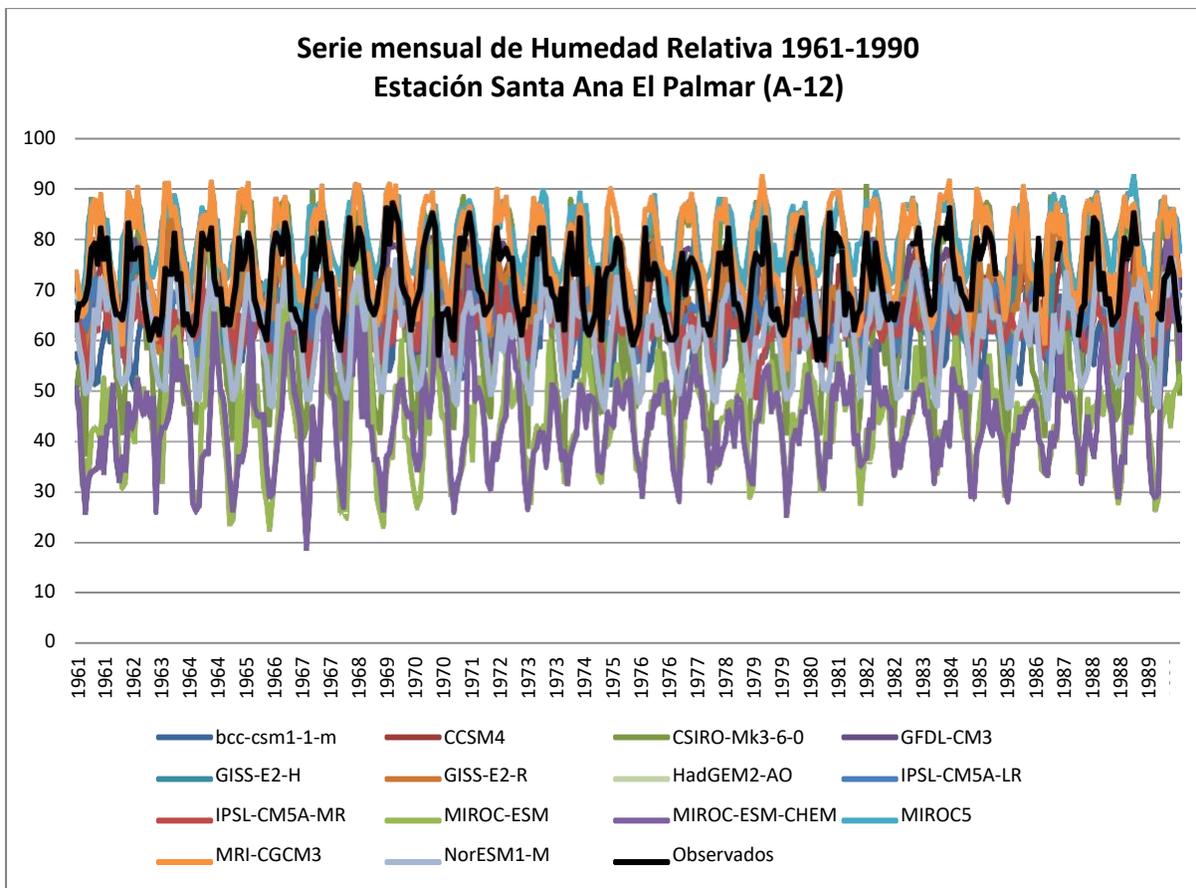


Figura 22. Comportamiento de la humedad relativa mensual observada y proyectada por los modelos globales para la estación Santa Ana El Palmar (A-12) en el periodo 1961-1990.

Con los datos mensuales de los modelos globales en el periodo de referencia 1961-1990 para las 5 variables mencionadas anteriormente, se realizó la evaluación del comportamiento de las mismas, comparándolas con los datos mensuales observados de estaciones para el mismo periodo, y con base en las tres métricas mencionadas en la metodología (Correlación, BIAS y RMSE). Para cada variable climática, se realizó la evaluación de estas métricas a los datos de cada una de las estaciones seleccionadas, y con base en los valores de las mismas, se otorgó una ponderación a cada uno de los 14 modelos seleccionados. De igual forma, se realizó una evaluación promedio para todo el país con base en las métricas y ponderaciones de las estaciones con datos disponibles para cada una de las variables climáticas. Utilizando estas ponderaciones, se elaboró una clasificación tipo “semáforo” a los 14 modelos (Tabla 7). Si bien esta clasificación se utiliza con el fin de seleccionar algunos de los modelos del total de ellos, el hecho de que algún modelo quede por fuera de la selección no indica necesariamente que sea un mal modelo, solamente que, en la ponderación otorgada para su representación del clima presente, no posee un valor alto, en comparación con los otros modelos. Por ejemplo, se puede observar en la tabla que para Precipitación y Temperatura Media, las ponderaciones de los modelos son bastante cercanas entre sí, lo cual corrobora lo mencionado anteriormente.

Tabla 7. Ponderaciones de los 14 Modelos de Circulación Global seleccionados, según los valores obtenidos en las métricas para cada variable climática. Los colores denotan valores bajos (rojos), medios (amarillos) o verdes (altos) del ejercicio de la ponderación.

Modelo	Precipitación	Temperatura Media	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Humedad Relativa
bcc-csm1-1-m	0,06	0,07	0,04	0,07	0,03
CCSM4	0,07	0,07	0,06	0,09	0,05
CSIRO-Mk3-6-0	0,08	0,07	0,10	0,06	0,08
GFDL-CM3	0,08	0,08	0,08	0,06	0,08
GISS-E2-H	0,07	0,07	0,10	0,05	0,09
GISS-E2-R	0,07	0,08	0,09	0,06	0,08
HadGEM2-AO	0,08	0,08	0,10	0,08	0,10
IPSL-CM5A-LR	0,04	0,07	0,05	0,10	0,03
IPSL-CM5A-MR	0,05	0,06	0,05	0,09	0,04
MIROC-ESM	0,07	0,06	0,05	0,05	0,08
MIROC-ESM-CHEM	0,07	0,06	0,05	0,05	0,08
MIROC5	0,10	0,07	0,08	0,07	0,10
MRI-CGCM3	0,09	0,09	0,10	0,08	0,11
NorESM1-M	0,07	0,07	0,07	0,08	0,05

Con base en esta clasificación, se seleccionaron los 5 modelos que tuvieron mejores ponderaciones en la representación del comportamiento de las 5 variables climáticas analizadas (Tabla 8).

Tabla 8. Modelos de Circulación Global seleccionados para la elaboración de los escenarios climáticos.

Modelo	Institución
MRI-CGCM3	MRI – Meteorological Research Institute
HadGEM2-AO	Met Office Hadley Centre
MIROC5	MIROC – Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
GFDL-CM3	NOAA-GFDL – NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO-QCCCE – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence

Se generaron las series mensuales ajustadas de los 5 modelos seleccionados para los 4 escenarios de emisiones RCP en el periodo 2011-2100 para todas las estaciones con datos para cada una de las variables climáticas consideradas en los escenarios de Cambio Climático de El Salvador.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y CLIMATOLÓGICO DE LAS SERIES GENERADAS

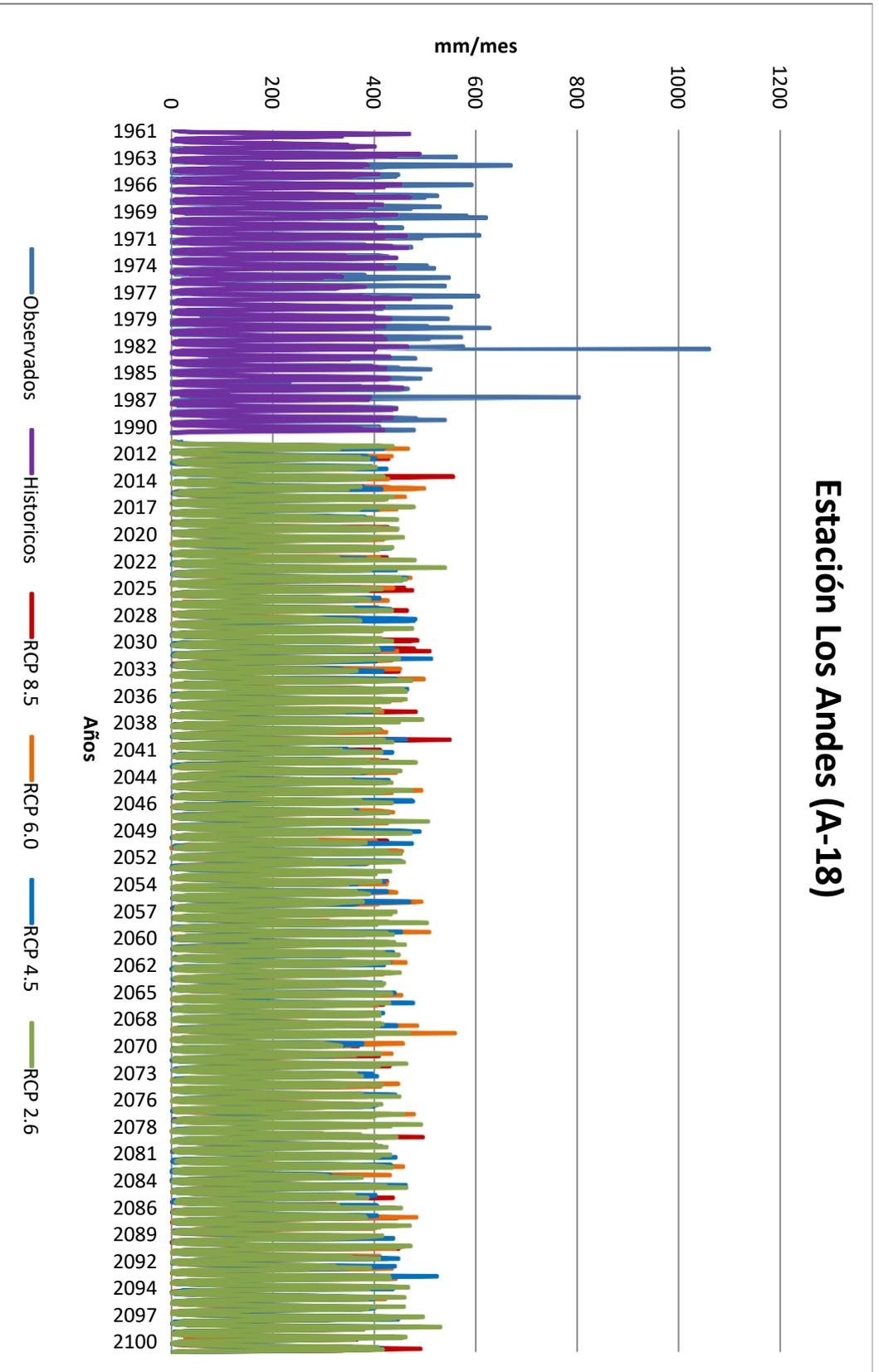
Para el análisis de las series se muestran, a manera de ejemplo, 3 estaciones: Los Andes (A-18), Ilopango (S-10) y Santiago de María (U-6). En general, los datos ajustados conservan sus valores dentro del rango admisible de las variables. Así mismo, se observa que en los periodos futuros 2021-2050 y 2071-2100 el comportamiento interanual se mantiene, y se evidencian tendencias al aumento (para la temperatura) o aumento y disminución (para precipitación) (Figuras 23 a 42).

a) Precipitación

Para precipitación, las 3 estaciones analizadas presentan leves reducciones bajo los 4 escenarios, siendo más notorias desde el año 2040 (Figura 23). En el escenario “bajo en emisiones” (RCP 2.6) se aprecia una leve reducción de los eventos de precipitación mensual superiores al percentil 80, mientras que bajo los otros escenarios esta reducción se presenta para valores superiores al percentil 65, siendo el más notorio el que se daría bajo el RCP 8.5 (Figuras 24 a 26).

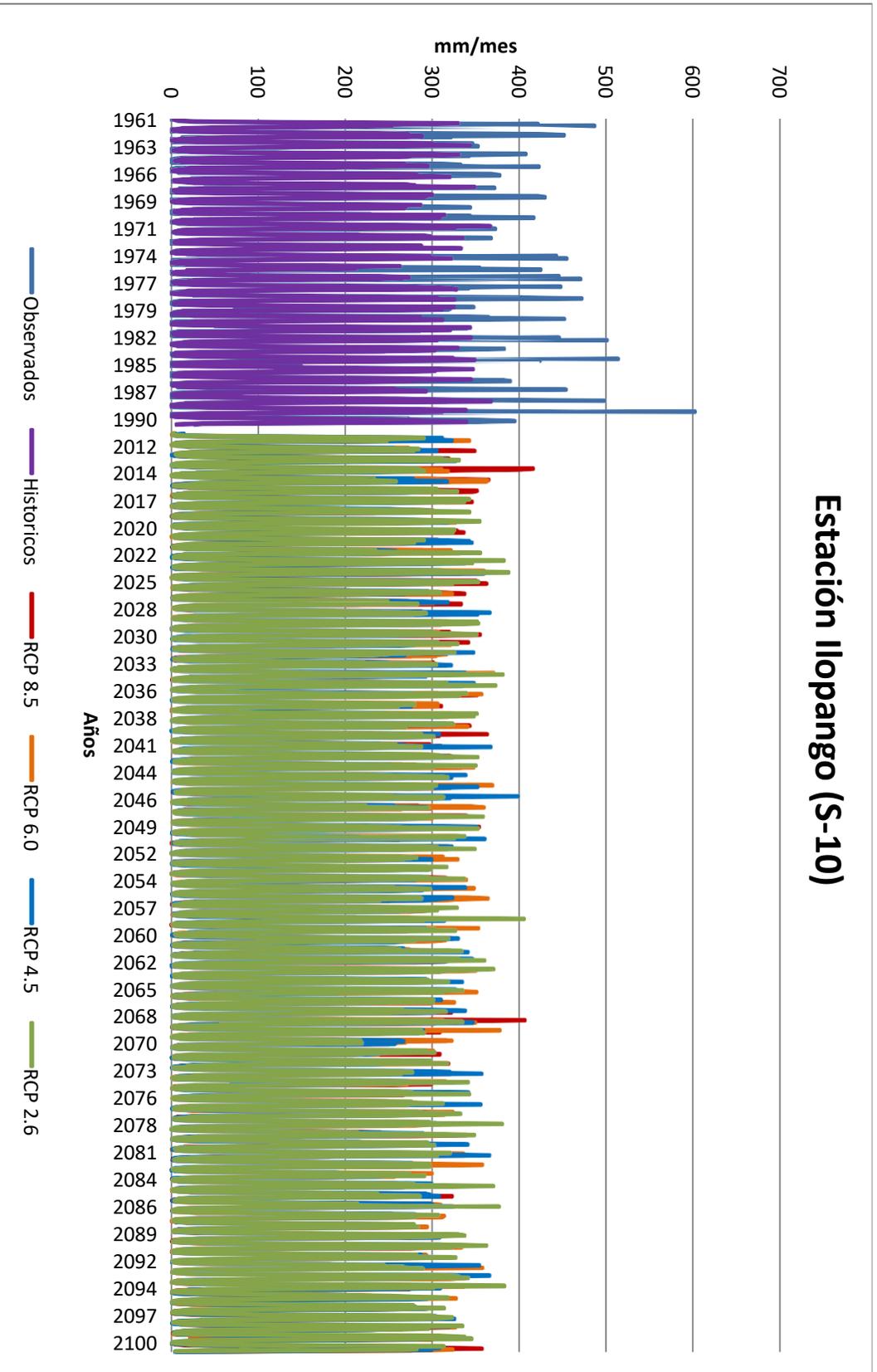
A nivel mensual, las estaciones presentan incrementos de la precipitación en los meses de Diciembre, Enero y Abril, observándose los valores de cambio más altos en los dos primeros. Para los demás meses, la tendencia es hacia la reducción de las precipitaciones, presentándose el déficit de lluvias más alto en Julio, Agosto y Septiembre (Anexo II-A).

Estación Los Andes (A-18)

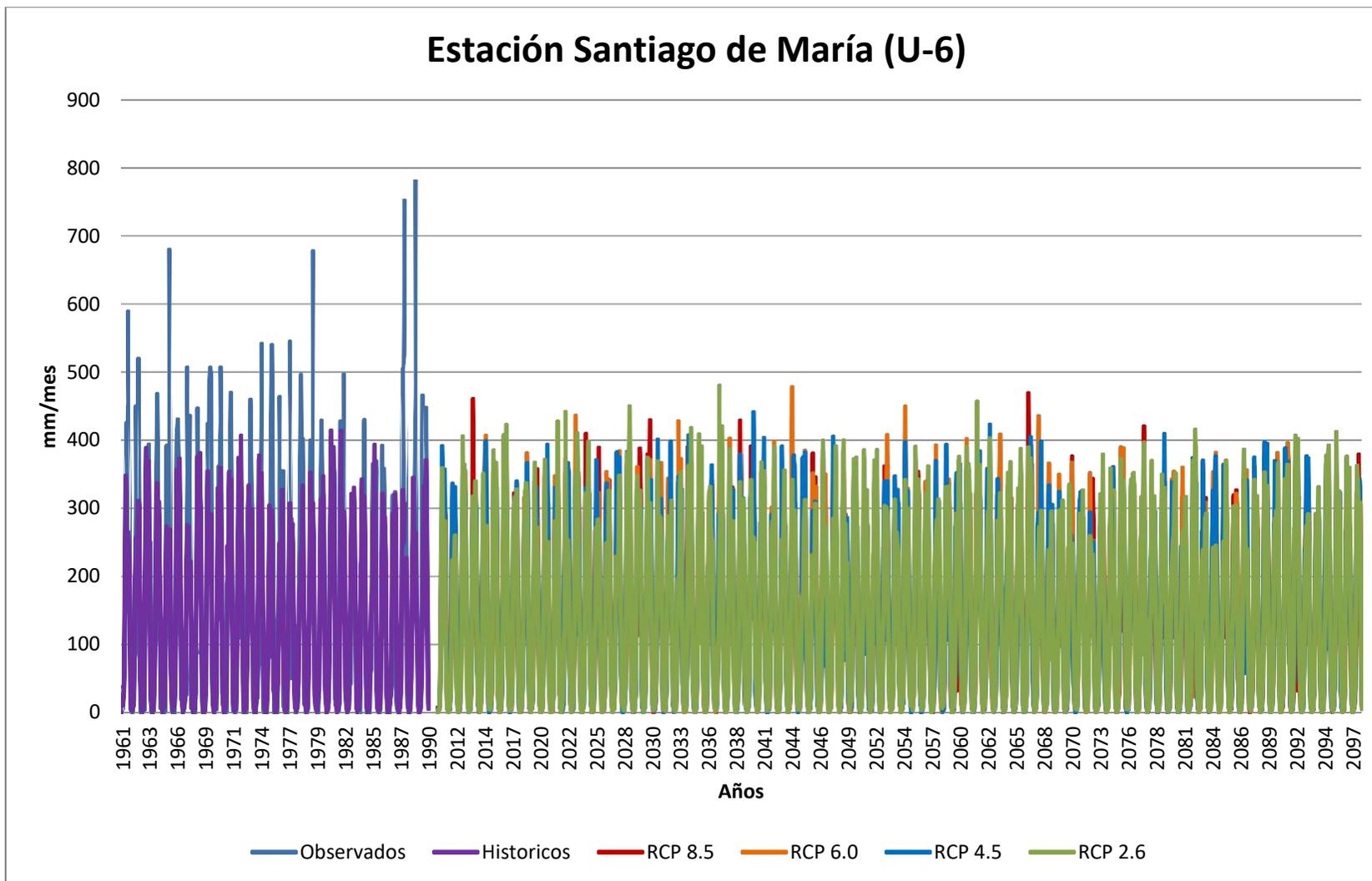


(a)

Estación Ilopango (S-10)



(b)



(c)

Figura 23. Series mensuales de la precipitación mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para las estaciones: Los Andes (A-18) (a), Ilopingo (S-10) (b) y Santiago de María (U-6) (c).

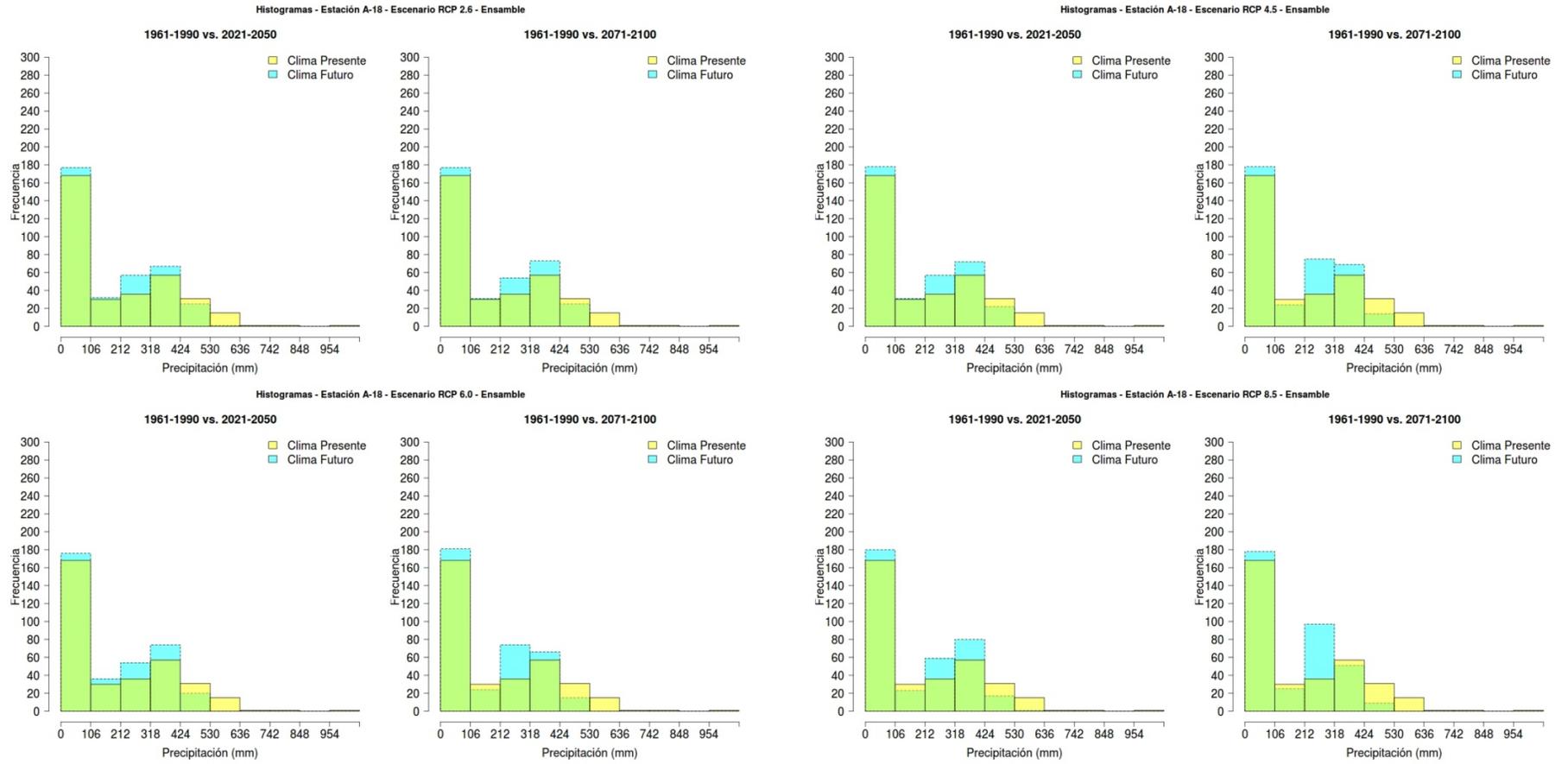


Figura 24. Histogramas para la precipitación mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Los Andes (A-18).

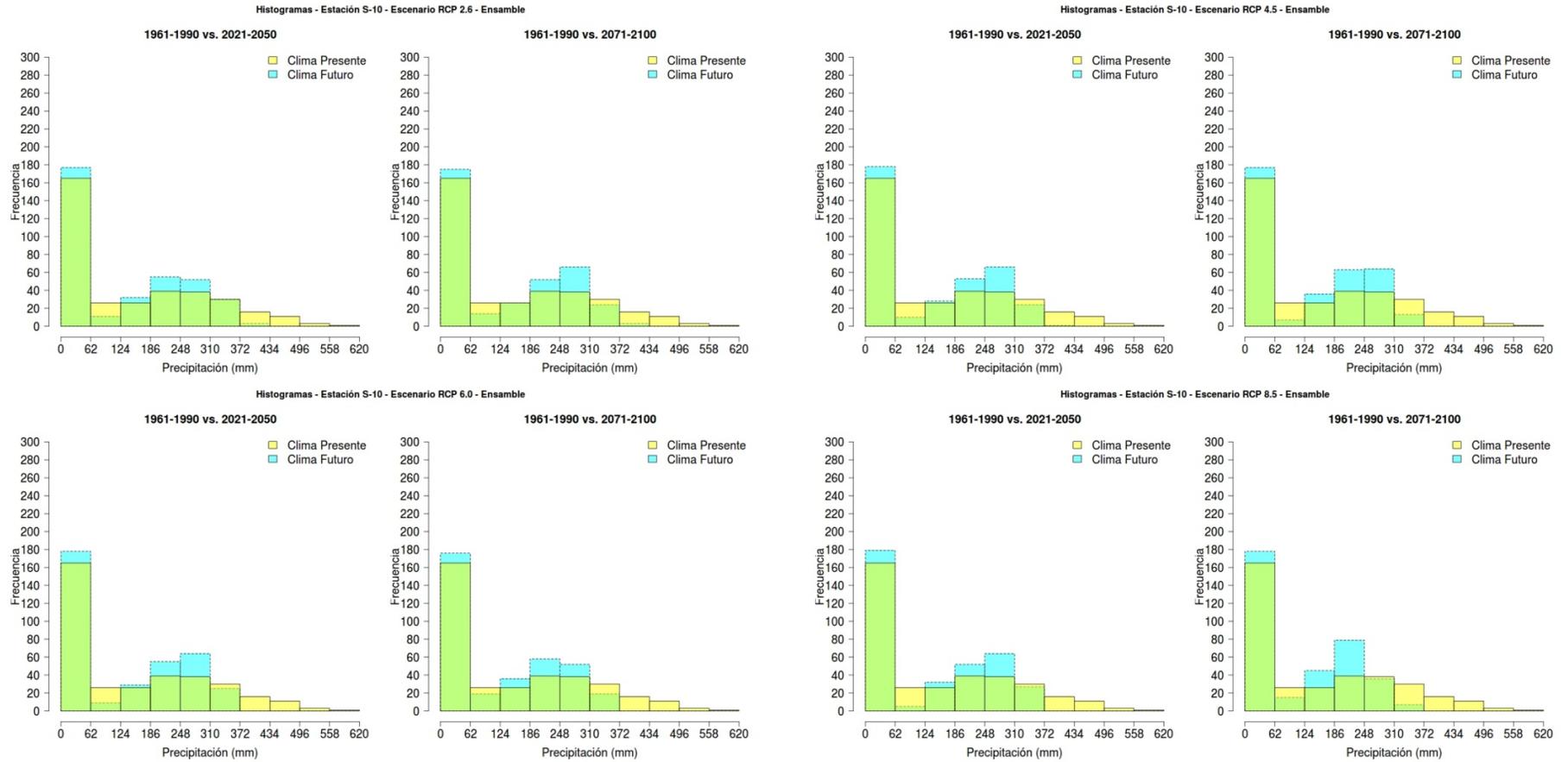


Figura 25. Histogramas para la precipitación mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Ilopango (S-10).

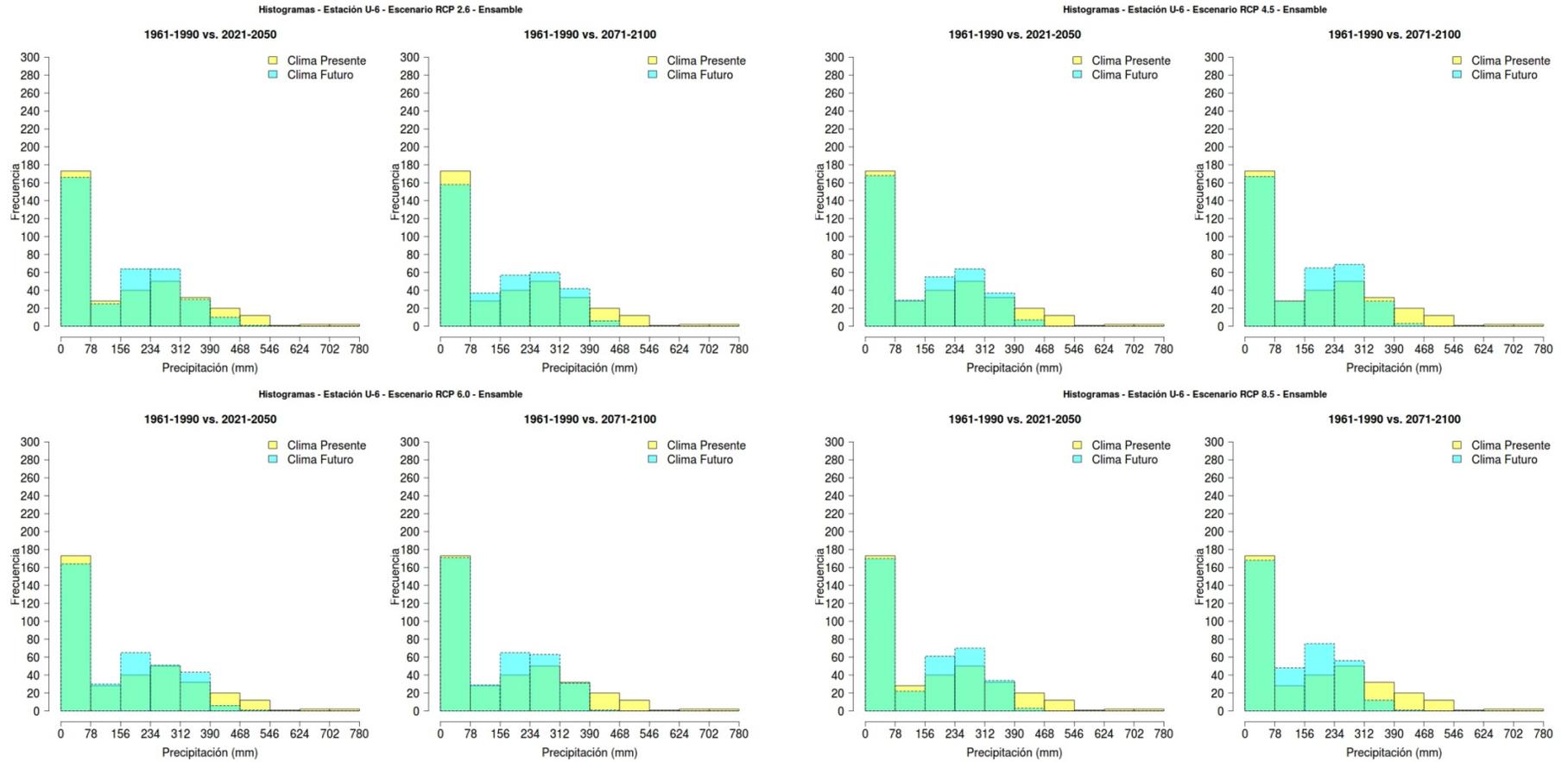


Figura 26. Histogramas para la precipitación mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Santiago de María (U-6).

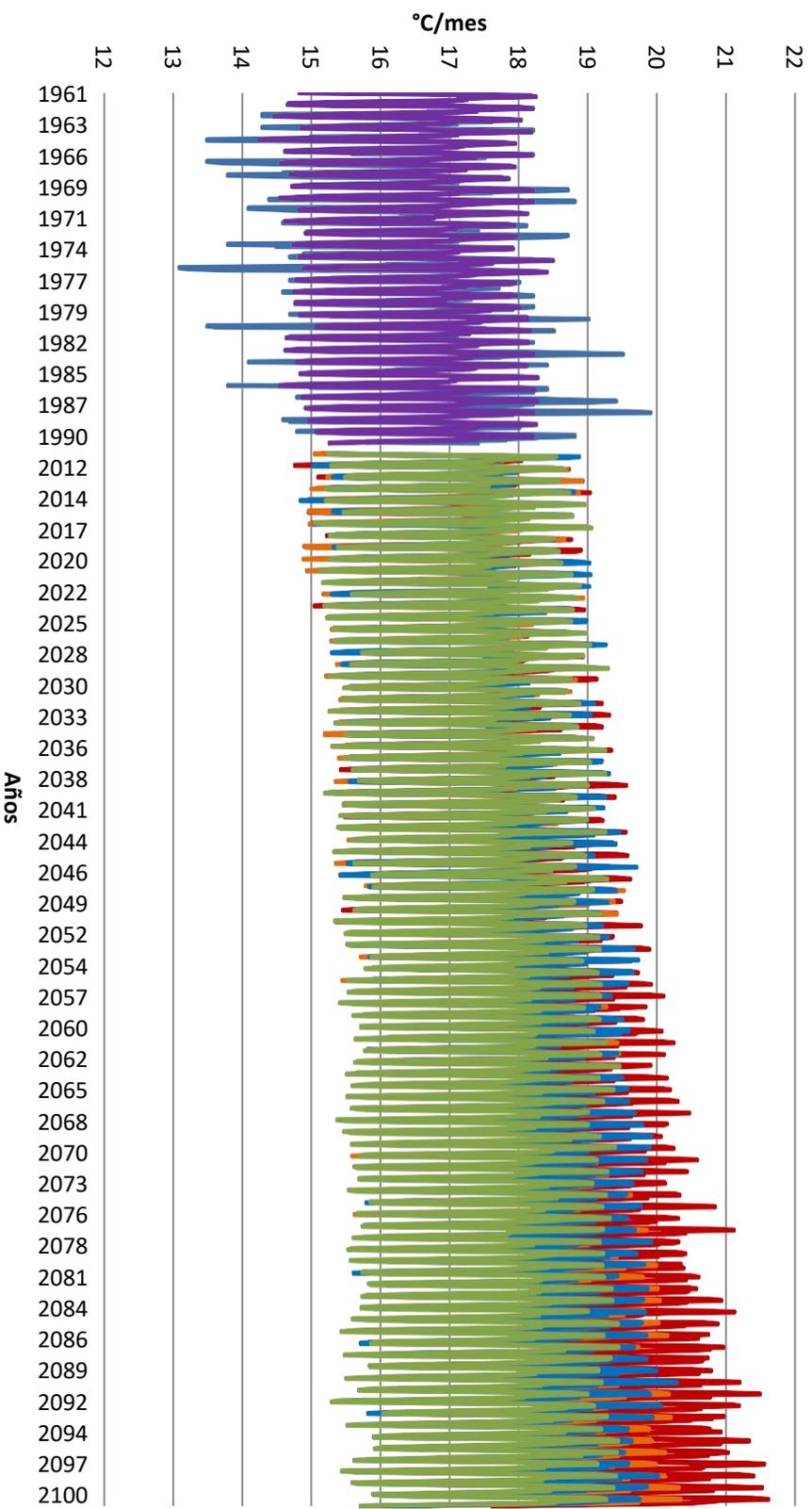
b) Temperatura Media

En cuanto a las temperaturas media, máxima y mínima, para las estaciones analizadas se presentan tendencias al aumento bajo los cuatro escenarios, siendo el más significativo el que se daría en el escenario RCP 8.5. Para la temperatura media, en la estación ubicada en el occidente de El Salvador (Los Andes, A-18) se tendrían incrementos entre 1 y 3°C hacia el año 2100, mientras que para las estaciones ubicadas en el centro y oriente del país (Ilopango, S-10 y Santiago de María, U-6, respectivamente), este incremento sería del orden de 1-4°C para finales de siglo (Figura 27).

Estos aumentos de la temperatura media se ven reflejados en los histogramas de frecuencias para los periodos 2021-2050 y 2071-2100 (Figuras 28 a 30). En ellos se aprecia que, bajo el escenario de emisión RCP 2.6, los incrementos hacia mitad de siglo serían de aproximadamente 1-1,5°C, mientras que bajo el escenario “alto en emisiones” RCP 8,5, el aumento de la temperatura en este periodo sería de al menos 2°C. Y para finales de siglo, los aumentos serían superiores a 2°C, siendo los más altos los que se darían bajo el RCP 8.5.

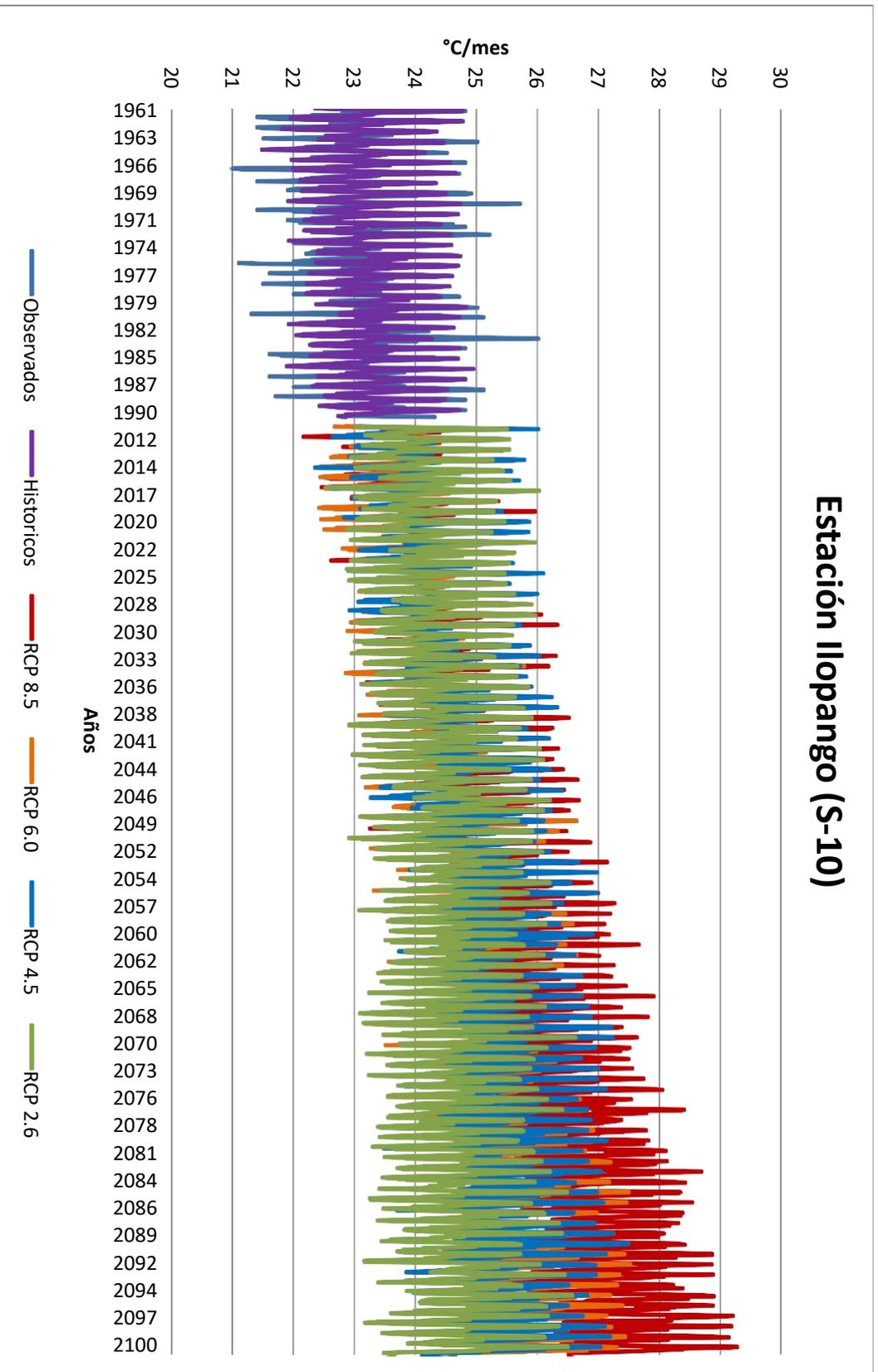
A nivel mensual, en el primer periodo (2021-2050) los incrementos de la temperatura media del aire en superficie se mantienen del orden de 1-2°C en las 3 estaciones analizadas, mientras que a finales de siglo (2071-2100) los mayores incrementos se darían desde Marzo hasta Octubre bajo el RCP 8.5 (abarcando parte de la estación seca y toda la lluviosa), con valores superiores a 2°C; observándose las temperaturas medias más altas en la estación ubicada al oriente de El Salvador (Santiago de María – U-6) (Anexo II-B).

Estación Los Andes (A-18)

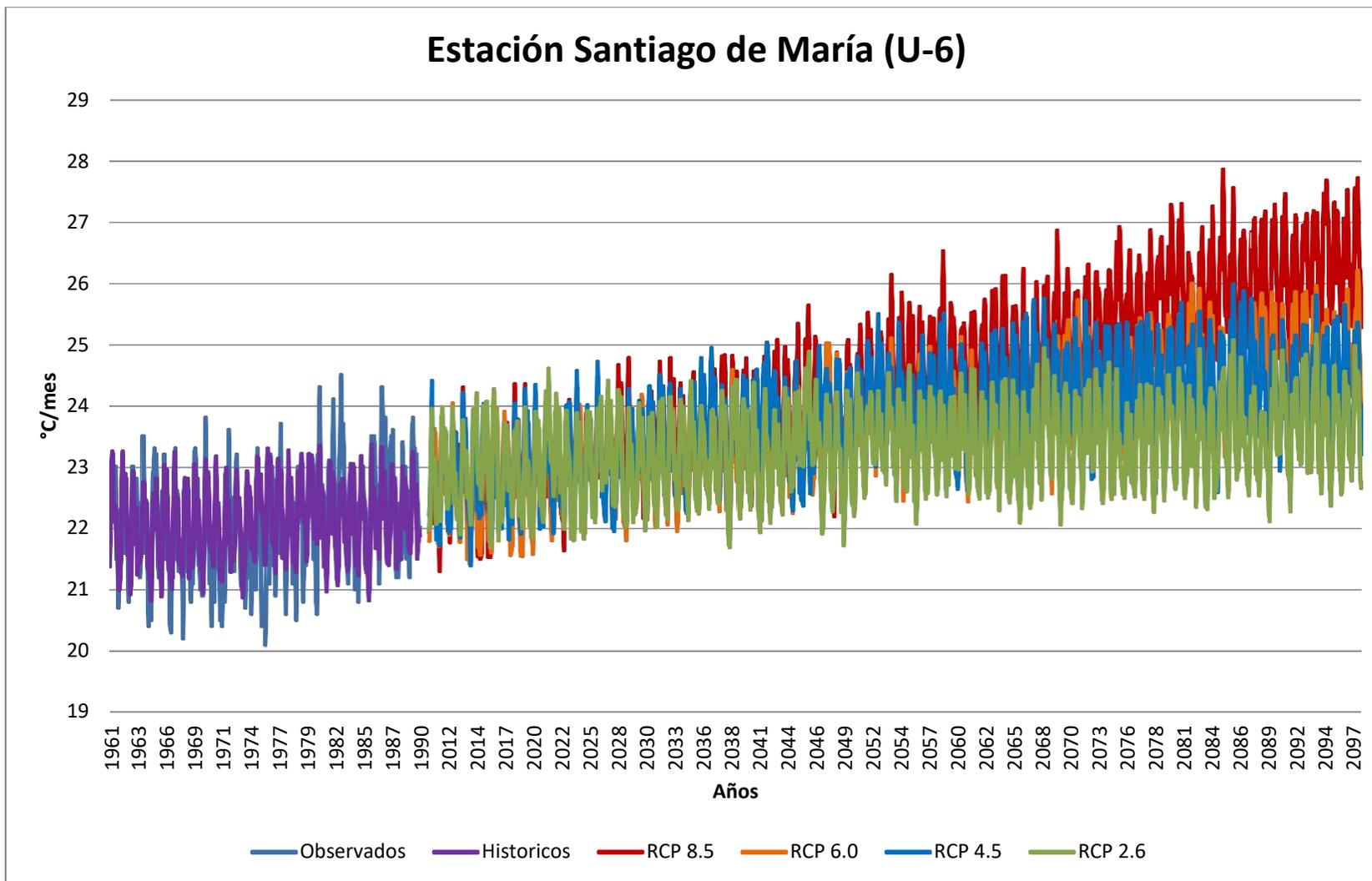


(a)

Estación Ilopanngo (S-10)



(b)



(c)

Figura 27. Series mensuales de la temperatura media mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para las estaciones: Los Andes (A-18) (a), Ilopingo (S-10) (b) y Santiago de María (U-6) (c).

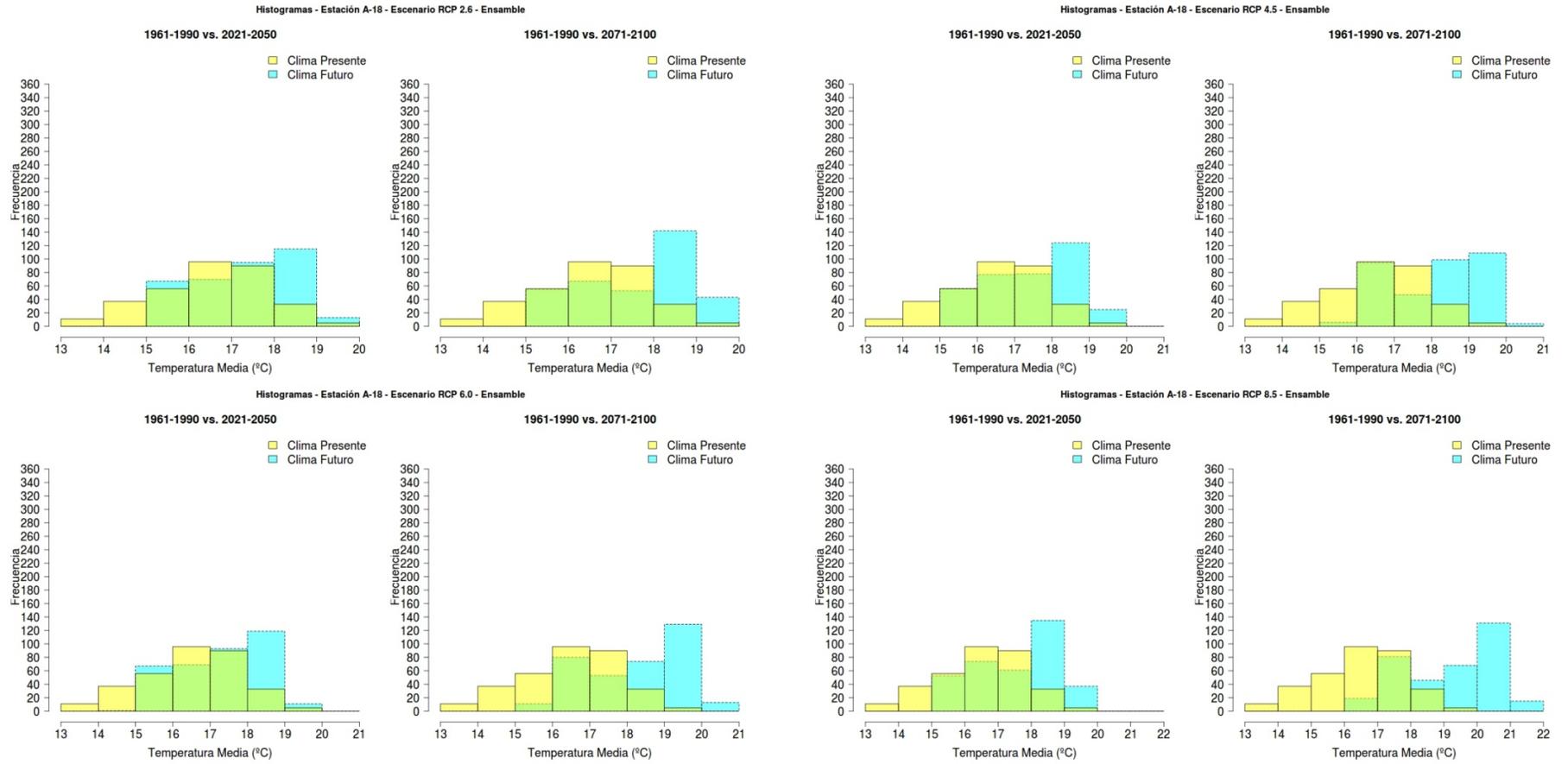


Figura 28. Histogramas para la temperatura media mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Los Andes (A-18).

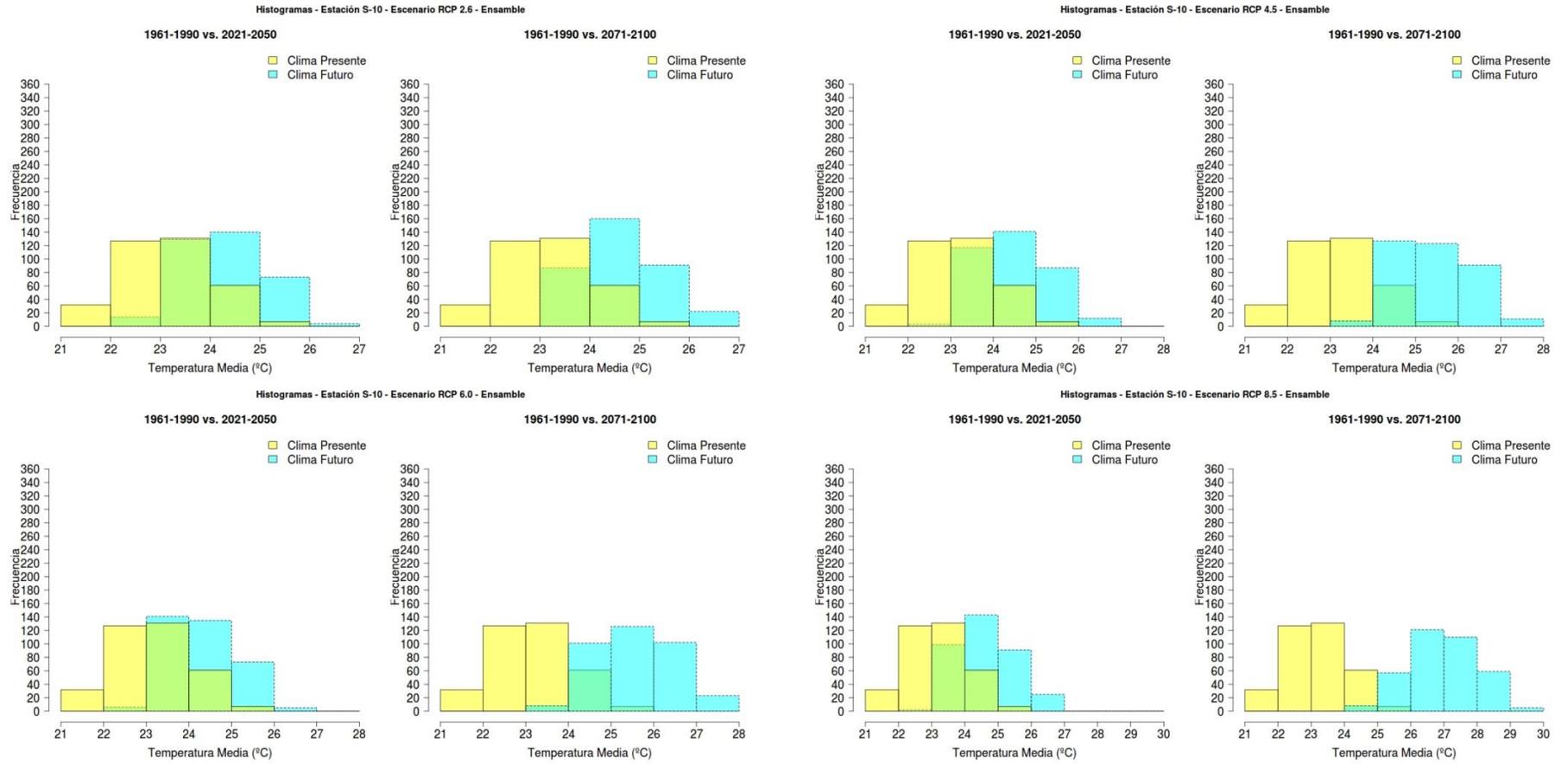


Figura 29. Histogramas para la temperatura media mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Ilopingo (S-10).

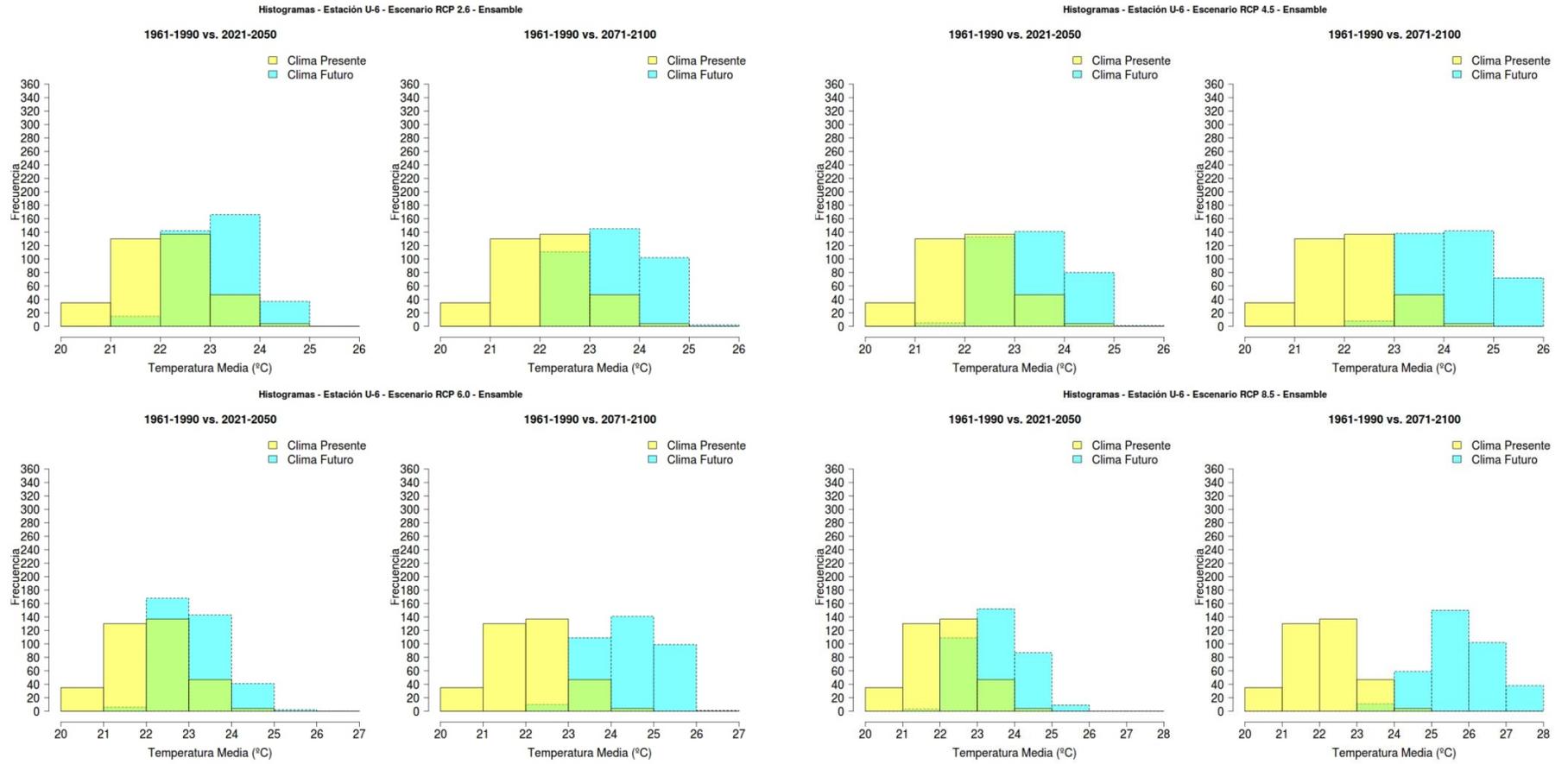


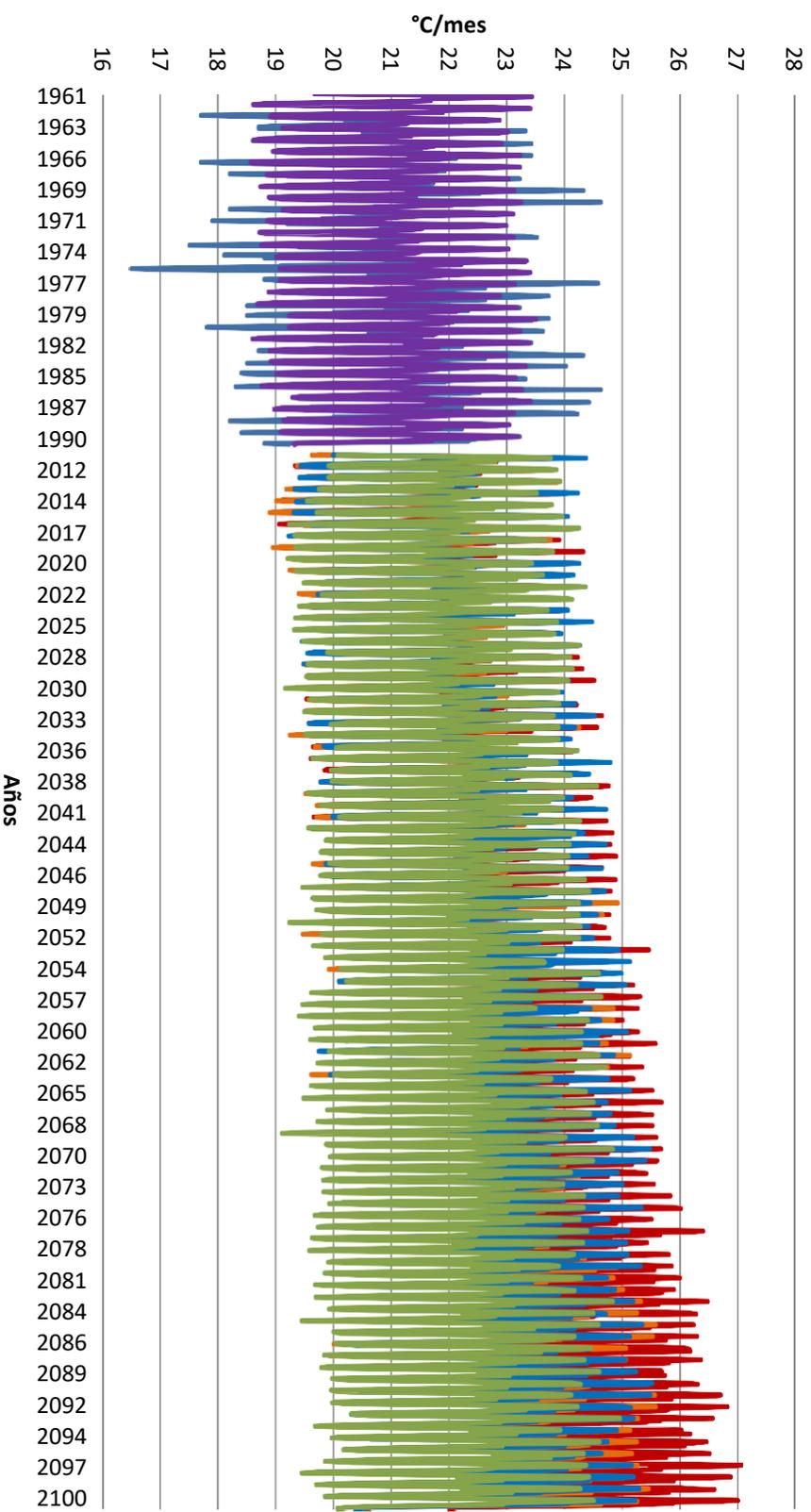
Figura 30. Histogramas para la temperatura media mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Santiago de María (U-6).

c) Temperatura Máxima

Por otra parte, la temperatura máxima es muy probable que presente aumentos entre 1 y 4°C a lo largo del siglo XXI, siendo los valores más altos en el escenario RCP 8.5 en la estación ubicada hacia el centro del país (Figura 31). En los cuatro escenarios de emisión de gases de efecto invernadero el cambio de la temperatura sería de al menos 2°C en el periodo 2021-2050, en comparación con el periodo 1961-1990. Para finales de siglo, el incremento de la temperatura máxima sería de al menos 3°C (Figuras 32 a 34).

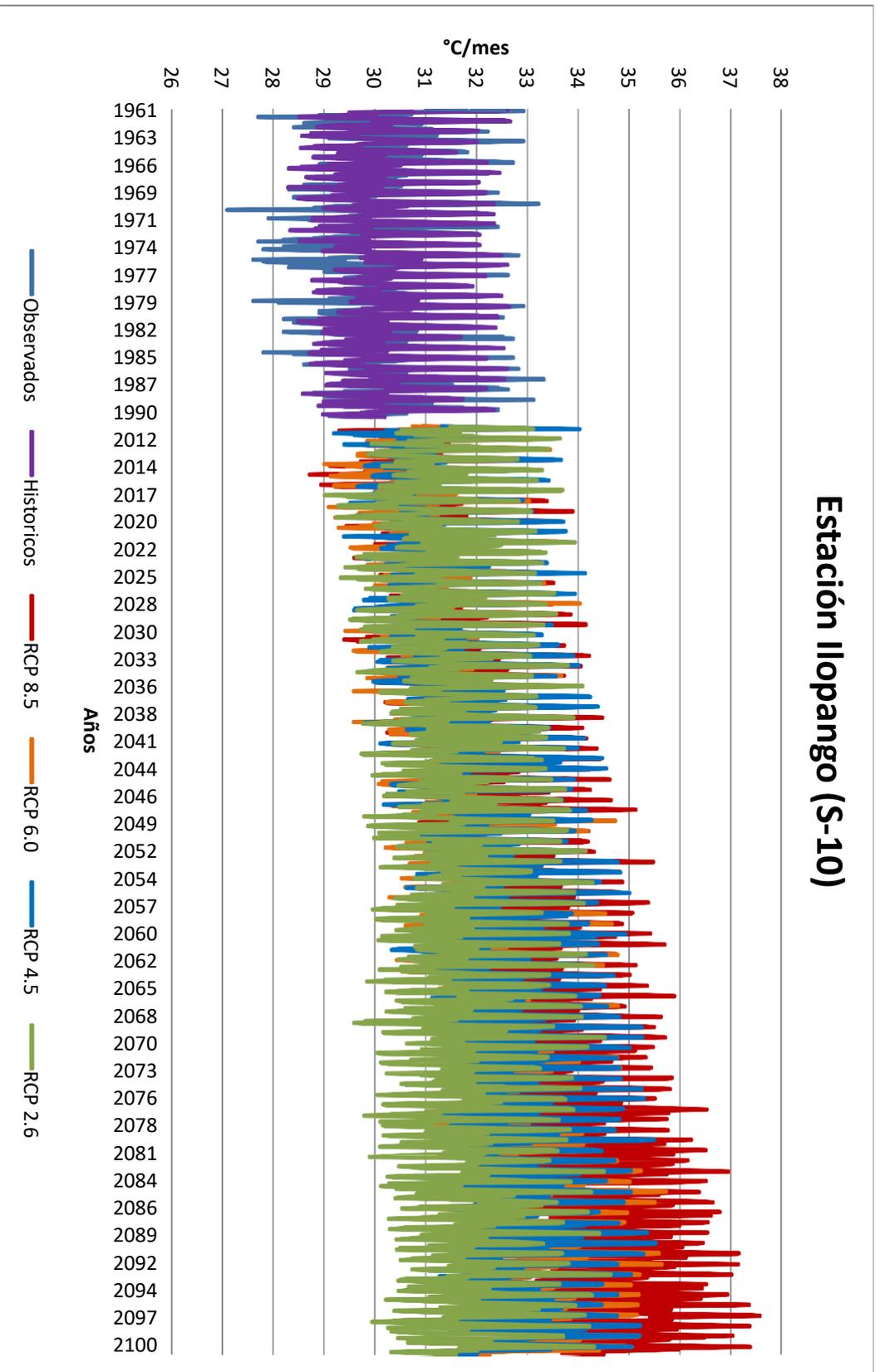
En cuanto al comportamiento mes a mes, en el periodo 2021-2050 el aumento de las temperaturas máximas absolutas podrían ser del orden de 1-2°C en todos los meses, y para 2071-2100 los incrementos son marcados en cada escenario de emisión, con cambios de 1-2°C bajo el RCP 2.6, de 2-3°C en los RCP 4.5 y 6.0 y superiores a los 3°C en el escenario RCP 8.5. Los cambios más altos se presentarían entre los meses de Junio y Septiembre (Anexo II-C) de tal forma que se podrían esperar periodos “caniculares” más calientes, con sus consecuentes impactos en las actividades humanas.

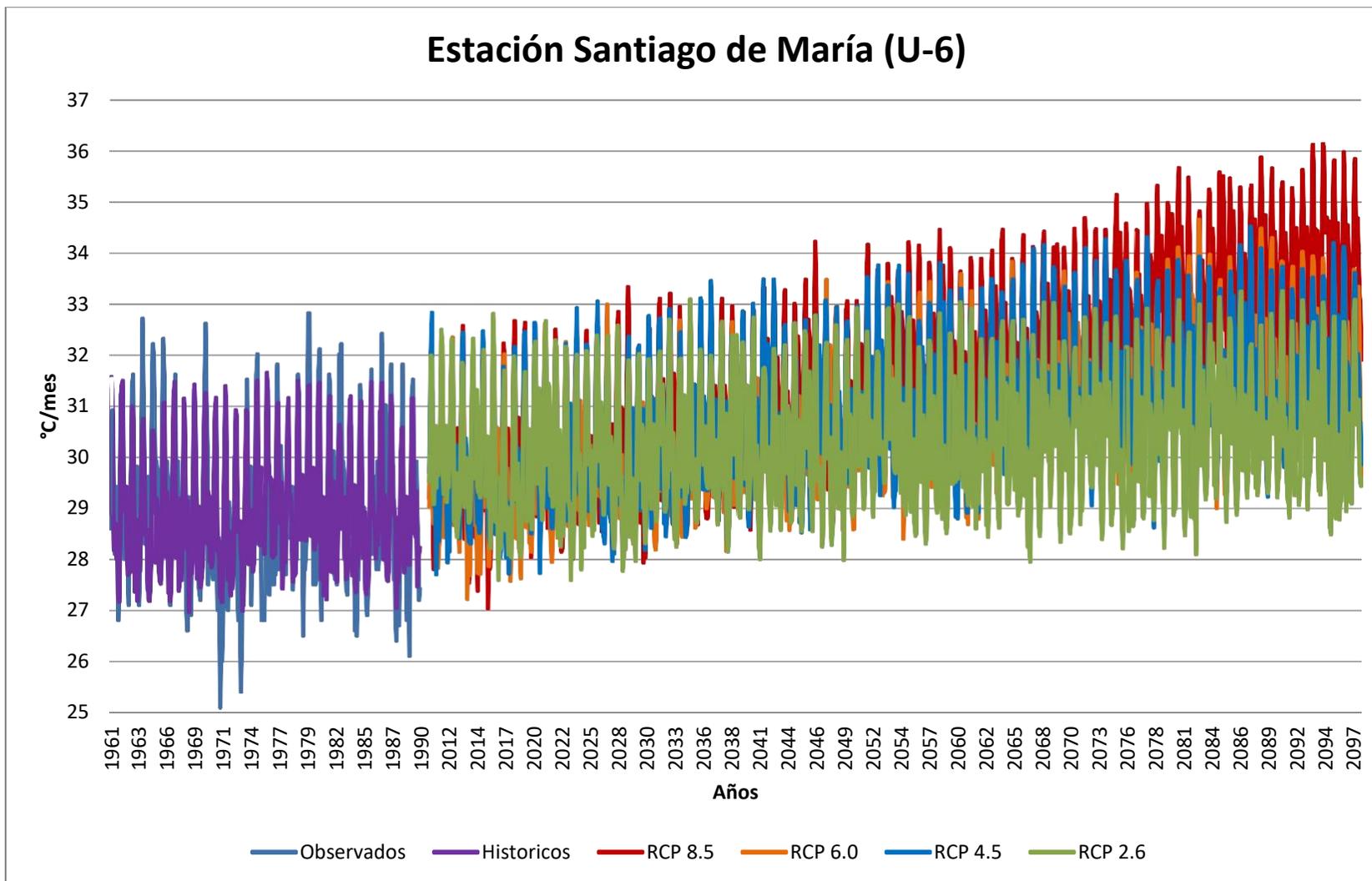
Estación Los Andes (A-18)



(a)

Estación Ilopango (S-10)





(c)

Figura 31. Series mensuales de la temperatura máxima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para las estaciones: Los Andes (A-18) (a), Ilopingo (S-10) (b) y Santiago de María (U-6) (c).

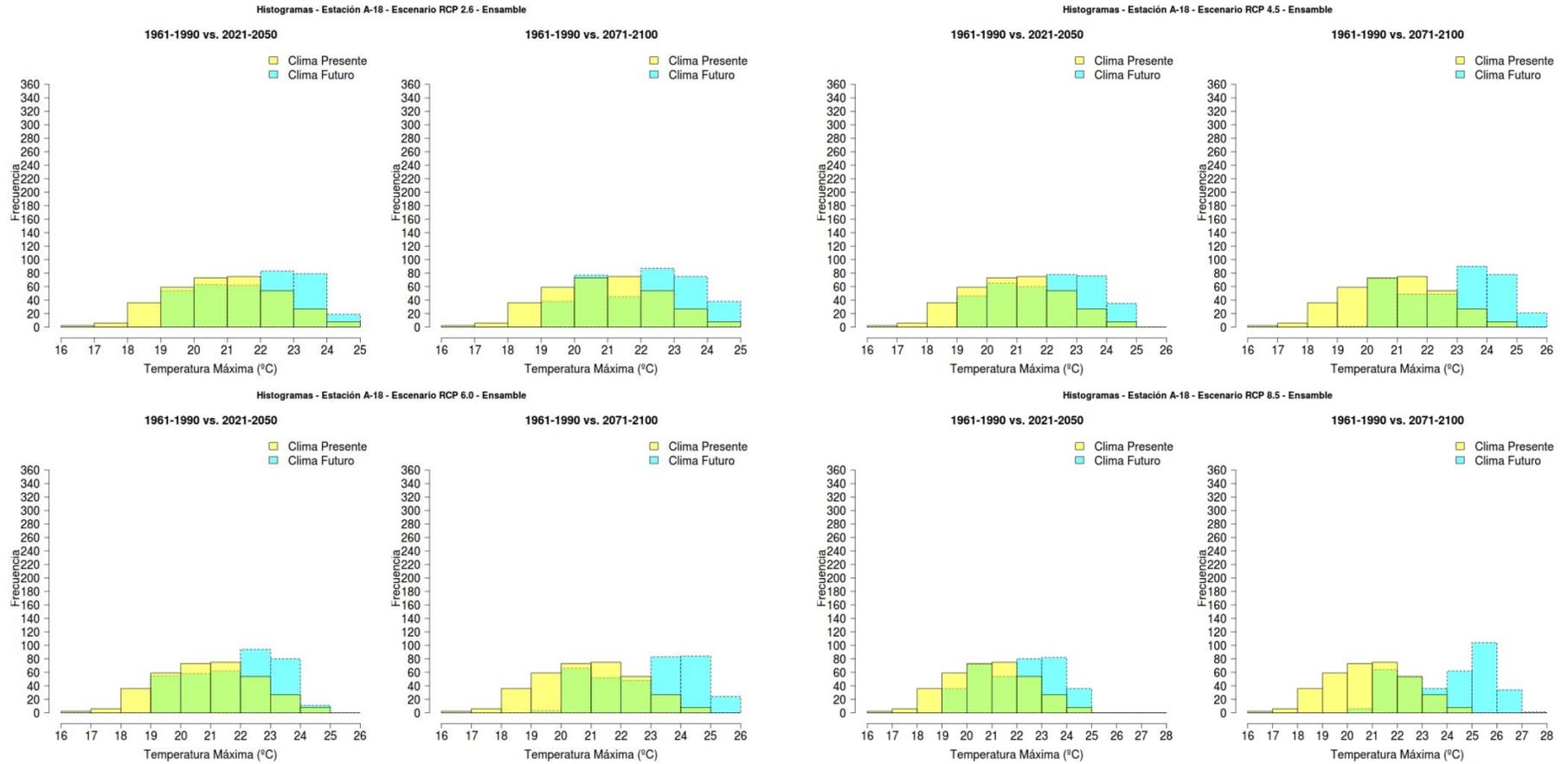


Figura 32. Histogramas para la temperatura máxima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Los Andes (A-18).

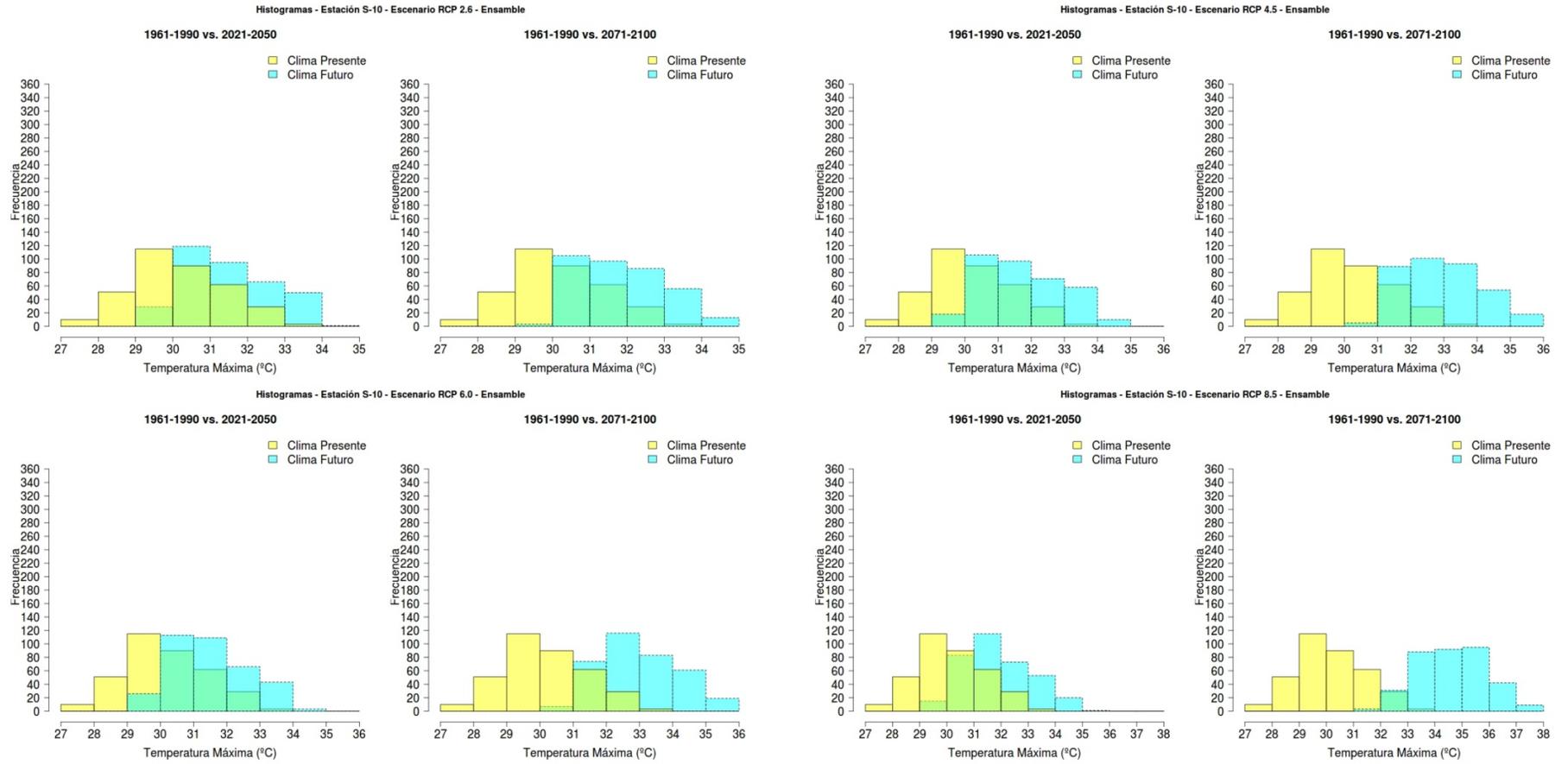


Figura 33. Histogramas para la temperatura máxima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Ilopingo (S-10).

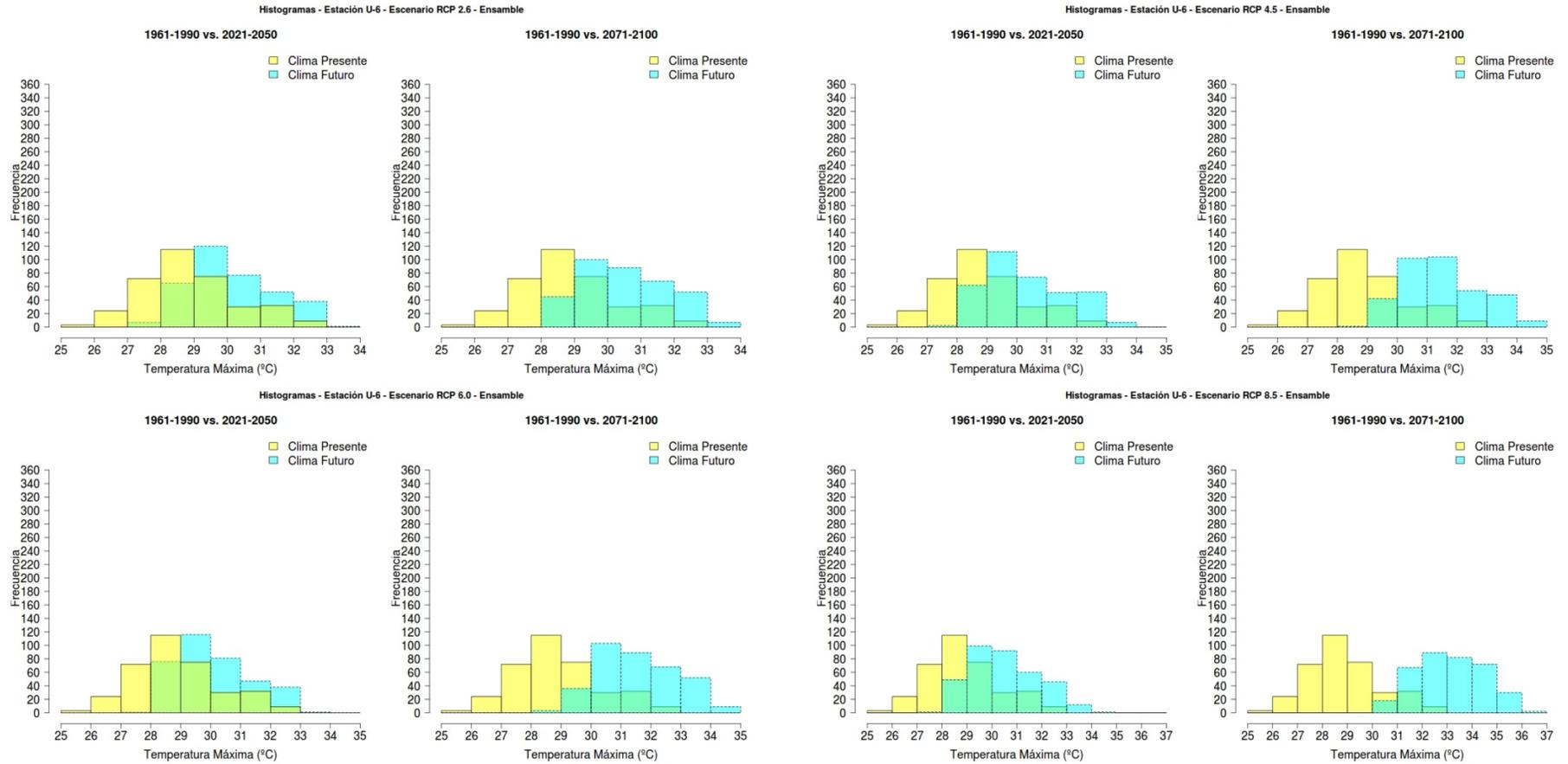


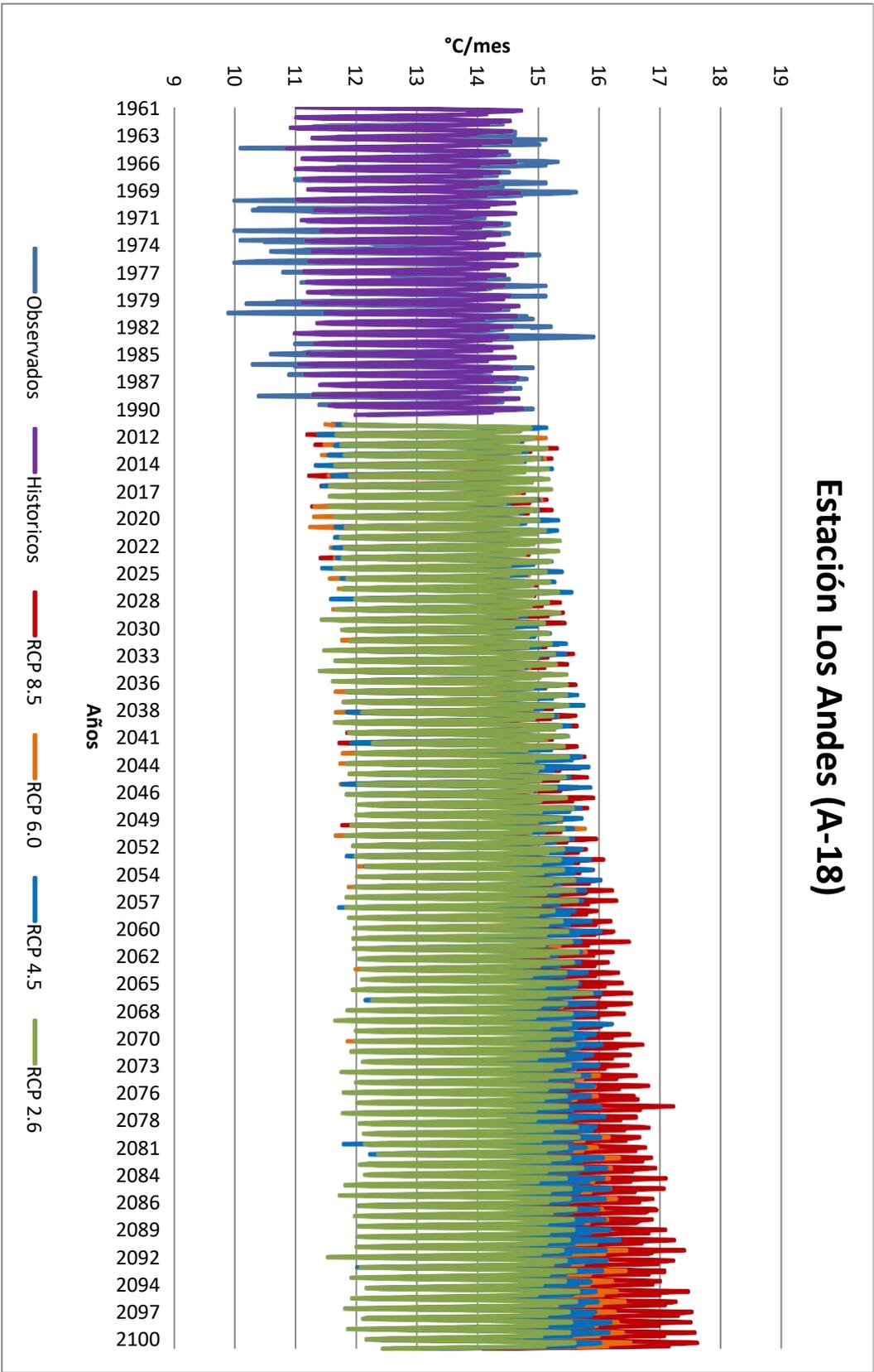
Figura 34. Histogramas para la temperatura máxima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Santiago de María (U-6).

d) Temperatura Mínima

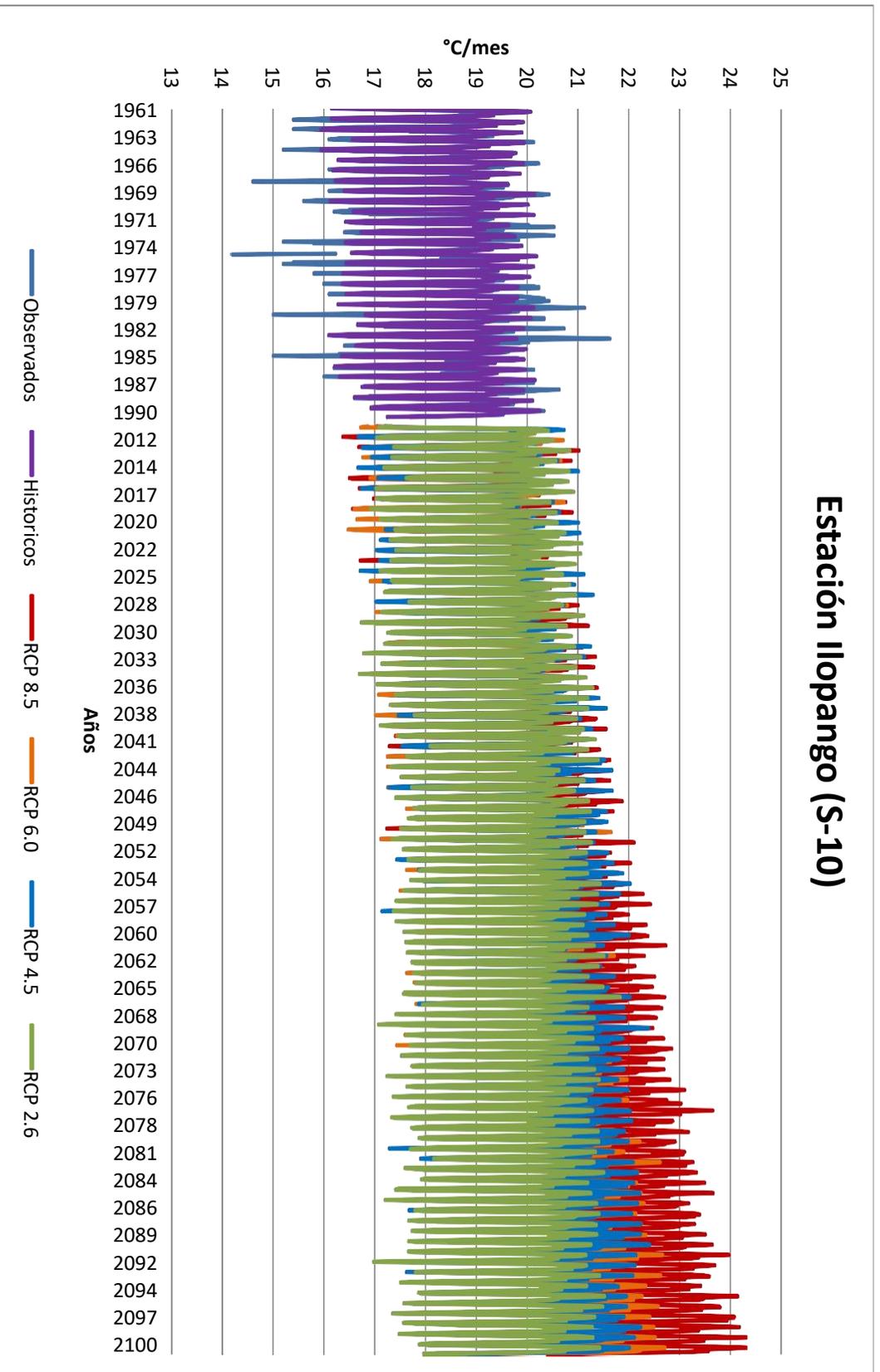
La temperatura mínima, pese a que también presentaría incrementos, el orden de los mismos es levemente menor en comparación con las temperaturas media y máxima. Esta temperatura aumentaría de 1-3°C en las estaciones localizadas en la porción del oriente y occidente del territorio de El Salvador, y de 1-3,5°C para el centro del país (Figura 35). Para mitad de siglo, la temperatura mínima sería de 2 a 3°C mayor que la del periodo 1961-1990, y para el periodo 2071-2100 es probable que sea entre 3 y 4°C mayor (Figuras 36 a 38).

A nivel mensual, el comportamiento sería similar al de las temperaturas media y máxima para el periodo 2021-2050 (aumentos de 1-2°C), mientras que para finales de siglo (2071-2100) los incrementos serían de 1-2°C en el RCP 2.6 y de 2-3°C bajo los RCP 4.5 y 6.0. En el escenario RCP 8.5, los incrementos podrían alcanzar valores de 3-4°C, siendo los más altos durante los meses de Mayo a Septiembre en la estación del oriente del país y territorios aledaños (Santiago de María–U-6) (Anexo II-D).

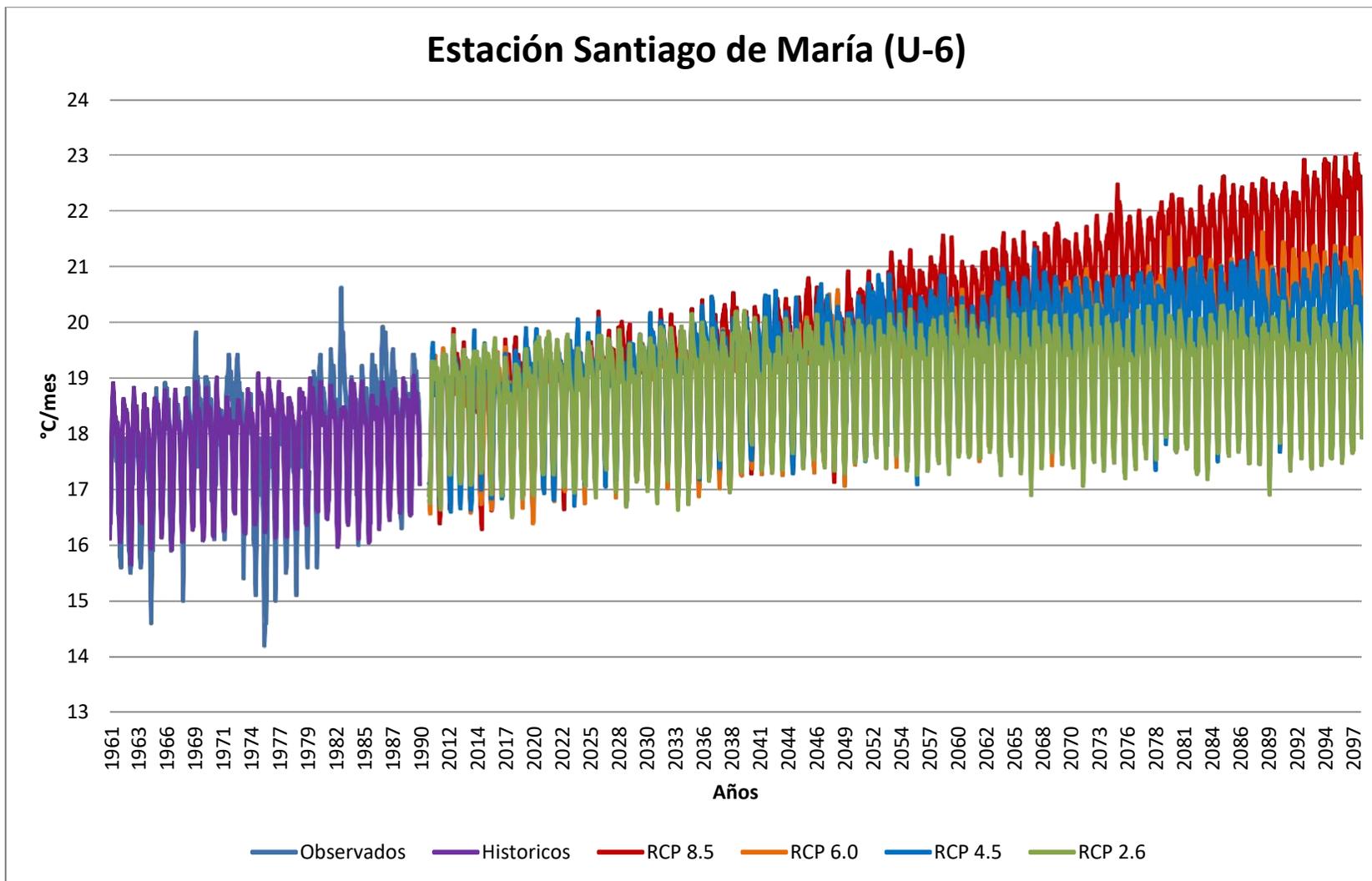
Estación Los Andes (A-18)



Estación Ilopango (S-10)



(b)



(c)

Figura 35. Series mensuales de la temperatura mínima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para las estaciones: Los Andes (A-18) (a), Ilopingo (S-10) (b) y Santiago de María (U-6) (c).

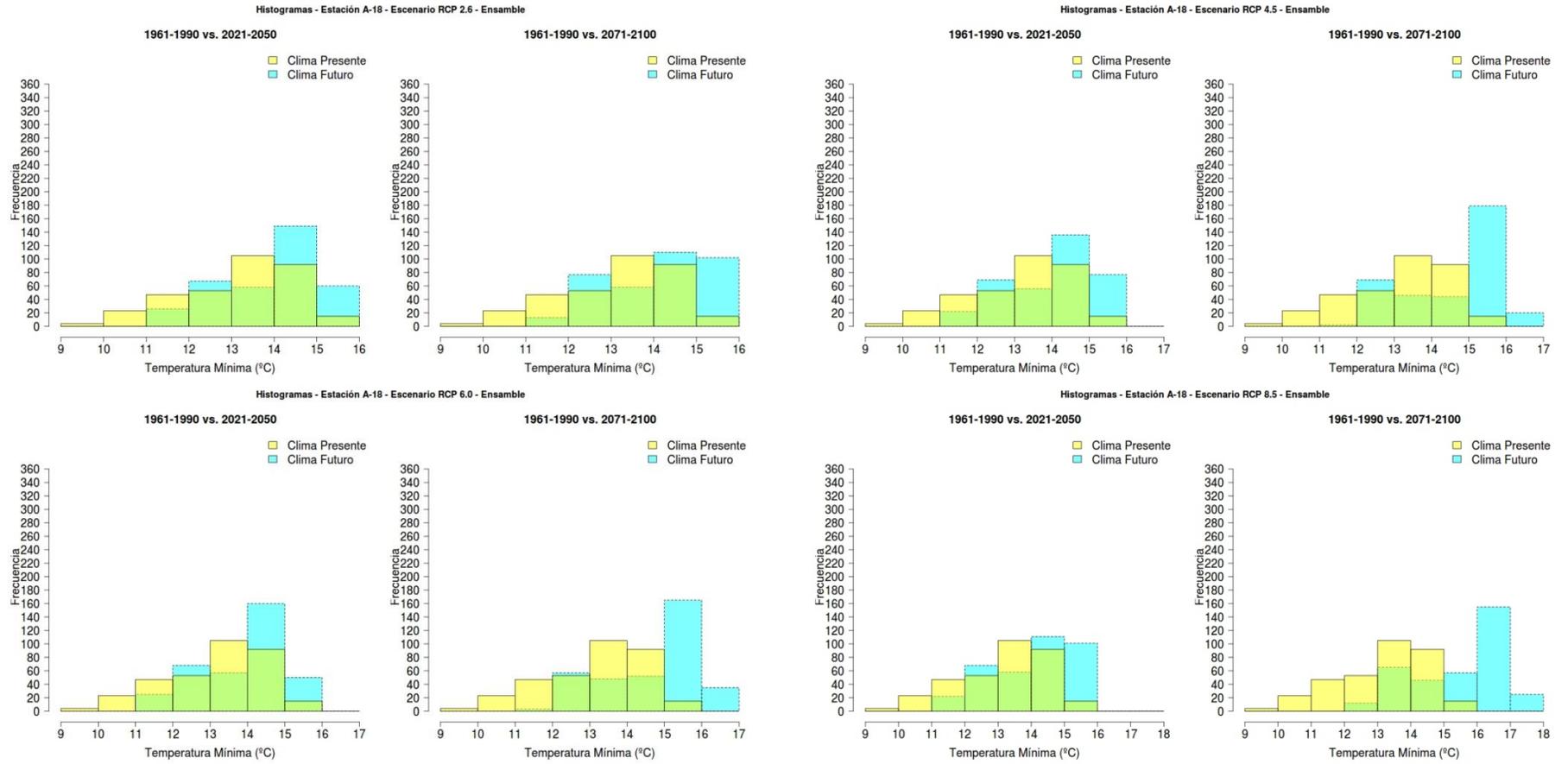


Figura 36. Histogramas para la temperatura mínima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Los Andes (A-18).

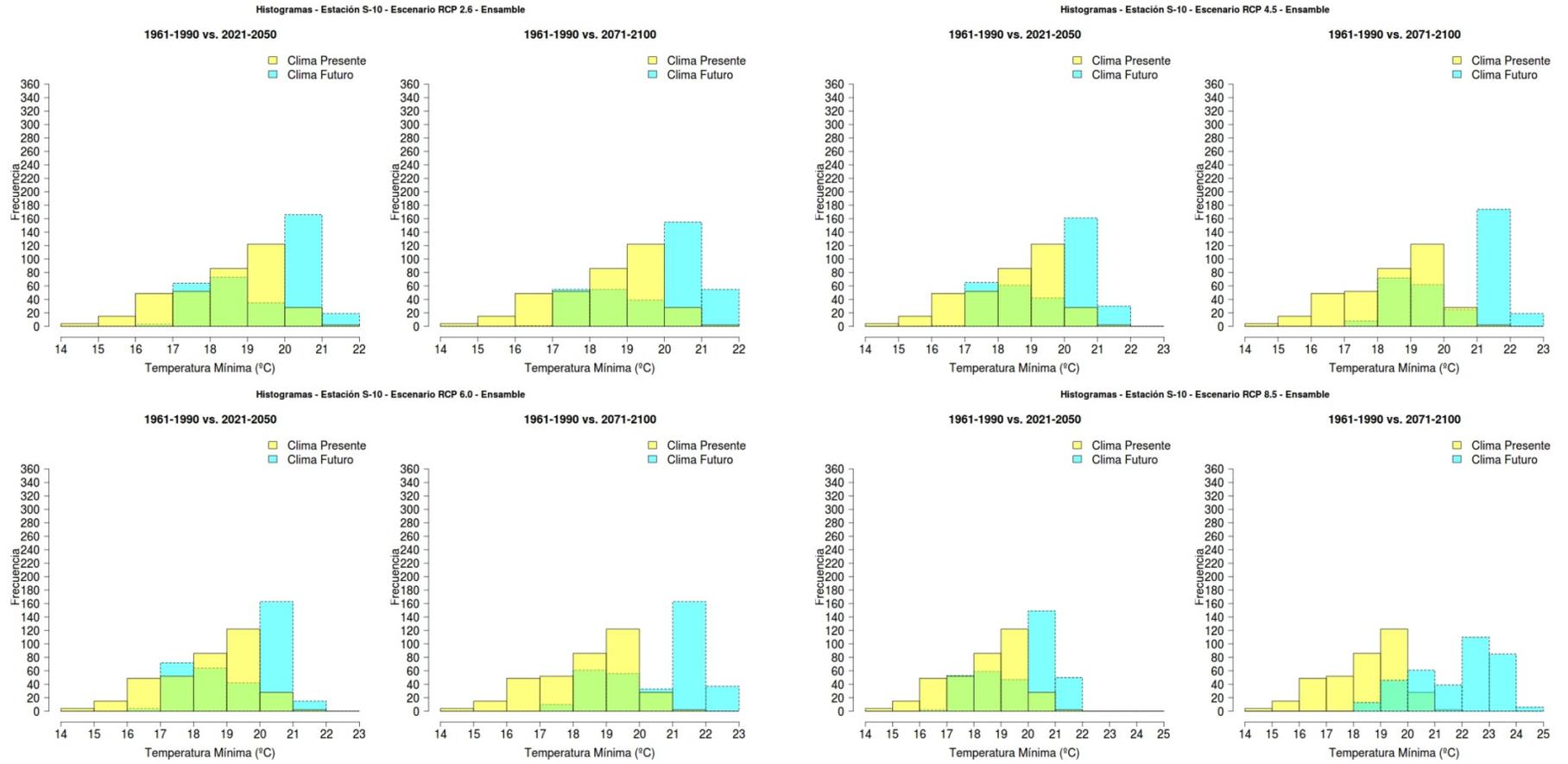


Figura 37. Histogramas para la temperatura mínima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Ilopingo (S-10).

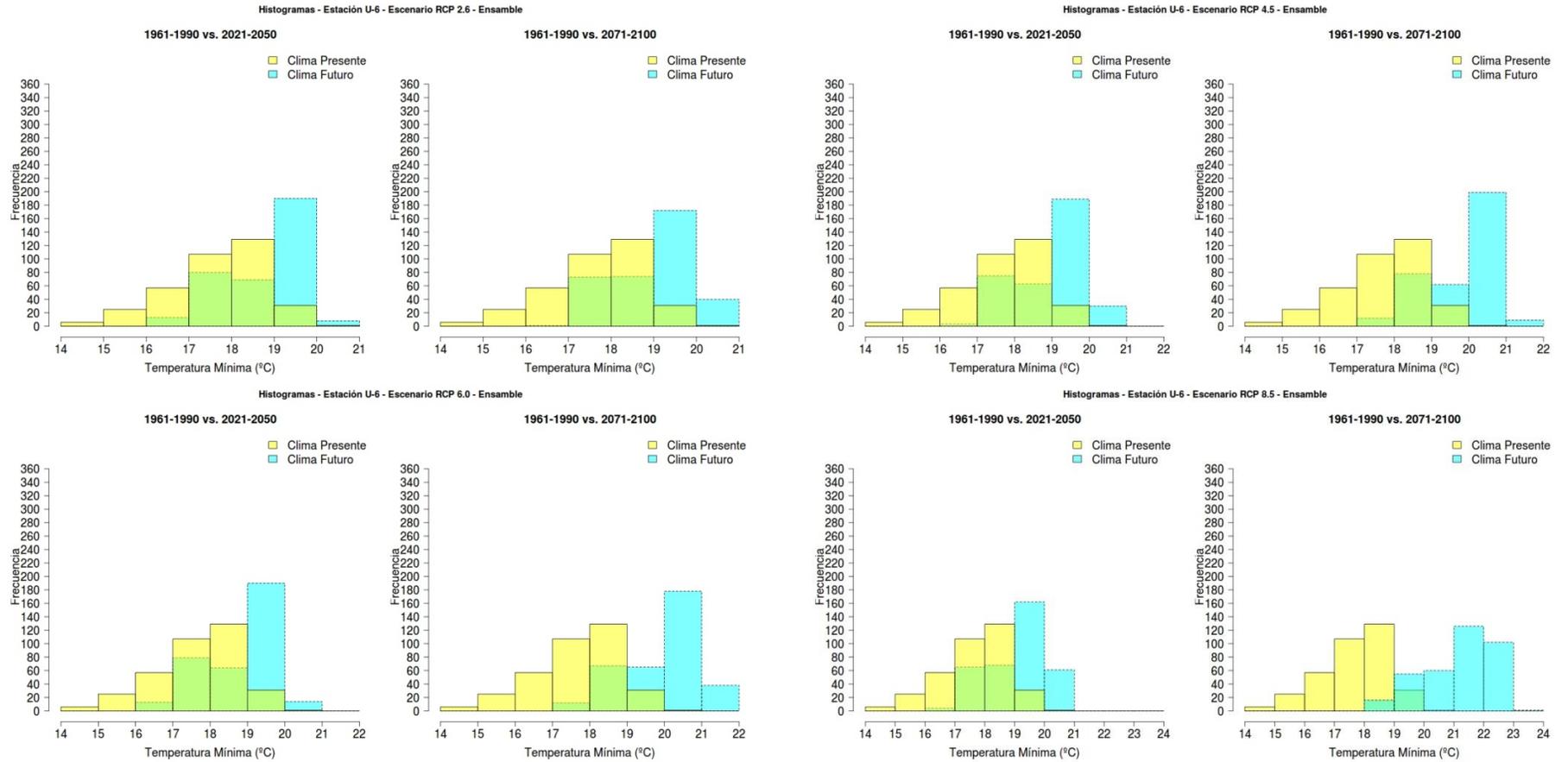


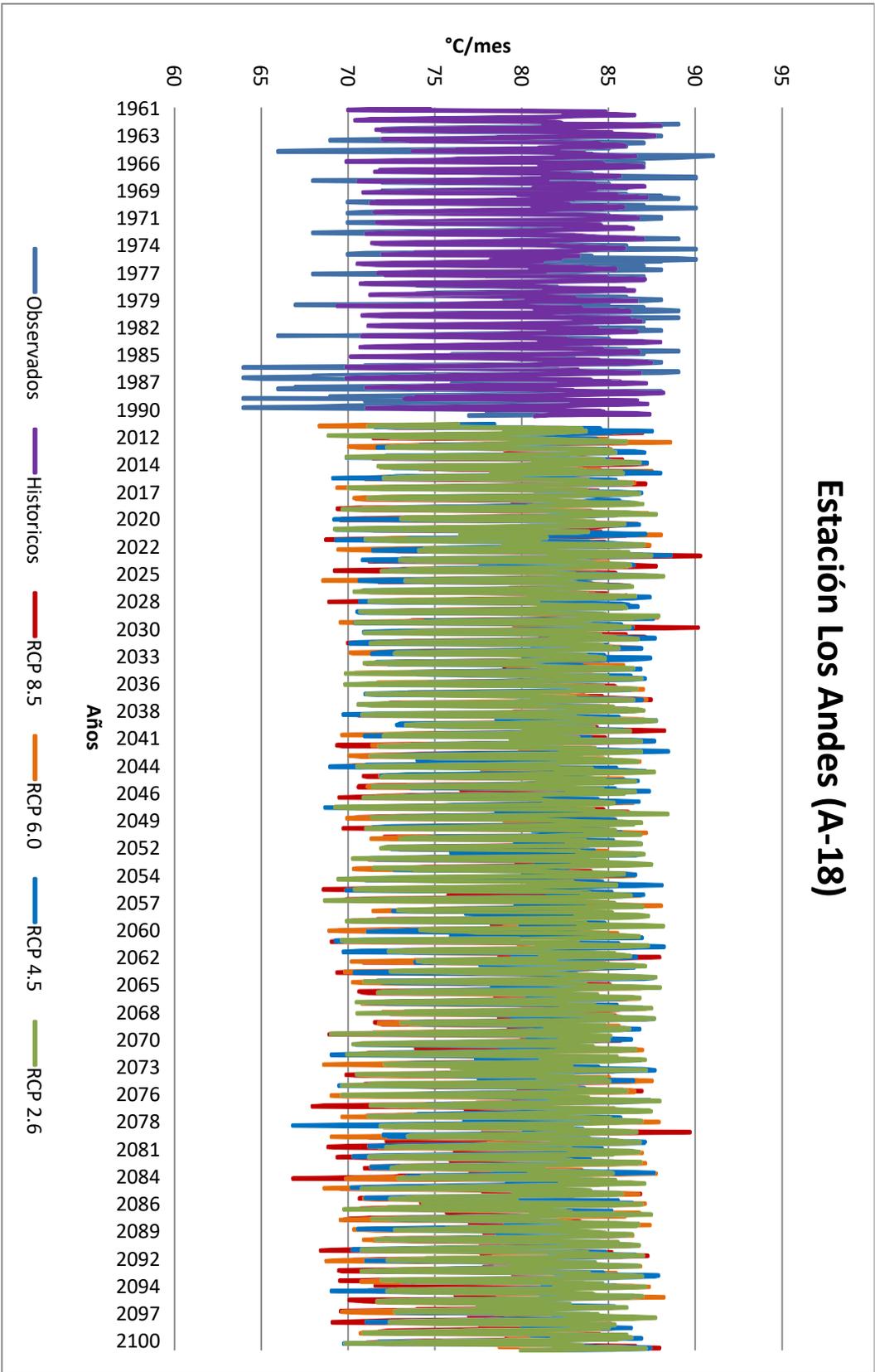
Figura 38. Histogramas para la temperatura mínima mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Santiago de María (U-6).

e) Humedad Relativa

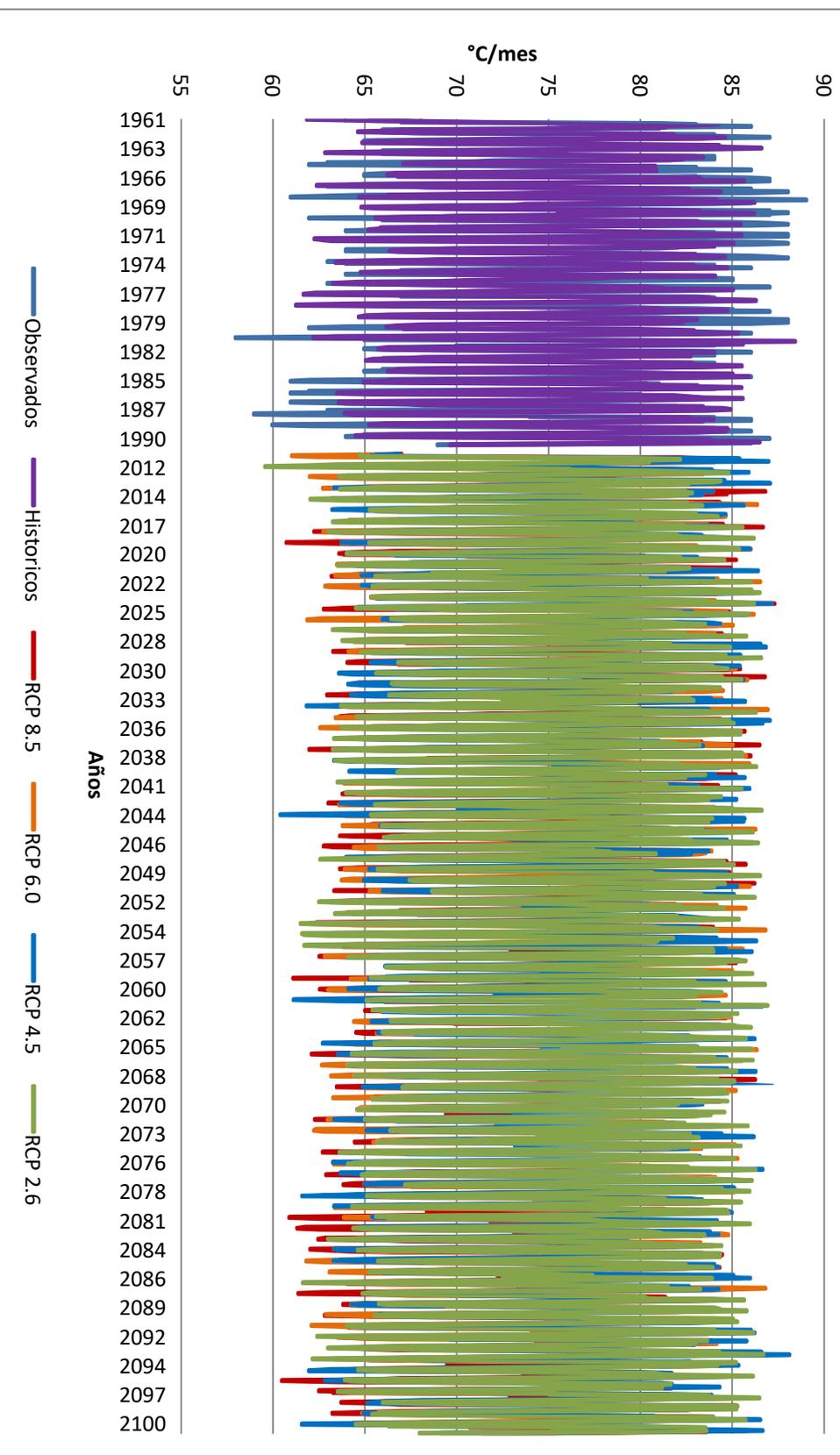
La humedad relativa presenta una leve tendencia a la reducción en todos los escenarios para las 3 estaciones analizadas en el ejemplo (Figura 39). Esta variable presenta reducciones del orden del 1% bajo el escenario RCP 2.6 y alrededor del 3% en el escenario RCP 8.5, siendo los valores porcentuales más marcados los de las estaciones localizadas al oriente y occidente del país (Figuras 40 a 42).

En cuanto al comportamiento de la marcha mensual, esta variable presentaría cambios poco significativos (del orden de 1-3%) en ambos periodos (2021-2050 y 2071-2100), así como entre Enero-Julio y Octubre-Diciembre. Los meses de Agosto y Septiembre muy probablemente son los que presentarían las mayores reducciones en porcentaje, con valores superiores al 5% (Anexo II-E).

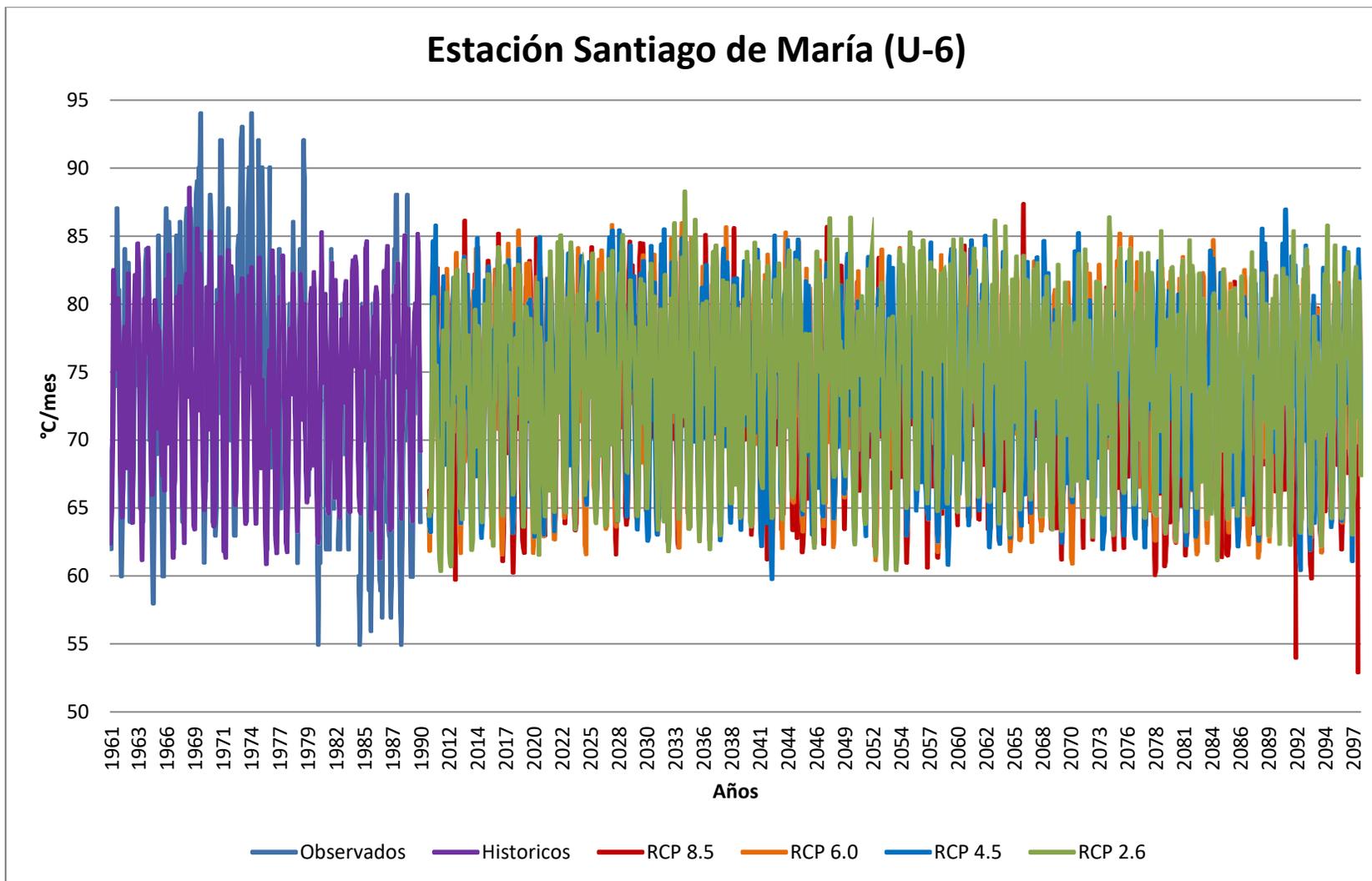
Estación Los Andes (A-18)



Estación Ilopango (S-10)



(b)



(c)

Figura 39. Series mensuales de la humedad relativa mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para las estaciones: Los Andes (A-18) (a), Ilopingo (S-10) (b) y Santiago de María (U-6) (c).

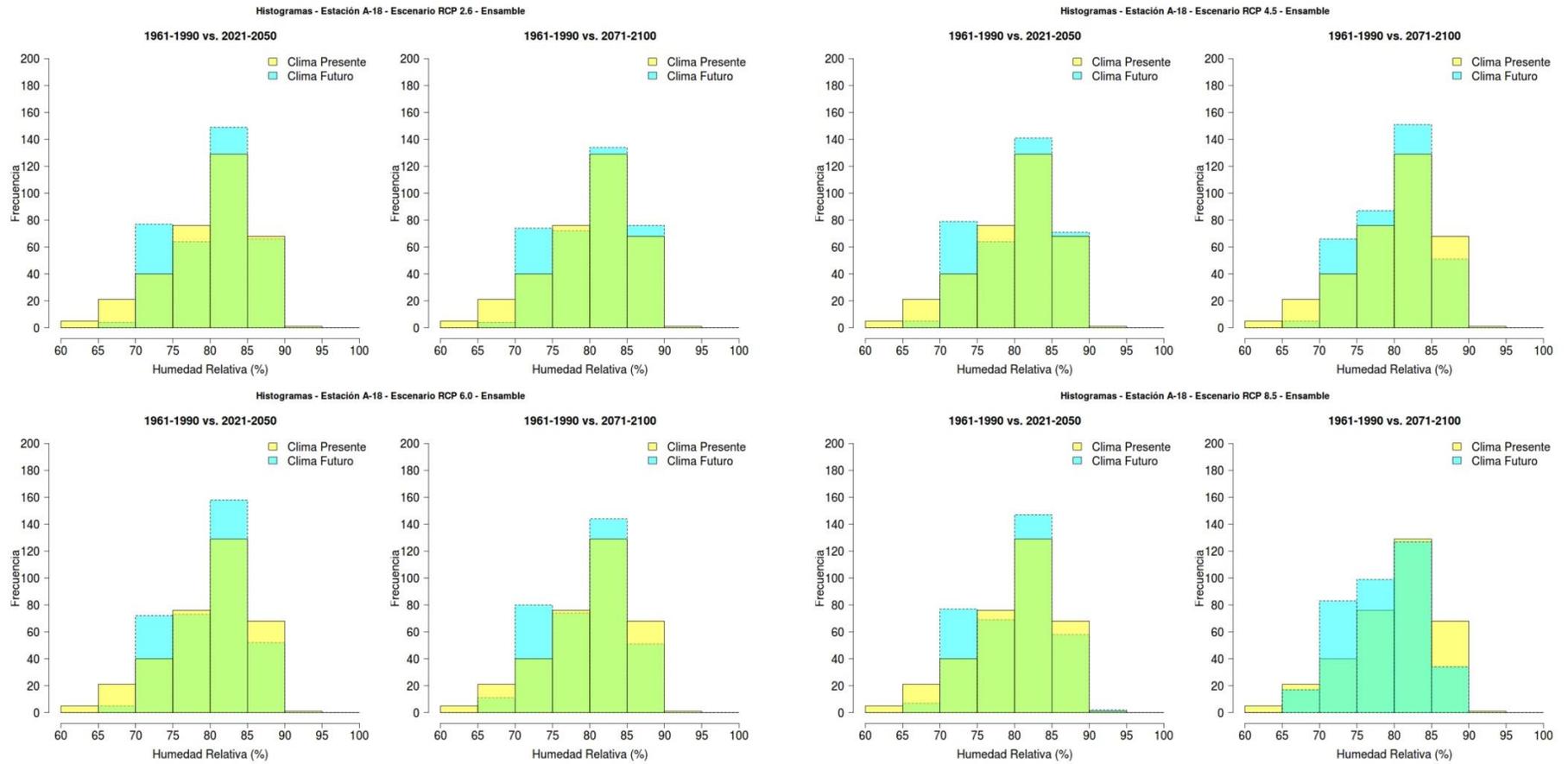


Figura 40. Histogramas para la humedad relativa mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Los Andes (A-18).

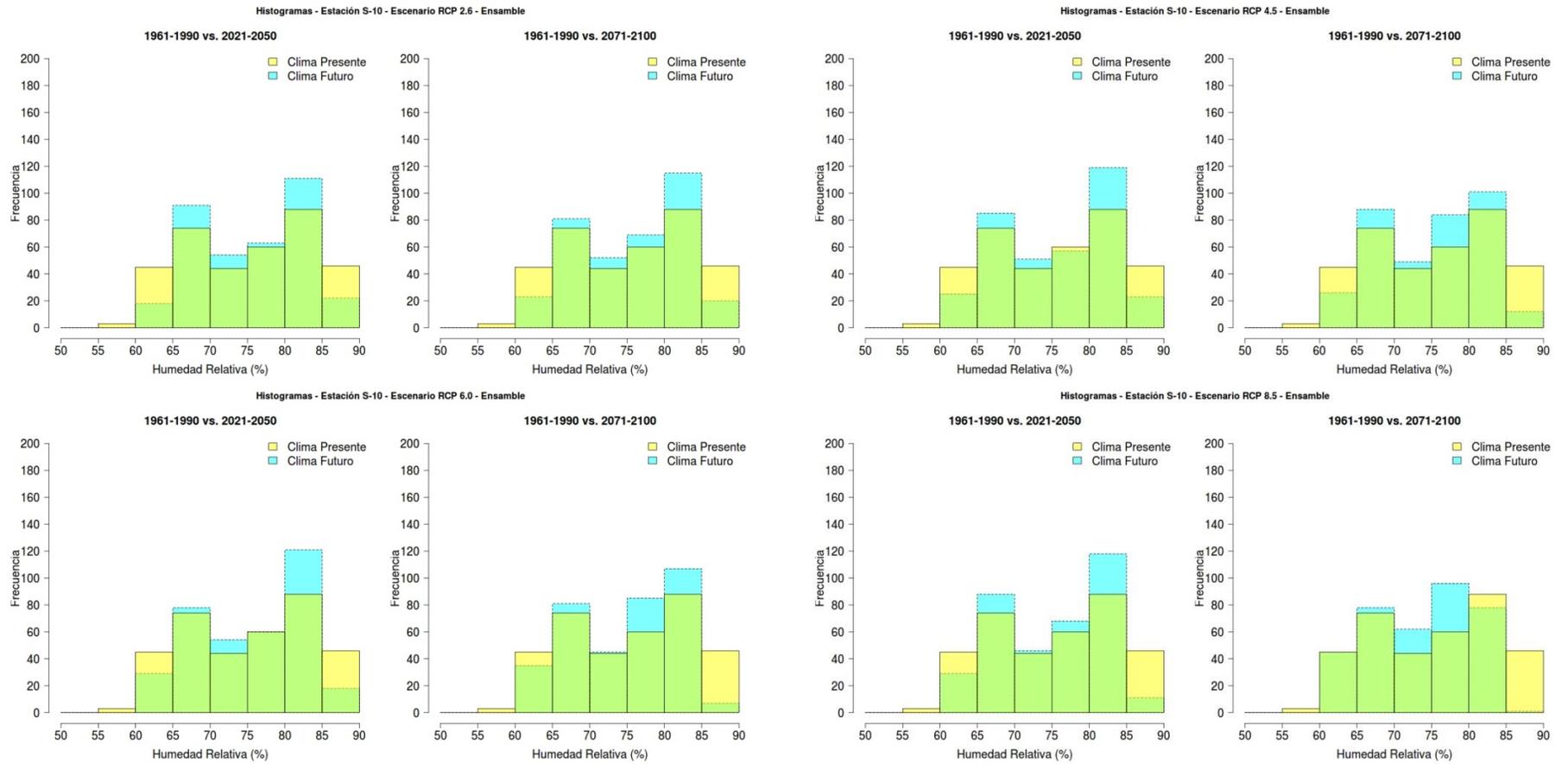


Figura 41. Histogramas para la humedad relativa mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Ilopingo (S-10).

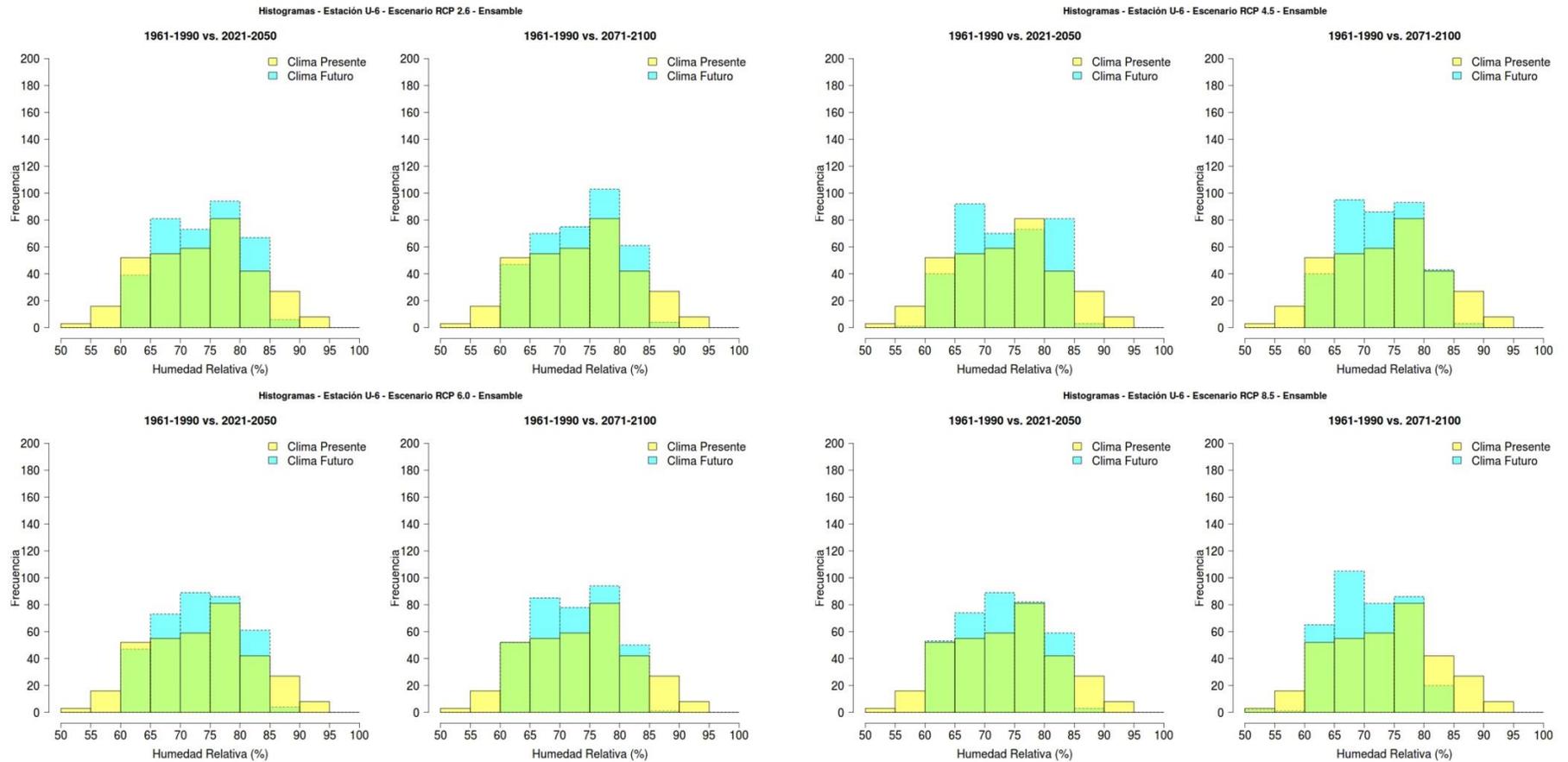


Figura 42. Histogramas para la humedad relativa mensual observada y proyectada por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP Estación Santiago de María (U-6).

ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS CAMBIOS PROYECTADOS PARA LAS VARIABLES CLIMÁTICAS

A continuación se presenta el análisis de los resultados de las proyecciones climáticas para El Salvador en los periodos 2021-2050 y 2071-2100. Estas proyecciones muestran, en general, reducciones en la precipitación y la humedad relativa, incrementos en la temperatura para todo el país y cambios poco significativos en la presión en superficie y en la velocidad del viento.

a) Precipitación

La precipitación a nivel nacional en **el Primer Periodo, es decir, entre 2021-2050, podrá reducirse entre un 10% a 20% ante cualquier escenario RCP, y particularmente, el cambio podrá ser superior al 20% bajo el RCP8.5** (Figura 43). Lo anterior, **representaría una reducción de al menos 200 milímetros en todo el país** (Figura 51).

Ante un análisis decadal (Anexo IV-A), es posible resaltar que:

- Bajo el horizonte de 2021-2030, las reducciones de precipitación podrían estar en el orden de entre un 15-25%, siendo las más altas bajo el escenario RCP2.6 (20-25%) y las más bajas bajo el RCP6.0 (15-20%) (Figura 44).
- Para el periodo 2031-2040 se presentarían valores de reducción del orden de 10 a 20%, donde los mayores cambios se presentan al oriente de El Salvador y bajo el RCP 8.5 (Figura 45).
- Hacia el periodo 2041-2050, el orden de la reducción en las lluvias podrá ser de entre un 10% al 20%, similar al periodo anterior (Figura 46).

Se destaca que **los cambios en el primer periodo, pueden compararse con las variaciones que se presentan producto de la variabilidad climática en El Salvador, así como que dichos cambios, están dentro de lo proyectado por el PICC en el 5AR para regiones tropicales.**

El comportamiento para el Segundo periodo, es decir, entre 2071-2100, muestra cambios o disminuciones más acentuadas del orden de un 20 a 26%, siendo más marcados los cambios bajo el RCP 8.5 (Figura 47).

Analizándolo por década (Anexo IV-A), se destaca que:

- Para el periodo de 2071-2080, los cambios o reducciones son del orden de 15-25%, siendo los más altos bajo los RCP 6.0 y 8.5 (20-25%) (Figura 48).

- En la década 2081-2090 las reducciones se sitúan entre 20% al 30%, siendo mayores bajo la condición más extrema de los RCP (Figura 49).
- Finalmente, en la última década del siglo XXI (2091-2100), los cambios proyectados en la precipitación son del orden de entre 20%-35% (Figura 50).

El comportamiento de los cambios en la precipitación será más marcado e intenso, en comparación con el primer periodo. Estas reducciones porcentuales representan, hacia finales de siglo, disminuciones de la precipitación de por lo menos 300 milímetros, especialmente al oriente del país (Figura 52).

En la Tabla 9 se aprecian los cambios promedios para todo el país que se proyectan para el campo de la precipitación anual en los periodos analizados.

Tabla 9. Promedio de los cambios porcentuales de la precipitación (%) bajo los 4 escenarios RCP en los periodos de referencia para El Salvador.

Escenario	Periodos		Primer Periodo (decadales)			Segundo Periodo (decadales)		
	2021 - 2050	2071- 2100	2021 - 2030	2031- 2040	2041- 2050	2071- 2080	2081- 2090	2091- 2100
RCP 2.6	-19,4	-18,7	-23,9	-16,9	-17,5	-16,7	-20,2	-18,7
RCP 4.5	-18,7	-20,8	-18,7	-19,6	-20,3	-23,0	-20,9	-17,5
RCP 6.0	-20,1	-21,8	-19,3	-20,1	-21,0	-22,9	-18,8	-23,7
RCP 8.5	-21,2	-24,9	-20,2	-21,5	-22,2	-23,5	-26,0	-25,5

A nivel mensual, considerando el Primer periodo, dentro de la estación seca (comprendiendo meses de Diciembre, Enero y Abril, específicamente), podrán presentarse incrementos de precipitación superiores al 10% en la mayor parte del territorio nacional. Por otro lado, **dentro de la estación lluviosa (entre los meses de Mayo a Octubre), los cambios muestran disminuciones en las lluvias del orden de 10-20%. Se destaca que los cambios que podrán presentarse mayormente se establecen en los meses de Julio (intensificación de la canícula), Agosto e incluso Septiembre (Tabla 10) (Anexo III-A).**

Tabla 10. Promedio de los cambios porcentuales mensuales de la precipitación (%) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2021-2050. En verde se señalan la mayor coincidencia en los cambios positivos (incrementos) mientras que en naranja son los cambios negativos (disminuciones) en las lluvias.

Escenario	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	33,7	-5,1	-9,6	10,5	-6,2	-10,0	-16,3	-15,1	-14,6	1,8	2,0	21,9
RCP 4.5	18,0	1,6	-1,3	5,6	1,6	-10,7	-13,2	-21,2	-16,9	2,8	-5,8	27,7
RCP 6.0	11,2	-13,9	-13,1	27,4	-4,3	-6,4	-15,1	-19,7	-16,6	-1,1	-5,6	0,7
RCP 8.5	11,6	-8,6	-3,7	2,1	0,3	-11,3	-18,0	-19,1	-16,4	2,1	-8,7	32,2

Para el segundo periodo, es decir, 2071-2100, si bien la tendencia de aumento de la precipitación (hasta un 27%) en los meses considerados como secos, en particular los meses de Diciembre, Enero y Abril, el rango de cambio es menor e incluso algunos RCP ya indican cambios negativos o disminuciones de hasta un 7%. En los meses de la estación lluviosa (junio-julio-agosto-septiembre) la tendencia de reducción de las lluvias mensuales tienden a acentuarse aún más, donde los RCP8.5 indican cambios negativos o disminuciones de hasta 35.4%, particularmente en el mes de Agosto (Tabla 11) (Anexo III-B).

Tabla 11. Promedio de los cambios porcentuales mensuales de la precipitación (%) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2071-2100. En verde se señalan la mayor coincidencia en los cambios positivos (incrementos) mientras que en naranja son los cambios negativos (disminuciones) en las lluvias. El color más tenue es indicativo de cambios menos marcados al compararlo con el primer periodo.

Escenario	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	12,4	-15,0	-3,7	21,2	-6,5	-8,8	-11,7	-18,7	-16,4	6,8	7,1	24,7
RCP 4.5	17,4	20,7	0,9	24,3	2,4	-17,4	-15,8	-25,3	-20,7	2,5	-5,8	-7,4
RCP 6.0	25,7	3,7	-12,7	0,7	-5,2	-18,3	-21,2	-24,5	-20,4	4,5	5,2	2,7
RCP 8.5	-3,9	-23,2	-9,1	11,3	-7,0	-25,3	-31,2	-35,4	-29,6	6,5	10,3	26,8

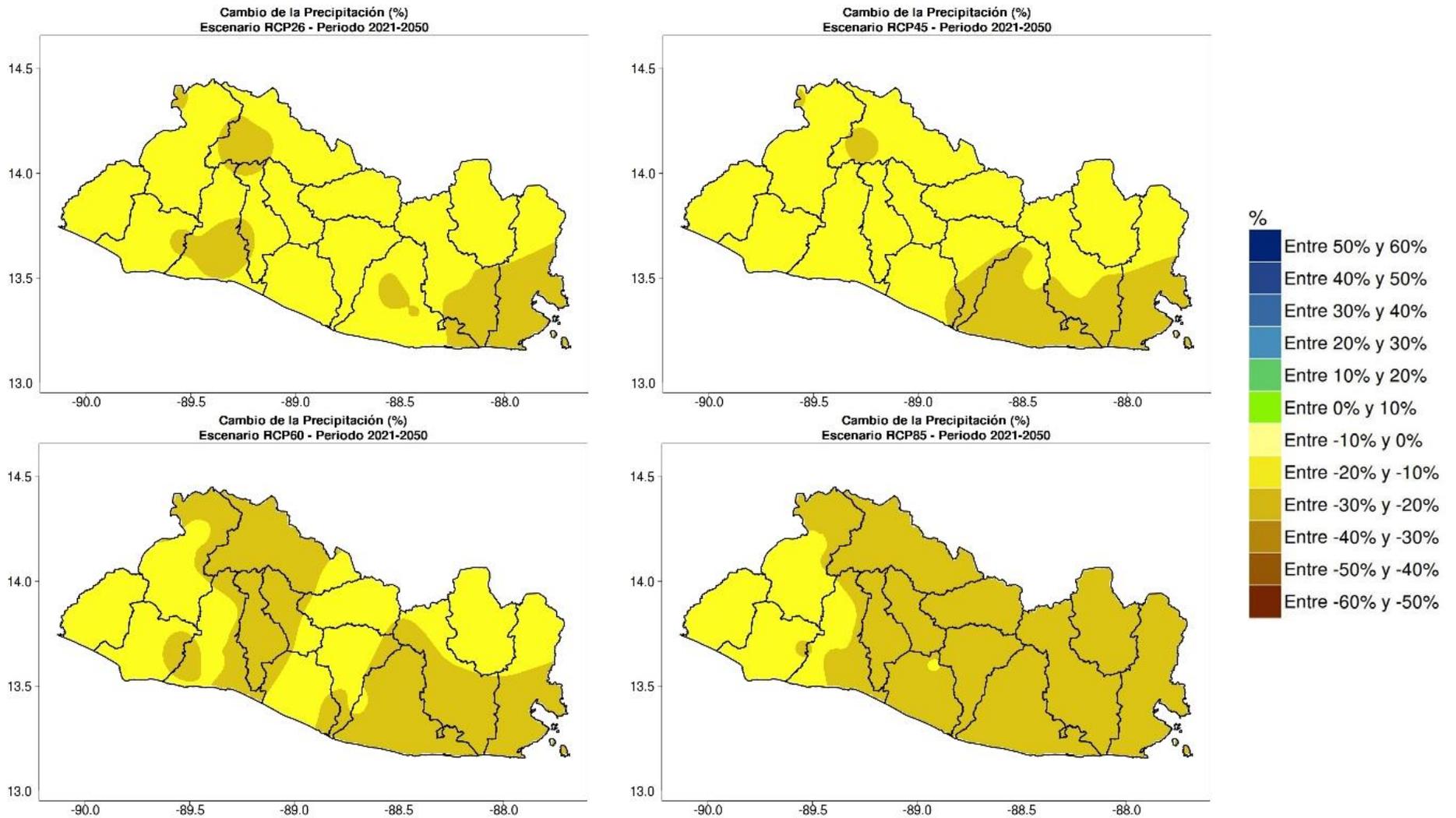


Figura 43. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.

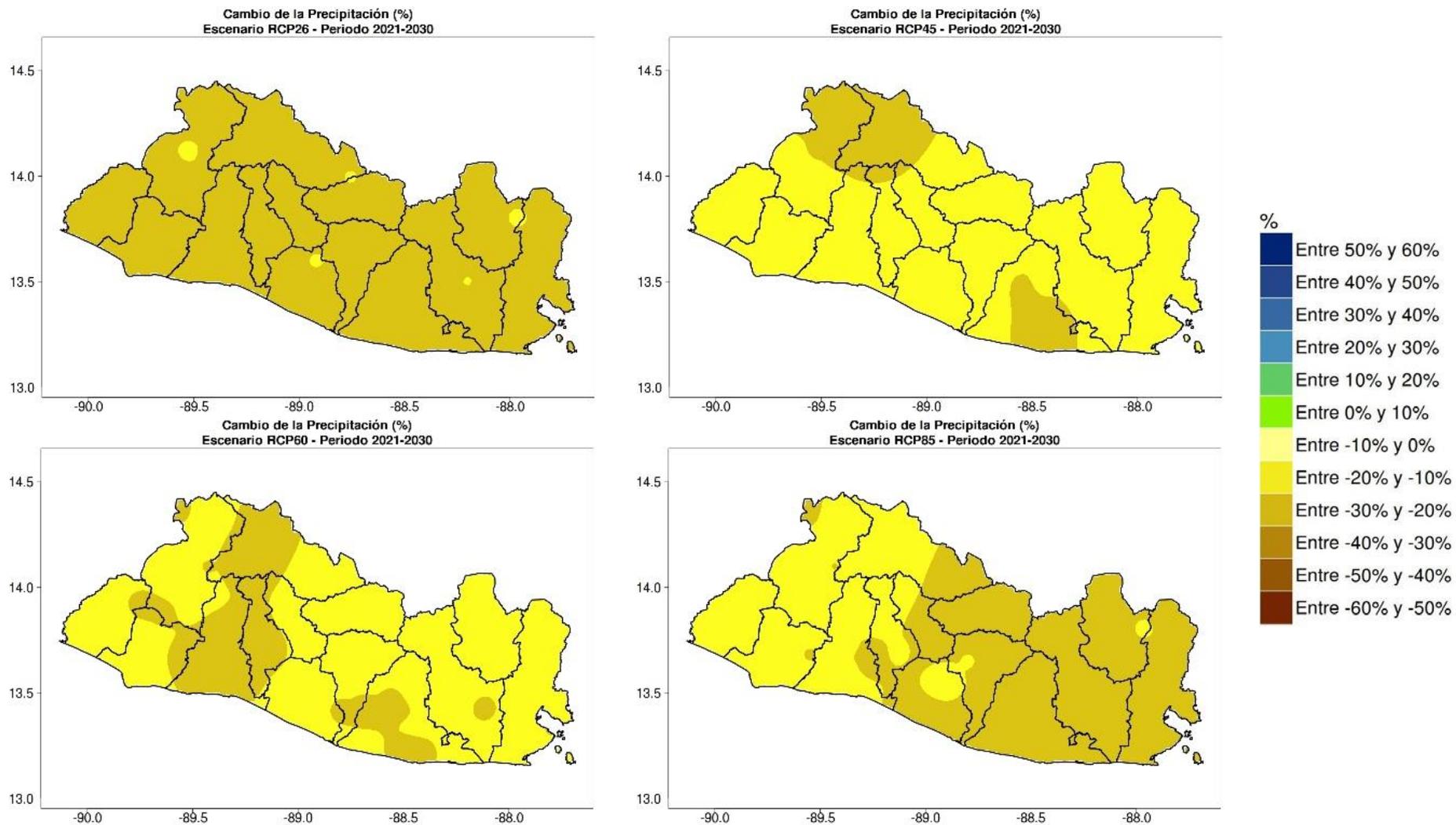


Figura 44. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.

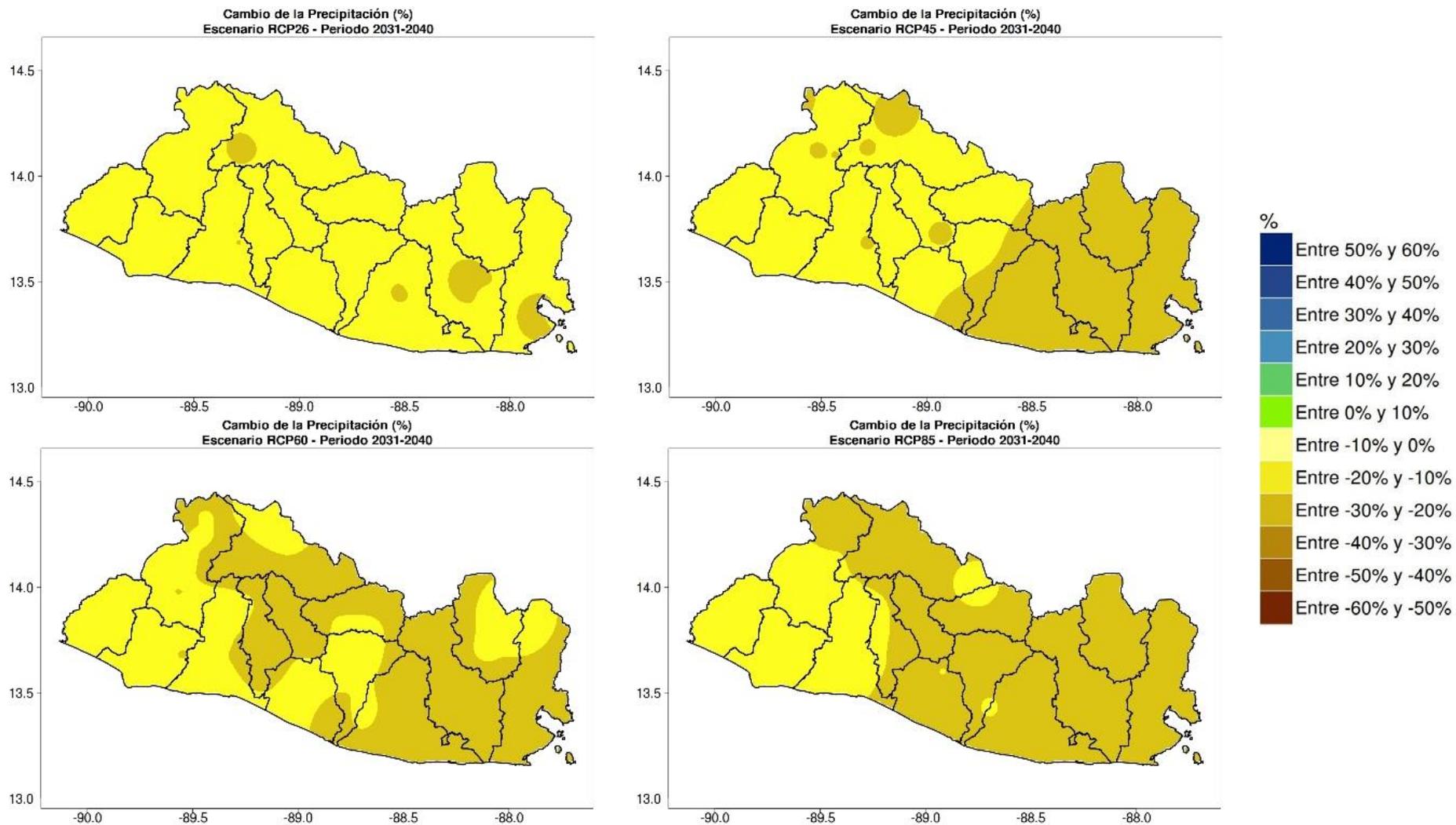


Figura 45. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.

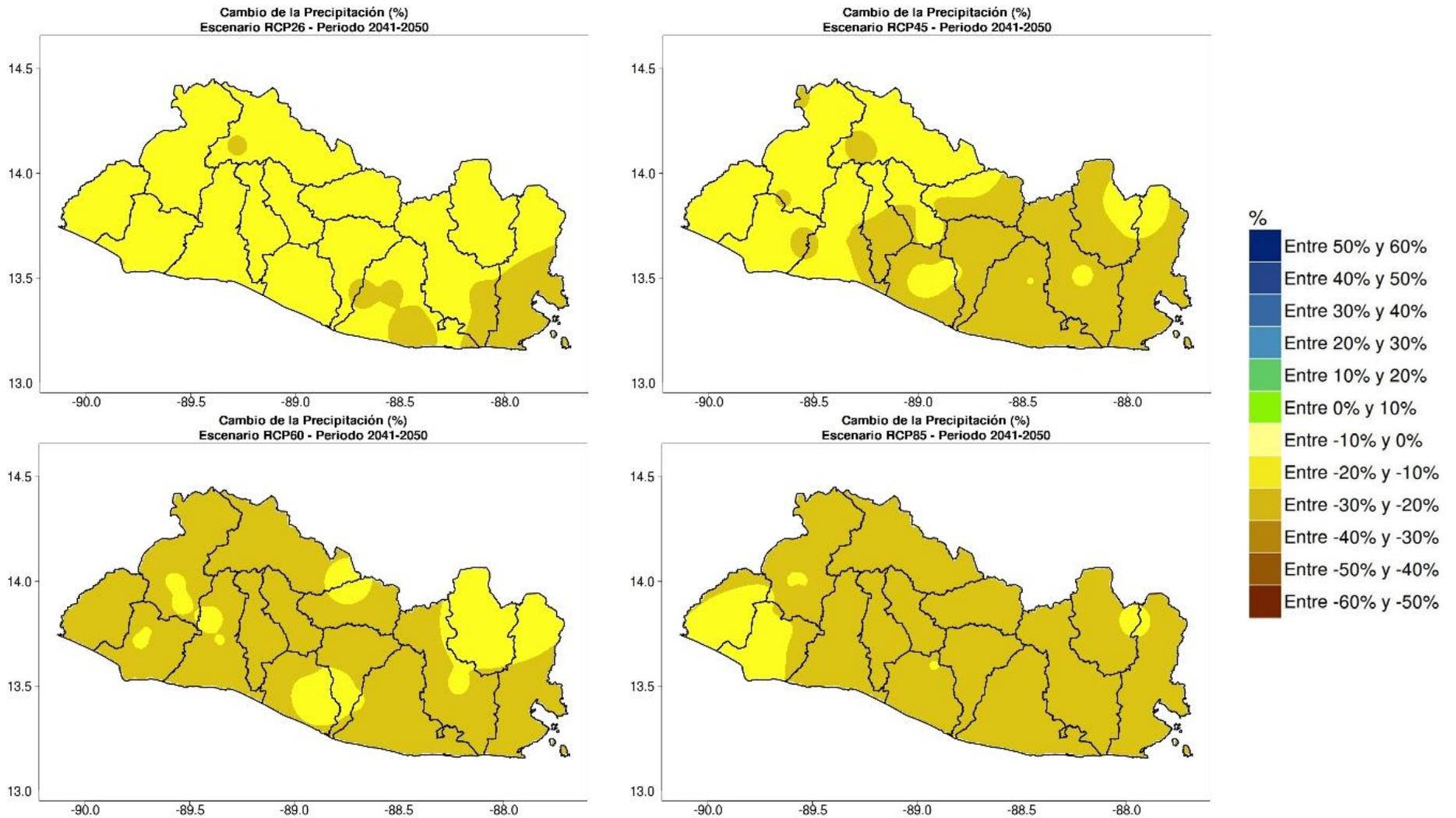


Figura 46. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.

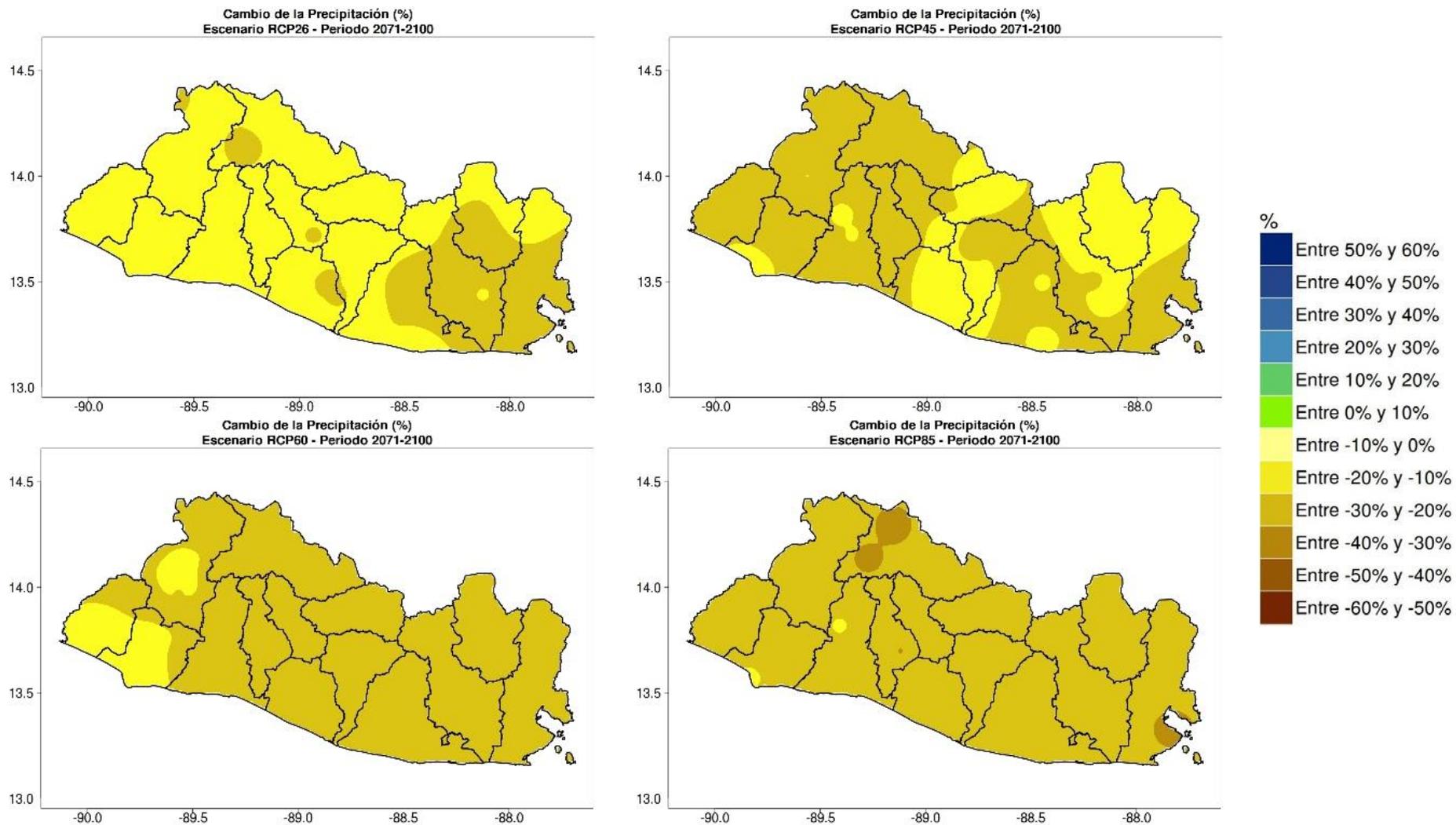


Figura 47. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.

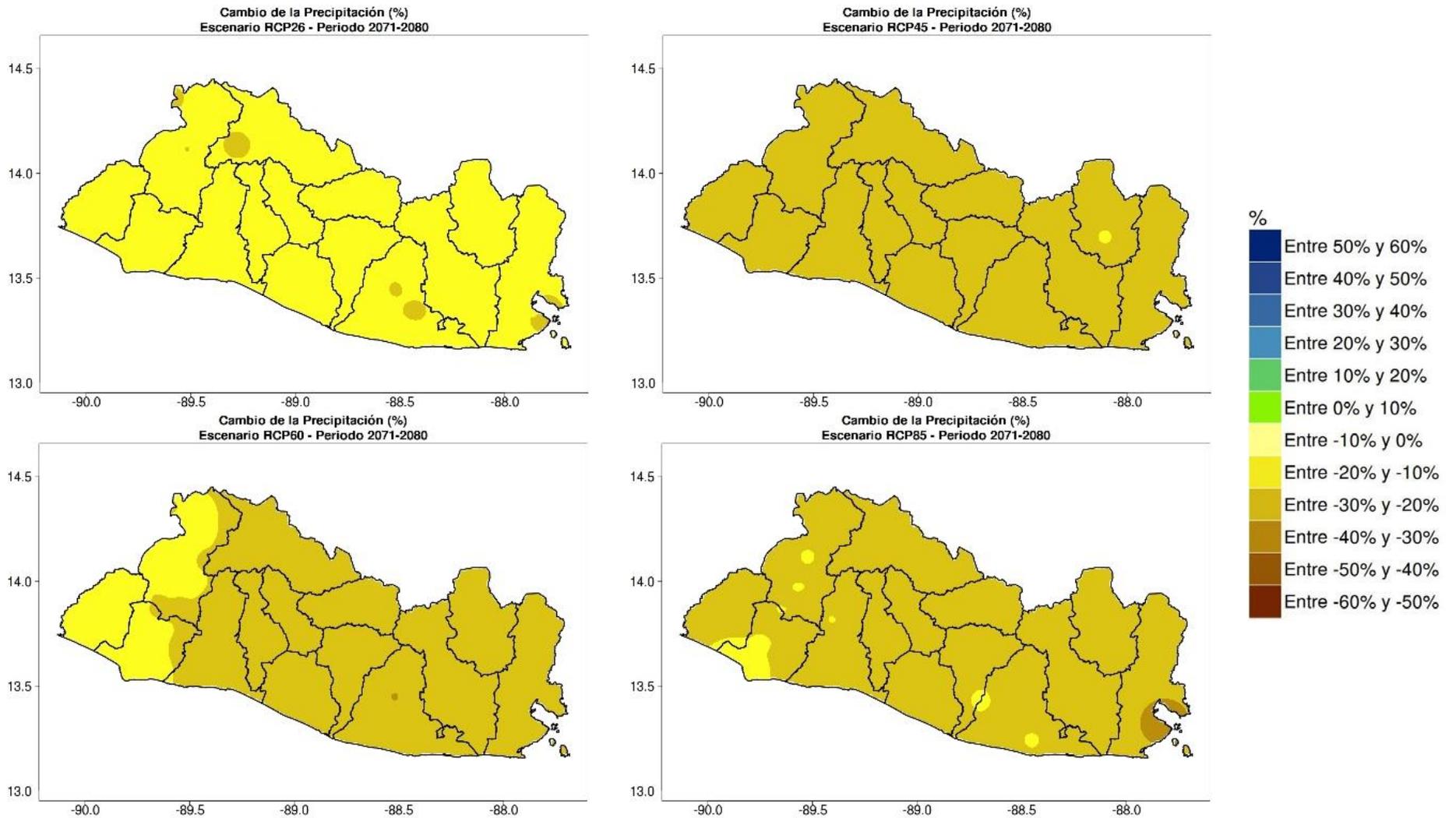


Figura 48. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.

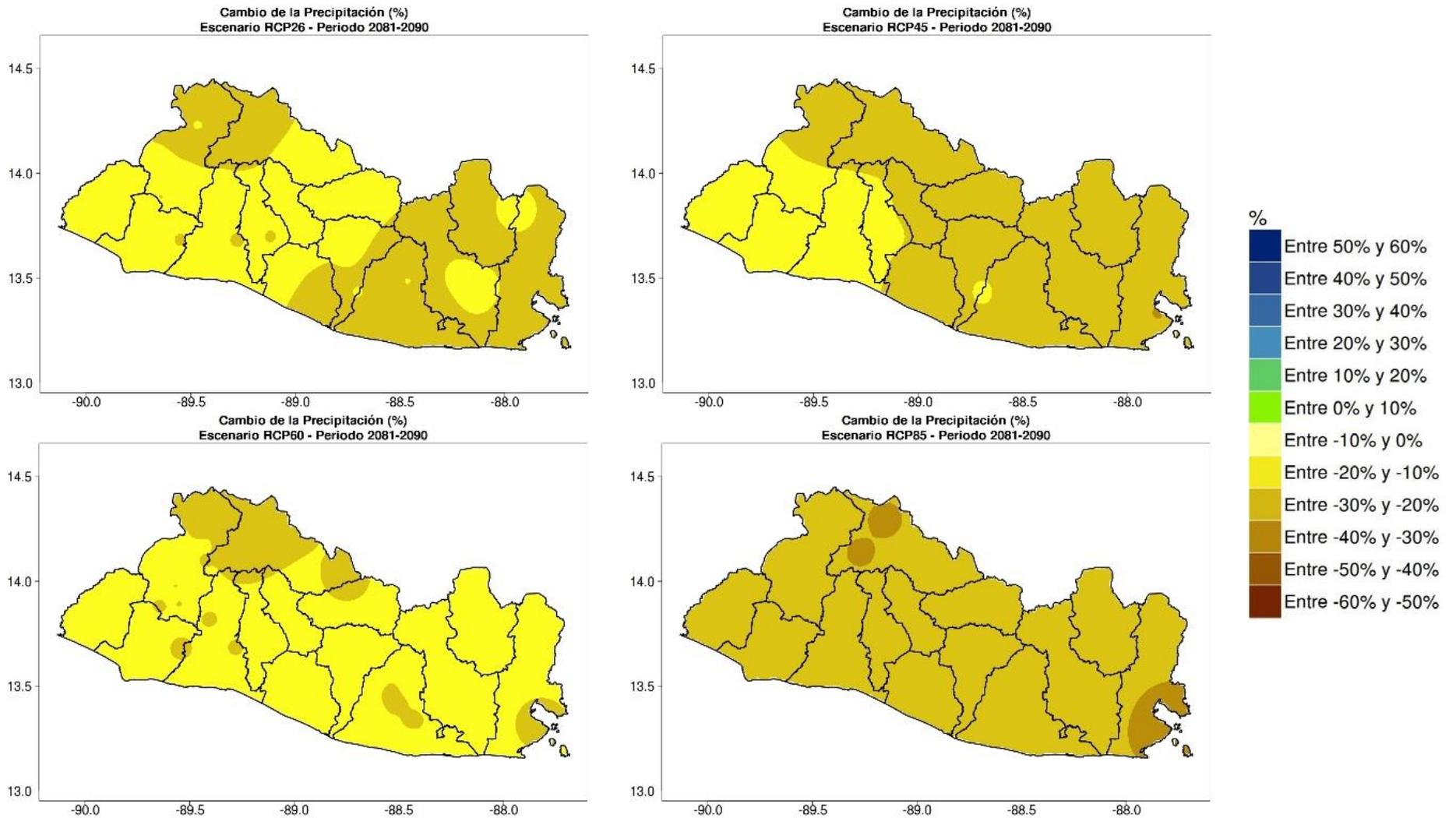


Figura 49. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.

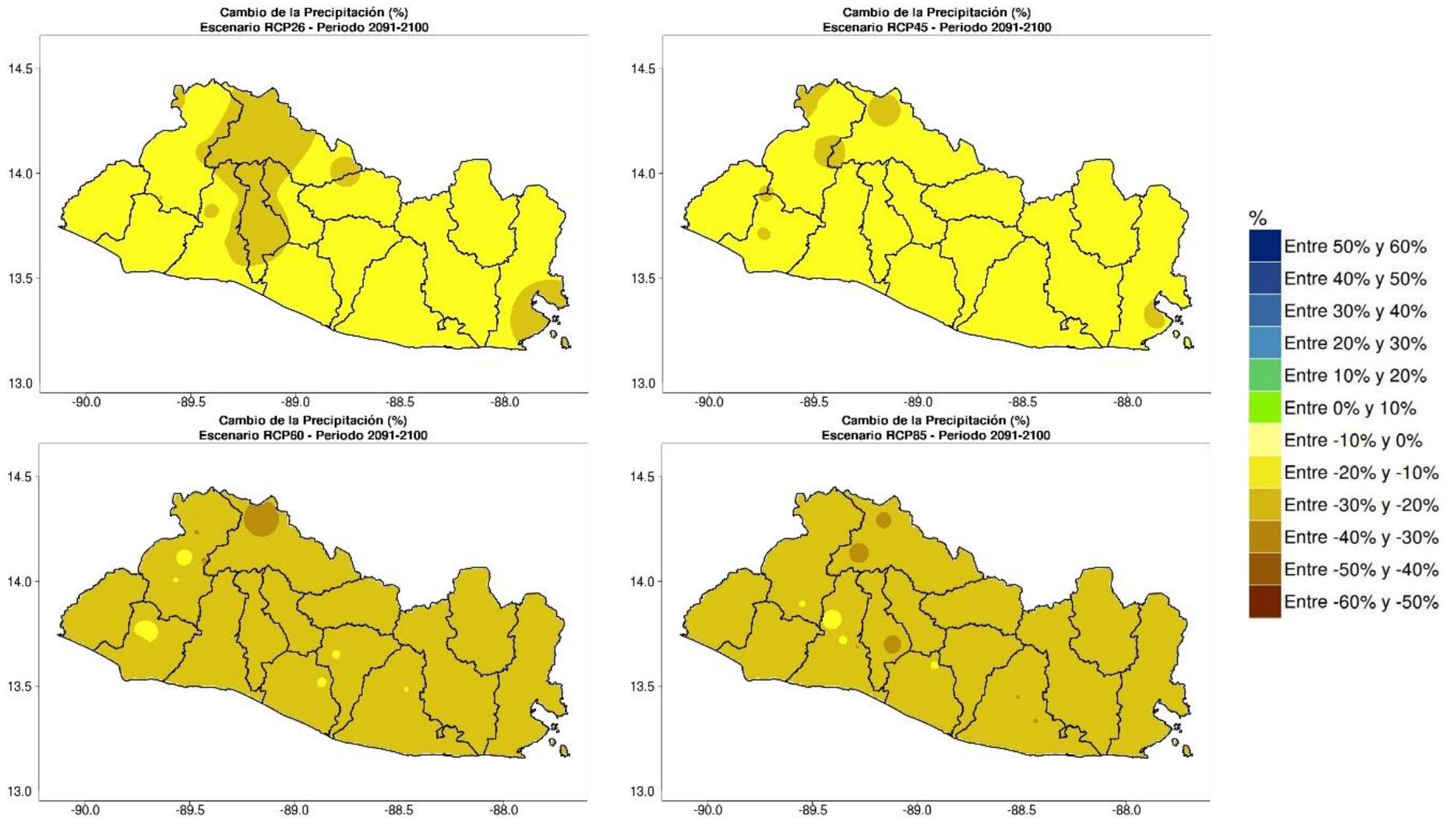


Figura 50. Cambios porcentuales de la precipitación (%) proyectados por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.

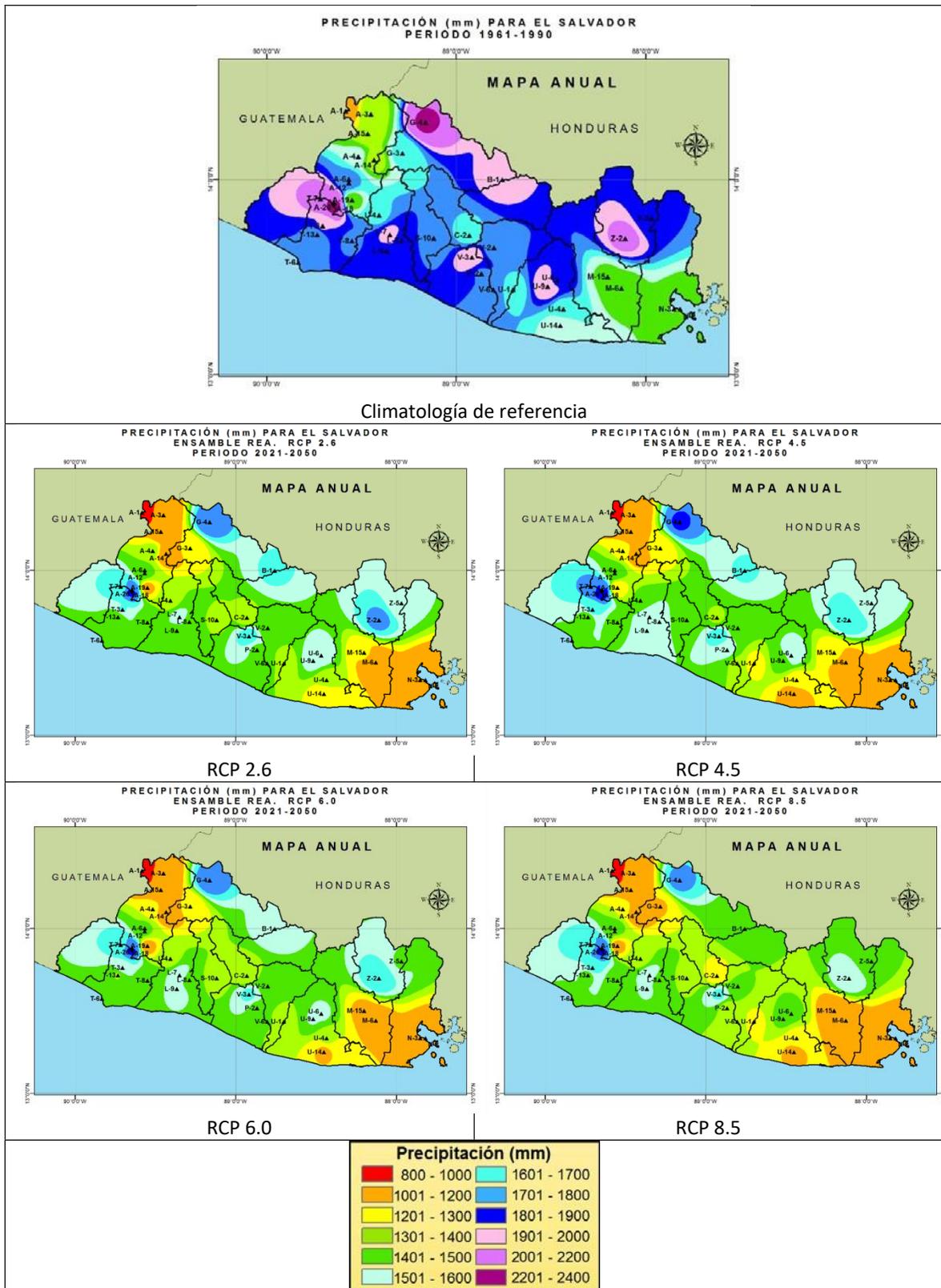


Figura 51. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la precipitación anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2021-2050.

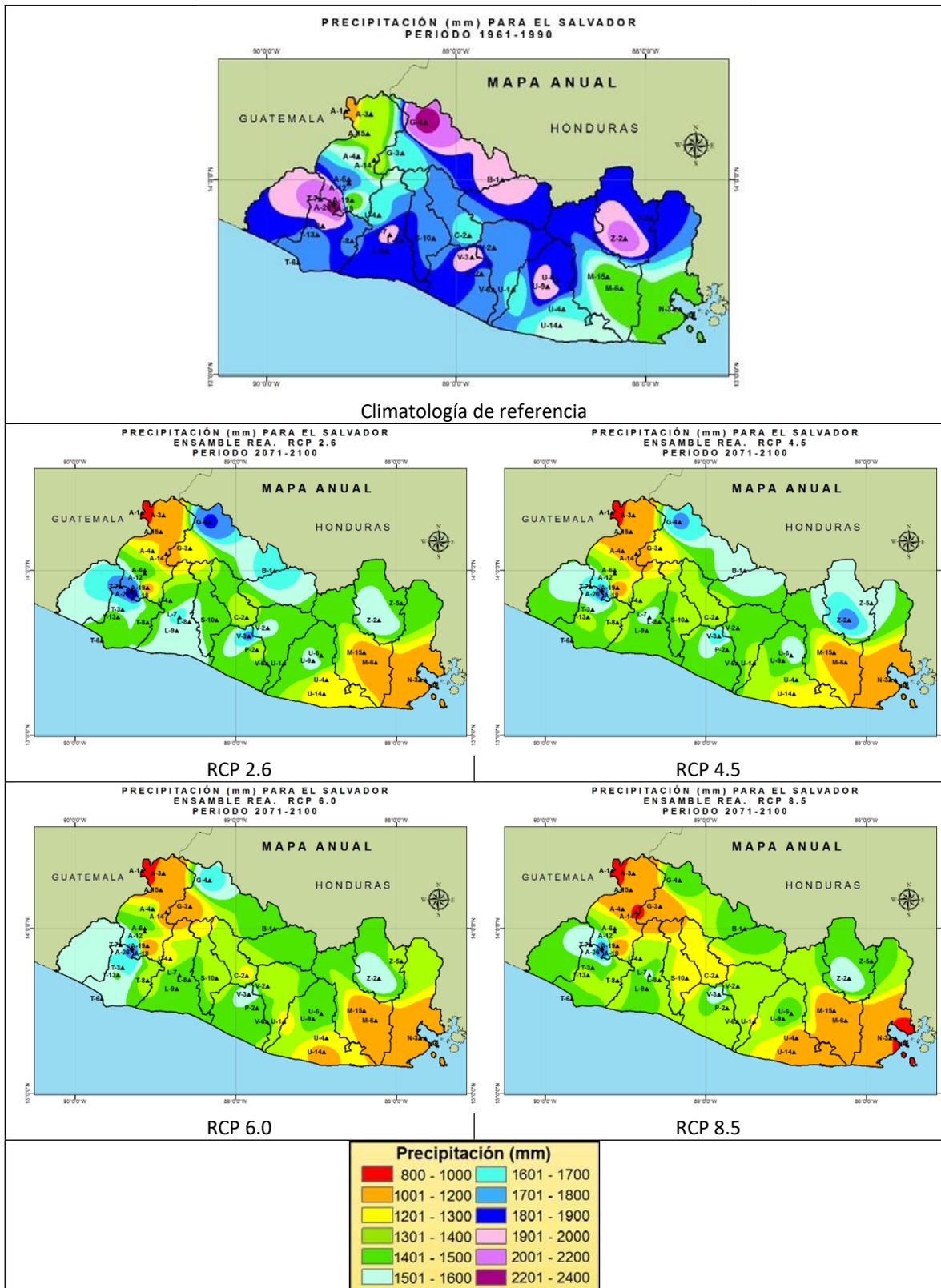


Figura 52. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la precipitación anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2071-2100.

b) Temperatura Media

La temperatura media presentaría aumentos en los periodos 2021-2050 y 2071-2100 bajo todos los escenarios RCP. Lo anterior, podrá involucrar cambios de entre 1°C y 3°C y hasta 4.5° C hacia finales del siglo. Se destaca que dicho comportamiento resulta similar a los cambios esperados por el PICC.

Para el primer periodo (2021-2050), los valores de la temperatura podrán incrementarse entre 1°C y 2°C, coincidiéndose en todos los RCP (Figura 53). Se resalta que estos cambios tendrá un efecto directo en la temperatura de la costa pacífica y una gran parte del oriente de El Salvador donde los valores podrán superar los 27°C (Figura 61 y Anexo IV-B).

A nivel decadal se tiene que, para 2021-2030 (Figura 54) y 2031-2041 (Figura 55), los aumentos de temperatura podrían ser entre 0,7°C y 1.5°C, siendo muy similares bajo todos los escenarios y destacando que los mayores cambios se dan ante el escenario RCP 8.5. La última década de este periodo (2041-2050), presenta los mayores cambios en la temperatura con valores de entre 1,5°C y 2°C, ocurriendo los valores más altos en el oriente de El Salvador bajo el RCP 8.5 (Figura 56).

Para el segundo periodo (2071-2100), la temperatura media tendrá mayores aumentos, con valores que oscilan entre 1,5°C y hasta 4,5°C, con los incremento más altos (superiores a 3°C) bajo el escenario RCP 8.5 (Figura 57). **Este cambio implica que el 90% del territorio nacional presentará valores medios en la temperatura superiores a los 27°C** (Figura 62 y Anexo IV-B).

Para la primera década del segundo periodo (2071-2080) los aumentos de temperaturas podrán variar entre 1°C y 1,5°C y hasta 2,5°C a 3,5°C (Figura 58). En las décadas 2081-2090 (Figura 59) y 2091-2100 (Figura 60) la variación aumentará de entre 2,5°C y 4,5°C, con énfasis en el oriente del territorio de El Salvador.

En la

Tabla 12 se presentan los valores de las anomalías promedio de la temperatura del aire para todo el país, con referencia a los diferentes horizontes de tiempo analizados.

Tabla 12. Promedio de las anomalías de la temperatura media (°C) bajo los 4 escenarios RCP en los periodos de referencia para El Salvador.

Escenario	Periodos		Primer Periodo (decadales)			Segundo Periodo (decadales)		
	2021-2050	2071-2100	2021 - 2030	2031-2040	2041-2050	2071-2080	2081-2090	2091-2100
RCP 2.6	1,0	1,3	1,0	0,9	1,1	1,3	1,2	1,4
RCP 4.5	1,2	2,2	0,9	1,3	1,5	1,9	2,1	2,2
RCP 6.0	1,0	2,3	0,8	0,9	1,3	1,7	2,1	2,3
RCP 8.5	1,3	3,7	1,0	1,3	1,7	2,6	3,2	3,7

A nivel mensual, para el periodo 2021-2050 los cambios son muy similares para todos los meses (entre 1-1,5°C) (Tabla 13 y Anexo III-C), mientras que para 2071-2100 los meses con mayores incrementos serían Julio, Agosto y Septiembre bajo el RCP 8.5, con valores superiores a los 4°C (Tabla 14 y Anexo III-D).

Tabla 13. Promedio de las anomalías mensuales de la temperatura media (°C) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2021-2050.

Escenario	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,1
RCP 4.5	1,3	1,3	1,4	1,4	1,2	1,2	1,3	1,4	1,3	1,2	1,2	1,3
RCP 6.0	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	1,2	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1
RCP 8.5	1,4	1,4	1,5	1,5	1,3	1,3	1,5	1,6	1,5	1,3	1,3	1,3

Tabla 14. Promedio de las anomalías mensuales de la temperatura media (°C) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2071-2100.

Escenario	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,5	1,3	1,3	1,3
RCP 4.5	2,2	2,1	2,4	2,4	2,3	2,4	2,5	2,6	2,4	2,2	2,1	2,2
RCP 6.0	2,2	2,3	2,5	2,5	2,4	2,5	2,7	2,7	2,6	2,3	2,2	2,2
RCP 8.5	3,5	3,5	3,8	3,8	3,8	3,9	4,3	4,4	4,2	3,6	3,5	3,6

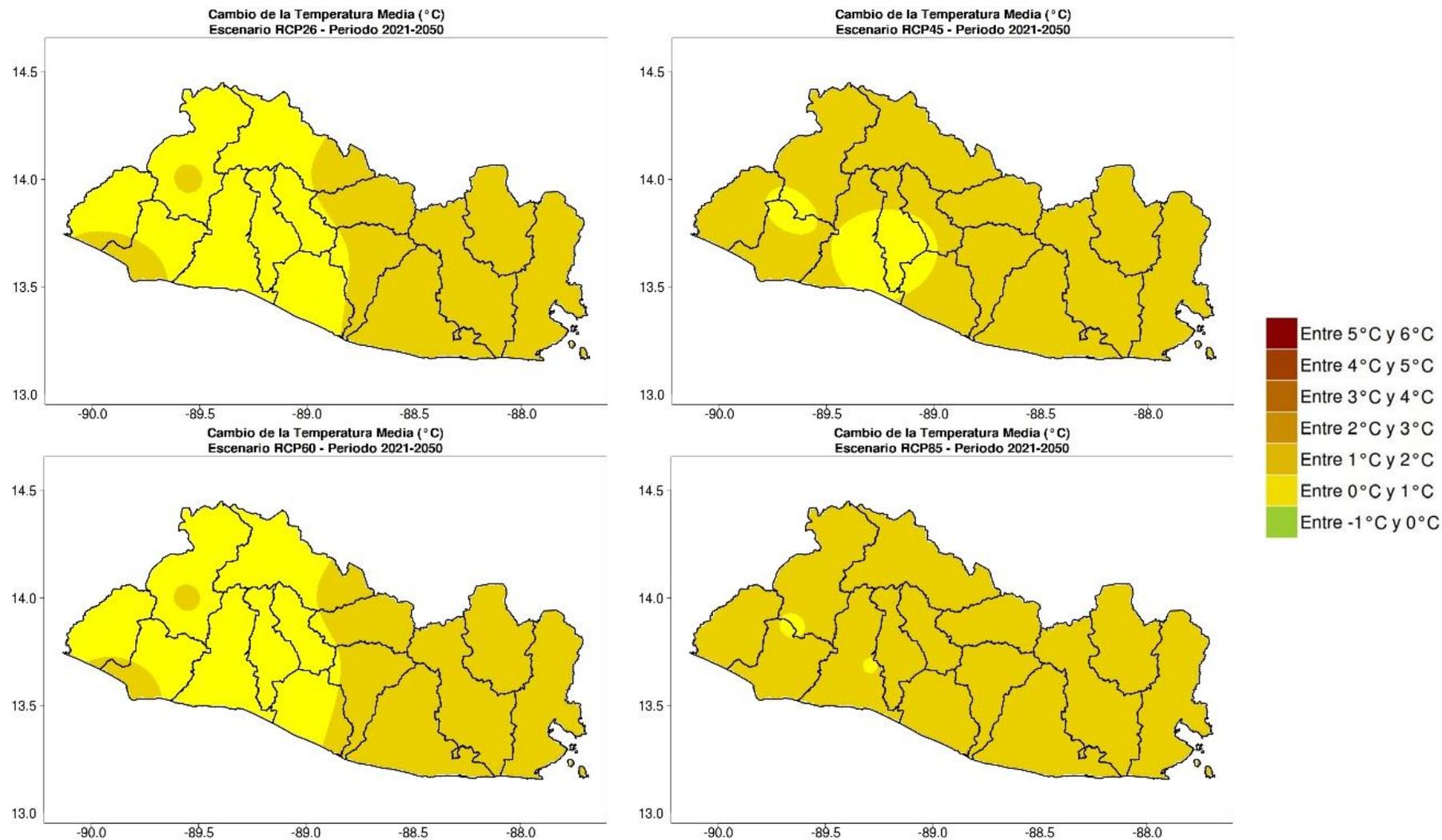


Figura 53. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.

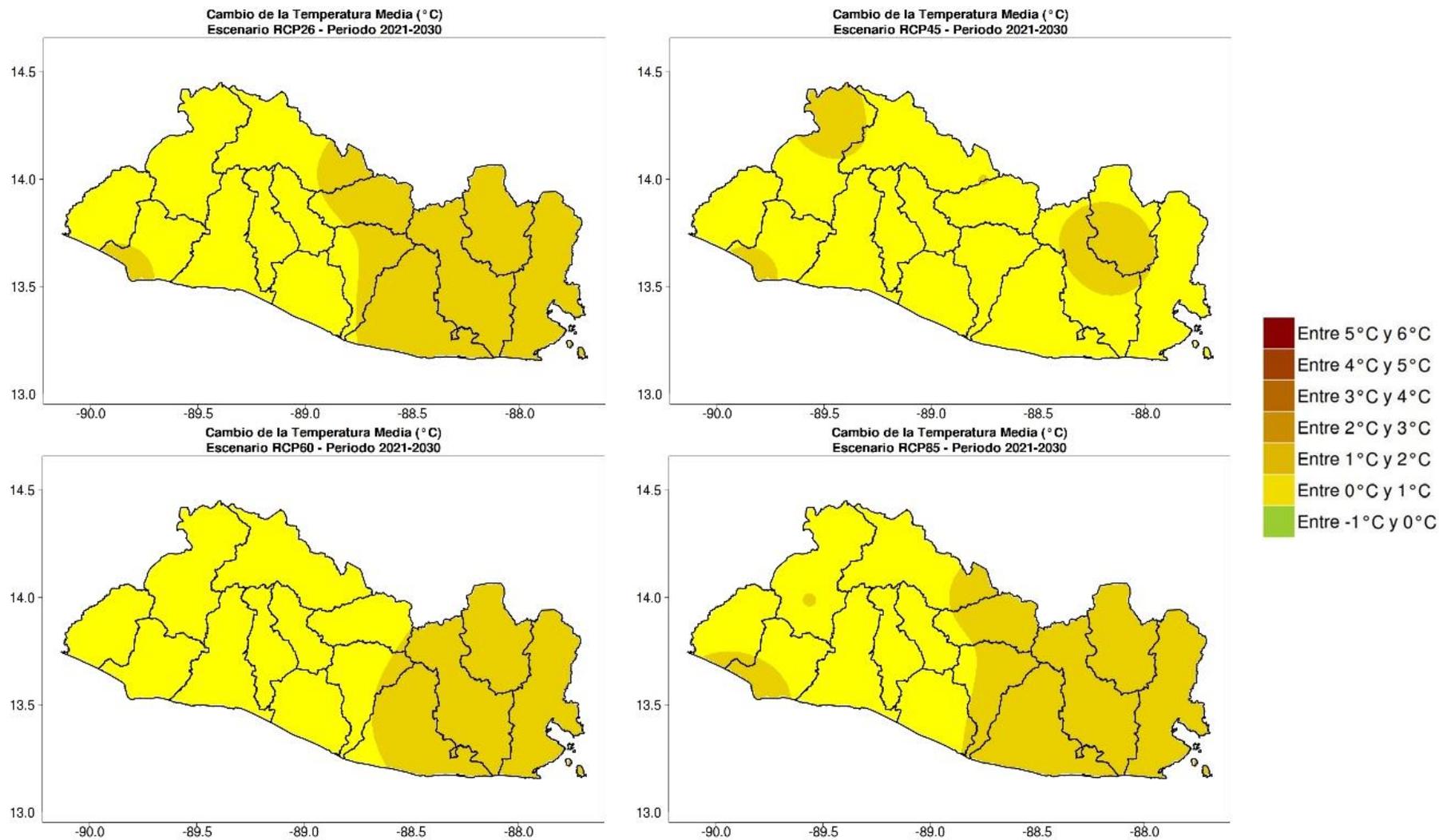


Figura 54. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.

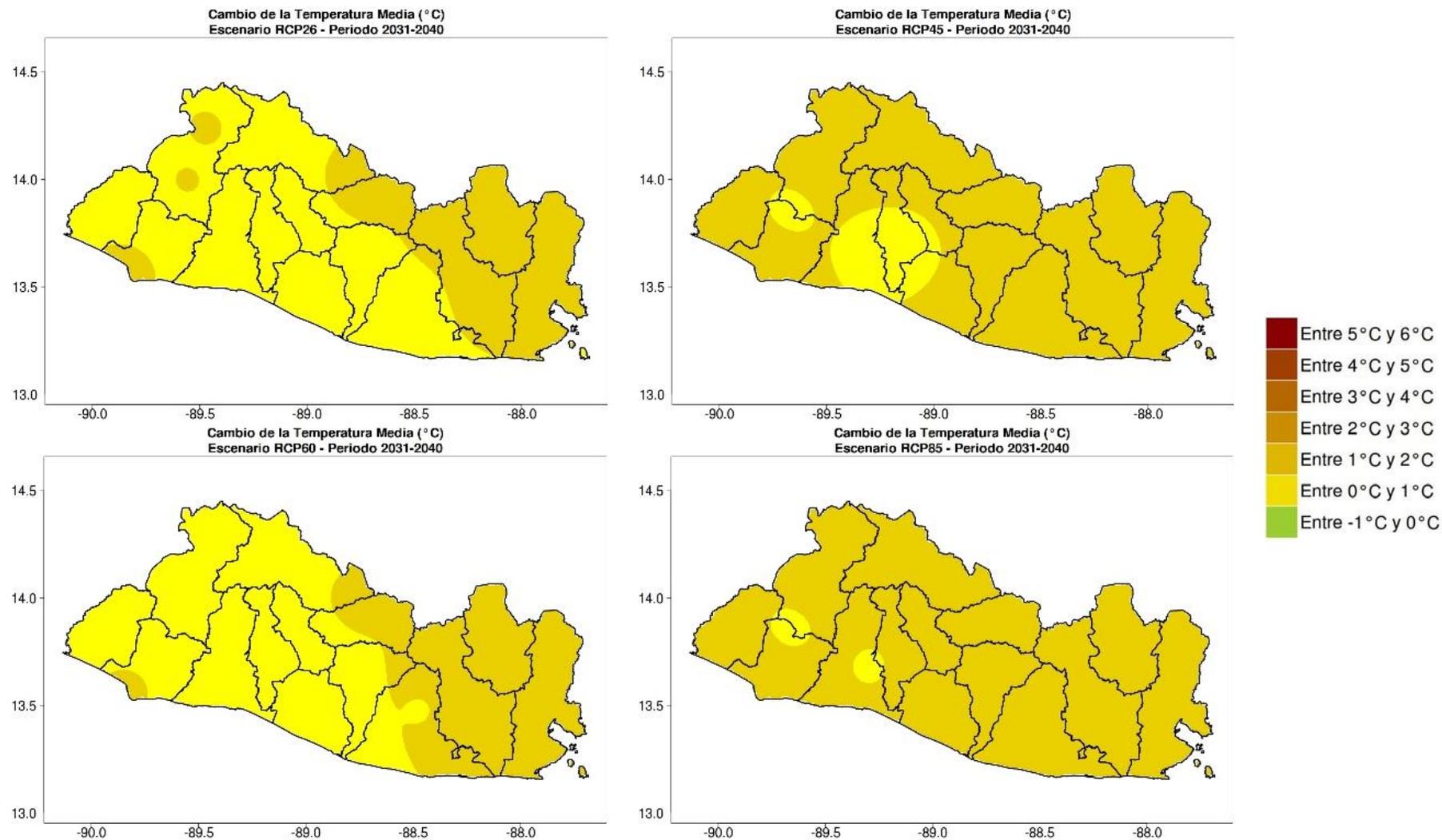


Figura 55. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.

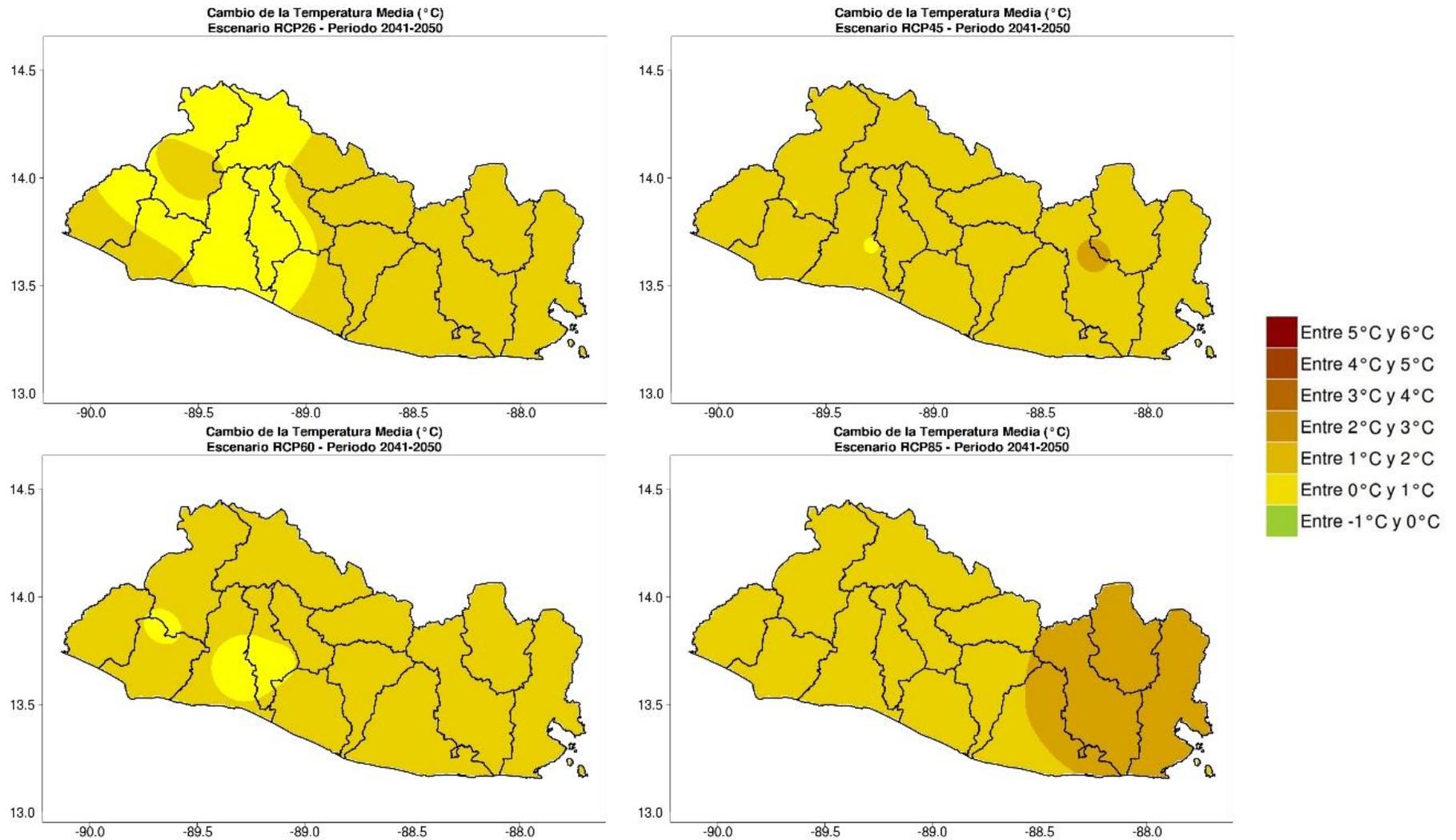


Figura 56. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.

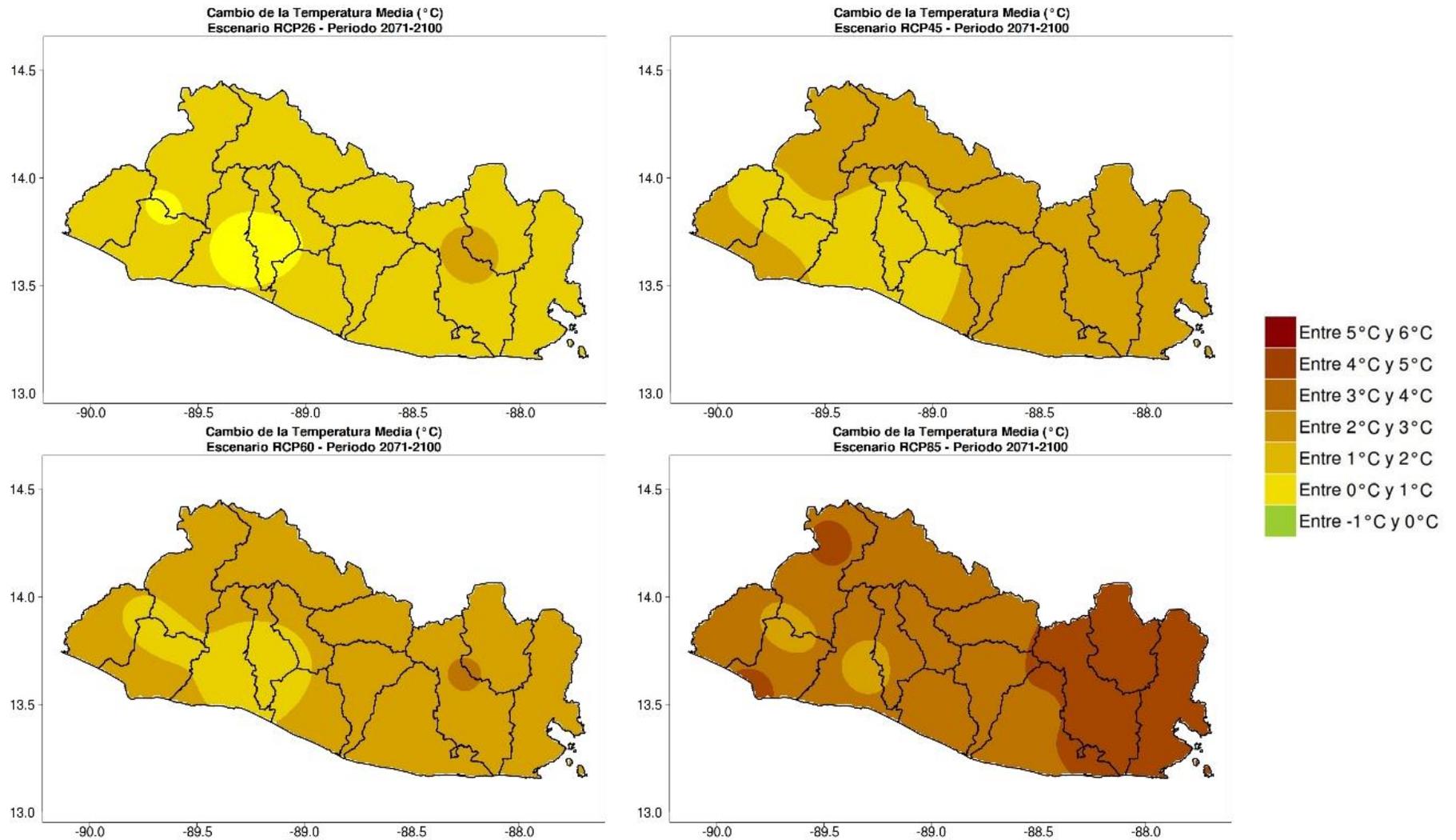


Figura 57. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.

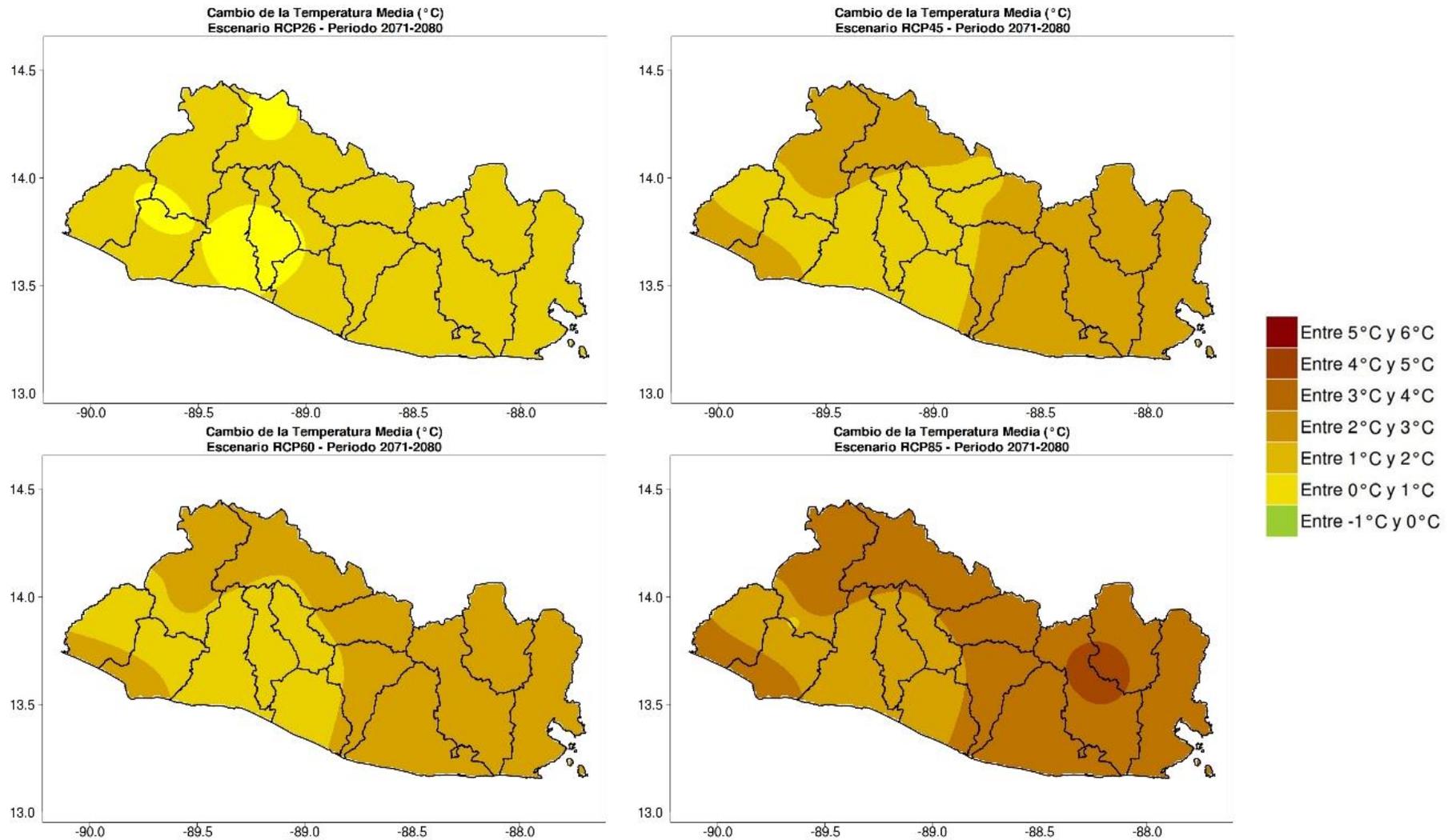


Figura 58. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.

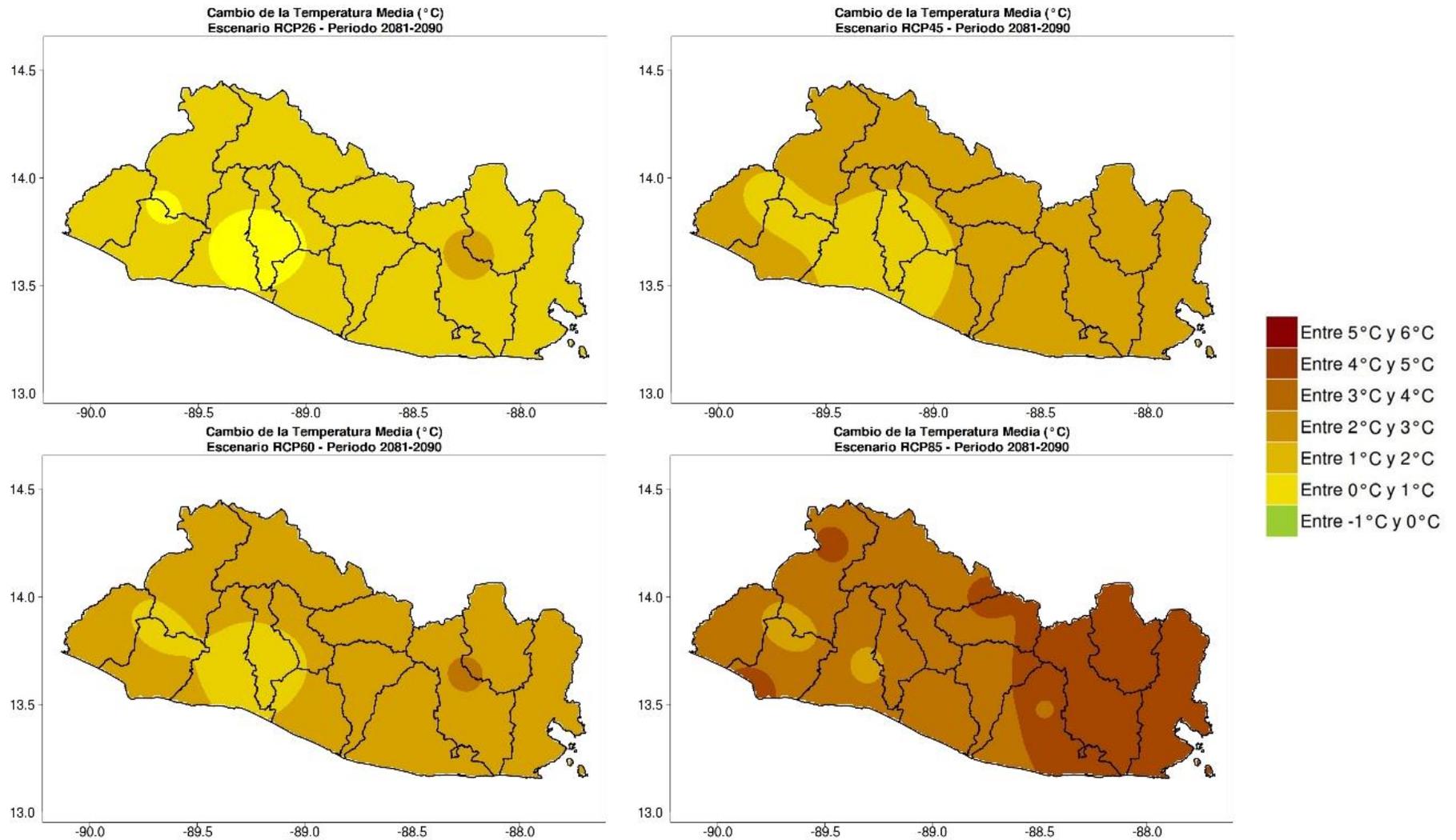


Figura 59. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.

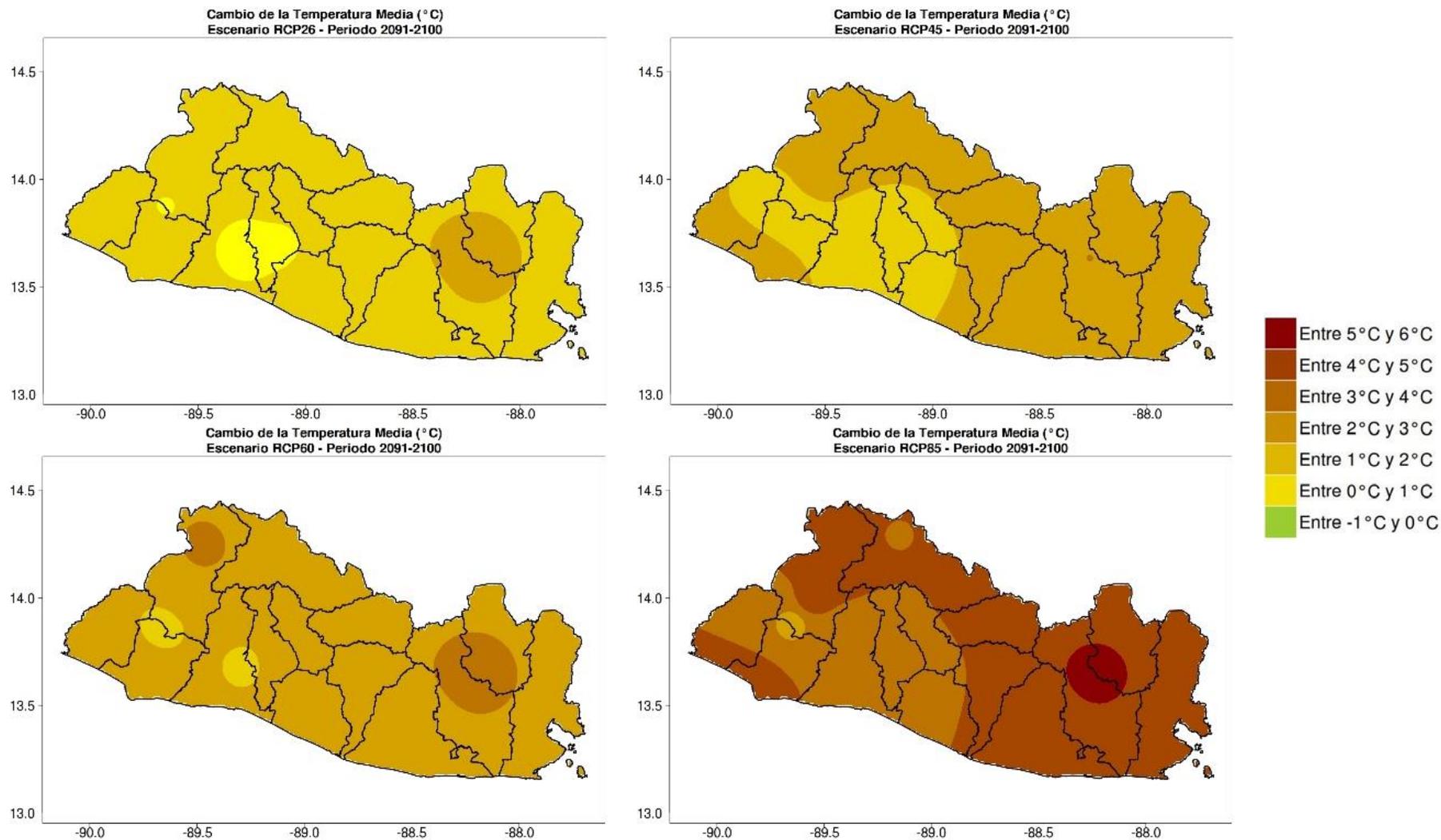


Figura 60. Cambios proyectados en la temperatura media (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el período 2091-2100.

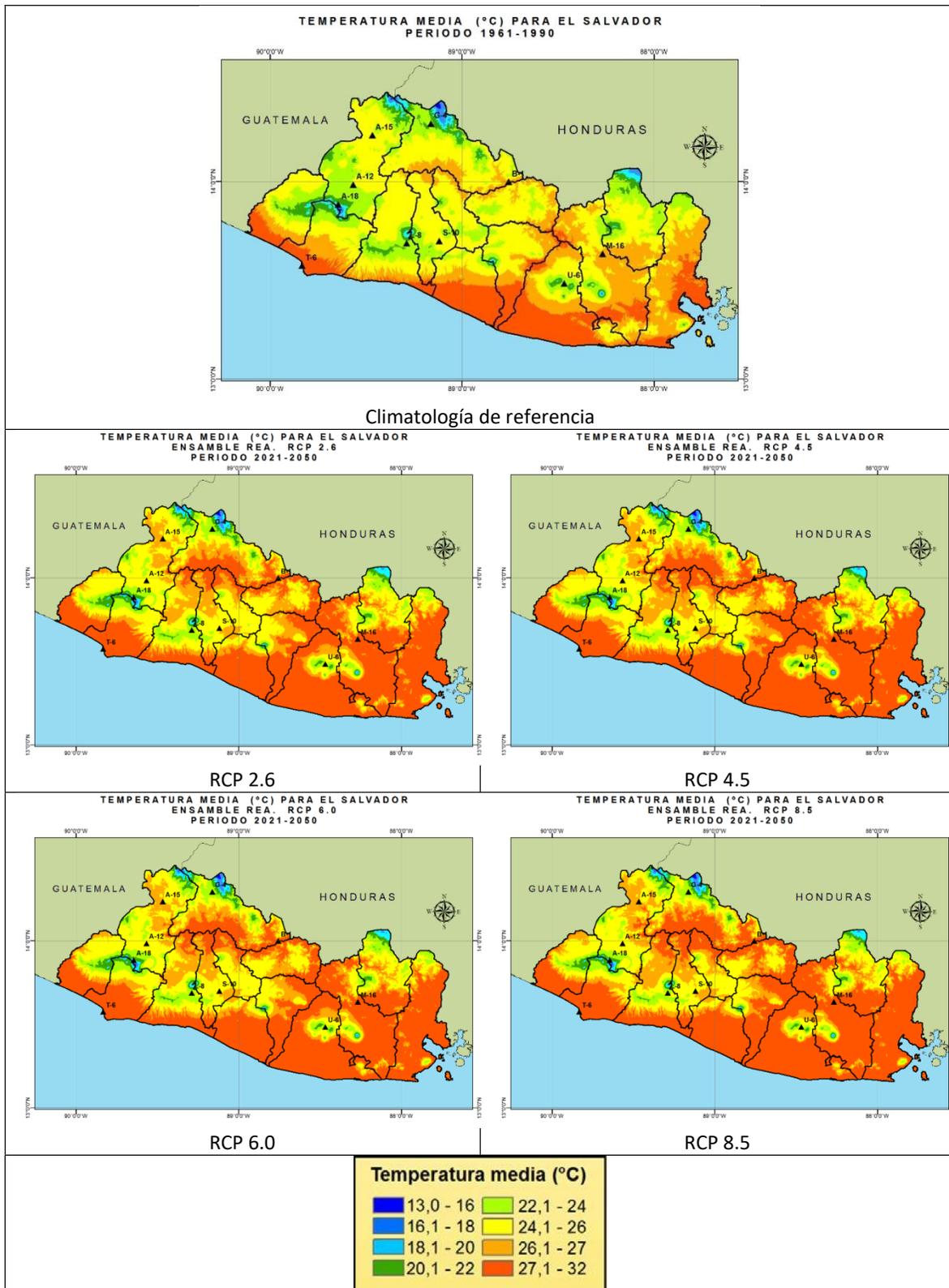


Figura 61. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la temperatura media anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2021-2050.

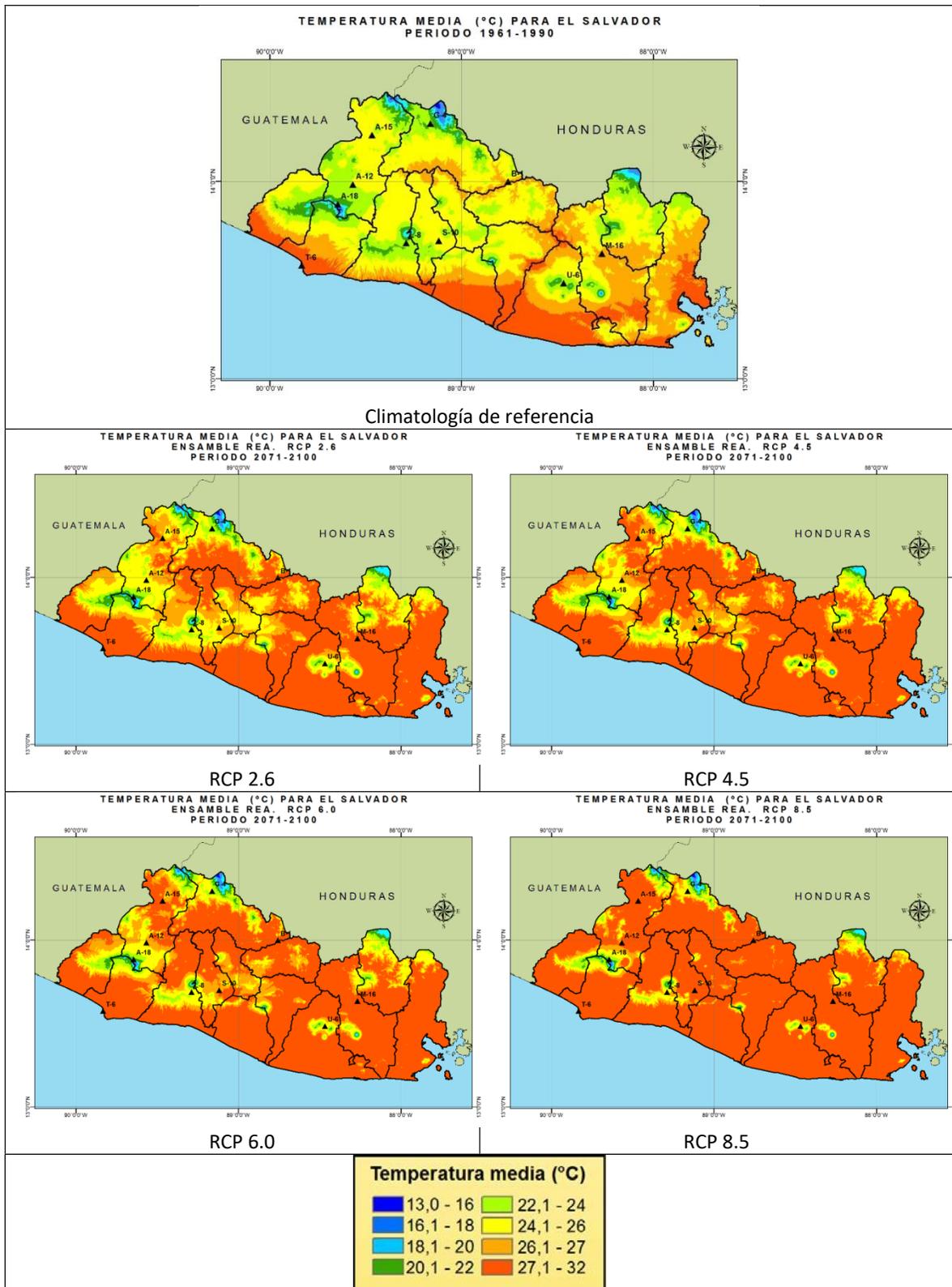


Figura 62. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la temperatura media anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2071-2100.

c) Temperatura Máxima

La temperatura máxima presentaría un comportamiento similar a la temperatura media, es decir, con incrementos en los periodos 2021-2050 y 2071-2100 bajo todos los escenarios RCP. El comportamiento para esta variable es similar a los cambios estimados por el PICC.

En el primer periodo (2021-2050), ésta se incrementaría en aproximadamente 1-1,5°C en los 4 RCP (Figura 63). Estos cambios implicarían que, para la costa y gran parte del país esta variable presente valores superiores a los 33°C (Figura 71 y Anexo IV-C).

En la primera década de este periodo (2021-2030), los aumentos de temperatura serían de 0,8-1°C, siendo muy similares bajo todos los escenarios (Figura 64). En la siguiente década (2031-2040), la temperatura máxima aumentaría entre 1-1,5°C, presentándose los mayores valores de este rango bajo el escenario RCP 8.5 (Figura 65). La última década de este periodo (2041-2050), podría presentar incrementos de temperatura de 1,5-2°C, siendo los más altos en la parte oriental de El Salvador bajo el RCP 8.5 (Figura 66) que es el más intenso en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Para el periodo 2071-2100, la temperatura máxima experimentaría los mayores aumentos, con valores que oscilan entre 1,5°C y 5,5°C, teniendo los valores de incremento más altos (superiores a 4,5°C) bajo el escenario RCP 8.5 (Figura 67). Estos cambios implicarían que, a finales de siglo gran parte de El Salvador tendría temperaturas máximas superiores a los 35°C, y para la costa y el oriente del país se presentarían valores superiores a los 38°C (Figura 72 y Anexo IV-C).

La primera década de este periodo (2071-2080) presentaría aumentos de temperaturas diferenciados entre los 4 escenarios: el RCP 2.6 tendría los aumentos más bajos (del orden de 1-1,5°C); los escenarios intermedios (RCP 4.5 y 6.0) presentarían aumentos de 1,5-3°C, ubicándose los más altos al oriente y norte del país, y bajo el RCP 8.5 los aumentos probablemente sean de 3,5 a 4,5°C (Figura 68).

En la década 2081-2090 se podría presentar un comportamiento similar a la década anterior, pero cambiando el rango de incremento de las temperaturas, con aumentos de 3,5-5°C en el RCP 8.5 y, particularmente, con valores superiores a 4,5°C en el centro, oriente y norte del territorio de El Salvador (Figura 69). En la última década del siglo (2091-2100) se mantiene la misma tendencia del incremento de la temperatura máxima en el escenario RCP 2.6, pero bajo los RCP 4.5 y 6.0 el rango de incremento de esta temperatura aumentaría, siendo del orden de 2,5-4,0°C. El

escenario de emisión RCP 8.5 es el que presentaría los mayores aumentos, con anomalías superiores a los 4°C, e incluso podría superar los 5°C en el oriente del país (Figura 70).

En la

Tabla 12 se presentan los valores de las anomalías promedio de la temperatura máxima para todo el país, con énfasis en los diferentes horizontes de tiempo analizados.

Tabla 15. Promedio de las anomalías de la temperatura máxima (°C) bajo los 4 escenarios RCP en los periodos de referencia para El Salvador.

Escenario	Periodos		Primer Periodo (decadales)			Segundo Periodo (decadales)		
	2021-2050	2071-2100	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2071-2080	2081-2090	2091-2100
RCP 2.6	1,2	1,5	1,0	1,2	1,2	1,3	1,4	1,6
RCP 4.5	1,4	2,6	1,0	1,5	1,8	2,2	2,5	2,7
RCP 6.0	1,2	2,7	1,0	1,1	1,5	1,9	2,4	2,7
RCP 8.5	1,6	4,3	1,1	1,5	1,9	3,0	3,8	4,4

A nivel mensual, la temperatura máxima presentaría incrementos del orden de 1-1,5°C para 2021-2050 (Tabla 16 y Anexo III-E), y de 1,5-4,5°C para 2071-2100 (Tabla 17 y Anexo III-F). A nivel mensual, Julio, Agosto y Septiembre serían los meses con mayores incrementos de la temperatura máxima, con valores de 1,5-2°C para 2021-2050 y superiores a 5°C para 2071-2100.

Tabla 16. Promedio de las anomalías mensuales de la temperatura máxima (°C) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2021-2050.

Escenario	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,3	1,1	1,1	1,2
RCP 4.5	1,4	1,5	1,6	1,5	1,3	1,3	1,5	1,6	1,5	1,4	1,4	1,5
RCP 6.0	1,2	1,2	1,3	1,1	1,1	1,1	1,3	1,5	1,4	1,2	1,2	1,3
RCP 8.5	1,6	1,7	1,7	1,7	1,4	1,5	1,8	1,8	1,7	1,4	1,5	1,5

Tabla 17. Promedio de las anomalías mensuales de la temperatura máxima (°C) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2071-2100.

Escenario	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	1,7	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	1,8	1,9	1,8	1,3	1,3	1,5
RCP 4.5	2,5	2,5	2,8	2,7	2,5	2,8	2,9	3,1	2,9	2,4	2,3	2,5
RCP 6.0	2,5	2,6	2,8	2,7	2,5	2,8	3,2	3,2	3,0	2,5	2,4	2,5
RCP 8.5	4,0	4,0	4,3	4,1	4,2	4,5	5,1	5,3	5,1	4,0	3,9	4,1

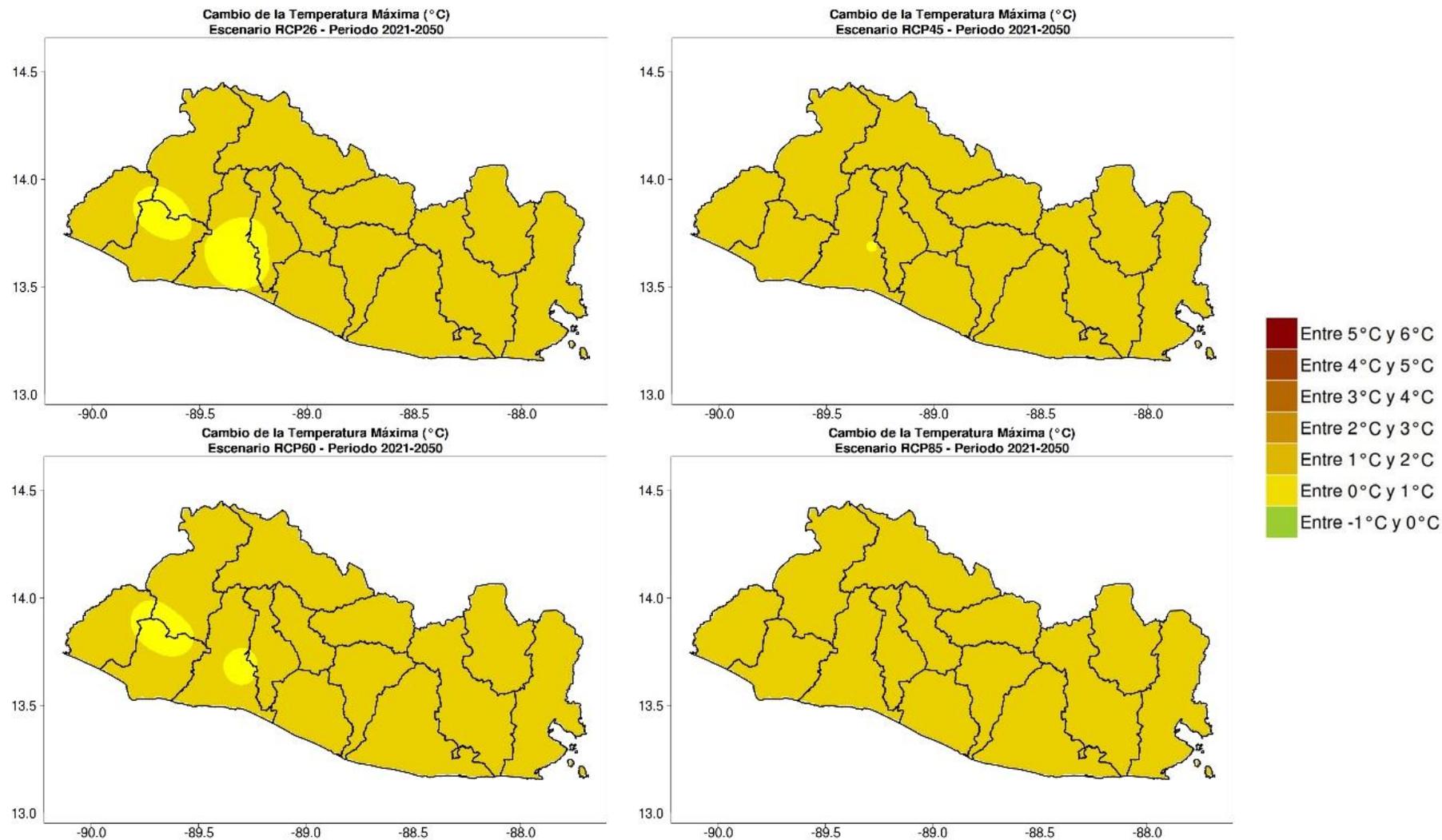


Figura 63. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.

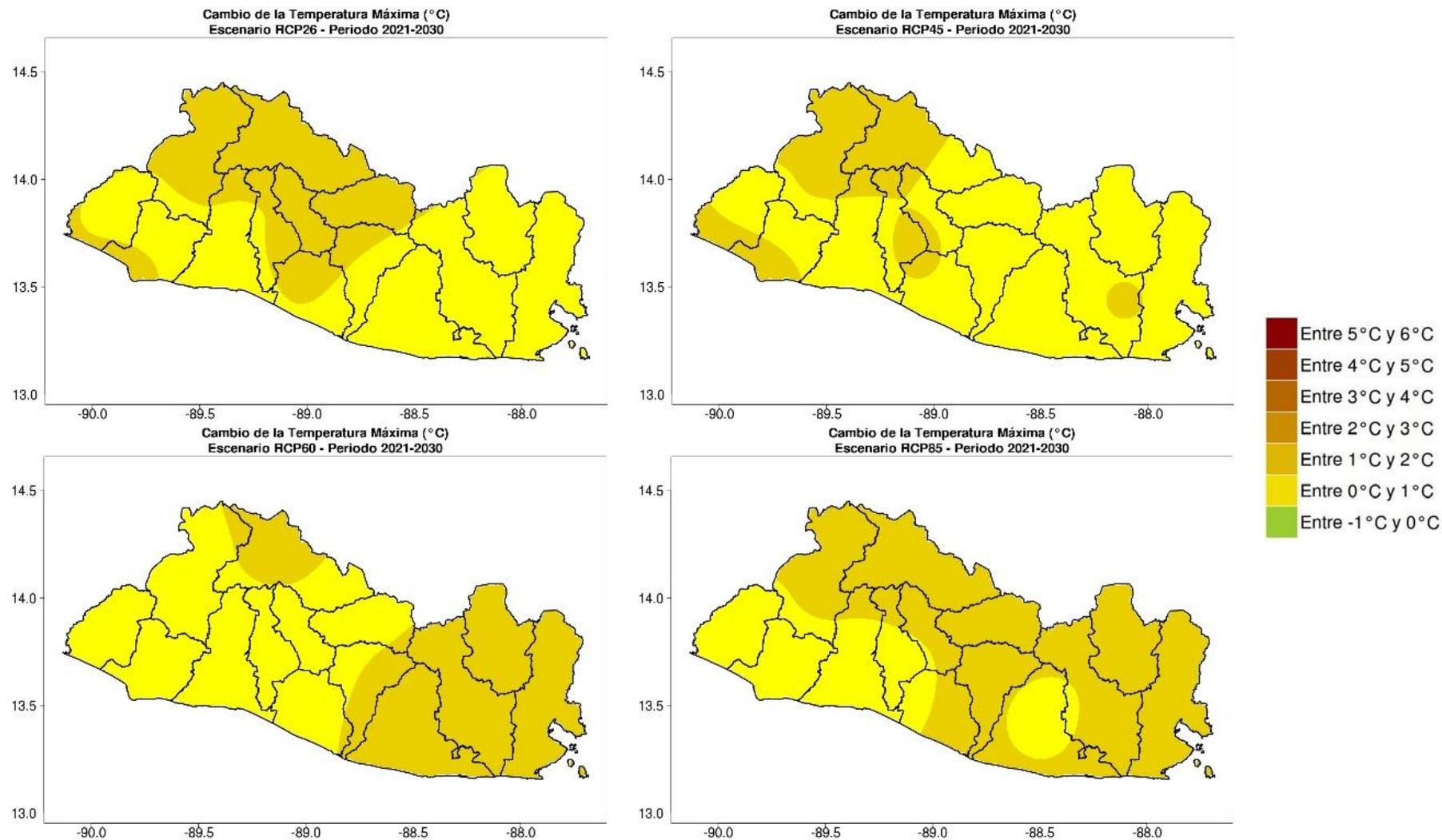


Figura 64. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.

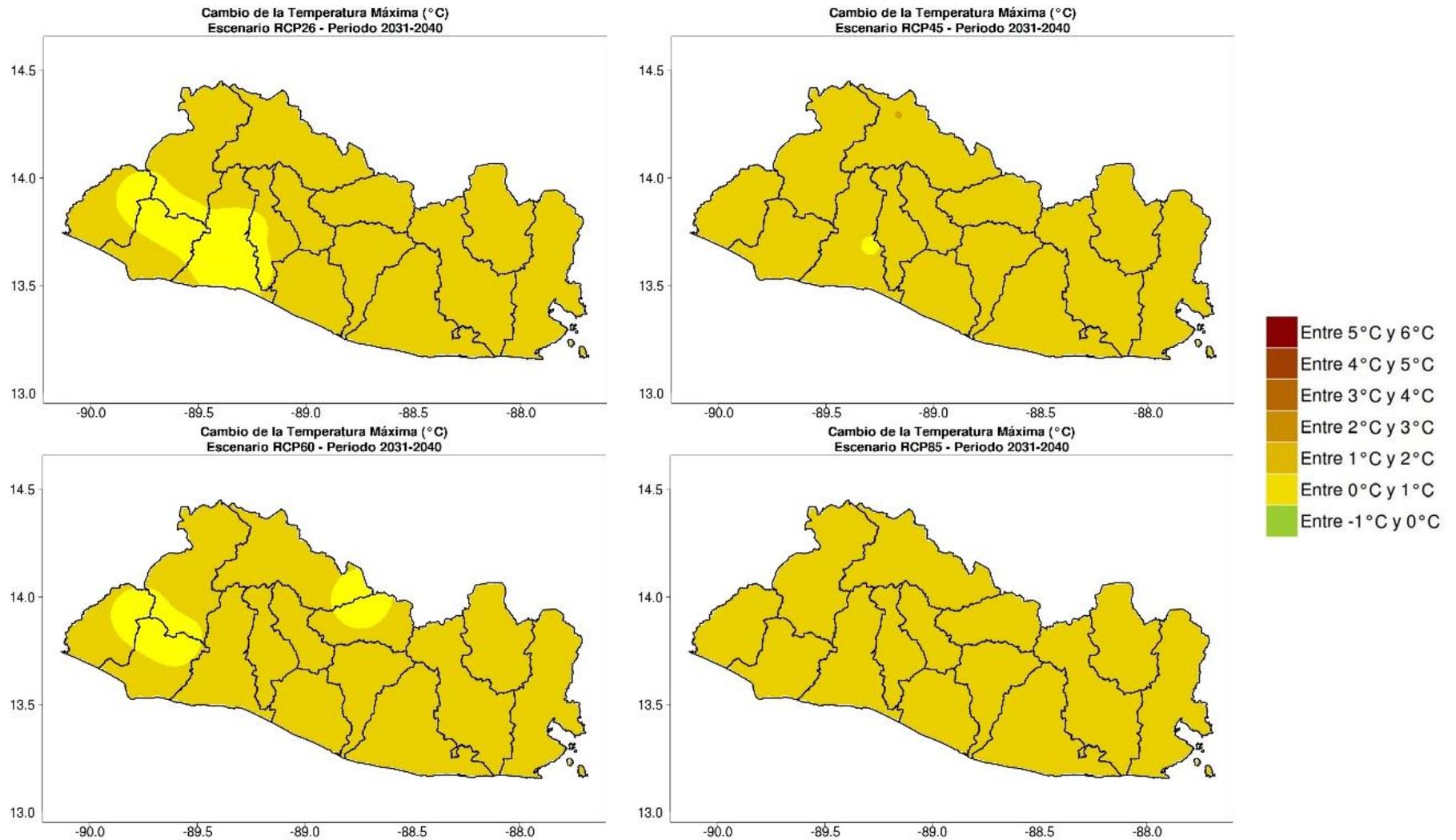


Figura 65. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.

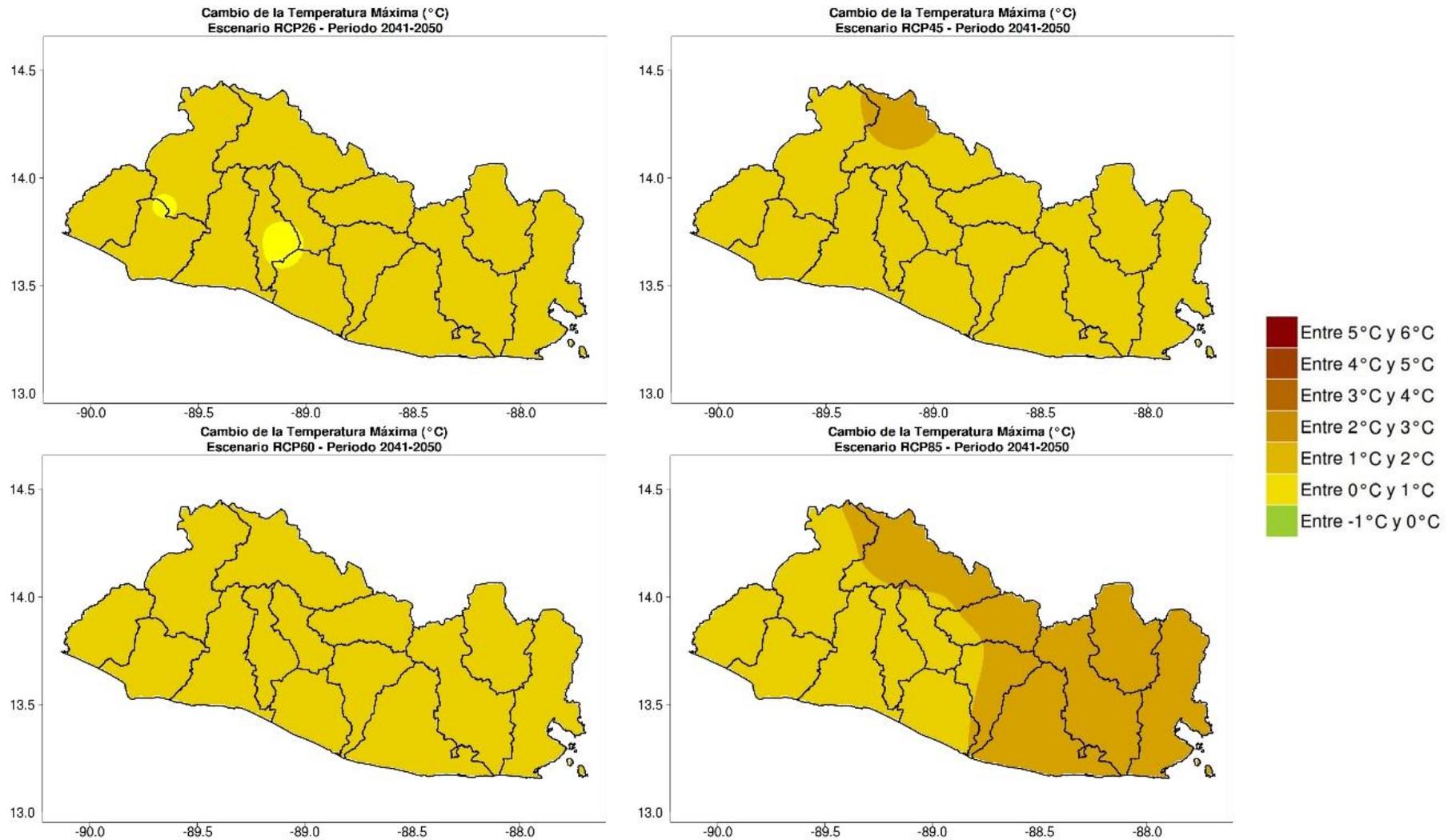


Figura 66. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.

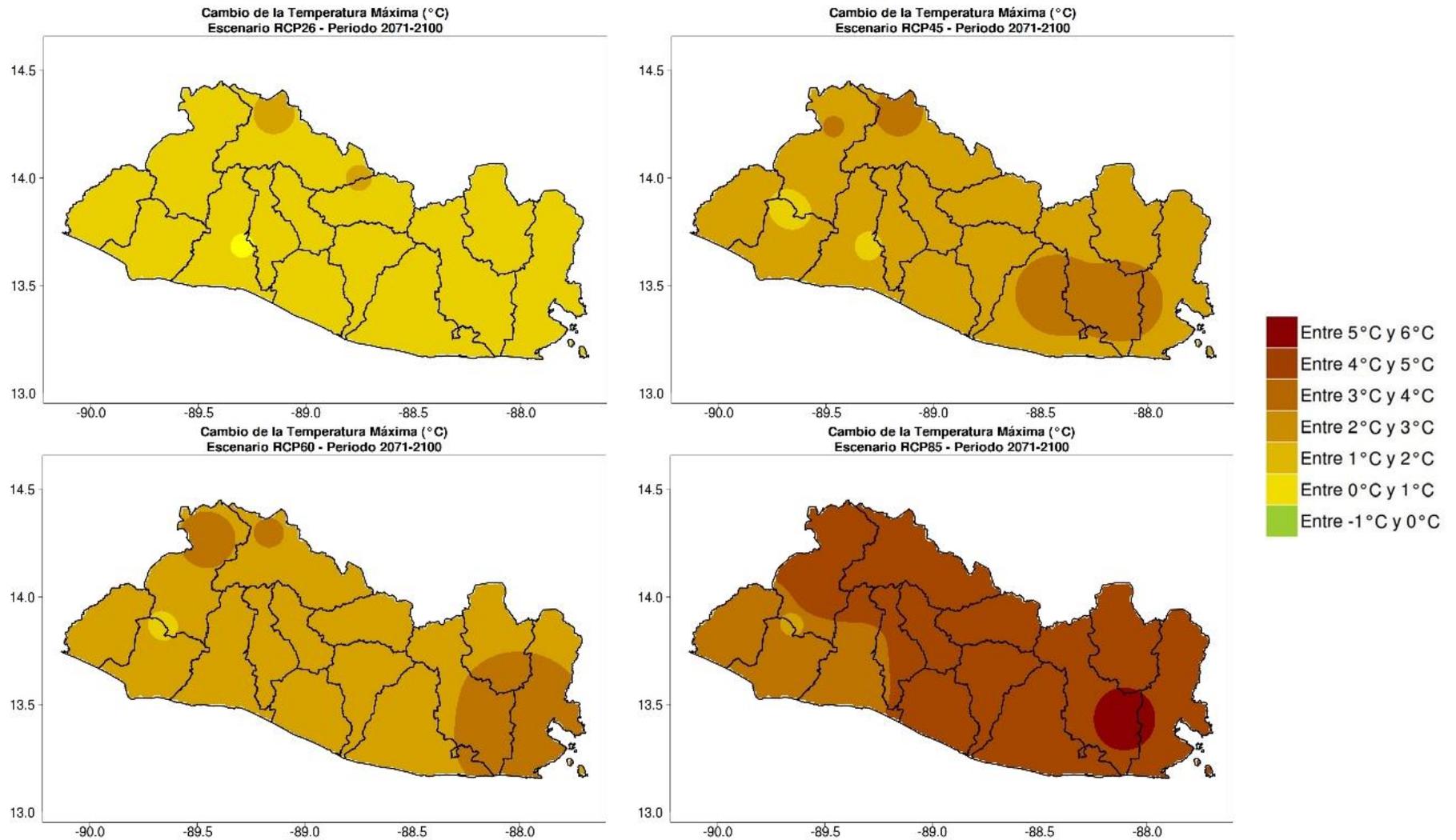


Figura 67. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.

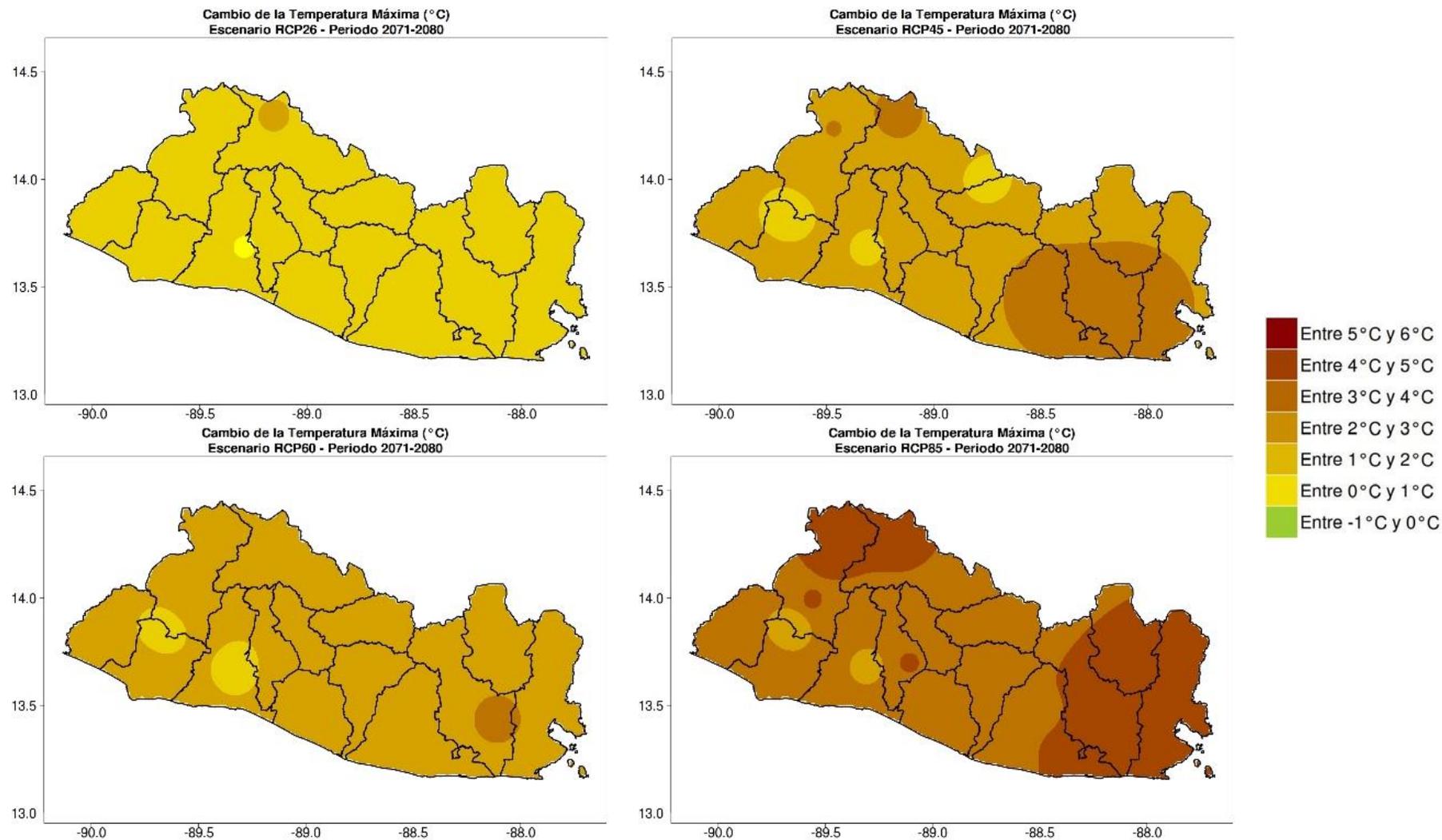


Figura 68. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.

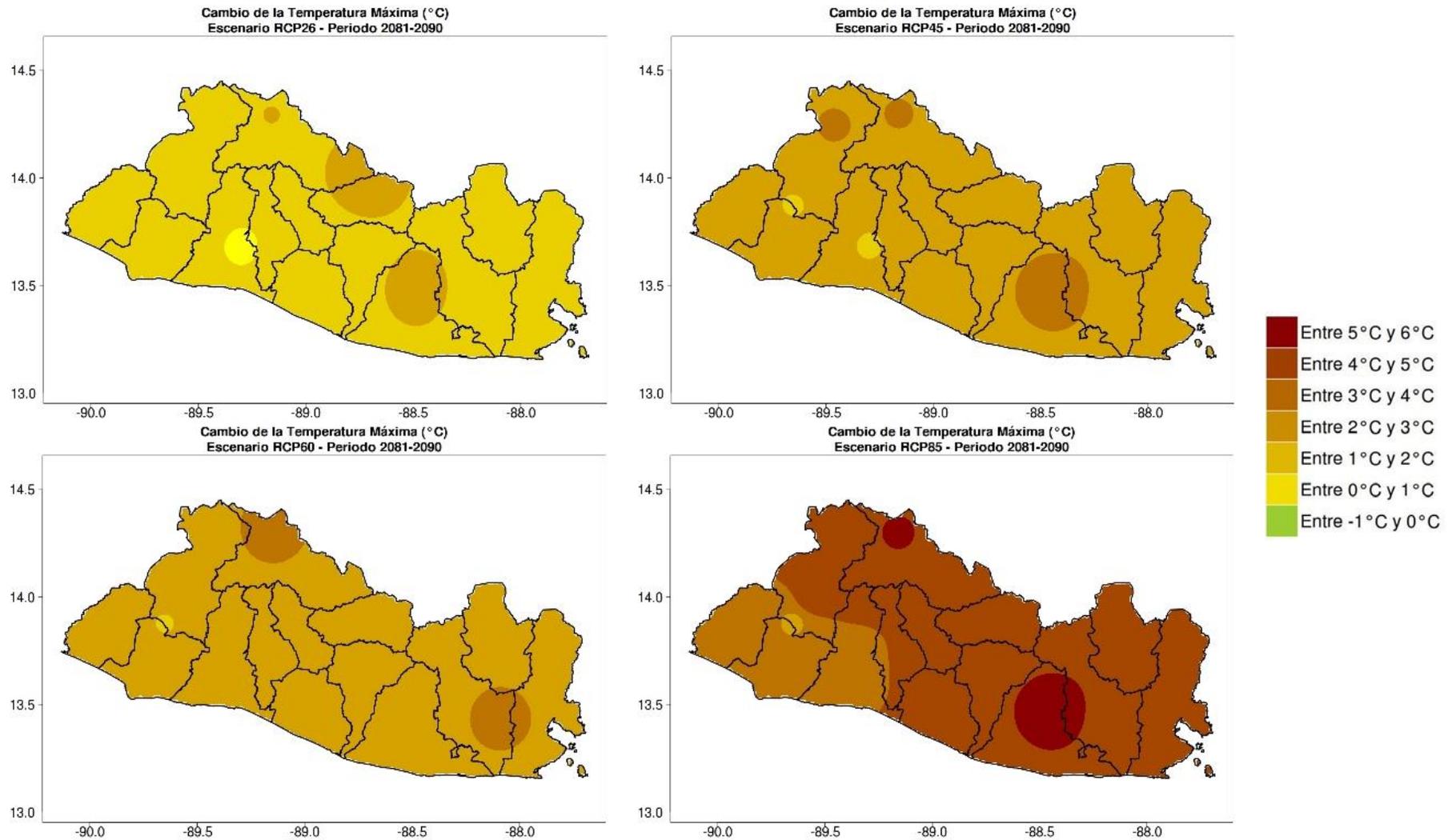


Figura 69. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.

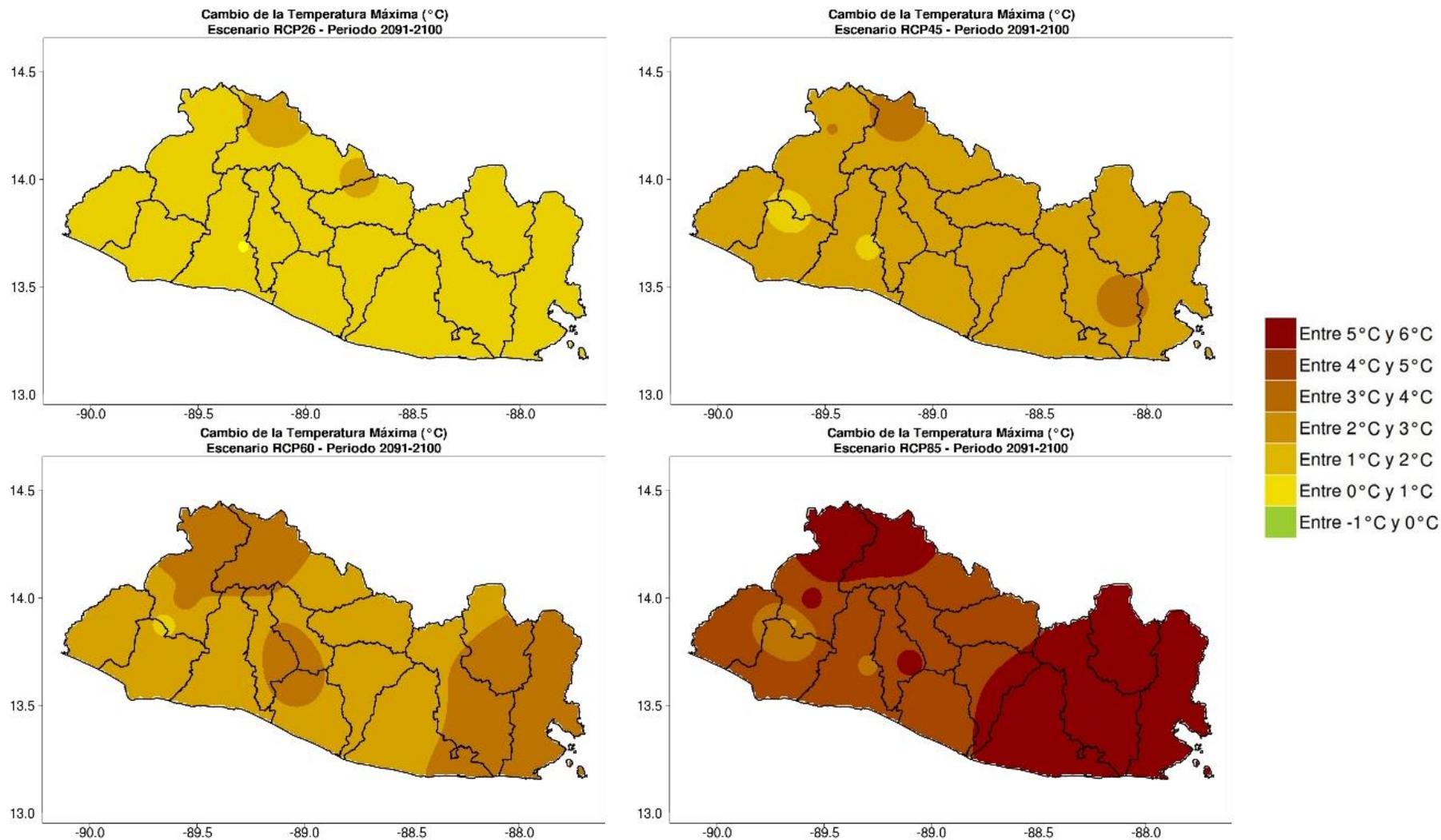


Figura 70. Cambios proyectados en la temperatura máxima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.

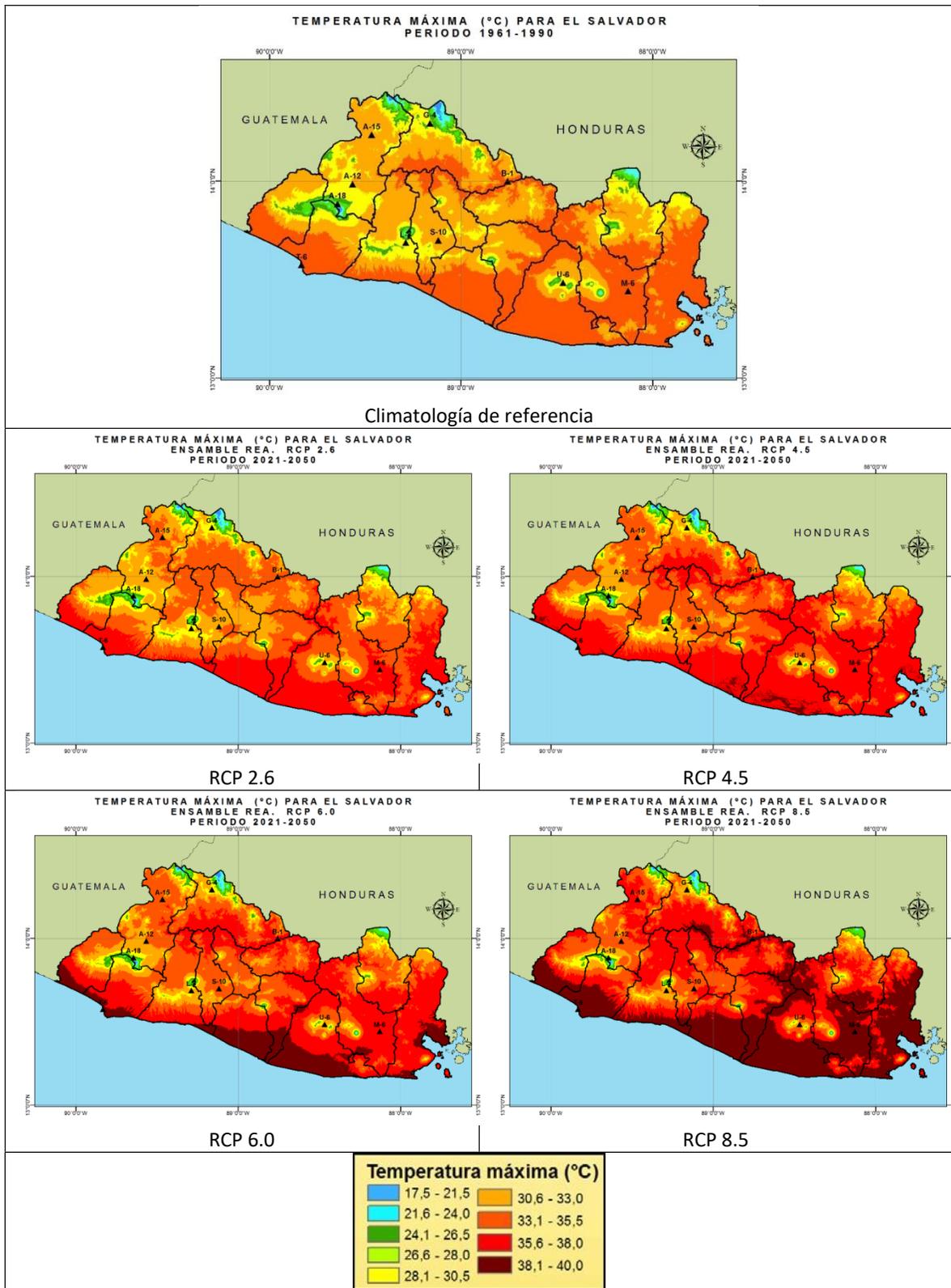


Figura 71. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la temperatura máxima anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2021-2050.

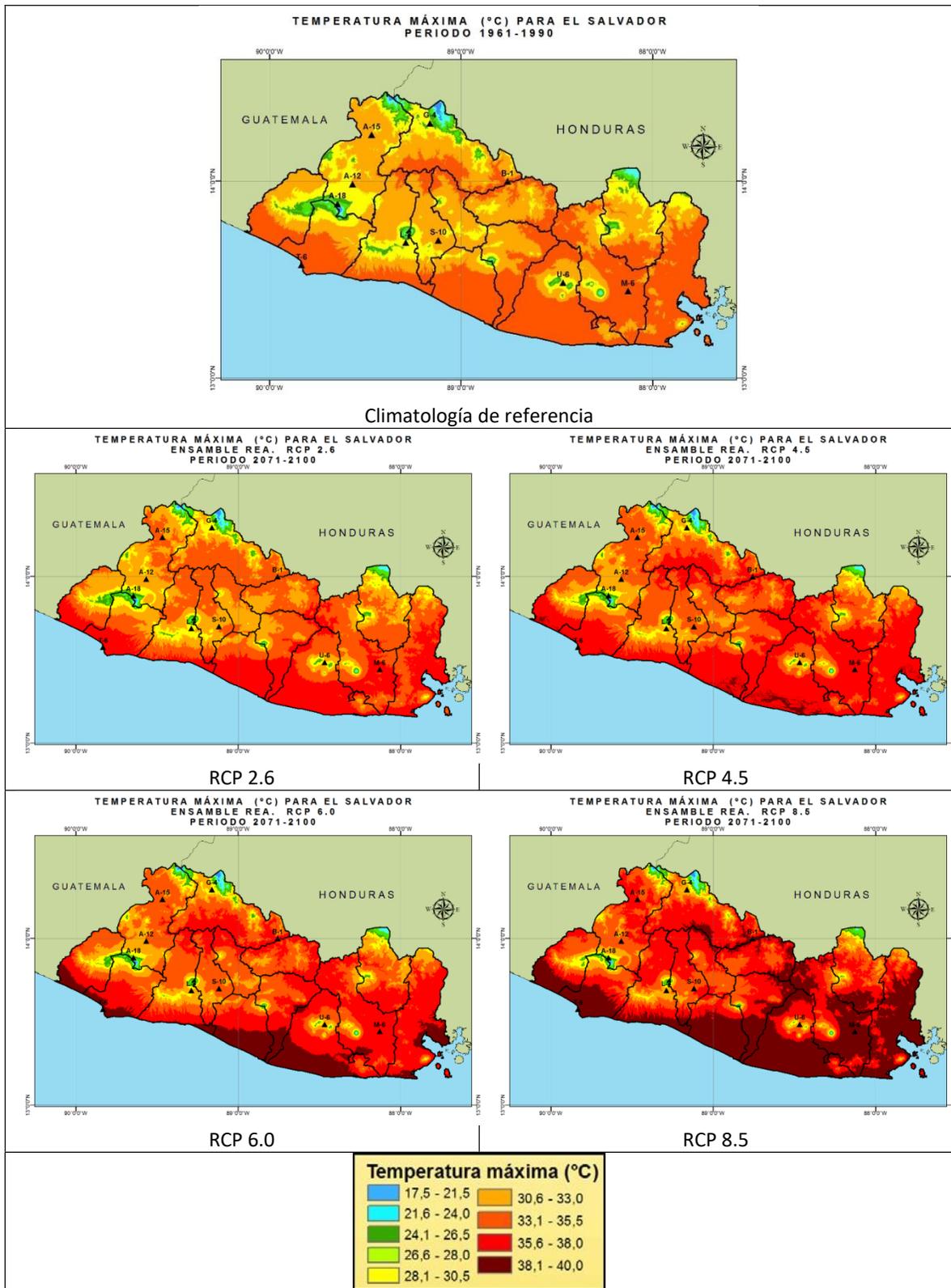


Figura 72. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la temperatura máxima anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2071-2100.

d) Temperatura Mínima

Al igual que la temperatura media y la temperatura máxima, la temperatura mínima presentaría incrementos en los periodos 2021-2050 y 2071-2100 bajo todos los escenarios de emisiones RCP. Este comportamiento es similar al estimado por el PICC.

En el primer periodo (2021-2050), ésta se incrementaría de 1 a 1,5°C en los 4 escenarios RCP (Figura 73). Esto representaría que, para este periodo, la costa y el oriente del país presenten valores de al menos 23°C (Figura 81 y Anexo IV-D).

En la primera década de este periodo (2021-2030), los aumentos de temperatura serían de 0,6-1°C, siendo muy similares los incrementos en todos los escenarios (Figura 74). En la siguiente década (2031-2040), la temperatura mínima aumentaría de 1 a 1,5°C (Figura 75). La última década de este periodo (2041-2050) probablemente presentaría incrementos de temperatura de 1,5-2°C, esperándose los valores más altos en el suroccidente de El Salvador (Figura 76) (Anexo IV-D).

Es muy probable que la temperatura mínima presente los mayores aumentos para el periodo 2071-2100, siendo diferenciados entre los cuatro escenarios y con valores que oscilen entre los 1,5°C y los 4°C (Figura 77). Para este periodo, este cambio haría que en gran parte del territorio nacional se presenten valores superiores a los 23°C, y en la costa y el oriente valores de al menos 25°C bajo los RCP 4.5, 6.0 y 8.5 (Figura 82).

En la primera década de este periodo (2071-2080) se podrían presentar aumentos de temperaturas de 1 a 1,5°C bajo el escenario RCP 2.6; de 1,5 a 2,5° bajo los escenarios intermedios (RCP 4.5 y 6.0), mientras que bajo el RCP 8.5 del orden de 2,5 a 3,5°C (Figura 78).

En la década 2081-2090 se espera que se presente un comportamiento similar a la década anterior, pero cambiando el rango de incremento de las temperaturas, con aumentos de 2,5-4°C en el RCP 8.5 (Figura 79). Finalmente, en la última década del siglo (2091-2100) se mantiene el mismo comportamiento del incremento de la temperatura máxima en el RCP 2.6, pero bajo los RCP 4.5 y 6.0 el rango de incremento de esta temperatura aumentaría, siendo del orden de 1,5-3°C. El escenario RCP 8.5 es el que presentaría los mayores aumentos, con anomalías entre 3,5 y 4,5°C, e incluso superando este valor en algunas zonas puntuales del oriente, centro y occidente del país (Figura 80) (Anexo IV-D).

La Tabla 18 presenta los valores de las anomalías promedio de la temperatura mínima para los diferentes horizontes de tiempo analizados en todo el territorio nacional.

Tabla 18. Promedio de las anomalías de la temperatura mínima (°C) bajo los 4 escenarios RCP en los periodos de referencia para El Salvador.

Escenario	Periodos		Primer Periodo (decadales)			Segundo Periodo (decadales)		
	2021-2050	2071-2100	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2071-2080	2081-2090	2091-2100
RCP 2.6	1,0	1,2	0,8	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3
RCP 4.5	1,2	2,0	0,8	1,2	1,4	1,8	1,9	2,0
RCP 6.0	1,0	2,2	0,8	0,9	1,2	1,5	2,0	2,2
RCP 8.5	1,2	3,4	1,0	1,2	1,5	2,5	3,0	3,4

En cuanto al comportamiento mensual, para la temperatura mínima se presentarían aumentos de 1°C en el periodo 2021-2050 para los 4 RCP (Tabla 19 y Anexo III-G), mientras que para finales de siglo éstos serían de 1,5-3,5°C (Tabla 20 y Anexo III-H). Para mitad de siglo, a nivel mensual los cambios serían de 1-1,5°C, y para finales del mismo entre Marzo y Octubre se darían los mayores cambios, con valores entre 3-3,5°C.

Tabla 19. Promedio de las anomalías mensuales de la temperatura mínima (°C) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2021-2050.

Escenario	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9
RCP 4.5	1,1	1,0	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
RCP 6.0	0,9	0,9	1,0	1,1	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0
RCP 8.5	1,1	1,2	1,3	1,4	1,3	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2

Tabla 20. Promedio de las anomalías mensuales de la temperatura mínima (°C) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2071-2100.

Escenario	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,2
RCP 4.5	1,8	1,8	2,0	2,2	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,8
RCP 6.0	1,9	2,0	2,2	2,3	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2	2,1	2,0	2,0
RCP 8.5	3,0	3,0	3,3	3,5	3,4	3,4	3,5	3,6	3,5	3,3	3,1	3,1

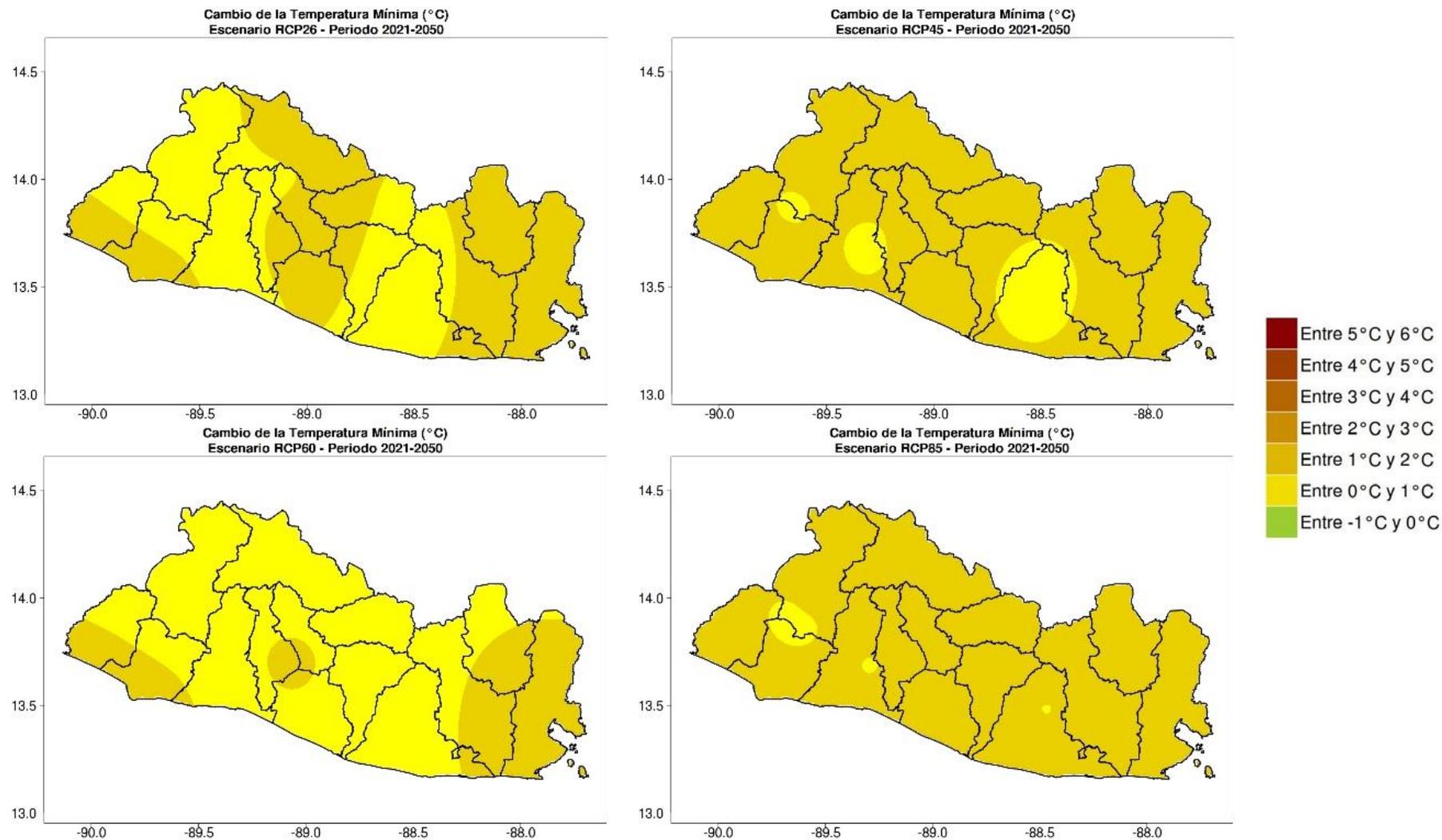


Figura 73. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.

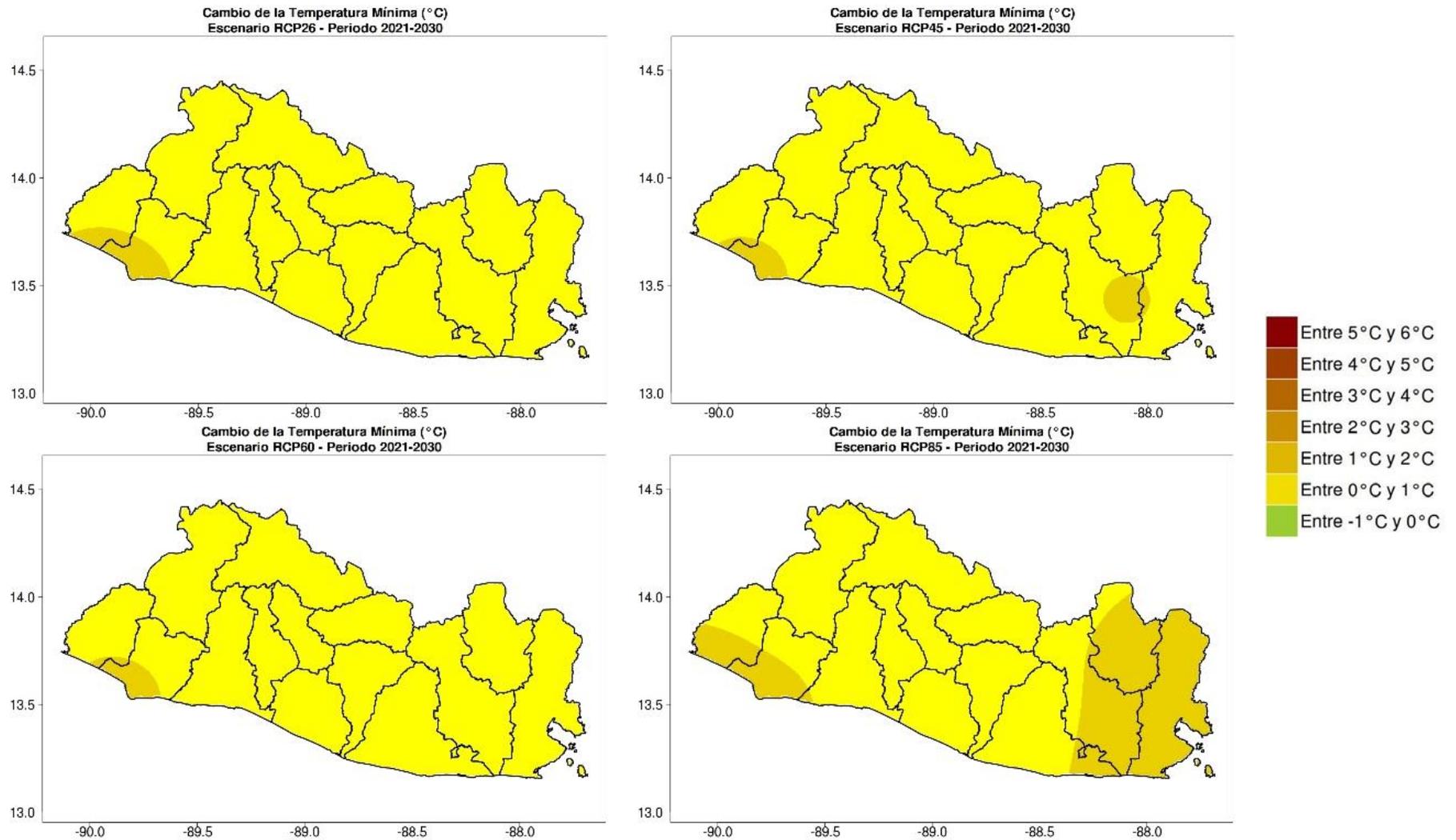


Figura 74. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.

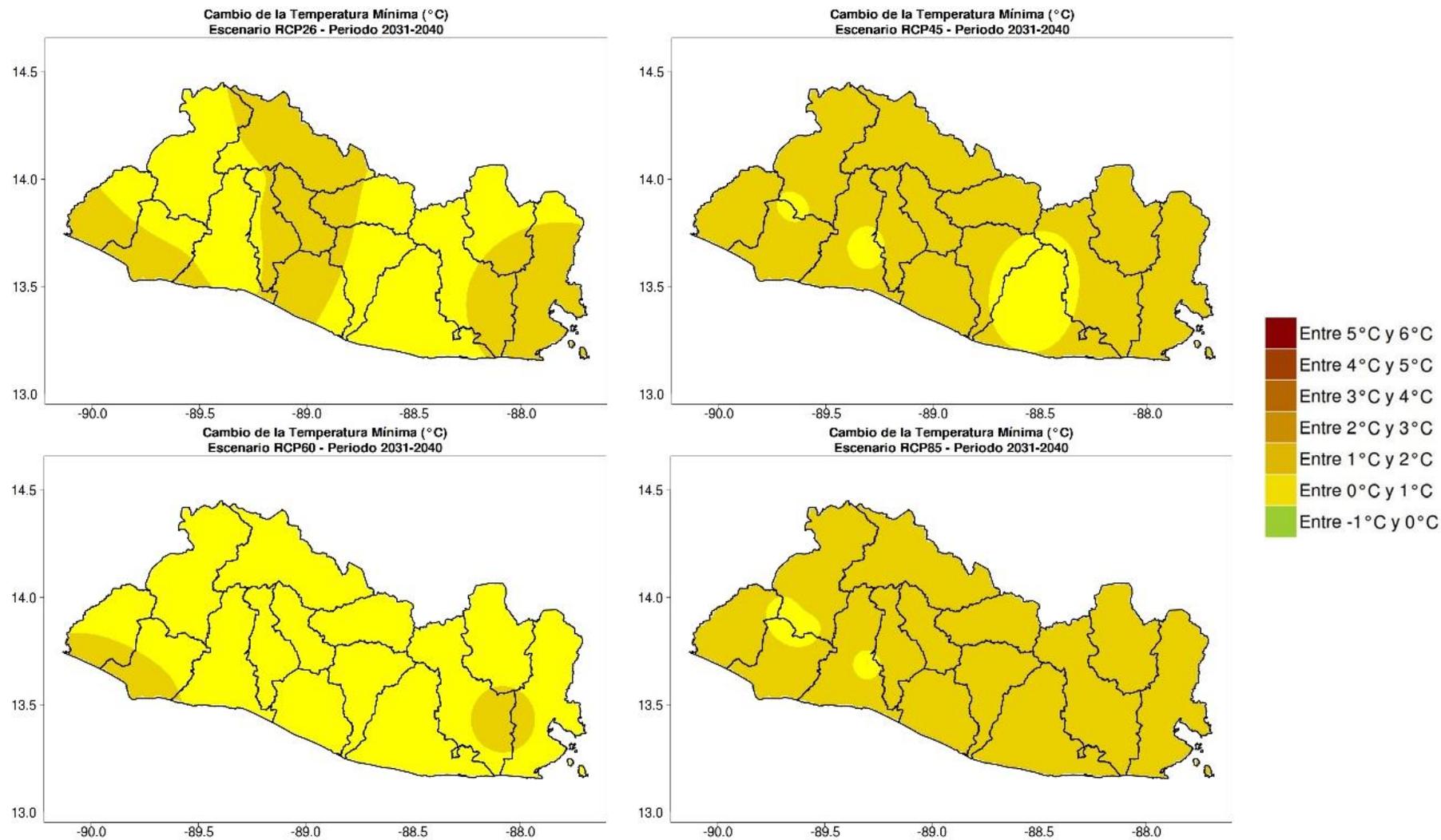


Figura 75. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.

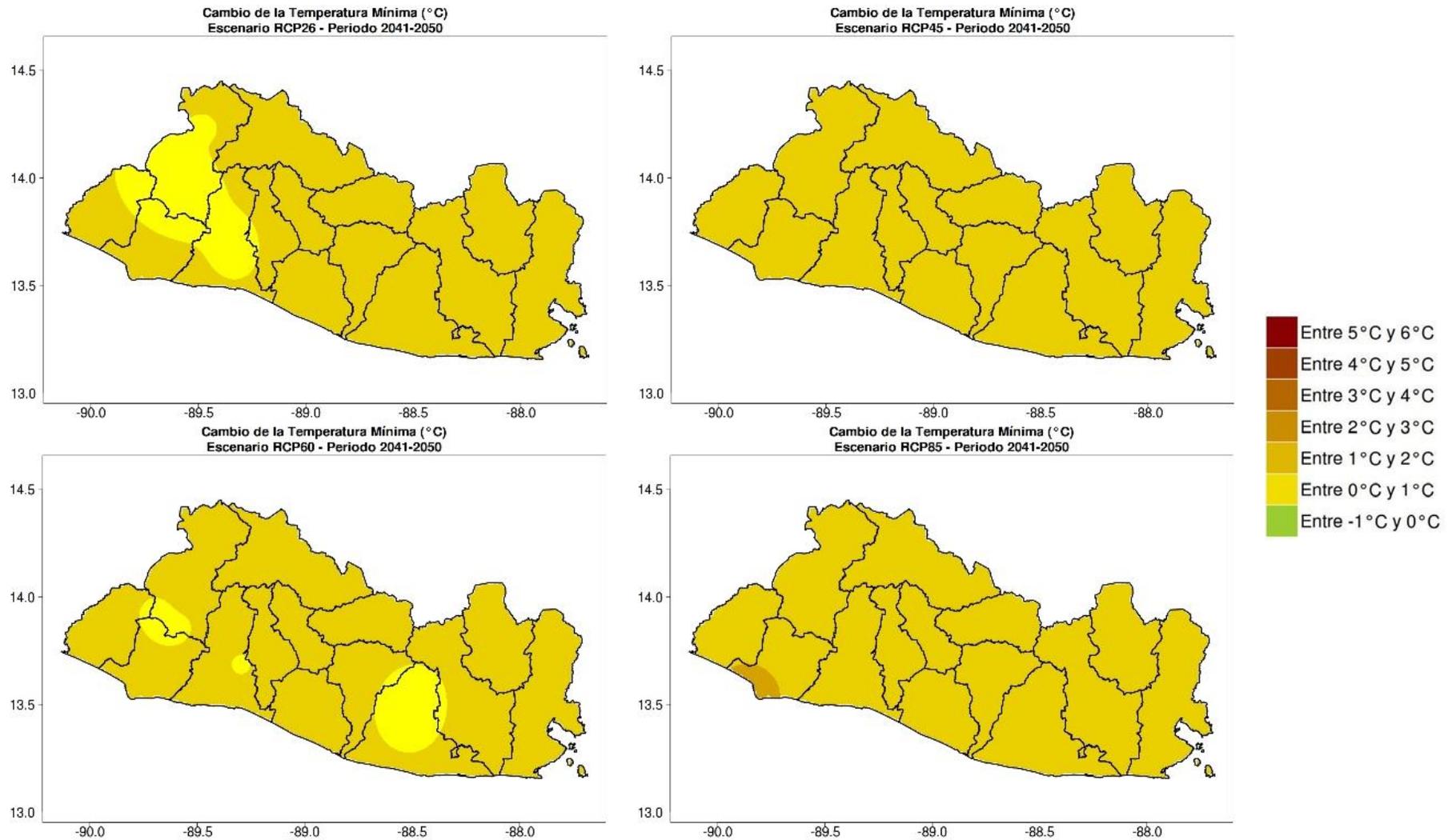


Figura 76. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.

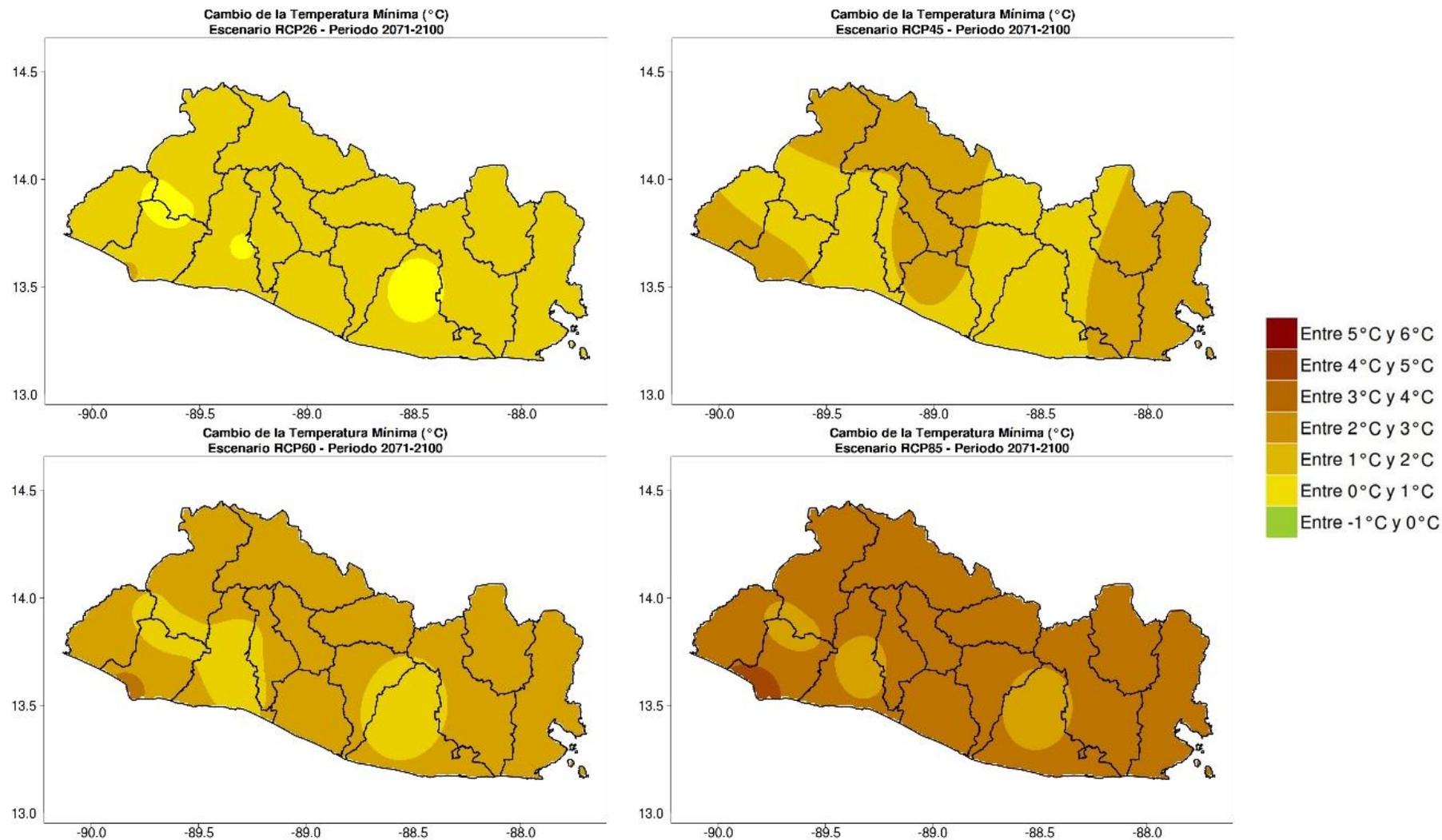


Figura 77. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.

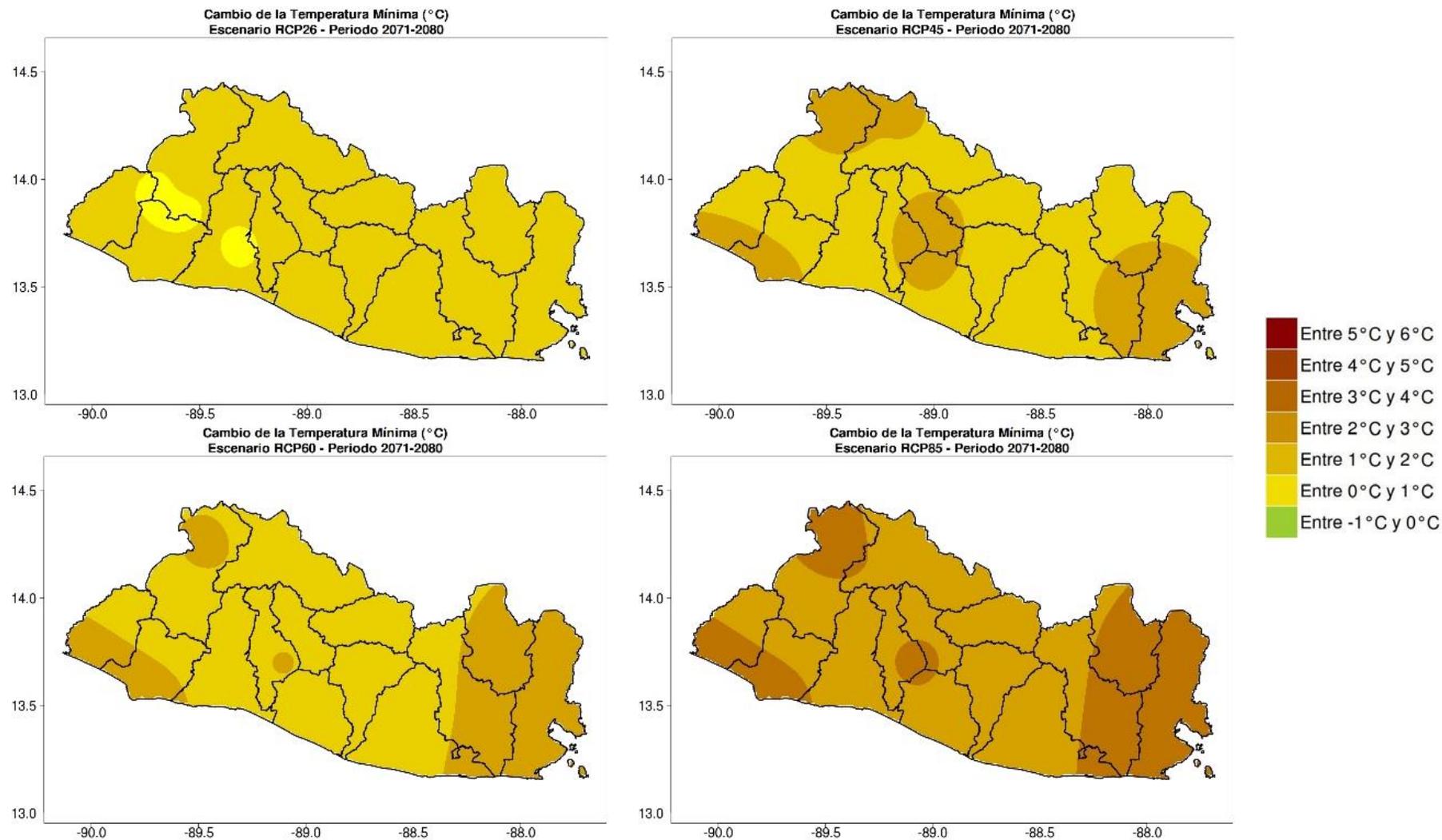


Figura 78. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.

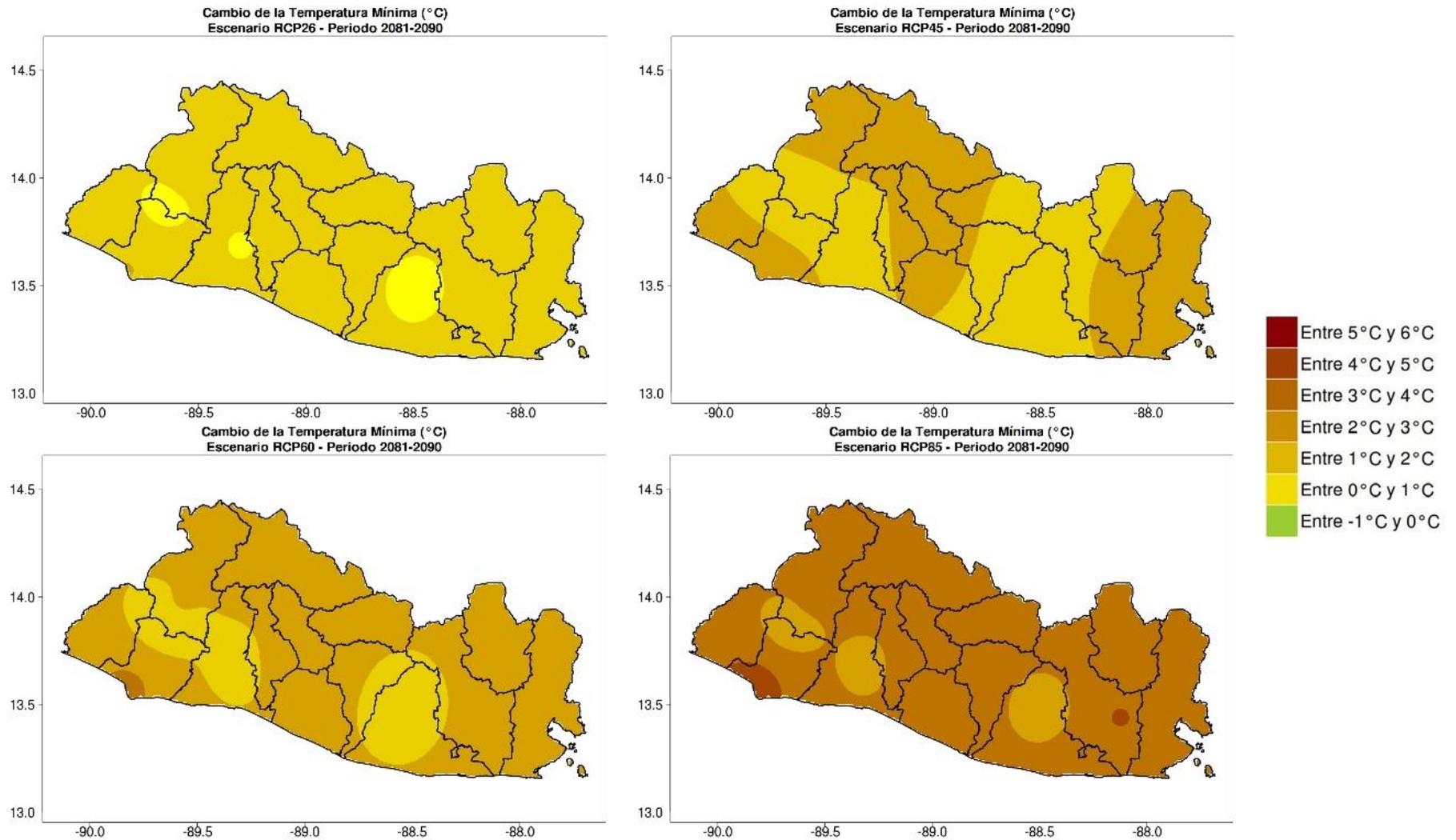


Figura 79. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.

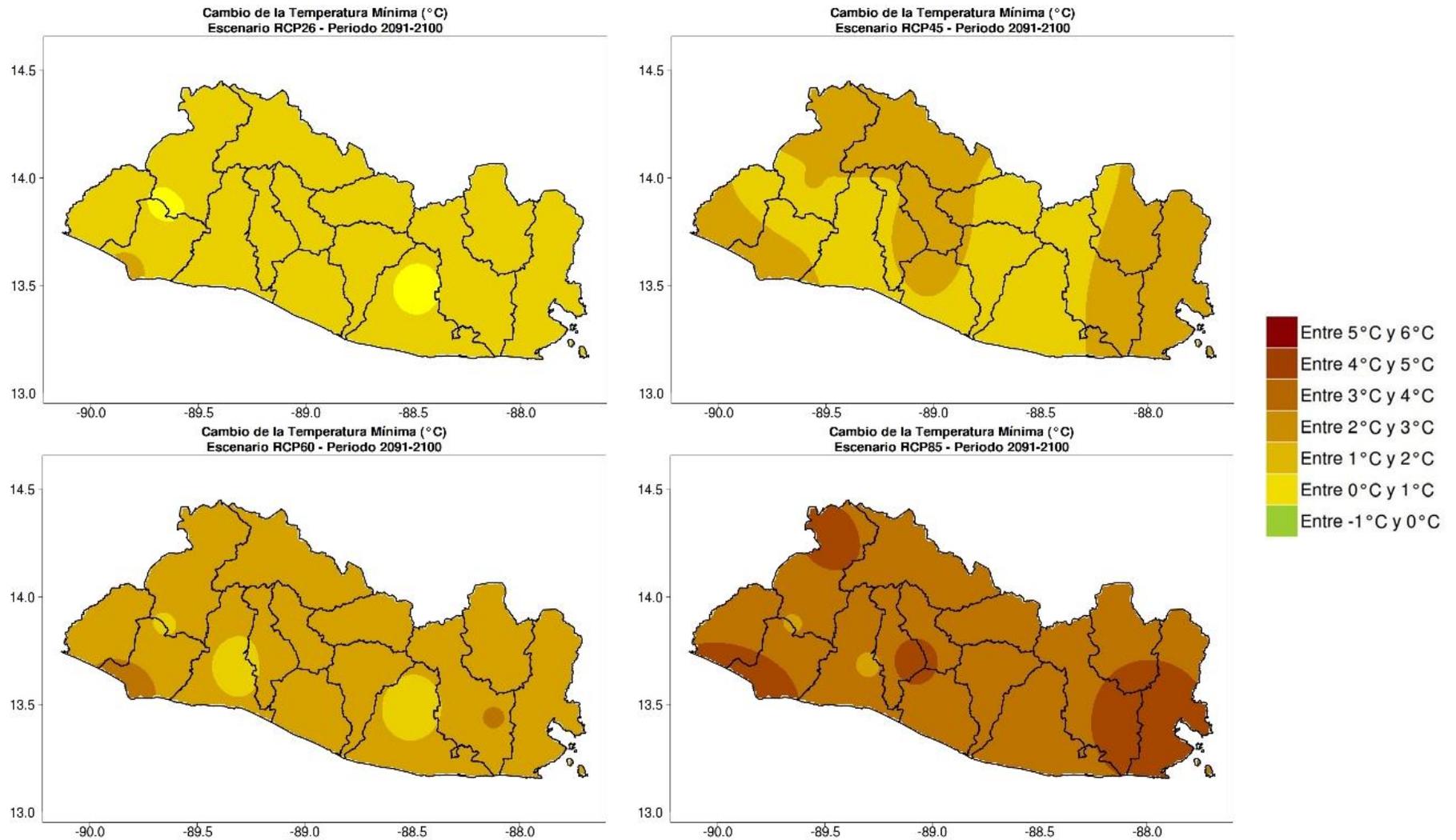


Figura 80. Cambios proyectados en la temperatura mínima (°C) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.

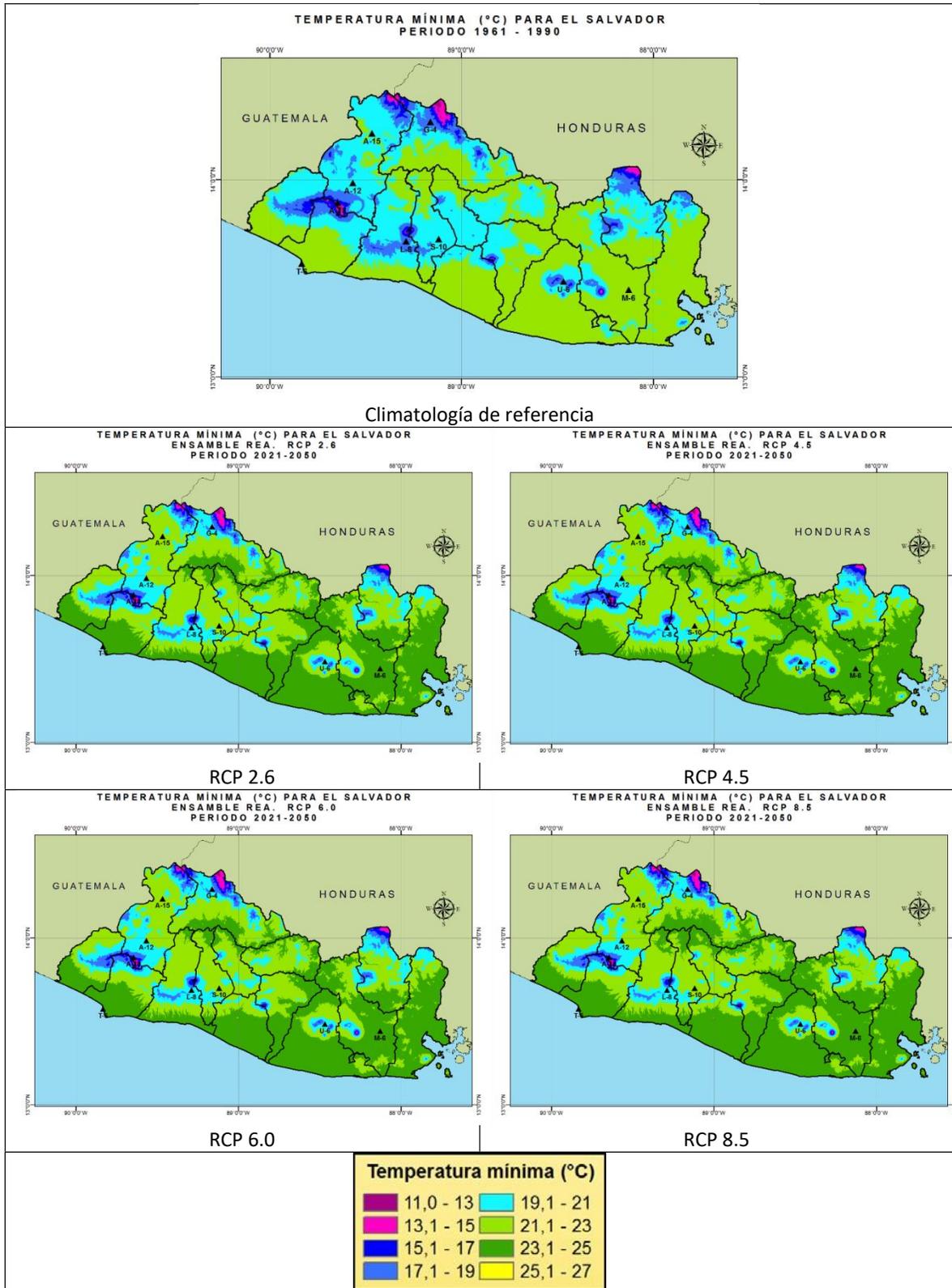


Figura 81. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la temperatura mínima anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2021-2050.

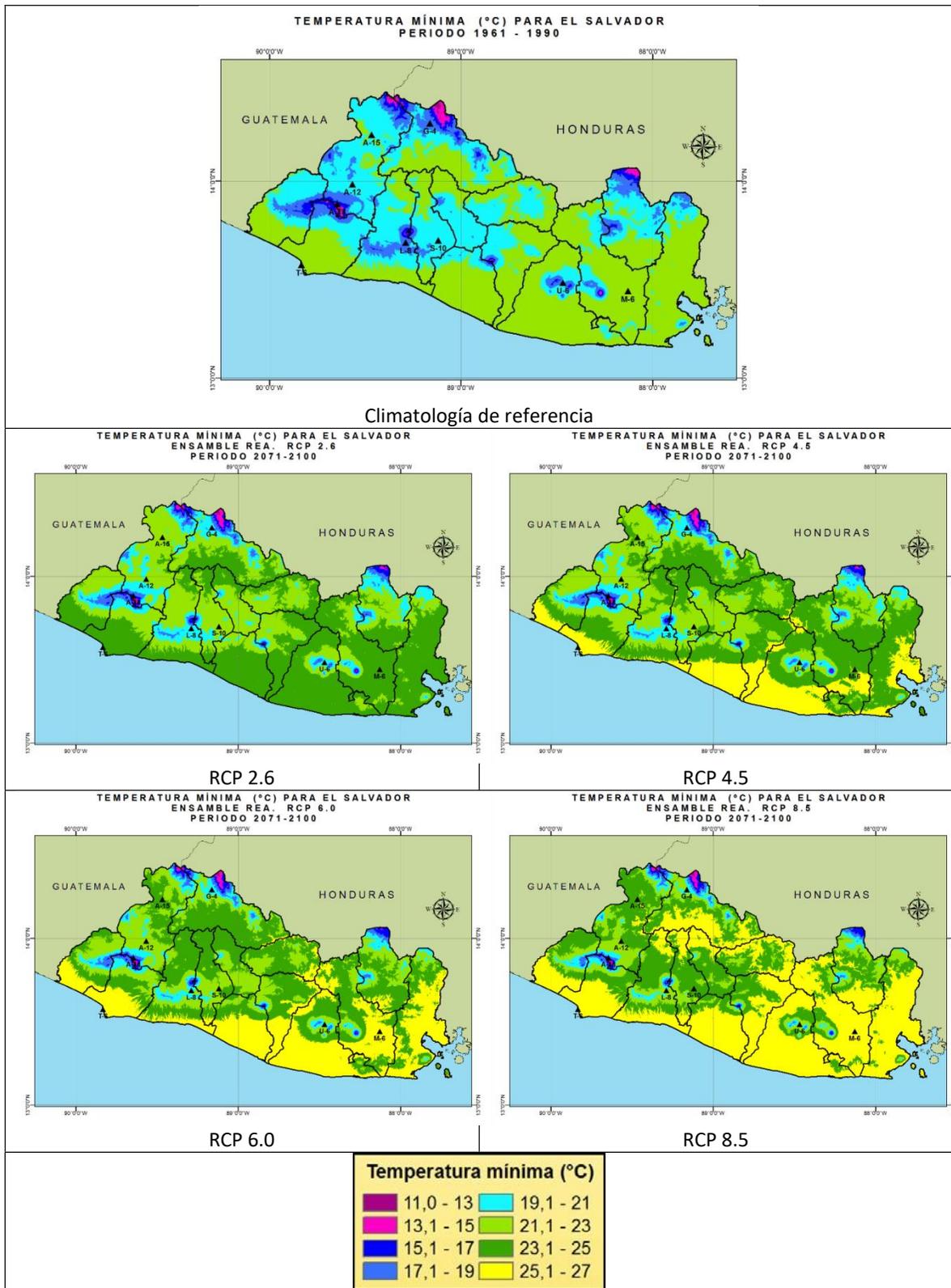


Figura 82. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la temperatura mínima anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2071-2100.

e) Humedad Relativa

Esta variable presenta reducciones en los periodos 2021-2050 y 2071-2100 bajo todos los escenarios RCP, en comparación con sus valores para el periodo de línea base 1961-1990, aunque éstas no son significativas (no sobrepasan el 4%).

Para el primer periodo (2021-2050), ésta se vería reducida del 0,5 al 1,5% (Figura 83) Esto representaría una reducción en la parte occidental del país del área con humedad relativa promedio del 80%, pasando a ser del orden del 75%, mientras que para el oriente de El Salvador, la humedad relativa pasaría a ser del 70 al 65% (Figura 91).

En la primera década (2021-2030), las reducciones de la humedad relativa oscilan entre un 0,5-1% (Figura 84). En la siguiente década (2031-2040), estas reducciones se mantienen del orden del 1% en los 4 escenarios (Figura 85). Finalmente, en la última década de este periodo (2041-2050) podrían ocurrir reducciones de 0,5 a 1,5%, siendo las más bajas del intervalo (0,5%) bajo el RCP 2.6, y las más altas (1,5%) en el RCP 8.5 (Figura 86) (Anexo IV-E).

A finales de siglo XXI (periodo 2071-2100), la humedad relativa se vería disminuida de 1 a 3,5%, presentándose las “mayores” reducciones en porcentaje bajo el RCP 8.5 (Figura 87). Esto representaría un cambio del comportamiento del patrón de humedad relativa en la mayor parte de El Salvador, donde ya no habrían zonas con humedad relativa superior al 80%, en comparación con el periodo 1961-1990 (Figura 92).

La primera década de este periodo (2071-2080) experimentaría reducciones del orden de 0,5-2,5%, ocurriendo los valores porcentuales más bajos bajo el RCP 2.6 (0,5%) y los más altos en el RCP 8.5 (2,5-3%), en particular sobre la porción occidental de El Salvador (Figura 88).

En la década 2081-2090 las reducciones serían del 1 al 3%, siendo inferiores al 2% bajo los RCP 2.6, 4.5 y 6.0, y mayores a este valor en el RCP 8.5 (Figura 89). En la última década del siglo (2091-2100), es probable se den disminuciones de humedad relativa del 1 al 3,5%, siendo éstas diferenciadas por cada escenario: bajo el RCP 2.6 serían del 1%; bajo el RCP 4.5 estarían alrededor del 1,5%; el RCP 6.0 tendría reducciones del 2-2,5%, y bajo el RCP 8.5 serían de 3-3,5% en la mayor parte del territorio nacional (Figura 90) (Anexo IV-E).

En la Tabla 21 se presentan los valores del cambio porcentual promedio de la humedad relativa para los diferentes horizontes de tiempo analizados en El Salvador.

Tabla 21. Promedio de las anomalías de la humedad relativa (%) bajo los 4 escenarios RCP en los periodos de referencia para El Salvador.

Escenario	Periodos		Primer Periodo (decadales)			Segundo Periodo (decadales)		
	2021-2050	2071-2100	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2071-2080	2081-2090	2091-2100
RCP 2.6	-0,8	-0,9	-1,4	-0,8	-0,5	-0,5	-0,7	-1,0
RCP 4.5	-1,0	-1,6	-0,6	-1,1	-1,3	-1,5	-1,8	-1,9
RCP 6.0	-1,4	-1,8	-1,2	-1,3	-1,5	-1,6	-1,9	-1,5
RCP 8.5	-1,5	-2,7	-1,4	-1,3	-1,8	-1,8	-2,0	-3,0

A nivel mensual, la humedad relativa presentaría reducciones de 1-1,5% para 2021-2050 (Tabla 22 y Anexo III-I), y de 1-3% para 2071-2100 (Tabla 23 y Anexo III-J), y siendo Agosto y Septiembre los meses en los que se presentarían las mayores reducciones (de 3% para 2021-2050 y de 7-7,5% para 2071-2100).

Tabla 22. Promedio de las anomalías mensuales de la humedad relativa (%) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2021-2050.

Escenario	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	0,9	0,2	-0,1	-0,1	-0,4	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-0,7	0,5	0,5
RCP 4.5	0,3	-0,2	0,0	-0,4	0,2	-0,1	-0,7	-2,3	-2,2	-0,3	0,0	-0,1
RCP 6.0	0,0	-0,5	-0,4	0,7	-0,3	-0,3	-0,9	-2,5	-2,5	-0,8	-0,5	-0,4
RCP 8.5	-0,2	-0,4	-0,4	-0,8	-0,3	-0,9	-1,6	-2,9	-3,0	-0,6	-0,2	0,0

Tabla 23. Promedio de las anomalías mensuales de la humedad relativa bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2071-2100.

Escenario	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	0,1	-0,2	0,0	0,0	-0,6	-1,0	-1,1	-2,2	-2,4	-0,2	0,7	0,6
RCP 4.5	-0,2	-0,3	0,0	0,3	-0,5	-1,5	-1,4	-4,2	-3,6	-1,1	-0,3	-0,5
RCP 6.0	-0,5	-0,6	-0,6	-0,9	-0,8	-2,0	-2,6	-3,5	-3,3	-0,6	-0,1	0,1
RCP 8.5	-0,8	-1,2	-1,2	-0,6	-1,5	-3,1	-4,6	-7,2	-7,4	-1,4	-0,7	-0,9

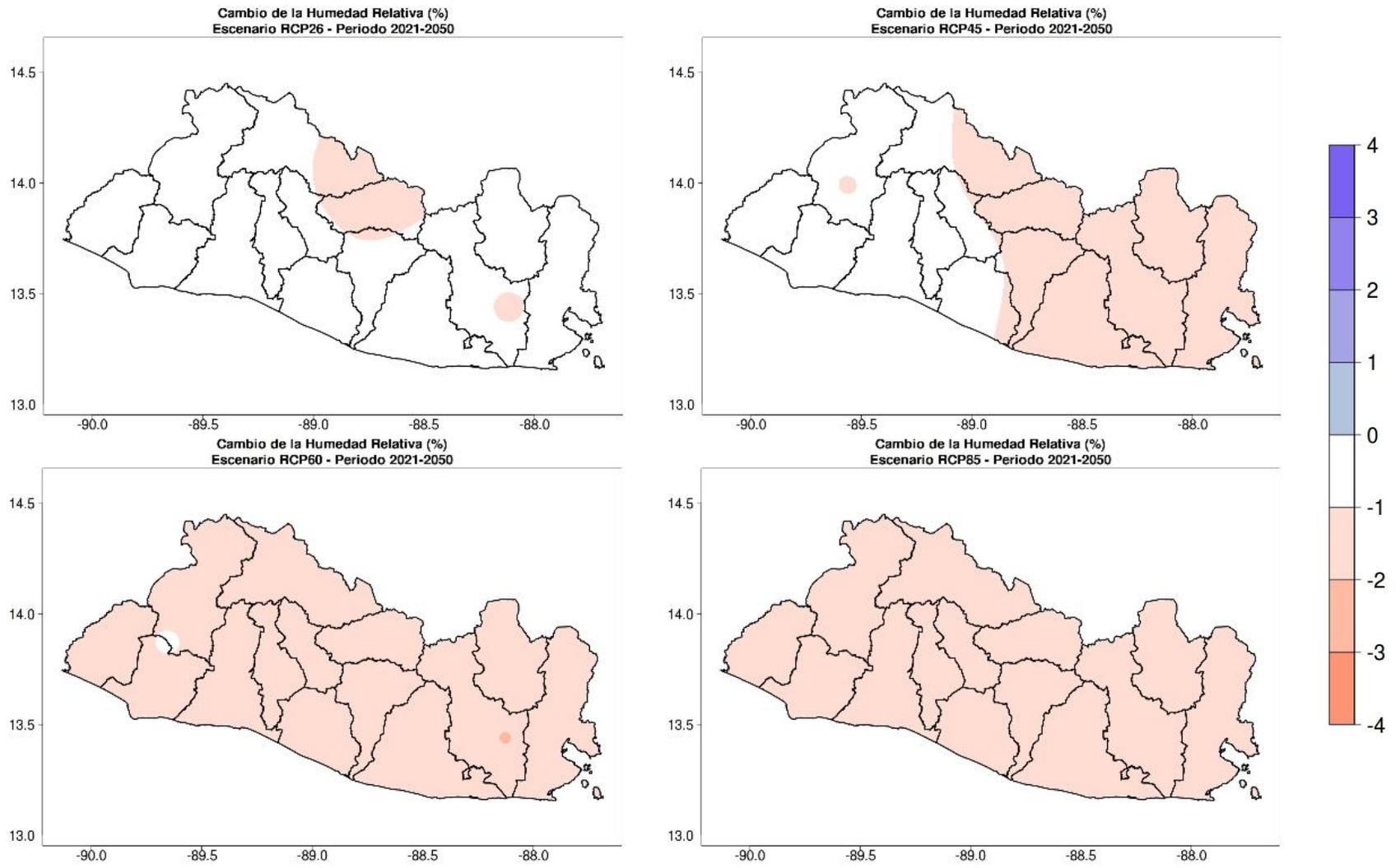


Figura 83. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.

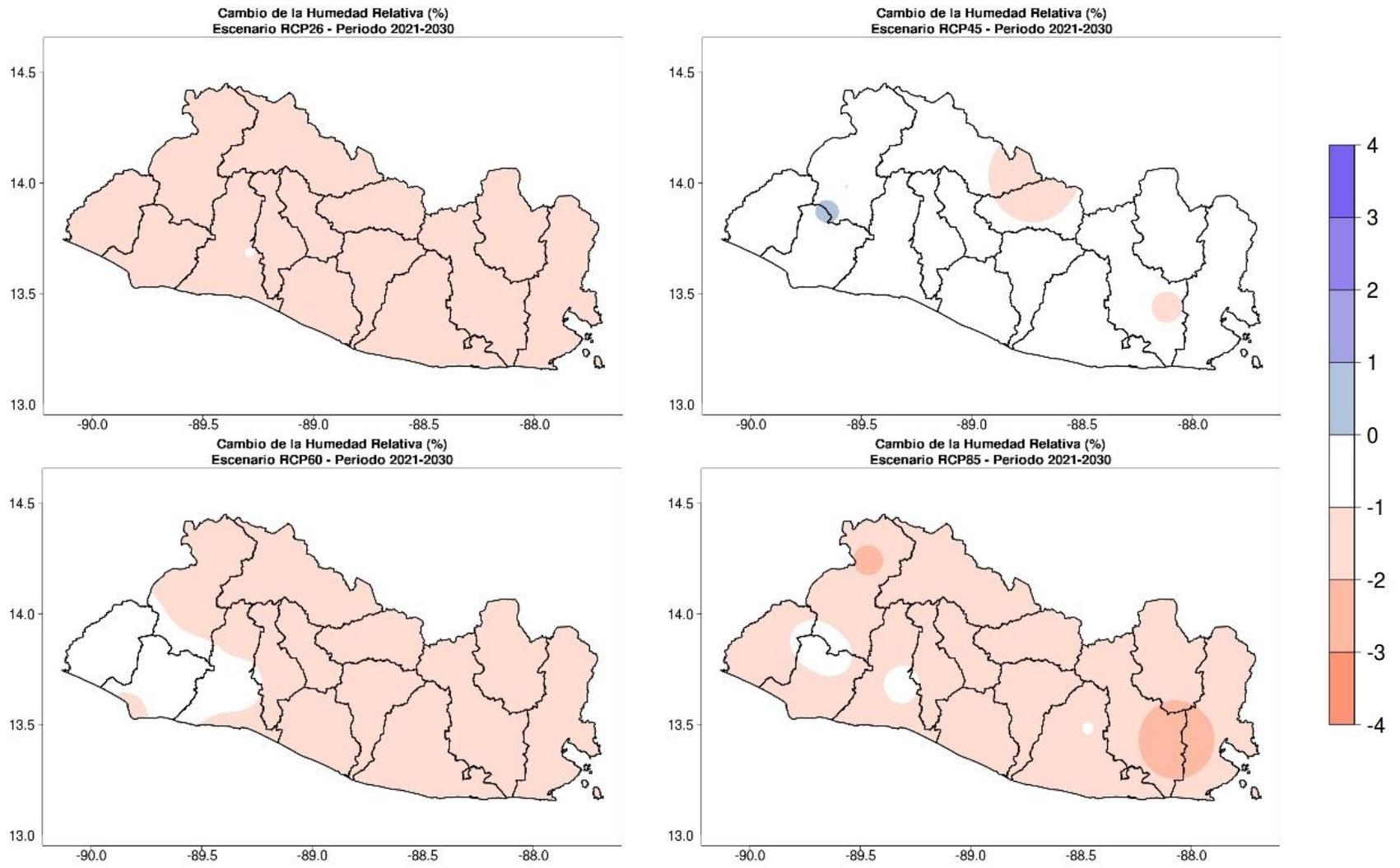


Figura 84. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.

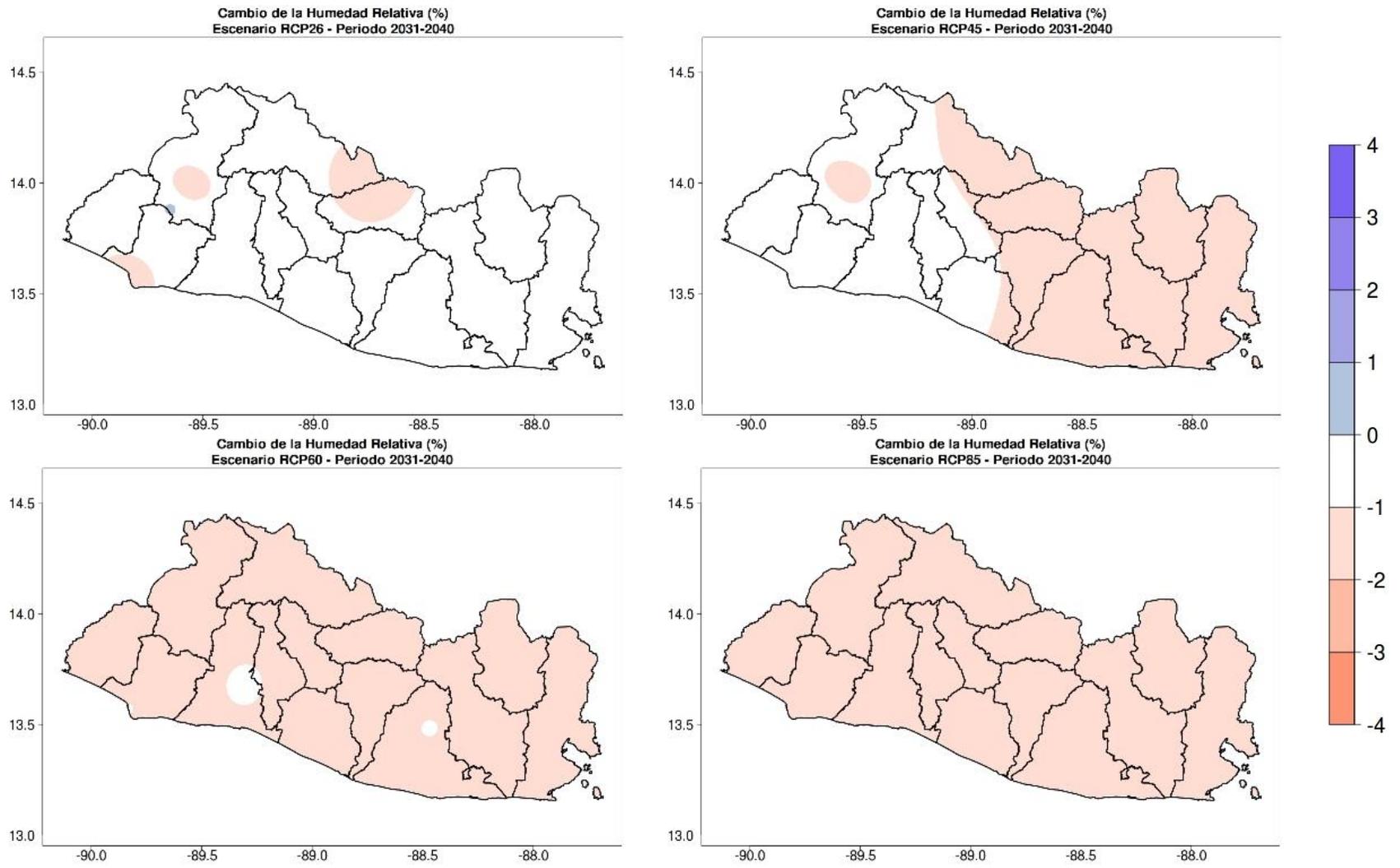


Figura 85. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.

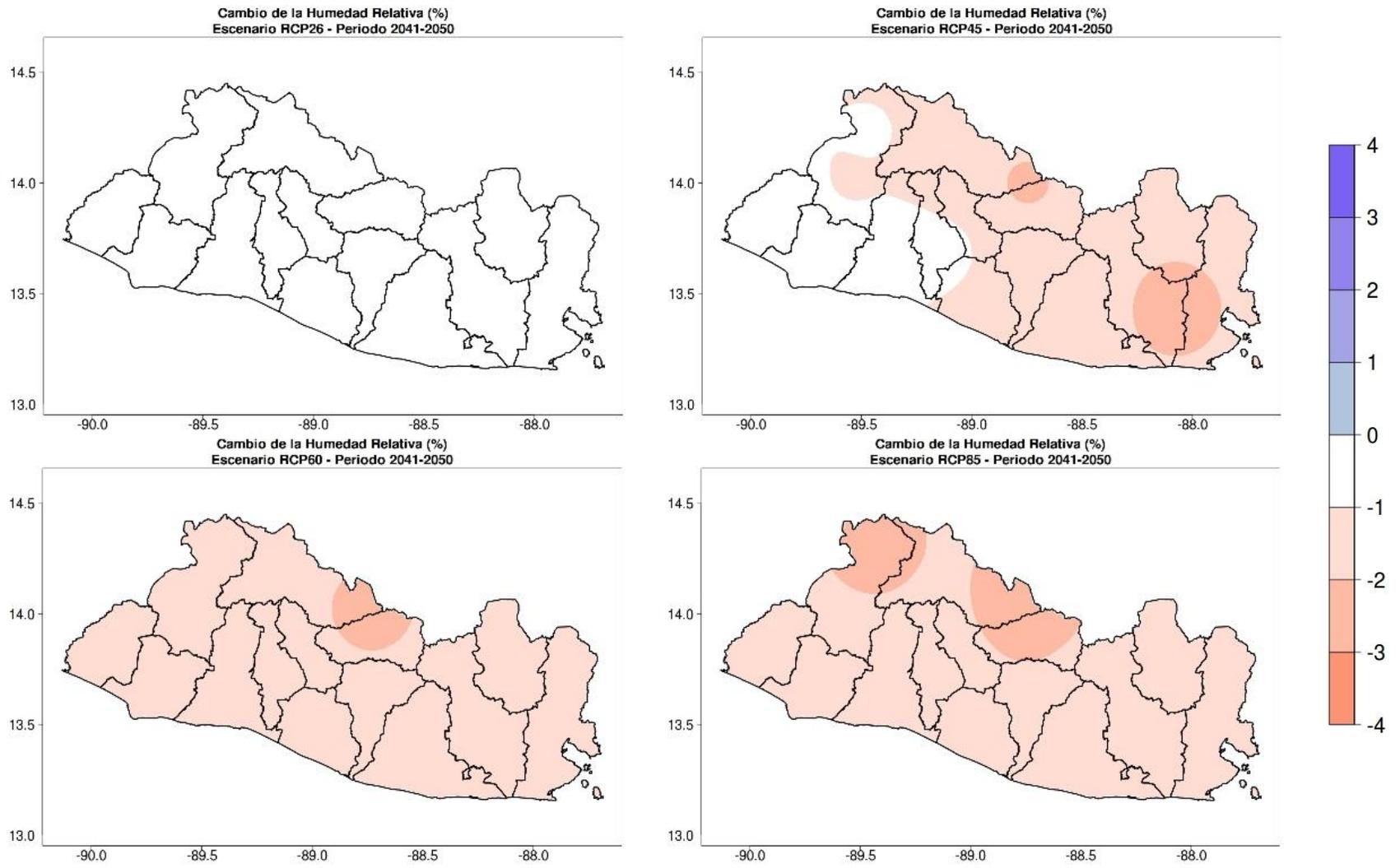


Figura 86. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.

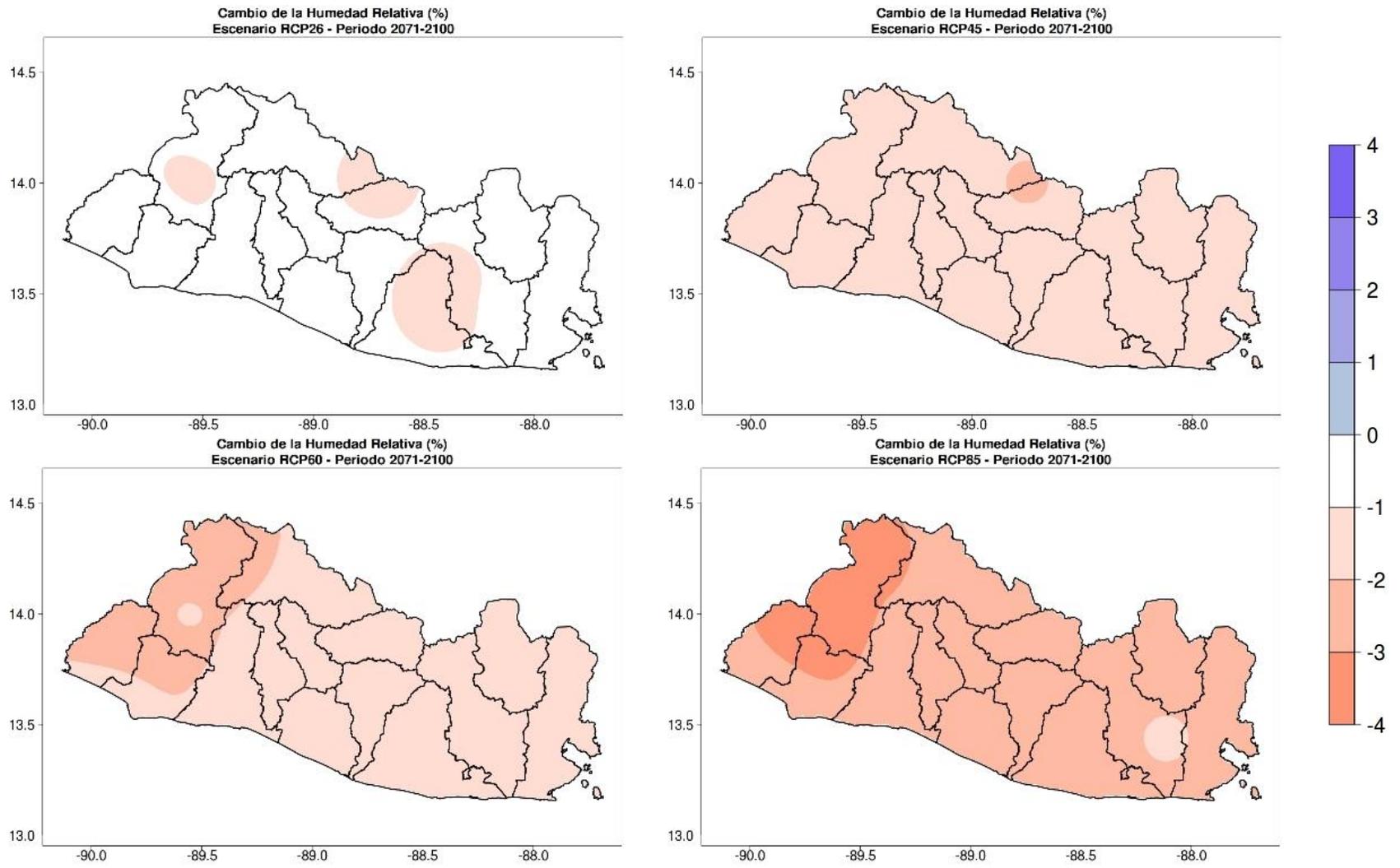


Figura 87. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.

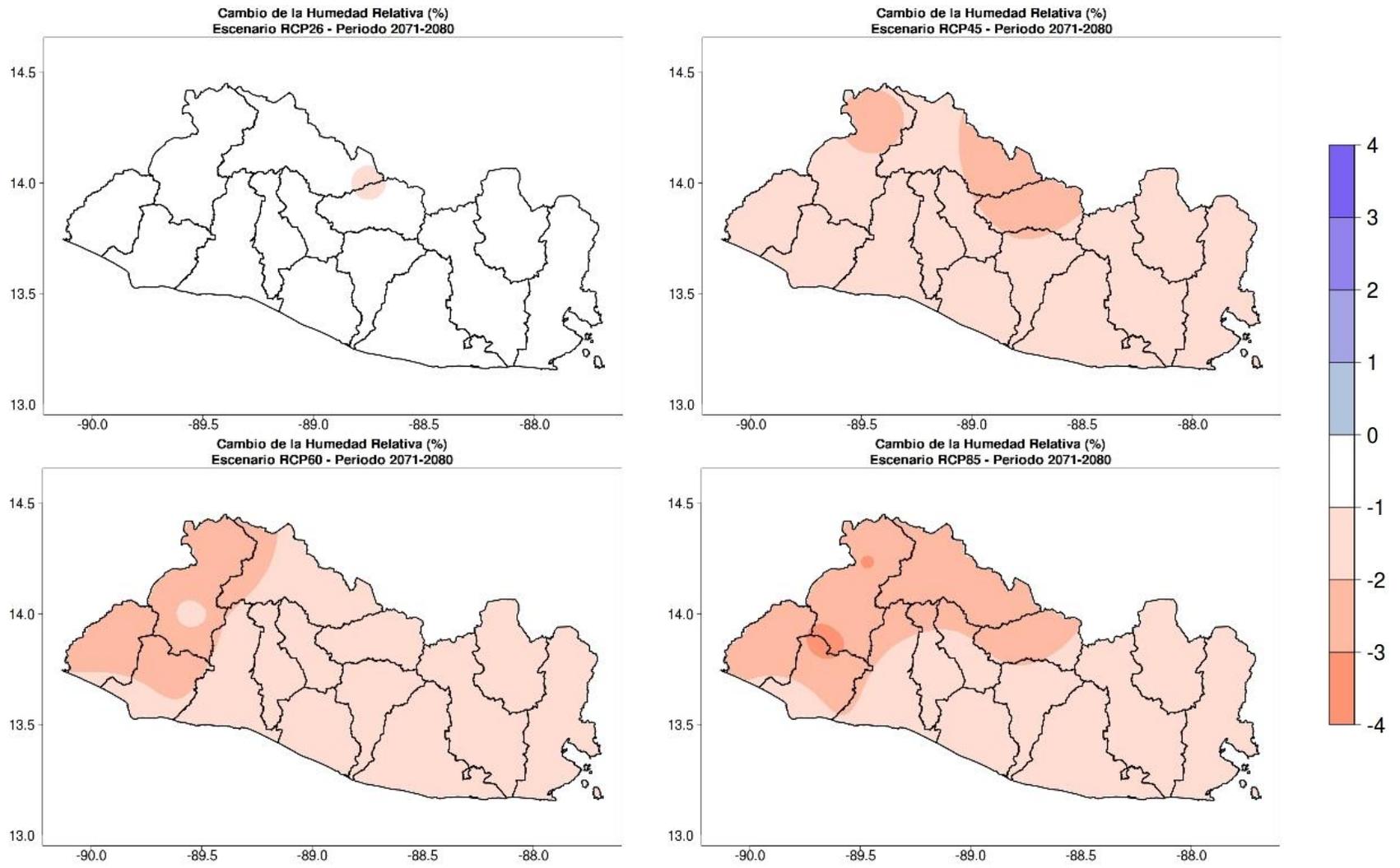


Figura 88. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.

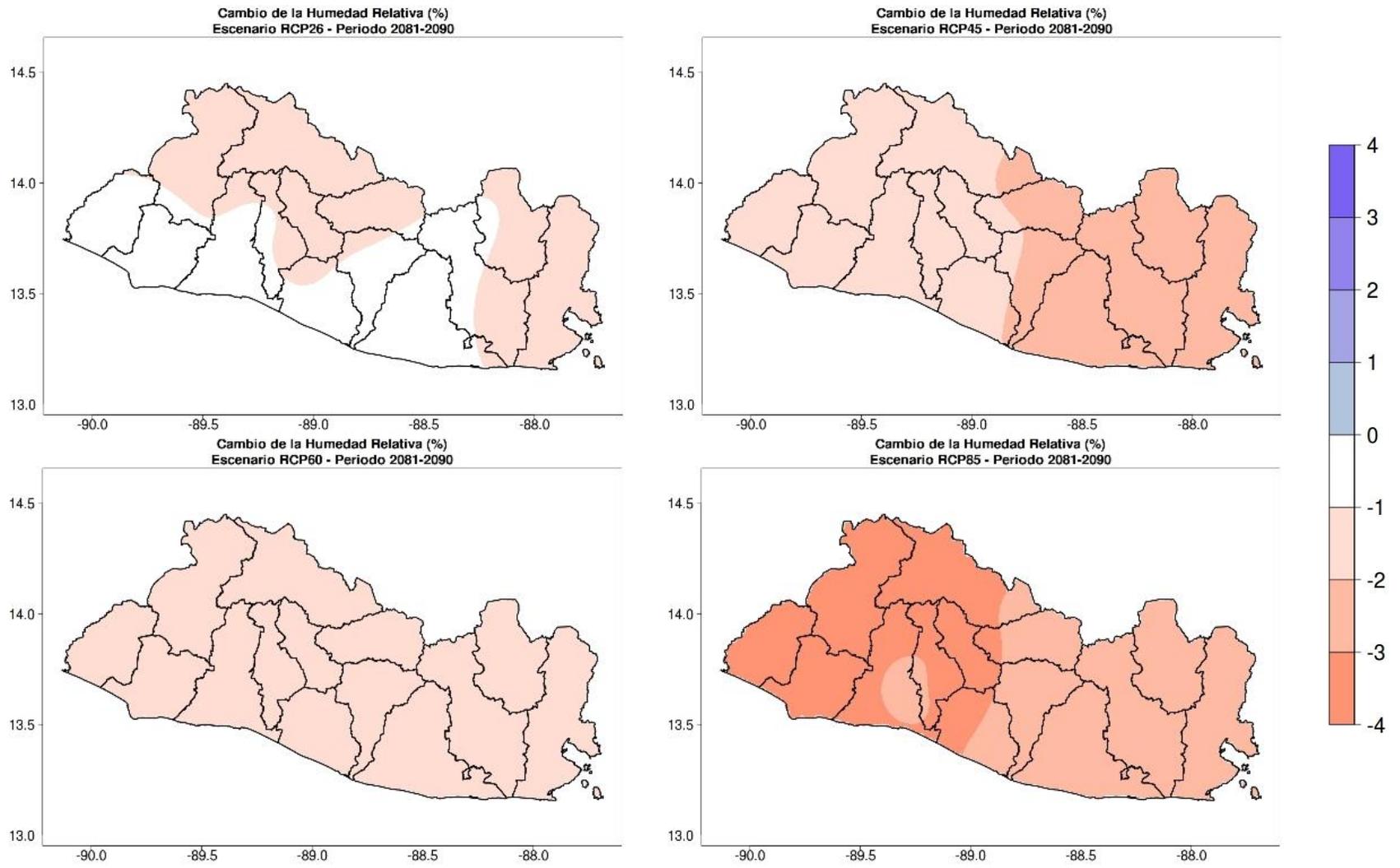


Figura 89. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.

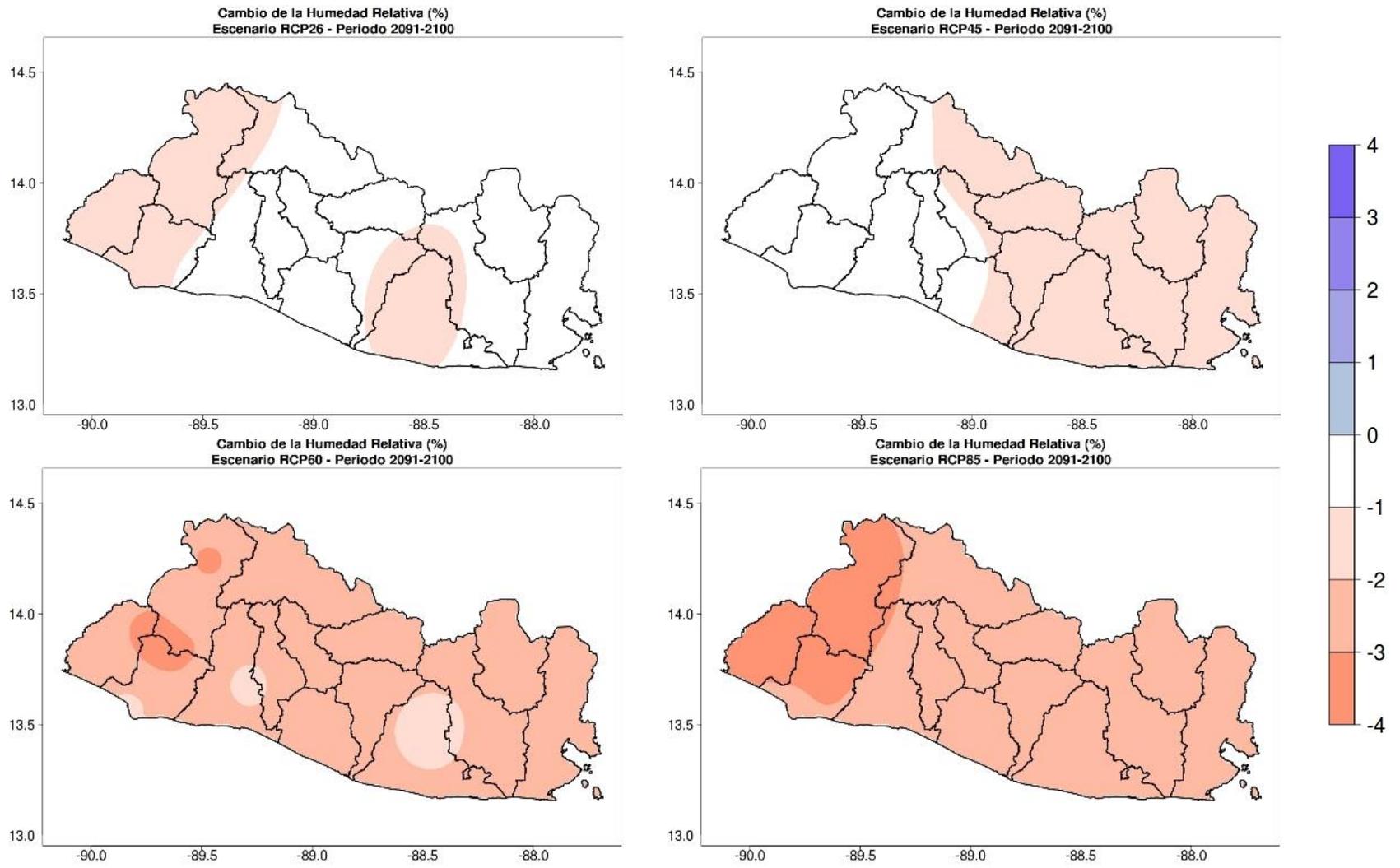


Figura 90. Cambios proyectados en la humedad relativa (%) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.

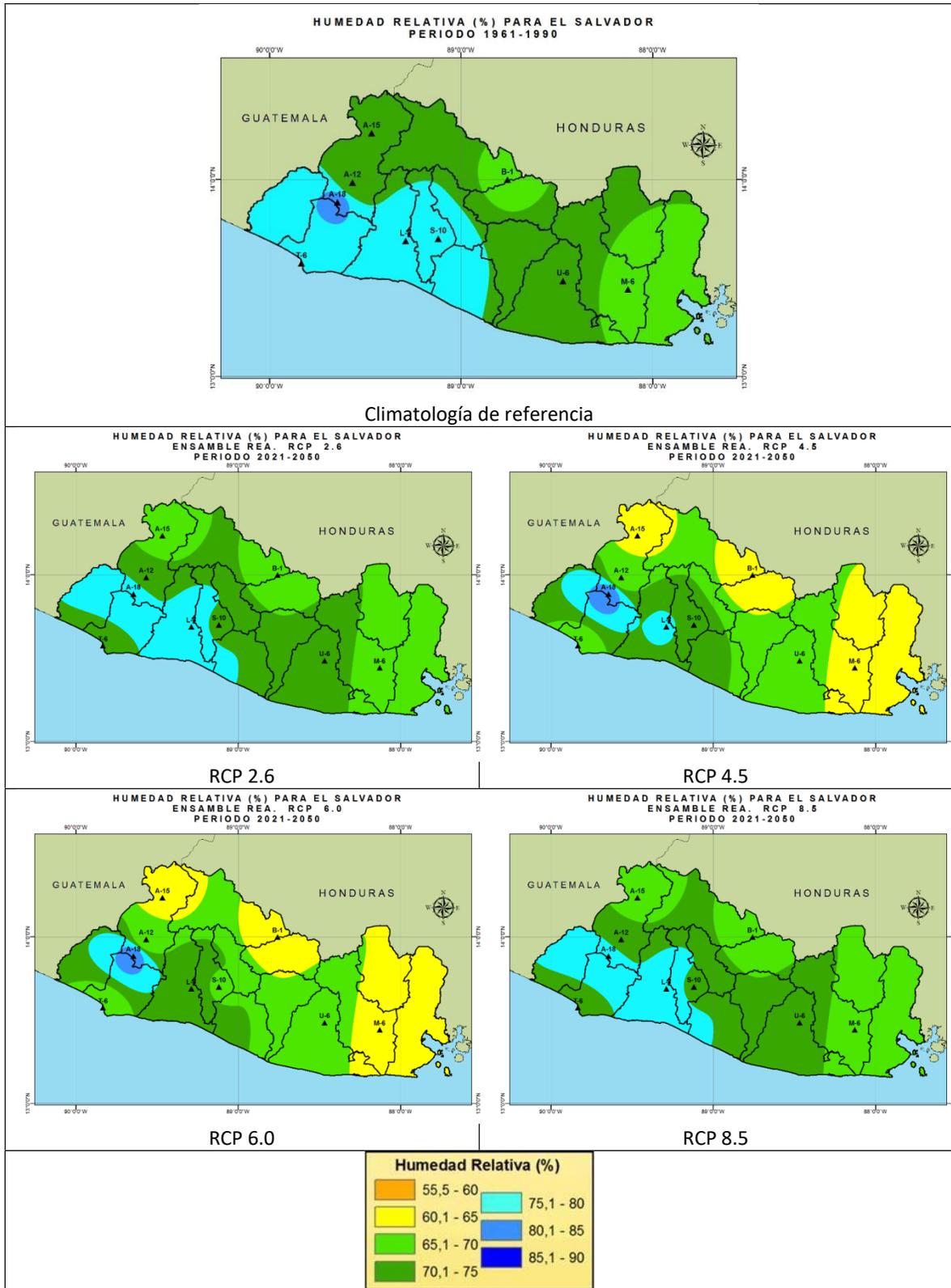


Figura 91. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la humedad relativa anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2021-2050.

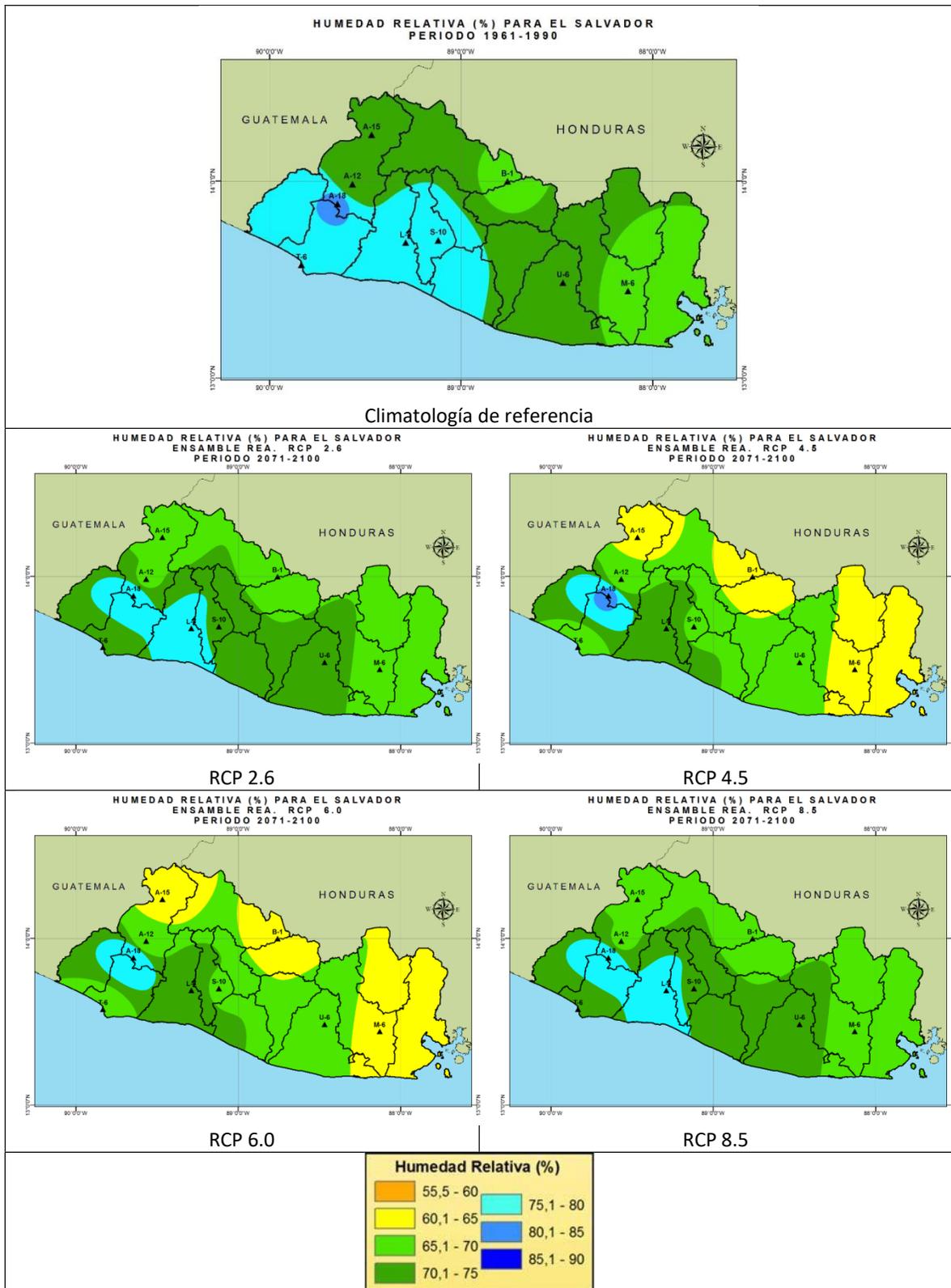


Figura 92. Climatologías del periodo de referencia 1961-1990 (arriba) y futuras de la humedad relativa anual, proyectadas por el ensamble multimodelo para los 4 escenarios RCP en el periodo 2071-2100.

f) Presión en Superficie

Al igual que la humedad relativa, la presión en superficie presenta cambios poco significativos en los periodos 2021-2050 y 2071-2100 bajo todos los escenarios RCPs. La presión en superficie muestra una tendencia hacia el aumento, aunque en ninguno de los periodos futuros sobrepasa los 2hPa, y este incremento se ve marcado en la parte norte del territorio de El Salvador.

Para el primer periodo (2021-2050), esta variable se incrementaría en máximo 0,75hPa (Figura 93). En la primera década (2021-2030), los aumentos de la presión atmosférica serían de aproximadamente 0,25hPa (Figura 94). En la siguiente década (2031-2040) esta variable se incrementaría en máximo 0,5hPa en los cuatro escenarios (Figura 95). Finalmente, en la última década de este periodo (2041-2050) se presentaría un incremento máximo de 0,75 hPa bajo el escenario RCP 8.5 (Figura 96).

A finales de siglo (periodo 2071-2100), el aumento de la presión en superficie oscila entre 0,5 y 2hPa, presentándose los “mayores” incrementos bajo el RCP 8.5 (Figura 97). La primera década de este periodo (2071-2080) presenta aumentos de la presión atmosférica del orden de 0,5-1,5hPa, siendo los más bajos bajo el RCP 2.6 (0,5hPa) y los más altos en el RCP 8.5 (1-1,5hPa) hacia el norte del país (Figura 98).

En la década 2081-2090 es probable que los incrementos sean de 0,5 a 2hPa, siendo inferiores a 1hPa bajo los RCP 2.6, 4.5 y 6.0, y mayores a este valor en el escenario RCP 8.5 (Figura 99). En la última década del siglo (2091-2100), podrían ocurrir aumentos de la presión en superficie del mismo orden de la década anterior. Sin embargo, bajo el RCP 8.5 se aprecian algunas zonas al norte del territorio nacional en las cuales la presión en superficie presentaría incrementos superiores a los 2hPa (Figura 100).

En la Tabla 24 se presentan los valores de las anomalías promedio de la presión atmosférica para todo el país que se darían en los periodos analizados.

Tabla 24. Promedio de las anomalías de la presión atmosférica en superficie (hPa) bajo los 4 escenarios RCP en los periodos de referencia para El Salvador.

Escenario	Periodos		Primer Periodo (decadales)			Segundo Periodo (decadales)		
	2021-2050	2071-2100	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2071-2080	2081-2090	2091-2100
RCP 2.6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
RCP 4.5	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4
RCP 6.0	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4
RCP 8.5	0,2	0,7	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7

A nivel mensual, la presión atmosférica en superficie presentaría cambios poco significativos, con aumentos del orden de 0,2hPa para 2021-2050 (Tabla 25 y Anexo III-K) y de 0,2-0,7hPa para 2071-2100 (Tabla 26 y Anexo III-L). A nivel mensual, los mayores cambios se darían en Julio, Agosto y Septiembre, con aumentos de aproximadamente 0,4hPa para mitad de siglo y de 1hPa para finales del mismo.

Tabla 25. Promedio de las anomalías mensuales de la presión atmosférica en superficie (hPa) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2021-2050.

Escenario	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	0,04	-0,03	0,10	-0,05	0,06	0,27	0,39	0,34	0,33	0,13	0,22	0,17
RCP 4.5	0,07	-0,07	0,06	0,02	0,06	0,26	0,38	0,44	0,39	0,24	0,19	0,19
RCP 6.0	0,00	-0,04	0,09	-0,06	-0,03	0,18	0,31	0,37	0,32	0,25	0,15	0,06
RCP 8.5	0,10	-0,10	-0,08	-0,05	0,06	0,28	0,45	0,43	0,42	0,27	0,23	0,25

Tabla 26. Promedio de las anomalías mensuales de la presión atmosférica en superficie (hPa) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2071-2100.

Escenario	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	-0,04	-0,02	-0,03	-0,10	0,07	0,27	0,32	0,49	0,34	0,14	0,20	0,19
RCP 4.5	0,17	0,03	-0,01	-0,05	0,19	0,50	0,60	0,62	0,57	0,36	0,34	0,27
RCP 6.0	0,29	0,10	0,06	0,01	0,15	0,57	0,69	0,69	0,66	0,41	0,33	0,34
RCP 8.5	0,39	0,22	0,15	0,11	0,36	0,88	1,00	1,11	1,06	0,70	0,64	0,51

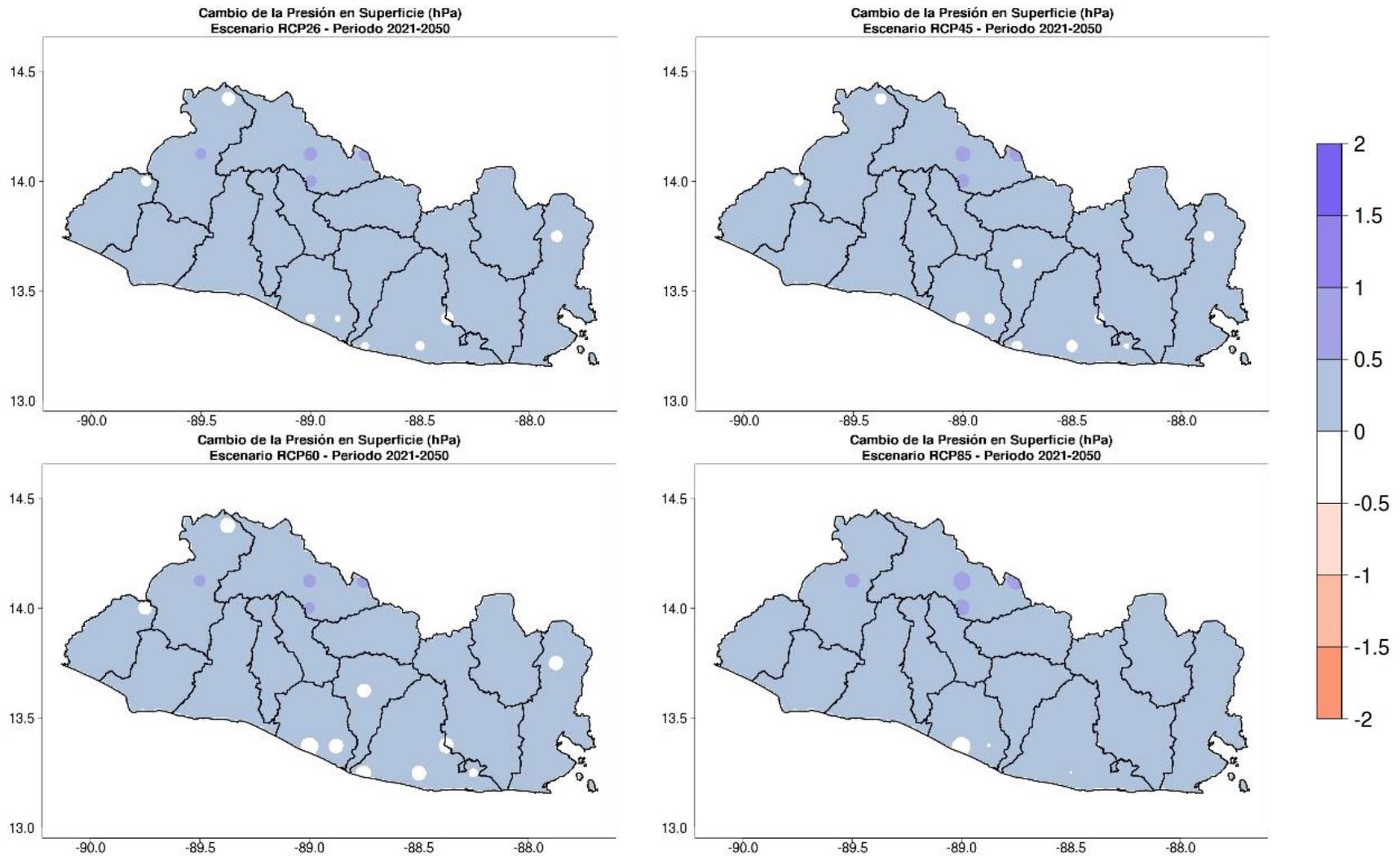


Figura 93. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.

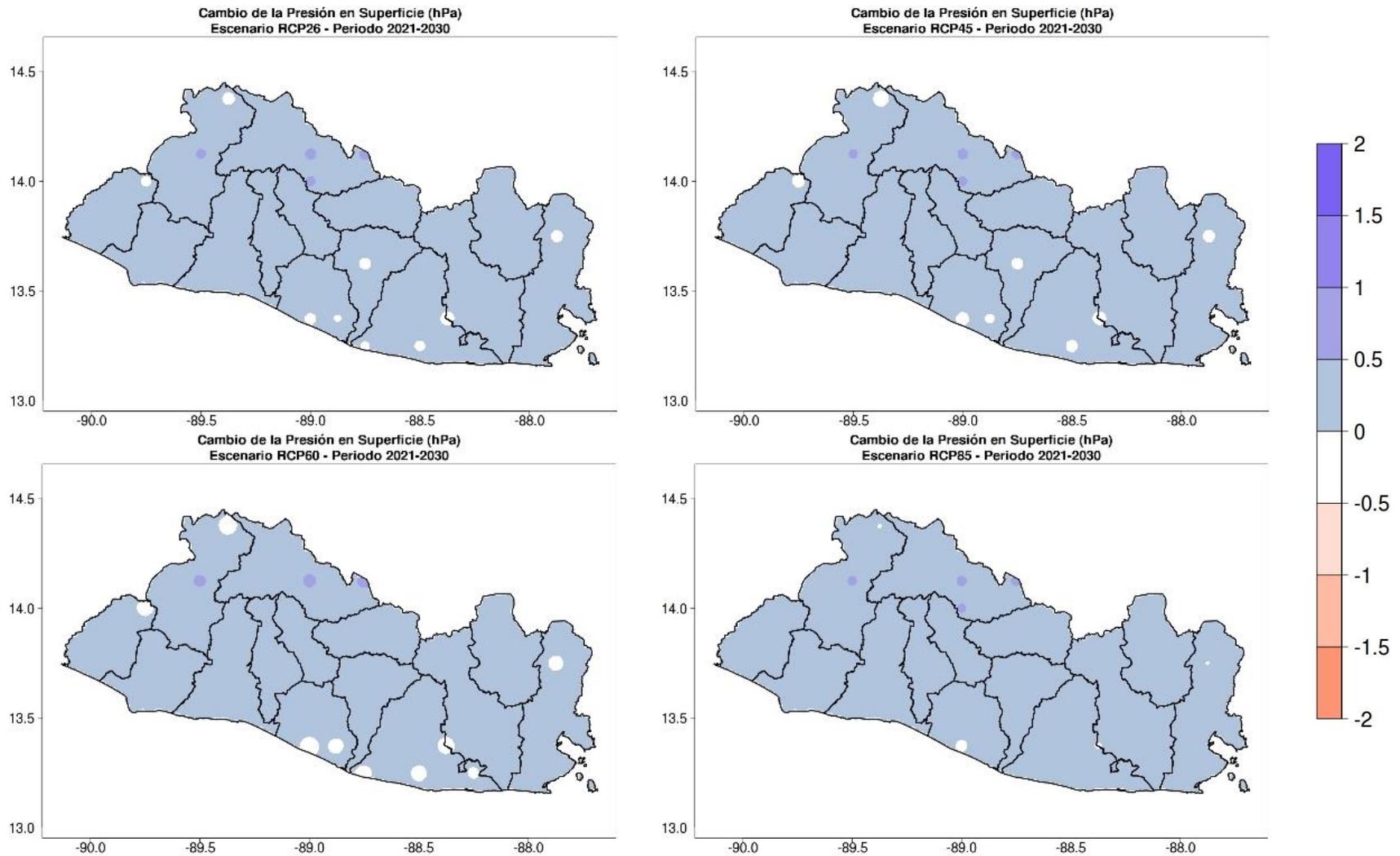


Figura 94. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.

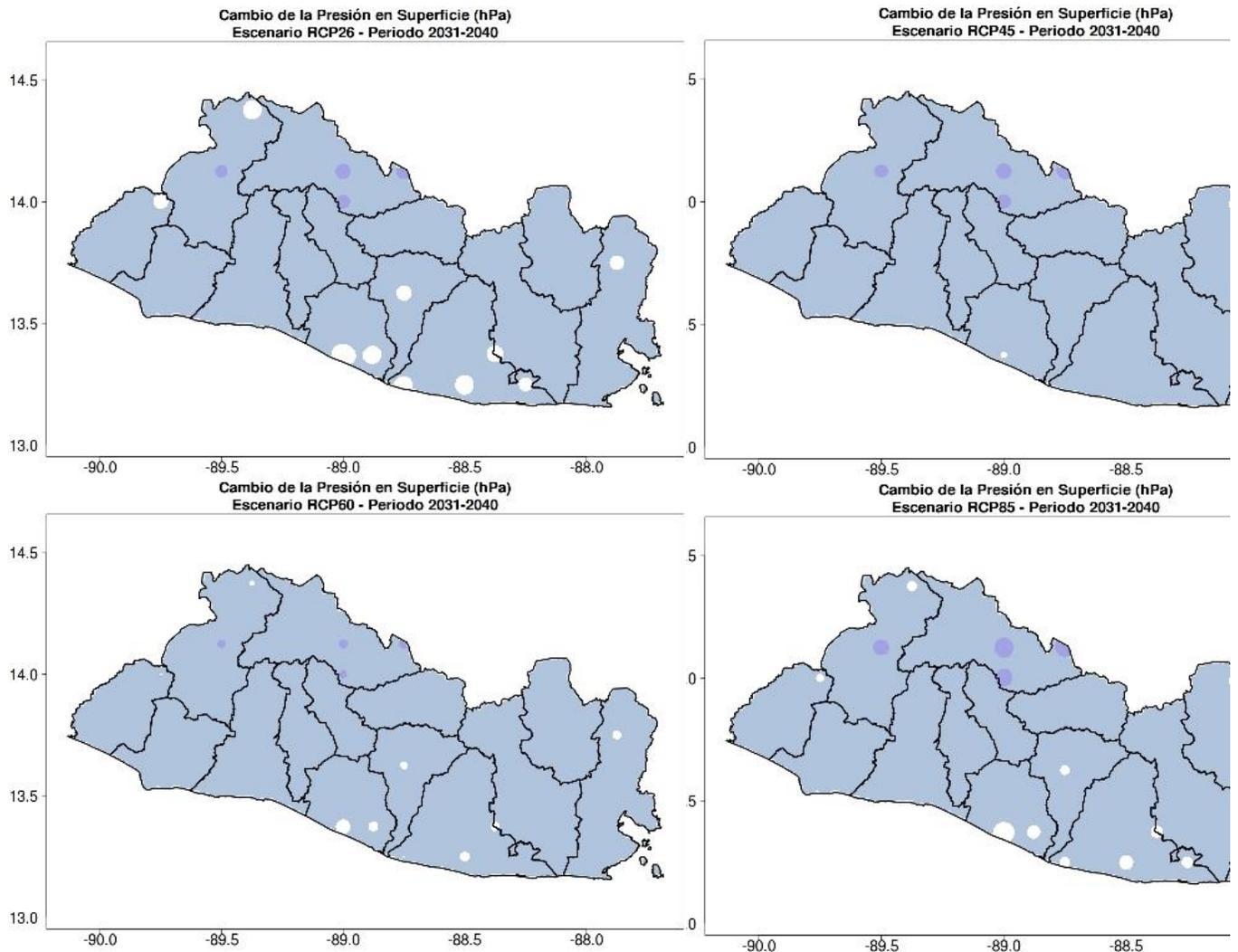


Figura 95. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para

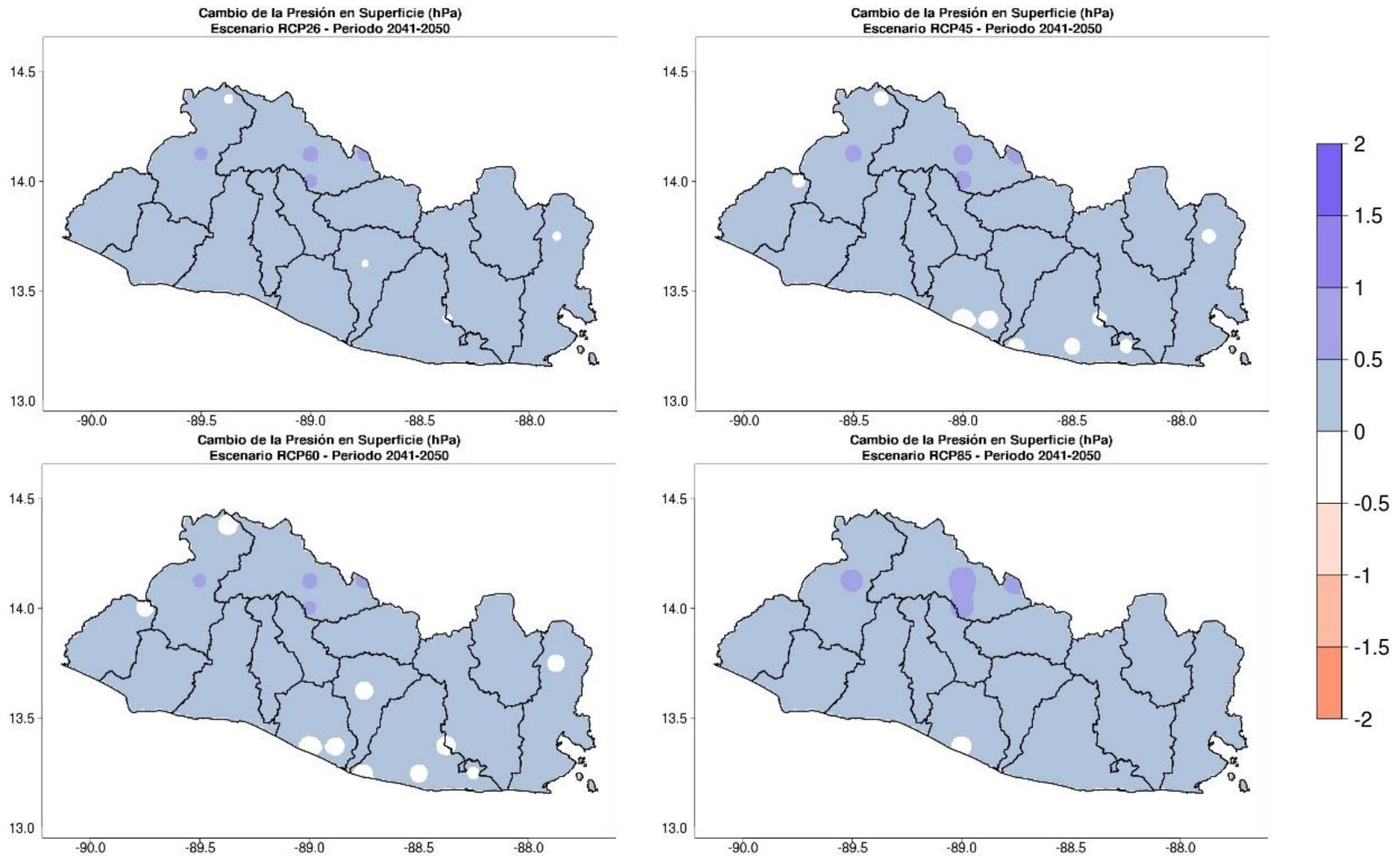


Figura 96. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.

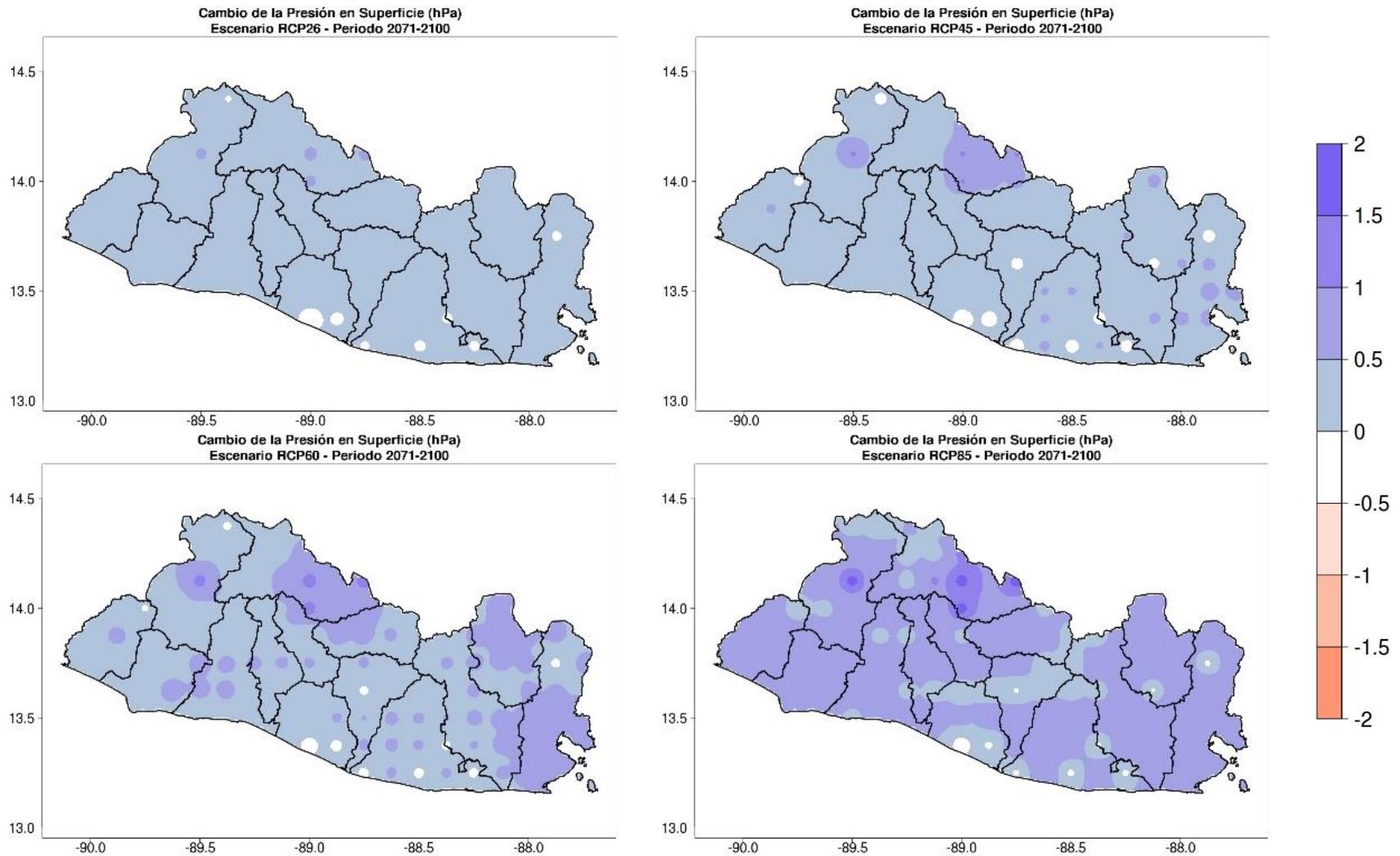


Figura 97. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.

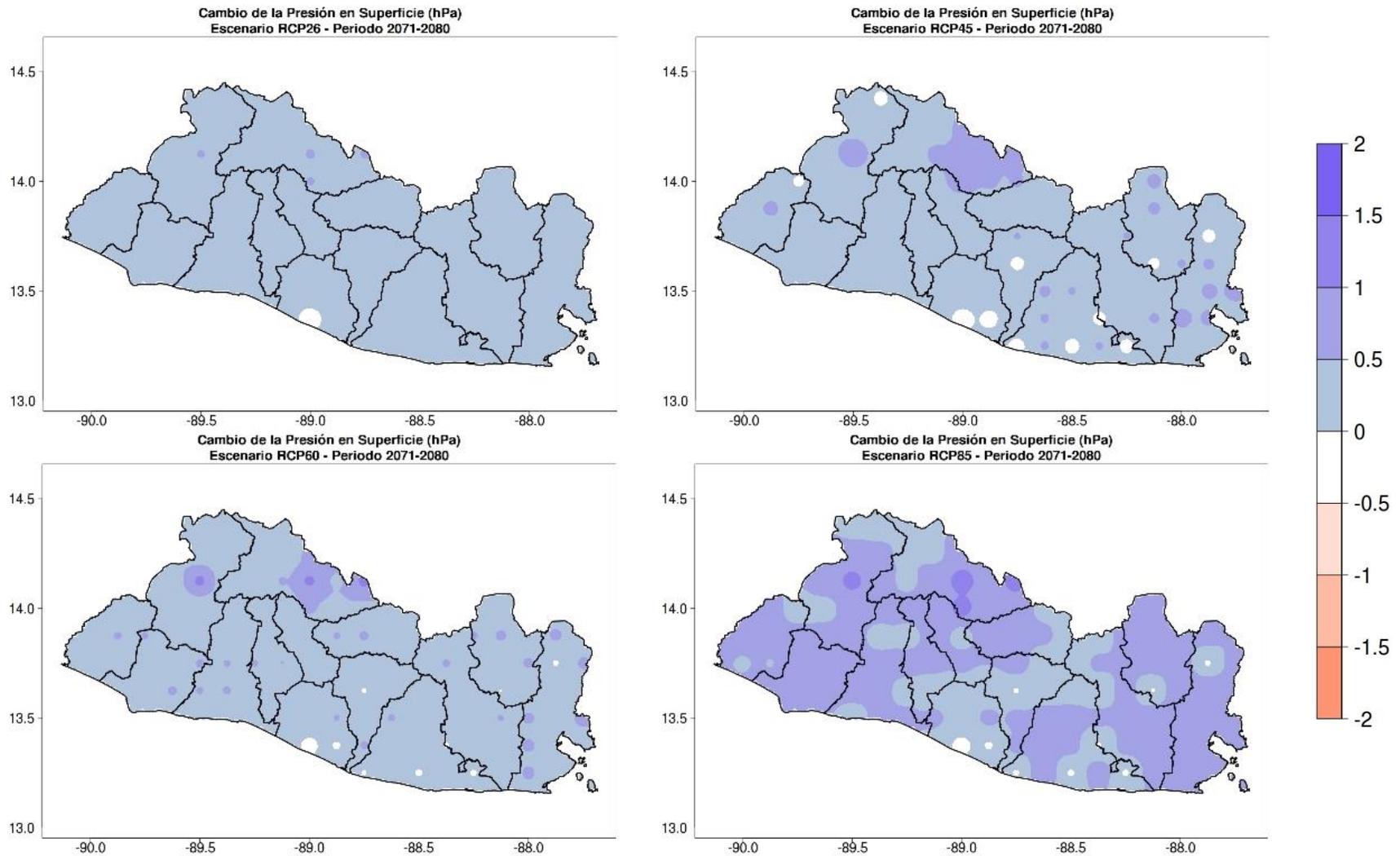


Figura 98. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.

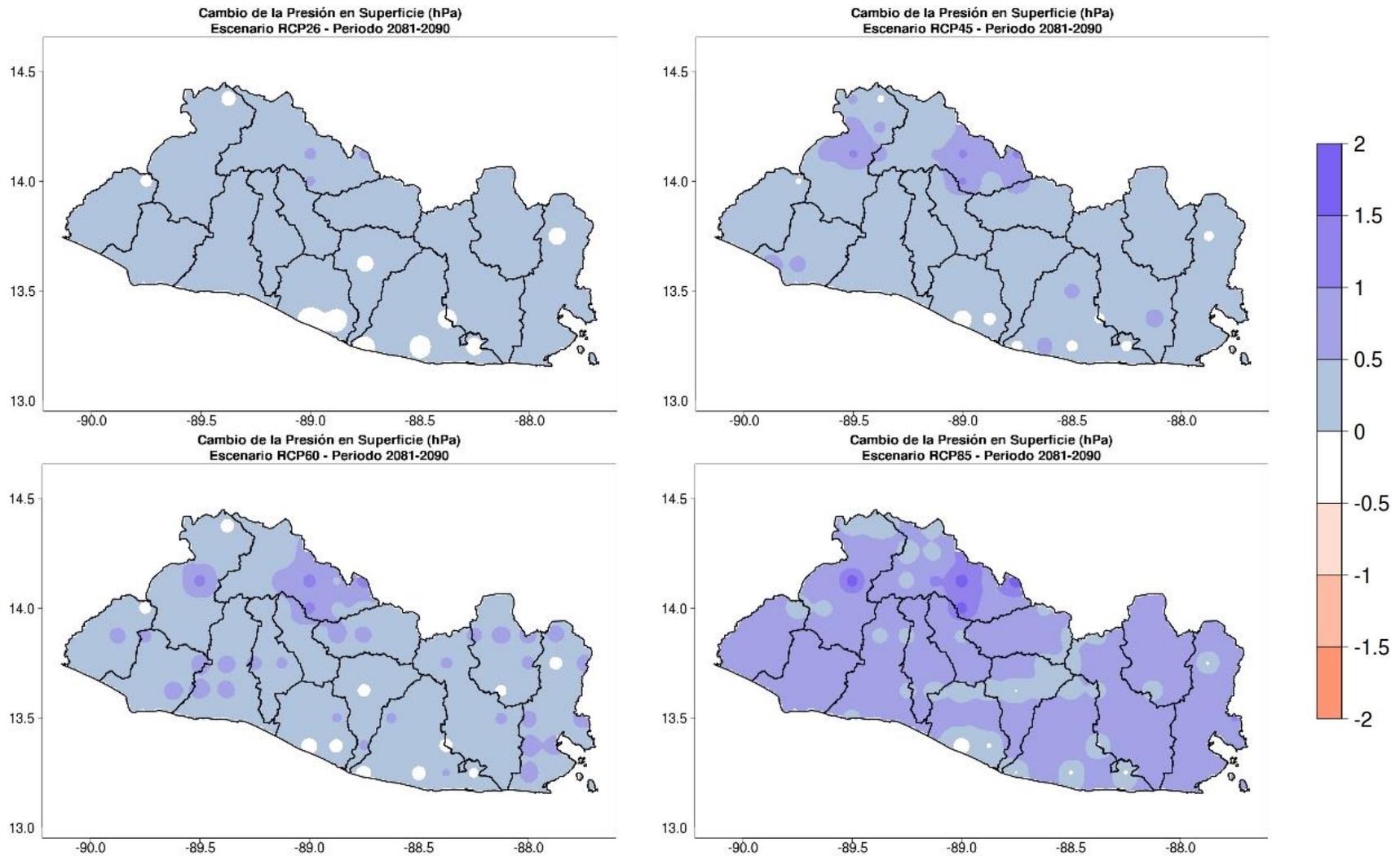


Figura 99. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.

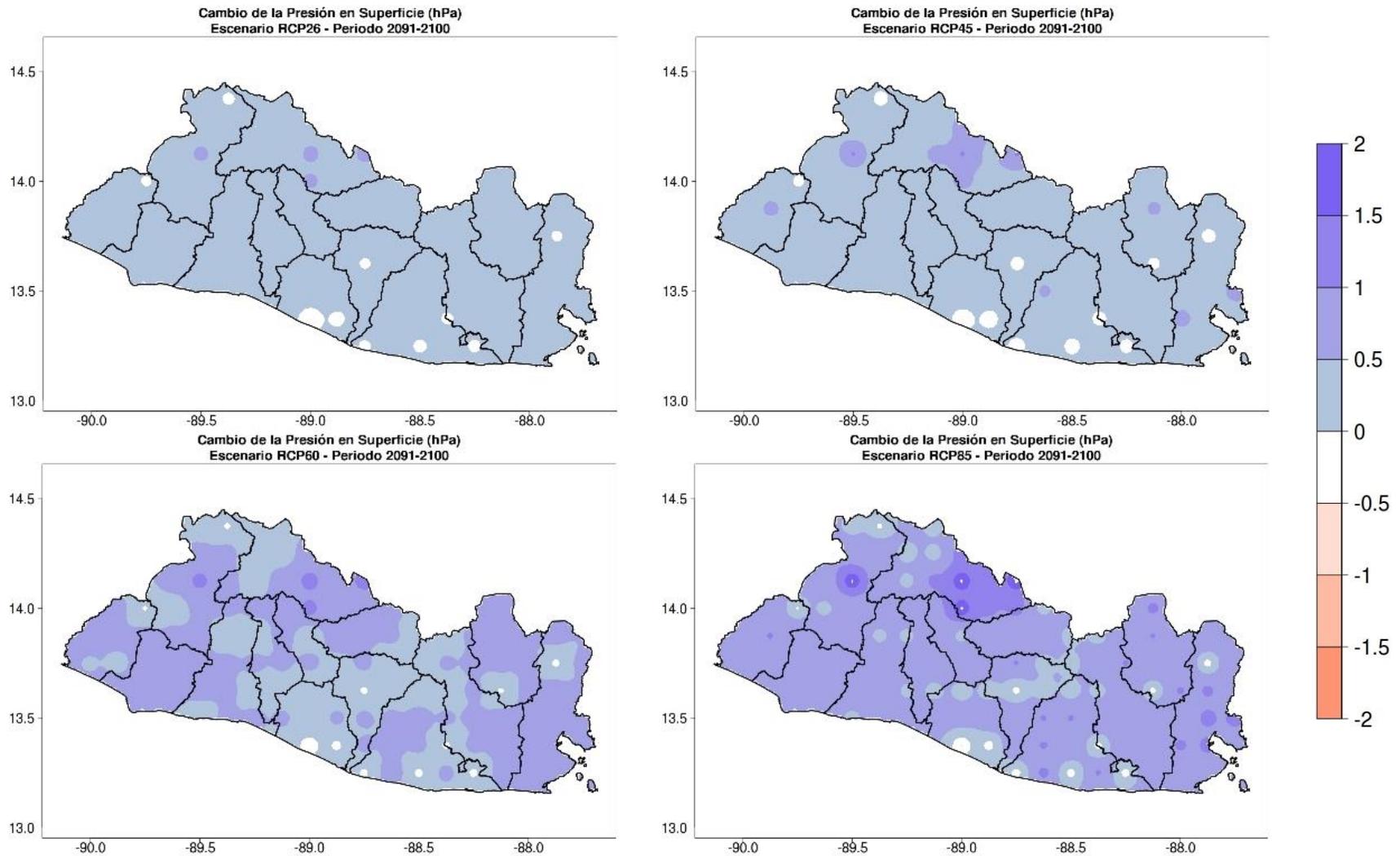


Figura 100. Cambios proyectados en la presión atmosférica en superficie (hPa) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.

g) Velocidad del Viento

La velocidad del viento, al igual que la humedad relativa y la presión en superficie, presenta cambios poco significativos en los periodos 2021-2050 y 2071-2100 bajo todos los escenarios RCP. Según el escenario, esta variable presenta aumentos o reducciones en cada periodo, aunque en la mayoría de escenarios y periodos la tendencia es hacia la reducción. Para el primer periodo (2021-2050), esta variable probablemente presente cambios del orden de 0,05m/s (0,18 km/h) (Figura 101).

En la primera década (2021-2030), es probable que los cambios más altos se darían bajo el escenario RCP 8.5, con aumentos de máximo 0,05m/s (0,18 km/h) en la velocidad del viento (Figura 102). En la siguiente década (2031-2040), esta variable podría presentar un comportamiento diverso, con reducciones en los RCP 2.6, 4.5 y 6.0, mientras bajo el RCP 8.5, se espera que se den incrementos hacia el occidente de El Salvador y reducciones hacia el oriente. A pesar de su diverso comportamiento influenciado por el campo de las presiones y la topografía local, estos cambios de la velocidad siguen siendo poco significativos para esta variable (Figura 103). Finalmente, en la última década de este periodo (2041-2050) se presentarían leves incrementos bajo el RCP 2.6, y reducciones leves en los demás escenarios (Figura 104).

A finales de siglo XXI (periodo 2071-2100), la velocidad del viento presentaría reducciones de máximo 0,05m/s (0,18 km/h) bajo los RCP 2.6, 4.5 y 6.0, e incrementos en el centro y occidente del país bajo el RCP 8.5, con valores del mismo orden (0,05m/s – 0,18 km/h –) (Figura 105). La primera década de este periodo (2071-2080) podría presentar reducciones poco significativas en los RCP 2.6 y 4.5 (del orden de 0,05m/s – 0,18 km/h –); cambios muy bajos bajo el RCP 6.0 (inferiores a 0,05m/s – 0,18 km/h –), y bajo el RCP 8.5, e incrementos en el centro y occidente de El Salvador y reducciones en el oriente del país, pero todos estos cambios con poca significancia (del orden de 0,05m/s – 0,18 km/h –) (Figura 106).

En la década 2081-2090 los cambios de la velocidad del viento son muy bajos en los RCP 2.6, 4.5 y 6.0, y en el RCP 8.5 se mantiene el comportamiento y el orden de cambio de la década anterior para esta variable (Figura 107). En la última década del siglo (2091-2100) se presentarían reducciones de la velocidad del viento bajo los RCP 2.6, 4.5 y 6.0, del orden de 0,05m/s (0,18 km/h); bajo el RCP 8.5, los incrementos y reducciones se mantendrían en las mismas zonas del país (en el centro y occidente los aumentos y en el oriente las disminuciones), pero seguirían siendo poco significativos (del orden de 0,075m/s – 0,27 km/h –) (Figura 108).

Las anomalías promedio de la velocidad media del viento se presentan en la Tabla 27.

Tabla 27. Promedio de las anomalías de la velocidad del viento (m/s) bajo los 4 escenarios RCP en los periodos de referencia para El Salvador.

Escenario	Periodos		Primer Periodo (decadales)			Segundo Periodo (decadales)		
	2021-2050	2071-2100	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2071-2080	2081-2090	2091-2100
RCP 2.6	0,00	-0,02	0,00	-0,01	0,01	-0,01	-0,03	-0,01
RCP 4.5	-0,03	-0,03	-0,01	-0,04	-0,06	-0,05	-0,03	-0,01
RCP 6.0	0,00	-0,01	0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	-0,01
RCP 8.5	0,00	0,01	0,02	-0,01	-0,02	0,02	0,01	0,01

Al igual que la presión atmosférica en superficie, a nivel mensual la velocidad del viento tendría pocos cambios significativos en ambos periodos, con valores inferiores a 0,1m/s (0,36 km/h). A nivel mensual, para 2021-2050 los cambios se mantienen inferiores a 0,1m/s (0,36 km/h), con reducciones entre Enero y Marzo y los “mayores” incrementos en Julio (Tabla 28 y Anexo III-M). A finales de siglo, se mantiene un comportamiento similar, pero con valores un poco más altos (entre 0,8 y 2m/s – 2,88 km/h y 7,2 km/h – en las reducciones y entre 0,1 y 3m/s – 0,36 km/h y 10,8 km/h – los incrementos) (Tabla 29 y Anexo III-N).

Tabla 28. Promedio de las anomalías mensuales de la velocidad del viento (m/s) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2021-2050.

Escenario	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	-0,02	-0,05	-0,03	0,03	0,02	-0,02	0,12	-0,02	-0,03	-0,04	-0,03	0,05
RCP 4.5	-0,07	-0,10	-0,11	-0,04	0,03	-0,01	0,02	-0,01	0,01	-0,04	-0,01	-0,03
RCP 6.0	0,00	-0,09	-0,11	0,03	0,03	0,00	0,08	-0,01	0,01	0,02	0,00	0,04
RCP 8.5	-0,05	-0,09	-0,05	0,02	0,03	-0,01	0,14	0,02	0,01	-0,01	0,03	0,01

Tabla 29. Promedio de las anomalías mensuales de la velocidad del viento (m/s) bajo los 4 escenarios RCP para El Salvador en el periodo 2071-2100.

Escenario	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RCP 2.6	-0,06	-0,06	-0,05	-0,03	0,04	-0,04	0,03	0,02	-0,04	-0,04	-0,02	0,02
RCP 4.5	-0,06	-0,18	-0,17	-0,06	0,02	-0,01	0,16	0,03	0,00	-0,05	0,02	0,04
RCP 6.0	0,02	-0,11	-0,11	-0,02	0,02	-0,02	0,13	0,02	-0,03	-0,03	0,03	0,02
RCP 8.5	-0,05	-0,20	-0,14	0,01	0,01	0,03	0,28	0,11	0,03	-0,02	0,05	0,06

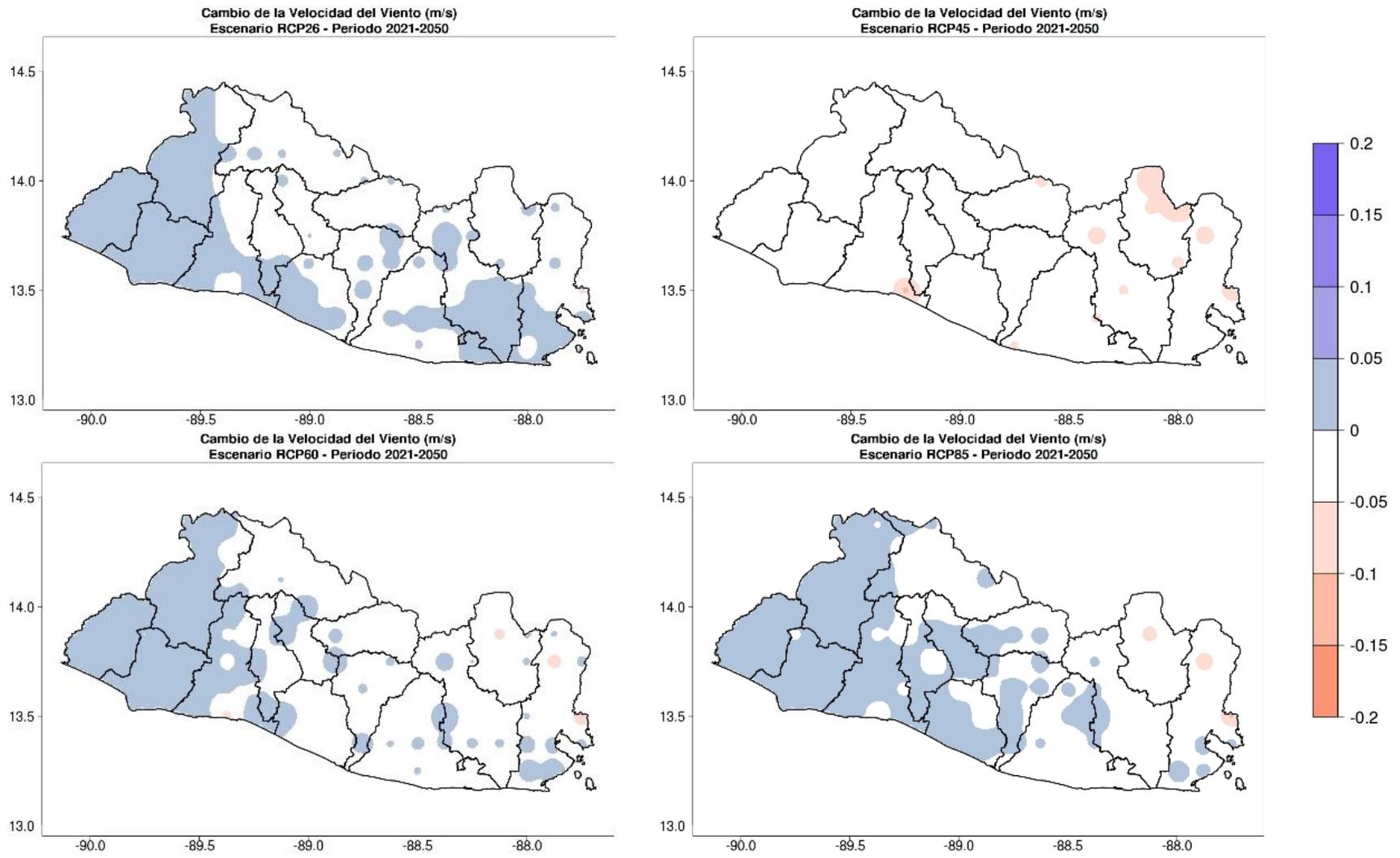


Figura 101. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.

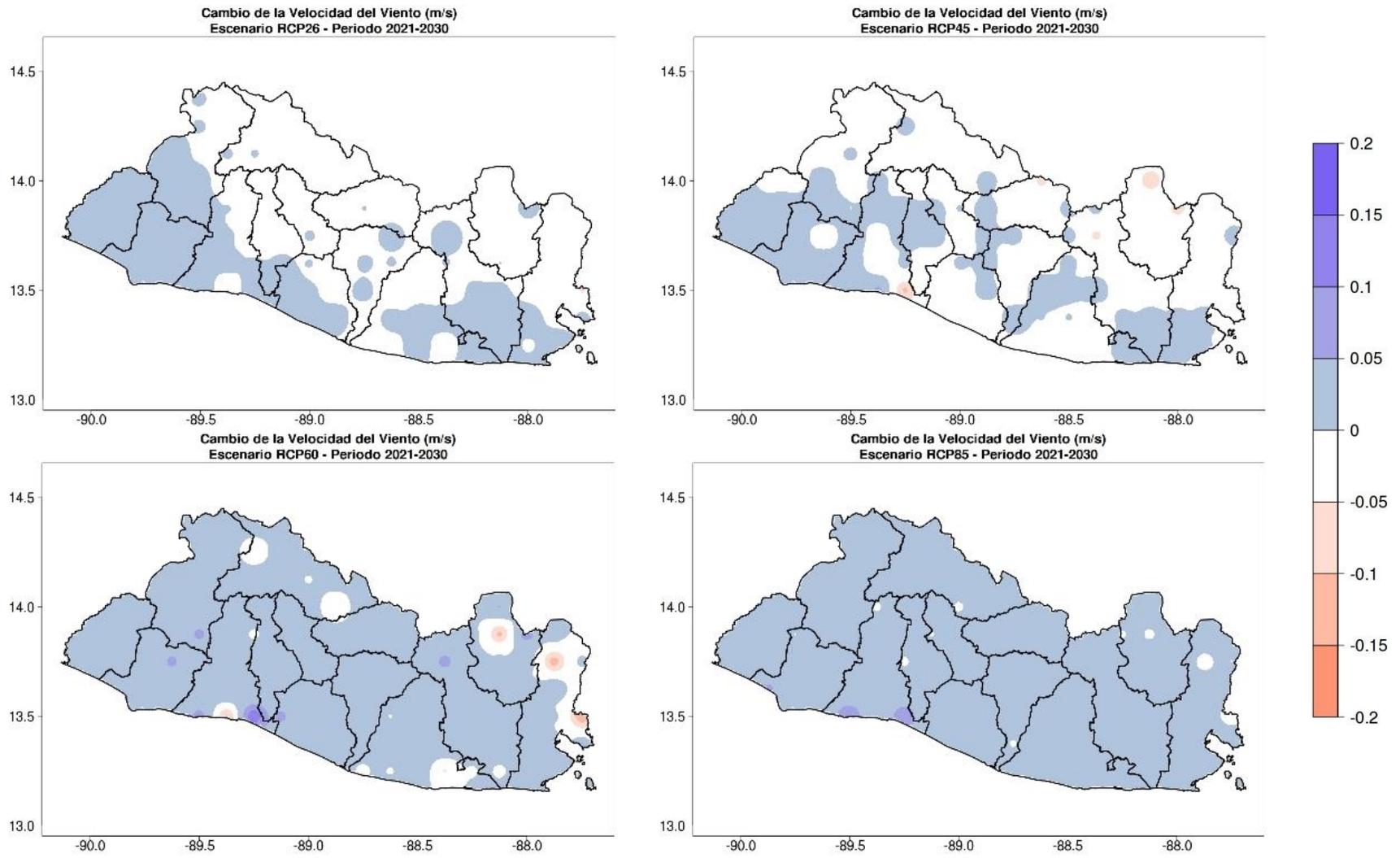


Figura 102. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.

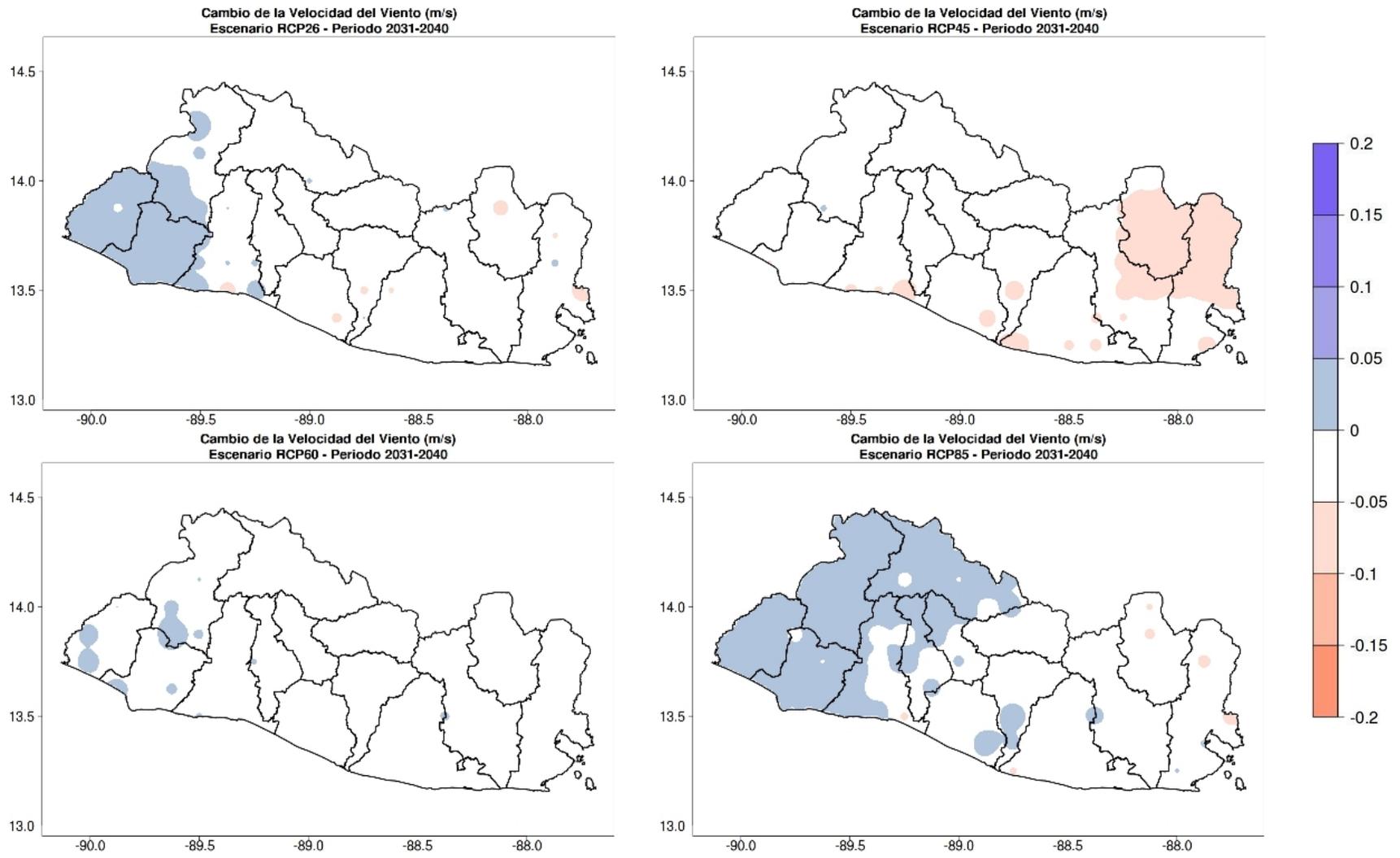


Figura 103. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.

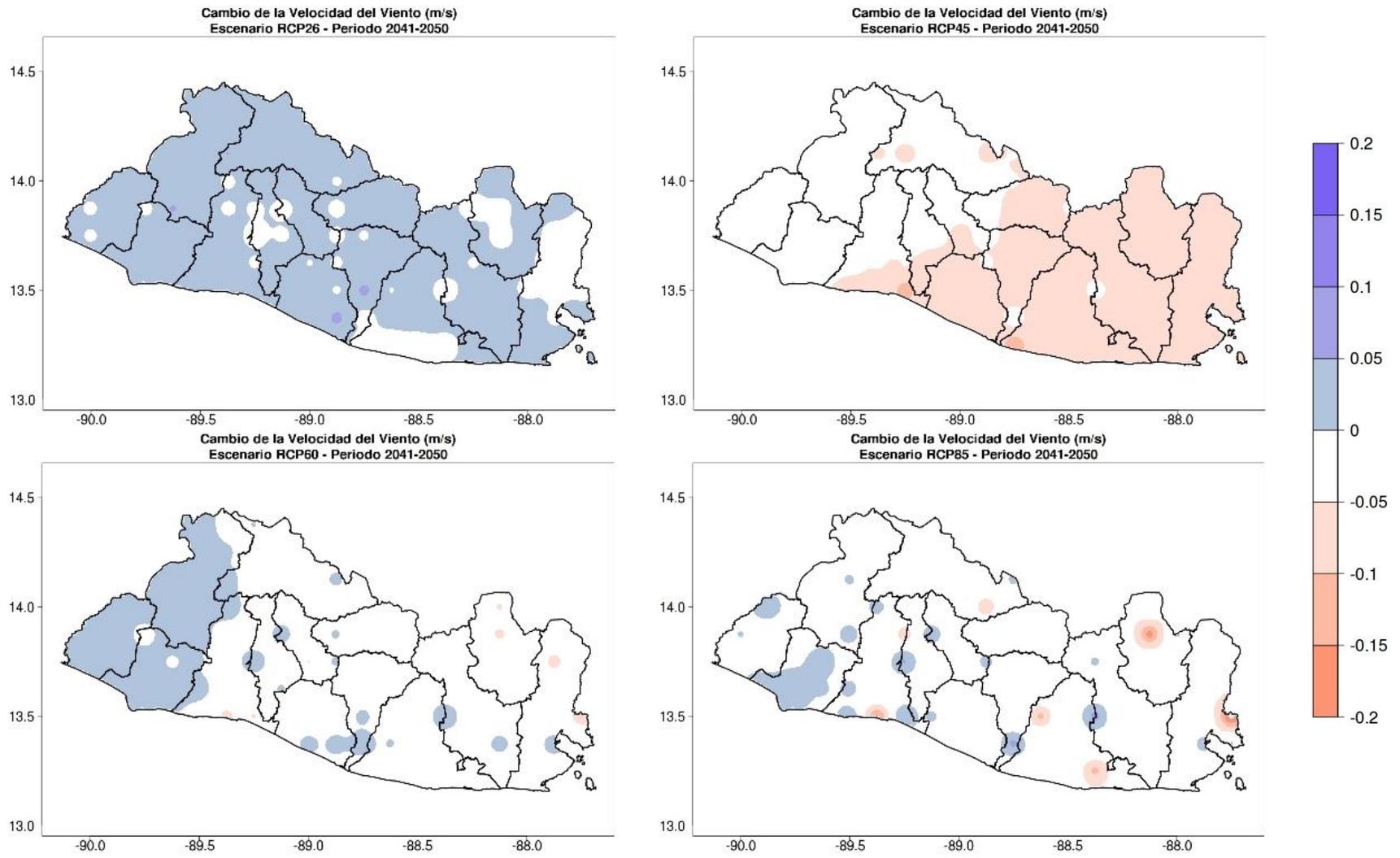


Figura 104. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.

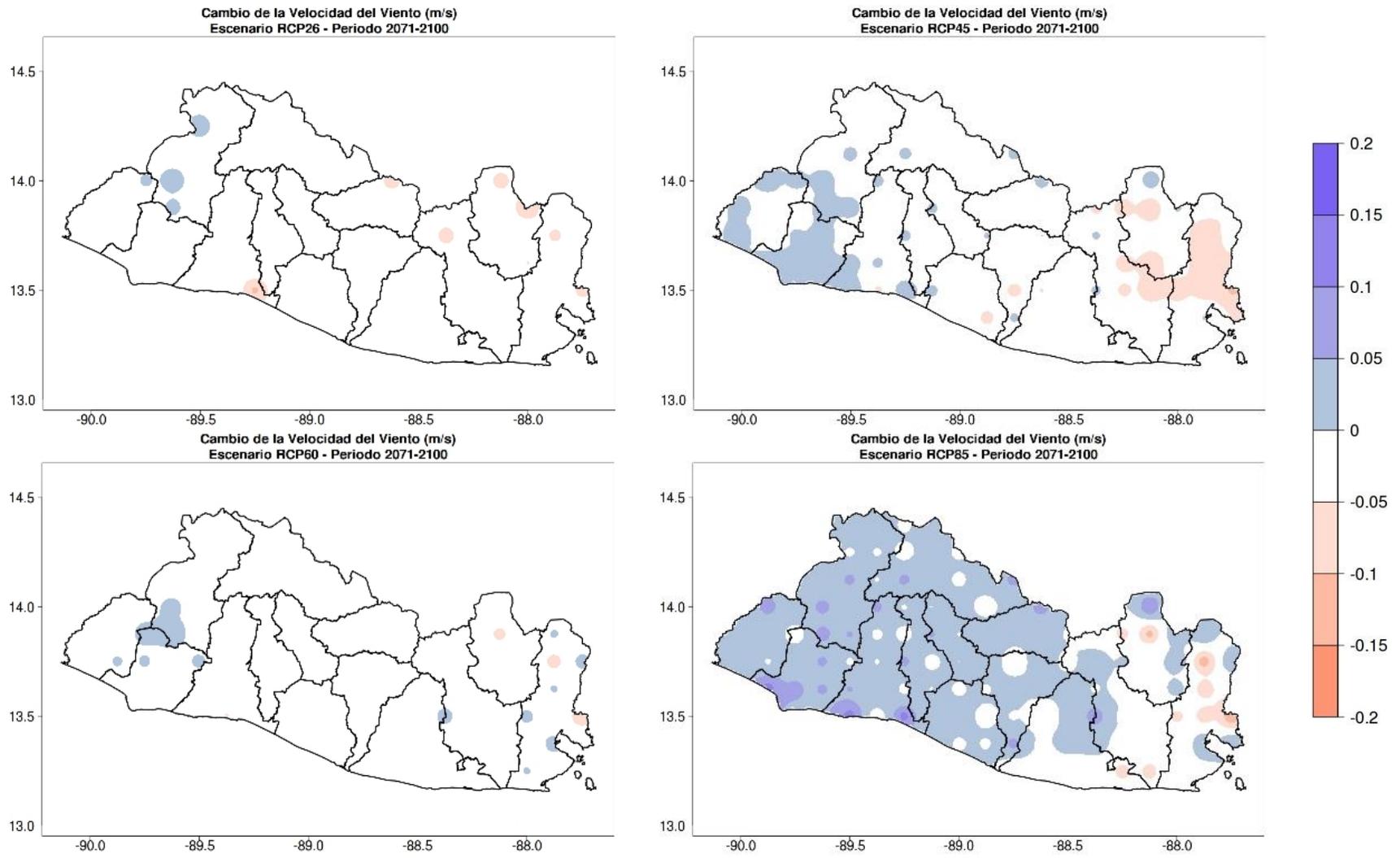


Figura 105. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.

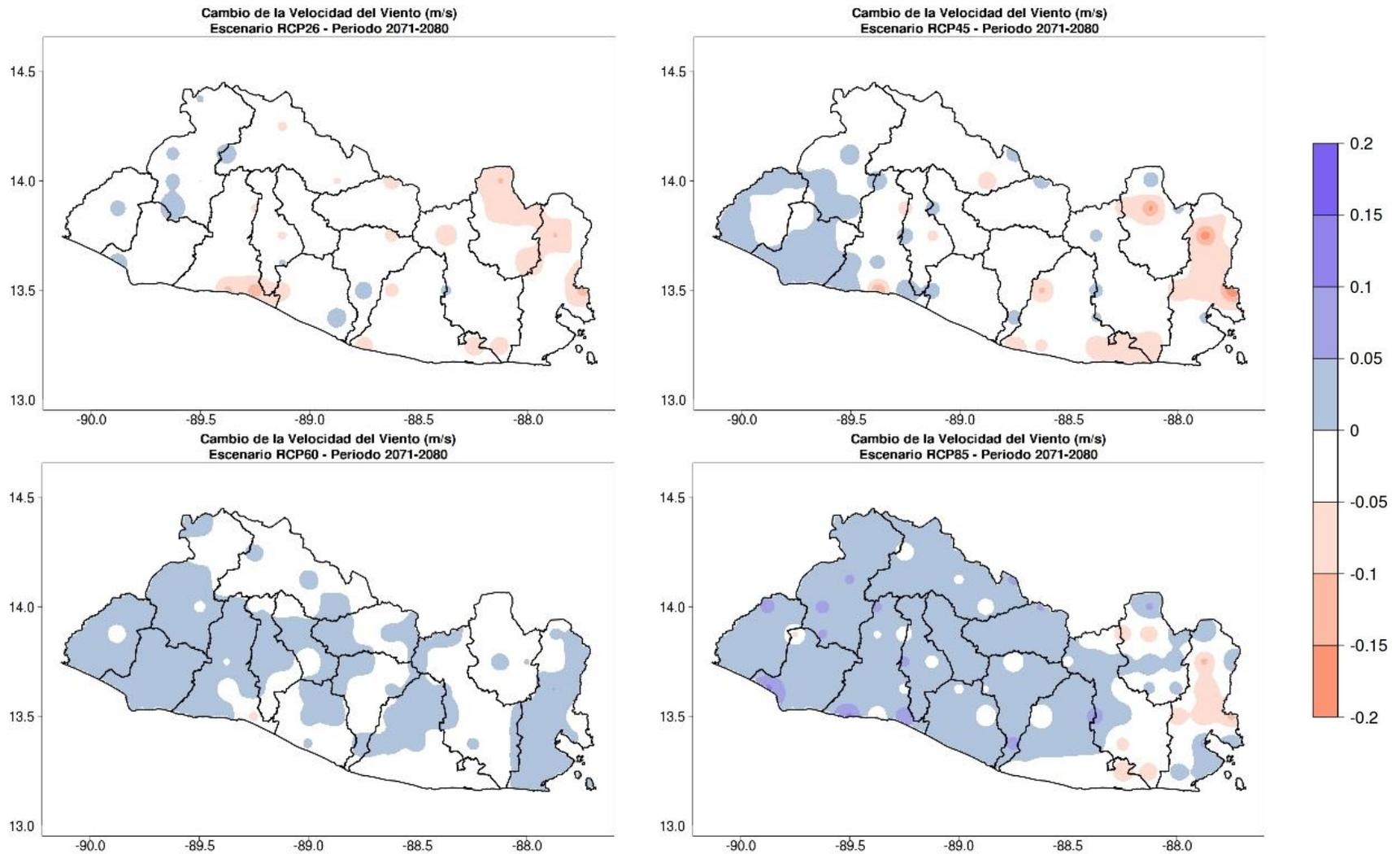


Figura 106. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.

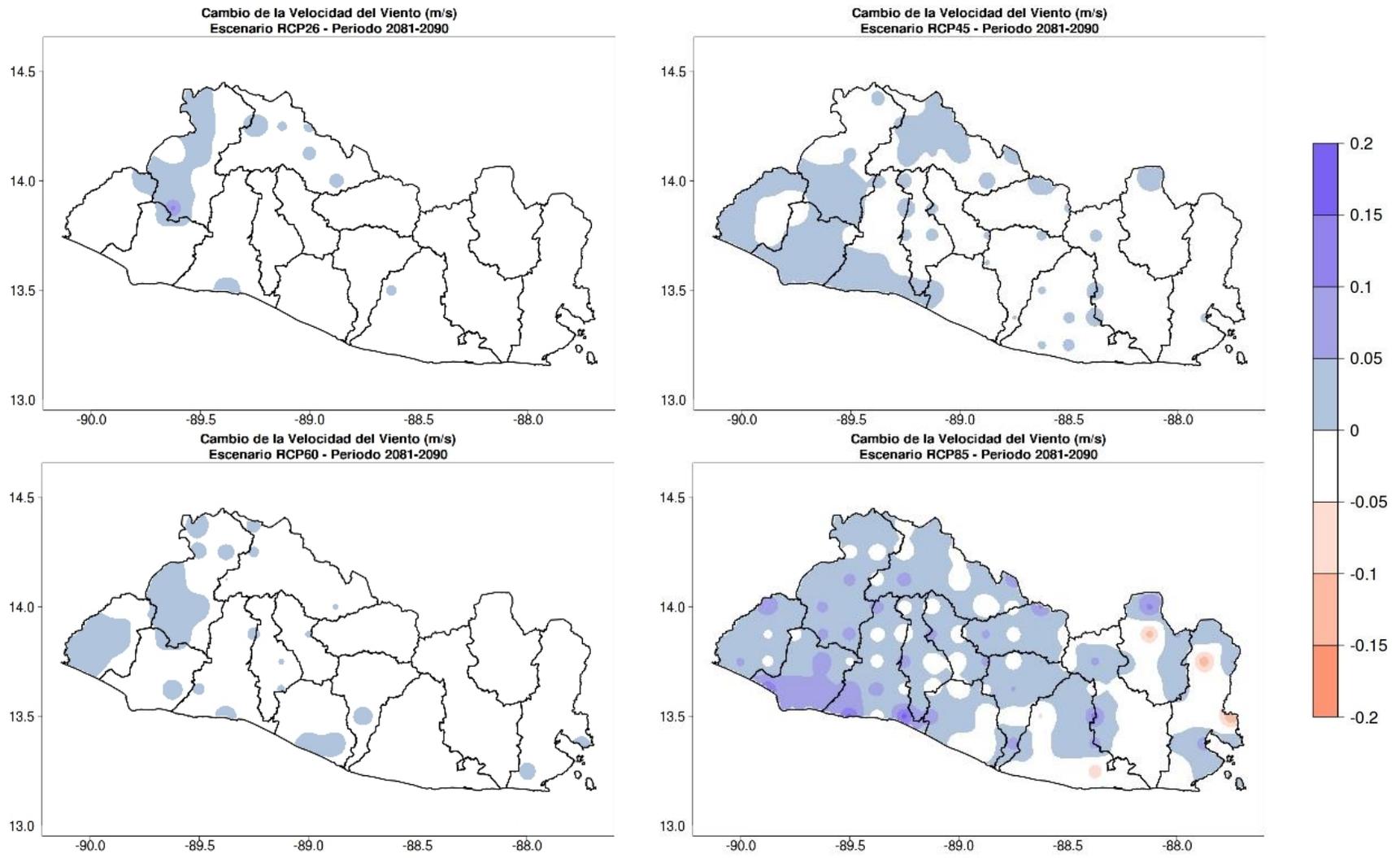


Figura 107. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.

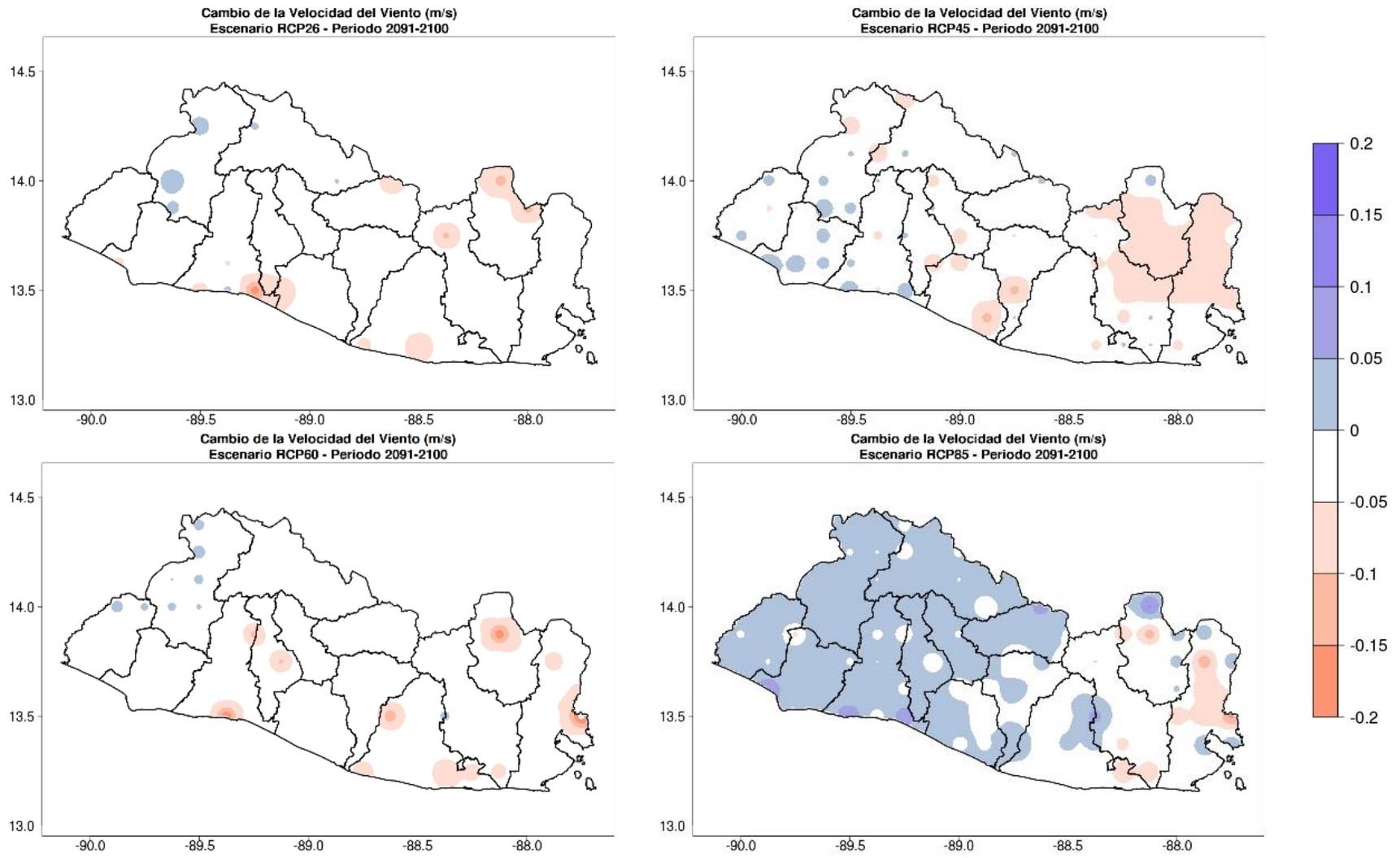


Figura 108. Cambios proyectados en la velocidad del viento (m/s) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.

h) Dirección del Viento

La dirección del viento en El Salvador es predominantemente del Noreste a lo largo del año, y al igual que la velocidad del viento, **bajo escenarios de cambio climático presentaría pocos cambios significativos en los periodos 2021-2050 y 2071-2100 bajo todos los escenarios RCP**. Según cada escenario, esta variable presenta cambios positivos (incrementos en grados que llevarían a cambiar la dirección del Este) o negativos (reducciones que llevarían a cambiar la dirección del Norte) en cada periodo, aunque en la mayoría de escenarios y periodos la tendencia es de un leve cambio negativo.

Para el primer periodo (2021-2050), esta variable probablemente presente cambios del orden de $-0,2^\circ$ en el oriente de El Salvador, y de $0,2^\circ$ en el occidente del país (Figura 109).

En la primera década de este periodo (2021-2030), bajo los escenarios RCP 2.6 y 4.5 es probable que la dirección del viento presente cambios negativos en la mayor parte del país, del orden de máximo $0,2^\circ$, mientras que en los escenarios RCP 6.0 y 8.5 la tendencia sería hacia un cambio positivo del mismo orden de magnitud (Figura 110). En la siguiente década (2031-2040), esta variable podría presentar cambios poco significativos pero con un comportamiento diverso en los escenarios RCP 2.6 y 8.5, con cambios negativos en la mayor parte del país y positivos en el occidente del mismo, a pesar de su diverso comportamiento influenciado por el campo de las presiones y la topografía local (Figura 111). Finalmente, en la última década de este periodo (2041-2050) se presentarían cambios positivos en la dirección del viento bajo el RCP 2.6, y negativos en los demás escenarios (Figura 112).

A finales de siglo XXI (periodo 2071-2100), la dirección del viento presentaría cambios negativos de $-0,2^\circ$ bajo los RCP 2.6, 4.5 y 6.0, y positivos en el centro y occidente del país bajo el RCP 8.5, con valores del mismo orden ($0,2^\circ$) (Figura 113).

La primera década de este periodo (2071-2080) podría presentar cambios poco significativos en la mayor parte del país bajo los RCP 2.6 y 4.5 (del orden de $-0,2^\circ$); mientras que bajo los RCP 6.0 y 8.5 los cambios serían en su mayoría con una tendencia positiva en el centro y occidente de El Salvador, pero todos estos cambios con poca significancia (del orden de $0,2^\circ$) (Figura 114). En la década 2081-2090 los cambios de la dirección del viento son muy bajos en los RCP 2.6, 4.5 y 6.0, y en el RCP 8.5 se mantiene el comportamiento y el orden de cambio de la década anterior para esta variable (Figura 115). En la última década del siglo (2091-2100) se presentarían cambios en la dirección del viento negativos pero poco significativos

bajo los RCP 2.6, 4.5 y 6.0, del orden de $-0,2^{\circ}$; bajo el RCP 8.5, los cambios positivos y negativos se mantendrían en las mismas zonas del país (en el centro y occidente los positivos y en el oriente los negativos), pero seguirían siendo poco significativos (del orden de $0,2^{\circ}$) (Figura 116).

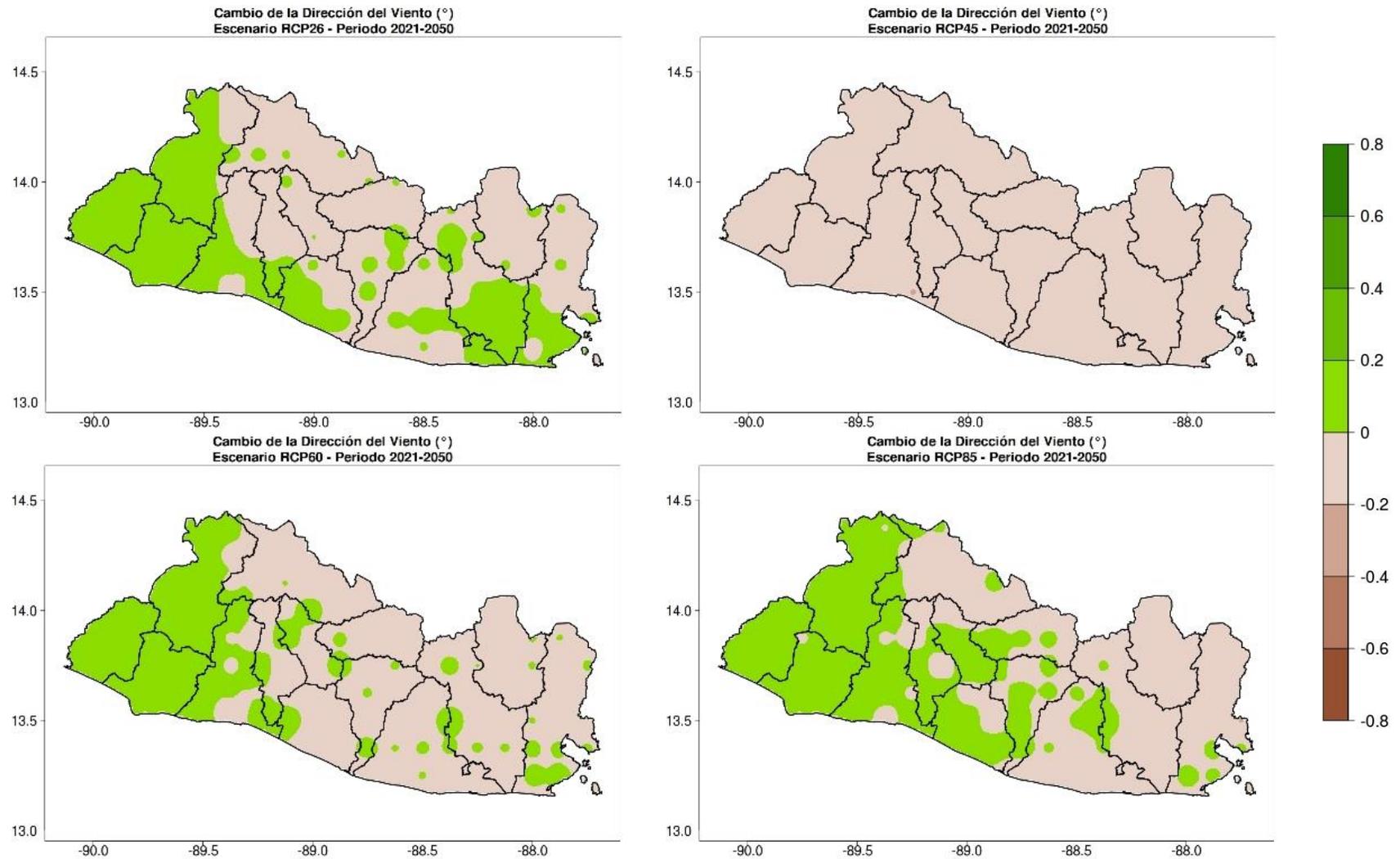


Figura 109. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2050.

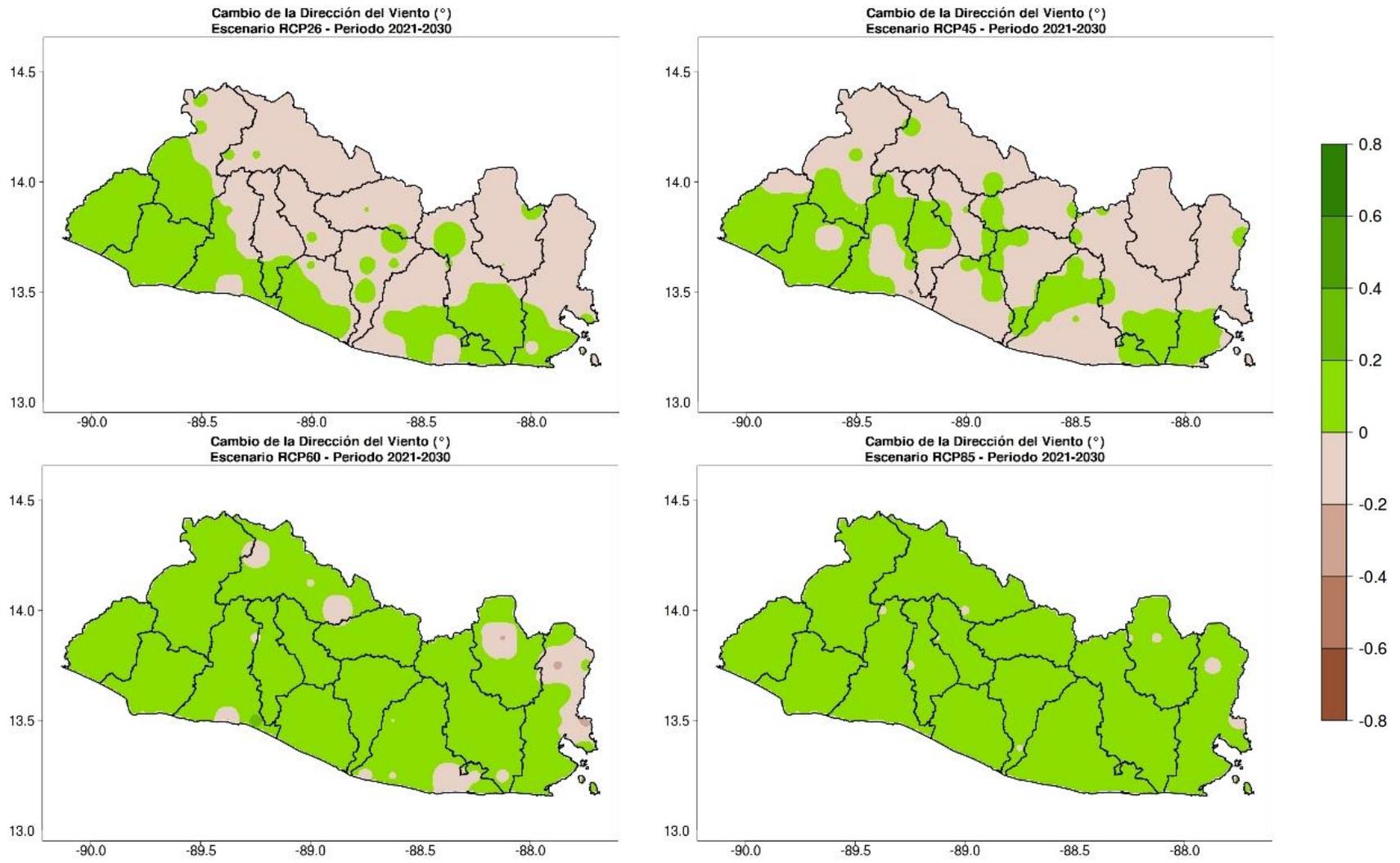


Figura 110. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2021-2030.

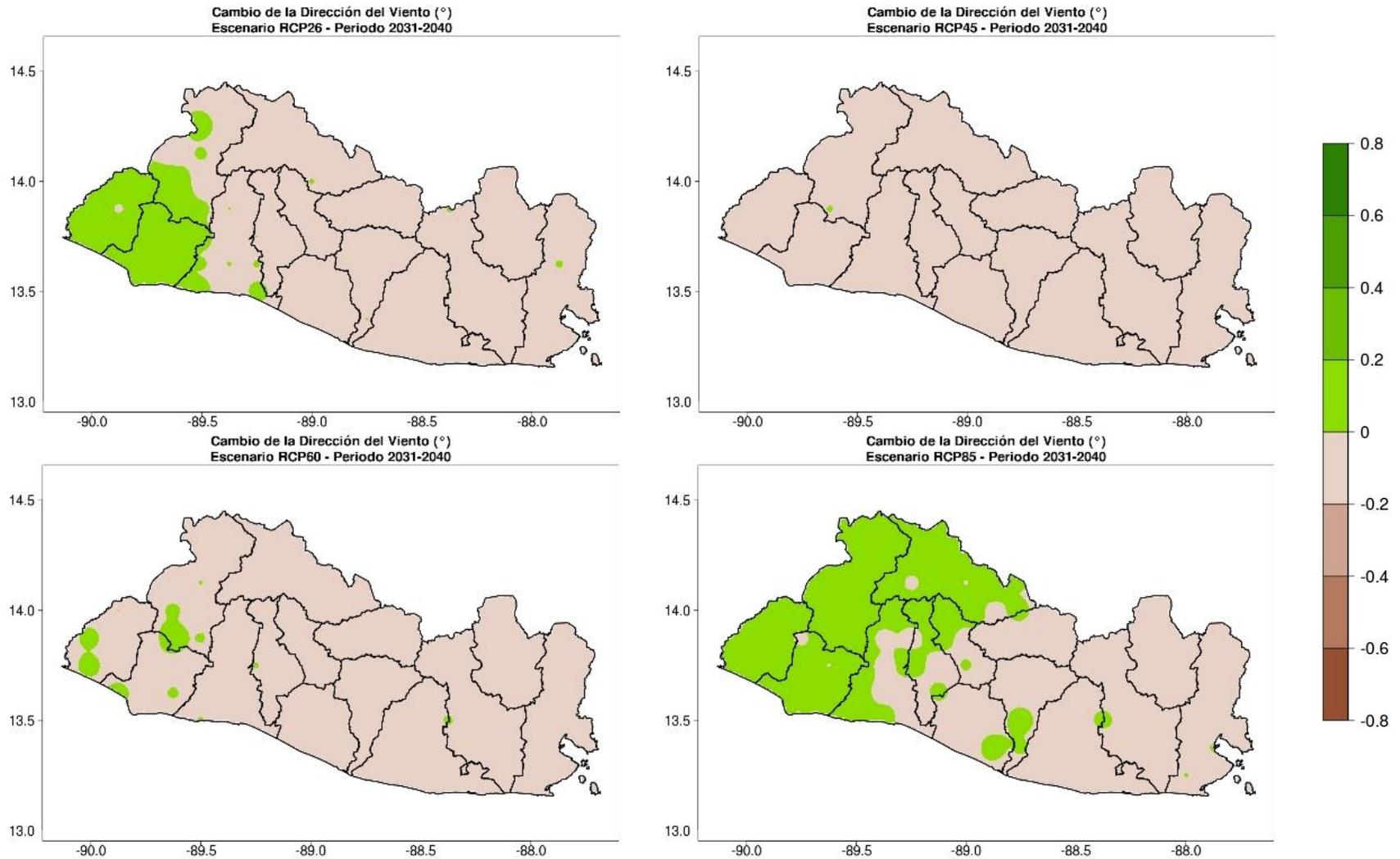


Figura 111. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2031-2040.

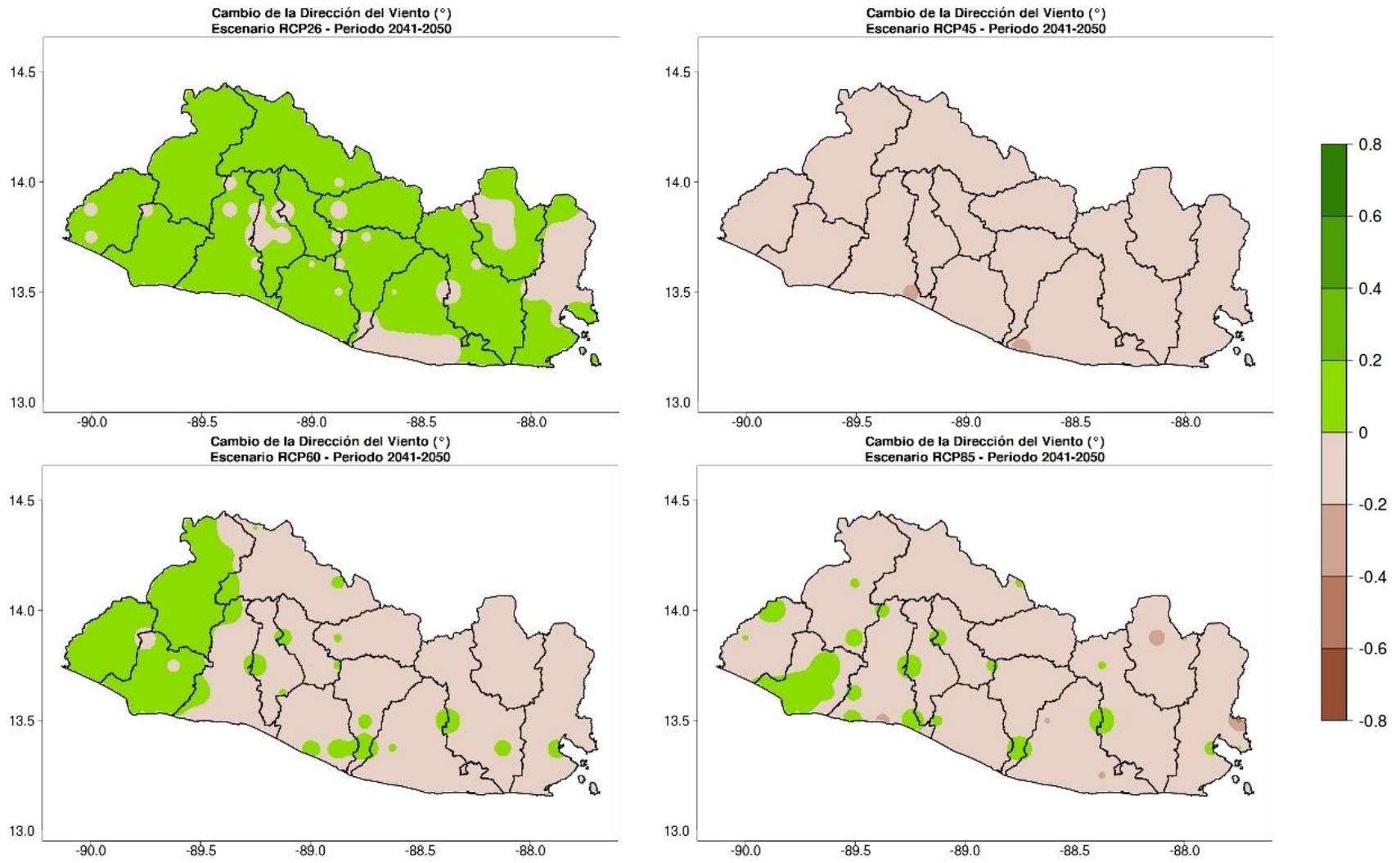


Figura 112. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2041-2050.

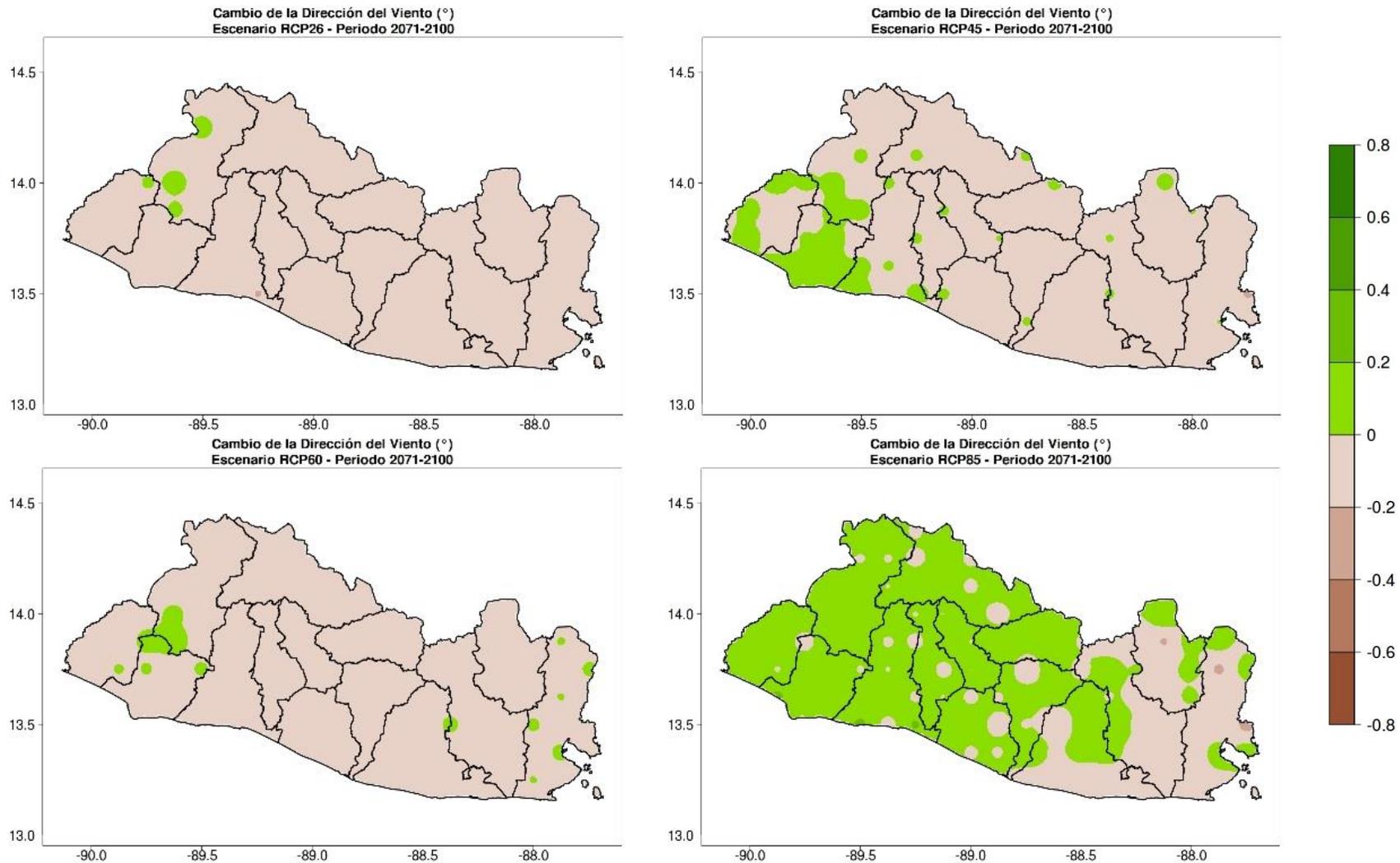


Figura 113. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2100.

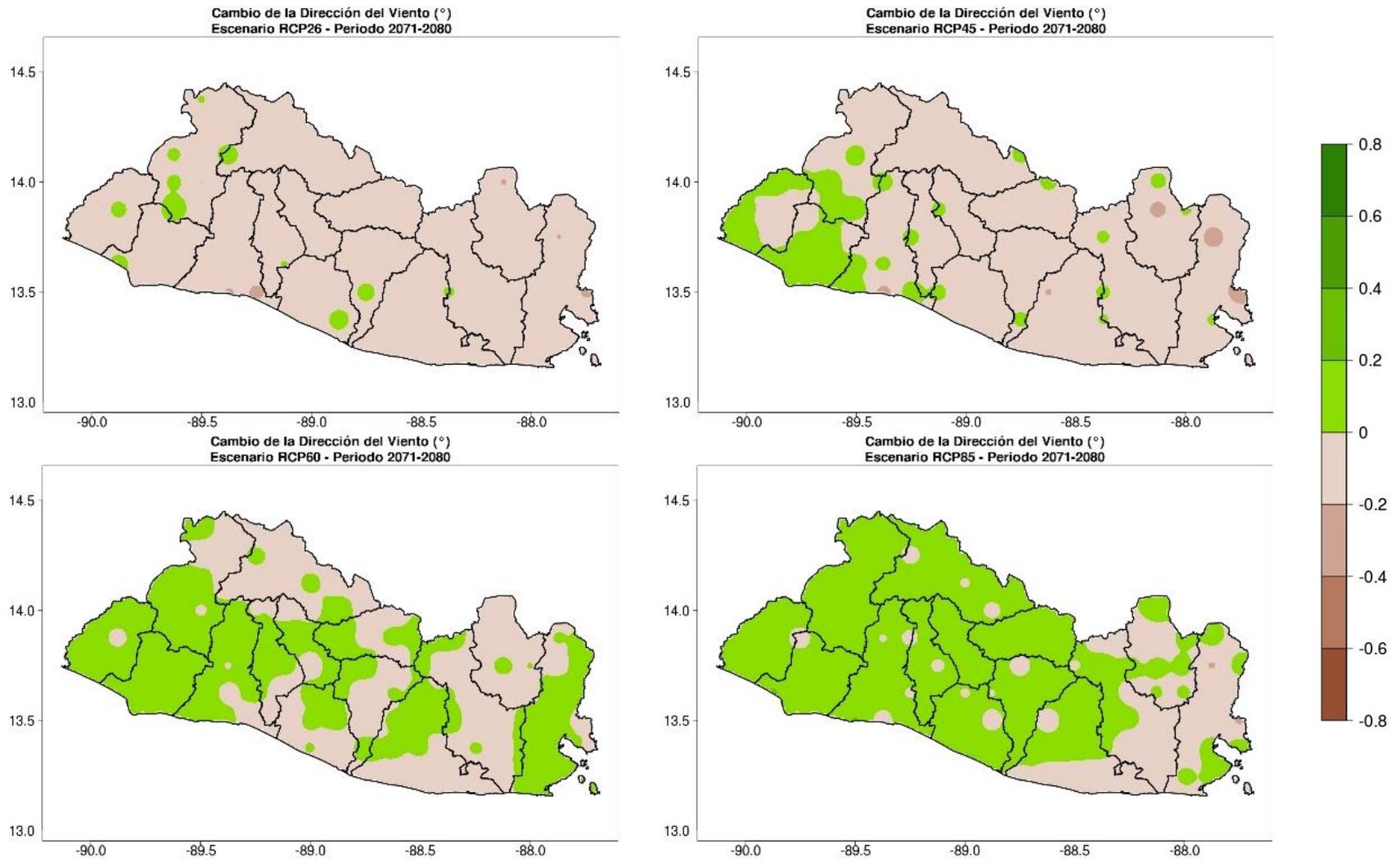


Figura 114. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2071-2080.

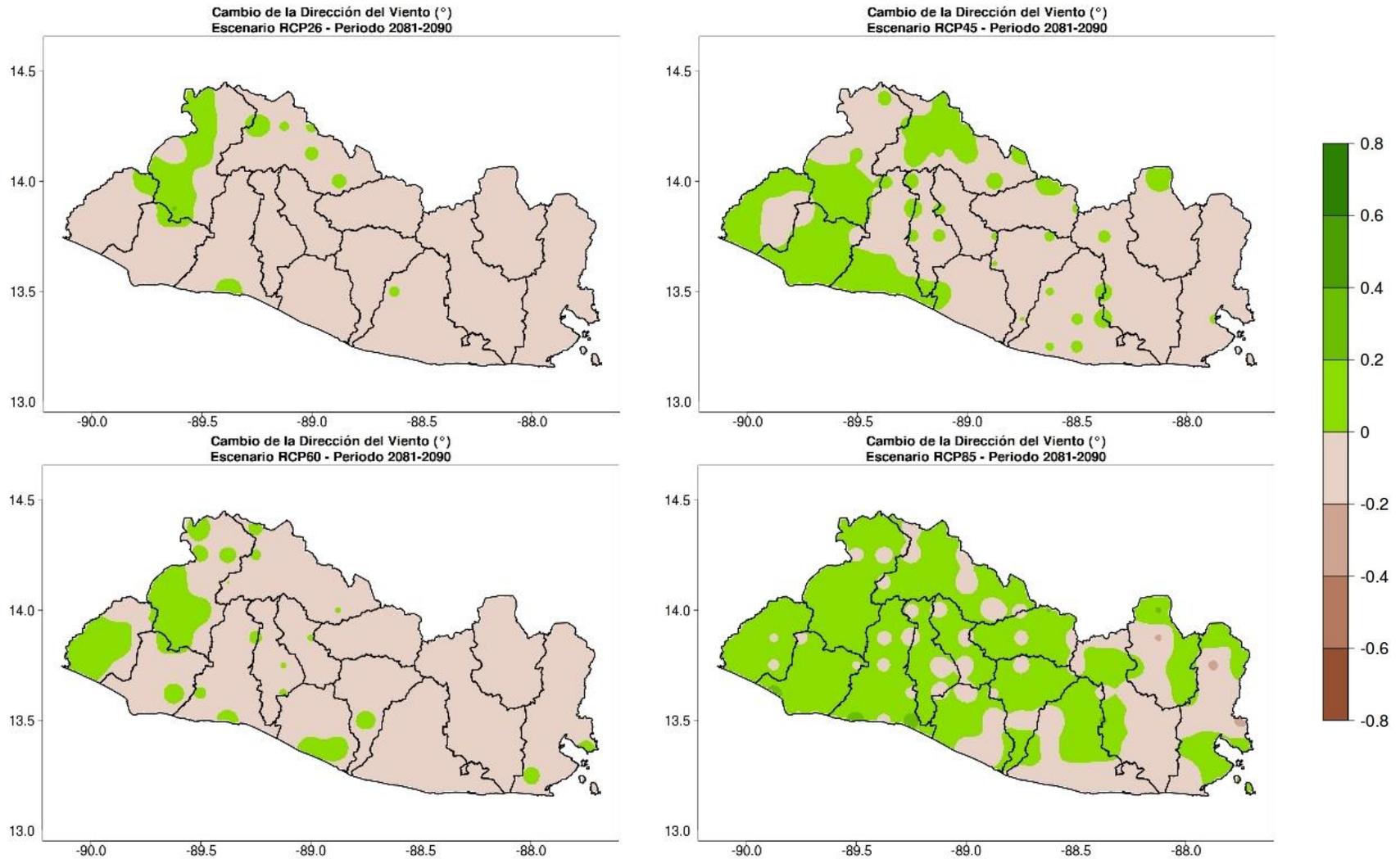


Figura 115. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2081-2090.

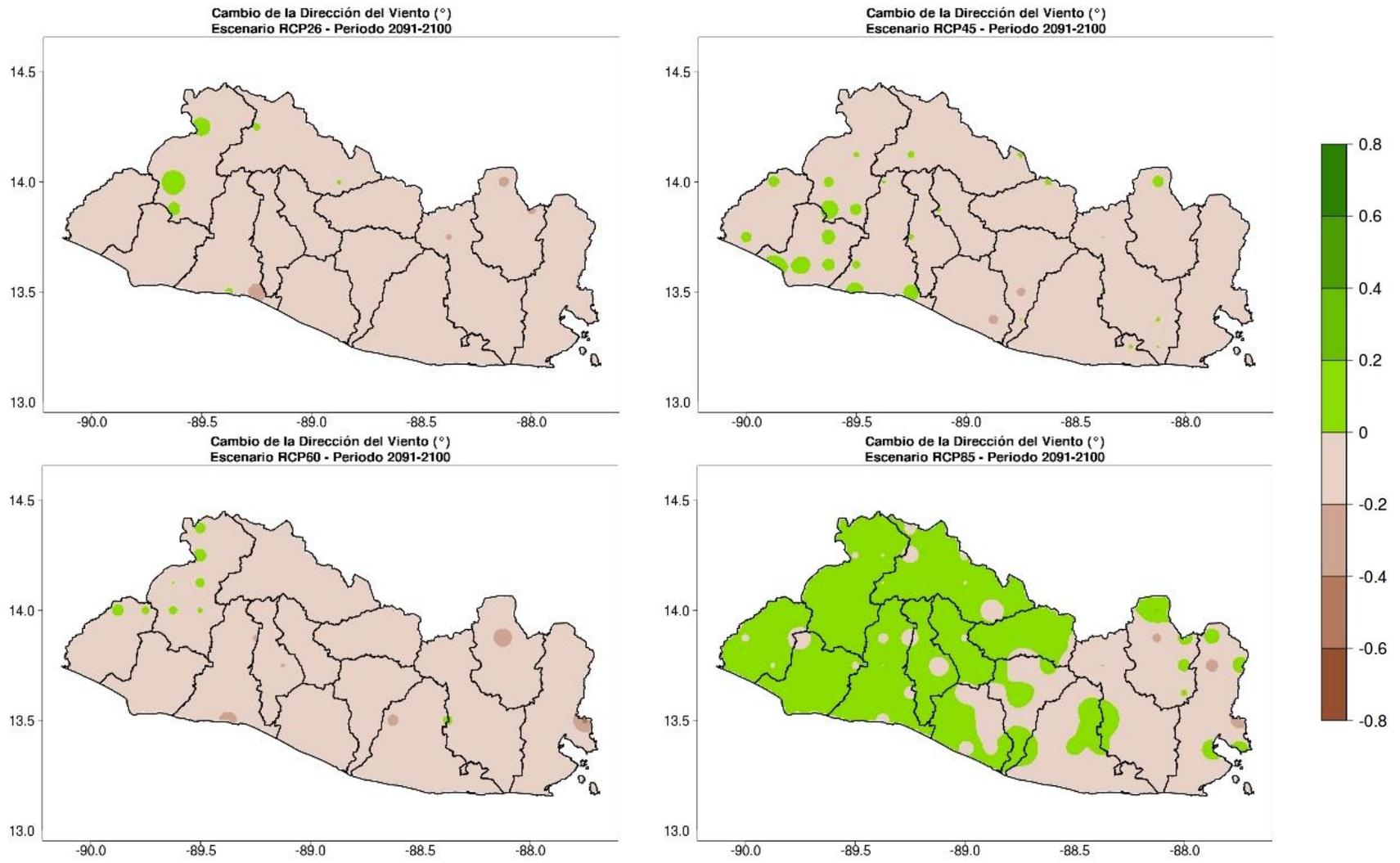


Figura 116. Cambios proyectados en la dirección del viento (°) por el ensamble multimodelo bajo los 4 escenarios RCP para el periodo 2091-2100.

CONCLUSIONES

- La cantidad de estaciones con datos mensuales observados, confiables y suficientes (al menos con el 85% de información), para el periodo de referencia 1961-1990 utilizados para la generación de las proyecciones climáticas, si bien presentaron una distribución espacial adecuada para el estudio, no fue la suficiente como para llegar a un análisis mucho más detallado de los posibles cambios en el clima.
- **Para todas las variables no se contó con datos observados en la costa.** En el caso de las temperaturas y la humedad relativa no se contó con información observada suficiente para el oriente y parte del centro del país, y esto genera incertidumbre para estas zonas en las que no se tienen datos. Únicamente en el caso de la precipitación se contó con una densidad de estaciones adecuada para el área de estudio, aunque con faltantes importantes de estaciones en los departamentos de: San Salvador, Cuscatlán, Cabañas, Morazán, San Miguel, La Unión y Ahuachapán.
- Los datos futuros del ensamble multimodelo *Per se* presentan tendencias para cada uno de los escenarios. En el caso de las temperaturas media, máxima y mínima, todas presentan tendencias al aumento, siendo la magnitud del cambio más marcado para el periodo 2071-2100. Bajo el escenario “más bajo en emisiones” (RCP 2.6), el aumento de las temperaturas oscila entre 1 y 1,5°C, mientras que para el escenario “más alto en emisiones” (RCP 8.5), el cambio que podría darse se encuentra entre 1 y 4°C para la temperatura media, entre 1,5 y 4,5°C para la temperatura máxima y entre 1 y 3,5°C para la temperatura mínima. En la mayoría de los casos, los mayores incrementos de estas temperaturas se presentarían al oriente del país.
- Por otra parte, para la precipitación, la tendencia para todo el territorio nacional es a que se presenten reducciones que superan el 10%, y bajo el escenario “alto en emisiones” (RCP 8.5), la magnitud de los valores sobrepasarían el 20% en la mayor parte del país, lo cual equivaldría a una reducción de al menos 200 milímetros en todo el país. En la últimas dos décadas del presente siglo (2081-2090 y 2091-2100), es probable que la reducción de los totales anuales de precipitación sea mayor al 25%, es decir al menos una reducción de 300 milímetros en el territorio nacional.

- La humedad relativa, la presión en superficie, la dirección y la velocidad del viento es muy probable que presenten cambios poco significativos en los dos periodos analizados. Si bien en magnitud estos cambios no son muy altos, habría que analizar con mayor detalle aquellas zonas de El Salvador que podrían ser vulnerables a estos pequeños cambios de dichas variables, con el fin de estudiar su impacto y las medidas pertinentes de adaptación a tomar.
- Este comportamiento proyectado por el ensamble multimodelo bajo los cuatro escenarios RCP del AR5 para la precipitación y las temperaturas media, máxima y mínima pone en alerta sobre el impacto que podría darse en los ecosistemas, los sistemas socioeconómicos y los diversos sectores, ya que, una reducción de las precipitaciones podría traer problemas en los recursos hídricos del país, así como el incremento de las temperaturas traerían mayores riesgos en la salud, la seguridad energética, la seguridad hídrica y la seguridad alimentaria de las personas, entre otras implicaciones.

RECOMENDACIONES

1. **Aumentar el conocimiento y dominio de la incertidumbre asociada en los escenarios de clima futuro.** Se debe tener una claridad sobre los escenarios RCP, y particularmente sus usos y límites. Los escenarios no son ni predicciones ni recomendaciones políticas. Fueron diseñados y seleccionados para contar con una amplia gama de posibles resultados climáticos de acuerdo a ciertas condiciones que podrían darse hacia el futuro.
2. **Fomentar las ventajas, limitaciones y retos que se presentan en la información de los escenarios de clima.** Se hace énfasis en que estos escenarios RCP no deberían ser tratados como escenarios definitivos de un solo conjunto de políticas, desarrollos socioeconómicos y avances tecnológicos; por ejemplo, el RCP 8.5 no puede ser usado como un escenario que indique una “no-política climática”, con respecto a los otros RCP. En la misma vía, el RCP 2.6 no debe ser tratado como el escenario de una “política principalmente medioambiental”. Cada RCP contiene una serie de suposiciones socioeconómicas, tecnológicas y biofísicas diferentes, y como se indica en su definición, son el conjunto de diversos caminos posibles de estos supuestos.
3. **Los resultados de las proyecciones de los Escenarios de clima, aún presentan retos ante el comportamiento sobre los eventos extremos climáticos en el futuro.** Los resultados obtenidos con estos escenarios muestran los cambios promedio para periodos climatológicos, tomando como referencia otro periodo histórico similar. Por ejemplo, si un RCP no muestra diferencias significativas de precipitación en el periodo 2021-2050 con relación al periodo de referencia 1961-1990, esto no quiere decir que se estén manteniendo las mismas tendencias y/o comportamientos de los eventos extremos y de variabilidad climática para el periodo futuro. En el futuro podrían presentarse con más frecuencia eventos extremos (los cuales se dan a escalas temporales diaria e inferiores), y sin embargo los promedios mensuales de estas variables podrían no verse influenciados por estos eventos. Como se ha dicho anteriormente, los escenarios no son predicciones ni pronósticos, y por lo tanto no deben ser utilizados como tal.

4. **Es necesario fomentar la generación y uso de escenarios de clima para su aplicación a una escala departamental o local.** Los escenarios de cambio climático no deben ser tratados como únicos y estáticos. Así como los modelos climáticos globales mejoran día a día en la representación de la dinámica del sistema climático y en la resolución espacial, los escenarios van mejorando, y van involucrando más elementos que permiten ir reduciendo las incertidumbres tanto a nivel regional como en la evolución de las concentraciones de gases de efecto invernadero, entre otros aspectos. Por ello, al comprender sus incertidumbres y al mejorar las mediciones y registros locales, es posible su aplicación en un contexto subnacional que permita una mejor orientación de planes estratégicos para la atención del cambio climático.

5. **Optar por la consideración de usar periodos de referencia más reciente para una mejor comprensión de la variabilidad climática actual.** En el análisis de la información observada se encontró que hay una mayor densidad de estaciones con datos observados confiables para todas las variables en los periodos de referencia 1971-2000 y 1981-2010 en comparación con las disponibles y confiables para el periodo 1961-1990. Para estos periodos, y en particular para 1981-2010, se cuenta con al menos 25 estaciones para la humedad relativa y para las temperaturas media, máxima y mínima, y más de 40 estaciones para precipitación. Por lo tanto, se recomienda en la medida de lo posible trabajar con la mayor cantidad de información posible, seleccionando el periodo de referencia que mejor cumpla con esta condición. Si bien en anteriores comunicaciones nacionales se mantenía el estándar de utilizar el periodo 1961-1990 como el referente para estudios de cambio climático, actualmente muchos países utilizan la norma climatológica vigente como el periodo de referencia para sus comunicaciones nacionales actuales. El utilizar un periodo de referencia más reciente no sólo permite evaluar el posible cambio de las variables climáticas en un horizonte corto de tiempo (es decir con pocos años de distancia entre el periodo considerado como “futuro” y el periodo de referencia), sino que además se puede contar con una mayor cantidad de estaciones con datos observados, las cuales, para el caso de América Tropical, en su mayoría fueron instaladas en la década de los 70 y 80. Como se mencionó en las conclusiones, el tener una mayor cantidad de información observada permite un mejor análisis regional y una menor incertidumbre para algunas zonas del país.

- 6. Acrecentar el desarrollo de mayores estudios que permitan comprender la variabilidad climática de las últimas décadas en El Salvador.** Así como día a día se dan avances y desarrollos importantes en la investigación del cambio climático mejorando los modelos, escenarios y proyecciones, se debe mejorar la capacidad investigativa del país frente a estos temas. Especialmente, se debe potenciar a entidades tales como el Servicio Meteorológico del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, no sólo con dotar de mayor cantidad y calidad de estaciones al país, sino también con mejorar la capacidad y las iniciativas investigativas en temas relacionados al cambio climático. Lo anterior, resulta ser un insumo importante para 1) la comprensión de la vulnerabilidad ante amenazas climáticas y 2) facilitar la identificación de las medidas de adaptación. Así mismo, se debe potenciar tanto la sinergia interinstitucional como la colaboración con la Academia y Centros de investigación nacionales, a fin de fortalecer el gremio técnico científico que brinde un mayor respaldo en las directrices para la atención del cambio climático.

REFERENCIAS

- Aguilar, E., et al. (2005), Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003, *J. Geophys. Res.*, 110, D23107, doi:10.1029/2005JD006119.
- Aguilar, Y., y Tobar-Rivas, J., Quiñones-Basagoitia, Julio. y Rivas-Pacheco, T., (2007). Vulnerabilidad y Adaptación al cambio climático de los pobladores rurales de la planicie costera central de El Salvador. Investigación Interdisciplinaria realizada por MARN-SNET y apoyada por el PNUD-GEF. El Salvador Doi: http://www.portalces.org/sites/default/files/migrated/docs/PNUD_Vulnerabilidad_y_adaptacion_al_C.C_de_los_pobladores_rurales_de_la_planicie_costera_central_de_El_Salvador.pdf
- Armenta, G. (2013): “Análisis detallado del efecto föhn generado por la cordillera Oriental del Alto Magdalena (Huila y Tolima)”. Colombia. Tesis de Maestría en Ciencias - Meteorología. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/11389/1/194144.2013.pdf>
- Becker, B., C. Buontempo, A. Muñoz (2013). Drivers of weather and climate risk in El Salvador. Technical Report. UK MetOffice–Hadley Centre. 40 pp. Disponible en http://www.cmc.org.ve/ole2/documentos/ElSalvador_CentralAmerica_climatedrivers.pdf
- Giorgi, F. and Mearns, L. (2001). Calculation of Average, Uncertainty Range, and Reliability of Regional Climate Changes from AOGCM Simulations via the “Reliability Ensemble Averaging” (REA) Method. *American Meteorological Society* Vol. 15. 1141-1158.
- Haggarty, R. A. (1988). *El Salvador: A Country Study*. Washington: GPO for the Library of Congress. Estados Unidos.
- Hidalgo, O. (2014): “Identificación de patrones de circulación atmosférica para el Ecuador y su influencia para la ciudad de Quito”. Colombia. Tesis de Maestría en Ciencias - Meteorología. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/45641/1/394815.2012.pdf>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEÍA. (2015). Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura para Colombia 2011-2100. Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Estudio Técnico Completo: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Disponible en <http://modelos.ideam.gov.co/media/dynamic/escenarios/escenarios-de-cambio-climatico-2015.pdf>
- Intergovernmental Panel of Climate Change – IPCC (2013). Resumen para responsables de políticas. En: *Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [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.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- Landsea, C.W., (1993). A Climatology of Intense (mayor) Atlantic Hurricanes. *Monthly Weather Review*, 12, 1703-1713. Estados Unidos.

- Magaña, V., J. Amador, S. Medina (1999). The Midsummer Drought over Mexico and Central America. *American Meteorological Society*, 12. 1577-1588. Doi: [http://dx.doi.org/10.1175/15200442\(1999\)012%3C1577:TMDOMA%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/15200442(1999)012%3C1577:TMDOMA%3E2.0.CO;2).
- Magaña, V., y M. Yanai., (1995) Mixed Rossby-Gravity waves triggered by lateral forcing. *Journal of Atmospheric Science*, 52, 1473-1486. Estados Unidos.
- Ministerio de Ambiente y Ganadería– MAGA (2000). 1a. Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Gobierno de El Salvador, América Central.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador – MARN (2013). 2a. Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Gobierno de El Salvador, América Central. Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/natc/slvnc2.pdf>
- Moss, Richard H., Jae A. Edmonds¹, Kathy A. Hibbard, Martin R. Manning, Steven K. Rose, Detlef P. van Vuuren, Timothy R. Carter, Seita Emori, Mikiko Kainuma, Tom Kram, Gerald A. MAAMA, (2013). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente de España. Cambio Climático: Bases Físicas Guía Resumida Grupo de Trabajo I del Quinto Informe del IPCC. Fundación Biodiversidad, Oficina Española de Cambio Climático, Agencia Estatal de Meteorología, Centro Nacional de Educación Ambiental. Madrid: Noviembre de 2013.
- Pabón C., J. D. (2011). El cambio climático en el territorio de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Corporación Autónoma Regional CAR – Cundinamarca. Disponible en <https://cendoc.car.gov.co/DOCS/DOCUMENTOS/CAR-1136.pdf>
- Pérez, J., (2000) Los Ciclones Tropicales del Atlántico y El Pacífico Mexicanos y su Relación con El Niño/Oscilación del Sur. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana, México.
- Pérez, J., Cherrington, E. y Hernández, B. (2015). Los Impactos Potenciales del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de América Central y el Caribe. Proyecto Seguridad Hídrica y Cambio Climático en la Región de América Central y el Caribe (2012-2015). Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo de Canadá (IDRC) y Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC). Ciudad de Panamá, Panamá. 46 p. Disponible en <http://seguridadhidrica.cathalac.org/documentos/Los%20Impactos%20Potenciales%20del%20Cambio%20Climatico%20en%20los%20Recursos%20Hidricos%20-%20web.pdf>
- Taylor, Karl E., Ronald J. Stouffer, Gerald A. Meehl., (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 485–498. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.
- Tebaldi, C. and Knutti R. (2007). The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. *Phil. Trans. R. Soc. A* (2007) 365, 2053–2075 doi:10.1098/rsta.2007.207.
- Walsh, J. (2011). Statistical downscaling. NOAA Climate Services Meeting. Disponible en http://www.iarc.uaf.edu/sites/default/files/workshops/2011/noaa_climate_change_needs/Walsh-StatisticalDownscaling.pdf
- Walsh, J. and S. Trainor. (2012). Development of Climate Change Model Layers: Downscaling for Alaska’s Coastal Seas. Alaska Center for Climate Assessment and Policy. University of Alaska, Fairbank

