

**PROYECCIONES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA
PARA ECUADOR, BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO**

GUILLERMO EDUARDO ARMENTA PORRAS

JORGE LUIS VILLA CEDEÑO

PABLO S. JÁCOME

Ecuador - Junio de 2016

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABLAS	7
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
CONTEXTO GLOBAL.....	11
MARCO CONCEPTUAL	14
Sistemas atmosféricos de la América tropical	14
Modelos Climáticos Globales.....	15
Forzamiento Radiativo	16
CMIP5	16
Escenarios de Cambio Climático	17
Escenarios RCP	18
Ensamble multimodelo	21
METODOLOGÍA	22
Selección de los modelos globales a utilizar.....	22
Ensamble Ponderado de Fiabilidad (REA)	26
Cambio de porcentaje de la precipitación.....	28
Reducción de Escala Dinámica.....	28
Generación de los productos cartográficos.....	30
RESULTADOS.....	40
Selección de los modelos globales a utilizar.....	40
Espacialización de la información	42
Cambios Proyectados en la Temperatura Media.....	43
Cambios Proyectados en la Temperatura Máxima	60
Cambios Proyectados en la Temperatura Mínima.....	75
Cambios Proyectados en la Precipitación	90
Reducción de Escala Dinámica.....	105
CONCLUSIONES.....	111
RECOMENDACIONES.....	113
AGRADECIMIENTOS	115
REFERENCIAS	116
ANEXOS	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Anomalías observadas en la temperatura media en superficie del océano (izquierda), y terrestres y oceánicas combinadas (derecha). (Fuente: NOAA).....	11
Figura 2. Registros anuales de la extensión de hielo marino en el Ártico, medidos desde 1900. (Fuente: IPCC).....	11
Figura 3. Cambios en el nivel del mar, a partir de observaciones desde 1850. (Fuente: IPCC).....	12
Figura 4. Concentraciones anuales de gases de efecto invernadero, medidas desde 1979. (Fuente: NOAA)	12
Figura 5. Cambios observados en la temperatura media anual entre los años 1901 y 2012. (Fuente: IPCC).....	13
Figura 6. Cambios observados en la precipitación anual entre los años 1901 y 2010. (Fuente: IPCC)	13
Figura 7. Representación espacial del Ecuador de algunos de los modelos del CMIP5.....	16
Figura 8. Proceso de generación de escenarios de cambio climático.....	18
Figura 9. Forzamiento radiativo (Izquierda) y Emisiones de CO ₂ (Derecha) de las 4 vías representativas de concentración (RCP) seleccionadas.....	19
Figura 10. Cambios proyectados en la temperatura global por las 4 vías representativas de concentración (RCP) hacia el año 2100.....	20
Figura 11. Concentraciones de CO ₂ proyectadas por los escenarios de emisión SRES del AR4 (línea punteada) y por las 4 vías representativas de concentración (RCP) del AR5 (línea continua).....	21
Figura 12. Distribución de las estaciones con datos para el periodo 1981-2010.	24
Figura 13. Definición de los dominios a simular para la reducción de escala dinámica.....	29
Figura 14. Fundamento Geográfico de Vecindad.	31
Figura 15. Modelo de Semivariograma.	32
Figura 16. Espectro de Modelos de Semivariogramas.....	33
Figura 17. Geostatistical Wizard – Parámetros para interpolación.	34
Figura 18. Resumen de Valores de Validación Cruzada.	35
Figura 19. Modelo de Regresión Lineal entre Valores de Temperatura Máxima y Elevación.....	36
Figura 20. Superficie interpolada con valores de temperatura a una altura de referencia.	38
Figura 21. Superficie interpolada con valores de temperatura reestablecidos.	39
Figura 22. Series mensuales de la temperatura media observada (1981-2010) y proyectada (2011-2100) bajo los 4 escenarios RCP, para cuatro estaciones representativas de cada región del Ecuador.	44
Figura 23. Histogramas de la temperatura media observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Inguincho.....	45
Figura 24. Histogramas de la temperatura media observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Portoviejo.....	46

Figura 25. Histogramas de la temperatura media observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Nuevo Rocafuerte.....	47
Figura 26. Histogramas de la temperatura media observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación San Cristóbal.	48
Figura 27. Temperatura media observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2011-2040.....	49
Figura 28. Temperatura media observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2041-2070.....	50
Figura 29. Temperatura media observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2071-2100.....	51
Figura 30. Distribución espacial del cambio de la temperatura media proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005.	53
Figura 31. Distribución espacial del cambio de la temperatura media proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Diciembre-Enero-Febrero.....	54
Figura 32. Distribución espacial del cambio de la temperatura media proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Marzo-Abril-Mayo.	55
Figura 33. Distribución espacial del cambio de la temperatura media proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Junio-Julio-Agosto.	56
Figura 34. Distribución espacial del cambio de la temperatura media proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Septiembre-October-Noviembre.....	57
Figura 35. Temperatura media del Ecuador, con base en la información observada de 32 estaciones para el periodo 1981-2010, y proyectada para el periodo 2011-2100 para los 4 escenarios RCP. La línea negra muestra la tendencia de los datos observados.....	59
Figura 36. Series mensuales de la temperatura máxima observada (1981-2010) y proyectada (2011-2100) bajo los 4 escenarios RCP, para tres estaciones representativas de cada región del Ecuador.	61
Figura 37. Histogramas de la temperatura máxima observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Inguincho.....	62
Figura 38. Histogramas de la temperatura máxima observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Portoviejo.....	63
Figura 39. Histogramas de la temperatura máxima observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Nuevo Rocafuerte.....	64
Figura 40. Temperatura máxima observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2011-2040.....	65

Figura 41. Temperatura máxima observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2041-2070.	66
Figura 42. Temperatura máxima observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2071-2100.	67
Figura 43. Distribución espacial del cambio de la temperatura máxima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005.	69
Figura 44. Distribución espacial del cambio de la temperatura máxima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Diciembre-Enero-Febrero.	70
Figura 45. Distribución espacial del cambio de la temperatura máxima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Marzo-Abril-Mayo.	71
Figura 46. Distribución espacial del cambio de la temperatura máxima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Junio-Julio-Agosto.	72
Figura 47. Distribución espacial del cambio de la temperatura máxima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Septiembre-Octubre-Noviembre.	73
Figura 48. Series mensuales de la temperatura mínima observada (1981-2010) y proyectada (2011-2100) bajo los 4 escenarios RCP, para tres estaciones representativas de cada región del Ecuador.	76
Figura 49. Histogramas de la temperatura mínima observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Inguincho.	77
Figura 50. Histogramas de la temperatura mínima observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Portoviejo.	78
Figura 51. Histogramas de la temperatura mínima observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Nuevo Rocafuerte.	79
Figura 52. Temperatura mínima observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2011-2040.	80
Figura 53. Temperatura mínima observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2041-2070.	81
Figura 54. Temperatura mínima observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2071-2100.	82
Figura 55. Distribución espacial del cambio de la temperatura mínima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005.	84
Figura 56. Distribución espacial del cambio de la temperatura mínima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Diciembre-Enero-Febrero.	85
Figura 57. Distribución espacial del cambio de la temperatura mínima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Marzo-Abril-Mayo.	86

Figura 58. Distribución espacial del cambio de la temperatura mínima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Junio-Julio-Agosto.	87
Figura 59. Distribución espacial del cambio de la temperatura mínima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Septiembre-Octubre- Noviembre.....	88
Figura 60. Series mensuales de precipitación observada (1981-2010) y proyectada (2011-2100) bajo los 4 escenarios RCP, para cuatro estaciones representativas de cada región del Ecuador. ..	92
Figura 61. Histogramas de precipitación observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Inguincho.....	93
Figura 62. Histogramas de precipitación observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Portoviejo.....	94
Figura 63. Histogramas de precipitación observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Nuevo Rocafuerte.	95
Figura 64. Histogramas de precipitación observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación San Cristóbal.....	96
Figura 65. Precipitación anual de Ecuador, promedio 1981-2005.	97
Figura 66. Distribución espacial del cambio de la precipitación proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005.	98
Figura 67. Distribución espacial del cambio de la precipitación proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Diciembre-Enero- Febrero.....	99
Figura 68. Distribución espacial del cambio de la precipitación proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Marzo-Abril-Mayo.	100
Figura 69. Distribución espacial del cambio de la precipitación proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Junio-Julio-Agosto.	101
Figura 70. Distribución espacial del cambio de la precipitación proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Septiembre-Octubre- Noviembre.....	102
Figura 71. Serie diaria de precipitación proyectada con reducción de escala dinámica para la estación Inguincho, en el periodo 2031-2040.	106
Figura 72. Serie diaria de precipitación proyectada con reducción de escala dinámica para la estación Inguincho, en el periodo 2061-2070.	107
Figura 73. Serie diaria de temperatura media proyectada con reducción de escala dinámica para la estación Inguincho, en el periodo 2031-2040.	108
Figura 74. Serie diaria de temperatura media proyectada con reducción de escala dinámica para la estación Inguincho, en el periodo 2061-2070.	109
Figura 75. Representación de la topografía con la reducción de escala dinámica a 10 Km para Ecuador.	110

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Los cuatro caminos de forzamiento radiativo.	19
Tabla 2. Listado de modelos disponibles.....	25
Tabla 3. Listado de variables utilizadas como entradas para la reducción de escala dinámica.	28
Tabla 4. Valores de temperatura ajustados a una altura de referencia.	37
Tabla 5. Clasificación de los 15 modelos según las métricas seleccionadas.	41
Tabla 6. Ranking de los 15 modelos según los valores de las métricas seleccionadas.	41
Tabla 7. Listado de modelos seleccionados para la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador	41
Tabla 8. Anomalía de la temperatura media por regiones y a nivel país, proyectado por los 4 escenarios RCP.....	58
Tabla 9. Anomalía de la temperatura máxima por regiones y a nivel país, proyectado por los 4 escenarios RCP.	74
Tabla 10. Anomalía de la temperatura mínima por regiones y a nivel país, proyectado por los 4 escenarios RCP.	89
Tabla 11. Cambio porcentual (%) de la precipitación por regiones proyectado por los 4 escenarios RCP.....	104

PROYECCIONES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA PARA ECUADOR, BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

GUILLERMO EDUARDO ARMENTA PORRAS
motsvanska@gmail.com

JORGE LUIS VILLA CEDEÑO
jorgevillacedeno@gmail.com

PABLO S. JÁCOME
pxjacomex@gmail.com

RESUMEN

A continuación se presentan las proyecciones climáticas de precipitación y temperaturas media, máxima y mínima para Ecuador y sus regiones naturales, bajo los escenarios de Cambio Climático del Quinto Reporte de Evaluación (AR5) del IPCC y utilizando cuatro modelos climáticos globales seleccionados del proyecto CMIP5. Las proyecciones bajo cada uno de los escenarios se generó usando el método de Ensamble Ponderado de Fiabilidad (REA), para los periodos futuros 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 tomando como periodo de referencia 1981-2005. Se analizaron tanto el periodo anual como los periodos trimestrales DEF, MAM, JJA y SON. Los resultados muestran, a nivel país, posibles aumentos de la temperatura, con anomalías de 0,6°C bajo el RCP 2.6 y 2,8°C bajo el RCP 8.5 para la temperatura media; de 0,8°C bajo el RCP 2.6 y 3,5°C bajo el RCP 8.5 para la temperatura máxima; de 0,6°C bajo el RCP 2.6 y 2,8°C bajo el RCP 8.5 para la temperatura mínima. Las regiones donde habría mayores aumentos de la temperatura son la Costa, la Amazonía y Galápagos. Para la precipitación, las proyecciones muestran posibles reducciones en la Amazonía Oriental, entre 2-10%; incrementos del 5-10% al sur del país, y del 10-20% en el centro, norte y occidente del área continental de Ecuador, y superiores al 15% para la parte insular (Galápagos).

Palabras Clave: Cambio Climático, RCP, REA, precipitación, temperatura, Modelos Climáticos Globales, proyecciones climáticas.

INTRODUCCIÓN

Ecuador es uno de los países más vulnerables ante el cambio climático. El retroceso de los glaciares, el aumento del nivel del mar y fenómenos de variabilidad climática, principalmente los asociados a El Niño/La Niña, afectan significativamente a diversos sectores y aspectos de la vida humana, tales como agricultura, economía, salud, entre otros. El inminente cambio climático que se está presentando en el planeta impone nuevos retos a afrontar para el país, con el fin de reducir el impacto del mismo y/o adaptarse a las nuevas condiciones climáticas.

Dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMUNCC) y el Protocolo de Kyoto, Ecuador y 193 países asumieron diversos compromisos en materia de cambio climático. Entre estos compromisos están: la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, adopción de medidas de mitigación y adaptación frente al cambio climático, y la elaboración de comunicaciones nacionales periódicas que incluyan, entre otros elementos, el inventario de gases de efecto invernadero, la descripción de las medidas adoptadas o previstas a adoptar para aplicar la Convención, y los programas y medidas de adaptación y mitigación al cambio climático (CMNUCC, 2004). Bajo este último elemento, es necesario generar diversos escenarios de cambio climático, que muestren las diferentes variaciones que podrían presentarse en el clima de Ecuador bajo diferentes desarrollos económicos, tecnológicos y sociales, y la adopción de medidas relacionadas a los mismos.

Para la generación de estos escenarios, se realizó la revisión del comportamiento de la precipitación y las temperaturas media, máxima media y mínima media, proyectadas por 4 modelos globales de circulación (GCM), seleccionados de un listado de 15 que fueron evaluados y que tienen la mejor representación del clima en la zona tropical de Suramérica, de un listado de aproximadamente 42 modelos que hacen parte del proyecto de Intercomparación de Modelos CMIP5 (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA, 2015). El proceso de selección de estos modelos se llevó a cabo a través de métricas para evaluar la representación del clima presente para el periodo 1981-2005 por parte de los modelos, comparando los datos con las series mensuales de datos observados de estaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Con los modelos seleccionados, se generaron proyecciones y series de datos utilizando técnicas de reducción de escala estadísticas y dinámicas. Con la reducción de escala estadística, se generaron series mensuales de las variables mencionadas anteriormente para los periodos futuros 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, y para los cuatro escenarios RCP del Quinto Reporte de Evaluación (AR5) (IPCC, 2013), utilizando el método de Ensamble de

Confiabilidad Ponderada (REA – *Reliability Ensemble Averaging*) (Giorgi & Mearns, 2001) (Tebaldi & Knutti, 2007), el cual ha sido utilizado para la generación de las proyecciones climáticas de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático para Colombia (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELACIÓN, 2015) y la Quinta Comunicación Nacional de Cambio Climático para México (Cavazos, y otros, 2013). Y para la reducción de escala dinámica, se generaron series a resolución temporal diaria y resolución espacial de 10 kilómetros para los cuatro modelos seleccionados y para dos escenarios: RCP 4.5 y RCP 8.5 en el periodo 2011-2070. Este ejercicio se realizó con el fin de proveer información en alta resolución para diversos estudios específicos y regionales, los cuales requieren un alto nivel de detalle.

CONTEXTO GLOBAL

Desde mediados del siglo XX el sistema climático ha presentado cambios sin precedentes, en comparación con los registros de observaciones que se tienen desde 1850. Entre estos cambios se destacan: el marcado calentamiento de la atmósfera y el océano, con incrementos superiores a 1°C a nivel global (Figura 1); la reducción de la cantidad y extensión de las masas de hielo y nieve (Figura 2); el considerable aumento del nivel del mar en los últimos 25 años (Figura 3) y el incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (Figura 4).

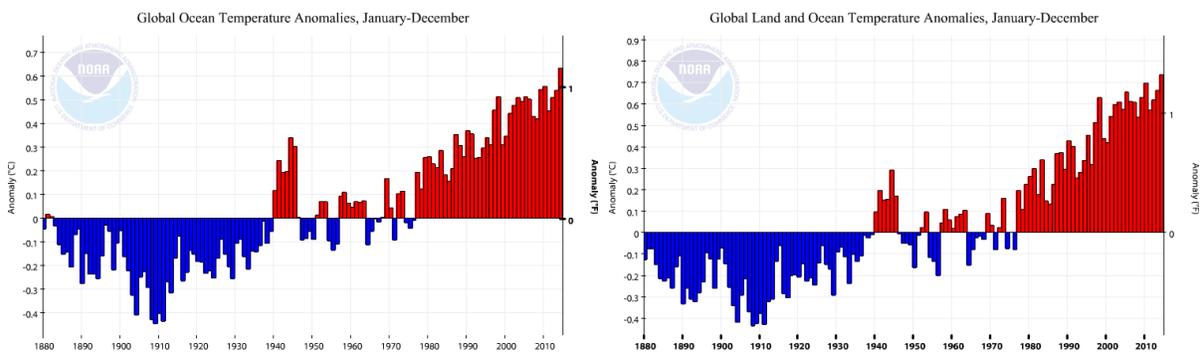


Figura 1. Anomalías observadas en la temperatura media en superficie del océano (izquierda), y terrestres y oceánicas combinadas (derecha). (Fuente: NOAA)

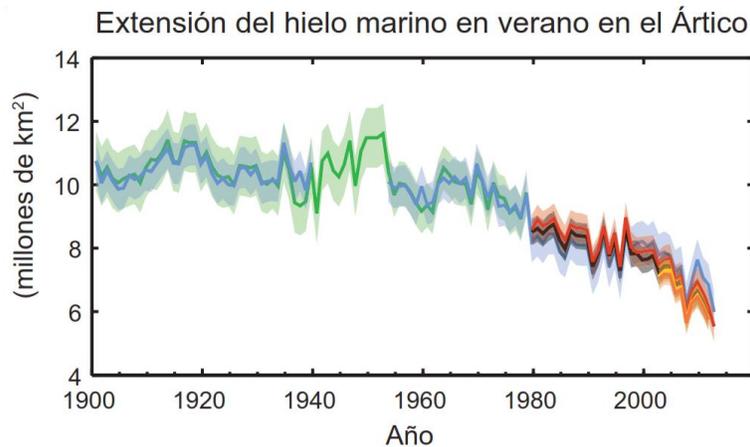


Figura 2. Registros anuales de la extensión de hielo marino en el Ártico, medidos desde 1900. (Fuente: IPCC)

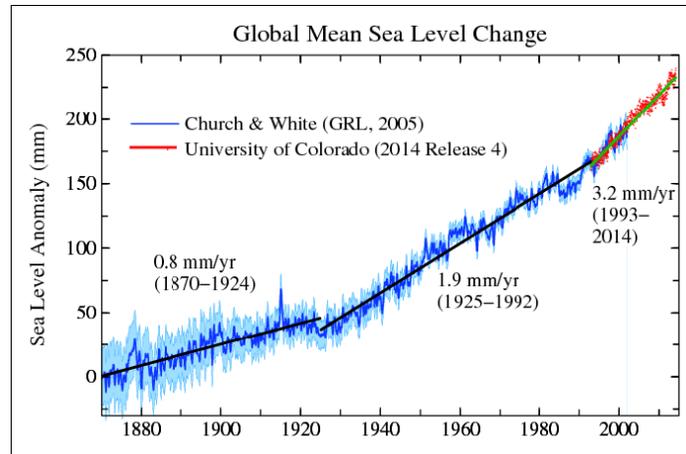


Figura 3. Cambios en el nivel del mar, a partir de observaciones desde 1850. (Fuente: IPCC)

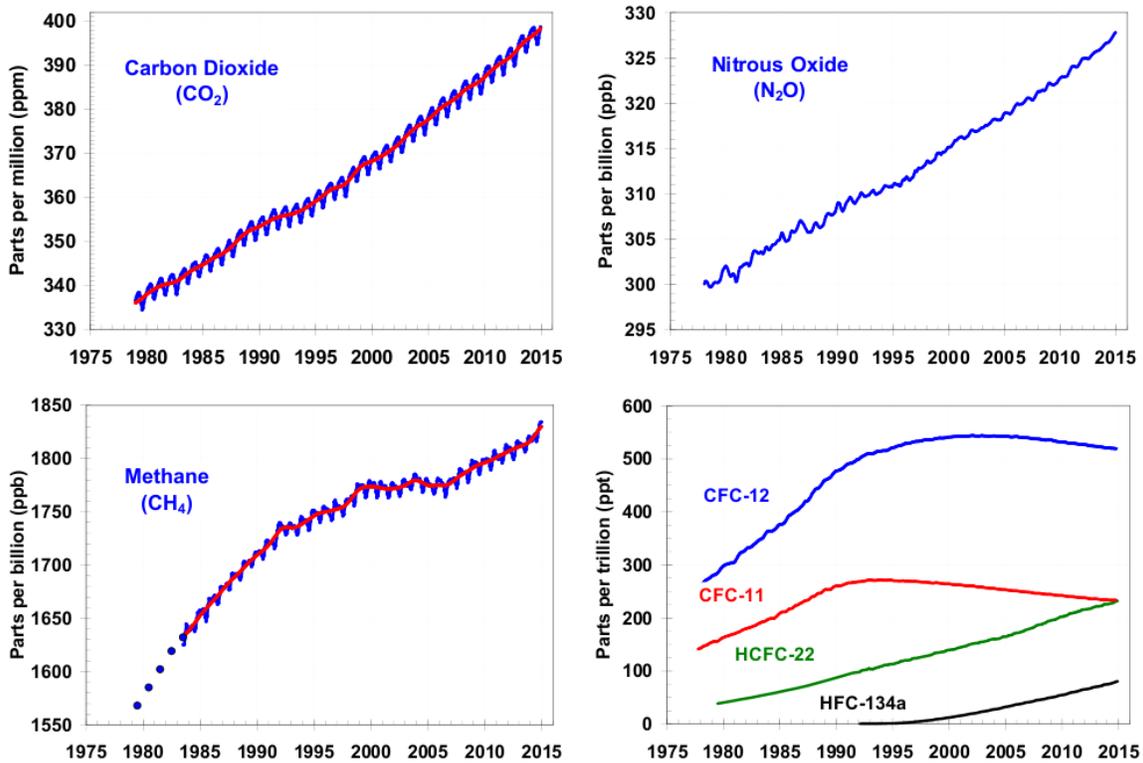


Figura 4. Concentraciones anuales de gases de efecto invernadero, medidas desde 1979. (Fuente: NOAA)

Para Ecuador, las observaciones globales muestran que desde inicios del siglo XX, la temperatura se ha incrementado entre 0,4 y 0,8°C (Figura 5), mientras que la precipitación, desde ese mismo año, no ha presentado cambios significativos (Figura 6).

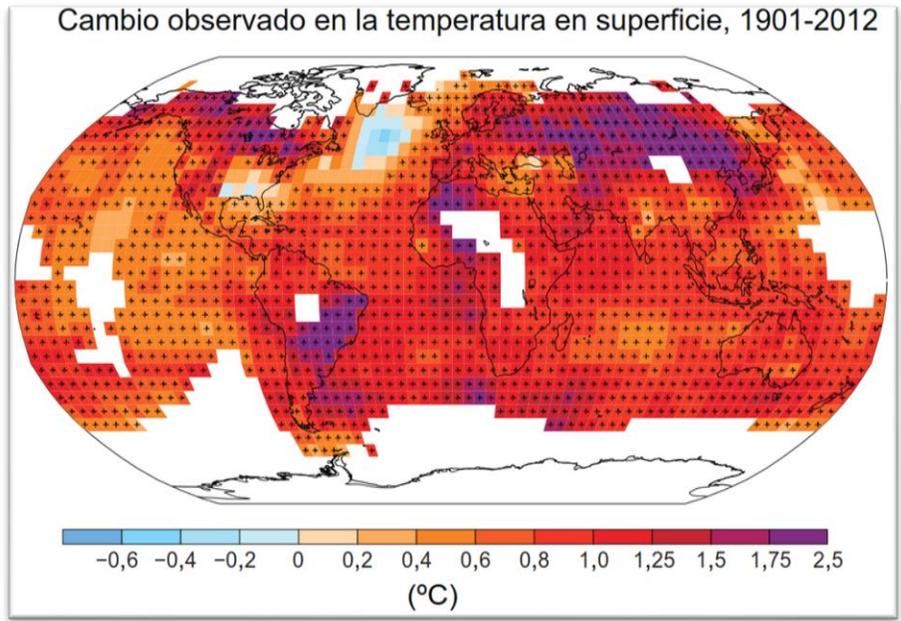


Figura 5. Cambios observados en la temperatura media anual entre los años 1901 y 2012. (Fuente: IPCC)

Cambio observado en la precipitación anual sobre tierra

1901-2010

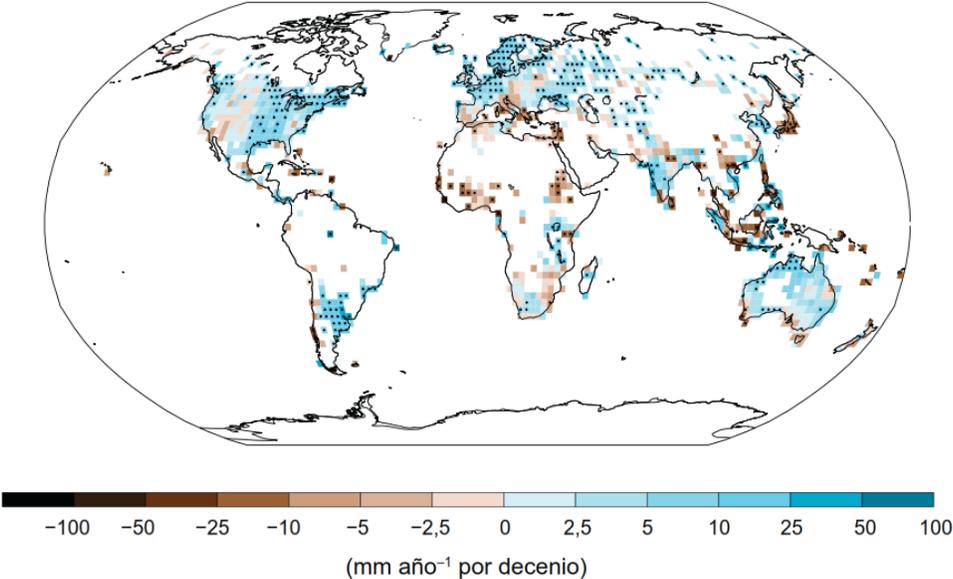


Figura 6. Cambios observados en la precipitación anual entre los años 1901 y 2010. (Fuente: IPCC)

MARCO CONCEPTUAL

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.

Otro sistema que influye sobre la circulación atmosférica tropical es la baja de la Amazonía. Éste consiste en un sistema estacional de baja presión en niveles bajos de la atmósfera sobre la cuenca amazónica, que se desplaza desde el norte de Bolivia (en Enero) hasta el extremo sureste de Colombia (en Julio). La presencia de este sistema ocasiona descensos importantes de la temperatura del aire, y ayuda a intensificar las precipitaciones en la Amazonía, particularmente a mitad de año.

El clima del Ecuador también se ve afectado por el anticiclón del Pacífico Sur, el cual es un sistema de alta presión con circulación de vientos de sur a norte, los cuales recogen la humedad existente y la llevan a la costa, donde se condensan y crean nubes bajas y persistentes con alto contenido de humedad atmosférica.

Modelos Climáticos Globales

Los Modelos de Circulación General (GCM por su sigla en inglés), son una representación numérica multidimensional 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).

La resolución de los Modelos de Circulación General es baja, con valores que oscilan entre 1 y 3 grados de arco¹ (Figura 7). Para la representación del clima a escala regional, esta resolución no es suficiente, puesto que los fenómenos locales relacionados con la orografía y aquellos de menor escala espacial y temporal no son representados adecuadamente, y en un área de estas dimensiones se tienen valores de precipitación y temperaturas diferentes entre sí.

Con el fin de intentar resolver estos problemas de escala, se utilizan diferentes métodos de reducción de escala. Entre estos métodos tenemos los siguientes:

- Estadísticos: Métodos en los que se trata de reproducir las estadísticas de largo plazo y las condiciones locales a través del análisis del comportamiento de los datos observados de una variable para un periodo largo de tiempo.
- Dinámicos: Utilizan modelos regionales de circulación (RCM por sus siglas en inglés). Estos modelos toman como entrada los datos de los GCM, y permiten ser configurados para correr en resoluciones más detalladas y para una región o zona en particular. Sin embargo, el tener un mayor detalle en la representación requiere capacidades de cómputo mayores, y el tiempo de ejecución de estos modelos es superior en comparación con los modelos globales.
- Dinámico-Estadísticos: Utiliza combinaciones de los dos métodos anteriores para la reducción de escala. Comúnmente se hace primero la reducción de escala dinámica a una resolución aceptable, que represente los aspectos importantes de la circulación general en el área de estudio (entre 25 y 50Km), y luego, con estos datos simulados, se realiza la reducción de escala estadística, con base en los datos observados de estaciones.

¹ Un grado de arco equivale aproximadamente a 111Km

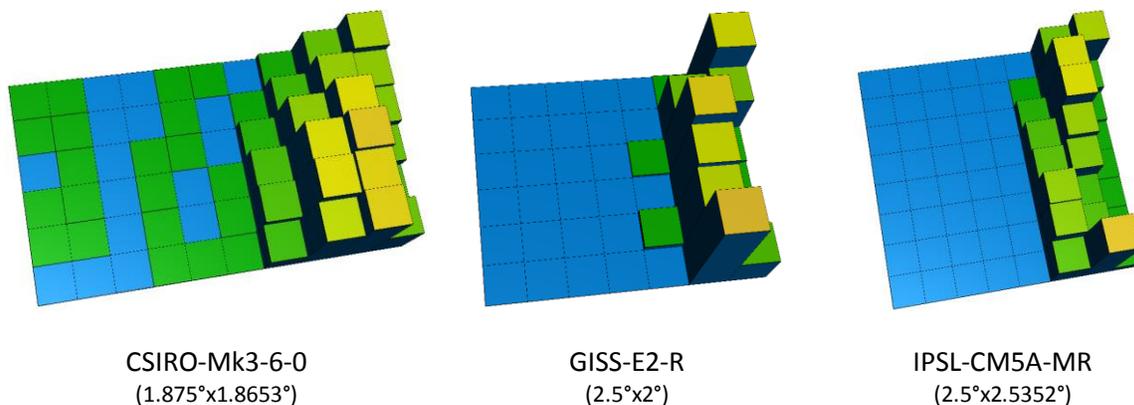


Figura 7. Representación espacial del Ecuador de algunos de los modelos del CMIP5.

Forzamiento Radiativo

El forzamiento radiativo es un cambio impuesto en el balance de radiación de la Tierra. En el clima, un forzante radiativo significa cualquier cambio en la radiación (calor) entrante o saliente del sistema climático. Un forzante positivo tiende a calentar el sistema (más energía recibida que emitida), mientras que uno negativo lo enfría (más energía perdida que recibida). Este forzamiento es debido a cambios en la radiación solar incidente, a incrementos en la concentración de especies activas radiativas (como los gases de efecto invernadero y aerosoles), o a cambios en las propiedades reflectivas superficiales del planeta. El forzamiento radiativo es medido por el cambio en el flujo neto de la radiación en algún nivel específico en la atmósfera en respuesta a una perturbación.

CMIP5

En septiembre de 2008, 20 grupos de modelación del clima alrededor del mundo, conjunto con el *World Climate Research Programme (WCRP)*, el *Working Group on Coupled Modelling (WGCM)* y la colaboración del *International Geosphere–Biosphere Programme (IGBP)* y el proyecto *Analysis, Integration and Modeling of the Earth System (AIMES)*, se reunieron con el fin de promover un nuevo conjunto de experimentos de modelos climáticos coordinados. Estos experimentos comprenden a la quinta fase del proyecto de Intercomparación de modelos acoplados (*Coupled Model Intercomparison Project -CMIP5-*). Los cuatro escenarios de este proyecto proveen una gama de futuros climáticos simulados (caracterización de las próximas décadas a siglos), abordando las prioridades, ideas y sugerencias de muchas personas de diversas comunidades científicas como la modelización del clima, modelización biogeoquímica, modelos de evaluación integrada, impactos del cambio climático, análisis de clima, los procesos climáticos y las observaciones del clima; comunidades que en conjunto han participado en diferentes

talleres de enriquecimiento (Taylor, Stouffer, & Meehl, 2012), los cuales pueden usarse como base para explorar los impactos del cambio climático y las cuestiones de política de interés y de relevancia para la sociedad

Escenarios de Cambio Climático

Para lograr una mejor comprensión de las interacciones entre el sistema climático terrestre, los ecosistemas y las actividades humanas, la comunidad científica ha desarrollado y utilizado diversas herramientas y metodologías. Una de ellas es el uso de “escenarios”, los cuales pueden definirse como descripciones coherentes, internamente consistentes y convincentes de un posible estado futuro del mundo (IPCC-DDC, 2013).

Los escenarios no deben asumirse como pronósticos o predicciones. Cada escenario es una imagen alternativa de cómo el futuro puede mostrarse bajo determinadas condiciones en un tiempo dado. Por lo general se utiliza un conjunto de ellos con el fin de mostrar, de la mejor manera posible, el rango de incertidumbre en las proyecciones climáticas.

Los escenarios basados en modelos climáticos del anterior informe de evaluación (AR4) (IPCC, 2007), fueron desarrollados utilizando un proceso secuencial (Figura 8). Este proceso se centra en cada paso, y sólo hasta que el paso previo se haya realizado por completo se podía iniciar el siguiente. Bajo este esquema, los grupos posteriores recibían la información de una investigación a la siguiente en un plazo muy largo, lo cual retrasaba el desarrollo de las diferentes proyecciones y además llevaba a inconsistencias, ya que si algún grupo anterior realizaba algún cambio o corrección en sus resultados, los demás grupos tenían que repetir el trabajo utilizando la nueva información.

Ahora, para los nuevos escenarios del quinto reporte de evaluación (AR5), los investigadores de las diversas disciplinas que enfrentan el análisis de la información referente al cambio climático y sus consecuencias, establecieron un nuevo proceso, denominado en paralelo, con el fin de acortar el tiempo entre el desarrollo de escenarios de emisiones y el uso de los escenarios climáticos resultantes para investigar los posibles impactos (Figura 8). En lugar de empezar con argumentos socioeconómicos detallados para generar escenarios de emisiones y con los resultados de ellos generar los escenarios climáticos, el proceso en paralelo comienza con la identificación de los escenarios climáticos o de forzamiento radiativo, la cual es una característica muy importante para la modelación del clima. Se toma en cuenta el nivel de forzamiento radiativo que se tendría hacia el año 2100, y se analizan las trayectorias que, desde la época y condiciones actuales (1981-2010), podrían llevar a esos niveles de forzamiento. Estas trayectorias de forzamiento radiativo no están asociadas con escenarios socioeconómicos o de emisión únicos, sino que pueden resultar de

la combinación de diferentes futuros económicos, tecnológicos, demográficos, políticos e institucionales (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA, 2015). Una vez determinadas estas vías, se desarrollan las proyecciones climáticas asociadas a ellas, y en forma simultánea se generan los escenarios socioeconómicos y de emisiones que llevarían hacia esas trayectorias. Con los resultados de las proyecciones y los escenarios se realizan los análisis de impacto, vulnerabilidad y adaptación respectivos. Finalmente, se tiene una última fase, en la cual se da una retroalimentación entre las proyecciones climáticas, los escenarios socioeconómicos y de emisiones y los análisis, con el fin de mejorar los resultados producidos por cada una de ellas.

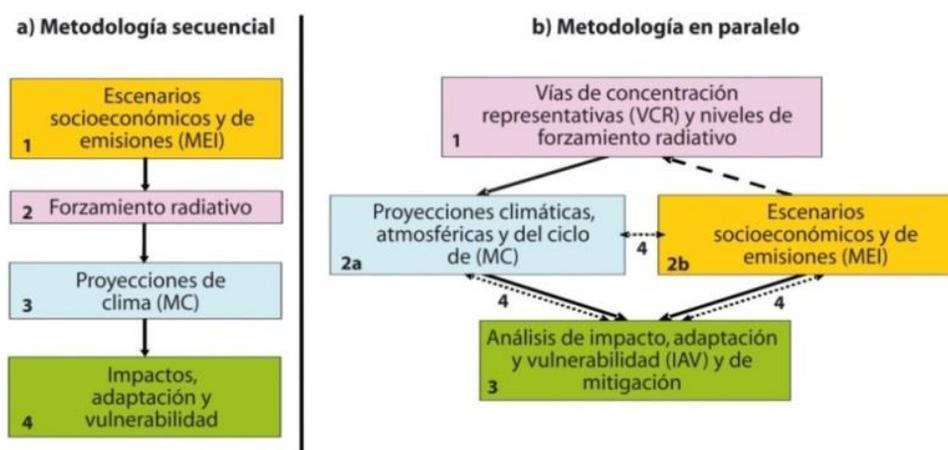


Figura 8. Proceso de generación de escenarios de cambio climático.

Escenarios RCP

Los modelos climáticos requieren información acerca de la evolución en la concentración de las especies radiativamente activas, y algunos requieren información adicional acerca de la evolución en el tiempo del uso del suelo y la cobertura vegetal. La comunidad científica identificó escenarios específicos de emisiones (incluyendo datos sobre el uso del suelo y su cobertura) como rutas plausibles hacia la consecución de cada trayectoria de forzamiento radiativo. Estos escenarios son llamados "Caminos representativos de concentración" (RCP – *Representative Concentration Pathways*, por sus siglas en inglés), en donde la palabra "representativo" significa que cada RCP proporciona sólo uno de los muchos posibles escenarios que pueden conducir a las características de ese forzamiento radiativo. El término "camino" hace hincapié en que no sólo los niveles de concentración en el largo plazo son de interés, sino también la vía que ha tomado en el tiempo para llegar a ese resultado. En resumen, el nuevo proceso en paralelo comienza con la selección de cuatro RCP, cada uno de los cuales corresponde a una camino de forzamiento radiativo específico (Tabla 1).

Tabla 1. Los cuatro caminos de forzamiento radiativo.

Nombre	Forzamiento radiativo ¹	Concentración ²	Forma del itinerario
VCR8.5	>8,5 W/m ² en 2100	> ~1370 CO ₂ -eq en 2100	En aumento
VCR6	Estabilización en ~6 W/m ² a partir de 2100	~850 CO ₂ -eq (estabilización, a partir de 2100)	Estabilización sin translimitaciones
VCR4.5	Estabilización en ~4.5 W/m ² a partir de 2100	~650 CO ₂ -eq (estabilización, a partir de 2100)	Estabilización sin translimitaciones
VCR3-CD ³	Máximo a ~3W/m ² antes de 2100; disminución posterior	Máximo a ~490 CO ₂ -eq antes de 2100; disminución posterior	Culminación seguida de disminución

Los 4 RCP fueron seleccionados dentro de aproximadamente 30 posibles vías representativas (Figura 9). Se puede apreciar que los RCPs seleccionados (líneas gruesas) comprenden la amplia gama de escenarios de forzamiento radiativo existentes en la literatura científica hasta septiembre de 2007.

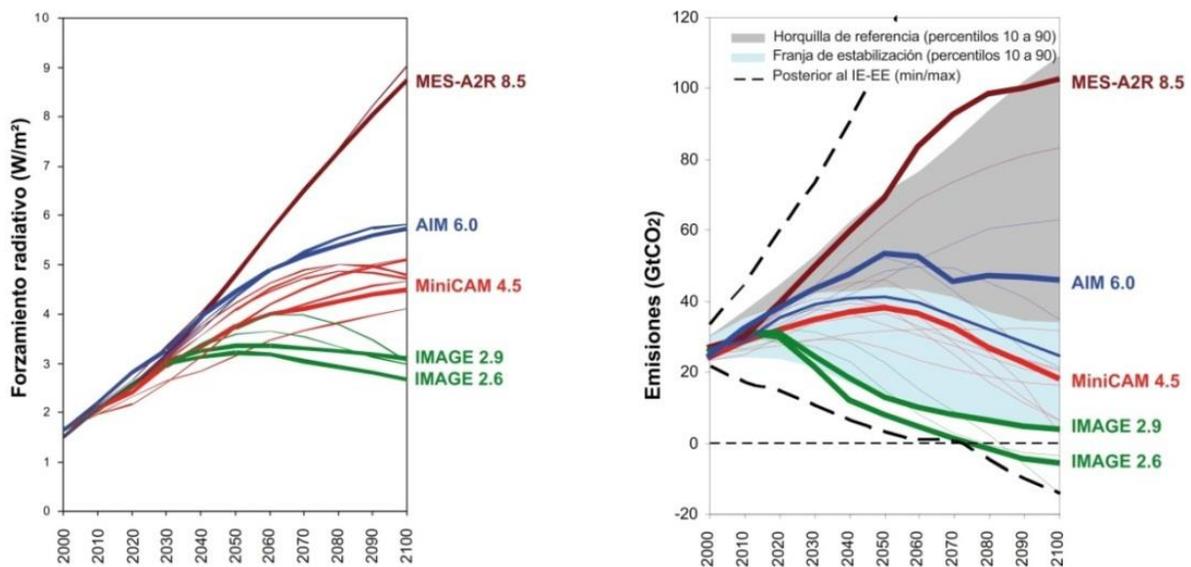


Figura 9. Forzamiento radiativo (Izquierda) y Emisiones de CO₂ (Derecha) de las 4 vías representativas de concentración (RCP) seleccionadas.

Hay que tener claro que los RCP no son ni predicciones ni recomendaciones políticas. Estos escenarios 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 RCP8.5 no puede ser usado como un escenario referente de «no-política»

climática con respecto a los otros RCP, pues cada RCP contiene una serie de suposiciones socioeconómicas, tecnológicas y biofísicas diferentes.

De acuerdo al reporte AR5, a nivel global las proyecciones climáticas para finales del siglo XXI muestran una probabilidad de que la temperatura en superficie sea superior en 1,5°C, con respecto a la del período 1850-1900 para todos los RCP (excepto el RCP 2.6). Los RCP 4.5 y 6.0 muestran una probabilidad de que esa temperatura sea superior en al menos 2°C, y el RCP 8.5 presenta un incremento en la temperatura superior a 3°C (Figura 10). Para la precipitación, Los cambios que se podrían producir no serán uniformes. Se acentuaría el contraste en las precipitaciones entre las regiones húmedas y secas y entre las estaciones húmedas y secas, con algunas excepciones regionales (IPCC, 2013).

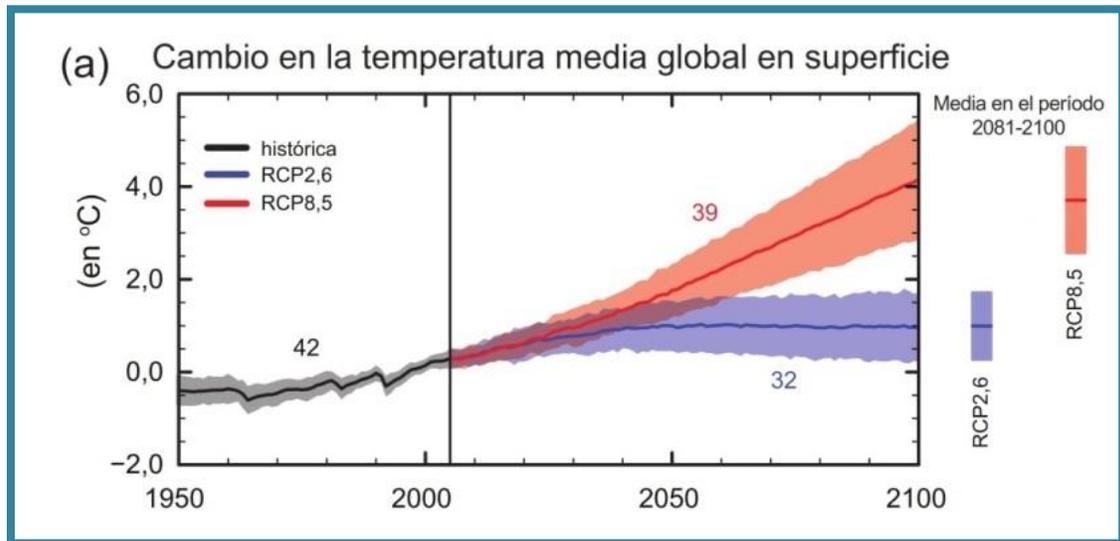


Figura 10. Cambios proyectados en la temperatura global por las 4 vías representativas de concentración (RCP) hacia el año 2100.

Al comparar los escenarios RCP con los escenarios de emisiones del anterior reporte (AR4), se encuentra que ambos conjuntos de escenarios mantienen una tendencia similar hasta el año 2040 en lo referente a las emisiones de CO₂ (Figura 11). Desde este año, se aprecia que el RCP 2.6 muestra un camino de reducción de estas emisiones, mientras que los demás escenarios, tanto RCP como SRES mantienen una tendencia hacia el aumento. Los RCP 4.5 y 6.0, los cuales son escenarios intermedios, presentan un comportamiento similar a los escenarios de emisiones B1 (“optimista”) y A1B (“moderado”) respectivamente, lo cual puede llevar a pensar que el RCP 2.6 es quizá un escenario mucho más “optimista” que el más optimista de los escenarios de emisiones. En forma análoga, aunque con una menor diferencia entre sí, para los escenarios “pesimistas” de

los RCP (8.5) y SRES (A2) se aprecia que el RCP es más pesimista que su análogo en los escenarios de emisiones. Estas particularidades permiten, de cierta forma, revisar las proyecciones obtenidas con los escenarios del AR4, y compararlas con las nuevas proyecciones de los escenarios del AR5.

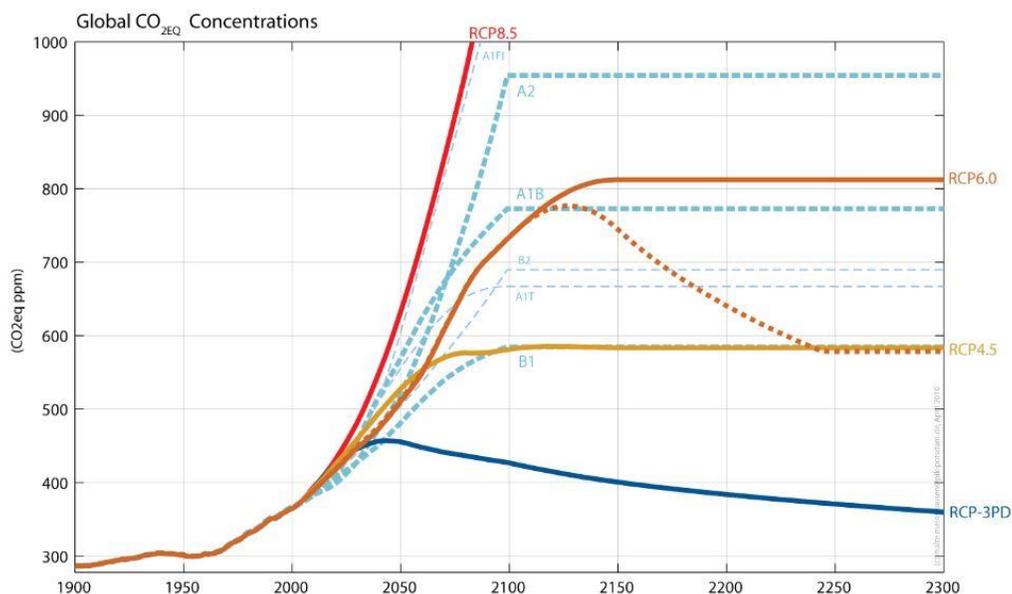


Figura 11. Concentraciones de CO₂ proyectadas por los escenarios de emisión SRES del AR4 (línea punteada) y por las 4 vías representativas de concentración (RCP) del AR5 (línea continua).

Ensamble multimodelo

Un ensamble de modelos climáticos globales, o ensamble multimodelo, corresponde a la combinación individual de un conjunto de modelos climáticos. Esta combinación da como resultado un conjunto de proyecciones para una variable dada que cubren los futuros más probables. Se hacen ensambles multimodelo para intentar reducir la incertidumbre asociada a las proyecciones y conocer su rango alrededor de la media del ensamble. Cuantificar estas incertidumbres en la proyección de escenarios climáticos futuros sirve para evaluar el impacto que estos escenarios tendrán, y a su vez éstas han sido un punto crítico identificado por la comunidad científica, dada su utilidad en la evaluación de diversos temas.

METODOLOGÍA

Selección de los modelos globales a utilizar

Para la selección de los modelos a utilizar para los escenarios de Cambio Climático para Ecuador, se realizó el inventario de los GCM disponibles en la base de datos del proyecto CMIP5², y se tomaron los datos mensuales existentes para precipitación y temperaturas media, máxima y mínima para aquellos modelos que contaran con datos disponibles para descarga de estas variables tanto para el periodo histórico de referencia 1976-2005 como para los cuatro RCP en el periodo futuro 2011-2100. Con este criterio, se tomaron los datos de 15 modelos (Tabla 2). Además, del conjunto total de modelos del CMIP5 se evaluaron 42 modelos (uno quedó por fuera de la selección ya que no tenía información disponible para el periodo histórico 1976-2005) en el proyecto de generación de los escenarios de Cambio Climático para Colombia, dentro de la Tercera Comunicación Nacional de ese país (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA, 2015), y se encontró que los modelos que mejor representan las condiciones climáticas para Colombia y parte de la región tropical son los 15 modelos seleccionados que se utilizaron en esta evaluación.

Así mismo, se realizó la revisión de la información mensual observada del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) para las variables seleccionadas, en el periodo 1981-2005. Este periodo se tomó por dos razones: la primera de ellas porque para este periodo se contó con la mayor cantidad de estaciones con datos confiables y completos en al menos el 85% de información; y la segunda porque este periodo es el común entre el de las observaciones y el de los datos de los modelos globales. Se realizó la revisión y control de calidad de las series mensuales, y se realizó un proceso de complementación de las series a partir de los datos diarios para el periodo mencionado anteriormente. Luego de este proceso, la cantidad de estaciones que cumplen el control de calidad y la cantidad de datos óptima (al menos con el 85% de la serie), es el siguiente (Figura 12) (Ver el listado completo en los Anexos):

- 137 estaciones de Precipitación
- 32 estaciones de Temperatura Media
- 34 estaciones de Temperatura Máxima Media³
- 29 estaciones de Temperatura Mínima Media³

² Los datos de los modelos globales se encuentran disponibles en: <https://pcmdi.llnl.gov/search/esgf-llnl/>

³ De estas variables no hay información para Galápagos, debido a la insuficiencia de datos confiables.

Con las estaciones seleccionadas, se aplicó el método de reducción de escala estadístico de “Corrección del Sesgo” a los datos de los modelos globales seleccionados (Pabón, 2011) (Walsh, 2011) (Walsh & Trainor, 2012). Con esta metodología 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:

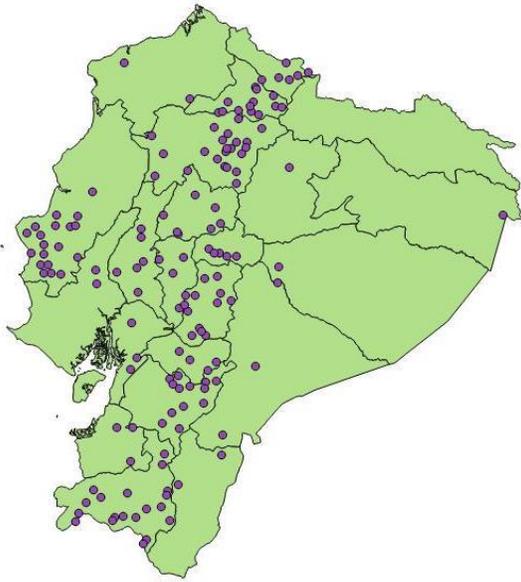
$$X_{i,j}^* = \alpha_j X_{i,j}^{\text{mod}}$$

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:

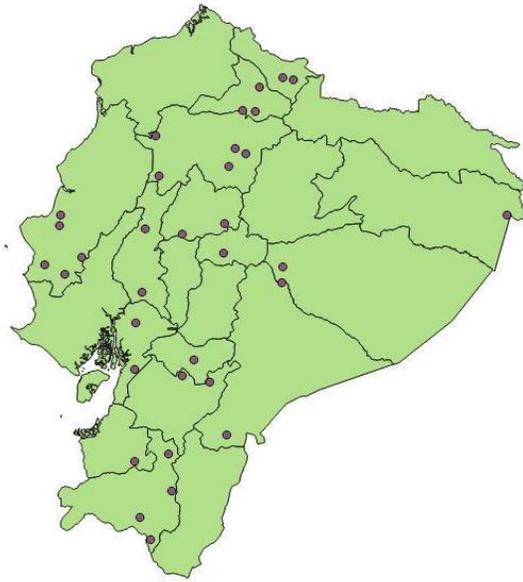
$$\alpha_j = \frac{\overline{X_j^{\text{obs}}}}{\overline{X_j^{\text{mod}}}}$$

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

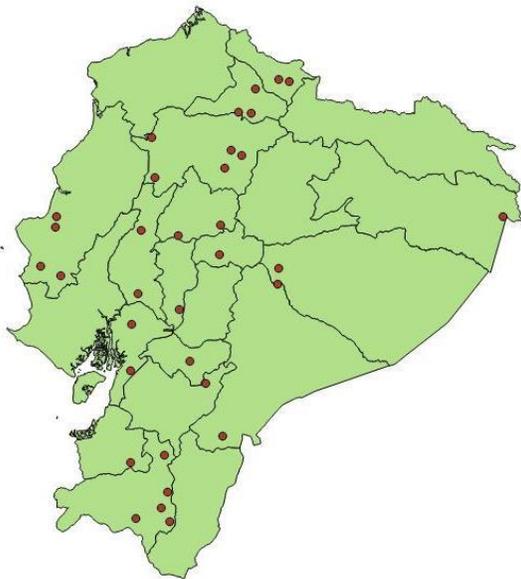
Para usar esta metodología, se deben tener series observadas con al menos 10 años de datos, con el fin de obtener promedios multianuales aceptables y coherentes con la variabilidad climática de cada estación.



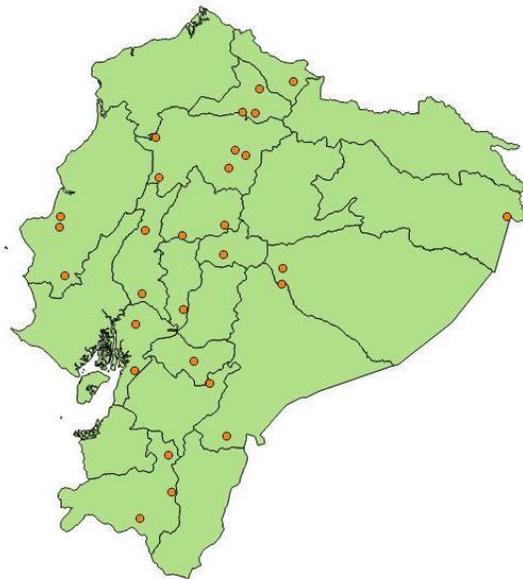
Precipitación



Temperatura Media



Temperatura Máxima



Temperatura Mínima

Figura 12. Distribución de las estaciones con datos para el periodo 1981-2010.

Tabla 2. Listado de modelos disponibles.

Modelo	Institución	Resolución (grados de arco)
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	NIMR/KMA – National Institute of Meteorological Research/Korea Meteorological Administration	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

Con los datos de los modelos globales ajustados, se realizó la evaluación de los mismos comparándolos con los datos observados, 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)

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

- **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)

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

Se hizo la evaluación de estas métricas a los datos de las estaciones seleccionadas y se le dio una evaluación promedio para todo el país. Con base en los valores de estas métricas, se elaboró una clasificación tipo “semáforo” a los 15 modelos. Esta clasificación consiste en dar tres colores: un color verde a los mejores valores, un color amarillo a los valores intermedios, y un color rojo a aquellos que están entre los menores de la lista.

Ensamble Ponderado de Fiabilidad (REA)

Con el fin de generar el ensamble multimodelo para generar las proyecciones del cambio de la precipitación y las temperaturas media, máxima media y mínima media, se implementó el método *Reliability Ensemble Averaging* (REA – Ensamble Ponderado de Fiabilidad) (Giorgi & Mearns, 2001) (Tebaldi & Knutti, 2007).

Éste es un método para combinar las salidas de los modelos de circulación general, teniendo en cuenta dos criterios:

- Un criterio de desempeño: Se basa en la capacidad de los modelos 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 RCP, 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, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA, 2015).

En este método, el cambio promedio $\widetilde{\Delta T}$ es dado por el promedio ponderado de los miembros del ensamble, así:

$$\widetilde{\Delta T} = \widetilde{A}(\Delta T) = \frac{\sum_i R_i \Delta T_i}{\sum_i R_i}$$

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

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

$R_{B,i}$ 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.

Utilizando los dos criterios, se realizó la ponderación de las series de cada modelo. Para el criterio de desempeño, se evaluaron las series mensuales de precipitación y temperaturas media, máxima y mínima para el periodo de clima presente 1981-2005 de cada modelo, en relación con las series de datos observados para el mismo periodo. Mientras que el criterio de convergencia, se evaluaron las series mensuales de cada modelo para cada escenario RCP en el periodo 2011-2100, en comparación con la tendencia de los 4 modelos hacia el futuro. Se realizó la ponderación de los modelos con base en las tres métricas utilizadas en la evaluación de los modelos globales. Se hizo la evaluación de estas métricas a los datos de cada estación y cada variable, con base en ellas se otorgó un peso a cada modelo y con estas ponderaciones se hizo el ensamble multimodelo para cada uno de los escenarios.

Cambio de porcentaje de la precipitación

Los datos de precipitación, tanto observada como obtenida de los modelos del CMIP5, vienen dados en milímetros/mes. De igual forma, el método de ensamble REA provee las cantidades de precipitación en estas unidades. Con el fin de poder cuantificar la reducción o incremento de las precipitaciones obtenido con el método REA respecto a la precipitación de clima de referencia sobre cada estación, fue necesario calcular el cambio de porcentaje de la precipitación del futuro con respecto a dicho clima presente. Este cálculo se conoce como Cambio de porcentaje, y se calcula como:

$$[\text{Cambio de porcentaje}] = \left[100 * \left(\frac{[\text{dato observado} \pm \text{delta del método REA}]}{[\text{dato observado}]} \right) \right] - 100$$

De esta forma es posible comparar los cambios que tendría la precipitación en cada uno de los escenarios RCP, así como permitir el filtrado de valores que pueden sobrepasar un umbral coherente para esta variable (por ejemplo diferencias que sean superiores o inferiores al 70% de la precipitación observada) (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA, 2015).

Reducción de Escala Dinámica

La reducción de escala dinámica se realizó utilizando el modelo WRF (*Weather Research and Forecasting*) versión 3.6.1. en modo climático. Las condiciones iniciales y de frontera se tienen de los datos de los modelos del CMIP5 elegidos en el proceso de selección para la reducción de escala estadística (IPSL-CM5A-MR, GISS-E2-R, GISS-E2-H y MIROC-ESM) (Tabla 3).

Tabla 3. Listado de variables utilizadas como entradas para la reducción de escala dinámica.

Variable	Definición
U	Componente Zonal del Viento
V	Componente Meridional del Viento
TA	Temperatura del Aire
HS	Humedad Específica
SST	Temperatura Superficial del Mar
PS	Presión en Superficie
PSL	Presión a nivel medio del mar

Estas variables se descargaron a resolución diaria y cada 6 horas para el periodo de referencia 1981-2005, y para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 en los periodos 2011-2040 y 2041-2070. Y los dominios se definieron en la siguiente forma: El primer dominio a 90Km, el segundo a 30Km y los dos últimos (zona continental del Ecuador y Galápagos) a 10Km (Figura 13). Se realizó esta configuración de los dominios debido a que, por estabilidad numérica del modelo y con el fin de obtener resultados coherentes, no es recomendable realizar la reducción de escala de forma directa, es decir, tomar los datos de entrada a su resolución original (de 200 kilómetros cuadrados al menos) y sólo configurar un dominio a 10 kilómetros. Esta reducción “abrupta” de la resolución ocasiona, entre otras cosas, que los valores de entrada de los modelos globales no sean asimilados en la forma correcta. Para ello, los creadores del modelo recomiendan utilizar una relación de 1:3 para la creación de los dominios, con el fin de “suavizar” progresivamente la reducción de escala. Para las proyecciones climáticas, únicamente se utilizó la información generada para estos últimos dos dominios, debido a que son los de mayor resolución y de los cuáles se va a utilizar los datos y a la gran cantidad de espacio de almacenamiento que se requeriría para almacenar la información generada para todos los dominios (al menos 20TB para cada modelo global de entrada utilizado).

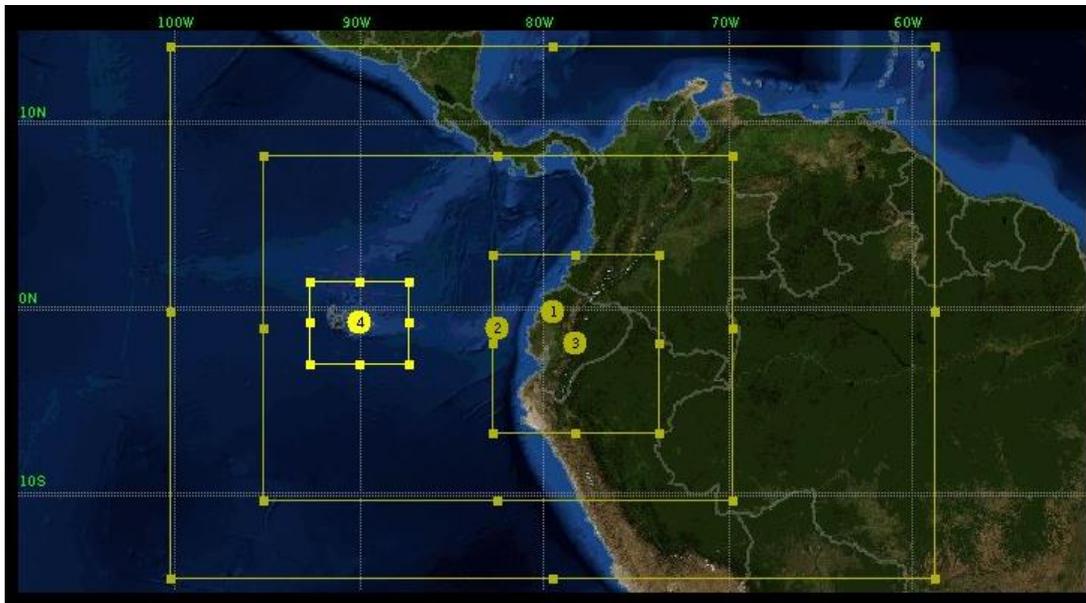


Figura 13. Definición de los dominios a simular para la reducción de escala dinámica.

Generación de los productos cartográficos

En esta sección se introduce a las metodologías de interpolación utilizadas para el cálculo de superficies continuas. Las operaciones con los grid y los distintos métodos de interpolación se han aplicado utilizando la extensión de análisis estadístico de ArcGIS 10.3.

Los métodos de interpolación espacial pueden clasificarse en dos amplias clases: determinísticos y geoestadísticos. Los métodos determinísticos crean superficies de los puntos medidos, basados en el grado de similitud (ej. Inverso de la Distancia) o el grado de suavizado (ej. funciones de base radial). Las técnicas de interpolación geoestadísticas (ej. Kriging) utilizan las propiedades estadísticas de los puntos medidos; cuantifican la autocorrelación espacial entre los puntos medidos.

Los métodos de interpolación determinísticos pueden ser divididos en dos grupos: globales y locales. Los métodos globales utilizan todos los datos disponibles para efectuar una estimación válida para toda la región de interés; en cambio los métodos locales operan dentro de una pequeña zona alrededor de la ubicación donde se desea obtener un valor interpolado.

Tomando como factores determinantes la extensión del territorio ecuatoriano y la actual densificación de las estaciones meteorológicas, se aplicó el método Inverso de la Distancia, interpolador local, como una de las técnicas de interpolación para los datos climáticos en estudio, debido a que dicho método considera a la distancia entre los puntos medidos y los puntos desconocidos como el factor que influencia el valor a predecir.

Los interpoladores locales no utilizan información auxiliar y únicamente se sirven de los datos climáticos de las estaciones existentes. Captan bien la variabilidad de alta frecuencia, es decir, las variaciones del clima debidas a factores de carácter más local. Estos métodos seleccionan un conjunto de estaciones cercanas al punto en el que queremos obtener el valor climático y aplican una función matemática que trata de representar la variación de la variable climática en el espacio.

El inverso de la distancia (IDW) implementa la asunción de que las cosas que se encuentran más cercanas entre sí tienen mayor relación que aquellas que están más distanciadas. Para predecir el valor para cualquier punto sin medida, IDW utilizará los valores medidos alrededor de la ubicación a predecir. Los valores medidos más cercanos a la ubicación a predecir tendrán mayor influencia en el valor de dicha ubicación que aquellos más lejanos (Figura 14).

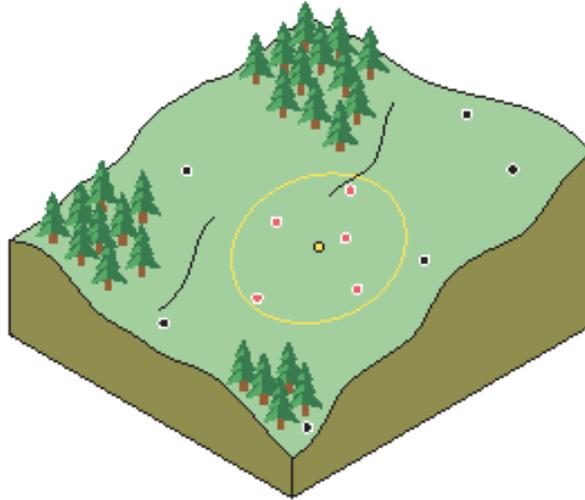


Figura 14. Fundamento Geográfico de Vecindad.
Fuente: Using ArcGIS Geostatistical Analyst, 2001, 2003 ESRI.

Adicionalmente, a los datos climáticos se les aplicó Kriging como método de interpolación geoestadístico. Los métodos geoestadísticos tienen ventajas frente a los métodos deterministas al tener en cuenta la autocorrelación espacial de los datos. Los métodos de kriging estiman el valor que un determinado atributo tomaría en un punto a partir de los valores observados en los puntos vecinos, teniendo en cuenta unos factores de ponderación determinados. Esta ponderación no sólo tiene en cuenta la distancia, sino que también toma en consideración la relación espacial general que en todo el área de estudio se establece entre los valores de los diferentes pares de puntos situados a distancias similares, integrando de esta forma una consideración espacial más amplia sobre la variación del atributo que la que asumen los métodos de interpolación local.

Kriging utiliza un semivariograma, una función de la distancia y la dirección separando dos puntos, para cuantificar la dependencia espacial en los datos. Un semivariograma se construye calculando la mitad del promedio de la diferencia cuadrada de los valores de todos los pares de mediciones en ubicaciones separadas por una determinada distancia h . El semivariograma es dibujado en el eje y respecto a la distancia de separación h .

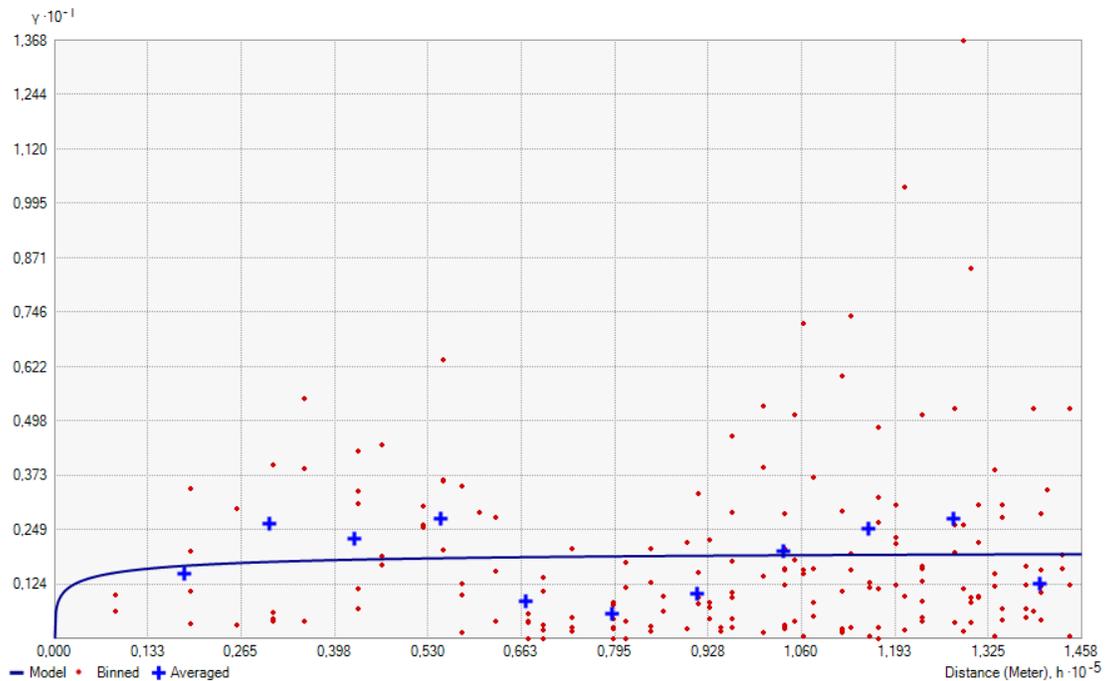


Figura 15. Modelo de Semivariograma.

La Figura 15 muestra los valores del semivariograma para pares de puntos (en rojo) y los promedios para un conjunto de intervalos de distancia entre puntos (en azul). La línea azul en la figura muestra el modelo de semivariograma estimado. Este modelo de semivariograma es utilizado para definir los pesos que determina la contribución de cada observación a la predicción de nuevos valores en ubicaciones sin muestrear.

Varios métodos son asociados a la geoestadística, pero todos ellos se encuentran dentro de la familia de kriging. Kriging ordinario, simple, universal, probabilístico, indicador y disyuntivo son algunos de los métodos existentes. Para el caso de estudio, en relación a los métodos disponibles en la extensión de análisis geoestadístico de ArcGIS 10.3 y bajo la evaluación del Error Medio Cuadrático (RMSE) de los resultados, se optó por aplicar el método de Kriging Bayesiano Empírico.

El Kriging Bayesiano Empírico (en inglés, *Empirical Bayesian Kriging* – EBK) difiere de los métodos clásicos de kriging ya que representa el error introducido mediante la estimación del modelo de semivariograma. Esto se realiza estimando y luego utilizando varios modelos de semivariograma en lugar de un semivariograma único. Este proceso conlleva los siguientes pasos:

1. Un modelo de semivariograma es estimado de los datos.
2. Utilizando este semivariograma, un nuevo valor es simulado en cada uno de los datos de entrada de las ubicaciones.
3. Un nuevo modelo de semivariograma es estimado de los datos simulados. Un peso para este semivariograma es calculado utilizando el teorema de Bayes, el cual muestra cuan parecidos los datos observados pueden ser generados del semivariograma.

Se repiten los pasos dos (2) y tres (3) del proceso. Con cada repetición, el semivariograma estimado en el paso 1 es usado para simular un nuevo conjunto de valores en los datos de entrada. Los datos simulados son usados para estimar un nuevo modelo de semivariograma y sus pesos. Las predicciones y los errores estándar de las predicciones son producidos en las ubicaciones sin muestreo usando estos pesos.

Este proceso crea un espectro de semivariogramas. Cada semivariograma es un estimado del verdadero semivariograma de donde el proceso observado puede ser generado. En la Figura 16 se muestra el espectro de modelos de semivariograma dibujados juntos. La mediana de la distribución es mostrada con una línea continua roja. Los percentiles 25 y 75 son coloreados con líneas entrecortadas rojas. El ancho de las líneas azules es proporcional a los pesos de los semivariogramas de manera que los modelos con pesos más pequeños se muestran con líneas más finas.

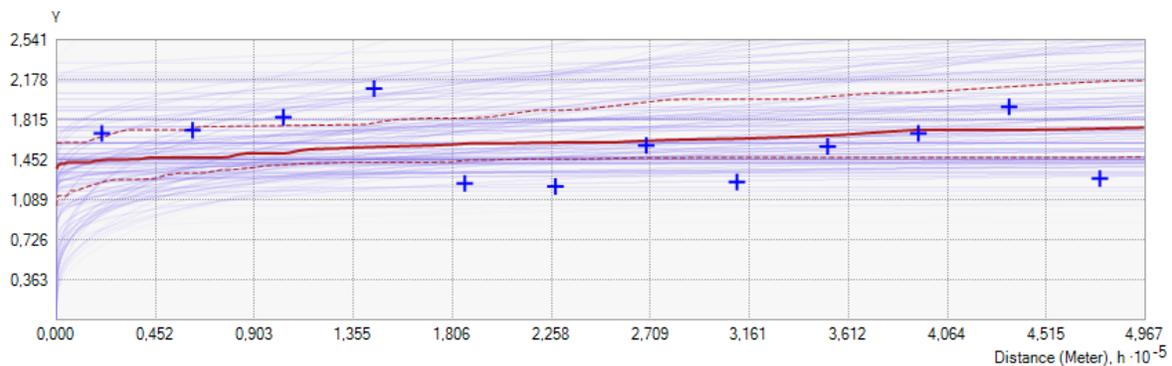


Figura 16. Espectro de Modelos de Semivariogramas.

Algunos estudios han demostrado que Kriging provee mejores estimaciones que otros métodos (ej. Phillips, 1992), pero otros autores han encontrado que los resultados dependen de la densidad de la muestra (ej. Dirks, 1998).

a. Extensión Geostatistical Analyst de ArcGIS

La extensión geostatistical analyst (análisis geoestadístico) de ArcGIS permite modelar superficies usando métodos determinísticos y geoestadísticos. Se compone de dos grandes conjuntos de herramientas: el análisis exploratorio de datos espaciales y el geostatistical wizard.

El análisis exploratorio de los datos espaciales permite investigar gráficamente el conjunto de datos para tener un mayor entendimiento de los mismos. Cada herramienta de la exploración provee una vista diferente de los datos. Las diferentes vistas son el Histograma, Mapa Voroni, QQplot normal, análisis de tendencias, nube de semivariograma/covarianza, QQplot general y nube de crosscovarianza.

Para el caso de estudio se analizaron los valores en busca de normalidad en los datos a través del histograma y el diagrama QQplot normal; se estudiaron tendencias y con el uso del semivariograma se examinaron las características locales de la autocorrelación espacial en los conjuntos de datos y se buscaron valores atípicos.

Geostatistical wizard es un asistente informático que permiten modelar las superficies (Figura 17). Se compone de una serie de pasos en los cuales se detallan un número de parámetros. Provee además una serie de cajas de dialogo que contienen herramientas analíticas para asistir en la determinación de los valores de los parámetros. Algunas cajas de dialogo y herramientas son aplicables a casi todos los métodos de interpolación, tales como especificar la vecindad, validación cruzada y suavizado; otros son específicos para métodos geoestadísticos, como el modelo de semivariograma, las transformaciones y análisis de tendencias.

Para el caso de estudio se aplicó el método determinístico Inverso de la Distancia en el cual se especificó valores de potencia entre 1 y 2, y un factor de suavizado de 0,2. El método geoestadístico exigió mayor análisis de los factores de transformación y suavizado o vecindad.

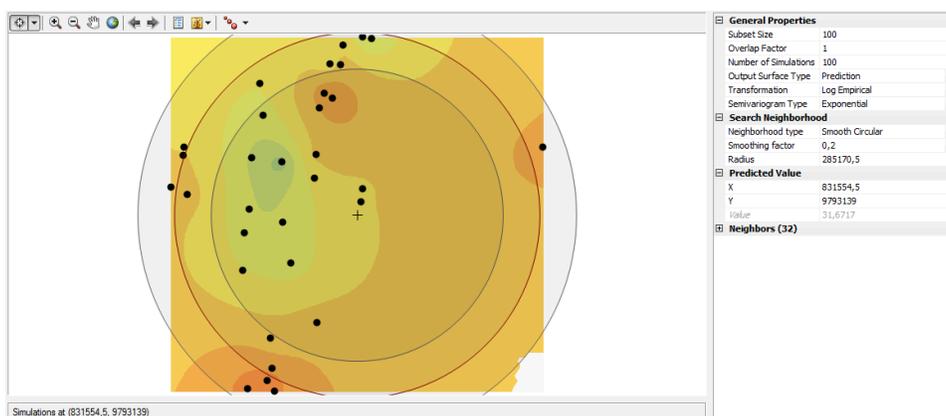


Figura 17. Geostatistical Wizard – Parámetros para interpolación.

Previo a la finalización en la generación de una superficie, geostatistical wizard provee de una serie de estadísticas que permiten tomar una decisión informada para la selección del mejor modelo de predicción. La validación cruzada permite comparar los valores predichos con los valores observados. La herramienta también presenta una serie de gráficos y resúmenes de los valores medidos versus los valores predichos (Figura 18). Finalmente algunas estadísticas generales de los errores de la predicción son introducidas.

Para el caso de estudio se analizó la relación entre los valores predichos y los valores medidos buscando siempre imparcialidad en las predicciones, que el error medio absoluto (MAE) sea cercano a cero, y que las predicciones sean lo más cercanas a los valores medidos y que el error medio cuadrático (RMSE) tienda a ser lo más pequeño posible. Adicionalmente para los métodos geoestadísticos se valoró la incertidumbre al comparar la relación entre el error medio cuadrático y el error estándar promedio.

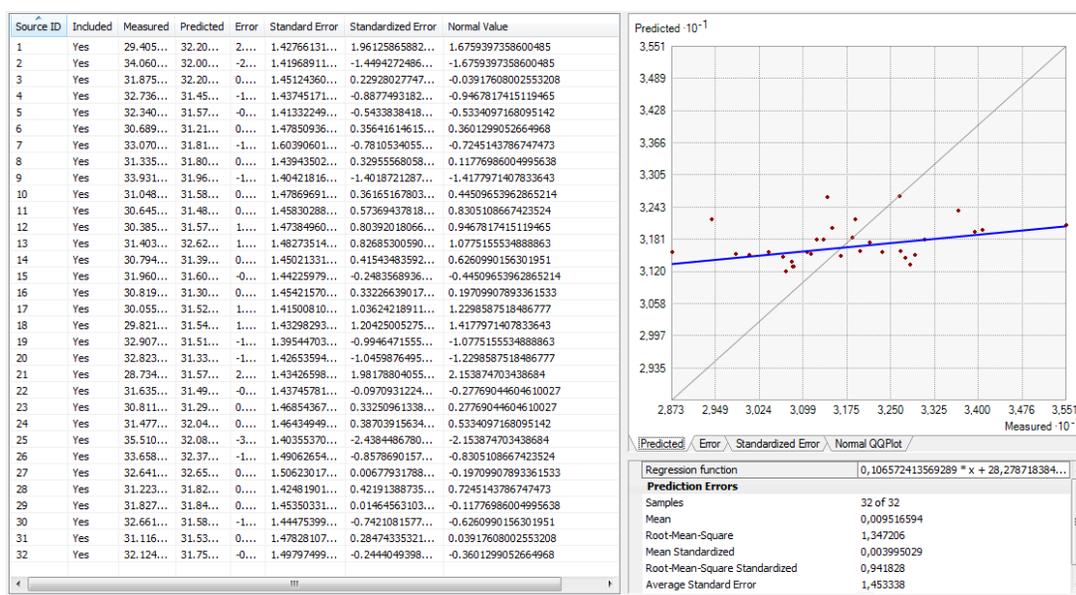


Figura 18. Resumen de Valores de Validación Cruzada.

b. Modelos de Regresión Lineal

Basado en la información obtenida del análisis de las observaciones climatológicas, es posible establecer la correlación negativa entre la temperatura y la elevación, a medida que la elevación aumenta la temperatura disminuye y viceversa; considerando ésta relación, es posible calcular una corrección a los datos de temperatura mediante la generación de un modelo de regresión lineal.

El análisis mediante la técnica de corrección que considera el gradiente térmico vertical, se basa en la metodología descrita en Fries et al., 2009. Se utiliza la siguiente función de regresión lineal:

$$T = \Gamma \cdot z + b$$

Donde,

T = valor mensual de temperatura del aire [°C]

Γ = pendiente (gradiente altitudinal)

b = intercepto de la regresión

z = valor de altitud [m]

Se procedió al cálculo de las funciones de regresión lineal en base a los datos de temperatura mínima, media y máxima, y a la elevación, de los valores observados y los valores proyectados para los diferentes periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 para cada uno de los RCP (2.6, 4.5, 6.0 y 8.5) (Figura 19).

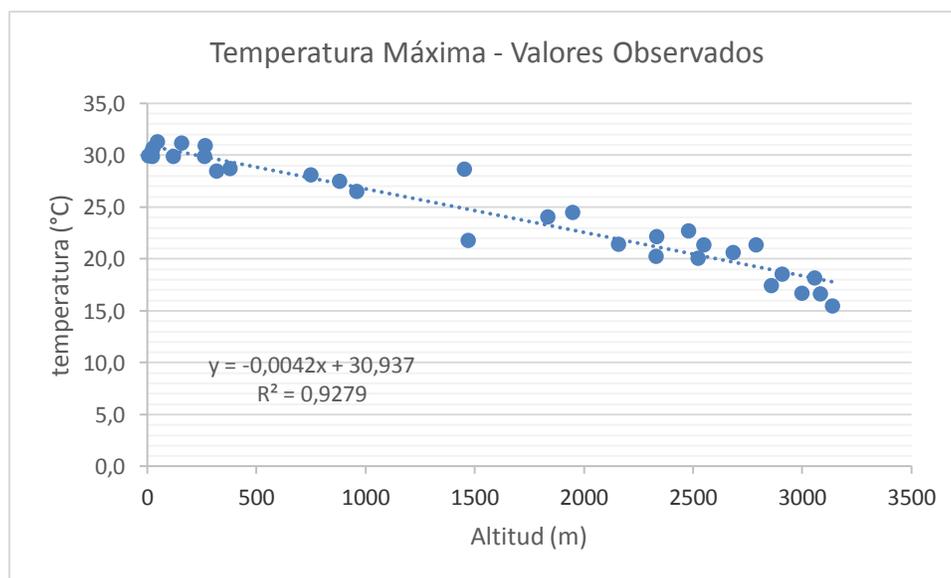


Figura 19. Modelo de Regresión Lineal entre Valores de Temperatura Máxima y Elevación.

La fórmula para la transformación de los datos de temperatura al valor de altura de referencia, es la siguiente:

$$T_r = T + (\Gamma \cdot (z_1 - z_2))$$

Donde,

T_r = valor de temperatura considerando el valor de altura de referencia

z_1 = valor de altura de referencia [0 m]

z_2 = altitud de la estación meteorológica [m]

Se calculan los valores de temperatura considerando un valor de altura de referencia de 0 m.s.n.m (Tabla 4).

Tabla 4. Valores de temperatura ajustados a una altura de referencia.

Temperatura Máxima Valores Observados							
Estación	Promedio Anual (°C)	Elevación (m)	T_r Promedio Anual (°C)	Estación	Promedio Anual (°C)	Elevación (m)	T_r Promedio Anual (°C)
M0001	15,5	3140	28,67	M0102	16,7	3000	29,31
M0002	22,8	2480	33,17	M0103	17,4	2860	29,46
M0003	18,2	3058	31,06	M0105	21,4	2550	32,08
M0004	20,6	2685	31,9	M0107	22,2	2335	32,01
M0005	31,3	46	31,48	M0123	21,8	1471	28,01
M0006	29,9	120	30,38	M0128	18,6	2910	30,79
M0007	30,9	265	32,03	M0130	20,2	2330	30,03
M0008	26,5	960	30,55	M0142	20,1	2525	30,67
M0024	21,4	2789	33,07	M0143	28,7	1453	34,77
M0025	28,7	379	30,33	M0146	24,5	1950	32,66
M0026	28,5	319	29,8	M0147	24	1835	31,75
M0031	16,7	3083	29,63	M0165	30,3	20	30,41
M0033	21,4	2160	30,48	M0169	29,9	263	30,99
M0037	29,9	23	29,98	M0171	31,2	156	31,85
M0041	27,5	880	31,18	M0176	30,7	25	30,81
M0051	29,9	7	29,97	M0189	28,1	750	31,27

Con los datos obtenidos (T_r) se llevan a cabo los cálculos de las superficies de interpolación a través de métodos determinísticos y geoestadísticos (Figura 20).

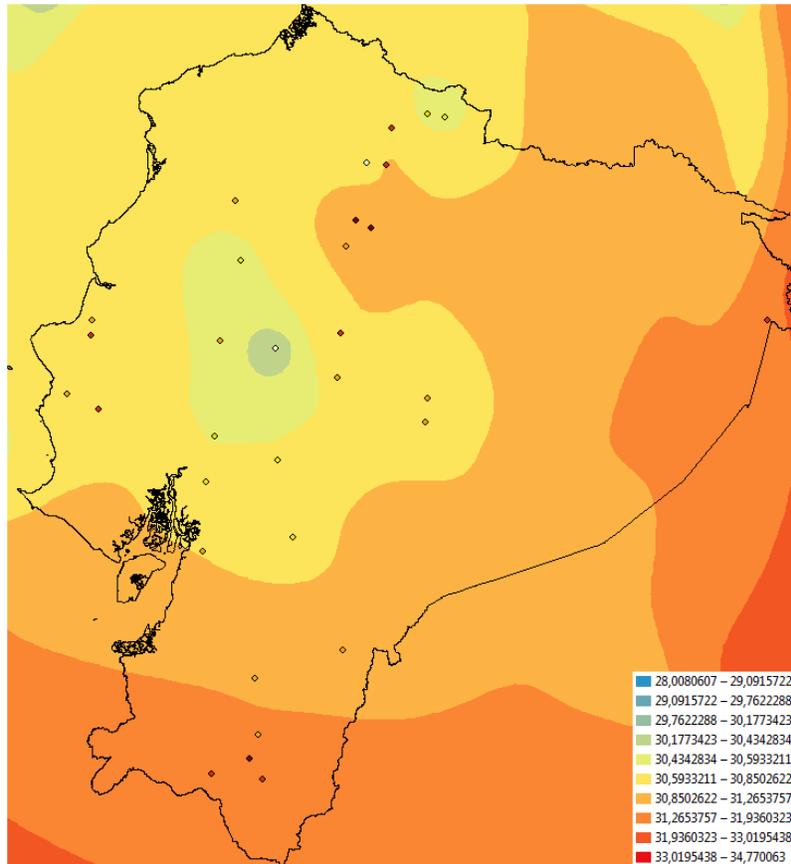


Figura 20. Superficie interpolada con valores de temperatura a una altura de referencia.

A partir de las superficies generadas por la interpolación espacial, se llevó a cabo el restablecimiento de la distribución vertical de cada variable de temperatura, utilizando para ello un Modelo Digital de Elevaciones SRTM con una resolución de 90 metros.

La fórmula para el restablecimiento de la distribución vertical de la temperatura, es la siguiente:

$$T_f = T_r + (\Gamma(z_{DEM} - z_1))$$

Donde,

T_f = valor final de la variable

T_r = valor de temperatura considerando el valor de altura de referencia

z_{DEM} = Modelo digital de elevación

z_1 = altura de referencia

En ArcGIS el cálculo se aplica con el uso de la herramienta “Raster Calculator”; es necesario considerar que el tamaño de la celda de la superficie interpolada debe ser igual a la resolución del modelo digital de elevación (Figura 21).

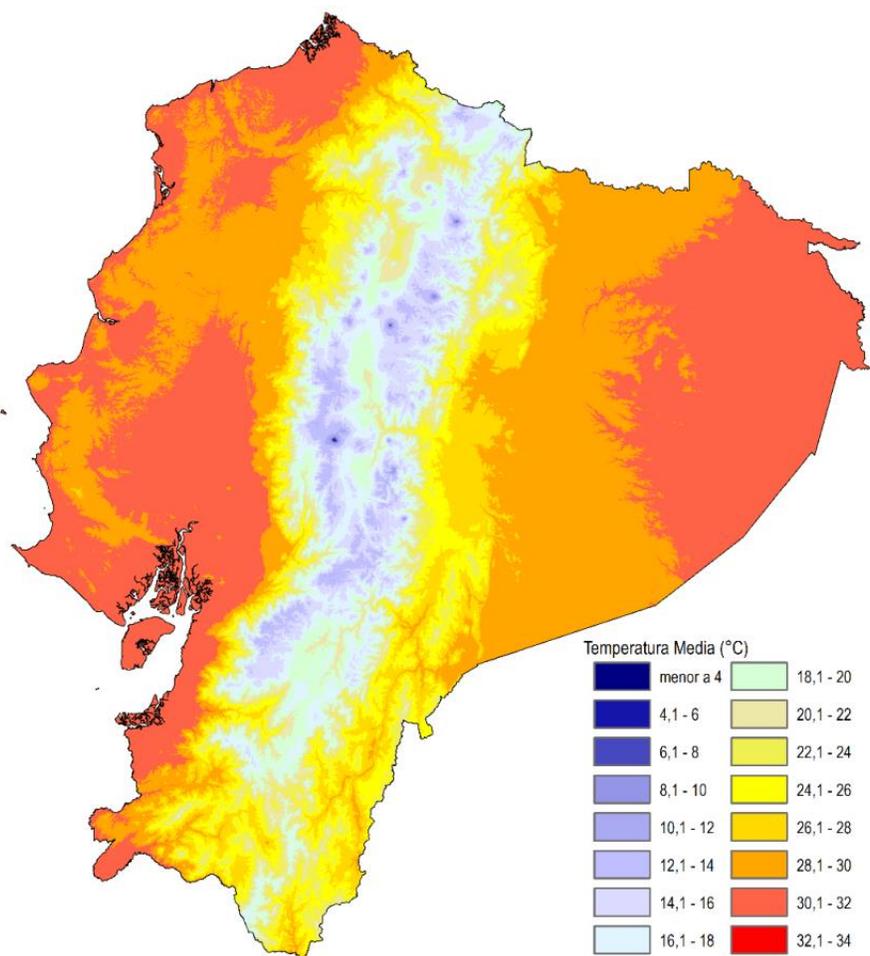


Figura 21. Superficie interpolada con valores de temperatura reestablecidos.

RESULTADOS

Selección de los modelos globales a utilizar

Con el proceso de evaluación mencionado anteriormente en la metodología, se observa que, bajo la clasificación tipo “semáforo”, los 15 modelos presentan una buena representación para la región, y por ello no estaría bien en clasificarlos como “malos” y “buenos”, sino que, como deben seleccionarse únicamente cuatro de ellos, se deben seleccionar aquellos que tienen el mejor comportamiento en comparación con los otros modelos.

Para la métrica de correlación, en términos generales, todos los modelos mostraron buenos valores (superiores a 0,4). Con el fin de clasificar los modelos, se consideró que un modelo es muy bueno (verde) si su valor de correlación es mayor a 0,5, bueno si el valor está entre 0,45 y 0,499 (amarillo) y no tan bueno si es inferior a 0,449 (rosado).

En cuanto al sesgo (BIAS), los modelos presentaron un muy buen comportamiento, especialmente para las temperaturas, con sesgos de centésimas de grado. Sin embargo, como hay que clasificar los modelos, se consideró para precipitación que un modelo es muy bueno (verde) si posee un sesgo inferior a 0,35mm, bueno si el valor está entre 0,351 y 0,45mm (amarillo) y no tan bueno si es superior a 0,451mm (rosado). Para las temperaturas, como el BIAS es muy bajo, se consideró que un modelo es muy bueno (verde) si posee un sesgo inferior a 0,01°C, bueno si el valor está entre 0,01°C y 0,02°C (amarillo) y no tan bueno si es superior a 0,02°C (rosado). Se reitera que esta clasificación se hace únicamente con el fin de seleccionar 4 modelos.

Finalmente, de una manera análoga al sesgo (BIAS), para el RMSE los modelos presentaron un muy buen comportamiento para las temperaturas, y no tan bueno para precipitación (las diferencias de precipitación fueron superiores a 80mm). Al clasificar los modelos, se consideró para precipitación que un modelo es muy bueno (verde) si posee un RMSE inferior a 90mm, bueno si el valor está entre 90 y 95mm (amarillo) y no tan bueno si es superior a 95mm (rosado). Para las temperaturas, un modelo es muy bueno (verde) si posee un RMSE inferior a 1°C, bueno si el valor está entre 1°C y 1,45°C (amarillo) y no tan bueno si es superior a 1,45°C (rosado) (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de los 15 modelos según las métricas seleccionadas.

Resumen Métricas	CORRELACIÓN				BIAS				RMSE			
	MODELO	Prec	Tmed	Tmax	Tmin	Prec	Tmed	Tmax	Tmin	Prec	Tmed	Tmax
bcc-csm1-1-m	0,51	0,461	0,428	0,427	0,358	0,010	0,013	0,007	89,2	0,819	1,184	1,033
CCSM4	0,46	0,557	0,5	0,468	0,418	0,009	0,009	0,006	93,3	0,722	1,098	1,006
CSIRO-Mk3-6-0	0,51	0,535	0,439	0,486	0,397	0,008	0,014	0,006	91,2	0,717	1,176	0,980
FIO-ESM	0,47	0,506	0,458	0,515	0,499	0,008	0,010	0,005	93,6	0,775	1,117	0,952
GFDL-CM3	0,49	0,358	0,272	0,419	0,346	0,008	0,016	0,009	88,6	0,925	1,507	1,041
GISS-E2-H	0,48	0,49	0,498	0,465	0,411	0,006	0,009	0,005	92,2	0,732	1,020	0,976
GISS-E2-R	0,51	0,495	0,499	0,482	0,402	0,004	0,008	0,004	88,4	0,723	1,003	0,959
HadGEM2-AO	0,43	0,539	0,526	0,472	0,613	0,004	0,006	0,004	103,3	0,704	0,978	0,973
IPSL-CM5A-LR	0,54	0,567	0,508	0,37	0,301	0,012	0,009	0,010	86,3	0,685	1,018	1,250
IPSL-CM5A-MR	0,51	0,555	0,501	0,389	0,352	0,006	0,007	0,008	88,0	0,673	1,019	1,124
MIROC5	0,56	0,467	0,367	0,499	0,186	0,008	0,025	0,004	82,0	0,761	1,459	0,929
MIROC-ESM	0,55	0,483	0,404	0,509	0,176	0,005	0,018	0,003	83,4	0,705	1,222	0,928
MIROC-ESM-CHEM	0,47	0,506	0,424	0,487	0,462	0,009	0,009	0,006	92,9	0,753	1,170	0,966
MRI-CGCM3	0,46	0,524	0,477	0,469	0,479	0,005	0,011	0,006	95,1	0,682	1,056	0,965
NorESM1-ME	0,51	0,452	0,464	0,437	0,320	0,004	0,007	0,005	87,1	0,875	1,038	0,994

Con base en la tabla anterior, y dándole un mayor peso a las métricas para Precipitación y Temperatura Media (puesto que son las variables principales a utilizar en la Tercera Comunicación), se hizo el ranking de los modelos (Tabla 6). Para este ranking, Precipitación y Temperatura Media tienen un peso del 35% cada uno, y las otras temperaturas 15% cada una. Para la correlación, la suma de los valores obtenidos ponderados por los porcentajes anteriores, se clasifican los modelos del mayor al menor valor resultante; mientras que para el BIAS y el RMSE los modelos se clasifican del menor al mayor valor obtenido.

Tabla 6. Ranking de los 15 modelos según los valores de las métricas seleccionadas.

1. IPSL-CM5A-MR	2. MIROC-ESM	3. GISS-E2-R	4. CSIRO-Mk3-6-0
5. IPSL-CM5A-LR	6. NorESM1-ME	7. GISS-E2-H	8. MIROC5
9. bcc-csm1-1-m	10. CCSM4	11. MIROC-ESM-	12. HadGEM2-AO
13. MRI-CGCM3	14. GFDL-CM3	15. FIO-ESM	

A partir de este ranking, se seleccionaron los 4 primeros modelos de la lista, los cuales son los que mejor representación tienen del clima para Ecuador (Tabla 7).

Tabla 7. Listado de modelos seleccionados para la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador

Modelo	Institución	Resolución (°)
CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO-QCCCE – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence	1.875x1.8653
GISS-E2-R	NASA-GISS – NASA Goddard Institute for Space Studies	2.5x2
IPSL-CM5A-MR	IPSL - Institut Pierre-Simon Laplace	2.5x2.5352
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

Espacialización de la información

La elección del mejor método de interpolación para la generación de las superficies con variables climáticas se ha basado en el análisis de los estadísticos de error, identificando aquel que ofreció valores de Error Medio Absoluto (MAE) y Error Medio Cuadrático (RMSE) más bajos.

Para el caso de la variable Temperatura, se identificó al método de ponderación por inverso de la distancia como el método que ofrece un mejor ajuste a la superficie interpolada. Se concluyó que factores que afectan en la elección del método son el número de estaciones meteorológicas seleccionadas y su distribución espacial. A continuación se presenta una tabla comparativa que muestra los valores estadísticos de error que ayudaron a la selección del método.

	Empirical Bayesian Kriging		Inverse Distance Weighting	
	MAE	RMSE	MAE	RMSE
Temperatura Máxima	-0,10	1,37	0,02	1,35
Temperatura Media Observada	-0,08	0,79	-0,03	0,77
Temperatura Mínima Observada	-0,02	0,84	0,05	0,82

Para el caso de la variable Precipitación, se identificó al método de Kriging Bayesiano Empírico como el método más óptimo para la representación de la superficie continua de la variable. El mayor número de estaciones meteorológicas con valores de la variable en mención colaboró con la selección del método. A continuación se presenta una tabla comparativa con los valores estadísticos de error que ayudaron a la selección del método.

	Empirical Bayesian Kriging		Inverse Distance Weighting	
	MAE	RMSE	MAE	RMSE
Precipitación Observada	-1,53	416,90	-55,91	425,96

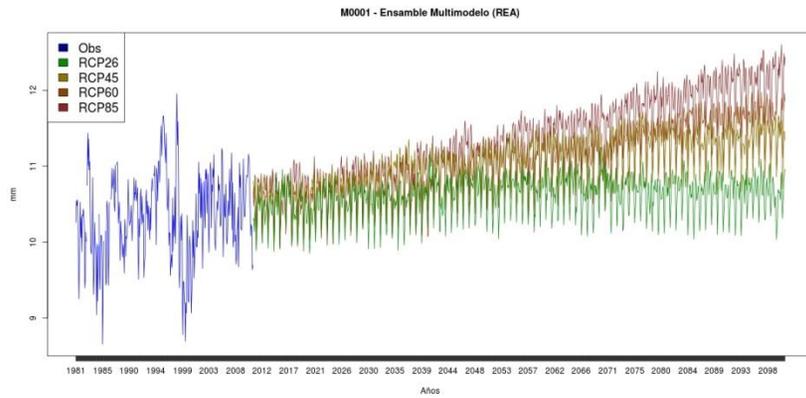
Los mapas finales tienen una escala de impresión de 1:3.000.000 y se presentan bajo los requisitos mínimos de información marginal para cartografía temática dictados por el Consejo Nacional de Geoinformática (CONAGE).

Cambios Proyectados en la Temperatura Media

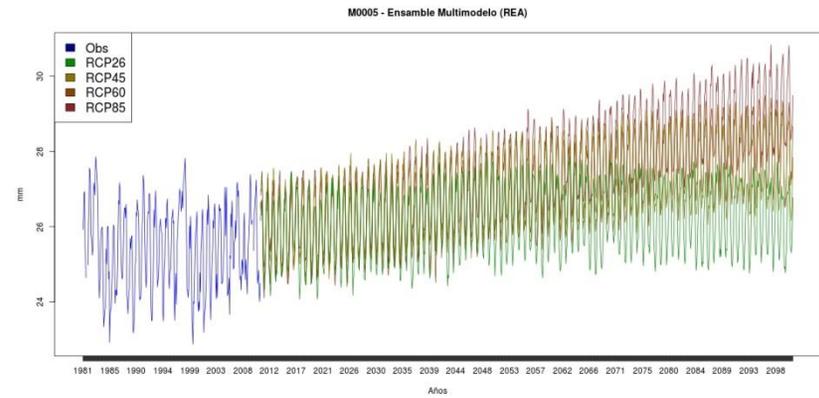
Con el fin de tener una idea de cómo sería el cambio de la temperatura proyectado por los escenarios RCP, se presenta a manera de ejemplo la proyección de la temperatura media de 4 estaciones de cada una de las regiones del país: Inguincho (M0001, ubicada en la Sierra Norte), Portoviejo (M0005, ubicada en la Costa Norte), Nuevo Rocafuerte (M0007, al oriente de la Amazonía) y San Cristóbal (M0221, ubicada en el archipiélago de Galápagos). Las series y los análisis fueron generados para las 32 estaciones con datos para esta variable, y utilizando el método de ensamble REA, descrito anteriormente.

En general, se puede apreciar que la temperatura mantendría una tendencia al aumento similar en los 4 RCP hasta mitad de siglo, y desde allí, para cada uno de ellos el cambio de esta variable es diferente. En el RCP 2.6 la tasa de incremento de la temperatura es prácticamente nula, e incluso, en algunos casos ésta cambia su tendencia de aumento a disminución. Los demás escenarios mantienen su tendencia al aumento hasta finales de siglo, siendo el RCP 8.5 el que mayor incremento de la temperatura presenta, con valores superiores a 2°C en todas las estaciones. Los mayores incrementos se presentarían en las estaciones de la Costa, Amazonía y Galápagos, y particularmente, en estas dos últimas regiones, los incrementos superan los 3°C (Figura 22).

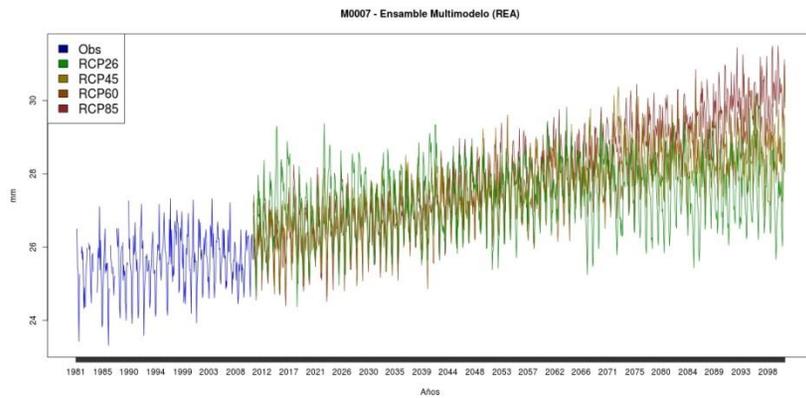
Al analizar la distribución de frecuencias de las temperaturas en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, se observa que para todas las regiones el comportamiento de la temperatura cambiaría, y para la Sierra, hacia finales de siglo el rango de valores de la misma sería superior a 1°C con respecto al comportamiento actual (Figura 23); para la Costa (Figura 24), la Amazonía (Figura 25) y Galápagos (Figura 26), se mantendría un comportamiento similar, aunque con valores de temperatura superiores en al menos 2°C con respecto al clima presente, y superior a 3°C para la Costa y Galápagos bajo el RCP 8.5. En comparación con la temperatura observada en el periodo de referencia 1981-2005, para el periodo 2011-2040 las regiones Costa y Amazonía presentarían los cambios más significativos en la temperatura, mostrando valores superiores en 1°C en la mayor parte de las mismas (Figura 27). En este periodo se observa que los cuatro escenarios presentan un rango de variación muy similar entre sí, esto es debido a que, en la definición de los escenarios (véase la sección “Escenarios RCP”), tanto el forzamiento radiativo como las concentraciones de gases de efecto invernadero llevan una trayectoria similar hasta mitad de siglo en los 4 RCP, y por lo tanto, en este periodo las proyecciones entre los escenarios son muy parecidas. Para 2041-2070, las proyecciones de los escenarios empiezan a diferir entre sí, mostrando los menores cambios de la temperatura bajo el RCP 2.6 (entre 1 y 1,5°C) y los mayores bajo el RCP 8.5 (entre 2 y 2,5°C) (Figura 28). Para finales de siglo, los cambios de la temperatura media superan los 2°C, siendo más marcados en la mayor parte del territorio bajo los RCP 4.5, 6.0 y 8.5 (Figura 29).



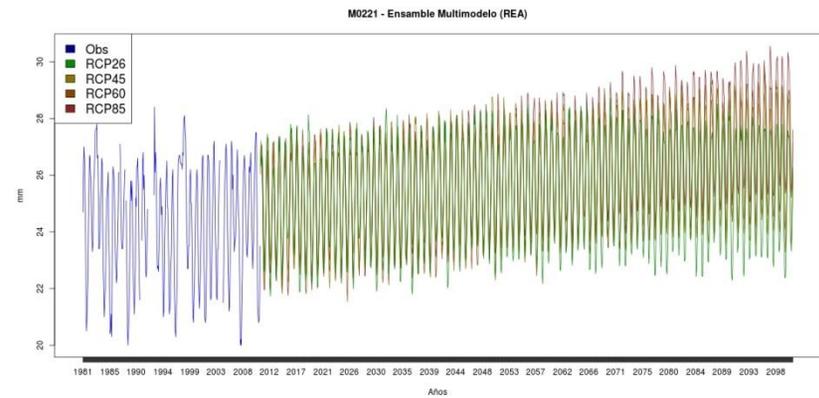
Estación Inguincho



Estación Portoviejo



Estación Nuevo Rocafuerte



Estación San Cristóbal

Figura 22. Series mensuales de la temperatura media observada (1981-2010) y proyectada (2011-2100) bajo los 4 escenarios RCP, para cuatro estaciones representativas de cada región del Ecuador.

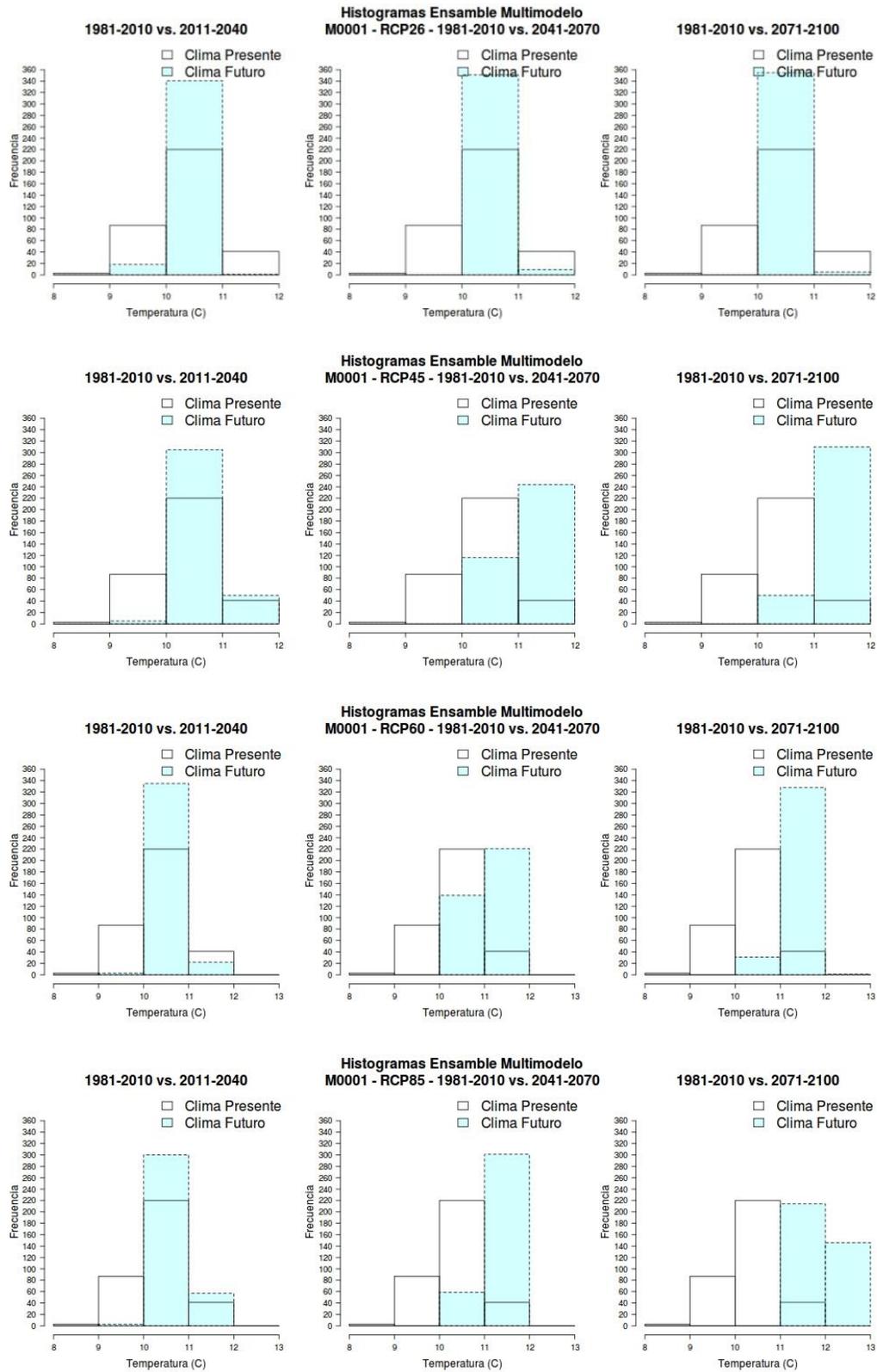


Figura 23. Histogramas de la temperatura media observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Inguincho.

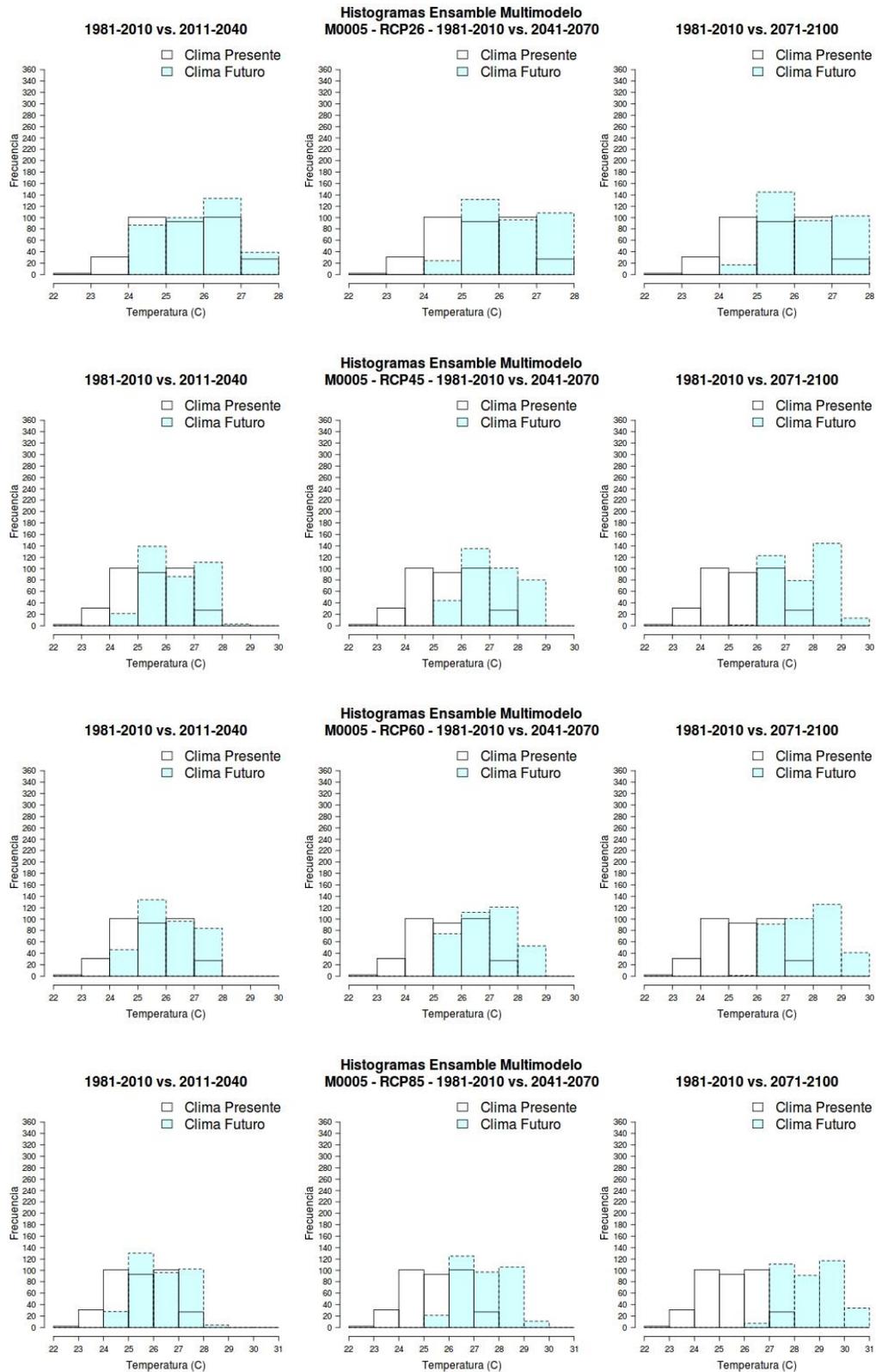


Figura 24. Histogramas de la temperatura media observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Portoviejo.

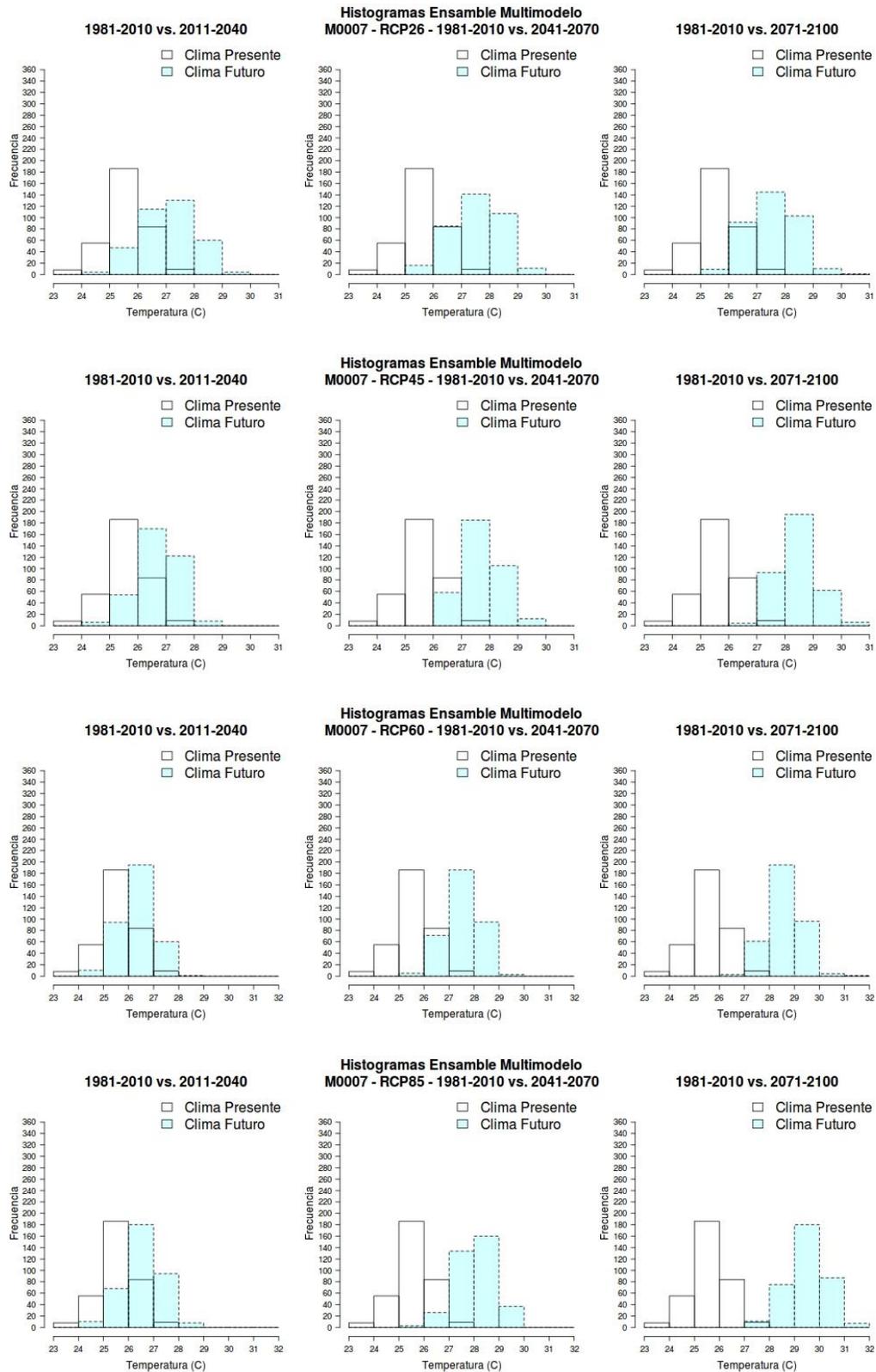


Figura 25. Histogramas de la temperatura media observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Nuevo Rocafuerte.

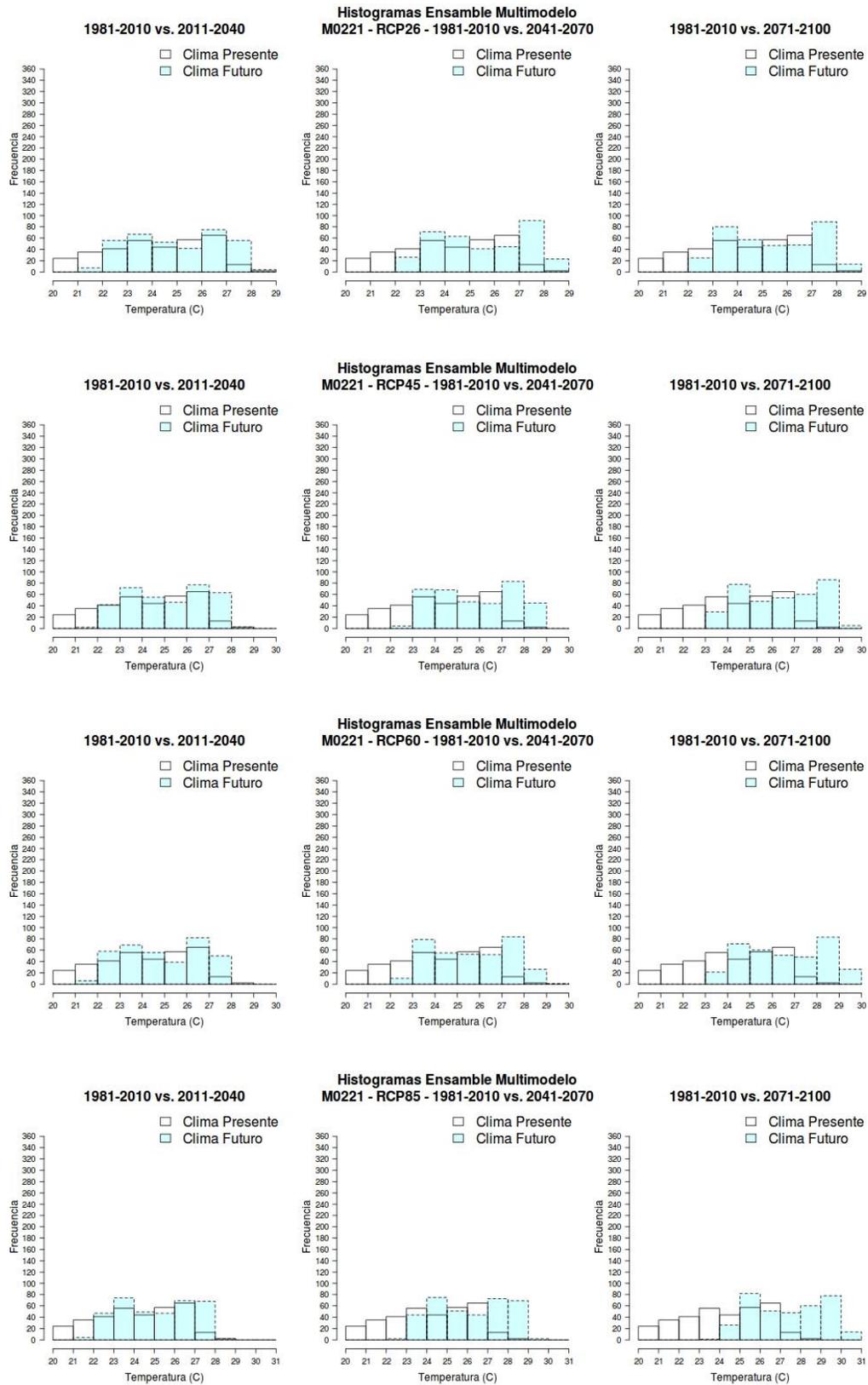


Figura 26. Histogramas de la temperatura media observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación San Cristóbal.

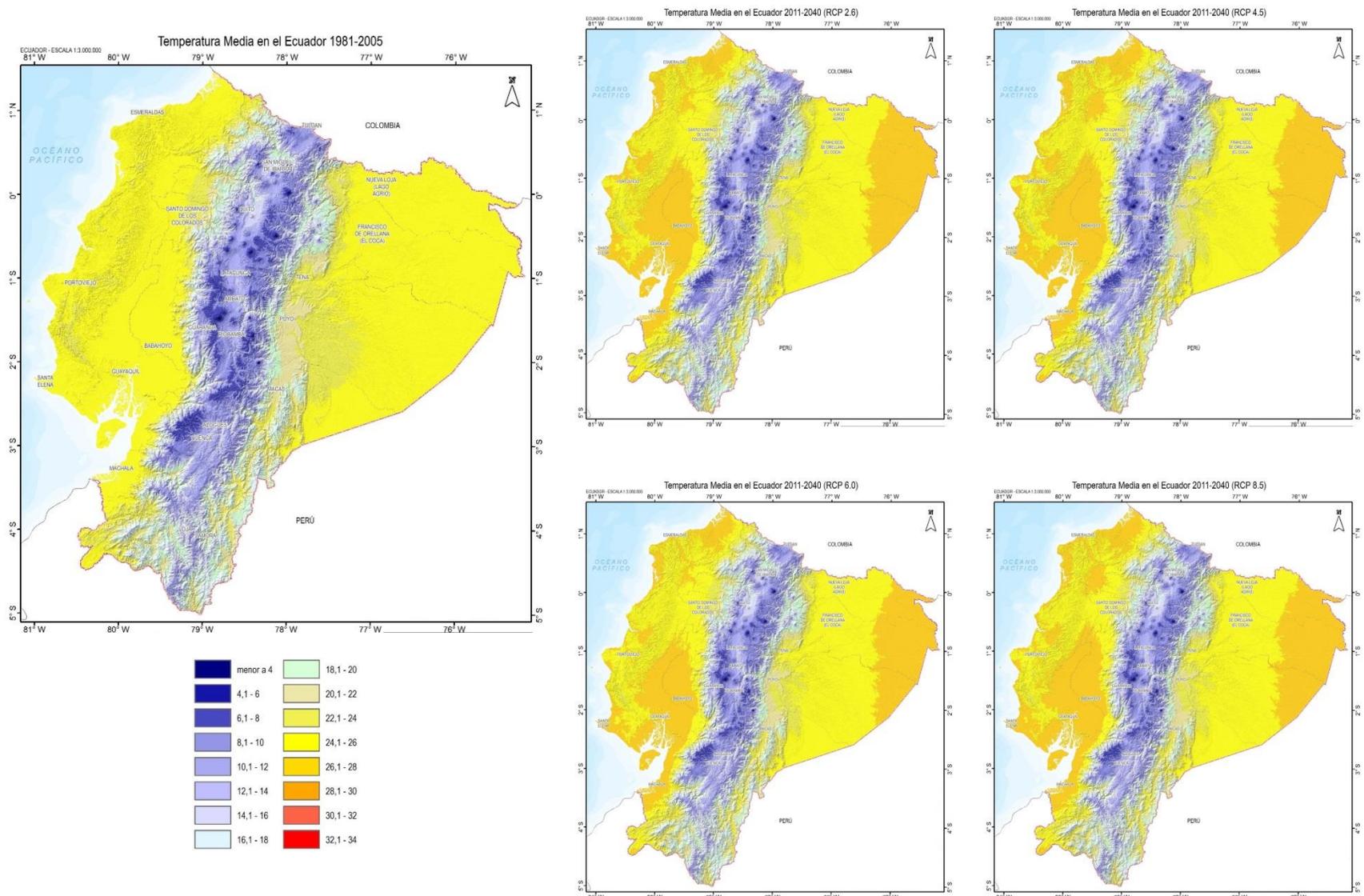


Figura 27. Temperatura media observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2011-2040.

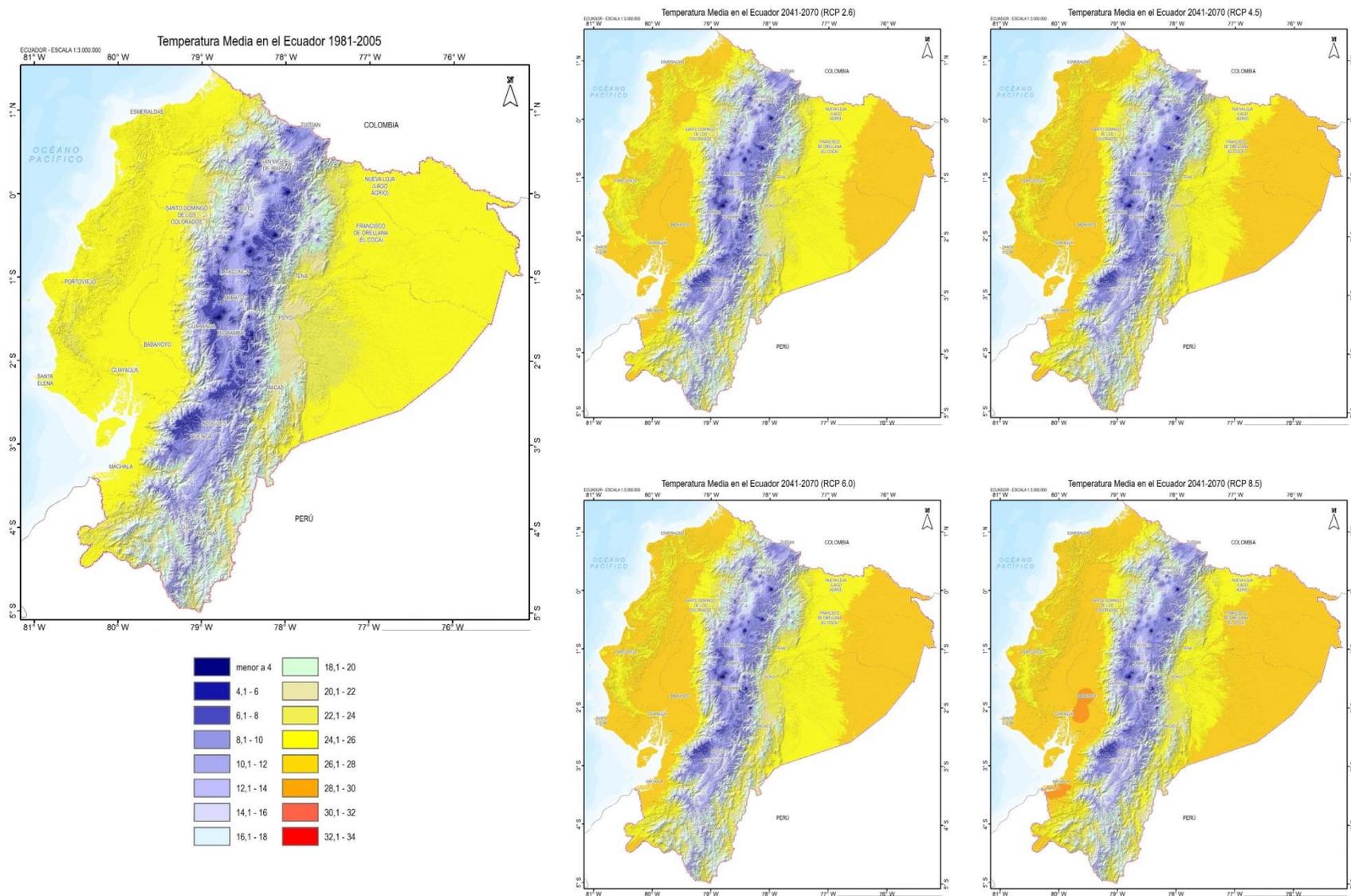


Figura 28. Temperatura media observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2041-2070.

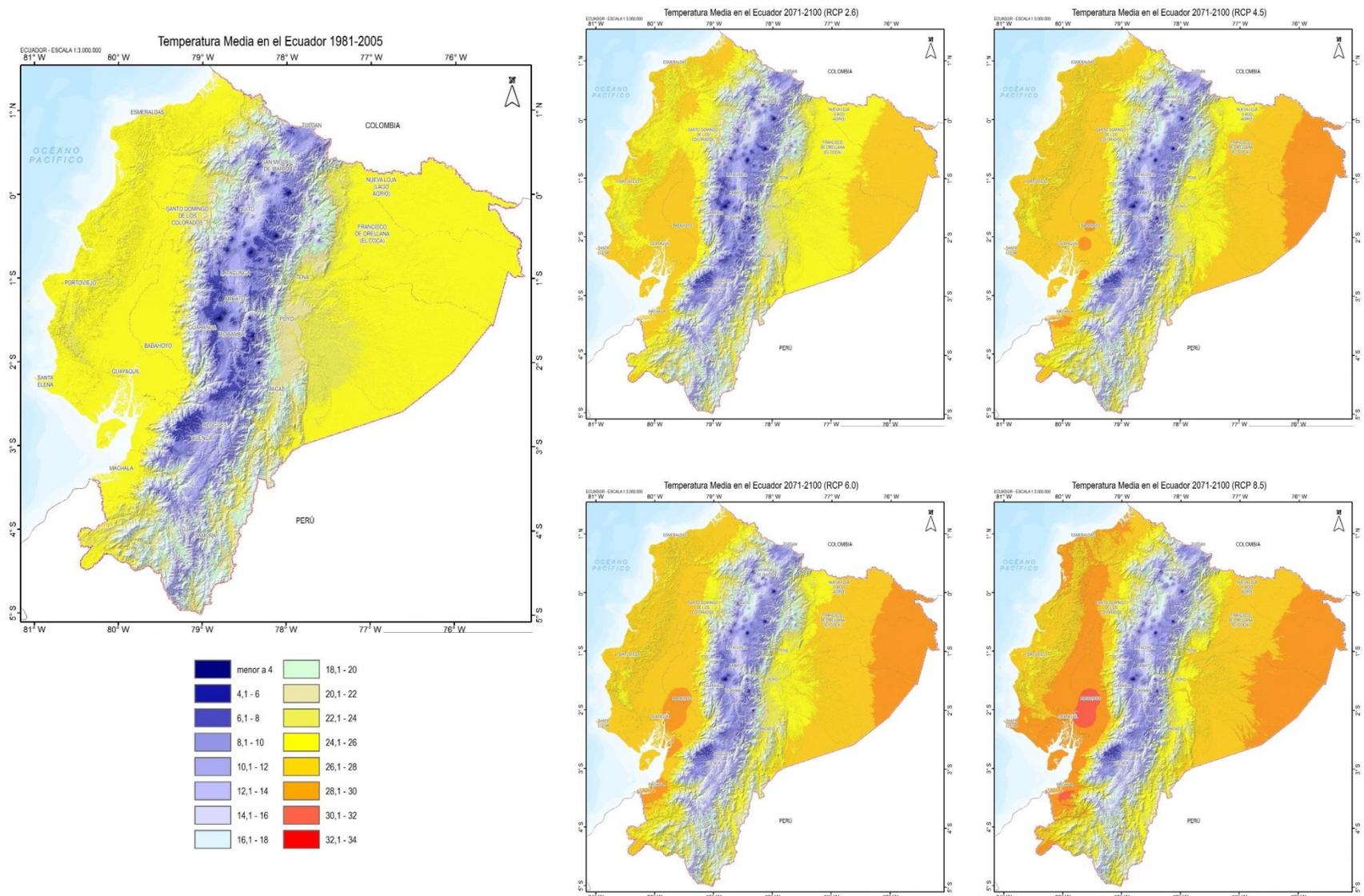


Figura 29. Temperatura media observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2071-2100.

Los cambios proyectados en la temperatura media para los 4 RCP, muestran que para 2011-2040, ésta se incrementaría entre 0,5 y 1°C en los cuatro escenarios. Para 2041-2070, los incrementos más altos se darían en la Amazonía y en la Costa, con anomalías superiores a 1°C, e incrementos superiores a 2°C bajo el RCP 8.5 en el suroccidente del país. Hacia finales de siglo, los aumentos más significativos en la temperatura media (superiores a 1,5°C) se darían bajo los RCP 4.5, 6.0 y 8.5, siendo en este último los más altos, con valores superiores a los 2°C en la mayor parte del territorio nacional. El escenario “optimista” (RCP 2.6) muestra que la temperatura presentaría un incremento entre 0,5 y 1°C a lo largo del siglo XXI (Figura 30).

A nivel estacional, para la temporada de lluvias de la Costa y Galápagos (Diciembre-Enero-Febrero), los escenarios muestran incrementos de temperatura del orden de 1°C para el periodo 2011-2040. Hacia mitad de siglo, la temperatura aumentaría entre 1,5 y 2,5°C, presentándose el mayor incremento bajo el RCP 8.5. Para finales de siglo, la temperatura sería 2°C superior al promedio 1981-2005, siendo las zonas con mayores incrementos la Amazonía y la Costa (Figura 31).

En Marzo-Abril-Mayo (Figura 32), la temperatura se incrementaría en al menos 1°C hacia 2040. Desde mitad de siglo en adelante, ésta presentaría incrementos muy marcados en la Amazonía y en la Costa, siendo los más críticos bajo el RCP 8.5 para finales de siglo, con anomalías superiores a los 3°C.

Para Junio-Julio-Agosto la Amazonía sería la zona que mayores aumentos de temperatura presentaría, con incrementos de temperatura de al menos 2°C desde mitad de siglo (Figura 33). La temperatura en Ecuador para este trimestre aumentaría en mínimo 1°C para 2011-2040, 1,5°C en 2041-2070 y 2°C para final del siglo XXI.

Finalmente, para Septiembre-Octubre-Noviembre, al igual que el trimestre anterior, la Amazonía es la zona en la que habría los mayores aumentos de temperatura (del orden de 2°C). Hacia 2040, el incremento sería de al menos 1°C; para mitad de siglo sería entre 1,5 y 2°C, y para 2071-2100 el aumento de esta variable sería de al menos 2,5°C, y con incrementos superiores a los 4°C en el sur y oriente del país (Figura 34).

ANOMALÍAS TEMPERATURA MEDIA - PROMEDIO ANUAL

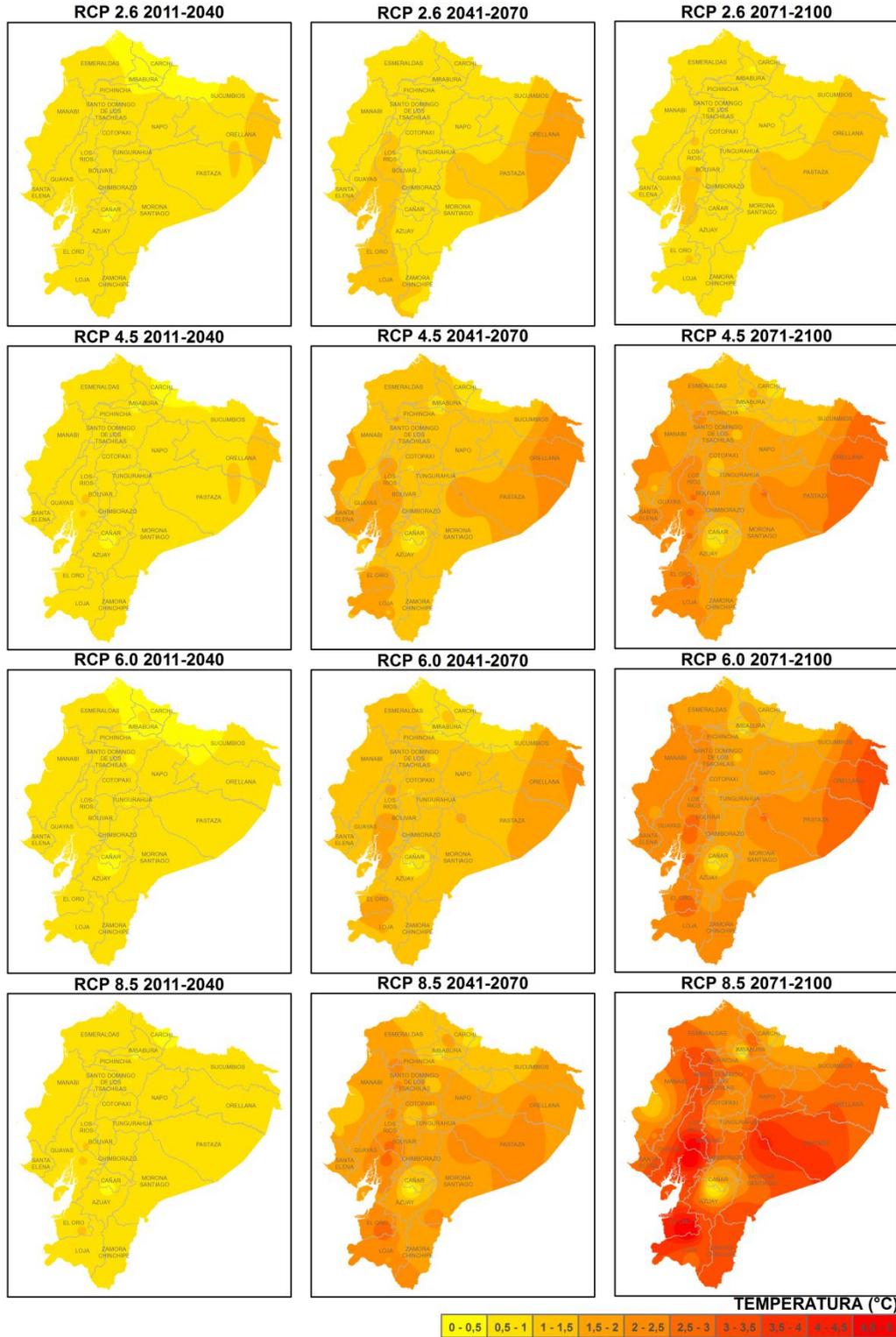


Figura 30. Distribución espacial del cambio de la temperatura media proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005.

ANOMALÍAS TEMPERATURA MEDIA - TRIMESTRE: DICIEMBRE ENERO FEBRERO

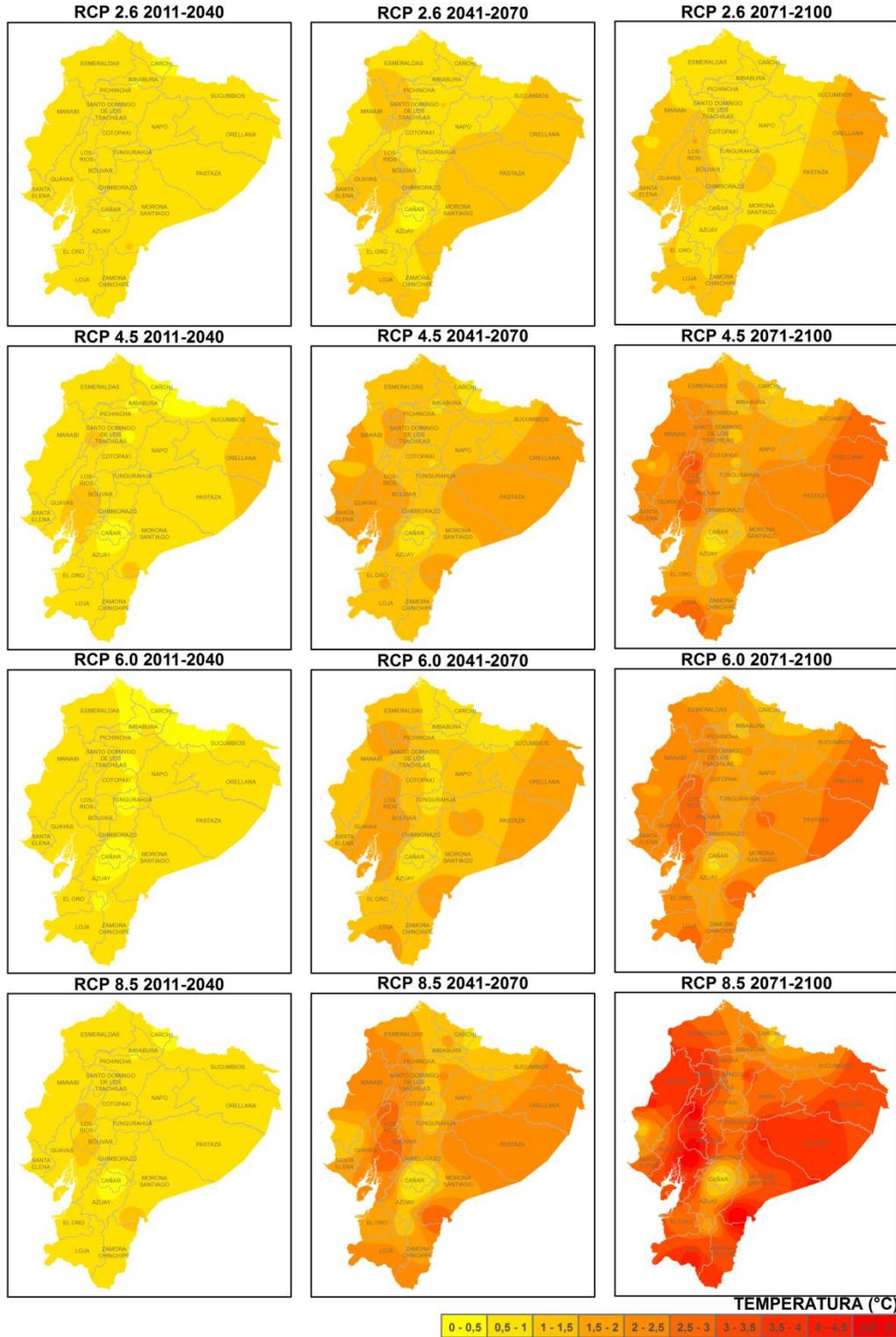


Figura 31. Distribución espacial del cambio de la temperatura media proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Diciembre-Enero-Febrero.

ANOMALÍAS TEMPERATURA MEDIA - TRIMESTRE: MARZO ABRIL MAYO

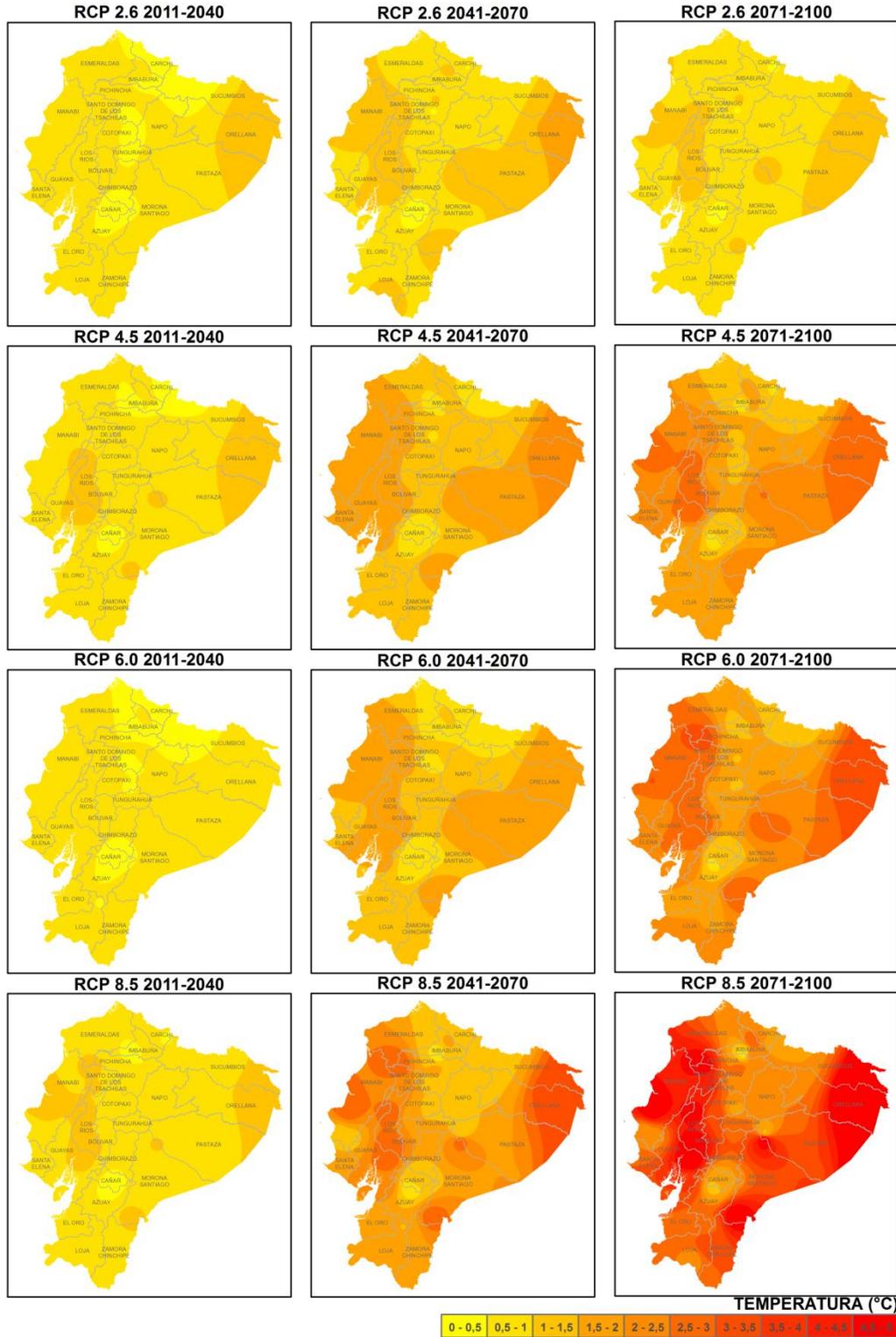


Figura 32. Distribución espacial del cambio de la temperatura media proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Marzo-Abril-Mayo.

ANOMALÍAS TEMPERATURA MEDIA - TRIMESTRE: JUNIO JULIO AGOSTO

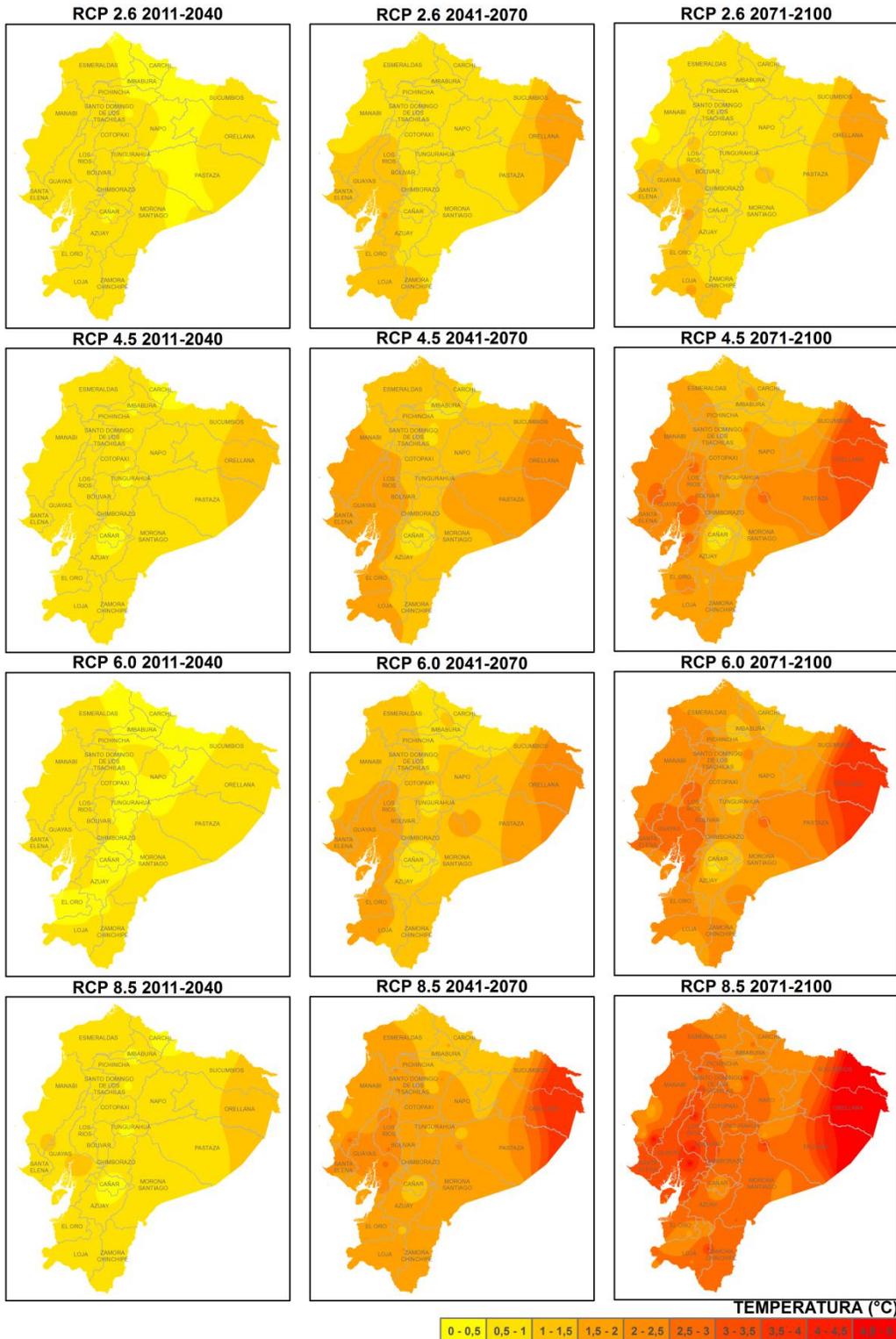


Figura 33. Distribución espacial del cambio de la temperatura media proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Junio-Julio-Agosto.

ANOMALÍAS TEMPERATURA MEDIA - TRIMESTRE: SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE

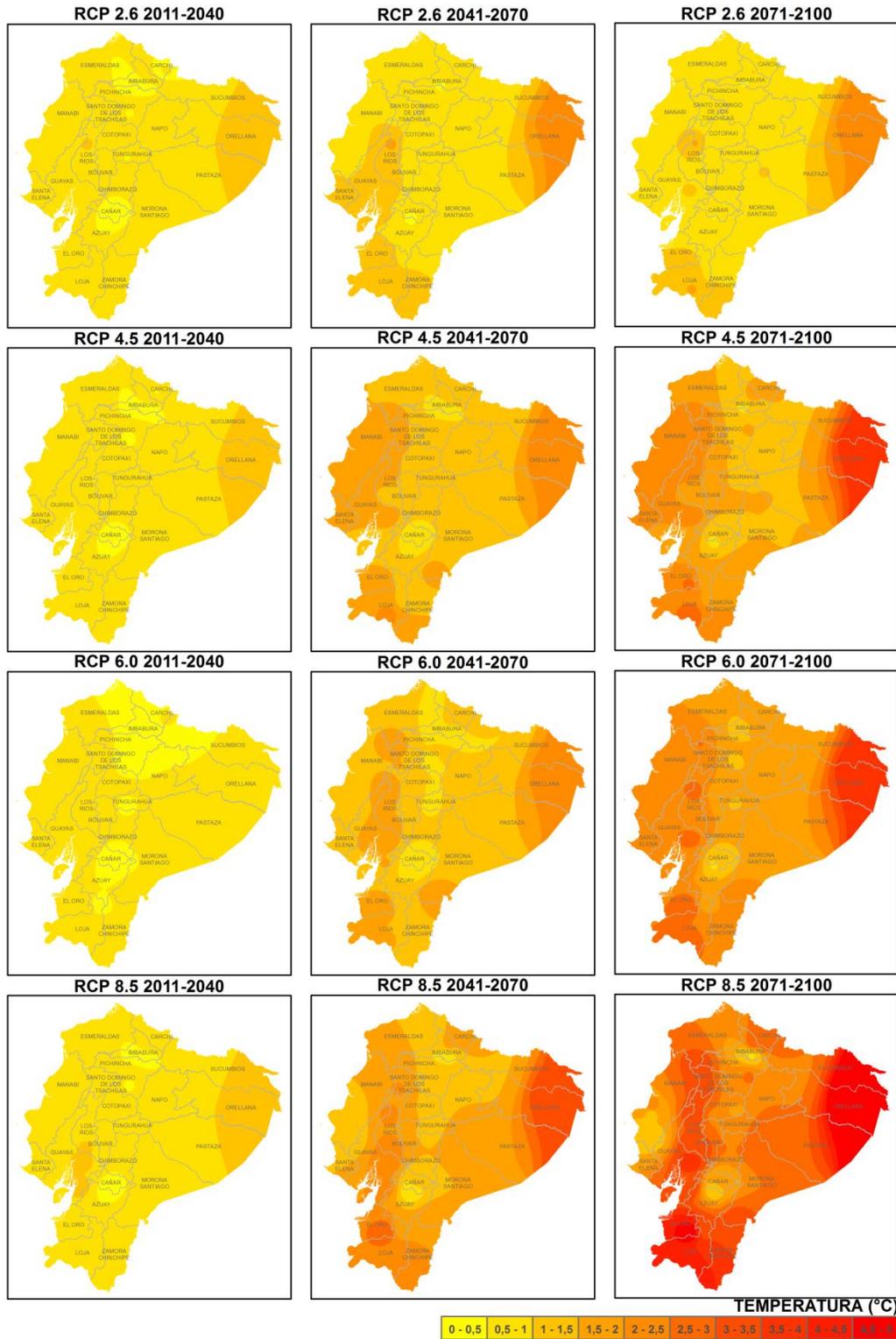


Figura 34. Distribución espacial del cambio de la temperatura media proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Septiembre-Octubre-Noviembre.

Al hacer el comparativo por regiones y a nivel país con los datos de las 32 estaciones de temperatura media (Tabla 8), se observa que el cambio en la temperatura media para el periodo 2011-2040 estaría entre 0,6 y 0,75°C para Ecuador, presentándose los mayores incrementos en la Costa (0,7-0,9°C), Amazonía (0,75-0,9°C) y Galápagos (0,75-1°C). Para mitad de siglo, el cambio sería de 0,9 a 1,7°C, y los mayores cambios se darían en la Amazonía (1,3-2,1°C) y Galápagos (1,2-2,5°C). Finalmente, para 2071-2100, la temperatura media se incrementaría entre 0,9 y 2,8°C para el país, sin embargo, la Amazonía y Galápagos presentarían incrementos superiores a 1°C, del orden de 1,3-3,5°C y 1,2-4,4°C respectivamente.

Tabla 8. Anomalía de la temperatura media por regiones y a nivel país, proyectado por los 4 escenarios RCP.

2011-2040	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Amazonía	0,86	0,90	0,75	0,90
Costa	0,78	0,91	0,73	0,87
Galápagos	0,74	0,99	0,79	1,00
Sierra	0,56	0,64	0,54	0,66
ECUADOR	0,64	0,74	0,62	0,75

2041-2070	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Amazonía	1,36	1,78	1,62	2,13
Costa	1,10	1,62	1,54	1,85
Galápagos	1,24	1,59	1,53	2,45
Sierra	0,78	1,16	1,09	1,54
ECUADOR	0,93	1,35	1,27	1,71

2071-2100	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Amazonía	1,28	2,32	2,54	3,46
Costa	1,00	2,20	2,41	2,91
Galápagos	1,17	2,37	2,45	4,39
Sierra	0,72	1,53	1,71	2,49
ECUADOR	0,86	1,80	1,99	2,76

Realizando una comparación de las series de temperatura media a nivel de Ecuador, el cambio general en la temperatura media sería aproximadamente entre 1 y 4°C superior a la del periodo 1981-2010 (Figura 35). La tendencia de los datos observados muestra que, si se mantuviera la tendencia actual de la temperatura, el cambio que podría esperarse sería de aproximadamente 2°C, coincidiendo con el cambio proyectado por el RCP 4.5.

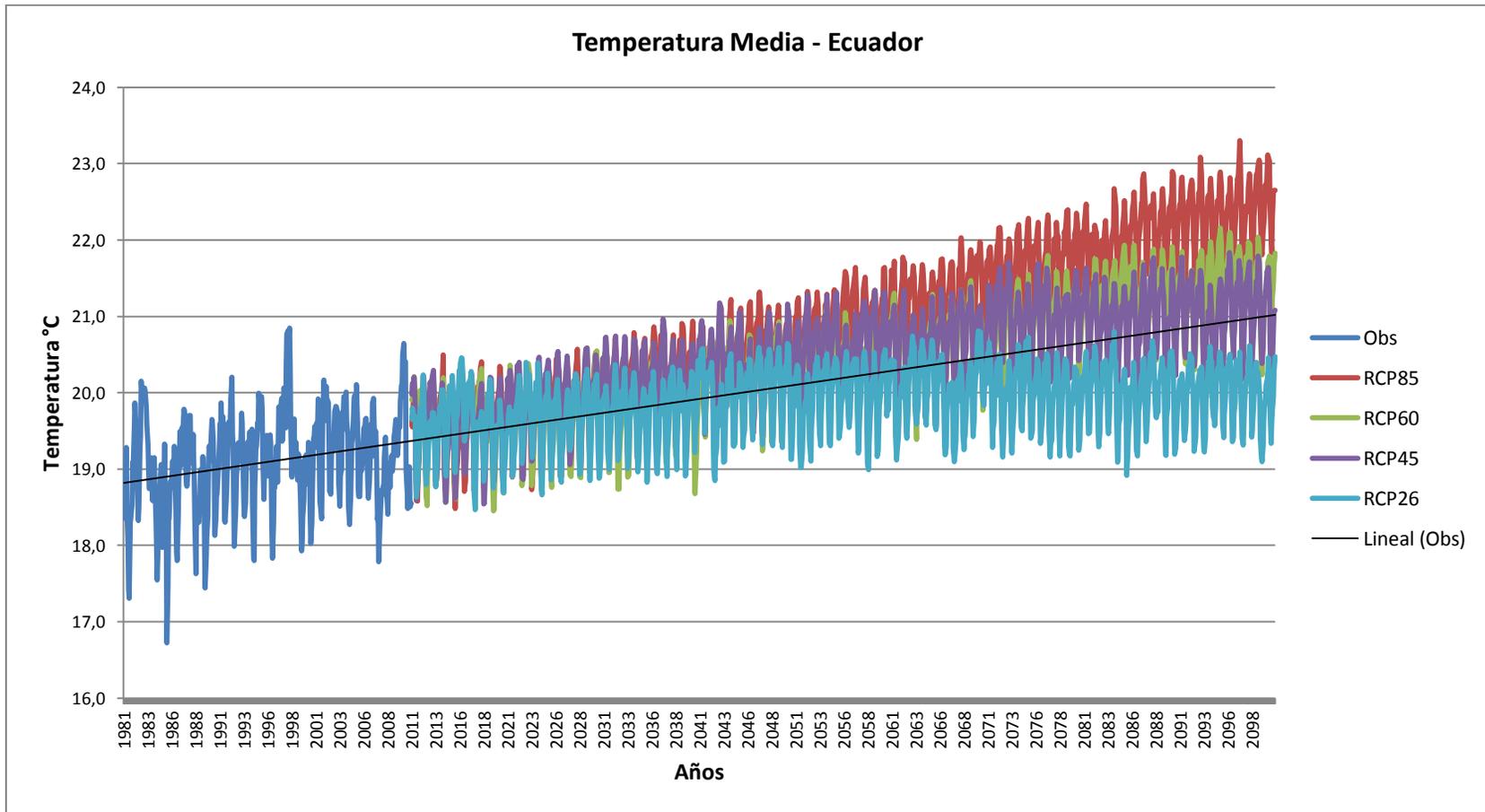


Figura 35. Temperatura media del Ecuador, con base en la información observada de 32 estaciones para el periodo 1981-2010, y proyectada para el periodo 2011-2100 para los 4 escenarios RCP. La línea negra muestra la tendencia de los datos observados.

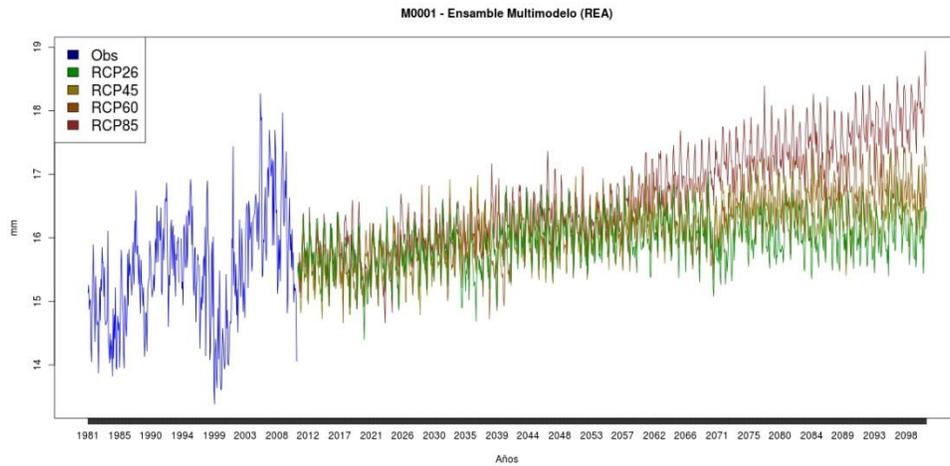
Cambios Projectados en la Temperatura Máxima

A continuación se presenta, a manera de ejemplo, la proyección de la temperatura máxima de 3 estaciones de cada región del país: Inguincho (M0001, ubicada en la Sierra Norte), Portoviejo (M0005, ubicada en la Costa Norte) y Nuevo Rocafuerte (M0007, al oriente de la Amazonía). Para Galápagos no se cuenta con información de esta variable. Las series y los cambios proyectados fueron generados para las 34 estaciones con datos para esta variable, y utilizando el método de ensamble REA, explicado en la metodología.

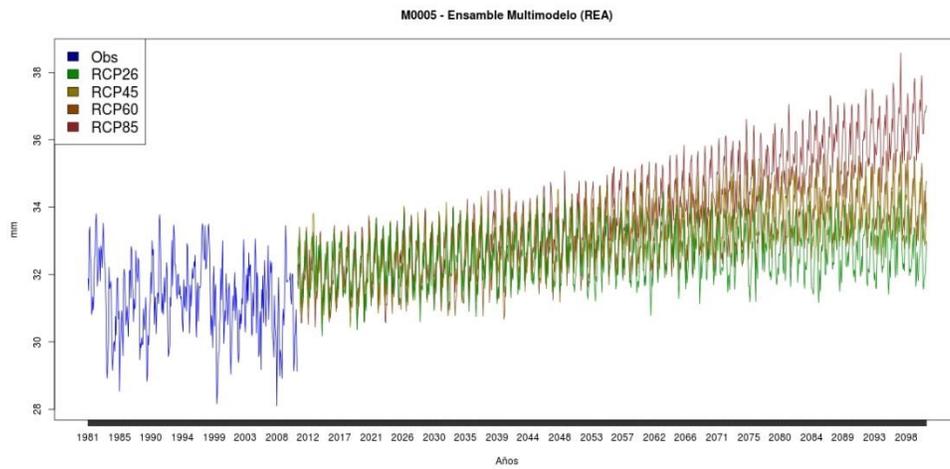
Al igual que con la temperatura media, la temperatura máxima mantiene una tendencia al aumento, la cual es similar en los 4 RCP hasta mitad de siglo, y desde ese punto, cada escenario presenta el cambio de esta variable de diferente forma. Para el RCP 2.6 desde mitad de siglo ya no habría cambios en la temperatura proyectada, y los demás escenarios mantendrían su tendencia al aumento hasta finales de siglo, siendo el RCP 8.5, el escenario “pesimista”, el que mayor incremento de la temperatura presentaría, con anomalías de al menos 2°C en todas las estaciones. Los mayores incrementos se presentarían en las estaciones de la Costa y Amazonía, con incrementos superiores a 3°C (Figura 36).

La distribución de frecuencias de la temperatura máxima para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, muestra cambios en el comportamiento de la temperatura para las 3 regiones. Para la Sierra, el rango de valores sería superior en al menos 1°C hacia finales de siglo, con respecto al comportamiento actual (Figura 37); para la Costa (Figura 38) y la Amazonía (Figura 39) se mantendría una distribución de las temperaturas máximas similar, pero con valores superiores en al menos 3°C con respecto al clima presente. Se aprecia en los histogramas que bajo el RCP 2.6 (“optimista”) no habría mayores cambios en el comportamiento de esta variable entre los periodos 2041-2070 y 2071-2100, lo que indicaría que la temperatura en estos periodos no seguiría incrementándose.

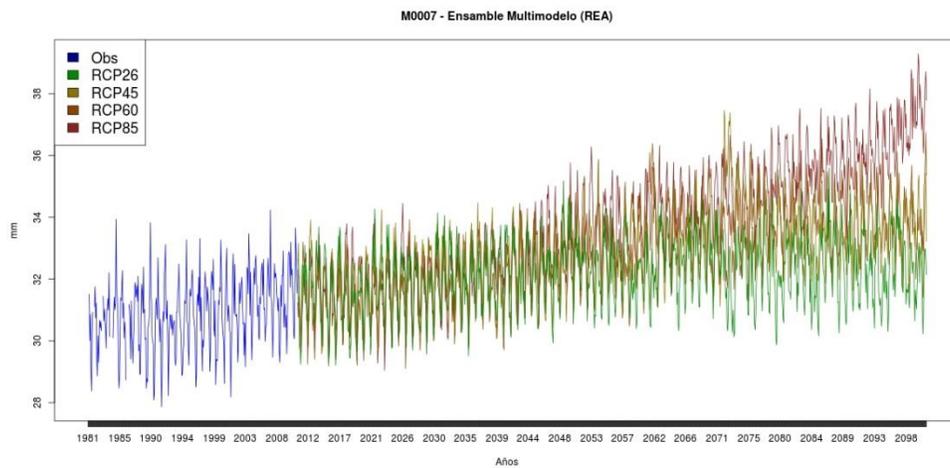
Comparando la temperatura máxima observada en el periodo de referencia 1981-2005 con los periodos futuros, para el periodo 2011-2040 las regiones Costa y Amazonía presentarían los cambios más significativos en la temperatura, mostrando valores superiores en 1°C en la mayor parte de las mismas (Figura 40). Al igual que con la temperatura media, en este periodo los cuatro escenarios presentan un rango de variación muy similar entre sí. Para 2041-2070, las proyecciones de los escenarios empiezan a diferir entre sí, mostrando los menores cambios de la temperatura bajo el RCP 2.6 (entre 1,5 y 2°C) y los mayores bajo el RCP 8.5 (entre 2,5 y 3°C) (Figura 41). Para finales de siglo, los cambios de la temperatura media superan los 2°C, siendo más marcados en la mayor parte del territorio bajo los RCP 4.5, 6.0 y 8.5 (Figura 42).



Estación Inguincho



Estación Portoviejo



Estación Nuevo Rocafuerte

Figura 36. Series mensuales de la temperatura máxima observada (1981-2010) y proyectada (2011-2100) bajo los 4 escenarios RCP, para tres estaciones representativas de cada región del Ecuador.

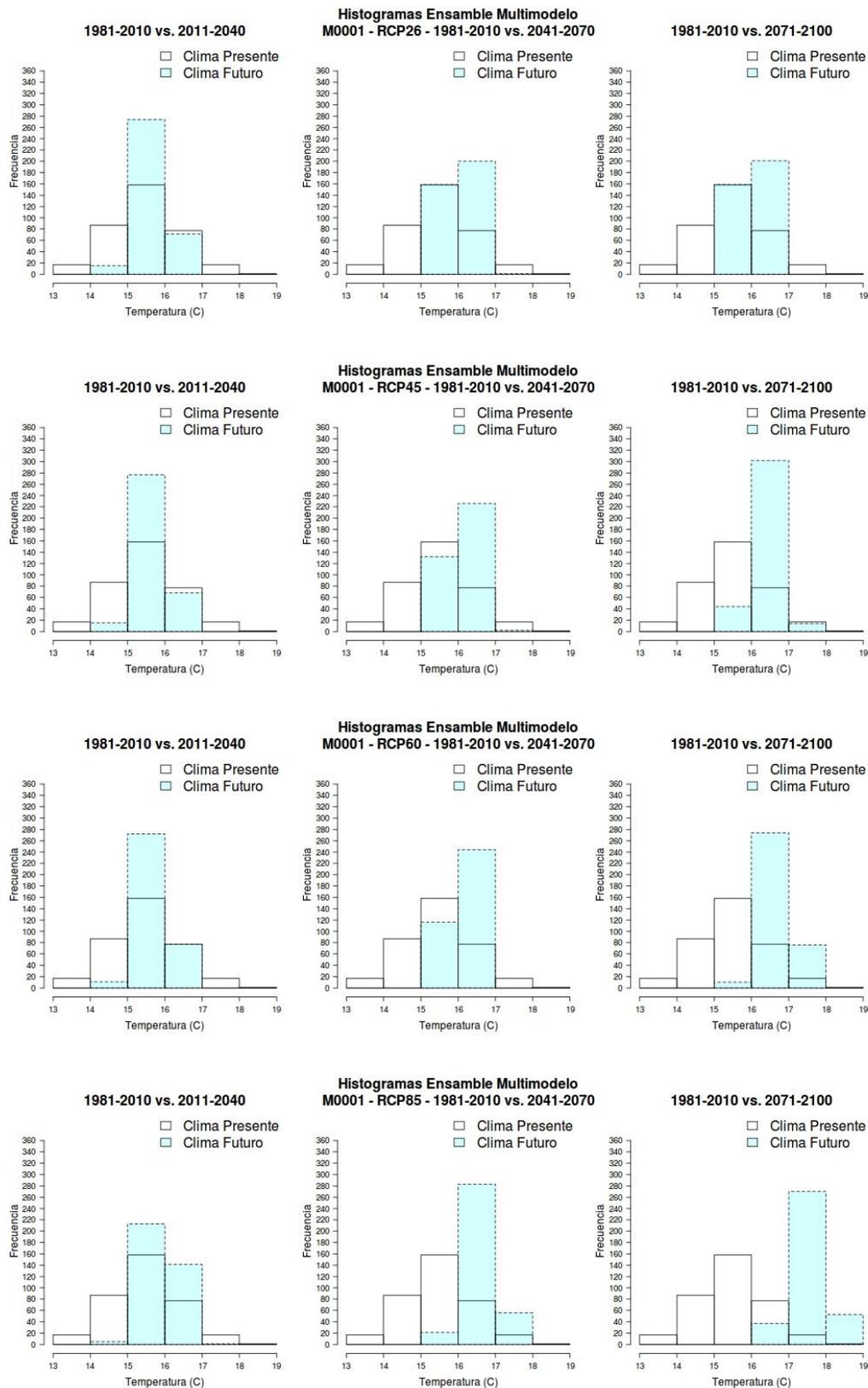


Figura 37. Histogramas de la temperatura máxima observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Inguincho.

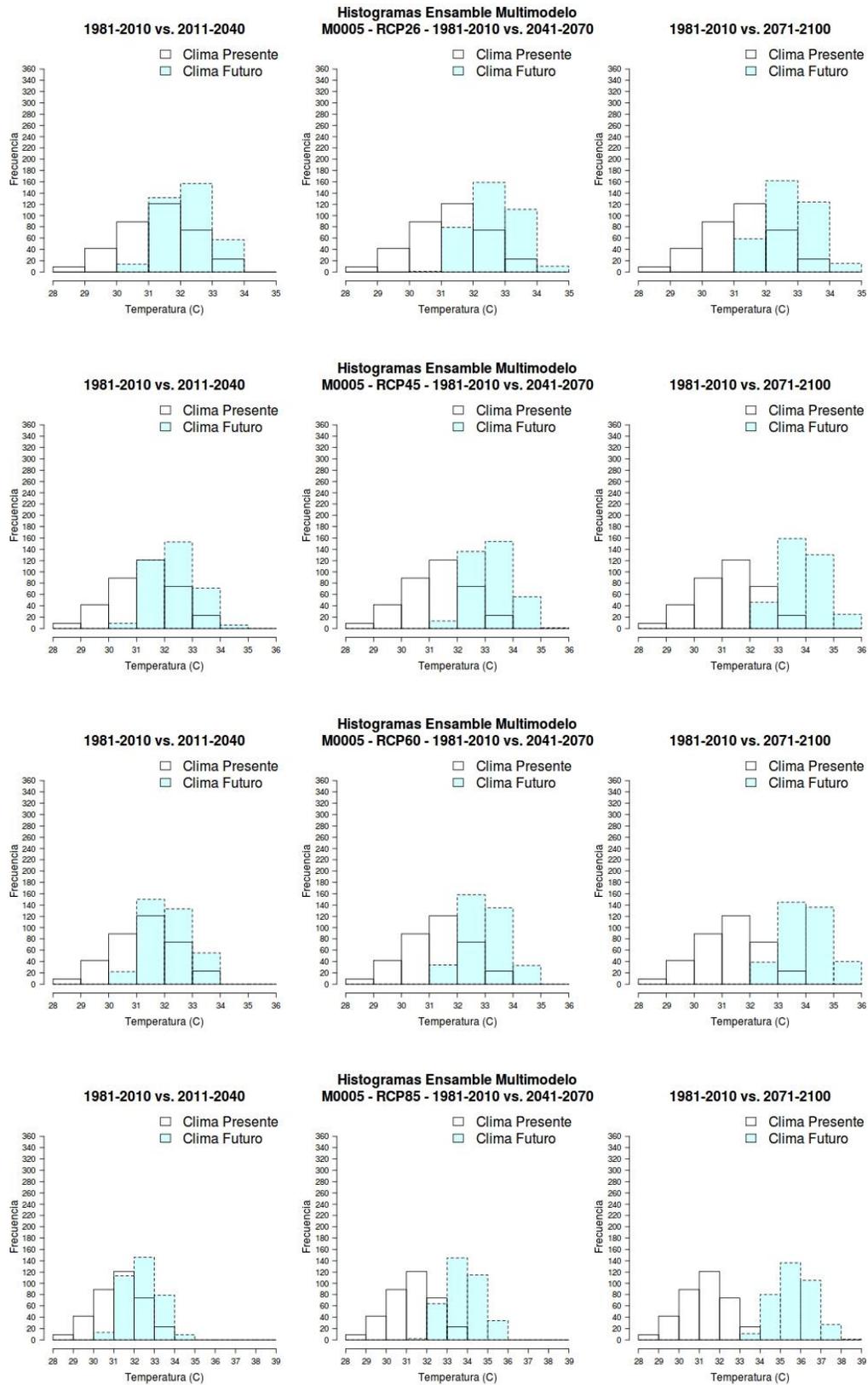


Figura 38. Histogramas de la temperatura máxima observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Portoviejo.

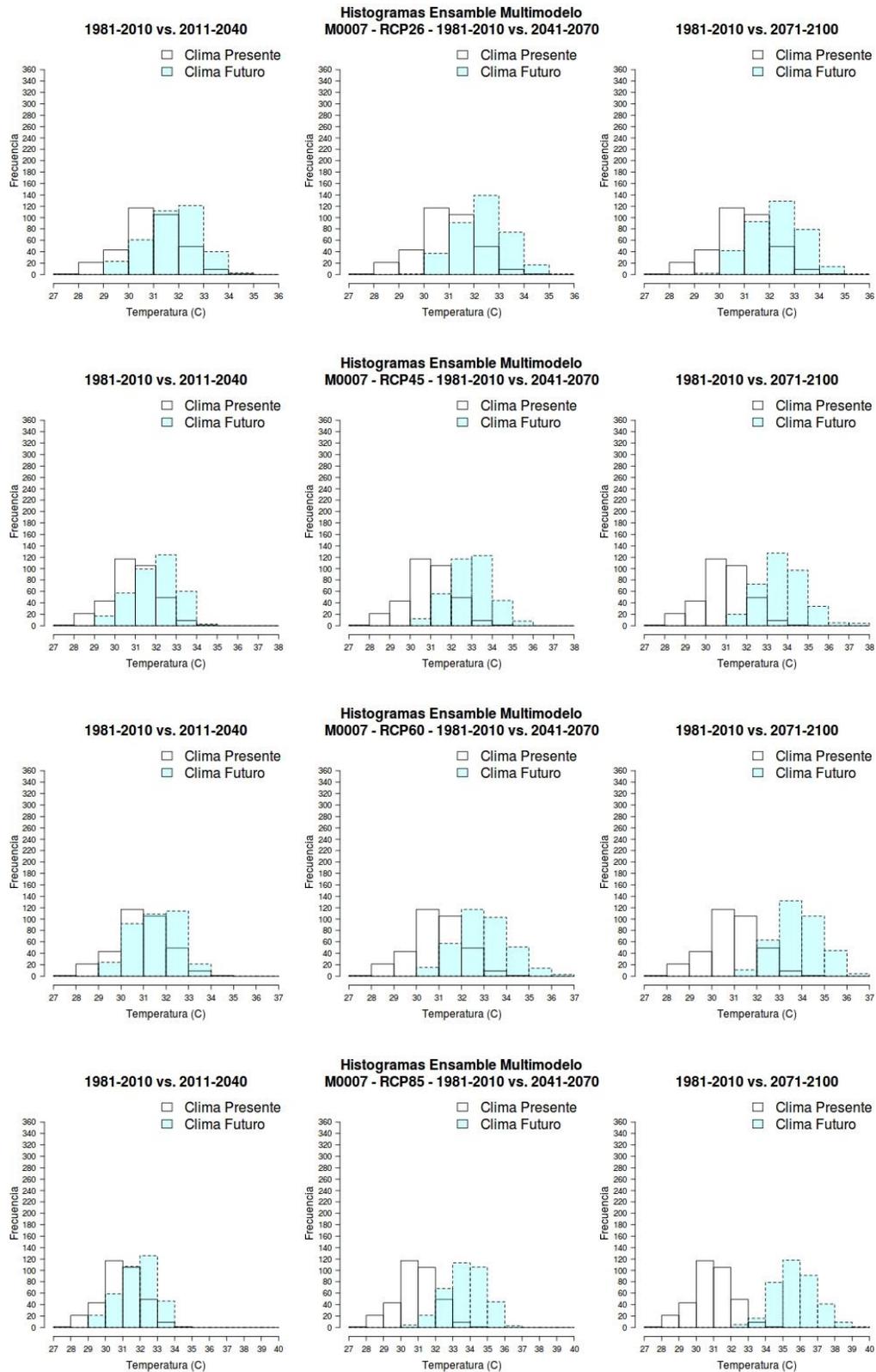


Figura 39. Histogramas de la temperatura máxima observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Nuevo Rocafuerte.

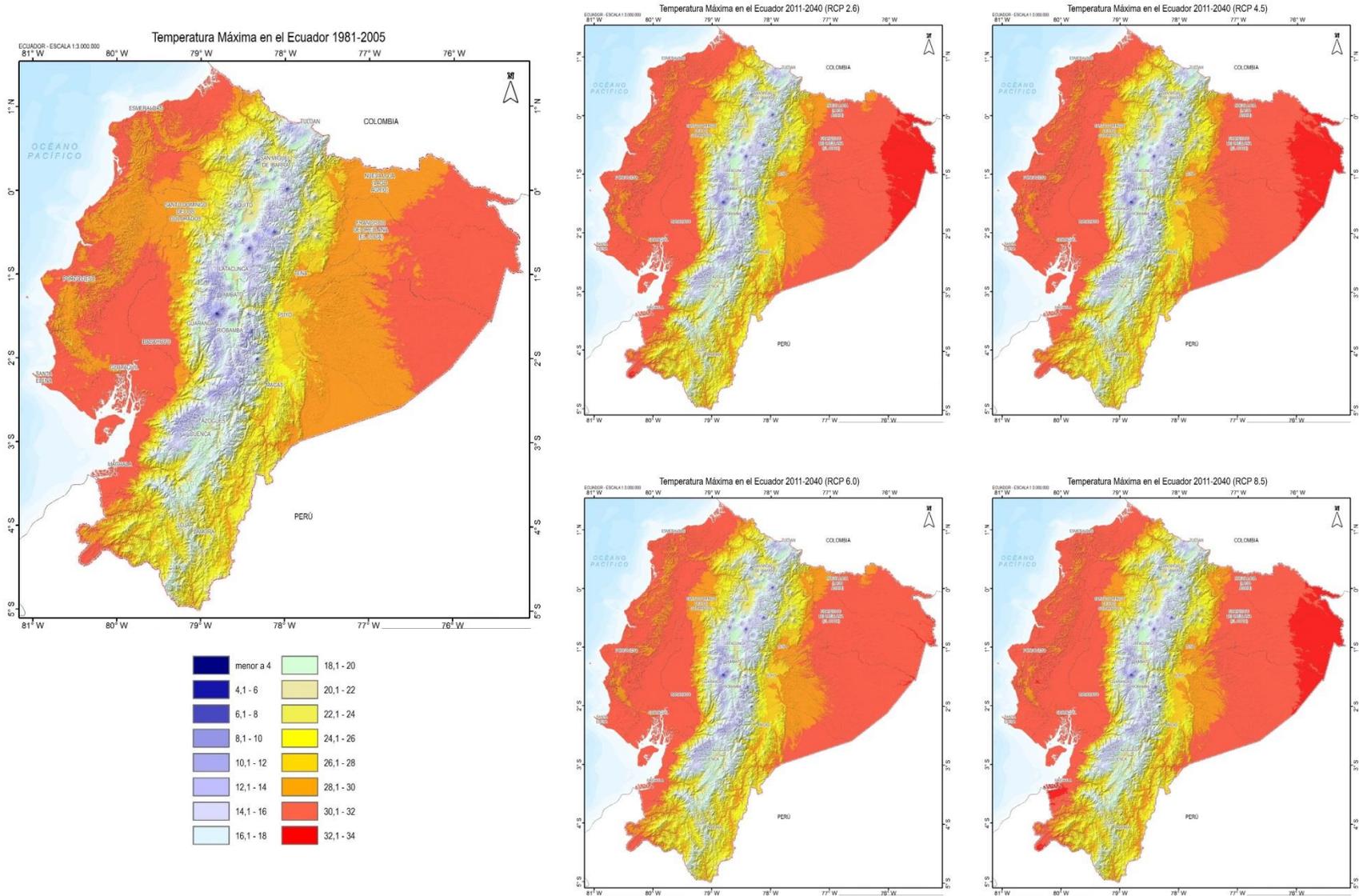


Figura 40. Temperatura máxima observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2011-2040.

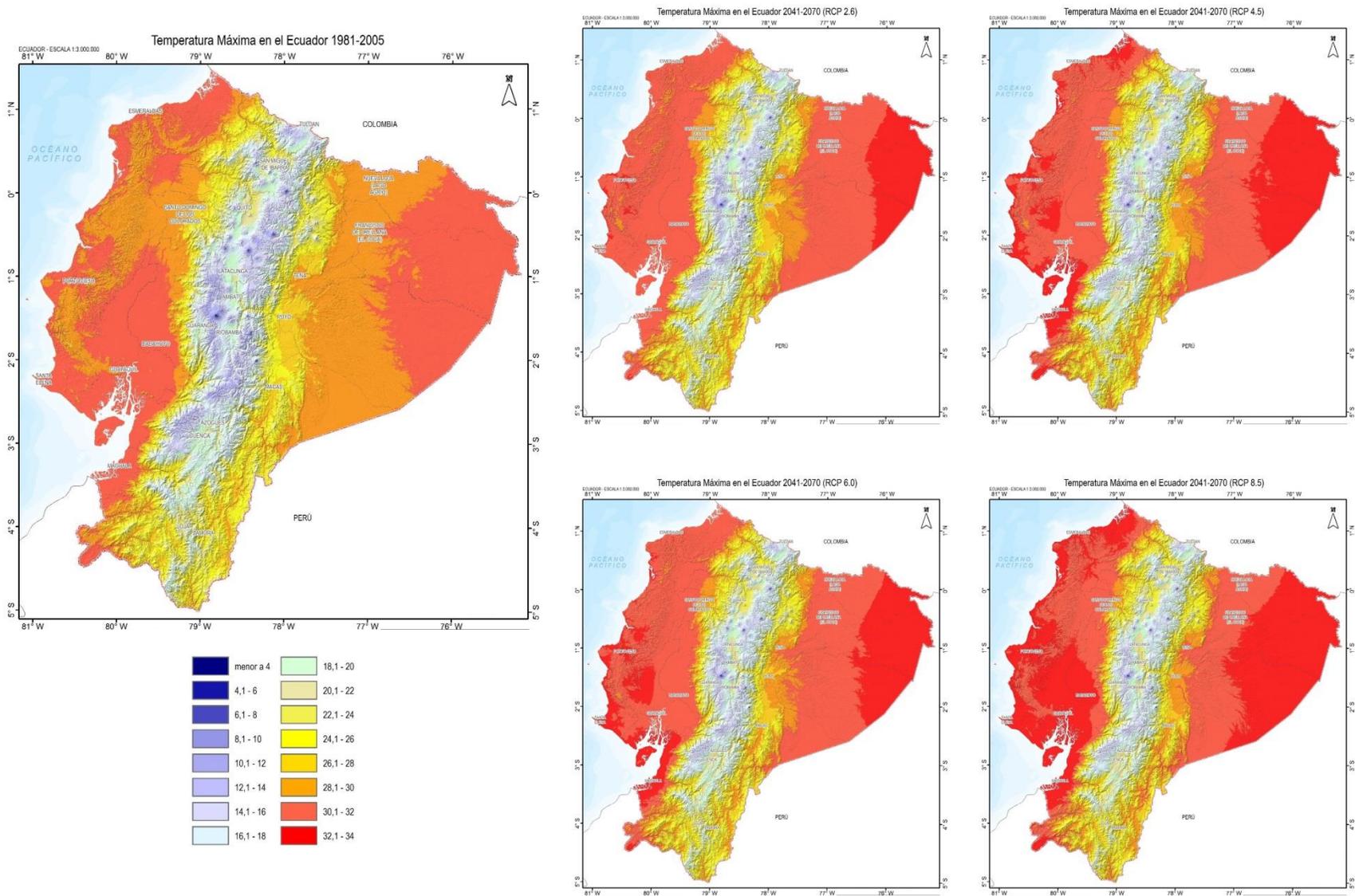


Figura 41. Temperatura máxima observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2041-2070.

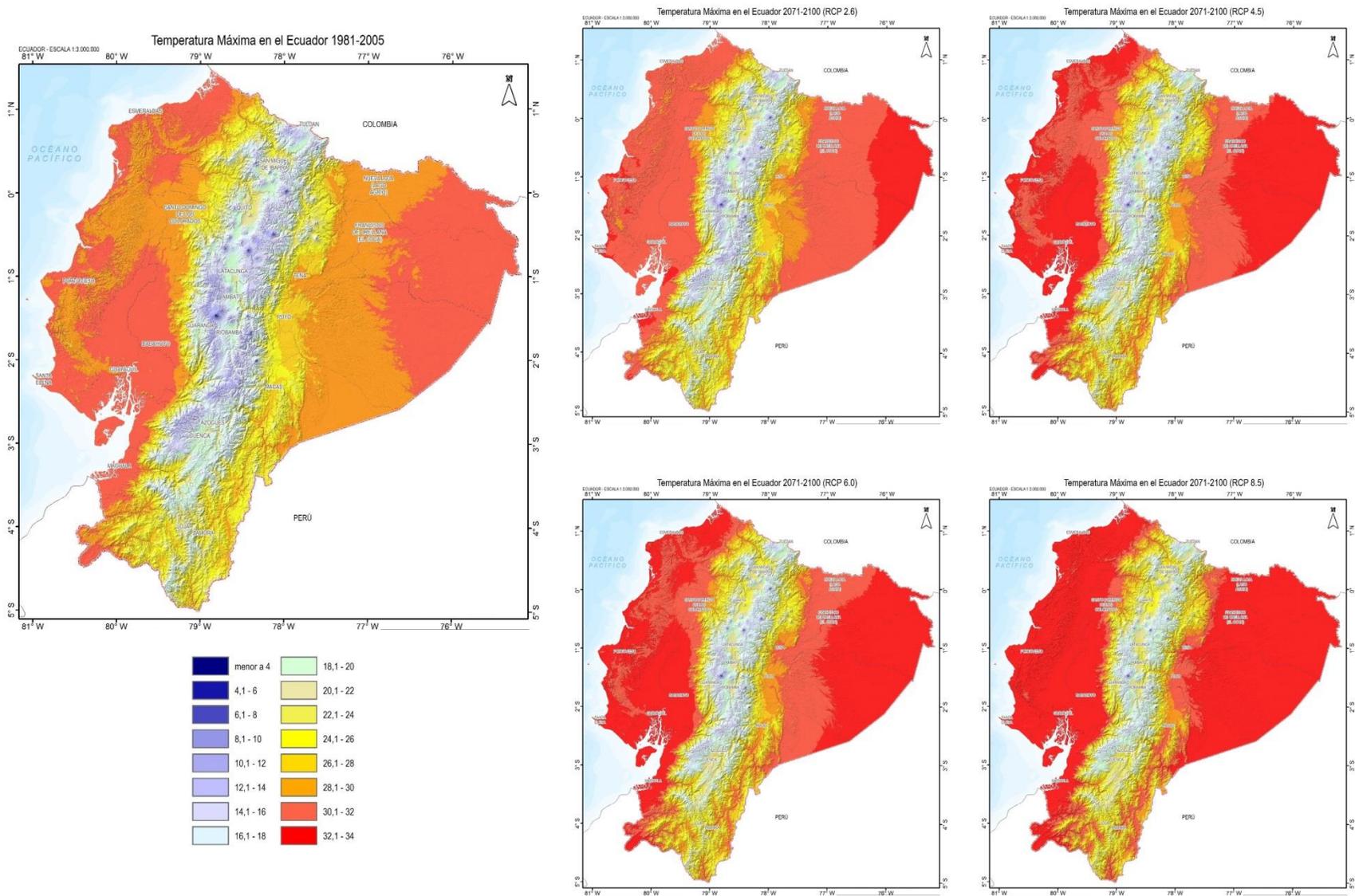


Figura 42. Temperatura máxima observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2071-2100.

La temperatura máxima, para los 4 RCP, muestra que para 2011-2040, ésta se incrementaría entre 0,5 y 1°C en los cuatro escenarios. Para 2041-2070, los incrementos más altos se darían en la Amazonía y en la Costa, con anomalías superiores a 1,5°C, e incrementos superiores a 2°C bajo el RCP 8.5 en el oriente de Ecuador. Hacia finales de siglo, los aumentos más significativos en la temperatura máxima (superiores a 2°C) se darían bajo los RCP 4.5, 6.0 y 8.5, siendo en este último los más altos, con valores superiores a los 3°C en la mayor parte del territorio nacional (Figura 43).

A nivel trimestral, para Diciembre-Enero-Febrero los escenarios muestran incrementos de temperatura del orden de 1-1,5°C para el periodo 2011-2040. Hacia mitad de siglo, la temperatura aumentaría entre 1,5 y 2,5°C, presentándose el mayor incremento bajo el RCP 8.5 hacia el sur del país. Para finales de siglo, la temperatura sería en al menos 2°C superior al promedio 1981-2005, siendo las zonas con mayores incrementos la Amazonía y la Costa, con aumentos superiores a 3°C (Figura 44).

En Marzo-Abril-Mayo (Figura 45), la temperatura máxima se incrementaría en al menos 1°C hacia 2040, y en 1,5°C en la Amazonía. Hacia mitad de siglo, ésta presentaría incrementos superiores a 1,5°C, siendo mayores en el oriente y sur de Ecuador. Para finales de siglo, las anomalías de temperatura serían del orden de 2°C, siendo más altas bajo el RCP 8.5, con valores superiores a los 3°C.

Para Junio-Julio-Agosto la temperatura máxima presentaría incrementos entre 1 y 2°C. Para finales de siglo, bajo el RCP 8.5 los incrementos de temperatura serían superiores a 2°C para gran parte del territorio nacional, aunque en la Amazonía el cambio se mantendría entre 1,5 y 2°C (Figura 46).

Finalmente, para Septiembre-Octubre-Noviembre, la Amazonía y la Costa son las zonas en la que habría los mayores aumentos de la temperatura máxima (del orden de 3°C). Hacia 2040, el incremento sería de al menos 1°C; para mitad de siglo sería entre 1,5 y 2,5°C, y para 2071-2100 el aumento de esta variable sería de al menos 2,5°C, y con incrementos superiores a los 4°C en el oriente y occidente del país (Figura 47).

ANOMALÍAS TEMPERATURA MÁXIMA - PROMEDIO ANUAL

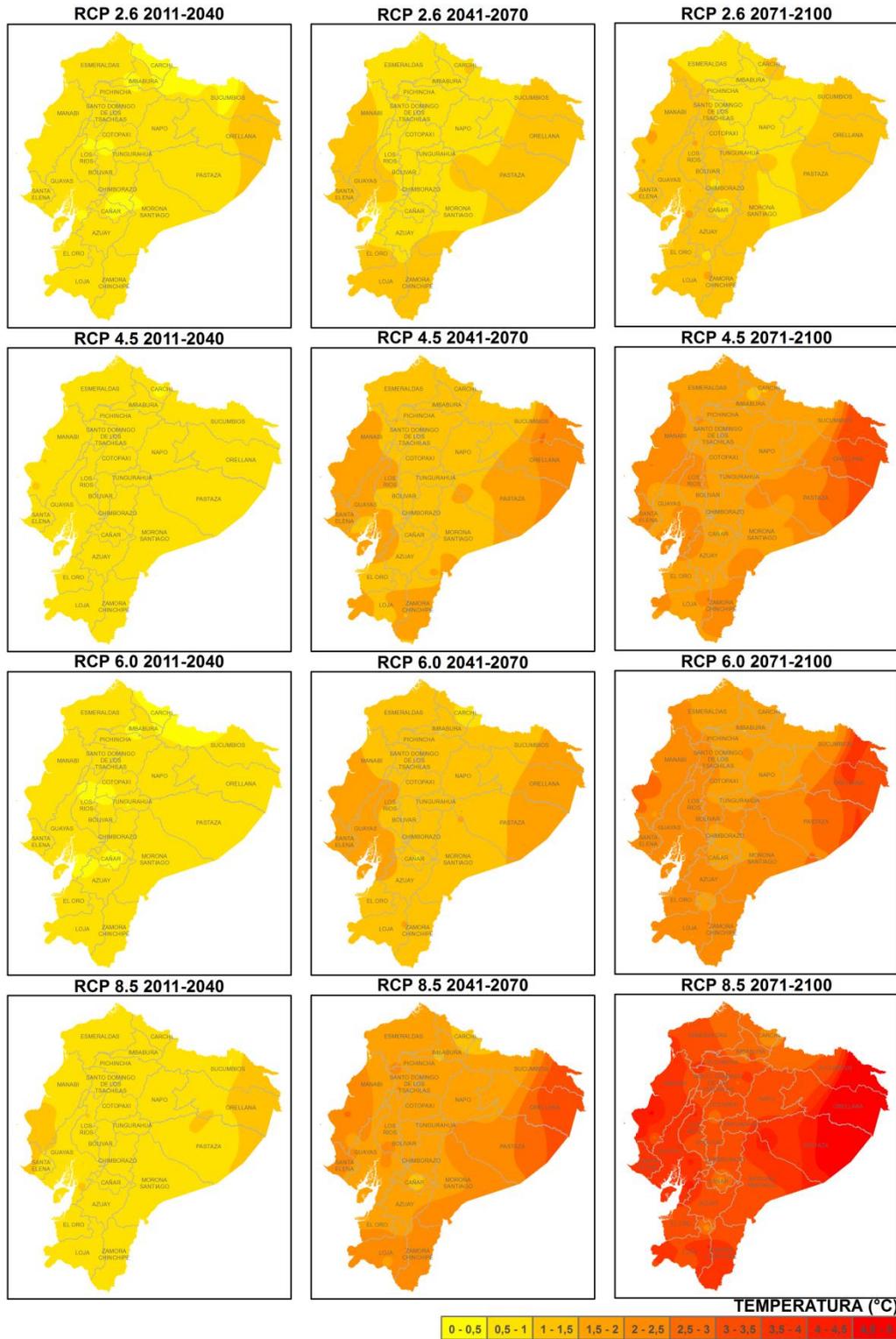


Figura 43. Distribución espacial del cambio de la temperatura máxima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005.

ANOMALÍAS TEMPERATURA MÁXIMA - TRIMESTRE: DICIEMBRE ENERO FEBRERO

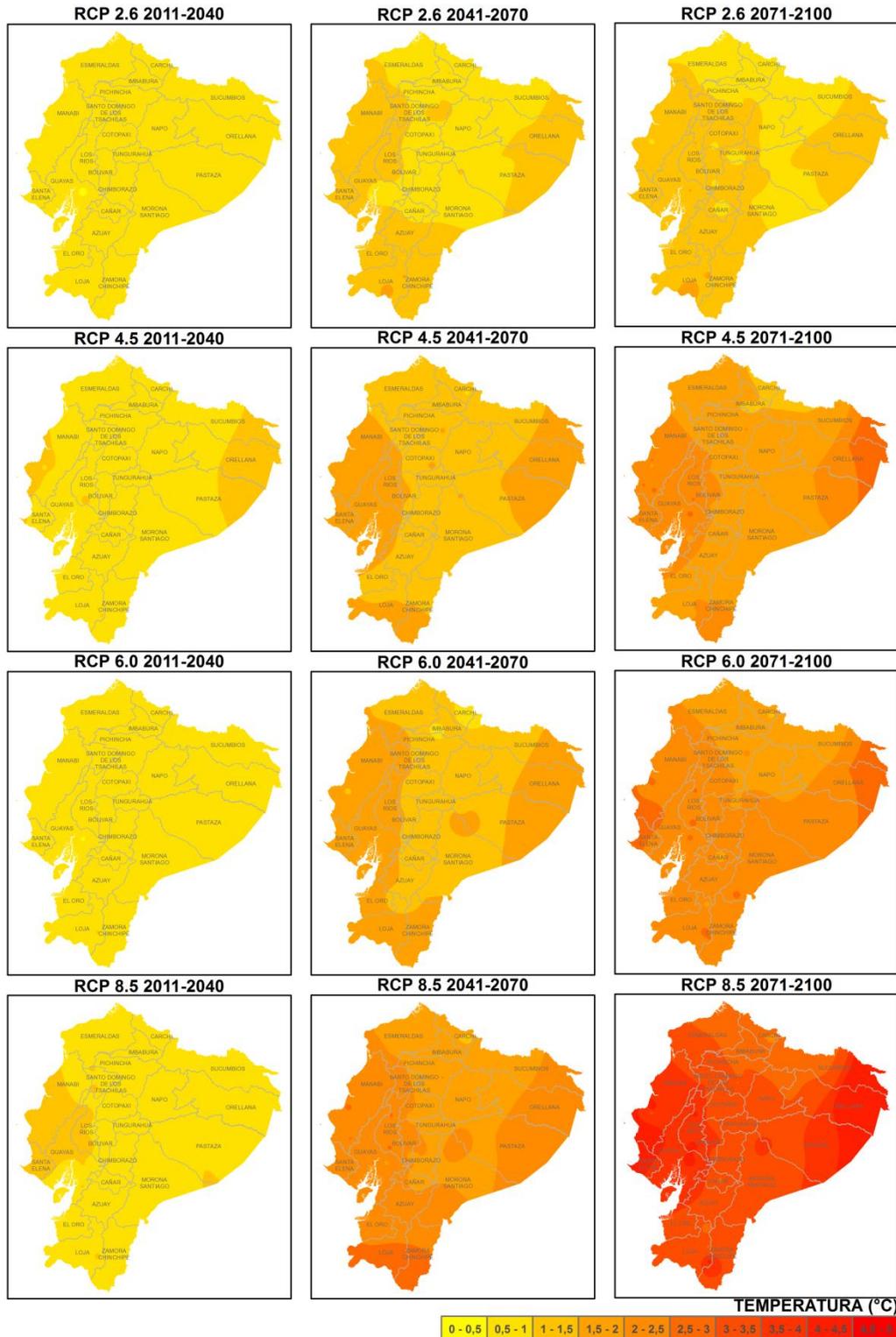


Figura 44. Distribución espacial del cambio de la temperatura máxima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Diciembre-Enero-Febrero.

ANOMALÍAS TEMPERATURA MÁXIMA - TRIMESTRE: MARZO ABRIL MAYO

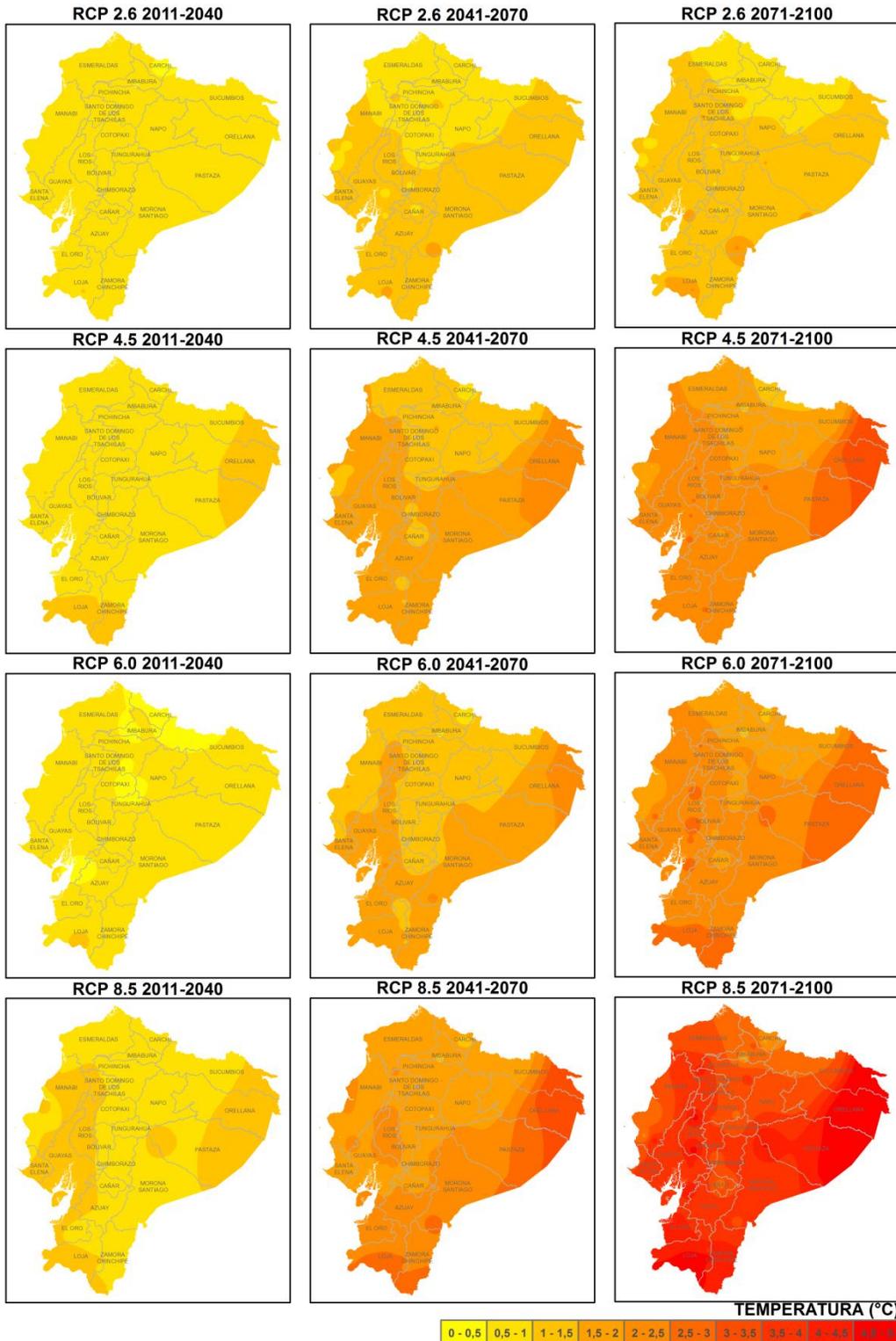


Figura 45. Distribución espacial del cambio de la temperatura máxima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Marzo-Abril-Mayo.

ANOMALÍAS TEMPERATURA MÁXIMA - TRIMESTRE: JUNIO JULIO AGOSTO

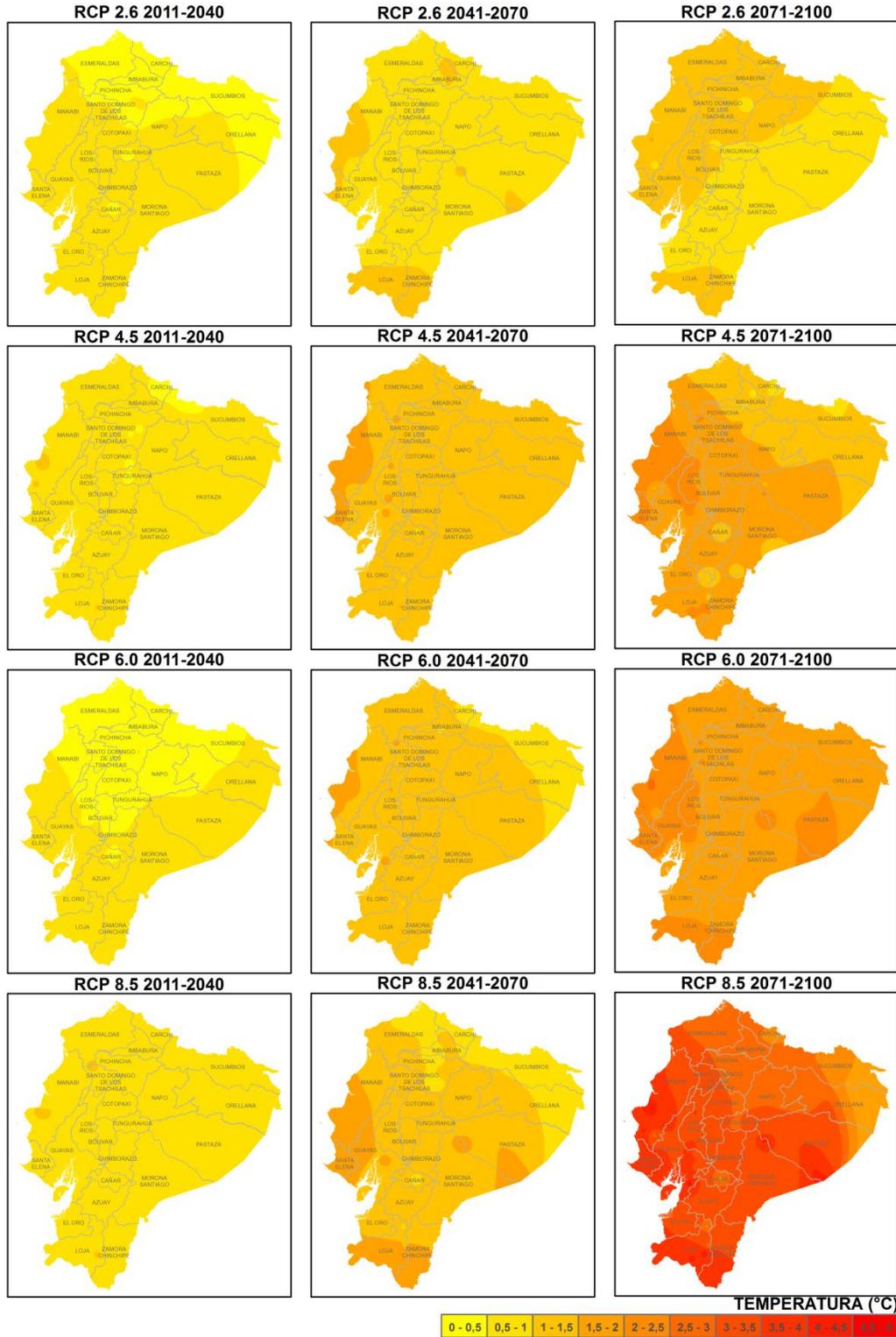


Figura 46. Distribución espacial del cambio de la temperatura máxima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Junio-Julio-Agosto.

ANOMALÍAS TEMPERATURA MÁXIMA - TRIMESTRE: SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE

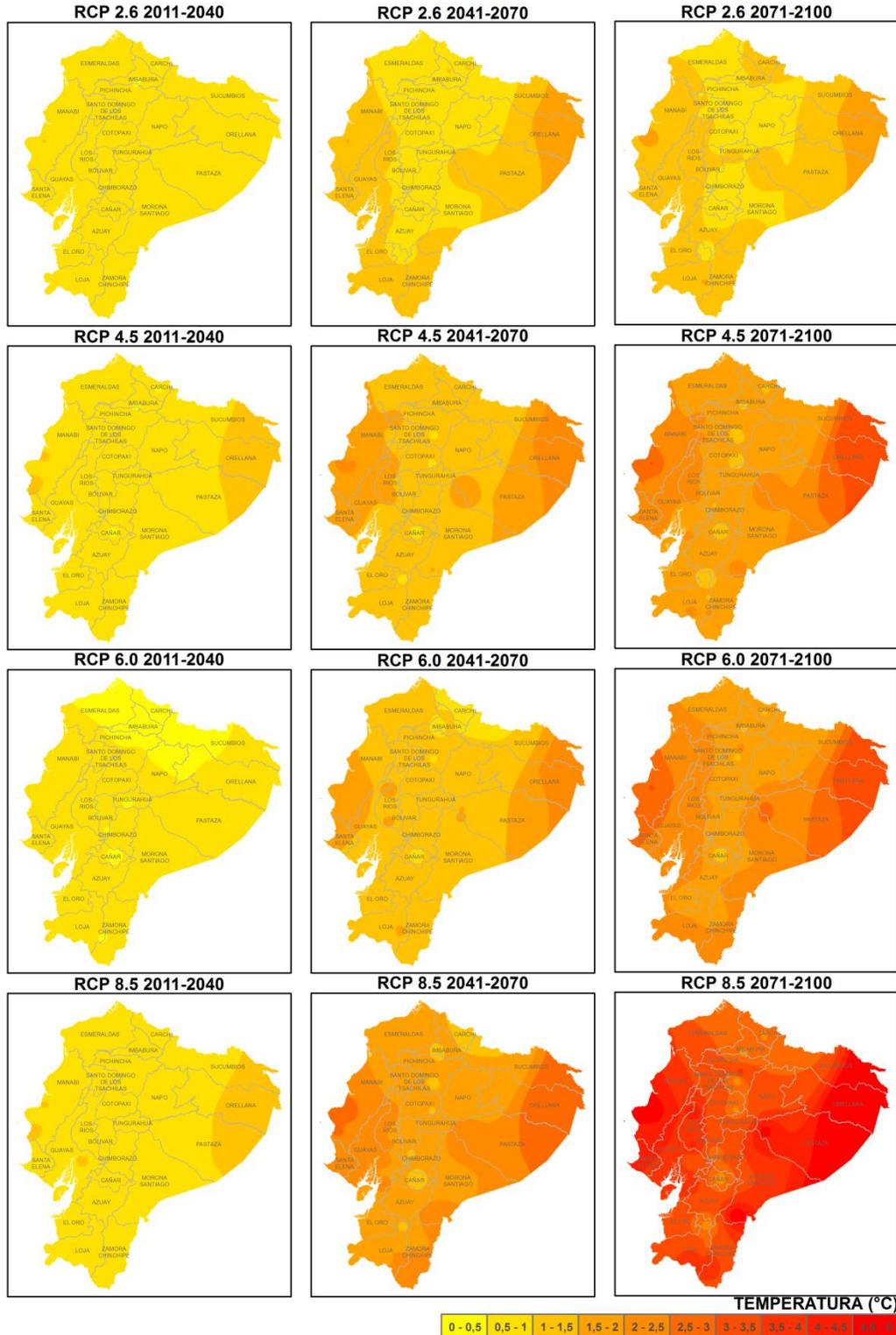


Figura 47. Distribución espacial del cambio de la temperatura máxima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Septiembre-Octubre-Noviembre.

El cambio en la temperatura máxima proyectado por los escenarios RCP a nivel regional y país con la información de las 34 estaciones utilizadas, muestra que para el periodo 2011-2040 esta variable se incrementaría entre 0,6 y 0,8°C para Ecuador, y los mayores incrementos se darían en la Costa (0,7-1°C) y la Amazonía (0,7-0,95°C). Para 2041-2070, el aumento sería de 1 a 2°C, presentándose los mayores cambios en la Amazonía (1,2-2,6°C) y la Costa (1,2-2,2°C). Finalmente, para finales de siglo, la temperatura máxima aumentaría entre 1,1 y 3,5°C en Ecuador, pero para la Amazonía y la Costa estos incrementos serían superiores a 4°C bajo el RCP 8.5 (Tabla 9).

Tabla 9. Anomalía de la temperatura máxima por regiones y a nivel país, proyectado por los 4 escenarios RCP.

2011-2040	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Amazonía	0,79	0,89	0,69	0,94
Costa	0,73	0,91	0,66	1,05
Sierra	0,57	0,66	0,57	0,76
ECUADOR	0,63	0,74	0,61	0,83

2041-2070	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Amazonía	1,21	1,78	1,62	2,59
Costa	1,23	1,83	1,72	2,16
Sierra	0,91	1,31	1,21	1,75
ECUADOR	1,01	1,47	1,36	1,94

2071-2100	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Amazonía	1,16	2,51	2,72	4,47
Costa	1,53	2,38	2,50	4,09
Sierra	0,96	1,75	1,93	3,12
ECUADOR	1,09	1,97	2,13	3,47

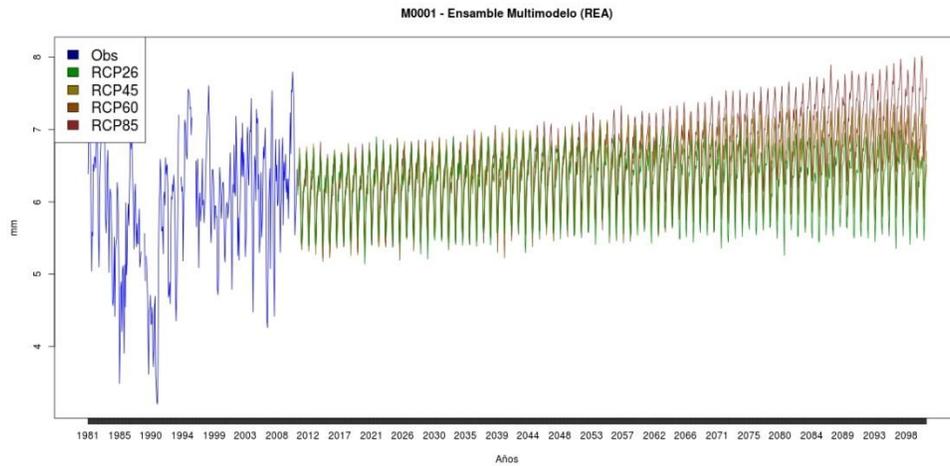
Cambios Proyectados en la Temperatura Mínima

Se presentan como ejemplo las proyecciones de la temperatura mínima de 3 estaciones de cada región del país: Inguincho (M0001, ubicada en la Sierra Norte), Portoviejo (M0005, ubicada en la Costa Norte) y Nuevo Rocafuerte (M0007, al oriente de la Amazonía). Para Galápagos no se cuenta con información de esta variable. Las series y los análisis fueron generados para las 29 estaciones con datos para esta variable, y utilizando el método de ensamble REA, descrito anteriormente.

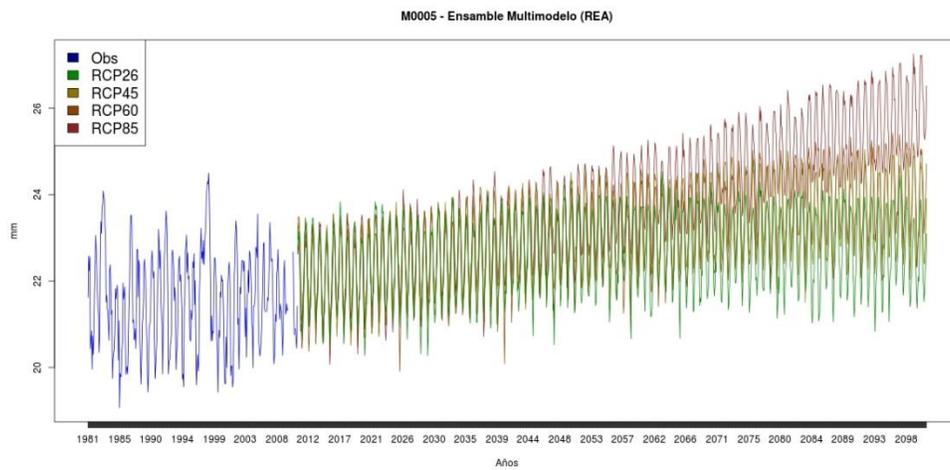
Al igual que con las temperaturas media y máxima, la temperatura mínima mantiene una tendencia al aumento, la cual es similar en los 4 RCP hasta mitad de siglo, y desde ese punto, cada escenario presenta el cambio de esta variable de diferente forma. Para el RCP 2.6 desde mitad de siglo ya no habría cambios en la temperatura proyectada, y los demás escenarios mantendrían su tendencia al aumento hasta finales de siglo, siendo el RCP 8.5, el escenario “pesimista”, el que mayor incremento de la temperatura presentaría, con anomalías de al menos 1,5°C en todas las estaciones. Los mayores incrementos se presentarían en las estaciones de la Costa y Amazonía, con incrementos superiores a 3°C (Figura 48).

En cuanto a la distribución de frecuencias para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, la temperatura mínima muestra cambios en el comportamiento para las 3 regiones. Para la Sierra, el rango de valores sería entre 1 y 2°C superior hacia finales de siglo, con respecto al comportamiento actual (Figura 49). La Costa (Figura 50) y la Amazonía (Figura 51), ya no mantendrían una distribución similar de las temperaturas mínimas, a diferencia del comportamiento que se daría con las temperaturas media y máxima. Los valores de las temperaturas mínimas serían superiores en al menos 3,5°C con respecto al clima presente. Se aprecia en los histogramas que bajo el RCP 2.6 (“optimista”) no habría mayores cambios en el comportamiento de esta variable entre los periodos 2041-2070 y 2071-2100, lo que indicaría que la temperatura en estos periodos no seguiría incrementándose.

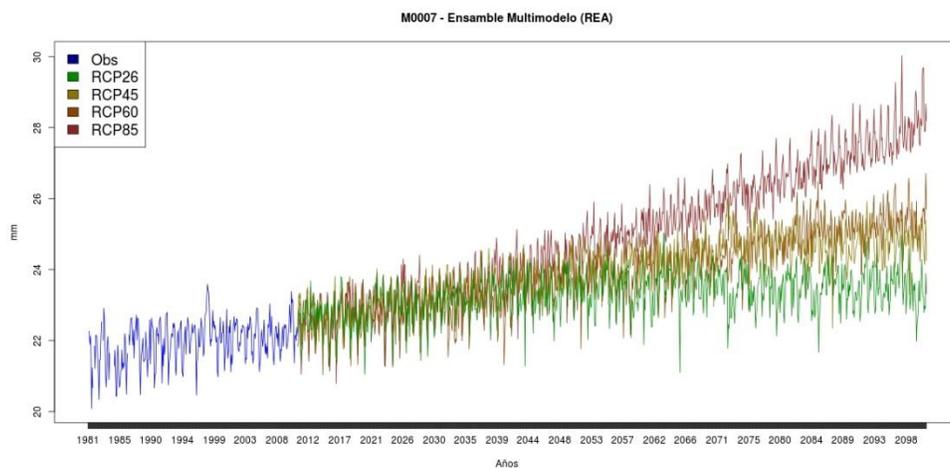
Al comparar la temperatura mínima observada en el periodo de referencia 1981-2005 con las proyecciones de los escenarios para los periodos futuros, en el periodo 2011-2040 la región de la Costa es la que presentaría los cambios más significativos, mostrando valores superiores en 1°C en la mayor parte de ella (Figura 52). Al igual que con las temperaturas media y máxima, en este periodo los cuatro escenarios presentan un rango de variación muy similar entre sí. Para 2041-2070 y 2071-2100, las proyecciones de los escenarios empiezan a diferir entre sí, mostrando los menores cambios de la temperatura bajo el RCP 2.6 (entre 1,5 y 2°C) y los mayores bajo el RCP 8.5 (entre 2,5 y 3°C), siendo la Costa y la Amazonía las regiones donde estos cambios se presentarían (Figura 53). Para finales de siglo, los cambios de la temperatura mínima superan los 2°C, siendo más marcados en las regiones anteriormente mencionadas y bajo los RCP 4.5, 6.0 y 8.5 (Figura 54).



Estación Inguincho



Estación Portoviejo



Estación Nuevo Rocafuerte

Figura 48. Series mensuales de la temperatura mínima observada (1981-2010) y proyectada (2011-2100) bajo los 4 escenarios RCP, para tres estaciones representativas de cada región del Ecuador.

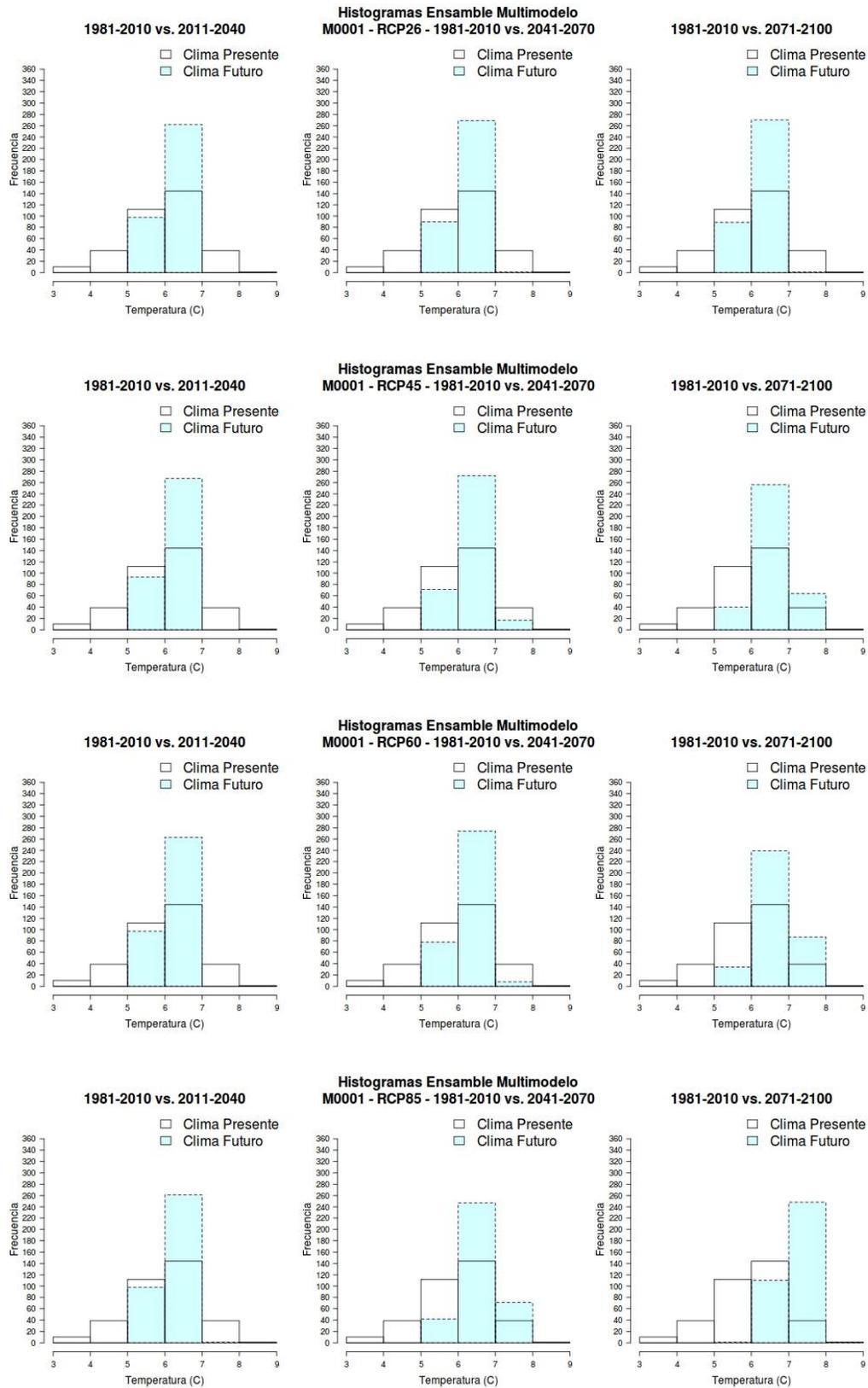


Figura 49. Histogramas de la temperatura mínima observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Inguincho.

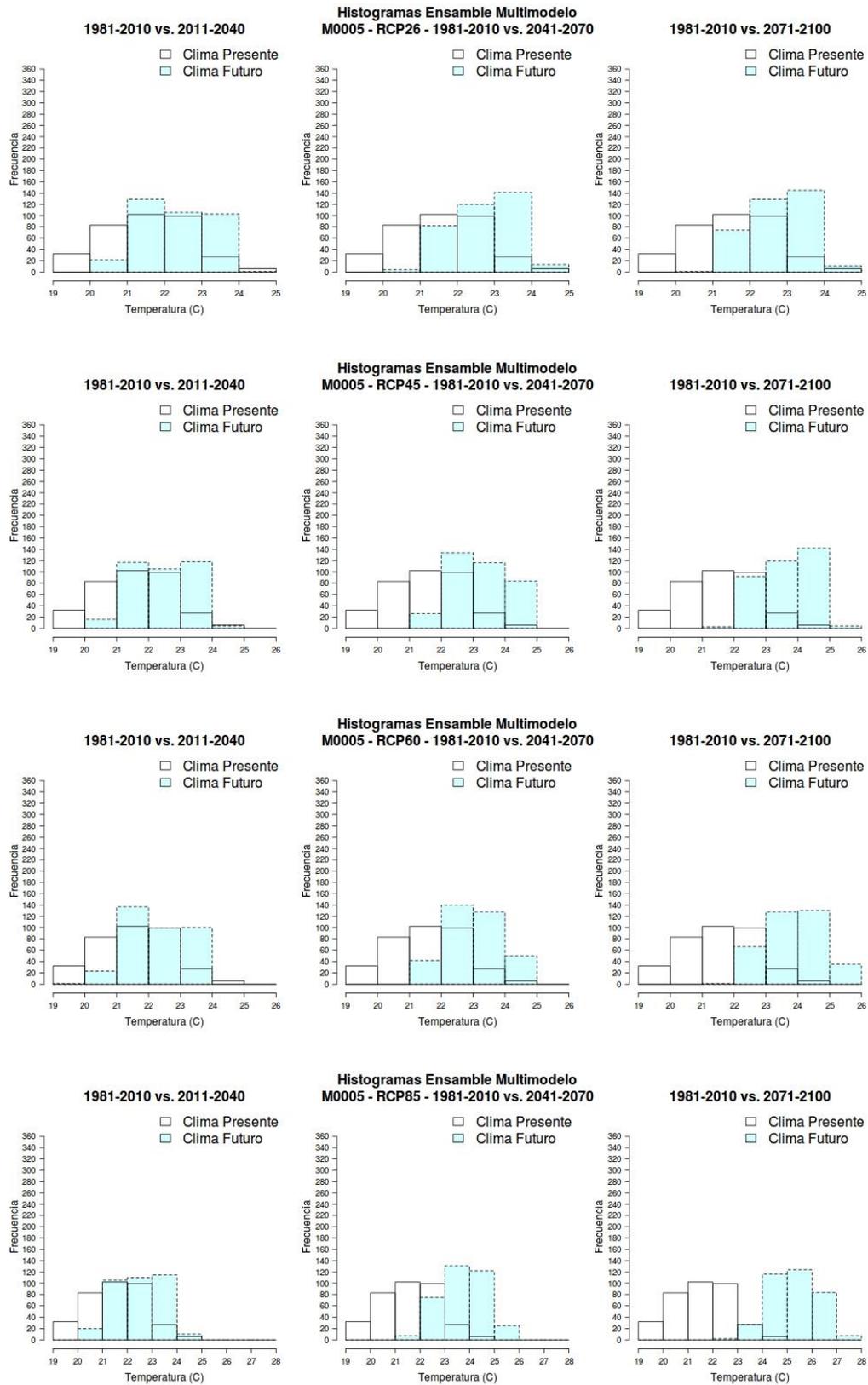


Figura 50. Histogramas de la temperatura mínima observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Portoviejo.

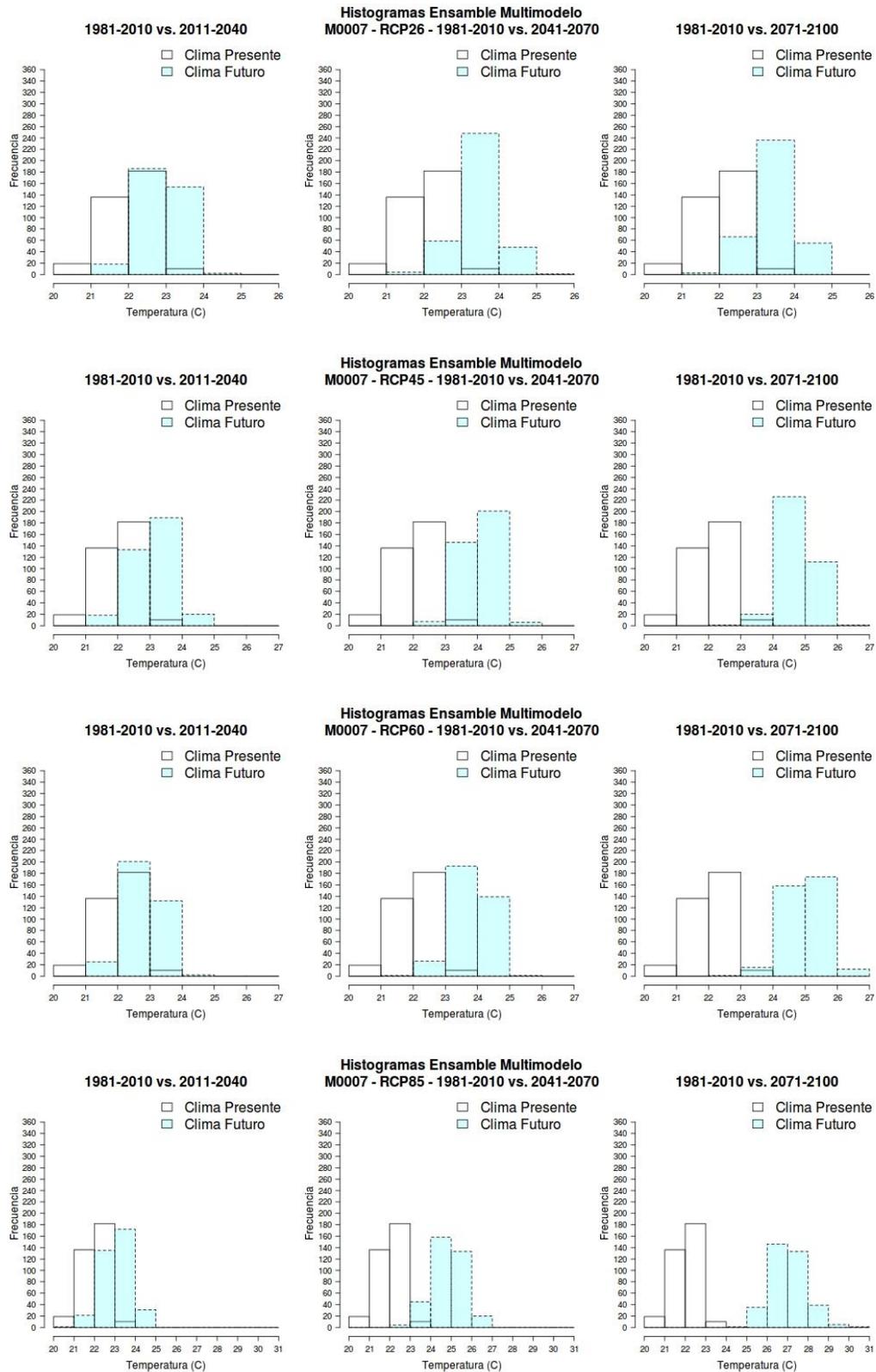


Figura 51. Histogramas de la temperatura mínima observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Nuevo Rocafuerte.

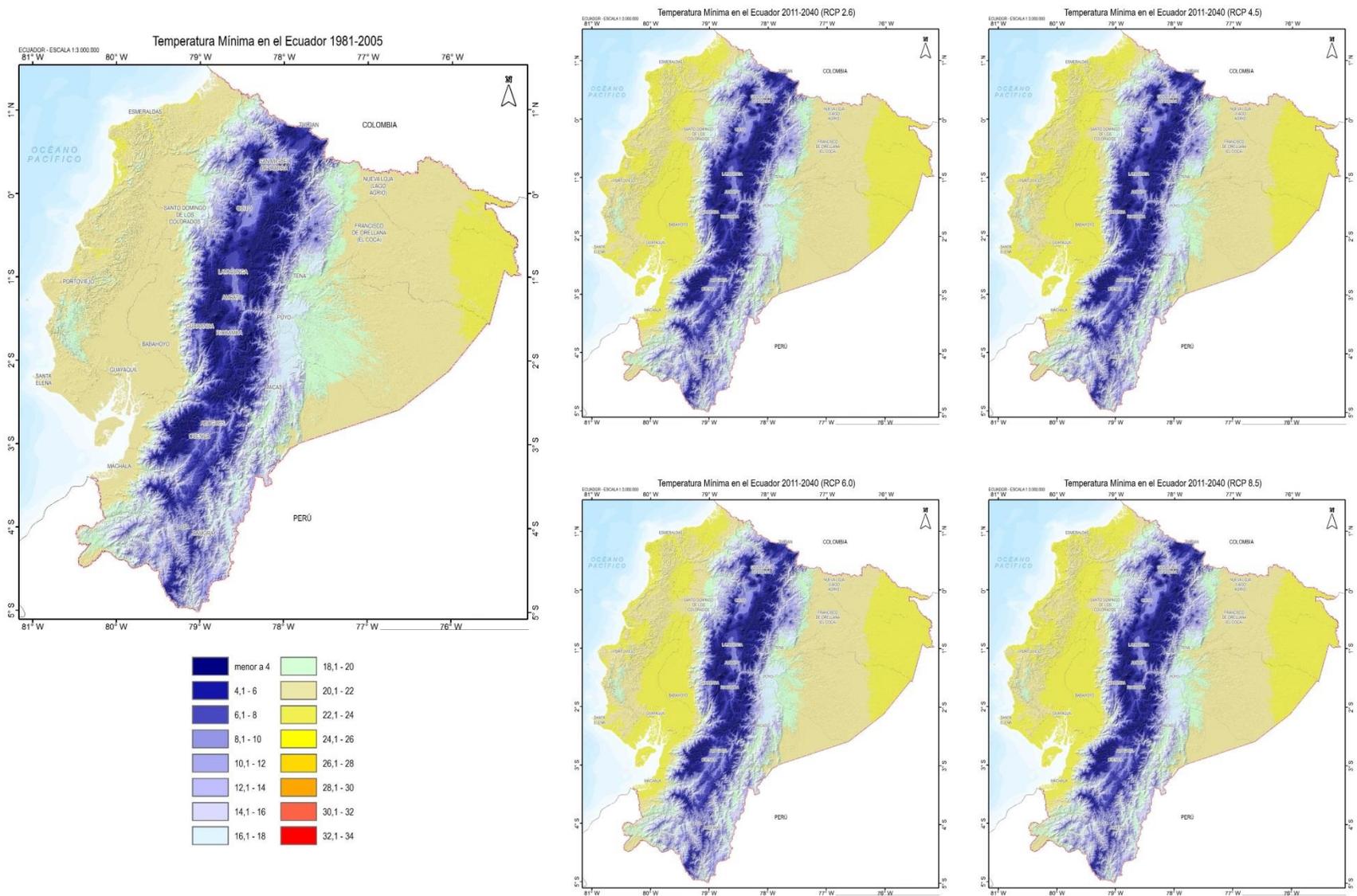


Figura 52. Temperatura mínima observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2011-2040.

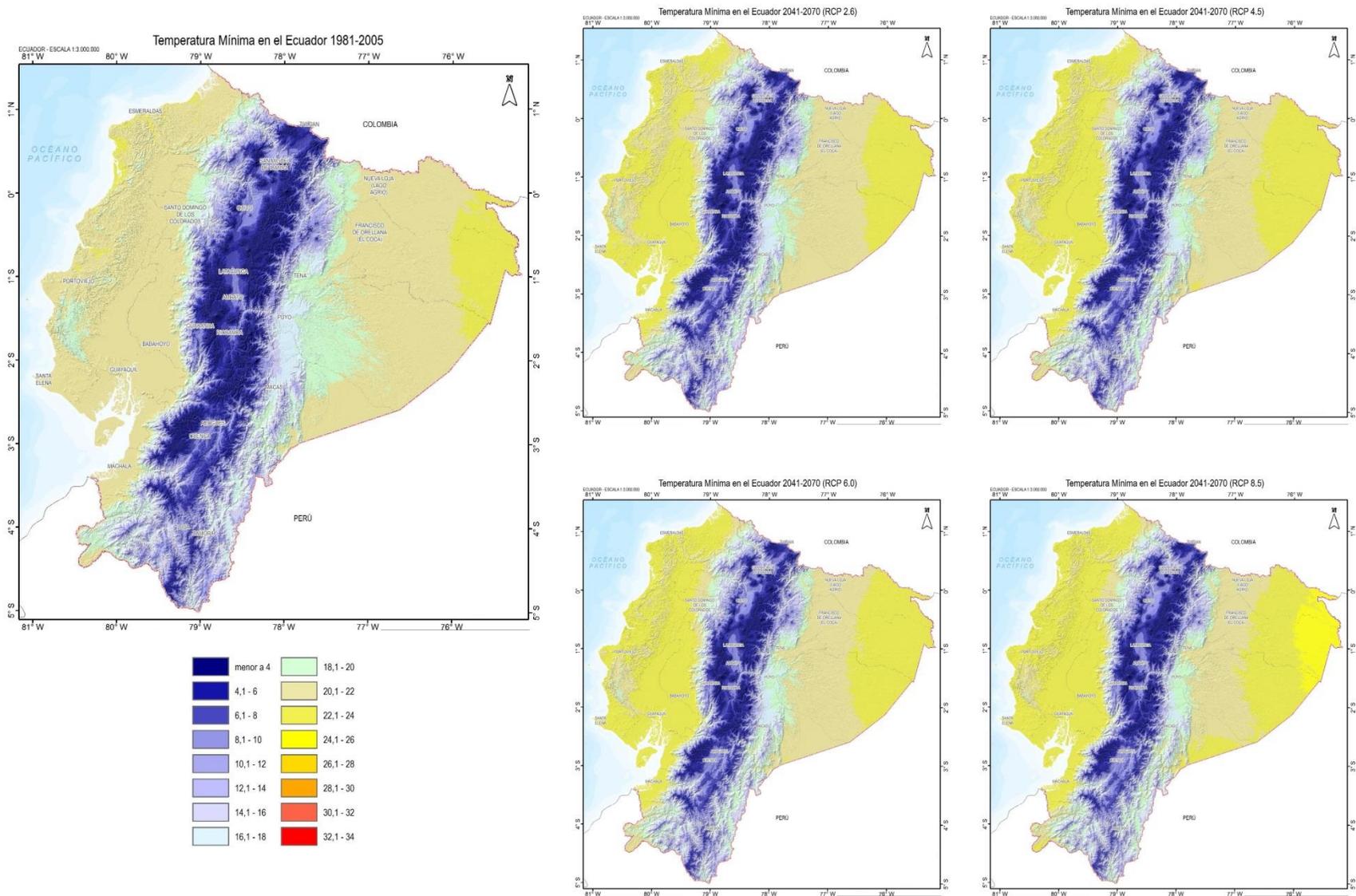


Figura 53. Temperatura mínima observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2041-2070.

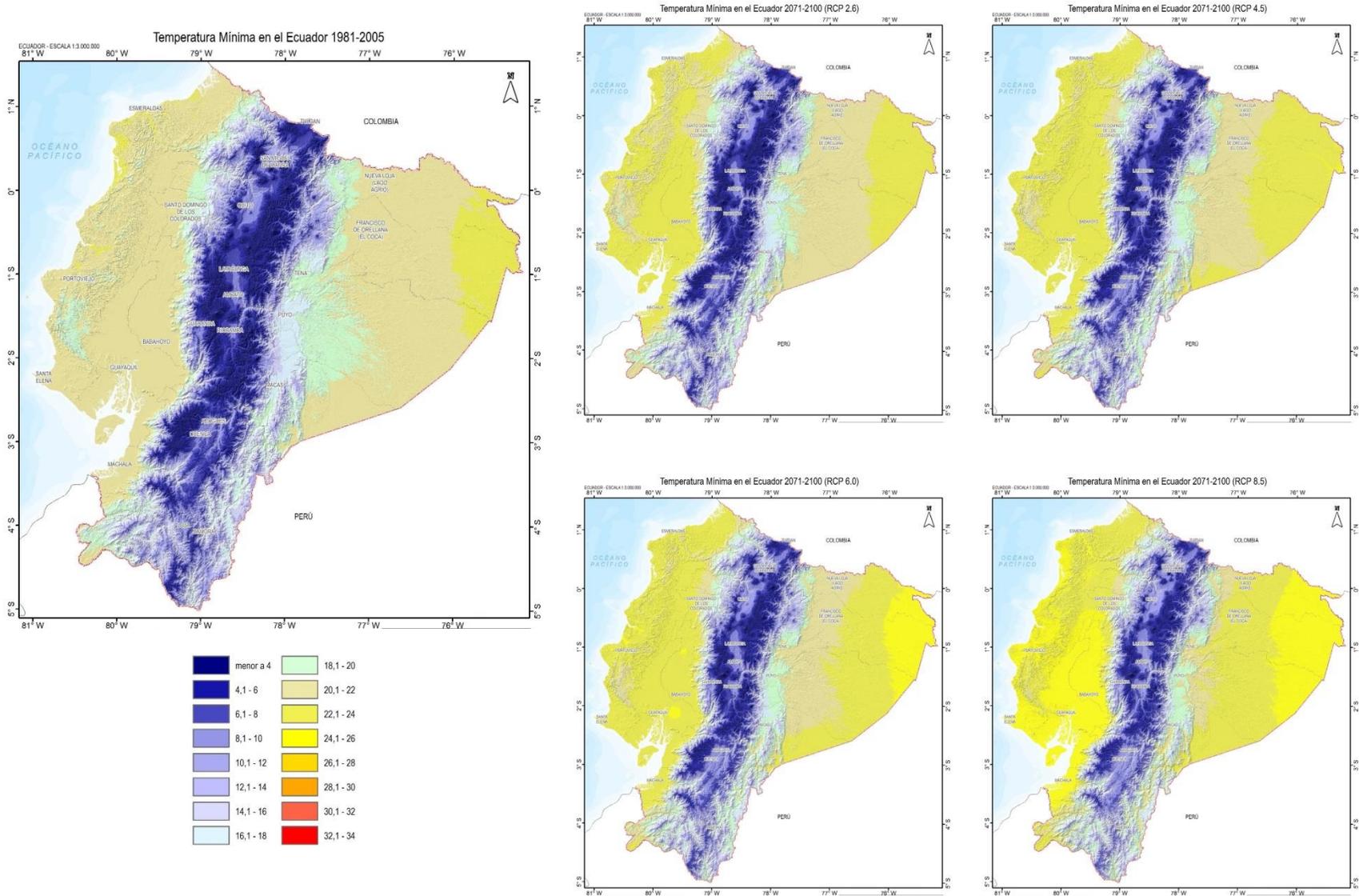


Figura 54. Temperatura mínima observada (1981-2005) y proyectada bajo los 4 escenarios RCP, para el periodo 2071-2100.

Para los 4 RCP en el periodo 2011-2040, la temperatura mínima mostraría incrementos entre 0,5 y 1°C en los cuatro escenarios. Para 2041-2070, las anomalías serían superiores a 1,5°C. Y hacia finales de siglo, los aumentos más significativos en la temperatura mínima (superiores a 2°C) se darían bajo los RCP 4.5, 6.0 y 8.5, siendo en este último los más altos, con valores superiores a los 3°C en el oriente, sur y occidente del territorio nacional (Figura 55).

A nivel estacional, en Diciembre-Enero-Febrero se presentarían incrementos de temperatura del orden de 1-1,5°C para el periodo 2011-2040, siendo los mayores en la Amazonía. Hacia mitad de siglo, la temperatura aumentaría entre 1,5 y 3°C, presentándose el mayor incremento bajo el RCP 8.5 hacia el oriente del país. Para finales de siglo, la temperatura sería en al menos 2°C superior al promedio 1981-2005, siendo las zonas con mayores incrementos la Amazonía y la Costa, con aumentos superiores a 3°C (Figura 56).

En Marzo-Abril-Mayo (Figura 57), la temperatura mínima se incrementaría en al menos 1°C hacia 2040, y en 1,5°C en la Amazonía. Hacia mitad de siglo, ésta presentaría incrementos superiores a 1,5°C, siendo mayores a 2°C en la Amazonía y en la Costa. Para finales de siglo, las anomalías de temperatura serían del orden de 2,5-3°C, siendo más altas bajo el RCP 8.5, con valores superiores a los 4°C.

Para Junio-Julio-Agosto, se presentarían incrementos en la temperatura mínima entre 0.5 y 1°C para 2011-2040. En 2041-2070, estos incrementos serían del orden de 1,5-2,5°C, siendo el oriente, sur y occidente del país las zonas con mayores aumentos. Para finales de siglo, bajo el RCP 8.5 los incrementos de temperatura serían superiores a 2,5°C en las mismas zonas mencionadas, aunque en la Costa, para esta misma época, el cambio sería superior a los 3°C (Figura 58).

Finalmente, para Septiembre-Octubre-Noviembre, la Amazonía y la Costa son las zonas en la que habría los mayores aumentos de la temperatura mínima (al menos en 2,5°C) desde mitad de siglo. Hacia 2040, el incremento sería de al menos 1°C en la mayor parte de Ecuador; para mitad de siglo el incremento sería entre 1,5 y 2,5°C, y para 2071-2100 el aumento de esta variable sería de al menos 2°C en la Sierra, y con incrementos superiores a los 3°C en la Amazonía y a los 4°C en la Costa (Figura 59).

ANOMALÍAS TEMPERATURA MÍNIMA - PROMEDIO ANUAL

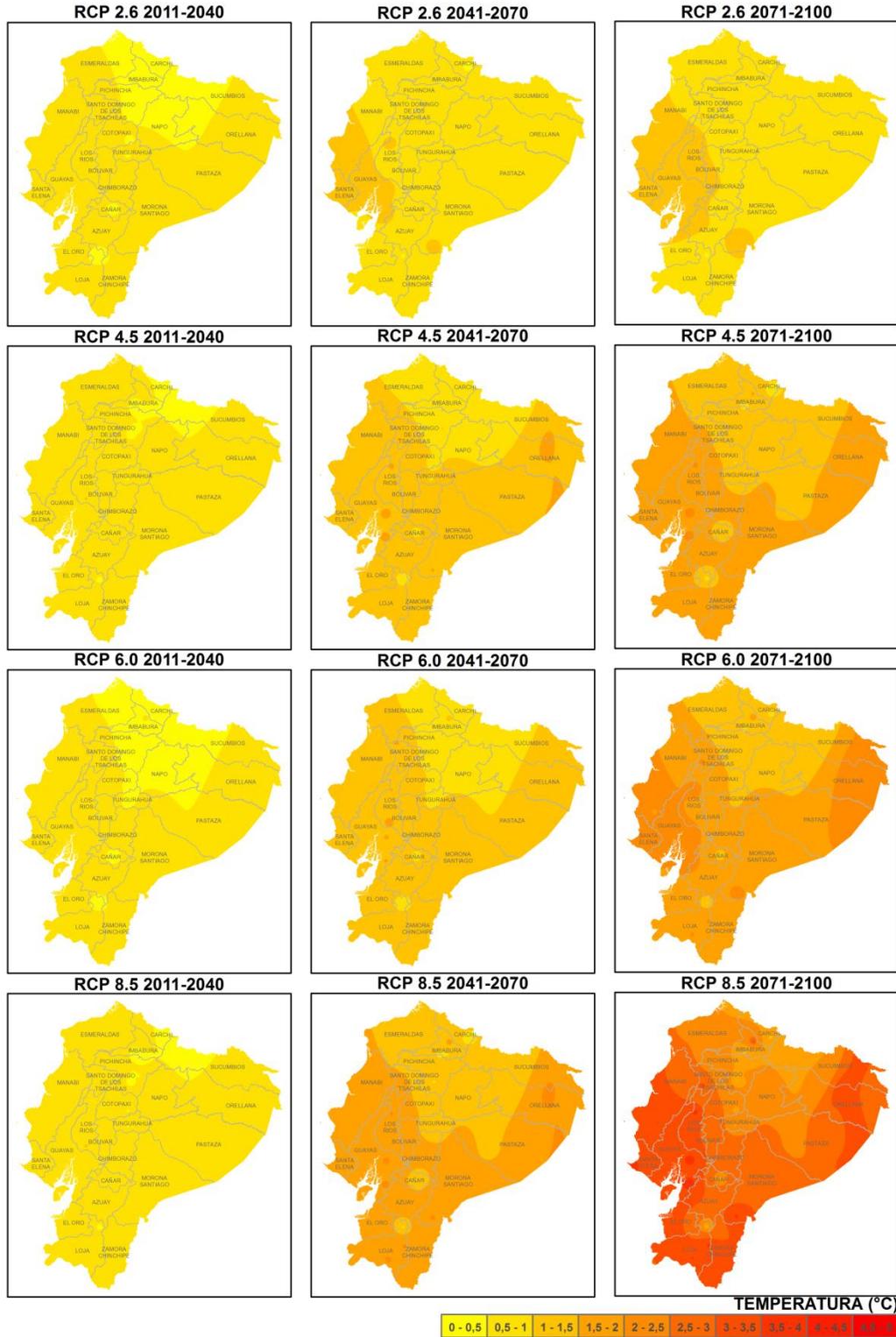


Figura 55. Distribución espacial del cambio de la temperatura mínima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005.

ANOMALÍAS TEMPERATURA MÍNIMA - TRIMESTRE: DICIEMBRE ENERO FEBRERO

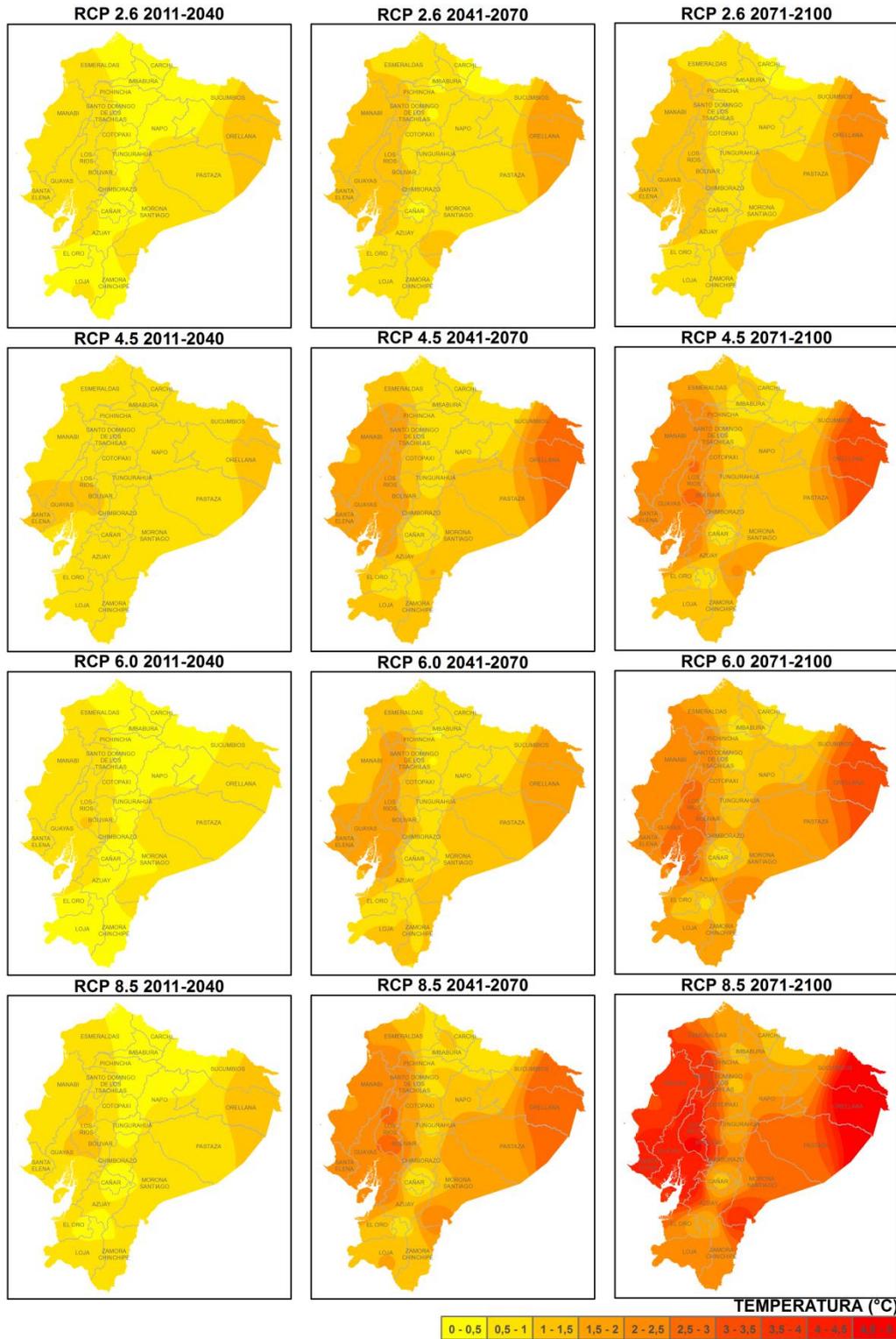


Figura 56. Distribución espacial del cambio de la temperatura mínima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Diciembre-Enero-Febrero.

ANOMALÍAS TEMPERATURA MÍNIMA - TRIMESTRE: MARZO ABRIL MAYO

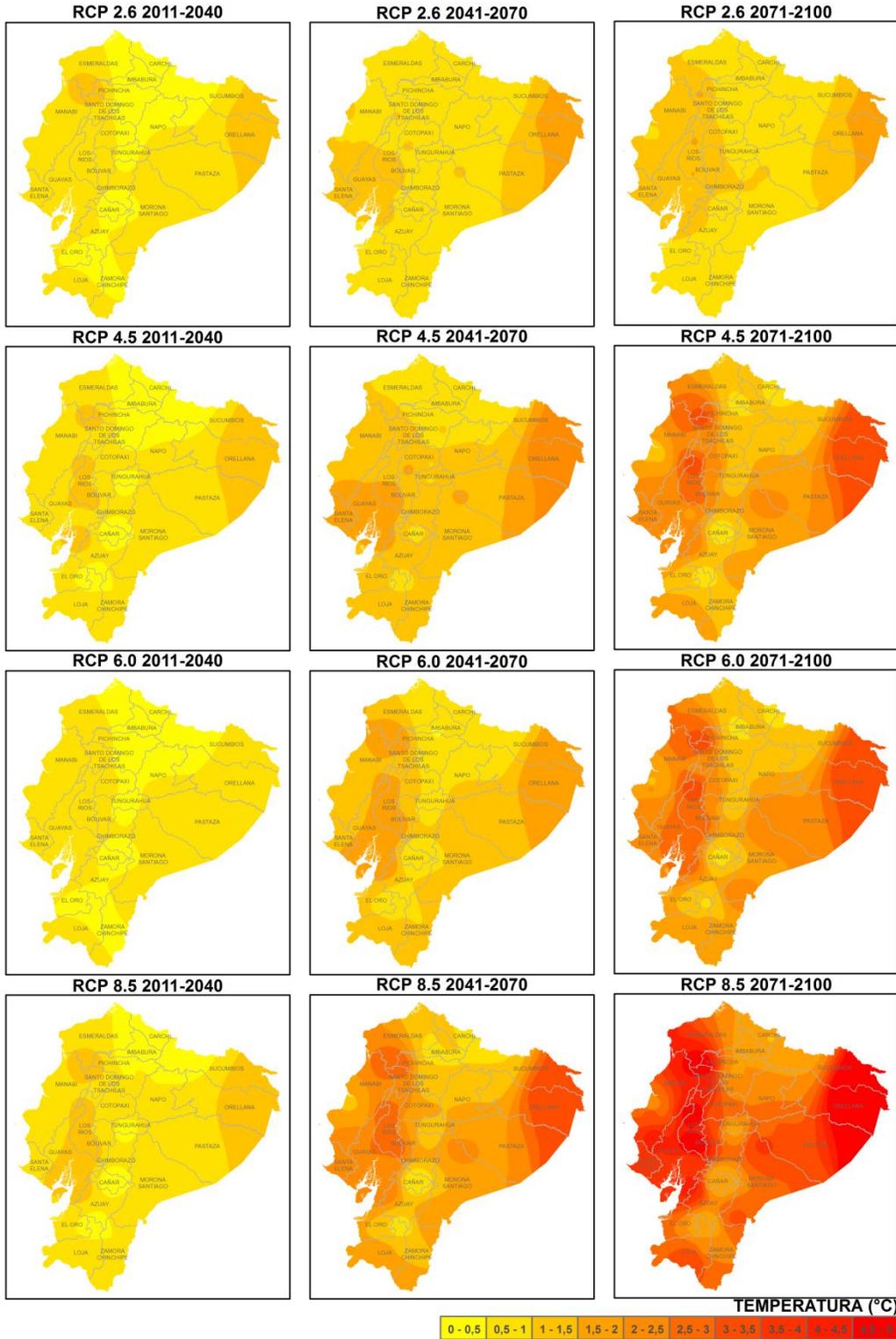


Figura 57. Distribución espacial del cambio de la temperatura mínima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Marzo-Abril-Mayo.

ANOMALÍAS TEMPERATURA MÍNIMA - TRIMESTRE: JUNIO JULIO AGOSTO

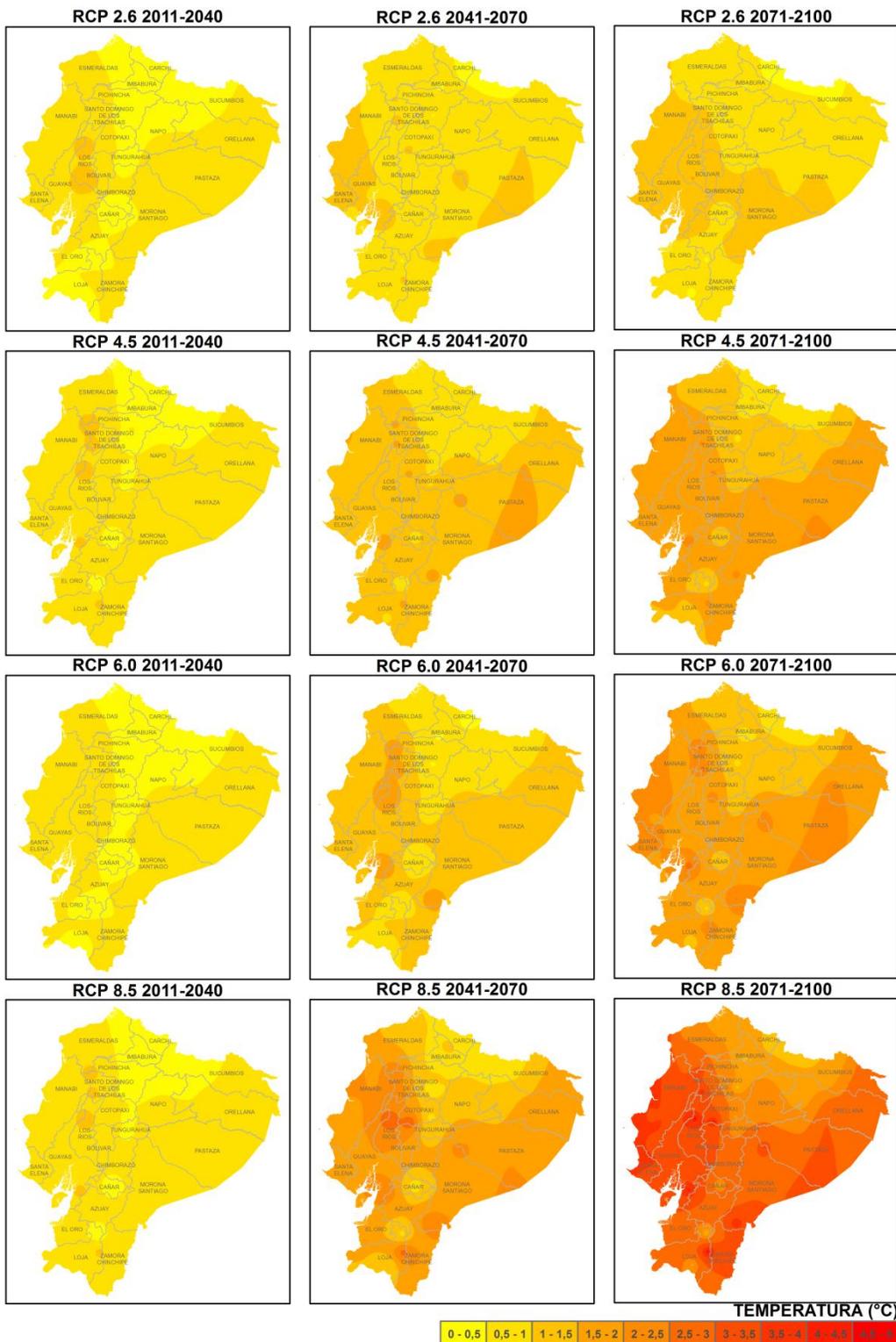


Figura 58. Distribución espacial del cambio de la temperatura mínima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Junio-Julio-Agosto.

ANOMALÍAS TEMPERATURA MÍNIMA - TRIMESTRE: SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE

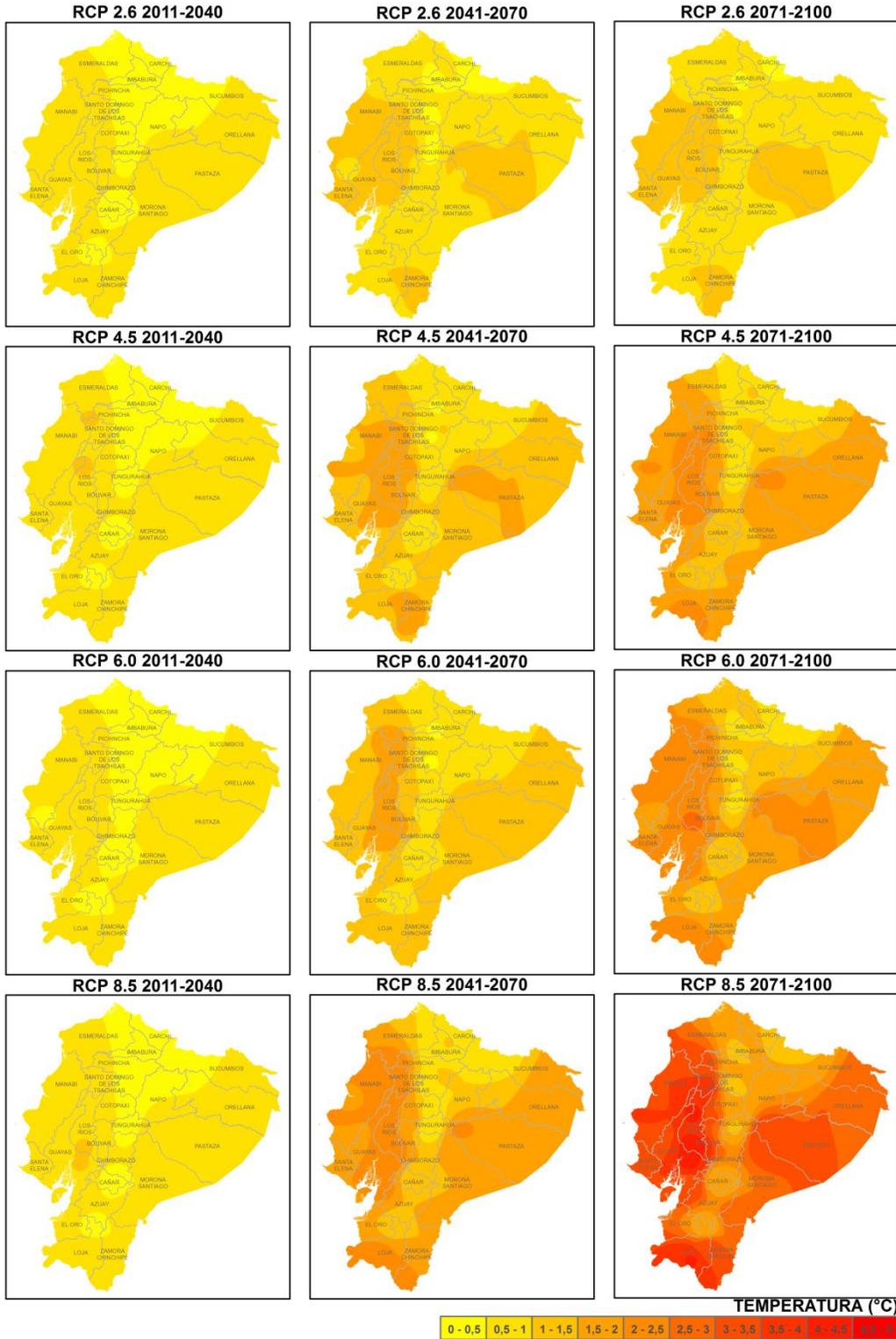


Figura 59. Distribución espacial del cambio de la temperatura mínima proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Septiembre-Octubre-Noviembre.

Las proyecciones de los escenarios para la temperatura mínima, a nivel regional y país con base en los datos de las 29 estaciones utilizadas, presentan para el periodo 2011-2040 un aumento entre 0,6 y 0,7°C para Ecuador, y los mayores incrementos se darían en la Costa (0,6-0,9°C) y la Amazonía (0,7-0,85°C). En 2041-2070 el aumento sería de 0,8 a 1,5°C, con los mayores incrementos de la temperatura mínima en la Costa (1,1-2°C) y la Amazonía (1-1,9°C). Para 2071-2100, esta variable se incrementaría entre 0,9 y 2,8°C en Ecuador, aunque para la Amazonía estos incrementos serían mayores, entre 1,3 y 3,5°C (Tabla 10).

Tabla 10. Anomalía de la temperatura mínima por regiones y a nivel país, proyectado por los 4 escenarios RCP.

2011-2040	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Amazonía	0,71	0,83	0,70	0,85
Costa	0,66	0,85	0,63	0,86
Sierra	0,52	0,62	0,51	0,62
ECUADOR	0,58	0,69	0,56	0,70

2041-2070	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Amazonía	0,98	1,42	1,36	1,90
Costa	1,13	1,52	1,40	1,99
Sierra	0,68	0,98	1,00	1,34
ECUADOR	0,82	1,16	1,13	1,56

2071-2100	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Amazonía	1,28	2,32	2,54	3,46
Costa	1,00	2,20	2,41	2,91
Sierra	0,72	1,53	1,71	2,49
ECUADOR	0,86	1,80	1,99	2,76

Cambios Proyectados en la Precipitación

Para poder apreciar cómo sería el cambio de la precipitación bajo las proyecciones de los escenarios RCP, a manera de ejemplo se presentan las series mensuales de esta variable para 4 estaciones de cada una de las regiones del país: Inguincho (M0001, ubicada en la Sierra Norte), Portoviejo (M0005, ubicada en la Costa Norte), Nuevo Rocafuerte (M0007, al oriente de la Amazonía) y San Cristóbal (M0221, ubicada en el archipiélago de Galápagos). Las series y los análisis fueron generados para las 137 estaciones con datos para esta variable, y utilizando el método de ensamble REA, descrito anteriormente.

En general, se puede apreciar que la precipitación no presentaría cambios significativos en el periodo 2011-2100 en estas estaciones (Figura 60), sin embargo, para la estación ubicada en Galápagos se presentarían incrementos superiores al 10% bajo el RCP 8.5. Además, se observa que en las estaciones de la Amazonía Oriental y del archipiélago de Galápagos habría incrementos en los eventos de variabilidad climática asociados a aumentos de precipitación.

Al analizar la distribución de frecuencias en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, se observa que para la estaciones de la Sierra Norte (Figura 61) y la Costa Norte (Figura 62), habría incrementos del orden del 10% hacia finales de siglo, con respecto al comportamiento actual; en la estación de la Amazonía Oriental (Figura 63) se presentarían reducciones de precipitación del mismo orden (10%). En Galápagos se presentarían incrementos de precipitación del orden de 10-15% (Figura 64).

Para poder entender los cambios proyectados de la precipitación a nivel espacial, se presenta el mapa de la precipitación anual para el periodo 1981-2005 (Figura 65). La distribución espacial de los cambios proyectados muestra que en el periodo 2011-2040 habrían incrementos entre el 2-10% de la precipitación en la mayoría del territorio nacional, con reducciones del mismo orden para el oriente la Amazonía bajo los RCP 2.6 y 4.5. A mitad de siglo se mantendrían estas variaciones, excepto bajo el RCP 8.5, donde los incrementos serían entre el 10 y el 20% en el centro del país. Finalmente, para 2071-2100, la Amazonía presentaría un comportamiento variado, con reducciones entre el 2 y 10% en las precipitaciones hacia el oriente de la región y con incrementos del 10-20% en el centro y occidente, y bajo los RCP 2.6 y 4.5, habría incrementos el 5-15% en el resto del país, mientras que estos estarían entre el 15-30% bajo los otros dos escenarios (RCP 6.0 y 8.5) (Figura 66).

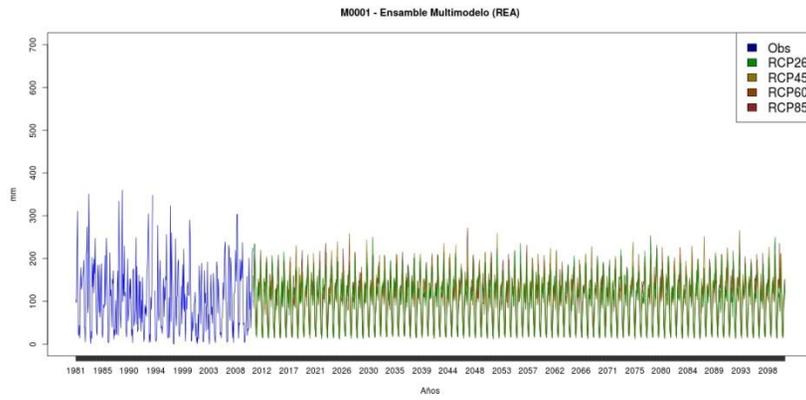
A nivel estacional, para Diciembre-Enero-Febrero no habría cambios significativos en la precipitación bajo los 4 RCP. En el escenario “optimista” (RCP 2.6) habría reducciones de precipitación al norte del país hacia finales de siglo. El RCP 4.5 muestra incrementos superiores al 10% hacia finales de siglo en la Costa Central. Bajo el RCP 6.0 los incrementos se

darían en la parte central del país. Finalmente, el RCP 8.5 presenta superiores al 10% en gran parte del territorio nacional, siendo los más altos en la franja central del país (Figura 67).

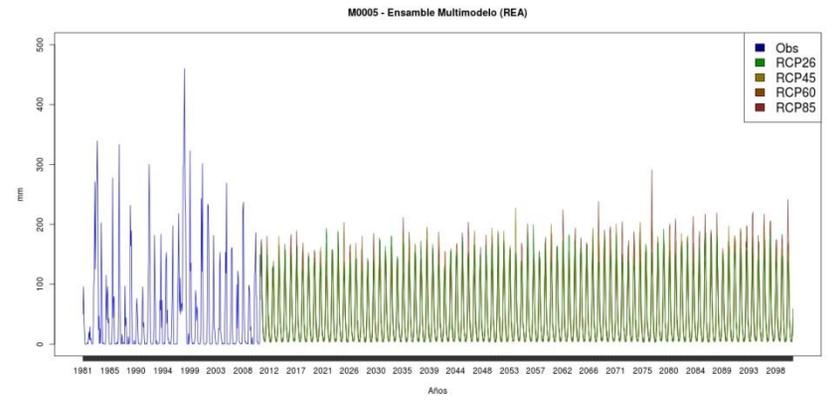
Para Marzo-Abril-Mayo (Figura 68), para el periodo 2011-2040 apenas habría variaciones de precipitación del orden de -10 a 10% en la mayor parte de Ecuador, con las reducciones hacia el oriente de la Amazonía y los incrementos en el resto del país. Para mitad de siglo, los RCP 2.6, 4.5 y 6.0 presentan incrementos de 2-10% en gran parte del territorio, mientras que bajo el RCP 8.5 los incrementos están entre el 10-20% para gran parte del país, exceptuando el norte y la Costa central. Para final de siglo, en los RCP 2.6 y 4.5 se mantendrían los incrementos inferiores al 10%, mientras que el RCP 6.0 muestra incrementos del 10 al 20% en la Amazonía y la Sierra Central y la Costa Norte. Bajo el RCP 8.5, para el mismo periodo, este incremento sería entre 10-20% en todo el país.

En Junio-Julio-Agosto se presentaría un comportamiento variado, con reducciones de precipitación del orden de un 10% en el oriente, sur y occidente del Ecuador bajo el escenario “optimista”, mientras que los demás escenarios presentarían estas reducciones únicamente en la Amazonía Oriental. Hacia mitad de siglo habría aumentos de la precipitación entre el 10 y el 20% bajo los RCP 4.5, 6.0 y 8.5 en el centro y occidente del país. Para el periodo 2071-2100, el escenario “optimista” (RCP 2.6) presentaría variaciones del 10% en la precipitación, con reducciones en el sur y oriente del país, e incrementos en el resto del territorio nacional. Para el escenario “pesimista” (RCP 8.5), habría incrementos del 20-30% en gran parte del territorio, con zonas en la Sierra y en la Costa en las que estos incrementos son superiores al 30% (Figura 69).

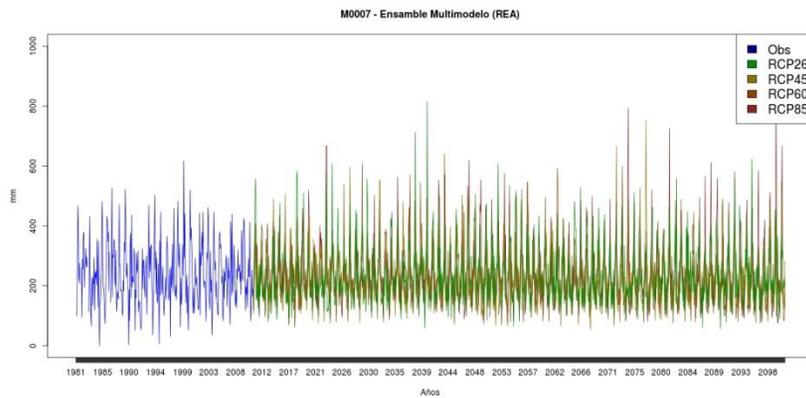
Finalmente, para Septiembre-Octubre-Noviembre, el escenario “optimista” presentaría reducciones de precipitación entre el 2-10% para gran parte del país, y entre el 10 y el 20% en la Amazonía Oriental desde mitad de siglo. Bajo los escenarios intermedios (RCP 4.5 y 6.0), las reducciones se mantendrían en el norte, sur y oriente del territorio, con valores del 2-10% en el norte y sur y del 10-20% en el oriente. Para el resto del país, habría incrementos de precipitación del 10%. Por último, bajo el escenario “pesimista” (RCP 8.5), en este trimestre habría reducciones de precipitación del 2-10% en el periodo 2011-2040 hacia el norte, oriente y occidente del país, y desde mitad de siglo, estas reducciones se mantendrían apenas en la parte norte y oriental de la Amazonía, siendo las reducciones más altas (del 10-20%) en el oriente (Figura 70).



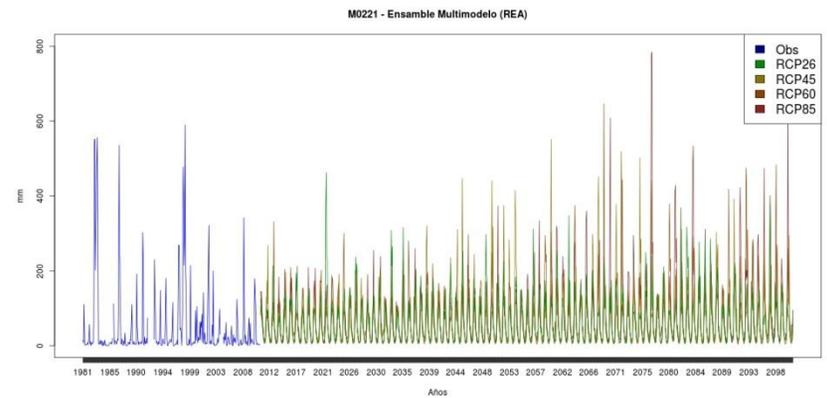
Estación Inguincho



Estación Portoviejo



Estación Nuevo Rocafuerte



Estación San Cristóbal

Figura 60. Series mensuales de precipitación observada (1981-2010) y proyectada (2011-2100) bajo los 4 escenarios RCP, para cuatro estaciones representativas de cada región del Ecuador.

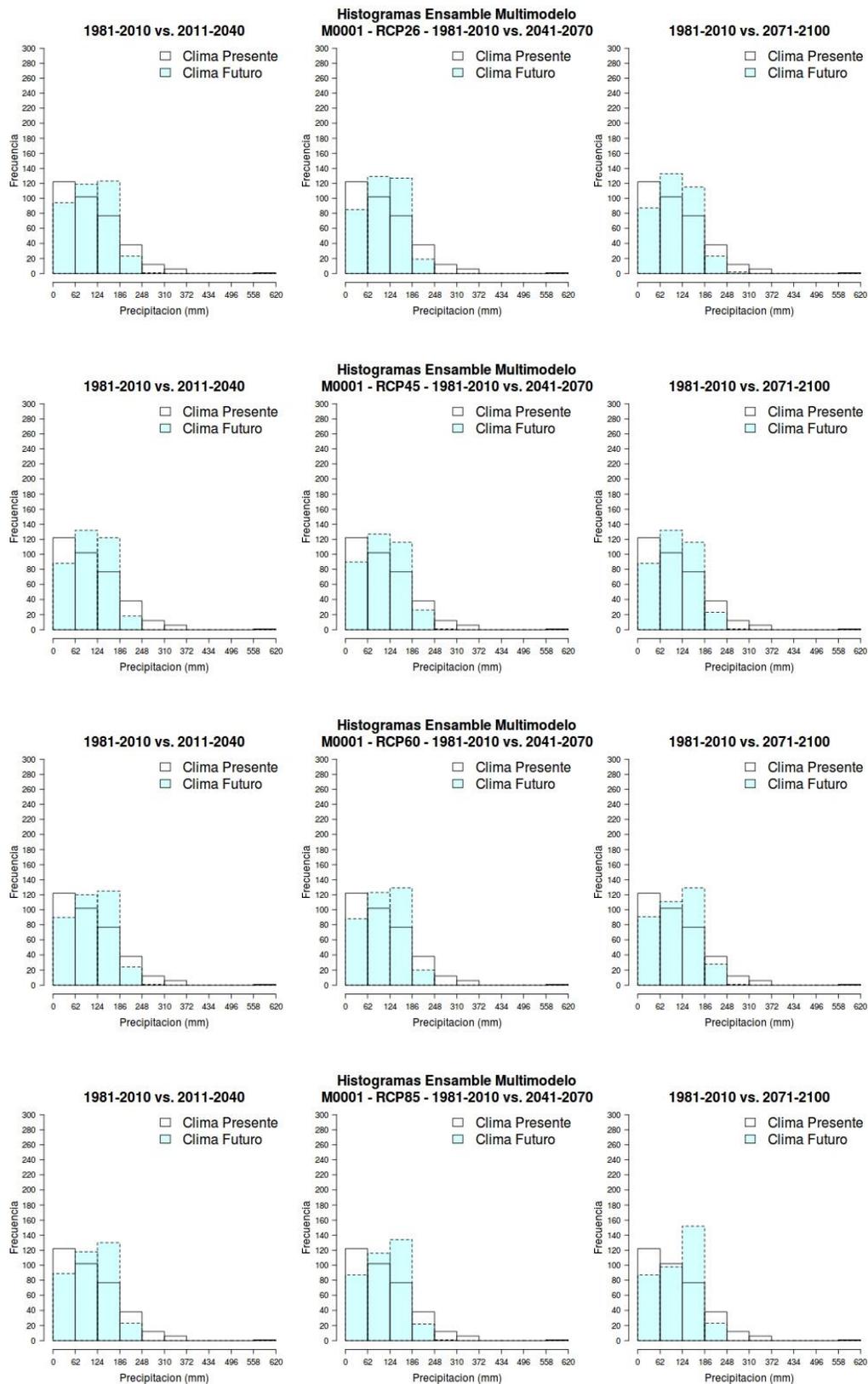


Figura 61. Histogramas de precipitación observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Inguincho.

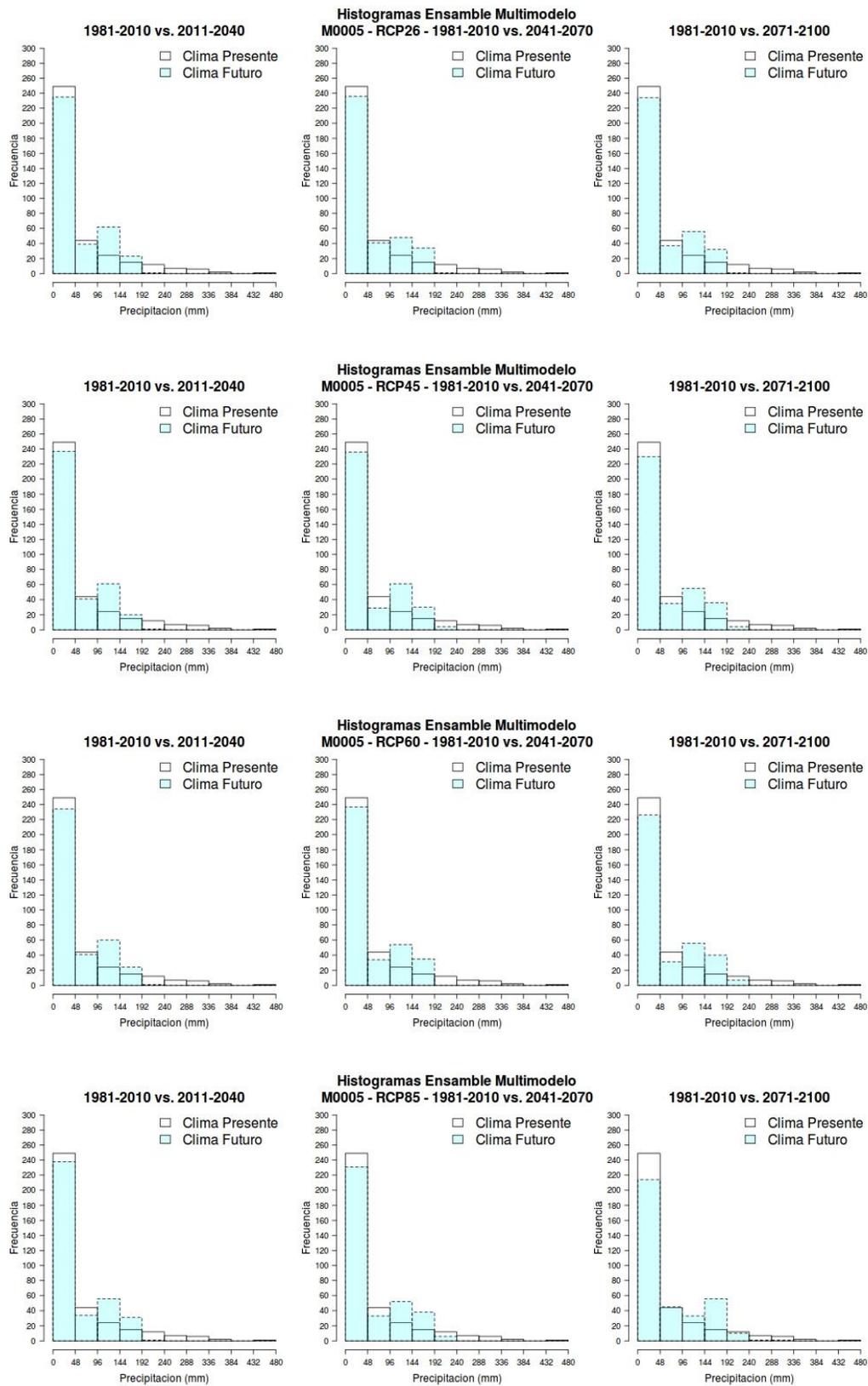


Figura 62. Histogramas de precipitación observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Portoviejo.

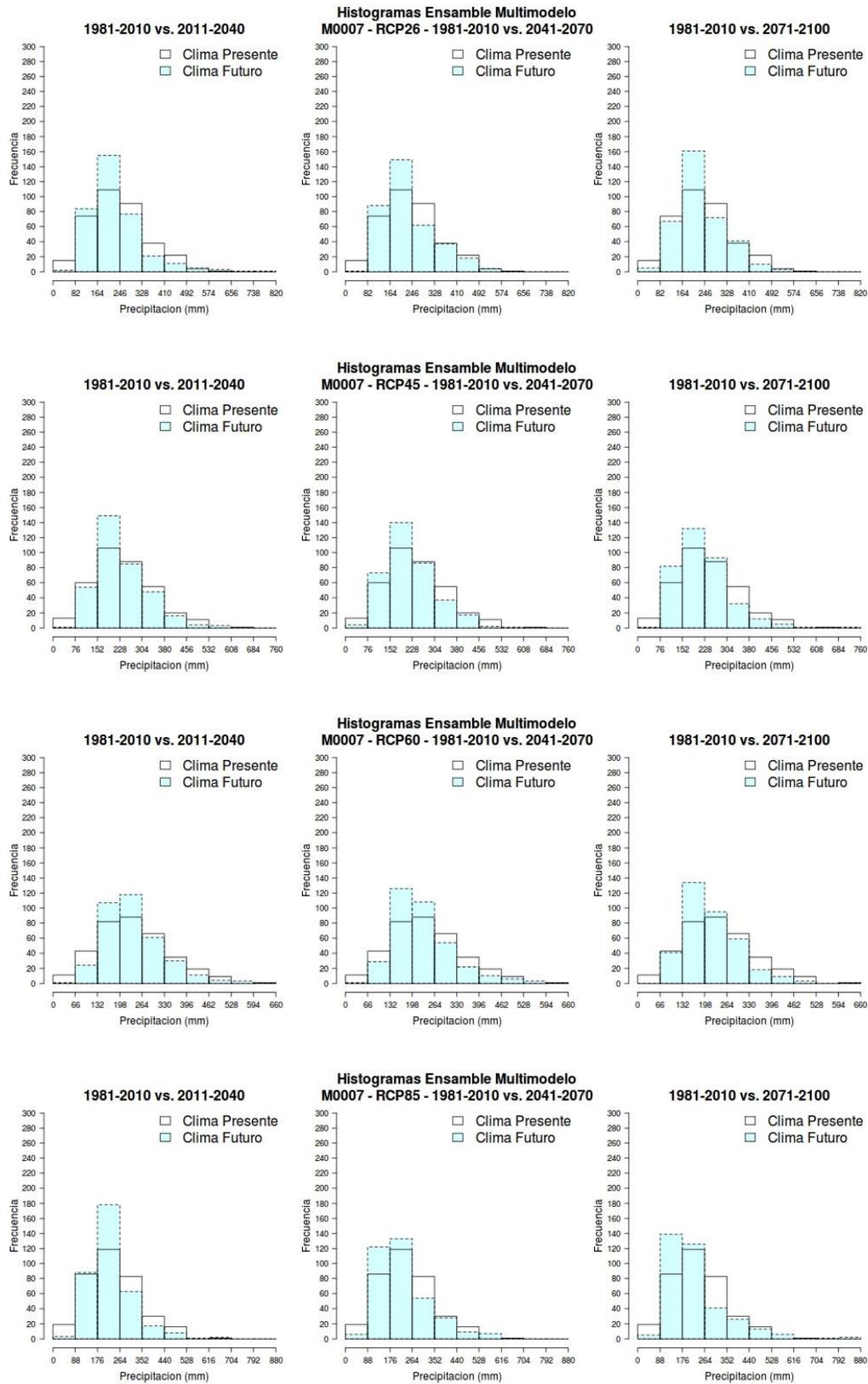


Figura 63. Histogramas de precipitación observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación Nuevo Rocafuerte.

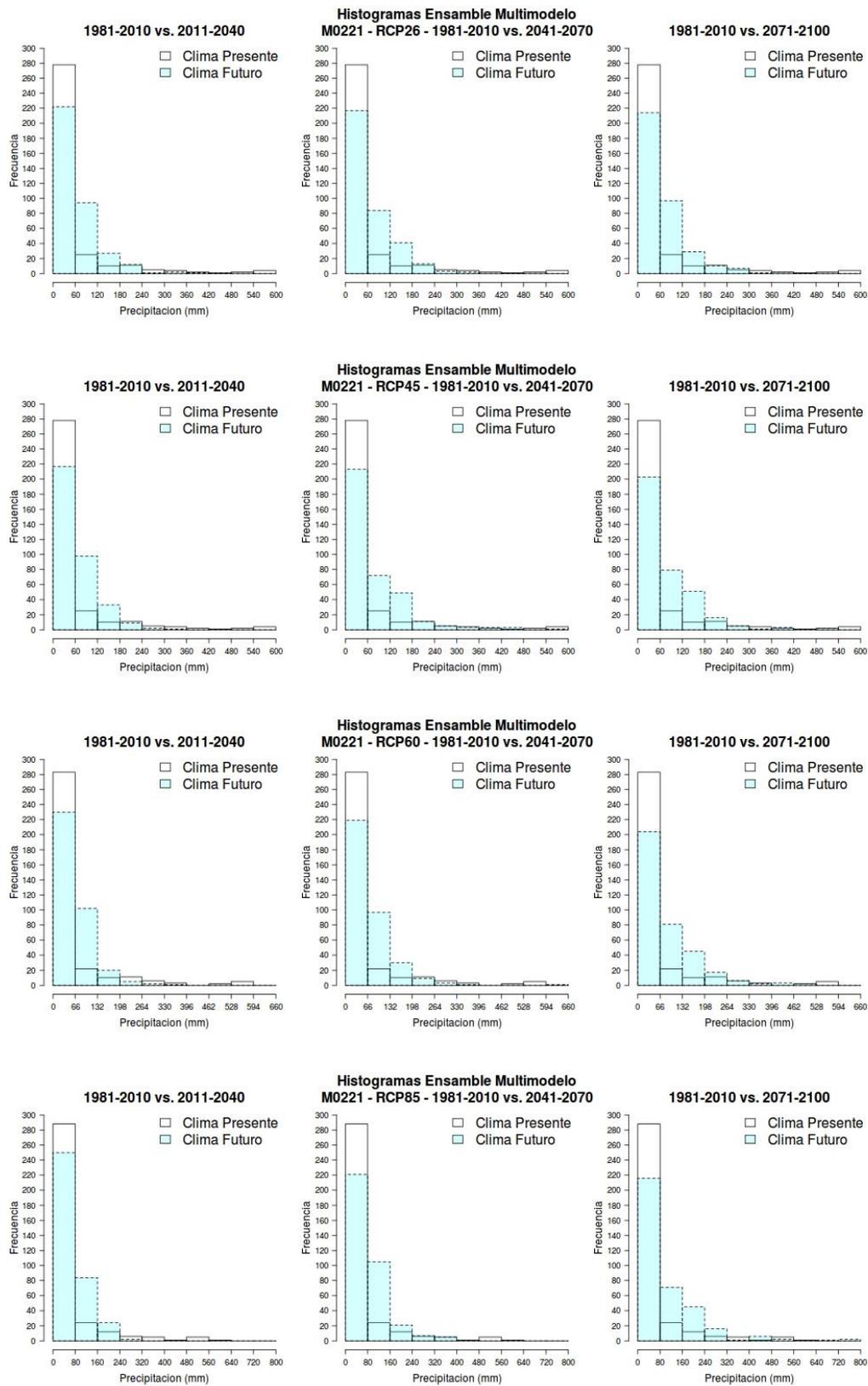


Figura 64. Histogramas de precipitación observada (1981-2010) y proyectada para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, bajo los 4 escenarios RCP, para la estación San Cristóbal.

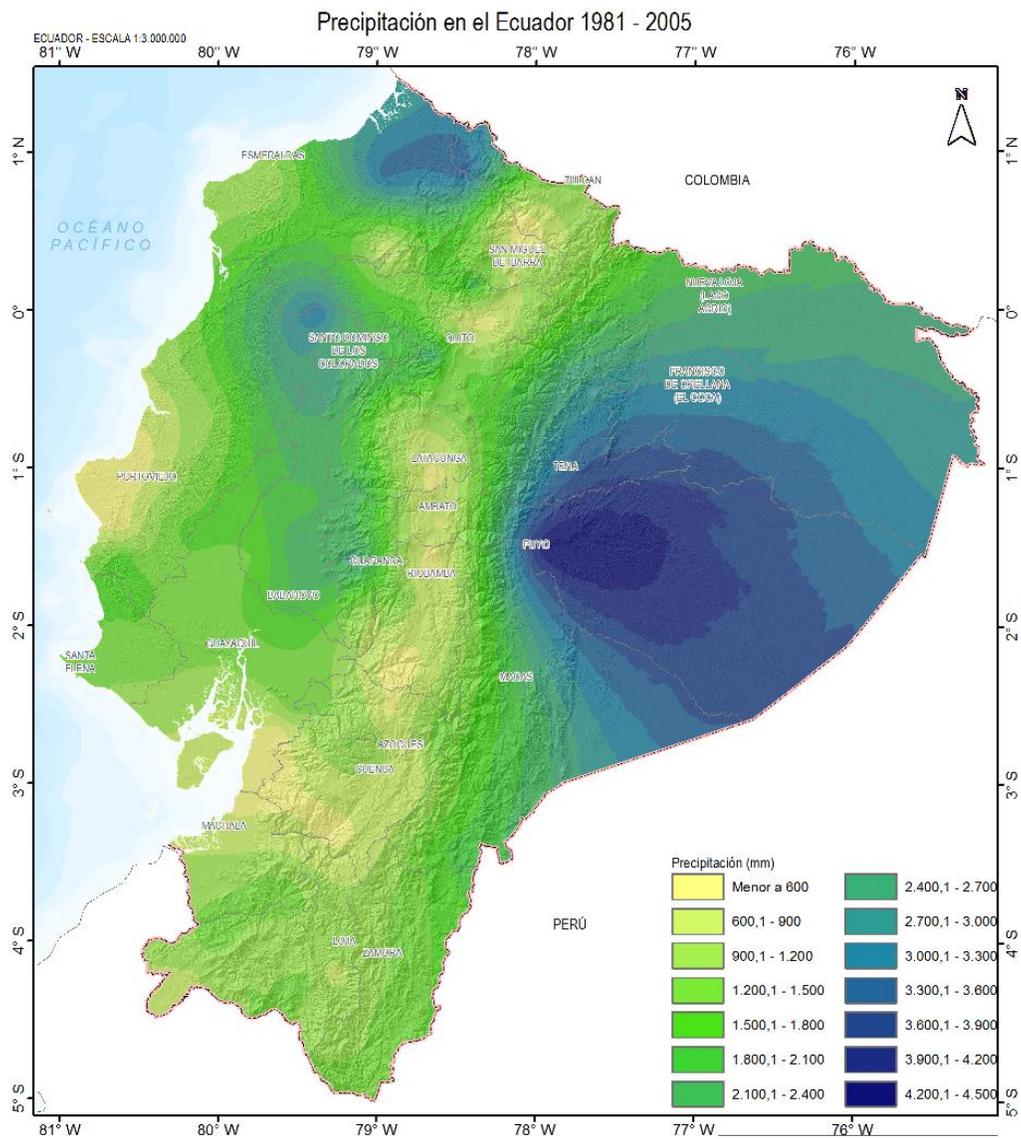


Figura 65. Precipitación anual de Ecuador, promedio 1981-2005.

ANOMALÍAS PRECIPITACIÓN - PROMEDIO ANUAL

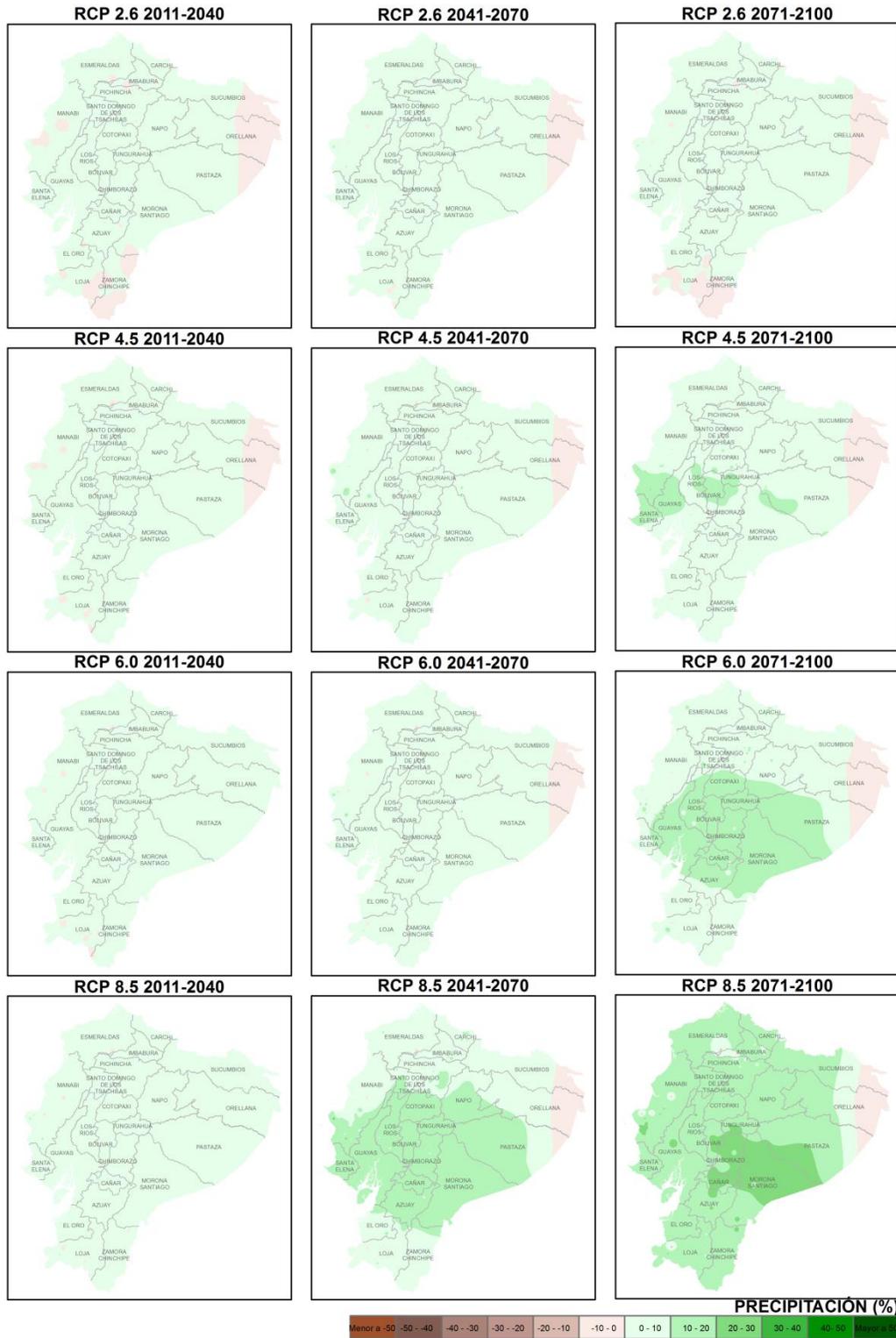


Figura 66. Distribución espacial del cambio de la precipitación proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005.

ANOMALÍAS PRECIPITACIÓN - TRIMESTRE: DICIEMBRE ENERO FEBRERO

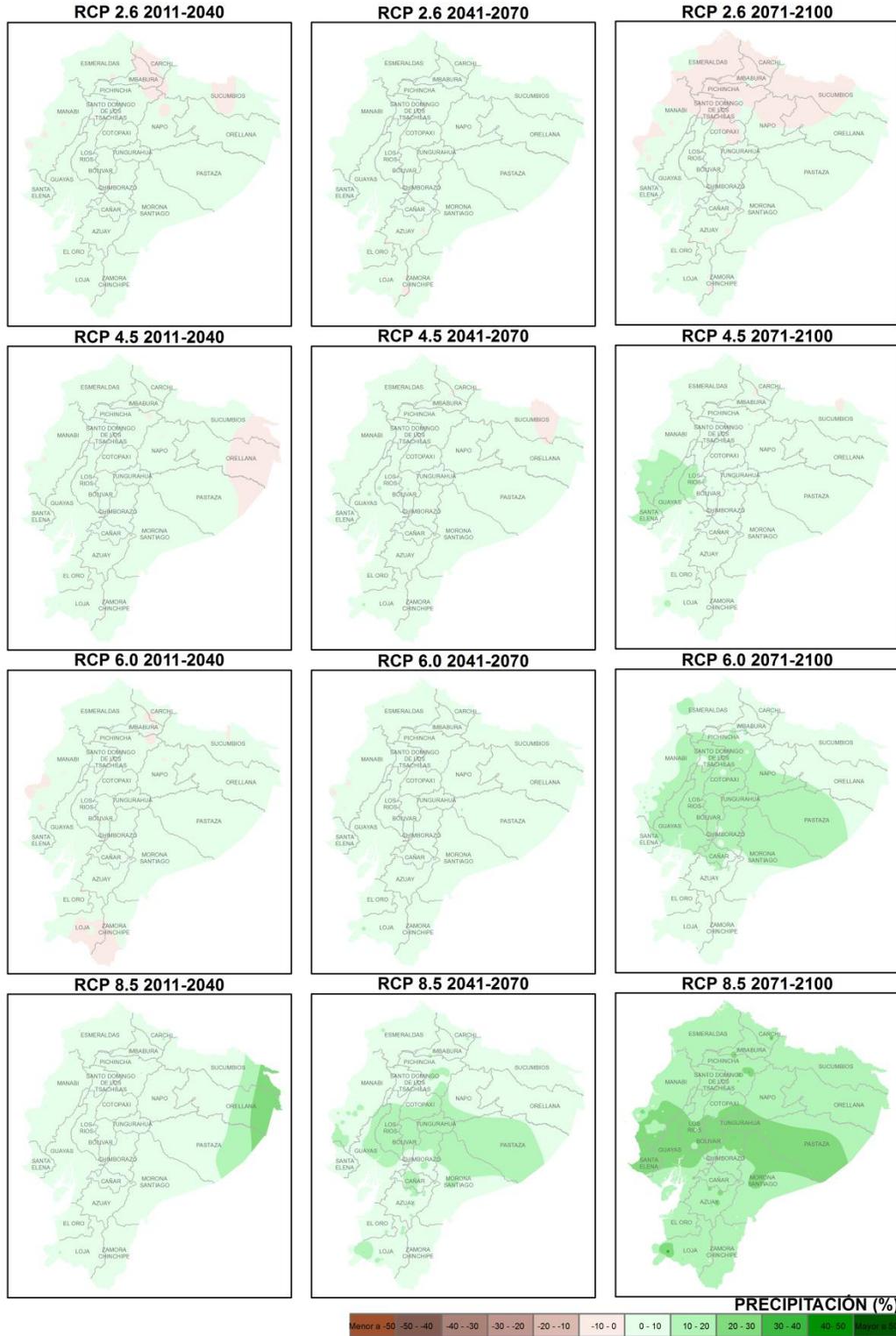


Figura 67. Distribución espacial del cambio de la precipitación proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Diciembre-Enero-Febrero.

ANOMALÍAS PRECIPITACIÓN - TRIMESTRE: MARZO ABRIL MAYO

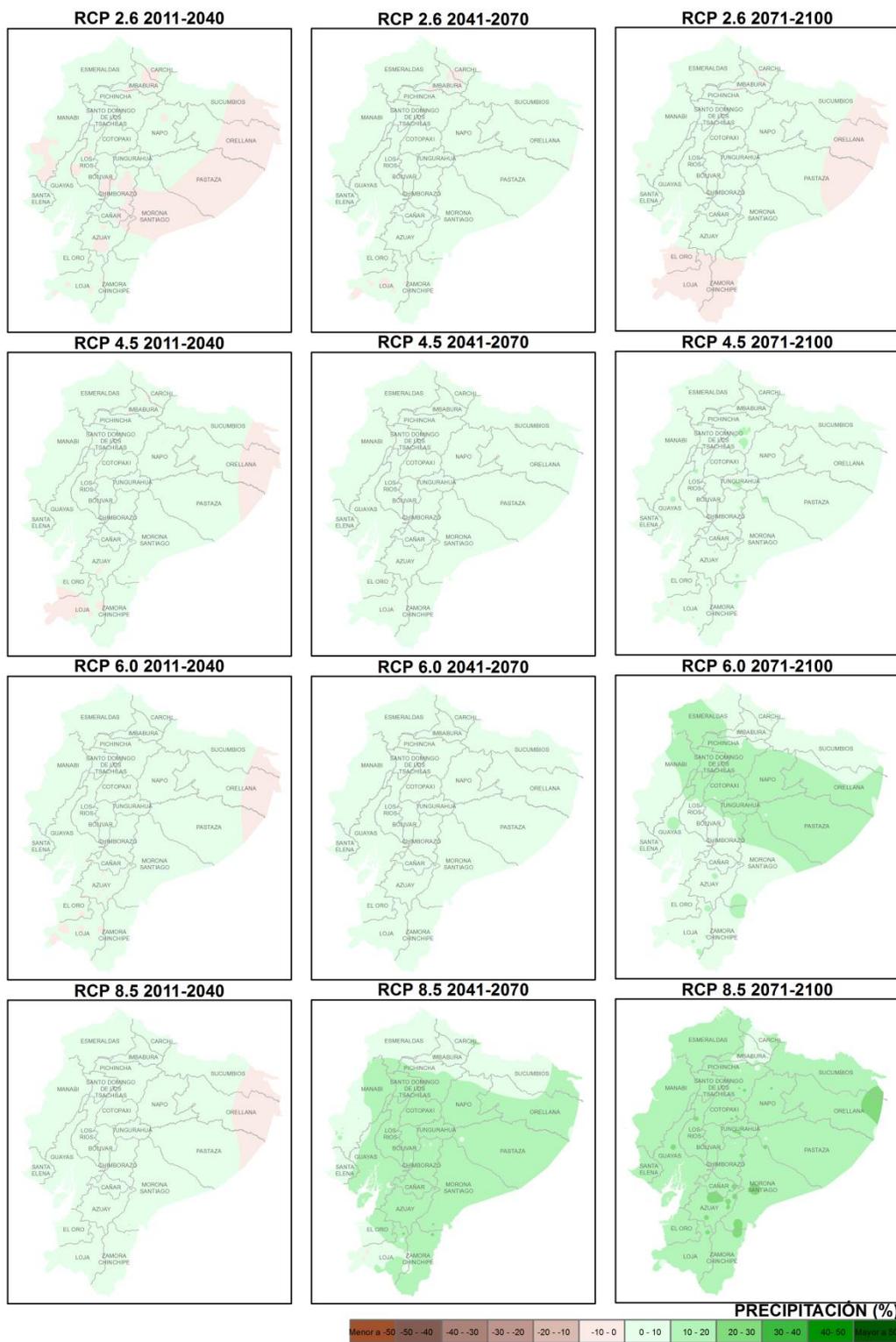


Figura 68. Distribución espacial del cambio de la precipitación proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Marzo-Abril-Mayo.

ANOMALÍAS PRECIPITACIÓN - TRIMESTRE: JUNIO JULIO AGOSTO

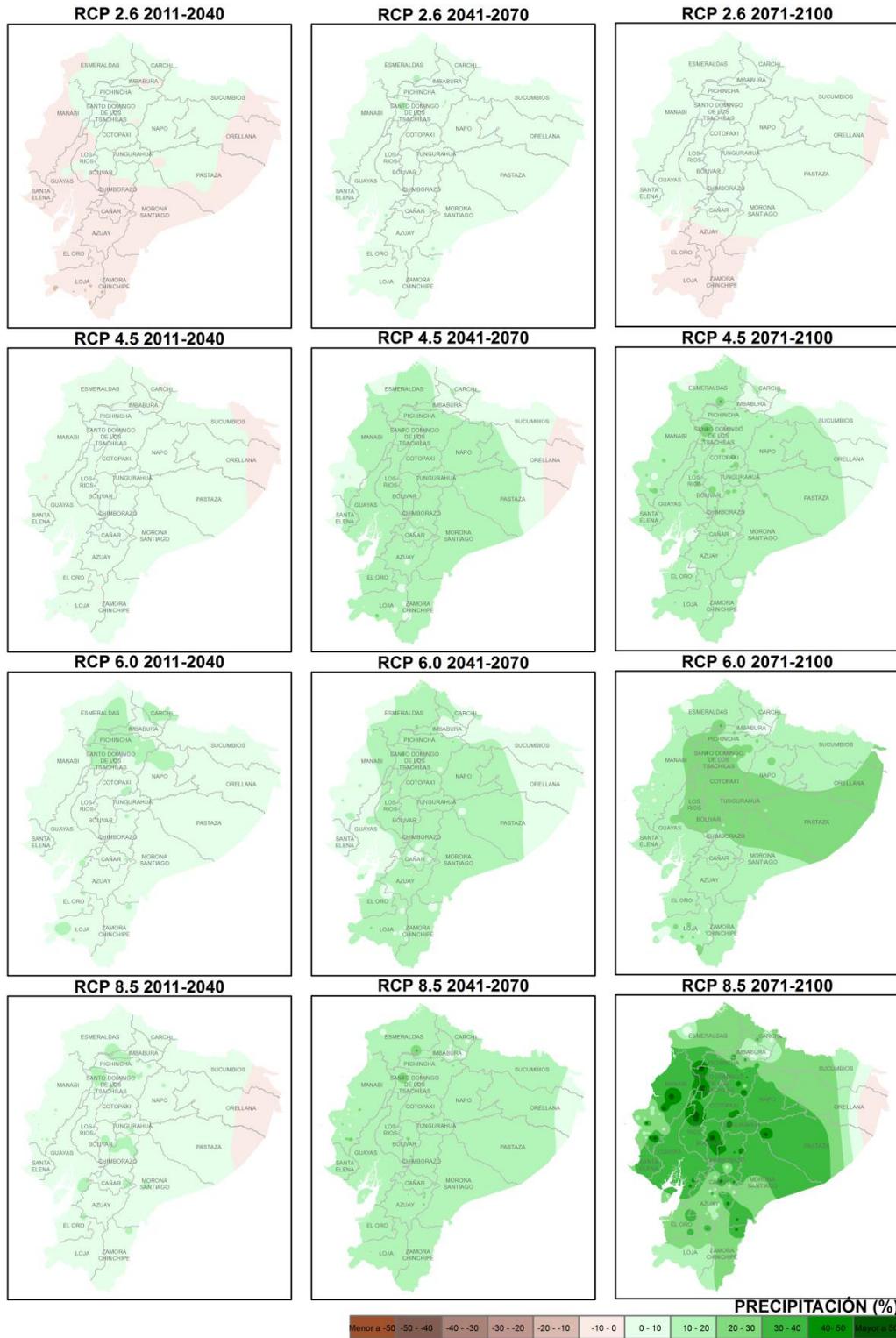


Figura 69. Distribución espacial del cambio de la precipitación proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Junio-Julio-Agosto.

ANOMALÍAS PRECIPITACIÓN - TRIMESTRE: SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE

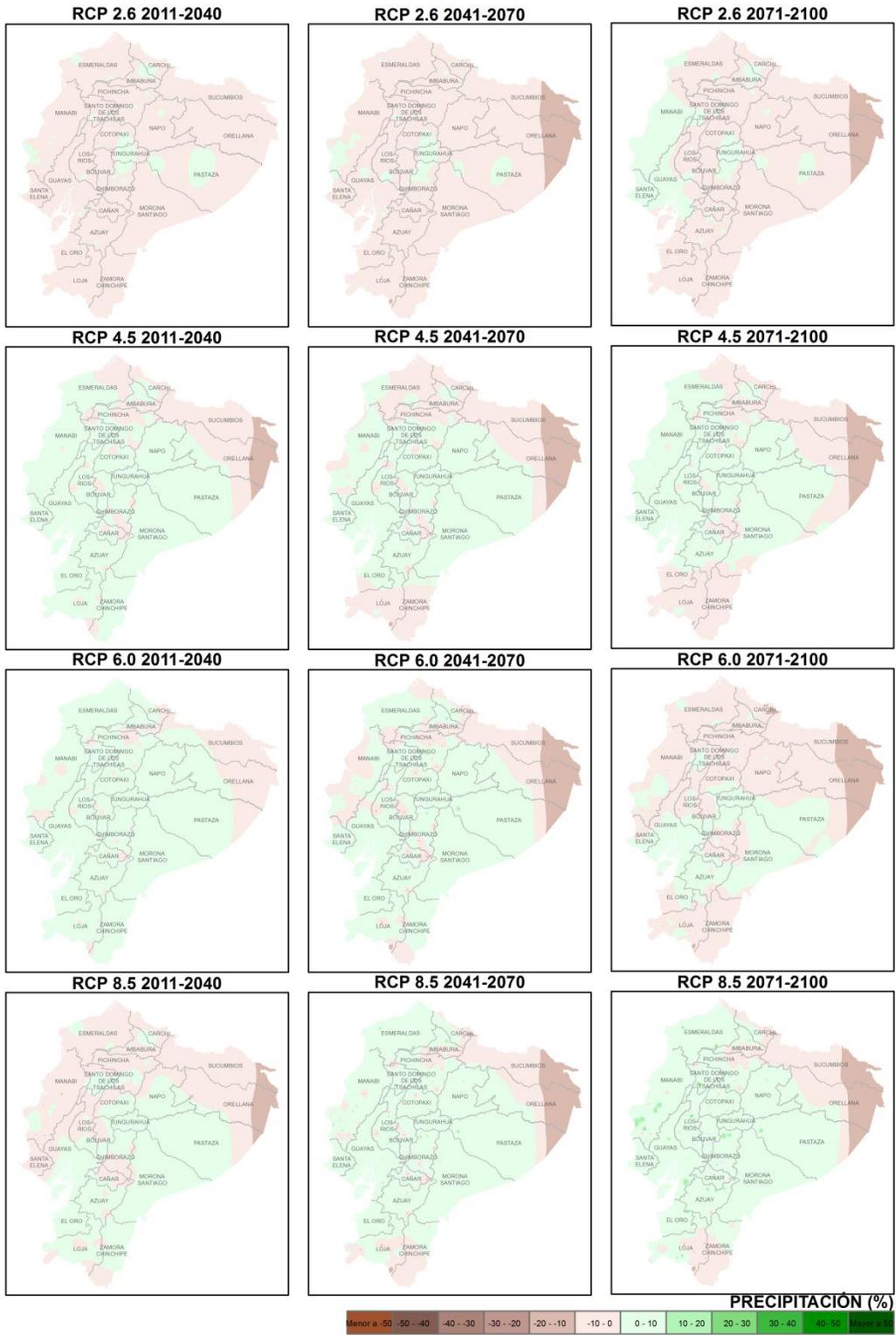


Figura 70. Distribución espacial del cambio de la precipitación proyectado por los cuatro escenarios RCP, con respecto al periodo de referencia 1981-2005. Trimestre Septiembre-Octubre-Noviembre.

A nivel regional, las proyecciones del cambio de la precipitación según los escenarios RCP con base en la información de las 137 estaciones utilizadas en el análisis, muestran que los mayores incrementos de esta variable se darían en Galápagos, con aumentos superiores al 10% (Tabla 11). Para el periodo 2011-2040, la parte continental de Ecuador presentaría aumentos de precipitación de hasta un 10%, mientras que para la parte insular serían entre 12-25%. A mitad de siglo, el norte de la Costa y de la Amazonía presentarían los mayores incrementos, del orden de 9-15%, siendo los más altos bajo el escenario “pesimista” (RCP 8.5), con aumentos superiores al 10% en el centro y norte de la Costa y la Amazonía y en la Sierra Central. En la Amazonía Oriental se presentarían reducciones de precipitación de aproximadamente un 4%, mientras que para Galápagos habría incrementos entre 16 a 28%. Finalmente, para 2071-2100, la precipitación se incrementaría de 3 a 23%, presentándose los incrementos más significativos bajo los RCP 6.0 y 8.5 en el norte y centro de la Amazonía, el norte y sur de la Costa y la Sierra Central, donde aumentarían entre 11-23%. Por otra parte, la Amazonía Oriental presentaría reducciones de 2-10%. En el caso de Galápagos, el aumento es bastante significativo, con valores superiores al 20% bajo todos los escenarios.

Tabla 11. Cambio porcentual (%) de la precipitación por regiones proyectado por los 4 escenarios RCP.

2011-2040	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Amazonía Central	4,4	7,5	6,2	7,5
Amazonía Norte	5,9	9,2	8,4	9,7
Amazonía Oriental	-4,3	-3,5	3,0	2,9
Amazonía Sur	-3,4	0,6	2,6	0,7
Costa Central	0,6	1,1	1,6	4,0
Costa Norte	4,5	7,3	7,3	10,4
Costa Sur	2,1	3,1	1,5	4,8
Galápagos	11,8	13,8	11,6	24,6
Sierra Central	2,6	5,6	5,1	6,6
Sierra Norte	1,0	2,5	2,8	4,2
Sierra Sur	0,9	2,4	2,5	4,2

2041-2070	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Amazonía Central	8,2	12,6	11,1	14,9
Amazonía Norte	12,2	12,8	12,5	15,4
Amazonía Oriental	-4,3	-2,4	-4,0	-3,1
Amazonía Sur	2,4	4,9	5,1	12,0
Costa Central	3,9	6,7	4,6	10,0
Costa Norte	10,8	8,8	12,1	12,1
Costa Sur	3,4	7,1	6,4	10,9
Galápagos	16,5	24,2	16,2	28,2
Sierra Central	5,0	9,3	8,4	13,4
Sierra Norte	2,7	4,7	5,5	7,5
Sierra Sur	2,4	4,3	5,2	9,2

2071-2100	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Amazonía Central	3,7	12,8	14,3	20,3
Amazonía Norte	8,2	10,2	12,0	15,4
Amazonía Oriental	-2,8	-9,5	-8,5	-3,3
Amazonía Sur	2,4	10,5	11,3	23,3
Costa Central	2,8	10,1	6,9	13,7
Costa Norte	7,3	9,9	13,6	17,2
Costa Sur	1,8	9,0	11,1	17,4
Galápagos	22,9	42,4	35,1	51,0
Sierra Central	3,2	10,8	12,7	21,4
Sierra Norte	1,8	5,2	7,3	11,6
Sierra Sur	0,0	5,8	8,4	15,6

Reducción de Escala Dinámica

La reducción de escala dinámica muestra que los cambios proyectados para la precipitación y las temperaturas media, máxima y mínima, tanto por cada uno de los modelos seleccionados como por el ensamble coinciden con los presentados anteriormente, es decir, las anomalías de las temperaturas para los escenarios evaluados para los periodos 2011-2040 y 2041-2070 son análogos a las proyectadas mediante la reducción de escala estadística, y de la misma manera, los cambios porcentuales de la precipitación para las diferentes regiones de Ecuador coinciden con los proyectados para los dos escenarios utilizados en esta reducción de escala (RCP 4.5 y 8.5). La analogía de estos resultados se debe principalmente a que los datos de las condiciones de borde y contorno utilizados son los mismos datos con los que se realizó la reducción de escala estadística, y por lo tanto no deberían presentarse diferencias significativas en las proyecciones de ambos métodos.

Se realizó la revisión del comportamiento de estas variables en la escala diaria y mensual, con el fin de verificar que el comportamiento interanual y anual fuera coherente con el que se observa en las estaciones utilizadas en el estudio. A manera de ejemplo, se muestran las proyecciones a escala diaria de la estación Inguincho para los periodos 2031-2040 y 2061-2070. En el caso de la precipitación, se observa que mantiene el comportamiento interanual, con los periodos de lluvia y los periodos secos característicos de la variabilidad interanual de la zona (Figura 71 y Figura 72). Para la temperatura, se observa el cambio de la misma a lo largo del año, así como la anomalía proyectada por los escenarios, siendo la diferencia entre estas baja en el periodo 2031-2040 (de 0,3°C entre los dos RCP) (Figura 73), y mayor para el periodo 2061-2070 (superior a 1°C) (Figura 74).

Así mismo, con la reducción de escala dinámica se generaron datos en superficie para las variables:

- Precipitación
- Temperaturas Media, Máxima y Mínima
- Humedad Relativa
- Viento
- Radiación

Todas estas variables se generaron a 10 kilómetros de resolución espacial y a escala temporal diaria, tanto para la zona continental del Ecuador (Figura 75) como para la parte insular (Galápagos). Se tienen los datos para los cuatro modelos seleccionados como para el ensamble, para dos escenarios futuros (RCP 4.5 y 8.5) y para el periodo de referencia de clima presente 1981-2005.

Precipitación Diaria - Ensamble - 2031-2040

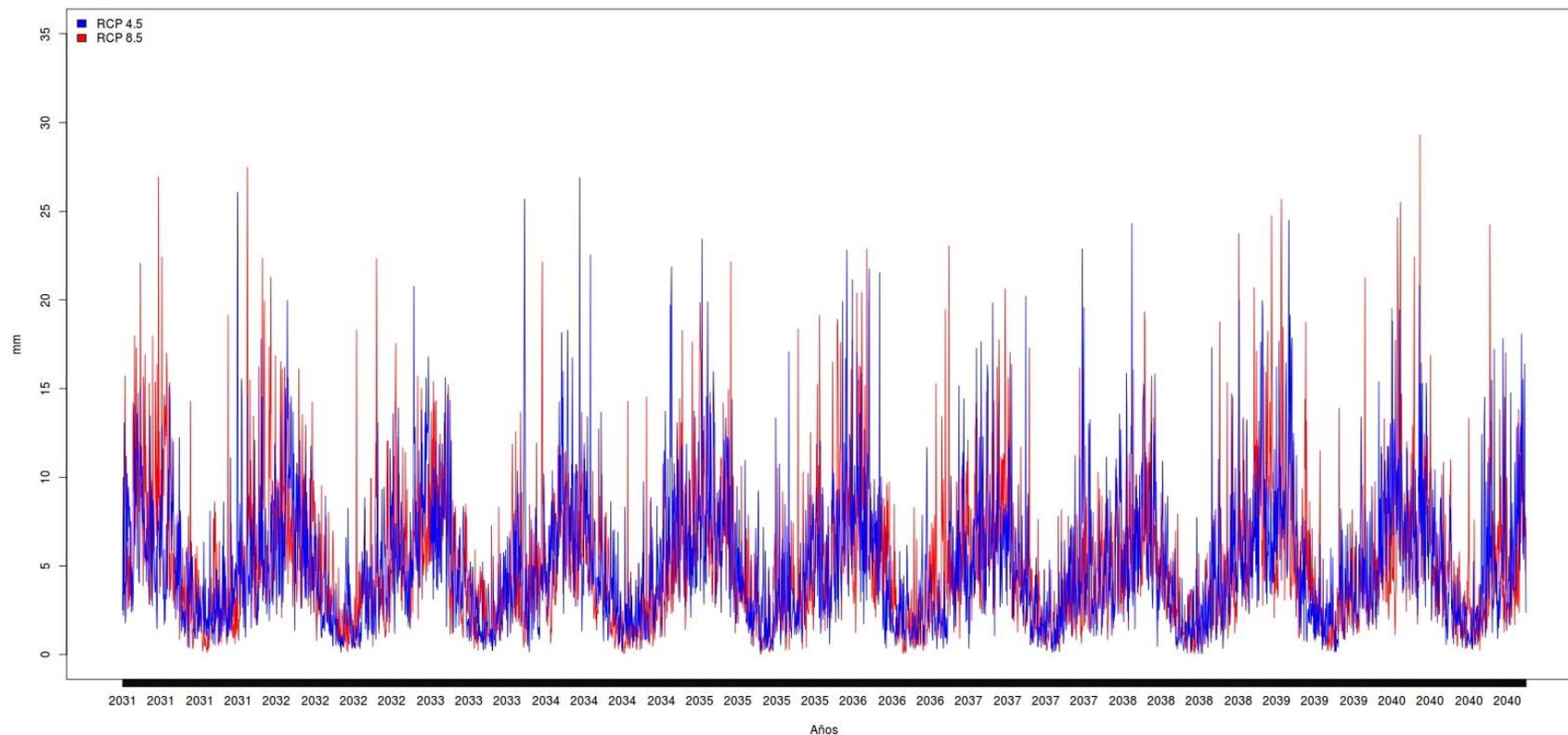


Figura 71. Serie diaria de precipitación proyectada con reducción de escala dinámica para la estación Inguincho, en el periodo 2031-2040.

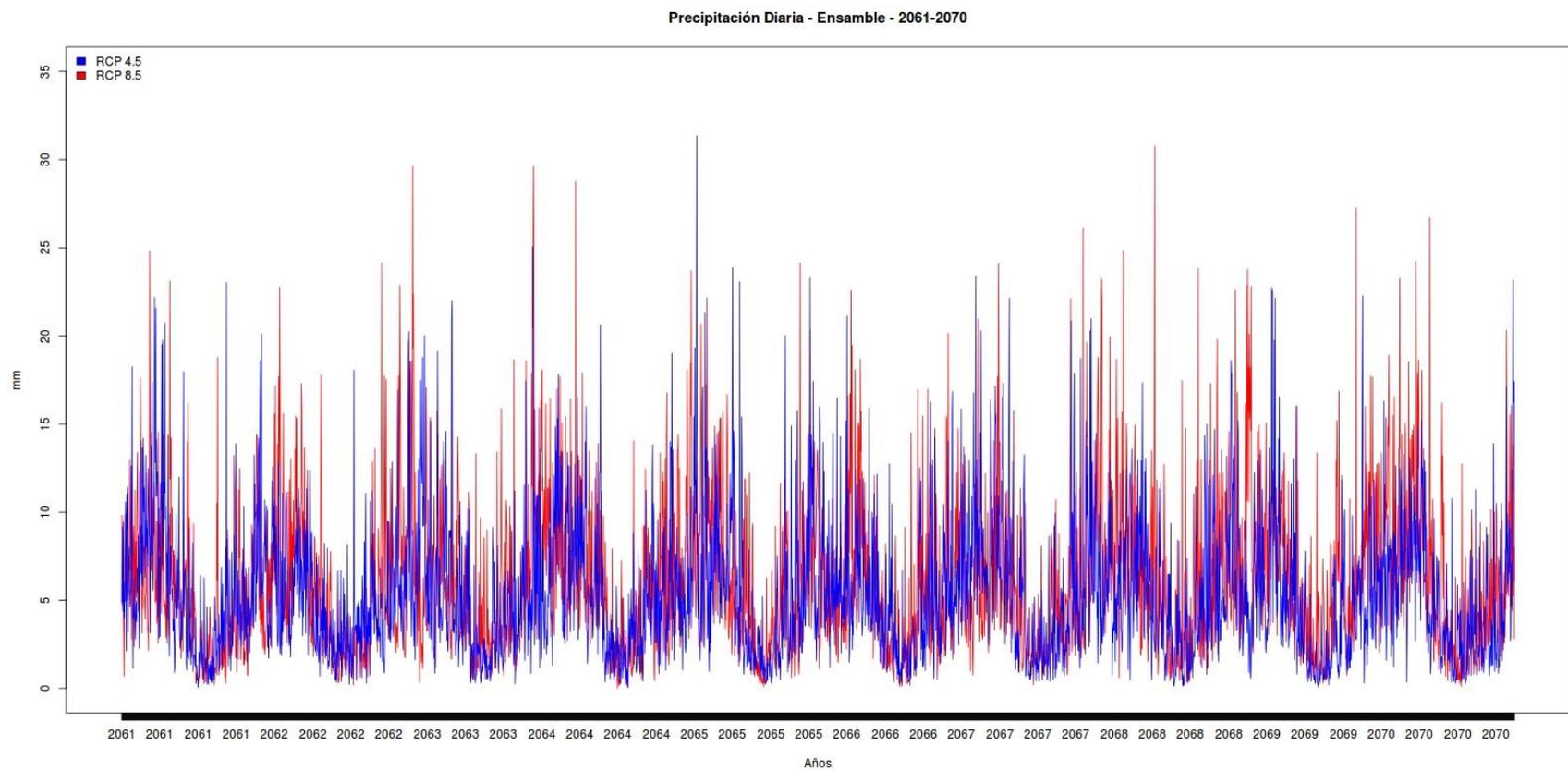


Figura 72. Serie diaria de precipitación proyectada con reducción de escala dinámica para la estación Inguincho, en el periodo 2061-2070.

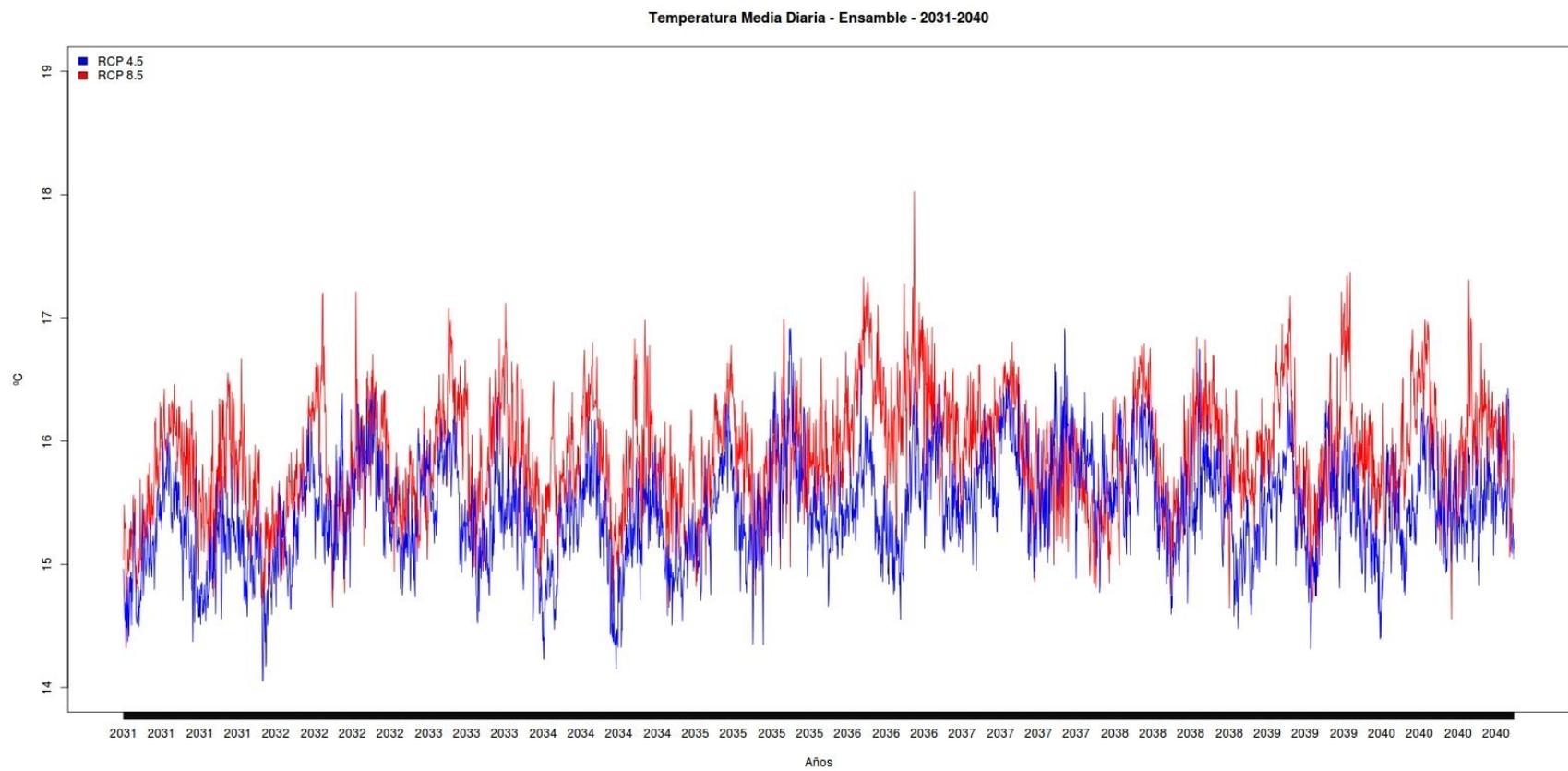


Figura 73. Serie diaria de temperatura media proyectada con reducción de escala dinámica para la estación Inguincho, en el periodo 2031-2040.

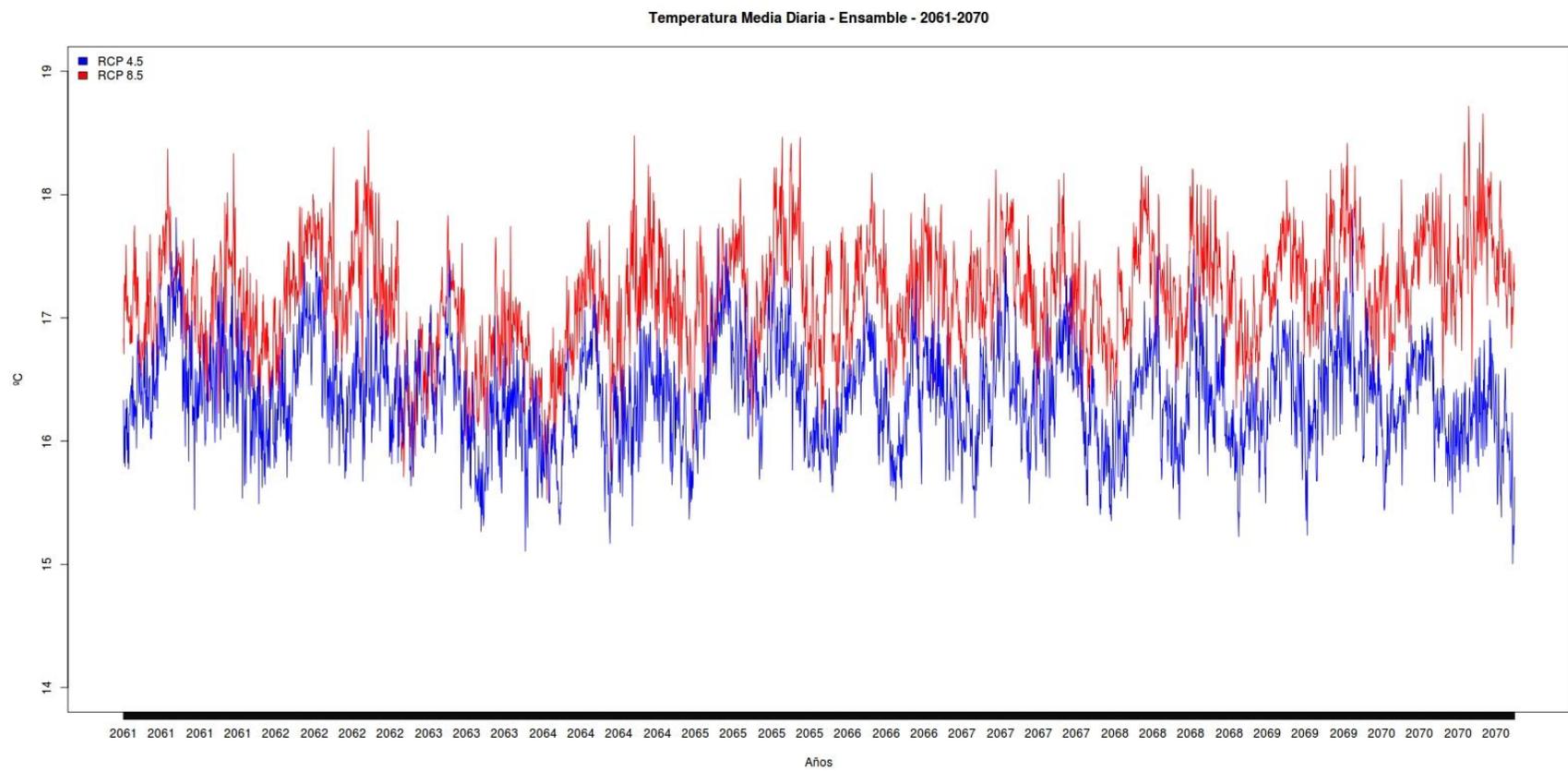


Figura 74. Serie diaria de temperatura media proyectada con reducción de escala dinámica para la estación Inguincho, en el periodo 2061-2070.

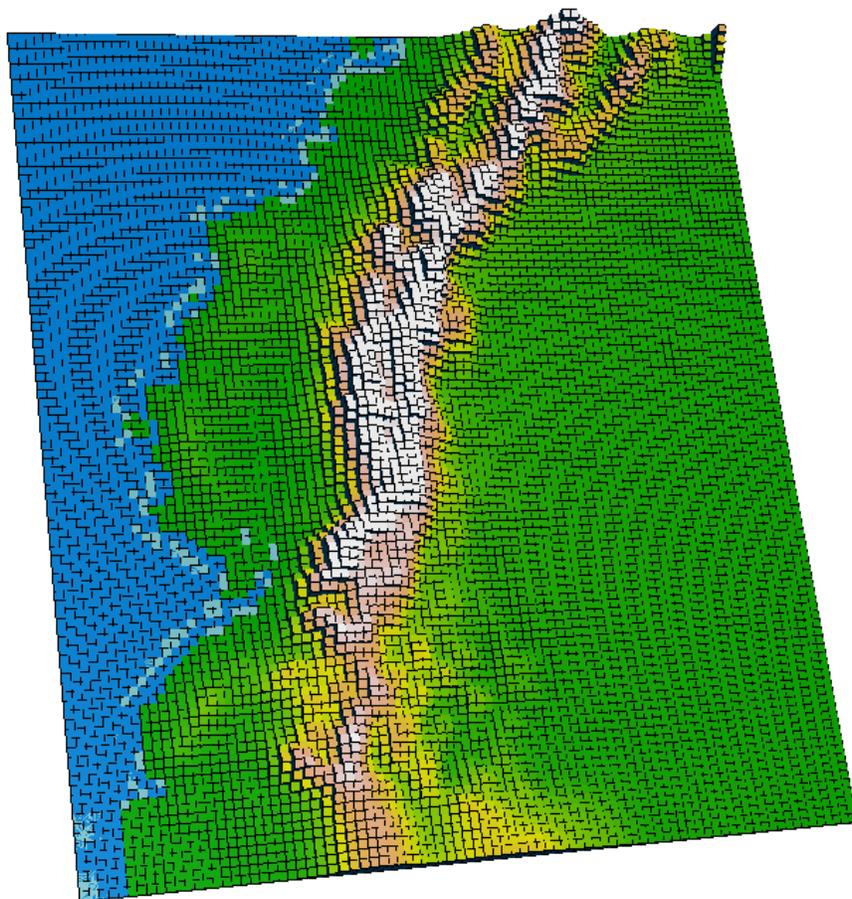


Figura 75. Representación de la topografía con la reducción de escala dinámica a 10 Km para Ecuador.

Los archivos con los datos de estas variables se encuentran en formato NetCDF, y como tal se pueden utilizar no sólo para analizar la variabilidad climática futura como para otros estudios (hidrológicos, agrícolas, etc.), los cuales requieren esta información en alto nivel de detalle.

CONCLUSIONES

- El proceso de revisión y selección de los modelos climáticos globales a utilizar para la generación de las proyecciones climáticas para Ecuador muestra que los 15 modelos que mejor representación tienen del clima en América tropical también tienen una muy buena representación del clima del país. Los valores de las métricas evaluadas mostraron pocas diferencias entre cada modelo, con diferencias de temperaturas de algunas centésimas de grado y con grados de correlación similares. Bajo esta revisión, no sería adecuado el clasificar a los modelos que no fueron seleccionados como “malos” y a los que sí como “buenos”, sino que, debido al criterio de solamente poder seleccionar 4 de ellos tanto para la reducción de escala estadística como dinámica, se seleccionaron los modelos cuyas métricas tuviesen los valores más altos posible.
- El ensamble multimodelo a través del método de Ensamble Ponderado de Confiabilidad (REA), presentó buenos resultados para las proyecciones de precipitación y temperaturas bajo los diferentes RCP. El hecho de dar pesos a los modelos según su representación del clima presente y de su concordancia con el comportamiento de los demás modelos en el periodo futuro, hacen de este método de ensamble una muy buena herramienta para determinar el resultado final de los escenarios de cambio climático.
- En cuanto a las proyecciones climáticas, la temperatura media muestra un aumento de al menos 0,6°C en el periodo 2011-2040 y 1°C en 2041-2070 y 2071-2100 bajo el escenario “optimista” (RCP 2.6). En el escenario “pesimista” (RCP 8.5), habría incrementos de 0,8°C en 2011-2040, 1,7°C en 2041-2070 y 2,8°C para 2071-2100. Las regiones donde habría un mayor incremento de la temperatura media son la Amazonía, la Costa y Galápagos, con aumentos superiores a 1,5°C desde mitad de siglo, y en esta última región, con incrementos superiores a 2°C.
- Para la precipitación, ésta no presentaría cambios significativos en el siglo XXI (con apenas incrementos de 1-10% y reducciones del 4%) para la parte continental de Ecuador bajo el escenario “optimista” (RCP 2.6). En los escenarios intermedios (RCP 4.5 y 6.0), ésta tendría incrementos entre 3-15%, siendo los más significativos (superiores al 10%) en el norte, centro y sur de la Amazonía y la Costa y la Sierra Central. Las reducciones se mantendrían en la Amazonía Oriental, con valores entre 8-10%. Bajo el escenario “pesimista” (RCP 8.5), la precipitación se

incrementaría en al menos un 10% en la mayor parte del país, y con los incrementos más altos en la Sierra Central y en el centro y sur de la Amazonia. Para la parte insular del país, las proyecciones de precipitación muestran incrementos superiores al 10% en la precipitación desde la primera mitad de siglo, e incrementos superiores al 20% para finales del mismo. Esta región sería la más afectada por el incremento de las precipitaciones, ya que en el mejor de los escenarios (RCP 2.6) el volumen de las mismas aumentaría de 12 a 23%, con relación a los valores observados en el periodo 1981-2005. Y en el peor escenario, para finales de siglo las precipitaciones serían superiores al 30% de los valores actuales.

- Las temperaturas máxima y mínima, al igual que la temperatura media, presentarían tendencias al aumento, con incrementos del orden de 0,8 a 3,5°C y de 0,6 a 2,8°C respectivamente. La temperatura máxima sería la que mayores incrementos tendría, siendo las regiones de la Amazonía y la Costa las de los mayores aumentos. En el caso de la temperatura mínima, la Amazonía sería la región con los aumentos más altos, del orden de 0,7-3,5°C a lo largo del siglo.
- Con el análisis de las cuatro variables (precipitación y temperaturas media, máxima y mínima), se observa que las regiones que se verán más afectadas por los posibles cambios de estas variables son: el centro y norte de la Costa y la Amazonia, y Galápagos. En el caso de las temperaturas, estas dos últimas presentarías las mayores afectaciones, al tener proyecciones de anomalías que van desde 1°C a más de 3°C. Galápagos sería la región que mayor impacto tendría no sólo por el cambio de las temperaturas sino también por el cambio proyectado de las precipitaciones, ya que éstas se incrementarían en más del 10%, lo cual afectaría las condiciones actuales tanto de la vida humana como de la biodiversidad en la región.

RECOMENDACIONES

- Se debe tener una claridad sobre los escenarios RCP, y particularmente sus usos y límites. Como se mencionó en el marco conceptual, 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. Se hace énfasis en que estos 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.
- 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 2041-2070 con relación al periodo de referencia 1981-2005, 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.
- 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 (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA, 2015).

- Así como día a día se dan avances y desarrollos importantes en la investigación del cambio climático mejorando los modelos y los escenarios, se debe mejorar la capacidad investigativa del país frente a estos temas. Particularmente, se debe potenciar al INAMHI, al ser el principal servicio meteorológico y climatológico de Ecuador, fortaleciendo las capacidades tanto tecnológicas como de personal y de conocimientos, y con ello poder contar con información climática de alta calidad y un mejor conocimiento del mismo y de su influencia en las actividades humanas, en los ecosistemas y en otros sectores. También se debe potenciar a la academia y a los centros de investigación para desarrollar más y mejores investigadores, investigaciones y productos climáticos que ayuden al crecimiento y fortalecimiento del país.

AGRADECIMIENTOS

Se hace un especial reconocimiento al enorme apoyo brindado por el Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología del Ecuador (INAMHI), la Universidad de Cuenca, la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), la Red Nacional de Investigación y Educación Ecuatoriana (CEDIA), al Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), quienes han participado en este proceso durante los últimos años, sin cuyo aporte no hubiese sido posible generar las proyecciones climáticas para la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático para Ecuador.

REFERENCIAS

- Armenta, G. (2013). *Análisis detallado del efecto föhn generado por la cordillera Oriental del Alto Magdalena (Huila y Tolima)*. Bogotá, Colombia.
- Cavazos, T., Salinas, J. A., Martínez, B., Colorado, G., Grau, P. d., Prieto, R., y otros. (2013). *ACTUALIZACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA MÉXICO COMO PARTE DE LOS PRODUCTOS DE LA QUINTA COMUNICACIÓN NACIONAL*. Informe Final del Proyecto al INECC.
- CMNUCC, C. M. (2004). *Manual del usuario para las directrices sobre comunicaciones nacionales*.
- Giorgi, F., & 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*, 15, 1141-1158.
- Hidalgo, M. (2014). *Identificación de patrones de circulación atmosférica para el Ecuador y su influencia para la ciudad de Quito*. Bogotá, Colombia.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2015). *Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura en Colombia - Estudio Técnico Completo*.
- IPCC, I. P. (2007). *Cambio Climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra, Suiza.
- IPCC, I. P. (2013). *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*. Cambridge University Press.
- IPCC-DDC, I. P.-D. (2013). *Definition of Terms Used Within the Pages DDC*.
- Pabón, J. D. (2011). *El cambio climático en el territorio de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR*. Cundinamarca, Colombia.
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 485–498.
- Tebaldi, C., & Knutti, R. (2007). The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 2053–2075.
- Walsh, J. (2011). Statistical downscaling. *NOAA Climate Services Meeting*.
- Walsh, J., & Trainor, S. (2012). Development of Climate Change Model Layers: Downscaling for Alaska's Coastal Seas.

ANEXOS

ANEXO I

Listado de estaciones de precipitación utilizado en la reducción de escala estadística

Código	Nombre	Longitud	Latitud	Elevación
M0001	INGUINCHO	-78,40083333	0,258333333	3140
M0002	LA TOLA	-78,36666667	-0,229444444	2480
M0003	IZOBAMBA	-78,55	-0,366666667	3058
M0004	RUMIPAMBA-SALCEDO	-78,59472222	-1,02	2685
M0005	PORTOVIEJO-UTM	-80,45972222	-1,0375	46
M0006	PICHILINGUE	-79,49305556	-1,074444444	120
M0007	NUEVO ROCAFUERTE	-75,41666667	-0,916666667	265
M0008	PUYO	-77,94388889	-1,5075	960
M0021	ATUNTAQUI	-78,2275	0,353611111	2200
M0024	QUITO INAMHI-INNAQUITO	-78,48333333	-0,166666667	2789
M0025	LA CONCORDIA	-79,38027778	-0,024722222	379
M0026	PUERTO ILA	-79,33888889	-0,476111111	319
M0031	CAÁ'AR	-78,94527778	-2,551944444	3083
M0033	LA ARGELIA-LOJA	-79,20111111	-4,036388889	2160
M0037	MILAGRO(INGENIO VALDEZ)	-79,60027778	-2,133611111	23
M0041	SANGAY(P,SANTA ANA)	-77,95861111	-1,688333333	880
M0051	BABAHOYO-UTB	-79,53333333	-1,796944444	7
M0101	EL CARMELO	-77,61166667	0,684166667	2955
M0102	EL ANGEL	-77,94388889	0,626388889	3000
M0103	SAN GABRIEL	-77,81944444	0,604166667	2860
M0105	OTAVALO	-78,25	0,243333333	2550
M0107	CAHUASQUI-FAO	-78,21111111	0,518055556	2335
M0113	UYUMBICHO	-78,52527778	-0,388333333	2740
M0123	EL CORAZON	-79,07555556	-1,133888889	1471
M0128	PEDRO FERMIN CEVALLOS(COLEGIO)	-78,615	-1,3525	2910
M0130	CHILLANES	-79,06333333	-1,975555556	2330
M0136	CHUNCHI	-78,92361111	-2,275277778	2177
M0138	PAUTE	-78,76277778	-2,8	2194
M0139	GUALACEO	-78,77638889	-2,881944444	2230
M0141	EL LABRADO	-79,07305556	-2,732777778	3335
M0142	SARAGURO	-79,23388889	-3,611944444	2525
M0143	MALACATOS	-79,27111111	-4,216111111	1453
M0146	CARIAMANGA	-79,55444444	-4,333333333	1950
M0147	YANGANA	-79,17472222	-4,368055556	1835
M0148	CELICA	-79,95138889	-4,104722222	1904
M0149	GONZANAMA	-79,43111111	-4,230277778	2042
M0150	AMALUZA INAMHI	-79,43055556	-4,584722222	1672
M0162	CHONE-U,CATOLICA	-80,03638889	-0,664166667	36
M0165	ROCAFUERTE	-80,44861111	-0,9225	20
M0166	OLMEDO-MANABI	-80,20583333	-1,395555556	67
M0169	JULCUY	-80,63222222	-1,48	263
M0171	CAMPOSANO #2	-80,40111111	-1,592777778	156
M0176	NARANJAL	-79,6175	-2,661666667	25
M0180	ZARUMA	-79,61138889	-3,698888889	1100
M0189	GUALAQUIZA INAMHI	-78,57583333	-3,398055556	750
M0221	SAN CRISTOBAL-GALAPAGOS	-89,614166	-0,903888	6
M0301	FF CC CARCHI	-78,13638889	0,608333333	1280

M0305	JULIO ANDRADE	-77,72361111	0,655833333	2890
M0308	TUFINNO	-77,855	0,800833333	3418
M0310	MARIANO ACOSTA	-77,98166667	0,301666667	2980
M0312	PABLO ARENAS	-78,19277778	0,502222222	2340
M0314	AMBUQUI	-78,00777778	0,426111111	1880
M0315	PIMAMPIRO	-78,94111111	0,389722222	2090
M0317	COTACACHI-HDA,ESTHERCITA	-78,26861111	0,305	2410
M0318	APUELA-INTAG	-78,51361111	0,355	1620
M0321	TOPO-IMBABURA(ANGLA)	-78,16611111	0,211388889	2860
M0324	SAN FRANCISCO DE SIGSIPAMBA	-77,91166667	0,298055556	2230
M0325	GARCIA MORENO	-78,62722222	0,234722222	1950
M0326	SELVA ALEGRE-IMBABURA	-78,57694444	0,246388889	1800
M0335	LA CHORRERA	-78,535	-0,201666667	3165
M0337	SAN JOSE DE MINAS	-78,39305556	0,168888889	2440
M0343	EL QUINCHE-PICHINCHA	-78,30333333	-0,102222222	2605
M0345	CALDERON	-78,42083333	-0,098333333	2645
M0346	YARUQUI INAMHI	-78,31527778	-0,159722222	2600
M0348	SANTA ANITA-KM,10 VIA CHONE	-79,24833333	-0,230555556	560
M0353	RUMIPAMBA-PICHINCHA	-78,41583333	-0,4275	2940
M0354	SAN JUAN-PICHINCHA(CHILLOG,)	-78,6325	-0,284722222	3440
M0357	CANAL 10 TV,	-78,5225	-0,164722222	3780
M0358	CALACALI INAMHI	-78,5125	0,001388889	2810
M0359	CAYAMBE	-78,13944444	0,053888889	2840
M0361	NONO	-78,57277778	-0,073333333	2710
M0362	LAS PAMPAS	-78,965	-0,425555556	1583
M0363	SIGCHOS	-78,89027778	-0,699444444	2880
M0364	LORETO PEDREGAL	-78,42638889	-0,561388889	3620
M0369	CUSUBAMBA	-78,70277778	-1,071388889	3175
M0375	SAQUISILI	-78,66333333	-0,834722222	2892
M0376	PILAHUIN	-78,73222222	-1,301666667	3314
M0377	TISALEO	-78,67027778	-1,348333333	3266
M0380	HUAMBALO	-78,5275	-1,387222222	2880
M0383	ECHEANDIA	-79,28944444	-1,425833333	308
M0388	RIO SAN ANTONIO-MONJAS	-79,131388	-1,58	2200
M0391	PALLATANGA	-78,97305556	-2,000555556	1523
M0393	SAN JUAN-CHIMBORAZO	-78,7825	-1,632222	3220
M0395	CEBADAS	-78,64083333	-1,907777778	2930
M0396	ALAO	-78,48333333	-1,883333333	3200
M0402	CHIMBO DJ PANGOR	-79,00444444	-1,94	1452
M0404	CANNI-LIMBE	-78,995833	-1,821111	2800
M0405	GUASUNTOS	-78,81055556	-2,229166667	2438
M0408	GUANO	-78,63527778	-1,609166667	2620
M0409	PANGOR-J.DE VELASCO(H,TEPEYAC)	-78,8825	-1,827777	3109
M0410	RIO MAZAR-RIVERA	-78,65	-2,573611111	2450
M0412	SUSCALPAMBA(CAPILLA DOLOROSA)	-79,06416667	-2,460555556	2620
M0414	CHANIN	-78,74722222	-2,670277778	3270
M0417	PISCICOLA CHIRIMICHAY	-79,17222222	-2,774444444	3270
M0418	CUMBE	-79,01277778	-3,082777778	2720
M0419	GIRON	-79,14944444	-3,153888889	2130
M0420	NABON INAMHI	-79,06611111	-3,333888889	2750
M0422	HDA,STA,LUCIA-CAMINO RIRCA Y	-79,25722222	-3,272222222	1310
M0424	SIGSIG INAMHI	-78,78611111	-3,048333333	2600
M0426	RICAURTE-CUENCA	-78,94861111	-2,850833333	2545
M0427	SAYAUSI(MATADERO DJ,)	-79,07027778	-2,876944444	2711
M0429	SURUCUCHO(LLULLUCHIS)	-79,13166667	-2,826111111	2800
M0431	SEVILLA DE ORO	-78,65305556	-2,7975	2360

M0432	SAN LUCAS INAMHI	-79,26138889	-3,731944444	2525
M0434	SOZORANGA INAMHI	-79,78888889	-4,324722222	1427
M0435	ALAMOR	-80,02777778	-4,018611111	1250
M0437	SAUCILLO(ALAMOR EN)	-80,19861111	-4,280833333	328
M0438	JIMBURA	-79,465	-4,628055556	2100
M0439	SABIANGO INAMHI	-79,81027778	-4,361111111	700
M0444	TEAONE-TABIAZO	-79,68305556	0,798333333	100
M0447	24 DE MAYO(JABONCILLO)	-80,41833333	-1,278888889	115
M0448	LA LAGUNA	-80,62416667	-1,152777778	235
M0449	SANCAN-INAMHI	-80,58666667	-1,258055556	255
M0450	CAMARONES-MANABI	-80,77722222	-1,129444444	197
M0451	EL ANEGADO	-80,53861111	-1,479444444	398
M0453	CHORRILLOS	-80,68888889	-1,054166667	226
M0454	RIO CHICO EN ALAJUELA	-80,2925	-1,054444444	118
M0455	JOA-JIPIJAPA	-80,59444444	-1,3625	260
M0457	PUERTO CAYO	-80,73638889	-1,352777778	14
M0458	COLIMES DE PAJAN	-80,50583333	-1,578333333	200
M0459	SAN PABLO-MANABI	-80,59166667	-1,578888889	465
M0462	JUNIN	-80,20833333	-0,934444444	20
M0464	RIO CHAMOTETE-JESUS MARIA	-80,23277778	-1,036666667	128
M0465	VENTANAS INAMHI	-79,46555556	-1,444166667	52
M0466	VINCES INAMHI	-79,76805556	-1,559166667	14
M0470	MOCACHE	-79,49416667	-1,176944444	0
M0476	LA CAPILLA INAMHI	-79,99583333	-1,696111111	7
M0477	PUERTO INCA(CANNAR EN)	-79,54388889	-2,530277778	50
M0481	USHCURRUMI	-79,58333333	-3,321111111	290
M0490	SARDINAS	-77,82	-0,385	1615
M0497	LOGRONNO	-78,20166667	-2,624444444	612
M0502	EL PANGUI	-78,59	-3,628333333	650
M0508	LA SOLEDAD-ISLA SAN CRISTOBAL	-89,55	-0,866666667	300
M0515	CATACOCCHA	-79,64444444	-4,055833333	1808
M0543	CAJANUMA	-79,20527778	-4,080555556	2267
M0544	COLAISACA	-79,69305556	-4,316666667	2410
M0765	SABANILLA-PREDESUR	-80,11194444	-4,164444444	733

ANEXO II

Listado de estaciones de temperatura media utilizado en la reducción de escala estadística

Código	Nombre	Longitud	Latitud	Elevación
M0001	INGUINCHO	-78,40083333	0,258333333	3140
M0002	LA TOLA	-78,36666667	-0,229444444	2480
M0003	IZOBAMBA	-78,55	-0,366666667	3058
M0004	RUMIPAMBA-SALCEDO	-78,59472222	-1,02	2685
M0005	PORTOVIEJO-UTM	-80,45972222	-1,0375	46
M0006	PICHILINGUE	-79,49305556	-1,074444444	120
M0007	NUEVO ROCAFUERTE	-75,41666667	-0,916666667	265
M0008	PUYO	-77,94388889	-1,5075	960
M0024	QUITO INAMHI-INNAQUITO	-78,48333333	-0,166666667	2789
M0025	LA CONCORDIA	-79,38027778	-0,024722222	379
M0026	PUERTO ILA	-79,33888889	-0,476111111	319
M0031	CAÁ'AR	-78,94527778	-2,551944444	3083
M0033	LA ARGELIA-LOJA	-79,20111111	-4,036388889	2160
M0037	MILAGRO(INGENIO VALDEZ)	-79,60027778	-2,133611111	23
M0041	SANGAY(P.SANTA ANA)	-77,95861111	-1,688333333	880
M0051	BABAHOYO-UTB	-79,53333333	-1,796944444	7
M0102	EL ANGEL	-77,94388889	0,626388889	3000
M0103	SAN GABRIEL	-77,81944444	0,604166667	2860
M0105	OTAVALO	-78,25	0,243333333	2550
M0107	CAHUASQUI-FAO	-78,21111111	0,518055556	2335
M0123	EL CORAZON	-79,07555556	-1,133888889	1471
M0128	PEDRO FERMIN CEVALLOS(COLEGIO)	-78,615	-1,3525	2910
M0141	EL LABRADO	-79,07305556	-2,732777778	3335
M0142	SARAGURO	-79,23388889	-3,611944444	2525
M0146	CARIAMANGA	-79,55444444	-4,333333333	1950
M0165	ROCAFUERTE	-80,44861111	-0,9225	20
M0169	JULCUY	-80,63222222	-1,48	263
M0171	CAMPOSANO #2	-80,40111111	-1,592777778	156
M0176	NARANJAL	-79,6175	-2,661666667	25
M0180	ZARUMA	-79,61138889	-3,698888889	1100
M0189	GUALAQUIZA INAMHI	-78,57583333	-3,398055556	750
M0221	SAN CRISTOBAL-GALAPAGOS	-89,614166	-0,903888	6

ANEXO III

Listado de estaciones de temperatura máxima media utilizado
en la reducción de escala estadística

Código	Nombre	Longitud	Latitud	Elevación
M0001	INGUINCHO	-78,40083333	0,258333333	3140
M0002	LA TOLA	-78,36666667	-0,229444444	2480
M0003	IZOBAMBA	-78,55	-0,366666667	3058
M0004	RUMIPAMBA-SALCEDO	-78,59472222	-1,02	2685
M0005	PORTOVIEJO-UTM	-80,45972222	-1,0375	46
M0006	PICHILINGUE	-79,49305556	-1,074444444	120
M0007	NUEVO ROCAFUERTE	-75,41666667	-0,916666667	265
M0008	PUYO	-77,94388889	-1,5075	960
M0024	QUITO INAMHI-INNAQUITO	-78,48333333	-0,166666667	2789
M0025	LA CONCORDIA	-79,38027778	-0,024722222	379
M0026	PUERTO ILA	-79,33888889	-0,476111111	319
M0031	CAÑAR	-78,94527778	-2,551944444	3083
M0033	LA ARGELIA-LOJA	-79,20111111	-4,036388889	2160
M0037	MILAGRO(INGENIO VALDEZ)	-79,60027778	-2,133611111	23
M0041	SANGAY(P.SANTA ANA)	-77,95861111	-1,688333333	880
M0051	BABAHOYO-UTB	-79,53333333	-1,796944444	7
M0102	EL ANGEL	-77,94388889	0,626388889	3000
M0103	SAN GABRIEL	-77,81944444	0,604166667	2860
M0105	OTAVALO	-78,25	0,243333333	2550
M0107	CAHUASQUI-FAO	-78,21111111	0,518055556	2335
M0123	EL CORAZON	-79,07555556	-1,133888889	1471
M0128	PEDRO FERMIN CEVALLOS(COLEGIO)	-78,615	-1,3525	2910
M0130	CHILLANES	-79,06333333	-1,975555556	2330
M0142	SARAGURO	-79,23388889	-3,611944444	2525
M0143	MALACATOS	-79,27111111	-4,216111111	1453
M0146	CARIAMANGA	-79,55444444	-4,333333333	1950
M0147	YANGANA	-79,17472222	-4,368055556	1835
M0165	ROCAFUERTE	-80,44861111	-0,9225	20
M0169	JULCUY	-80,63222222	-1,48	263
M0171	CAMPOSANO #2	-80,40111111	-1,592777778	156
M0176	NARANJAL	-79,6175	-2,661666667	25
M0189	GUALAQUIZA INAMHI	-78,57583333	-3,398055556	750

ANEXO IV

Listado de estaciones de temperatura mínima media utilizado
en la reducción de escala estadística

Código	Nombre	Longitud	Latitud	Elevación
M0001	INGUINCHO	-78,40083333	0,258333333	3140
M0002	LA TOLA	-78,36666667	-0,229444444	2480
M0003	IZOBAMBA	-78,55	-0,366666667	3058
M0004	RUMIPAMBA-SALCEDO	-78,59472222	-1,02	2685
M0005	PORTOVIEJO-UTM	-80,45972222	-1,0375	46
M0006	PICHILINGUE	-79,49305556	-1,074444444	120
M0007	NUEVO ROCAFUERTE	-75,41666667	-0,916666667	265
M0008	PUYO	-77,94388889	-1,5075	960
M0024	QUITO INAMHI-INNAQUITO	-78,48333333	-0,166666667	2789
M0025	LA CONCORDIA	-79,38027778	-0,024722222	379
M0026	PUERTO ILA	-79,33888889	-0,476111111	319
M0031	CAÑAR	-78,94527778	-2,551944444	3083
M0033	LA ARGELIA-LOJA	-79,20111111	-4,036388889	2160
M0037	MILAGRO(INGENIO VALDEZ)	-79,60027778	-2,133611111	23
M0041	SANGAY(P.SANTA ANA)	-77,95861111	-1,688333333	880
M0051	BABAHOYO-UTB	-79,53333333	-1,796944444	7
M0103	SAN GABRIEL	-77,81944444	0,604166667	2860
M0105	OTAVALO	-78,25	0,243333333	2550
M0107	CAHUASQUI-FAO	-78,21111111	0,518055556	2335
M0123	EL CORAZON	-79,07555556	-1,133888889	1471
M0128	PEDRO FERMIN CEVALLOS(COLEGIO)	-78,615	-1,3525	2910
M0142	SARAGURO	-79,23388889	-3,611944444	2525
M0146	CARIAMANGA	-79,55444444	-4,333333333	1950
M0165	ROCAFUERTE	-80,44861111	-0,9225	20
M0171	CAMPOSANO #2	-80,40111111	-1,592777778	156
M0176	NARANJAL	-79,6175	-2,661666667	25
M0189	GUALAQUIZA INAMHI	-78,57583333	-3,398055556	750