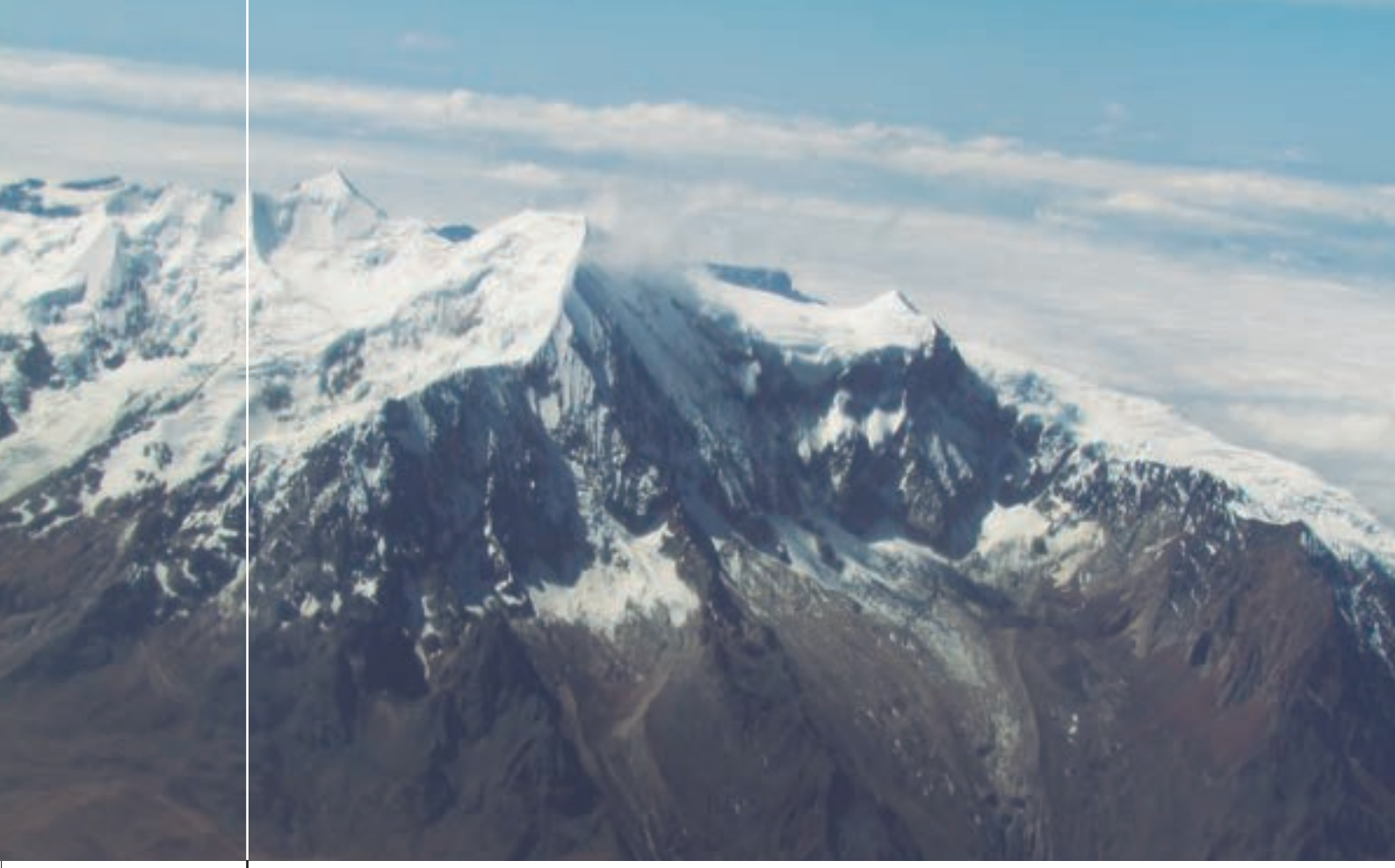


Eventos extremos a partir de **escenarios climáticos**

Análisis en municipios rurales de Bolivia - zonas andinas y valles

HELVETAS
Swiss Intercooperation

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Cooperación Suiza en Bolivia

Reducción del riesgo de desastres

Eventos extremos a partir de escenarios climáticos

Análisis en municipios rurales de Bolivia - zonas andinas y valles

Créditos

Eventos extremos a partir de escenarios climáticos
Análisis en municipios rurales de Bolivia - zonas andinas y valles

Reducción del riesgo de desastres de la Cooperación Suiza en Bolivia.
HELVETAS Swiss Intercooperation.

Autores	Magalí García (principal) Omar Pozo Katherine Rojas
Revisión tematica	Ivar Arana Oscar Paz
Comentarios	Javier Gonzáles Ivy Beltrán
Edición general	Claudia Rivadeneira Oscar Paz
Fotos	PRRD
Depósito legal	4-1-845-14
Diseño gráfico	Aldo Sánchez, Teleioo SRL.
Impresión	Teleioo SRL.

Abril 2014

Este documento es de plena responsabilidad de los autores.

Contenido

Prólogo **15**

Capítulo 1: Cambio climático y uso de Modelos de Circulación General en los Andes bolivianos **17**
1.1. Introducción 18
1.2. El clima en Bolivia 19
1.3. Cambio climático 22
1.4. Aplicación de Modelos de Circulación General (MCG) 30
1.5. Conclusiones 37
1.6. Bibliografía 38

Capítulo 2: Evaluación de la información climática de las estaciones meteorológicas cercanas a las zonas de influencia del PRRD **43**
2.1. Introducción 44
2.2. Área de estudio 44
2.3. Estaciones meteorológicas incluidas en el estudio 44
2.4. Control de calidad de la información climática 46
2.5. Resultados 49
2.6. Conclusiones 66

Capítulo 3: Evaluación del comportamiento predictivo de las condiciones climáticas de las zonas de trabajo del PRRD por parte de tres Modelos de Circulación General **67**
3.1. Introducción 68
3.2. Metodología 68
3.3. Resultados 73
3.4. Proyección del cambio de las variables termo-pluviométricas a 2050 78
3.5. Conclusiones 88

Capítulo 4: Aplicación y calibración de técnicas de downscaling estadístico para el análisis de riesgos en las zonas de intervención del PRRD **91**
4.1. Introducción 92
4.2. La función del downscaling (regionalización) 92
4.3. Generadores de tiempo como herramientas de downscaling 93
4.4. Objetivos 95
4.5. Metodología 96
4.6. Resultados 96
4.7. Discusión 106
4.8. Conclusiones 107

Capítulo 5: Descripción de la base de datos climáticos futuros generados para las zonas de influencia del PRRD y variaciones esperadas **111**
5.1. Introducción 112
5.2. Metodología 112
5.3. Resultados 113
Precipitación 121
• Norte Paceño Tropical 122

• Norte Potosí 129
• Aymaras Sin Fronteras (zona altiplánica) 136
• Gran Centro Potosí 143
• Cintis 150
• Región Andina de Cochabamba 157
• Caine 163
• Chaco Chuquisaqueño 170
• Héroes de la Independencia (valles de Tarija) 176
Temperatura 185
• Norte Paceño Tropical 186
• Norte Potosí 191
• Aymaras Sin Fronteras (zona altiplánica) 196
• Gran Centro Potosí 201
• Cintis 206
• Región Andina de Cochabamba 211
• Caine 216
• Chaco Chuquisaqueño 221
• Héroes de la Independencia (valles de Tarija) 226
5.4. Conclusiones 231

Capítulo 6: Evaluación descriptiva de las amenazas climáticas futuras en las zonas de análisis 233
6.1. Introducción 234
6.2. Metodología 234
6.3. Resultados 237
6.4. Conclusiones 249

Figuras

Figura 1.1. Descripción esquemática de los patrones de circulación del aire en un corte latitudinal típico del Altiplano boliviano. 20

Figura 1.2. Esquematización de los elementos que determinan el régimen pluviométrico de Bolivia. 21

Figura 1.3. Desviación de la temperatura anual de un promedio de 1961-1990 en los Andes Tropicales (latitud 1°N – 23°S) entre 1939 y 1998. 24

Figura 1.4. Tendencia de temperatura media anual como función de la elevación (msnm) basado en la simulación ECHAM-4 (1978-1998). 25

Figura 1.5. Diferencias en el promedio anual de las temperaturas máximas y mínimas para el Altiplano boliviano. 26

Figura 1.6. Tendencias de temperaturas medias máximas mensuales °C (por cada 10 años) de 1965-2004. 26

Figura 1.7. Diferencias en los registros promedio de temperatura antes y después de 1983 para el Altiplano boliviano 27

Figura 1.8. Tendencia a la precipitación media (mm por cada 10 años). 29

Figura 1.9. (a) Diagrama esquemático de las fuerzas motoras que rigen las emisiones de GEI. (b) Dirección cualitativa de los escenarios del IE-EE para diferentes indicadores. 31

Figura 1.10. Estimación del incremento de la temperatura en caso de que la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera se duplique. 32

Figura 1.11. Cambio de temperatura del aire cerca de la superficie (promedio anual) simulado por el modelo PRECIS-DGF entre fines de siglo (2070-2100 bajo escenario A2) y condición actual (1960-1990) para Chile. 34

Figura 1.12. Cambio estandarizado de la temperatura (arriba) y de la precipitación previsto en la región, generados por 9 MCG 36

Figura 1.13. Cambios en los patrones de precipitación de acuerdo al modelo PRECIS en los escenarios A2 y B2, nivel municipal. 37

Figura 2.1. Observación visual de los registros de Tmáx y Tmín de Capinota. 47

Figura 2.2. Observación visual de los datos de PP anual de Capinota. 47

Figura 2.3. Prueba de homogeneidad de PP anual de Capinota. 48

Figura 2.4. Prueba de homogeneidad de la PP anual de Capinota. 48

Figura 2.5. Promedio mensual de la Tmín en las estaciones consideradas. 49

Figura 2.6. Evolución estacional de la Temperatura Mínima promedio mensual en las estaciones consideradas. 51

Figura 2.7. Evolución mensual de la Temperatura Máxima promedio mensual en las estaciones consideradas. 61

Figura 2.8. Serie de tiempo de la Tmáx promedio anual en las estaciones consideradas. 63

Figura 2.9. Evolución anual de la precipitación en las estaciones consideradas en el estudio. 64

Figura 3.1. Comando *selyear* para seleccionar el periodo de corte de los modelos seleccionados. 70

Figura 3.2. Comando *sinfo* para conocer la resolución de los modelos seleccionados. 70

Figura 3.3. Resultados del comando *sinfo* que muestran los detalles geográficos de la grilla con la que se trabaja. 70

Figura 3.4. Comando que permite identificar los vértices de las grillas. 71

Figura 3.5. Cobertura de la grilla del Modelo HADGEM, Izq.) Precipitación-Der.) Temperaturas, abajo sus estaciones correspondientes. 71

Figura 3.6. Cobertura de la grilla del Modelo MIROC a alta resolución. 72

Figura 3.7. Cobertura de la grilla del Modelo ECHAM5. 73

Figura 3.8. PP mensual media (mm) observada y simulada por tres MCG para: superior derecha, Anzaldo; superior izquierda, Culpina; inferior derecha, Rurrenabaque; inferior izquierda, ToroToro. 74

Figura 3.9. Temperatura máxima mensual media (°C) observada y simulada por tres MCG: superior derecha, Anzaldo; superior izquierda, Culpina; inferior derecha, Rurrenabaque; inferior izquierda, ToroToro. 75

Figura 3.10. Temperatura mínima mensual media (°C) observada y simulada por tres MCG para: superior derecha, Anzaldo; superior izquierda, Culpina; inferior derecha, Rurrenabaque; inferior izquierda, ToroToro. 75

Figura 4.1. Simulación de la variación de la función de probabilidad de la Tmáx de un punto cualquiera mostrando las variaciones que podrían ser identificadas en sus medias y sus colas. 95

Figura 4.2. a) Gráfico 1:1 del percentil 95 de la precipitación máxima mensual observada (eje x) vs. simulada (eje y) en mm/día para las estaciones incluidas en el estudio y presentadas en la Tabla 1.1. b) lo mismo pero para la precipitación máxima mensual absoluta. 99

Figura 4.3. (1ra) Mediana de precipitación máxima absoluta anual observada (mm/día) comparada con el mismo valor pero del registro generado por LARS-WG para cada estación citada en el eje x. (2da) lo mismo pero para la máxima del registro. (3ra) lo mismo pero para la mínima del registro. 99

Figura 4.4. a) Gráfico 1:1 del percentil 95 de la Tmáx mensual observada (eje x) vs. simulada (eje y) en °C para las estaciones incluidas en el estudio y presentadas en la Tabla 1. b) lo mismo pero para el percentil 5. 102

Figura 4.5. (1ra) Mediana del registro de los valores máximos anuales de la temperatura máxima observada (°C) comparada con el registro generado por LARS-WG para cada estación citada en el eje x. (2da) lo mismo pero para la máxima del registro. (3ra) lo mismo pero para la mínima del registro. 103

Figura 4.6. (1ra) Mediana del registro de los valores mínimos anuales de la temperatura máxima observada (°C) comparada con el mismo valor pero del registro generado por LARS-WG para cada estación citada en el eje x. (2da) lo mismo pero para la máxima del registro. (3ra) lo mismo pero para la mínima del registro. 104

Figura 4.7. Gráfico 1:1 del percentil 95 de la Tmín mensual observada (eje x) vs. simulada (eje y) en °C para las estaciones incluidas en el estudio y presentadas en la Tabla 1. b) Lo mismo pero para el percentil 5. 107

Figura 4.8. (1ra) Mediana del registro de los valores mínimos anuales de la Tmín observada (°C) comparada con el mismo valor pero del registro generado por LARS-WG para cada estación citada en el eje x. (2da) lo mismo pero para la máxima del registro. (3ra) lo mismo pero para la mínima del registro. 108

Figura 4.9. (1ra) Mediana del registro de los valores máximos anuales de la Tmín observada (°C) comparada con el mismo valor pero del registro generado por LARS-WG para cada estación citada en el eje x. (2da) lo mismo pero para la máxima del registro. (3ra) lo mismo pero para la mínima del registro. 109

Figura 5.1. Dispersión interanual representada en boxplots de los registros de precipitación mensual para 2020 (arriba) y 2050 (abajo) para San Buenaventura (Estación de referencia en Rurrenabaque). 123

Figura 5.2. Dispersión interanual representada en boxplots de los registros de precipitación mensual en Apolo para 2020 (arriba) y 2050 (abajo). Estación de referencia en Sapecho. 124

Figura 5.3. Dispersión interanual de la precipitación mensual en Acasio, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo). 130

Figura 5.4. Dispersión interanual de la precipitación mensual en San Pedro de Buenavista, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo). 131

Figura 5.5. Dispersión interanual de precipitación mensual en Charaña, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo). 137

Figura 5.6. Dispersión interanual representada en boxplots de los registros de precipitación acumulada mensual previstos para 2020 (arriba) y 2050 (abajo) para Curahuara de Carangas. 138

Figura 5.7. Dispersión interanual de la precipitación mensual en Chaquí, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo). 144

Figura 5.8. Dispersión interanual de la precipitación mensual de Yocalla, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo). 145

Figura 5.9. Dispersión interanual de la precipitación mensual en Culpina, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo). 151

Figura 5.10. Dispersión interanual de la precipitación mensual en Las Carreras, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo). 152

Figura 5.11. Dispersión interanual de la precipitación mensual en Bolívar representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo). 158

Figura 5.12. Dispersión interanual de la precipitación mensual en Anzaldo, representada en boxplots en 2020 (arriba) y 2050 (abajo). 164

Figura 5.13. Dispersión interanual de la precipitación mensual de Tarata, representada en boxplots en 2020 (arriba) y 2050 (abajo). 165

Figura 5.14. Dispersión interanual de la precipitación mensual en Monteagudo, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo). 171

Figura 5.15. Dispersión interanual de la precipitación mensual en San Lorenzo, representada para 2020 (arriba) y 2050 (abajo). 177

Tablas

Tabla 1.1. Percepción local de los impactos climáticos a nivel nacional en base a cuestionarios. 23

Tabla 1.2. Cambios proyectados en la temperatura (°C) y la precipitación (%) para grandes regiones del Centro y el Sur de América basados en Ruosteenoja. 33

Tabla 2.1. Localización de las estaciones de trabajo, longitud y calidad del registro disponible en periodo de observación. 45

Tabla 3.1. Coeficientes de correlación entre los valores de PP media mensual observada y simulada por tres MCG para el periodo histórico de estaciones situadas en diferentes áreas del país. 76

Tabla 3.2. Coeficientes de correlación entre los valores de Tmáx media mensual observada y simulada por tres MCG para el periodo histórico de estaciones situadas en diferentes áreas del país. 77

Tabla 3.3. Coeficientes de correlación entre los valores de Tmín media mensual observada y simulada por tres MCG, periodo histórico para estaciones situadas en diferentes áreas del país. 78

Tabla 4.1. Promedio y desviación estándar de los promedios mensuales de las precipitaciones diarias generadas por el modelo LARS-WG para las estaciones meteorológicas, consideradas dentro del área de influencia del PRRD. 96

Tabla 4.2. Promedio y desviación estándar de los promedios mensuales de las Tmáx diarias generadas por el modelo LARS-WG para las estaciones meteorológicas, consideradas dentro del área de influencia del PRRD. 100

Tabla 4.3. Media y desviación estándar de los valores mensuales de las Tmín diarias generadas por el modelo LARS-WG para las estaciones meteorológicas consideradas dentro del área de influencia del PRRD. 105

Tabla 5.1. Precipitación acumulada (mm) del registro histórico en los puntos analizados. Se presentan los datos promedio para los trimestres de enero a marzo (E-M), abril a junio (A-Jn), julio a septiembre (Jl-S), octubre a diciembre (O-D) y el promedio anual. 114

Tabla 5.2. Porcentaje de cambio de precipitación trimestral (%) que sería recibida en el futuro cercano y a mediados de siglo. 115

Tabla 5.3. Registro de precipitación acumulada (mm) en las décadas de 2020 y de 2050. 118

Tabla 5.4. Tasa de ascenso en °C de los valores promedio mensuales simulados para el futuro. 182

Tabla 6.1. Indices climáticos definidos por el ETCCDI y usados en el presente estudio, donde Tmín es la temperatura mínima, Tmáx es la temperatura máxima y P la precipitación. 236

Tabla 6.2. Agrupación de municipios mostrados en los mapas del presente informe. 237

Tabla 6.3. Descripcion cualitativa de los cambios esperados en los extremos climáticos hacia el 2050 para las mancomunidades analizadas. 250

Mapas

Mapa 2.1. Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad del Norte Paceño Tropical. 52

Mapa 2.2. Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad Norte Potosí. 53

Mapa 2.3. Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad Aymaras Sin Fronteras. 54

Mapa 2.4. Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad Gran Centro Potosí. 55

Mapa 2.5. Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad Cintis. 56

Mapa 2.6. Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad Región Andina de Cochabamba. 57

Mapa 2.7. Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad del Caine. 58

Mapa 2.8. Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad Chaco Chuquisaqueño. 59

Mapa 2.9. Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad Héroes de la Independencia. 60

Mapa 3.1. Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad Norte Paceño Tropical. 79

Mapa 3.2. Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad del Norte Potosí. 80

Mapa 3.3. Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad Aymaras Sin Fronteras. 81

Mapa 3.4. Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad Gran Centro Potosí. 82

Mapa 3.5. Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad Cintis. 83

Mapa 3.6. Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad de la Región Andina de Cochabamba. 84

Mapa 3.7. Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad del Caine. 85

Mapa 3.8. Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad del Chaco Chuquisaqueño. 86

Mapa 3.9. Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad Héroes de la Independencia. 87

Mapa 5.1. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2020. Norte Paceño Tropical 125

Mapa 5.2. Variación porcentual de la precipitación por trimestres en 2020. Norte Paceño Tropical 126

Mapa 5.3. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2050. Norte Paceño Tropical 127

Mapa 5.4. Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2050. Norte Paceño Tropical 128

Mapa 5.5. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2020. Norte Potosí 132

Mapa 5.6. Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2020. Norte Potosí 133

Mapa 5.7. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2050. Norte Potosí 134

Mapa 5.8. Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2050. Norte Potosí 135

Mapa 5.9. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2020. Aymaras Sin Fronteras 139

Mapa 5.10. Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2020. Aymaras Sin Fronteras 140

Mapa 5.11. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2050. Aymaras Sin Fronteras 141

Mapa 5.12. Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2050 Aymaras Sin Fronteras 142

Mapa 5.13. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2020. Gran Centro Potosí 146

Mapa 5.14. Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2020. Gran Centro Potosí 147

Mapa 5.15. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2050. Gran Centro Potosí 148

Mapa 5.16. Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2050. Gran Centro Potosí 149

Mapa 5.17. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2020. Cintis 153

Mapa 5.18. Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2020. Cintis 154

Mapa 5.19. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2050. Cintis 155

Mapa 5.20. Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2050. Cintis 156

Mapa 5.21. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2020. Región Andina de Cochabamba 159

Mapa 5.22. Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2020. Región Andina de Cochabamba 160

Mapa 5.23. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2050. Región Andina de Cochabamba 161

Mapa 5.24. Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2050. Región Andina de Cochabamba 162

Mapa 5.25. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2020. Caine. 166

Mapa 5.26. Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2020. Caine 167

Mapa 5.27. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2050. Caine. 168

Mapa 5.28. Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2050. Caine 169

Mapa 5.29. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2020. Chaco Chuquisaqueño 172

Mapa 5.30. Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2020. Chaco Chuquisaqueño 173

Mapa 5.31. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2050. Chaco Chuquisaqueño 174

Mapa 5.32. Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2050. Chaco Chuquisaqueño 175

Mapa 5.33. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2020. Héroes de la Independencia 178

Mapa 5.34. Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2020. Héroes de la Independencia 179

Mapa 5.35. Variación porcentual de la precipitación (%) anual 2050. Héroes de la Independencia 180

Mapa 5.36. Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2050. Héroes de la Independencia 181

Mapa 5.37. Incremento de la temperatura anual 2020. Norte Paceño Tropical 187

Mapa 5.38. Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Norte Paceño Tropical 188

Mapa 5.39. Incremento de la temperatura anual 2050. Norte Paceño Tropical 189

Mapa 5.40. Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Norte Paceño Tropical 190

Mapa 5.41. Incremento de la temperatura anual 2020. Norte Potosí 192

Mapa 5.42. Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Norte Potosí 193

Mapa 5.43. Incremento de la temperatura anual 2050. Norte Potosí 194

Mapa 5.44. Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Norte Potosí 195

Mapa 5.45. Incremento de la temperatura anual 2020. Aymaras Sin Fronteras 197

Mapa 5.46. Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Aymaras Sin Fronteras 198

Mapa 5.47. Incremento de la temperatura anual 2050. Aymaras Sin Fronteras 199

Mapa 5.48. Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Aymaras Sin Fronteras 200

Mapa 5.49. Incremento de la temperatura anual 2020. Gran Centro Potosí 202

Mapa 5.50. Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Gran Centro Potosí 203

Mapa 5.51. Incremento de la temperatura anual 2050. Gran Centro Potosí 204

Mapa 5.52. Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Gran Centro Potosí 205

Mapa 5.53. Incremento de la temperatura anual 2020. Cintis 207

Mapa 5.54. Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Cintis 208

Mapa 5.55. Incremento de la temperatura anual 2050. Cintis 209

Mapa 5.56. Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Cintis 210

Mapa 5.57. Incremento de la temperatura anual 2020. Región Andina de Cochabamba 212

Mapa 5.58. Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Región Andina de Cochabamba 213

Mapa 5.59. Incremento de la temperatura anual 2050. Región Andina de Cochabamba 214

Mapa 5.60. Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Región Andina de Cochabamba 215

Mapa 5.61. Incremento de la temperatura anual 2020. Caine 217

Mapa 5.62. Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Caine 218

Mapa 5.63. Incremento de la temperatura anual 2050. Caine 219

Mapa 5.64. Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Caine 220

Mapa 5.65. Incremento de la temperatura anual 2020. Chaco Chuquisaqueño 222

Mapa 5.66. Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Chaco Chuquisaqueño 223

Mapa 5.67. Incremento de la temperatura anual 2050. Chaco Chuquisaqueño 224

Mapa 5.68. Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Chaco Chuquisaqueño 225

Mapa 5.69. Incremento de la temperatura anual 2020. Héroes de la Independencia 227

Mapa 5.70. Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Héroes de la Independencia 228

Mapa 5.71. Incremento de la temperatura anual 2050. Héroes de la Independencia 229

Mapa 5.72. Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Héroes de la Independencia 230

Poster

Poster 6.1a. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la temperatura en la Mancomunidad Norte Paceño Tropical 251

Poster 6.1b. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la precipitación en la Mancomunidad Norte Paceño Tropical 252

Poster 6.2a. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la temperatura en la Mancomunidad Norte Potosí 253

Poster 6.2b. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la precipitación en la Mancomunidad Norte Potosí 254

Poster 6.3a. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la temperatura en la Mancomunidad Aymaras Sin Fronteras 255

Poster 6.3b. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la precipitación en la Mancomunidad Aymaras Sin Fronteras 256

Poster 6.4a. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la temperatura en la Mancomunidad Gran Centro Potosí 257

Poster 6.4b. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la precipitación en la Mancomunidad Gran Centro Potosí 258

Poster 6.5a. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la temperatura en la Mancomunidad Cintis 259

Poster 6.5b. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la precipitación en la Mancomunidad Cintis 260

Poster 6.6a. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la temperatura en la Mancomunidad Región Andina de Cochabamba 261

Poster 6.6b. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la precipitación en la Mancomunidad Región Andina de Cochabamba 262

Poster 6.7a. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la temperatura en la Mancomunidad Caine 263

Poster 6.7b. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la precipitación en la Mancomunidad Caine 264

Poster 6.8a. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la temperatura en la Mancomunidad del Chaco Chuquisaqueño 265

Poster 6.8b. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la precipitación en la Mancomunidad del Chaco Chuquisaqueño 266

Poster 6.9a. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la temperatura en la Mancomunidad Héroes de la Independencia 267

Poster 6.9b. Ocurrencia de extremos climáticos relacionados con la precipitación en la Mancomunidad Héroes de la Independencia 268

Prólogo

De un tiempo a esta parte se ha estado manejando de manera cada vez más continua el término de escenarios climáticos, que se entiende como un futuro probable del clima ante factores subyacentes del desarrollo y las emisiones de gases de efecto invernadero que eso implicaría. Primero, fueron los Modelos de Circulación General que sirvieron para recrear posibles estados futuros del clima global que sirvieron para las discusiones de política climática global. Posteriormente, se demandaron aproximaciones más locales de estos escenarios y fueron varios los esfuerzos de los centros de investigación mundial que fueron desarrollando Modelos de Circulación Regional que aproximaron mejor las estimaciones a escalas de 20 x 20 Km.

Sin embargo, la demanda de conocer estos escenarios en los niveles locales se ha tornado cada vez más fuerte ya que es en estos ámbitos donde los impactos del cambio climático se hacen más evidentes y donde se deben producir los procesos de adaptación a los impactos del cambio climático, siendo que los Modelos de Circulación no responden a dudas y problemas locales. Ante eso, dos corrientes de desarrollo de escenarios han surgido y se los ha denominado de reducción de escala (downscaling): uno denominado dinámico, que hace uso de ecuaciones complejas y de interacciones con el uso de supercomputadoras que no necesariamente se cuentan en países como Bolivia; y el otro llamado estadístico, mucho más accesible a las condiciones locales y que considera salidas de los modelos regionales y la estadística histórica de los datos existentes a nivel local.

Por ello, en un esfuerzo de aportar a un proceso de discusión de escenarios climáticos locales y que sirvan para entender mejor los niveles de implicancia en los municipios, no sólo en las variaciones promedios de precipitación y de temperatura, sino en otros factores que hacen al incremento o decremento de las amenazas climáticas, es que el Programa de Reducción del Riesgo de Desastres (PRRD) de la Cooperación Suiza, implementado por HELVETAS Swiss Intercooperation, ha llevado adelante este estudio en los municipios que conforman nueve de las mancomunidades con las que se ha estado trabajando.

El valor agregado del estudio radica en que a partir de los escenarios climáticos generados con el downscaling estadístico, se establece un análisis de las incidencias sobre los factores de riesgo que podrían darse en los diferentes municipios y mancomunidades, constituyéndose en una herramienta importante para redefinir con el tiempo los mapas de riesgo en las zonas de intervención. Con esta herramienta y análisis de sus realidades socio-económicas locales, los municipios pueden generar nuevos mapas de riesgo y, por lo tanto, iniciar acciones de adaptación a las nuevas condiciones climáticas considerando factores positivos y negativos.

Este documento servirá a los investigadores como material de estudio y controversia ya que los resultados alcanzados ponen, en algunos casos, en duda ciertos paradigmas del cambio climático por lo menos a nivel de impacto. Desde el PRRD, somos conscientes que el proceso de desarrollo del conocimiento se basa en un constante devenir que se nutre de estudios como el presente.

Debemos agradecer la experiencia y el apoyo de la Dra. Magalí García en la elaboración del análisis, así como la discusión en torno a los resultados por parte de Ivar Arana, Claudia Rivadeneira, y naturalmente, a la Cooperación Suiza por apoyar este tipo de iniciativas.

Oscar Paz Rada
Coordinador del PRRD

Capítulo 1

Cambio climático y uso de Modelos de Circulación General en los Andes bolivianos

1.1. INTRODUCCIÓN

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) describe a este proceso como la variación climática atribuida directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en periodos de tiempo comparables. Para el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), el cambio climático es el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un periodo prolongado, generalmente cifrado en decenios o en periodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana. La CMNUCC hace también una distinción entre "cambio climático", atribuible a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera, y "variabilidad del clima", atribuible a causas naturales (IPCC, 2007).

En los últimos 150 años se evidenció una elevación de la temperatura superficial promedio del planeta. Desde 1850, los años más cálidos en el registro de temperatura del aire superficial mundial fueron 1998 y 2005. El periodo 1995 - 2006 se clasifica como uno de los de mayor grado de calor. La temperatura superficial media mundial aumentó a partir de 1950 en 0,76 $\pm$0,19°C y la tendencia lineal del calentamiento global muestra que este fenómeno se ha acelerado en los últimos 50 años.

Los impactos presumibles y observados del cambio climático son entre otros (Aliaga, J y Paredes, M. 2010):

- Incremento de la temperatura.
- Elevación del nivel del mar (9-88 cm para el 2100), los que causarían inundaciones en zonas bajas y variación en la intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos.
- Desplazamiento de zonas climáticas de mayor altitud o latitud, perturbando bosques, desiertos, praderas y otros ecosistemas.
- Desaparición de importantes superficies de nieve y hielo.
- Incremento de los impactos negativos de enfermedades y pestes en animales y plantas, con efectos adversos sobre la producción. La distribución geográfica de enfermedades transmitidas por vectores y de enfermedades infecciosas, podrían expandirse hacia el Sur y hacia alturas mayores si la temperatura y la precipitación aumentaran por los muy probables efectos del cambio climático.
- Reducción de sistemas de agua dulce y sus ecosistemas que son potencialmente sensibles a los cambios climáticos y vulnerables a las fluctuaciones climaticas de corto tiempo.
- Impactos potenciales futuros del clima y de los cambios en el uso de la tierra podrían ser extensos y costosos.

Sin embargo, estos impactos pueden ser extremadamente variables en función de la exposición de la comunidad en análisis. En el caso específico de Bolivia, la evaluación de estos cambios e impactos es muy compleja pues la fisiografía del país provoca dinámicas atmosféricas muy especiales que

se reflejan en macro y microclimas específicos que son difíciles de analizar. El IPCC (2007) estima que el aumento de la temperatura para Sudamérica será de entre 1,8 a 4,5°C con cambios en las precipitaciones entre -12 a +12% para el 2080. Se aprecia que estos rangos son muy amplios y entrañan generalizaciones que son difíciles de convertir en acciones concretas para decisores y para propuestas de trabajos de adaptación.

Por ello, es importante evaluar en forma puntual, cuáles son los escenarios de cambio de las variables climáticas más probables para Bolivia y para las comunidades de interés. En la actualidad, se han generado numerosos estudios que han descrito la dinámica climática y el comportamiento probable del clima futuro para Bolivia y Sur América. En este capítulo, los principales conceptos desarrollados en dichos estudios serán descritos y sintetizados con un resumen sintético de sus resultados y previsiones para el futuro.

1.2. EL CLIMA EN BOLIVIA

Para comprender los resultados de los estudios del comportamiento climático en el futuro, primeramente se requiere describir en forma sucinta los mecanismos que definen el clima de Bolivia, los que ayudarán al análisis de los resultados provistos por los estudios.

Gran parte del territorio boliviano se origina fisiográficamente como consecuencia de la formación de la cordillera de los Andes. Esta se constituye en una formidable barrera para la circulación atmosférica actuando como obstáculo para la circulación entre las áreas amazónicas de baja altitud al Este y las características zonas de baja precipitación del Pacífico al Oeste. Esta particular posición entre dos sistemas climáticos de magnitud hace que sea propensa a situaciones climáticas muy variables originadas en la contraposición y magnitud de fuerzas de ambas. En la parte central de esta cordillera, se extiende la planicie que da lugar al Altiplano y en sus estribaciones se origina una serie de microclimas que, gracias a su altitud y cercanía con el Ecuador, presenta combinaciones climáticas únicas en el mundo. La orografía entonces juega un papel importante en el clima de Bolivia pues su temperatura y precipitación dependen fuertemente de la distribución altitudinal y en menor intensidad de la latitud de su territorio. Casi dos tercios de Bolivia (60% aproximadamente) se hallan en regiones con alturas menores a 500 msnm, 24% del territorio se encuentra entre 500 y 3.500 msnm y el restante 16% por encima de esa altura en la zona Andina.

Esta climatología tiene un fuerte impacto sobre la disponibilidad de recursos hídricos en las tierras bajas, tanto al Este como al Oeste y podría estar ligada con la climatología a nivel continental y quizás hasta hemisférica (Garreaud et al, 2003, Zhou and Lau, 1998).

Un análisis detallado muestra que el clima de Bolivia se determina principalmente por:

- La posición geo-astronómica entre los 10 y 22° LS, la cual determina las condiciones climáticas de trópico, con moderada estacionalidad media térmica y radiativa.
- La topografía y la altitud (desde los 200 hasta por encima de los 3.800 msnm), la cual determina claros gradientes de temperaturas.

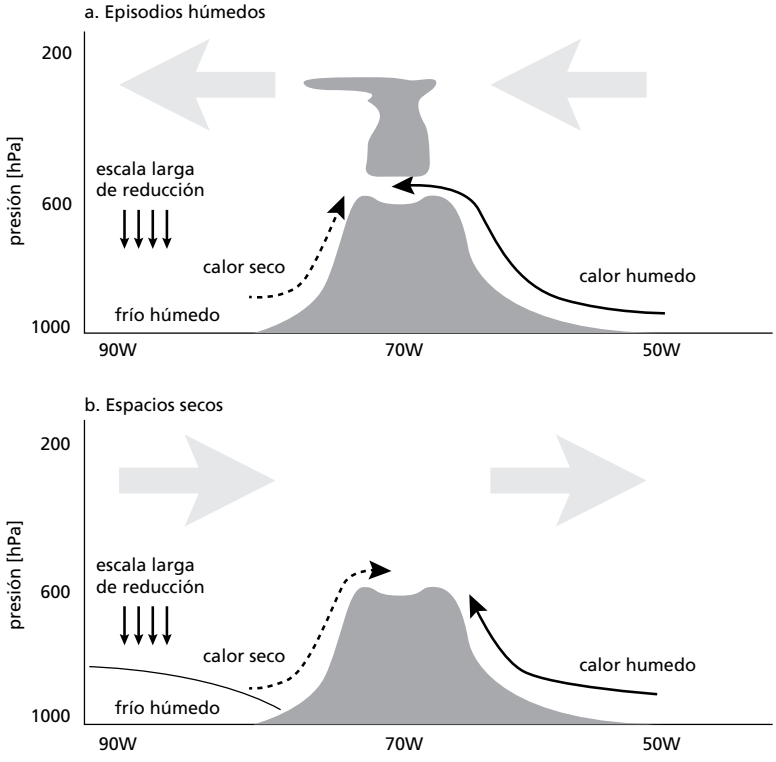
1.2.1. Precipitación en Bolivia

Con respecto a la lluvia, la circulación atmosférica zonal determina en gran parte la distribución

temporal y espacial de las precipitaciones. El continente sudamericano y dentro de él, el territorio boliviano, se encuentran bajo la influencia de tres sistemas semi-permanentes de presión alta (baja precipitación) y uno de presión baja (precipitaciones elevadas). Los sistemas de presión alta son los anticiclones del Atlántico, del Pacífico Sur y del Caribe, los cuales casi rodean el continente. El sistema de baja presión corresponde a la Zona de Convergencia Inter-Tropical (ZCIT), la cual se encuentra en movimiento entre los 15° Norte y 15° Sur siguiendo el movimiento aparente del sol o el verano de cada hemisferio. Las diferencias de presión entre los sistemas anticiclónicos y la ZCIT, generan flujos de aire, los cuales se mueven hacia la izquierda por la rotación de la Tierra, y dan origen a los vientos alisios del Sureste. Durante el invierno del hemisferio Sur (mayo a septiembre), la ZCIT se retira hacia el hemisferio Norte y los anticiclones penetran más hacia el continente, debilitando la influencia de los vientos alisios de componente Este (Figura N° 1.1.), y dando lugar a la época seca en la mayor parte del territorio de Bolivia y del Perú.

En el caso específico de Bolivia, especialmente en invierno, es principalmente el Anticiclón del Pacífico con sus vientos secos provenientes del Oeste, el que previene a la zona de recibir precipitación en invierno (Garreaud, 2003). Durante el verano (octubre a marzo), el fuerte calentamiento terrestre genera una diferencia térmica que favorece el movimiento hacia el hemisferio Sur de la ZCIT (precipitación abundante) hasta los 15° de latitud Sur y este desplazamiento arrastra a lo largo aire húmedo y caliente desde la zona amazónica y/o atlántica (Marengo, *et al*. 2004) debilitando la presencia del seco Anticiclón del Pacífico. Los movimientos convectivos combinados con la humedad continental recibida, dan lugar a la formación de una gran acumulación nubosa y el inicio de la época lluviosa (Garreaud, 2003). Dado que gran parte de esa precipitación se concentra entre diciembre y febrero, se conoce que la lluvia en Bolivia tiene una típica característica monomodal.

Figura 1.1.
Descripción esquemática de los patrones de circulación del aire en un corte latitudinal típico del Altiplano boliviano. a) Episodios de lluvia. b) Episodios secos. Las flechas grandes sin color indican la dirección predominante de la circulación troposférica. Las flechas sólidas describen la circulación del aire húmedo de componente Este. Las flechas punteadas describen la circulación del aire seco de componente Oeste. Las flechas verticales muestran la elevada presión sobre el Pacífico. (Extraído de Garreaud, *et al*., 2003).

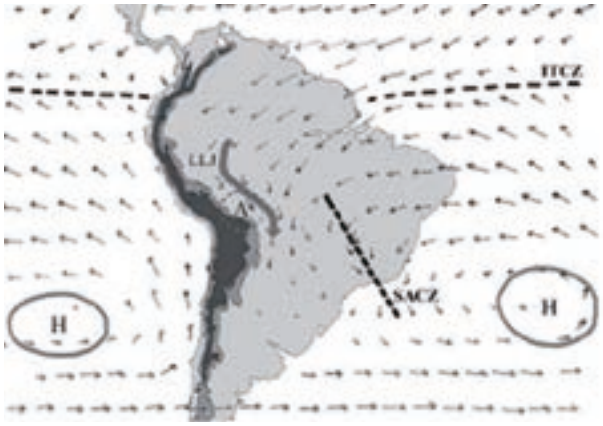


Durante la época de lluvias, el denominado Monzón sudamericano (SAMS, *South American Monsoon System,* por sus siglas en inglés) controla ese transporte de humedad que se genera por la intensa actividad convectiva en la zona central-Oeste de Brasil y que posteriormente es transportada hacia Bolivia por los vientos alisios (Marengo, *et al*. 2004). Debido a que la cordillera de los Andes actúa como una barrera por la gran gradiente altitudinal, el viento proveniente del Este se desvía hacia el Sur o es forzado a elevarse hacia los valles y la zona andina dejando en el camino la humedad trasportada en forma de lluvia (Marengo, *et al*. 2002). Este comportamiento está modulado por características de escala sinóptica como la llamada "Alta de Bolivia", que es un anticiclón estacionario ubicado a una altura aproximada de 200 *hPa* cuya posición varía dependiendo de la emisión de calor latente en el Amazonas (Lenters & Cook, 1997 y Vizy & Cook, 2006) de la región de baja presión de origen térmico en el Chaco, y principalmente, del comportamiento de la corriente en chorro de bajo nivel de Sudamérica (SALLJ, *South American Low Level Jet* por sus siglas en inglés) al Este de los Andes (Vera, *et al*. 2006).

Un retraso en los procesos convectivos en el Amazonas provoca lluvias de mayor magnitud y corta duración que lo normal en los Andes. De esta manera, se deduce que parte de la humedad en la zona andina boliviana y del inicio de la época de lluvias depende de su transporte desde las tierras bajas al Este, por lo que alteraciones locales en ella -como el intenso cambio de uso de la tierra, fragmentación de ecosistemas u obras de magnitud- podrían provocar impactos de consideración en la precipitación de la zona andina.

El SALLJ es una corriente de vientos que transportan humedad hacia el Sureste y que tiene un marcado comportamiento estacional siendo más prominente durante el verano del hemisferio Sur y más débil en el invierno correspondiente (Marengo, *et al*. 2002). El SALLJ alimenta la cuenca de El Plata al proveer gran cantidad de humedad a esa región. Sin embargo, muy poca humedad se precipita en la zona del Chaco boliviano (Marengo, *et al*. 2004).

Figura 1.2.
Esquematización de los elementos que determinan el régimen pluviométrico de Bolivia. (Andrade & Blacutt, 2010).



De esta manera, se tiene la zonificación pluvial de Bolivia que ocurre de la siguiente forma:

1. El Altiplano y las cabeceras de valle se caracterizan por épocas secas y lluviosas muy marcadas, motivadas por el transporte de humedad del Este. En verano, debido al calentamiento de la superficie, se inician procesos convectivos de gran intensidad que dan origen a tormentas eléctricas de moderada y elevada intensidad (Garreaud, 1999), lo cual en muchos casos provoca severas inundaciones y crecidas. Se estima que más del 80% de la precipitación total del año que ocurre en el Altiplano se da entre diciembre y marzo (Vuille, 1999). En invierno, el empuje del Anticiclón del Pacífico hace que la zona enfrente un periodo de mucha sequedad, sólo alterada por las nevadas provocadas por la invasión de frentes fríos.

2. La parte baja se puede dividir en por lo menos dos regiones: a) una húmeda con alta precipitación, ligada a la región amazónica hacia el Norte donde el problema de extremos más frecuente se concentra en las inundaciones y b) otra hacia el Sur, mucho más seca en la zona denominada Chaco alrededor de 20° S donde la sequía es el problema persistente más importante.

3. La región de altura intermedia se caracteriza por tener un alto gradiente altitudinal que produce elevadas precipitaciones por convección orográfica durante todo el año. Gracias a esta característica, en la región hay alta biodiversidad.

4. Aunque toda la descripción sinóptica previa está presente la mayor parte del año, la intensidad relativa de sus componentes varía a lo largo de este periodo permitiendo producción y transporte de humedad de una región a otra o inhibiendo la misma. Adicionalmente, eventos como El Niño y La Niña, que son las fases positivas (calientes) y negativas (frías) de un fenómeno conocido como *El Niño Southern Oscillation* (ENSO, por sus siglas en inglés) modifican drásticamente el comportamiento climático en muchas regiones del territorio boliviano (Garreaud & Aceituno, 2001).

1.2.2. Radiación y temperatura en Bolivia

El régimen anual de la radiación solar disponible y la variación térmica en la superficie boliviana están condicionados por factores geográficos y meteorológicos. Entre los principales, destacan la localización de Bolivia en la franja tropical, su gran variabilidad altitudinal y el régimen de nubosidad de la zona. La localización en latitudes relativamente bajas implica una amplitud moderada del ciclo anual de radiación solar disponible durante días despejados. La radiación solar diaria en el límite externo de la atmósfera en diciembre es aproximadamente de 70%, superior al valor que ocurre en junio. Sin embargo, dado que la precipitación ocurre en el verano, la elevada nubosidad durante estos meses reduce la disponibilidad energética en la superficie, por lo que la máxima disponibilidad radiativa se alcanza durante el periodo de transición primavera-verano o verano-otoño.

En zonas del Altiplano y valles interandinos los principios del gradiente térmico negativo, prevalente en la tropósfera, incide en las bajas temperaturas comparadas con puntos ubicados en la misma latitud pero a altitudes menores. El menor espesor de la columna atmosférica con poca cantidad de moléculas gaseosas sobre las regiones de altitud moderada a elevada, disminuye la radiación neta disponible en la superficie. Colabora a este fenómeno la baja cantidad de vapor de agua existente en el aire que favorece una mayor pérdida radiativa nocturna desde la superficie y, por lo tanto, un rápido enfriamiento del aire luego de la puesta de sol, particularmente durante el invierno cuando la atmósfera es comparativamente más seca y con menor nubosidad. Por esta razón, las zonas de mayor altitud son altamente propensas a sufrir heladas en invierno y moderadamente propensas a ello en verano. El aumento de la humedad atmosférica y de la nubosidad durante el verano, contribuyen a un enfriamiento nocturno más moderado durante esta época del año.

La variación anual de la temperatura máxima diaria está fuertemente condicionada por los cambios estacionales de la radiación solar disponible a nivel de superficie. Por ello la temperatura máxima presenta una amplitud relativamente pequeña con sus valores máximos, inmediatamente antes del inicio de la temporada de lluvias. La amplitud del ciclo anual de la temperatura mínima es comparativamente mayor, condicionada principalmente por el fuerte enfriamiento radiativo nocturno durante el invierno, produciéndose elevados riesgos de heladas cuanto mayor la altitud del punto y observándose en invierno el mayor contraste entre las condiciones diurna y nocturna.

1.3. CAMBIO CLIMÁTICO

En las últimas décadas, el cambio climático ha sido tema de numerosos estudios por la influencia que podría tener hacia la humanidad. En Bolivia sus efectos se han ido sintiendo desde hace tres décadas y cada vez con mayor intensidad. Los parámetros de mayor cambio son los térmicos. Sin embargo, la precipitación podría también tener variaciones. Los cambios en la temperatura global registrada asociados al retroceso y a la desaparición de los glaciares y a la alteración de los caudales, podría afectar el acceso a fuentes de agua para el mantenimiento de los ecosistemas, la producción agrícola y el consumo humano.

En la actualidad, los sistemas agrícolas ya se ven afectados por los patrones anómalos de lluvia y la subida de temperaturas. Los ecosistemas montañosos típicos de Bolivia (páramos, humedales de altitud, bosques nublados) se encuentran entre los ecosistemas más sensibles a los cambios climáticos, pues su ubicación altitudinal determina una fuerte dependencia de la variabilidad térmica. Aunque no existen evidencias científicas probadas, hay datos recientes que sugieren que la alteración de los ciclos hidrológicos de los ecosistemas de altitud, podrían estar relacionados con la alta incidencia de incendios forestales ocurridos en la última década. Dicha alteración de los ciclos hidrológicos causaría desequilibrios que pueden repercutir incluso en la región amazónica.

Como se mencionó, La Niña y El Niño (Oscilación del Sur - ENOS) son alteraciones climáticas periódicas que representan una amenaza por los impactos recurrentes sobre el sistema climático de Bolivia. Estudios realizados en Perú sugieren que, a consecuencia del cambio climático, este fenómeno podría aumentar en intensidad y, probablemente, en frecuencia. Como indicador se menciona que en los últimos siete años, las emergencias por inundaciones, sequías, deslizamientos y heladas, entre otros, se han duplicado mostrando la vulnerabilidad de la región y la necesidad de respuesta a dichos eventos (AGRIFOR, 2009), las que, sin embargo, también podrían deberse a un incremento en el nivel de exposición de las poblaciones, por lo que se requiere profundizar el análisis con más investigación.

Una de las regiones más importantes en las que se han desarrollado estudios del cambio climático es la región de Atacama, pues su hiperaridez puede dar datos acerca de las variaciones climáticas observadas. En esta región las condiciones ambientales han cambiado afectando sistemas abióticos como el ciclo del agua, y bióticos que responden rápidamente al cambio climático.

La Tabla 1.1 muestra la percepción de cuáles son los indicadores más evidentes del cambio climático en diferentes países sudamericanos, obtenida en base a cuestionarios. Como se aprecia, para los países de la región, el indicador común y más importante de cambio climático, se relaciona con el retroceso de glaciares, mientras que las percepciones de peligro de sequía y/o inundaciones son dispersas (AGRIFOR, 2009).

Tabla 1.1.
Percepción local de los impactos climáticos a nivel nacional en base a cuestionarios

País	Efectos			
	Variaciones térmicas	Variación precipitaciones	Fenómenos extremos	Aumento del nivel del mar
Bolivia	Retroceso glaciares	Inundaciones/Sequías Granizadas	Intensificación El Niño y La Niña	___
Chile	Retroceso glaciares	Sequías	___	___
Colombia	Retroceso glaciares	___	___	Inundaciones/Salinización de acuíferos
Ecuador	Retroceso glaciares	Inundaciones/Lluvias	___	___
Perú	Retroceso glaciares	Lluvias/Desertificación	Intensificación El Niño y La Niña/Emergencias por desastres naturales	Aumento del nivel del mar/ Cambios de temperatura/ Corriente Humbolt

Fuente: AGRIFOR, (2009)

1.3.1. Impactos observados del cambio climático en Bolivia

a. Temperatura

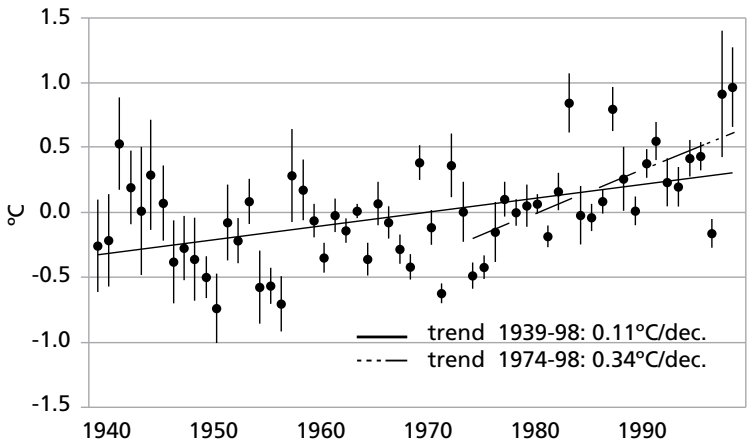
Los impactos del cambio climático no son iguales para todas las regiones del planeta. En Bolivia por ejemplo, parecería que los impactos son más notorios, especialmente en los lugares de mayor altitud. AGRIFOR, (2009) reporta que hasta 1990 se registraron a nivel mundial cambios en la temperatura global de 0,2 °C por década, mientras que entre 1974 y 1998, este incremento en la región de los Andes Centrales fue de 0,34 °C/ década; es decir, un 70% más que el promedio mundial.

Vuille y Bradley (2000) en un estudio que involucró los datos térmicos de estaciones meteorológicas obtenidos durante seis décadas (1939 – 1998) en los Andes Tropicales (1°N – 23°S; 0 – 5.000 msnm) evaluaron la inconsistencia que existía entre el retroceso de los glaciares y el leve enfriamiento reportado en las capas inferiores de la tropósfera después de 1979. Sus resultados muestran que la temperatura media anual se incrementó de 0.10° a 0.11°C /década desde 1939, y se acentúa más a mediados de los años 70 cuando las temperaturas, repentinamente, empezaron a aumentar más rápidamente que las observaciones globales. Por ejemplo en los últimos 40 años del análisis, el incremento se ha duplicado a 0.20°C/década y triplicado en los últimos 25 años con 0.34°C/década, como se muestra en la Figura 1.3.

Vuille *et al*., (2003) indican un calentamiento promedio de 0,09° - 0,15°C/década entre 1950 y 1994, resultados muy similares a Vuille y Bradley (2000) y que las elevaciones bajas del Oeste han experimentado un mayor calentamiento, mientras que el calentamiento en el Este se redujo (Figura 1.4.). Así también, estudios publicados por Garreaud (2010) encontraron, a través de información de radiosondas y satélites a lo largo de la costa Norte y centro de Chile, un enfriamiento significativo (-0.25°C/década) desde 1979, presumiblemente debido al incremento de los vientos, efecto que no fue percibido en zonas altas.

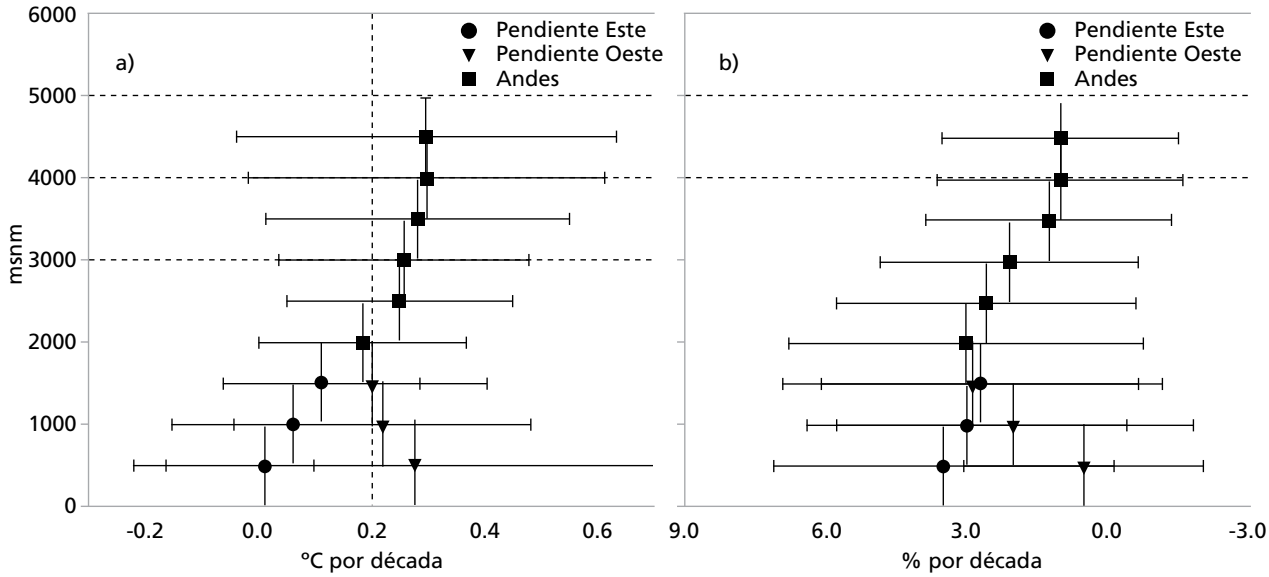
En la variabilidad a corto plazo, Vuille y Bradley (2000) afirman que la temperatura es controlada especialmente por los eventos ENOS. En efecto, las anomalías de temperatura registradas a nivel de suelo son precedidas por anomalías en la temperatura superficial del Pacífico central y curiosamente están asociadas a un aumento de entre 1 y 3°C en la temperatura atmosférica en los Andes.

Figura 1.3.
Desviación de la temperatura anual de un promedio de 1961-1990 en los Andes Tropicales (latitud 1°N – 23°S) entre 1939 y 1998. Tendencias basadas en la regresión OLS (Ordinary Least Squares por sus siglas en inglés). Las barras verticales muestran 2 errores estándar de la media del promedio anual.



Fuente: Vuille y Bradley (2000).

Figura 1.4.
Tendencia de temperatura media anual como función de la elevación (msnm) basado en la simulación ECHAM-4 (1978-1998). Las barras verticales indican el rango de elevación (1000 m) para el cual la tendencia es válida. Las barras horizontales son los límites de la tendencia al 95% de significancia. (a) (°C década-1), (b) %. Notar que la escala para el eje x es contraria a la Figura 1.4.b.



Fuente: (Vuille *et al.*, 2003).

Desde un punto de vista térmico y basados en observaciones históricas, varios autores mencionan que aunque en la zona el aumento de temperatura fue significativo a cualquier altitud, éste podría ser menos importante en la parte oriental de los Andes Centrales y a más de 3.500 msnm. Esto podría ser explicado por la cobertura vegetal, pues de acuerdo a Soria (2010), a escala regional, en la Cordillera Real (15.8° a 16.7° Latitud Sur), el análisis de observaciones en tierra e imágenes satelitales a resolución 30 m, demuestran que los impactos de cambio climático son más relevantes en regiones con pobre cobertura vegetal y cobertura glaciar.

En Bolivia, el PNCC (2006 y 2007) inició los estudios de análisis de tendencias de cambios térmicos y encontró incrementos térmicos sostenidos en la mayor parte del país, especialmente en las temperaturas máximas. Las temperaturas mínimas mostraron comportamientos diferentes en función de la localización del punto y del manejo local. Se percibió que algunas zonas especialmente andinas e interandinas mostraron cierta tendencia al descenso de la temperatura mínima, especialmente en invierno, debido probablemente al mal manejo y tendencia a la desertificación local. Valdivia et al. (2013) confirman estas tendencias para el Altiplano boliviano, mostrando que en promedio, las temperaturas máximas después de 1983 fueron sostenidamente superiores en la zona, mientras que las mínimas pudieron reducir en el Sur (Figura 1.5.).

Un estudio reciente de Seiler *et al.*, (2013) demuestra que en los Andes bolivianos existe una relación entre el incremento de la temperatura del aire y los eventos ENSO siendo que también la Oscilación Decadal del Pacífico presenta influencias en estos valores. Los autores mencionan que las temperaturas máximas en Bolivia se incrementaron en promedio a una tasa de 0.1°C/década con mayor intensidad en la zona andina y en el invierno (Figura 1.6.), aunque no presentan información sobre la variación de las temperaturas mínimas.

b. Precipitación

Como fue descrito en 1.2.1., la influencia de las montañas sobre la intensidad, posición y duración de las precipitaciones convectivas es ampliamente

Figura 1.5.
Diferencias en el promedio anual de las temperaturas máximas y mínimas para el Altiplano boliviano. Valdivia, *et al.*, (2013).

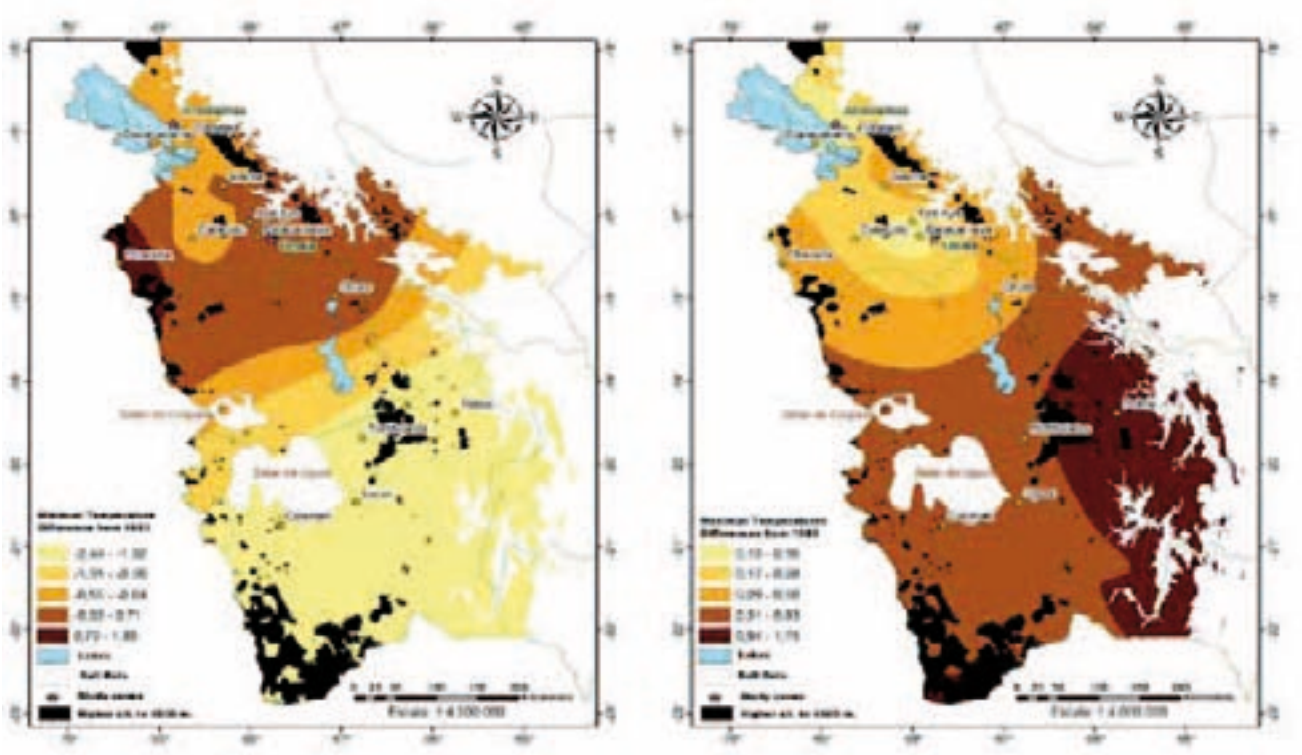
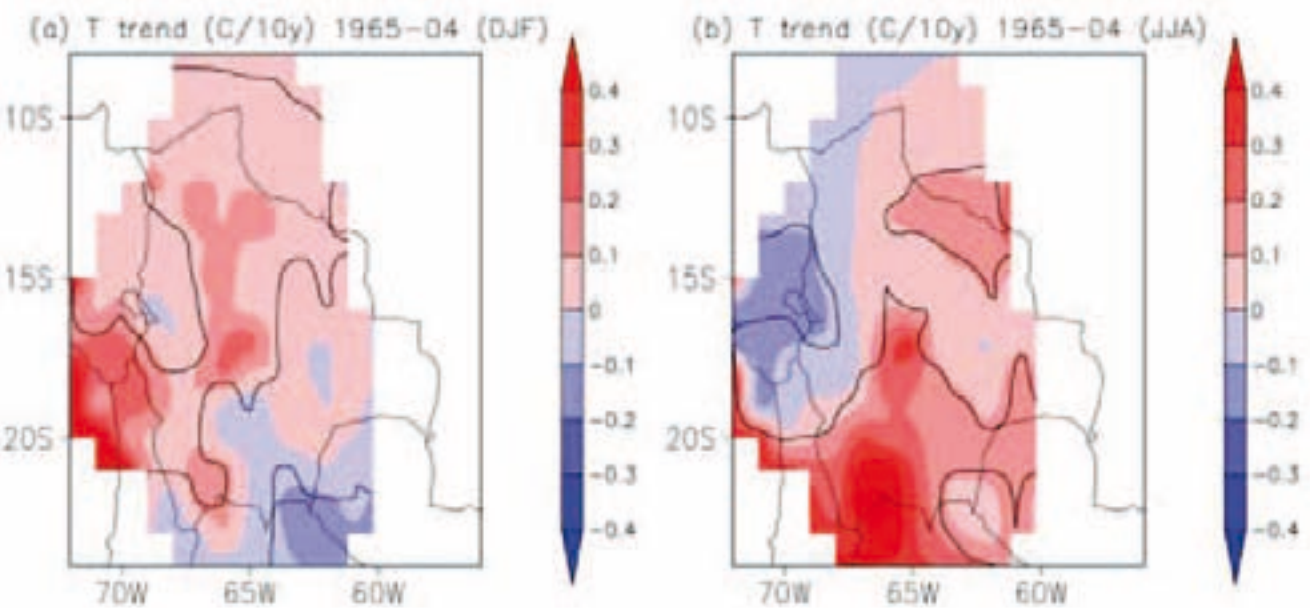


Figura 1.6.
Tendencias de temperaturas medias máximas mensuales (°C (por cada 10 años) de 1965-2004. Durante a) DJF y (b) JJA (publicado por Seiler *et al.*, 2013)



reconocida particularmente para la región y esto es cierto cuando se evalúa la presencia de nubosidad como indicador de la precipitación, pues su formación muy frecuentemente tiene una fuerte correlación con la precipitación.

La OLR (Outgoing Longwave Radiation, por sus siglas en inglés) es la medida de la radiación de onda larga emitida por la superficie de la tierra y la atmósfera suprayacente y es monitoreada constantemente por un número de satélites polares que orbitan desde 1974. La OLR es sensible a la cantidad y altura de las nubes sobre una determinada región y tiempo, y fue estudiada para investigar la convección tropical y las nubes convectivas sobre Sur América tropical (Vuille, *et al*., 2003a). Valores bajos de OLR sugieren nubosidad intensa. En el caso de cielos despejados se emiten valores altos de OLR desde la superficie terrestre (Vuille, *et. al*., 2008).

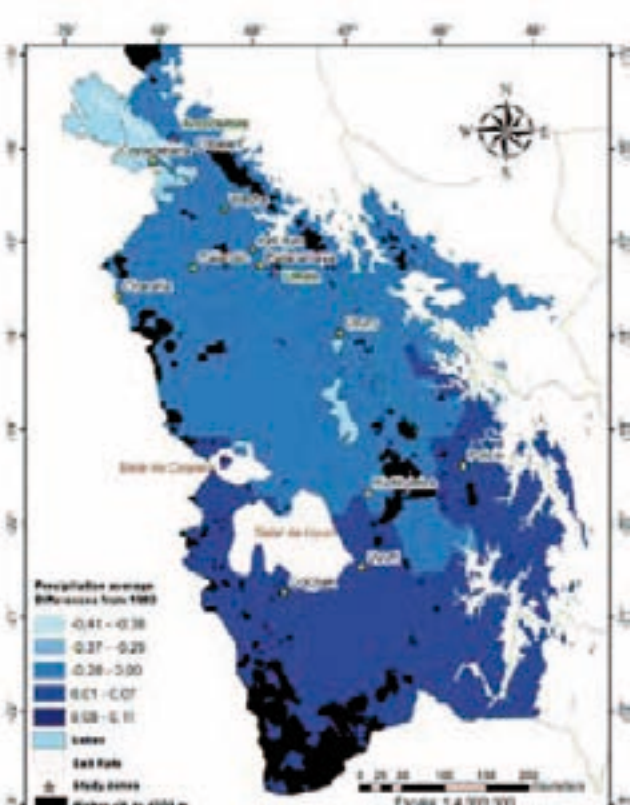
Los datos de OLR indican que la cubierta de nubes convectivas se incrementó levemente en verano, especialmente en los trópicos inferiores, pero también en invierno lo que es difícil de interpretar. La significancia de los resultados es mucho más limitada por las series cortas de tiempo disponible entre 1979 y 1998 (Vuille *et al*., 2003). La tendencia positiva durante la época seca es probablemente menos importante porque la cobertura de nubes es mínima en esta época. La mayor cantidad de nubes entre diciembre y febrero podría sugerir un incremento en la lluvia en ese trimestre, lo que coincide con reportes que indican incremento en la precipitación en la escala regional en el Este de los Andes, durante las épocas lluviosas (Vuille *et al*., 2003).

En el mismo análisis Vuille, *et al*., (2003) en base a 42 estaciones en los Andes Tropicales entre 1950 y 1994 (45 años), encontraron poca coherencia espacial entre las diferentes tendencias de las estaciones y que no hay un patrón claro de aumento o disminución de la precipitación. Al Sur del Perú y a lo largo de la frontera Perú/Bolivia muchas de las estaciones indican la reducción de la precipitación para el total anual y durante la época de lluvias DEF. En JJA la mayoría de las estaciones indican un incremento en la precipitación, especialmente en las estaciones de las tierras bajas del Oeste de los Andes y el Altiplano, región Norte de Bolivia y Sur del Perú, todo esto a nivel de regiones pero siempre en base a estaciones individuales. De las 42 estaciones analizadas sólo 5 mostraron incrementos significativos y otras 2 reducciones significativas, siendo las restantes estables. Por lo tanto se llegó a la conclusión de que los cambios en cantidad de precipitación y de nubosidad son mínimos en la mayoría de la región, por lo que también es bastante improbable que estos factores hayan causado el retroceso de glaciares.

Al igual que la temperatura, se presume que los cambios en la precipitación podrían tener variaciones por efecto de la elevación. Sin embargo, nuevamente Vuille, *et al*., (2003) muestran que no existen signos de dependencia, lo que en parte podría deberse a información faltante que amerita otros estudios.

Según Valdivia, *et al*., (2013) los registros anuales de la cantidad de precipitación recibida en distintas zonas del Altiplano boliviano, muestran estabilidad relativa (Figura 1.7.).

Figura 1.7.
Diferencias en los registros promedio de temperatura antes y después de 1983 para el Altiplano boliviano (publicado por Valdivia, *et al*., 2013).



Adicionalmente, los autores dividieron el periodo de registros en dos, antes y después de 1983, pues detectaron un corte en tal año, muy probablemente debido a la presencia del mega evento de El Niño. Bajo el mismo concepto, Seiler, *et al.* (2013) consideran que 1984 se constituye un año de cambio en la tendencia de precipitación. Estos últimos autores van más allá y exploran las diferencias en tendencias entre épocas del año, encontrando que en esta discriminación, efectivamente puede ser observado un cambio. En las tierras bajas, las cantidades totales de precipitación así como el número de eventos extremos, fueron mayores durante los eventos de El Niño. Durante el verano Austral (diciembre a febrero), este evento causó condiciones más secas en los Andes, con precipitaciones más variables. Los autores encuentran que las precipitaciones pluviales se incrementaron desde 1965 a 1984 (12% en DEF y 18% entre junio y agosto) y decrecieron luego (-4% en verano y -10% en invierno) (Figura 1.8).

Con respecto a las tendencias de cambio encontradas en la precipitación, se puede percibir poco cambio total anual de ésta.

c. Nubosidad

La nubosidad convectiva es aquella que se forma con los movimientos ascendentes del aire sobre una superficie cálida en presencia de humedad. Estos movimientos son generadores de nubes (cúmulos-nimbos) que tienen un alto poder reflejante. La radiación de onda larga reflejada por las nubes (OLR) es un buen indicador tanto de la precipitación (como se mencionó anteriormente) como de la nubosidad convectiva. Vuille *et al.* (2003) analizaron la evolución de esta variable entre 1979 y 1998 entre los paralelos 1°N-23°S y entre 0-5,000 msnm. Los resultados muestran que la OLR se redujo ligeramente al Norte del paralelo 10°S, lo que indicaría un ligero aumento de la nubosidad convectiva. Este aumento se produjo especialmente durante la temporada húmeda (diciembre-febrero). Al Sur de este paralelo 10°S, por el contrario, se observó que la nubosidad convectiva decreció (CAN, 2007). Estos resultados podrían tener una significancia hacia la mayor cantidad de avenidas (caudales extraordinarios) en estas zonas, pues la nubosidad convectiva puede producir precipitaciones más agresivas.

No se encontraron estudios específicos sobre el comportamiento de la nubosidad en Bolivia. El IPCC (1997) recomienda realizar estudios en los cambios de nubosidad ya que la cantidad, el lugar, la altura, la duración y las propiedades ópticas de las nubes ejercen controles importantes sobre el clima de la Tierra, por lo que los cambios de esas propiedades podrían tener una función importante en el cambio climático.

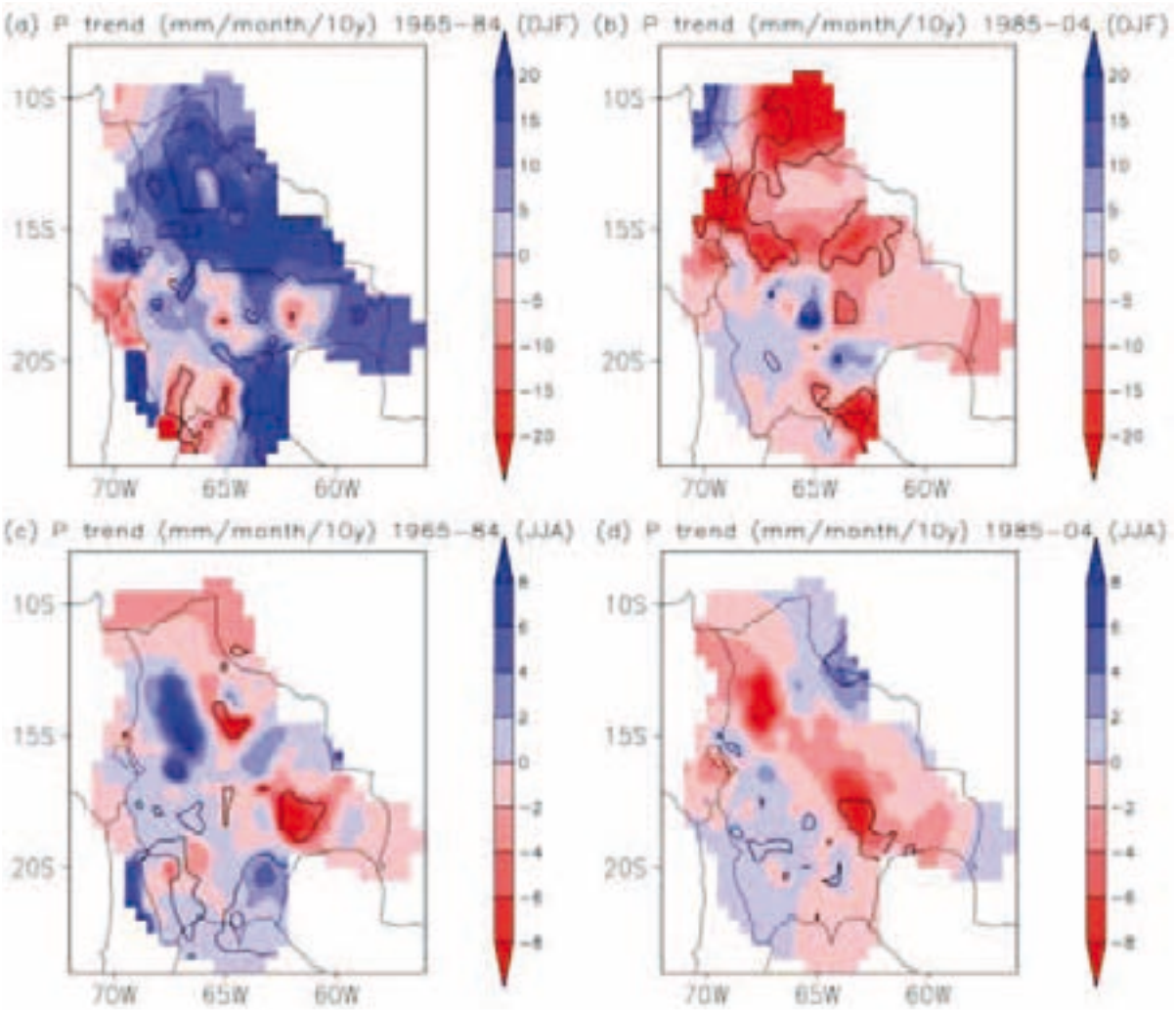
Dado que la formación de nubosidad convectiva es muy importante para la formación y cantidad de precipitación en Bolivia, por el tipo de relieve que la cubre, sería muy importante adicionar esta variable para análisis futuros, pues además otorgaría información sobre la violencia de los eventos extremos pluviométricos, lo cual es de suma importancia para el análisis de riesgos, considerando el cambio en las amenazas.

d. Humedad

Vuille, *et al*. (2003) y Vuille y Garreaud (2009), basados en datos derivados del Climatic Research Unit, indican que la humedad relativa incrementó de 0.0 a 2.5%/década con las tendencias más positivas en el Norte del Ecuador y Sur de Colombia, mientras que en el Sur del Perú, Oeste de Bolivia y extremo Norte de Chile el incremento es moderado (0.5-1.0%/década) entre el periodo de 1950 y 1994. Los resultados sugieren que el incremento de la humedad atmosférica, podría ser producto del arrastre de masas de aire que contienen mayor cantidad de humedad. En general, las tendencias son muy similares en todas las estaciones con leves modulaciones durante el invierno y verano.

A pesar de que los estudios fueron realizados en base a mediciones térmicas indirectas, en caso de que se haya incrementado el vapor de agua en la atmósfera, esta cantidad de agua debe liberarse, pudiendo haberse incrementado también el número de eventos extremos pluviométricos por esta razón directa.

Figura 1.8.
Tendencia a la precipitación media (mm por cada 10 años) de (a) 1965-1984 y (b) 1985-2004 en DJF. (c) y (d) son lo mismo que (a) y (b) pero para JJA (publicado por Seiler *et al.*, 2013).



e. Vientos

Las características locales del régimen de viento cerca de la superficie están fuertemente determinadas por la topografía. El desarrollo de brisas en áreas con relieve significativo y en las zonas con lagos y salares, definen sistemas de circulación local con un marcado ciclo diario, los cuales pueden adaptarse significativamente a los esquemas de gran escala (Aceituno, 1996).

Es interesante mencionar que no se encontró información acerca del comportamiento de los vientos alrededor del país, lo cual debería considerarse para futuros estudios, mucho más si se toma en cuenta su importancia en el restablecimiento del equilibrio en la atmósfera y, lógicamente, para la producción del ciclo hidrológico.

El viento constituye uno de los factores esenciales que explican la vida sobre la superficie terrestre.

f. Glaciares

La región andina concentra el 95% de los glaciares tropicales del mundo, cubriendo una superficie estimada hoy en 2.500 km^2, de los cuales el 71% de ellos están ubicados en Perú, 22% en Bolivia, 4% en Ecuador y 3% en Colombia. En ellos se observa un franco retroceso atribuible al calentamiento global, como fue estimado por el IPCC (1996) al señalar que el calentamiento en las regiones de alta montaña generaría la reducción o desaparición significativa de las superficies de nieve y hielo (CAN, 2007).

Por su gran sensibilidad al cambio climático, los glaciares tropicales son excelentes indicadores de la evolución del clima; el dramático retroceso que vienen sufriendo en todo el mundo, sugieren que otros parámetros hidrometeorológicos podrían estar también sufriendo cambios significativos en la actualidad y, probablemente, podrían acentuarse en las próximas décadas (SENAMHI, 2005).

Recientes investigaciones muestran que el cambio climático será aún más percibido en las cordilleras de mayor altitud (Bradley, *et al*., 2006). Si bien se prestó mucha atención al cambio climático en la región polar, las montañas que se extienden hacia la tropósfera se han calentado más rápidamente que las tierras bajas. El clima en zonas altas de gran densidad poblacional en los trópicos, como los Andes Tropicales, está padeciendo cambios dramáticos. El calentamiento global estuvo asociado al acelerado retroceso de los glaciares tropicales en los Andes, así como al aumento en la variabilidad del clima y los extremos climáticos que afectan los ecosistemas andinos, con considerables repercusiones en la integridad del ecosistema y en el bienestar de las poblaciones locales (Torrez, 2011).

El derretimiento de los glaciares tropicales está generando alarma en los países andinos, donde expertos y ambientalistas coinciden en que su rápido retroceso amenaza su desarrollo. Este fenomeno lo evidencian tanto los expertos como los pobladores (Torrez, 2011).

1.4. APLICACIÓN DE MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL (MCG)

1.4.1. Escenarios climáticos

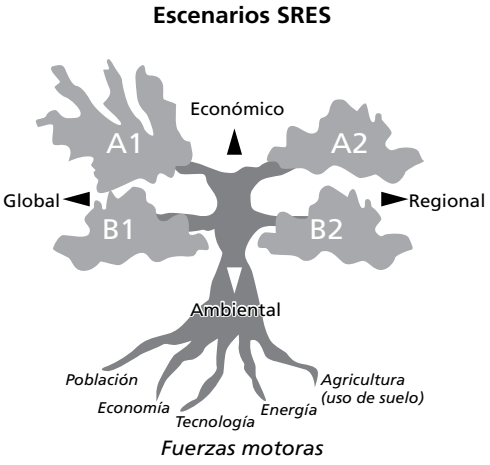
El estudio de los futuros impactos del cambio climático requiere estimar "escenarios" posibles de comportamiento de la actividad humana, pues es ésta la que determinará en gran medida el comportamiento del clima global futuro. Los "escenarios climáticos" son descripciones coherentes, plausibles e internamente consistentes del clima futuro del planeta (IPCC, 2000).

Existen dos grandes familias de escenarios. Los escenarios "A" describen un mundo futuro con alto crecimiento económico, mientras que en los "B" ese crecimiento es moderado. Los escenarios comprenden una línea evolutiva similar en lo que respecta a sus características demográficas, sociales, económicas y de cambio tecnológico y está constituido por cuatro familias de escenarios: A1, A2, B1 y B2 (SENAMHI, 2005; IPCC, 1997). El escenario A2, el más pesimista, contempla una población creciente y un desarrollo económico regionalizado, mientras que el escenario B2, más optimista, contempla un menor crecimiento poblacional y un desarrollo económico moderado. Bajo A2 se espera que la concentración de dióxido de carbono para 2100 sea de 850 ppm (partes por millón) mientras que bajo B2 se estima que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera será de 600 ppm (Andersen, 2009).

Las cuatro familias de escenarios se muestran, de manera muy simple, como ramas de un árbol bidimensional (Fig. 1.9.). En realidad, estas cuatro familias de escenarios comparten un espacio dimensional mucho más amplio, dadas las numerosas suposiciones necesarias para definir cada escenario dentro de cada modelo. El diagrama esquemático ilustra las principales fuerzas motoras que rigen las emisiones de GEI. Cada familia de escenarios se basa en especificaciones comunes de estas fuerzas motoras (Nakicenovic et al., 2000, mencionado por Magaña *et. al.* s/a).

La construcción de estos escenarios fue llevada adelante y consensuada por el IPCC con el fin de guiar los estudios de evaluación de impacto del cambio climático, bajo condiciones que son probables a futuro en función del comportamiento social y demográfico del planeta. En este sentido, se constituye en la guía y base sobre la cual se desarrollan los modelos, pues estos incorporan las consecuencias del forzamiento radiativo producido por las variables condiciones previstas por los escenarios SRES.

Figura 1.9.
(a) Diagrama esquemático de las fuerzas motoras que rigen las emisiones de GEI. (b) Dirección cualitativa de los escenarios del IE-EE para diferentes indicadores. Fuente Magaña *et. al.*, s/a; IPCC, 2001b.



Escenario	Población	Economía	Medio ambiente	Equidad	Tecnología	Mundialización
A1FI	↗	↗	→	→	↗	→
A1B	↗	↗	→	→	↗	→
A1T	↗	↗	↗	→	↗	→
B1	↗	→	↗	→	↗	→
A2	→	→	→	→	→	→
B2	→	→	↗	→	→	→

1.4.2. Resultados de la aplicación de Modelos de Circulación General para Bolivia

Los Modelos de Circulación General (MCG) de la atmósfera son algoritmos matemáticos que intentan simular el sistema climático de la tierra. Se encuentran en el extremo superior de la jerarquía de modelos del clima, son acoplados (incorporan el estudio del sistema atmósfera-océano y suelo) y predicen cambios de las variables en un tiempo largo y bajo escenarios futuros. Las expresiones matemáticas que configuran un MCG se pueden analizar por separado dentro de las tres principales partes que constan estos modelos: (1) la dinámica del sistema climático describe el movimiento de masas de aire a gran escala y el transporte de la energía y momentum; (2) la física del sistema climático tal como la transmisión de la radiación a través de la atmósfera, la termodinámica y la evaporación; y (3) otros factores tales como la interacción: océano, atmósfera, topografía y parámetros de la vegetación. Estas expresiones están basadas en las leyes físicas, tales como la conservación de energía y masa, así como de las relaciones empíricas basadas en características y tendencias observadas, tales como fórmulas que relacionen temperatura y humedad con la formación de la nube.

Los MCG utilizan las mismas ecuaciones de movimiento que un modelo de Predicción Numérica del Tiempo (PNT), siendo su propósito simular, numéricamente, los cambios en el clima como resultado de cambios lentos en algunas condiciones de frontera (tales como la constante solar) o parámetros físicos (tal como la concentración de los gases de efecto invernadero). Los modelos PNT se utilizan para predecir el tiempo futuro a corto plazo (1-3 días) y mediano plazo (de 4-10 días). Los modelos MCG sirven por años, tiempo suficiente para aprender sobre el clima en un sentido estadístico (es decir la media y la variabilidad).

Los MCG por ser globales tienen una baja resolución por lo cual no son muy indicados para estudios e investigación de zonas específicas, en ese sentido es necesario el uso de un modelo regional el cual puede tomar mayores resoluciones y ser más hábil en la determinación del clima de una zona, pero siempre basado en los resultados de borde del MCG y aprovechando su capacidad para describir el clima global que siempre determinará de alguna forma el clima local. Entonces, para determinar el clima en forma puntual es necesario utilizar dos modelos: uno global, el cual da las condiciones de frontera al otro modelo regional, denominándose a este proceso "regionalización".

De esta manera, para Bolivia y/o para el continente sudamericano se han realizado diversos estudios de aplicación de los MCG los cuales en muchos casos coinciden ampliamente en sus

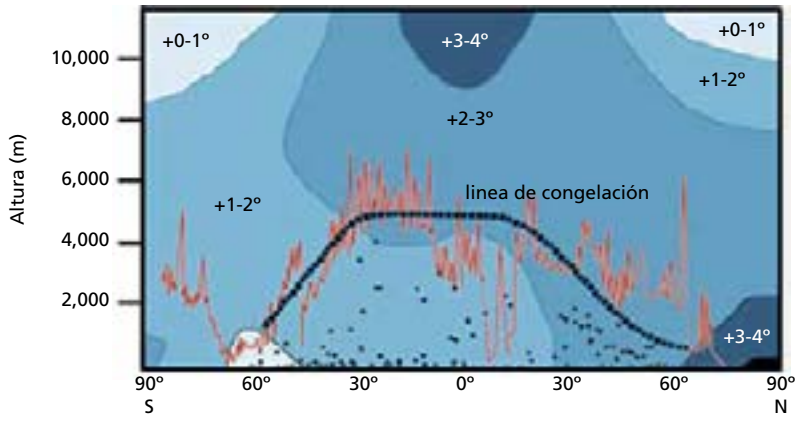
resultados. El Programa Nacional de Cambios Climáticos de Bolivia fue el primero en establecer este tipo de estudios cuando en 1997 y 1998, realiza estudios para establecer la tasa esperada de cambio en las variables termo-pluviométricas. En ese entonces se estableció que los modelos GISS (Goddard Institute Space Studies), UK89 (United Kingdom) y Hadley (HADCM2) eran los modelos que mejor representaban la realidad boliviana.

1.4.2.1. Temperatura

Un resultado en el que coinciden la mayor parte de los estudios es que en general los MCG prevén un aumento sostenido de la temperatura en los Andes Centrales (PNCC, 1997), SENAMHI (1998), el cual se muestra más elevado cuanto más sea la altitud del punto considerado, diferencia que se acentúa a partir de los 4.000 msnm. La Figura 1.10 presenta un modelo de evolución de la temperatura a lo largo de la longitud de los Andes Centrales. El escenario se basa en una duplicación de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Se observa que el incremento de temperatura sería mayor al Norte del paralelo 30°N, con un máximo al Norte del paralelo 60°N. En el trópico (entre 30°N y 30°S), el incremento sería mayor por encima de los 4.000 msnm. De esta forma se deduce que los Andes Centrales y sus estribaciones, por su ubicación y altitud, serían fuertemente afectados por el calentamiento. Este aumento en la temperatura produciría un incremento temporal de los caudales de los ríos ubicados en las cuencas abastecidas por glaciares, seguidos de una disminución drástica del volumen y regularidad de los recursos hídricos. Bajo estas condiciones de calentamiento, se prevé que el régimen hidrológico se volvería cada vez más níveo-pluvial a medida que avance la desaparición de sus glaciares reguladores, empezando por los más pequeños y por los que nacen a menor altura.

En referencia a la climatología, en la región dominada por formaciones de la cordillera, el análisis de las variables estimadas por los modelos MIROC Hi-res 3.2[1] y CCSM 3.0[2] muestra una tendencia positiva en la temperatura del aire de +0.035 °C por año. Complementando los datos anteriores, observaciones por sensores remotos identificaron a la Temperatura de superficie (Ts) y albedo superficial (α) como los factores dominantes en la ecuación del balance de energía. Específicamente, los resultados permiten inferir que los cambios en regiones con baja cobertura vegetal son más notorios que los cambios en zonas ricas en vegetación o con cobertura forestal. Al respecto, el estancamiento en la tendencia en la variable temperatura del aire en zonas forestadas sugiere el importante rol de este tipo de cobertura vegetal en la mitigación del cambio climático, no sólo por el incremento de la capacidad de convertirse en sumideros de dióxido de carbono sino por el rol regulador de la temperatura (Soria, 2010). Sin embargo, se debe tomar en cuenta que las estaciones que miden la tempe-

Figura 1.10.
Estimación del incremento de la temperatura en caso de que la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera se duplique.



1 Modelo acoplado Océano-Atmósfera desarrollado por el Instituto Japonés para Estudios Ambientales.

2 El Community Climate System Model (CCSM) es un modelo climático acoplado que simula el sistema climático terrestre. Fue desarrollado por el Instituto NCAR

ratura son escasas en altitudes superiores y que cubren el territorio de una manera heterogénea, lo cual podría incrementar la incertidumbre a los datos utilizados. A pesar de ello, en base a simulaciones con el modelo ECHAM-4[3] que reproduce la tendencia de calentamiento observado también como la tendencia de patrón espacial (Vuille, *et. al.*, 2003; CAN, 2007) se reporta que la diferencia del incremento de la temperatura continuaría notablemente entre el Este y Oeste andino, probablemente por el incremento concurrente de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Pacifico ecuatorial, de las tendencias considerablemente diferentes en nubosidad entre el Este y Oeste de los Andes y de la mayor cobertura vegetal del Este, todo lo que contribuye a su menor calentamiento, efecto que podría incrementarse en el futuro debido a la intensificación de dichas condiciones.

La Tabla 1.2 presenta los rangos de cambio en temperatura y precipitación a nivel continental proyectados para 2020, 2050 y 2080, provenientes de las estimaciones de varios MCG y cuatro de los principales familias de escenarios de emisiones (IPCC, 2008).

En base a los escenarios indicados anteriormente, otro estudio para el periodo 2071-2100 en Bolivia (en base a la serie 1961-1990) que aplicó el modelo PRECIS, indica que la temperatura se incrementará para el escenario A2 en 3.4°-5.1°C y, para el escenario B2, el incremento se dará en 2.4°-3.7°C; al mismo tiempo indica que los mayores incrementos de la temperatura media se observarían al Sur del Altiplano y el Norte del país para ambos escenarios (Andersen, 2009). Es notorio el consistente incremento en precipitación anual que es esperado de acuerdo a los resultados del IPCC. Sin embargo, las tendencias han mostrado un leve pero sostenido descenso de las precipitaciones en Bolivia. Al respecto Minvielle y Garreaud (2011), combinando los resultados de MCG y de datos de estaciones meteorológicas del Altiplano, sugieren que el incremento y fortalecimiento de los vientos de Oeste producirán descenso de las precipitaciones a futuro en el territorio boliviano.

Tabla 1.2.
Cambios proyectados en la temperatura (°C) y la precipitación (%) para grandes regiones del Centro y el Sur de América basados en Ruosteenoja *et al*. (2003). El rango de valores proviene de las estimaciones de siete MCG y los cuatro escenarios SRES más importantes.

	Estación	2020	2050	2080
Cambio en temperatura (°C)				
América Central	Seca	+0.4 a +1.1	+1.0 a +3.0	+1.0 a +5.0
	Húmeda	+0.5 a +1.7	+1.0 a +4.0	+1.3 a +6.6
Amazonía	Seca	+0.7 a +1.8	+1.0 a +4.0	+1.8 a +7.5
	Húmeda	+0.5 a +1.5	+1.0 a +4.0	+1.6 a+6.0
Sur de Sudamérica	Invierno(JJA)	+0.6 a +1.1	+1.0 a +2.9	+1.8 a +4.5
	Verano (DEF)	+0.8 a +1.2	+1.0 a +3.0	+1.8 a +4.5
Cambio en precipitación (%)				
América Central	Seca	-7 a +7	-12 a +5	-20 a +8
	Húmeda	-10 a +4	-15 a +3	-30 a +5
Amazonia	Seca	-10 a +4	-20 a +10	-40 a +10
	Húmeda	-3 a +6	-5 a +1	-10 a +10
Sur de Sudamérica	Invierno(JJA)	-5 a +3	0-12 a +10	-12 a +12
	Verano (DEF)	-3 a +5	-5 a +10	-10 a +10

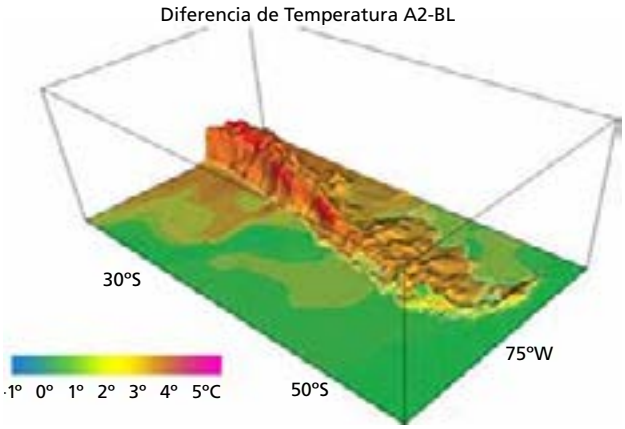
Fuente: IPCC, 2008.
DEF=Diciembre/Enero/Febrero, JJA=Junio/Julio/Agosto.

3 Es un modelo de circulación general acoplado atmósfera-océano, desarrollado en el Instituto Max Planck de Meteorología.

Para el Perú en el periodo 2071-2100 (en base a la serie 1961-1900) con los modelos ETA CSS y HadRM3 se proyectaron, tanto para el escenario A2 y el escenario B2, incrementos de temperatura entre 2ºC a 4ºC, excepto para algunas áreas localizadas al Norte del lago Titicaca, donde el escenario A2 proyectó incrementos de hasta 6ºC (Sanabria, *et al*., 2009).

Garreaud (2011) en un estudio realizado en Chile con el modelo PRECIS, muestra el cambio de temperatura superficial del aire para el periodo 2070-2100 (promedio anual) sobrepuesto a la topografía de Chile (Figura 1.11.). Se observa calentamiento sobre todo de Chile continental y el océano adyacente, pero con magnitudes variables. El calentamiento es modesto (0.5 ~1°C) sobre la costa, pero este se incrementa rápidamente sobre la cordillera con cambios de hasta 5°C en las tierras altas del Norte y centro de Chile. Existe una leve diferenciación entre las estaciones del año: durante los meses de verano el mayor calentamiento (>4°C) se extiende sobre los Andes hasta la Patagonia, mientras que en el invierno el calentamiento es más intenso (>5°C) pero concentrado en los Andes de la zona Norte de Chile (Fuenzalida *et al*. 2007). Es importante destacar que el calentamiento sobre la costa del Pacífico con influencia en los Andes es consistente con los cambios observados en las últimas décadas, probablemente debido al descenso de temperatura en zonas costeras, por un aumento de los vientos del Sur (Garreaud & Falvey, 2009).

Figura 1.11.
Cambio de temperatura del aire cerca de la superficie (promedio anual) simulado por el modelo PRECIS-DGF entre fines de siglo (2070-2100 bajo escenario A2) y condición actual (1960-1990) para Chile.



1.4.2.2. Precipitación

El nivel de precipitaciones futuras es una variable difícil de predecir, ya que los factores regionales dependientes de la circulación atmosférica, tales como los eventos ENSO o la actividad del frente polar Sur son difíciles de modelar.

Solman, *et al*. (2003), evaluaron el modelo de circulación general de la atmósfera, HADAM2B, del Hadley Centre, con énfasis en la actividad sinóptica del hemisferio Sur. Asimismo, se realizó una evaluación del efecto de la resolución horizontal en la calidad de la simulación. Se compararon las simulaciones realizadas para al periodo AMIP[4] con el modelo de la resolución estándar (2.5° de latitud por 3.75° de longitud) y de alta resolución (0.833° de latitud por 1.23° de longitud), en los cuales ambos modelos fueron forzados con la climatología observada de temperatura de superficie del mar, con los re-análisis de NCEP[5] para el periodo 1979-1988. Los resultados obtenidos mostraron que el modelo de ambas resoluciones reproduce considerablemente bien los patrones básicos observados del campo de presión de superficie y la corriente en chorro de niveles superiores, pero con subestimaciones de temperatura y sobreestimaciones de precipitación. En base a sus resultados, los investigadores concluyen que, en general, los cambios debido al aumento de la resolución no presentan una mejora significativa en la calidad de la simulación de la precipitación. Igualmente Buytaert, *et al*. (2010), en un estudio realizado en los Andes tropicales de Ecuador, encontraron que, aunque el modelo PRECIS representa mejor los gradientes de precipitación que los modelos globales del IPCC, las discrepancias son grandes, concluyendo que se requieren datos con mayor resolución u otro tipo de técnicas para representar bien la climatología de los Andes.

Confirmando los resultados previos, Seiler (2009) y Andrade y Blacutt (2010), en diferentes trabajos para Bolivia que estudiaron el desempeño del modelo climático regional PRECIS *(Providing Regional Climates for Impacts Studies)* del Hadley

4 Según el Protocolo del Proyecto de Intercomparación de Modelos Atmosféricos (AMIP por sus siglas en inglés), se conoce como Línea de comparación o Línea Base al periodo comprendido entre 1960-1990.

5 National Center for Environmental Prediction. United States.

Centre de la Oficina Meteorológica del Reino Unido y aplicado con diferentes MCG como condiciones de borde, encontraron que los resultados del modelo comparados con datos mensuales observados de temperatura y precipitación en el periodo 1961-1990 muestran que ambos parámetros tienen un buen desempeño en zonas bajas (regiones con altura menor a 500 *msnm)* pero que sobreestiman la precipitación tanto en zonas de altura intermedia (entre 500 y 3.500 *msnm)* como en la zona andina (situada a una altura mayor a 3.500 *msnm). A* su vez, la comparación muestra que el modelo subestima la temperatura (máxima, media y mínima) en las regiones con altitudes mayores a 500 *msnm,* mientras que realiza un trabajo aceptable en las zonas bajas. Este efecto puede ser parcialmente explicado por los parámetros del modelo que no reflejan adecuadamente la fisiografía de Bolivia, ni las variaciones del gradiente térmico que, si bien existen en las zonas montañosas, es parcialmente compensado en la realidad por la gran cantidad de recepción de energía debido a la cercanía con el Ecuador.

En otros trabajos que aplicaron los MCG para el subcontinente (Marengo, *et al*., 2003) se muestran las tendencias de los modelos en sobreestimar o subestimar la lluvia en función de la zona analizada. Todos los modelos subestiman la lluvia sobre la Amazonia en el verano y la sobreestiman en las zonas altas. Entre los modelos analizados, el HadCM3 y el Echam 4.5 simulan la circulación de verano y primavera de forma más próxima a las observadas. En estos estudios se reporta que todos los modelos presentaron dificultades en generar la Zona de Convergencia con su tendencia de lluvia extendiéndose desde la Amazonia hasta el Sureste de Brasil, así como el inicio del periodo lluvioso en la primavera. En general, los modelos concentraron la mayor cantidad de lluvia al Este del continente, lo que originó en menor o mayor grado, la disminución de la lluvia sobre la Amazonia. Esto puede estar asociado también a la dificultad de los modelos en simular las posiciones climatológicas de la "Alta de Bolivia". Para el futuro, los cambios más significativos en la tendencia de la circulación y en la distribución de las lluvias ocurrirían a partir de la climatología de 2041-2070, y se intensificarían hasta el final del Siglo XXI. De todos los modelos analizados en los estudios, el HadCM3 y el ECHAM presentaron un patrón de circulación y una distribución de lluvias más próximas a las observadas tanto para el verano, como para la primavera. Para el futuro, estos modelos mostraron disminución de las lluvias en el Noreste durante el verano y para la Amazonia durante la primavera.

En general, en la zona central y tropical de Sudamérica, las predicciones para el 2080 varían entre reducciones del 20% al 40% y aumentos del 5% al 10%. La incertidumbre es aún mayor para el Sur de Sudamérica, tanto en invierno como en verano, aunque la magnitud del cambio es menor que en las zonas tropicales, (IPCC, 2008).

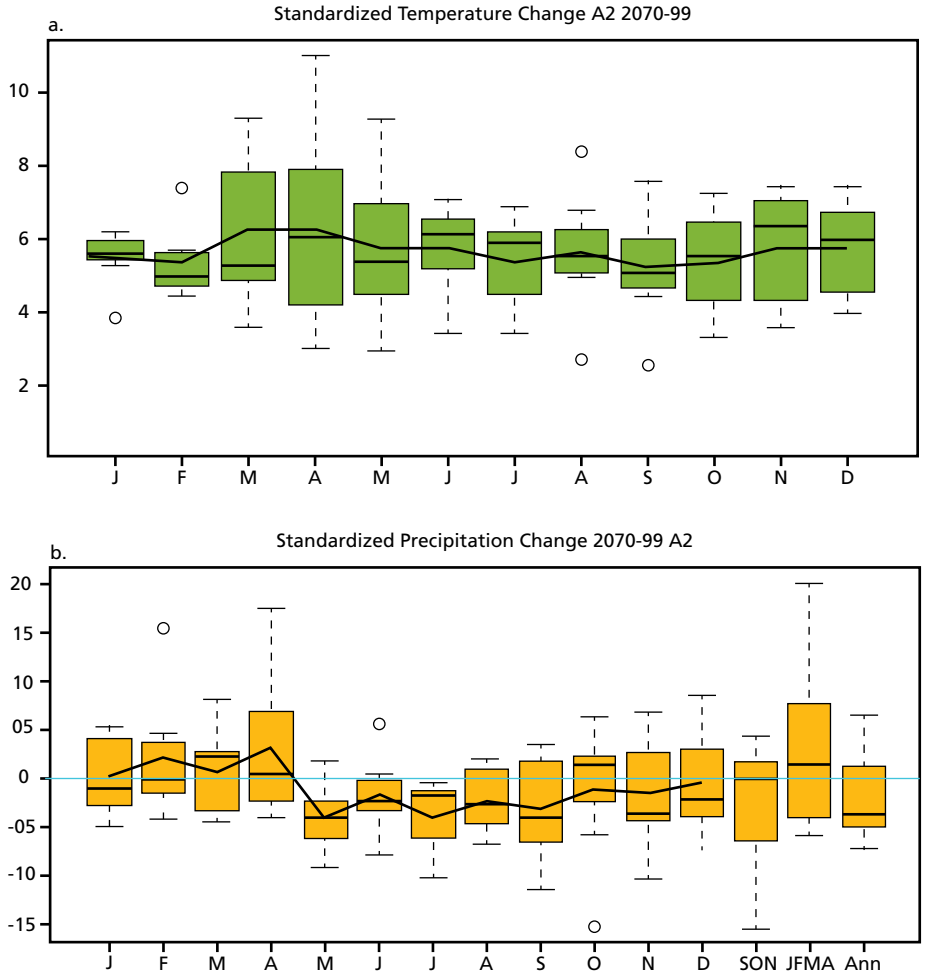
Seth, *et al*. (2010) y Thibeault, *et al*. (2010) examinaron nueve modelos de circulación general en los Andes Centrales y encontraron una tendencia a un ligero aumento en las precipitaciones durante la estación lluviosa y un ligero descenso durante el inicio de temporada (Figura 1.12.).

Los resultados sugieren que, si bien los modelos muestran un sesgo cálido y húmedo en el Altiplano, la dinámica del ciclo anual es bien simulada. Los cambios de precipitación en el Altiplano representados por los modelos parecen ser poco significativos en la media anual, pero con un posible cambio en la distribución estacional de precipitación. La estación de lluvias parece retrasarse pero también ser más intensa, con un largo periodo seco y un debilitamiento de la época de lluvias a principios de temporada. Seth, *et al.* (2010) proponen un mecanismo para explicar los cambios en el ciclo anual de precipitación que ocurrirían en el futuro, que considera los cambios esperados en la circulación global:

1. El aumento de las temperaturas provocará mayor evapotranspiración y secado de la superficie.

2. Como la recepción de radiación solar aumenta en la primavera y habrá menor humedad en la atmósfera, la constitución de energía estática húmeda necesaria para iniciar la convección demoraría en ocurrir (Lintner y Neelin, 2006).

Figura 1.12.
Cambio estandarizado de la temperatura (arriba) y de la precipitación previsto en la región, generados por 9 MCG (Seth *et al*., 2010)



3. El debilitamiento de la circulación tropical (aumento de la estabilidad) además inhibiría el desarrollo de convección (Vecchi y Soden, 2007).

4. Una vez que el umbral de la energía estática húmeda se logra, el contenido de humedad atmosférica sería mayor, generando las condiciones para precipitaciones más intensas.

5. Cuando termine el efecto "Monzón Sudamericano" siguiendo la radiación solar, las elevadas temperaturas incrementaran la evapotranspiración, provocando mayor perdida de humedad del suelo que intensificaría la estación seca.

En función al mecanismo propuesto, (Seth, *et al*. 2010) se espera en todo el periodo de lluvias mayor precipitación, pero deficit al iniciarse. La coherencia implica que en estas zonas estacionalmente secas (el Altiplano y las regiones del Monzón) la transición de la época seca a la húmeda puede demorar más, mientras que la transición inversa (de húmeda a seca) sería más rápida. Es interesante notar también que en relación con el mecanismo propuesto, desde 1991 el mayor balance negativo de masa del glaciar Chacaltaya, se ha producido durante los meses de octubre a diciembre a principios de la temporada de lluvias (Vuille, *et al*., 2008).

En el reporte de *Cambio Climático en Bolivia hasta 2100* se indica que los impactos más fuertes del cambio climático previstos por el modelo PRECIS se producen a través de cambios en los patrones de precipitación, es decir que los cam-

bios son más significativos en el escenario A2 que en el B2 (Andersen, 2009).

En la Figura 1.13 se observa que las áreas inicialmente secas se vuelven aún más secas y áreas inicialmente húmedas tendrán más precipitación al final del presente siglo. Además, se nota que los cambios son más drásticos en el escenario A2 que en el B2.

Adicionalmente, el autor indica que la precipitación muestra un cuadro muy variable. Bajo los dos escenarios estudiados, la precipitación promedio disminuye moderadamente en la zona altiplánica y se incrementa casi en el mismo orden en las zonas bajas. Dado que la precipitación promedio es normalmente baja en el Altiplano, el descenso de precipitación observado en los resultados del modelo podría llegar a impactar fuertemente a la productividad de la región.

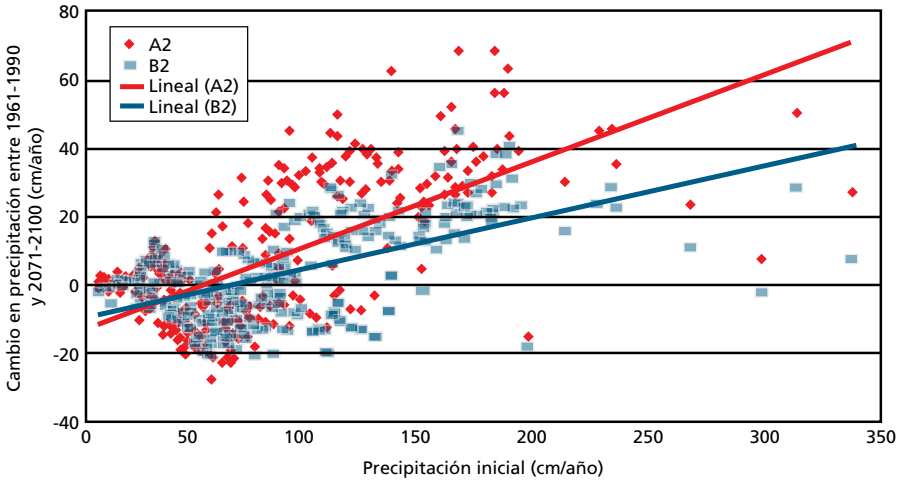
Burgoa (2010) realizó estudios puntuales en comunidades altiplánicas de Bolivia, (Patacamaya y Calacoto). En este análisis señala la relación entre escenarios actuales y futuros para 2020 (que es un promedio de 2006-2035), observándose que no habrá para el año 2020 ningún cambio significativo en el patrón de lluvias mensual. Hacia finales del presente Siglo XXI (2085), los escenarios futuros y actuales siguen el mismo patrón de comportamiento mensual en las precipitaciones, excepto en el escenario SRES B2. Sin embargo, el autor coincide con Seth, *et al*., (2010) en encontrar evidencias de reducciones en la lluvia durante la primavera y verano Austral, en especial para el mes de diciembre. Dichas reducciones alcanzan su pico en un 5, 8% en el escenario A2 (2085).

1.5. CONCLUSIONES

El documento presenta inicialmente una descripción de la climatología de Bolivia y en particular de la zona andina. Este capítulo demuestra la complejidad de los factores que interactúan permanentemente determinando las características climáticas del país, pero más aún muestran la extrema vulnerabilidad de su climatología, pues cualquiera de los factores atmosféricos que resulten afectados por impacto del cambio climático, determinará cambios que no son fácilmente previsibles.

También se presentan los avances en los reportes de las evaluaciones existentes sobre las tendencias climáticas desde la última parte del siglo pasado, hasta el presente; mostrando que el impacto no fue homogéneo; sino que éste presentó variaciones en función de la altitud, de la exposición de la pendiente e incluso de la

Figura 1.13.
Cambios en los patrones de precipitación de acuerdo al modelo PRECIS en los escenarios A2 y B2, nivel municipal. Fuente: Andersen (2009).



Fuente: Vuille y Bradley (2000).

cobertura vegetal. De esta manera, se reporta que las vertientes occidentales de la Cordillera de los Andes se han calentado más que sus similares al Este y que esta tendencia podría prolongarse hacia el futuro. Se considera que el rol regulador de la mayor cobertura vegetal ha permitido que el Este se caliente menos y esto podría enfocarse como acciones muy importantes de adaptación local. Igualmente se reporta que a mayor altitud, la tasa de calentamiento es mayor y que esto podría continuar aunque no está claramente establecido. Sobre la precipitación, las tendencias no muestran variaciones significativas, por lo que no se encuentran variaciones de magnitud, aunque se percibe que estacionalmente se podrían percibir reducciones importantes especialmente en invierno y que las últimas dos décadas podrían haber sido de reducción más importante. Adicionalmente, las mayores temperaturas podrían inducir a una tendencia a menor humedad, tanto en el aire, como en el suelo.

En términos generales, se puede decir que el conocimiento referido al cambio climático en los Andes sudamericanos es insuficiente en ciertos factores importantes como la nubosidad, humedad y vientos que son indicadores muy importantes en las interacciones para establecer características del clima, tanto en la reducción del impacto a través de la adaptación al cambio climático como en la mayor o menor frecuencia de eventos extremos. Tampoco se ha llevado adelante estudios microclimáticos, los que son de mucho interés debido a la complejidad fisiográfica del país.

Muchos de los estudios de escenarios en Sur América se hacen a nivel nacional, por lo que principalmente se extrajo estudios de Bolivia, Perú y Chile. Pero se tiene bastante información respecto a que en el país se tendrán variaciones en precipitación estacional siendo que el total no variará significativamente.

En el caso de la temperatura, en base a toda la información encontrada se asume que en el último siglo en Bolivia, se ha incrementado sostenidamente y mucho más en las últimas cuatro décadas (+ 0.34°C) superando el promedio de incremento mundial (+ 0.18°C), especialmente en las zonas de altitud media a elevada. Los datos entregados a nivel continental, muestran que el país podría sufrir incrementos térmicos entre 0.8° y +4.5° para 2080. Finalmente, varios estudios evidencian que los modelos ECHAM y HADGEM son los que mejor representan la climatología boliviana y que la reducción de escala utilizando modelos regionales dinámicos no mejora sustancialmente la precisión de los datos estimados en comparación a los modelos globales. De esta manera y bajo las indicaciones del Informe de Expertos del IPCC para la evaluación de la incertidumbre de la proyección y uso de multi-modelos, es posible utilizar un solo modelo para estudios de regionalización local, aunque esto debe estar claramente explicitado en dichos estudios.

1.6. BIBLIOGRAFÍA

Aceituno, P. 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector Parte I. Department of Meteorology, University of Wisconsin, Madison. American Meteorological Society, 116, 20 pp.

Aceituno, P. 1993. Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos: Aspectos generales del clima en el Altiplano sudamericano. Santiago - Chile. 10 pp.

Aceituno P., Fuenzalida H. y Rosenbluth B. 1993. Climate along the Extratropical West Coast of South America. Journal of Earth System Response to Global Change.9 pp.

Aceituno, P. 1996. Elementos clima en el Altiplano sudamericano. Revista de Geofísica. 19 pp.

AGRIFOR Consult. 2009. Cambio Climático en América Latina. 120 pp.

Aliaga, J. y Paredes, M. 2010. Cambio Climático, Desarrollo Económico y Energías Renovables: Estudio exploratorio de América Latina. Instituto de Investigaciones Socio Económicas. 34 pp.

Andersen, L. y Mamani, R. 2009. Cambio Climático en Bolivia hasta 2100: Síntesis de Costos y Oportunidades. Bolivia. 41 pp.

Andrade, M. &Blacutt, L. 2010. Evaluación del modelo climático regional PRECIS para el área de Bolivia: Comparación con datos de superficie. Revista Boliviana de Física Vol 16. Número 16.

Bradley, R. Vuille, M. Diaz, H. y Vergara, W.2006. Threats to water supplies in the Tropical Andes climatic change.2 pp.

Burgoa, A. 2010. Escenarios de cambio climático en el Sur del departamento de La Paz: Patacamaya y Calacoto. La Paz-Bolivia. Revista Boliviana de Física, 17, 6 pp.

Buytaert, W. Vuille, M. DeWulf, A. Urrutia, R. Karmalkar, A. y Celleri, R. 2010. Uncertainties in climate change projections and regional downscaling in the tropical Andes: implications for water resources management. Journal of hydrology and Earth System Sciences, 14, 12 pp.

CAN. 2007. ¿El fin de las cumbres nevadas? Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina. Lima – Perú. Secretaría General de la Comunidad Andina, Instituto de Investigación para el Desarrollo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe y la Agencia Española de Cooperación Internacional.104 pp.

Chavez, R. Trujillo, F. y Halvorsen, K. 2006. Mancomunidad de Carabuco y Vallegrande. Bolivia. 48 pp.

Francou, B. Vuille, M. Favier, V. y Caceres, B. 2004. New evidence for an ENSO impact on low-latitude glaciers: Antizana 15, Andes of Ecuador, 0‘28°S . Journal of Geophysical Research, 109, 17 pp.

Fuenzalida, H., P. Aceituno, M. Falvey, R. Garreaud, M. Rojas & R. Sánchez. 2007. Study on climate variability for Chile during the 21st century. In: Technical Report Environmental Committee, Santiago, Chile. http://www.dgf.uchile.cl/PRECIS.

Garreaud, R. 1999. Multiscale Analysis of the Summertime Precipitation over the Central Andes. American Meteorological Society, 127, 21 pp.

Garreaud, R. y Aceituno P. 2001, Interannual Rainfall Variability over the South American Altiplano. Chile. American Meteorological Society, 14, 11 pp.

Garreaud, R. Vuille, M. Clement, A. 2003, The climate of the Altiplano: Observed current conditions and mechanisms of past changes. Elsevier Science B.V. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 194 (2003) 5-22.

Garreaud, R. y Aceituno, P. 2007. Chapter 3 The Physical Geography of South America: Atmospheric Circulation and Climatic Variability. 15 pp.

Garreaud, R. Vuille, M. Compagnucci, R. y Marengo, J.2009 Present-day South American climate - Journal of Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology281, 16 pp.

Garreaud, R. and M. Falvey, 2009: The coastal winds off western subtropical South America in future climate scenarios. Int. J. of Climatology, 29, 543-554. doi: 10.1002/joc.1716

Garreaud, R. 2010 The Climate of Northern Chile: Mean State, Variability and Trends In “Astronomical Site Testing Data Conference In Chile (2010)”. Rev Mex AA. 7 pp.

Garreaud, R.2011. Cambio Climático: Bases Físicas e Impactos en Chile. Revista Tierra Adentro – INIA, 93, 14 pp.

IPCC. 1997. Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC. Houghton, J. y Gylvan, L. eds. 60 pp.

IPCC. 2001a. Tercer Informe de Evaluación. Cambio Climático 2001. La base científica. Resumen. 94 pp.

IPCC. 2001b. Tercer Informe de Evaluación. Cambio Climático 2001. Mitigación. 95 pp.

IPCC. 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal:

Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp .

IPCC. 2008. Evaluación de la vulnerabilidad e impactos del cambio climático y del potencial de adaptación en América Latina. Lima-Perú. Ed. Pull Creativo S.R.L. 68 pp.

Kaser G. 1999. A review of the modern fluctuations of tropical glaciers. Global and Planetary Change 22: 93–103.

Lenters, J. & Cook, K. 1997 On the origin of the Bolivian high and related circulation features of the South American Climate. Journal of the Atmospheric Sciences. Vol 54.

Lintner, B. R., and J. D. Neelin. 2006. A prototype for convective margin shifts. Geophysical Research Letters 34:L05812. http://www.agu.org/pubs/crossref/ 2007/2006GL027305.shtml

Magaña, V. Graizbord, B. Buenfil, J. y Gómez, L. s/a. Escenarios de cambio climático y tendencias en la zona del Golfo de México. 106 pp.

Marengo J, Silva, P. 2002. Report of the Group of Land Surface Processes. IAI Project PROSUR.

Marengo J., Cavalcanti IFA., Satyamurty P., Trosnikov I., Nobre CA., Bonatti JP.,Camargo H., Sampaio G., Sanchez MB., Manzi AO., Castro CAC. , D'almeida C., Pezzi LP., Candido L, (2003), "Assessment of regional seasonal rainfall predictability using the CPTEC/COLA atmospheric GCM", Clim. Dym., 21:459

Marengo J, Soares, W. Saulo, C. Nicolini, M. 2004. Climatology of the low level Jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalysis: Characteristics and temporal variability. Journal of Climate.Vol, 17. Número 12.

Martínez, R. Ruiz, D. Andrade, M. Blacutt, L. Pabón, D. Jaimes, E. León, G. Villacís, M. Quintana, J. Montealegre, E. y Euscátegui, C. s/a. Synthesis of the Climate of the Tropical Andes. 13 pp.

Marwan, M. Trauth, H. Vuille, M. Kurths, J. 2003. Comparing modern and Pleistocene ENSO-like influences in NW Argentina using nonlinear time series analysis methods. Journal of Climate Dynamics, 21, 10 pp.

Minvielle m., and Garreaud R. 2011. Projecting Rainfall Changes over the South American Altiplano. Journal of the American Meteorological Society. DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00051.1.

Nordgren, M.2011. Cambio Climático, percepciones, efectos y respuestas en cuatro regiones de Bolivia. La Paz-Bolivia. CIPCA Cuadernos de Investigación Nro. 73, 158 pp.

PNCC-MMAyA. 2006. Tendencias de Balance Hídrico como indicador del Cambio Climático.

PNCC. 2009. El CC en Bolivia. Análisis, Síntesis de Impactos y Adaptación.

Saavedra, C y García, M. 2011. Impacto del cambio climático y su posible efecto sobre el cultivo de quinua en el altiplano boliviano. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés - Proyecto Quinagua. 8 pp.

Sanabria, J. Marengo J. y Valverde, M.2009. Escenarios de cambio climático con modelos regionales sobre el Altiplano peruano (Departamento de Puno). Perú. Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA, 1, 16 pp.

Seiler C., 2009. Implementation and validation of a Regional Climate Model for Bolivia. Fundación Amigos de la Naturaleza, Santa Cruz, Bolivia.

Seiler C., Hutjes R., Kavat P., 2013, Climate variability and trends in Bolivia. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 52, 130-146.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2005. Escenarios Climáticos Futuros y Disponibilidad del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Santa. Perú. Consejo Nacional del Ambiente – CONAM. 32 pp.

Seth, A., M. Rojas, and S. A. Rauscher. 2010. CMIP3 projected changes in the annual cycle of the South American Monsoon. Climatic Change 98:331– 57.

Seth, A, Thibeault, J, Garcia, M and Valdivia, C. (2010). Making Sense of Twenty- First-Century Climate Change in the Altiplano: Observed Trends and CMIP3 Projections, Annals of the Association of American Geographers: DOI: 10.1080/00045608.2010.500193.

Solman, S., M. N. Nuñez and P. Rowntree. 2003. On the evaluation of the representation of mid – latitude transients in the Southern Hemisphere by HADAM2B GCM and the impact of horizontal resolution. Atmósfera. Vol. 16, N° 4, 245-272.

Soria, F. 2010. Respuestas al cambio climático del escurrimiento y del flujo en ríos en cuencas altas. Tesis doctoral. Universidad de Tohoku, Japón.

Thibeault, J., A. Seth, and M. Garcia.2010. Changing climate in the Bolivian Altiplano: CMIP3 projections for extremes of temperature and precipitation. Journal of Geophysical Research—Atmospheres 115: D08103. http:// www.agu.org/pubs/crossref/2010/2009JD012718.shtml

Torres, J. 2011. Cambio climático, conocimientos ancestrales y contemporáneos en la región andina. Alcances y limites parte del taller internacional clima andino. Bolivia. 88 pp.

Valdivia C., Thibeault J., Gilles J. L., Garcia M., Seth, A., 2013. Climate trends and projections for the Andean Altiplano and strategies for adaptation. Adv. Geosci., 33, 69–77, 2013.

Vecchi,G.A., and B. J. Soden. 2007. Global warming and the weakening of the tropical circulation. Journal of Climate 20:4316–40.

Vera, C., Higgins, W., Amador, J., Ambrizzi, T., Garreaud, R., Gochis, D., Gutzler, D., Lettenmaier, D., Marengo, J., Mechoso, C.R., Nogues-Paegle, J., Silva Diaz, P.L., Zhang, C., 2006. Towards a unified view of the American Monsoon System.Journal of Climate 19, 4977–5000.

Vergara, W. Deeb, A. Valencia, A. Bradley, R. Francou, B. Zarzar, A. Grünwaldt, A. y Haeussling S. 2007. Economic Impacts of Rapid Glacier Retreat in the Andes. EOS, 88, No. 25, 3 pp.

Vizy, E & Cook, K. 2006. Relationship between Amazon and High Andes rainfall.Journal of geophysical research.

Vuille, M., 1999: Atmospheric circulation over the Bolivian Altiplano during dry and wet periods and extreme phases of the Southern Oscillation. Int. J. Climatol., 19, 1579-1600.

Vuille, M.Bradley, R. 2000. Mean annual temperature trends and their vertical structure in the tropical Andes. Journal of Geophysical Research Letters 27, Nro 23, 4 pp.

Vuille, M. Bradley, R. Werner, M. y Keimig, F. 2003. 20th Century climate change in the tropical Andes: observations and model results. Netherlands. Journal of Climatic Change, Kluwer Academis Publishers, 59, 25 pp.

Vuille, M., Francou, B. Wagnon, P. Juen, I. Kaser, G. Mark, B. y Bradley, R. 2008. Climate change and tropical Andean glaciers – Past, present and future. Journal of Earth Science, 89, 18 pp.

Vuille M. y Garreaud R. 2009. Chapter 22: Ocean-Atmosphere interactions on interannual to decadal timescales. 60 pp.

Wagnon, P. Ribstein, P. Kaser, G. y Berton, P. 1999. Energy Balance and Runoff Seasonality of a Bolivian Glacier.Global and Planetary Change Vol 22.

Zhou, J., Lau, K.M., 1998. Does a monsoon climate exist over South America? Journal of Climatology 11, 1020-1040.

Capítulo 2

Evaluación de la información climática de las estaciones meteorológicas cercanas a las zonas de influencia del PRRD

2.1. INTRODUCCIÓN

Se define como clima al conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan a una región. Este estado medio del tiempo se deduce a partir de los datos correspondientes a los estados del tiempo en ese lugar durante un prolongado periodo, generalmente no menor a 20 años. El clima tiene fundamental importancia sobre el planeta, especialmente sobre la vida que existe en él ya que modela el relieve e incide en la distribución de las aguas continentales, determina el crecimiento y/o existencia de vegetales y animales (biomasa) y condiciona las actividades económicas y la migración humana. Los factores meteorológicos que son los principales indicadores del clima en una zona son la temperatura y la precipitación, pues en el primero se refleja principalmente el balance energético a nivel superficial y el segundo determina y es determinado por la circulación general de la atmósfera y por la humedad atmosférica, por lo tanto, son ellos también los indicadores principales del cambio climático. Es por esta razón que las descripciones climáticas se basan principalmente en la descripción de estos parámetros.

En el presente documento se intenta hacer una descripción de las condiciones climáticas medias de las estaciones incluidas en el estudio de Downscaling para áreas de influencia del Programa de Reducción del Riesgo de Desastres (PRRD) de la Cooperación Suiza, implementado por la Fundación HELVETAS Swiss Intercooperation en las mancomunidades: Norte Paceño Tropical, Aymaras Sin Fronteras, Norte Potosí, Gran Centro Potosí, Región Andina, Caine, Cintis, Héroes de la Independencia y Chaco Chuquisaqueño.

2.2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de análisis incluye los municipios presentados en la Tabla 2.1, de los cuales se seleccionó las estaciones con mejor registro.

El área analizada se encuentra distribuida en el área centro occidental del territorio boliviano e incluye básicamente a los municipios apoyados por el PRRD.

2.3. ESTACIONES METEOROLÓGICAS INCLUIDAS EN EL ESTUDIO

La Tabla 2.1 presenta las características geográficas de las estaciones meteorológicas incluidas en el estudio. Se intentó trabajar con datos de estaciones ubicadas en el mismo municipio y con un registro rescatable de años de Temperaturas Mínimas (Tmín) y Máximas (Tmáx) y Precipitaciones (PP). Sin embargo, en algunos casos se incluyeron estaciones con registros de series cortas debido a los vacíos de información climática en la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología- SENAMHI ya que se requería contar al menos con datos referenciales del comportamiento climático medio de las zonas. En otros casos, se acudió a estaciones cercanas con mejor registro climático para representar la realidad de la zona o municipio estudiado. La Tabla 2.1 presenta la descripción geográfica de las estaciones incluidas en el estudio con el registro disponible. También se presentan casos con información de estaciones cercanas, utilizadas para municipios sin cobertura de estaciones meteorológicas.

Tabla 2.1.
Localización de las estaciones de trabajo, longitud y calidad del registro disponible en periodo de observación

Estación	Latitud Sud	Longitud Oeste	Lambert WGS84		Altitud (mts)	Periodo de Precipitación	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Observaciones
			Y	X					
Acasio	18° 10′ 00″	66° 50′ 00″	-18,167	-66,833	3020	1979 al 1994	Solo 93 y 94	Solo 93 y 94	En PP, faltan 81 y 88
Anzaldo	17° 47′ 10″	65° 55′ 58″	-17,786	-65,933	3032	1970 al 2009	97 al 2010	97 al 2009	En PP, faltan 84 al 88
Apolo	-	-	-	-	-	-	-	-	Sin observación
Betanzos	19° 33′ 00″	65° 27′ 00″	-19,550	-65,450	3320	1978 al 1992	Sin registro	Sin registro	En PP faltan 85 87 y 93
Bolívar	17° 58′ 00″	66° 32′ 00″	-17,967	-66,533	2813	1969 al 1994	Sin registro	Sin registro	
Caiza D	20° 00′ 00″	65° 39′ 00″	-20,000	-65,650	3880	1977 al 1999	Solo 2002	Solo 2002	
Calacoto	17° 16′ 37″	68° 38′ 02″	-17,277	-68,634	3826	1960 al 2010	72 al 2010	72 al 2010	
Camargo	20° 38′ 00″	65° 12′ 00″	-20,633	-65,200	2440	1975 al 1984	Sin registro	Sin registro	En PP, solo es homogéneo de 75-1984
Capinota	17° 42′ 36″	65° 15′ 55″	-17,710	-65,265	2406	1960 al 2009	60 al 2009	60 al 2009	Faltan 98 99, 01 02. Presenta problemas de homogeneidad
Chaquí	19° 35′ 00″	65° 33′ 00″	-19,583	-65,550	3550	1980 al 2007	82 al 2010	82 al 2010	
Charaña	17° 35′ 0″	69° 27′ 0″	-17,583	-69,450	4057	1979 al 2008	79-2008	79-2008	
Corque	18° 20′ 38″	67° 40′ 42″	-18,344	-67,678	3758	1989 al 1998	solo 95 al 97	solo 95 al 97	En PP, faltan 91 y 96
Culpina	20° 49′ 06″	64° 56′ 52″	-20,818	-64,948	2970	1974 al 2010	75 al 2010	74 al 2010	Falta 85, 96 y 97
Curahuara de Carangas	17° 50′ 33″	68° 24′ 59″	-17,843	-68,416	3906	1976 al 1981	76 al 81	77 al 81	Registro corto
El Puente	14° 43′ 00″	68° 31′ 00″	-14,717	-68,517	1383	1976 al 1987	75 al 87	75 al 87	Con irregularidades
Guanay	15° 30′ 11″	67° 53′ 90″	-15,503	-67,908	420	1989 al 1993	07 al 10	07 al 10	
Huacareta	20° 21′ 40″	64° 00′ 80″	-20,361	-64,022	1140	1975 al 2000	Sin registro	Sin registro	
Ixiamas	13° 46′ 00″	68° 08′ 00″	-13,767	-68,133	254	1977 al 1980	Sin registro	Sin registro	
Las Carreras	21° 11′ 00″	65° 12′ 00″	-21,183	-65,200	2310	1979 al 1999	Sin registro	Sin registro	
Llallagua	18° 28′ 00″	66° 33′ 00″	-18,467	-66,550	3792	2003 al 2009	03 al 09	03 al 08	Referencia para estaciones de zona andina de Cbba.
Macharetí	20° 48′ 49″	63° 21′ 36″	-20,814	-63,360	660	1987 al 1994	91 al 94	91 al 94	
Montea-gudo	19° 46′ 10″	63° 57′ 10″	-19,769	-63,953	1117	1973 al 2009	69 al 08	69 al 08	Deficiente del 86 al 97
Muyu-pampa	19° 52′ 00″	63° 46′ 00″	-19,867	-63,767	1090	1975 al 1993	83 al 90	83 al 90	Temperaturas con inconsistencias

Continúa

Estación	Latitud Sud	Longitud Oeste	Lambert WGS84		Altitud (mts)	Precipitación	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Observaciones
			Y	X					
Pocoata	18º 42' 00"	66º 10' 00"	-18,700	-66,167	3360	2004 al 2006	04 al 06	04 al 06	Registro muy corto
Poroma	18º 32' 03"	65º 25' 33"	-18,534	-65,426	2300	1974 al 2010	Sin registro	Sin registro	
Puna	19º 48' 00"	65º 30' 00"	-19,800	-65,500	3420	1961 al 2005	76 al 2005	76 al 2005	
Rurrenabaque (para San Buenaventura)	14º 25' 44"	67º 30' 10"	-14,429	-67,503	204	1960 al 2010	60 al 2010	60 al 2010	
Sacabamba	17º 48' 00"	65º 53' 00"	-17,800	-65,883	3174	1976 a 2010	Sin registro	Sin registro	
Sacaca	18º 01' 00"	66º 20' 00"	-18,017	-66,333	3700	2006 al 2010	2006 al 10	2006 al 10	
San Lorenzo	21º 25' 00"	64º 45' 00"	-21,417	-64,750	1900	1976 al 1992	Sin registro	Sin registro	
San Lucas	20º 05' 00"	65º 08' 02"	-20,083	-65,134	3055	1995 al 2010	95 al 2010	95 al 2010	Registro corto
San Pedro de Buenavista	18º 16' 00"	65º 59' 00"	-18,267	-65,983	2743	1971 al 1983	72 al 75	72 al 75	Registro corto
Sapecho	15º 33' 56"	67º 19' 30"	-15,566	-67,325	410	1972 al 2010	74 al 2010	74 al 2010	
Tacacoma	15º 35' 00"	68º 43' 00"	-15,583	-68,717	3330	1976 al 1987	Sin registro	Sin registro	
Tarata	17º 36' 31"	66º 10' 22"	-17,609	-66,173	2775	1964 al 2009	64 al 2009	64 al 2009	
Tarija (para San Lorenzo)	21º 54' 67"	64º 71' 08"	-21,919	-65,186	1849	1985 al 2010	85 al 2010	85 al 2010	
Tinquipaya	19º 13' 00"	65º 49' 00"	-19,217	-65,817	3200	1977 al 2009	77 al 2010	77 al 2010	Consistente desde 1995
Tipuani	15º 30' 00"	68º 00' 00"	-15,500	-68,000	560	1972 al 1978	76 al 78	76 al 78	Registro corto
Tomave	20º 60' 00"	66º 34' 00"	-21,000	-66,567	3920				Pocos datos e irregular
Toro Toro	18º 11' 00"	65º 43' 00"	-18,183	-65,717	2700	1992 al 2000	92 al 2000	82 al 2000	
Villa Abecia	20º 58' 00"	65º 13' 00"	-20,967	-65,217	2280	1979 al 2002	Sin registro	Sin registro	En PP falta del 1985 al 1988
Yocalla	19º 23' 00"	65º 44' 00"	-19,383	-65,733	3450	1976 al 2010	76 l 2010	76 al 2010	

2.4. CONTROL DE CALIDAD DE LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA

Con el fin de presentar el producto de la caracterización climática y la evaluación de tendencias históricas climáticas, fue necesario realizar un análisis de consistencia sobre la base de datos mostrada, siguiendo las pautas establecidas en la guía de control de calidad de datos climatológicos de superficie publicada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en el Programa Mundial de Datos Climáticos (1984) y teniendo en cuenta experiencias previas.

El análisis de consistencia para la temperatura se dividió en tres etapas: lectura de datos y control de formatos, eliminación de errores "indiscutibles" (por ej. casos con temperatura máxima inferior a la mínima, secuencias de temperaturas de 0º C irreales y "outliers") y finalmente, controles sobre diferencias de temperaturas entre dos días consecutivos.

La precipitación se evaluó analizando extremos, datos imposibles y datos repetidos. Adicionalmente, se evaluó su homogeneidad aplicando el software Rainbow (Raes *et al*., 2006) de tal manera de demostrar su independencia. Este software ofrece un test de homogeneidad que se basa en las desviaciones acumuladas de la media. El test, además, permite evaluar su Función de Densidad de Probabilidad.

Como ejemplo del análisis de consistencia se presentarán los resultados de la estación de Capinota. En esta estación se contaba inicialmente con 50 años de información diaria de precipitación, temperaturas máximas y mínimas.

En primera instancia se realizó la observación visual de la estructura de los datos, de Tmáx y Tmín en la que son fácilmente observables los saltos que ocurrieron en ambas variables como se aprecia en la Figura 2.1.

Para el caso de la precipitación, se realizó similar análisis con los valores de la precipitación anual en mm, observándose un fuerte salto desde 1985 y que los registros previos muestran un promedio menor que los posteriores. Para establecer el periodo a analizarse, los datos anuales se introdujeron al software RAINBOW, que realizó el análisis de homogeneidad.

El primer periodo hasta 1984 muestra una falta de homogeneidad con el resto del registro, lo que hace deducir que por algún factor externo este observatorio tuvo un corte precisamente a partir de 1984 (Figura 2.3.).

Una vez cortado el registro hasta 1984, se pudo identificar el periodo homogéneo que se extiende entre 1984-2009 y que también muestra una clara homogeneidad estadística (Figura 2.4.).

El mismo análisis se realizó a todas las estaciones para filtrar los datos no consistentes y/o imposibles, llegando a los registros que se presentan en la Tabla 2.1.

Una vez concluido, se procedió a la evaluación agroclimática de los registros disponibles en la zona de estudio y el análisis de tendencias de variación térmica y pluviométrica en las estaciones que contaban con registros suficientes. Es necesario mencionar que en el caso de temperaturas, de las 46 estaciones incluidas en el estudio, solamente 9 presentaban registros lo suficientemente consistentes y de longitud adecuada para realizar un análisis de tendencias, lo que llama poderosamente la atención para estudios más generales del cambio climático. Afortunadamente, estas estaciones son representativas de las macrozonas ecológicas donde se realiza el trabajo y otorgaron una referencia de análisis para ellas.

Figura 2.1.
Observación visual de los registros de Tmáx y Tmín de Capinota.

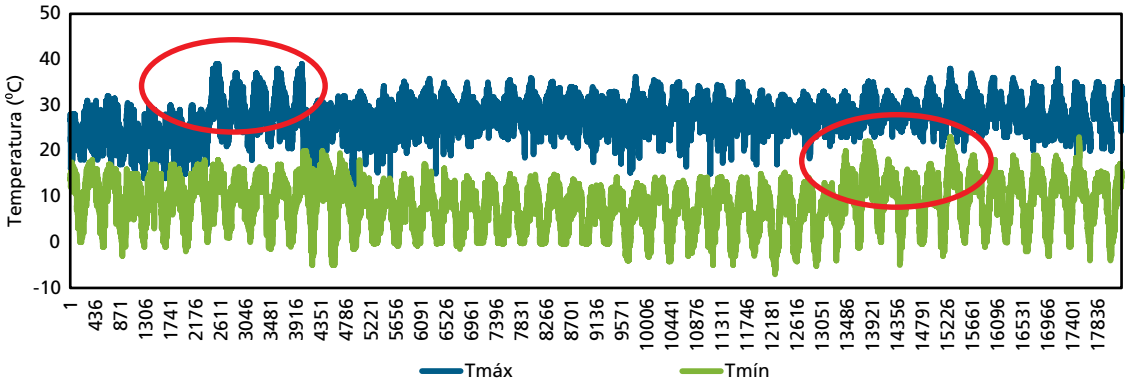


Figura 2.2.
Observación visual de los datos de PP anual de Capinota.

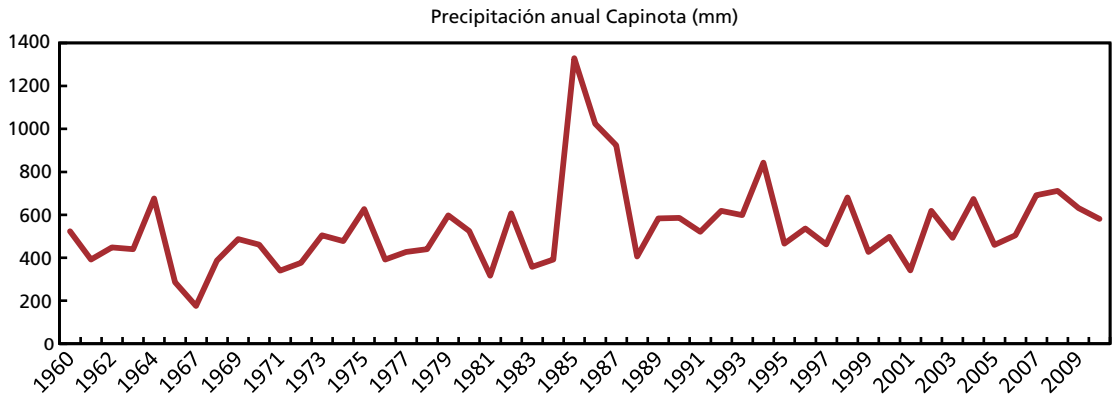


Figura 2.3.
Prueba de homogeneidad de PP anual de Capinota. Nótese el alto nivel de dispersión de los registros previos a 1984.

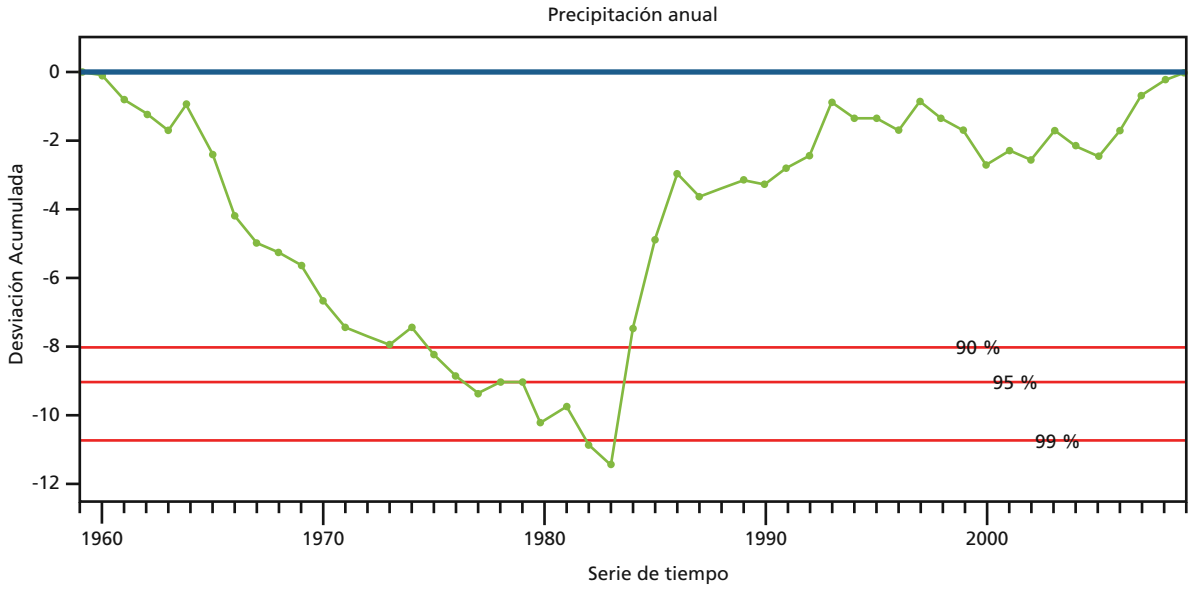
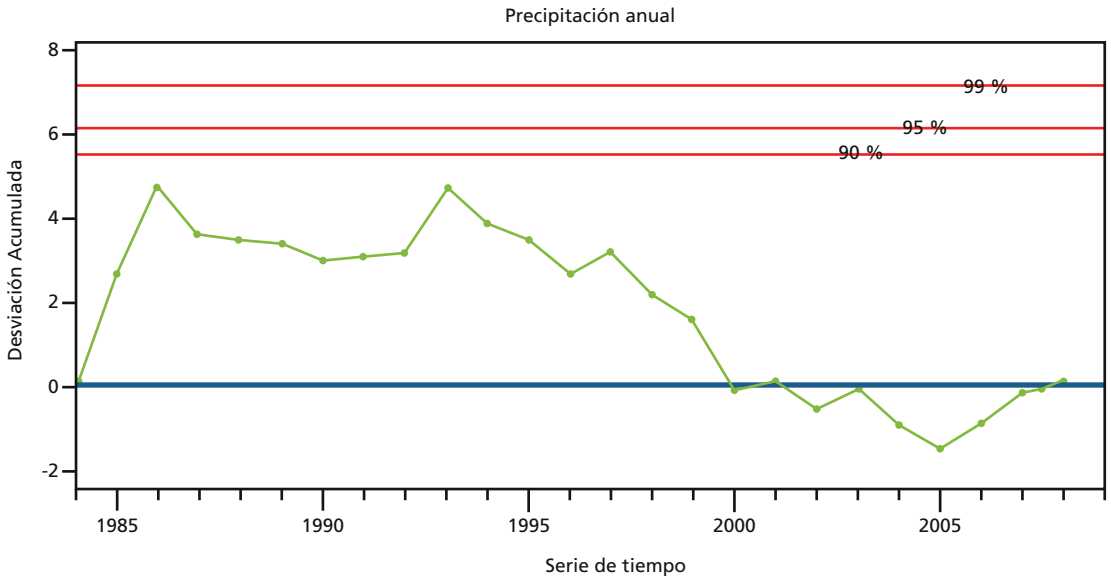


Figura 2.4.
Prueba de homogeneidad de la PP anual de Capinota. Nótese que los registros y su secuencia no entran al rango de rechazo estadístico.



2.5. RESULTADOS

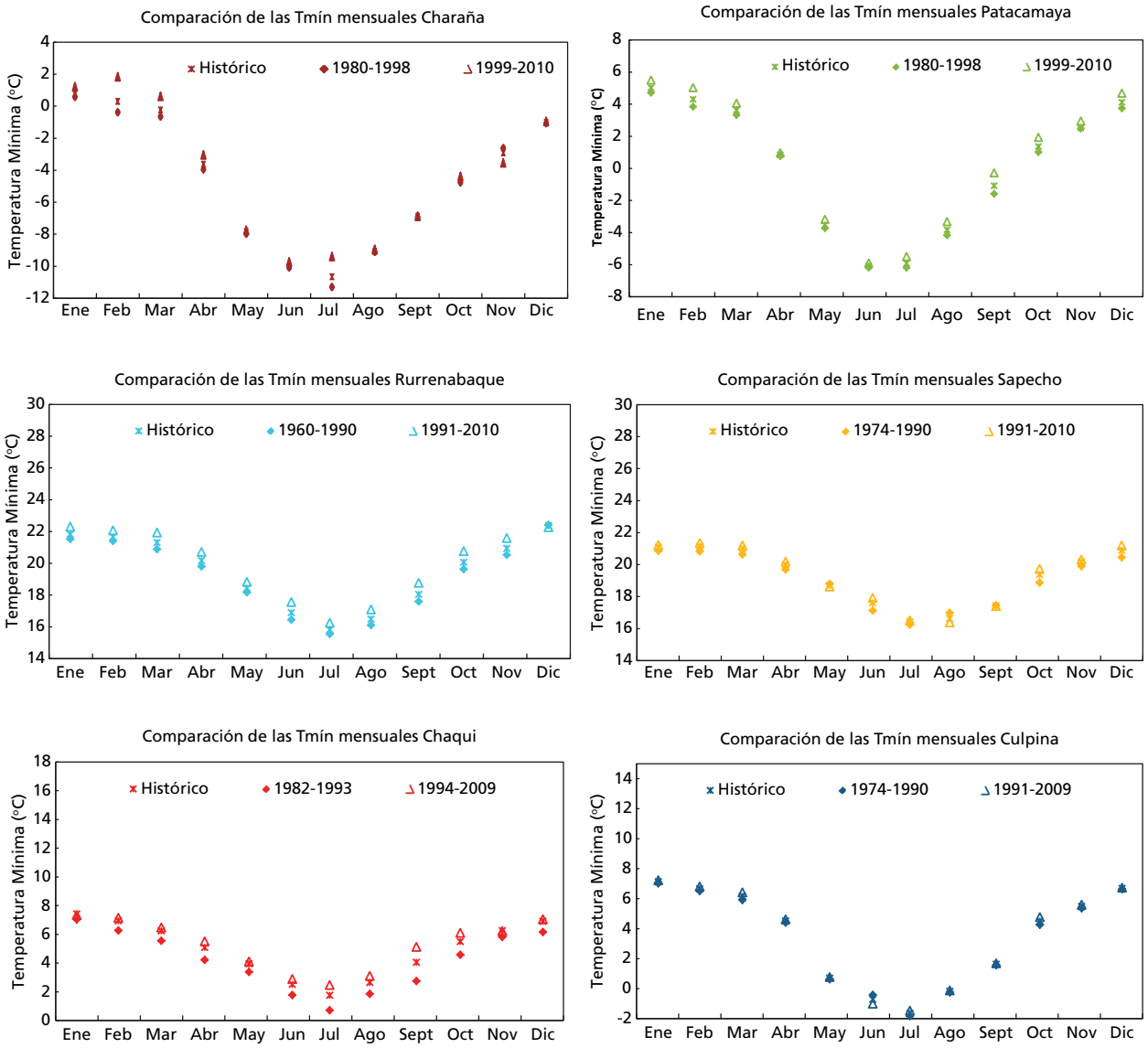
2.5.1. Temperatura Mínima (Tmín)

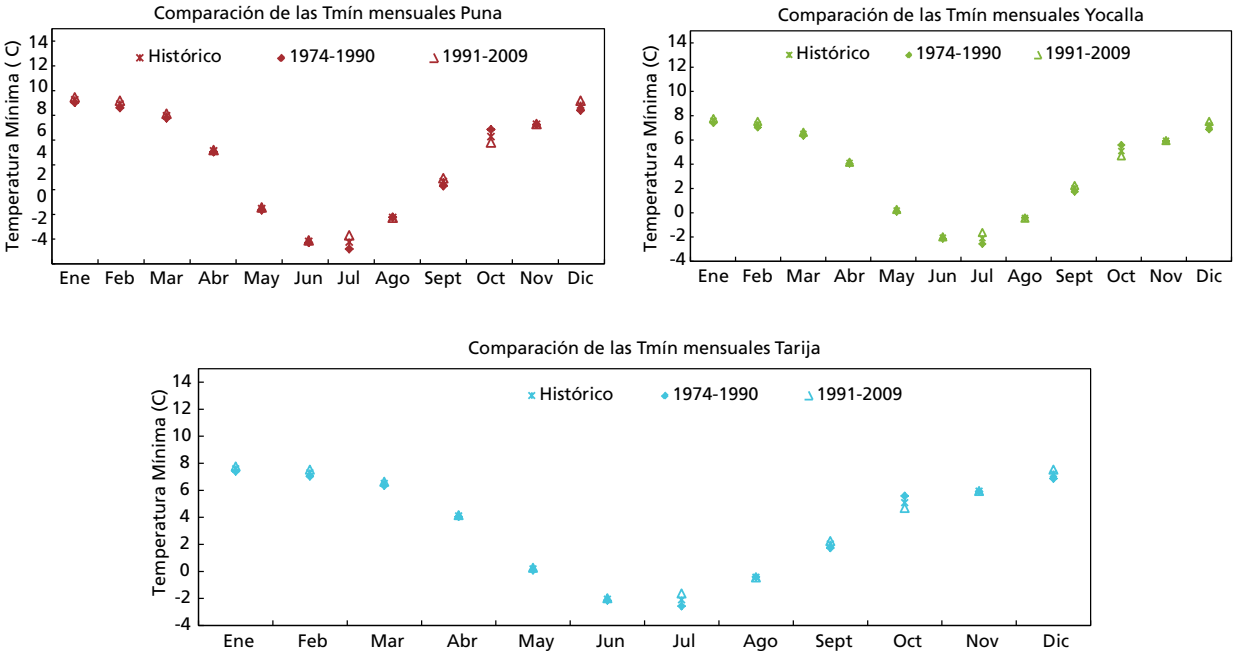
2.5.1.1. Variaciones promedio mensuales

La Tmín es una de las mayores limitantes para el desarrollo de cultivos anuales en muchas zonas del país. Esta limitación es mayor cuanto mayor es la altitud del punto considerado. Los reportes de cambio climático indican que uno de los mayores impactos de éste se expresa en la elevación de la Tmín, por lo que esto será evaluado para las estaciones que permiten el análisis.

La Figura 2.5 describe las diferencias en calentamiento de las estaciones estudiadas. Se aprecia que la estación que sufrió menos cambios en sus Tmín fue la zona de Sapecho en forma homogénea para todos los meses, mientras que Chaquí presenta incrementos cercanos a 1°C en todos los meses. Las restantes estaciones muestran un calentamiento menor de la Tmín.

Figura 2.5.
Promedio mensual de la Tmín en las estaciones consideradas. Se compara el promedio histórico con el promedio de los dos medios de los registros con el fin de identificar cambios si los existiera.





2.5.1.2. Tendencias históricas

La Figura 2.6, muestra la evolución histórica de las Tmín promedio por estaciones en los registros de las estaciones seleccionadas para el caso. Es interesante mencionar que las temperaturas mínimas de las zonas más altas o intermedias muestran mayores ascendencias.

Este proceso podría confirmar lo encontrado por diversos autores (Capítulo No. 1) que mencionan que la magnitud del calentamiento depende también de la altitud del punto considerado, pues efectivamente los puntos que se encuentran a menor altitud, también demuestran una leve, pero menor tasa de calentamiento.

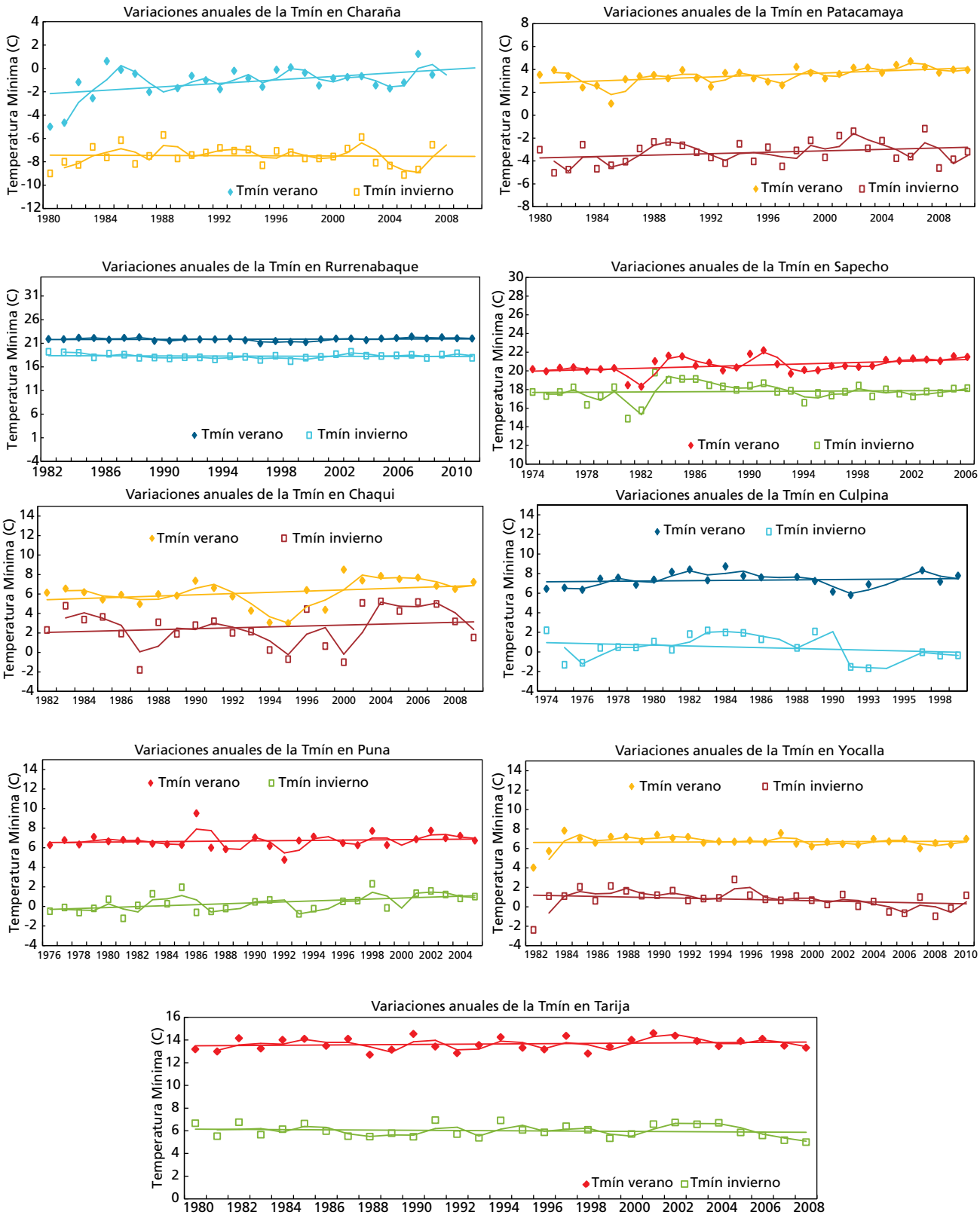
Es necesario poner atención en las características de altitud de las estaciones que aparentemente parecen tener coherencia con las tasas de calentamiento, pues las estaciones de zonas bajas no muestran elevaciones significativas de temperatura.

Con el fin de describir los cambios en las tendencias y en base a los resultados provistos por los registros disponibles y de estudios adyacentes de evaluación general de las tendencias de cambio de las variables climáticas en Bolivia (Seiler *et al*., (2013)[1] y Climate Wizard (climatewizard.org), se procedió a identificar las tendencias medias de cambio, tanto de la temperatura mínima como de la máxima para los municipios estudiados (Mapas 2.1. al 2.9.).

Los mapas presentados muestran que los calentamientos son diferentes entre épocas del año. La zona del Norte Paceño Tropical, se presenta como la que menor calentamiento presenta tanto en invierno como en verano, siendo que en invierno el calentamiento es prácticamente nulo. Como se mencionó antes, la gran masa vegetacional podría modular la magnitud del calentamiento en esta zona. En el caso de Norte Potosí también se percibe un calentamiento diferente entre épocas aunque con mayor similitud y con mayor intensidad que en Norte Paceño Tropical. Las zonas del Altiplano y Región Andina de Cochabamba muestran calentamiento más notorio en verano que en invierno, pero no tan marcado como en los valles interandinos de altitud intermedia como los situados en el Centro de Potosí y en los Cintis. En todas las zonas mencionadas anteriormente se percibe mayor calentamiento en verano que en invierno.

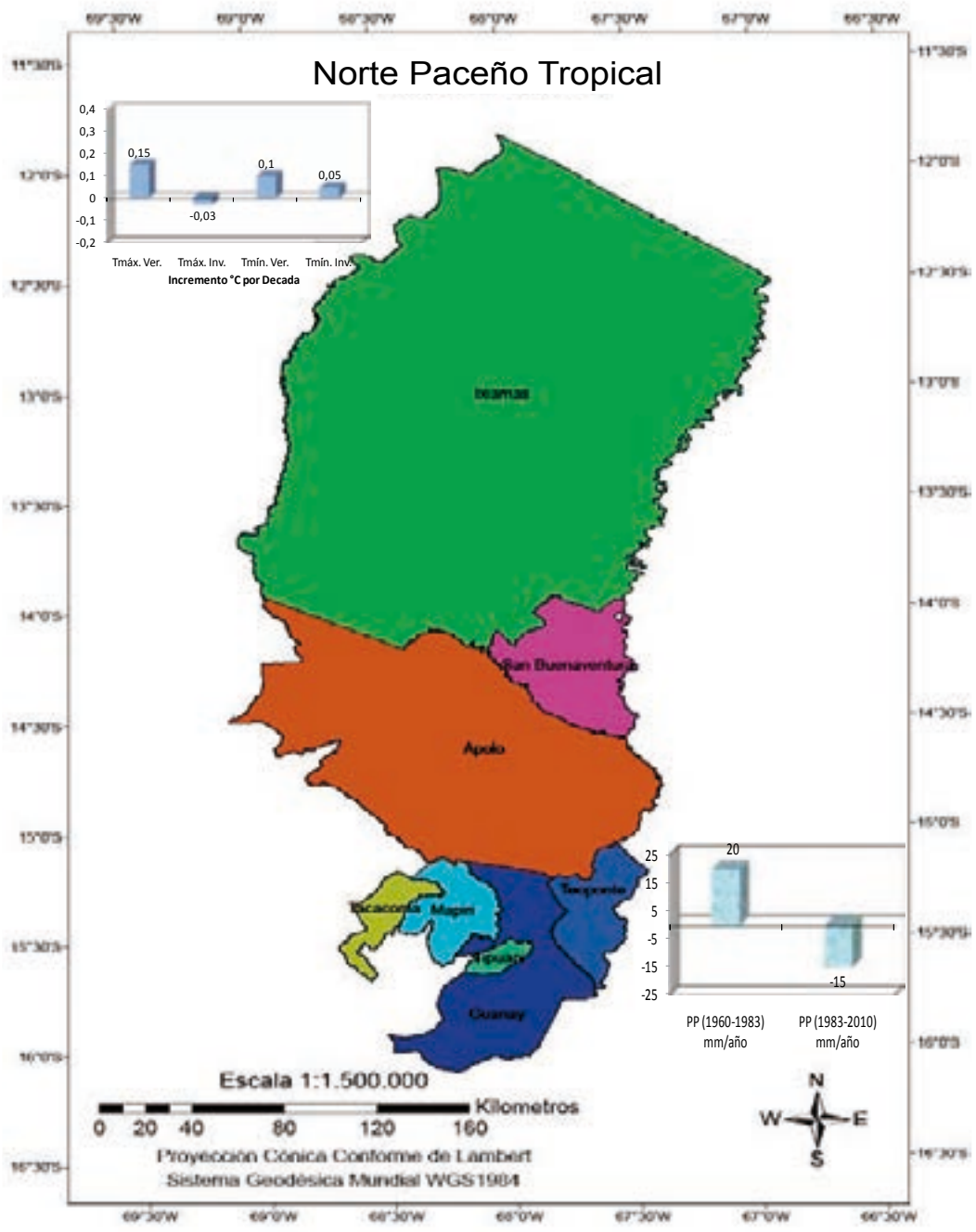
1 Seiler, Christian, Ronald W. A. Hutjes, Pavel Kabat, 2013: Climate Variability and Trends in Bolivia. J. Appl. Meteor. Climatol., 52, 130–146. doi: http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0105.1

Figura 2.6.
Evolución estacional de la Temperatura Mínima promedio mensual en las estaciones consideradas.

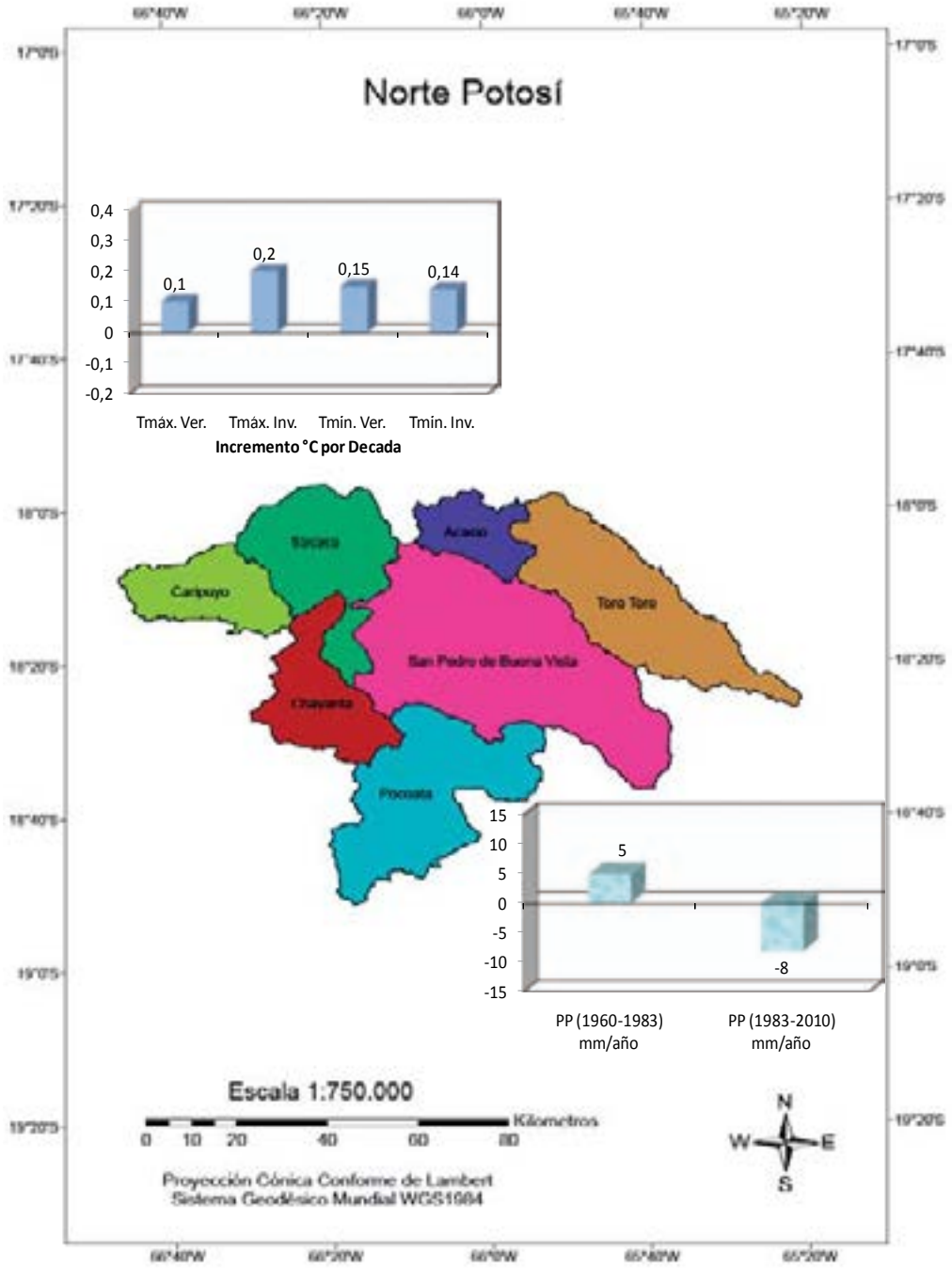


En el caso del Chaco Chuquisaqueño y de la cuenca del Caine, el calentamiento es levemente mayor en invierno que en verano, seguramente debido a características físiográficas locales que provocan cierta acumulación de humedad en invierno, lo que favorece a que las temperturas nocturnas no desciendan. Finalmente la zona de Héroes de la Independencia no presenta calentamiento significativo que, igual que el Norte Paceño tendría que ver con su mayor presencia de stock de carbono en bosques.

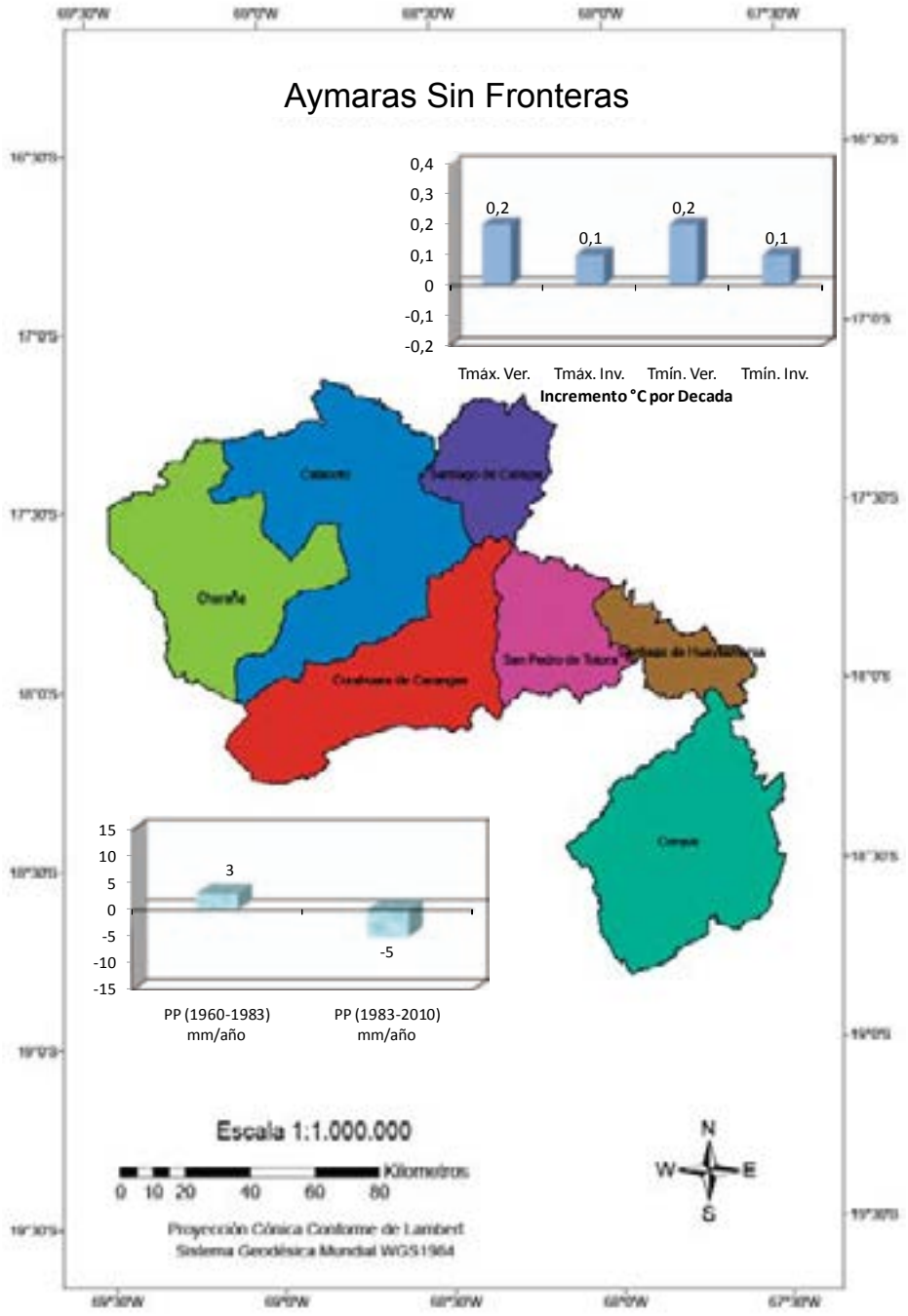
Mapa 2.1.
Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad del Norte Paceño Tropical.



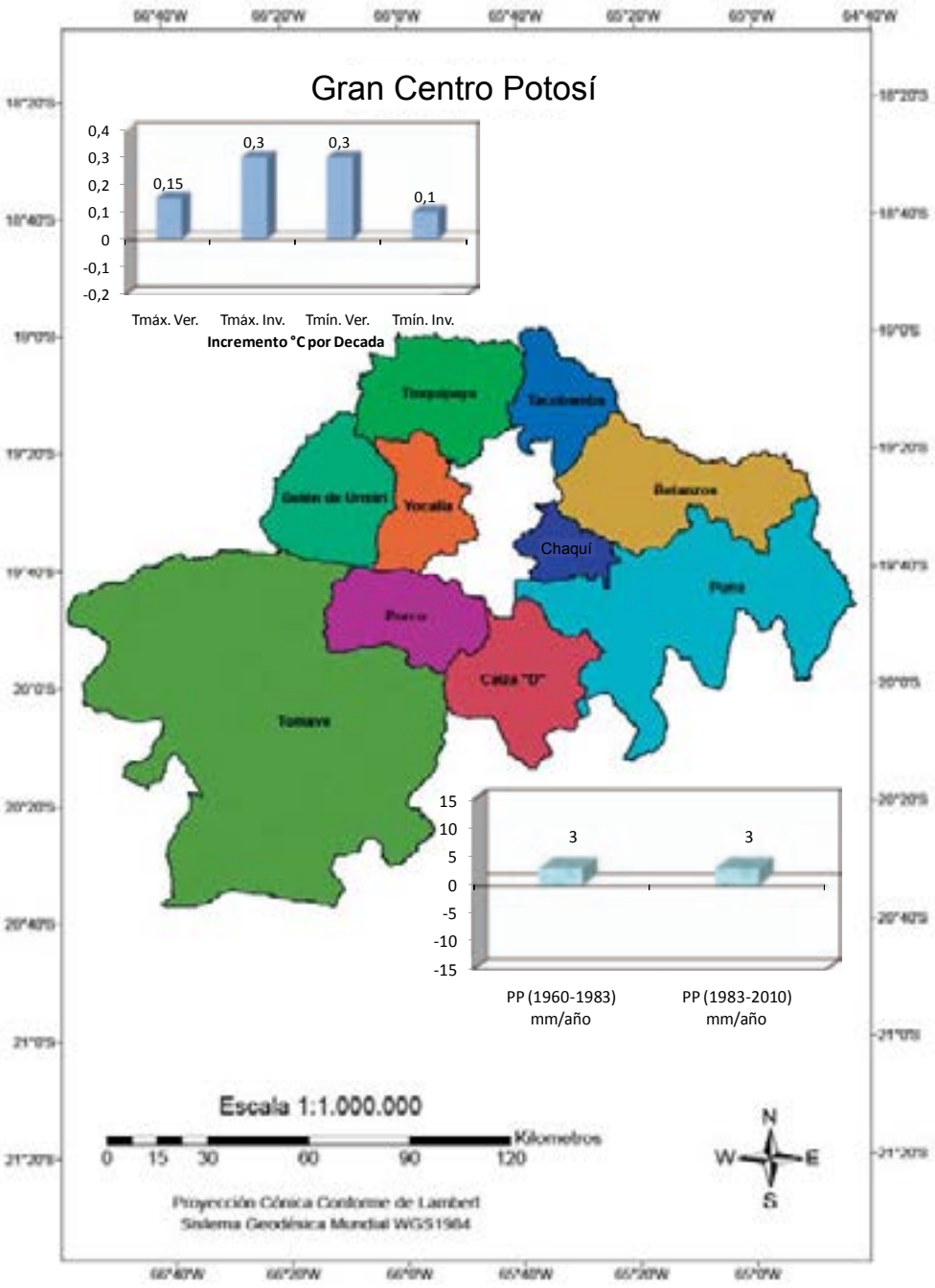
Mapa 2.2.
Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad Norte Potosí.



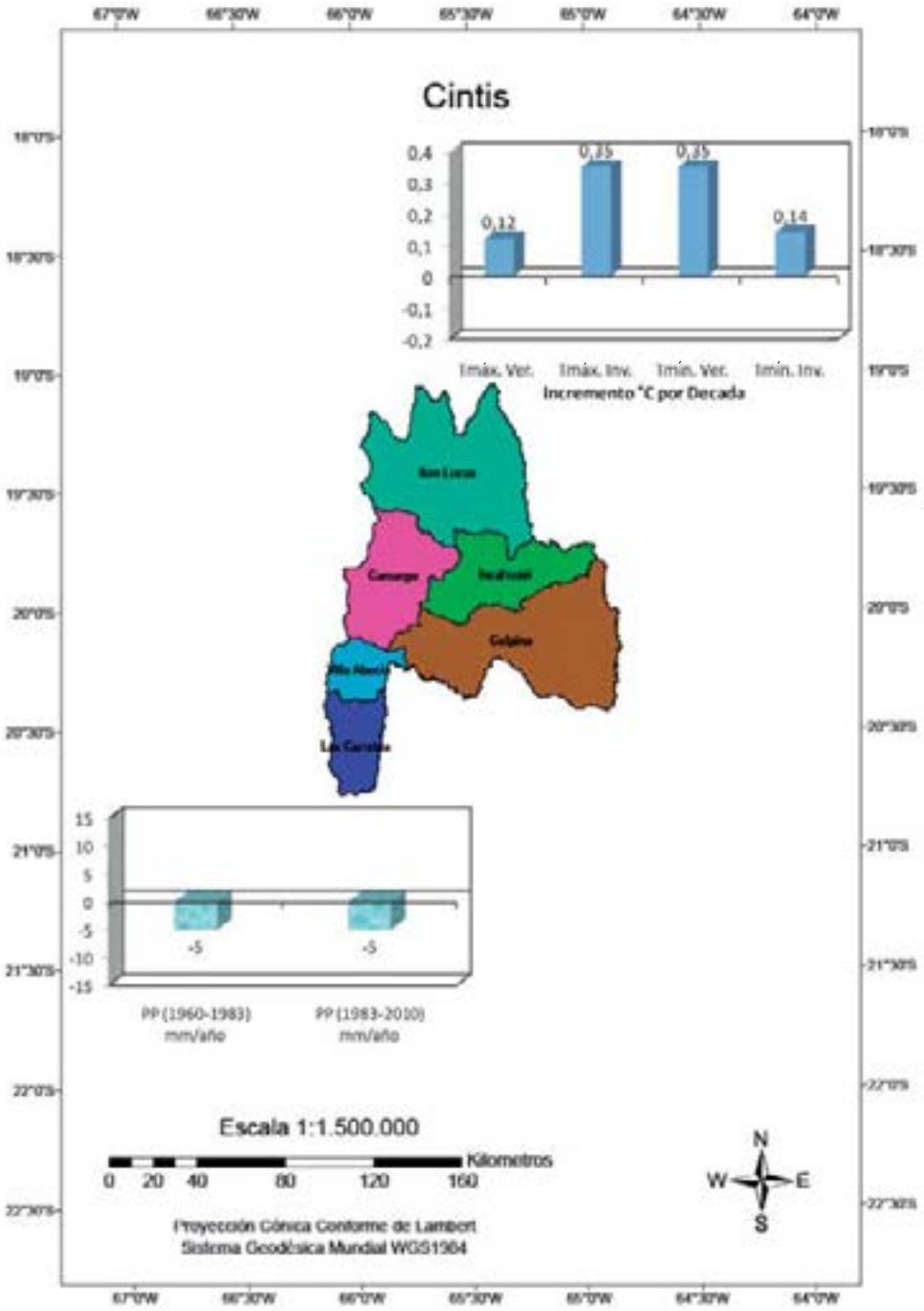
Mapa 2.3.
Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad Aymaras Sin Fronteras.



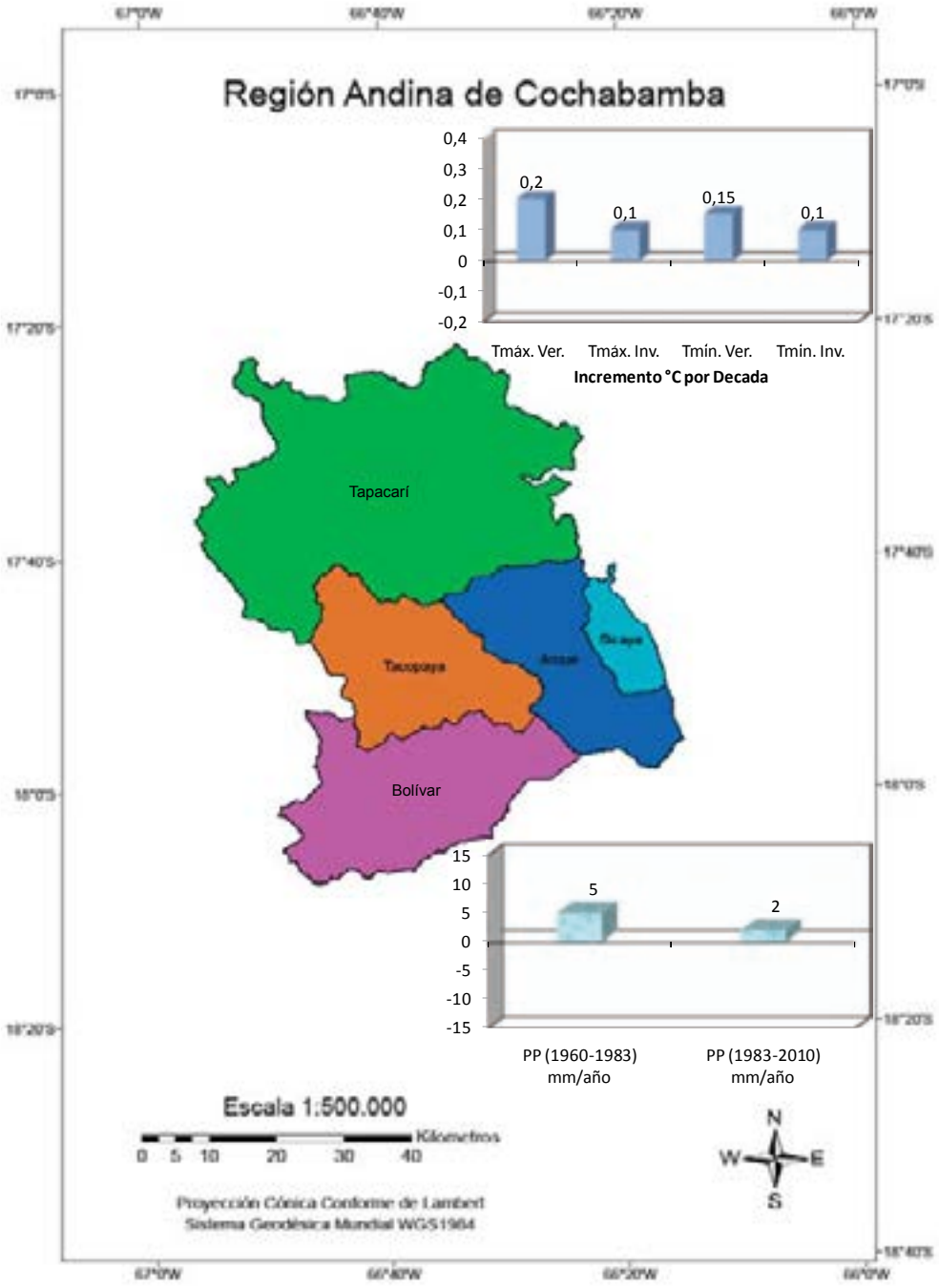
Mapa 2.4.
Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad Gran Centro Potosí.



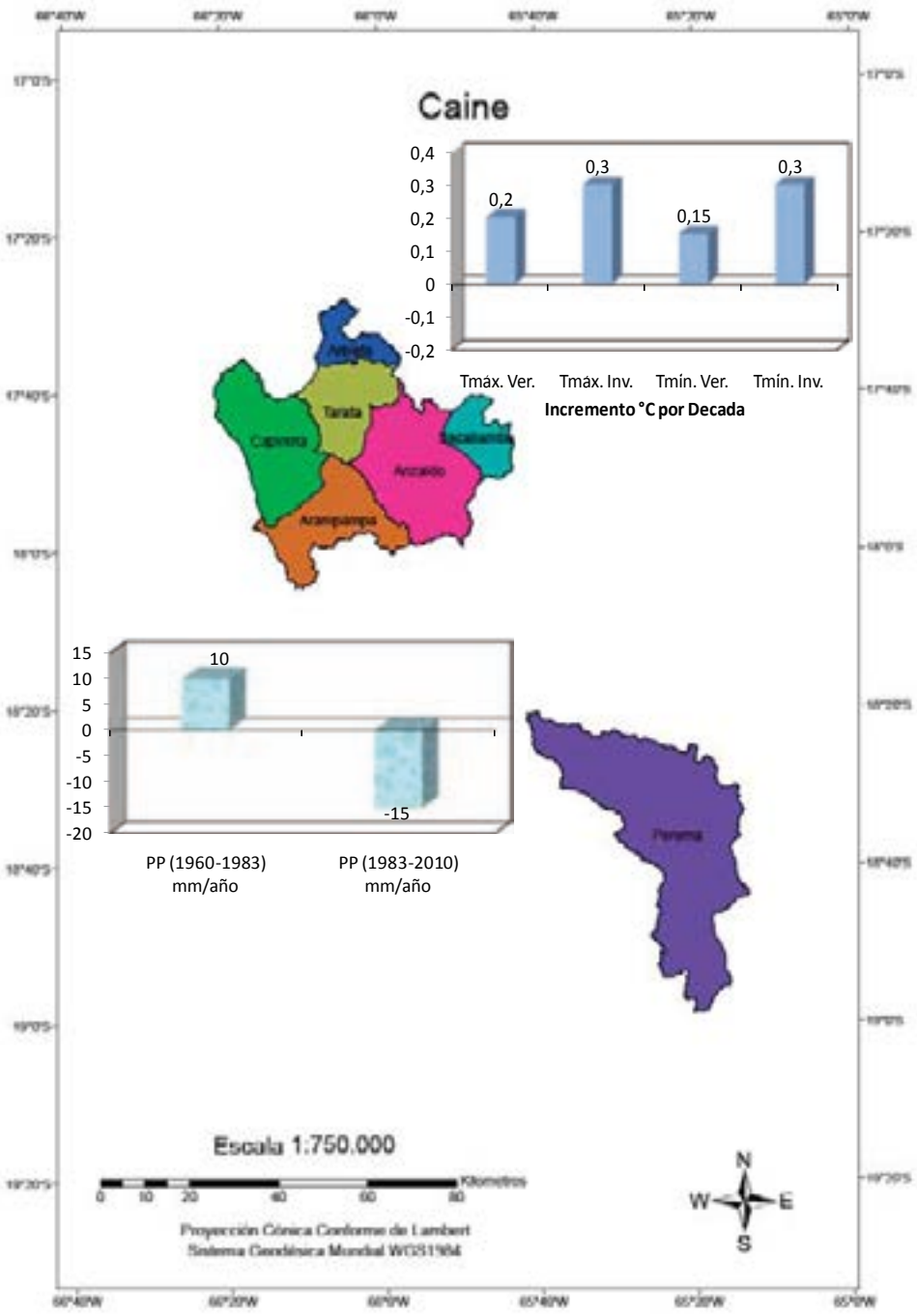
Mapa 2.5.
Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad Cintis.



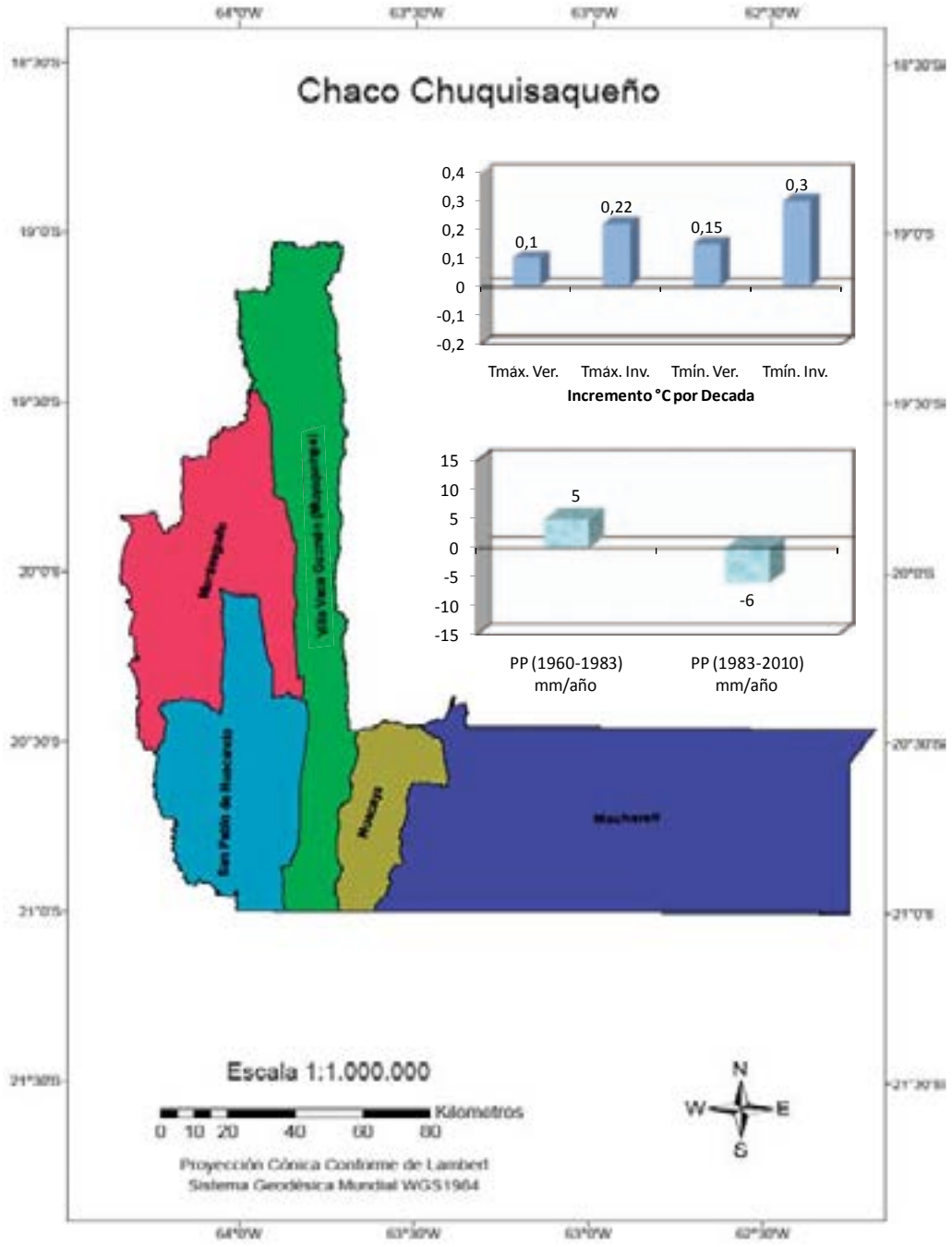
Mapa 2.6.
Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad Región Andina de Cochabamba.



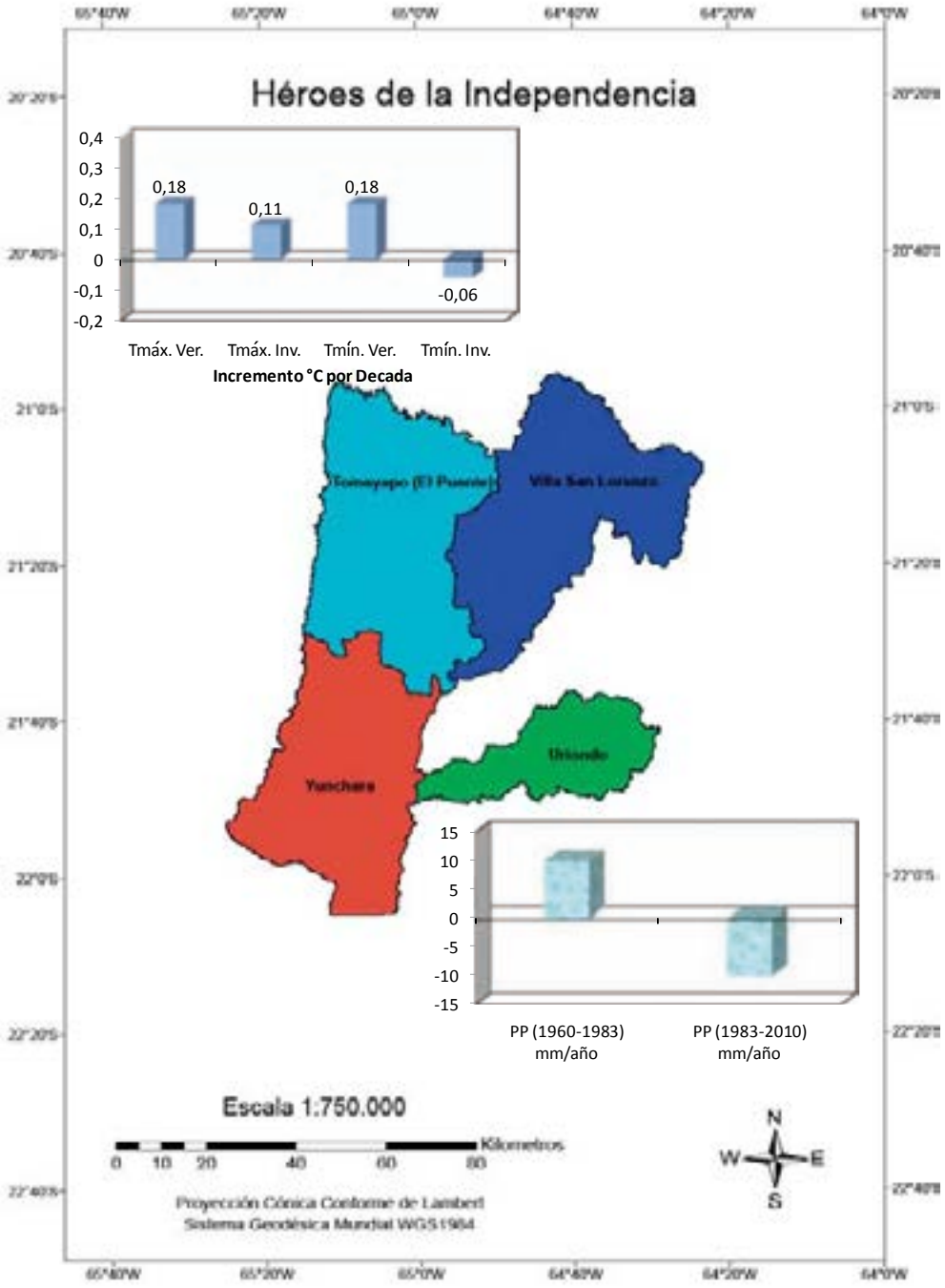
Mapa 2.7.
Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad del Caine.



Mapa 2.8.
Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad Chaco Chuquisaqueño.



Mapa 2.9.
Tendencias de cambio de la temperatura en °C por cada 10 años desde 1960 y de la precipitación en mm/año para la Mancomunidad Héroes de la Independencia.

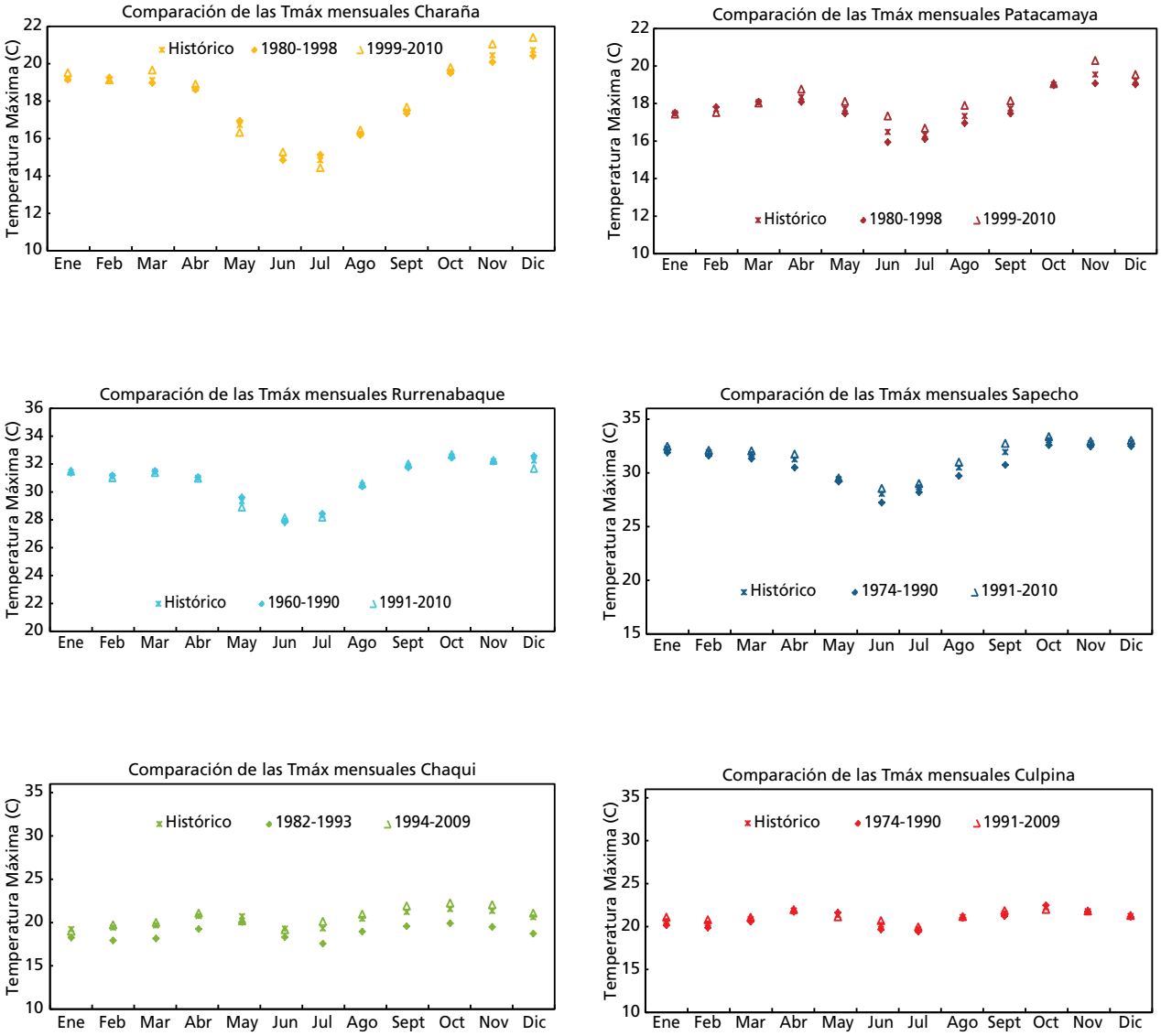


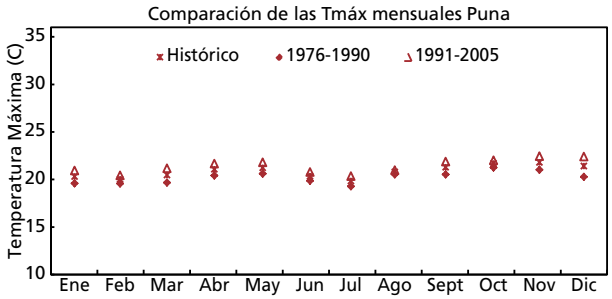
2.5.2. Temperatura Máxima (Tmáx)

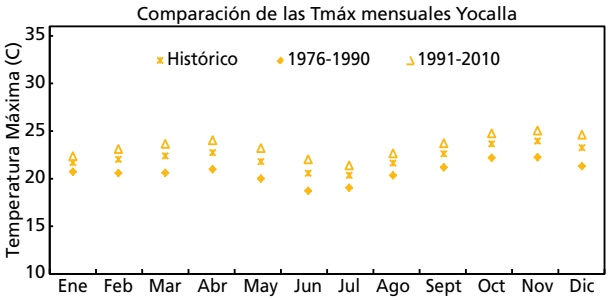
2.5.2.1. Variaciones promedio mensuales

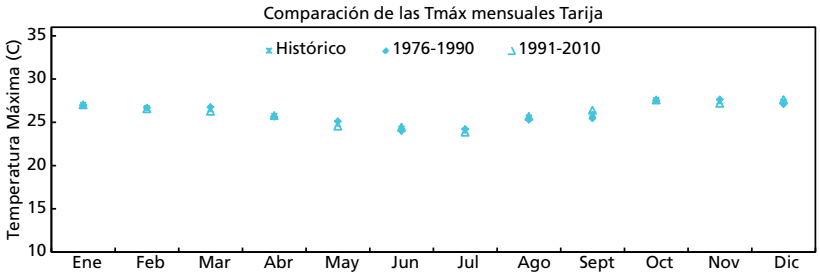
El promedio mensual diferenciado de la Tmáx de las estaciones consideradas es presentado en la Figura 2.7.

Figura 2.7.
Evolución mensual de la Temperatura Máxima promedio mensual en las estaciones consideradas. Se compara el promedio histórico con el promedio de los dos medios de los registros con el fin de identificar cambios si los existiera.









El valor de la Tmáx en las estaciones se incrementa en los últimos años, especialmente en zonas áridas y semi-áridas de altitud moderada. Las estaciones de Rurrenabaque y Sapecho, presentan un menor incremento en comparación con los valles del Sur del país. Las estaciones del altiplano, también presentan ascensos pero estos son más moderados.

En el caso de las zonas de Norte Paceño Tropical y de Héroes de la Independencia, se confirmaría que las zonas vegetadas presentan menor tendencia al calentamiento que las zonas sin cobertura vegetal. En el caso de las estaciones del altiplano, la razón para un menor calentamiento podría estar en la mayor transparencia del aire que previene de un almacenamiento energético en el día.

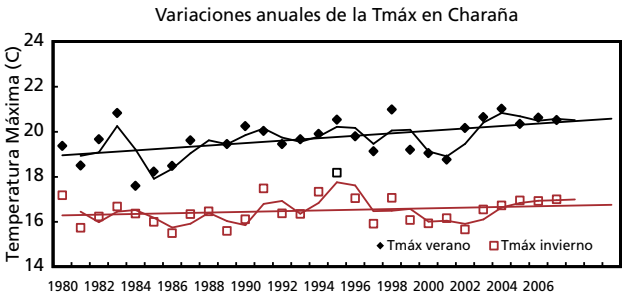
La Tmáx está determinada por la acumulación energética diurna, la cual está influenciada por los Gases de Efecto Invernadero (principalmente CO_2 y vapor de agua). La falta de variación de esta variable en zonas bajas podría estar relacionada al menor incremento de estos gases, pues localmente por la vegetación incrementada, estos son absorbidos (el caso de CO_2) y el efecto de calentamiento es menor. Esto también se debe a que durante el día, la evapotranspiración de la vegetación se constituye en un moderador térmico, pues la evaporación consume gran cantidad de energía reduciendo las temperaturas de las superficies vegetadas. El altiplano, en cambio, al tener menor transparencia en su aire por su menor columna atmosférica, es afectado por el incremento energético pero no en la misma magnitud que los valles interandinos que acumulan gran energía, no tienen vegetación que module los cambios y por lo tanto serían fuertemente influenciados por el calentamiento.

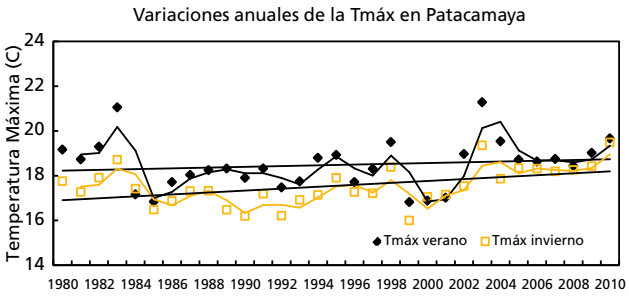
2.5.2.2. Tendencias históricas

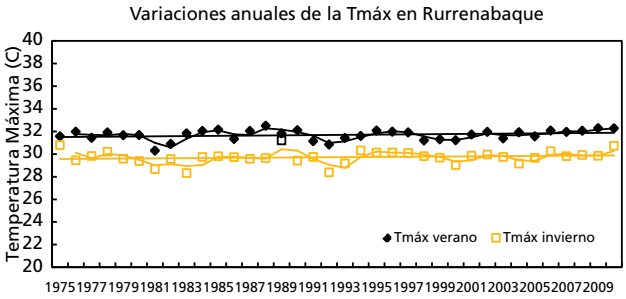
En base a la información disponible de los registros de las estaciones, se evaluaron las tendencias de cambio en los valores de la Tmáx. A diferencia de la Tmín, la Tmáx muestra ascensos, visualmente detectables (Figura 2.8.) para muchas estaciones, a excepción de Rurrenabaque, Sapecho y Tarija. Estos ascensos son mayores en las estaciones ubicadas en regiones áridas y semiáridas de los valles interandinos.

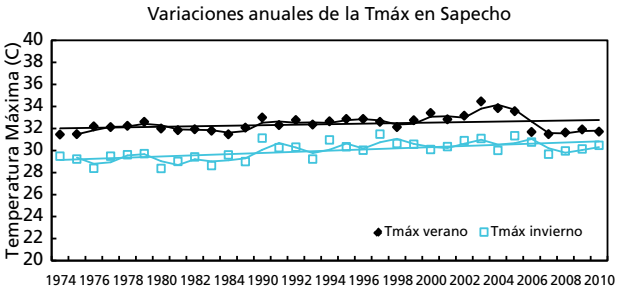
Como el caso de la Tmín, y con apoyo de bibliografía auxiliar, se procedió a graficar las tendencias medias de cambio por grupo de municipios, los cuales reflejan que también en la Tmáx los cambios son levemente diferentes entre estaciones del año. Los Mapas 2.1 al 2.9 muestran precisamente estas tendencias.

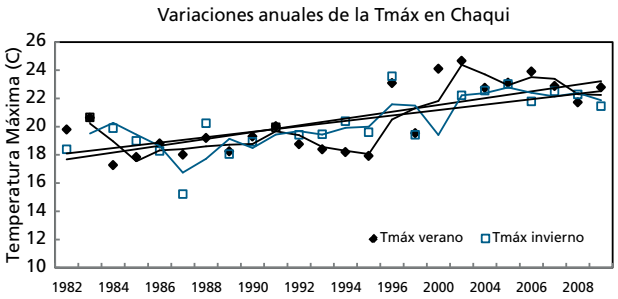
Figura 2.8.
Serie de tiempo de la Tmáx promedio anual en las estaciones consideradas.

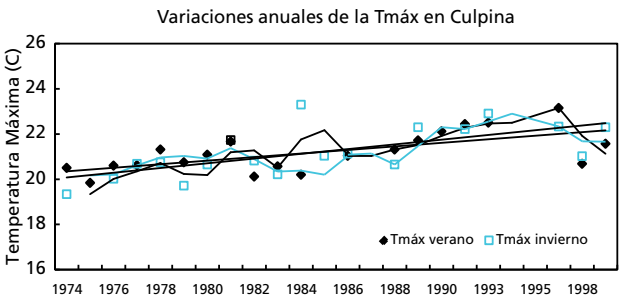


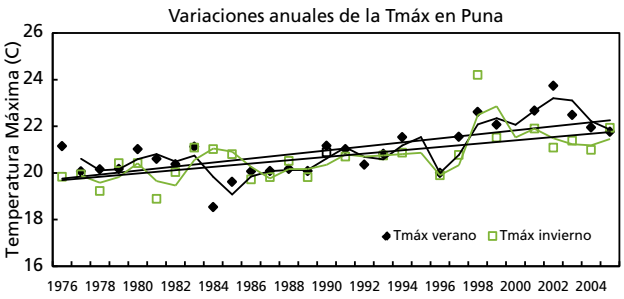


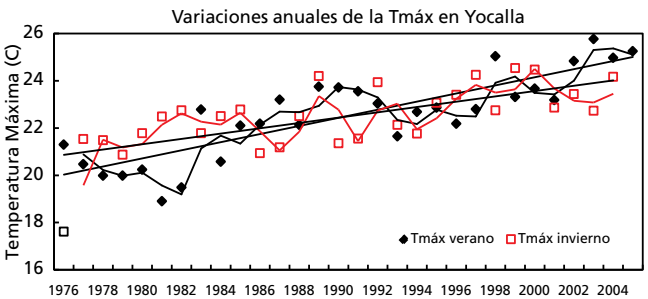


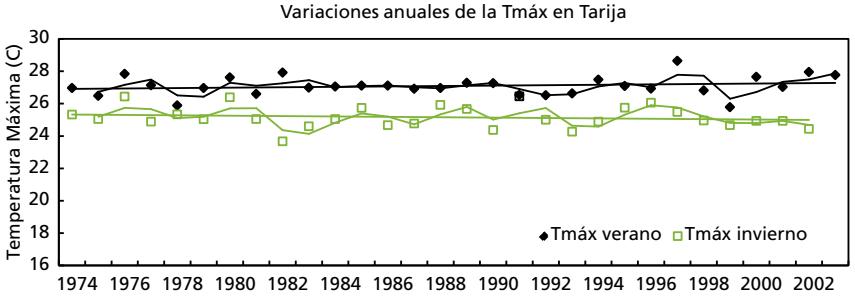












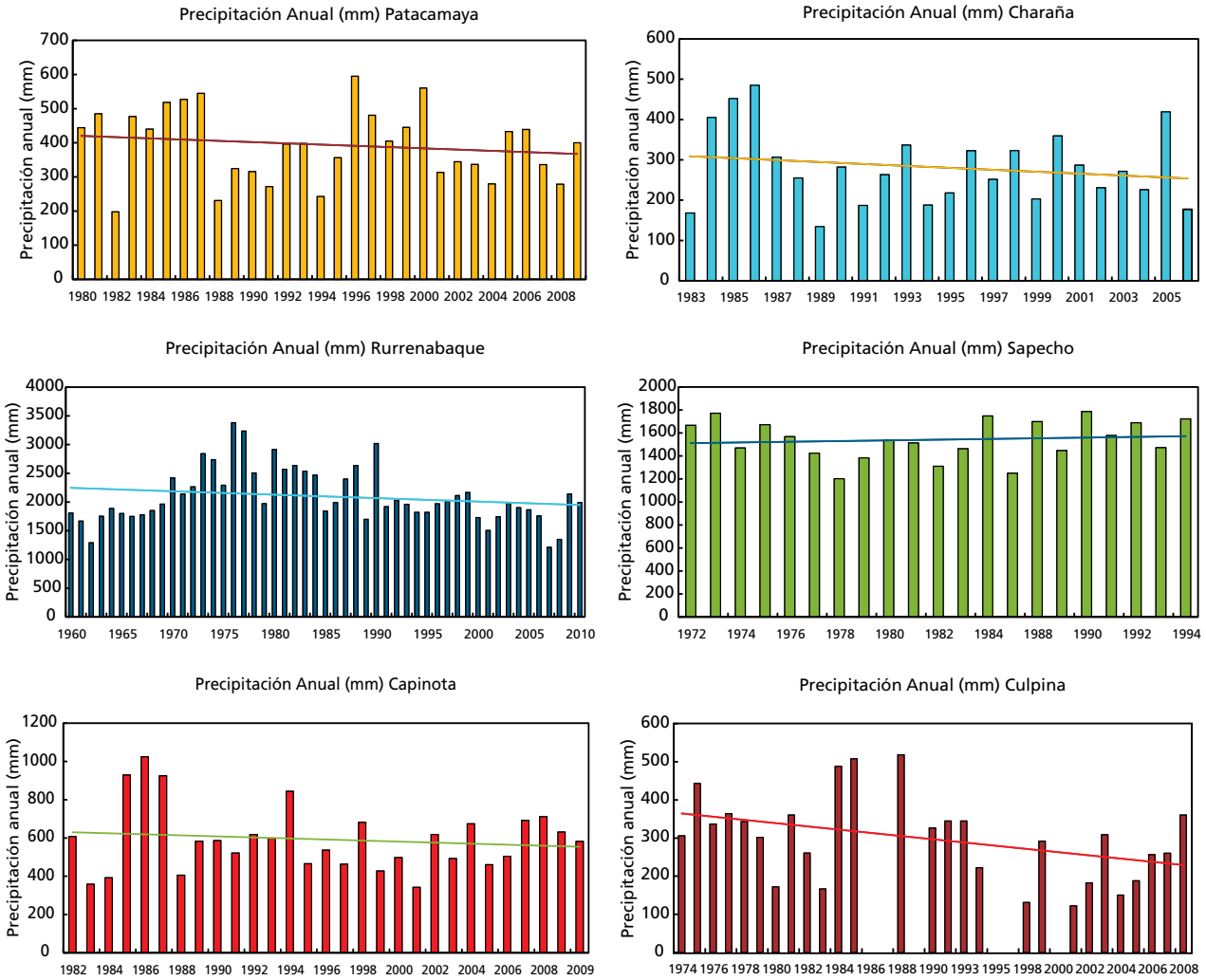
Se aprecia nuevamente que el Norte Paceño presenta la menor tendencia de cambio con un leve descenso de las Tmáx en invierno. En el altiplano y la zona andina de Cochabamba, el incremento es levemente mayor en verano que en invierno al igual que en el caso de la Tmín, mientras que el Chaco, Cintis, Norte Potosí, Gran Centro Potosí y la cuenca del Caine la elevación es mayor en invierno que en verano, lo que podría deberse a una menor atenuación de la recepción de la radiación solar por la menor nubosidad en invierno y durante la mañana, lo cual combinado con una menor cantidad de gases de efecto invernadero provocaría mayores Tmáx invernales. Sin embargo, estas hipótesis deben ser estudiadas con más detalle para su confirmación.

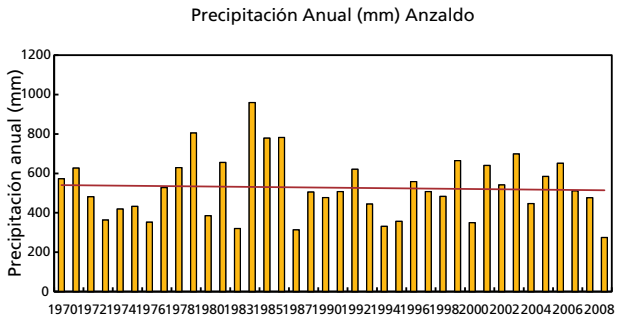
2.5.3. Precipitación

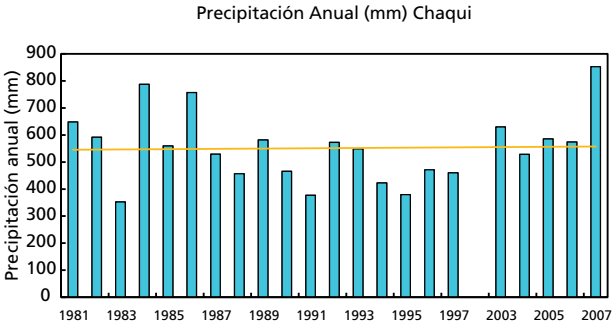
La distribución y la cantidad de la precipitación son determinantes para la producción agrícola. Adicionalmente, la cantidad de nubosidad en una zona también definirá una mayor o menor recepción de radiación solar y cierta diferencia de temperaturas. La Figura 2.9 presenta la evolución tendencial de la cantidad anual de lluvia recibida en las estaciones que permitían este análisis.

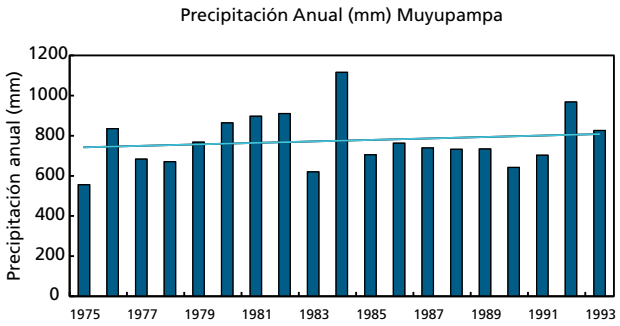
La precipitación en la mayor parte de las estaciones consideradas, no presenta diferencias ni tendencias significativas de cambio. Las estaciones del altiplano muestran una leve tendencia descendente, que podría cambiar con un par de lluvias elevadas.

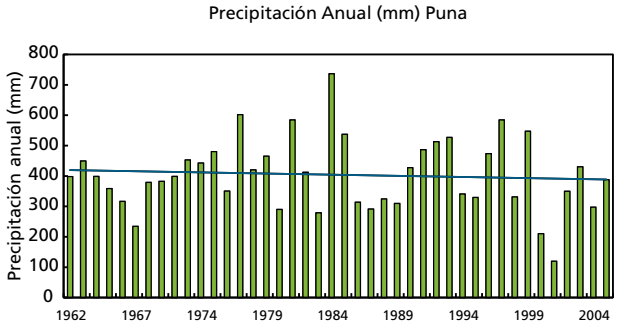
Figura 2.9.
Evolución anual de la precipitación en las estaciones consideradas en el estudio.

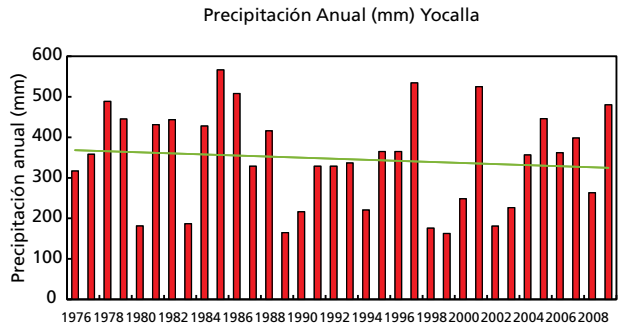


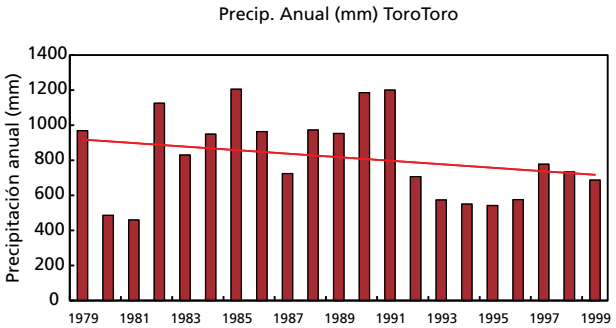


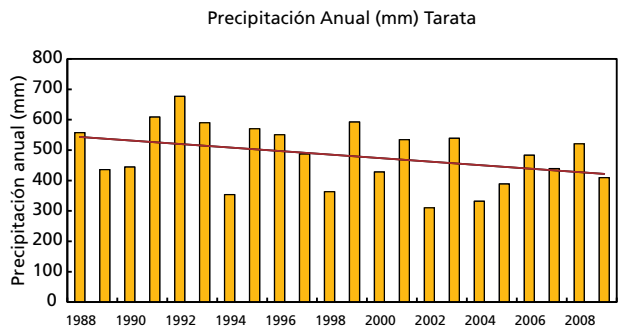


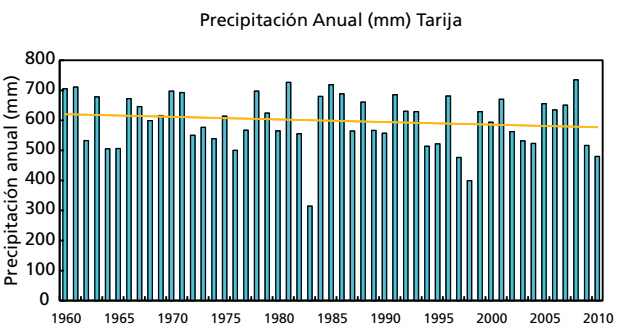












En el caso de Rurrenabaque y Sapecho, éstas no muestran tendencias de cambio en ningún sentido. Las estaciones de Culpina y Toro Toro, muestran tendencias de cambio negativo, es decir se percibe una tendencia significativa de descenso.

Los resultados muestran que, en general, las estaciones de altitud y las de zonas bajas no tienen tendencias claras de cambio. Las estaciones de zonas intermedias que se encuentran en los valles interandinos del Sur del país, presentan tendencias descendentes, lo cual debe ser considerado con cuidado, para acciones de adaptación.

Se han elaborado mapas que muestran la tendencia promedio por mancomunidad (Mapas 2.1. al 2.9.). Varios autores han mencionado que en Bolivia hay un punto de corte en la tendencia

de precipitación, ocurrida entre 1983 y 1985, muy probablemente relacionado a la presencia del fuerte evento de "El Niño" de 1983. Por ello se ha dividido el registro desde antes de 1983 y después del mismo año. En la mayoría de las zonas, la precipitación muestra un ascenso hasta 1983 con un posterior descenso después de este año, ocurriendo los mayores descensos comparativos en la zona de Norte Potosí, Altiplano, Caine y el Chaco. En Norte Paceño Tropical, después de 1983 ocurre un descenso pero menor que el ascenso previo. Gran Centro Potosí y Región Andina de Cochabamba muestran una leve tendencia ascendente que podría cambiar muy fácilmente, mientras que Héroes de la Independencias en general no muestra cambio a largo plazo.

2.6. CONCLUSIONES

La evaluación climática de las zonas de trabajo ha demostrado ser muy compleja, en primer lugar por la dificultad de contar con datos confiables y consistentes en el tiempo. La necesidad de contar con información sólida pues análisis desviados o errados, podrían conducir a acciones de mala adaptación y en muchos casos incrementar el riesgo de sufrir impactos.

Existen 46 estaciones en las zonas de análisis. Sin embargo, sólo 9 de éstas cuentan con series representativas para el análisis de tendencia de temperaturas (y algunas adicionales de precipitación), presentan registros en series suficientemente largas para evaluar tendencias de precipitación. Estos vacíos de información fueron superados a partir de análisis globales que ayudaron a definir las tendencias por mancomunidades de municipios. Sin embargo, esta información presenta cierta incertidumbre, lo cual debe tomarse en cuenta para anticipar acciones de adaptación.

Los valores de cambio analizados mostraron que las estaciones de zonas bajas y con alta cobertura vegetal, efectivamente muestran señales poco significativas o no significativas de cambio de las variables analizadas. Las estaciones de zonas intermedias y áridas como las de los valles muestran tendencias claramente ascendentes en las Tmáx y menos claras en las Tmín. Las estaciones de zonas altas muestran tendencias ascendentes consistentes en Tmáx y Tmín aunque de menor magnitud que las estaciones de zonas intermedias. Estas diferencias, coinciden parcialmente con estudios que mencionan que la mayor altitud de un punto determina su mayor nivel de calentamiento, siendo que el calentamiento se muestra menor en zonas muy altas que en zonas de altitud intermedia (entre 2.000 y 3.000 m), muy probablemente debido a la baja humedad relativa atmosférica y la baja concentración de gases que impide la acumulación energética en su atmósfera local. Sin embargo estos postulados deben ser estudiados a mayor profundidad y van más allá del objetivo del presente trabajo.

La precipitación en general muestra poca tendencia de cambio, especialmente en las estaciones de zonas bajas y altas. Sin embargo, muchas de las estaciones de zonas medias (valles interandinos) muestran tendencias descendentes bastante claras, lo que es un indicador preocupante por la menor disponibilidad de agua que podrían tener estas zonas, más aún considerando que son zonas agrícolas de mucha importancia tanto regional como nacional.

Es necesario mencionar que el análisis integral de las tres variables, muestra que las áreas más complejas, desde un punto de vista de tendencia e impacto de cambio climático, son las de los valles áridos interandinos de altitud intermedia, pues estas áreas presentan una clara tendencia de ascenso en sus temperaturas y de descenso de sus precipitaciones, lo cual provocará con seguridad una fuerte presión sobre el agua, la cual debe ser cuidadosamente analizada. En los siguientes capítulos se profundizará el análisis de los escenarios de cambio esperados en estas zonas.

Capítulo 3

Evaluación del comportamiento predictivo de las condiciones climáticas de las zonas de trabajo del PRRD por parte de tres Modelos de Circulación General

3.1. INTRODUCCIÓN

Los Modelos de Circulación General de la atmósfera (MCG) son un conjunto de algoritmos matemáticos que intentan simular la física del sistema climático y las interrelaciones de los cinco componentes del sistema climático[1]. Estos modelos se encuentran en el extremo superior de la jerarquía de modelos del clima porque acoplan los factores de mayor impacto en el clima (atmósfera-océano y suelo) y predicen cambios de las variables en un tiempo mayor.

Las expresiones matemáticas que configuran un MCG se pueden analizar por separado dentro de las tres principales partes de que constan estos modelos: (1) la dinámica del sistema del clima que describe el movimiento a gran escala de las masas de aire y el transporte de la energía y momentum; (2) la física del sistema climático tal como la transmisión de la radiación a través de la atmósfera, la termodinámica, y la evaporación; y (3) otros factores tales como la interacción océano-atmósfera, fisiografía y cobertura.

Los MCG utilizan las mismas ecuaciones de movimiento que un modelo de predicción y pronóstico numérico del tiempo (PNT). Los modelos PNT se utilizan para predecir el tiempo futuro a corto plazo (1-3 días) y medio plazo (de 4-10 días). Los modelos MCG corren para series de mayor tiempo, generalmente años; tiempo suficiente para dar luces sobre el clima en un sentido estadístico (es decir la media y la variabilidad), aunque no describen las variaciones temporales menores.

Los MCG, por ser globales, tienen una menor resolución por lo cual no son muy indicados para estudios e investigación de zonas específicas, mucho menos si se trata de zonas con variaciones altitudinales de consideración. En estos casos, es necesario el uso de modelos regionales o de modelos estadísticos que toman mayores resoluciones y son más hábiles en la determinación del clima de una zona o punto geográfico. Sin embargo, la capacidad de los MCG para describir el clima global y general de una zona no puede olvidarse. Por esta razón todas las metodologías que intentan reducir la escala de la grilla en zonas específicas, siempre usan como sus condiciones límites las tendencias determinadas por los MCG y las adaptan para que respondan efectivamente a las condiciones locales propias.

Entonces, para determinar el clima futuro siempre se utilizan dos modelos: uno global, el cual otorga las condiciones de frontera al otro modelo, ya sea regional o estadístico, denominándose a este proceso downscaling (reducción de la escala).

En el presente capítulo se llevará adelante el análisis de la aplicación de tres MCG (los de mayor uso para la zona Andina) en las zonas de intervención del PRRD tanto para el presente como en sus proyecciones a futuro. El modelo de borde que mejor represente será utilizado en los siguientes capítulos a través de un generador climático, para las zonas específicas de trabajo.

3.2. METODOLOGÍA

Provenientes de los resultados de los modelos generados por el IPCC, y en base a los resultados

1 El sistema climático está formado por: Atmósfera, biósfera, geósfera, criósfera e hidrósfera, los que en una estrecha interrelación determinan el clima del planeta.

de diferentes estudios de aplicación de MCG en la zona Andina, se han seleccionado tres modelos para ser aplicados para la latitud y altitud de las zonas de intervención del PRRD. Estos modelos son descritos a continuación:

ECHAM5 es un modelo de circulación general acoplado atmósfera-océano, desarrollado en el Instituto Max Planck de Meteorología. El modelo tiene de 19 a 31 niveles y su grilla tiene un tamaño típico de 1.9° de latitud por 1.9° de longitud, aunque presenta variaciones en zonas cercanas al Ecuador.

HADUKMO del Hadley Centre para la predicción climática e investigación – Inglaterra. El modelo HADCM3 acoplado océano-atmósfera. El componente atmosférico tiene 19 niveles con una resolución horizontal de 2,5 grados de latitud por 3,75 grados de longitud, que produce una rejilla de celdas de la cuadrícula global de 96 x 73. Esto es equivalente a una resolución de la superficie de alrededor de 417 Km x 278 Km en el Ecuador, lo que reduce a 295 km por 278 Km a 45 grados de latitud. (Hadley Center, 2013). El componente oceánico del HadCM3 tiene 20 niveles, con una resolución horizontal de 1.25° X 1.25°, resolución que hace posible la representación de importantes detalles de la estructura normal oceánica.

MIROC es un modelo desarrollado por el Instituto Japonés para Estudios Ambientales. Es la última versión de una serie de Modelos acoplados Océano-Atmósfera de Circulación General. Incluye mejoras en la estimación de nubosidad y otros parámetros físicos. La resolución es de 2.5° por 2.5°, aunque en zonas cercanas al Ecuador, esta resolución es más precisa.

3.2.1. Protocolo de obtención de la información de los MCG

Las actividades realizadas fueron:

- Uso de los CDO (Climate Data Operators) para la selección de los años del periodo base (1960-1990), para tres modelos de circulación general (ECHAM5, MIROC HIRES y UKMO HADGEM).
- Uso de los CDO para el corte de grillas en las que se hallan las estaciones meteorológicas, para los tres modelos de circulación general (ECHAM5, MIROC-HIRES y UKMO HADGEM).
- Identificación espacial de todas las estaciones meteorológicas en los diferentes modelos de circulación general, para la buena diferenciación de la resolución de los modelos.

El trabajo de corte de las grillas de los MCG es complejo y requiere de conocimiento tanto de comandos CDO como de manejo de Sistemas de Información Geográfica (SIG). A continuación se presenta un breve detalle del protocolo para la obtención de la información, proveniente de los MCG seleccionados:

Para la selección de los años de periodo base se utilizó el comando **selyear**, debido a que algunos modelos tenían series desde 1860 hasta el 2001, entonces era necesario separar los datos para el periodo de Línea Base (1960-1990).

El comando requiere la escritura de los años que se seleccionará y, por supuesto, la dirección del documento al cual se aplicará el comando (Input)

y la dirección donde se guardará el nuevo documento (Output) todo con la extensión del documento principal que es: "*nc*" (Figura 3.1.).

Posteriormente, se debe conocer la resolución de grilla de cada MCG y esos detalles del documento se los obtiene gracias al comando "*sinfo*" que extrae la información general del documento tipo netCDF (Figura 3.2.).

Un ejemplo del producto se muestra en la Figura 3.3, en la cual se observa el número de píxeles que contiene (1), cuantos píxeles por columna y por fila (2). Las coordenadas que marcan el inicio y el final de las filas y las columnas (3) además del ancho horizontal y vertical de las grillas (4), todo esto en un sistema de coordenadas GCS_WGS_1984. Por último indica que el formato del documento es netCDF.

Los resultados de la aplicación de este comando indican lo siguiente:

1. En el caso del modelo **HADGEM** para las variables de temperatura máxima, mínima y promedio se tiene una misma resolución de grilla (1,875° ancho de grilla y 1.25° largo de grilla), en cambio para la variable de precipitación se tiene una menor resolución (3,75° ancho de grilla y 2,5° largo de grilla).

2. Para el modelo **MIROC-HIRES** existen diferencias de resolución. En las variables de temperatura máxima, mínima y precipitación se tiene una misma resolución de grilla (1,125° de ancho y alto), en cambio para la variable de temperatura promedio se tiene una diferente resolución (3,75° ancho de grilla y 2,54° de alto). Debido a que se trabajará con valores de Tmáx y Tmín, sólo se usará la primera resolución.

3. En cuanto al modelo **ECHAM5** la resolución de la grilla o píxel es de 1,875° de ancho y alto para todas las variables utilizadas.

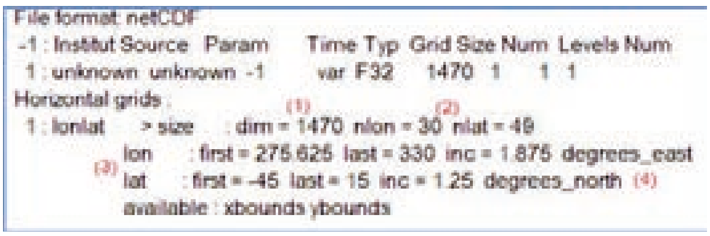
Para la visualización de los documentos netCDF se recurrió al programa ArcGis, a través de la herramienta "Make NetCDF raster layer", adecuando todo al sistema geográfico GCS_WGS_1984.

Debido a la variada resolución entre los modelos, el número de estaciones meteorológicas cambia por grilla, siendo que los modelos con una escala menor albergan un mayor número de estación por grilla. Si se considera que el valor de todo el pixel es el mismo, entonces desaparece toda la variabilidad de las estaciones cubiertas en el pixel, en cambio los modelos con escalas mayores, es decir píxeles más pequeños albergan menos estaciones con la consiguiente validación de los valores de las estaciones.

Figura 3.1.
Comando *selyear* para seleccionar el periodo de corte de los modelos seleccionados.

Figura 3.2.
Comando *sinfo* para conocer la resolución de los modelos seleccionados.

Figura 3.3.
Resultados del comando *sinfo* que muestran los detalles geográficos de la grilla con la que se trabaja.



El poder distinguir visualmente a qué y a cuántas grillas pertenecen las estaciones, ayuda a identificar los cuatro vértices de la grilla a la que pertenecen. Esas coordenadas son utilizadas para los cortes de grilla en los CDO y su comando **sellonlatbox**, como se ve en la Figura 3.4.

En función a experiencias previas de investigadores que trabajaron en Sudamérica y en los Andes, se decidió trabajar con los modelos HADGEM, ECHAM5 y MIROC HIRES. A continuación, se presentan las grillas de los tres modelos utilizados y las estaciones incluidas en cada una de esos pixeles.

A través de la utilización de los comandos CDO, se habilita la obtención de información que se encuentra almacenada como Metadata que no es de acceso directo. La introducción de los datos de latitud, longitud y altitud, determinan que, de acuerdo al modelo que esté siendo requerido, se obtenga la información mensual de la línea base (enero de 1961 a diciembre de 1990) modelada por el MCG seleccionado con el fin de calibrar estos resultados con la realidad.

Una vez obtenidos y calibrados los resultados para la línea base, se obtienen los valores termopluviométricos para el escenario climático. En el presente caso se trabajó con el clima al 2045-2055 o sea de mediados del Siglo XXI.

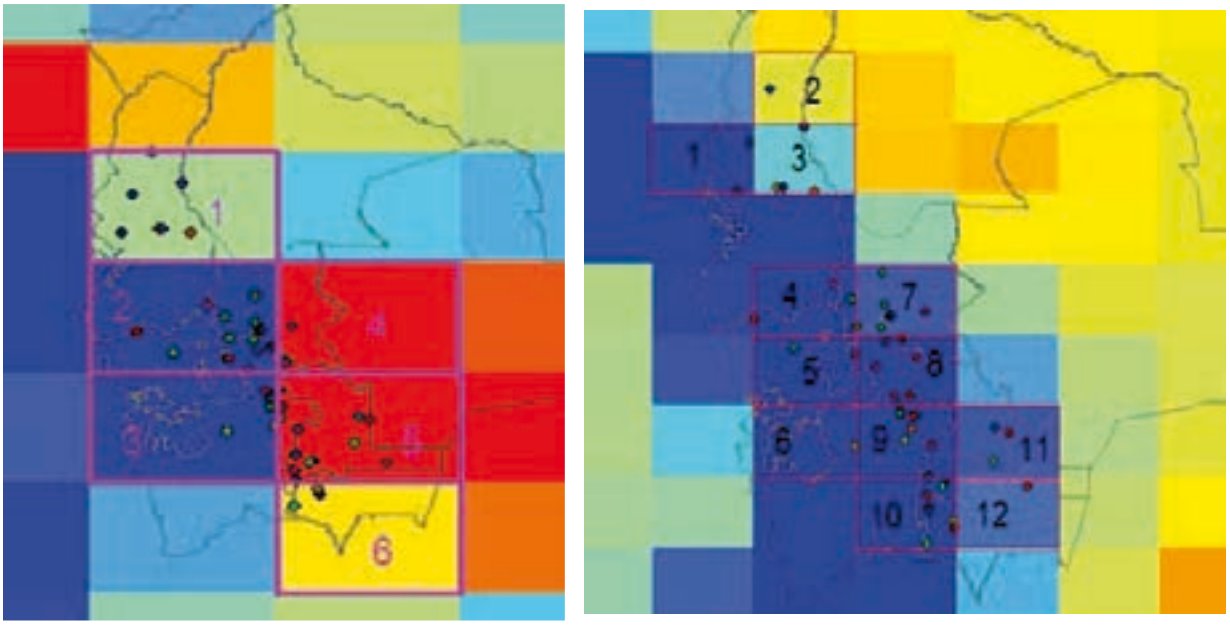
3.2.2. Modelo HADGEM

La imagen de la izquierda muestra la grilla del modelo HADGEM para la variable precipitación que, como se mencionó, tiene menor resolución y a la derecha se tiene una mejor resolución para las variables restantes del mismo modelo. En los cuadros inferiores se presentan las estaciones que fueron incluidas para su estudio en el pixel correspondiente.

Figura 3.4.
Comando que permite identificar los vértices de las grillas.

```
C:\>cdo sellonlatbox,-69.750,-68.625,-16.875,-19.125 C:\CDO\realmiroc\miroc3.2.h
ires_20c3m_run1_tasmax_A2_1961-1990_monmean.nc C:\CDO\realmiroc\miroc3.2.hires_2
0c3m_run1_tasmax_A2_1961-1990_monmean_sajasaja.nc
cdo sellonlatbox: Processed 934920 values from 1 variable over 360 timesteps.
```

Figura 3.5.
Cobertura de la grilla del Modelo HADGEM, Izq.) Precipitación - Der.) Temperaturas, abajo sus estaciones correspondientes.

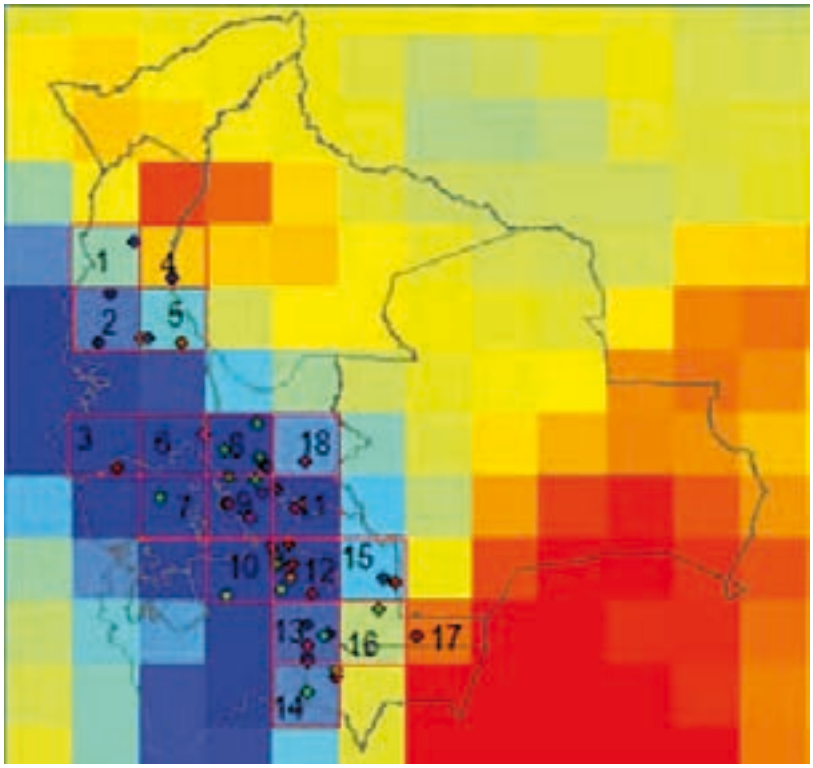


1: Ixiamas, Apolo, Rurrenabaque, Guanay, Tacacoma, Sapecho, Tipuani.
2: Acasio, Uncia, Llallagua, Pocoata, Curahuara de Carangas, Bolívar, Corque, Toro Toro, San Pedro de Buena Vista, Sacaca, Tapacarí, Tarata, Morochata, Anzaldo, Sacabamba.
3: Caiza, Tinquipaya, Tomave, Potosí, Yocalla.
4: Capinota, Poroma.
5: Chaquí, Puna, Tacobamba, Monteagudo, Muyupampa, San Lucas, Betanzos, Camargo, Culpina, Incahuasi, Las Carreras, Villa Abecia, Macharetí, Huacareta.
6: San Lorenzo, Tarija, Yunchará, El Puente.

1: Apolo, Tacacoma.
2: Ixiamas
3: Rurrenabaque, Sapecho, Tipuani, Guanay.
4: Curahuara de Carangas, Tapacarí, Morochata.
5: Uncia, Corque.
6: Tomave.
7: Bolívar, Capinota, Anzaldo, Tarata, Sacabamba, Sacaca, Acasio.
8: Poroma, Toro Toro, Llallagua, San Pedro de Buena Vista, Tinquipaya, Pocoata, Tacobamba.
9: Potosí, Caiza, Yocalla, Chaquí, San Lucas, Puna, Betanzos.
10: Camargo, Culpina, Incahuasi, Las Carreras, Villa Abecia, San Lorenzo, Tarija, El puente, Yunchara.
11: Monteagudo, Muyupampa, Huacareta
12: Macharetí.

3.2.3. Modelo MIROC-HIRES

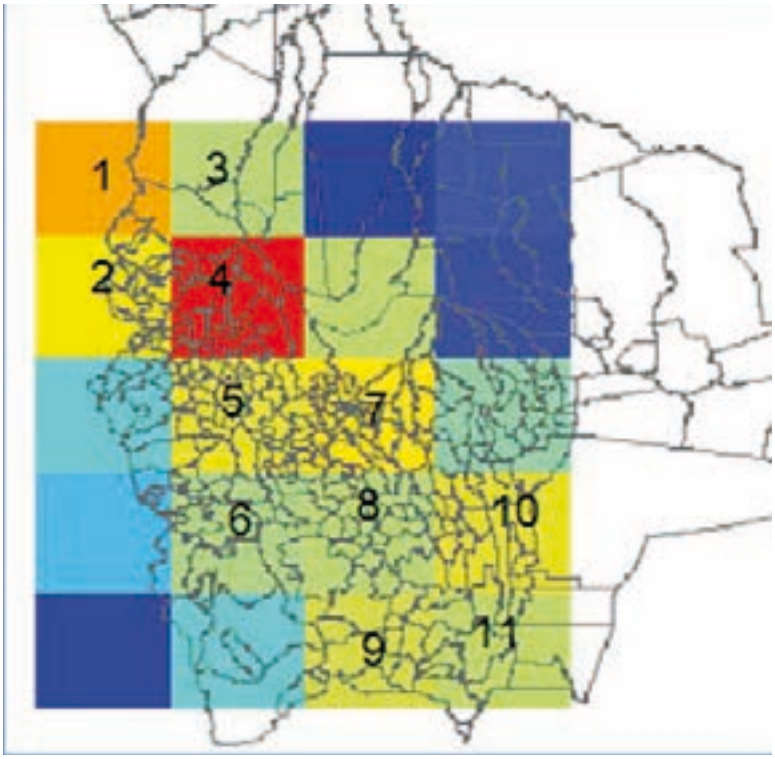
Figura 3.6.
Cobertura de la grilla del Modelo MIROC a alta resolución.



Cobertura de la grilla del Modelo MIROC y ubicación de las estaciones de estudio, de acuerdo al siguiente detalle: 1: Ixiamas; 2:Apolo,Tacacoma; 3: Curahuara de Carangas; 4: Rurrenabaque; 5: Guanay, Sapecho, Tipuani; 6: Morochata; 7: Corque; 8: Sacaca, Tapacarí, Anzaldo, Tarata, Sacabamba; 9: San Pedro de Buena Vista, Pocoata, Acasio, Uncia, Llallagua, Bolívar; 10: Tinquipaya, Tomave; 11: Toro Toro, Poroma ;12: Betanzos, Caiza, Chaquí, Puna, Tacobamba, Potosí, Yocalla, San Lucas; 13: Camargo, Culpina, Incahuasi, Las Carreras, Villa Abecia, El Puente; 14: San Lorenzo, Tarija, Yunchara; 15: Monteagudo, Muyupampa; 16: Huacareta; 17: Macharetí; 18: Capinota.

3.2.4. Modelo ECHAM5

Figura 3.7.
Cobertura de la grilla del Modelo ECHAM5



Cobertura de la grilla del Modelo MIROC y ubicación de las estaciones de estudio, de acuerdo al siguiente detalle: 1:Apolo; 2: Tacacoma; 3: Ixiamas, Rurrenabaque; 4: Sapecho, Tipuani, Guanay; 5:Uncia, Corque, Curahuara de Carangas, Tapacarí, Morochata; 6: Tomave; 7: Sacaca, Llallagua, San Pedro de Buena Vista, Toro Toro, Acasio, Bolívar, Capinota, Anzaldo, Tarata, Sacabamba, Poroma; 8: Pocoata, Betanzos, Caiza D, Chaquí, Puna, Tacobamba, Tinquipaya, Potosí, Yocalla, San Lucas; 9: Camargo, Culpina, Incahuasi, Carreras, Villa Abecia, San Lorenzo, Tarija, Puente, Yunchara; 10: Monteagudo, Muyupampa, Huacareta; 11: Macharetí.

3.2.5. Comparación con los datos observados y proyección a futuro

Una vez determinados los valores (de los MCG) correspondientes a las grillas que eran de interés para el estudio y para el periodo de la línea base, se realizó la evaluación de la capacidad de representar o aproximar la información histórica promedio mensual de las estaciones meteorológicas con las que se contaba (Capítulo 2). Para ello se calculó el coeficiente de correlación de la información de los MCG en comparación con la información observada en las estaciones meteorológicas. En base a los resultados se seleccionó el MCG que represente mejor comportamiento general para todas las estaciones consideradas, y con el que se procedió a generar las condiciones de Tmín, Tmáx y PP de las estaciones consideradas para el periodo 2045-2055.

Es necesario recalcar que la información aquí presentada corresponde a los resultados de los Modelos de Circulación General con su correspondiente tamaño de grilla, la que no incluye todavía los procedimientos de Downscaling.

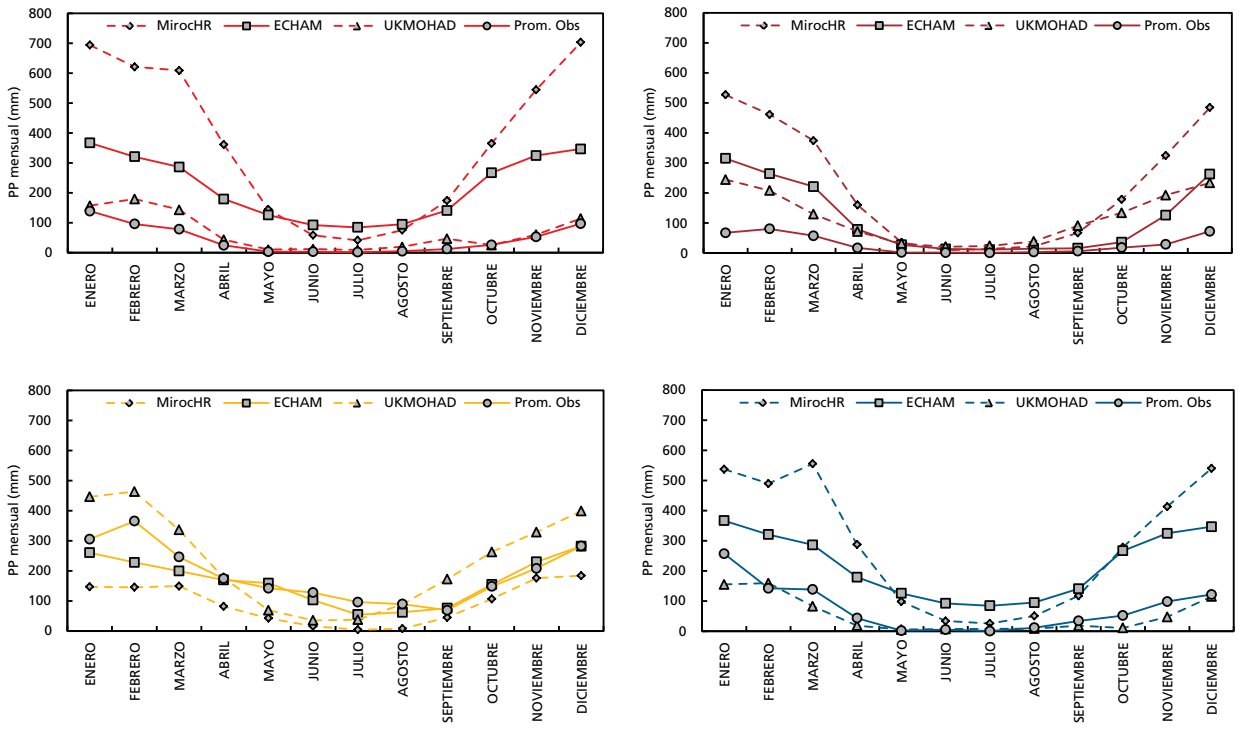
3.3. RESULTADOS

La correlación entre los valores simulados y los observados (por los tres modelos) para cada estación considerada para la Tmín, Tmáx y PP se presenta en forma resumida en las Tablas 3.1 a 3.3, respectivamente.

Como era de esperarse, los MCG no representaron la realidad termo-pluviométrica de las estaciones meteorológicas pues, como fue mencionado, éstos representan la información promedio de la grilla. Sin embargo, la evaluación correspondió a la capacidad de los modelos de representar las tendencias termo-pluviométricas que ocurren en el país de acuerdo a las épocas del año. Por ejemplo, si la temperatura baja en invierno y sube proporcionalmente a la realidad en verano, o si se simula mayor precipitación a la verdadera en verano que en invierno. Esto se debe a que la información de los MCG y específicamente del MCG que será seleccionado como modelo de frontera para llevar adelante el Downscaling estadístico, no será la utilizada para el análisis de la información futura, sino como el recuadro guía o frontera sobre el que trabajará dicho modelo. Bajo esta premisa se observó una elevada correlación de los datos producidos por los MCG para la Tmín y la PP, pero que este valor es levemente menor para la Tmáx.

Las Figuras 3.8, 3.9 y 3.10 muestran los resultados observados y simulados para estaciones seleccionadas y representativas de las zonas donde se ubican. Se muestra que la correlación es elevada. Durante el periodo de línea base o histórico se produce sobre o subestimación de la información observada en la estación, pero que las tendencias son mantenidas, lo cual permite una relativa confiabilidad de los resultados ya que son corregibles. Estos resultados siguen la línea de la información obtenida por otros autores que destacan una adecuada representación de la estacionalidad de la zona por parte de los MCG aunque no de los valores reales[2]. Esto indicaría que los resultados del clima futuro producidos por los modelos estudiados también podrían reflejar adecuadamente las condiciones de variación de la Tmín, Tmáx y PP en la zona asumiendo nuevamente que la corrección sería la misma en el presente y en el futuro.

Figura 3.8.
PP mensual media (mm) observada y simulada por tres MCG para: superior derecha, Anzaldo; superior izquierda, Culpina; inferior derecha, Rurrenabaque; inferior izquierda, ToroToro.



2 Burgoa, A. 2010. Escenarios de Cambio Climático en el Sur del departamento de La Paz: Patacamaya y Calacoto. La Paz-Bolivia. Revista Boliviana de Física, 17, 6 pp. Seth, A., M. Rojas, and S. A. Rauscher. 2010. CMIP3 projected changes in the annual cycle of the South American Monsoon. Climatic Change 98:331– 57.

Figura 3.9.
Temperatura máxima mensual media (°C) observada y simulada por tres MCG: superior derecha, Anzaldo; superior izquierda, Culpina; inferior derecha, Rurrenabaque; inferior izquierda, ToroToro.

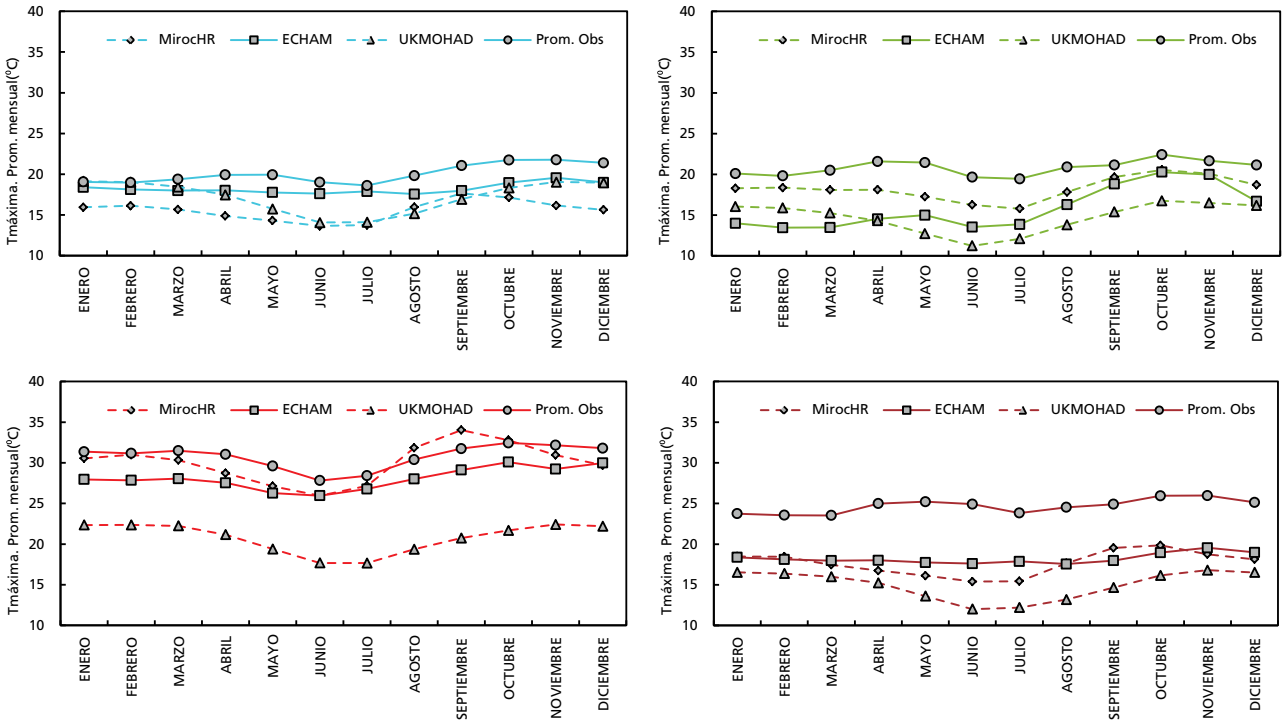
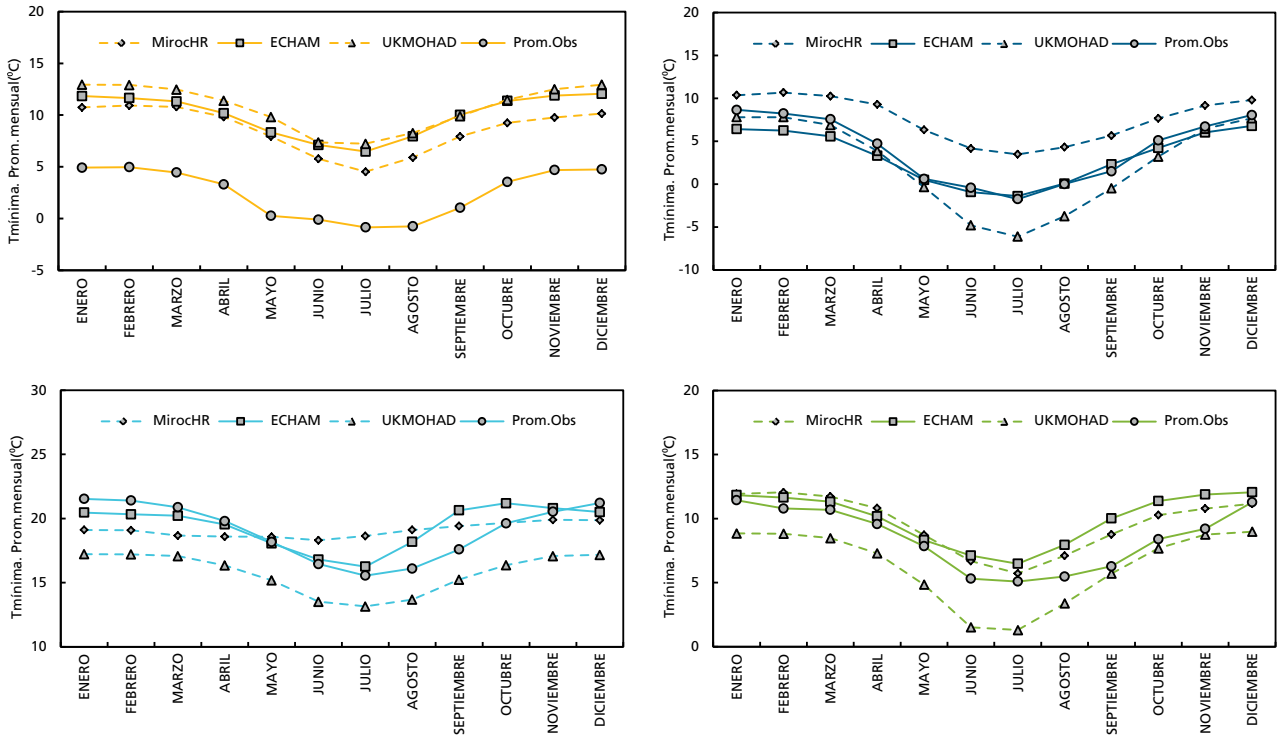


Figura 3.10.
Temperatura mínima mensual media (°C) observada y simulada por tres MCG para: superior derecha, Anzaldo; superior izquierda, Culpina; inferior derecha, Rurrenabaque; inferior izquierda, ToroToro.



Los resultados obtenidos muestran que los tres modelos utilizados, representan relativamente bien la realidad termo-pluviométrica de las zonas donde se realizó el análisis. Debido a que el downscaling estadístico requiere contar con un solo modelo de borde para generar los resultados, fue necesario elegir uno de ellos para continuar con el trabajo.

En función a los coeficientes de correlación y a lo obtenido por otros autores, se decidió trabajar con el ECHAM5 como modelo de borde para generar la información futura de las zonas estudiadas.

Tabla 3.1.
Coeficientes de correlación entre los valores de PP media mensual observada y simulada por tres MCG para el periodo histórico de estaciones situadas en diferentes áreas del país.

Estación	MirocHR	ECHAM	UKMOHAD
Acasio	0,965	0,967	0,956
Anzaldo	0,932	0,966	0,932
Betanzos	0,952	0,991	0,914
Bolívar	0,928	0,909	0,931
Caiza D	0,914	0,968	0,949
Camargo	0,972	0,953	0,941
Capinota	0,941	0,950	0,926
Chaquí	0,963	0,983	0,911
Corque	0,889	0,906	0,896
Culpina	0,968	0,975	0,887
Curahuara de Carangas	0,856	0,963	0,955
Charaña	0,856	0,963	0,946
El Puente	0,986	0,947	0,968
Huacareta	0,971	0,961	0,895
Llallagua	0,949	0,927	0,964
Monteagudo	0,965	0,955	0,885
Patacamaya	0,835	0,959	0,943
Poroma	0,965	0,962	0,936
Potosí	0,896	0,939	0,922
Puna	0,977	0,989	0,944
Rurrenabaque	0,828	0,890	0,897
Sajama	0,853	0,959	0,944
San Lorenzo	0,993	0,986	0,935
San Lucas	0,953	0,988	0,940
San Pedro de Buena Vista	0,961	0,939	0,982
Sapecho	0,907	0,942	0,942

Continúa

Estación	MirocHR	ECHAM	UKMOHAD
Tapacarí	0,935	0,987	0,968
Tarata	0,933	0,946	0,946
Tarija	0,990	0,982	0,944
Tinguipaya	0,987	0,987	0,955
Toro Toro	0,886	0,915	0,911
Villa Abecia	0,960	0,967	0,920
Yocalla	0,931	0,973	0,940
Promedio	0,933	0,957	0,934

Tabla 3.2.
Coeficientes de correlación entre los valores de Tmáx media mensual observada y simulada por tres MCG para el periodo histórico de estaciones situadas en diferentes áreas del país.

Estación	MirocHR	ECHAM	UKMOHAD
Anzaldo	0,611	0,736	0,434
Capinota	0,825	0,918	0,729
Chaquí	0,567	0,743	0,314
Culpina	0,743	0,774	0,493
Charaña	0,952	0,930	0,940
El Puente	0,834	0,602	0,953
Llallagua	0,905	0,821	0,685
Monteagudo	0,865	0,941	0,932
Morochata	0,632	0,629	0,659
Patacamaya	0,884	0,891	0,939
Potosí	0,848	0,701	0,887
Puna	0,654	0,813	0,500
Rurrenabaque	0,810	0,880	0,911
Sajama	0,690	0,922	0,927
San Lucas	0,781	0,668	0,770
Sapecho	0,869	0,958	0,953
Tarata	0,486	0,665	0,453
Tarija	0,871	0,647	0,951
Tinguipaya	0,978	0,882	0,813
Toro Toro	0,259	0,691	0,093
Yocalla	0,882	0,672	0,903
Promedio	0,759	0,785	0,726

Tabla 3.3.
Coeficientes de correlación entre los valores de Tmín media mensual observada y simulada por tres MCG, periodo histórico para estaciones situadas en diferentes áreas del país.

Estación	MirocHR	ECHAM	UKMOHAD
Anzaldo	0,924	0,942	0,968
Capinota	0,958	0,990	0,982
Chaquí	0,966	0,964	0,986
Culpina	0,973	0,986	0,987
Charaña	0,993	0,976	0,973
El Puente	0,971	0,991	0,988
Llallagua	0,950	0,973	0,985
Monteagudo	0,996	0,973	0,985
Morochata	0,966	0,980	0,979
Patacamaya	0,983	0,995	0,941
Potosí	0,981	0,988	0,996
Puna	0,968	0,992	0,987
Rurrenabaque	0,433	0,809	0,987
Sajama	0,875	0,953	0,784
San Lucas	0,972	0,991	0,989
Sapecho	0,973	0,706	0,951
Tarata	0,964	0,981	0,980
Tarija	0,960	0,989	0,979
Tinguipaya	0,956	0,983	0,994
Toro Toro	0,961	0,883	0,927
Yocalla	0,956	0,996	0,982
Promedio	0,937	0,954	0,968

3.4. PROYECCIÓN DEL CAMBIO DE LAS VARIABLES TERMO-PLUVIOMÉTRICAS A 2050

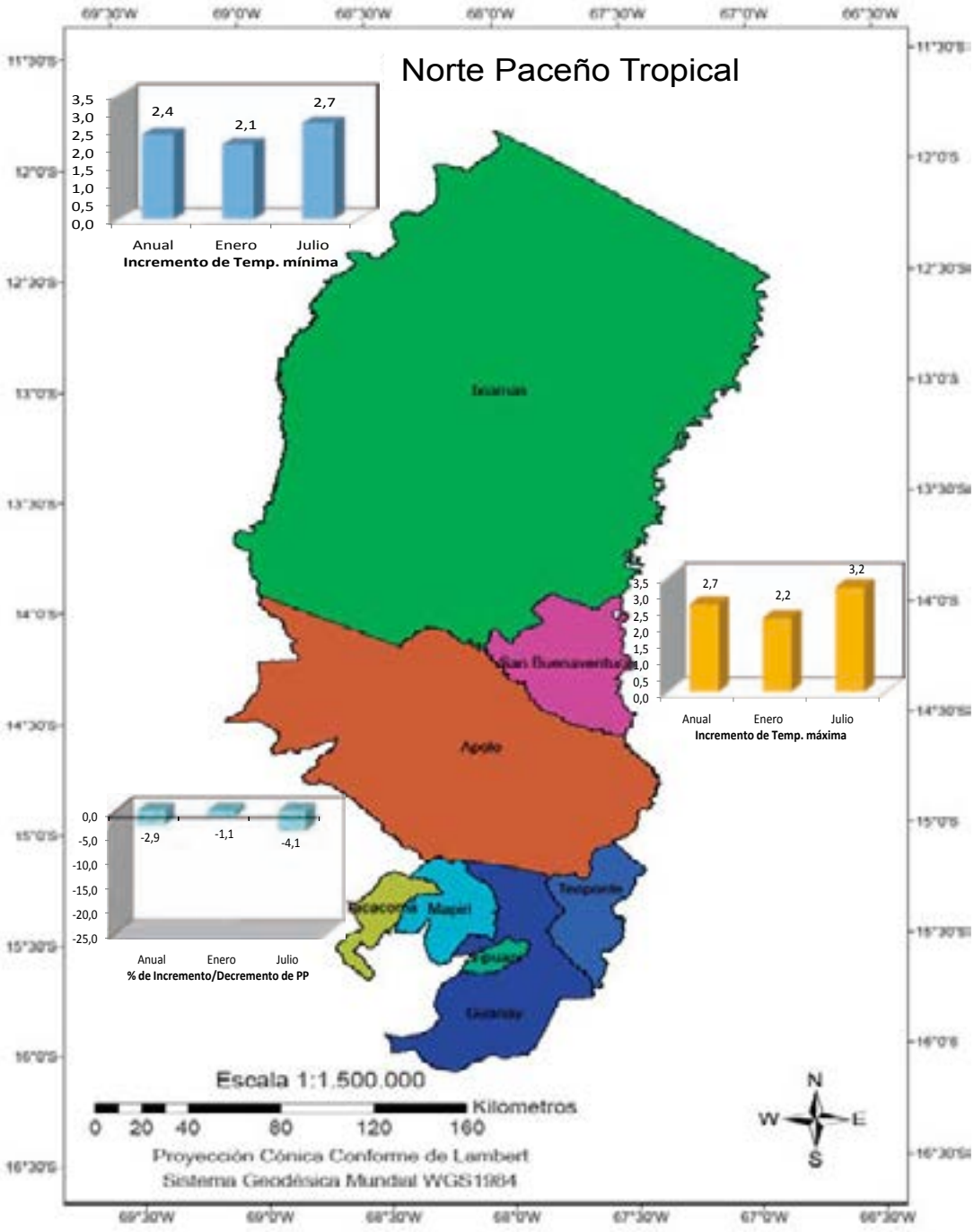
La obtención de la información de los MCG con los CDO permitió no solamente evaluar la capacidad de simular la situación histórica climática sino que se pudo evaluar la situación termo-pluviométrica que el modelo seleccionado (ECHAM5) prevé para el año 2050 y para el escenario A2[3].

De esta manera, se procesaron los valores de incremento térmico medio en °C, tanto en términos anuales como para enero y julio, representados para cada grupo de municipios donde tiene acciones el PRRD (Mapas 3.1. a 3.9.) y la variación porcentual media de la precipitación acumulada para los mismos periodos que la variación térmica.

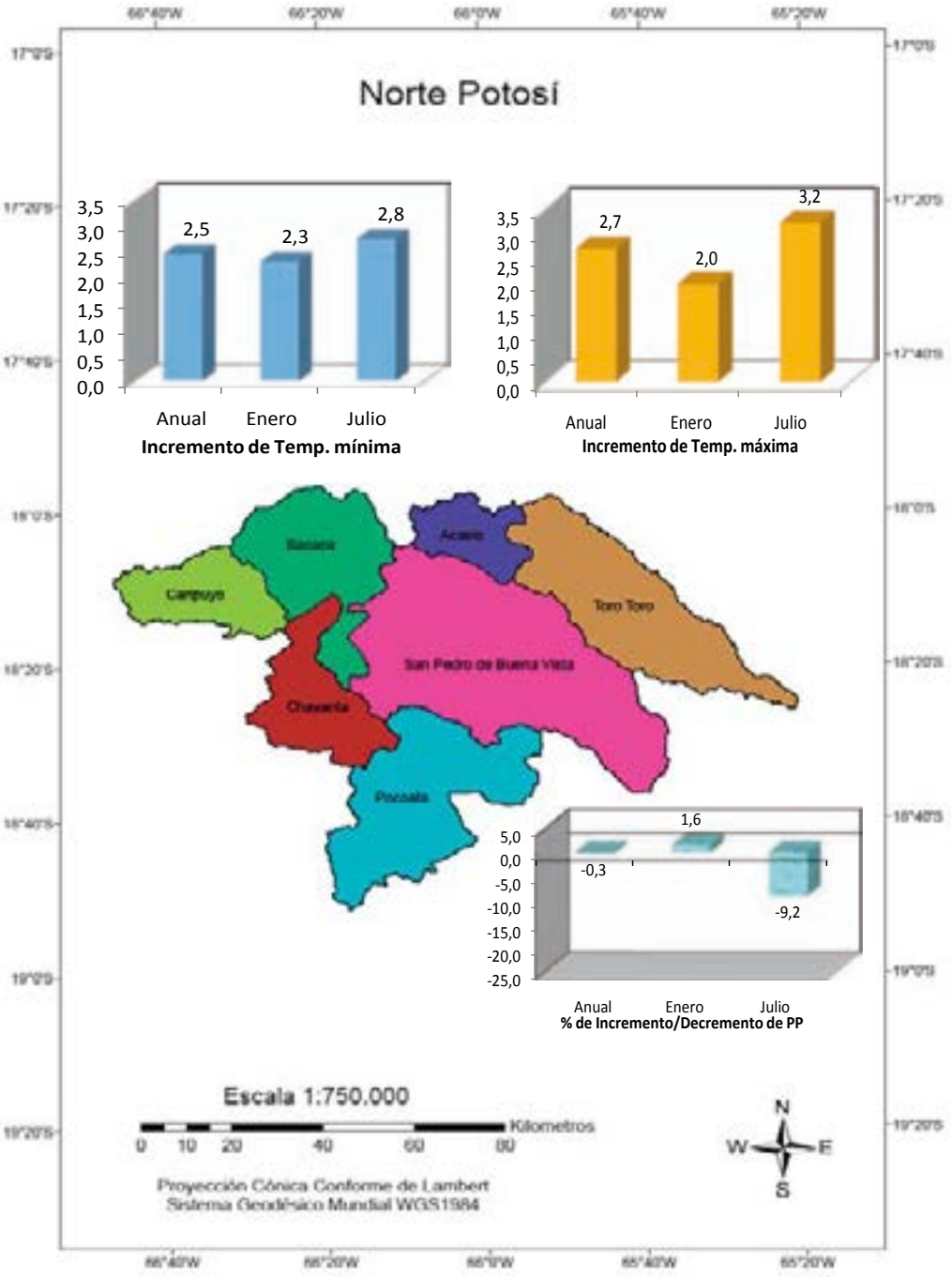
Los resultados muestran que las Tmáx promedio anual se incrementarán en la mayor parte del país en aproximadamente 3°C, aunque en la zona chaqueña se esperaría un calentamiento levemente menor en todas las épocas.

3 El escenario A2 describe un mundo muy heterogéneo basado en la preservación de las identidades locales. Los patrones de fertilidad de las regiones convergen lentamente, lo que se traduce en un aumento de población constante hasta mitad de siglo, donde se estabiliza. El desarrollo económico está orientado regionalmente y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico, fragmentado. El escenario A2 podría considerar la descripción del mundo tal y como evolucionará de mantener el comportamiento actual.

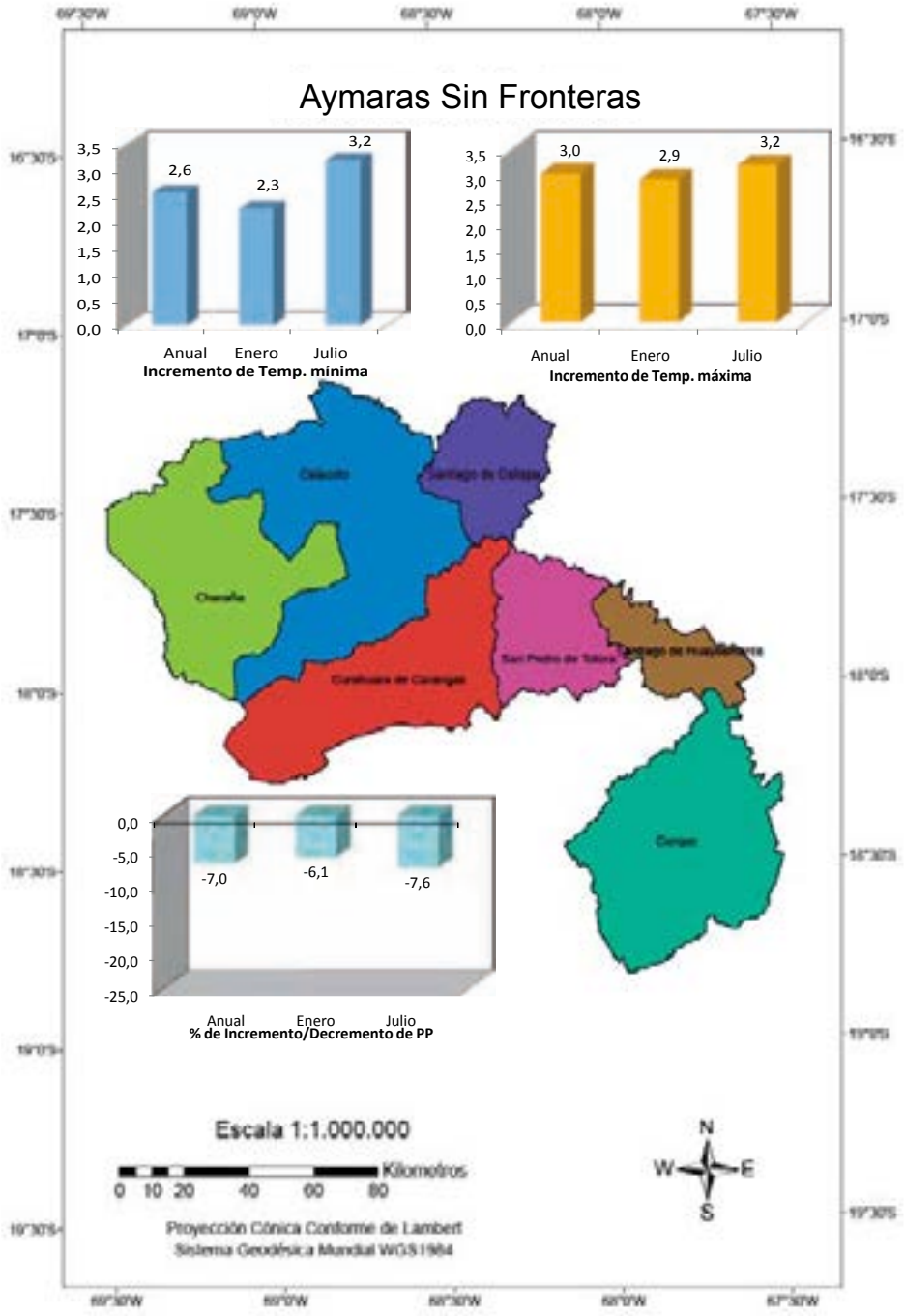
Mapa 3.1.
Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad Norte Paceño Tropical.



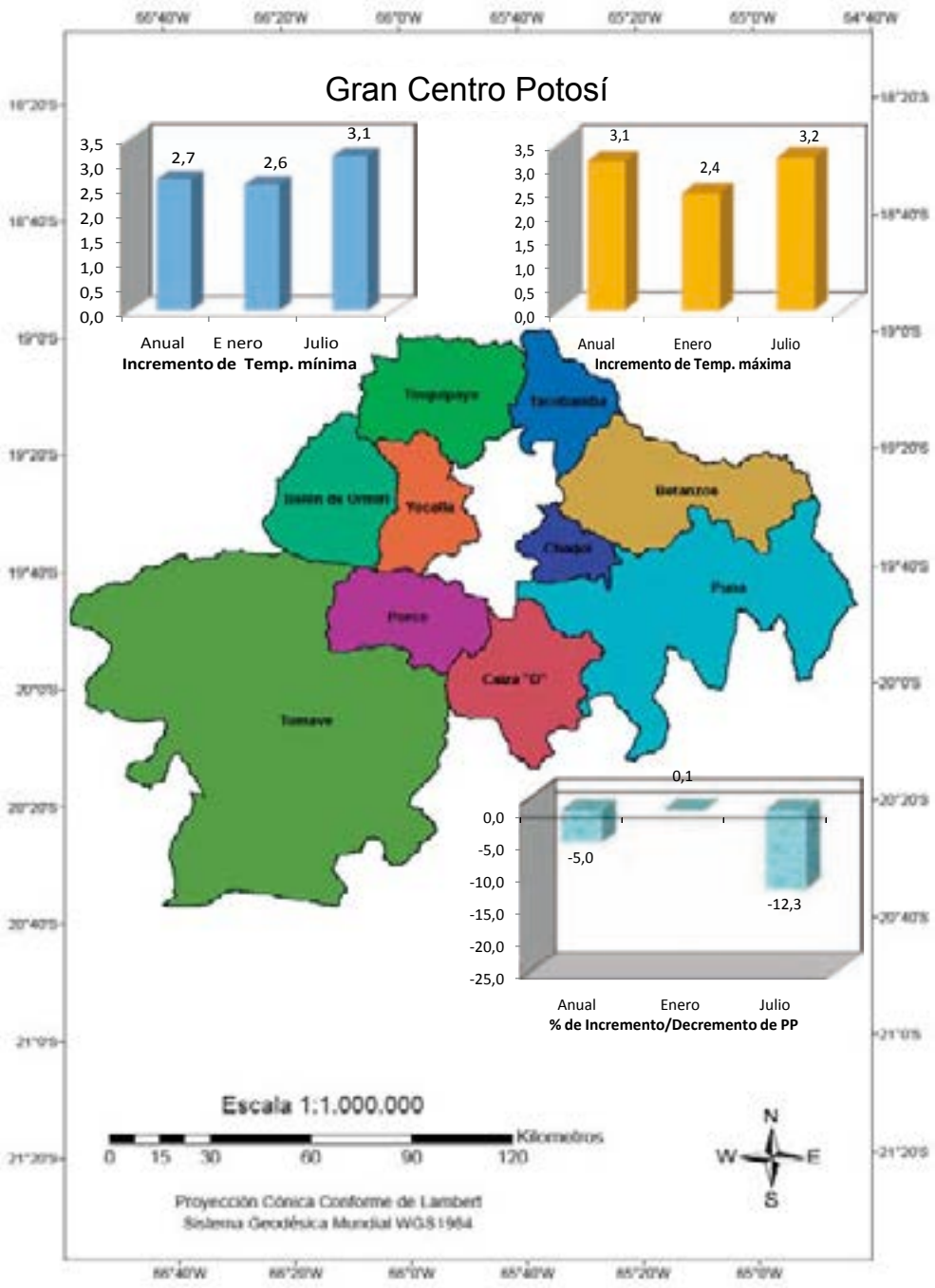
Mapa 3.2.
Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad del Norte Potosí.



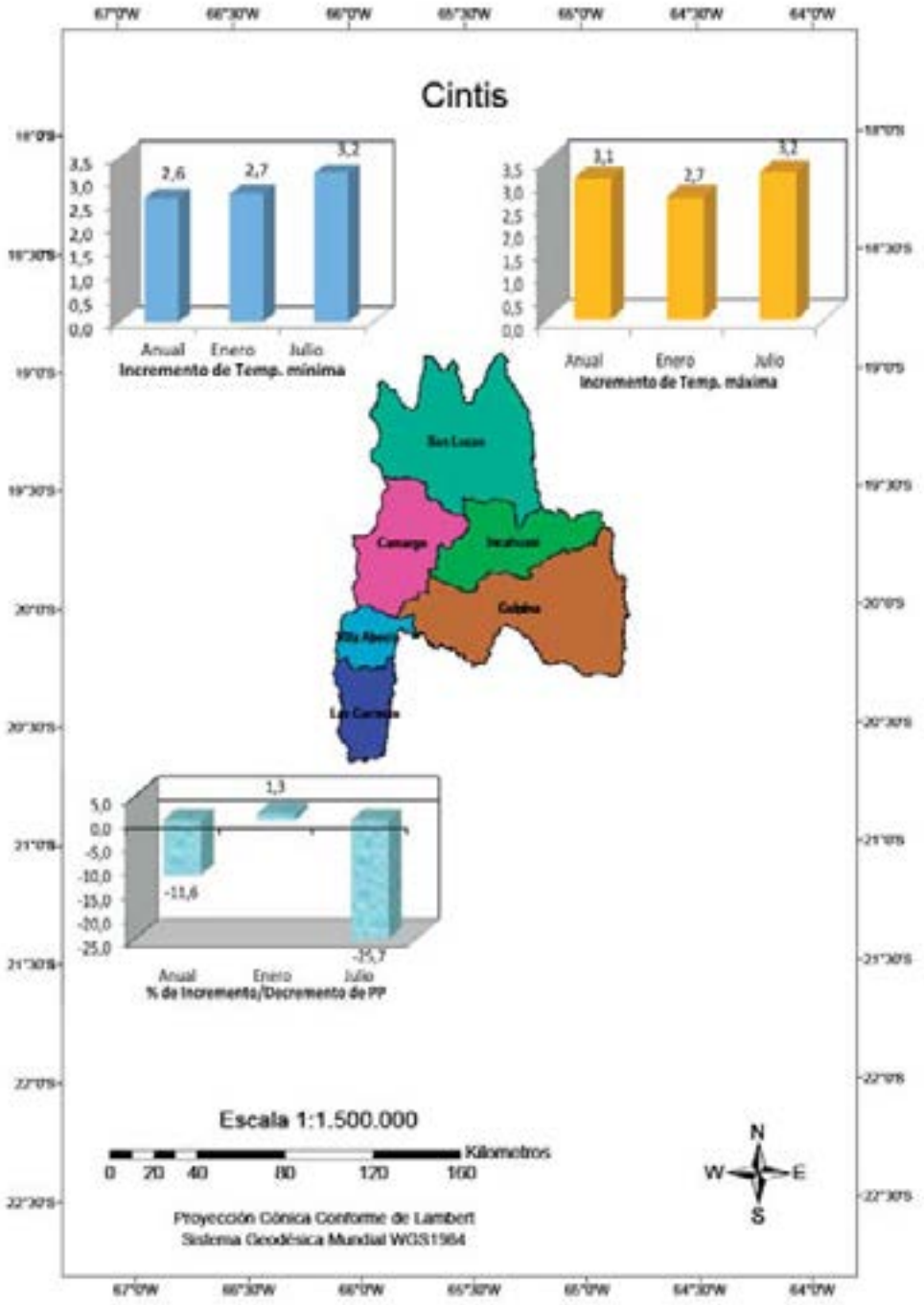
Mapa 3.3.
Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad Aymaras Sin Fronteras.



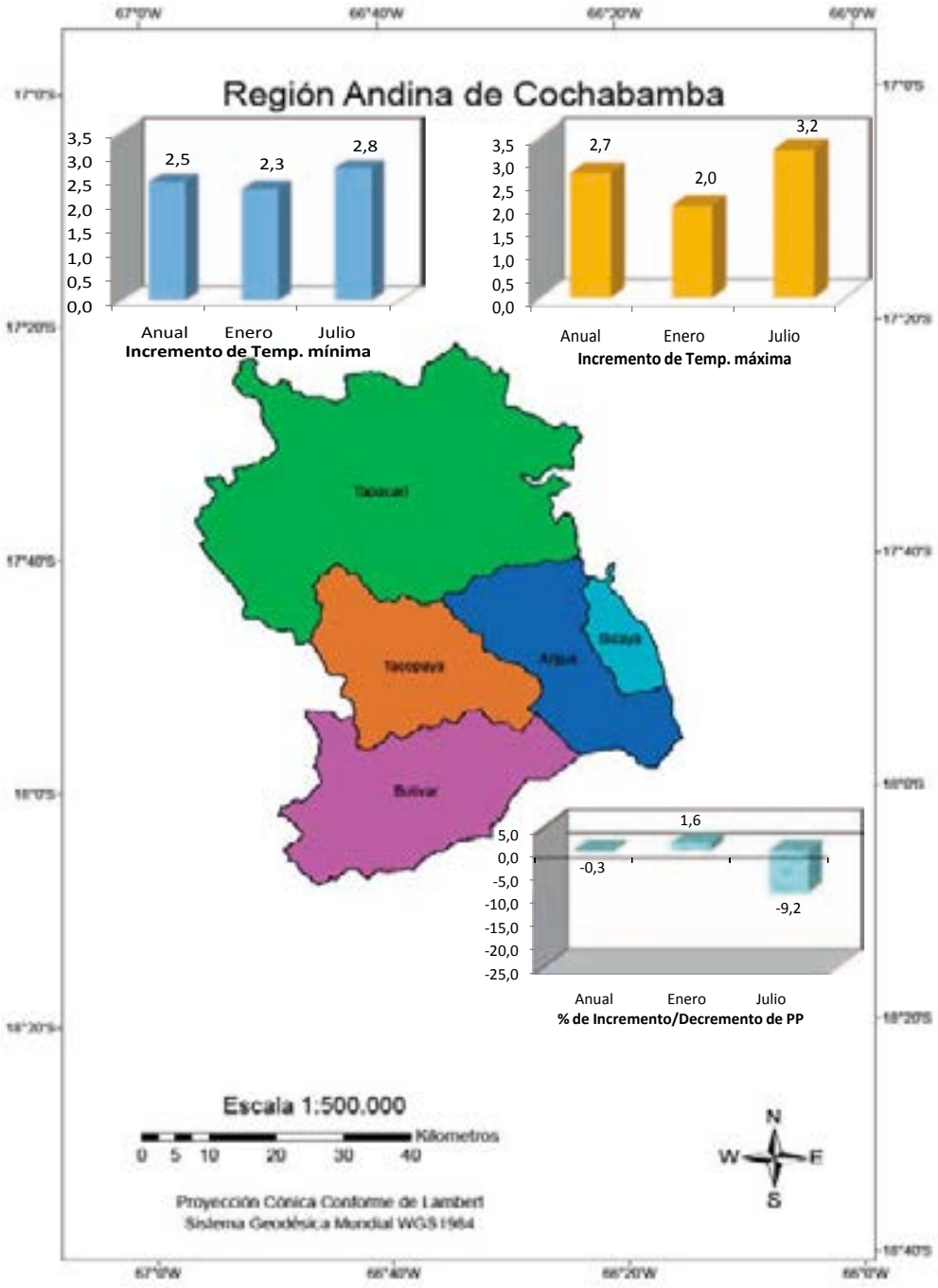
Mapa 3.4.
Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad Gran Centro Potosí.



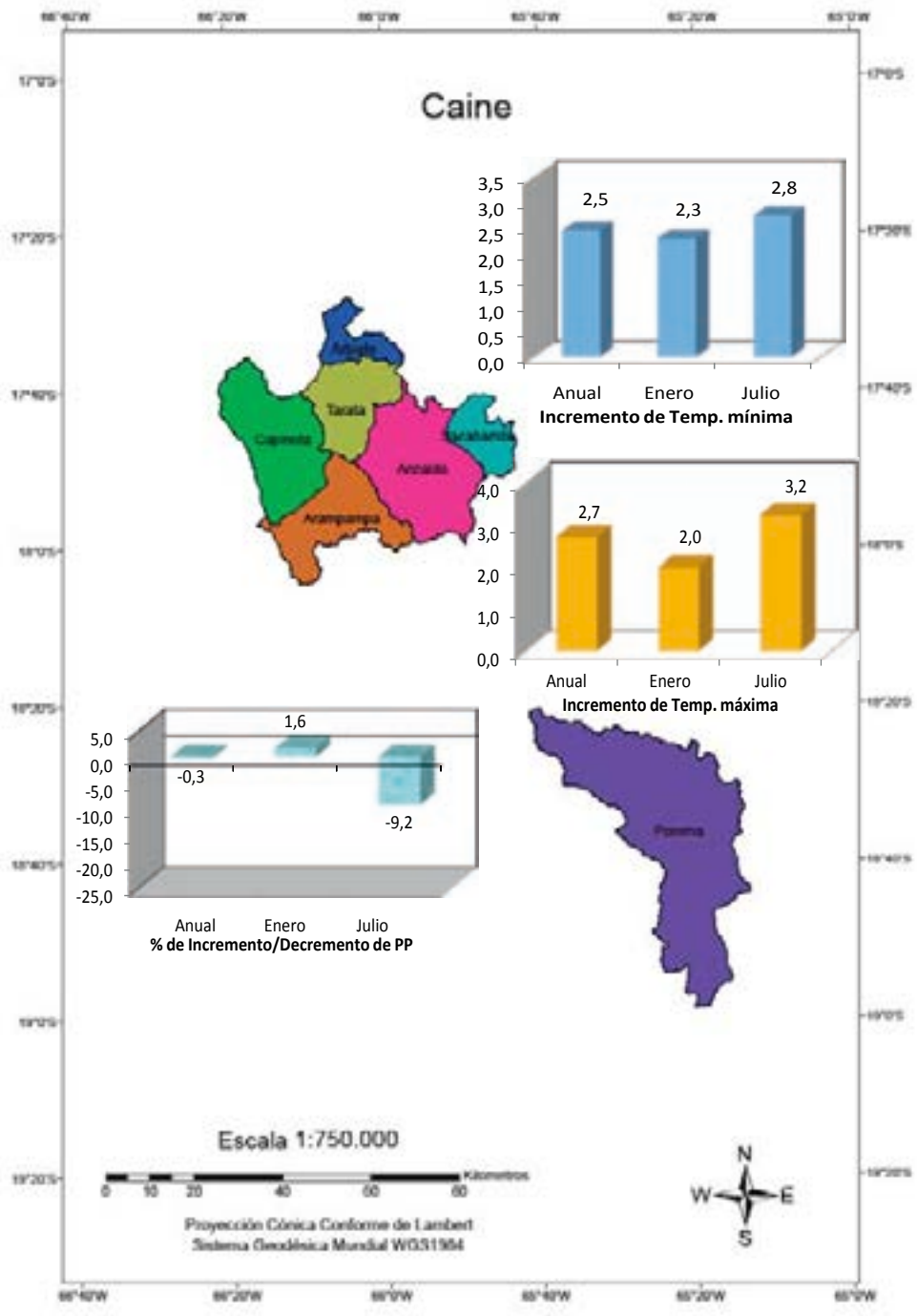
Mapa 3.5.
Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad Cintis.



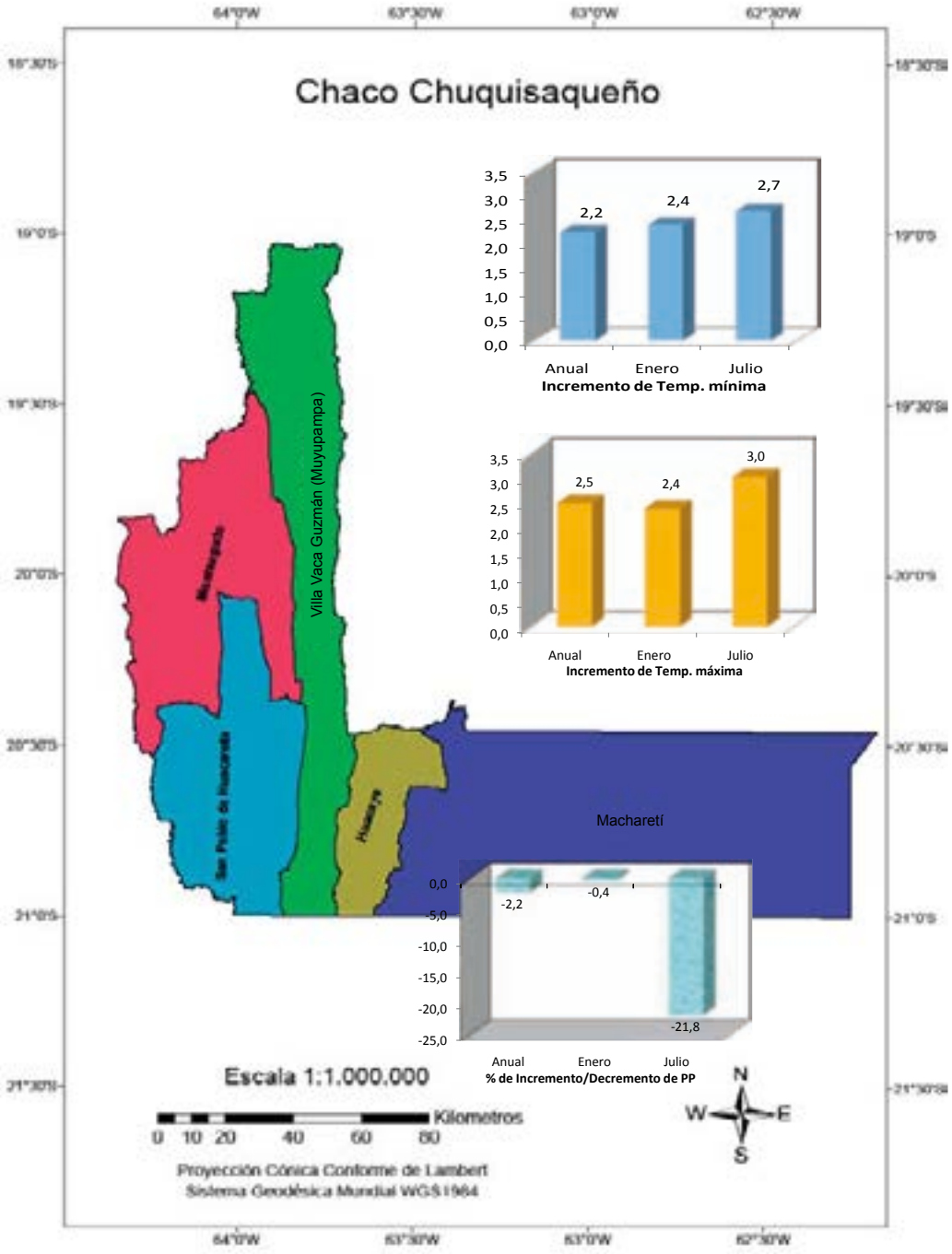
Mapa 3.6.
Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad de la Región Andina de Cochabamba.



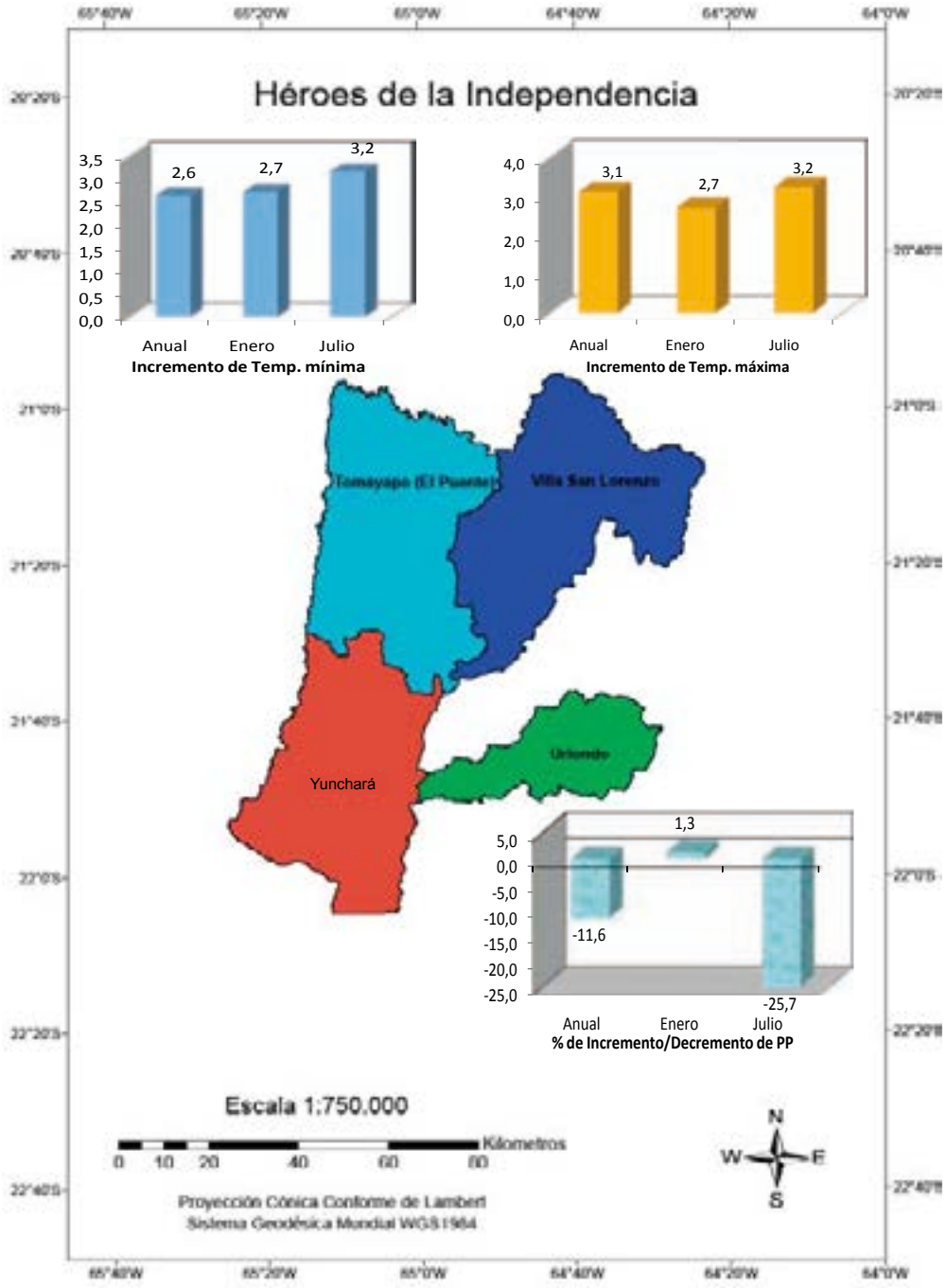
Mapa 3.7.
Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad del Caine.



Mapa 3.8.
Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad del Chaco Chuquisaqueño.



Mapa 3.9.
Incrementos térmicos (°C) y cambios de PP (%) previstos por el MCG ECHAM5 para 2050 para el pixel que engloba la Mancomunidad Héroes de la Independencia.



Sin embargo, estos números enmascaran variaciones importantes, pues el Norte Paceño Tropical presentará incrementos térmicos de mayor magnitud en invierno que en verano, seguramente enmascarados por la humedad atmosférica mayor de la época de lluvias. El mayor calentamiento para las zonas bajas ocurriría en octubre antes de la época de lluvias. La recepción de radiación solar sería intensa y la humedad atmosférica sería baja para compensar este proceso. En cambio las zonas altas y de altitud media, presentan calentamiento homogéneo a lo largo del año.

En el caso de la Tmín, el rango de calentamiento es similar, registrándose también los mayores valores de incremento en el mes de julio, que es la época seca. Un factor importante a ser analizado para acciones de adaptación es el hecho de que en parte de las zonas altas, la Tmín dejaría de presentar valores negativos, lo cual podría afectar la economía productiva de los agricultores, aunque también favorecería a la migración de sistemas productivos hacia otros de mayor impacto económico.

En el caso de la precipitación, se analizó el cambio como el incremento porcentual entre lo simulado para el futuro y lo simulado para el presente. En función a ello, se encontró que la precipitación media anual podría reducirse en todas las zonas con un rango medio de variación desde -0.3% en Norte Potosí y la Región Andina de Cochabamba hasta -11.6% en la zona de Héroes de la Independencia (Tarija). Sin embargo, existen datos estacionales que muestran que en enero se podría recibir cantidades modestamente mayores que las presentes, pero que el invierno representado por julio será significativamente más seco, pues muestra reducciones de entre 4% y 25% de la precipitación que se recibirá. Sin embargo, es necesario considerar que en invierno las cantidades de lluvia que se reciben al presente en la mayor parte de las zonas son muy reducidas, por lo que pequeñas variaciones absolutas se traducirán en grandes variaciones porcentuales. También es importante considerar que las máximas reducciones previstas de lluvia, coinciden con los periodos de máximo incremento térmico, lo que muy probablemente provocará mayores déficits de agua que conllevarían problemas especialmente de sequía y de conflictos por agua.

Sin embargo, también se debe tener en mente que los valores aquí presentados representan la variación media de la grilla y no valores específicos para cada estación, lo que se mostrará en los próximos capítulos.

3.5. CONCLUSIONES

La comparación de las MCG para las zonas de trabajo del PRRD muestra que todos ellos ofrecen información que puede ser relacionada con la observada en la estación meteorológica, y que requiere de correcciones relativamente consistentes en el tiempo y por lo tanto aplicables.

Los datos históricos muestran tendencias leves a que los modelos sobreestimen la precipitación en las zonas altas y la subestimen en zonas bajas.

Los modelos tienden a sobreestimar las temperaturas mínimas y a subestimar las máximas, lo cual se debe a la generalización y el promediado de las grillas, pues la información de estaciones de zonas tanto altas como bajas incluidas en cada pixel es promediada para obtener un valor único y por lo tanto es modificada.

La generación de escenarios, en general, proyecta leves tendencias de reducción de precipitaciones hasta el 2050, lo cual debe considerarse con cuidado para integrar estos datos en estudios de vulnerabilidad futuros.

Los mayores decrementos porcentuales en la precipitación se proyectan para la época invernal lo cual probablemente incremente el estrés hídrico, tanto en la demanda urbana como rural.

Se esperan incrementos térmicos de entre 2°C a 3°C, pero con variaciones estacionales de magnitud, siendo que la temperatura subirá más en invierno que en la época de lluvias, por ello en esta época el déficit hídrico será mayor y el riesgo de sequía también. Adicionalmente, este hecho coincide con el periodo de mayor disminución pluviométrica. Como mencionan varios autores,

las zonas con más vegetación muestran niveles de calentamiento menor a zonas áridas de altitudes medias, mientras que en el Altiplano se reduce el efecto, probablemente por mayor pérdida de radiación de onda larga por la baja humedad relativa que no permite acumulación energética.

Se debe recordar que estos resultados engloban lo que está proyectado por los MCG con sus grillas de tamaños considerables. En capítulos posteriores del trabajo, se analizarán estos cambios pero para los datos propios de las estaciones, lo que dará más luces para entender los procesos que ocurrirán en el futuro en las zonas de trabajo. Los resultados permiten concluir que la utilización del modelo ECHAM 5.0 es apropiada para su uso como modelo de borde para trabajos de regionalización en la zona de estudio.

Capítulo 4

Aplicación y calibración de técnicas de downscaling estadístico para el análisis de riesgos en las zonas de intervención del PRRD

4.1. INTRODUCCIÓN

El análisis realizado evidencia un calentamiento global del planeta que se traducen en olas de calor, sequías, inundaciones, etc.; y su incidencia general sobre la especie humana y su entorno demanda otro análisis de vulnerabilidad e impacto sobre los diversos sectores del desarrollo.

Con el fin de tener una aproximación de las características del clima futuro, se han obtenido proyecciones de la tendencia futura de estos cambios, utilizando modelos físico-matemáticos del clima, conocidos como Modelos de Circulación General (MCG). Los mismos simulan la dinámica de las relaciones del sistema climático (atmósfera, hidrósfera, criósfera, litósfera y biósfera) bajo distintos escenarios de emisión de Gases de Efecto Invernadero de origen antrópico que reproducen la evolución del clima. Sin embargo, la resolución espacial de estos modelos es limitada (~200 km), por lo que los escenarios globales no permiten analizar la magnitud de los potenciales impactos locales en los ecosistemas, la agricultura, la hidrología, etc., ya que no consideran el carácter heterogéneo regional ni local. En este marco, la información generada es aún más limitada para la predicción y análisis del riesgo climático local que usualmente ocurren en forma geográfica puntual y que no es percibida por la grilla de los MCG.

4.2. LA FUNCIÓN DEL DOWNSCALING (REGIONALIZACIÓN)

De acuerdo a la UNFCCC[1] el downscaling o regionalización es un método para obtener información climática o de cambio climático de alta resolución a partir de los resultados de los MCG, con el fin de aplicar a modelos de impacto que requieren información a mayor detalle.

La adaptación al cambio climático requiere diversas actividades genéricas que incluyan las características climáticas previstas dentro de la planificación de desarrollo de las comunidades. El clima cambiante provocará modificaciones en la frecuencia, intensidad y duración de eventos climáticos extremos, los cuales deben ser identificados considerando siempre su nivel de incertidumbre. Estos cambios en los extremos pueden afectar en la media, la varianza o la forma de las distribuciones probabilísticas, pero están inferidos dentro de la variabilidad natural del clima, la cual finalmente definirá sus características locales.

La tarea de reducir la escala de los resultados de los escenarios globales de cambio climático es clave para poder llevar a cabo de forma adecuada estudios de vulnerabilidad, impacto e identificar medidas de adaptación, que tengan en cuenta la variabilidad regional del clima y la influencia de las características de las zonas de estudio. Las dos metodologías que se utilizan en este proceso de reducción de escala son:

a) La regionalización dinámica. Utiliza modelos regionales del clima con una resolución mayor (hasta 25 km de grilla), representativos de un área limitada y están acoplados a modelos globales que proporcionan las condiciones de contorno para las simulaciones. El problema de esta técnica es que requiere de recursos computacionales muy elevados con un costo comparativo muy alto. Adicionalmente, zonas con fisiografía muy accidentada no son representadas, pues la grilla

1 http://unfccc.int/files/adaptation/methodologies_for/vulnerability_and_adaptation/application/pdf/statistical_downscaling.pdf. Obtenido en marzo de 2013.

aún reducida podría ser mayor que sus variaciones.

b) La regionalización estadística. Utiliza modelos empíricos para proyectar las condiciones climáticas futuras en localidades de características climáticas conocidas. Esta es una técnica muy barata, pero su principal debilidad es que asume que la validez de los modelos empíricos ajustados se mantendrá en el clima futuro.

Siendo que la regionalización o downscaling estadístico es una herramienta de fácil acceso con buenos resultados, diversos autores y agencias (UNFCC, Canadian Climate Change Scenarios Network, entre otros) sugieren su uso a nivel local. Estos autores[2] describen que entre los diversos métodos de regionalización o downscaling estadístico están:

1. Funciones de transferencia, basadas en modelos de regresión lineales y no lineales para derivar las relaciones entre predictandos locales y predictores de larga escala. Estos métodos son "generativos", en el sentido de que las predicciones se derivan de un modelo que se obtiene a partir de los datos de regresiones estadísticas.

2. Tipos de tiempo y métodos de análogos, basados en modelos de vecinos cercanos o de clasificación de tiempos en un número de grupos con similares series de tiempo meteorológico; normalmente estos métodos son no generativos, pues se basan en un procedimiento algorítmico para obtener la proyección.

3. Generadores de tiempo, que se utilizaron inicialmente para pasar de predicciones a una escala temporal superior a la deseada (por ejemplo, mensual o estacional, cuando se necesita predicción diaria), a través de la simulación estocástica de series de valores diarios consistentes con la climatología disponible. Posteriormente, se identificó su utilidad para la regionalización local por su capacidad de reproducir la climatología diaria, la cual, integrada con los resultados de los MCG, ha mostrado una amplia y barata aplicación para la evaluación de condiciones futuras locales.

4.3. GENERADORES DE TIEMPO COMO HERRAMIENTAS DE DOWNSCALING

La diversidad de técnicas de regionalización (downscaling) estadístico ha impulsado a que muchos autores lleven adelante estudios de comparación de sus resultados[3]. Los modelos de regionalización estadísticos más populares son el SDSM-Statistical DownScaling Model, (Wilby R. y Dawson C.) que es típicamente una función de transferencia y LARS-WG representando a los generadores de tiempo (Semenov M. y Barrow

2 UNFCCC (2005); Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change.

CCCSN. Downscaling Tools. Obtenido de http://www.cccsn.ec.gc.ca/?page=dst-intro en marzo de 2013.

Von Storch H., Hewitson B., y Mearns L.; Review of Empirical Downscaling Techniques. GKSS Research Center, Institute for Hydrophysics, Germany. Obtenido de http://regclim.met.no/rapport_4/presentation02/presentation02.htm en marzo de 2013.

3 Sajjad Khan M.,, Coulibaly P., Bibike Y., Paulin, Yonas Dibike, Uncertainty analysis of statistical downscaling methods; Stochastic Environmental Research and Risk Assessment; May 2011, Volume 25, Issue 4, pp 475-484.

Wilby, R.L. and Wigley, T.M.L. (1997) Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. Progress in Physical Geography, 21, 530–548.

Wilby, R.L., Wigley, T.M.L., Conway, D., Jones, P.D., Hewitson, B.C., Main, J. and Wilks, D.S. (1998) Statistical downscaling of general circulation model output: A comparison of methods. Water Resources Research, 34, 2995–3008.

E.), ambos desarrollados en Inglaterra. Los resultados muestran que los generadores de tiempo tienen mejor capacidad para capturar la variabilidad inter-diaria de los eventos, mientras que las funciones de transferencia y las redes neuronales producen resultados más representativos para la variabilidad interanual. Por lo tanto, el estudio de eventos extremos se realiza mejor con generadores de tiempo, como herramientas de downscaling estadístico.

Un generador estocástico de tiempo es un modelo que genera series de tiempo estadísticamente similares al tiempo observado en una localidad y con la misma variabilidad. En este caso, la metodología para la construcción de escenarios diarios y específicos para estudios de impacto de cambio climático, se basan en la calibración de los datos del Generador de Tiempo con los datos observados en una localidad. Los parámetros ajustados localmente son utilizados por el Generador Climático nuevamente, observandose datos futuros diarios que incluyen las variaciones previstas por el o los MCG.

La información provista por un generador de tiempo, debe ser validada antes de su aplicación. Para ello se emplea pruebas estadísticas que evalúan los resultados para una localidad y comparan similitudes entre el tiempo sintético y el observado. Una comparación de los valores medios y la dispersión de los factores climáticos es bastante común, mediante la aplicación de la Prueba "t" y Prueba "F". Sin embargo, se ha detectado que la prueba de Kolmogorov - Smirnov (KS) rinde resultados más satisfactorios. Es probable que la frecuencia y magnitud de los eventos meteorológicos extremos aumente con el cambio climático. Por lo tanto, esto también debe ser testeado para los objetivos del presente trabajo.

El modelo LARS-WG

LARS-WG 5.0 es uno de los WG (generador de tiempo por sus siglas en inglés) más populares en la comunidad de cambio climático (Semenov, *et al*., 1998). Es comúnmente usado para proyectar la actividad de condiciones de tiempo meteorológico severo (por ejemplo: actividad de tormentas, ondas de calor, olas de frío, periodos secos, etc.), y en base a la información diaria se puede generar escenarios climáticos mensuales. El generador estocástico ayuda a estimar la probabilidad de que en una estación, por ejemplo, la temperatura o precipitación presenten eventos extremos, permitiendo así analizar sus cambios en un planeta más caluroso. Los cambios en la condición media del clima y su variabilidad pueden hacer que los incrementos en temperatura o en precipitación extremas (colas de la función de probabilidad) sean mayores que los proyectados para la mediana, donde se identifica que el cambio climático podría ser más visible, a través de eventos extremos que de medias mensuales.

LARS-WG genera datos sintéticos diarios para una estación o punto a partir de condiciones observadas de precipitación, temperatura máxima, mínima y radiación. LARS-WG puede funcionar incluso sólo con series de precipitación diaria o con sólo un año de información diaria de entrada. Sin embargo, es recomendable utilizar todas las variables requeridas y en periodos adecuadamente largos para una simulación más realista, pues el modelo integra la nubosidad dada por la precipitación para representar cambios en la temperatura. Por ejemplo, un día con precipitación tendrá que estar relacionado con menor recepción de radiación solar y valores menores de temperaturas máximas.

Los cambios en la función de probabilidad generada por LARS-WG permiten estimar cómo serán los cambios en las medias y las condiciones extremas (Figura 4.1.). Por ejemplo, la probabilidad de un parámetro meteorológico bajo cambio climático puede distribuirse manteniendo la variabilidad pero incrementando la media (Figura 4.1. arriba), manteniendo la media y la variabilidad (Figura 4.1. centro), o incrementando ambos parámetros (Figura 4.1. abajo). Estas probables distribuciones son mostradas en los resultados producidos por el modelo LARS-WG para los parámetros de temperaturas máximas y mínimas, precipitación y radiación solar, siempre que estos sean introducidos como datos de entrada.

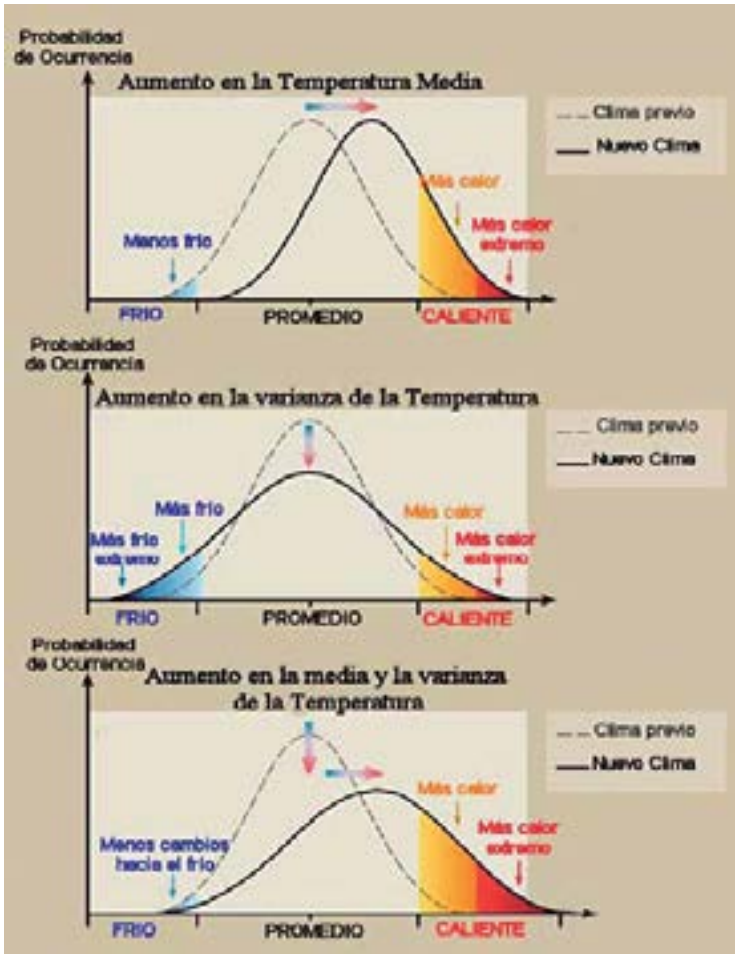
El modelo LARS-WG funciona para el punto en que fue generado y produce series sintéticas diarias de temperatura máxima y mínima, pre-

cipitación y radiación solar. El modelo distingue días secos y húmedos, dependiendo de si la precipitación es mayor que cero. La precipitación se modela utilizando distribuciones semi-empíricas de probabilidad para las series requeridas de días lluviosos y secos, así como la cantidad de precipitación en un día lluvioso. Una distribución semiempírica es un histograma con un número fijo de intervalos (10 en el caso de LARS-WG) y es lo suficientemente flexible para permitir la simulación precisa de varias estadísticas meteorológicas. La temperatura mínima, la temperatura máxima y la radiación se relacionan también con la precipitación e incluyen la consideración de la influencia de la nubosidad sobre estos parámetros, y así LARS-WG utiliza distribuciones separadas para los días lluviosos y secos para cada una de estas variables.

4.4. OBJETIVOS

El objetivo del presente capítulo es presentar los resultados del generador estocástico de tiempo LARS-WG (disponible en www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/mas-models/lasrwg.php) y evaluar su capacidad para simular adecuadamente la climatología diaria de las zonas de influencia del PRRD, utilizando como modelo global de frontera los resultados del MCG ECHAM5 que fueron evaluados en el Capítulo 3. Una vez testeado y calibrado con las series históricas, será posible asumir que el modelo tendrá la capacidad de generar datos futuros adecuados a la realidad local.

Figura 4.1.
Simulación de la variación de la función de probabilidad de la Tmáx de un punto cualquiera mostrando las variaciones que podrían ser identificadas en sus medias y sus colas.



4.5. METODOLOGÍA

Se trabaja con series de tiempo de las estaciones incluidas en el capítulo No. 2 (42 estaciones) distribuidas en las zonas de acción del PRRD o ubicadas en zonas cercanas a ellas. Estas series incluyen la información diaria de por lo menos Precipitación y en muchos casos también de las Tmáx y Tmín en función de la disponibilidad mostrada en la Tabla 2.1. Las series fueron filtradas en su consistencia para introducirlas en el Generador de Tiempo LARS-WG. Esto último es de mucha importancia pues las estadísticas de los eventos extremos no son explícitamente analizadas en su consistencia por LARS-WG. En otras palabras, las colas de la distribución observada deben estar bien representadas. Si por ejemplo, las temperaturas extremas se desvían de la distribución normal, LARS-WG que asume la normalidad de la distribución de las temperaturas, podría no representar adecuadamente los eventos extremos aunque la media y la varianza correspondan adecuadamente.

Las series climáticas observadas (preferentemente del periodo 1960-1990) fueron utilizadas para generar 30 años de datos diarios que deberían representar la distribución histórica de las estaciones utilizadas.

Las medias y desviaciones estándar de los datos generados fueron comparadas con la información observada. El test no-paramétrico de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (KS) que se aplica a todo tipo de distribuciones, fue usado para comparar las distribuciones de las poblaciones observadas y generadas. Se aplicó un nivel de significancia de 0.05 conociendo que cuanto mayor sea el valor *p*, más alta es la probabilidad de que las dos poblaciones sean iguales. Los percentiles 95 y 5 de las Temperaturas Máximas, Mínimas y Precipitación fueron analizados, tanto en sus medias como en sus máximos y mínimos.

4.6. RESULTADOS

4.6.1. Precipitación

4.6.1.1. Simulación de datos diarios y medias mensuales

Los valores de precipitación diaria fueron bien reproducidos por el modelo LARS-WG, lo cual es demostrado por el valor del estadístico KS que no rechazó ninguna de las series de las estaciones generadas. La Tabla 4.1, presenta un resumen del promedio mensual de la precipitación observada (O) y generada (G) de las estaciones incluidas en el estudio, junto con el estadístico KS calculado para la población y el valor *p*. En todos los casos, el estadístico es notablemente inferior al valor *p* de la distribución KS y cercano a 1, lo cual demuestra la similitud de las poblaciones. Las estaciones de Betanzos, Camargo, Sacaca y Curahuara de Carangas presentan valores moderadamente bajos del valor *p*. Estos resultados podrían sugerir que el generador no tiene una muy adecuada capacidad para reproducir las condiciones locales; sin embargo, su buena o muy buena capacidad mostrada para varias estaciones de las mismas zonas, sugieren que el problema se encuentra en los datos de partida. Estos son complejos de analizar pues se parte de la hipótesis de que los datos de partida tienen buena calidad. Con el fin de continuar con el trabajo, se considerará con cuidado los resultados de las estaciones mencionadas, siempre analizándolos en comparación con estaciones cercanas.

Tabla 4.1.
Promedio y desviación estándar de los promedios mensuales de las precipitaciones diarias generadas por el modelo LARS-WG para las estaciones meteorológicas, consideradas dentro del área de influencia del PRRD. Se presenta también el valor del estadístico KS y su valor *p* para una significancia del 95%.

Localidad		Media	Desv.	Estadístico KS	VALOR *p*
Anzaldo	O	44,3	28,9	0,1578	0,7854
	G	43,2	27,9		
Acasio	O	83,6	54,7	0,1200	0,8758
	G	86,4	49.6		
Betanzos	O	32,1	26,2	0,2417	0,5321
	G	31,4	18,5		

Localidad		Media	Desv.	Estadístico KS	VALOR p
Bolívar	O	38,9	29,3	0,1763	0,7803
	G	37,5	24,0		
Caiza D	O	35,9	37,7	0,1733	0,7538
	G	36,0	32,5		
Calacoto	O	33,3	30,1	0,1254	0,7993
	G	32,9	28,5		
Camargo	O	27,5	17,8	0,2593	0,5300
	G	26,9	16,5		
Capinota	O	44,9	29,8	0,1064	0,9197
	G	44,8	26,6		
Chaquí	O	45,0	24,4	0,1289	0,8350
	G	46,3	21,4		
Charaña	O	28,7	22,5	0,2196	0,7241
	G	28,9	21,3		
Corque	O	27,6	21,5	0,2185	0,6724
	G	25,3	19,0		
Culpina	O	29,4	19,7	0,1993	0,6333
	G	31,3	21,7		
Curahuara	O	41,7	49,1	0,2330	0,5803
	G	40,7	43,5		
El Puente	O	29,2	25,2	0,2012	0,6824
	G	29,8	21,8		
Guanay	O	163,2	98,4	0,1127	0,9760
	G	157,1	88,9		
Huacareta	O	74,6	42,7	0,1087	0,9811
	G	74,1	43,9		
Ixiamas	O	163,8	69,8	0,1246	0,9424
	G	168,4	72,1		
Las Carreras	O	22,0	16,4	0,2387	0,6970
	G	21,9	15,5		
Llallagua	O	48,0	19,1	0,1424	0,8287
	G	49,1	23,6		
Macharetí	O	62,8	47,5	0,2404	0,6348
	G	63,3	42,3		
Monteagudo	O	80,3	45,6	0,0949	0,9732
	G	80,1	48,2		
Morochata	O	62,4	38,2	0,1810	0,7644
	G	58,0	31,3		
Muyupampa	O	65,2	35,2	0,1342	0,8541
	G	65,0	38,3		
Patacamaya	O	53,3	31,1	0,1346	0,8553
	G	51,9	19,5		
Pocoata	O	21,0	18,6	0,1975	0,6770
	G	20,8	16,2		
Poroma	O	67,1	41,4	0,1334	0,8989
	G	67,4	38,6		

Continúa

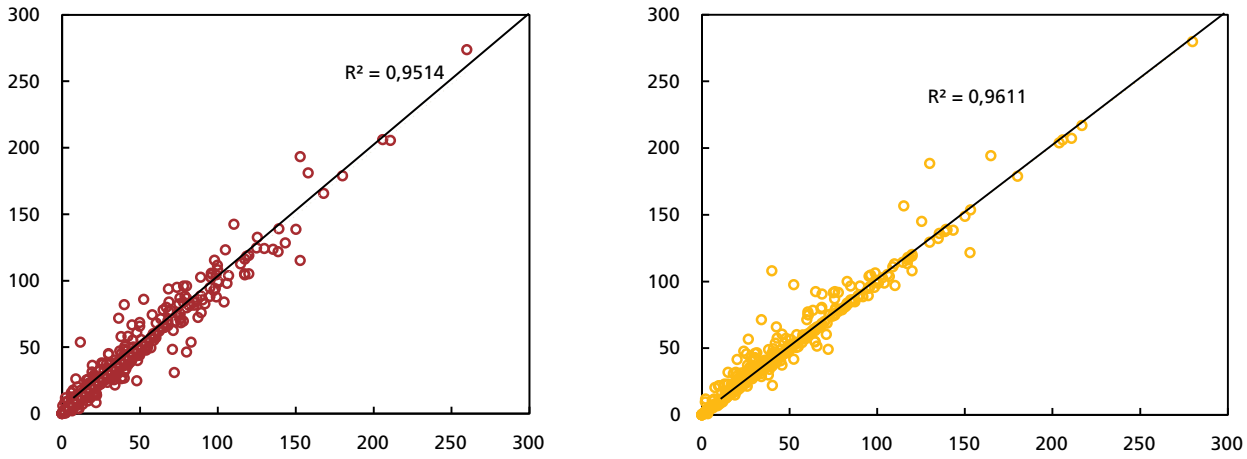
Localidad		Media	Desv.	Estadístico KS	VALOR p
Puna	O	36,2	23,0	0,1632	0,8545
	G	37,9	21,4		
Rurrenabaque	O	190,2	98,1	0,0793	0,9954
	G	199,1	97,6		
Sacabamba	O	57,2	49,9	0,1782	0,8178
	G	55,9	44,8		
Sacaca	O	64,9	32,5	0,2428	0,5810
	G	63,9	27,7		
Sajama	O	28,3	25,5	0,2589	0,6521
	G	29,1	23,1		
San Lorenzo	O	43,4	20,1	0,1787	0,7367
	G	41,5	20,9		
San Lucas	O	38,6	23,3	0,2497	0,5182
	G	38,3	22,6		
San Pedro	O	70,8	42,4	0,1316	0,8514
	G	67,6	39,6		
Sapecho	O	123,6	69,8	0,0691	0,9997
	G	130,5	65,9		
Tacacoma	O	70,9	42,1	0,0914	0,9868
	G	71,5	36,9		
Tarata	O	67,0	52,4	0,1778	0,8138
	G	66,3	46,4		
Tinguipaya	O	41,0	31,8	0,1758	0,7876
	G	39,0	23,0		
Tipuani	O	169,2	118,7	0,1594	0,8618
	G	166,3	112,5		
Torotoro	O	75,6	52,7	0,1206	0,8814
	G	76,2	43,4		
Villa Abecia	O	19,7	16,8	0,2007	0,7217
	G	20,3	17,3		
Yocalla	O	33,4	21,9	0,1931	0,7508
	G	34,9	18,0		

4.6.1.2. Generación de precipitaciones máximas diarias

La capacidad del generador también fue evaluada para los valores extremos de precipitación, pues la evaluación de riesgos requiere de un mayor énfasis en las colas de la distribución.

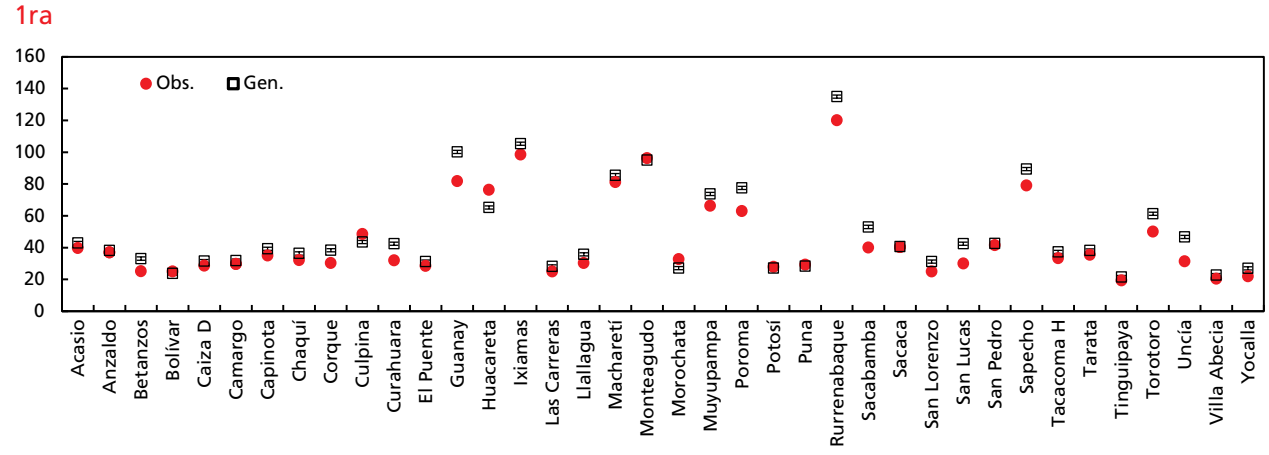
La Figura 4.2 a) muestra la comparación de los valores observados y de los generados del valor del percentil 95, de las precipitaciones máximas diarias en las estaciones incluidas en el estudio. Para todos los sitios hay una excelente aproximación entre la precipitación máxima observada y la generada en términos mensuales, situándose todos los valores alrededor de la recta 1:1. Siendo que la precipitación es una variable muy errática y que los valores comparados son los extremos, estos resultados muestran la capacidad del generador de representar la climatología local. La aplicación de la prueba KS, rinde un valor D = 0.007 que es inferior al valor del estadístico de referencia, con un nivel de significancia del 5%, por lo que se acepta la hipótesis que los valores estimados replican a los datos históricos significativamente. En el caso de la Figura 3 b) se presenta los valores de las precipitaciones máximas absolutas por mes en las estaciones consideradas. Aunque se observan algunos *outliers*, la gran mayoría de la población se agrupa alrededor de la *Curva* 1:1. Esto también se expresa a través del test KS cuyo estadístico es incluso inferior que en el primer caso con un valor D = 0.002, igualmente inferior al estadístico de referencia al 5%.

Figura 4.2.
a) Gráfico 1:1 del percentil 95 de la precipitación máxima mensual observada (eje x) vs. simulada (eje y) en mm/día para las estaciones incluidas en el estudio y presentadas en la Tabla 1.1. b) lo mismo pero para la precipitación máxima mensual absoluta.



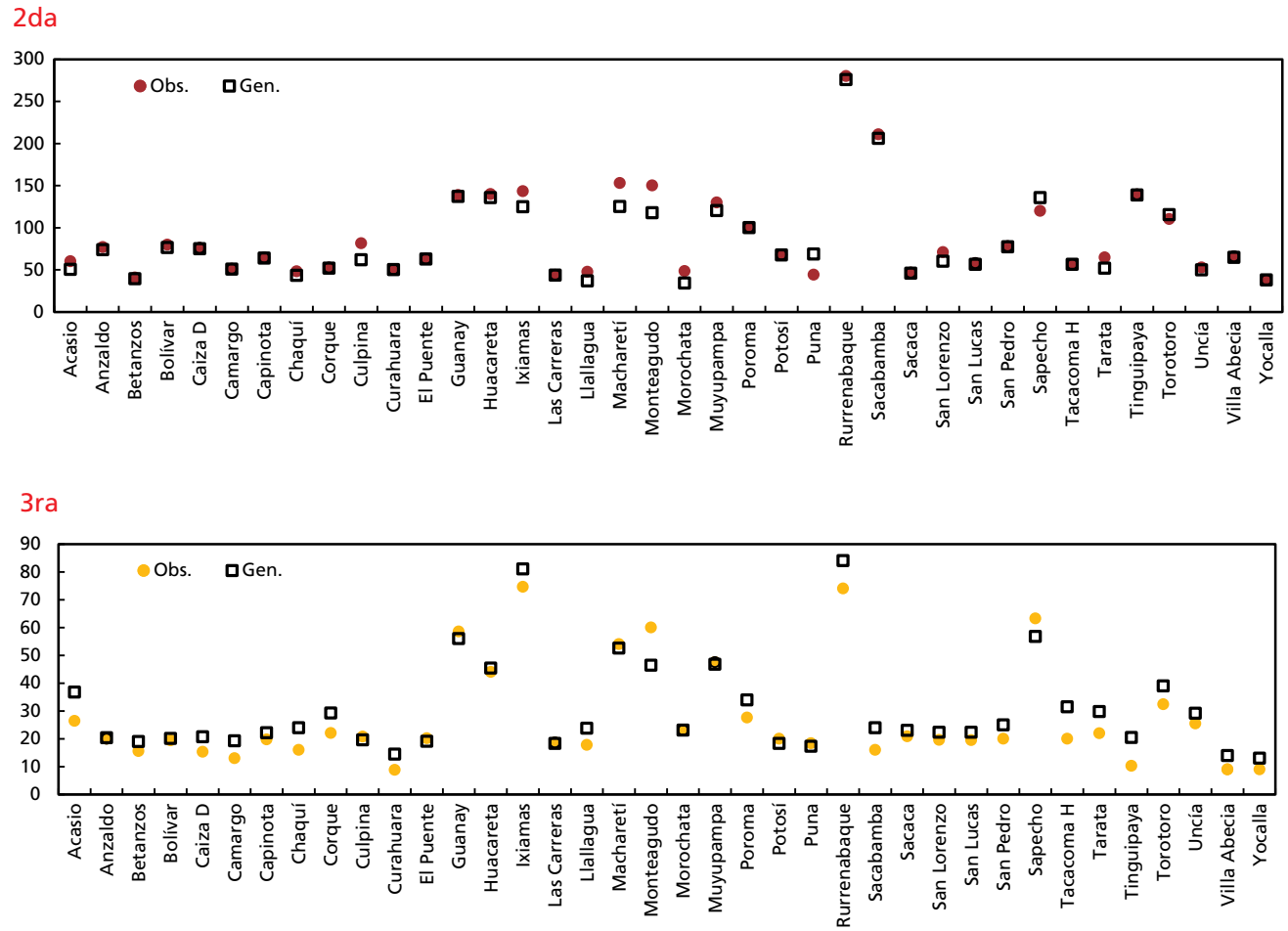
Con el fin de evaluar la capacidad del modelo para generar los eventos extremos de precipitación diaria, se calculó también la precipitación máxima diaria para cada año del registro. Se obtuvo la mediana, el máximo y el mínimo para todos los valores procesados, tanto para los datos observados como para los generados. La Figura 4.3, presenta los valores de la mediana, el máximo y el mínimo del registro interanual de los valores históricos de precipitación máxima anual del periodo de registros, comparados con los máximos observados en las estaciones de la Tabla 2.1. Los valores generados tanto para la mediana como para los extremos de precipitación máxima anual se encuentran en rangos muy concordantes en todos los casos, observándose solamente cierta sobre-estimación de los valores mínimos de precipitación máxima diaria. Sin embargo, tratándose de una variable tan errática como la precipitación, los rangos de sobre-estimación son muy reducidos para considerarse como importantes.

Figura 4.3.
(1ra) Mediana de precipitación máxima absoluta anual observada (mm/día) comparada con el mismo valor pero del registro generado por LARS-WG para cada estación citada en el eje x. (2da) lo mismo pero para la máxima del registro. (3ra) lo mismo pero para la mínima del registro.



Continúa

Figura 4.3.



4.6.2. Temperaturas Máximas (Tmáx)

4.6.2.1. Simulación de datos diarios y medias mensuales de Tmáx

En general, las variaciones de la Tmáx diaria, expresada en los promedios mensuales fueron bien representadas en las localidades analizadas, tal como se muestra en la Tabla 4.2. De las tres variables incluidas, la Tmáx es la mejor representada por el generador climático, como se observan los valores del estadístico KS y su gran diferencia con el valor *p* para todas las estaciones que permiten este análisis.

Tabla 4.2.
Promedio y desviación estándar de los promedios mensuales de las Tmáx diarias generadas por el modelo LARS-WG para las estaciones meteorológicas, consideradas dentro del área de influencia del PRRD. Se presenta también el valor del estadístico KS y su valor *p* para una significancia del 95%.

Localidad	Fuente	Media	Desv.	Estadístico KS	VALOR p
Anzaldo	O	20,1	1,3	0,1493	0,8949
	G	20,0	0,5		
Capinota	O	27,7	2,1	0,0880	0,9993
	G	27,8	0,6		
Chaquí	O	18,9	1,8	0,0927	0,9921
	G	18,9	0,6		

Continúa

Localidad	Fuente	Media	Desv.	Estadístico KS	VALOR *p*
Charaña	O	16,6	1,2	0,1319	0,9090
	G	16,7	0,4		
Culpina	O	20,6	1,0	0,1012	0,9706
	G	20,6	0,6		
Curahuara	O	21,2	2,8	0,1057	0,9847
	G	21,3	1,3		
El Puente	O	28,6	1,4	0,0924	0,9779
	G	28,7	0,5		
Llallagua	O	17,5	0,9	0,0925	0,9850
	G	17,4	0,4		
Monteagudo	O	27,7	1,7	0,0837	0,9923
	G	27,9	0,9		
Morochata	O	18,2	1,4	0,1188	0,9631
	G	18,2	0,5		
Muyupampa	O	26,7	1,7	0,1012	0,9619
	G	26,8	0,9		
Potosí	O	15,9	1,0	0,0707	0,9996
	G	15,9	0,4		
Puna	O	20,2	1,3	0,0836	0,9923
	G	20,3	0,6		
Rurrenabaque	O	30,8	1,1	0,0794	0,9995
	G	30,8	0,7		
Sacaca	O	22,4	1,0	0,0819	0,9853
	G	22,5	0,4		
San Lucas	O	24,4	1,2	0,1273	0,9401
	G	24,4	0,5		
San Pedro	O	26,8	1,0	0,1099	0,9704
	G	26,8	0,6		
Sapecho	O	30,7	1,0	0,1011	0,9780
	G	30,8	0,5		
Tarata	O	26,2	1,1	0,1055	0,9919
	G	26,2	0,5		
Tinguipaya	O	19,0	1,0	0,1099	0,9847
	G	18,9	0,4		
Toro Toro	O	24,6	1,5	0,1361	0,9323
	G	24,6	0,5		
Uncía	O	17,1	2,0	0,1012	0,9920
	G	17,2	0,9		
Yocalla	O	20,6	2,2	0,1232	0,9701
	G	20,6	0,7		

4.6.2.2. Generación de valores extremos mensuales de las Tmáx por mes

En el análisis de amenazas climáticas es imprescindible conocer la capacidad de cualquier generador de reproducir los valores extremos de las variables, en este caso la Tmáx. Con el propósito de evaluar la capacidad del LARS-WG de generar datos extremos, se compararon (Gráficos 1:1) los valores generados para el percentil 95 (valores por debajo de los cuales se encuentra el 95% de la población) y para el percentil 5 (valores por debajo de los cuales se encuentra el 5% de la población) Figura 4.4 de Tmáx extrema mensual del registro considerado. Estos valores también se conocen como días muy calientes y muy fríos, respectivamente, de acuerdo a las definiciones del Grupo de Análisis del Riesgo del IPCC.

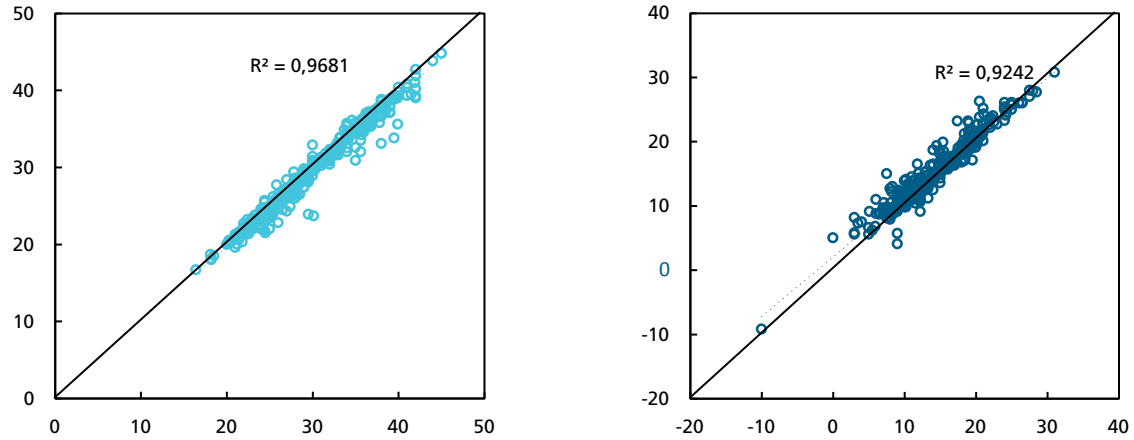
En los percentiles que muestran los valores más elevados y más bajos de la Tmáx, tanto observados como generados, se observa que el generador LARS-WG tiene una muy apropiada capacidad de reproducir la variabilidad diaria y los eventos extremos que podría alcanzar la variable. Este comportamiento demuestra que la distribución asumida por el generador (distribución normal) es adecuada para representar la Tmáx en las estaciones consideradas y, en general en Bolivia, representando bien tanto la media como las colas de esta distribución.

4.6.2.3. Estadística de los extremos anuales de Tmáx

Los valores anuales máximos de Tmáx fueron también evaluados en las estaciones que permitían este análisis, generando una población del número de años incluidos en los registros observados. De estas poblaciones se obtuvieron los valores de las medianas, máximos y mínimos, pues a futuro los valores máximos extremos de Tmáx podrían tener gran importancia mostrando los extremos térmicos que se enfrentará. La Figura 4.5. presenta los valores de la mediana, máximo y mínimo del registro interanual de los valores máximos anuales de temperatura máxima del periodo de registros observados comparados con los máximos generados por LARS-WG, para las estaciones que cuentan con registros de temperatura que permiten el mencionado análisis.

Asimismo, los valores mínimos anuales de la Tmáx fueron calculados y sus valores de mediana, máximos y mínimos dentro del registro interanual fueron evaluados en los registros observados y comparados por el LARS-WG (Figura 4.6.). Los valores analizados son los mismos de las estaciones, que en el caso de la Figura 4.5, cuentan con registros de temperatura de acuerdo a lo presentado en la Tabla 2.1.

Figura 4.4.
a) Gráfico 1:1 del percentil 95 de la Tmáx mensual observada (eje x) vs. simulada (eje y) en °C para las estaciones incluidas en el estudio y presentadas en la Tabla 1. b) lo mismo pero para el percentil 5.



Las Figuras 4.5 y 4.6 muestran que el generador climático LARS-WG tiene una amplia capacidad de reproducir los extremos de temperaturas máximas, incluso en las colas de la distribución también conocidos como valores extremos. Se aprecia una leve tendencia a la sobre-estimación de los valores mínimos de los extremos inferiores de Tmáx (Txn), la cual no excede los 2.5°C que influyen muy reducidamente en el total de las estimaciones. Adicionalmente, las olas de calor son extremos de mayor importancia que los días fríos, especialmente para las latitudes tropicales en Bolivia. Con el fin de evaluar la influencia de estas diferencias, se calculó el estadístico KS para

Figura 4.5.
(1ra) Mediana del registro de los valores máximos anuales de la temperatura máxima observada (°C) comparada con el registro generado por LARS-WG para cada estación citada en el eje x. (2da) lo mismo pero para la máxima del registro. (3ra) lo mismo pero para la mínima del registro.

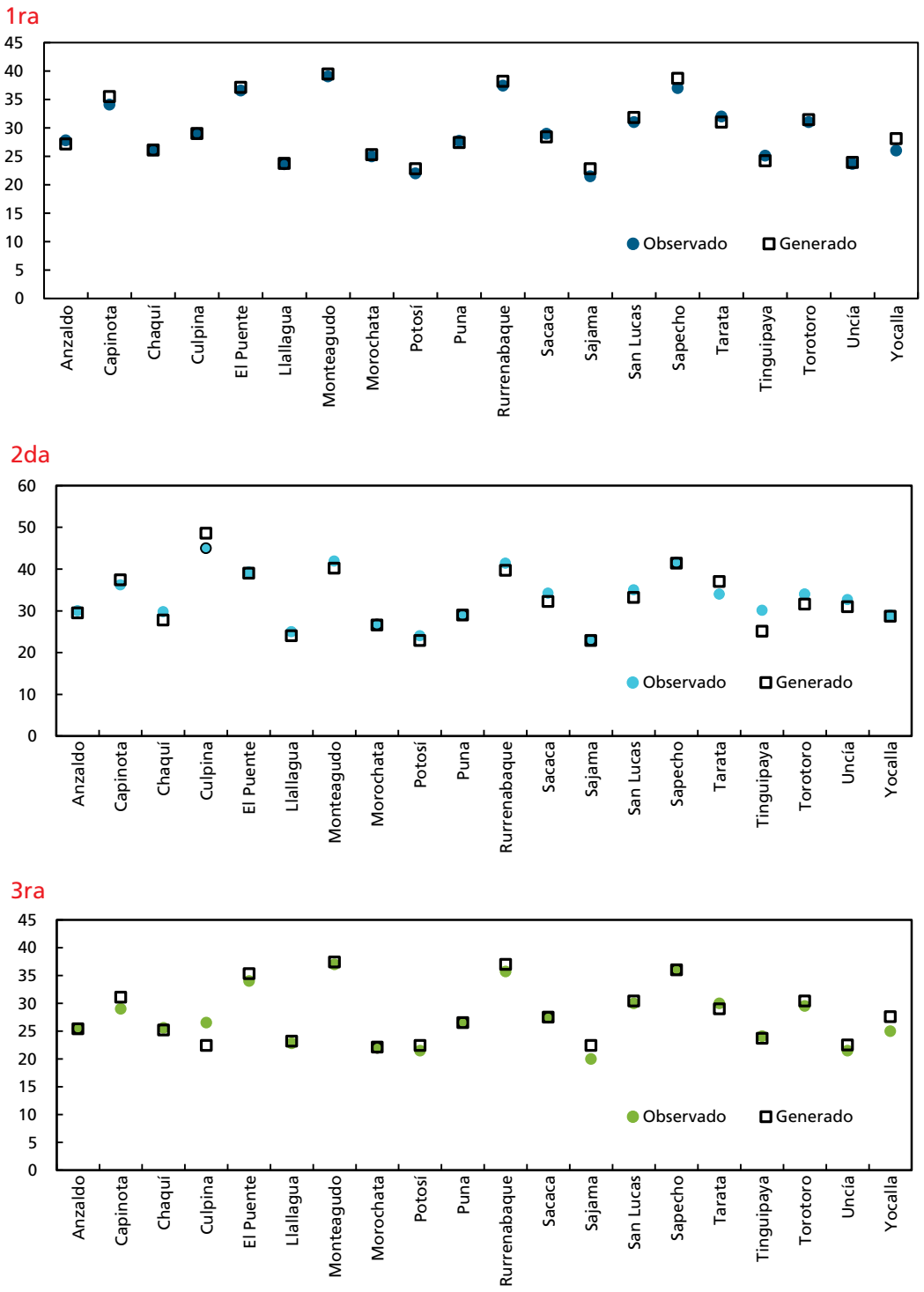
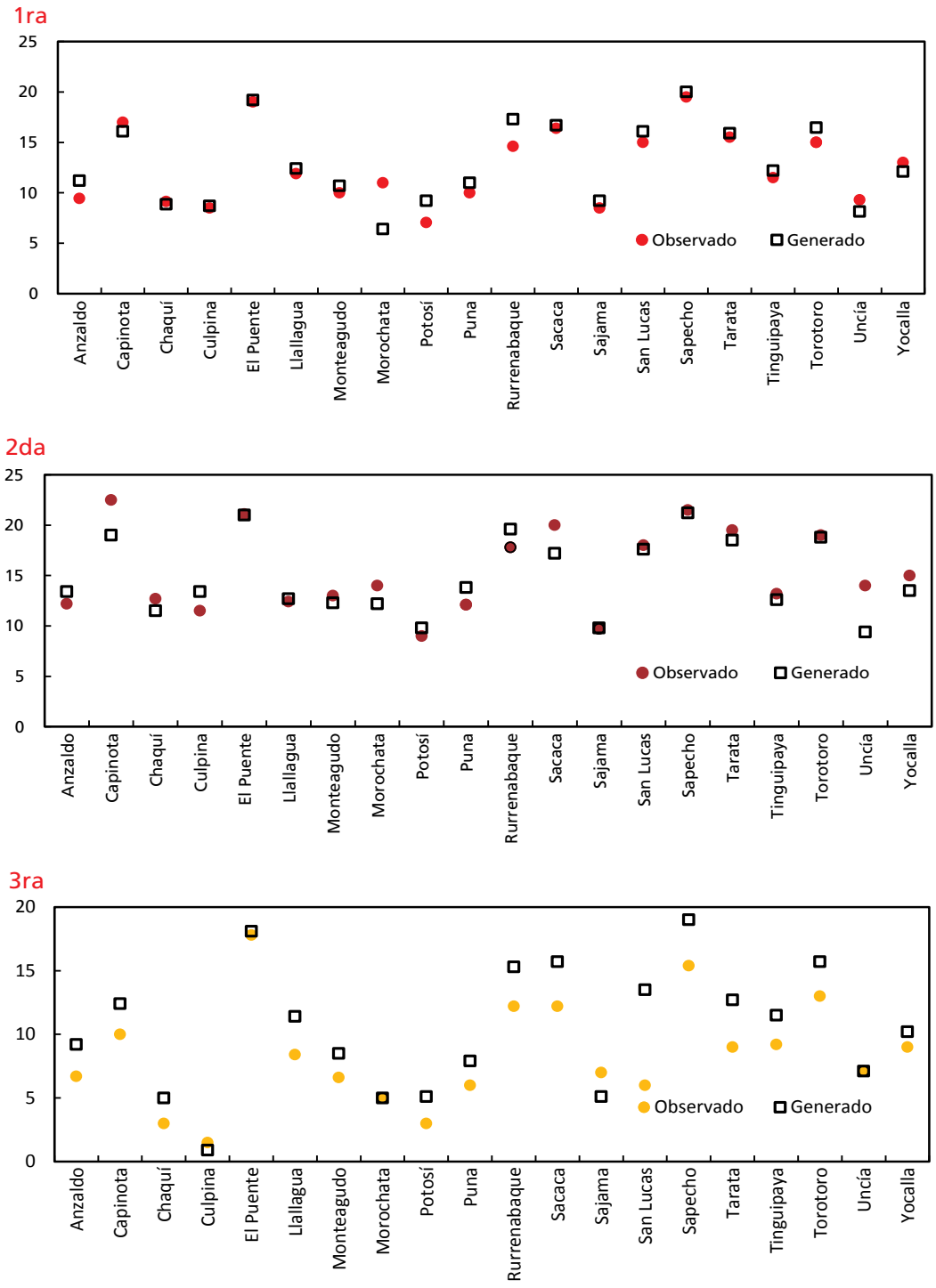


Figura 4.6.
(1ra) Mediana del registro de los valores mínimos anuales de la temperatura máxima observada (°C) comparada con el mismo valor pero del registro generado por LARS-WG para cada estación citada en el eje x. (2da) lo mismo pero para la máxima del registro. (3ra) lo mismo pero para la mínima del registro.



definir si las poblaciones son similares en los registros de las estaciones que presentaban diferencias mayores a 2°C. En todos los casos, el KS obtuvo valores menores que el "D" de referencia, por lo que se acepta la hipótesis de que no existen diferencias estadísticas con las observadas.

La capacidad de mostrar los eventos extremos máximos y mínimos de temperaturas es importante, pues dentro de los riesgos previstos a ser incrementados en un entorno de clima cambiante, podrían ser las colas de las distribuciones más importantes que el cambio en la media poblacional.

4.6.3. Temperatura Mínima (Tmín)

4.6.3.1. Simulación de datos diarios y medias mensuales

Continuando con la verificación de la capacidad del modelo LARS-WG de generar adecuadamente el pasado climático reciente, se comparó las Tmín de todas las zonas y se las agrupó para mostrar sus promedios anuales, los cuales se presentan en la Tabla 4.3.

En general, los promedios históricos anuales están bien representados por la población generada, así como los promedios mensuales. Se observa que la desviación estándar está subestimada por el generador climático, aunque sus valores son cercanos.

Los valores del estadístico KS se muestran muy reducidos y en todos los casos permiten aceptar con seguridad del 95%, la hipótesis nula de que las poblaciones generadas y observadas son iguales estadísticamente. Como en el caso de la Tmáx, los valores de tendencia central muestran que el generador climático reproduce adecuadamente la población promedio de las Tmín en todas las estaciones analizadas.

4.6.3.2. Generación de valores extremos mensuales de las Tmín por mes

Los extremos de los percentiles 5 y 95 de la variable Tmín denotan los valores térmicos más bajos que el 5% (noches muy frías) y los valores más altos que el 95% (noches muy calientes) de la población. Sus valores varían de mes a mes, por lo que el representar adecuadamente esta dispersión es una señal de que el generador climático la representa adecuadamente, así como las colas de la población histórica observada.

La Figura 4.7, muestra la comparación 1:1 de los percentiles 95 y 5 de la Tmín mensual histórica de todas las localidades estudiadas.

4.6.3.3. Estadística de los extremos anuales de Tmín

Los extremos anuales que representan a los valores mínimos y máximos extremos de la Tmín (TNn y TNx) fueron determinados para la población histórica y también para aquella generada con el fin de determinar si en niveles anuales se man-

Tabla 4.3.
Media y desviación estándar de los valores mensuales de las Tmín diarias generadas por el modelo LARS-WG para las estaciones meteorológicas consideradas dentro del área de influencia del PRRD. Se presenta también el valor KS y su valor *p* para una significancia del 95%.

Localidad	Fuente	Media	Desv.	Estadístico KS	VALOR *p*
Anzaldo	O	2,3	2,2	0,1451	0,8617
	G	2,2	1,5		
Capinota	O	8,5	2,2	0,0925	0,9992
	G	8,5	1,6		
Chaquí	O	4,0	1,9	0,0968	0,9920
	G	4,1	1,6		
Charaña	O	1,6	0,9	0,1215	0,9445
	G	1,6	0,4		
Culpina	O	4,2	1,3	0,0925	0,9924
	G	4,3	0,9		
Curahuara	O	-1,3	2,5	0,1143	0,9774
	G	-1,3	2,1		
El Puente	O	8,6	2,1	0,1099	0,9850
	G	8,5	1,6		
Llallagua	O	3,4	0,8	0,0969	0,9615
	G	3,3	0,6		
Macharetí	O	14,5	1,1	0,1450	0,8695
	G	14,7	0,9		
Monteagudo	O	12,9	1,2	0,0794	0,9995
	G	13,0	0,9		
Morochata	O	3,5	0,9	0,1100	0,9546
	G	3,5	0,7		

Continúa

Localidad	Fuente	Media	Desv.	Estadístico KS	VALOR *p*
Muyupampa	O	12,4	1,1	0,1451	0,8787
	G	12,3	0,8		
Pocoata	O	4,1	1,6	0,1302	0,9487
	G	4,2	1,2		
Potosí	O	-0,7	1,3	0,0935	0,9851
	G	-0,7	0,9		
Puna	O	3,3	1,6	0,0705	0,9997
	G	3,4	0,8		
Rurrenabaque	O	19,1	1,5	0,0838	0,9994
	G	19,2	0,5		
Sacaca	O	2,3	1,4	0,0968	0,9849
	G	2,4	1,3		
San Lucas	O	6,6	1,9	0,1056	0,9619
	G	6,6	1,6		
San Pedro	O	11,1	0,8	0,0750	0,9996
	G	11,2	0,6		
Sapecho	O	19,2	1,4	0,1143	0,9775
	G	19,2	0,9		
Tarata	O	6,2	1,9	0,1012	0,9920
	G	6,2	0,8		
Tinguipaya	O	3,8	0,8	0,1101	0,9613
	G	3,8	0,9		
Torotoro	O	8,4	1,8	0,1406	0,8936
	G	8,3	1,5		
Uncía	O	2,9	2,3	0,0820	0,9995
	G	3,0	1,5		
Yocalla	O	2,3	2,3	0,1187	0,9702
	G	2,2	1,6		

tiene la capacidad del LARS-WG de representar los extremos.

La Figura 4.8 presenta a la mediana, el máximo y el mínimo de la Tmín en las localidades consideradas en este análisis.

La Figura 4.9 presenta los estadísticos máximo, mediana y mínimo de las temperaturas anuales más elevadas de las Tmín (TNx) durante los registros disponibles de las estaciones consideradas y que permitían este análisis de acuerdo a lo presentado en la Tabla 2.1, en comparación con el mismo parámetro pero de los registros generados por LARS-WG.

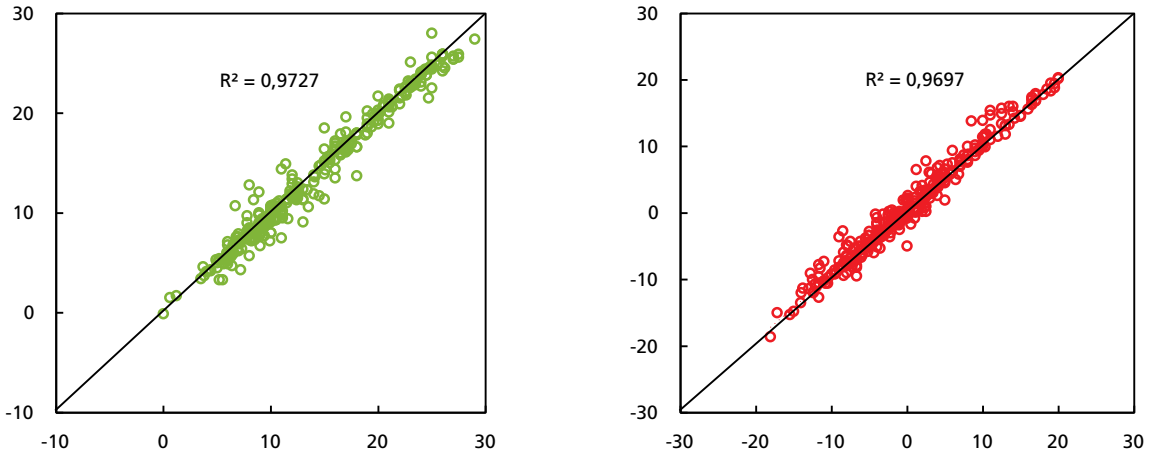
Respecto a la variable Tmín, LARS-WG tiene la capacidad de reproducir sus tendencias centrales, medidas de dispersión y extremos a través de poblaciones similares en su distribución y magnitud. Esta capacidad es de mucho valor para reproducir la variabilidad climática local, reflejada en la dispersión diaria de las variables aquí consideradas y se asume que en el futuro la generación estadística permitirá un análisis de impacto con menor incertidumbre.

4.7. DISCUSIÓN

En el presente capítulo se trabajó para mostrar la habilidad del LARS-WG de simular condiciones meteorológicas históricas promedio y extremas en 42 puntos de observación para la precipitación y en 18 para la temperatura, que representan a las zonas de influencia del PRRD. Esto se realizó bajo la hipótesis de que si el generador tiene la habilidad de representar adecuadamente las condiciones climáticas históricas, entonces, apoyado en los resultados del Modelo de Circulación General, será capaz de reducir el nivel de incertidumbres del clima futuro (décadas del 2020 y del 2050). Para ello, los niveles de similitud de las distribuciones simuladas y observadas, fueron evaluados a través de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (KS).

En este reporte se muestra la capacidad de LARS-WG para generar información histórica de tem-

Figura 4.7.
a) Gráfico 1:1 del percentil 95 de la Tmín mensual observada (eje x) vs. simulada (eje y) en °C para las estaciones incluidas en el estudio y presentadas en la Tabla 1. b) Lo mismo pero para el percentil 5.



peraturas tanto máxima como mínima y de precipitación, muy similar a la original en las estaciones incluidas en este estudio, siendo su comportamiento homogéneo sin diferencias en su eficiencia atribuible al ecosistema o a rangos térmicos. Para modelar temperatura, el generador asume que ésta sigue una distribución normal estándar, que aunque en otras zonas no parece totalmente cierta, en Bolivia se percibe como adecuada, especialmente para la Tmáx. La razón para este comportamiento correcto estaría en la ubicación latitudinal del país que determina una distribución térmica muy homogénea a lo largo del año, reduciendo perturbaciones estacionales marcadas y típicas de zonas de latitudes más elevadas.

En general, la desviación típica y la varianza son levemente subestimadas por LARS-WG, debido a que el programa tiene una estructura de autocorrelación que determina una distribución más aleatoria, mientras que en la realidad, los datos observados contienen muchos periodos en los que la precipitación o la temperatura están altamente correlacionados. A pesar de esta pequeña limitación, los valores extremos no sufrieron reducción de la calidad de generación, pues las Figuras 4.4. y 4.7. muestran que tanto los percentiles 95 y 5 de temperaturas y las máximas extremas anuales de precipitación se generaron adecuadamente gracias a los algoritmos estadísticos incluidos en el modelo LARS-WG que ha sido ampliamente usado para evaluar riesgos climáticos futuros.

4.8. CONCLUSIONES

La magnitud de los valores generados fue muy cercana a los datos observados, siendo la variable mejor reproducida la temperatura máxima. De acuerdo a la prueba estadística KS, las poblaciones generadas fueron aceptadas como representación de las variables observadas, demostrando que la reconstrucción de información histórica a través del downscaling estadístico es mucho más precisa que aquella llevada adelante únicamente con información directa de MCG, los que efectivamente mostraron problemas de sub y sobreestimación de las variables climáticas (Capítulo 3).

El generador climático LARS-WG es capaz de reproducir la variabilidad diaria de las estaciones meteorológicas incluidas en el estudio, así como los valores promedios y de dispersión de las variables históricas observadas. De esta manera, es posible proseguir el análisis hacia la generación de bases de datos climáticas al 2020 y al 2050, considerando que el modelo LARS-WG ha demostrado que puede reproducir la variabilidad climática de las zonas estudiadas y que, entonces, podrá generar información confiable y adaptada localmente sobre la variabilidad climática futura en un mundo con clima cambiante.

Figura 4.8.
(1ra) Mediana del registro de los valores mínimos anuales de la Tmín observada (°C) comparada con el mismo valor pero del registro generado por LARS-WG para cada estación citada en el eje x. (2da) lo mismo pero para la máxima del registro. (3ra) lo mismo pero para la mínima del registro.

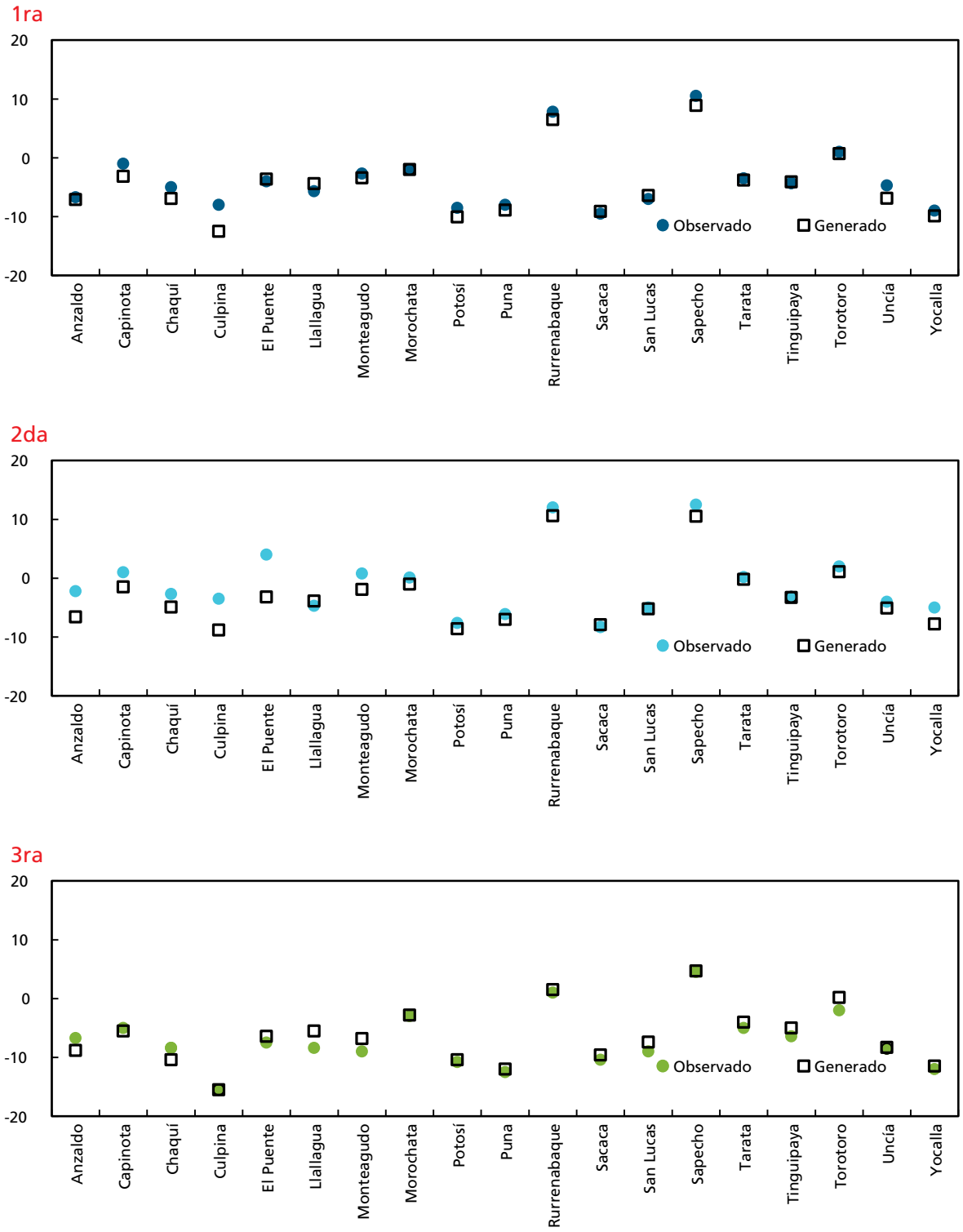
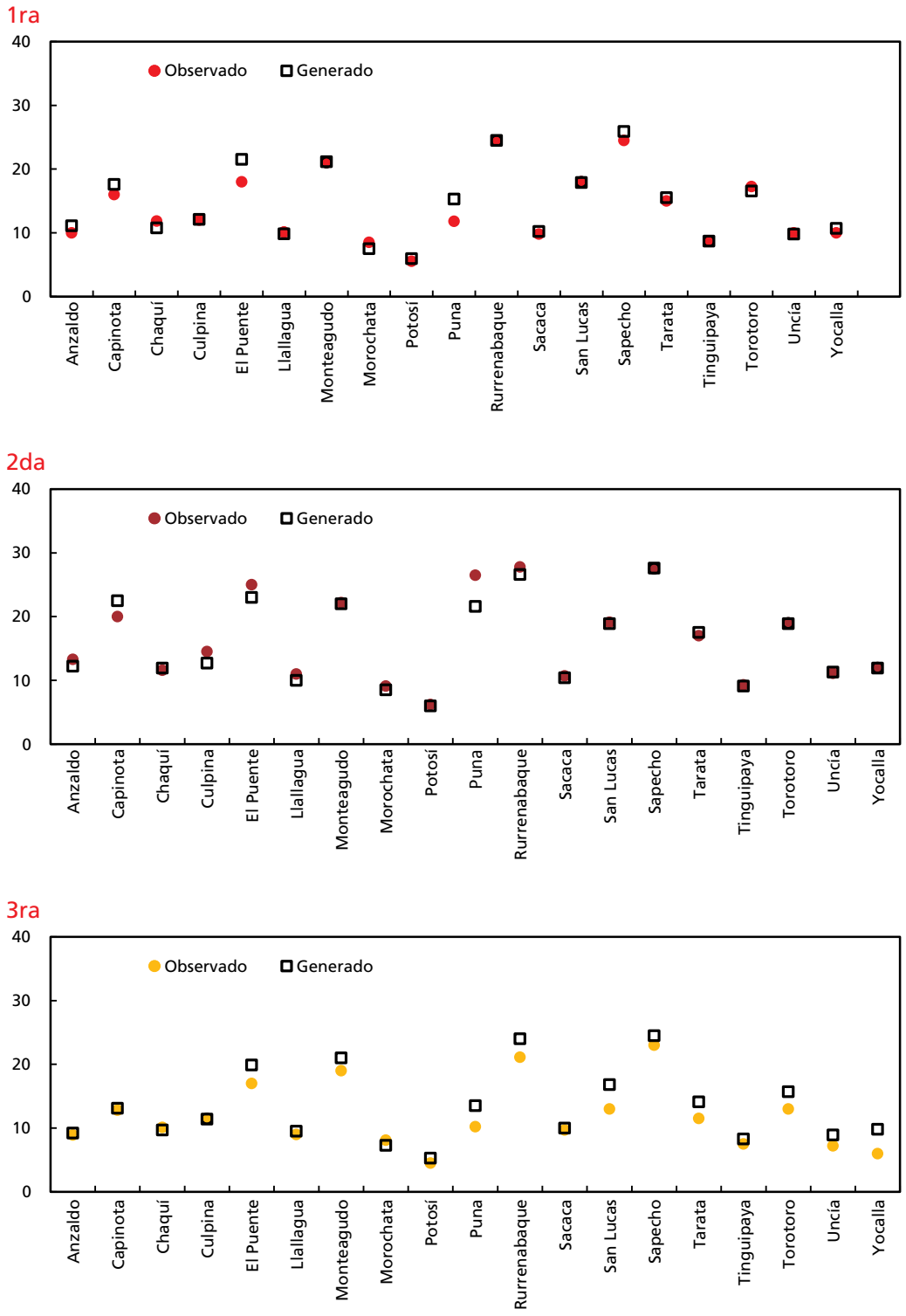


Figura 4.9.
(1ra) Mediana del registro de los valores máximos anuales de la Tmín observada (°C) comparada con el mismo valor pero del registro generado por LARS-WG para cada estación citada en el eje x. (2da) lo mismo pero para la máxima del registro. (3ra) lo mismo pero para la mínima del registro.



Capítulo 5

Descripción de la base de datos climáticos futuros generados para las zonas de influencia del PRRD y variaciones esperadas

5.1. INTRODUCCIÓN

Para estimar el clima futuro de una zona se requiere dos métodos: uno global (Modelo de Circulación General-MCG) el cual otorga las condiciones de frontera (generales atmosféricas) y el otro regional o estadístico, denominado *downscaling* que genera condiciones típicamente locales para la zona de trabajo.

El downscaling se basa en métodos estadísticos o dinámicos, siendo los primeros de uso más frecuente por su bajo costo computacional y su corto tiempo de aplicación, además de describir mejor las particularidades locales de las zonas, especialmente en áreas fisiográficas muy heterogéneas. La ejecución del downscaling es muy importante para delinear acciones y políticas de frente a los riesgos climáticos, y otorga información detallada sobre características futuras de las variables climáticas.

En el Tercer Capítulo del presente trabajo, se llevó adelante el análisis de la aplicación de tres MCG (los de mayor uso para la zona andina) para generar un registro histórico de las estaciones que cuentan con registros adecuados para tal fin (Tercer Capítulo) y se extrapoló los resultados a las otras estaciones, con el fin de seleccionar, cuál de estos MCG servirían como frontera para el trabajo de generación climática diaria futura. Una vez definido que el modelo ECHAM5 es el que presenta mejor correlación con las condiciones históricas (aunque requiera de correcciones sistemáticas), se lo asumió para actuar de modelo de borde.

En el Capítulo Cuarto, se presentaron los resultados de la evaluación del modelo LARS-WG para generar datos climáticos diarios como línea base (condiciones históricas) con el fin de analizar su capacidad de generar poblaciones estadísticamente iguales y climáticamente similares a los datos reales, mostrando que efectivamente las poblaciones generadas poseen las características climáticas y la variabilidad de las zonas de influencia del PRRD.

Con esta capacidad demostrada y bajo la frontera del MCG seleccionado (ECHAM5), se presentan los resultados de la generación estocástica de la información climática futura y se evalúa esa base de datos generada por el modelo LARS-WG, especialmente en su medida de tendencia central.

5.2. METODOLOGÍA

La construcción de la base de datos se realizó por medio de la aplicación del modelo LARS-WG, el cual fue validado para las estaciones analizadas, siguiendo la metodología descrita en el Capítulo 4, que básicamente incluye:

- Generación de datos diarios de las estaciones presentadas en la Tabla 2.1, a partir de corridas realizadas y comparadas con series mensuales y diarias de las variables de temperatura y precipitación.
- Análisis de correlación de información obtenida por medio de gráficos 1:1 y la prueba estadística de KS, para cada parámetro de las medidas de tendencia central mensuales.
- Análisis de correlación de información obtenida por medio de gráficos 1:1 y la prueba estadística de KS, para cada parámetro de las medidas de dispersión analizados en los percentiles 95 y 5 y los valores extremos.

Conocida la confiabilidad del modelo para generar información climática local incluyendo su variabilidad, éste fue aplicado para construir una base de datos de información diaria de Tmáx, Tmín y PP para las zonas de influencia y en el futuro. Se espera obtener, con bajo nivel de incertidumbre, una base de datos climática que incluya la variabilidad intrínseca local y la señal de cambio climático indicada por un MCG.

En este caso, se trabajó con datos de base de 42 estaciones meteorológicas para generar información climática esperada para la década del 2020 y la del 2050 contando como modelo base al ECHAM5.0, bajo el escenario A2[1] y de acuerdo a la descripción de la Tabla 2.1. Se trabajó con el escenario A2 porque las tendencias actuales de emisiones de Gases de Efecto Invernadero han sobrepasado las estimaciones optimistas y es previsible que no se alcancen sus metas, además que convenios vinculantes como el Protocolo de Kyoto presentan objetivos poco ambiciosos que han sido incumplidos; por ello se aconseja evaluar el futuro en base al escenario pesimista postulado por el IPCC.

En todos los casos, se generó una población futura de 30 años de información diaria la cual no corresponde a ningún año en particular, sino a la serie estadísticamente probable en los periodos 2020-2030 y 2045-2055. Los datos generados fueron comparados con el registro histórico, tanto en sus valores mensuales como diarios, con el fin de evaluar no solamente la variación media esperada para el futuro, sino también la ocurrencia de eventos extremos. En este capítulo se presenta la evaluación de los datos agrupados mensualmente para las zonas de acción del PRRD.

5.3. RESULTADOS

5.3.1. Precipitación

5.3.1.1. Variaciones medias mensuales

La Tabla 5.1 presenta la cantidad de precipitación trimestral y anual promedio que reciben las zonas analizadas en el presente trabajo. Asimismo, la Tabla 5.2 presenta los valores de cambio en porcentajes entre los promedios de los registros futuros (año 2020 y año 2050) y los registros de la línea base. La Tabla 5.2 presenta los valores de cambio en forma trimestral y anual. Esta información también se encuentra reflejada en los mapas del 1 a 36, que describen en forma gráfica las variaciones observadas.

La precipitación en un año presenta cambios no significativos en la cantidad e intensidad. Se observa en los municipios y zonas estudiadas, tendencias a reducciones o incrementos anuales de aproximadamente el 4%, con valores extremos de incremento del 6% o reducción del 10%, siendo los municipios de la zona Andina (Altiplano y Región Andina de Cochabamba) y de los Cintis los que mayor reducción anual presentarían en forma persistente tanto en el futuro cercano como a mediados de siglo.

1 El **escenario A2** describe un mundo muy heterogéneo basado en la preservación de las identidades locales. Los patrones de fertilidad de las regiones convergen lentamente, lo que se traduce en un aumento de población constante. El desarrollo económico está orientado regionalmente, y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico fragmentado. El escenario A2 podría considerar la descripción del mundo tal y como evolucionará de mantener nuestro actual comportamiento.

Tabla 5.1.
Precipitación acumulada (mm) del registro histórico en los puntos analizados. Se presentan los datos promedio para los trimestres de enero a marzo (E-M), abril a junio (A-Jn), julio a septiembre (JI-S), octubre a diciembre (O-D) y el promedio anual.

Localidad	E-M	A-J	J-S	O-D	ANUAL
Acasio	510,9	75,0	53,9	331,5	971,4
Andamarca	190,1	9,7	10,9	104,8	315,5
Anzaldo	292,4	35,0	18,3	151,7	497,4
Apolo	538,5	238,0	166,3	398,2	1341,0
Arampampa	510,9	75,0	53,9	331,5	971,4
Arque	287,6	30,7	18,8	128,5	465,5
Arbieto	292,4	35,0	18,3	151,7	497,4
Betanzos	239,7	21,4	9,6	123,2	394,0
Bolívar	287,6	30,7	18,8	128,5	465,5
Caiza D	271,6	27,6	14,5	126,7	440,5
Calacoto	262,1	24,1	19,9	119,2	425,3
Callapa	262,1	24,1	19,9	119,2	425,3
Camargo	210,7	4,6	7,4	155,8	378,3
Capinota	304,5	28,9	22,1	177,4	532,9
Caripuyo	333,4	29,2	16,9	206,6	586,1
Chaquí	297,1	30,4	15,7	202,1	545,4
Charaña	212,6	14,8	8,6	71,8	307,8
Chayanta	333,4	29,2	16,9	206,6	586,1
Corque	190,1	9,7	10,9	104,8	315,5
Culpina	195,1	50,9	6,1	128,7	380,8
Curahuara de Carangas	212,6	14,8	8,6	71,8	307,8
El Puente	189,8	9,1	7,5	171,0	377,3
Guanay	865,3	321,8	202,7	593,4	1983,2
Huacareta	456,5	95,6	29,2	292,4	873,6
Huacaya	482,9	139,6	59,1	259,0	940,7
Huayllamarca	190,1	9,7	10,9	104,8	315,5
Incahuasi	195,1	50,9	6,1	128,7	380,8
Ixiamas	768,4	303,7	270,1	624,0	1966,2
Las Carreras	185,5	16,8	6,5	89,4	298,3
Macharetí	353,2	125,6	18,7	243,1	740,6
Mapiri	865,3	321,8	202,7	593,4	1983,2
Monteagudo	482,9	139,6	59,1	259,0	940,7
Muyupampa	378,1	103,2	26,2	310,9	818,3
Pocoata	333,4	29,2	16,9	206,6	586,1
Porco	242,8	19,1	12,4	115,6	390,0
Poroma	474,8	38,9	34,7	285,9	834,3
Puna	222,1	32,5	24,9	156,4	435,9
San Buenaventura	973,4	511,3	329,1	676,9	2490,7
Sacabamba	478,9	55,7	19,8	239,2	793,6
Sacaca	492,3	36,9	17,4	242,2	788,9
San Lorenzo	287,9	35,8	18,1	173,0	514,8
San Lucas	335,0	15,1	21,4	143,4	514,8
San Pedro	483,6	64,3	55,9	250,1	853,9
San Pedro de Totora	212,6	14,8	8,6	71,8	307,8
Sicaya	287,6	30,7	18,8	128,5	465,5
Tacacoma	485,4	120,5	48,8	218,0	872,8

Continúa

Localidad	E-M	A-J	J-S	O-D	ANUAL
Tacobamba	242,8	19,1	12,4	115,6	390,0
Tarata	517,1	54,7	17,6	227,8	817,2
Tacopaya	287,6	30,7	18,8	128,5	465,5
Tapacarí	287,6	30,7	18,8	128,5	465,5
Teoponte	865,3	321,8	202,7	593,4	1983,2
Tipuani	865,3	321,8	202,7	593,4	1983,2
Tinguipaya	354,5	26,8	8,6	112,8	502,7
Tomave	242,8	19,1	12,4	115,6	390,0
ToroToro	498,5	47,8	28,5	332,3	907,1
Urmiri	242,8	19,1	12,4	115,6	390,0
Uriondo	287,9	35,8	18,1	173,0	514,8
Villa Abecia	176,4	13,3	6,2	58,8	254,7
Yocalla	242,8	19,1	12,4	115,6	390,0
Yunchará	189,8	9,1	7,5	171,0	377,3

Tabla 5.2.
Porcentaje de cambio de precipitación trimestral (%) que sería recibida en el futuro cercano y a mediados de siglo. Se presentan los datos promedio para los trimestres enero a marzo (E-M), abril a junio (A-Jn), julio a septiembre (Jl-S), octubre a diciembre (O-D) y el promedio anual.

Municipio	Año	E-M	A-Jn	Jl-S	O-D	ANUAL
Acasio	2020	17,961	-2,646	-22,535	-19,626	4,681
	2050	21,425	-4,725	-21,448	-18,294	5,001
Andamarca	2020	-5,755	-24,405	-11,604	-3,027	-5,758
	2050	-7,582	6,727	4,909	-12,127	-8,833
Anzaldo	2020	-0,695	-1,946	-7,308	0,560	-0,136
	2050	3,723	-11,278	-0,800	0,493	1,636
Apolo	2020	4,720	-15,648	5,498	1,480	0,886
	2050	10,309	-17,762	0,299	0,126	1,677
Arampampa	2020	-0,422	-1,511	-8,210	0,016	-0,188
	2050	6,451	-6,943	-9,519	-1,223	3,193
Arque	2020	-6,282	4,046	18,420	-1,670	-4,963
	2050	-5,570	-4,295	24,389	-0,519	-4,768
Arbieto	2020	-7,539	-4,505	-9,219	-0,902	-4,699
	2050	-4,309	-8,882	-7,477	-1,765	-2,916
Betanzos	2020	-4,002	5,351	8,773	7,877	-5,511
	2050	-1,515	0,926	23,725	3,856	-4,925
Bolívar	2020	-6,282	4,046	18,420	-1,670	-4,963
	2050	-5,570	-4,295	24,389	-0,519	-4,768
Caiza D	2020	-7,252	24,844	-26,680	-14,298	-6,441
	2050	-5,440	21,998	-17,278	-18,619	-6,999
Calacoto	2020	0,179	5,808	8,131	-3,227	-1,662
	2050	0,887	3,363	18,237	-2,930	-1,408
Callapa	2020	5,677	-7,347	-12,256	-1,252	-3,917
	2050	2,742	-4,653	-4,062	-7,095	-1,736
Camargo	2020	-19,185	-21,359	9,275	4,424	-6,671
	2050	-17,492	-21,334	19,545	-2,359	-8,199
Capinota	2020	-0,422	-1,511	-8,210	0,016	-0,188
	2050	6,451	-6,943	-9,519	-1,223	3,193

Municipio	Año	E-M	A-Jn	Jl-S	O-D	ANUAL
Caripuyo	2020	-6,727	-23,624	3,635	-14,029	-10,413
	2050	-7,195	-28,192	15,675	-13,044	-10,968
Chaquí	2020	0,435	-9,548	18,136	-3,545	-1,211
	2050	2,592	-14,263	26,578	-6,266	-1,255
Charaña	2020	0,179	9,808	28,131	-3,227	-1,662
	2050	0,887	3,363	25,237	-2,930	-1,408
Chayanta	2020	-6,727	-23,624	3,635	-14,029	-10,413
	2050	-7,195	-28,192	15,675	-13,044	-10,968
Corque	2020	-5,755	-24,405	-11,604	-3,027	-5,758
	2050	-7,582	6,727	4,909	-12,127	-8,833
Culpina	2020	-0,955	-6,698	-5,751	1,471	-3,121
	2050	0,728	-8,656	-1,526	-4,275	-4,168
Curahuara de Carangas	2020	5,677	-17,347	2,256	-10,252	-9,917
	2050	2,742	-24,653	8,062	-9,095	-1,736
El Puente	2020	4,116	-9,053	-10,167	-0,184	1,310
	2050	13,209	-11,289	-8,839	0,183	5,125
Guanay	2020	-5,404	6,603	-5,470	-14,412	-5,362
	2050	-2,452	-0,745	-4,711	-14,894	-5,295
Huacareta	2020	5,159	4,848	-8,074	8,584	5,640
	2050	7,889	1,805	-15,467	-7,568	5,824
Huacaya	2020	2,504	-4,543	-19,991	-5,078	0,088
	2050	6,774	-6,730	-17,526	0,228	0,789
Huayllamarca	2020	-5,755	-24,405	-9,604	-3,027	-5,758
	2050	-7,582	6,727	4,909	-12,127	-8,833
Incahuasi	2020	-0,955	-6,698	-5,751	1,471	-3,121
	2050	0,728	-8,656	-1,526	-4,275	-4,168
Ixiamas	2020	-1,148	10,194	8,889	-7,078	-0,914
	2050	-2,577	18,598	7,630	-7,431	-1,423
Las Carreras	2020	-5,589	-15,584	16,380	-6,824	-6,085
	2050	-4,910	-18,571	19,652	-12,466	-7,361
Macharetí	2020	4,083	-4,832	-21,570	-4,974	-3,147
	2050	4,887	-4,200	-21,518	-5,620	-2,472
Mapiri	2020	-5,404	6,603	-5,470	-14,412	-5,362
	2050	-2,452	-0,745	-4,711	-14,894	-5,295
Monteagudo	2020	2,504	-4,543	-19,991	5,078	0,088
	2050	6,774	-6,730	-17,526	0,228	0,789
Muyupampa	2020	-15,805	-1,853	20,149	2,649	-4,928
	2050	-12,946	-3,895	23,129	-1,576	-5,289
Pocoata	2020	0,804	-1,042	11,948	22,954	3,798
	2050	2,110	-9,272	25,905	24,123	5,966
Porco	2020	-3,381	-5,920	-24,091	7,786	-0,477
	2050	-0,091	-7,559	-12,976	3,827	0,010
Poroma	2020	-3,491	-3,594	-7,277	4,432	-1,371
	2050	0,641	-9,535	-0,319	2,019	0,012
Puna	2020	3,135	-10,885	-8,497	6,843	2,567
	2050	6,840	-15,667	9,028	0,049	2,720
San Buenaventura	2020	1,535	-0,721	-5,395	-10,863	-2,709
	2050	7,704	-4,588	-19,010	-12,618	-3,112

Continúa

Municipio	Año	E-M	A-Jn	Jl-S	O-D	ANUAL
Sacabamba	2020	-11,012	-11,510	-7,777	0,864	-7,399
	2050	-7,985	-16,077	-3,994	0,768	-6,026
Sacaca	2020	0,179	9,808	28,131	-3,227	-1,662
	2050	0,887	3,363	21,237	-2,930	-1,408
San Lorenzo	2020	-6,177	-8,462	-10,139	-0,520	-3,261
	2050	-5,797	-10,059	-7,442	-5,588	-4,775
San Lucas	2020	-5,404	26,050	-8,440	8,933	-2,167
	2050	-4,450	21,327	-2,959	5,752	-2,575
San Pedro	2020	-3,098	-23,329	-15,780	0,890	-3,741
	2050	0,173	-29,183	-2,664	-1,857	-2,336
San Pedro de Totora	2020	5,677	-17,347	2,256	-10,252	-9,917
	2050	2,742	-24,653	8,062	-9,095	-1,736
Sicaya	2020	-5,755	-12,405	-10,604	-3,027	-5,758
	2050	-7,582	6,727	4,909	-12,127	-8,833
Tacacoma	2020	-6,456	2,677	4,758	7,899	-1,703
	2050	-3,534	-5,666	18,053	9,215	-0,757
Tacobamba	2020	-3,381	-5,920	-24,091	7,786	-0,477
	2050	-0,091	-7,559	-12,976	3,827	0,010
Tarata	2020	-7,539	-11,505	-17,219	-0,902	-4,699
	2050	-4,309	-18,882	-7,477	-1,765	-2,916
Tacopaya	2020	-6,282	4,046	18,420	-1,670	-4,963
	2050	-5,570	-4,295	24,389	-0,519	-4,768
Tapacarí	2020	-6,282	4,046	18,420	-1,670	-4,963
	2050	-5,570	-4,295	26,389	-0,519	-4,768
Teoponte	2020	-1,148	10,194	8,889	-7,078	-0,914
	2050	-2,577	18,598	7,630	-7,431	-1,423
Tipuani	2020	-1,148	10,194	8,889	-7,078	-0,914
	2050	-2,577	18,598	7,630	-7,431	-1,423
Tinguipaya	2020	1,595	-0,717	25,807	11,735	3,161
	2050	0,771	-3,233	20,922	11,873	2,365
Tomave	2020	-3,381	-5,920	-24,091	7,786	-0,477
	2050	-0,091	-7,559	-12,976	3,827	0,010
ToroToro	2020	7,887	24,380	2,811	2,466	5,674
	2050	12,228	12,511	8,807	1,239	6,488
Urmiri	2020	-3,381	-5,920	-24,091	7,786	-0,477
	2050	-0,091	-7,559	-12,976	3,827	0,010
Uriondo	2020	-6,177	-8,462	-10,139	-0,520	-3,261
	2050	-5,797	-10,059	-7,442	-5,588	-4,775
Villa Abecia	2020	-9,720	-25,327	7,536	6,707	-5,013
	2050	-8,756	-28,045	12,951	1,105	-5,950
Yocalla	2020	-3,381	-5,920	-24,091	7,786	-0,477
	2050	-0,091	-7,559	-12,976	3,827	0,010
Yunchará	2020	4,116	-9,053	-10,167	-0,184	1,310
	2050	13,209	-11,289	-8,839	0,183	5,125

Sin embargo, al separar el análisis en forma trimestral, se observa otro tipo de información que resalta las diferencias entre estaciones del año. Los porcentajes más altos de cambio se concentran en la época invernal (trimestres: abril-junio y julio- septiembre). Esto se debe a que, en gran parte del país en época invernal, los valores de PP naturales, se encuentran en rangos muy reducidos, de tal manera que pequeñas variaciones absolutas, provocarán grandes variaciones porcentuales hacia el futuro.

La Tabla 5.3, presenta los valores promedio trimestrales y anuales que serían recibidos en las zonas a futuro.

Desde un punto de vista regional, los cambios porcentuales de precipitación muestran que la fisiografía del país definirá diferentes impactos a futuro, los que serán discutidos en los siguientes párrafos.

Tabla 5.3.
Registro de precipitación acumulada (mm) en las décadas de 2020 y de 2050. Se presentan los datos promedio para los trimestres enero a marzo (E-M), abril a junio (A-Jn), julio a septiembre (Jl-S), octubre a diciembre (O-D) y el promedio anual.

Localidad	Año	E-M	A-J	J-S	O-D	ANUAL
Acasio	2020	602,7	78,5	41,8	266,5	1016,9
	2050	620,4	71,5	42,3	270,9	1020,0
Andamarca	2020	179,2	7,3	9,6	101,6	297,3
	2050	175,7	10,3	11,4	92,1	287,6
Anzaldo	2020	290,4	34,3	16,9	152,6	496,7
	2050	303,3	31,1	18,1	152,5	505,6
Apolo	2020	563,9	200,7	175,4	404,1	1352,9
	2050	594,0	195,7	166,8	398,8	1363,5
Arampampa	2020	508,8	73,9	49,5	331,6	969,6
	2050	543,9	69,8	48,8	327,5	1002,4
Arque	2020	269,5	31,9	22,2	126,3	442,4
	2050	271,6	29,4	23,3	127,8	443,3
Arbieto	2020	270,4	33,5	16,6	150,3	474,0
	2050	279,8	31,9	16,9	149,0	482,9
Betanzos	2020	230,1	22,6	10,5	132,9	372,3
	2050	236,1	21,6	11,9	128,0	374,6
Bolívar	2020	269,5	31,9	22,2	126,3	442,4
	2050	271,6	29,4	23,3	127,8	443,3
Caiza D	2020	251,9	34,5	10,6	108,6	412,1
	2050	256,9	33,7	12,0	103,1	409,6
Calacoto	2020	262,6	22,7	21,5	115,3	418,2
	2050	264,4	24,9	23,5	115,7	419,3
Callapa	2020	262,6	22,7	21,5	115,3	418,2
	2050	264,4	24,9	23,5	115,7	419,3
Camargo	2020	170,2	3,6	8,1	162,6	353,1
	2050	173,8	3,6	8,8	152,1	347,3
Capinota	2020	303,2	28,5	20,2	177,4	531,9
	2050	324,2	26,9	20,0	175,2	549,9
Caripuyo	2020	311,0	22,3	17,5	177,6	525,1
	2050	309,4	21,0	19,6	179,7	521,8
Chaquí	2020	298,4	27,5	18,6	195,0	538,8
	2050	304,8	26,0	19,9	189,5	538,5

Continúa

Localidad	Año	E-M	A-J	J-S	O-D	ANUAL
Charaña	2020	213,0	13,3	11,0	69,5	302,7
	2050	214,5	15,3	10,8	69,7	303,5
Chayanta	2020	311,0	22,3	17,5	177,6	525,1
	2050	309,4	21,0	19,6	179,7	521,8
Corque	2020	179,2	7,3	9,6	101,6	297,3
	2050	175,7	10,3	11,4	92,1	287,6
Culpina	2020	193,2	47,5	5,8	130,5	368,9
	2050	196,5	46,5	6,1	123,2	364,9
Curahuara	2020	224,7	12,2	8,8	64,5	277,3
	2050	218,4	11,1	9,3	65,3	302,5
El Puente	2020	197,6	8,3	6,7	170,7	382,3
	2050	214,8	8,1	6,8	171,3	396,7
Guanay	2020	818,5	343,1	191,6	507,9	1876,9
	2050	844,1	319,4	193,2	505,0	1878,2
Huacareta	2020	480,0	100,2	26,8	317,5	922,9
	2050	492,5	97,3	24,7	270,3	924,5
Huacaya	2020	495,0	133,3	47,3	245,9	941,5
	2050	515,6	130,2	48,8	259,6	948,1
Huayllamarca	2020	179,2	7,3	9,6	101,6	297,3
	2050	175,7	10,3	11,4	92,1	287,6
Incahuasi	2020	193,2	47,5	5,8	130,5	368,9
	2050	196,5	46,5	6,1	123,2	364,9
Ixiamas	2020	759,6	334,6	294,1	579,8	1948,2
	2050	748,6	360,1	290,7	577,6	1938,2
Las Carreras	2020	175,2	14,2	7,6	83,3	280,1
	2050	176,4	13,7	7,8	78,2	276,3
Macharetí	2020	367,6	119,6	14,6	231,0	717,3
	2050	370,5	120,3	14,6	229,4	722,3
Mapiri	2020	818,5	343,1	191,6	507,9	1876,9
	2050	844,1	319,4	193,2	505,0	1878,2
Monteagudo	2020	495,0	133,3	47,3	272,2	941,5
	2050	515,6	130,2	48,8	259,6	948,1
Muyupampa	2020	318,4	101,3	31,5	319,1	778,0
	2050	329,2	99,2	32,2	306,0	775,1
Pocoata	2020	311,0	22,3	17,5	177,6	525,1
	2050	309,4	21,0	19,6	179,7	521,8
Porco	2020	234,6	18,0	9,4	124,6	388,1
	2050	242,6	17,7	10,8	120,0	390,0
Poroma	2020	458,2	37,5	32,1	298,6	822,8
	2050	477,8	35,2	34,6	291,7	834,4
Puna	2020	229,1	29,0	22,7	167,1	447,1
	2050	237,3	27,4	27,1	156,5	447,7
San Buenaventura	2020	988,4	507,6	311,4	603,4	2423,3
	2050	1048,4	487,8	266,5	591,5	2413,2
Sacabamba	2020	426,1	49,3	18,3	241,3	734,9
	2050	440,6	46,7	19,0	241,0	745,8
Sacaca	2020	493,2	40,6	22,3	234,4	775,8
	2050	496,7	38,2	21,1	235,1	777,8
San Lorenzo	2020	270,1	32,8	16,3	172,1	498,0
	2050	271,2	32,2	16,8	163,3	490,2
San Lucas	2020	316,9	19,0	19,6	156,2	503,6
	2050	320,1	18,3	20,7	151,6	501,5

Continúa

Localidad	Año	E-M	A-J	J-S	O-D	ANUAL
San Pedro	2020	468,6	49,3	47,1	252,3	821,9
	2050	484,4	45,5	54,4	245,4	833,9
San Pedro de Totora	2020	224,7	12,2	8,8	64,5	277,3
	2050	218,4	11,1	9,3	65,3	302,5
Sicaya	2020	269,5	31,9	22,2	126,3	442,4
	2050	271,6	29,4	23,7	127,8	443,3
Tacacoma	2020	454,1	123,8	51,2	235,2	857,9
	2050	468,3	113,7	57,7	238,1	866,2
Tacobamba	2020	234,6	18,0	9,4	124,6	388,1
	2050	242,6	17,7	10,8	120,0	390,0
Tarata	2020	478,1	52,3	15,9	225,8	778,8
	2050	494,8	49,9	16,2	223,8	793,4
Tacopaya	2020	269,5	31,9	22,2	126,3	442,4
	2050	271,6	29,4	23,3	127,8	443,3
Tapacarí	2020	269,5	31,9	22,2	126,3	442,4
	2050	271,6	29,4	23,7	127,8	443,3
Teoponte	2020	855,4	354,6	220,7	551,4	1965,1
	2050	843,0	381,7	218,2	549,3	1955,0
Tipuani	2020	855,4	354,6	220,7	551,4	1965,1
	2050	843,0	381,7	218,2	549,3	1955,0
Tinguipaya	2020	360,1	26,6	10,9	126,1	518,6
	2050	357,2	25,9	10,4	126,2	514,6
Tomave	2020	234,6	18,0	9,4	124,6	388,1
	2050	242,6	17,7	10,8	120,0	390,0
ToroToro	2020	537,8	59,5	29,3	340,5	958,6
	2050	559,5	53,8	31,0	336,4	965,9
Urmiri	2020	234,6	18,0	9,4	124,6	388,1
	2050	242,6	17,7	10,8	120,0	390,0
Uriondo	2020	270,1	32,8	16,3	172,1	498,0
	2050	271,2	32,2	16,8	163,3	490,2
Villa Abecia	2020	159,3	9,9	6,7	62,7	241,9
	2050	161,0	9,6	7,0	59,4	239,5
Yocalla	2020	234,6	18,0	9,4	124,6	388,1
	2050	242,6	17,7	10,8	120,0	390,0
Yunchará	2020	197,6	8,3	6,7	170,7	382,3
	2050	214,8	8,1	6,8	171,3	396,7

Precipitación

Norte Paceño Tropical

Los Mapas 1 y 3, muestran que esta zona (tanto en un futuro cercano como hasta mediados de siglo) no presentará cambios significativos en la precipitación anual, aunque se observa una tendencia no significativa a la reducción. Sin embargo, estos valores se encuentran en los rangos de la variabilidad normal interanual, por lo que no permiten inferir de manera concluyente cambios significativos.

En el análisis trimestral, de enero a marzo (Mapas 2 y 4), ninguna de las estaciones muestra un cambio importante con relación a la precipitación actual en ninguno de las series consideradas (2020 y 2050), aunque existe una tendencia al descenso con excepción de Apolo con ascensos no significativos. El impacto no será alto en comparación al régimen actual, considerando que la lluvia en este trimestre es abundante y que porcentajes bajos no cambiarán la situación actual.

La situación cambia entre abril y octubre (Mapas 2 y 4) y se intensificará desde el 2020 al 2050. El análisis muestra que la lluvia invernal se reduciría en Apolo compensando levemente la mayor cantidad de lluvia de inicio de año. San Buenaventura, en cambio, presenta una tendencia a reducirse en invierno, lo que podría incrementar las sequías en épocas calientes. La precipitación tiende a aumentar en los municipios de Larecaja, aunque en Guanay los cambios en la precipitación se compensarían en el semestre, quizás por una leve concentración de la lluvia. De todas maneras, considerando que esta época es seca, cambios porcentuales reducidos sugieren cambios leves con relación a la época actual, a excepción de San Buenaventura que podría enfrentar sequías entre julio y septiembre.

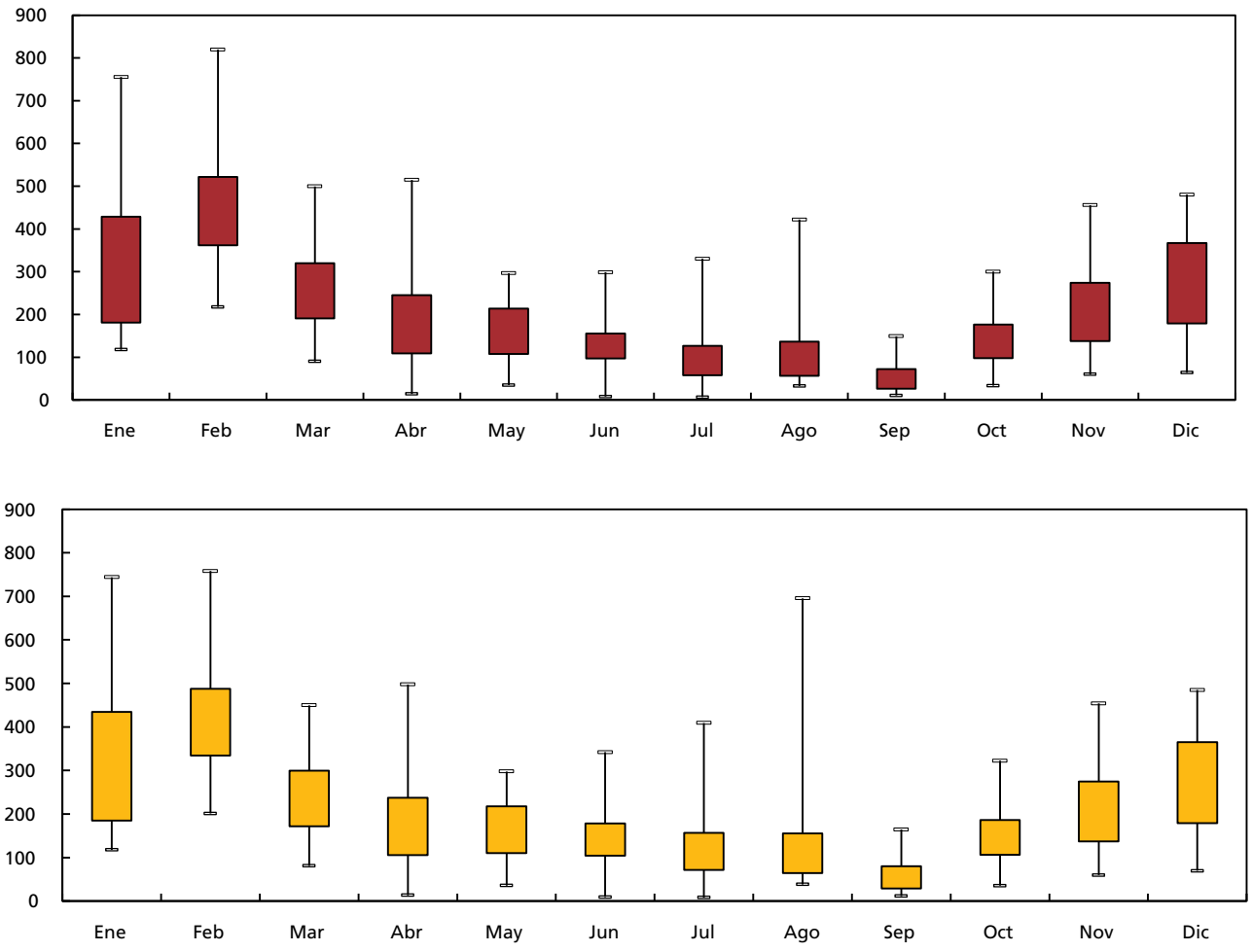
Los Mapas 2 y 4 muestran que la zona presentará reducciones de su precipitación en el periodo octubre-diciembre, especialmente en los municipios de Larecaja. Esta situación podría provocar impactos de consideración y producir déficits hídricos importantes porque esta época presenta mayor demanda atmosférica de vapor de agua, debido a que las temperaturas suben al acercarse el verano, pero el periodo de lluvias todavía no se inicia. Si en el futuro esta zona presenta menos precipitación que la actual, el déficit hídrico podría ser mayor, incrementando el riesgo de enfrentar sequías en forma regular. Solamente la estación de mayor altura que es Tacacoma muestra un incremento en la precipitación entre octubre y diciembre, lo que probablemente, incidirá en otros mecanismos de precipitación.

Dada la importancia de conocer la variabilidad de la precipitación esperada, se estudiará este parámetro en dos estaciones representativas de la zona con un registro de partida para un periodo de 30 años de comportamiento homogéneo, tal como se muestra en el Capítulo 2.

Las magnitudes de precipitación mensual son similares a las actuales, a excepción de los extremos, pero sobresale el hecho de que en Norte Paceño Tropical, especialmente en las zonas más bajas, se pueden esperar precipitaciones de gran magnitud a inicio del año, especialmente durante febrero (más de 600 mm por mes) y hasta abril aunque su frecuencia no será elevada (Figura 5.1.). Esto implica alta probabilidad de inundaciones mayores a las actuales que deben ser consideradas para acciones de adaptación. En algunos años la precipitación invernal podría presentar magnitudes elevadas, pero su frecuencia disminuiría a mediados de siglo.

En el caso de las áreas con mayor altitud de la mancomunidad, también se podrían recibir fuertes precipitaciones durante los meses de inicio de año, y este efecto se extendería hasta marzo. La lluvia de invierno en estas zonas no tendrá

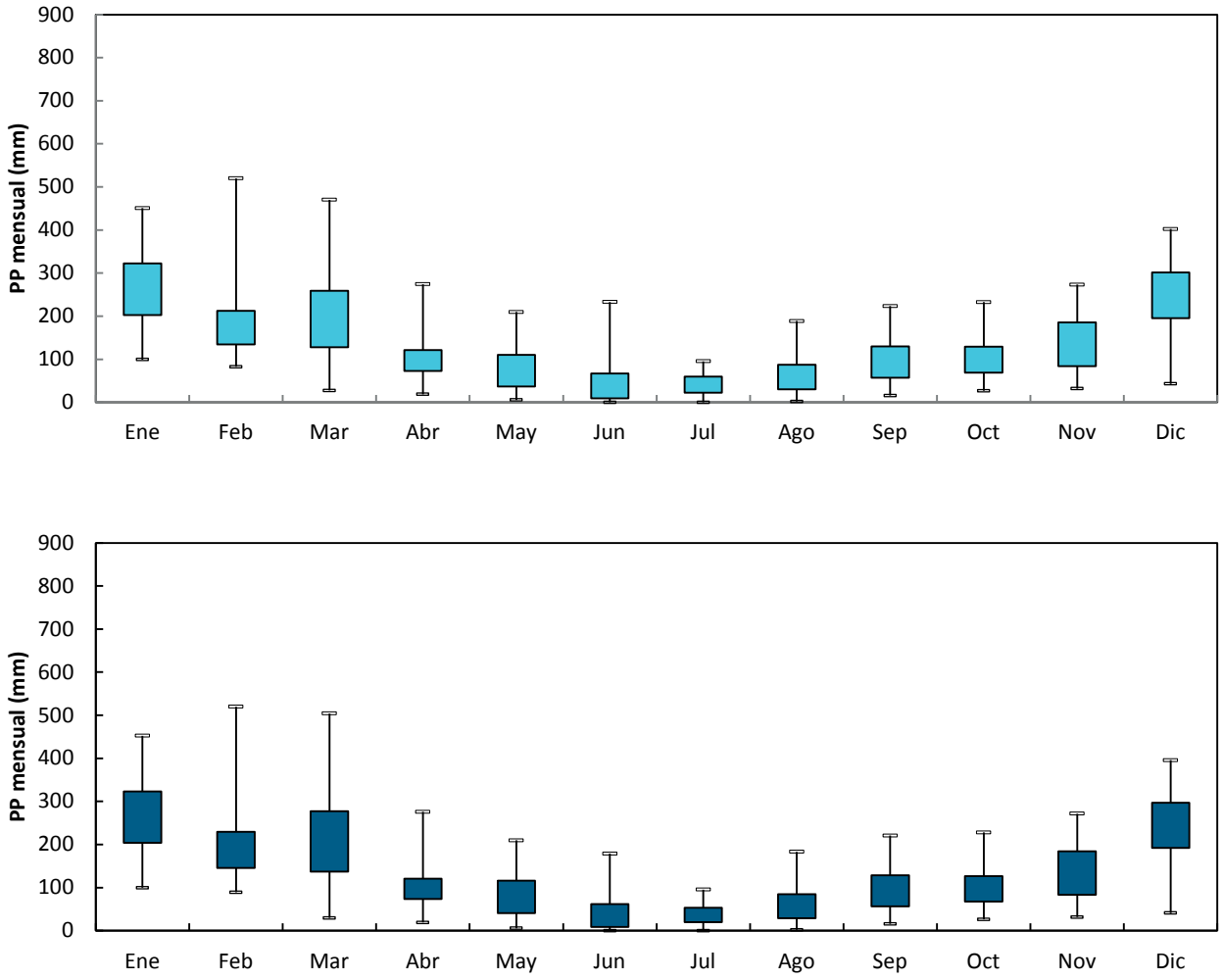
Figura 5.1.
Dispersión interanual representada en boxplots de los registros de precipitación mensual para 2020 (arriba) y 2050 (abajo) para San Buenaventura (Estación de referencia en Rurrenabaque).



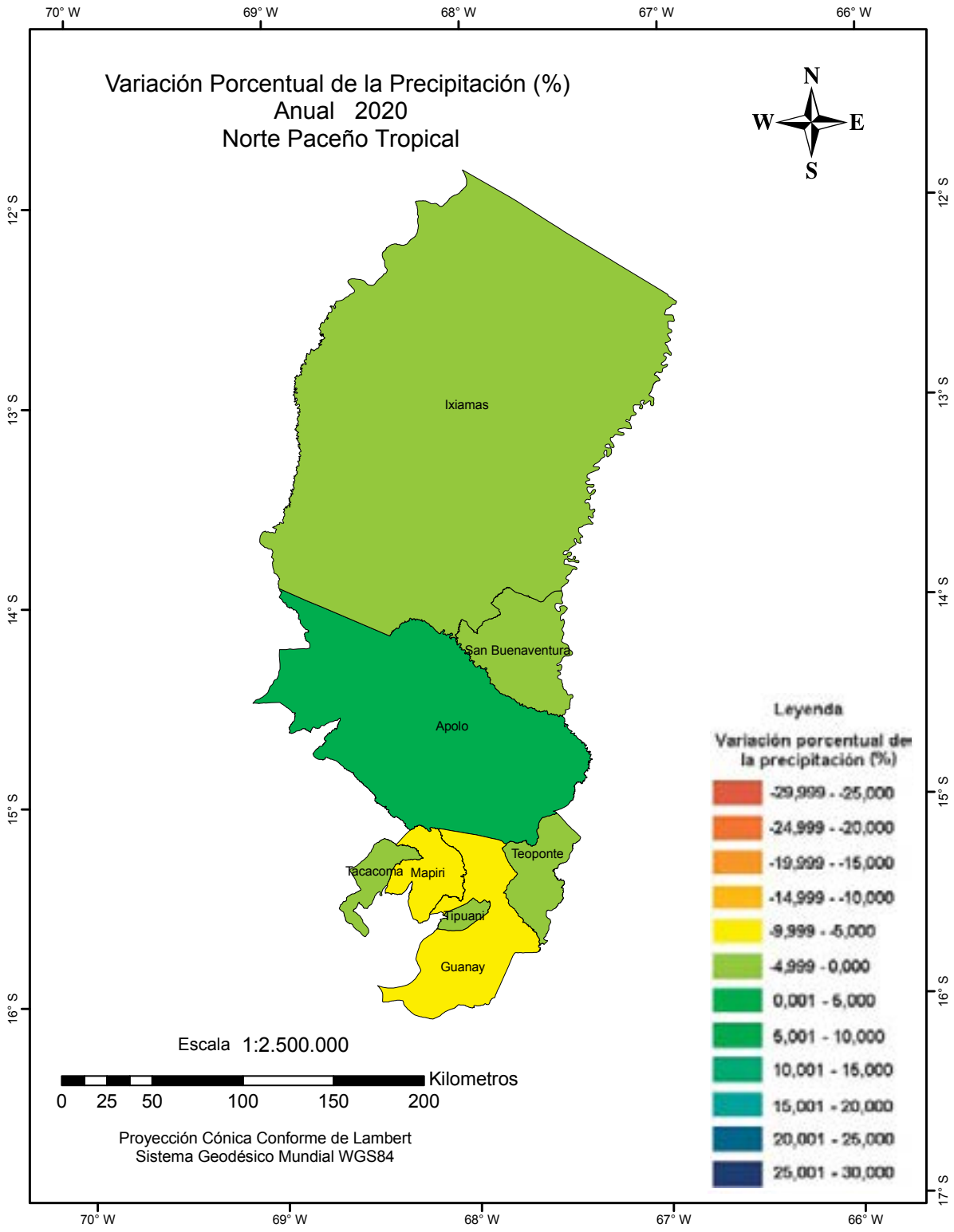
eventos de mucha intensidad, aunque continuarán ocurriendo en el futuro (Figura 5.2.).

A pesar de enfrentar fuertes inundaciones en verano y lluvias moderadas en invierno, en ambas estaciones existe la probabilidad de enfrentar periodos muy secos, lo cual afectará con cierta periodicidad el ecosistema de la zona.

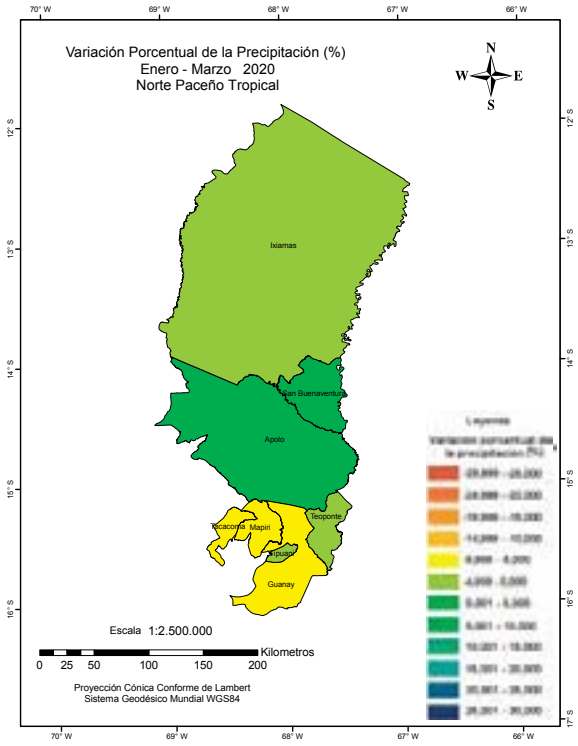
Figura 5.2.
Dispersión interanual representada en boxplots de los registros de precipitación mensual en Apolo para 2020 (arriba) y 2050 (abajo). Estación de referencia en Sapecho.

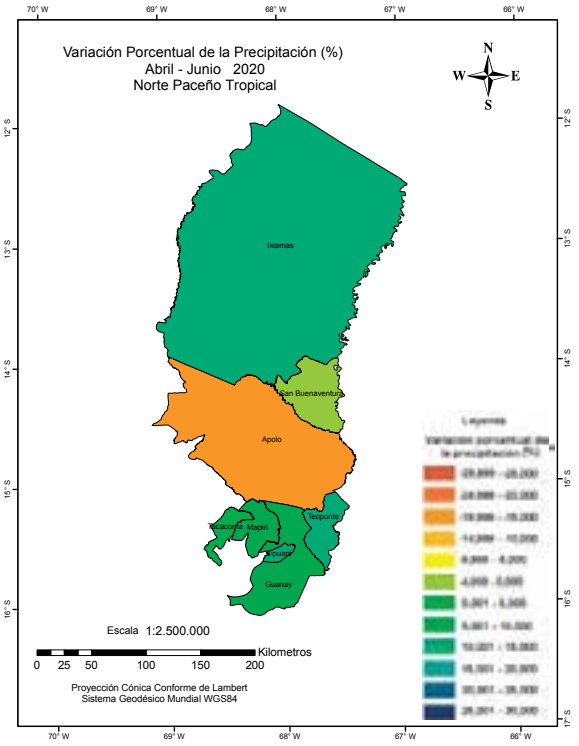


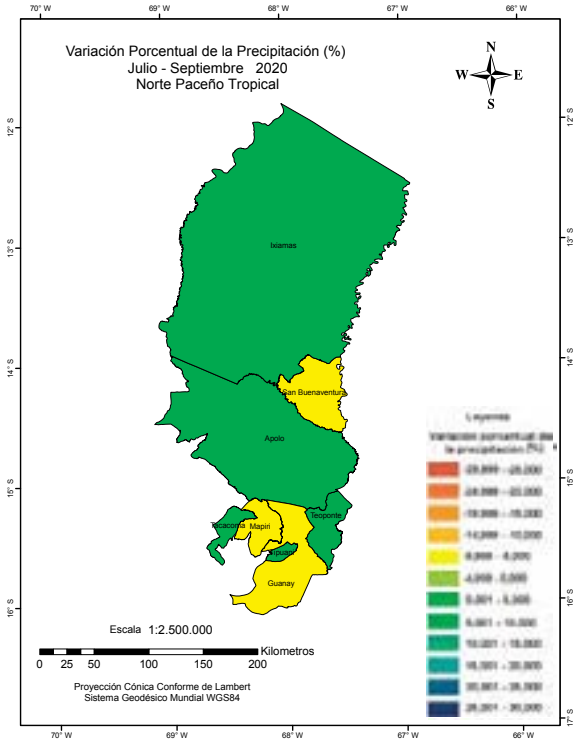
Mapa 5.1.

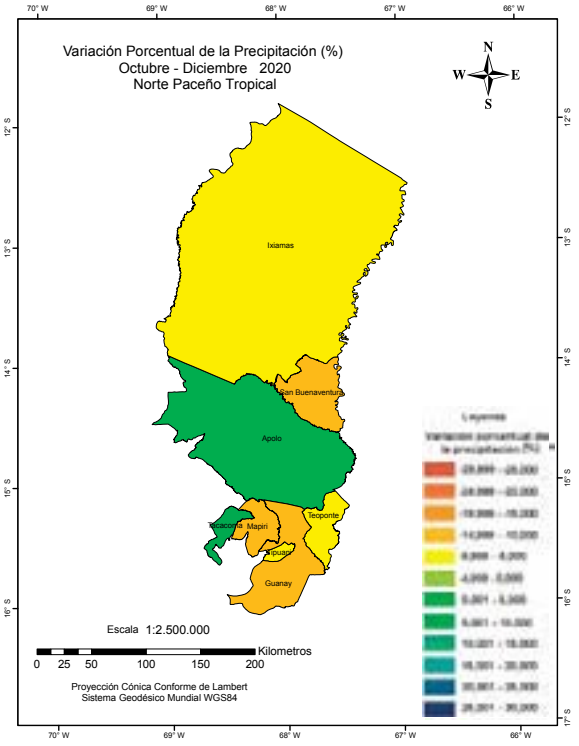

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2020
Norte Paceño Tropical
N
W
E
S
70° W
69° W
68° W
67° W
66° W
12° S
13° S
14° S
15° S
16° S
17° S
Ixiamas
San Buenaventura
Apolo
Teoponte
Tacacoma
Mapiri
Tipuani
Guanay
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:2.500.000
Kilometros
0 25 50 100 150 200
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.2.
Variación porcentual de la precipitación por trimestres en 2020. Norte Paceño Tropical

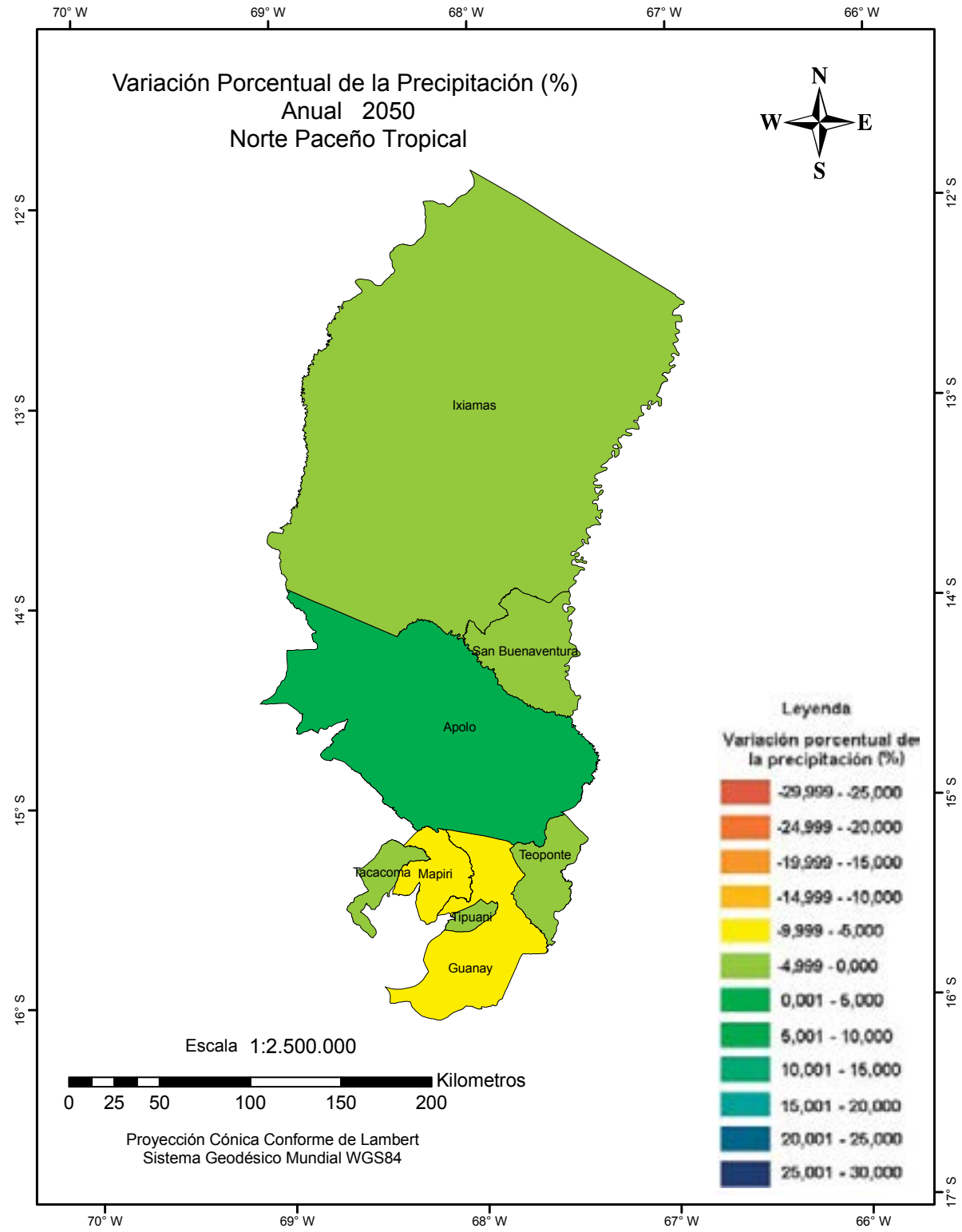




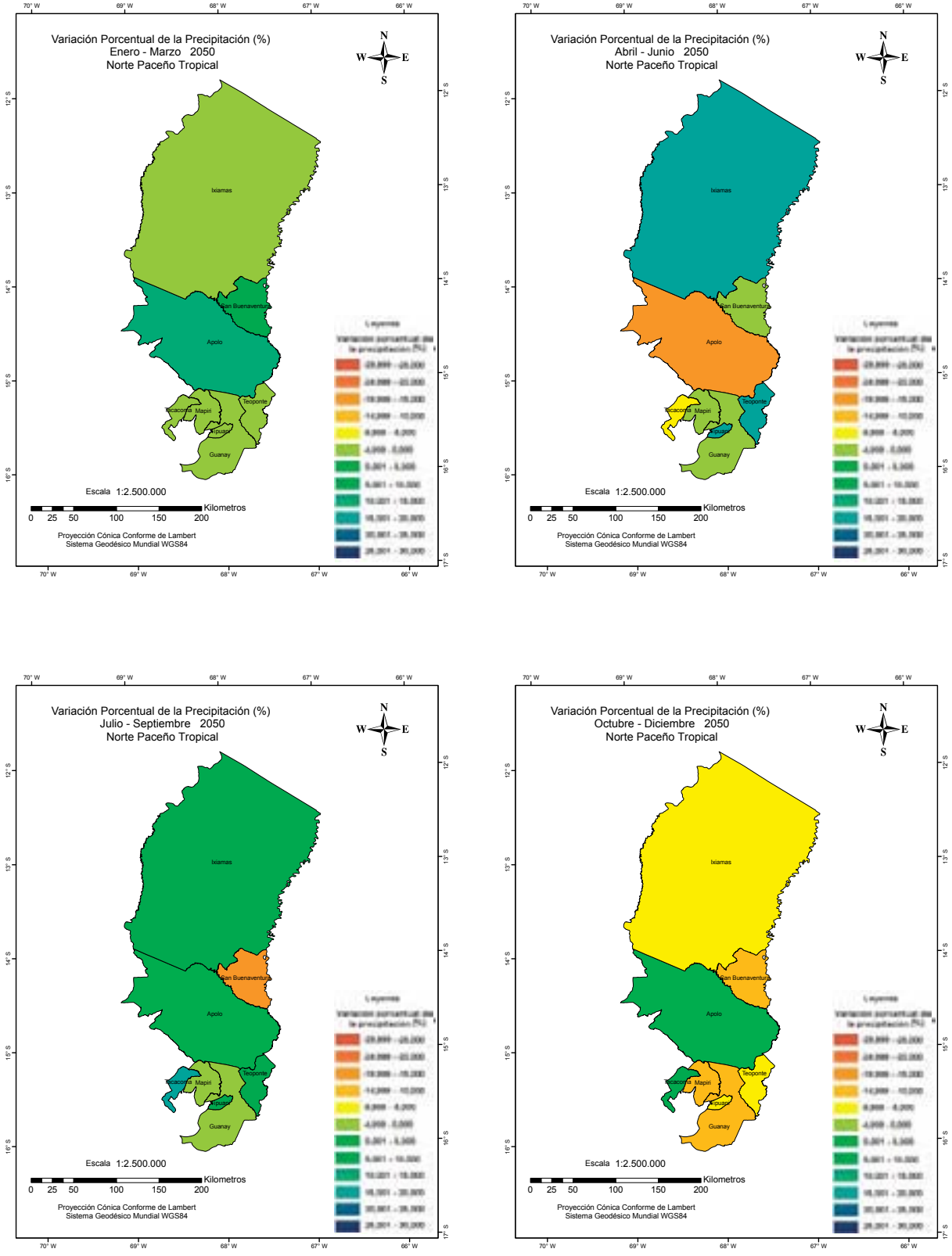




Mapa 5.3.


Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2050
Norte Paceño Tropical
N
W
E
S
70° W
69° W
68° W
67° W
66° W
12° S
13° S
14° S
15° S
16° S
17° S
Ixiamas
San Buenaventura
Apolo
Teoponte
Tacacoma
Mapiri
Tipuani
Guanay
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:2.500.000
0 25 50 100 150 200
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.4.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2050. Norte Paceño Tropical



Norte Potosí

Norte Potosí presenta una formación de puna y valles altos interandinos con fuerte vocación agrícola, dependientes de las condiciones del clima predominante; la disponibilidad de agua depende de las precipitaciones y de la nieve invernal existente. Esta zona muestra alto nivel de disección con variación altitudinal entre municipios, las que varían entre los 2.700 y los 3.900 msnm con características variables tanto de paisaje como de ecosistemas.

Los registros anuales muestran una reducción de la cantidad de lluvia, en especial en los municipios de altura y que varía levemente hasta el 2050 (Mapas 5 y 7). El porcentaje de disminución se encuentra dentro del rango de variabilidad habitual, por lo que no es posible determinar cambios de precipitación en los valores anuales.

El análisis trimestral muestra diferencias que requieren ser analizadas. Entre enero y marzo, (Mapas 6 y 8) solamente Acasio y Toro Toro registrarían variaciones significativas hacia un incremento en su precipitación que aumentan hacia 2050, lo que implica mayor probabilidad de inundaciones. Las restantes estaciones que coincidentemente son las de mayor altitud, muestran tendencias descendentes en el inicio del año, las que, sin embargo, no son significativas.

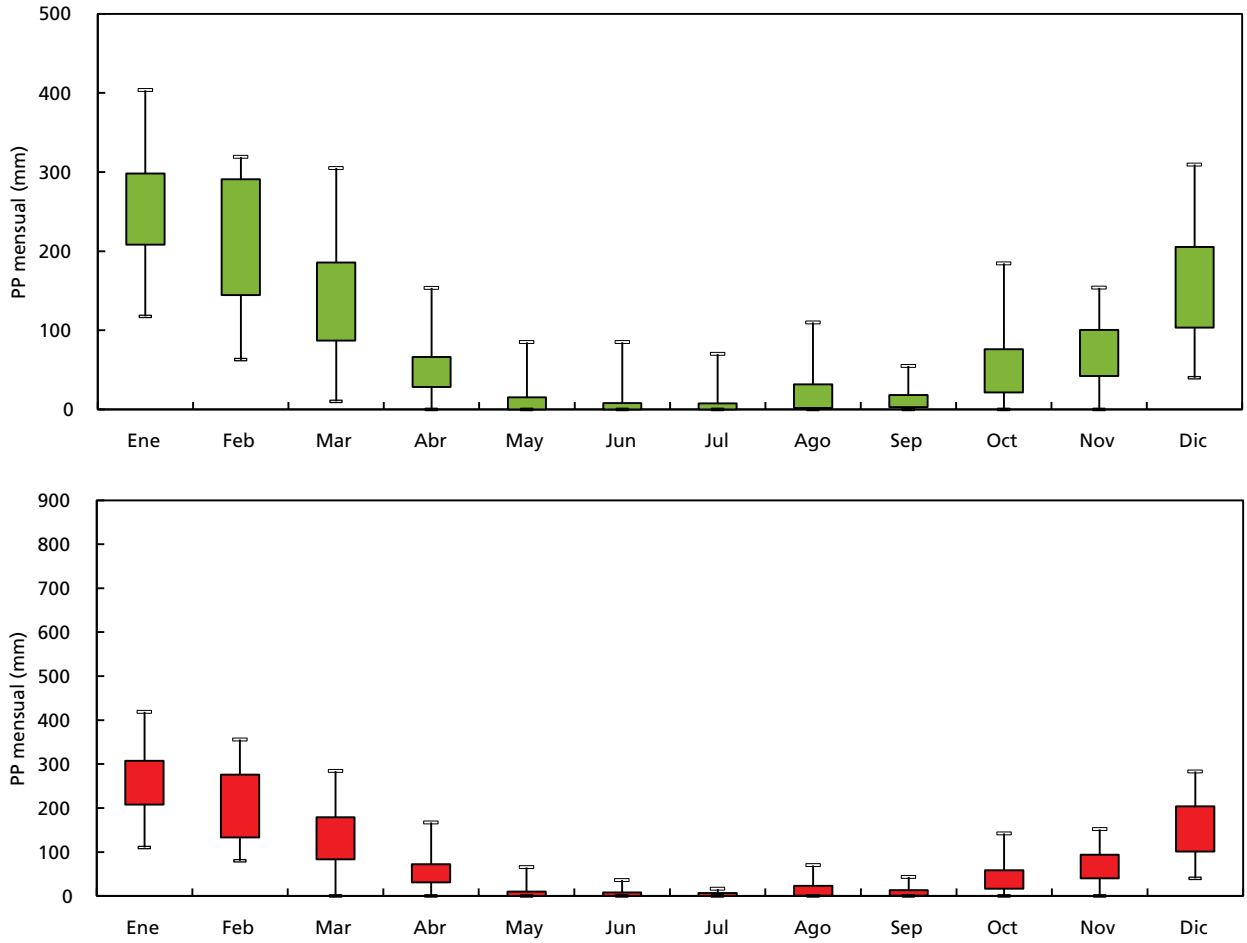
Las variaciones porcentuales de la precipitación entre abril y junio (Mapas 6 y 8) son mayores con tendencia a reducirse, lo que implica un corte repentino al finalizar la época de lluvias; mientras que en las estaciones de menor altitud, la época de lluvias tiende a extenderse levemente. En los municipios de mayor altitud, las reducciones podrían afectar la producción agrícola.

Entre julio y septiembre (Mapas 6 y 8) la situación parece estabilizarse a situaciones similares a las actuales, aunque San Pedro y Acasio mostrarían reducciones significativas a su ya reducida precipitación. Estos meses en el futuro, continuarán o serán más secos, lo que debe considerarse para acciones de adaptación y de manejo de amenazas climáticas.

A futuro, el inicio de la época de lluvias muestra retraso, pues entre octubre y diciembre (Mapas 6 y 8) las estaciones presentan tendencias al descenso de su precipitación, intensificándose al 2050.

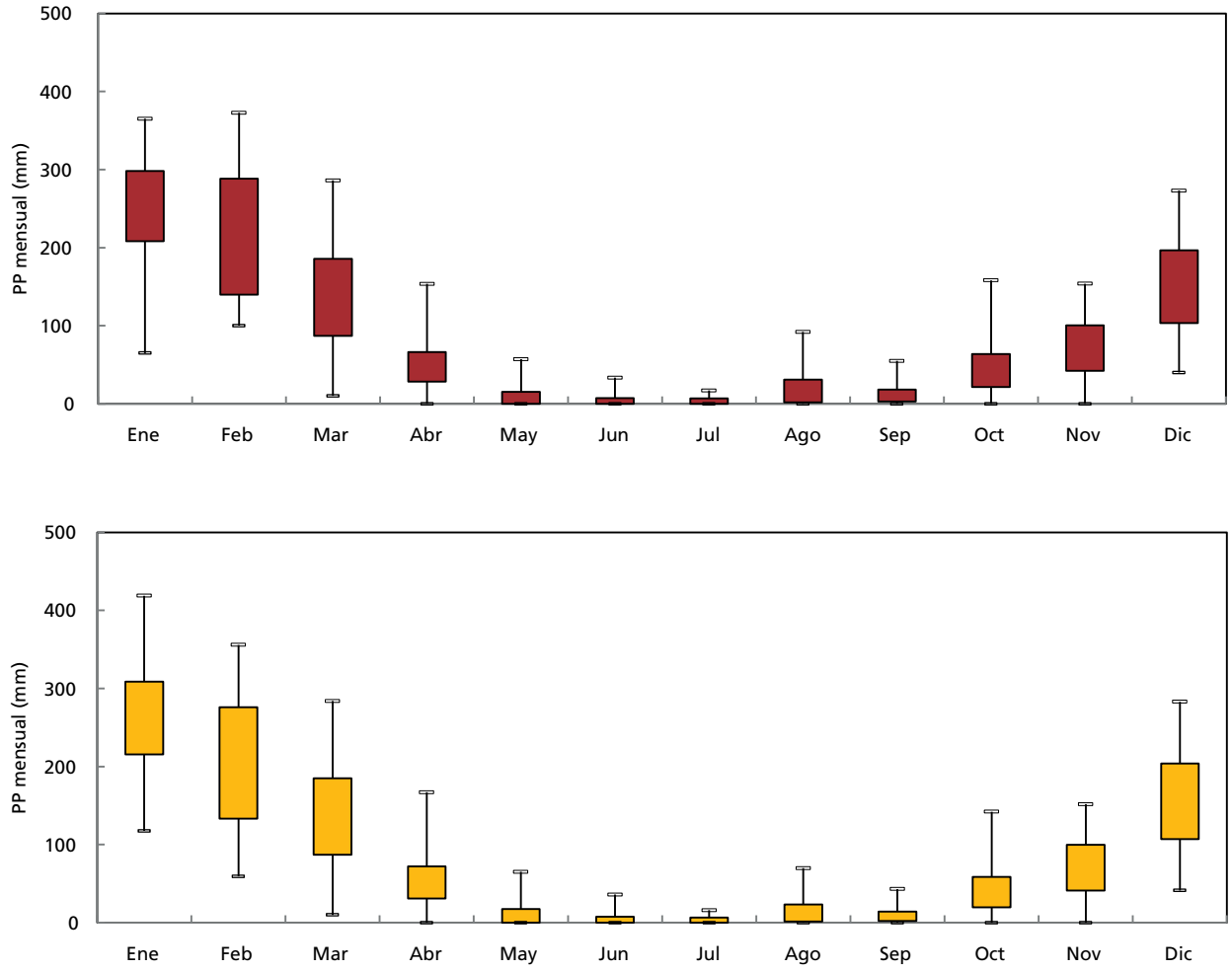
La variabilidad mensual fue analizada para las dos estaciones con mejor registro de partida que se encuentran en la zona, que son las estaciones de Acasio y San Pedro de Buenavista, tal como lo muestran las Figuras 5.3 y 5.4.

Figura 5.3.
Dispersión interanual de la precipitación mensual en Acasio, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo).

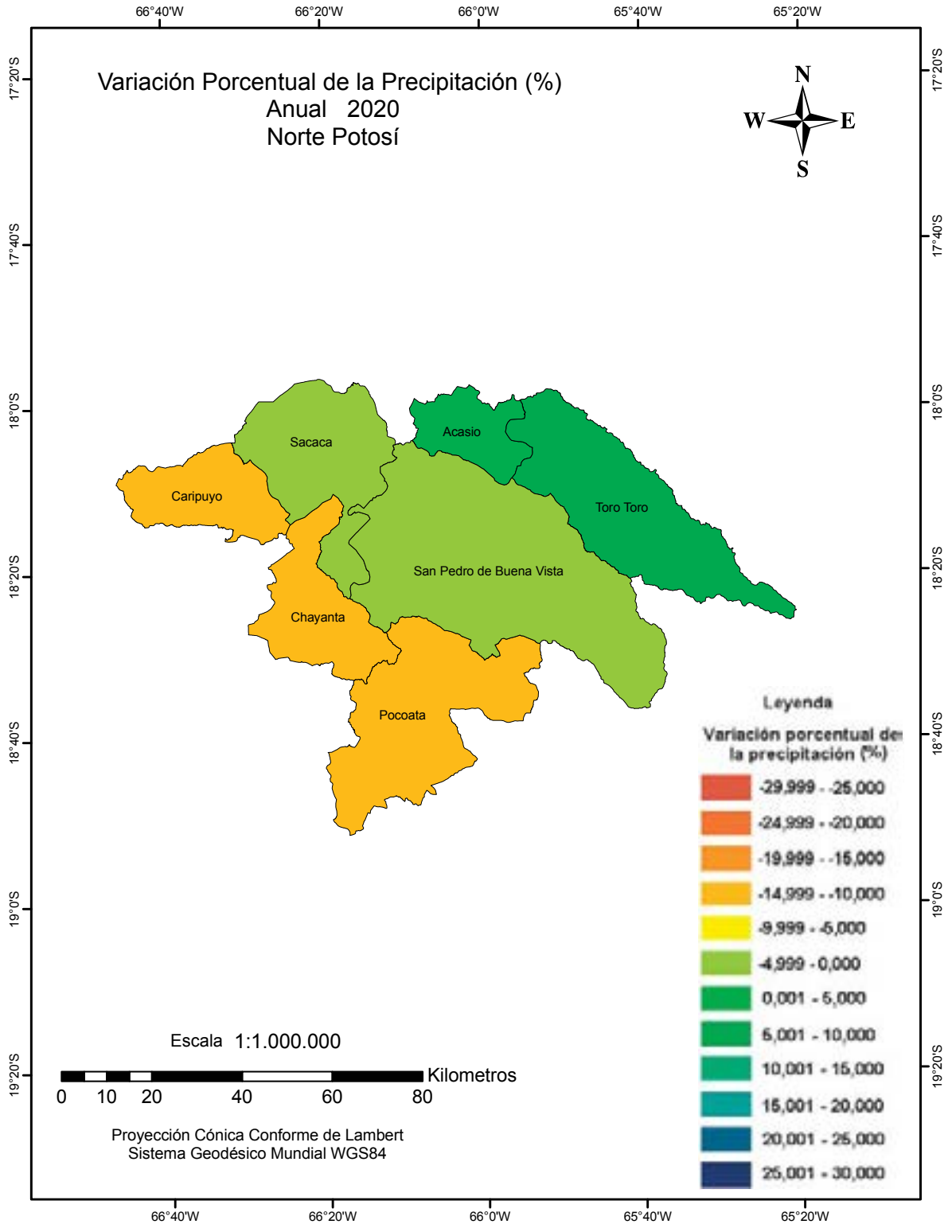


La precipitación en esta zona se concentra entre los meses de diciembre y marzo, existiendo la alta probabilidad de intensas precipitaciones en verano, así como años muy secos en invierno, especialmente desde marzo. A partir de este mes, existe alta probabilidad de enfrentar años secos hasta septiembre. Al inicio de la época de lluvias existe baja probabilidad de ocurrencia, por lo que se deberían establecer sistemas de riego por lo menos deficitario, que garanticen la fase inicial de los cultivos.

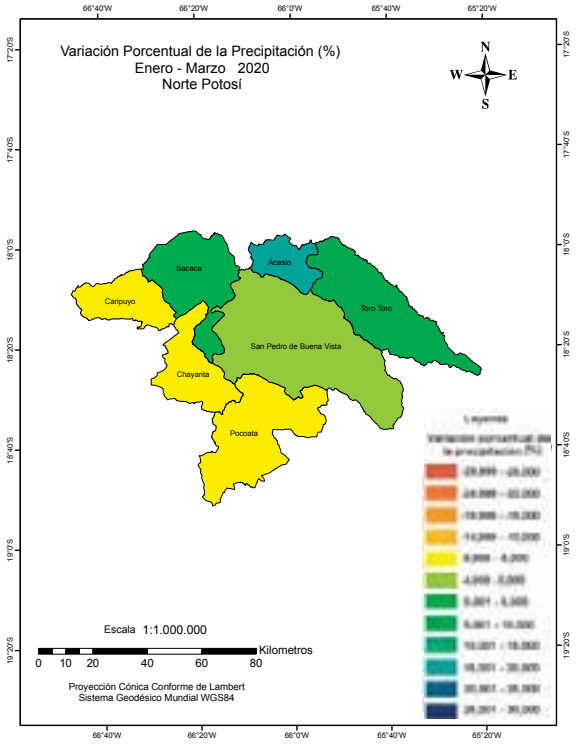
Figura 5.4.
Dispersión interanual de la precipitación mensual en San Pedro de Buenavista, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo).

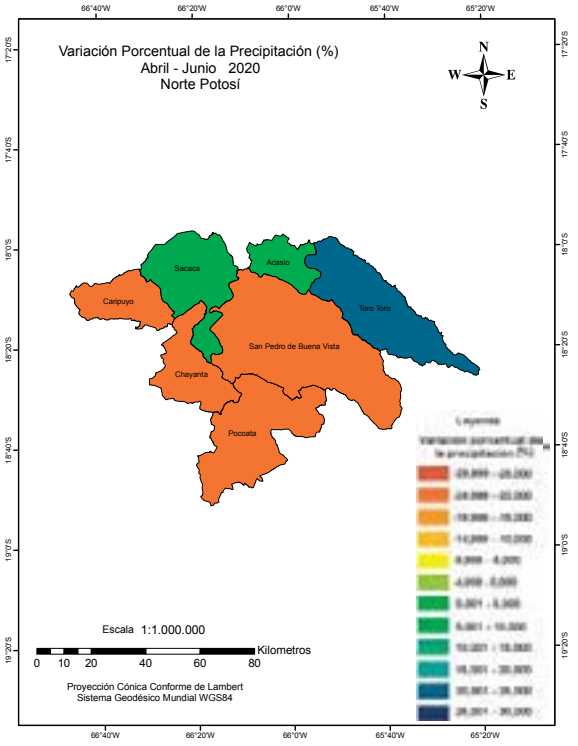


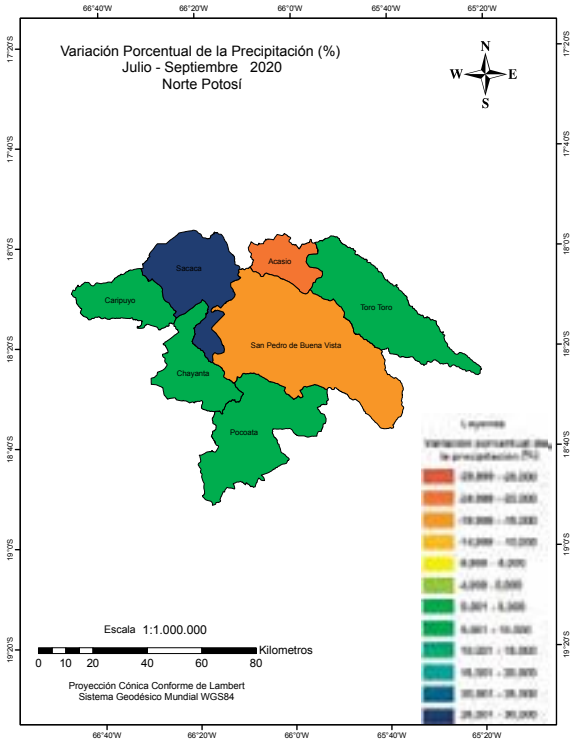
Mapa 5.5

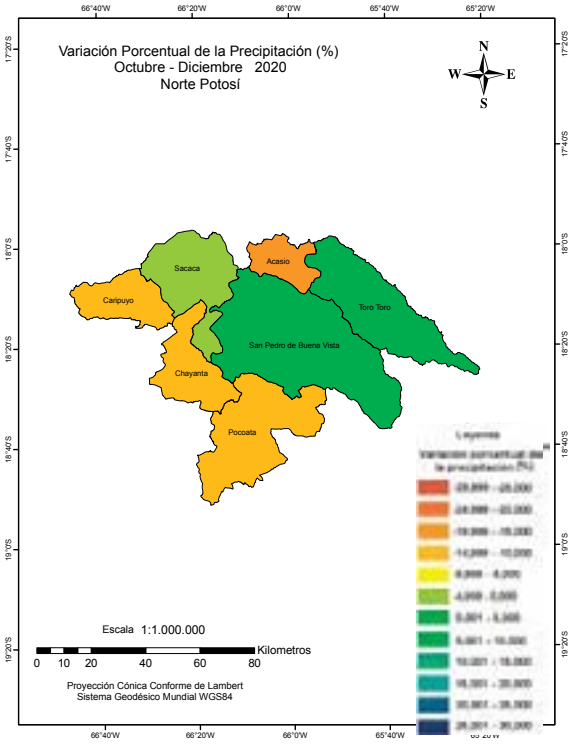

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2020
Norte Potosí
N
W
E
S
66°40'W
66°20'W
66°0'W
65°40'W
65°20'W
17°20'S
17°40'S
18°0'S
18°20'S
18°40'S
19°0'S
19°20'S
Sacaca
Acasio
Caripuyo
Toro Toro
San Pedro de Buena Vista
Chayanta
Pocoata
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:1.000.000
0 10 20 40 60 80
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.6.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2020. Norte Potosí

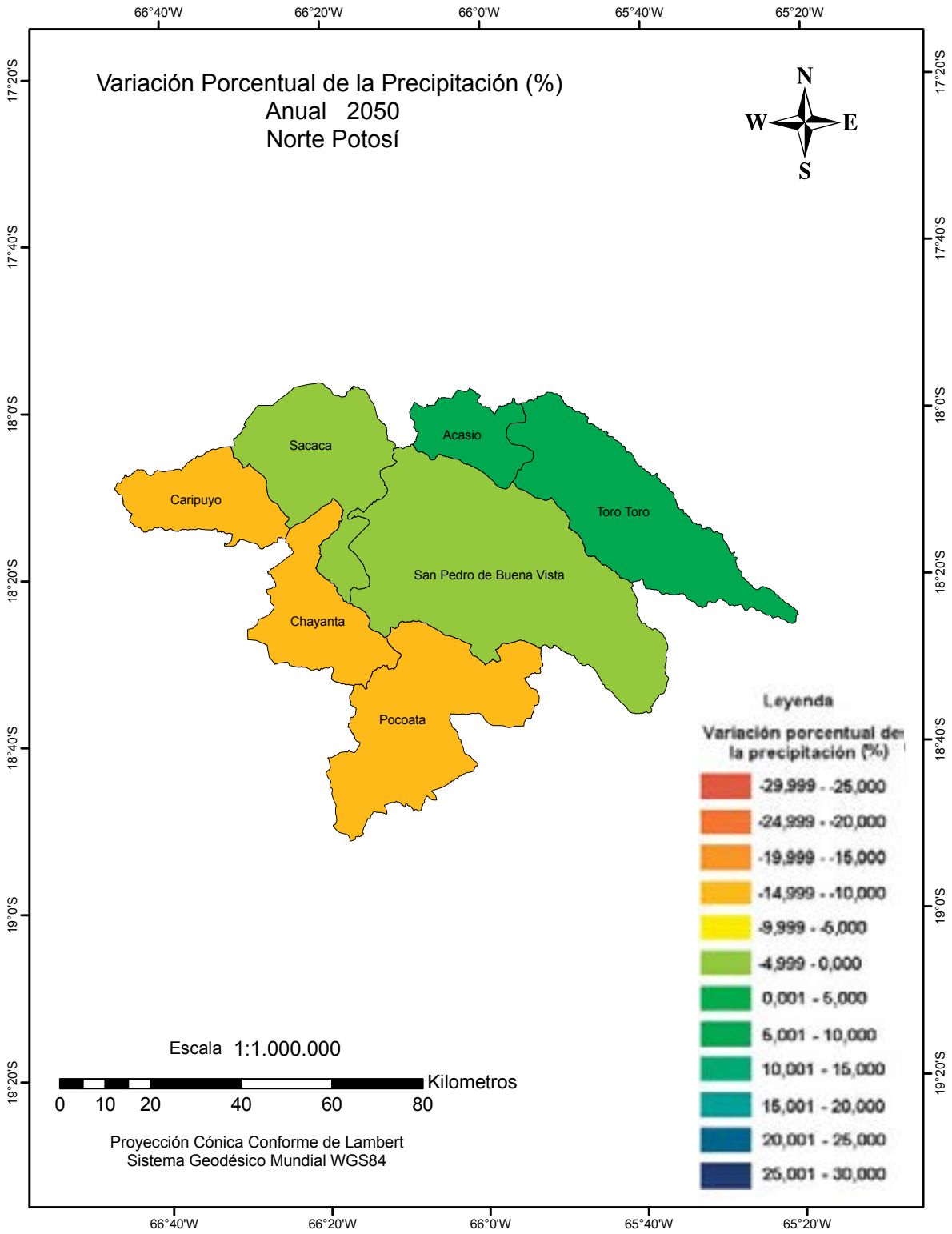




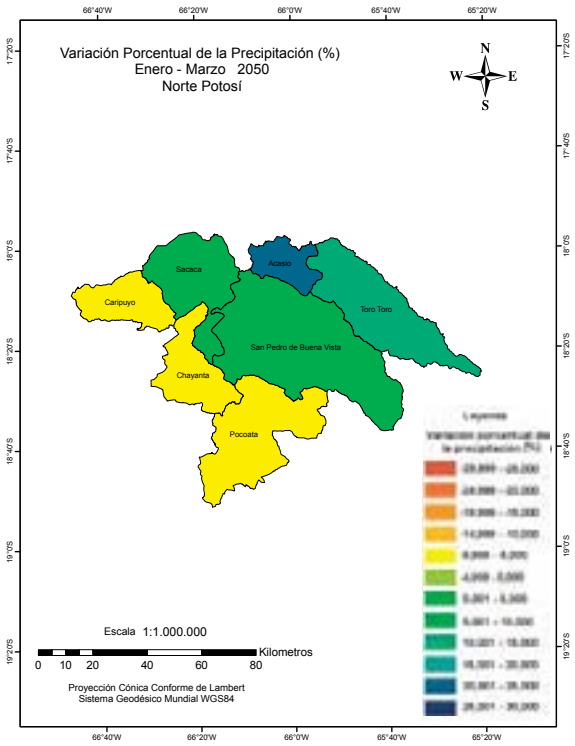


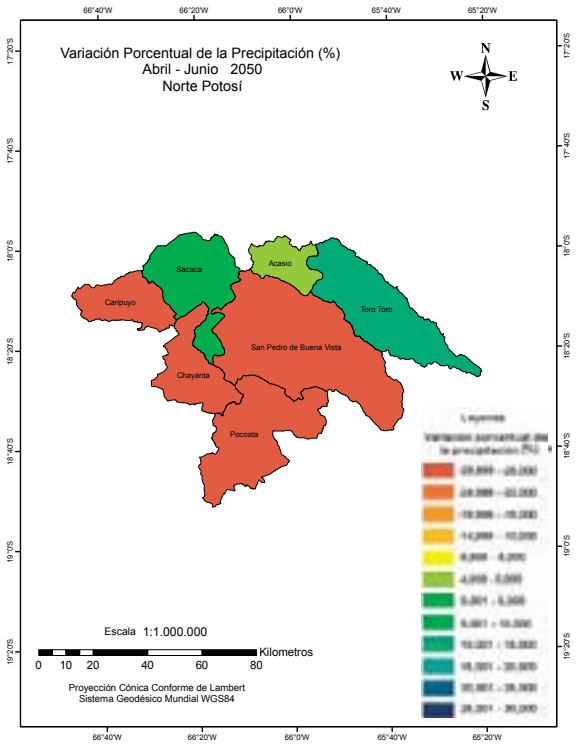


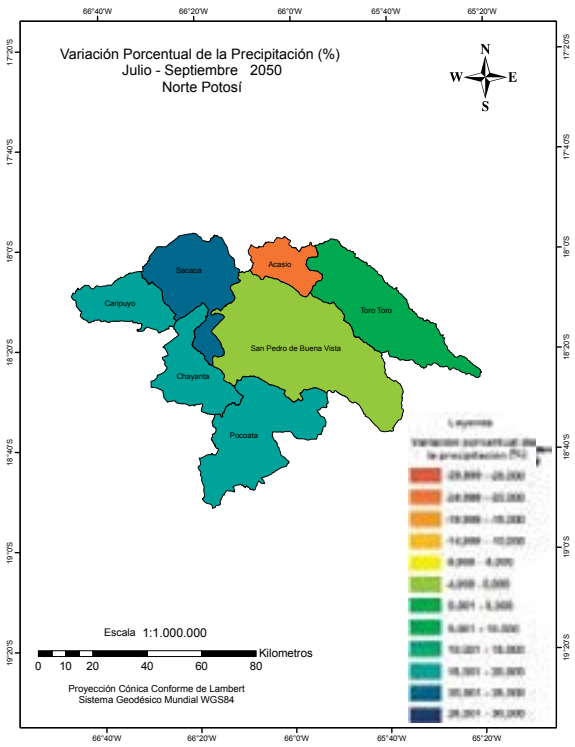
Mapa 5.7.

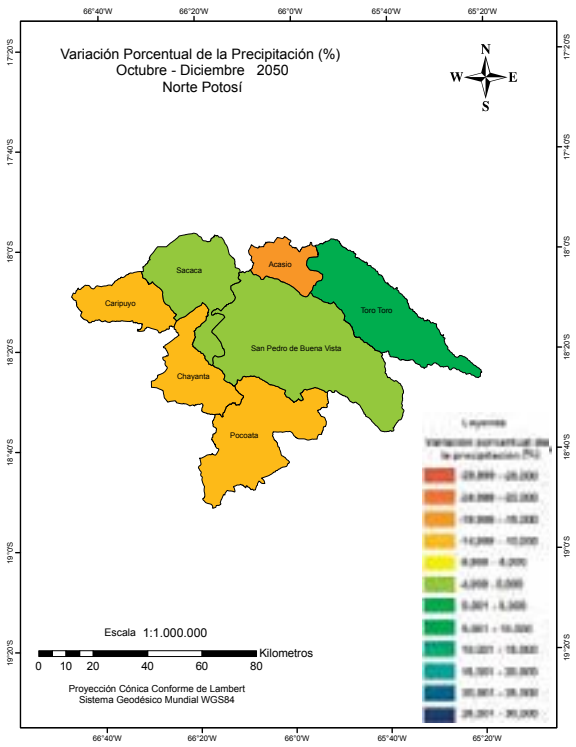

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2050
Norte Potosí
N
W
E
S
66°40'W
66°20'W
66°0'W
65°40'W
65°20'W
17°20'S
17°40'S
18°0'S
18°20'S
18°40'S
19°0'S
19°20'S
Sacaca
Acasio
Caripuyo
Toro Toro
San Pedro de Buena Vista
Chayanta
Pocoata
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:1.000.000
0 10 20 40 60 80
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.8.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2050. Norte Potosí









Aymaras Sin Fronteras
(zona altiplánica)

La zona altiplánica muestra que la precipitación anual descenderá en el futuro, probablemente por su ubicación en el Oeste del país que está más expuesta a las corrientes de aire seco que provienen del océano Pacífico. Este proceso de reducción ocurre en todas las estaciones de la zona (Mapas 9 y 11) y de manera más pronunciada en las estaciones situadas más al Sur. También se observa que esta tendencia se incrementará levemente hacia mediados de siglo, lo que podría provocar situaciones de mayor estrés hídrico en zonas con déficit de precipitación.

La reducción de la precipitación no es significativa al inicio del año (Mapas 10 y 12). Sin embargo, existen tendencias marcadas a la reducción en los municipios del Sur.

Entre abril y junio (Mapas 10 y 12), especialmente al 2020, el régimen de lluvias se reducirá en una época todavía caliente. Por la baja cobertura de nubes, es posible la presencia de heladas radiativas tempranas con mayor frecuencia. Sin embargo, el proceso parece estabilizarse en el futuro lejano y las lluvias se incrementarían nuevamente, probablemente esto se deba a una estabilidad del anticiclón del Pacífico, lo cual reduciría su influencia negativa sobre la zona.

A futuro, (Mapas 10 y 12), la precipitación podría incrementarse en la primavera, probablemente por una mayor presencia de masas de aire frío que provocarían nevadas con cierta frecuencia. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que actualmente la cantidad de precipitación es muy baja, por lo que los cambios porcentuales incluso elevados no significan ascensos de magnitud.

Un impacto preocupante para esta zona se muestra al inicio de la época de lluvias (Mapas 10 y 12), pues en todos los casos se observa una reducción en la precipitación. Siendo un área dependiente de la agricultura y ganadería a secano, el retraso de la época de lluvias provocará siembras tardías. Si se toma en cuenta que la estación de lluvias podría concluir antes y que las heladas podrían iniciarse más temprano, el riesgo en los cultivos a secano se incrementaría.

La variabilidad mensual fue analizada para las dos estaciones con mejor registro de partida que se encuentran en la zona: Charaña y Curahuara

de Carangas, tal como lo muestran las Figuras 5.5 y 5.6.

La precipitación en el altiplano presenta valores mensuales reducidos, pero llama la atención la probabilidad de enfrentar años con precipitación cercana a cero durante la época de lluvias. Esto significa que el riesgo de sequía en la zona es permanente, con menor probabilidad de enfrentar años con inundaciones. El invierno seguirá siendo muy seco, contando solamente con elevada precipitación en agosto de 2020, fundamentalmente por la ocurrencia periódica de nevadas, aunque esto parece que se reducirá a mediados de siglo, aparentemente por un desplazamiento de esos procesos hacia octubre.

Figura 5.5.
Dispersión interanual de precipitación mensual en Charaña, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo).

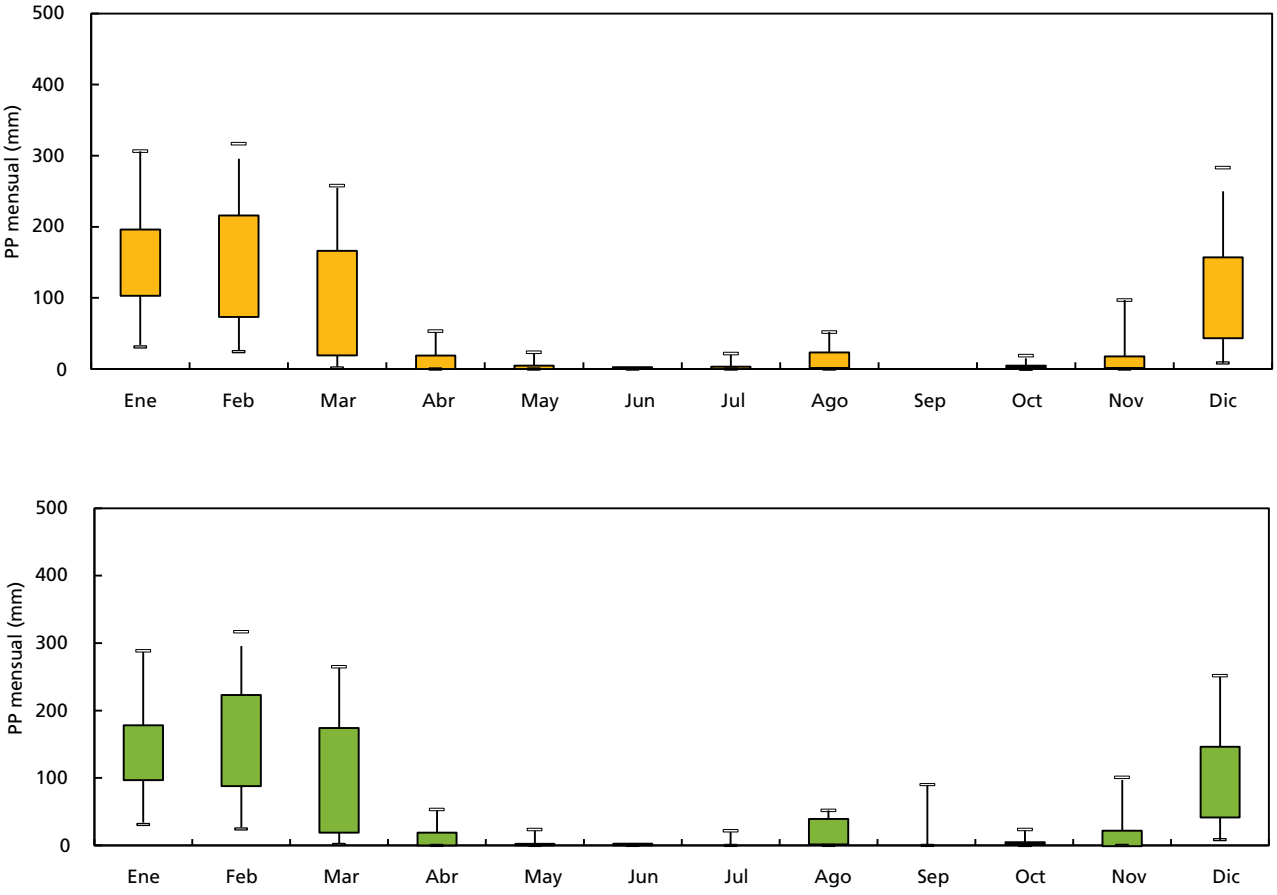
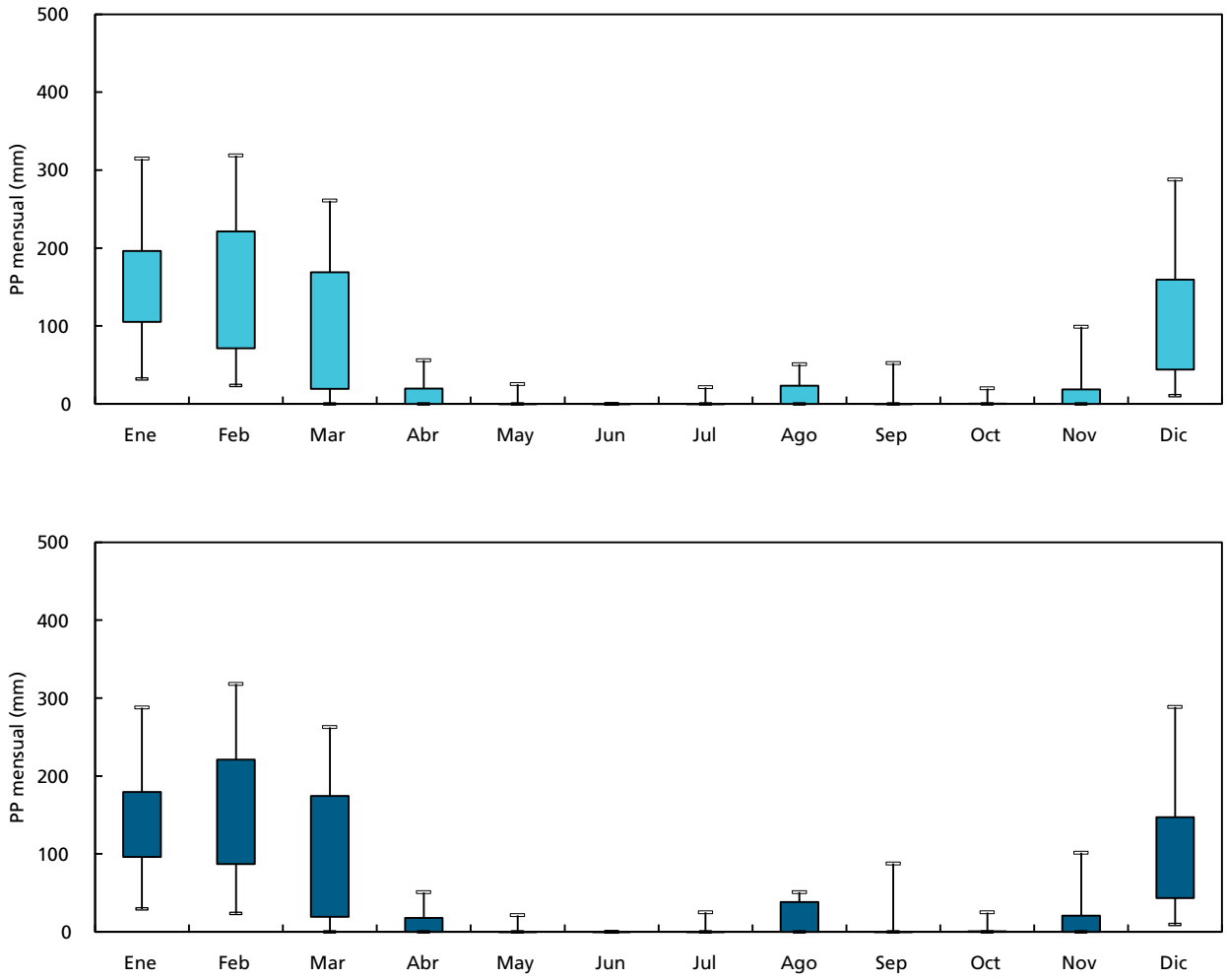
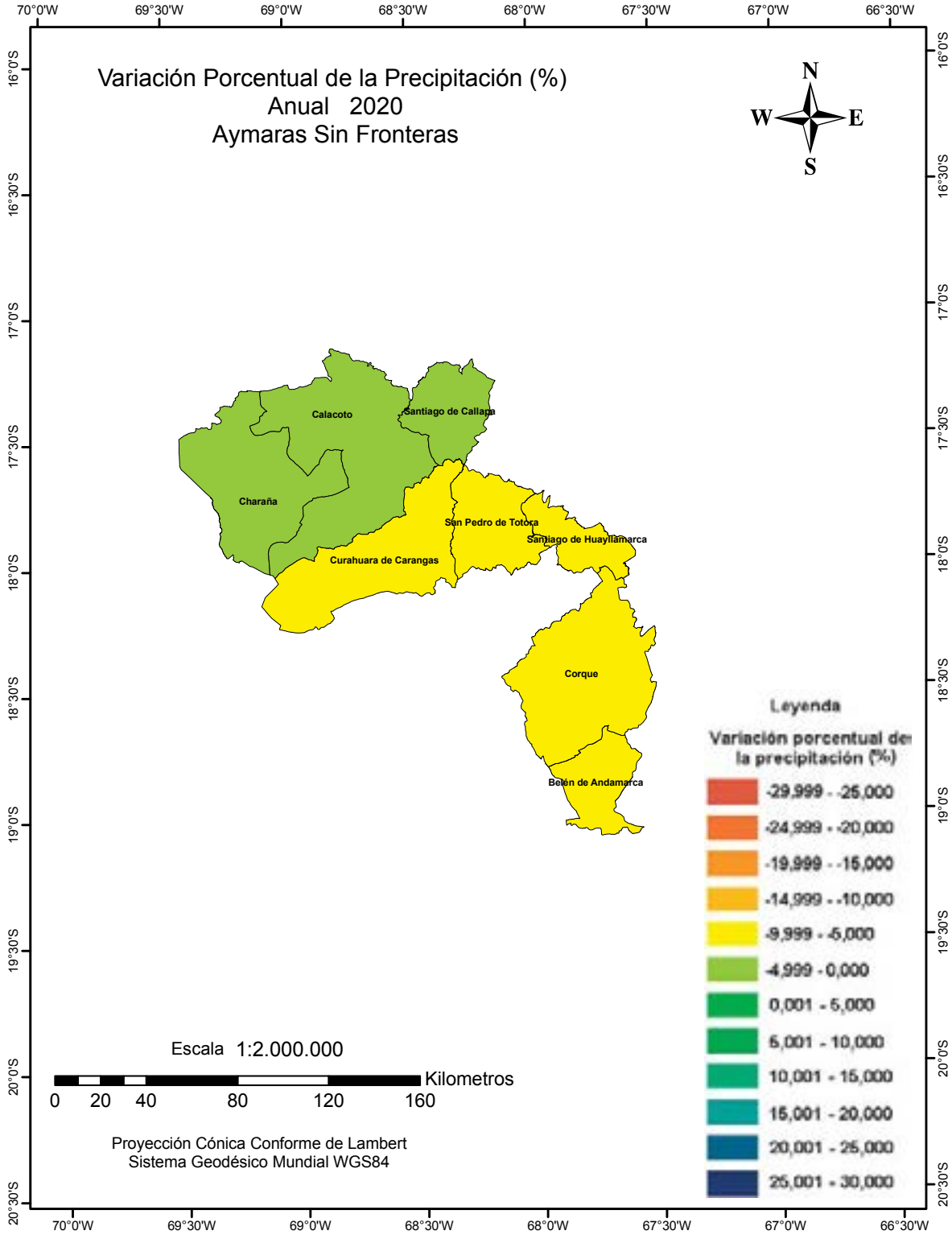


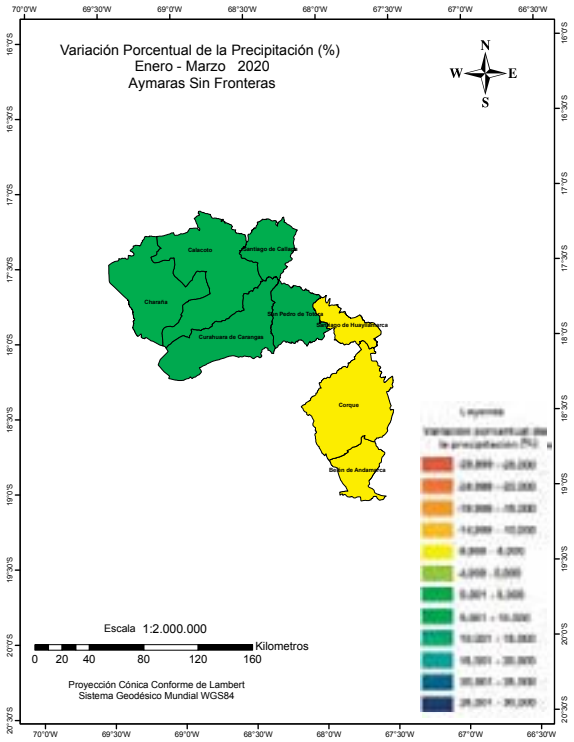
Figura 5.6.
Dispersión interanual representada en boxplots de los registros de precipitación acumulada mensual previstos para 2020 (arriba) y 2050 (abajo) para Curahuara de Carangas.

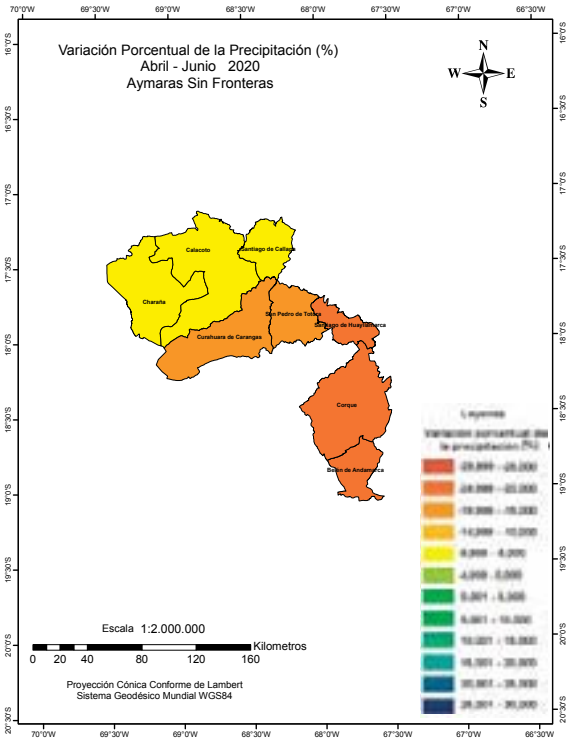


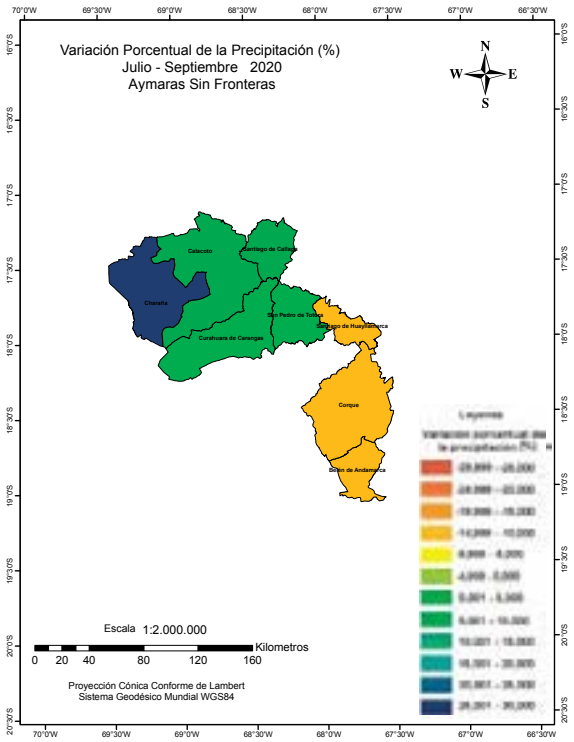
Mapa 5.9.

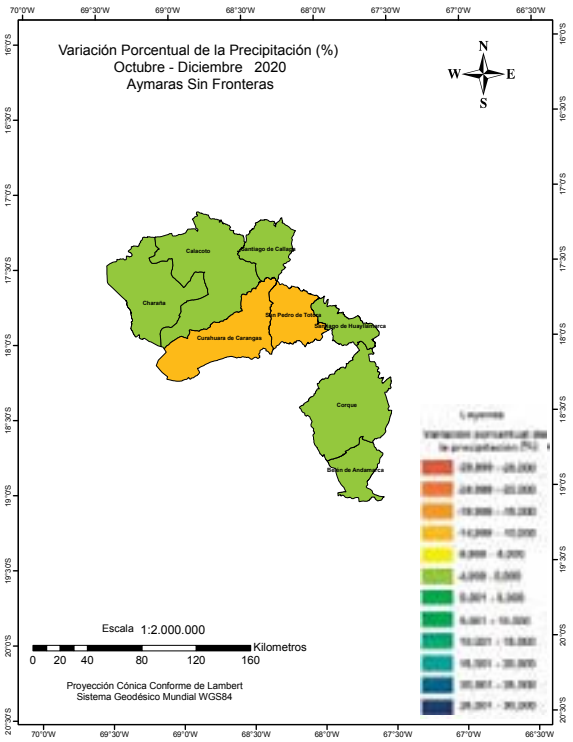

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2020
Aymaras Sin Fronteras
N
W
E
S
Calacoto
Santiago de Callapa
Charaña
San Pedro de Totora
Santiago de Huayllamarca
Curahuara de Carangas
Corque
Belén de Andamarca
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:2.000.000
0 20 40 80 120 160
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84
70°0'W
69°30'W
69°0'W
68°30'W
68°0'W
67°30'W
67°0'W
66°30'W
16°0'S
16°30'S
17°0'S
17°30'S
18°0'S
18°30'S
19°0'S
19°30'S
20°0'S
20°30'S

Mapa 5.10.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2020. Aymaras Sin Fronteras

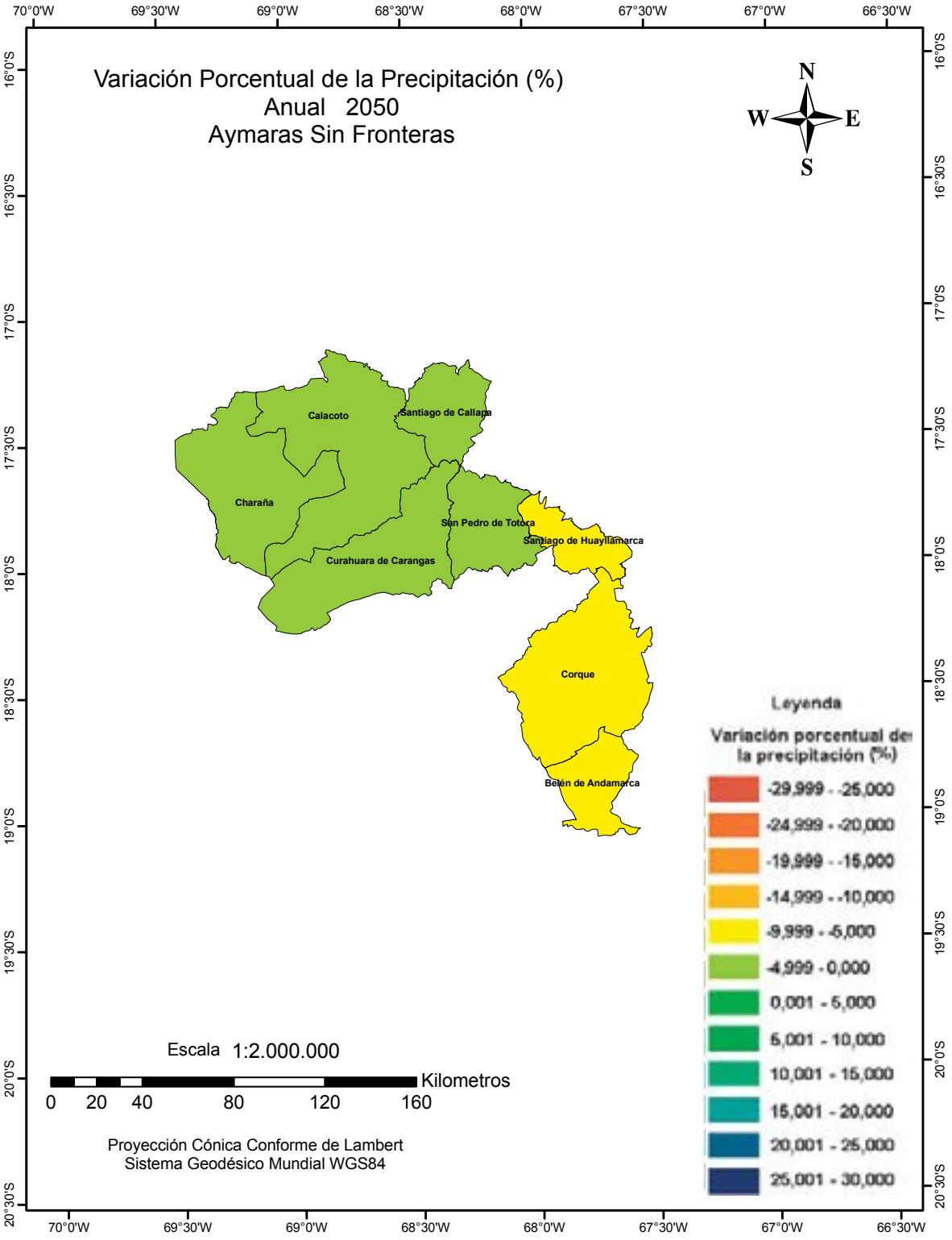




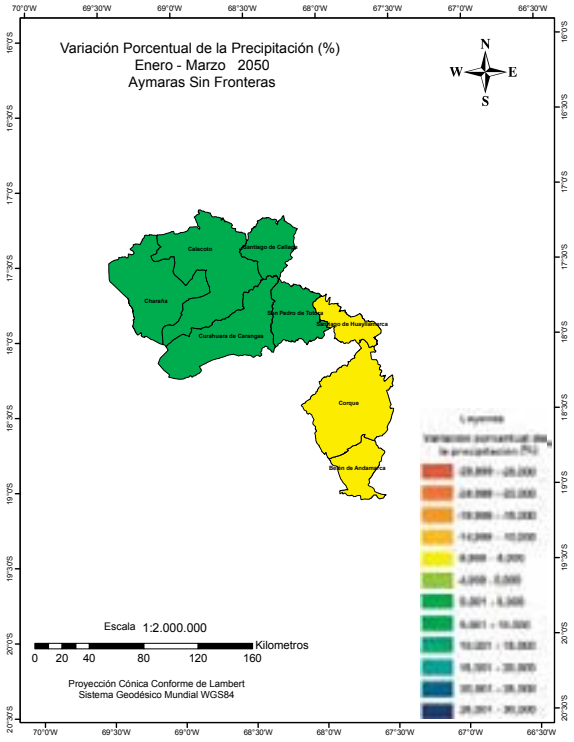


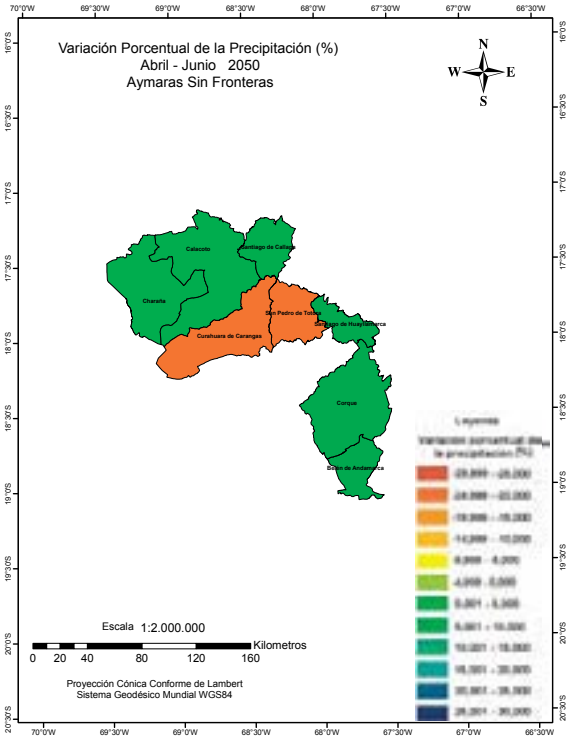


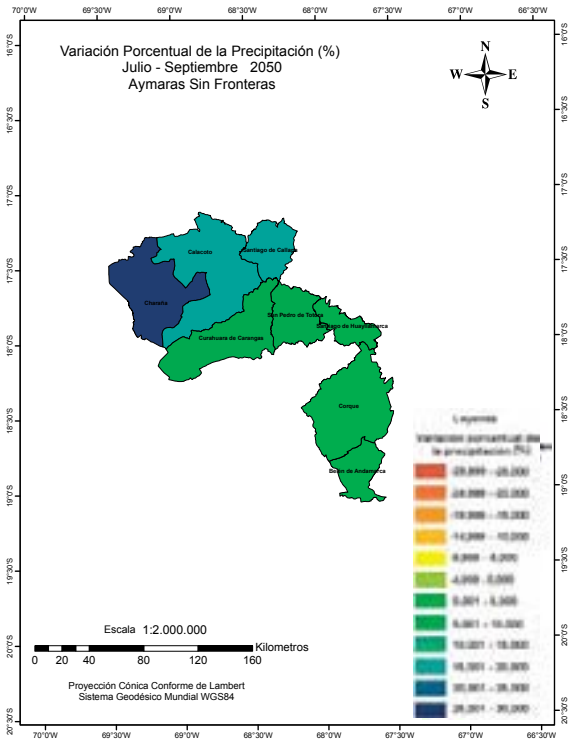
Mapa 5.11.

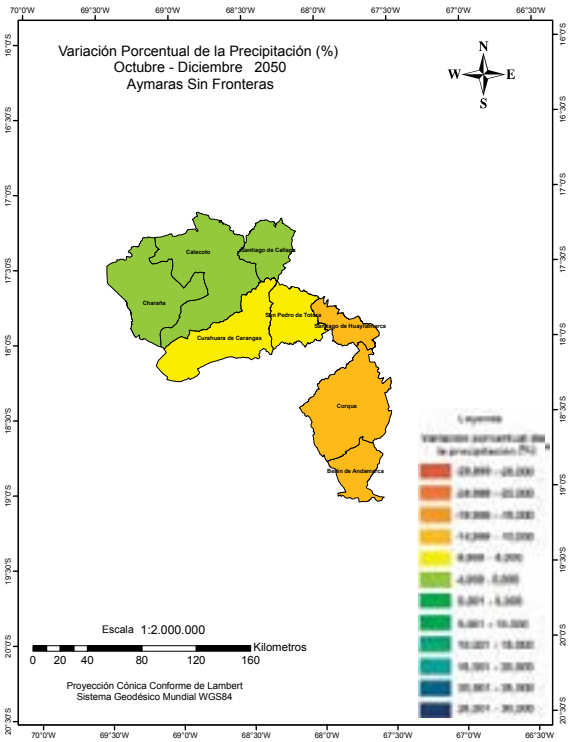

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2050
Aymaras Sin Fronteras
N
W
E
S
Calacoto
Santiago de Callapa
Charaña
San Pedro de Totora
Santiago de Huayllamarca
Curahuara de Carangas
Corque
Belén de Andamarca
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:2.000.000
Kilometros
0 20 40 80 120 160
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84
70°0'W
69°30'W
69°0'W
68°30'W
68°0'W
67°30'W
67°0'W
66°30'W
16°0'S
16°30'S
17°0'S
17°30'S
18°0'S
18°30'S
19°0'S
19°30'S
20°0'S
20°30'S

Mapa 5.12.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2050. Aymaras Sin Fronteras









Gran Centro Potosí

Las variaciones anuales de la precipitación recibida (Mapas 13 y 15) en todos los municipios de Gran Centro de Potosí son muy reducidas, menores que la variabilidad interanual típica de la zona, situación que se prolongará hasta el 2050.

El análisis trimestral muestra que entre enero y marzo (Mapas 14 y 16), es decir en el pico de la estación de lluvias, el régimen de precipitación será muy similar al actual con una leve tendencia al descenso hasta el 2050. Esta situación va cambiando lentamente a medida que avanza el año. De esta forma, entre abril y junio (Mapas 14 y 16), la mayoría de las estaciones presenta un descenso marcado de la precipitación en el 2020 que es mayor al 2050. Se excluyen de este comportamiento las estaciones de Betanzos y Caiza "D" que más bien muestran un ascenso comparativo de su precipitación. En general, es probable que se produzca una reducción del periodo de lluvias con una repentina transición entre la época de lluvias y la época seca.

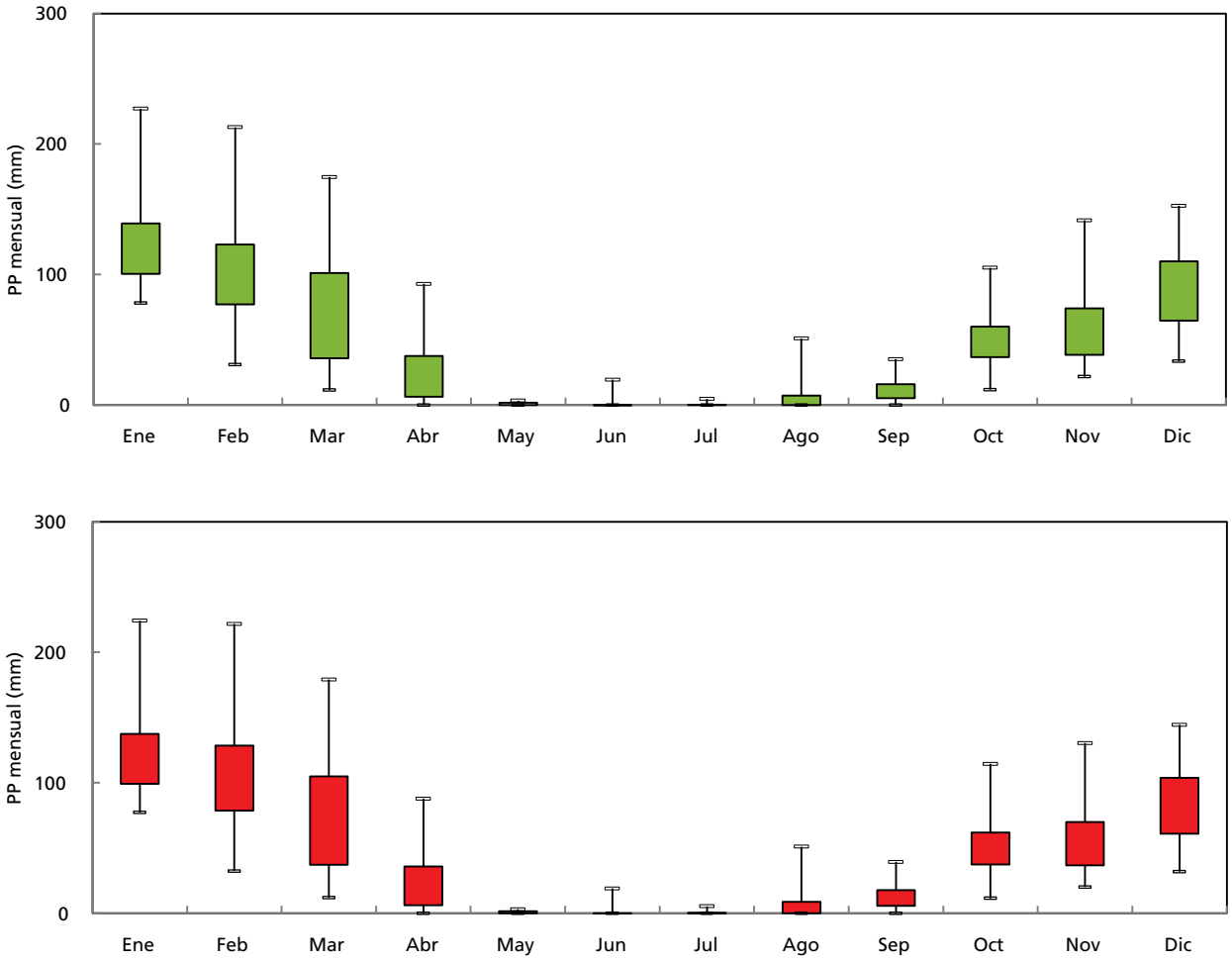
Entre julio y septiembre (Mapas 14 y 16), la mayoría de las estaciones muestran descensos de lluvia que incrementarán su aridez, pues esos valles presentan temperaturas moderadas (entre 5 °C y 20 °C) por la elevada recepción de radiación solar durante el año. Sin embargo, esto debe compensarse con evapotranspiración real, la cual será reducida por el menor aporte de agua de lluvia, teniendo como resultado un déficit hídrico climático más o menos permanente.

A diferencia de las otras zonas, ésta no muestra una clara tendencia de descenso al inicio de la época de lluvias que ocurren entre octubre y diciembre (Mapas 14 y 16), sino más bien un aparente incremento en más del 11%, manteniendo este comportamiento hasta 2050, lo cual podría significar un beneficio para la zona, que debe ser analizado a mayor detalle para implementar medidas de adaptación.

La variabilidad mensual fue analizada para las dos estaciones con mejor registro de información de partida que se encuentran en la zona: las estaciones de Chaquí y Yocalla, tal como lo muestran las Figuras 5.7 y 5.8.

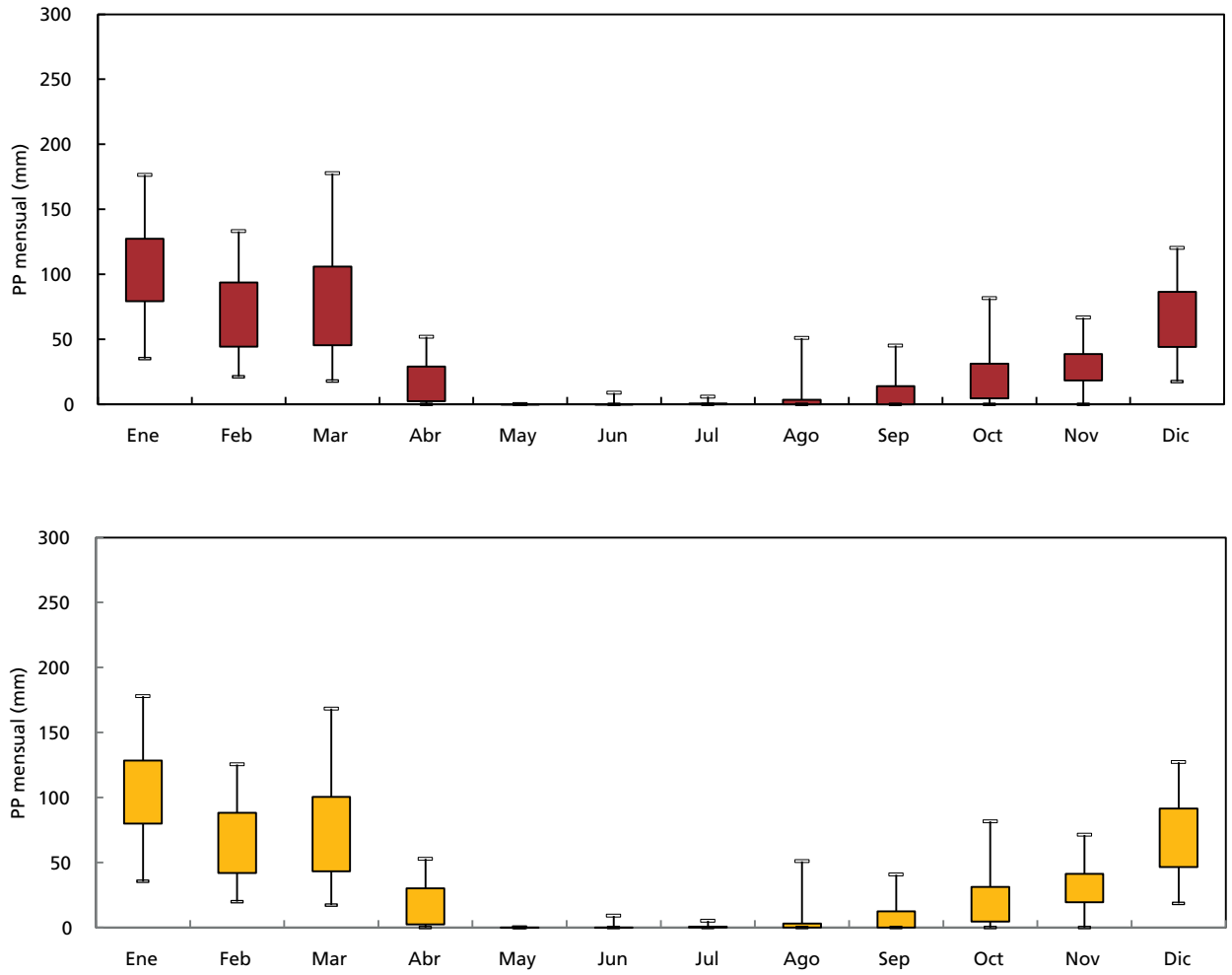
Las Figuras 5.7 y 5.8 muestran que la zona no presenta probabilidades de enfrentar años con precipitación cercana a cero durante la época de lluvias pero sí de tener años con muy baja precipitación, especialmente entre febrero y abril, lo que podría afectar el desarrollo de la agricultura en la zona.

Figura 5.7.
Dispersión interanual de la precipitación mensual en Chaquí, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo).

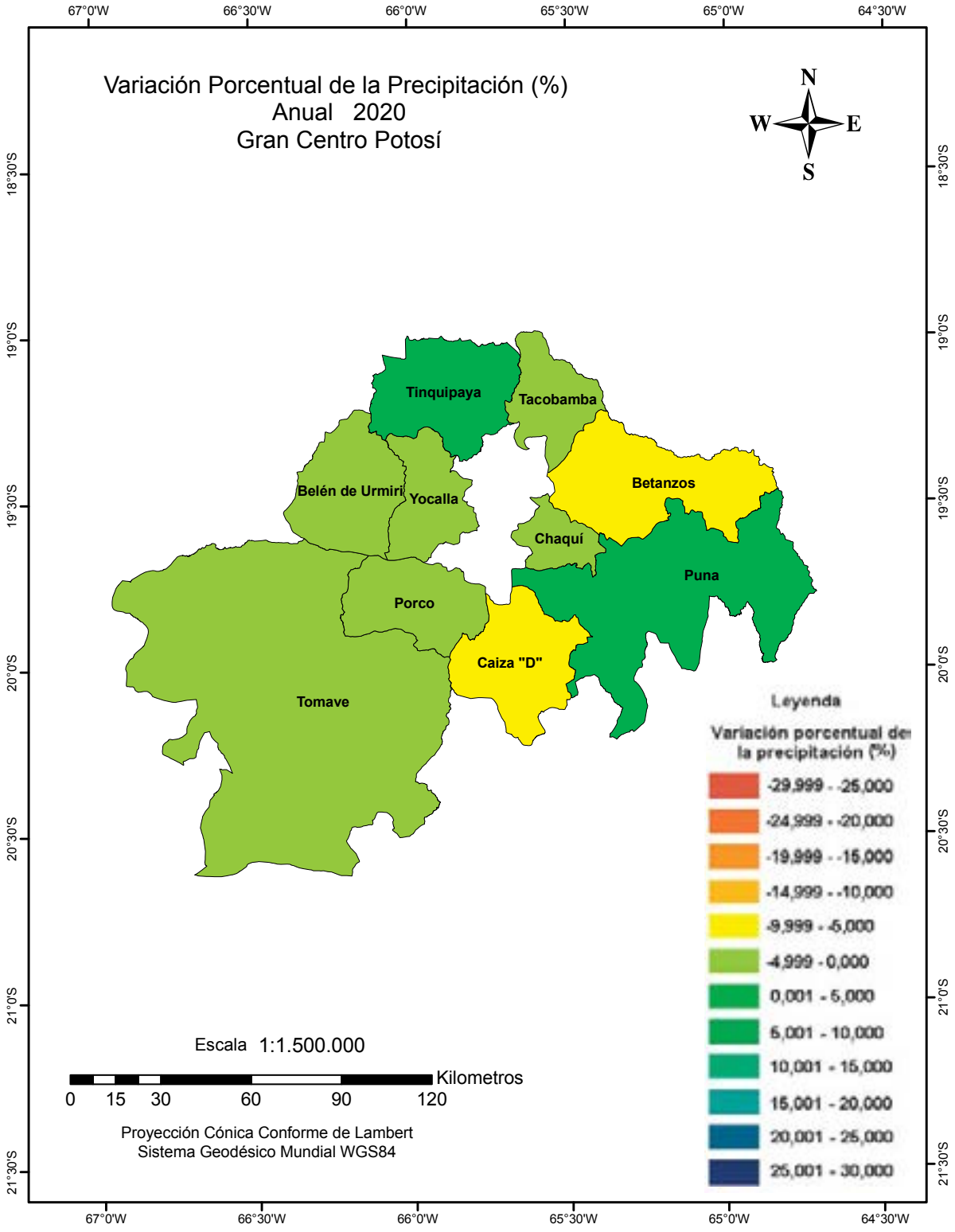


Las altas precipitaciones también son posibles, aunque con valores mensuales no muy elevados. La precipitación invernal es cercana a cero, lo que determinará permanentes sequías durante esta época, situación que no cambiará en el futuro.

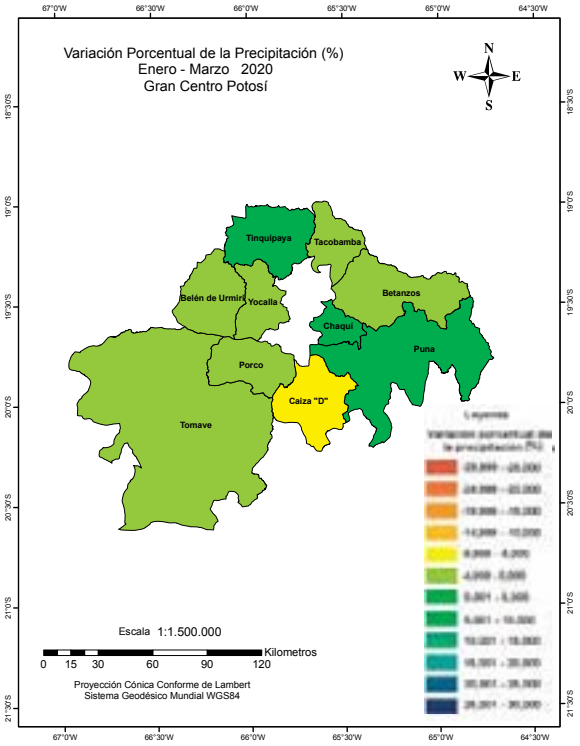
Figura 5.8.
Dispersión interanual de la precipitación mensual de Yocalla, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo).

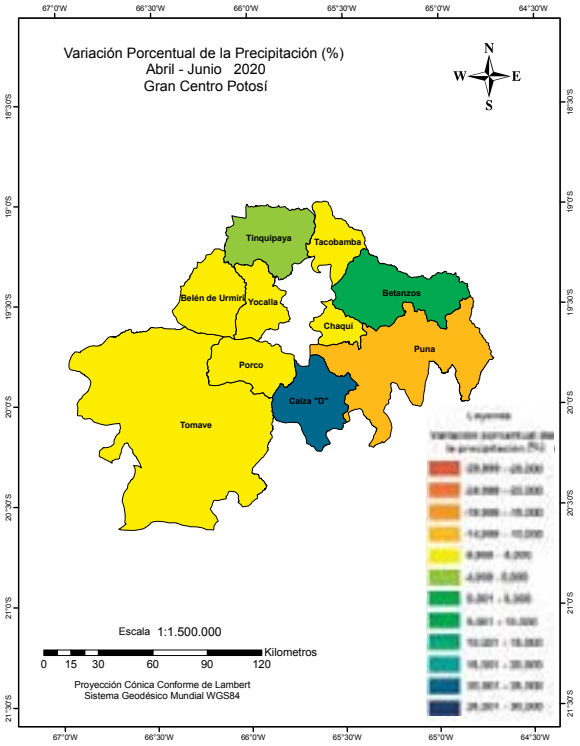


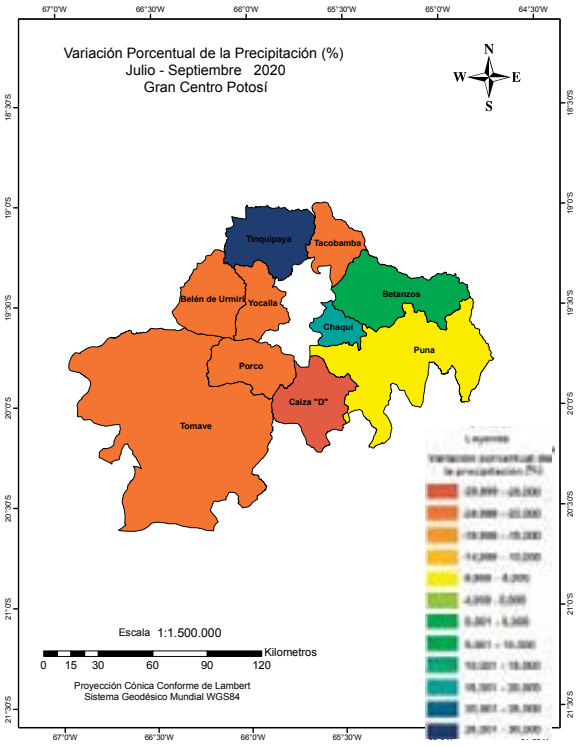
Mapa 5.13.

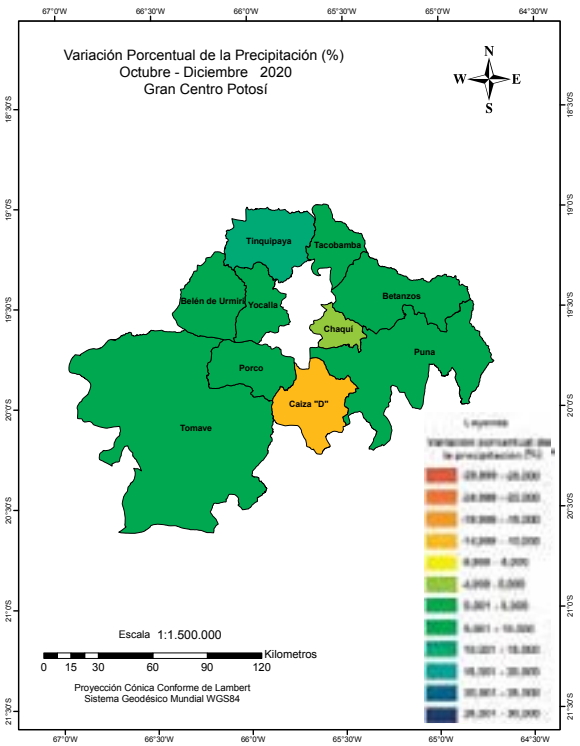

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2020
Gran Centro Potosí
N
W
E
S
67°0'W
66°30'W
66°0'W
65°30'W
65°0'W
64°30'W
18°30'S
19°0'S
19°30'S
20°0'S
20°30'S
21°0'S
21°30'S
Tinquipaya
Tacobamba
Belén de Urmiri
Yocalla
Betanzos
Chaquí
Puna
Porco
Caiza "D"
Tomave
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:1.500.000
0 15 30 60 90 120
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.14.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2020. Gran Centro Potosí

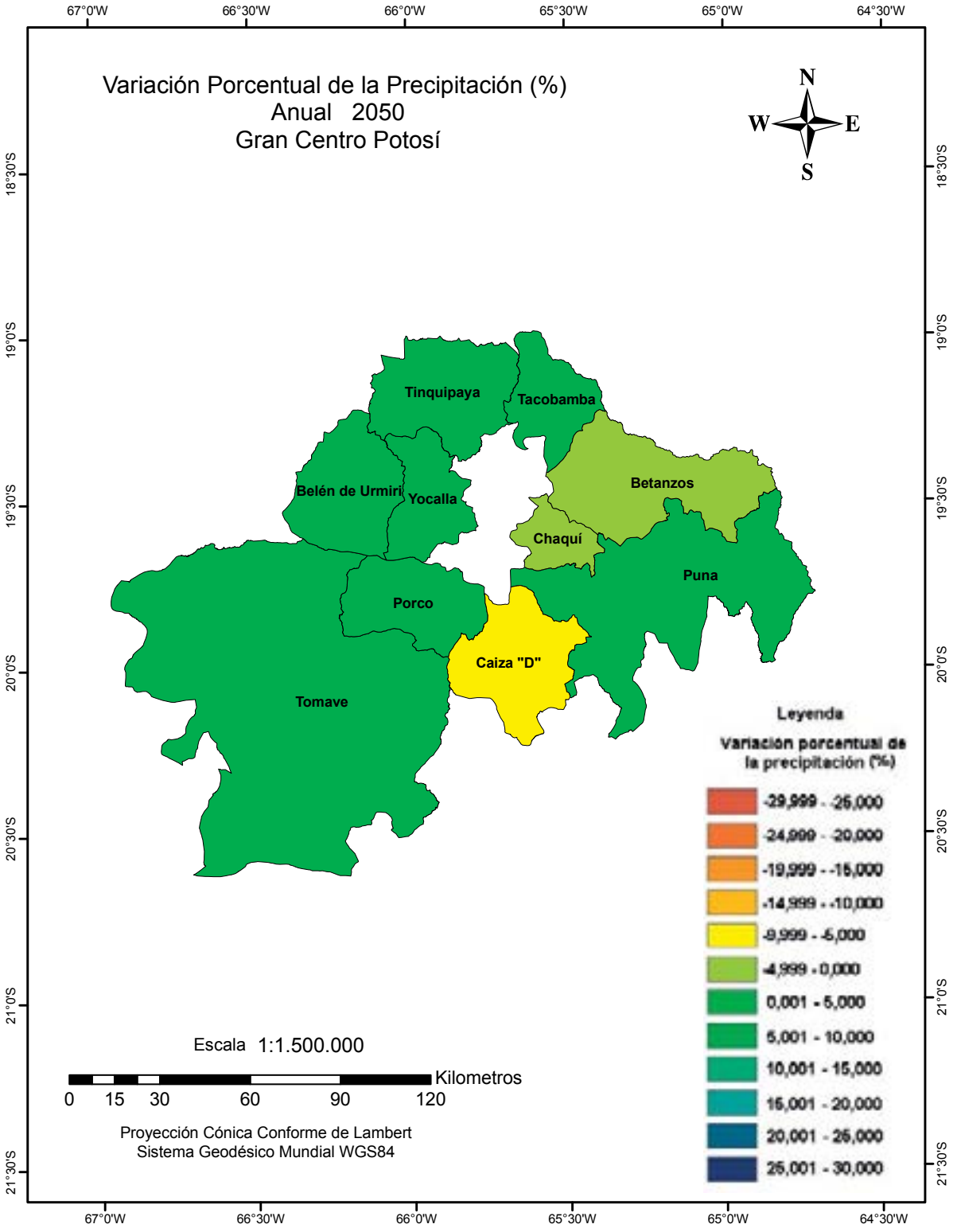




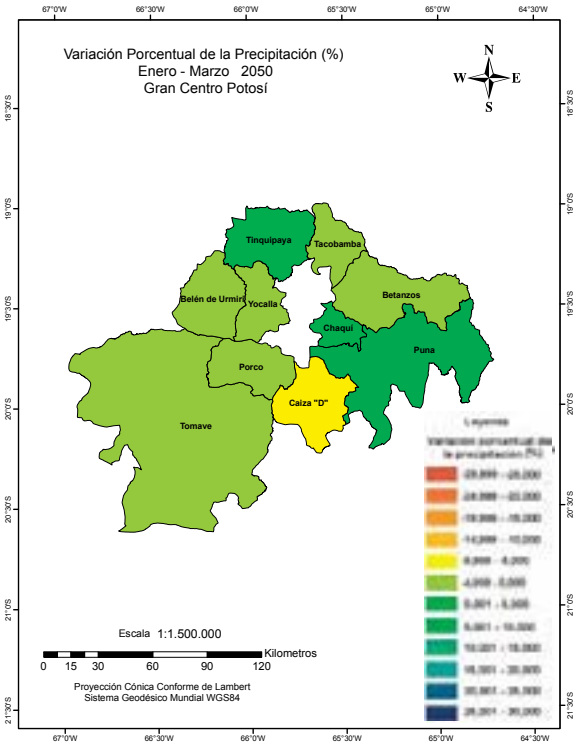


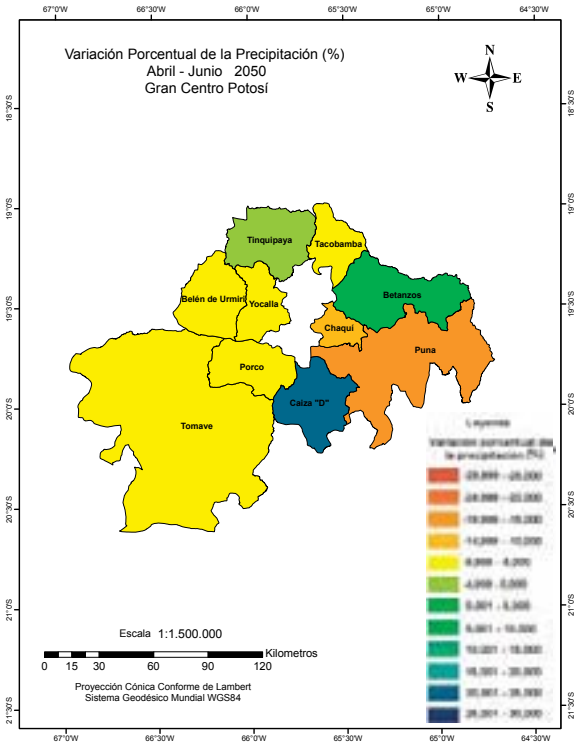


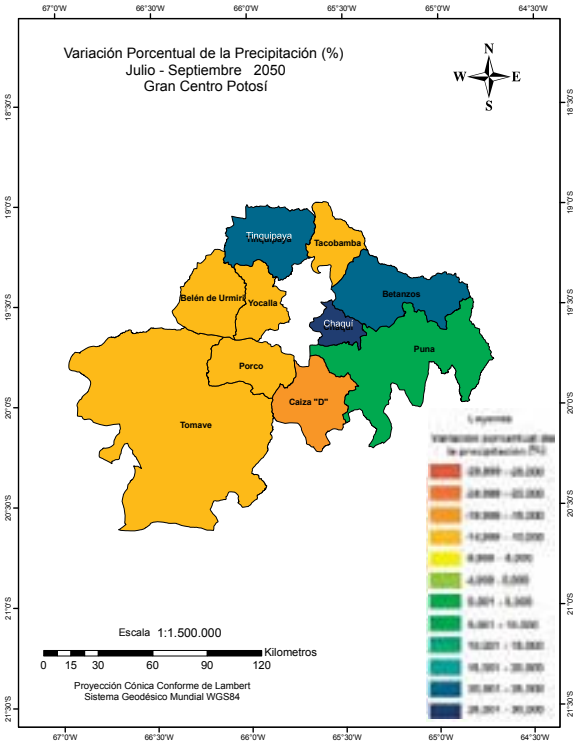
Mapa 5.15.

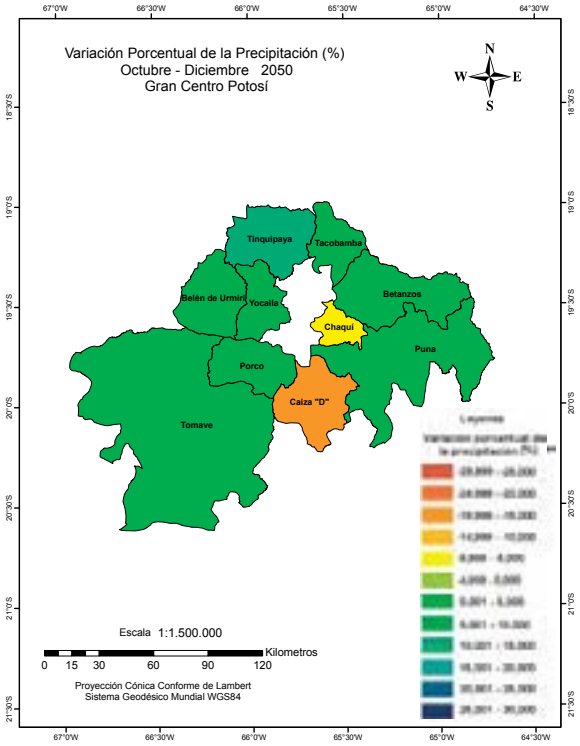

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2050
Gran Centro Potosí
N
W
E
S
67°0'W
66°30'W
66°0'W
65°30'W
65°0'W
64°30'W
18°30'S
19°0'S
19°30'S
20°0'S
20°30'S
21°0'S
21°30'S
Tinquipaya
Tacobamba
Belén de Urmiri
Yocalla
Betanzos
Chaquí
Puna
Porco
Caiza "D"
Tomave
Leyenda
Variacion porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:1.500.000
0 15 30 60 90 120
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.16.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2050. Gran Centro Potosí









Cintis

Los valles interandinos o valles del Sur de altitud media en los cuales se encuentra Cintis, se caracteriza por la alta incidencia de radiación solar y las temperaturas moderadas con vocación para la agricultura. Sin embargo, el nivel de aridez local producida por su ubicación en valles que bloquean el flujo de masas de aire húmedo, incrementan su tendencia típica a la falta de agua y a eventuales, pero aislados, eventos de lluvias intensas y cortas.

Estas características parecen incrementarse bajo condiciones de cambio climático, pues en todos los municipios involucrados se observa una clara tendencia al descenso de la lluvia anual (Mapas 17 y 19), tendencia que se incrementa hasta el 2050, siendo los municipios con mayor impacto Camargo y Las Carreras. En este caso, las bajas precipitaciones hacen que la reducción porcentual no sea significativa, situación que probablemente cambie en el futuro.

La precipitación de enero a marzo (Mapas 18 y 20) mantiene esta tendencia, aunque los porcentajes de reducción en Culpina e Incahuasi no son significativos. Los restantes municipios muestran reducciones relativamente moderadas, siendo Camargo el municipio con mayores reducciones tanto en 2020 como en 2050.

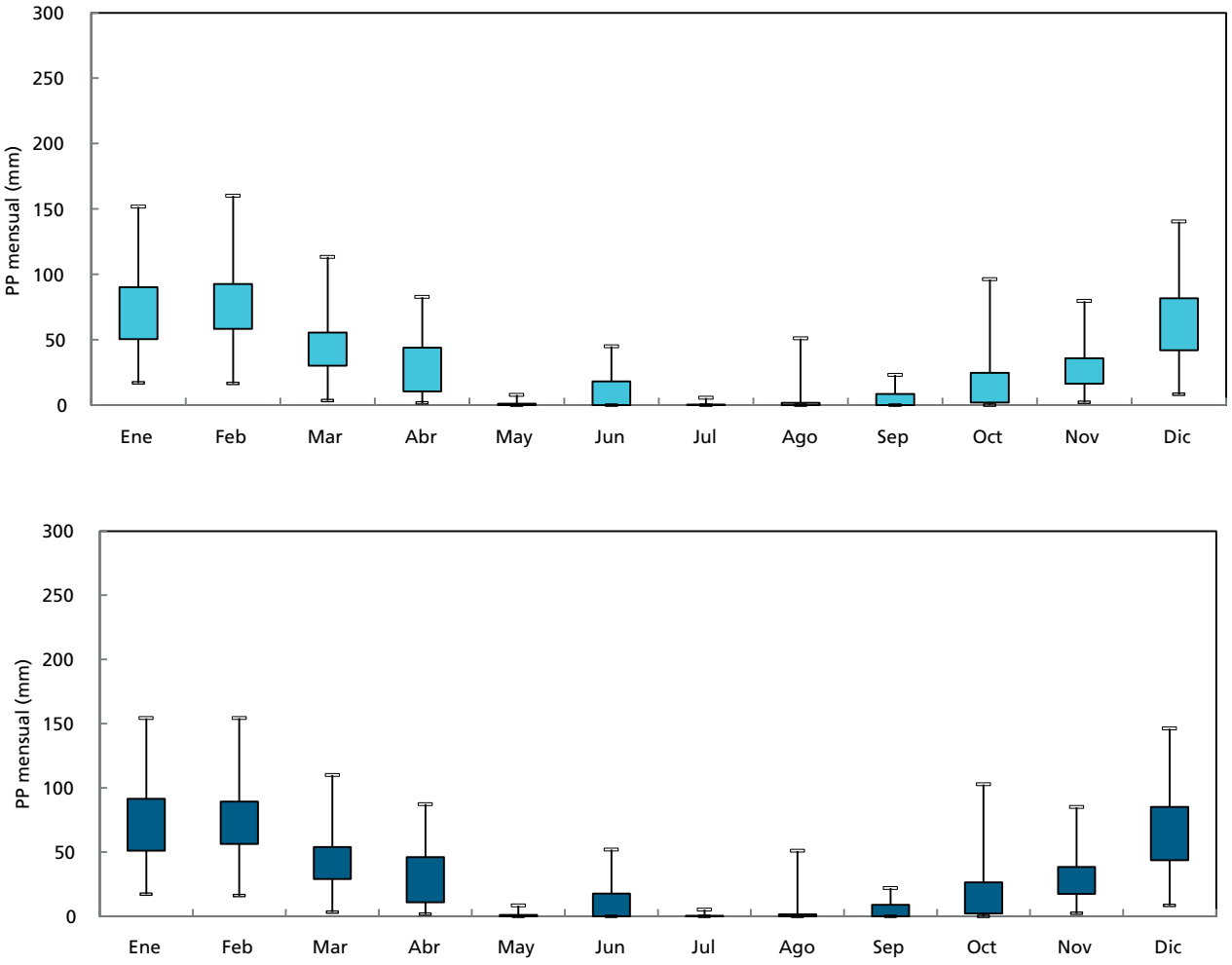
La precipitación también se vería reducida entre los meses de abril a junio (Mapas 18 y 20) en la mayoría de los municipios de la zona, pero en porcentajes mayores a las otras zonas próximas analizadas, incidiendo en la aridez en el periodo de cambio de la época húmeda a la seca.

Entre julio y septiembre, la precipitación parece estabilizarse, a excepción de Camargo y Villa Abecia donde se incrementarían. Es importante recordar que ésta es la época de estiaje, por lo que un incremento porcentual, incluso alto, no sería significativo.

Entre octubre y diciembre la precipitación se mantendrá hasta el 2020, reduciéndose después, a partir de un debilitamiento del movimiento de las masas de aire. La zona de Las Carreras sería la más afectada por este fenómeno, lo que finalmente influirá en la reducción anual.

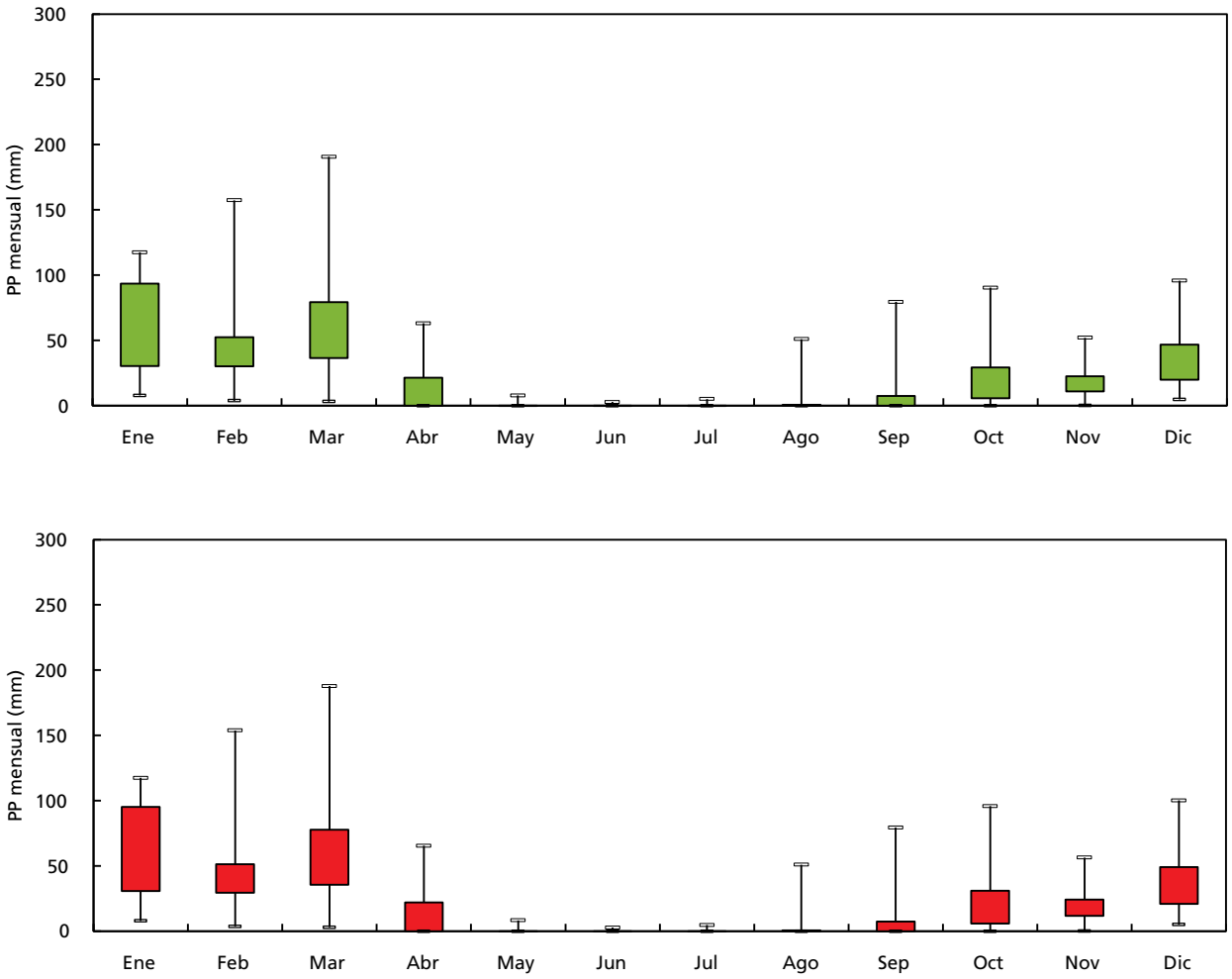
La variabilidad mensual fue analizada en base a las estaciones de Culpina y Las Carreras, como se muestra en las Figuras 5.9 y 5.10.

Figura 5.9.
Dispersión interanual de la precipitación mensual en Culpina, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo).

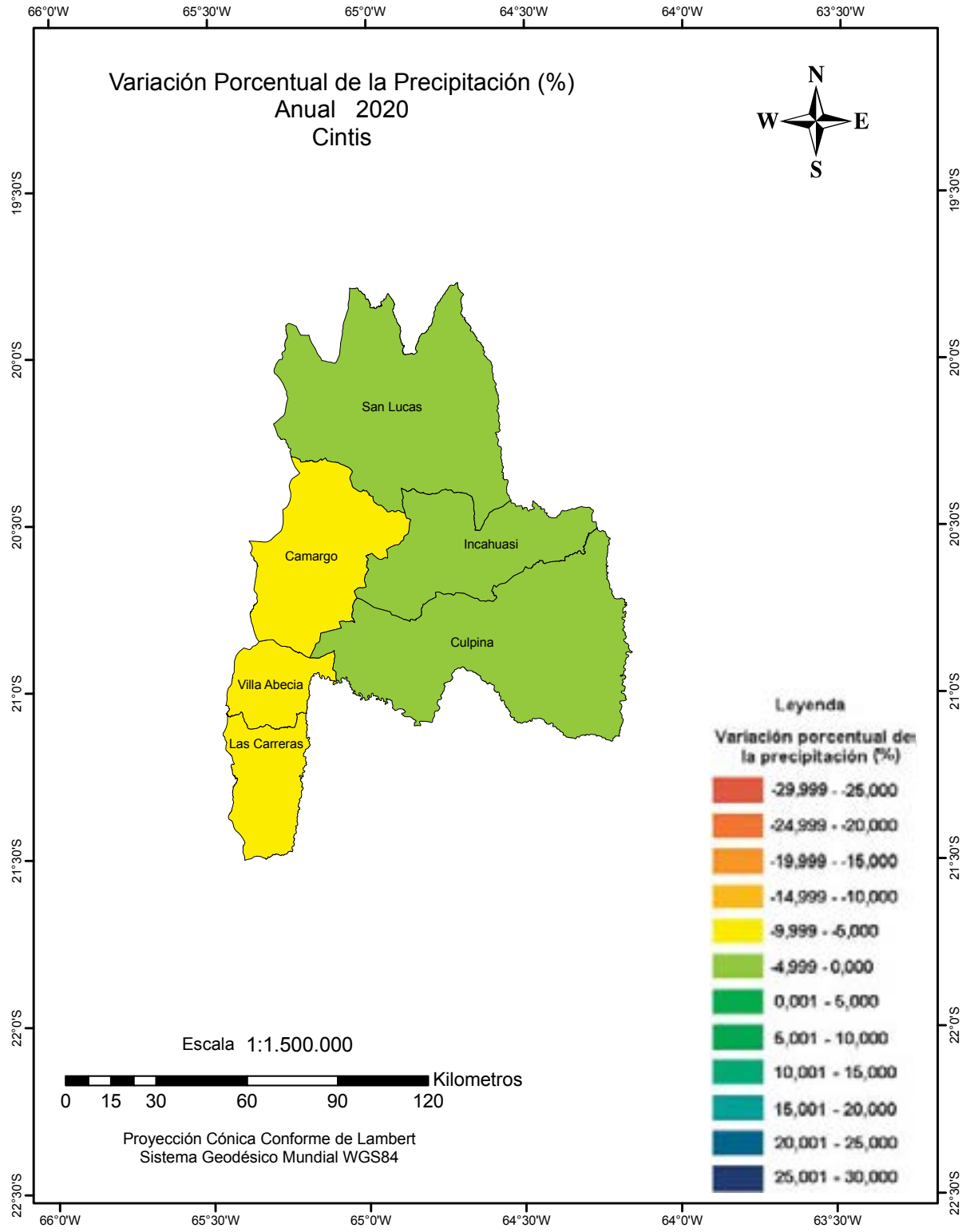


La variabilidad interanual muestra la elevada probabilidad de enfrentar años muy secos en esta región. Siendo que la mediana se encuentra en valores muy reducidos y los extremos muy alejados de ésta y sin cambios en la tendencia hacia mediados de siglo. Esto muestra que la zona tendrá baja precipitación en general, pero los extremos podrían alterar el ecosistema y poner a prueba las obras que se construyan a futuro. Los inviernos se mantienen muy secos y el cambio entre la época lluviosa y la seca es muy evidente y de rápida ocurrencia.

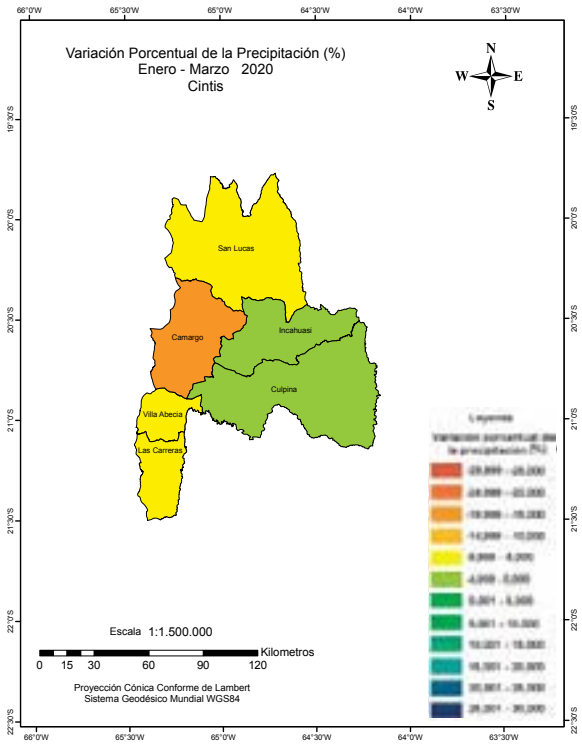
Figura 5.10.
Dispersión interanual de la precipitación mensual en Las Carreras, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo).

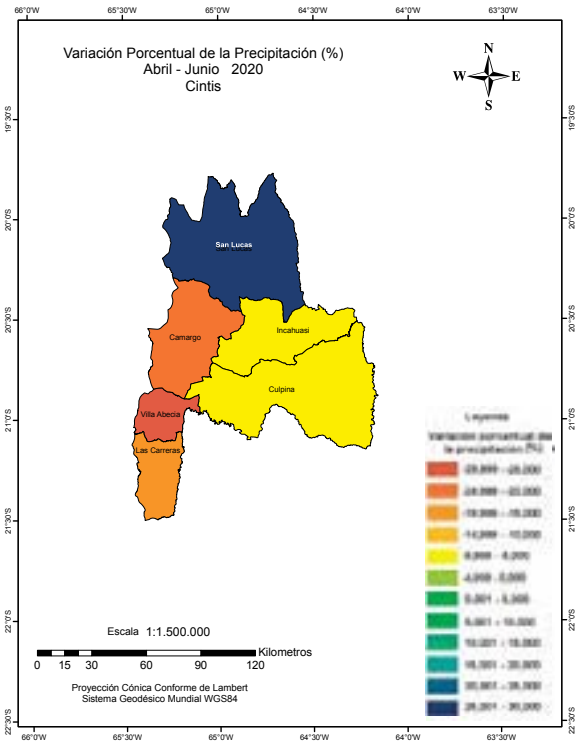


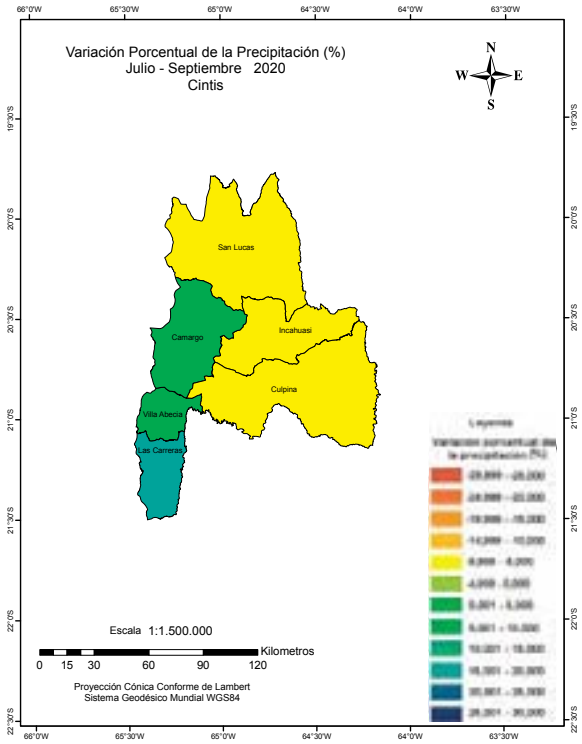
Mapa 5.17.

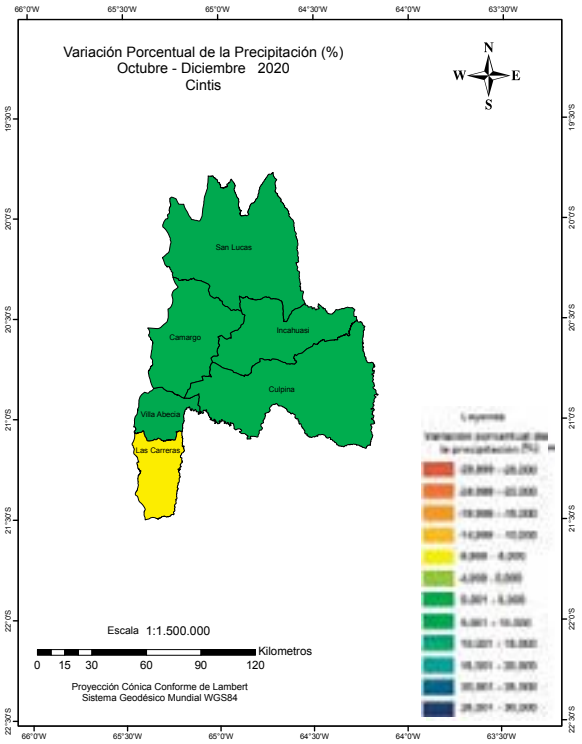

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2020
Cintis
N
W
E
S
66°0'W
65°30'W
65°0'W
64°30'W
64°0'W
63°30'W
19°30'S
20°0'S
20°30'S
21°0'S
21°30'S
22°0'S
22°30'S
San Lucas
Camargo
Incahuasi
Culpina
Villa Abecia
Las Carreras
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:1.500.000
0 15 30 60 90 120
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.18.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2020. Cintis

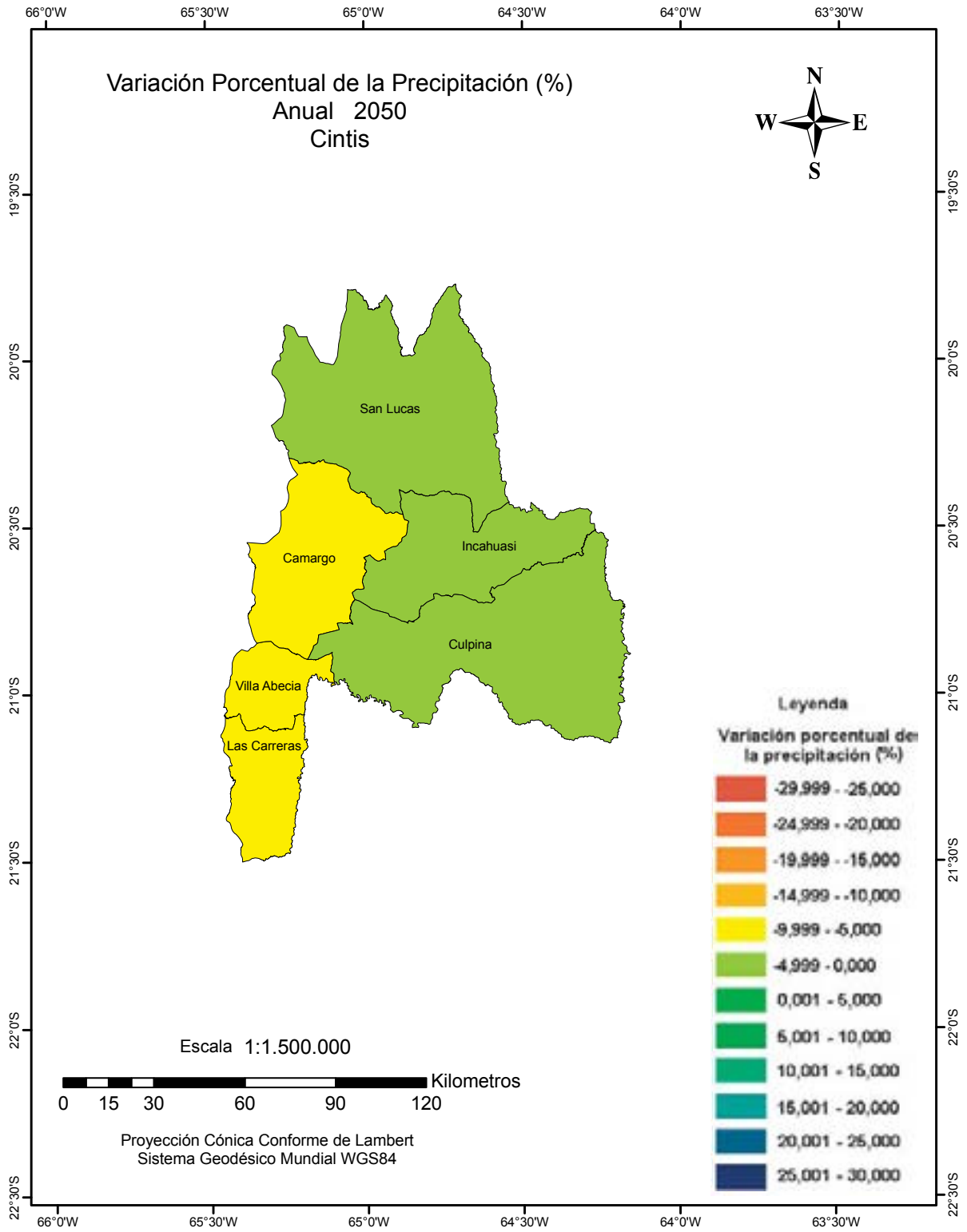




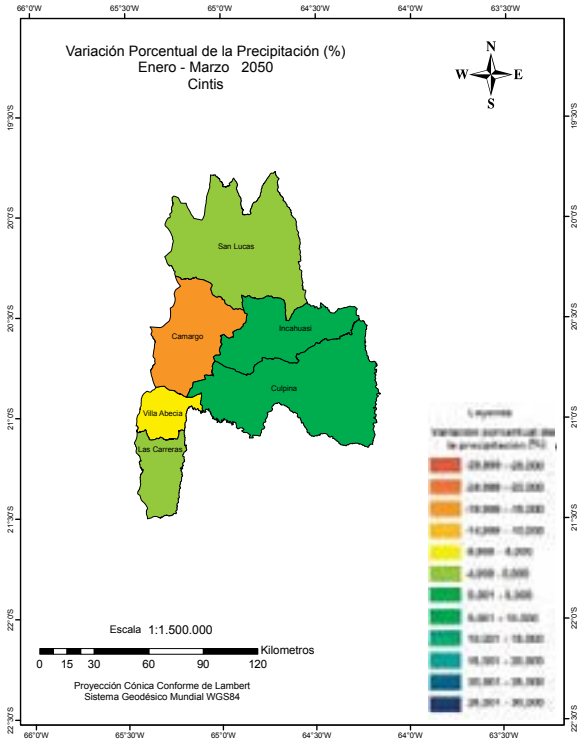


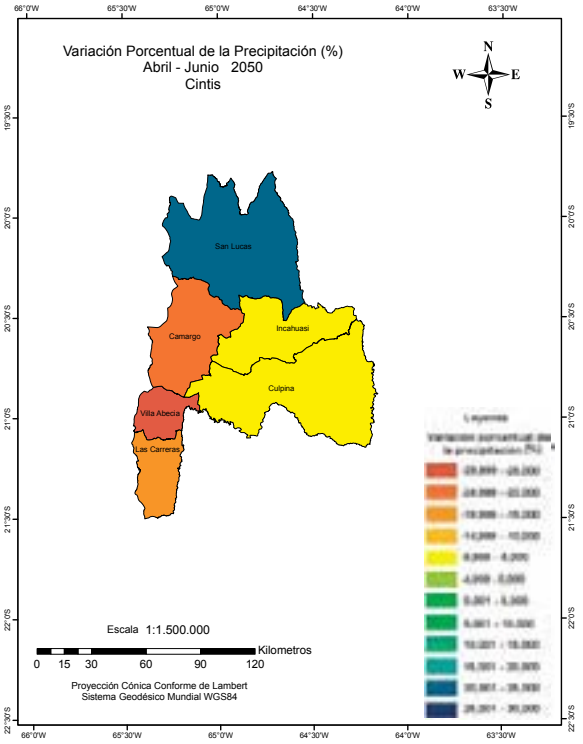


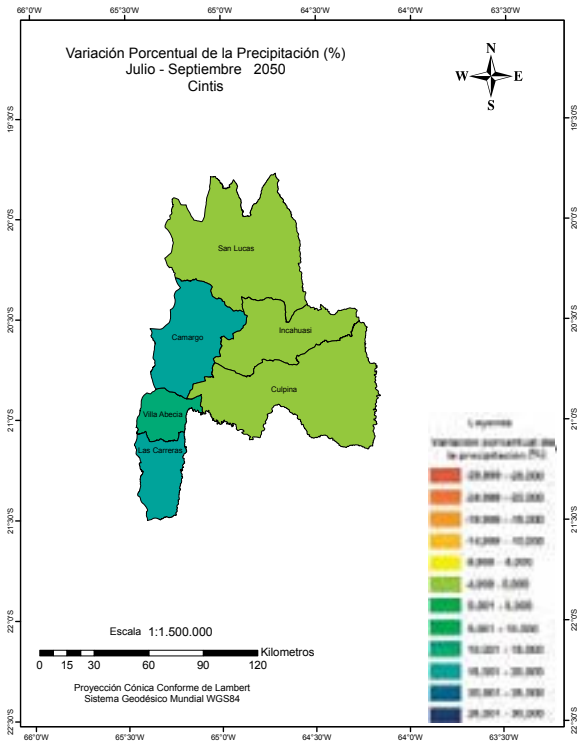
Mapa 5.19.

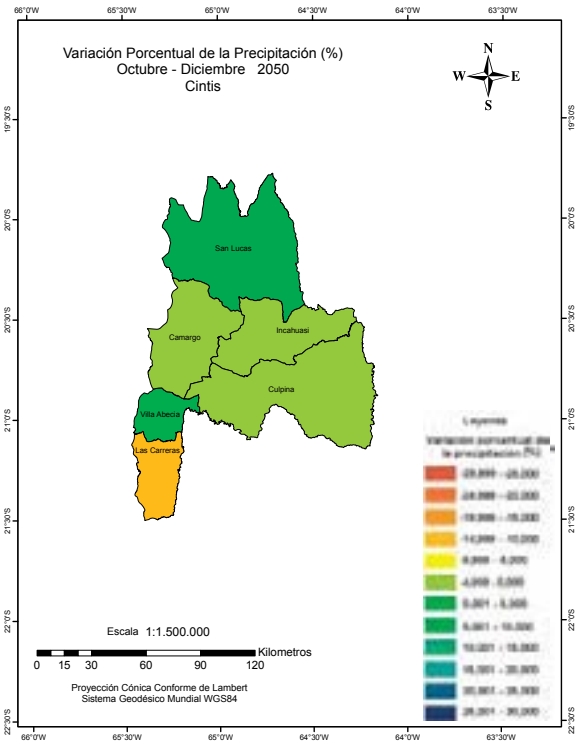

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2050
Cintis
N
W
E
S
66°0'W
65°30'W
65°0'W
64°30'W
64°0'W
63°30'W
19°30'S
20°0'S
20°30'S
21°0'S
21°30'S
22°0'S
22°30'S
San Lucas
Incahuasi
Camargo
Culpina
Villa Abecia
Las Carreras
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:1.500.000
Kilometros
0 15 30 60 90 120
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.20.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2050. Cintis









Región Andina de Cochabamba

La Región Andina de Cochabamba involucra a municipios con mucha variabilidad ecosistémica que se extienden bajo un amplio rango altitudinal. Este grupo de municipios presenta una elevada exposición a las condiciones climáticas prevalentes, pues sus sistemas productivos son predominantemente a temporal.

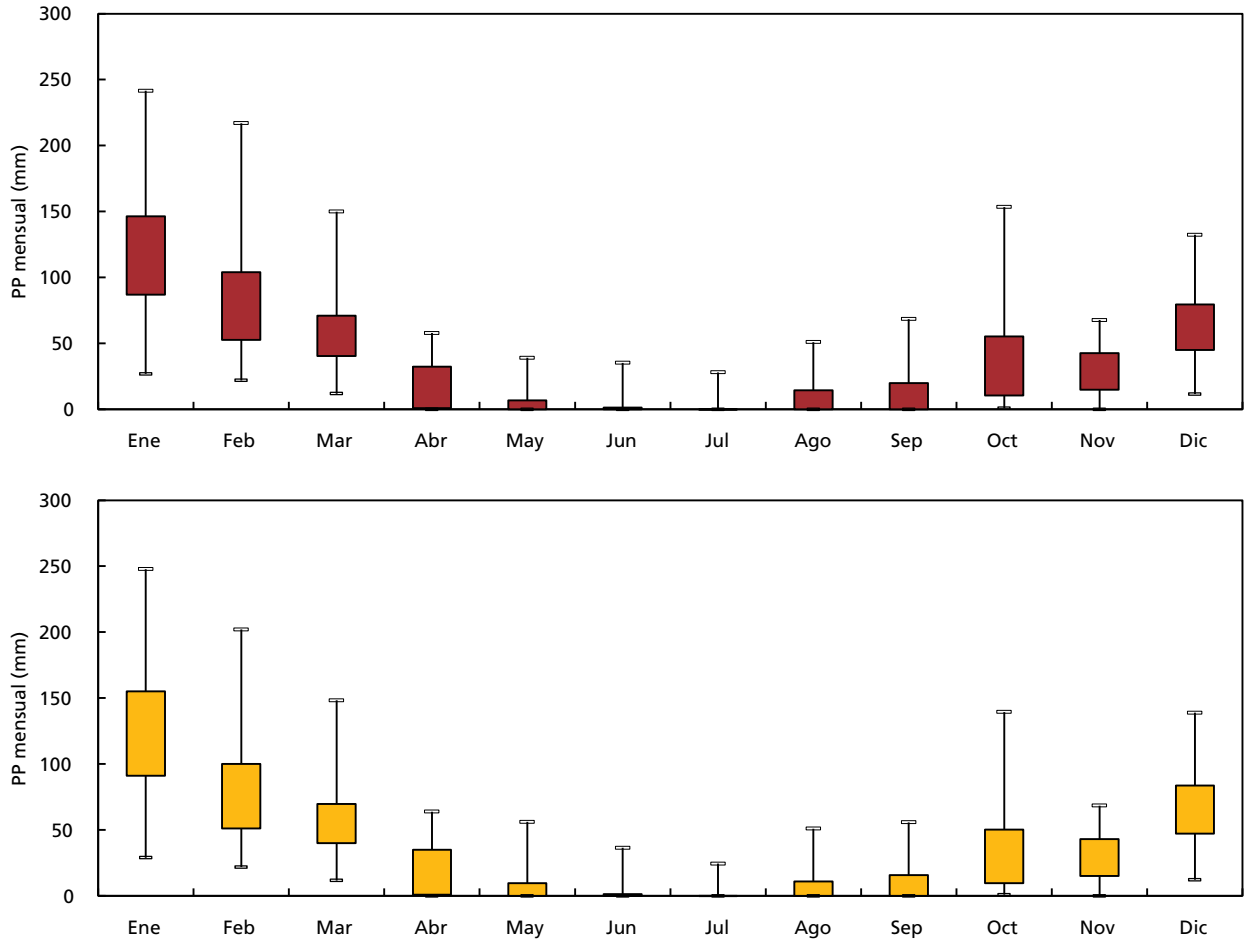
El promedio anual de sus precipitaciones experimenta una reducción permanente, el cual no cambiará hasta 2050 (Mapas 21 y 23). La precipitación anual presenta reducciones entre enero y marzo en 7% (Mapas 22 y 24) aunque con valores bajos, excedidos por la variación interanual. Este periodo agrupa los meses más lluviosos, por lo que los cambios porcentuales, aunque reducidos, tienen un impacto importante.

Entre abril y junio (Mapas 22 y 24) las precipitaciones tendrán variaciones positivas hacia el 2020, pero en el largo plazo se producirían reducciones en la precipitación. Esto implica que los municipios involucrados enfrentarán un final de estación de lluvias con corte repentino, incrementando la intensidad de la sequía. Entre los meses de julio a septiembre (Mapas 22 y 24) se muestra incremento de la precipitación. Sin embargo, las bajas precipitaciones harán que los incrementos porcentuales no sean significativos, de todas maneras.

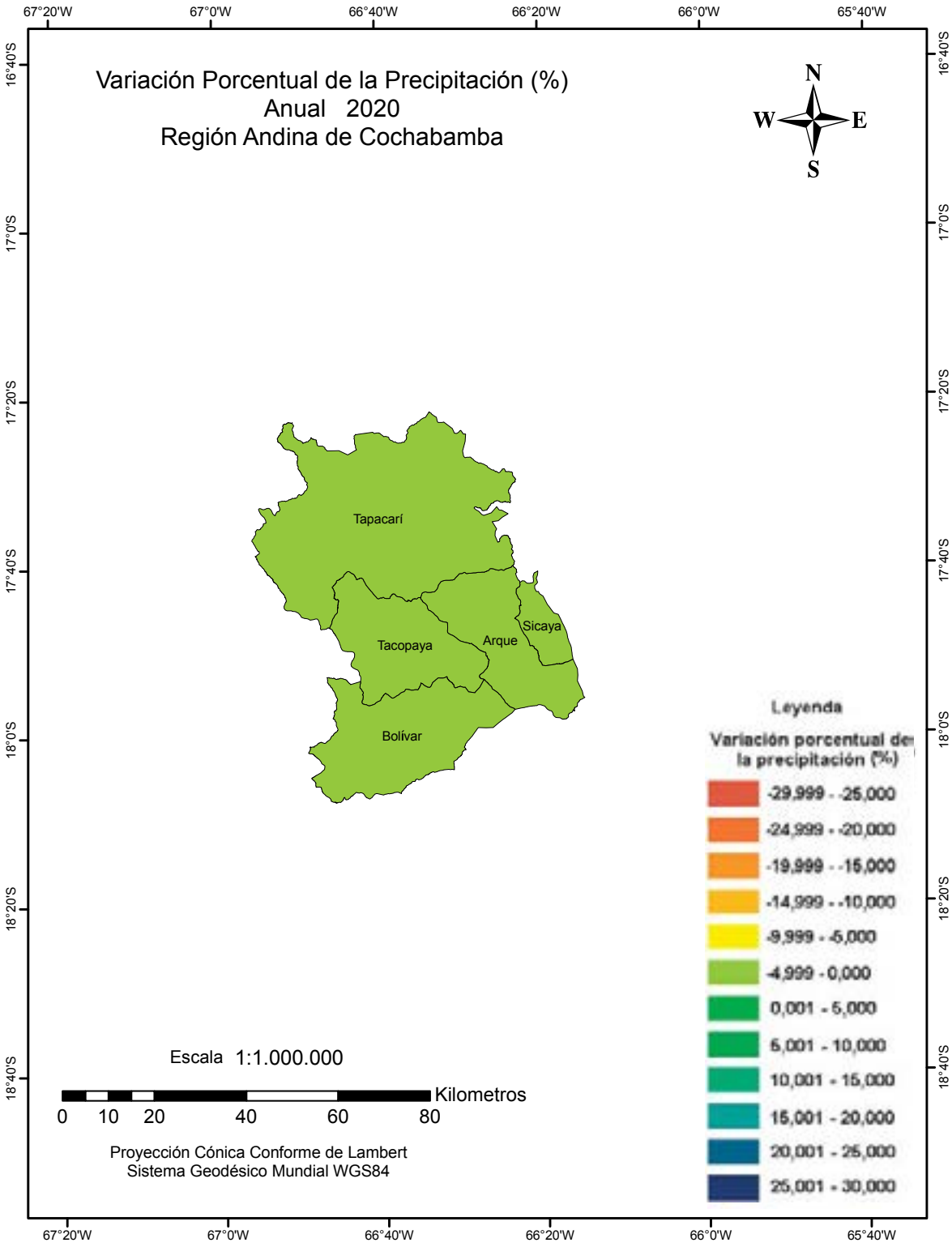
Entre octubre y diciembre (Mapas 22 y 24) la zona enfrentaría una leve reducción de su precipitación, la cual es menor que su variabilidad interanual, por lo que se asume que la estación de lluvias se iniciaría como en la actualidad. La variabilidad mensual se realizó en la estación de Bolívar, la única en la zona, como se muestra en la Figura 5.11.

A futuro, la Región Andina de Cochabamba muestra alta dispersión y concentración de su precipitación mensual. La probabilidad de enfrentar años secos como húmedos es similar, pero entre febrero y marzo hay tendencia a enfrentar años secos. La lluvia invernal se iniciaría en agosto aunque con mayor fuerza ocurriría esto desde octubre, lo que debe considerarse para cultivos anuales a secano como una ventaja para la preparación del suelo al inicio del periodo agrícola en agosto y la siembra principal en octubre.

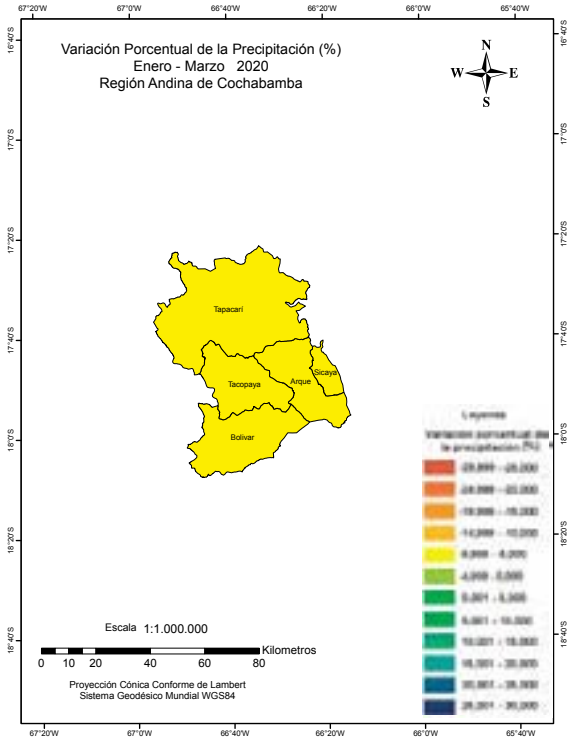
Figura 5.11.
Dispersión interanual de la precipitación mensual en Bolívar representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo).

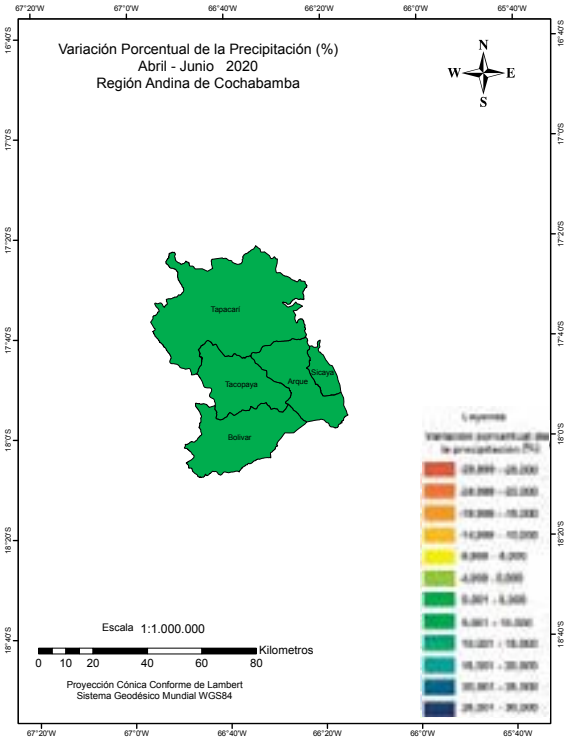


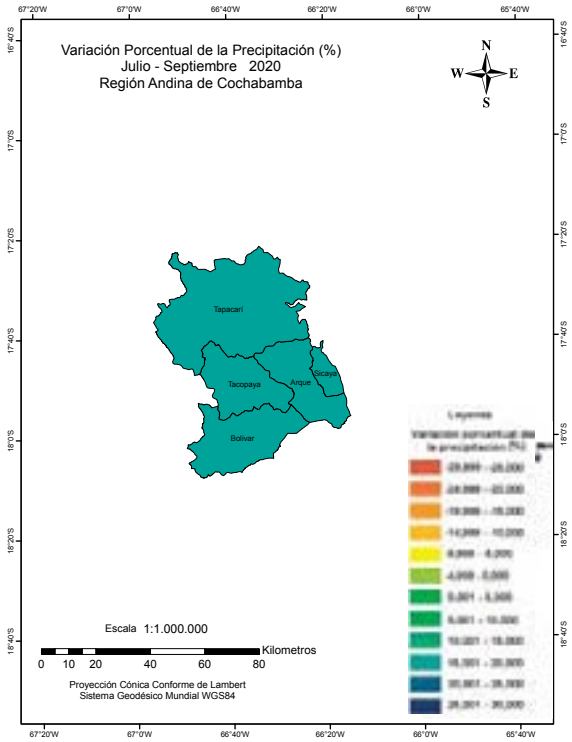
Mapa 5.21.

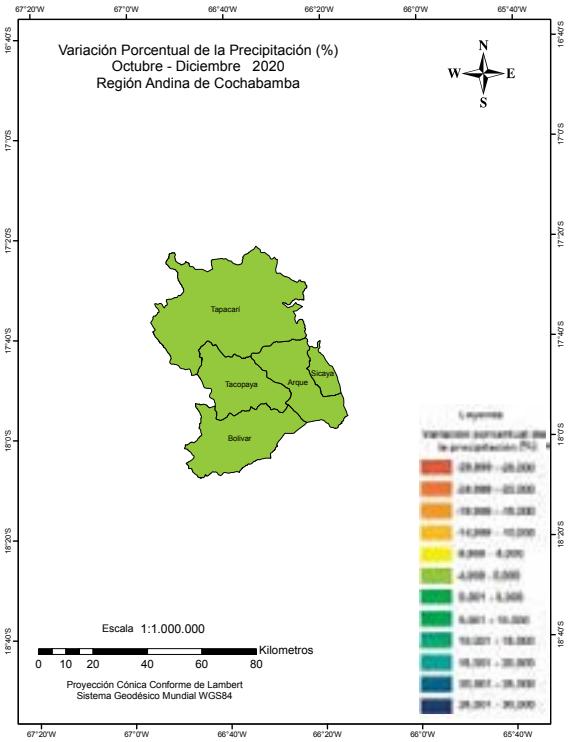

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2020
Región Andina de Cochabamba
N
W
E
S
67°20'W
67°0'W
66°40'W
66°20'W
66°0'W
65°40'W
16°40'S
17°0'S
17°20'S
17°40'S
18°0'S
18°20'S
18°40'S
Tapacarí
Tacopaya
Arque
Sicaya
Bolívar
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:1.000.000
Kilometros
0 10 20 40 60 80
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.22.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2020. Región Andina de Cochabamba

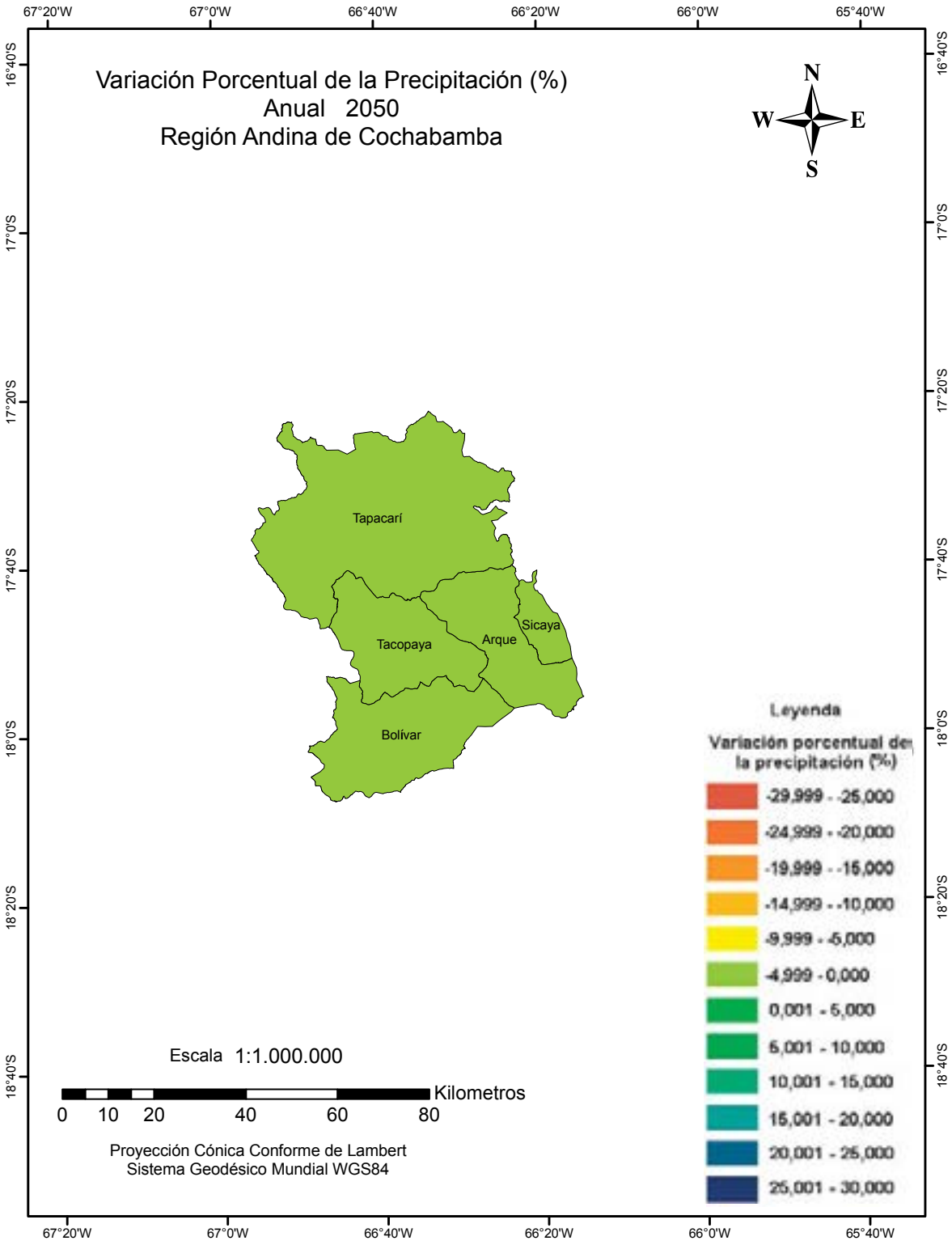




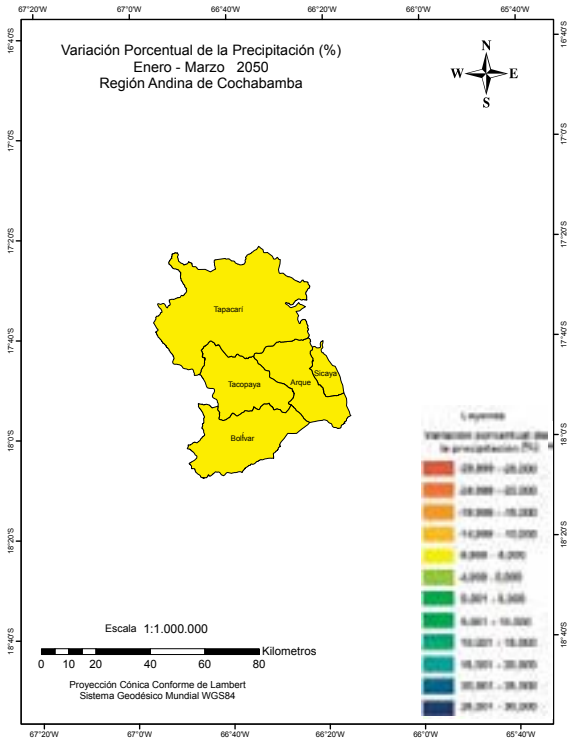


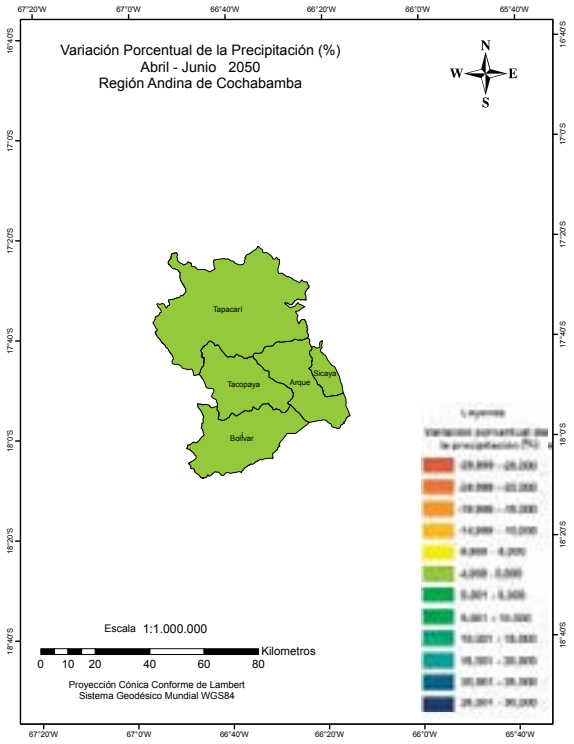


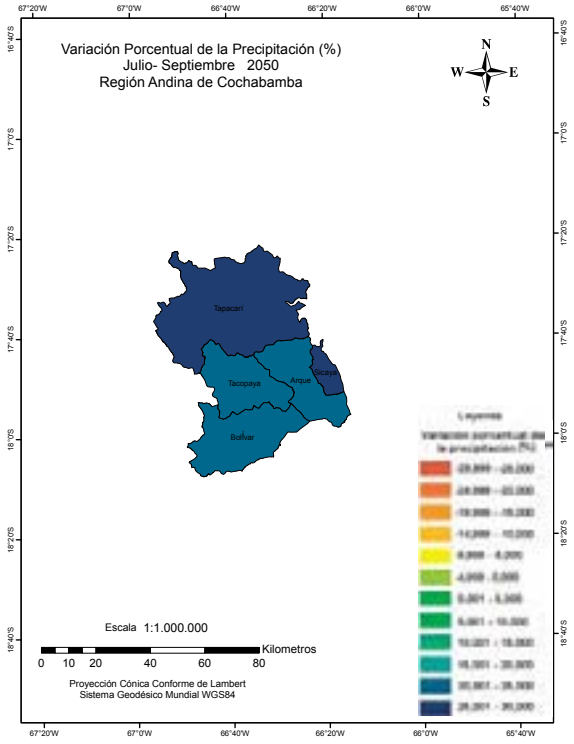
Mapa 5.23.

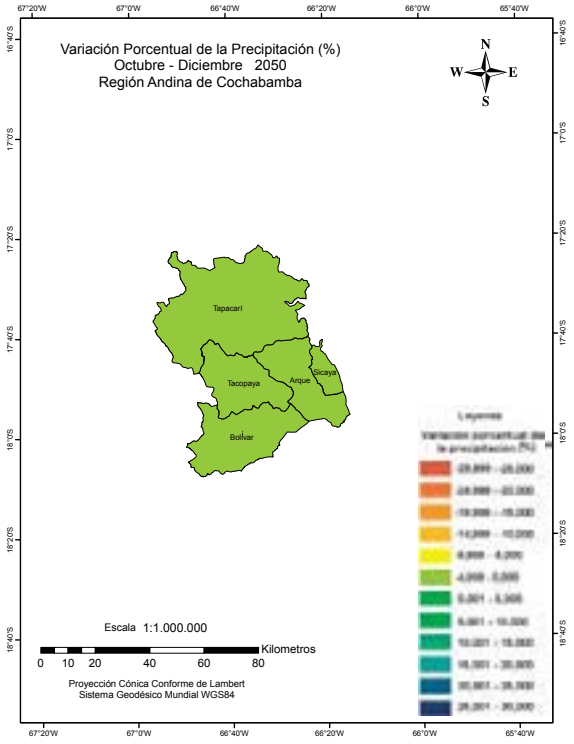

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2050
Región Andina de Cochabamba
N
W
E
S
67°20'W
67°0'W
66°40'W
66°20'W
66°0'W
65°40'W
16°40'S
17°0'S
17°20'S
17°40'S
18°0'S
18°20'S
18°40'S
Tapacarí
Tacopaya
Arque
Sicaya
Bolívar
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:1.000.000
0 10 20 40 60 80
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.24.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2050. Región Andina de Cochabamba









Caine

Los municipios situados en la cuenca del río Caine tienen potencial agrícola con grandes conflictos por el uso del agua. Los cambios en la precipitación pueden acentuar los problemas e incluso afectar la estructura productiva y social, por lo que los resultados deben ser reflexionados con cautela y poner énfasis en su nivel de incertidumbre.

La precipitación anual (Mapas 25 y 27) no presenta cambios de consideración, pero se observa una tendencia no significativa al descenso hacia el 2020, así como un leve incremento, pero menor a la variabilidad interanual hacia el 2050.

La disgregación de los resultados muestra que hasta el 2020, la precipitación se reduce levemente entre enero y marzo. Sin embargo, hacia el 2050 en la mayoría de las estaciones, la precipitación del trimestre se incrementará aunque también levemente. Entre abril y junio (Mapas 26 y 28) y julio a septiembre (Mapas 26 y 28) se mantiene la tendencia anterior.

Esto significa que hacia el 2020 se reduce la lluvia en toda la zona y no cambia la tendencia sino hasta el 2050, siendo los municipios de altitudes menores los que están más expuestos. Entre octubre y diciembre (Mapas 26 y 28), la tendencia de cambio se modula con variaciones muy pequeñas en la precipitación trimestral.

La variabilidad mensual fue analizada para las dos estaciones con mejor registro de partida como son: Anzaldo y Tarata, como se muestra en las Figuras 5.12 y 5.13.

La precipitación es mayor en las zonas más bajas de los municipios, aunque la dispersión es similar. Se evidencia el hecho de que Tarata presenta un invierno más seco que Anzaldo. Es decir que, a pesar de que Tarata presenta mayor precipitación, su transición entre época de lluvias y época seca es más repentina. En ambas estaciones es probable la presencia de años muy secos y también muy húmedos.

Figura 5.13.
Dispersión interanual de la precipitación mensual de Tarata, representada en boxplots en 2020 (arriba) y 2050 (abajo).

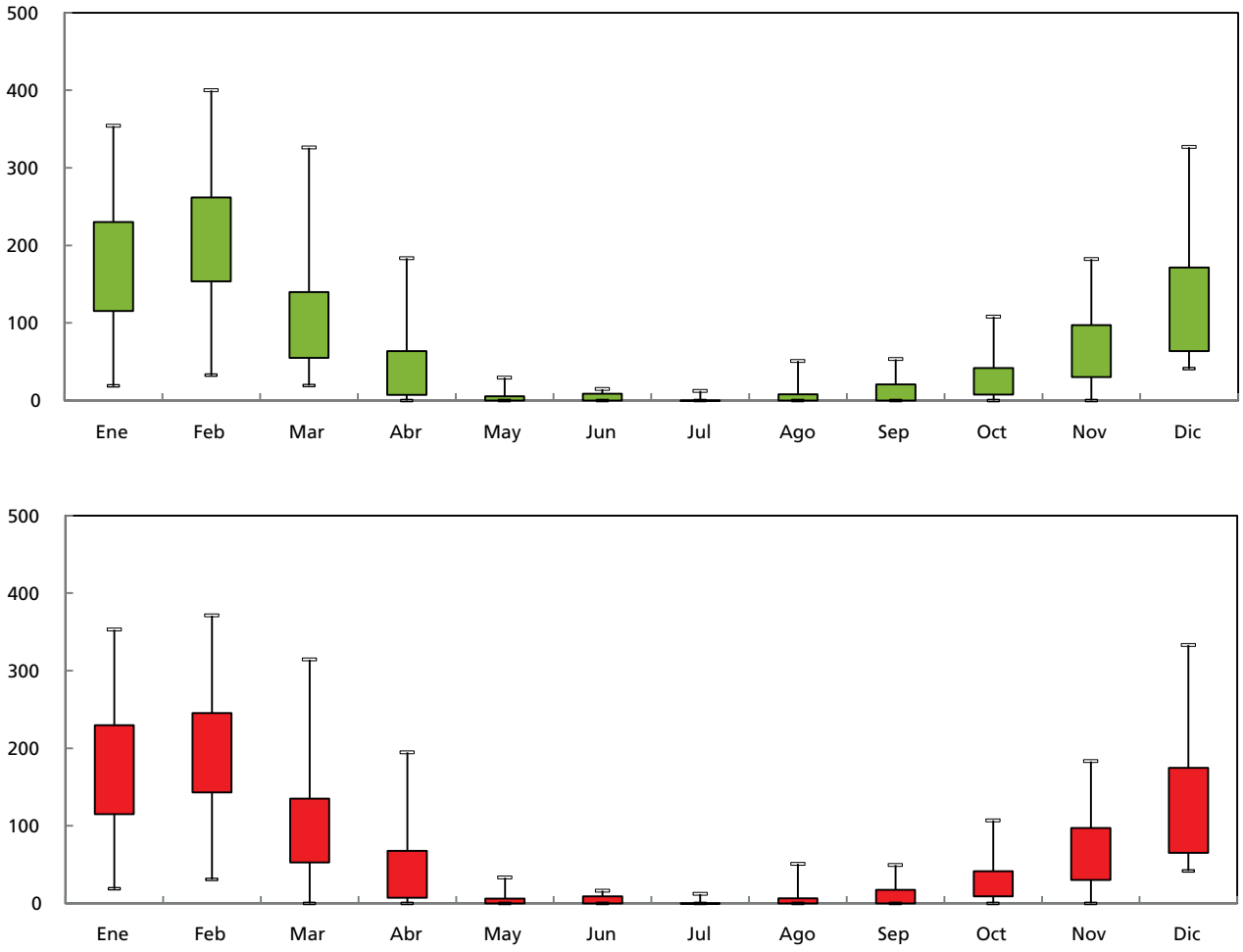
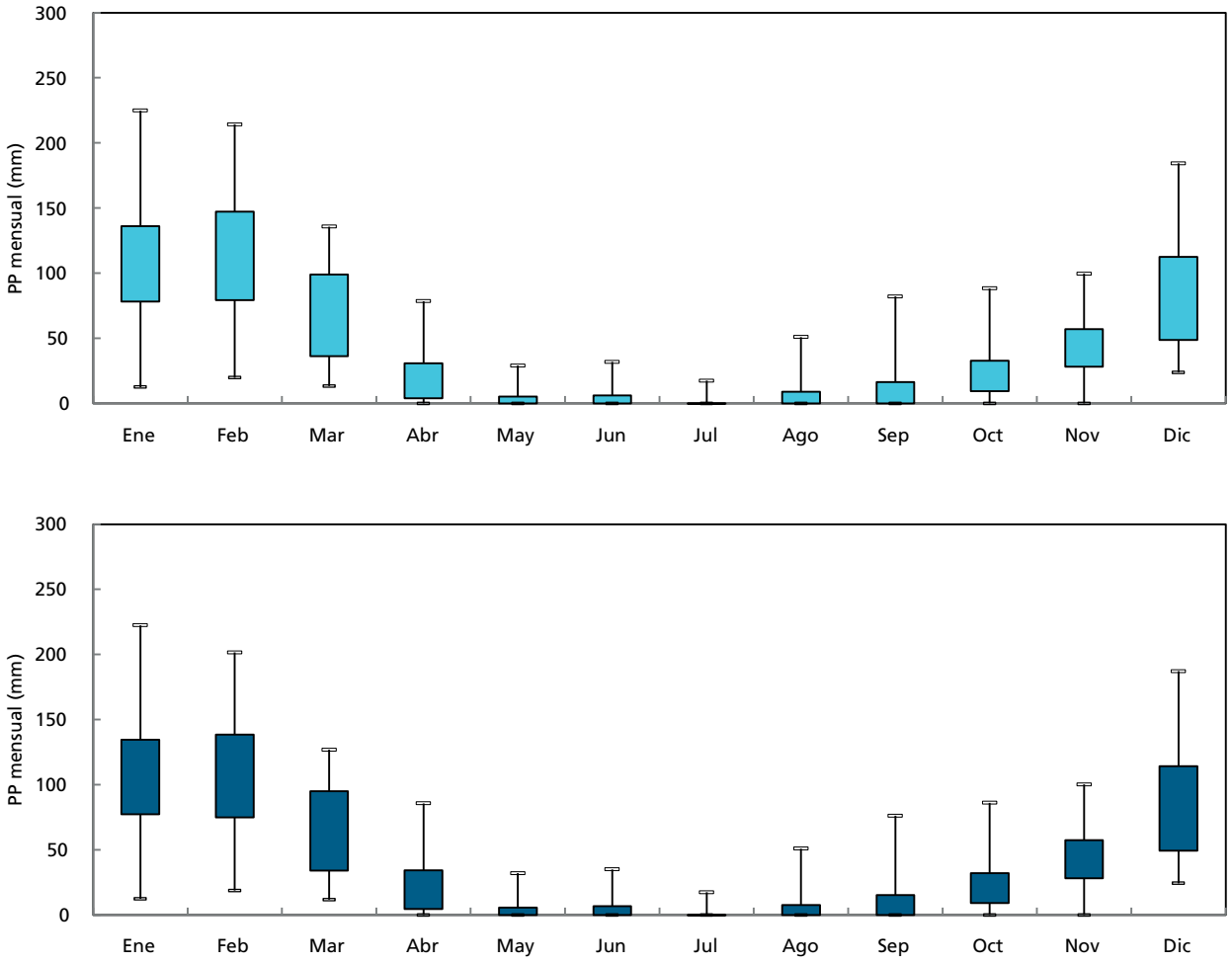
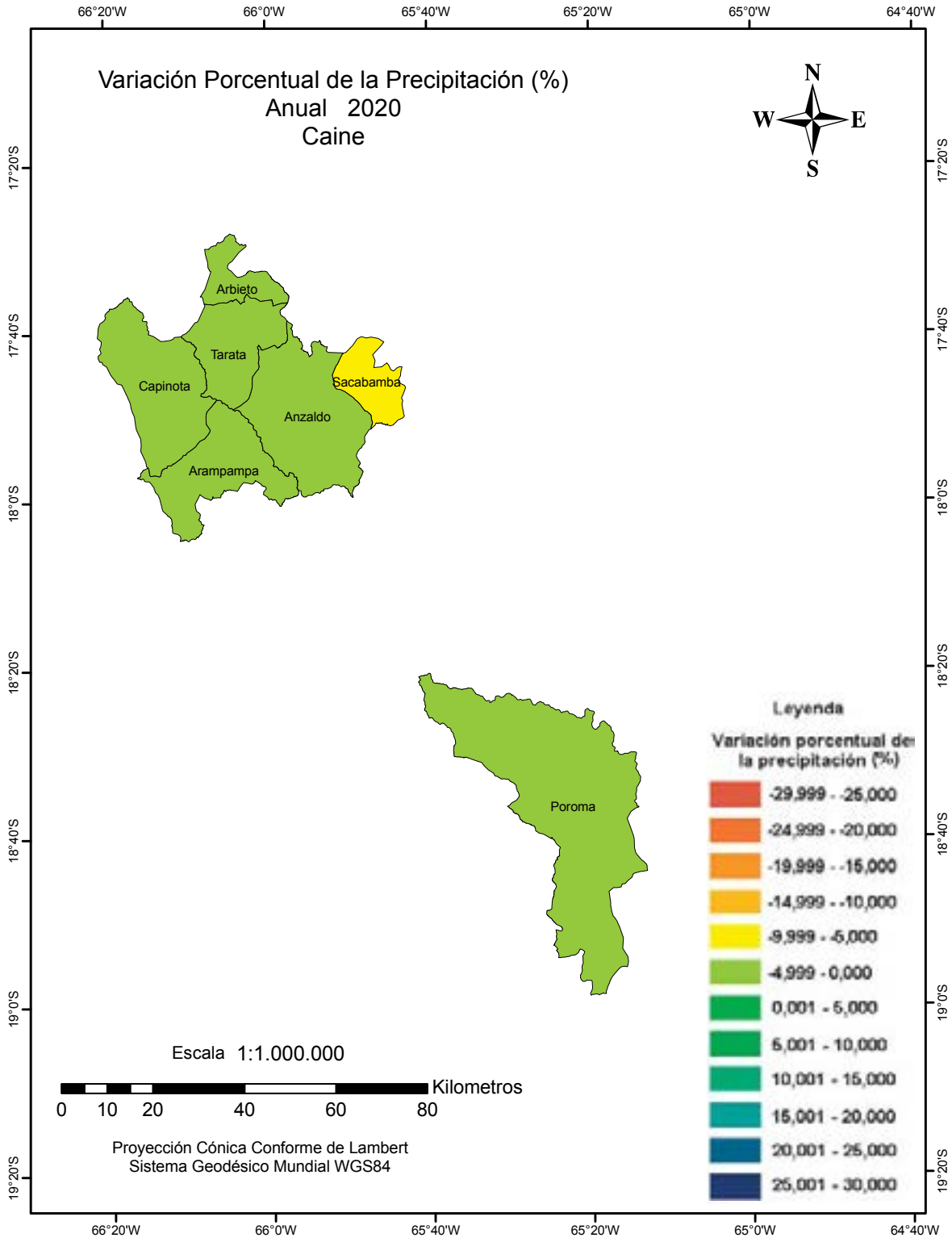


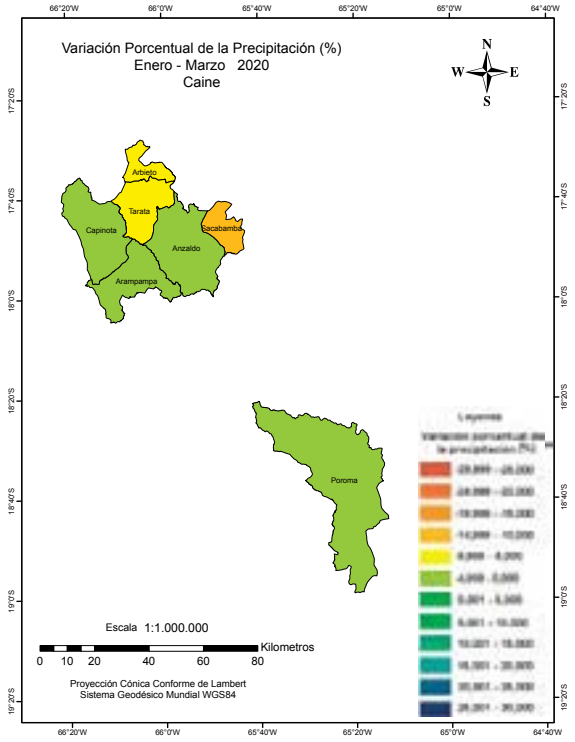
Figura 5.12.
Dispersión interanual de la precipitación mensual en Anzaldo, representada en boxplots en 2020 (arriba) y 2050 (abajo).

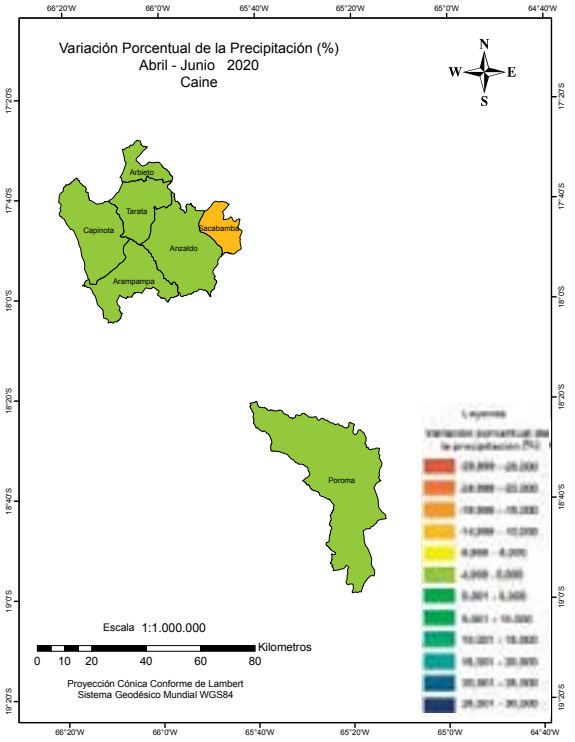


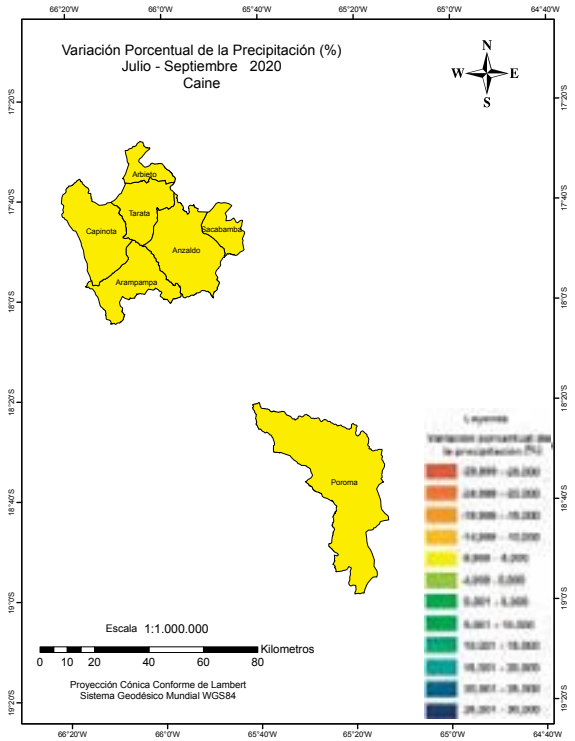
Mapa 5.25.

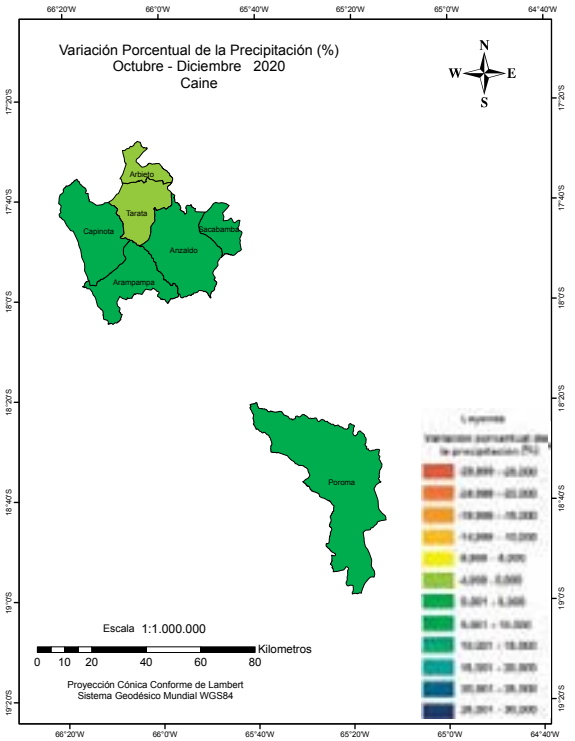

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2020
Caine
N
W
E
S
66°20'W
66°0'W
65°40'W
65°20'W
65°0'W
64°40'W
17°20'S
17°40'S
18°0'S
18°20'S
18°40'S
19°0'S
19°20'S
Arbieto
Tarata
Capinota
Sacabamba
Anzaldo
Arrampampa
Poroma
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:1.000.000
0 10 20 40 60 80
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.26.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2020. Caine

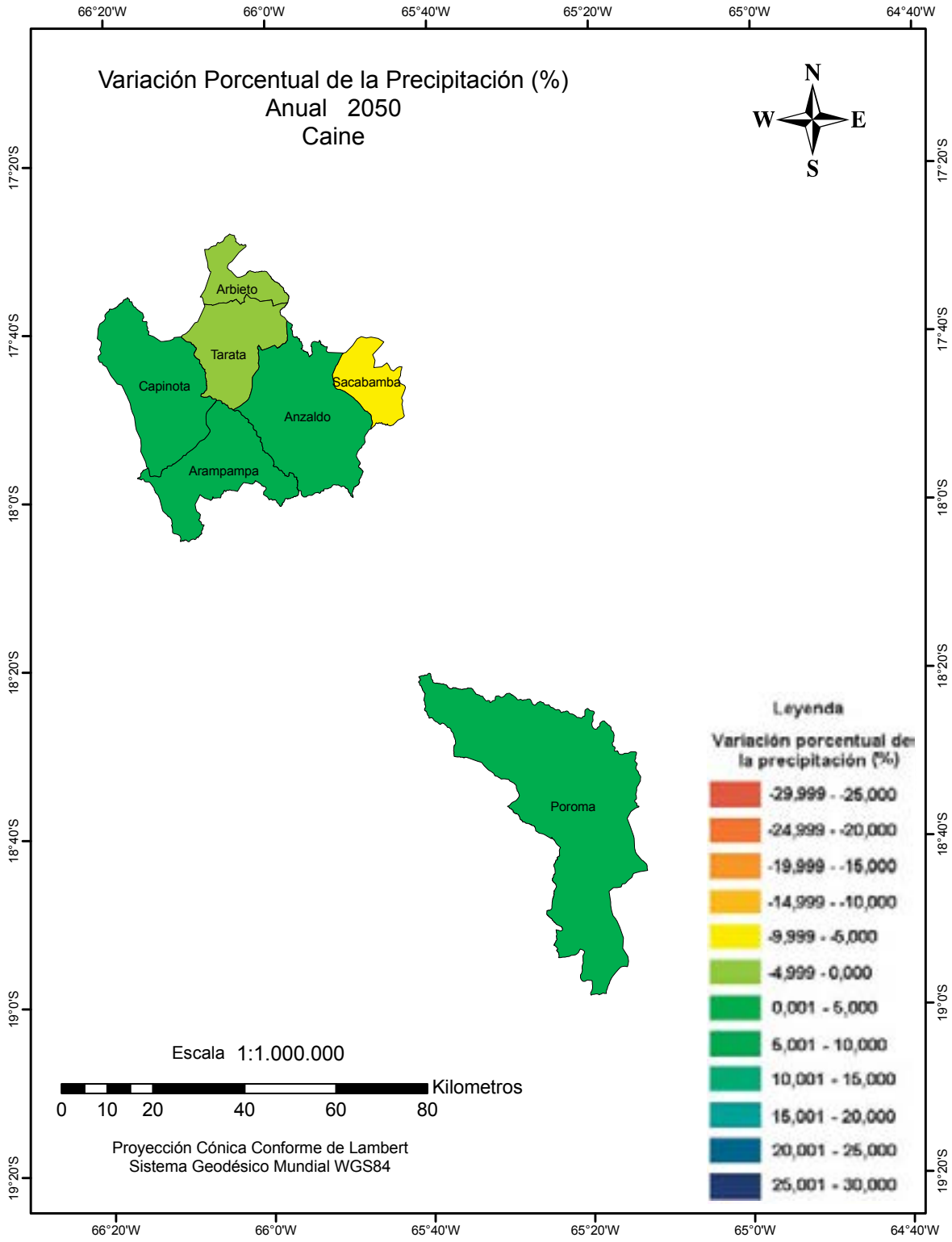




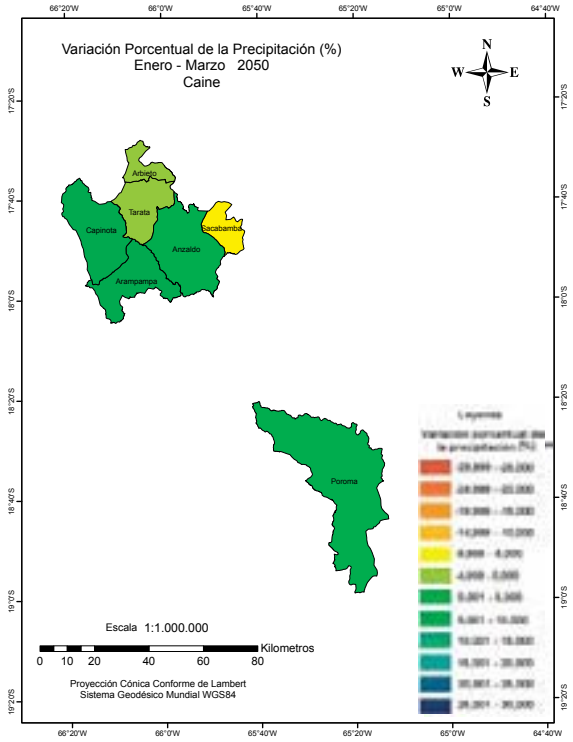


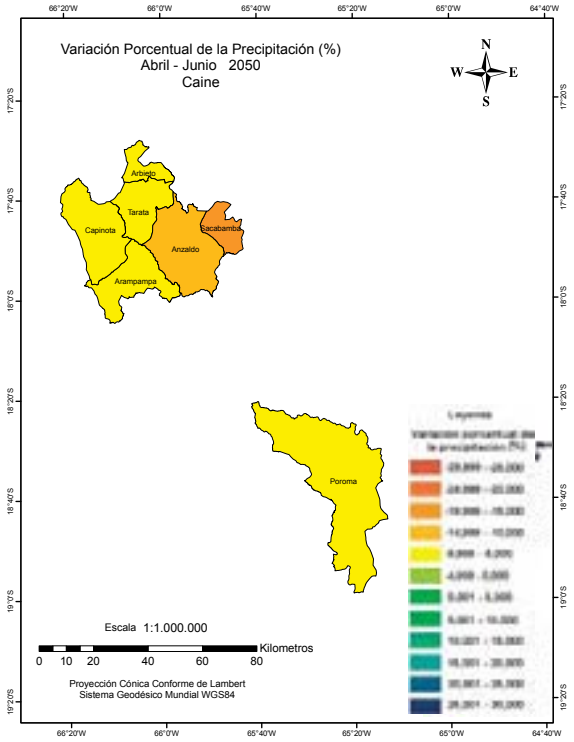


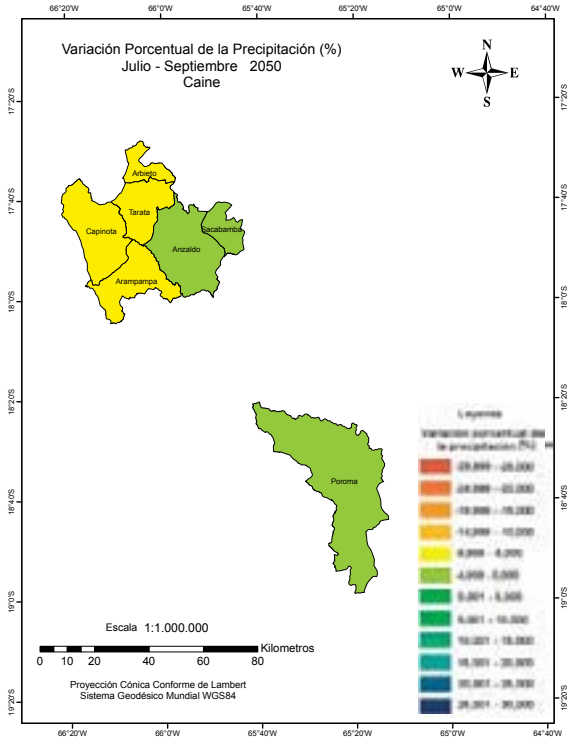
Mapa 5.27.

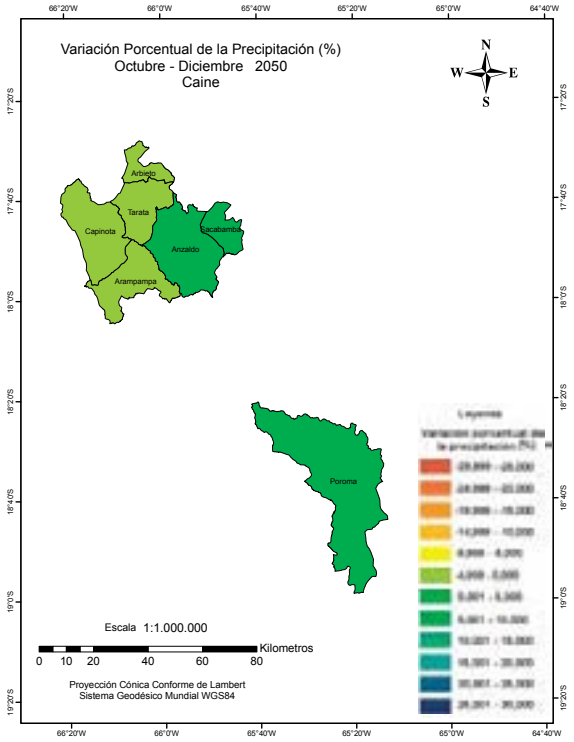

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2050
Caine
N
W
E
S
66°20'W
66°0'W
65°40'W
65°20'W
65°0'W
64°40'W
17°20'S
17°40'S
18°0'S
18°20'S
18°40'S
19°0'S
19°20'S
Arbieto
Tarata
Capinota
Sacabamba
Anzaldo
Arrampampa
Poroma
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:1.000.000
Kilometros
0 10 20 40 60 80
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.28.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2050. Caine









Chaco Chuquisaqueño

La precipitación anual (Mapas 29 y 31) tiende a incrementarse, con excepción de los municipios de Macharetí y Muyupampa que presentan reducciones no significativas.

Entre enero y marzo (Mapas 30 y 32) la precipitación se incrementa, siguiendo esta tendencia al 2020 y al 2050, con excepción de Muyupampa (Villa Vaca Guzmán) que más bien presentará una disminución en los dos periodos analizados.

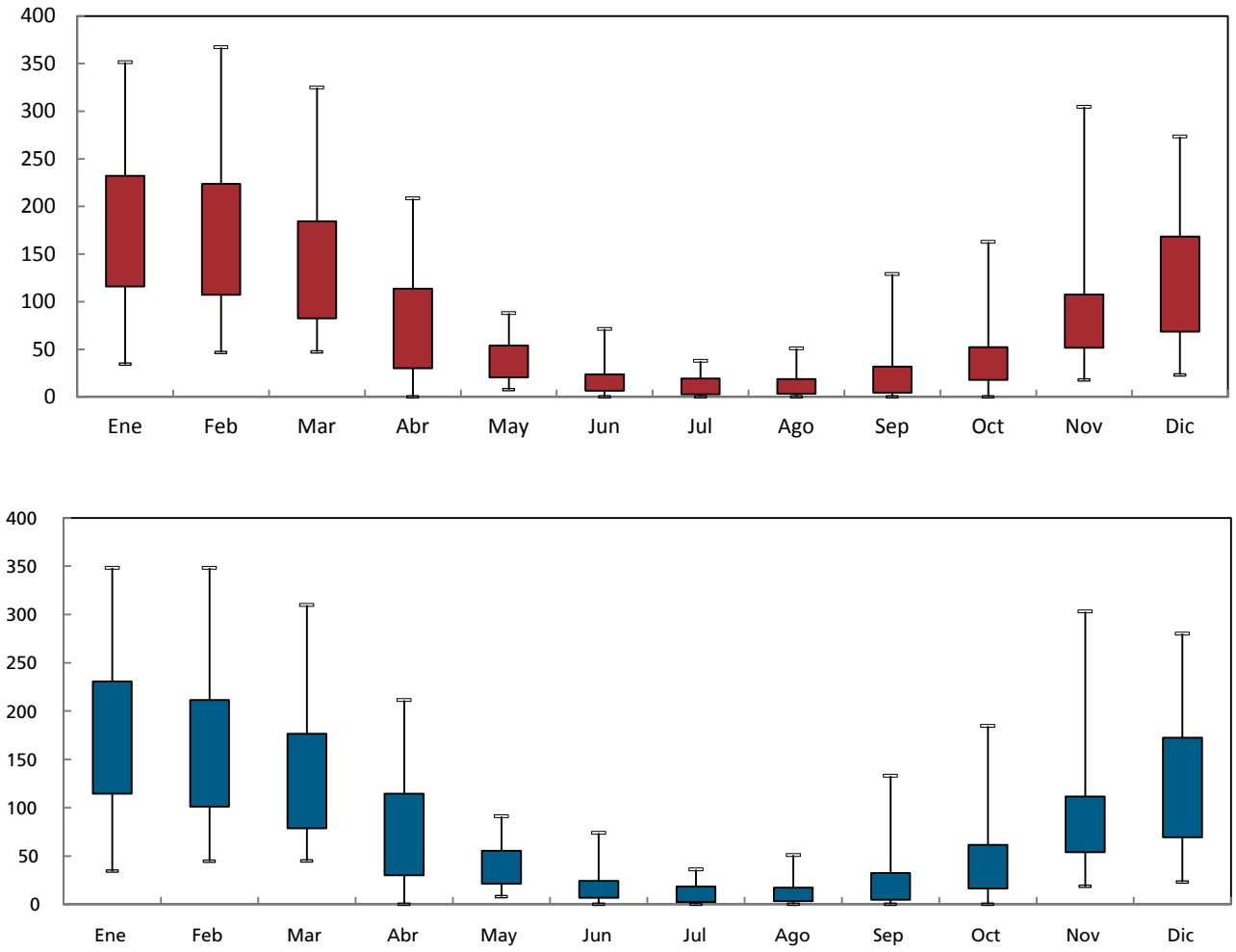
Entre abril y junio (Mapas 30 y 32) se observa la misma tendencia que a principios del año, existiendo una alta probabilidad de enfrentar una transición repentina de la época de lluvias a la época seca. El cambio porcentual es levemente más alto al 2050, sin embargo en valores absolutos, estas cantidades no son significativas.

En el trimestre octubre a diciembre (Mapas 30 y 32) se observan leves incrementos de precipitación en la mayoría de las estaciones, con excepción de Macharetí que en los dos periodos analizados muestran descensos. En general, se puede inferir que la precipitación no cambiará significativamente al inicio de la época de lluvias.

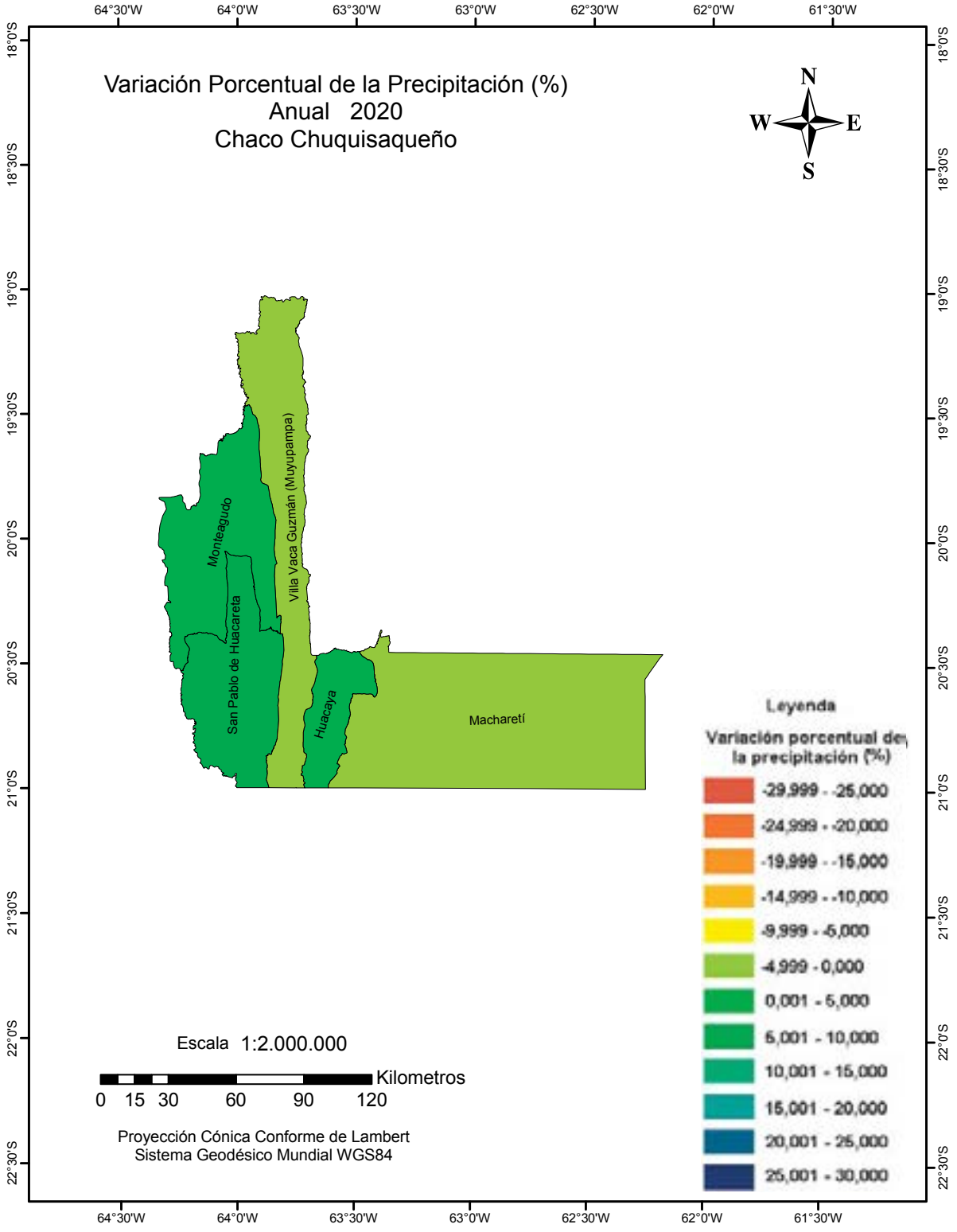
La variabilidad mensual fue posible analizar mediante la estación de Monteagudo, como se muestra en la Figura 5.14.

El Chaco Chuquisaqueño no presenta probabilidades de enfrentar años con precipitación cero en verano, pero podría suceder que la lluvia no abastezca la demanda atmosférica de agua, porque por muchos años estará por debajo de los 150 mm. También existe la probabilidad de enfrentar inundaciones, aunque es menor que la de enfrentar años secos en todos los meses. Es decir que las acciones deberían priorizarse hacia la mitigación del impacto de la sequía sin descuidar la posibilidad de que ocurran precipitaciones elevadas en verano. En invierno se enfrentaría un permanente déficit hídrico que debe ser considerado para los planes de adaptación.

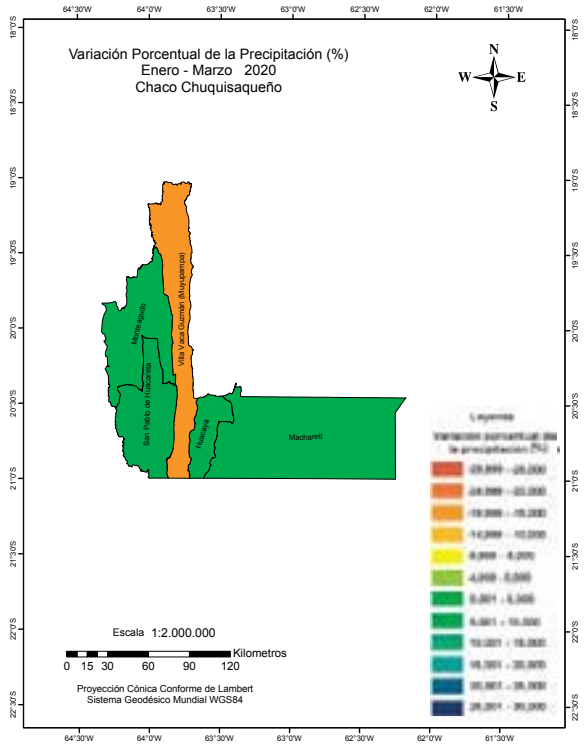
Figura 5.14.
Dispersión interanual de la precipitación mensual en Monteagudo, representada en boxplots para 2020 (arriba) y 2050 (abajo).

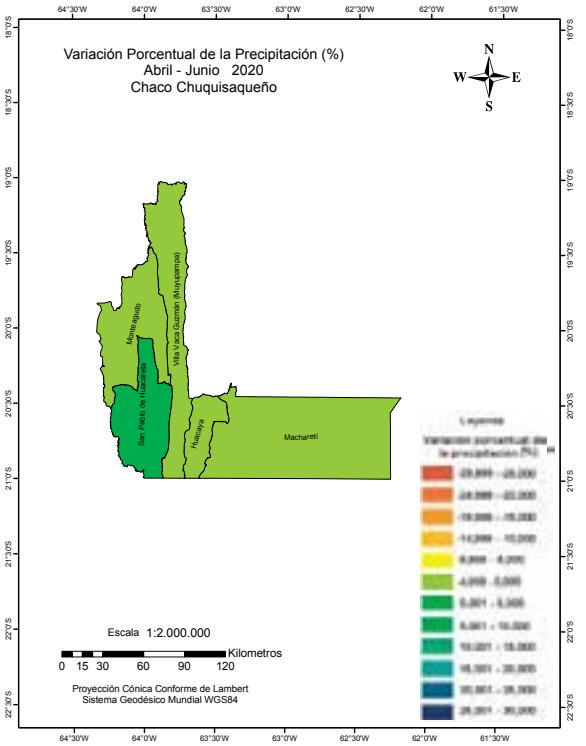


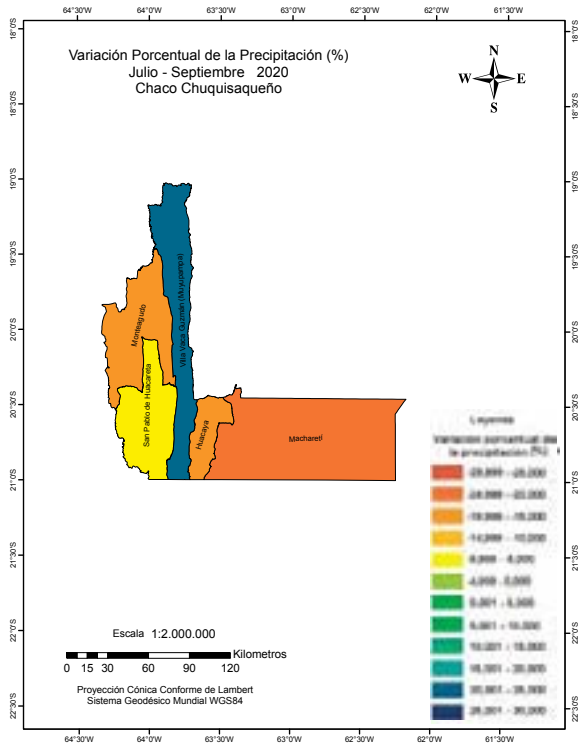
Mapa 5.29.

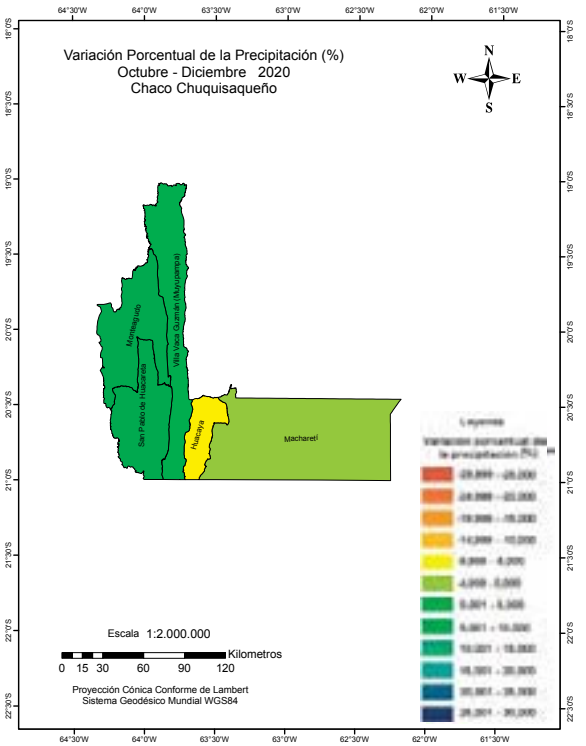

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2020
Chaco Chuquisaqueño
N
W
E
S
64°30'W
64°0'W
63°30'W
63°0'W
62°30'W
62°0'W
61°30'W
18°0'S
18°30'S
19°0'S
19°30'S
20°0'S
20°30'S
21°0'S
21°30'S
22°0'S
22°30'S
Monteagudo
Villa Vaca Guzmán (Muyupampa)
San Pablo de Huacareta
Huacaya
Macharetí
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:2.000.000
0 15 30 60 90 120
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.30.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre 2020. Chaco Chuquisaqueño

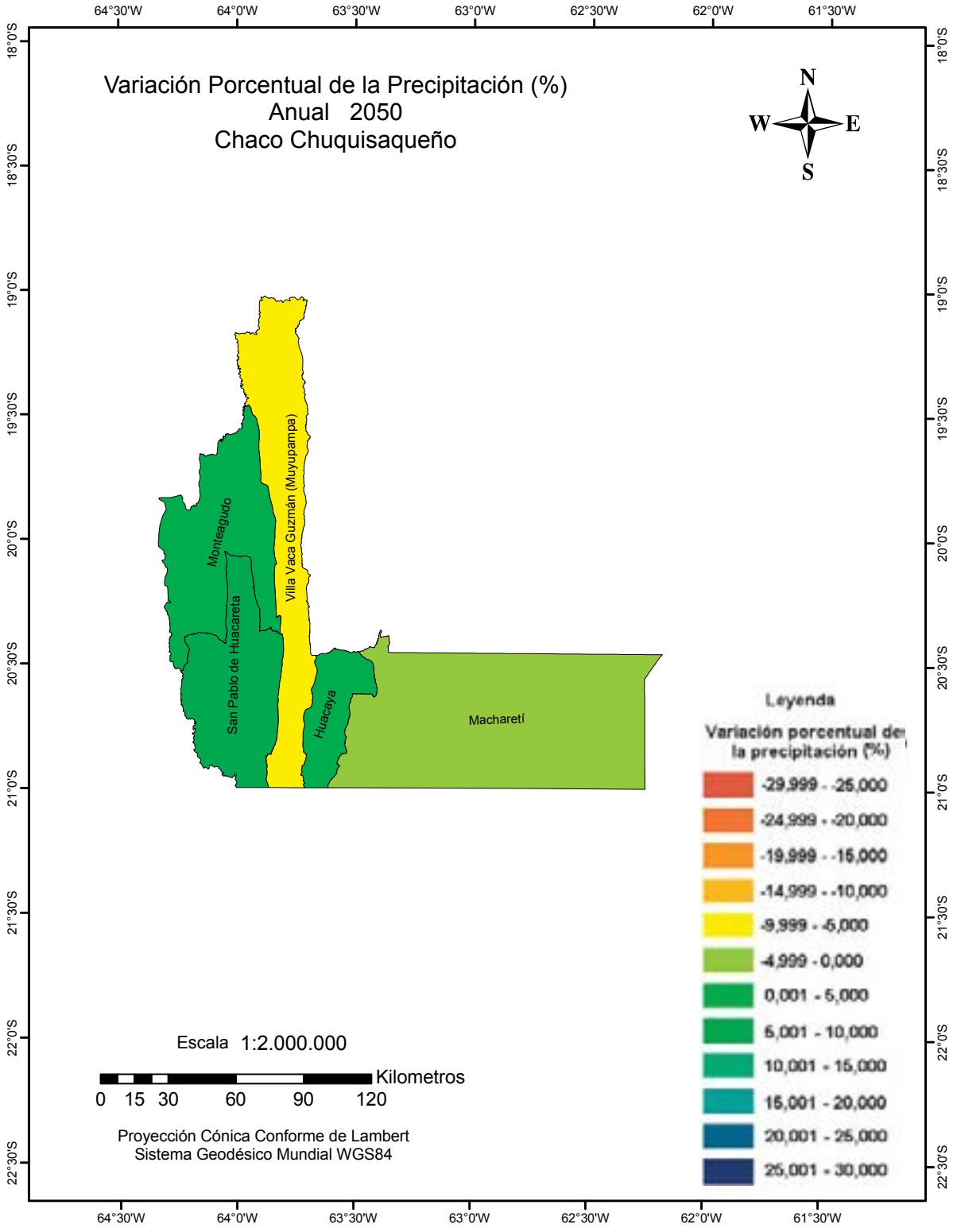




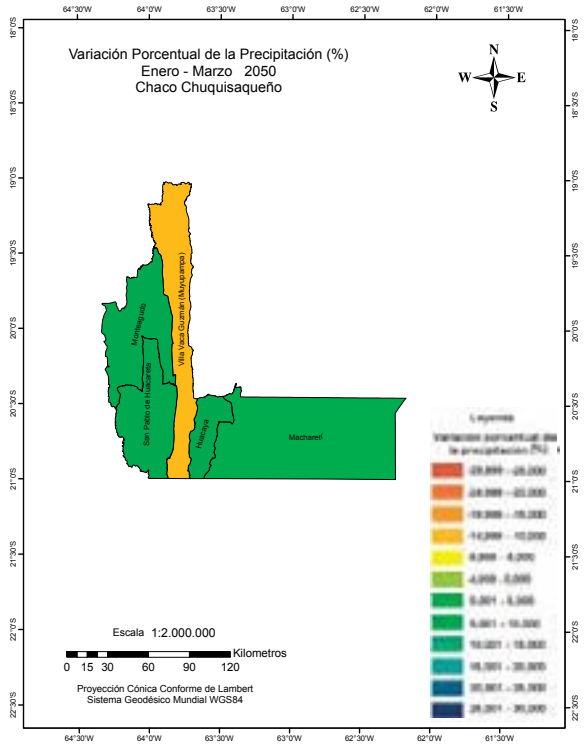


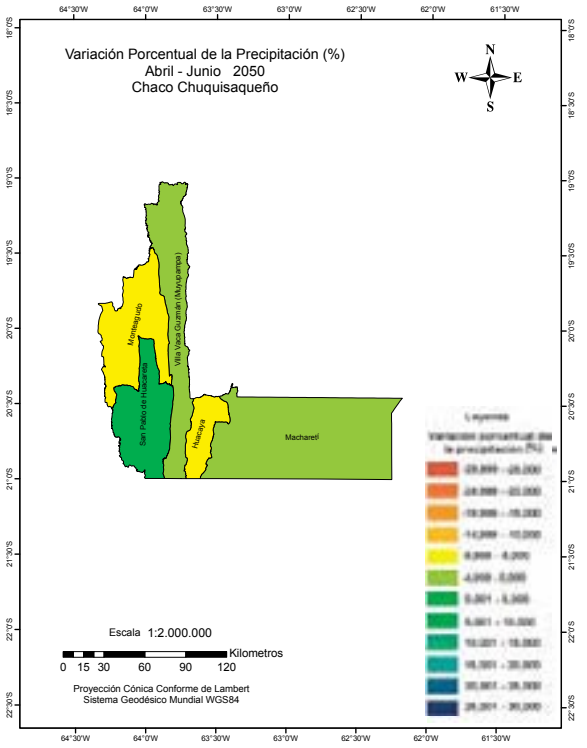


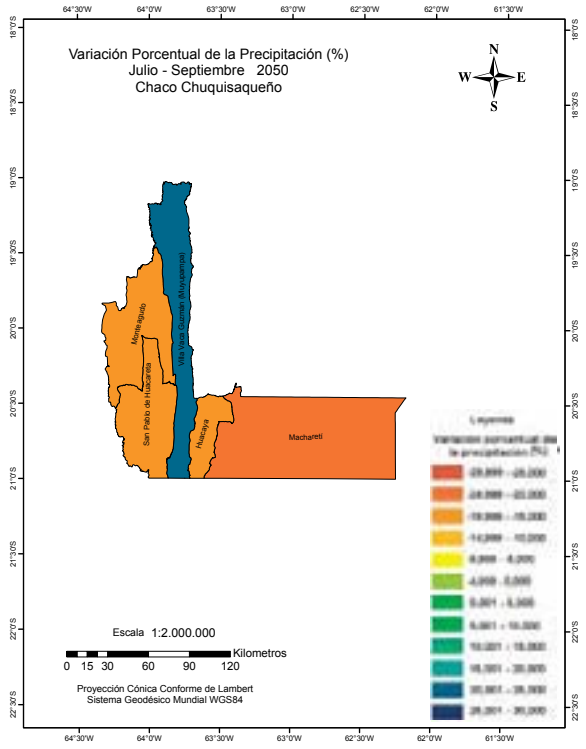
Mapa 5.31

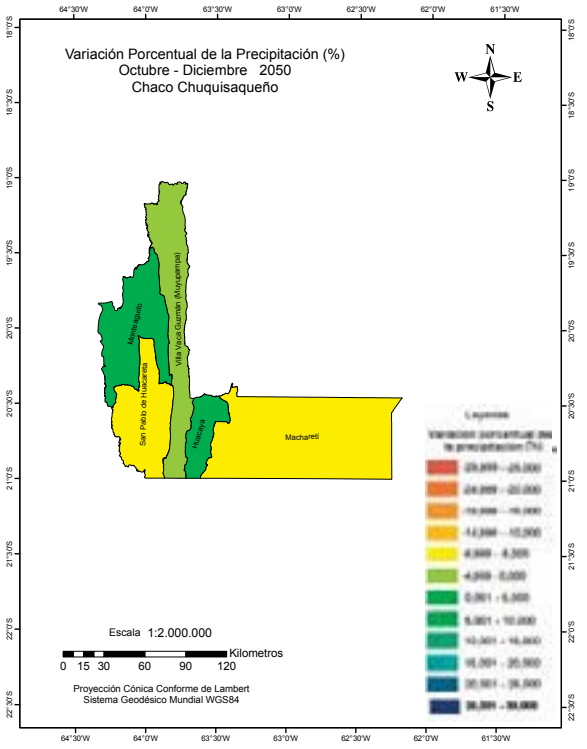

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2050
Chaco Chuquisaqueño
N
W
E
S
64°30'W
64°0'W
63°30'W
63°0'W
62°30'W
62°0'W
61°30'W
18°0'S
18°30'S
19°0'S
19°30'S
20°0'S
20°30'S
21°0'S
21°30'S
22°0'S
22°30'S
Monteagudo
Villa Vaca Guzmán (Muyupampa)
San Pablo de Huacareta
Huacaya
Macharetí
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:2.000.000
Kilometros
0 15 30 60 90 120
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.32.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2050. Chaco Chuquisaqueño









Héroes de la Independencia
(valles de Tarija)

En los valles tarijeños que abarcan los municipios de la Mancomunidad Héroes de la Independencia (Mapas 33 y 35) no se esperan cambios significativos en la lluvia anual, ni en un futuro cercano ni a mediados de siglo.

Entre enero y marzo (Mapas 34 y 36) la precipitación se mantendrá casi igual hasta el 2020, pero podría incrementarse en El Puente y Yunchará, y reducir muy poco en San Lorenzo y Uriondo para el 2050. Estos resultados de variaciones en direcciones contrarias (incremento y reducción), permite inferir que el régimen pluviométrico no cambiará significativamente hasta el 2050.

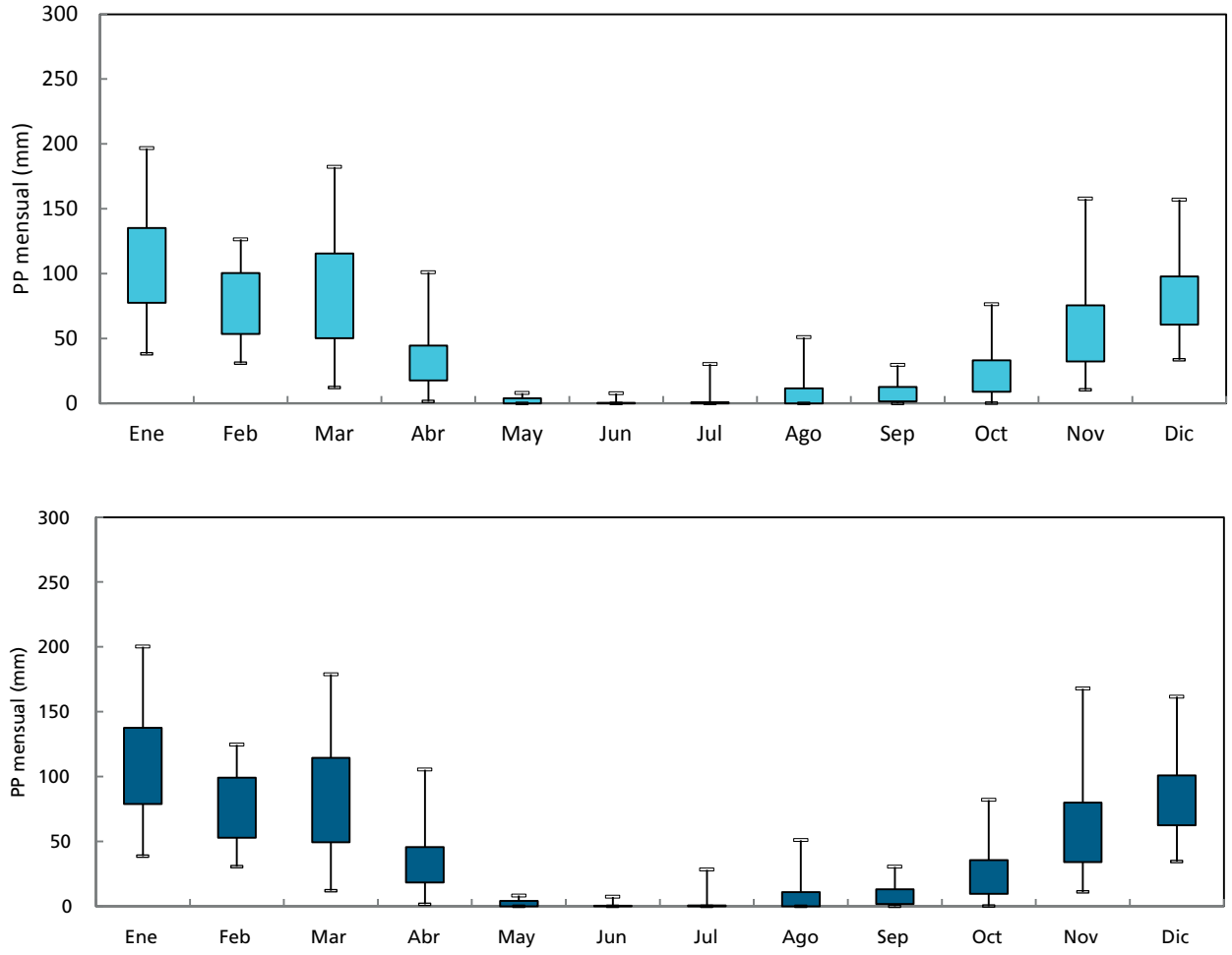
La situación cambia entre abril a junio (Mapas 34 y 36) cuando en todas las zonas se observa una reducción significativa de lluvias, que se intensificará al 2050. Esto mostraría repentinas transiciones entre la época de lluvias y la época seca, produciendo una menor disponibilidad de agua para los cultivos que estén concluyendo su ciclo reproductivo, especialmente para siembras tardías.

Esta tendencia de reducción porcentual es significativa entre julio y septiembre (Mapas 34 y 36) hasta el 2050 y se repite al finalizar el año (Mapas 34 y 36), por lo que no es evidente un retraso de la temporada lluviosa.

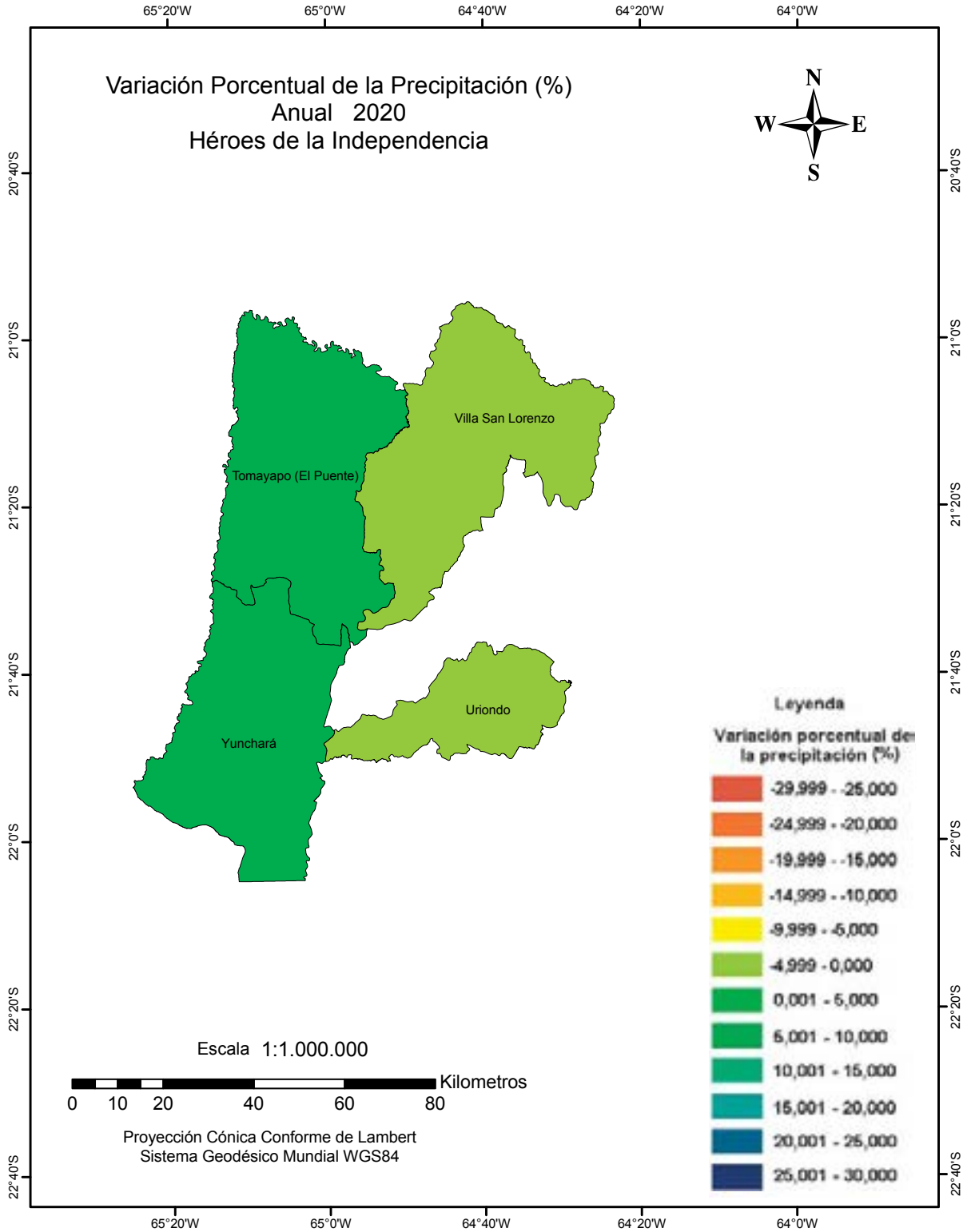
La variabilidad mensual futura fue analizada con datos de la estación de San Lorenzo con series representativas, como se muestra en la Figura 5.15.

Como en otras estaciones de zonas de altitud media, la dispersión de la precipitación a futuro no es extrema. El invierno se presenta seco desde mayo hasta julio, pero a partir de septiembre podrían ocurrir algunas precipitaciones que se intensificarían hasta octubre. La variabilidad de noviembre es elevada, aunque con mayor tendencia en los años secos. En este municipio de análisis, el mes de febrero podría ser seco, afectando periodos críticos del ciclo agrícola.

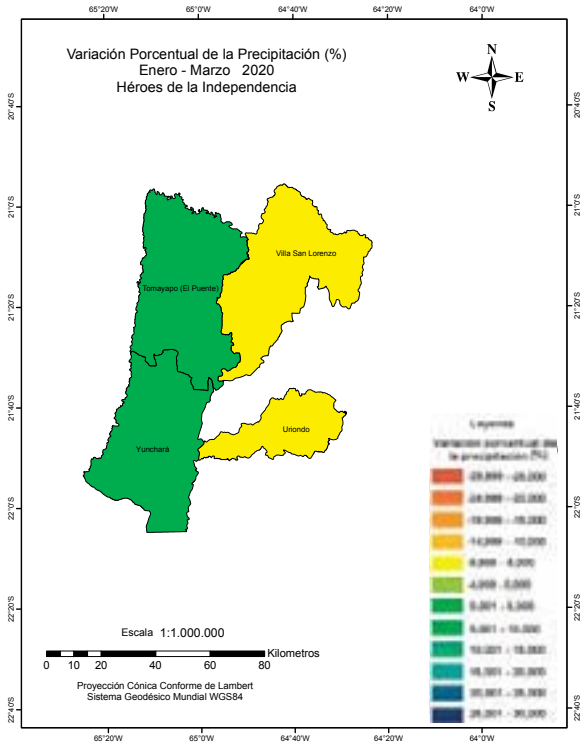
Figura 5.15.
Dispersión interanual de la precipitación mensual en San Lorenzo, representada para 2020 (arriba) y 2050 (abajo).

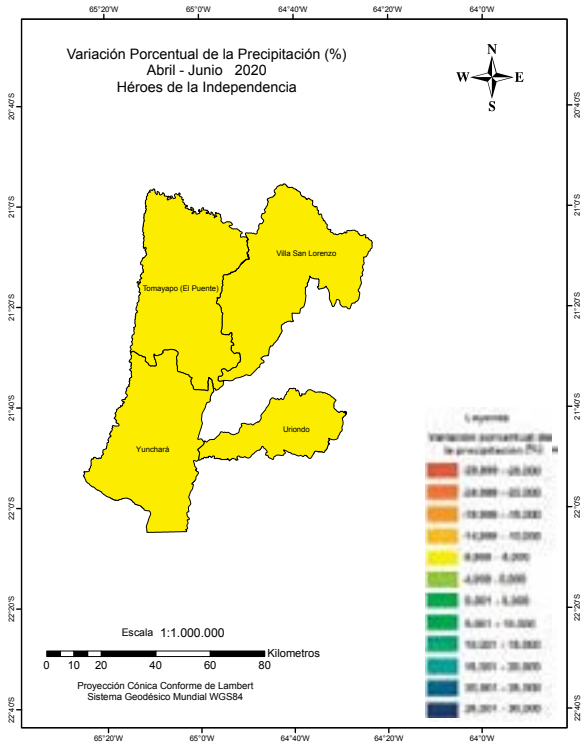


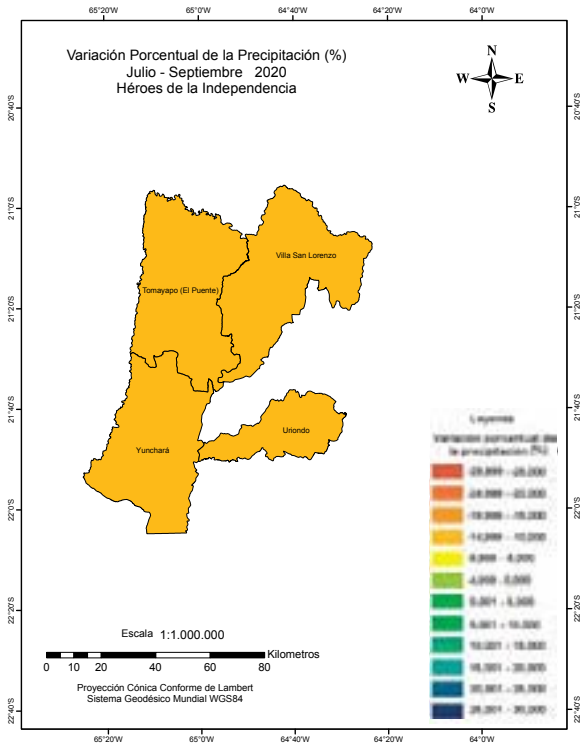
Mapa 5.33.

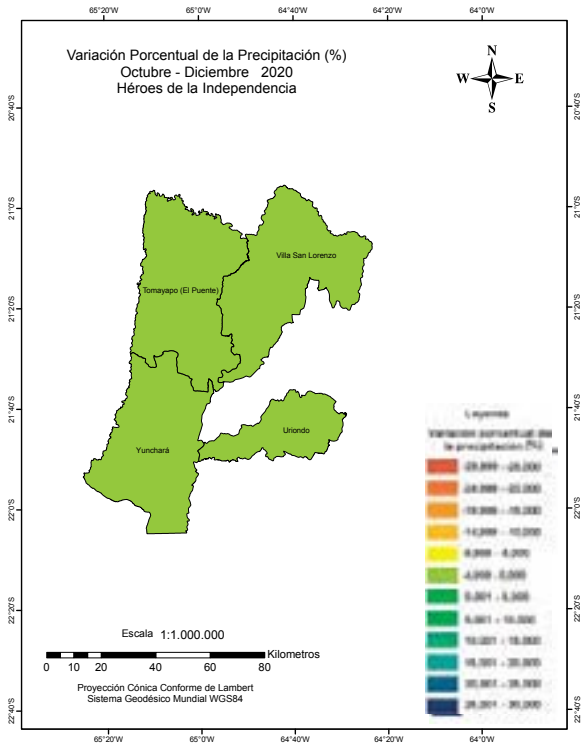

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2020
Héroes de la Independencia
N
W
E
S
65°20'W
65°0'W
64°40'W
64°20'W
64°0'W
20°40'S
21°0'S
21°20'S
21°40'S
22°0'S
22°20'S
22°40'S
Villa San Lorenzo
Tomayapo (El Puente)
Uriondo
Yunchará
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:1.000.000
Kilometros
0 10 20 40 60 80
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.34.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2020. Héroes de la Independencia

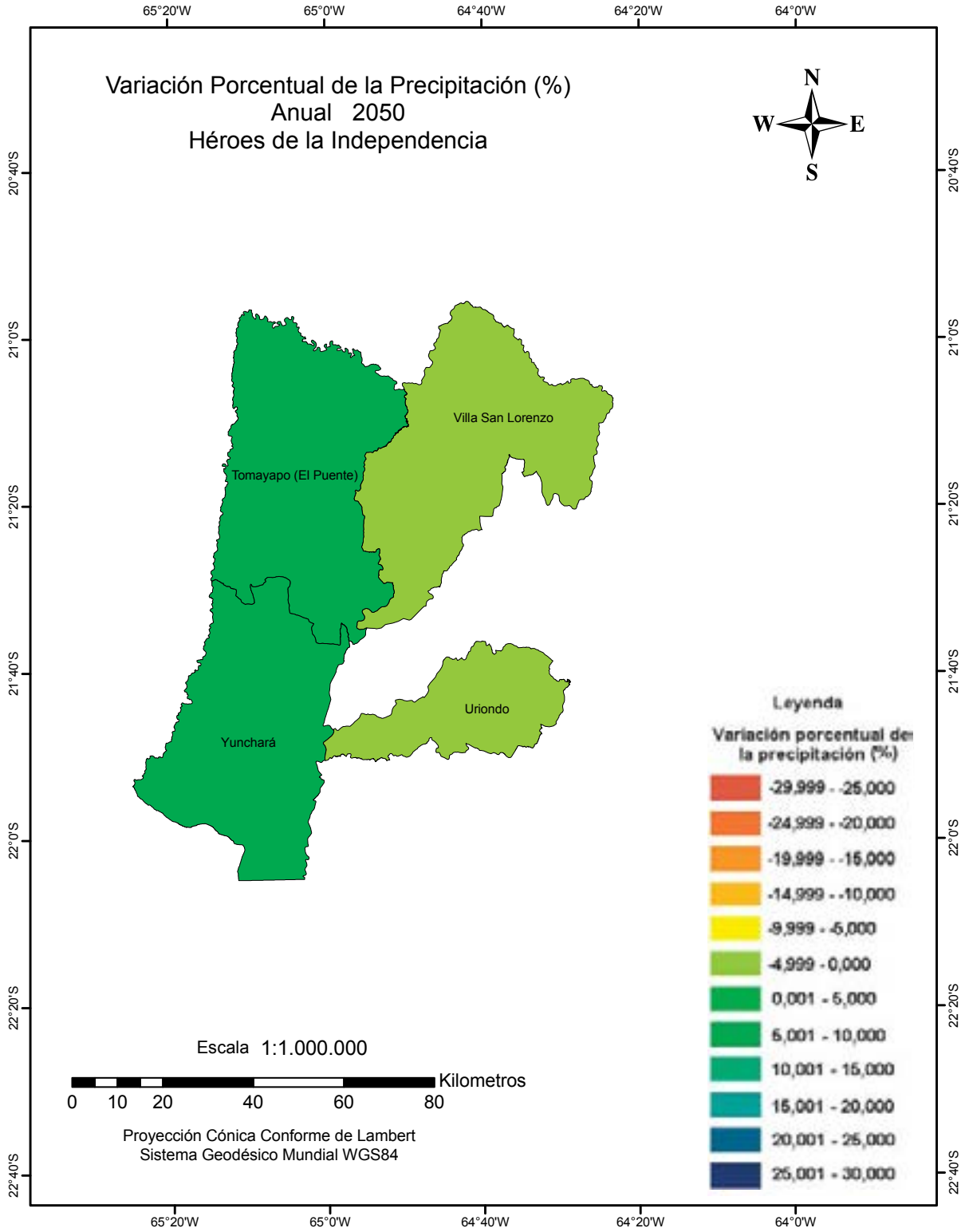




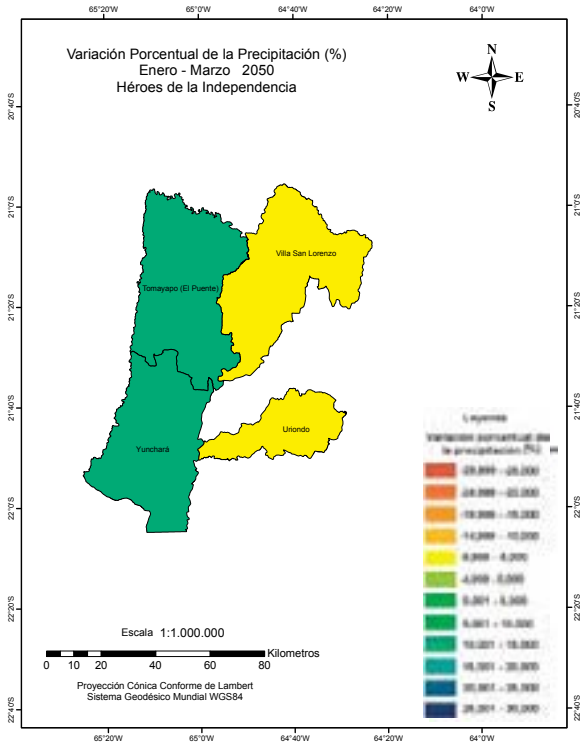


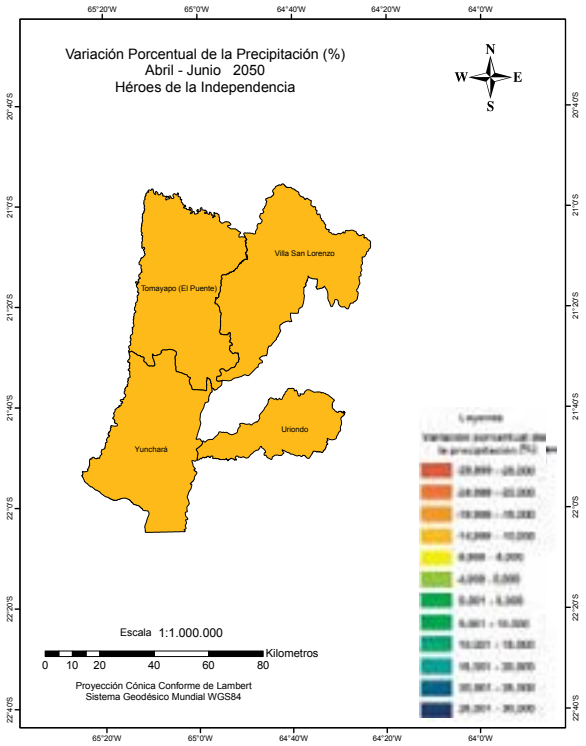


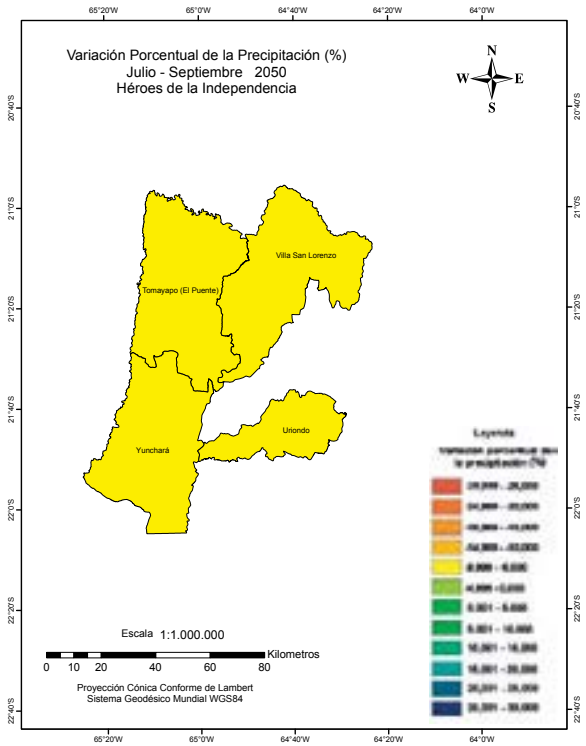
Mapa 5.35.

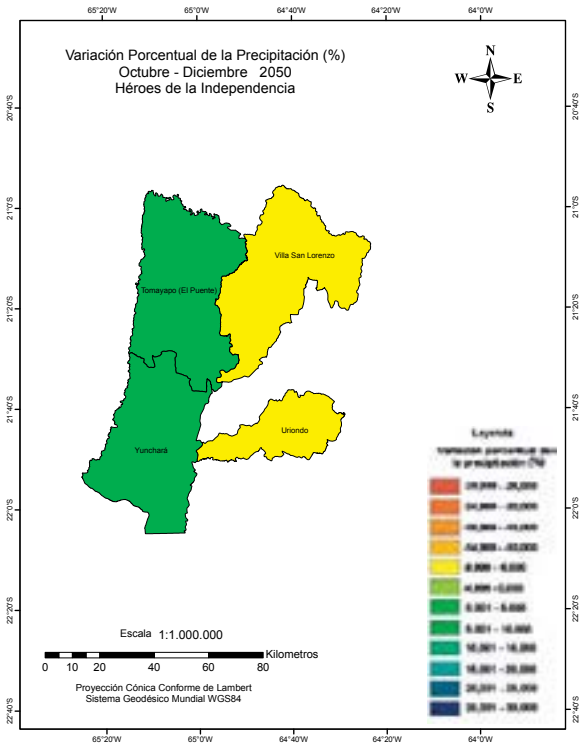

Variación Porcentual de la Precipitación (%)
Anual 2050
Héroes de la Independencia
N
W
E
S
65°20'W
65°0'W
64°40'W
64°20'W
64°0'W
20°40'S
21°0'S
21°20'S
21°40'S
22°0'S
22°20'S
22°40'S
Villa San Lorenzo
Tomayapo (El Puente)
Uriondo
Yunchará
Leyenda
Variación porcentual de la precipitación (%)
-29,999 - -25,000
-24,999 - -20,000
-19,999 - -15,000
-14,999 - -10,000
-9,999 - -5,000
-4,999 - 0,000
0,001 - 5,000
5,001 - 10,000
10,001 - 15,000
15,001 - 20,000
20,001 - 25,000
25,001 - 30,000
Escala 1:1.000.000
Kilometros
0 10 20 40 60 80
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS84

Mapa 5.36.
Variación porcentual de la precipitación por trimestre en 2050. Héroes de la Independencia









5.3.2. Temperatura

5.3.2.1. Variaciones de los promedios mensuales

Las variaciones de la temperatura esperada permiten inferir que la magnitud de los cambios previstos, tanto de la Tmáx como de la Tmín es la misma, debido fundamentalmente a que los MCG sólo presentan valores medios. El valor agregado de los modelos de reducción de escala se basa en la adición de la variabilidad diaria otorgada a los valores generados por el estudio, en base a datos observados en el punto de las estaciones de referencia. Dado que los deltas de temperatura son iguales en ambas variables, en la Tabla 5.2 se presentan valores de incremento térmico en los puntos incluidos en el estudio para el escenario A2.

Los incrementos de temperatura para el 2020 son pequeños y no alcanzan en promedio a 1°C. Se espera que al 2020 haya diferencias de calentamiento en las zonas analizadas en función de su altitud, cobertura vegetal, recepción de radiación, aridez, etc. Sin embargo, el forzamiento radiativo esperado para el 2050 por la concentración de Gases de Efecto Invernadero hace que a partir del 2020, tenga efecto sobre el balance energético superficial, provocando incrementos térmicos más homogéneos.

Los cambios de temperatura esperados son menos dispersos que en el caso de la precipitación determinado por la latitud, altitud y las corrientes de aire predominantes en la región, que mantienen cierto grado de estabilidad en zonas con similares características. Estos incrementos térmicos se traducen en déficit hídrico de mayor o menor magnitud, por lo que se espera una tendencia a enfrentar años secos, no necesariamente por menor precipitación, sino por mayor demanda de vapor de agua en la atmósfera.

Tabla 5.4.
Tasa de ascenso en °C de los valores promedio mensuales simulados para el futuro. Se presentan los datos promedio para los trimestres enero a marzo (E-M), abril a junio (A-Jn), julio a septiembre (Jl-S), octubre a diciembre (O-D) y el promedio anual.

Municipio	Años 2020 y 2050	E-M	A-Jn	Jl-S	O-D	ANUAL
Acasio	2020	0,616	0,708	0,900	0,862	0,771
	2050	2,097	2,374	2,488	2,437	2,349
Andamarca	2020	0,583	0,585	0,657	0,778	0,639
	2050	2,308	2,526	2,495	2,468	2,449
Anzaldo	2020	0,643	0,724	0,736	0,764	0,717
	2050	1,987	2,345	2,262	2,189	2,196
Apolo	2020	0,629	0,804	0,863	0,686	0,745
	2050	1,869	2,008	2,214	2,165	2,055
Arampampa	2020	0,753	0,787	0,806	0,901	0,812
	2050	2,106	2,401	2,364	2,390	2,315
Arque	2020	0,706	0,811	0,735	1,009	0,798
	2050	2,234	2,437	2,272	2,599	2,385
Arbieto	2020	0,861	0,995	1,026	1,082	0,991
	2050	2,321	2,768	2,686	2,592	2,592
Betanzos	2020	0,616	0,708	0,900	0,862	0,771
	2050	2,097	2,374	2,488	2,437	2,349
Bolívar	2020	0,706	0,811	0,735	1,009	0,798
	2050	2,234	2,437	2,272	2,599	2,385
Caiza D	2020	0,615	0,751	0,809	0,793	0,742
	2050	2,308	2,526	2,495	2,408	2,434
Calacoto	2020	0,583	0,585	0,657	0,778	0,639
	2050	2,308	2,526	2,495	2,468	2,449
Callapa	2020	0,583	0,585	0,657	0,778	0,639
	2050	2,308	2,526	2,495	2,468	2,449

Municipio	Años 2020 y 2050	E-M	A-Jn	Jl-S	O-D	ANUAL
Camargo	2020	0,741	0,828	0,797	0,870	0,809
	2050	2,233	2,525	2,417	2,489	2,416
Capinota	2020	0,753	0,787	0,806	0,901	0,812
	2050	2,106	2,401	2,364	2,390	2,315
Caripuyo	2020	0,488	0,531	0,476	0,689	0,392
	2050	1,725	1,835	1,784	1,994	1,758
Chaquí	2020	0,616	0,708	0,900	0,862	0,771
	2050	2,097	2,374	2,488	2,437	2,349
Charaña	2020	0,583	0,585	0,657	0,778	0,639
	2050	2,308	2,526	2,495	2,468	2,449
Chayanta	2020	0,488	0,531	0,476	0,689	0,392
	2050	1,725	1,835	1,784	1,994	1,758
Corque	2020	0,583	0,585	0,657	0,778	0,639
	2050	2,308	2,526	2,495	2,468	2,449
Culpina	2020	0,756	0,722	0,816	0,897	0,798
	2050	2,274	2,356	2,373	2,467	2,368
Curahuara de Carangas	2020	0,583	0,585	0,657	0,778	0,639
	2050	2,308	2,526	2,595	2,568	2,499
El Puente	2020	0,699	0,871	1,019	0,820	0,852
	2050	2,095	2,506	2,687	2,318	2,402
Guanay	2020	0,629	0,804	0,863	0,686	0,745
	2050	1,870	1,903	1,941	2,026	1,935
Huacareta	2020	0,692	0,629	0,738	1,020	0,747
	2050	2,156	2,142	2,280	2,485	2,266
Huacaya	2020	0,713	0,598	0,553	0,950	0,704
	2050	2,193	2,112	2,046	2,462	2,203
Huayllamarca	2020	0,583	0,585	0,657	0,778	0,639
	2050	2,308	2,526	2,495	2,468	2,449
Incahuasi	2020	0,756	0,722	0,816	0,897	0,798
	2050	2,274	2,356	2,373	2,467	2,368
Ixiamas	2020	0,629	0,804	0,863	0,686	0,745
	2050	1,870	1,903	1,941	2,026	1,935
Las Carreras	2020	0,756	0,722	0,816	0,897	0,798
	2050	2,274	2,356	2,373	2,467	2,368
Macharetí	2020	0,713	0,598	0,553	0,950	0,704
	2050	2,193	2,112	2,046	2,462	2,203
Mapiri	2020	0,629	0,804	0,863	0,686	0,745
	2050	1,870	1,903	1,941	2,026	1,935
Monteagudo	2020	0,713	0,598	0,553	0,950	0,704
	2050	2,193	2,112	2,046	2,462	2,203
Muyupampa	2020	0,713	0,598	0,553	0,950	0,704
	2050	2,193	2,112	2,046	2,462	2,203
Pocoata	2020	0,667	0,647	0,627	0,667	0,652
	2050	2,023	2,262	2,156	2,122	2,141
Porco	2020	0,741	0,828	0,797	0,870	0,809
	2050	2,233	2,525	2,417	2,489	2,416
Poroma	2020	0,591	0,646	0,683	0,673	0,646
	2050	1,991	2,273	2,172	2,118	2,140
Puna	2020	0,799	0,976	1,132	1,028	0,984
	2050	2,432	2,787	2,920	2,768	2,727
San Buenaventura	2020	0,629	0,804	0,863	0,686	0,745
	2050	1,870	1,903	1,941	2,026	1,935

Continúa

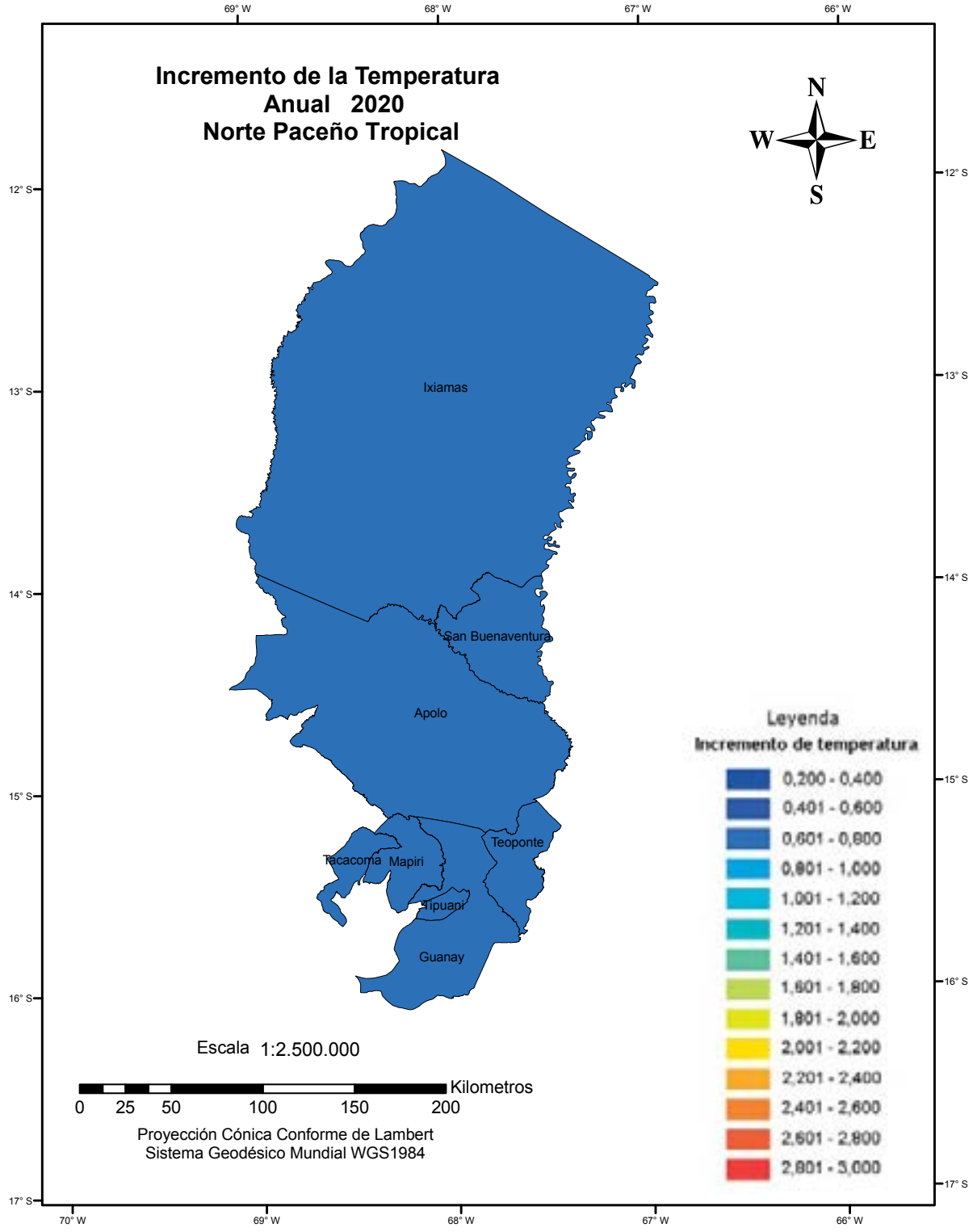
Municipio	Años 2020 y 2050	E-M	A-Jn	Jl-S	O-D	ANUAL
Sacabamba	2020	0,751	0,792	0,851	0,900	0,817
	2050	2,152	2,409	2,401	2,353	2,326
Sacaca	2020	0,756	0,722	0,816	0,897	0,798
	2050	2,274	2,356	2,373	2,467	2,368
San Lorenzo	2020	0,699	0,871	1,019	0,820	0,852
	2050	2,095	2,506	2,687	2,318	2,402
San Lucas	2020	0,462	0,362	0,405	0,336	0,391
	2050	1,559	1,786	1,778	1,724	1,713
San Pedro de Buena Vista	2020	0,667	0,647	0,627	0,667	0,652
	2050	2,023	2,262	2,156	2,122	2,141
San Pedro de Totora	2020	0,583	0,585	0,657	0,778	0,639
	2050	2,308	2,526	2,495	2,468	2,449
Sicaya	2020	0,583	0,585	0,657	0,778	0,639
	2050	2,308	2,526	2,495	2,468	2,449
Tacacoma	2020	0,729	0,836	0,863	0,686	0,745
	2050	2,545	2,239	2,440	2,333	2,390
Tacobamba	2020	0,741	0,828	0,797	0,870	0,809
	2050	2,233	2,525	2,417	2,489	2,416
Tarata	2020	0,861	0,995	1,026	1,082	0,991
	2050	2,321	2,768	2,686	2,592	2,592
Tacopaya	2020	0,583	0,585	0,657	0,778	0,639
	2050	2,308	2,526	2,495	2,468	2,449
Tapacarí	2020	0,706	0,811	0,735	1,009	0,798
	2050	2,234	2,437	2,272	2,599	2,385
Teoponte	2020	0,629	0,804	0,863	0,686	0,745
	2050	1,870	1,903	1,941	2,026	1,935
Tipuani	2020	0,629	0,804	0,863	0,686	0,745
	2050	1,870	1,903	1,941	2,026	1,935
Tinguipaya	2020	0,383	0,424	0,526	0,400	0,433
	2050	1,614	1,872	1,893	1,747	1,782
Tomave	2020	0,383	0,424	0,526	0,400	0,433
	2050	1,614	1,872	1,893	1,747	1,782
Toro Toro	2020	0,667	0,647	0,627	0,667	0,652
	2050	2,023	2,262	2,156	2,122	2,141
Urmiri	2020	0,667	0,647	0,627	0,667	0,652
	2050	2,233	2,525	2,417	2,489	2,416
Uriondo	2020	0,699	0,871	1,019	0,820	0,852
	2050	2,095	2,506	2,687	2,318	2,402
Villa Abecia	2020	0,741	0,828	0,797	0,870	0,809
	2050	2,233	2,525	2,417	2,489	2,416
Yocalla	2020	0,667	0,647	0,627	0,667	0,652
	2050	2,233	2,525	2,417	2,489	2,416
Yunchará	2020	0,699	0,871	1,019	0,820	0,852
	2050	2,095	2,506	2,687	2,318	2,402

Temperatura

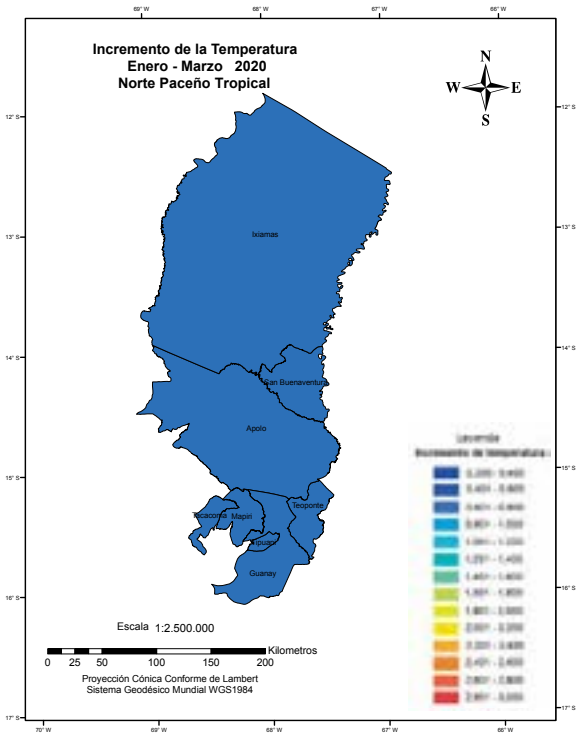
Norte Paceño Tropical

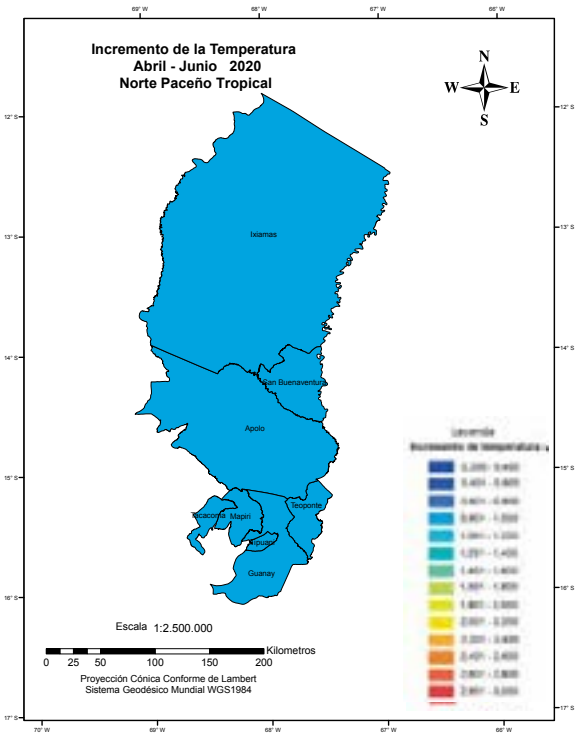
Los Mapas 37 al 40 muestran incrementos similares en el año, aunque los mayores se tendrán entre abril y diciembre, tanto al 2020 como al 2050. En general, la zona se calienta menos que el resto de las áreas analizadas, aunque la tendencia de calentamiento observada (Capítulo 2) aumentaría levemente hacia el 2020 y se incrementaría más hacia 2050. Si esto se combina con los descensos de precipitación al inicio de la época de lluvias, esta zona enfrentaría fuertes periodos de déficit hídrico entre octubre y diciembre para luego compensarse en la época de lluvias. Por la falta de información histórica de temperaturas, no se puede realizar una mejor caracterización de la variación de la temperatura de la zona, pero la tendencia para la estación de San Buenaventura podría considerarse representativa de la región, puesto que presenta un ecosistema característico del Norte Paceño Tropical con excepción de Tacacoma.

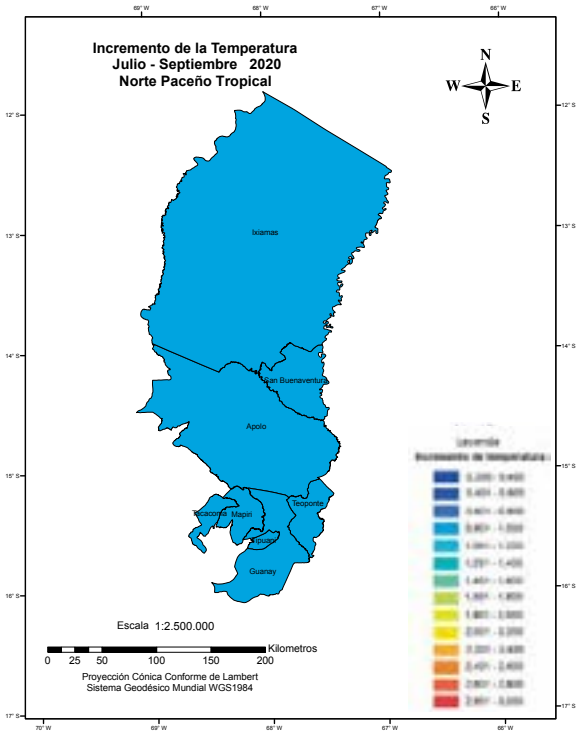
Mapa 5.37.

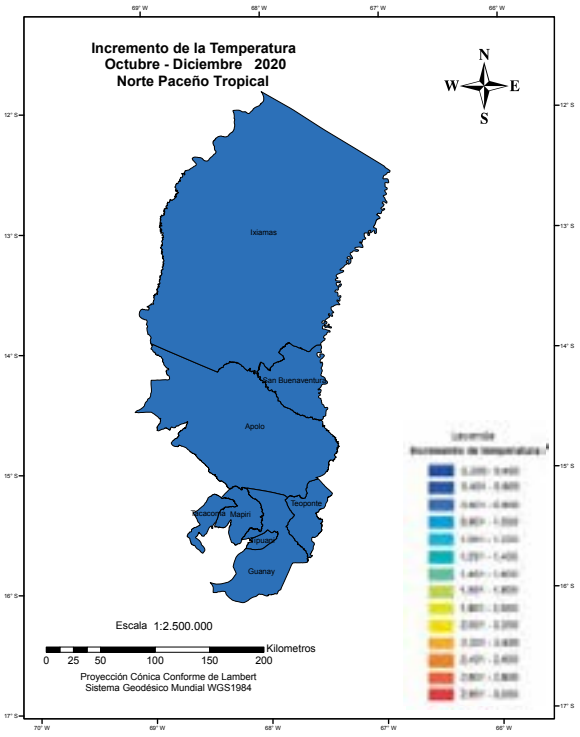

Incremento de la Temperatura
Anual 2020
Norte Paceño Tropical
N
W
E
S
69° W
68° W
67° W
66° W
12° S
13° S
14° S
15° S
16° S
17° S
70° W
Ixiamas
San Buenaventura
Apolo
Teoponte
Tacacoma
Mapiri
Tipuani
Guanay
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:2.500.000
Kilometros
0 25 50 100 150 200
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.38.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Norte Paceño Tropical

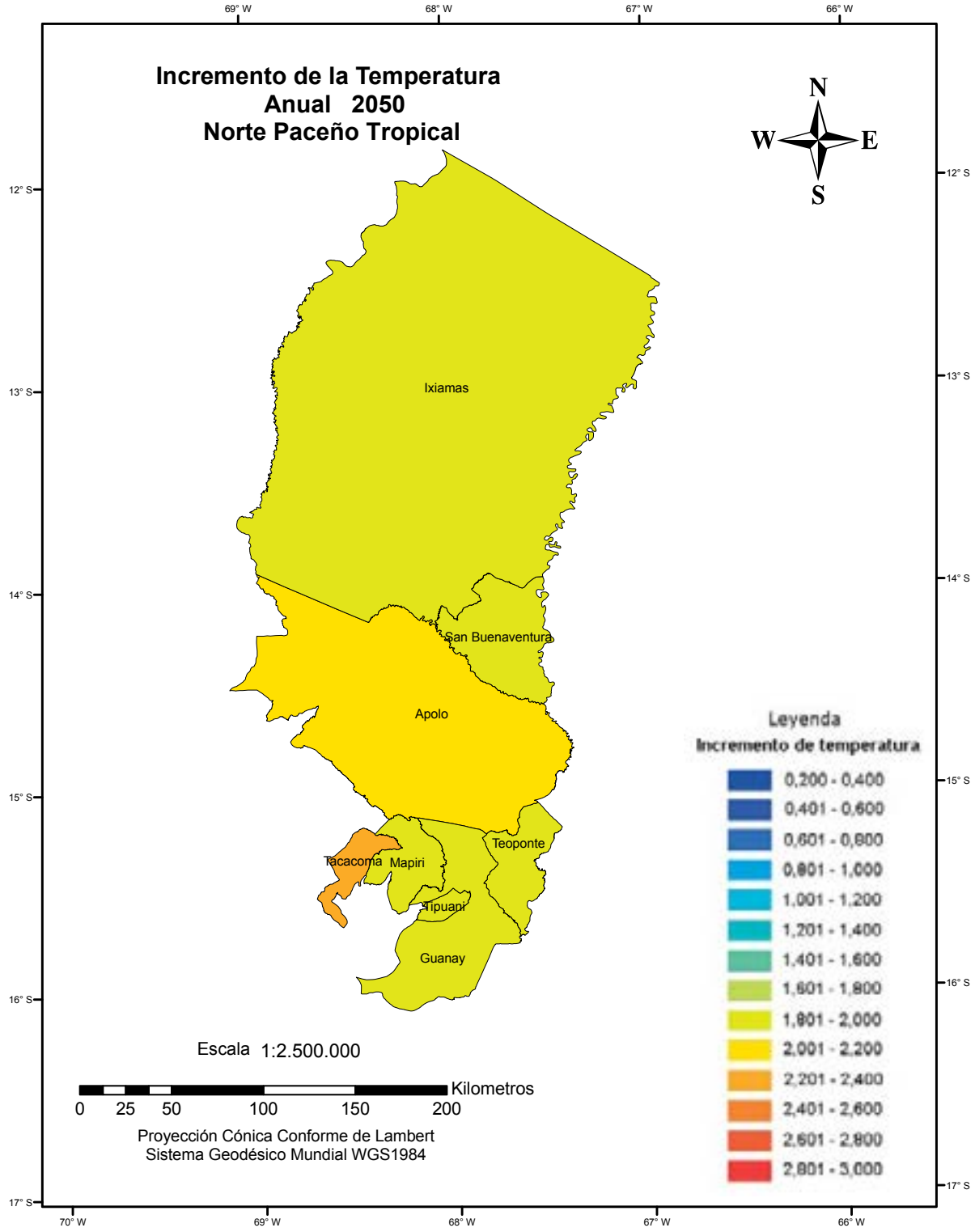




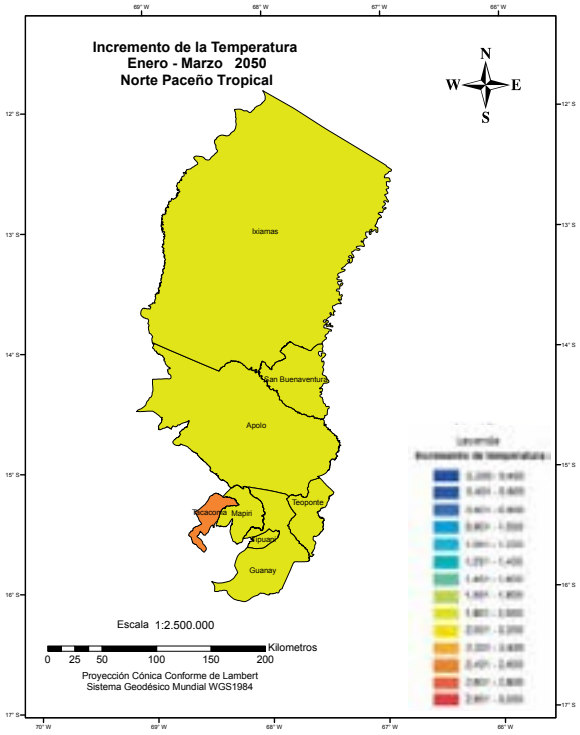


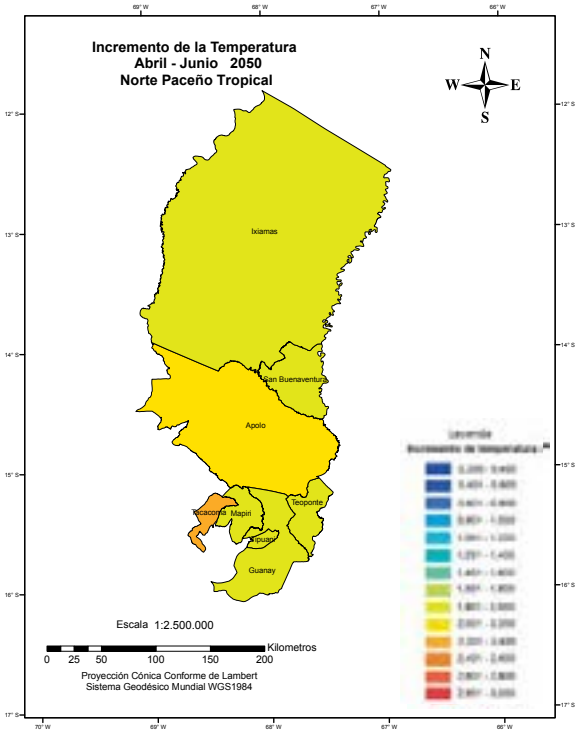


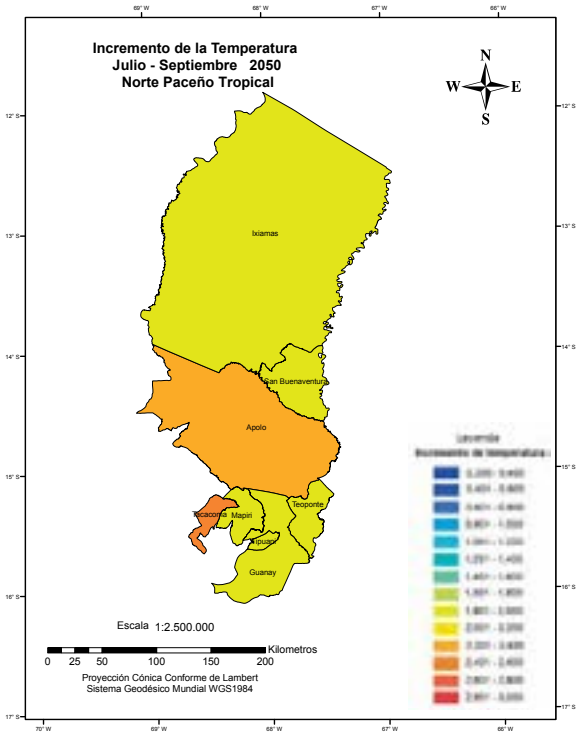
Mapa 5.39

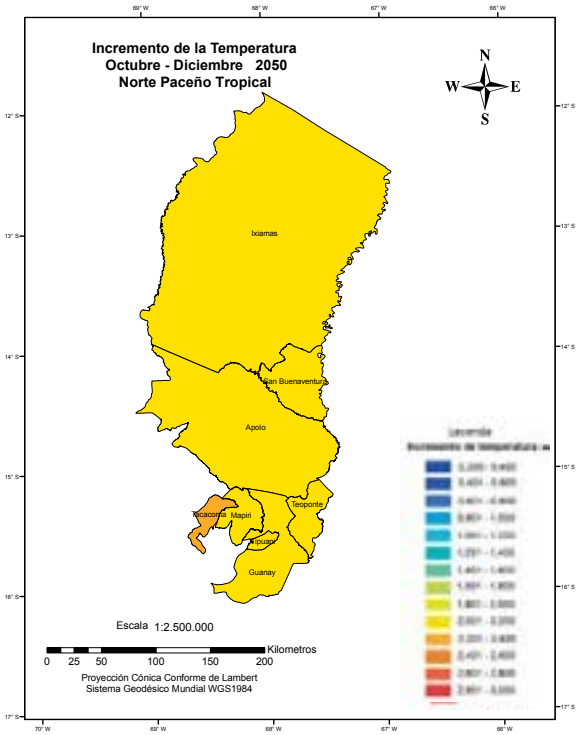

Incremento de la Temperatura
Anual 2050
Norte Paceño Tropical
N
W
E
S
69° W
68° W
67° W
66° W
12° S
13° S
14° S
15° S
16° S
17° S
70° W
Ixiamas
San Buenaventura
Apolo
Teoponte
Tacacoma
Mapiri
Tipuani
Guanay
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:2.500.000
Kilometros
0 25 50 100 150 200
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.40.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Norte Paceño Tropical









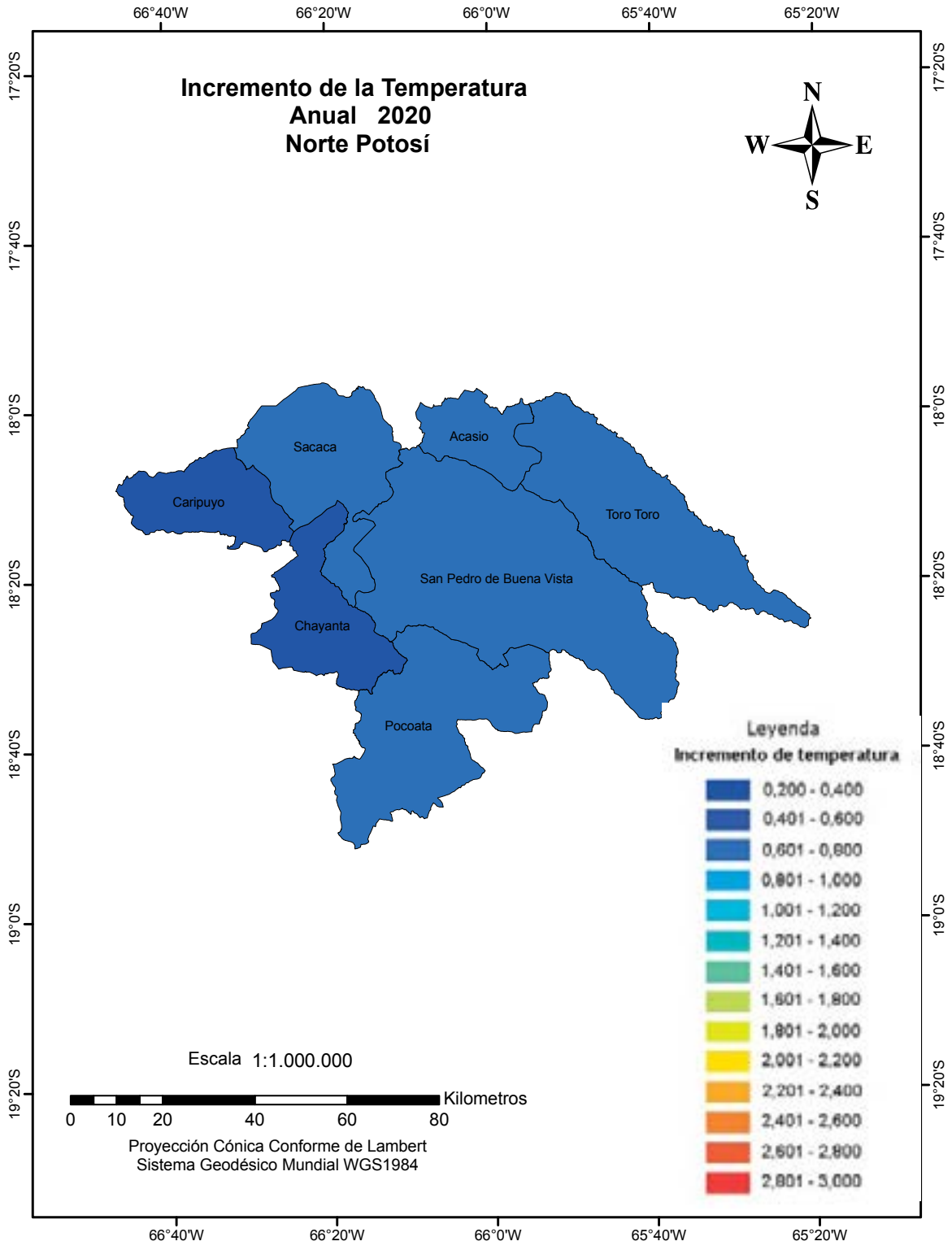
Norte Potosí

Los incrementos térmicos son muy similares en el año en los municipios de altitud intermedia (Mapas 41 a 44). En cambio en los municipios de mayor altitud se observan cambios en la tendencia de elevación de temperatura, siendo mayor al finalizar el año que al inicio. Esto probablemente está relacionado con los mayores déficits hídricos a fin de año, ya que la precipitación será menor que en la actualidad y la temperatura parece incrementarse más en estos periodos, lo que incrementaría la evapotranspiración con las consecuencias de mayor probabilidad de déficit hídrico.

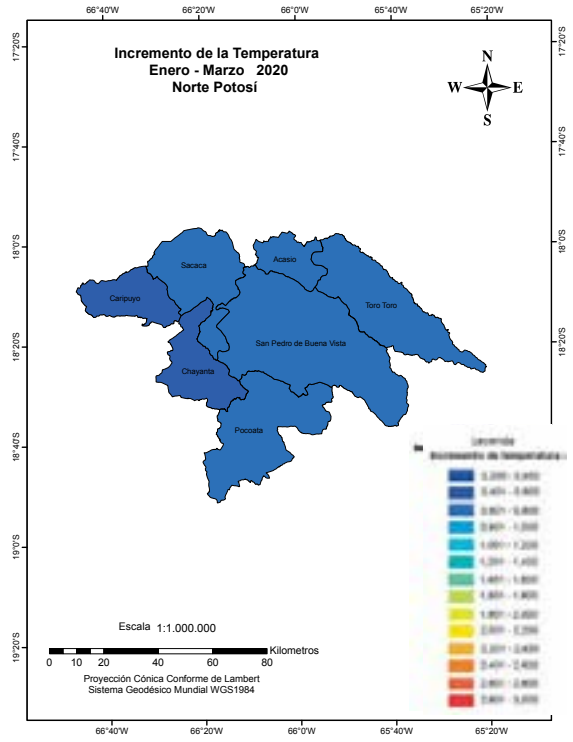
Este efecto se mantiene hacia el 2050, aunque con mayor intensidad porque la tasa de cambio es mucho mayor debido a la concentración de gases de efecto invernadero, simulada por el modelo que provoca un fuerte incremento. Caripuyo y Chayanta muestran una tendencia leve al calentamiento, que probablemente no represente a la zona.

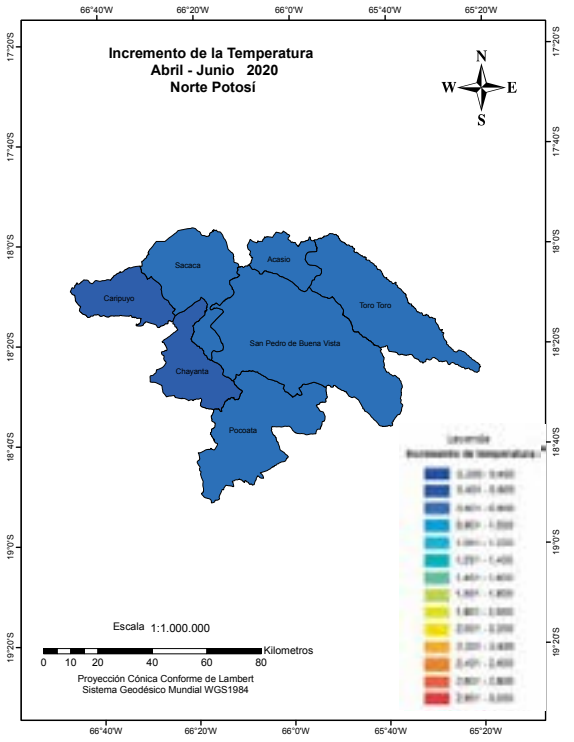
Las tendencias históricas encontradas (Capítulo 2) se mantendrán hasta el 2020, es decir que se confirman por los resultados del presente trabajo, pero se incrementarán hasta el 2050.

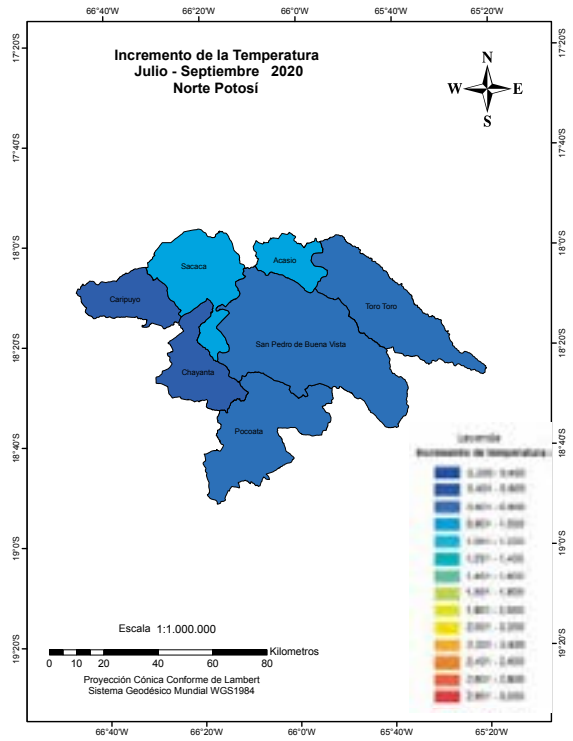
Mapa 5.41.

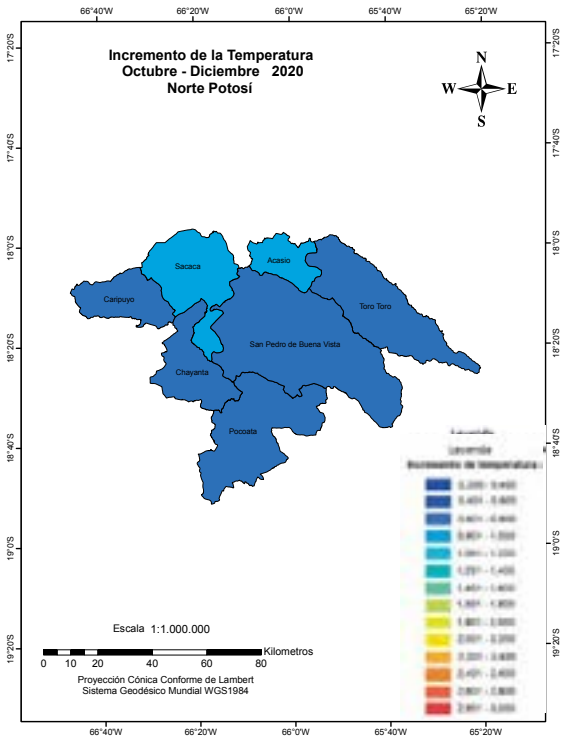

Incremento de la Temperatura
Anual 2020
Norte Potosí
N
W
E
S
66°40'W
66°20'W
66°0'W
65°40'W
65°20'W
17°20'S
17°40'S
18°0'S
18°20'S
18°40'S
19°0'S
19°20'S
Sacaca
Acasio
Caripuyo
Toro Toro
San Pedro de Buena Vista
Chayanta
Pocoata
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:1.000.000
0 10 20 40 60 80
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.42.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Norte Potosí

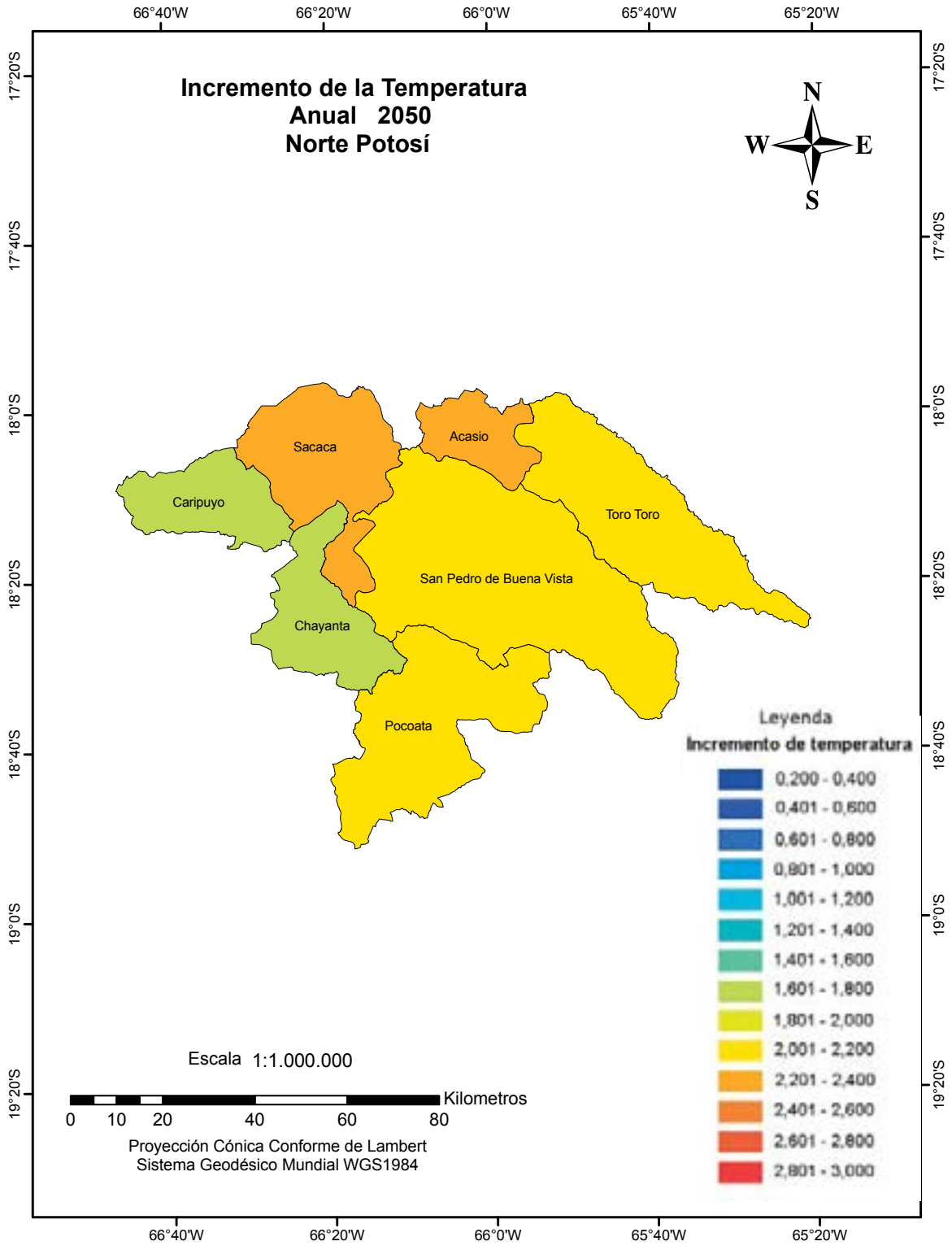




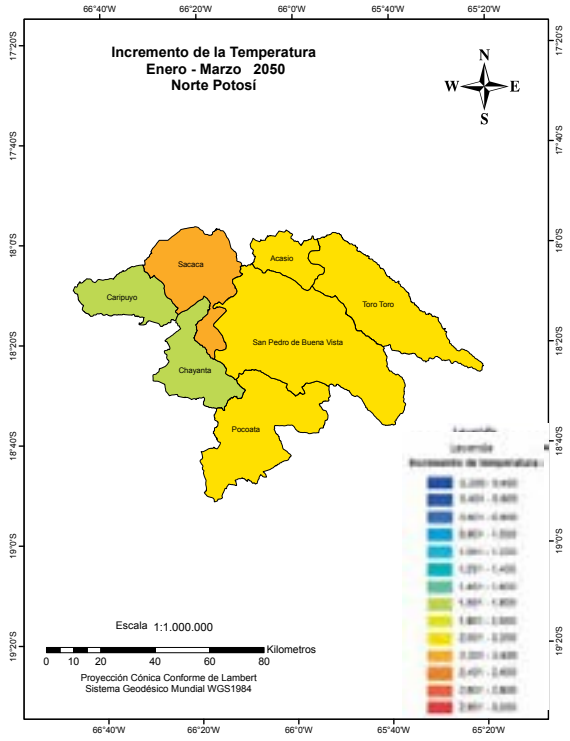


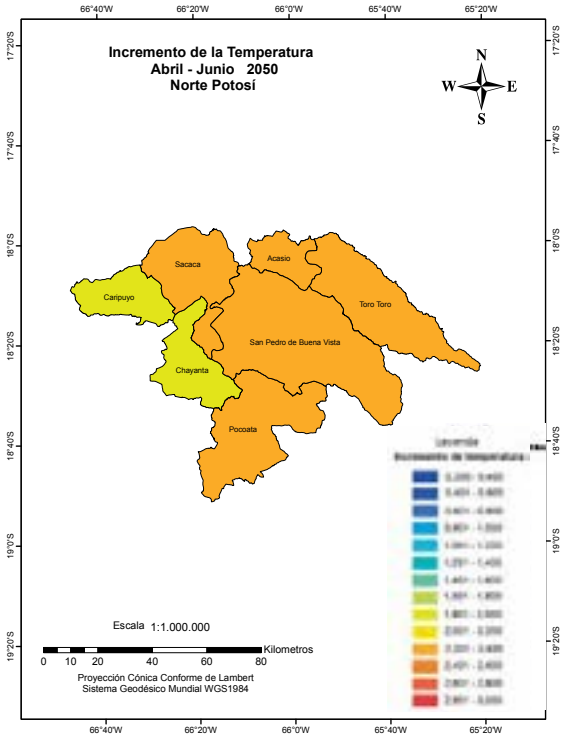


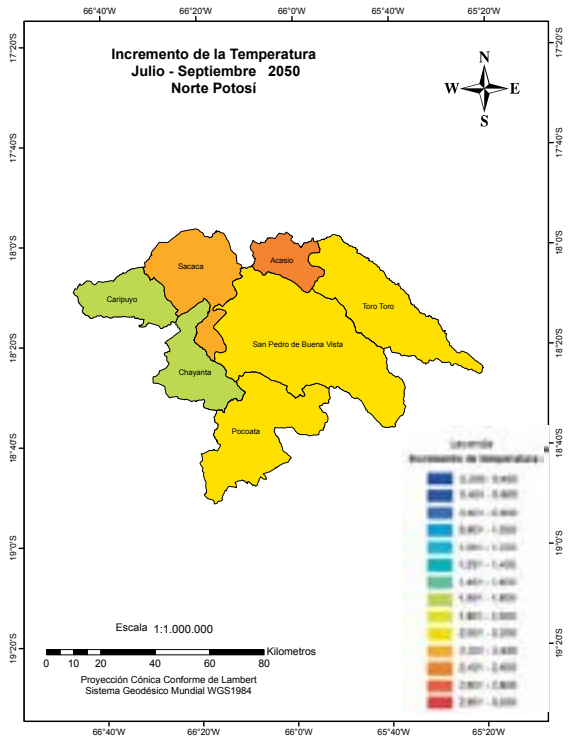
Mapa 5.43.

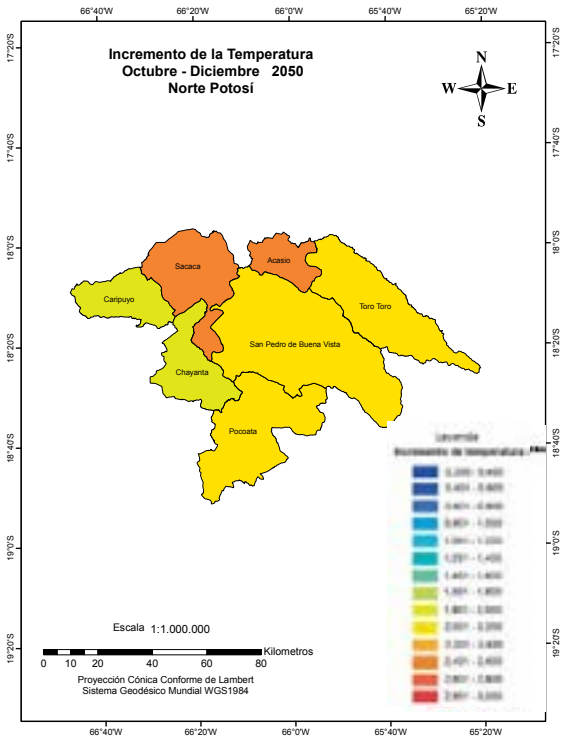

Incremento de la Temperatura
Anual 2050
Norte Potosí
N
W
E
S
66°40'W
66°20'W
66°0'W
65°40'W
65°20'W
17°20'S
17°40'S
18°0'S
18°20'S
18°40'S
19°0'S
19°20'S
Sacaca
Acasio
Caripuyo
Toro Toro
San Pedro de Buena Vista
Chayanta
Pocoata
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:1.000.000
0 10 20 40 60 80
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.44.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Norte Potosí









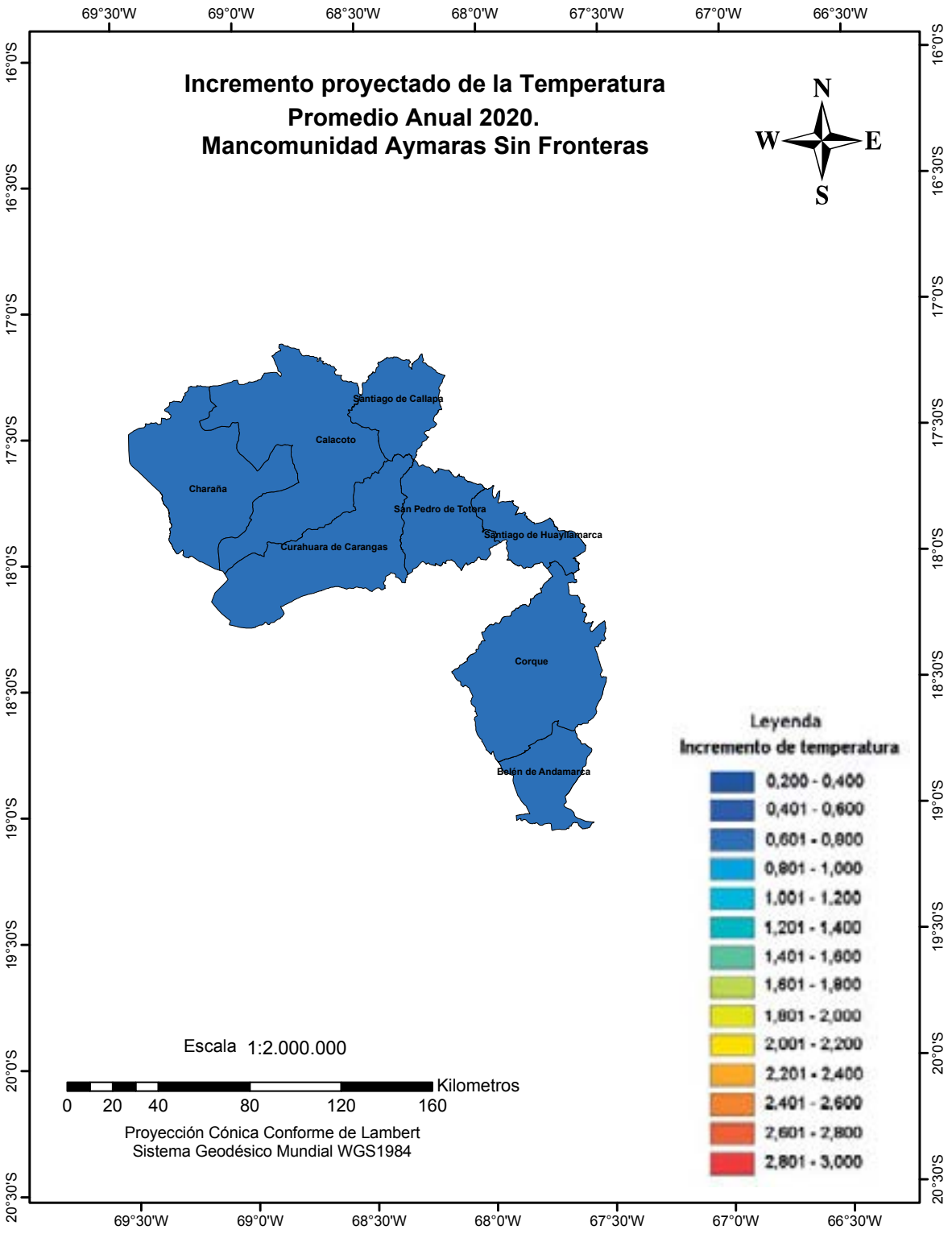
Aymaras Sin Fronteras
(zona altiplánica)

La zona altiplánica en la que se encuentra la Mancomunidad Aymaras Sin Fronteras presenta tasas de elevación de las temperaturas constantes, tanto en el futuro cercano como al 2050. Los Mapas 45 al 48, muestran que la tasa de calentamiento será mayor en el último trimestre del año, en consistencia con lo reportado para las estaciones de altura de Norte Potosí. Probablemente esto se deba a las menores precipitaciones de la época. El incremento estacional de la temperatura y la alta incidencia radiativa inciden en la pérdida de humedad del suelo y la atmosfera, dando lugar al mayor estrés hídrico.

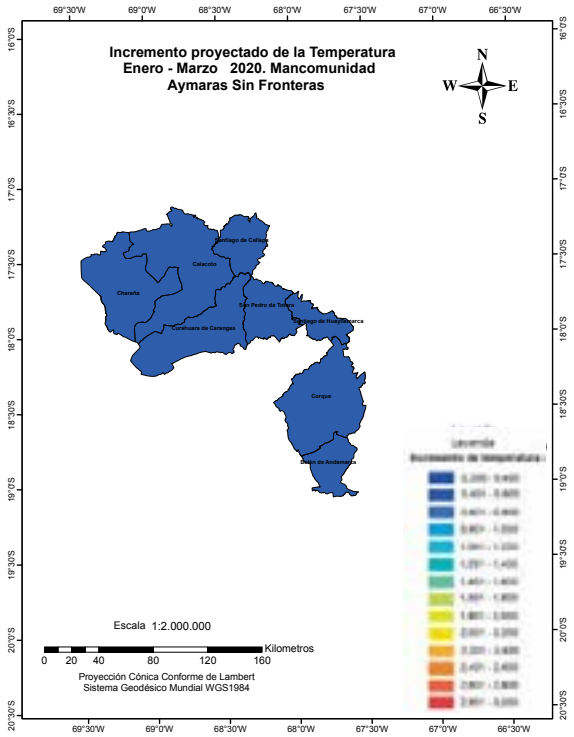
Este comportamiento se prolonga y se intensifica al 2050, pues la zona se calienta con mayor intensidad que las zonas más bajas, llegando a reportar valores de hasta 0.5°C, incremento adicional para el 2050. Estos datos muestran la influencia de la altitud, la aridez local y las corrientes de aire seco provenientes del Pacífico, que determinan la intensidad de las sequías agravando el efecto de la situación atmosférica actual. Esto debe considerarse el momento de planificar el desarrollo, incorporando acciones de adaptación en la zona. Por ejemplo, las estructuras de cosecha de agua y sistemas de riego suplementario al inicio de la época de siembra para mejorar la retención de agua en el suelo, luego de las nevadas típicas de agosto a septiembre.

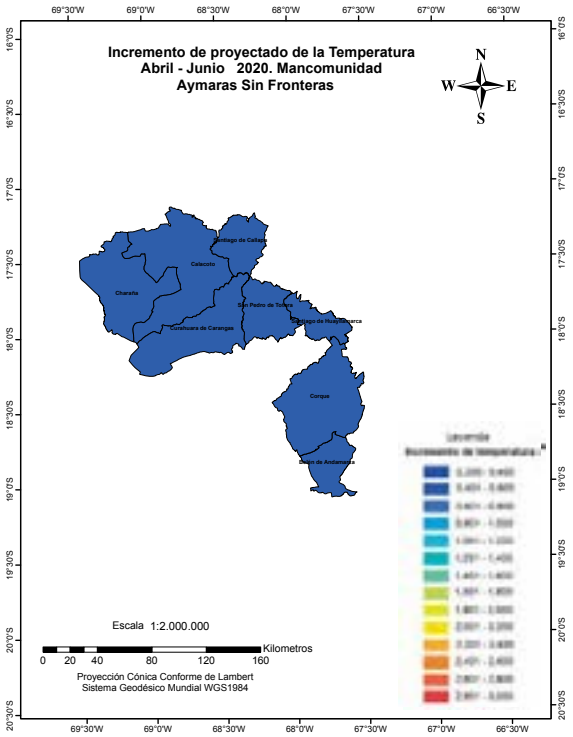
Las tendencias mencionadas son consistentes con las históricas encontradas en el Capítulo 2, mostrando ascensos relativamente constantes a lo largo del año. Sin embargo, se intensificará en el periodo 2020 y 2050 como en los casos anteriores.

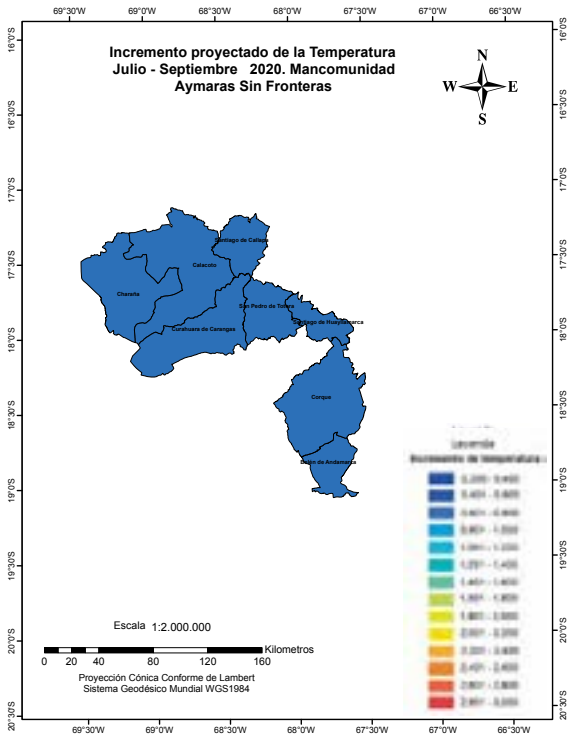
Mapa 5.45.

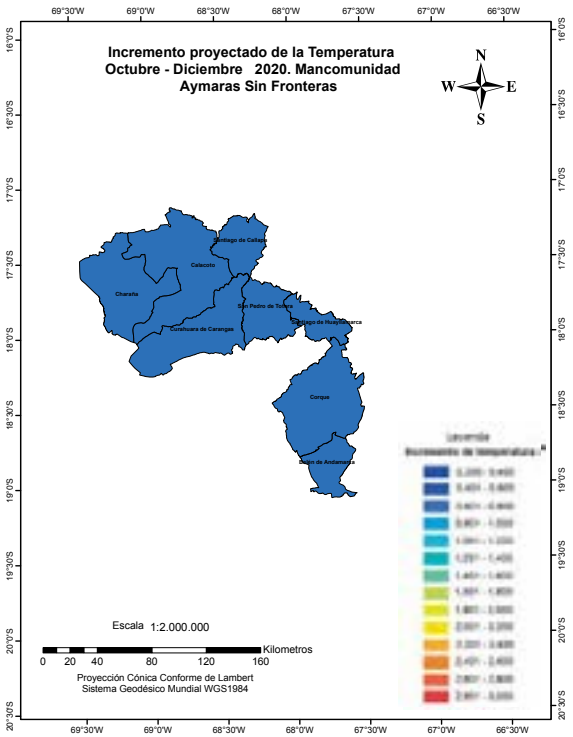

Incremento proyectado de la Temperatura
Promedio Anual 2020.
Mancomunidad Aymaras Sin Fronteras
N
W
E
S
69°30'W
69°0'W
68°30'W
68°0'W
67°30'W
67°0'W
66°30'W
16°0'S
16°30'S
17°0'S
17°30'S
18°0'S
18°30'S
19°0'S
19°30'S
20°0'S
20°30'S
Santiago de Callapa
Calacoto
Charaña
San Pedro de Totora
Santiago de Huayllamarca
Curahuara de Carangas
Corque
Belén de Andamarca
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:2.000.000
Kilometros
0 20 40 80 120 160
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.46.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Aymaras Sin Fronteras

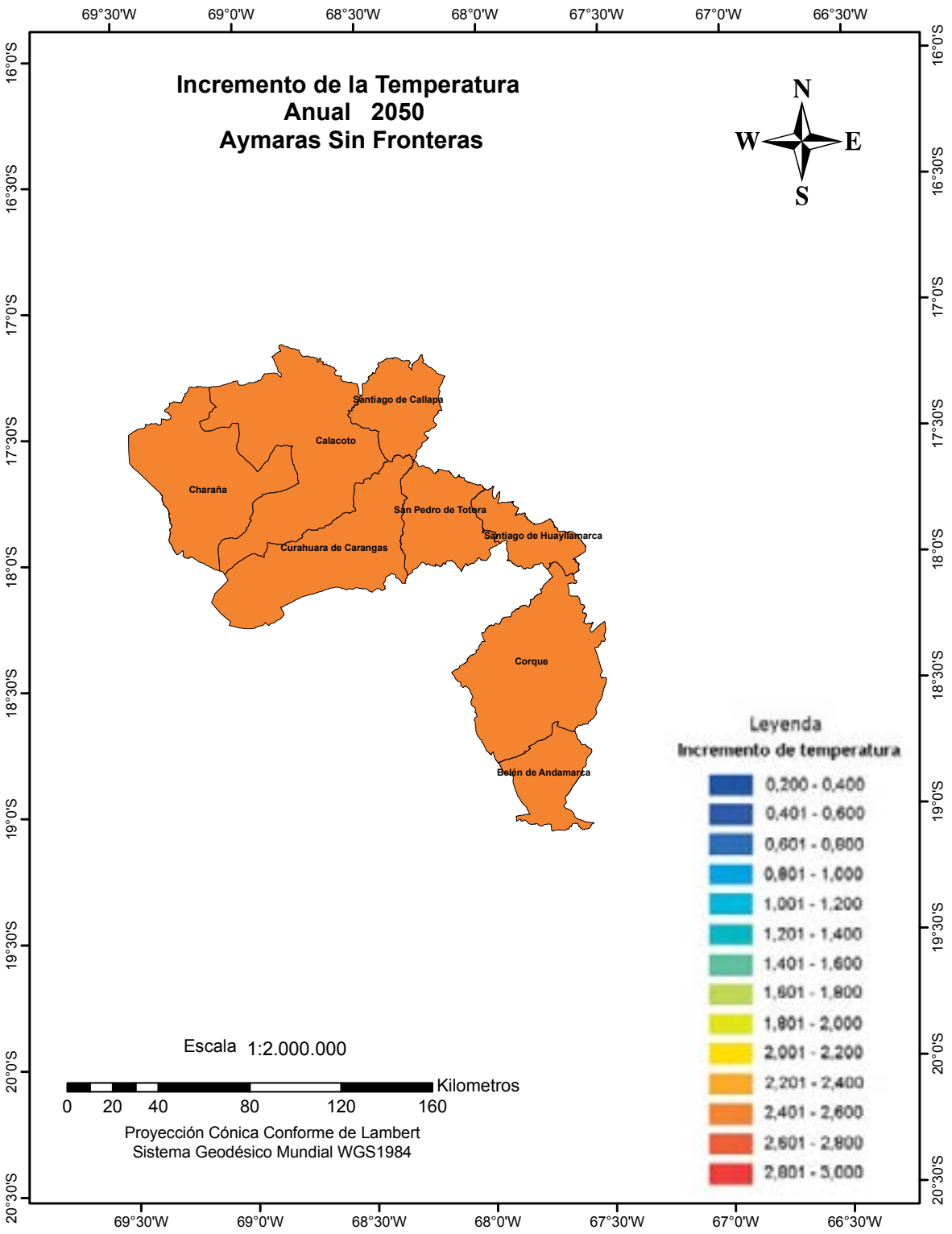




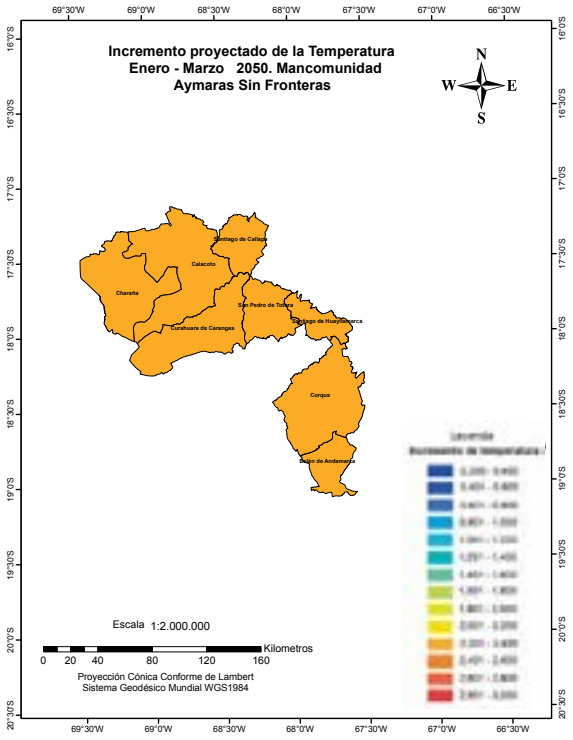


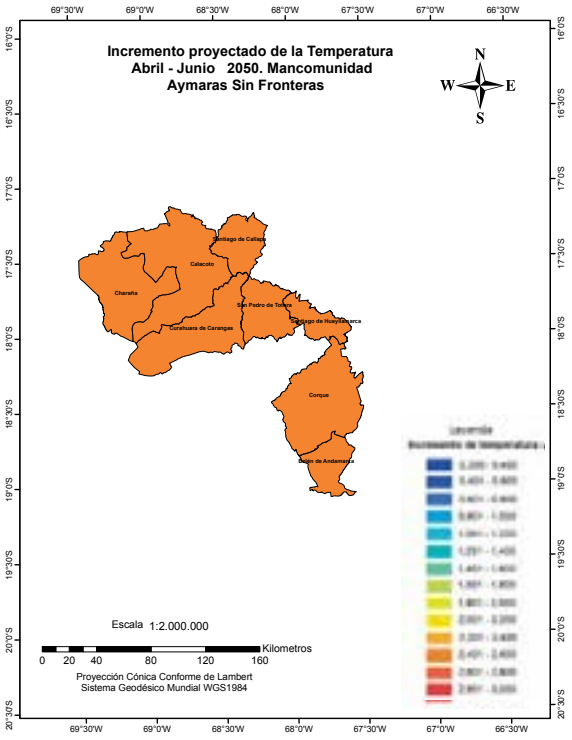


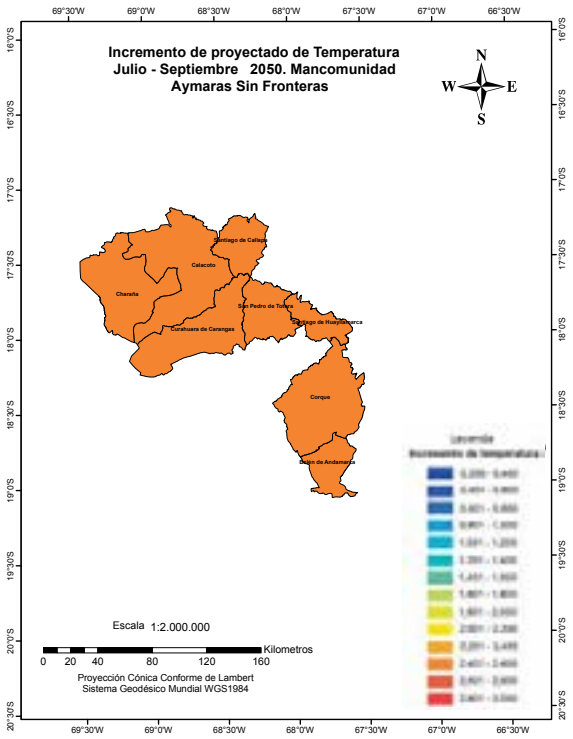
Mapa 5.47.

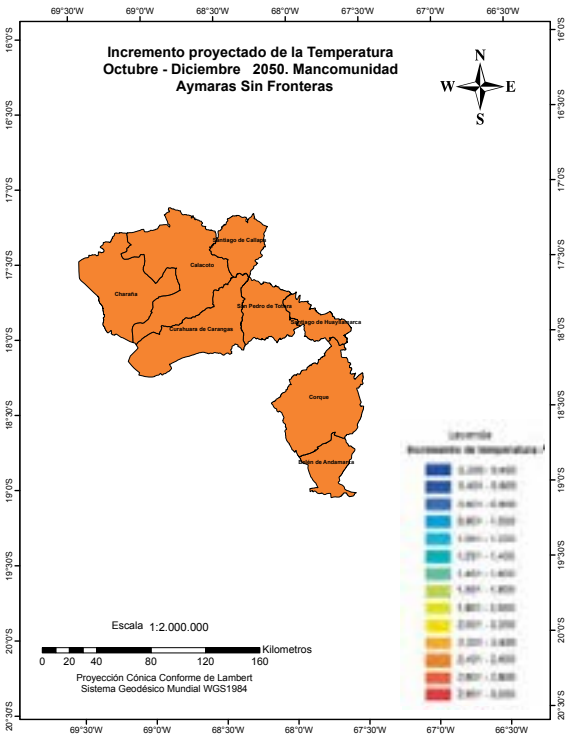

Incremento de la Temperatura
Anual 2050
Aymaras Sin Fronteras
N
W
E
S
69°30'W
69°0'W
68°30'W
68°0'W
67°30'W
67°0'W
66°30'W
16°0'S
16°30'S
17°0'S
17°30'S
18°0'S
18°30'S
19°0'S
19°30'S
20°0'S
20°30'S
Santiago de Callapa
Calacoto
Charaña
San Pedro de Totora
Santiago de Huayllamarca
Curahuara de Carangas
Corque
Belén de Andamarca
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:2.000.000
0 20 40 80 120 160
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.48.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Aymaras Sin Fronteras







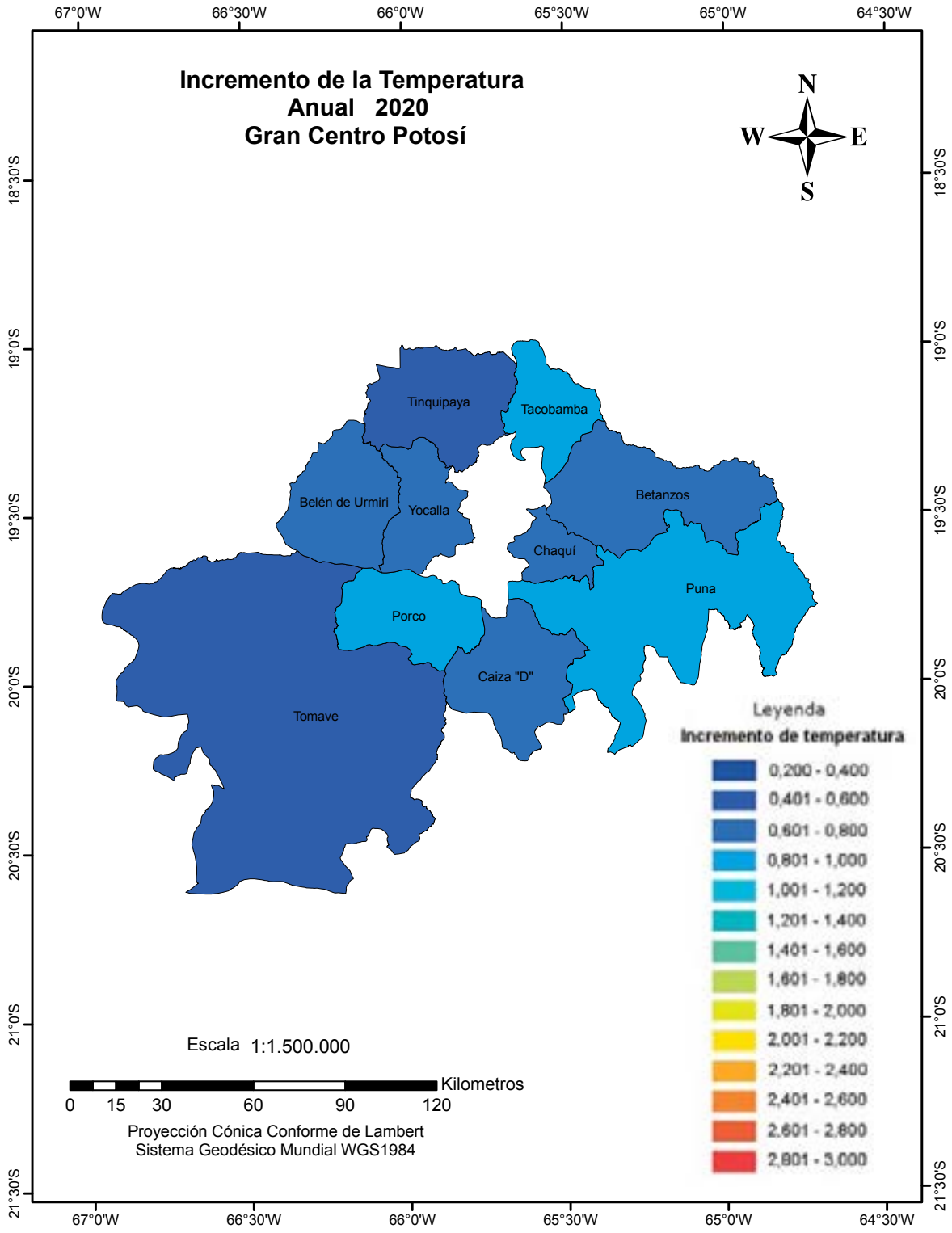


Gran Centro Potosí

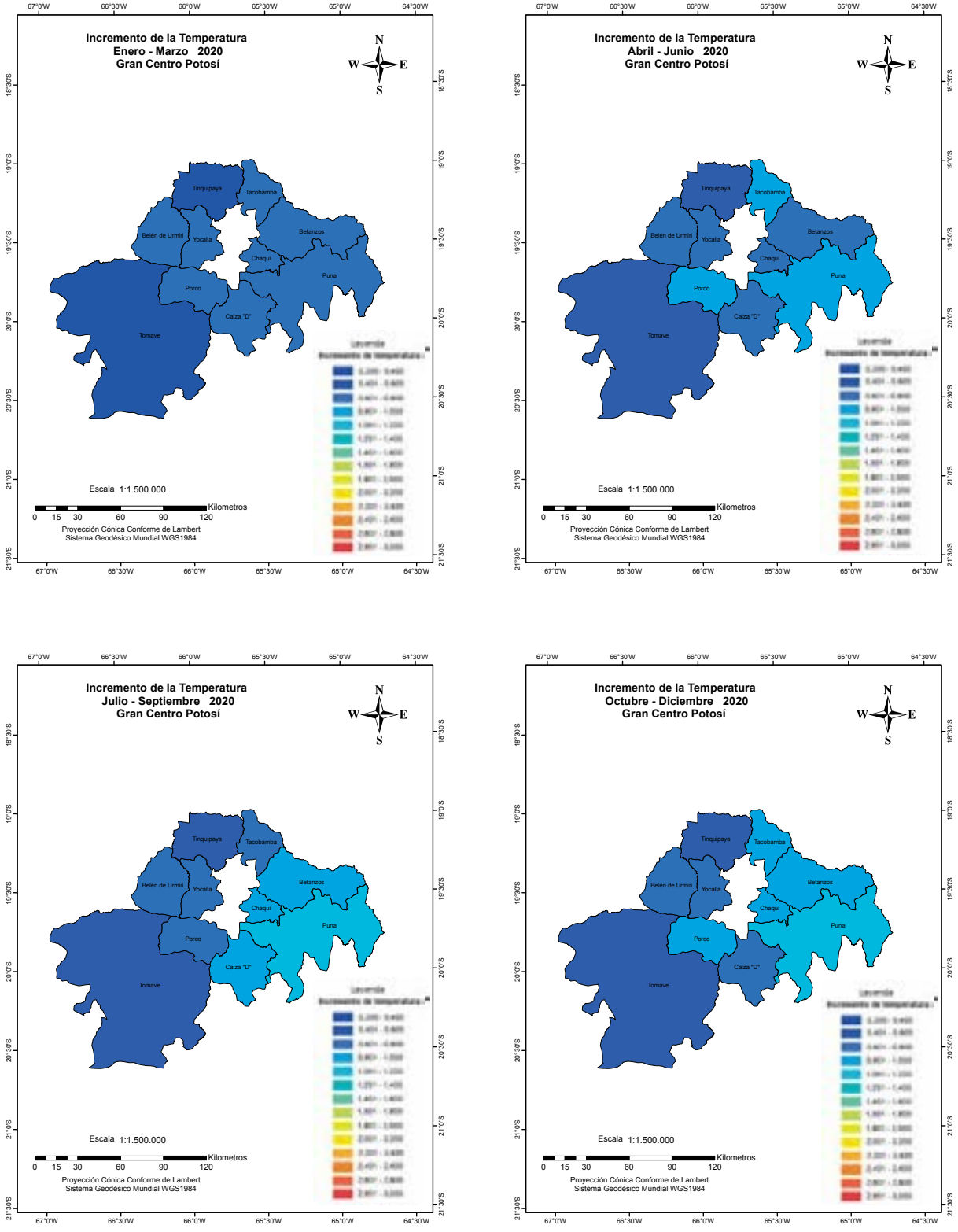
En esta zona, las estaciones con menor calentamiento durante el año son las de Tomave y Tinguipaya, que probablemente por diferencias altitudinales se encuentran en un cluster que muestra menor impacto relativo. Las otras estaciones de la Mancomunidad muestran calentamientos similares entre éstas, pero de mayor magnitud, especialmente en la segunda mitad del año, pues en algunos municipios los incrementos se acercan a 1°C (Mapas 49 a 52). El incremento de la temperatura nuevamente se intensifica hacia 2050 para las estaciones de mayor elevación, las que se acercan a los 3°C.

Estos datos revelan que la zona presentará sequías más intensas, a pesar de que las reducciones de la precipitación, en el futuro, no son significativas durante el año. Este impacto se debe a que la precipitación actual ya es reducida, lo que no le permitirá compensar los fuertes ascensos térmicos. Aunque se podría esperar que Tinguipaya y Tomave enfrenten poco estrés por su leve ascenso térmico, esto no quiere decir que el impacto sea significativamente menor. Hay que prever esta situación que afectaría la actividad agrícola.

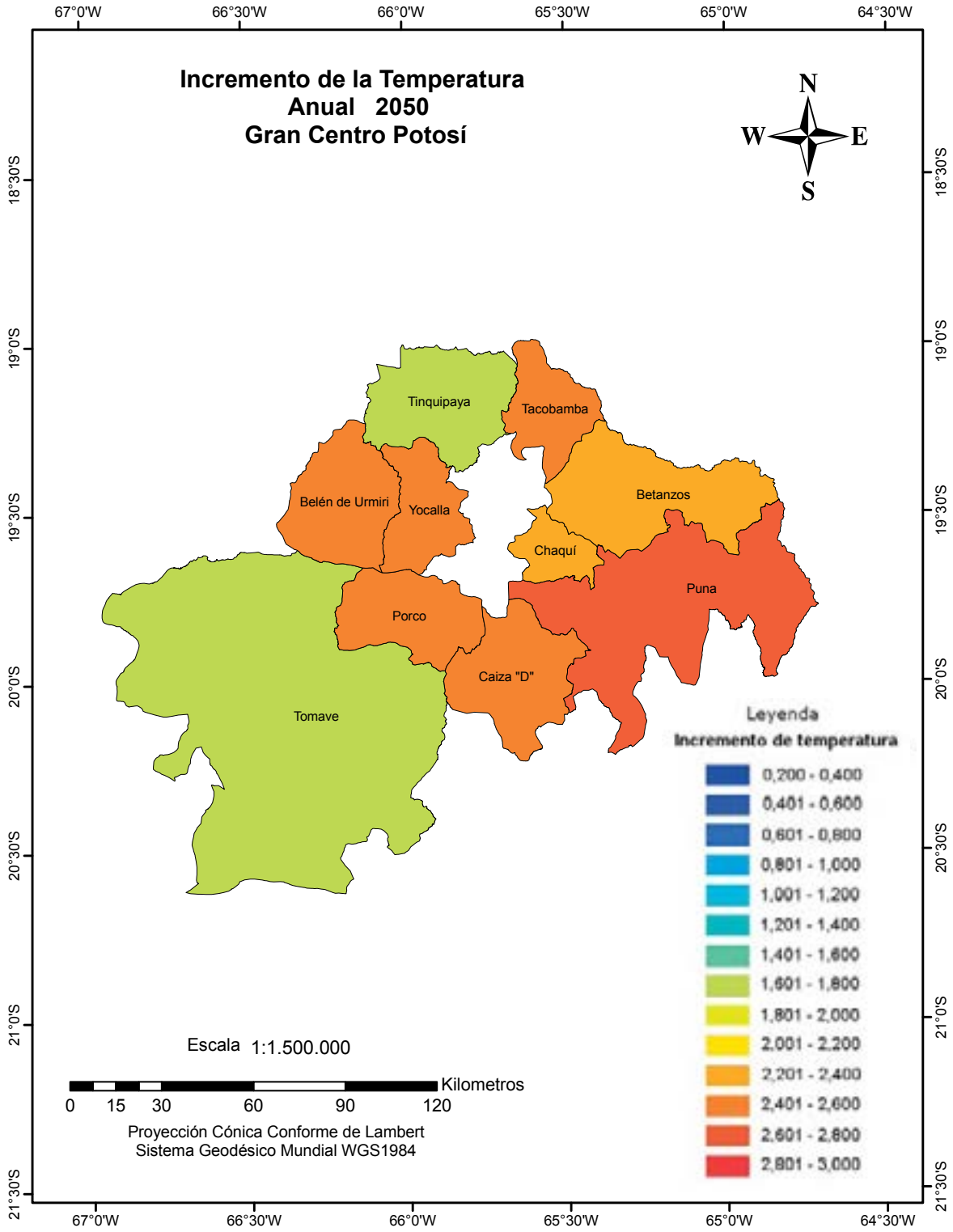
Mapa 5.49.


Incremento de la Temperatura
Anual 2020
Gran Centro Potosí
N
W
E
S
67°0'W
66°30'W
66°0'W
65°30'W
65°0'W
64°30'W
18°30'S
19°0'S
19°30'S
20°0'S
20°30'S
21°0'S
21°30'S
Tinquipaya
Tacobamba
Belén de Urmiri
Yocalla
Betanzos
Chaquí
Puna
Porco
Caiza "D"
Tomave
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:1.500.000
Kilometros
0 15 30 60 90 120
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

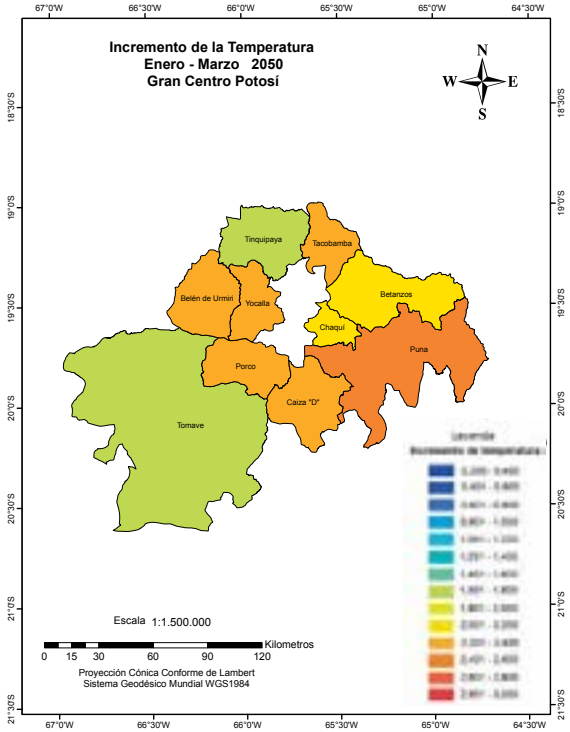
Mapa 5.50.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Gran Centro Potosí

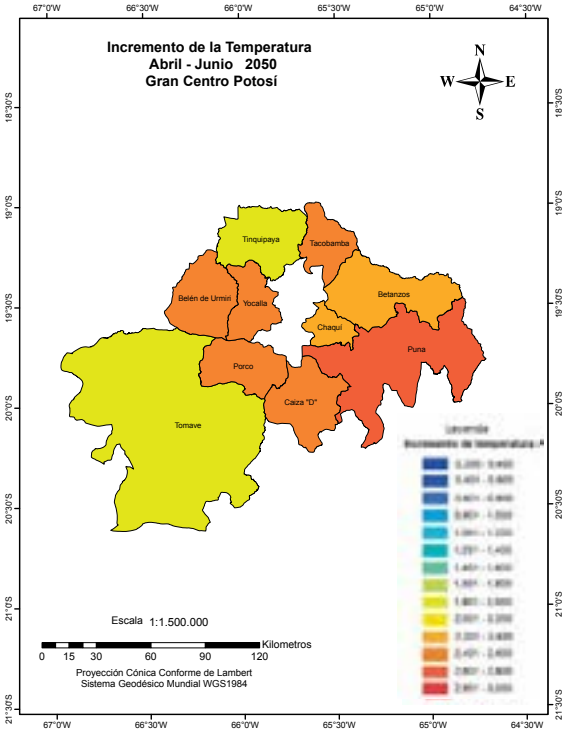


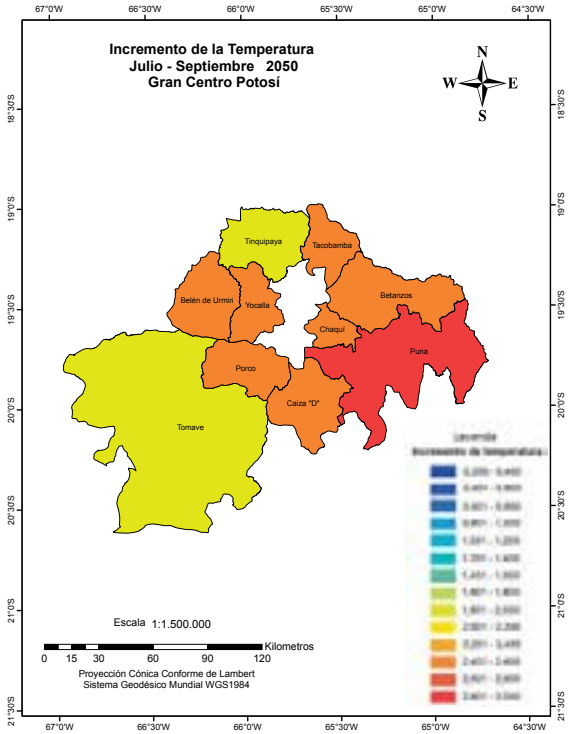
Mapa 5.51.

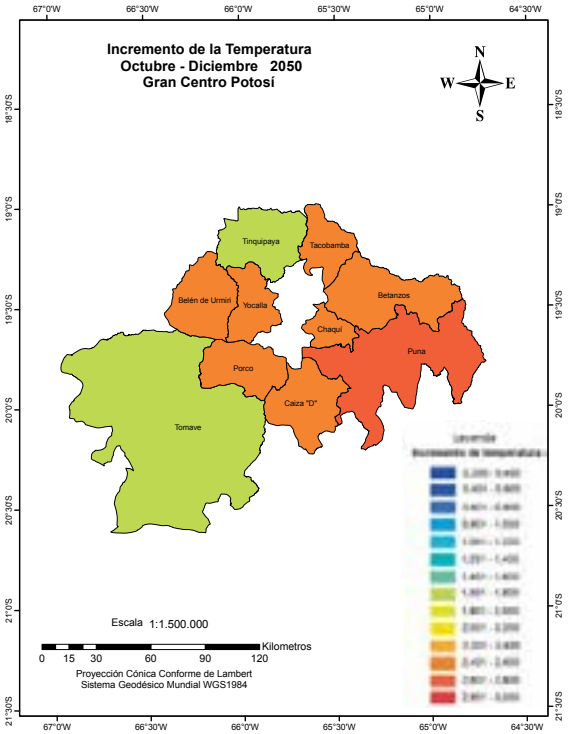

Incremento de la Temperatura
Anual 2050
Gran Centro Potosí
N
W
E
S
67°0'W
66°30'W
66°0'W
65°30'W
65°0'W
64°30'W
18°30'S
19°0'S
19°30'S
20°0'S
20°30'S
21°0'S
21°30'S
Tinquipaya
Tacobamba
Belén de Urmiri
Yocalla
Betanzos
Chaquí
Puna
Porco
Caiza "D"
Tomave
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:1.500.000
0 15 30 60 90 120
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.52.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Gran Centro Potosí









Cintis

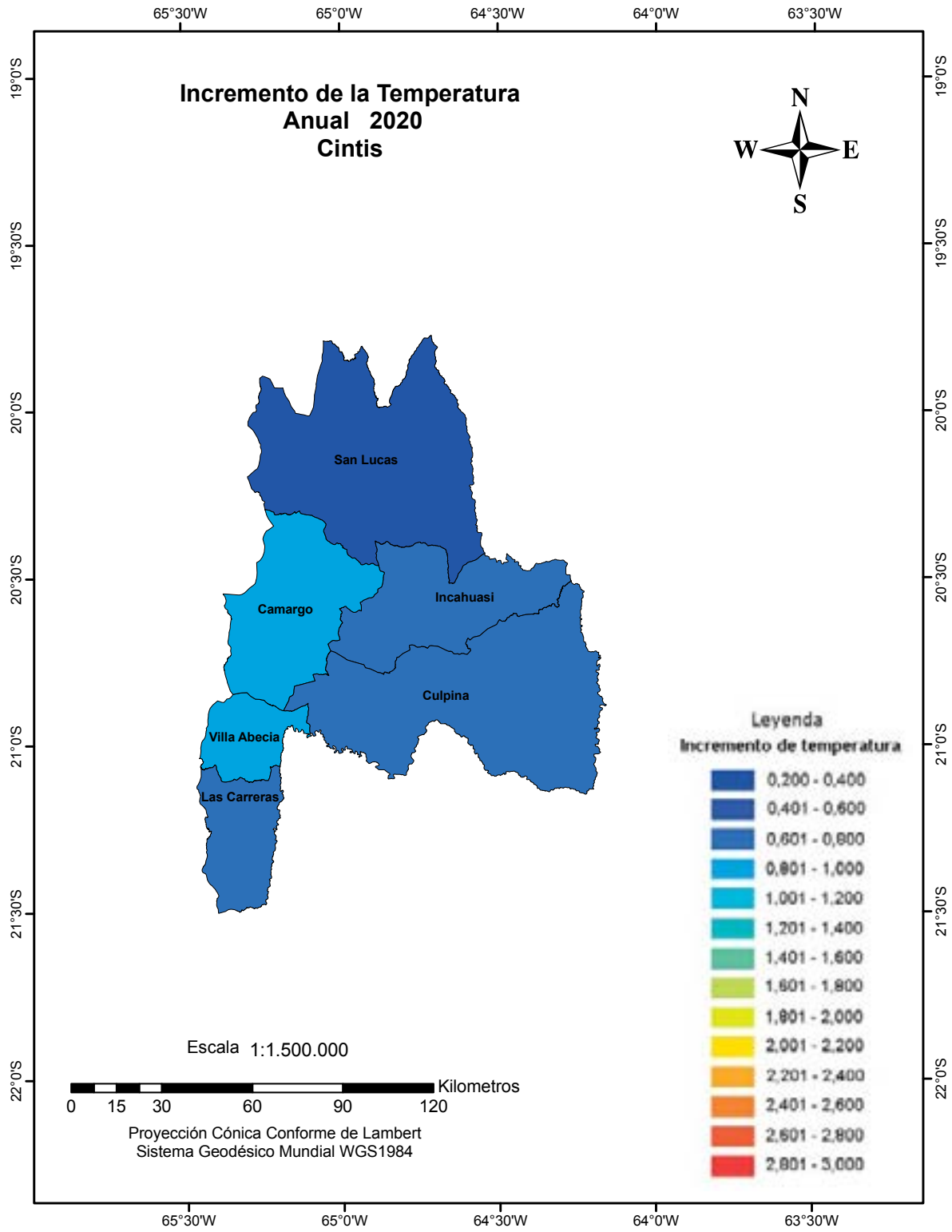
Cintis presenta una tendencia a la elevación térmica constante durante el año, tanto en este periodo hasta el 2020, como al 2050 (Mapas 53 a 56). Los niveles de incremento térmico son elevados en comparación con otras zonas y comparables con Gran Centro Potosí, mostrando así que los valles interandinos de altitud intermedia, son los que podrían enfrentar mayores impactos de calentamiento. Esto se debe a que las zonas se encuentran cercanas al Ecuador, por lo que reciben mucha insolación, pero al mismo tiempo son áridas por su localización cerrada y con menor vegetación, y por ello su calentamiento podría ser más intenso.

En el caso de San Lucas, la elevación térmica es notoriamente inferior, lo cual podría deberse a su altitud, que provoca que la transparencia mayor del aire no permita una elevada acumulación energética y el incremento sea menor y similar al altiplano. Es importante resaltar que estos resultados requieren de un análisis puntual más preciso, pues estudios previos han resaltado una relación casi directa entre altitud y elevación térmica a causa del calentamiento global, cosa que es relativamente distinta en los resultados obtenidos.

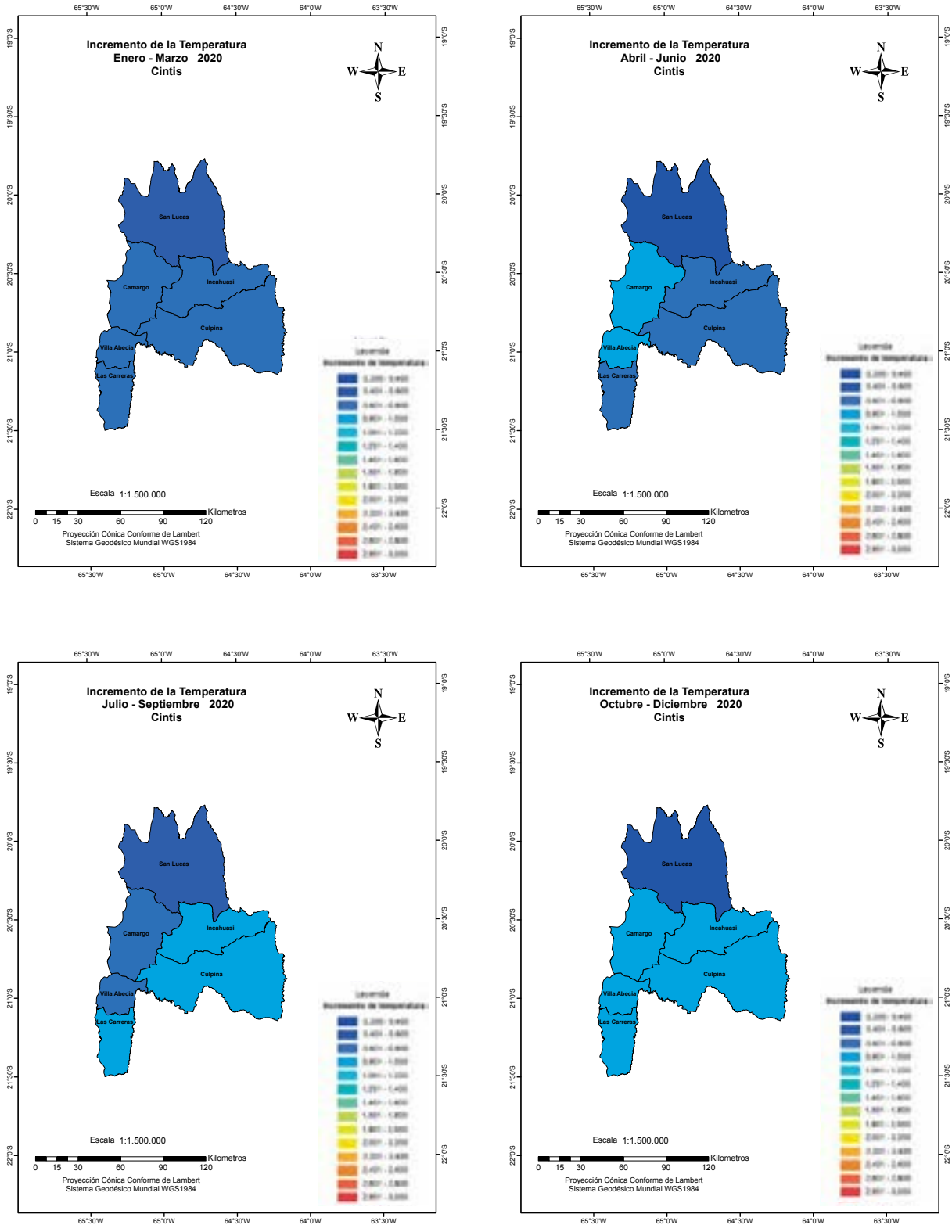
El proceso de calentamiento, en forma similar al resto del país, se intensifica entre el 2020 y 2050 e incrementará la evapotranspiración de la zona. Esta información combinada con la menor cantidad de lluvia que hay en la zona (Capítulo 2) y que probablemente se mantendría hacia el futuro cercano y hacia el 2050, provocará mayores impactos relativos en comparación con las otras zonas analizadas.

Los datos muestran mayor probabilidad de déficits de agua, pues en este caso la precipitación tiende a la reducción constante, especialmente al inicio de la época de lluvias. Siendo que la precipitación ya es reducida, se espera mayor pérdida de humedad por los ascensos térmicos.

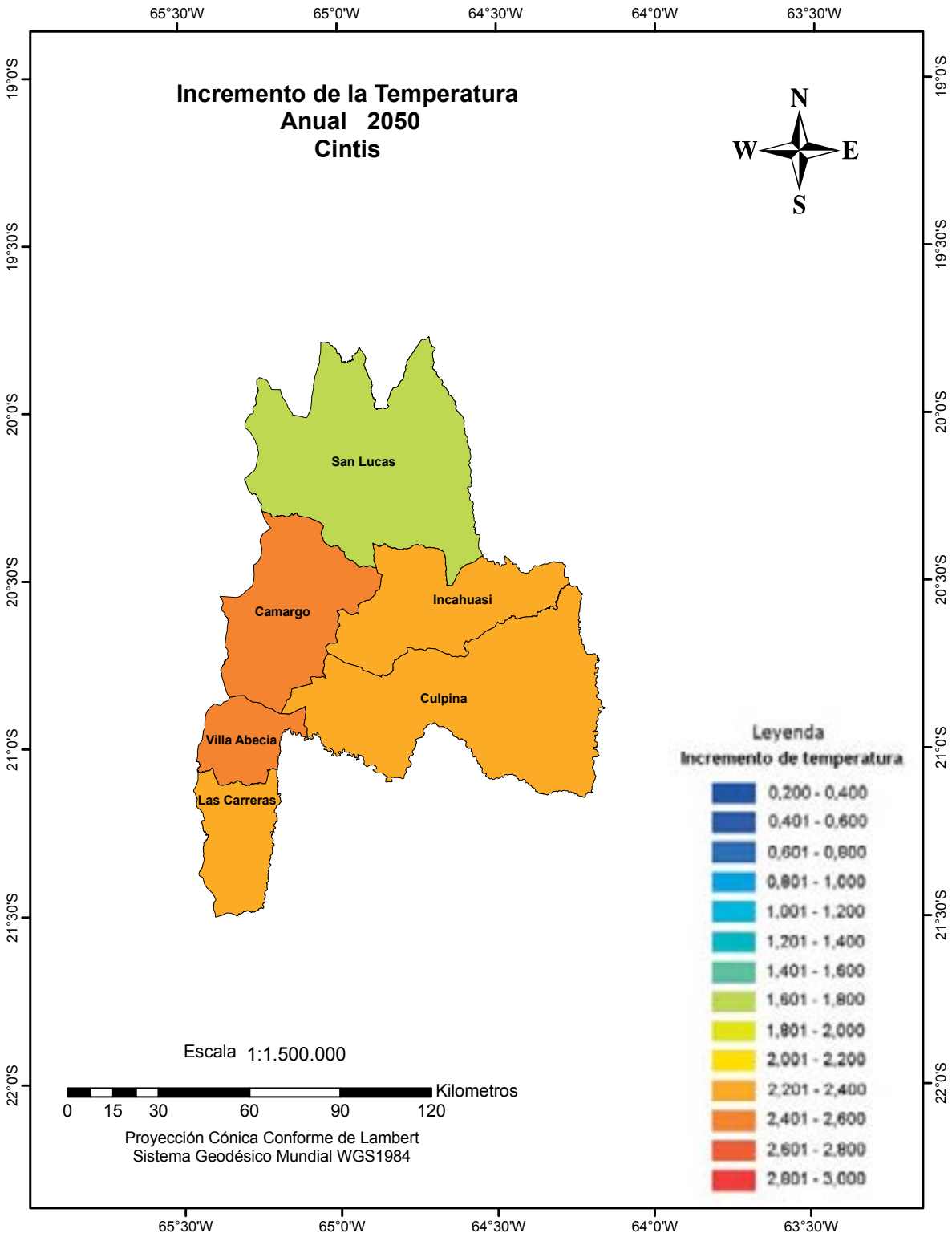
Mapa 5.53.


Incremento de la Temperatura
Anual 2020
Cintis
N
W
E
S
65°30'W
65°0'W
64°30'W
64°0'W
63°30'W
19°0'S
19°30'S
20°0'S
20°30'S
21°0'S
21°30'S
22°0'S
San Lucas
Camargo
Incahuasi
Culpina
Villa Abecia
Las Carreras
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:1.500.000
Kilometros
0 15 30 60 90 120
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

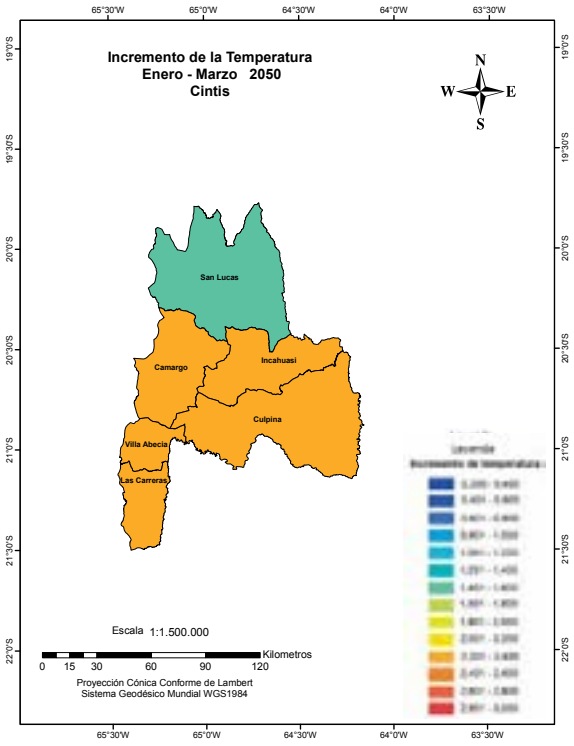
Mapa 5.54.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Cintis

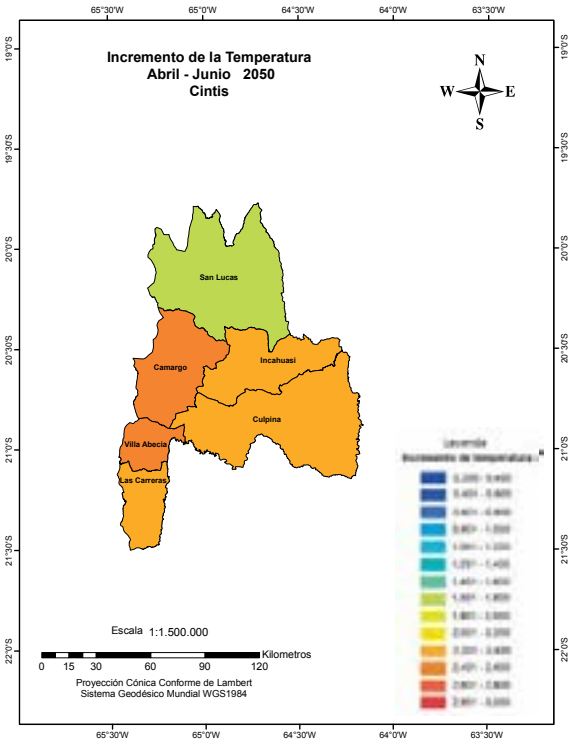


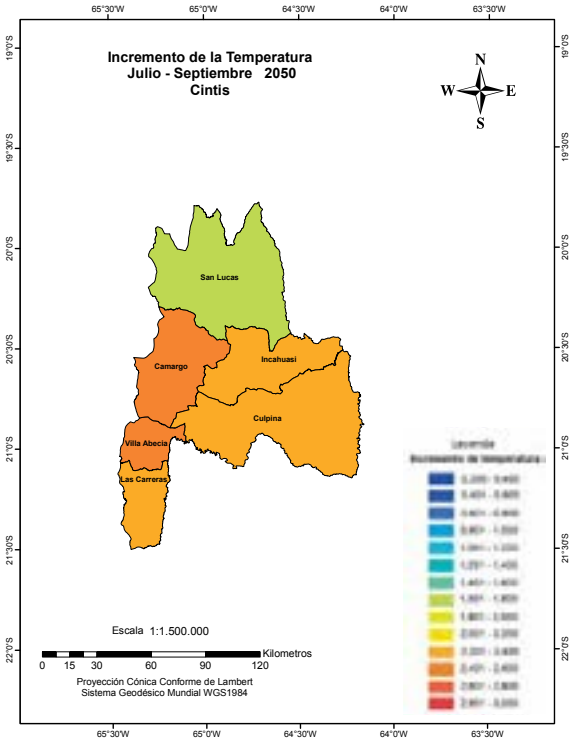
Mapa 5.55.

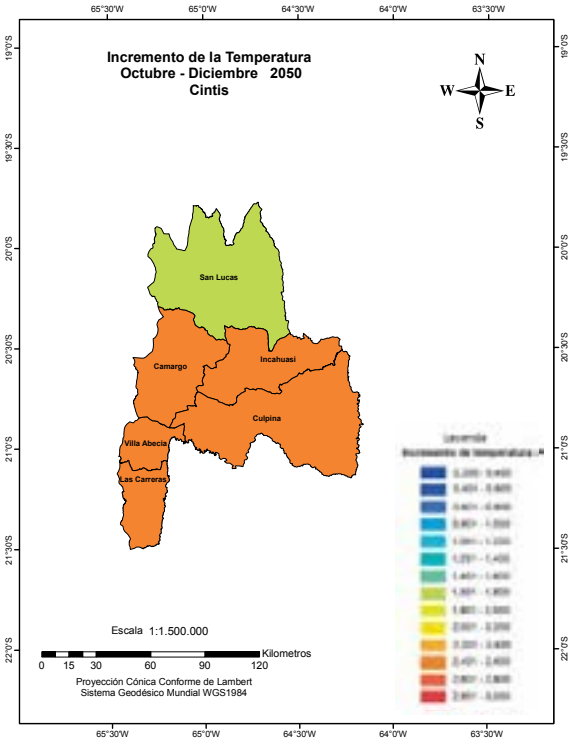

Incremento de la Temperatura
Anual 2050
Cintis
N
W
E
S
65°30'W
65°0'W
64°30'W
64°0'W
63°30'W
19°0'S
19°30'S
20°0'S
20°30'S
21°0'S
21°30'S
22°0'S
San Lucas
Camargo
Incahuasi
Culpina
Villa Abecia
Las Carreras
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:1.500.000
Kilometros
0 15 30 60 90 120
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.56.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Cintis







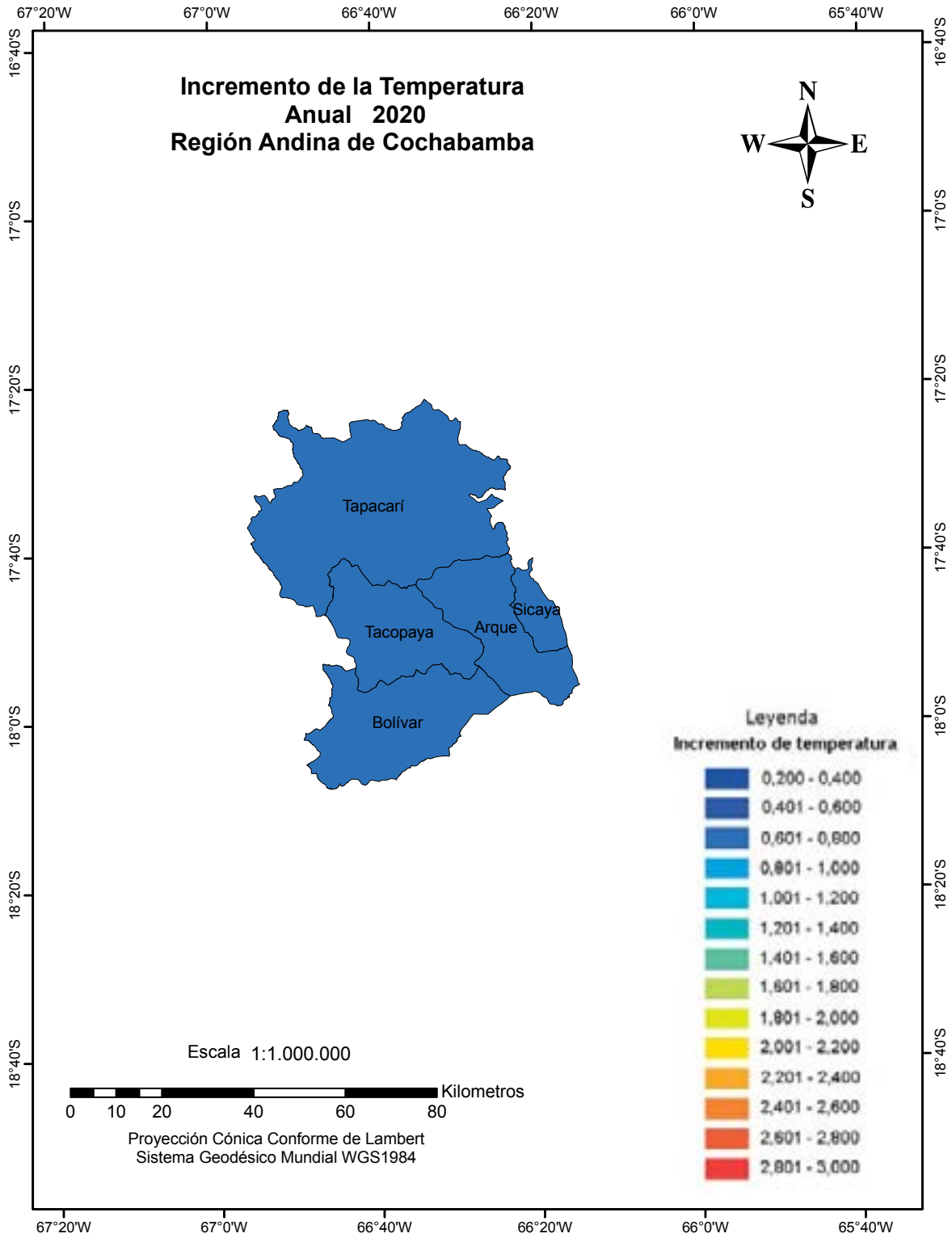


Región Andina de Cochabamba

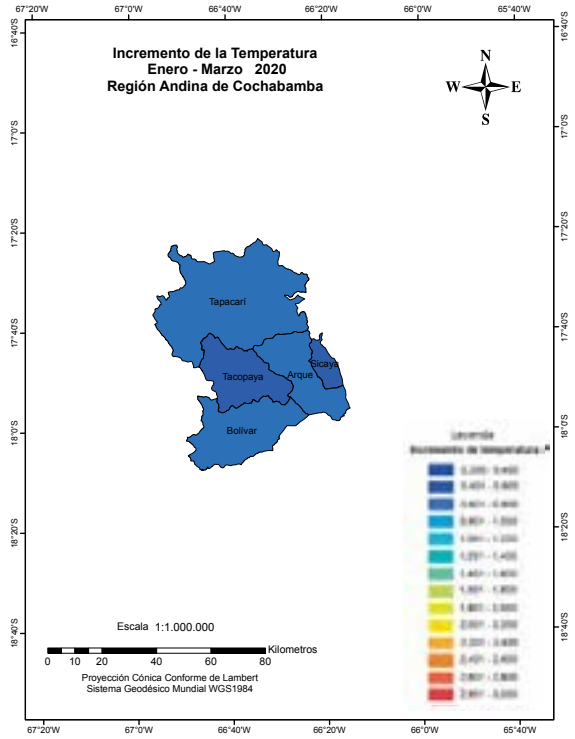
Los Mapas 57 al 60, muestran que en esta zona la elevación térmica sería significativamente mayor en el último trimestre del año, comparado con el primer trimestre. Lo anterior podría deberse a la mayor concentración de la precipitación desde enero a marzo, por lo que se recibe fuerte insolación entre octubre y diciembre, y entre abril y junio. Entre julio y septiembre la mayor distancia al sol compensa la falta de nubosidad, por lo que el calentamiento es menos intenso.

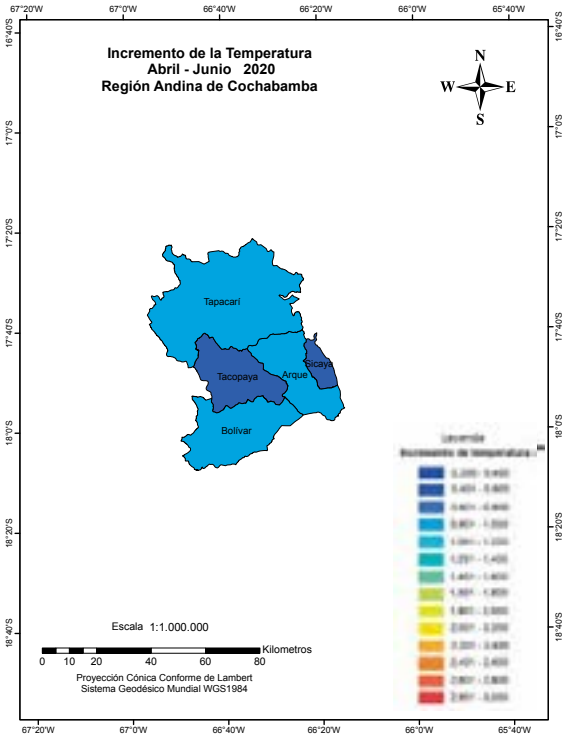
De esta manera, el inicio de la época de lluvias será el periodo de mayor estrés hídrico, lo cual se mantendrá bajo los mismos parámetros pero con mayor intensidad hacia el 2050.

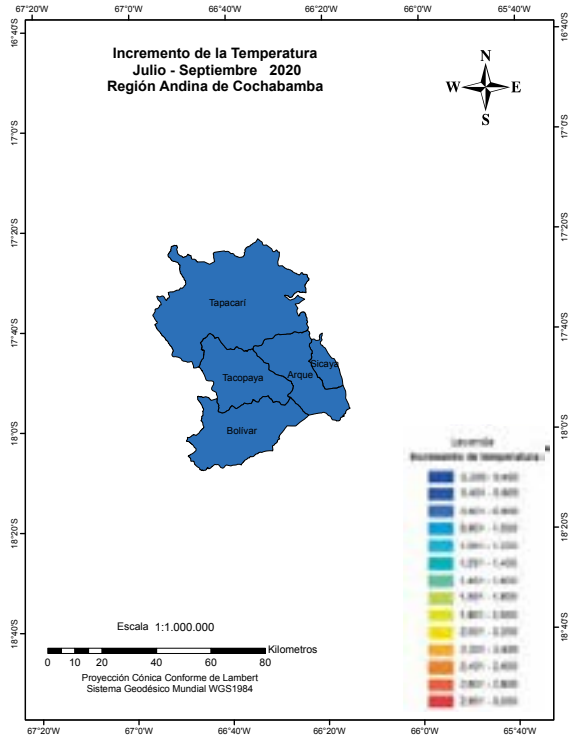
Mapa 5.57.

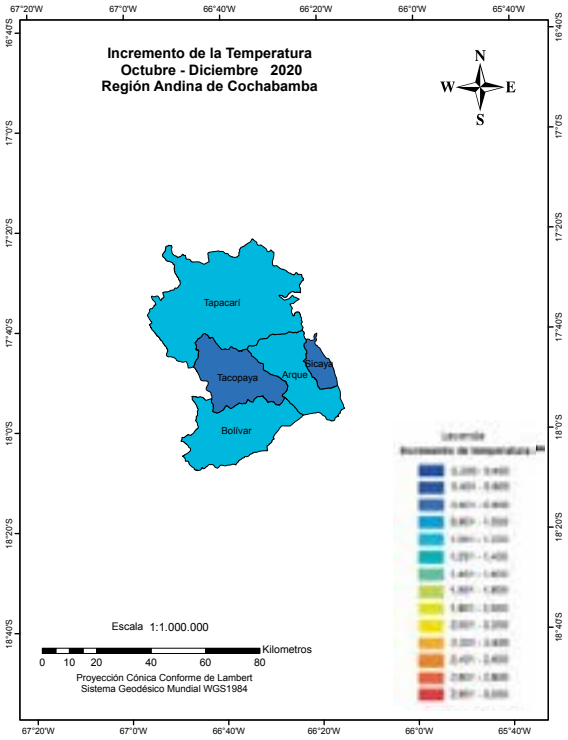

Incremento de la Temperatura
Anual 2020
Región Andina de Cochabamba
N
W
E
S
67°20'W
67°0'W
66°40'W
66°20'W
66°0'W
65°40'W
16°40'S
17°0'S
17°20'S
17°40'S
18°0'S
18°20'S
18°40'S
Tapacarí
Tacopaya
Arque
Sicaya
Bolívar
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:1.000.000
0 10 20 40 60 80
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.58.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Región Andina de Cochabamba

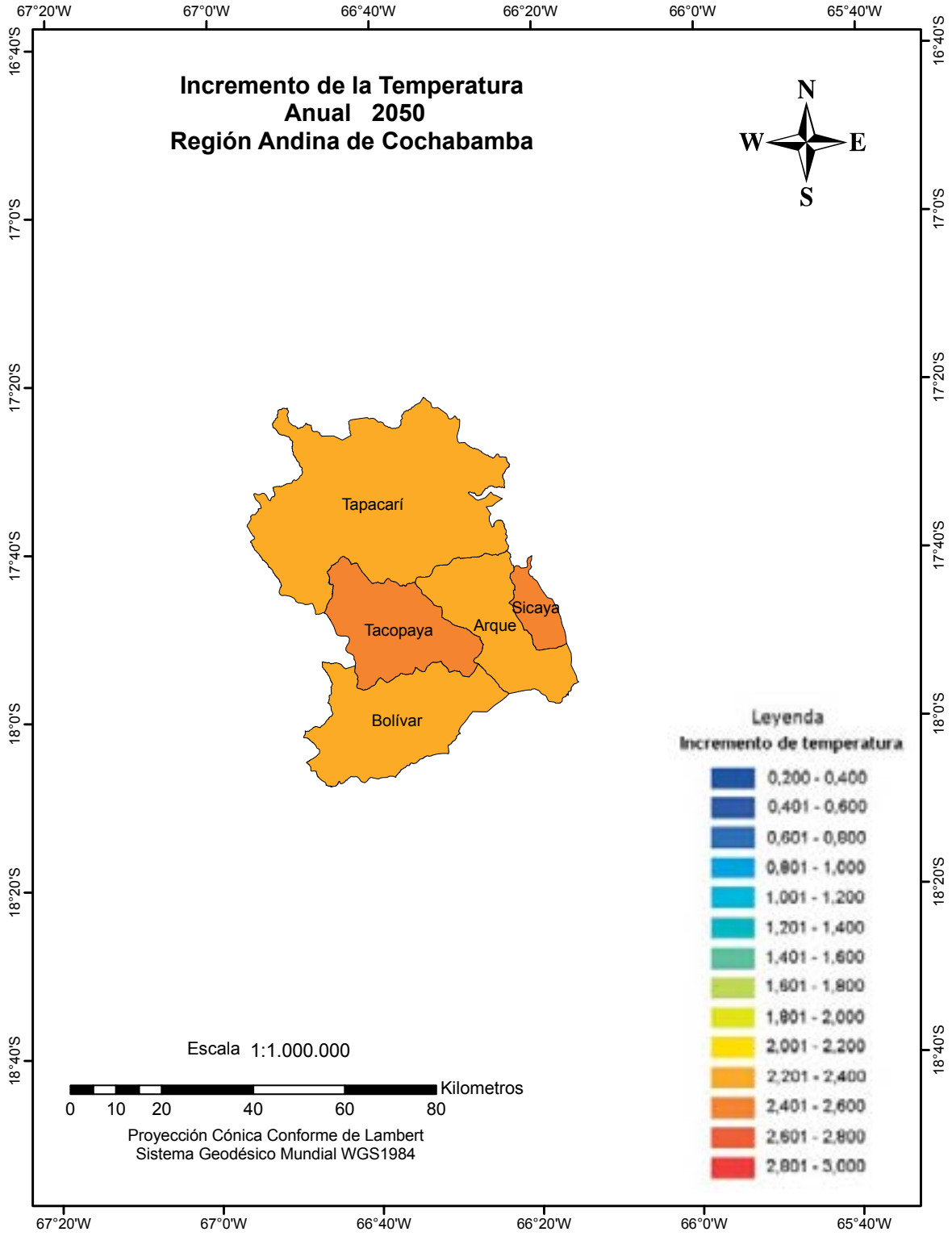




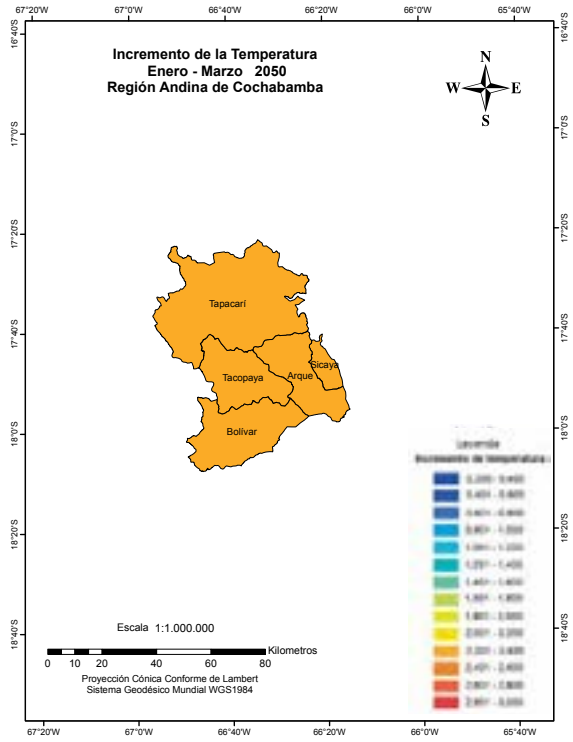


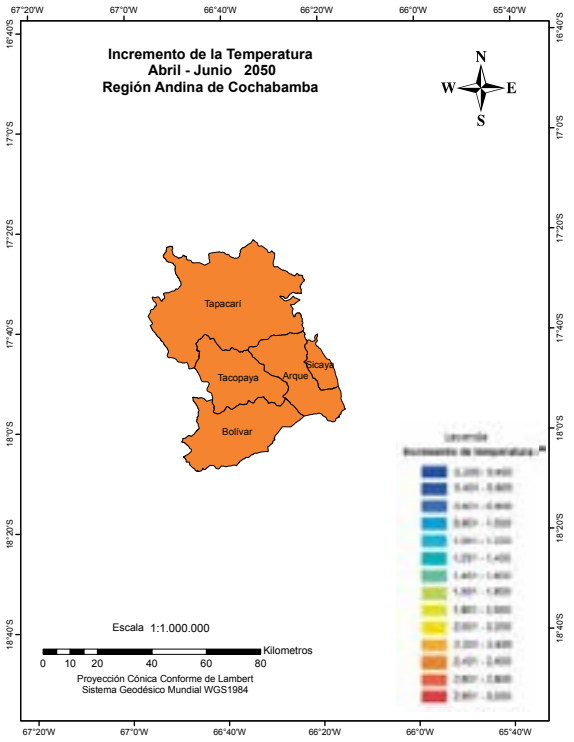


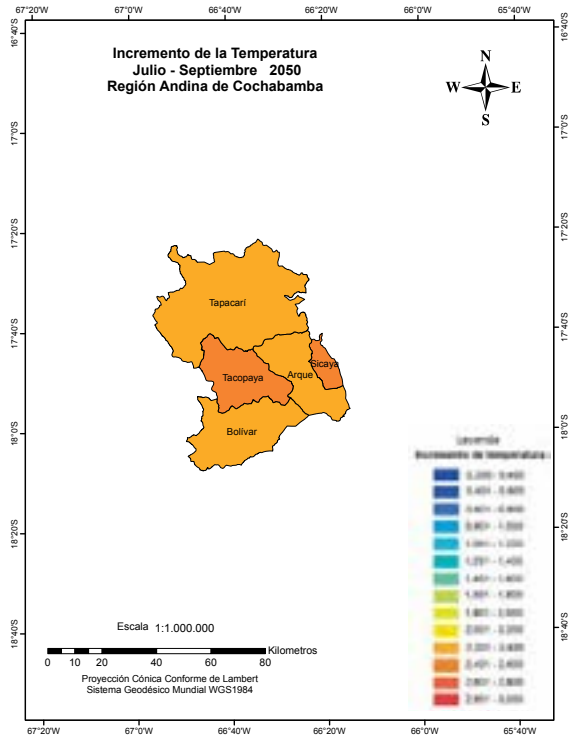
Mapa 5.59.

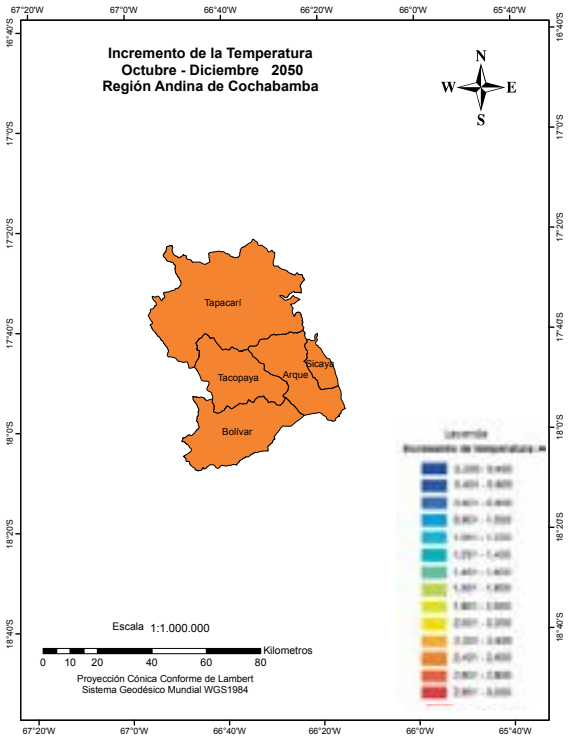

Incremento de la Temperatura
Anual 2050
Región Andina de Cochabamba
N
W
E
S
67°20'W
67°0'W
66°40'W
66°20'W
66°0'W
65°40'W
16°40'S
17°0'S
17°20'S
17°40'S
18°0'S
18°20'S
18°40'S
Tapacarí
Tacopaya
Arque
Sicaya
Bolívar
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:1.000.000
0 10 20 40 60 80
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.60.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Región Andina de Cochabamba





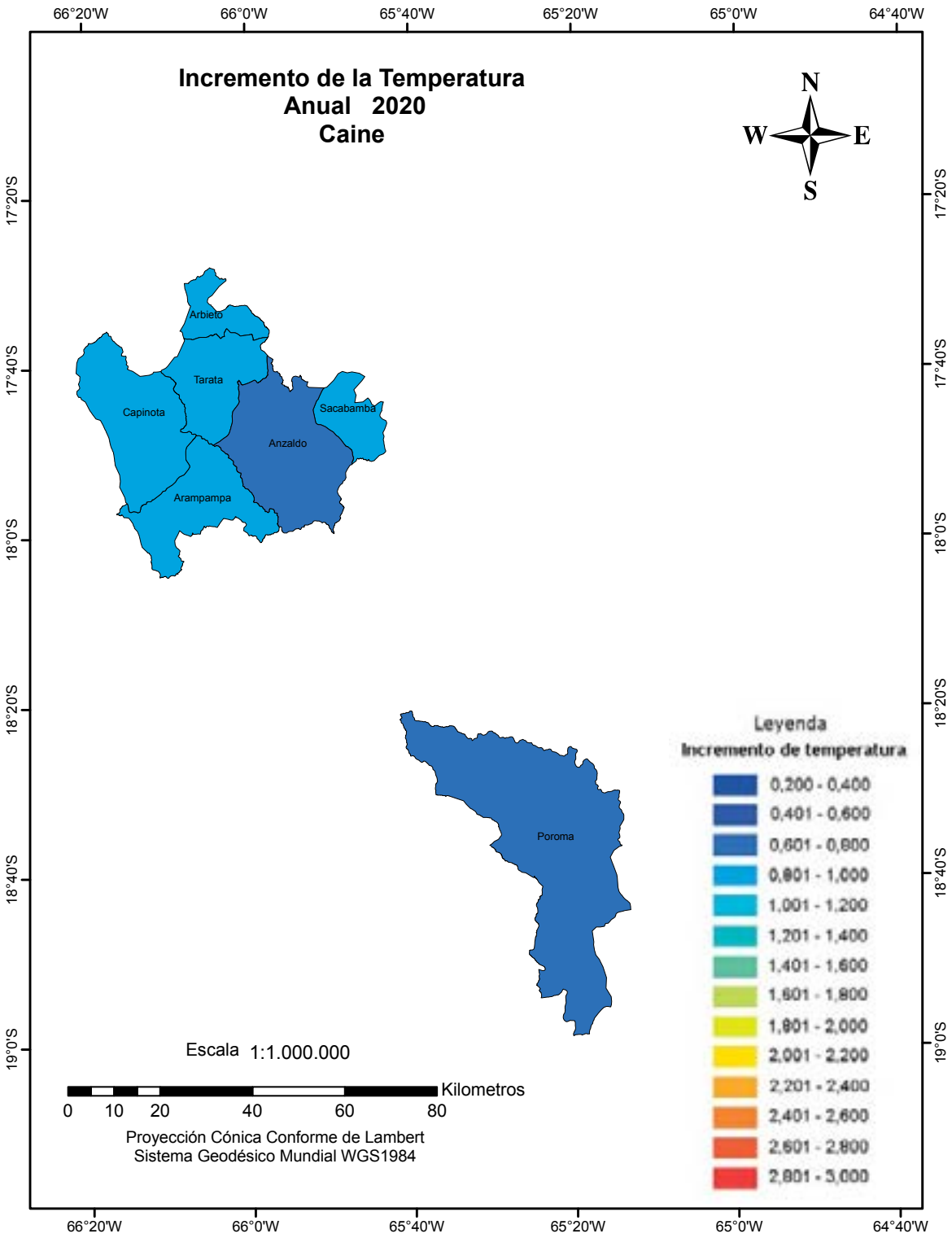




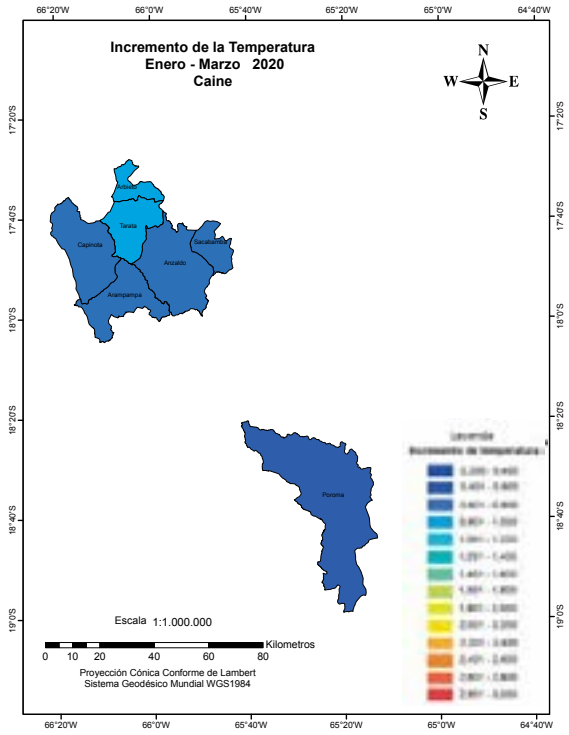
Caine

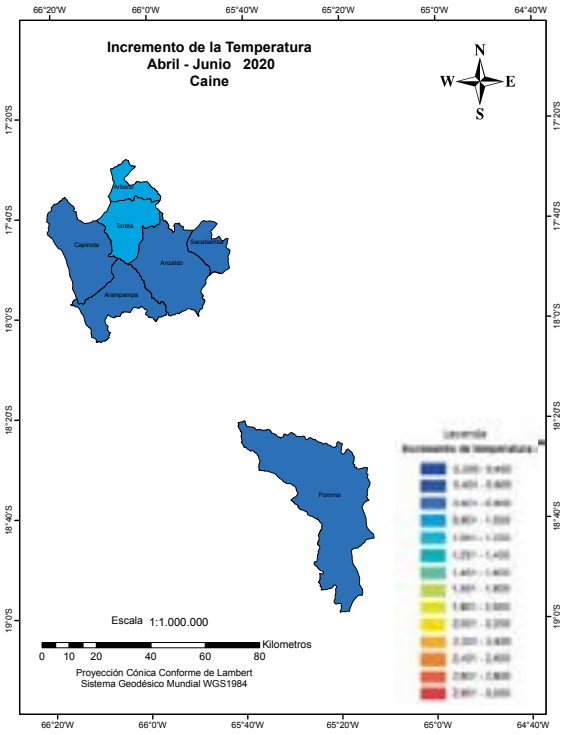
Como en el caso de otros valles interandinos de altitud media, los niveles de calentamiento en el Caine son similares durante el año aunque con tendencia a incrementarse a finales del año (Mapas 61 al 64). Esta zona comparte las características de los valles interandinos cerrados y áridos que presentan mayor tendencia al calentamiento, por lo que se prevén elevaciones térmicas hacia 2020 pero mayores aún hacia 2050. Aunque su precipitación no muestra cambios significativos a futuro, las elevaciones térmicas provocarán mayor demanda atmosférica de agua y, por lo tanto, mayor déficit hídrico.

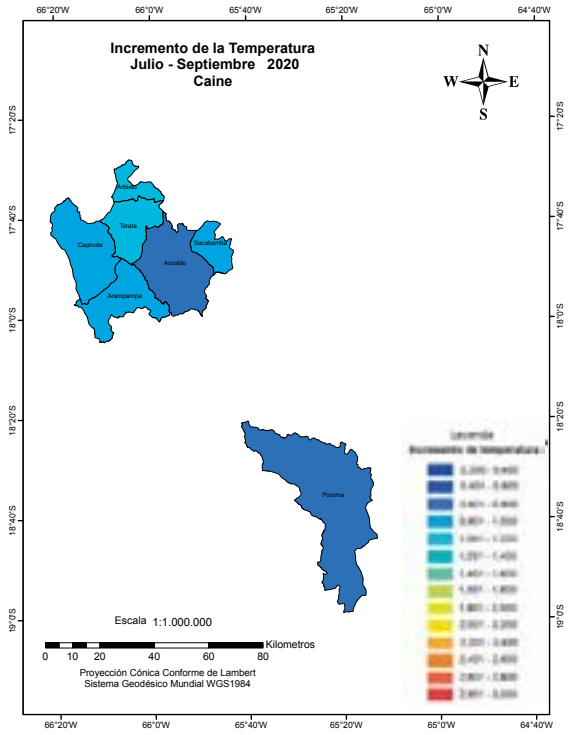
Mapa 5.61.

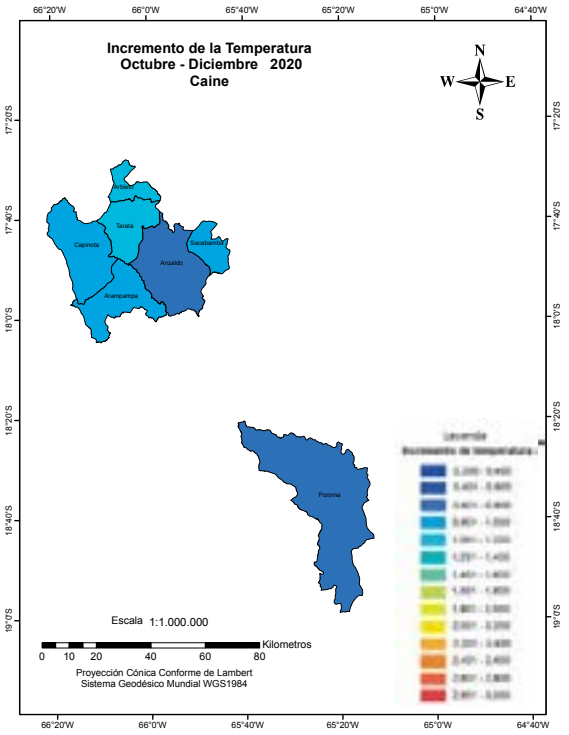

Incremento de la Temperatura
Anual 2020
Caine
N
W
E
S
66°20'W
66°0'W
65°40'W
65°20'W
65°0'W
64°40'W
17°20'S
17°40'S
18°0'S
18°20'S
18°40'S
19°0'S
Arbieto
Tarata
Capinota
Sacabamba
Anzaldo
Arampampa
Poroma
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:1.000.000
Kilometros
0 10 20 40 60 80
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.62.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Caine

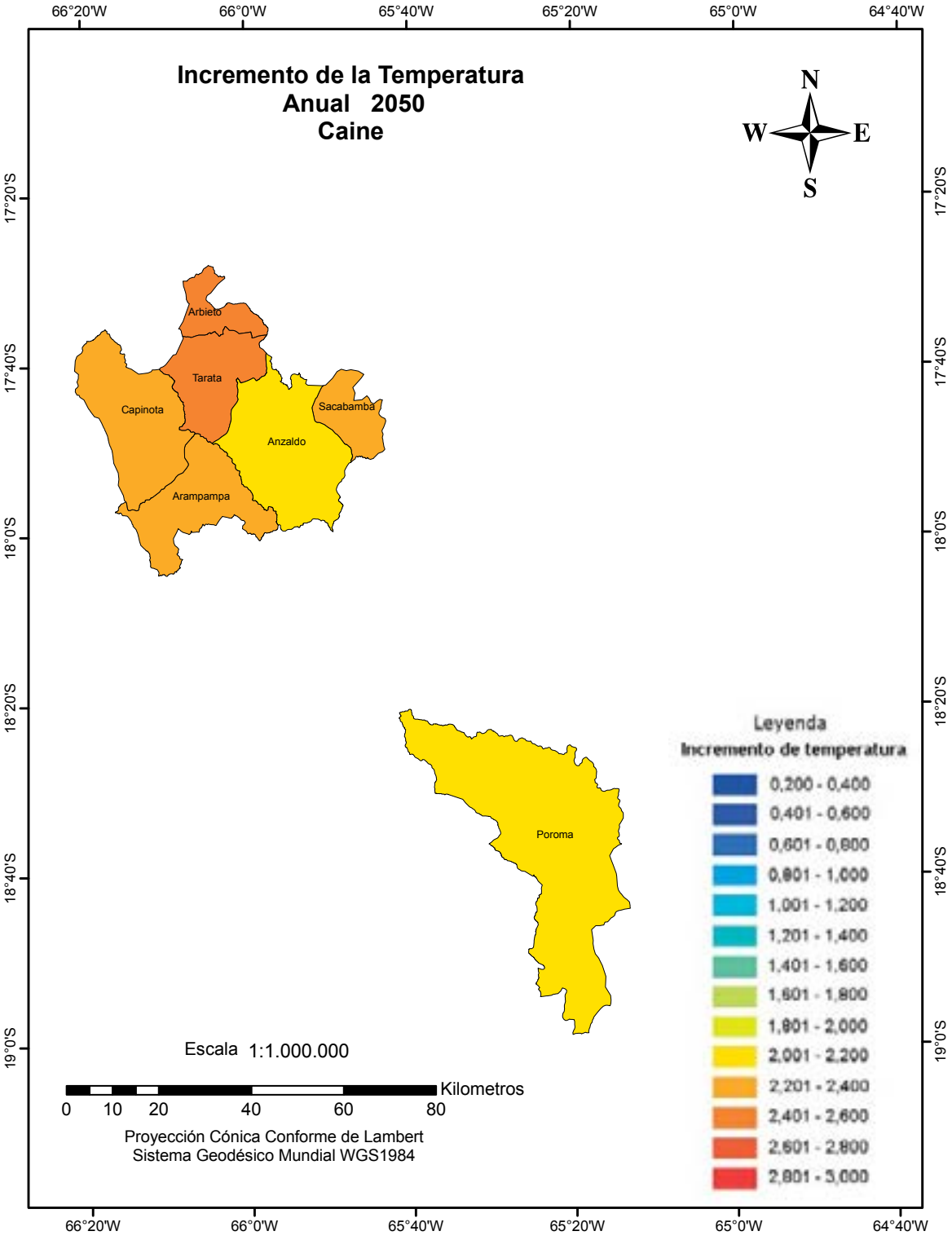




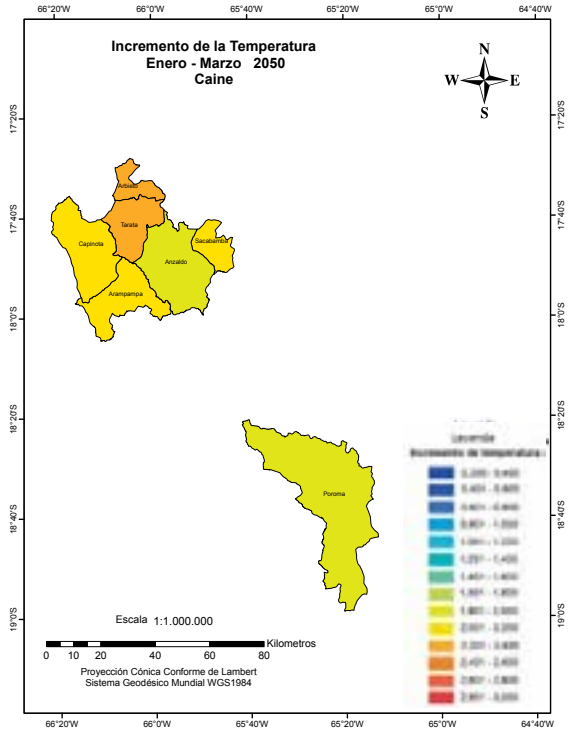


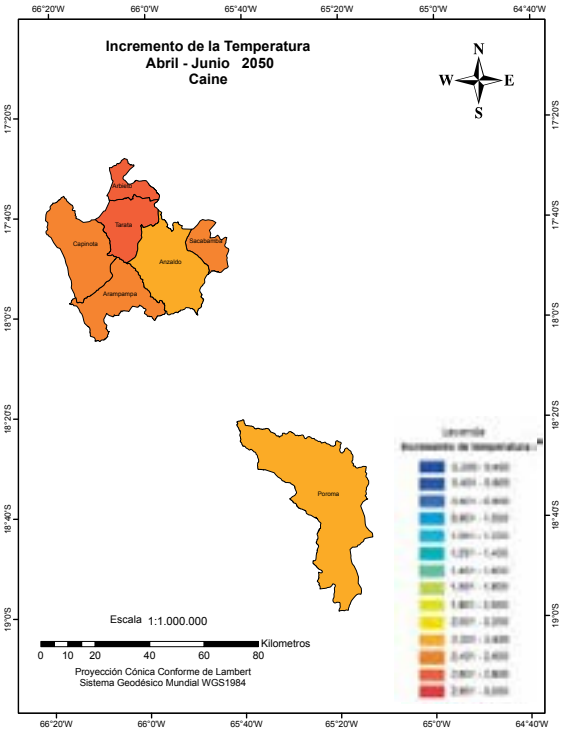


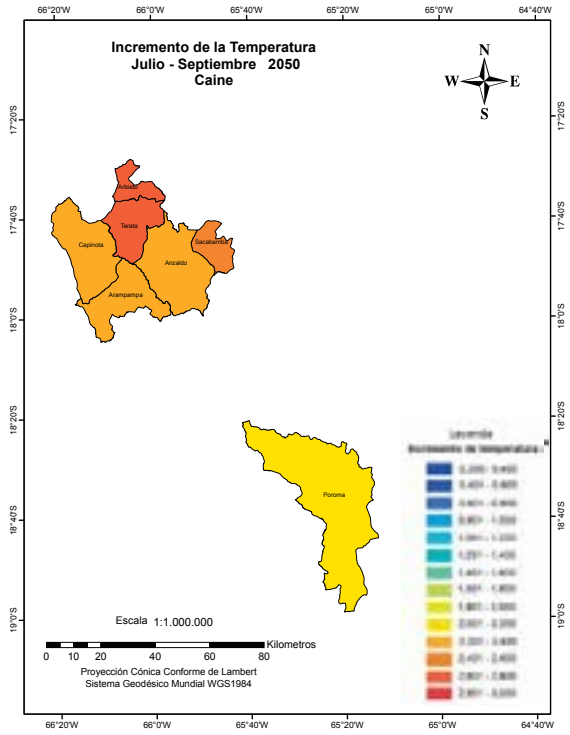
Mapa 5.63.

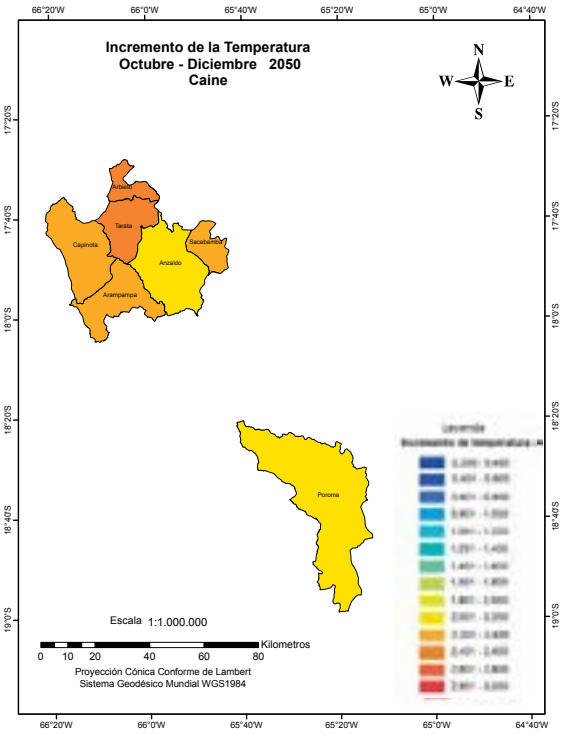

Incremento de la Temperatura
Anual 2050
Caine
N
W
E
S
66°20'W
66°0'W
65°40'W
65°20'W
65°0'W
64°40'W
17°20'S
17°40'S
18°0'S
18°20'S
18°40'S
19°0'S
Arbieto
Tarata
Capinota
Sacabamba
Anzaldo
Arampampa
Poroma
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:1.000.000
0 10 20 40 60 80
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.64.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Caine







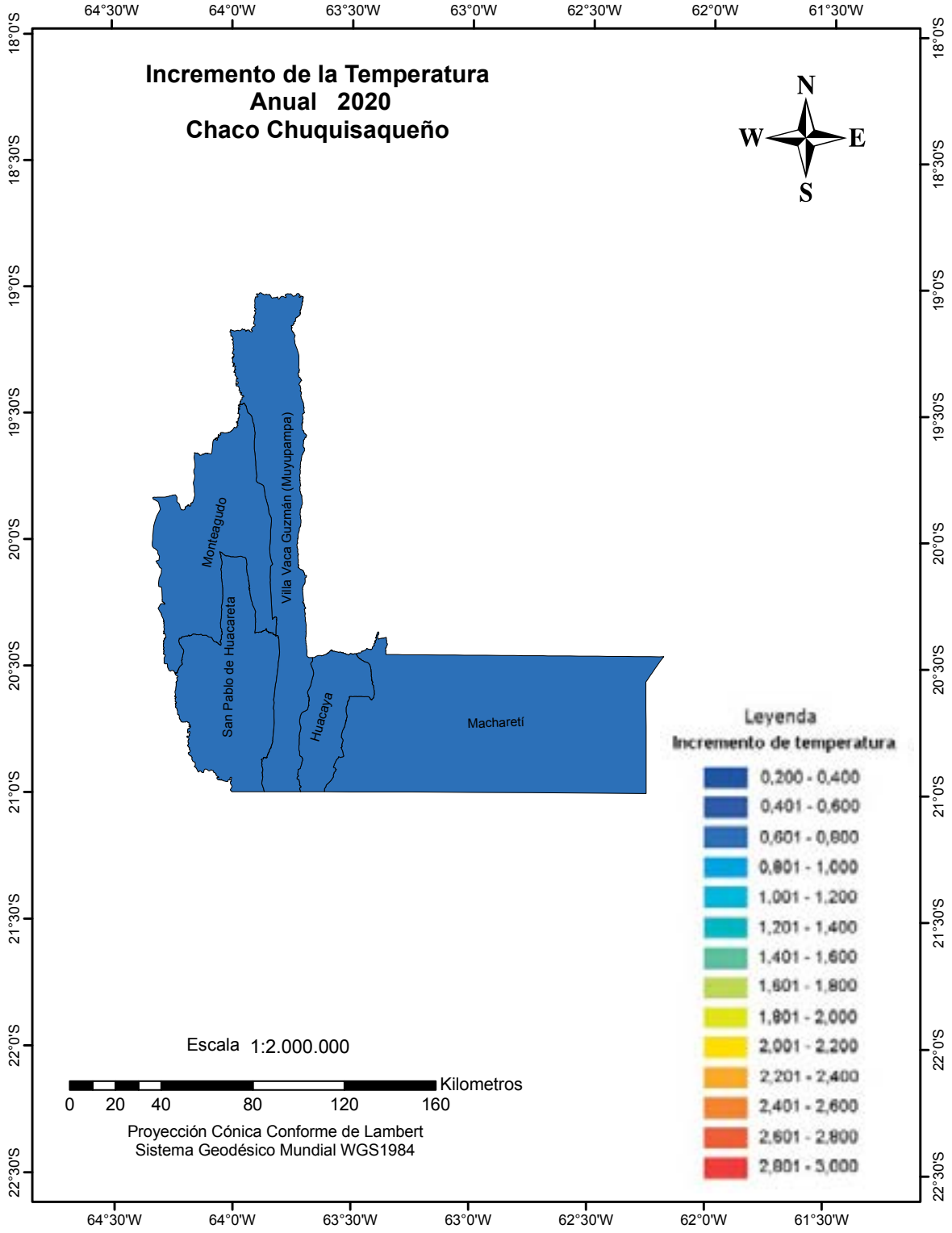


Chaco Chuquisaqueño

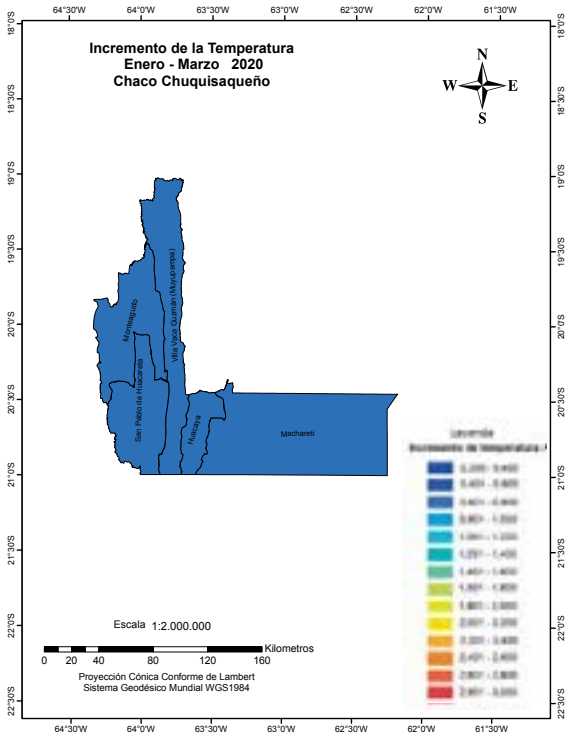
El comportamiento térmico del Chaco Chuquisaqueño es similar al de Norte Paceño Tropical, con elevaciones térmicas más moduladas que en los valles interandinos y el altiplano (Mapas 65 a 68), probablemente se deba a la mayor precipitación que incrementa la cobertura de nubes, por lo tanto, mayor amortiguación del calentamiento. La mayor cantidad de vegetación también modula el uso energético, reduciendo la energía usada para calentar el aire de la zona.

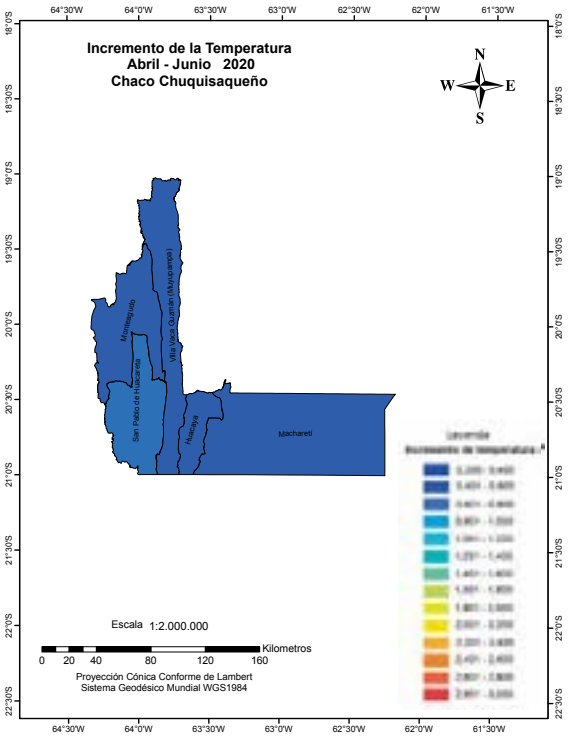
Las elevaciones térmicas se prevén mayores en verano que en invierno siendo más clara esta diferencia en el futuro cercano, mientras que al 2050, este efecto se dispersa y las elevaciones son similares durante el año. Aunque la precipitación sería mayor a futuro, no compensaría el incremento térmico esperado aunque el impacto negativo sería relativamente menor que en otras zonas del país.

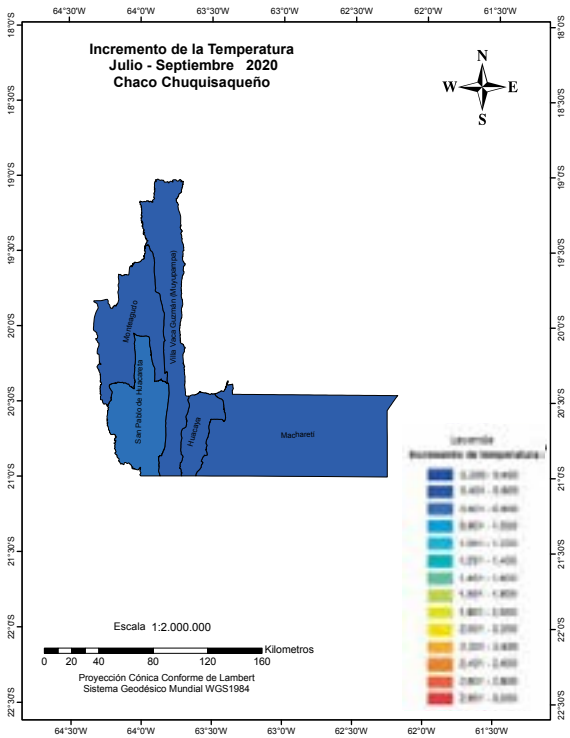
Mapa 5.65.

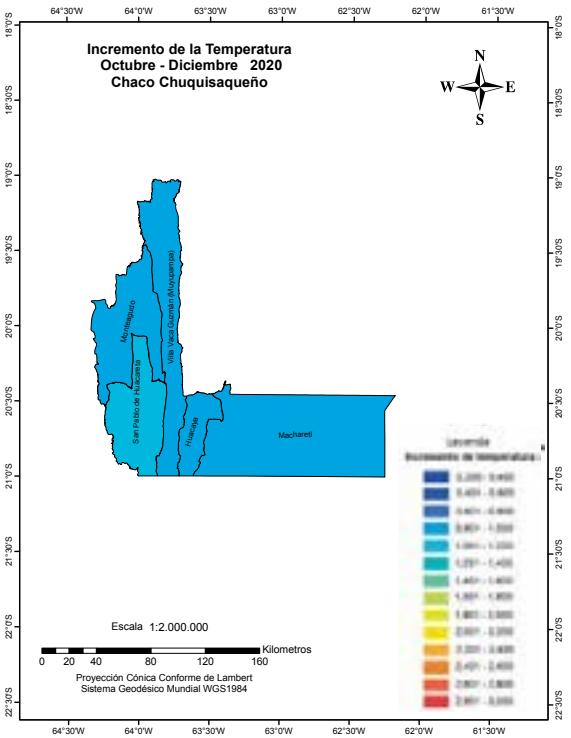

Incremento de la Temperatura
Anual 2020
Chaco Chuquisaqueño
N
W
E
S
64°30'W
64°0'W
63°30'W
63°0'W
62°30'W
62°0'W
61°30'W
18°0'S
18°30'S
19°0'S
19°30'S
20°0'S
20°30'S
21°0'S
21°30'S
22°0'S
22°30'S
Monteagudo
Villa Vaca Guzmán (Muyupampa)
San Pablo de Huacareta
Huacaya
Macharetí
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:2.000.000
0 20 40 80 120 160
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.66.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Chaco Chuquisaqueño

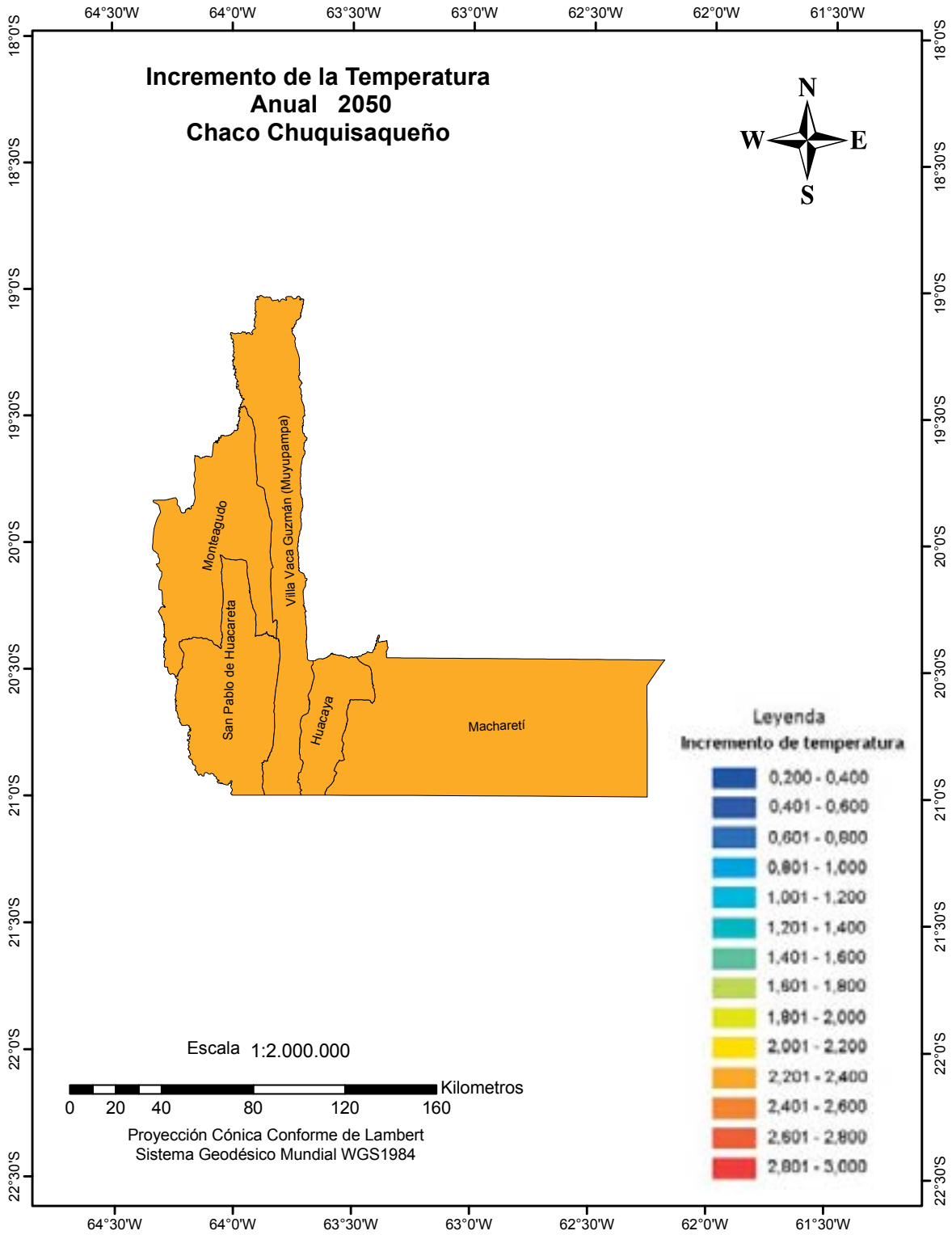




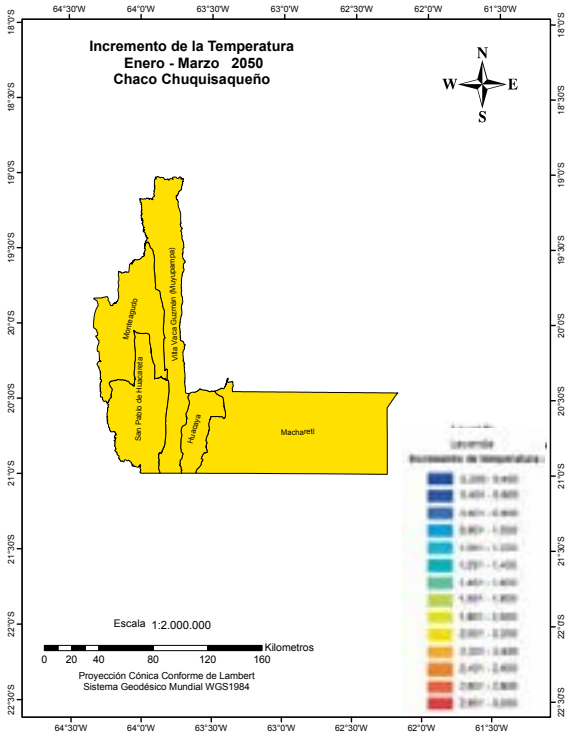


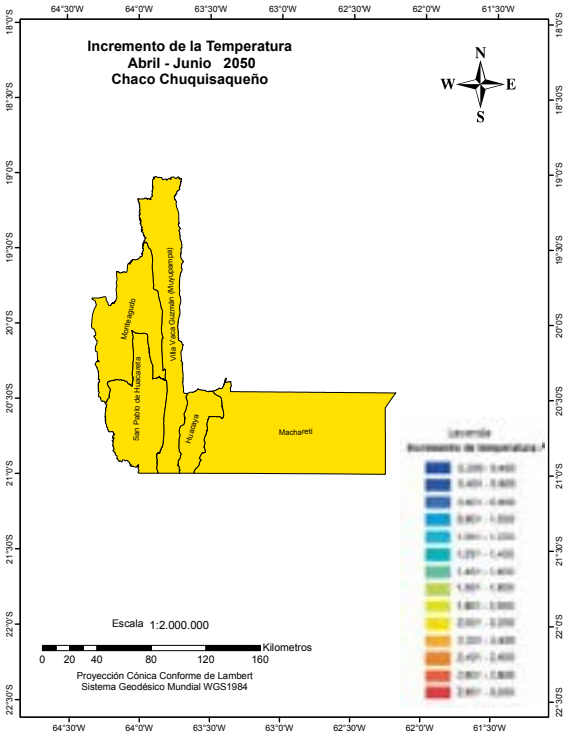


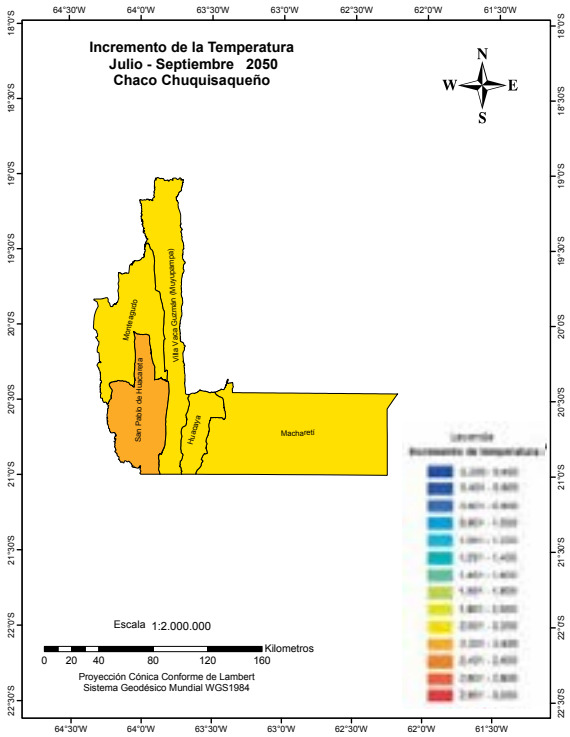
Mapa 5.67.

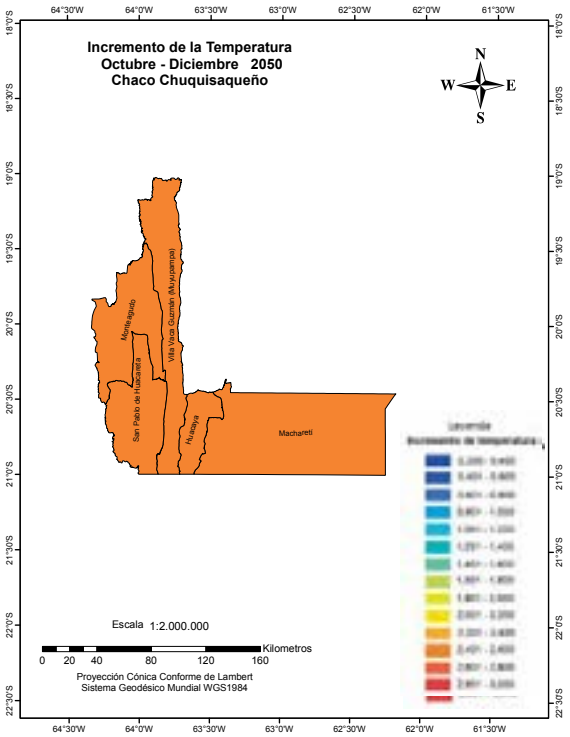

Incremento de la Temperatura
Anual 2050
Chaco Chuquisaqueño
N
W
E
S
64°30'W
64°0'W
63°30'W
63°0'W
62°30'W
62°0'W
61°30'W
18°0'S
18°30'S
19°0'S
19°30'S
20°0'S
20°30'S
21°0'S
21°30'S
22°0'S
22°30'S
Monteagudo
Villa Vaca Guzmán (Muyupampa)
San Pablo de Huacareta
Huacaya
Macharetí
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:2.000.000
Kilometros
0 20 40 80 120 160
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

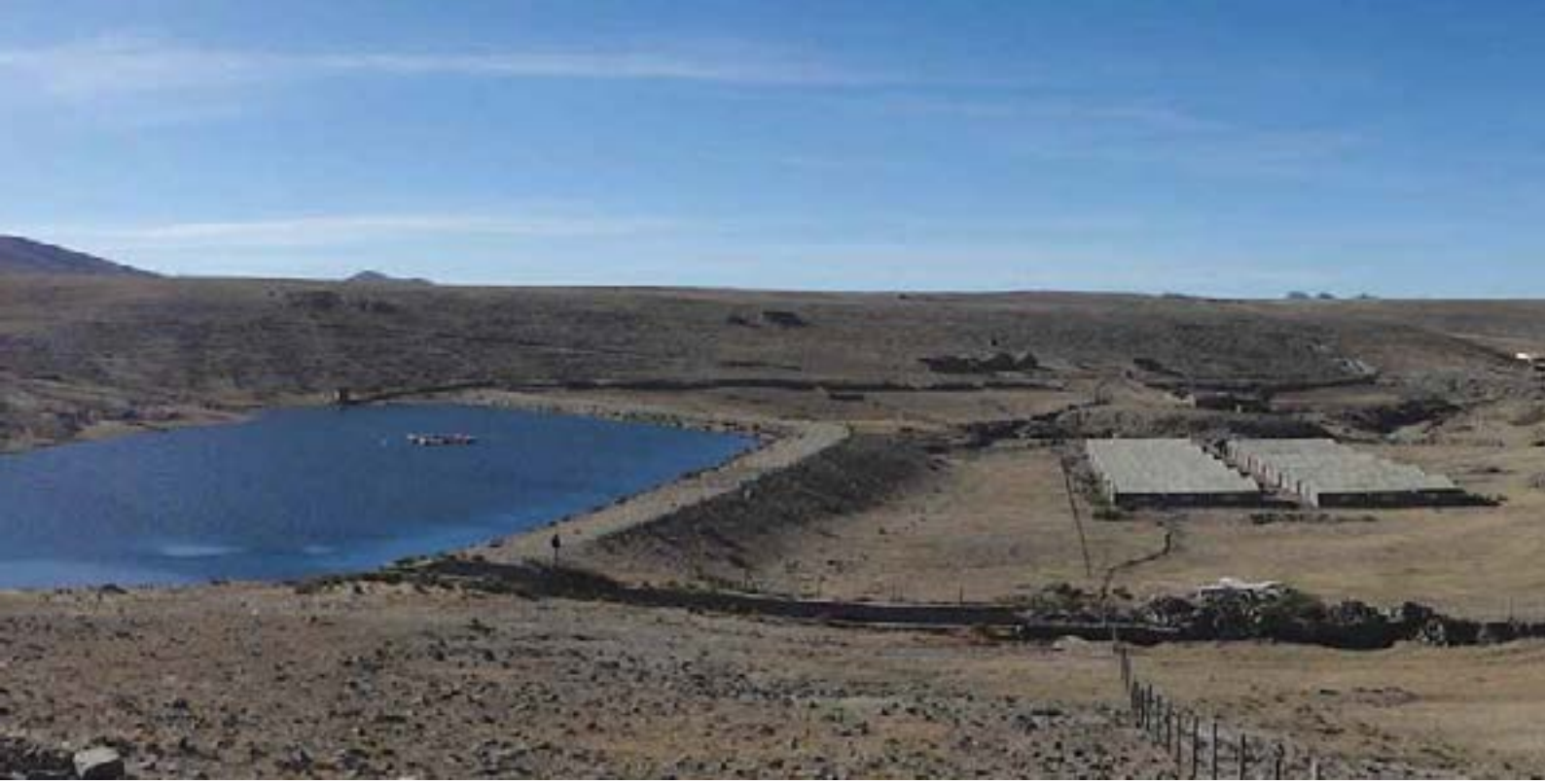
Mapa 5.68.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Chaco Chuquisaqueño









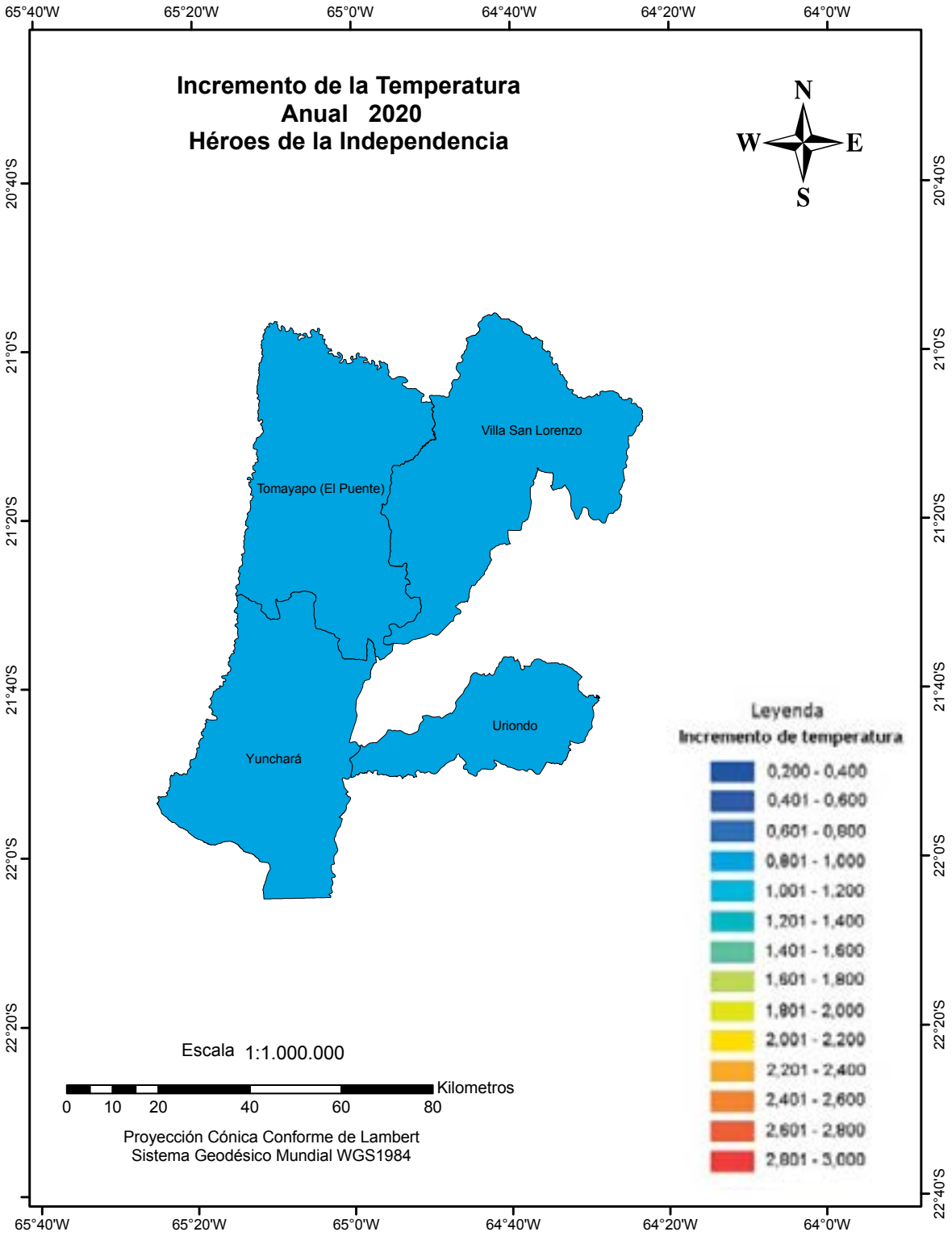


Héroes de la Independencia
(valles de Tarija)

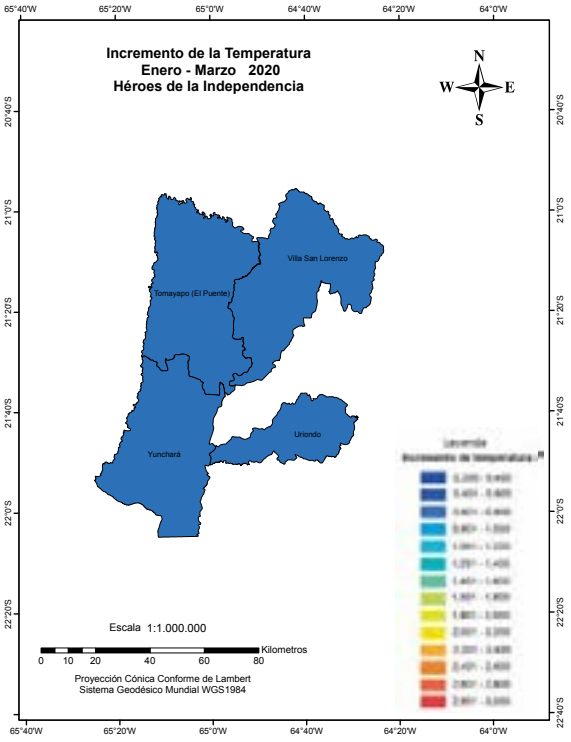
El comportamiento térmico de los valles en la Mancomunidad Héroes de la Independencia es similar a los esperados para los otros valles interandinos de altitud intermedia reportados en este estudio (Mapas 69 a 72). La elevación térmica probable para el futuro cercano es mayor que en zonas de mayor o de menor altitud.

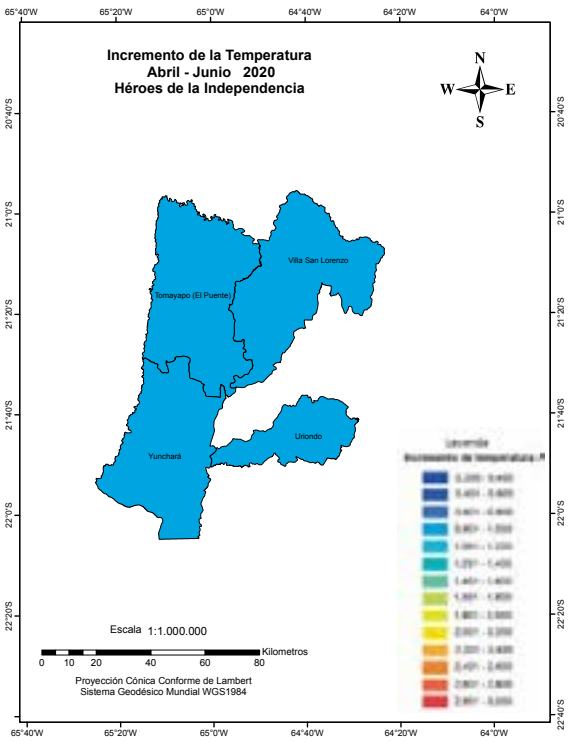
Aunque la precipitación en esta zona no muestra tendencia a cambios significativos a futuro, el incremento térmico es considerable, por lo que podrá esperarse fuertes déficits hídricos que afectará la agricultura.

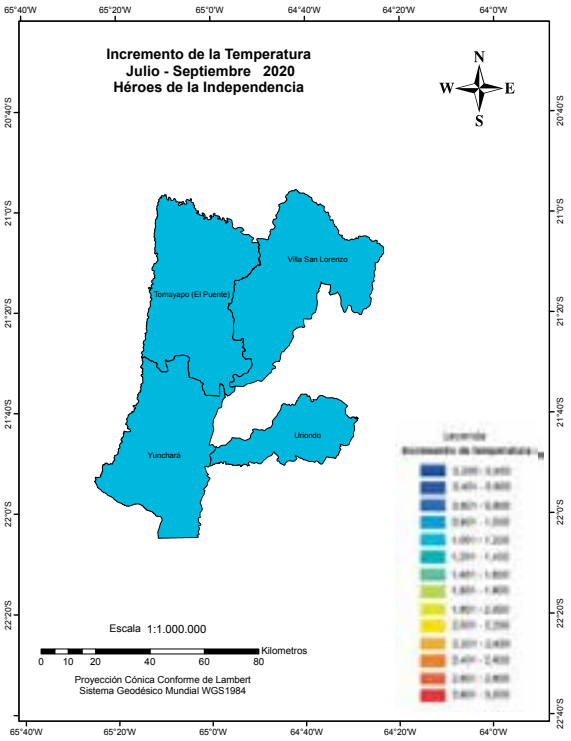
Mapa 5.69.

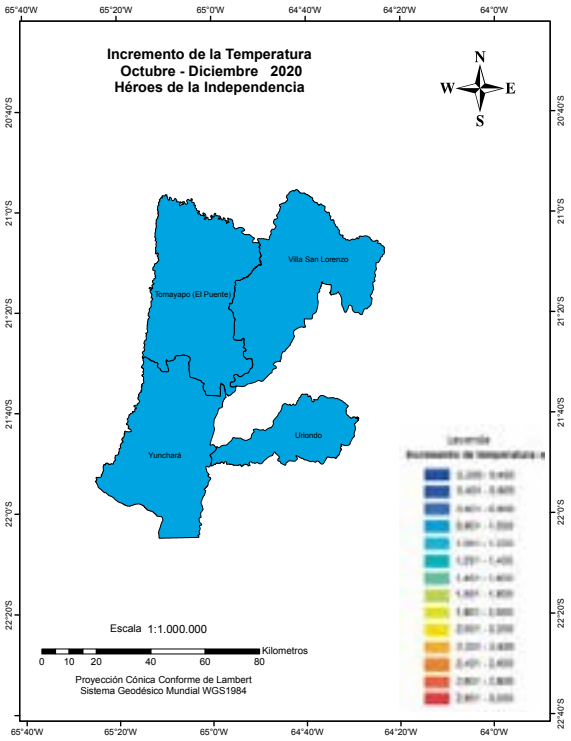

Incremento de la Temperatura
Anual 2020
Héroes de la Independencia
N
W
E
S
65°40'W
65°20'W
65°0'W
64°40'W
64°20'W
64°0'W
20°40'S
21°0'S
21°20'S
21°40'S
22°0'S
22°20'S
22°40'S
Villa San Lorenzo
Tomayapo (El Puente)
Uriondo
Yunchará
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:1.000.000
0 10 20 40 60 80
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.70.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2020. Héroes de la Independencia

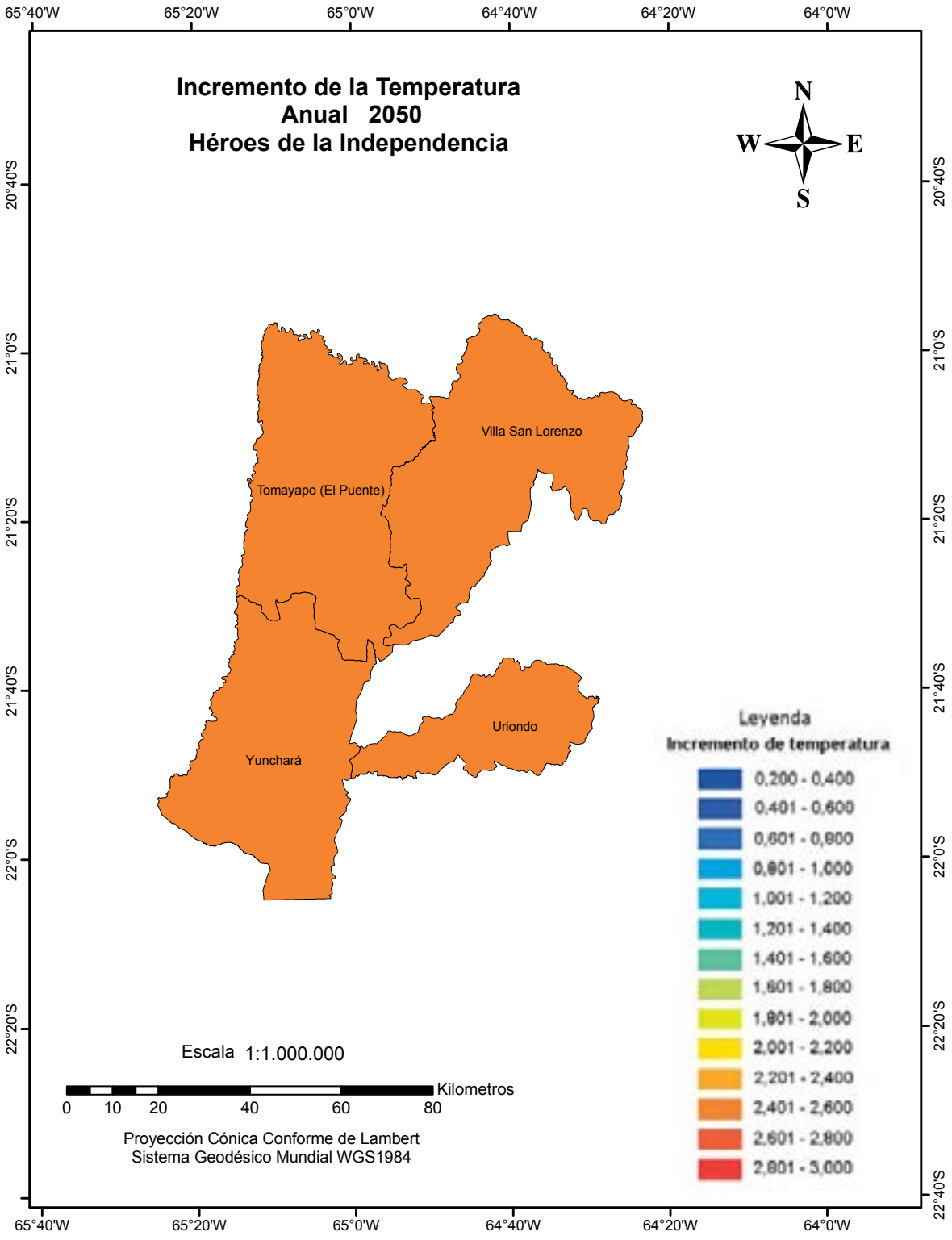




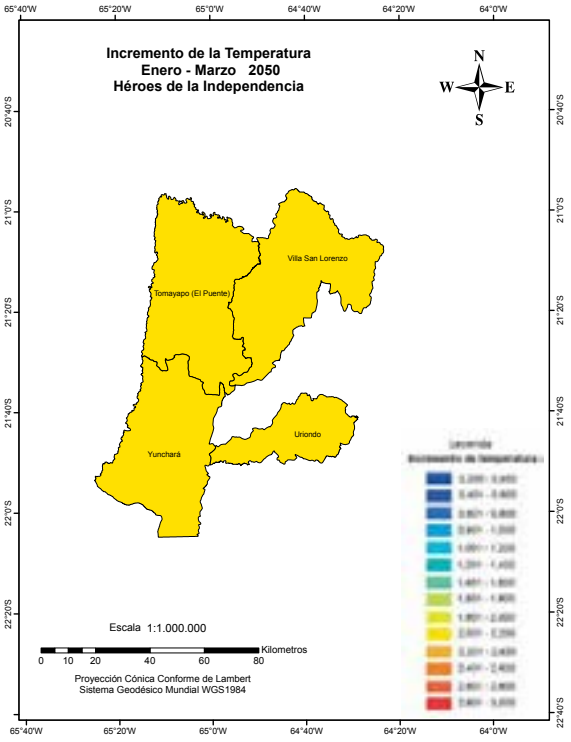


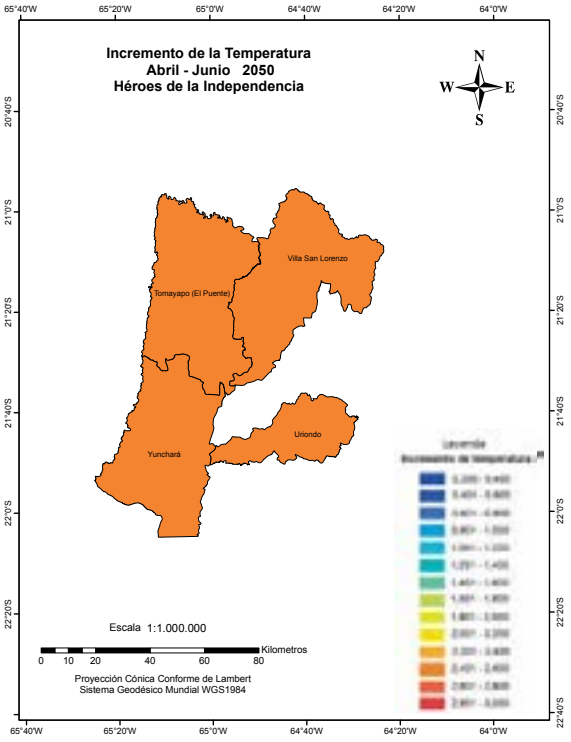


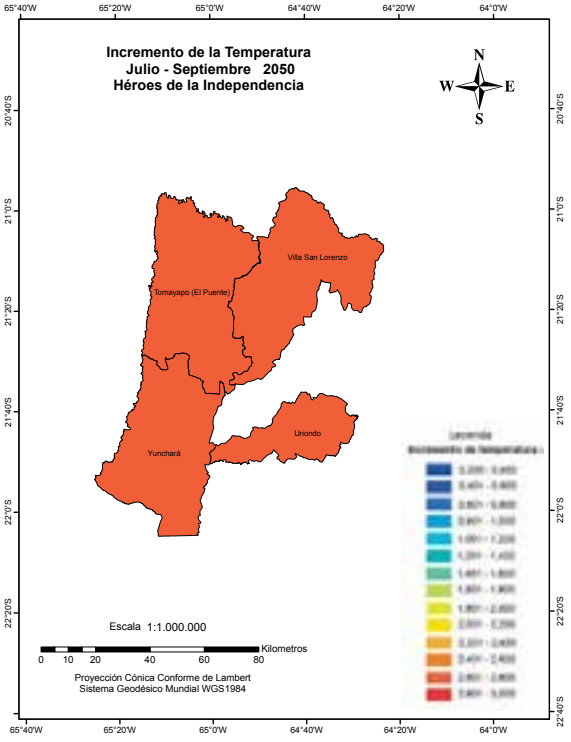
Mapa 5.71.

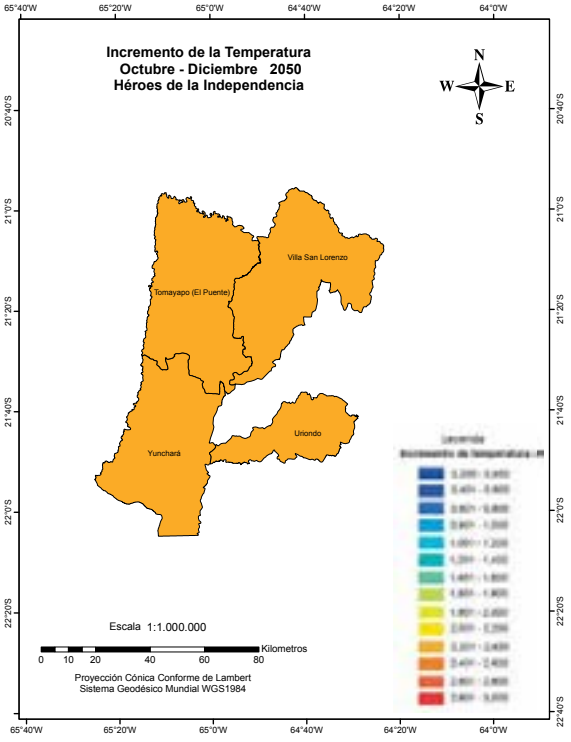

Incremento de la Temperatura
Anual 2050
Héroes de la Independencia
N
W
E
S
65°40'W
65°20'W
65°0'W
64°40'W
64°20'W
64°0'W
20°40'S
21°0'S
21°20'S
21°40'S
22°0'S
22°20'S
22°40'S
Villa San Lorenzo
Tomayapo (El Puente)
Uriondo
Yunchará
Leyenda
Incremento de temperatura
0,200 - 0,400
0,401 - 0,600
0,601 - 0,800
0,801 - 1,000
1,001 - 1,200
1,201 - 1,400
1,401 - 1,600
1,601 - 1,800
1,801 - 2,000
2,001 - 2,200
2,201 - 2,400
2,401 - 2,600
2,601 - 2,800
2,801 - 3,000
Escala 1:1.000.000
0 10 20 40 60 80
Kilometros
Proyección Cónica Conforme de Lambert
Sistema Geodésico Mundial WGS1984

Mapa 5.72.
Incremento de la temperatura por trimestre en 2050. Héroes de la Independencia









5.4. CONCLUSIONES

- Aunque es posible realizar un análisis de regionalización y downscaling estadístico puntual, el cual provee de resultados muy valiosos, la reducida disponibilidad de información climática incrementa la incertidumbre de los resultados obtenidos.

- Los resultados son parte de un análisis que se debe ganar en precisión, a partir de mejorar la información histórica.

- Se muestra que el impacto del calentamiento global sobre las características climáticas locales, será diferente en función de la eco-climatología local siguiendo una línea común.

- En general, la precipitación no muestra cambios significativos en las estadísticas. Sin embargo, los inviernos serán más secos a futuro, lo cual combinado con una mayor temperatura, determinará un mayor déficit hídrico en las zonas estudiadas.

- La precipitación en época de lluvias se muestra muy variable, lo cual permite inferir que se podrían enfrentar, con relativa frecuencia, años muy secos y también muy húmedos. En general, se observa que los meses de inicio de la época de lluvias serán relativamente más secos y los meses húmedos presentarán comportamiento variable.

- El análisis trimestral de la variación de la precipitación muestra que en casi todos los municipios se retrasará el inicio de la época de lluvias y/o se tendrá un inicio más seco. Las actividades de agricultura a secano dependen totalmente de estas primeras lluvias para iniciarse, por lo que este retraso, aunque se compensaría posteriormente con suficiente cantidad de lluvia entre enero y marzo, pondría en riesgo los cultivos de las zonas.

- Las temperaturas se incrementarán entre 2°C y 3°C en función de las zonas, siendo que los valles interandinos muestran mayor incremento en el 2050 que las zonas bajas del Norte y el Altiplano. La variabilidad estacional es mayor en zonas áridas de altitud media que en las zonas bajas del Norte y el Altiplano, especialmente en las temperaturas mínimas.

- Es probable que se enfrenten incrementos mayores en invierno que en verano.

- La lluvia no se incrementará pero sí las temperaturas, por lo que el déficit hídrico será mayor en estas épocas, producto de la consecuente reducción de humedad de la atmósfera y del suelo.

- En los valles interandinos de altitud intermedia se observa la mayor probabilidad de impacto del calentamiento, pues el incremento térmico es mayor que las zonas altas o bajas, y su precipitación tiende al descenso.

- La combinación de estos factores incrementa la probabilidad de sequías agudas, que pondrán en riesgo la disponibilidad de agua, afectando a los medios de vida.

- La probabilidad de impactos por la elevación de la temperatura implica plantear medidas integrales de adaptación, asociadas a la tecnología de almacenamiento y acompañado del desarrollo de capacidades, concertación, saneamiento e higiene. Se necesita cambiar la idea de que el agua es un recurso ilimitado y se debe invertir para conservarlo y aprovecharlo de manera sostenible.

- Las acciones de cosecha de agua de lluvia podrían ser muy efectivas para zonas de baja precipitación.

- En zonas con precipitación muy concentrada es importante diseñar nuevas formas de aprovechamiento de aguas subterráneas identificando áreas de recarga y promoviendo su conservación, junto a planes de manejo para mantener caudales constantes.

- Es necesario considerar que la elevación térmica también podrá motivar cambios espontáneos en los sistemas productivos que demandarán mayor atención de las entidades de apoyo, las que deben estar preparadas para cubrir nuevas demandas del recurso.

- Los resultados muestran comportamientos climáticos que deben ser considerados para acciones de planificación, capacitación e inversión.

- Los resultados del análisis están orientados a entender el cambio en las variables climáticas y no tanto el impacto. Por lo tanto, se requiere analizar con mayor profundidad, los impactos reales a través de modelos de simulación hidrológicos, de cultivos y de enfermedades, entre otros.

- Se debe considerar el desarrollo mundial para entender y reducir las incertidumbres de las tendencias en el presente análisis, puesto que se utilizó un solo escenario de emisiones.

Capítulo 6

Evaluación descriptiva de las amenazas climáticas futuras en las zonas de análisis

6.1. INTRODUCCIÓN

El *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático* (IPCC) define "evento meteorológico extremo" como un episodio, suceso o evento meteorológico que es raro o infrecuente, según su distribución estadística para un lugar determinado. Se define "raro" como todo episodio que se encuentre por encima del percentil 90, por debajo del 10 en la función de probabilidad observada o conocido también como las colas de la función de probabilidad.

Desde un punto de vista climático, la variabilidad siempre es importante; las tendencias climáticas promedio son tan sólo un factor en la probabilidad de las amenazas físicas. Para algunas decisiones, la variabilidad estacional y sus extremos pueden ser más importantes que las tendencias a largo plazo. Desafortunadamente en la mayor parte del planeta, la calidad y cantidad de información climática disponible reduce la potencialidad de analizar esta dispersión histórica y la proyección al futuro incrementa la incertidumbre, por ello se acude a modelos climáticos que reproducen y/o generan con cierto nivel de precisión la dinámica climática.

No debe olvidarse, sin embargo, que los modelos climáticos no están exentos de la incertidumbre que debe considerarse cuando se utilizan los resultados, pues podrían incrementar la exposición de una población en vez de reducirla.

Para el IPCC la incertidumbre no es motivo para no trabajar en gestión e inversiones de reducción del riesgo climático; las acciones deben basarse en la evaluación de los márgenes del riesgo y en los criterios técnico y social, para adaptarse a las dispersiones climáticas que ciertamente ocurrirán.

El IPCC en su *Cuarto informe de evaluación (4AR)*, afirma que se han observado múltiples cambios en el clima a largo plazo, tanto a escala global como regional, y que estos han afectado tanto a las zonas continentales como a las oceánicas. Algunos de estos cambios incluyen, por ejemplo, las variaciones en la cantidad y distribución de la precipitación, la acidificación del mar, las características de los patrones del viento y la frecuencia e intensidad de episodios de tiempo extremo o severo como: sequías, lluvias torrenciales y olas de calor que se constituyen en amenazas para el desarrollo de las zonas donde ocurren.

Las amenazas deben ser evaluadas con cierta premura para planificar las acciones de adaptación que cubran no solamente los cambios promedios, sino también los probables extremos climáticos. Dada la cantidad de diversas metodologías para realizar esta evaluación, el IPCC considera conveniente encontrar formas estandarizadas para analizar estos eventos, de manera que sean comparables con los resultados de otras zonas. Para ello, se evalúa de forma inicial en este capítulo, la proyección de las amenazas climáticas a partir de las particularidades en las áreas de intervención del PRRD, siguiendo la metodología de evaluación de eventos extremos mediante el seguimiento de un conjunto de indicadores climáticos definidos a escala internacional.

6.2. METODOLOGÍA

El trabajo se realiza en base a índices que describen la variabilidad climática en pruebas de dos colas de funciones de densidad de probabilidad,

considerando los parámetros recomendados por el Grupo de Expertos sobre detección del cambio climático e Índices (Expert Team on Climate Change Detection and Index,- ETCCDI, 1999[1]) con el propósito de que los resultados puedan ser comparables internacionalmente. Las características y definiciones de los índices seleccionados para el presente estudio están descritas en: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml

Se seleccionaron 11 índices descritos en la Tabla 6.1 que son los que se adecuan a las características climáticas del país. De esta manera, la metodología para evaluar la evolución de los eventos extremos en las estaciones próximas a las áreas de intervención del PRRD, mantendrá el esquema propuesto por el ETCCDI, describiendo el comportamiento de estos índices en los registros históricos de las estaciones incluidas en el trabajo (Capítulo 2), comparando su comportamiento y su distribución con la base de datos generada para el futuro (Capítulo 5).

6.2.1. Evaluación probabilística de los eventos extremos futuros

Debido a la gran cantidad de información climática incluida en este estudio, los resultados se consolidaron en mapas de mancomunidades en la que interviene el PRRD, que muestran la dispersión estadística de los eventos evaluados que ocurrieron en el periodo histórico, comparados con los que ocurrirán en las décadas del 2020 y del 2050. Es importante recalcar que los resultados no son pronósticos de la situación climática del periodo, sino poblaciones estadísticas que cuentan con la variabilidad actual provocada por la dinámica meso-climática y que además incluyen escenarios de cambio orientados por el downscaling estadístico de las corridas del MCG seleccionado (ECHAM5). Por tal razón, es pertinente evaluar los resultados del modelo de downscaling estadístico, mediante análisis de probabilidad y de frecuencia, los mismos que se recomienda aplicar para estudios específicos por sectores.

El presente estudio determina los índices de eventos extremos sugeridos por el IPCC, generando una base de datos de clima futuro que puede ser utilizada para evaluaciones especializadas de acuerdo a contextos diferentes, limitaciones y necesidades de cada mancomunidad.

Por lo mencionado, los índices presentados en la Tabla 6.1, se presentan en Posters en los que se han separado los que indican cambios en la precipitación y los que lo hacen para la temperatura. En cada índice se presenta la mediana de la población evaluada así como los valores máximos y mínimos calculados. Este cálculo se realiza tanto para la población histórica como para la población futura. Los mismos posters presentan un resumen de los impactos analizados en general.

Los municipios mancomunados del presente estudio, incluyen a las zonas de intervención del PRRD y mantienen la estructura presentada en capítulos anteriores. Estos se presentan en la Tabla 6.2.

1 Karl, T.R., N. Nicholls, and A. Ghazi, 1999: CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. Climatic Change, 42, 3-7.

Tabla 6.1.
Índices climáticos definidos por el ETCCDI y usados en el presente estudio, donde Tmín es la temperatura mínima, Tmáx es la temperatura máxima y P la precipitación.

No.	ID	Nombre	Definición	Unid.	Aplicación
1	DHe0	Días de helada	Número de días en 1 año en que TN < 0°C	Días	Muestra la posible duración de la amenaza por heladas para la agricultura. Sirve para definir el periodo de cultivo con menor riesgo en zonas donde es una amenaza.
2	Tmín	Temperatura mínima	Valor mínimo anual de la temperatura mínima diaria	°C	Muestra la intensidad de los días fríos y hasta qué rangos deberían resistir los cultivos y/o animales o cuál sería el nivel de riesgo para los cultivos sensibles.
3	DV25	Días de verano o días muy calientes	Número de días en 1 año en que Tmáx > 25°C	Días	Muestra la posible duración de la amenaza de días calientes, los que tendrán mayor evapotranspiración y mayor demanda de agua.
4	Tmáx	Temperatura máxima	Valor máximo anual de la temperatura máxima diaria	°C	Muestra la intensidad de los días calientes y hasta qué rangos deberían resistir los cultivos y/o animales o cuál sería el nivel de riesgo para los cultivos sensibles.
5	Ret.TXx	Periodo de retorno de la Tmáx	Número medio de años que transcurrirán para que se repita la Tmáx absoluta del registro histórico	años	Muestra la frecuencia de ocurrencia futura de las temperaturas, hoy consideradas extremas.
6	PX1dia	Máximo de PPT en 1 día	Valor máximo anual de la PPT diaria	Mm	Muestra la intensidad máxima de PP por día que deberá enfrentar la zona cada año. Se aplica para cálculo de avenidas máximas y riesgo de inundaciones y para funciones de excedencia actuales para proyectar los riesgos de inundación futuros.
7	ISID	Índice Simple de Intensidad Diaria	PPT total anual dividida entre el número de días con PPT ≥ 1 mm	mm/ día	Muestra si la lluvia tenderá a concentrarse en el futuro. Da una indicación de la intensidad media de lluvia.
8	DP20	Días de PPT muy abundante	Número anual de días en que PPT ≥ 20 mm	Días	Muestra si la zona enfrentará precipitaciones muy intensas en el futuro y, en caso afirmativo, determinar en cuántos días al año ocurrirá aquello. Se aplica para funciones de excedencia actuales para proyectar los riesgos de inundación futuros.
9	Ret. PPmáx	Periodo de retorno de la PPmáx	Número medio de años que transcurrirán para que se repita la PPmáx absoluta del registro histórico	años	Muestra la frecuencia de ocurrencia futura de las precipitaciones, hoy consideradas extremas.
10	Prdry	Probabilidad de años secos	Probabilidad futura de que se produzcan años definidos como secos (<25 % de Pr.cum) durante el registro histórico.	%	Comparado con el presente muestra el cambio en la probabilidad de que las zonas enfrenten años que actualmente están en el percentil 25, es decir secos.
11	Prwet	Probabilidad de años húmedos	Probabilidad futura de que se produzcan años definidos como húmedos (>75 % de Pr.cum) durante el registro histórico.	%	Muestra el cambio en la probabilidad de que las zonas enfrenten años en el percentil 75, es decir húmedos.

Tabla 6.2.
Agrupación de municipios mostrados en los mapas del presente informe

No.	Aplicación
1	**Mancomunidad Norte Paceño Tropical** Apolo, Guanay, Ixiamas, Mapiri, San Buenaventura, Tacacoma, Teoponte, Tipuani y Sapecho.
2	**Mancomunidad Norte Potosí** San Pedro de Buena Vista, Toro Toro, Sacaca, Chayanta, Caripuyo, Pocoata y Acasio.
3	**Mancomunidad Aymaras Sin Frontera** Calacoto, Santiago de Callapa, Charaña, Corque, Curahuara de Carangas, San Pedro de Totora y Santiago de Huayllamarca.
4	**Mancomunidad Gran Centro Potosí** Betanzos, Caiza D, Chaquí, Porco, Puna, Tacobamba, Tinguipaya, Tomave, Urmiri y Yocalla.
5	**Mancomunidad Cintis** Camargo, Culpina, Incahuasi, Las Carreras, San Lucas y Villa Abecia.
6	**Mancomunidad Región Andina de Cochabamba** Tacopaya, Tapacarí, Arque, Bolívar y Sicaya.
7	**Mancomunidad Caine** Anzaldo, Arbieto, Sacabamba, Capinota, Tarata, Poroma y Arampampa
8	**Mancomunidad Chaco Chuquisaqueño** Monteagudo, Muyupampa, Macharetí, San Pablo de Huacareta y Huacaya
9	**Mancomunidad Héroes de la Independencia** San Lorenzo, El Puente, Uriondo y Yunchará

6.2.2. Determinación de los periodos de retorno históricos y futuros de la Tmáx absoluta y la PPmáx absoluta

En el caso de los resultados de los periodos de retorno de la Tmáx absoluta y la PPmáx absoluta de todo el registro histórico (Índices 5 y 8 respectivamente), sus valores anuales fueron evaluados por medio de la distribución de Gumbel, determinando el periodo de retorno del valor absoluto de la población histórica. Luego se calculó el periodo de retorno de este valor absoluto histórico pero dentro de la población de las nuevas condiciones que se esperan para el futuro. Estos índices son representados también en los Posters 6.1 a 6.9 para cada momento de análisis (histórico, 2020 y 2050).

6.2.3. Evaluación de la probabilidad futura de enfrentar años secos normales y húmedos

La probabilidad de que se presenten años secos o húmedos se calculó en base a los datos históricos mensuales. A estos registros se aplicó un análisis de cuartiles, definiendo como años secos a aquellos en que la precipitación mensual se ubique en el cuartil inferior. Si la precipitación se encuentra en los cuartiles centrales se habla de años normales y cuando se encuentran en el cuartil superior se consideran como húmedos; finalmente se calculó la probabilidad de que ocurra un tipo de año (seco, normal, húmedo).

El mismo análisis se realizó en la población futura, pero comparando con los valores límites definidos por los cuartiles de la población histórica. De esta manera, se determinó la probabilidad de que en el futuro ocurran años que actualmente se consideran secos, normales y húmedos. Estos valores se presentan en los Posters 6.1 al 6.9 para las mancomunidades estudiadas de acuerdo a su valor estadístico, también para cada serie de análisis (histórico, 2020 y 2050).

6.3. RESULTADOS

6.3.1. Días con helada

Los Posters 6.1 a 6.9, presentan la variabilidad del número de días con helada, en el registro histórico de los municipios en los que se calculó (o aproximó) la mediana y el número mínimo y máximo de días con helada para cada municipio, comparada con la misma variabilidad espe-

rada para cada punto en el futuro cercano y para mediados de siglo.

Como es de esperarse en un planeta más caliente, la cantidad de días con helada disminuirá. Sin embargo, la tasa de reducción no es similar para todas las zonas analizadas pues esta ocurrencia se modifica por variables fisiográficas, altitudinales y dinámicas mesoclimáticas[2] que definen el clima propio de cada estación. No todas las mancomunidades o los municipios dentro de cada mancomunidad presentan riesgos de heladas actualmente, por lo que en los Posters 6.1 a 6.9 sólo se analizan aquellos cuyos registros presentan este fenómeno.

a) Norte Paceño Tropical

No presenta probabilidad de heladas.

b) Norte Potosí

En esta área los municipios de Toro Toro y San Pedro de Buena Vista no enfrentan temperaturas por debajo de 0°C, por lo que no serán considerados.

Los municipios del Norte de Potosí presentan una fuerte tendencia a la reducción de los periodos con heladas (Poster 6.2). Acasio muestra tendencia a la reducción hasta el 2020, mientras que los restantes municipios tendrán recién un cambio importante en el 2050. Esto se debe a que la menor altitud de Acasio hace que sus temperaturas mínimas se encuentran cerca de 0°C, por lo que un leve incremento térmico reduce rápidamente sus días con helada. Este no es el caso de las estaciones de mayor altitud, cuyas temperaturas mínimas, especialmente invernales, se encuentran muy por debajo de 0°C por lo que requiere mayor incremento para reducir, significativamente, su probabilidad de enfrentar días con heladas.

También se aprecia mayor variabilidad en el futuro, siendo que se podrían enfrentar todavía años con muchos días con helada, mientras que otros podrían ser bastante calientes con alrededor de tres semanas con heladas. Las áreas de altitud (representadas por Sacaca) todavía enfrentarían hasta 2050 alrededor de tres meses con heladas, por lo que la capacidad productiva todavía estará impedida en invierno en estas áreas, aunque con menor duración que en la actualidad.

c) Aymaras Sin Fronteras (zona altiplánica)

En el Altiplano Centro Oeste, el registro histórico muestra una fuerte tendencia a las heladas y, debido a su altitud, no permite una suficiente acumulación energética dada que la atmósfera tiene un espesor reducido. Bajo escenario de cambio climático, la concentración de Gases de Efecto Invernadero, colaborará para incrementar la acumulación energética, sin alterar los principios físicos que implica el espesor menor de la atmósfera en altitud.

De esta manera, el calentamiento producirá con alta probabilidad una reducción del número de días probables con heladas, en muchos casos mejorando la capacidad productiva del territorio. Sin embargo, la tasa de reducción no es homogénea (Poster 6.3). En la zona altiplánica, las estaciones hacia el Sur (altiplano de Oruro), presentan mayor reducción que aquellas hacia el Norte. Esto podría permitir cierto tipo de agricultura en zonas en las que previamente se tenía alrededor de 100% de presencia de heladas casi todo el año. Sin embargo, el riesgo no es nulo y el número de días con heladas es todavía alto hasta el 2050, especialmente en invierno, lo que permite inferir que la agricultura no será segura sin cultivos precoces, con tolerancia o resistencia a heladas.

Llama la atención la elevada variabilidad interanual de periodos con presencia de heladas en el futuro. Es probable una variación hasta de 60 días en el registro interanual y hasta 60 días más con heladas en años fríos. Esta situación dificulta la planificación y evidencia la necesidad de introducir cultivos resistentes a heladas, de ciclo corto y promover el uso de ambientes controlados para la agricultura intensiva, debido a que podrían ocurrir años de bajas temperatura y otros de altas temperaturas con ocurrencia de heladas de sólo 6 meses. La probabilidad de heladas de fin del ciclo (marzo a abril) no desaparece, lo cual afectará a los cultivos de ciclo largo que deben considerarse para la introducción de nuevos cultivos anuales.

2 Se considera mesoclima al clima de pequeñas áreas de la superficie terrestre que podría no ser totalmente representativo del clima general de la zona climática. Se encuentra en un nivel intermedio entre macroclima y microclima. Vocabulario meteorológico internacional. Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, 1992.

Por otra parte, las zonas podrían ser colonizadas por especies de menor tolerancia o resistencia a heladas, pero ser fuertemente afectadas por las heladas en invierno que seguirán siendo muy intensas, incrementándose el riesgo de no contar con suficiente alimento para los animales en esa época.

También se debe tomar en cuenta el riesgo de no contar con días lo suficientemente fríos o con periodos de heladas demasiado cortos en las estaciones de menor altitud, donde se prioriza la producción de chuño[3] que es una actividad económica de importancia y que apoya la seguridad alimentaria de las comunidades, ya que permite almacenar alimentos para años de baja productividad. La ausencia de heladas o su baja intensidad podría impedir esta actividad a futuro.

Por ello, la introducción de nuevos cultivos podría reducir los riesgos de inseguridad alimentaria en las zonas e incrementar la productividad local. Sin embargo, requiere de mucho soporte de los servicios de extensión agrícola o investigación participativa que involucre la innovación para los agricultores.

d) Gran Centro Potosí

Las zonas de altitudes intermedias como de Gran Centro Potosí también presentan una clara reducción de la amenaza de enfrentar días con heladas (Poster 6.4). Aunque la tasa de reducción es importante en todas las estaciones, el impacto de dicha reducción es más importante en las estaciones de mayor altura, pues habilita las zonas para cultivos con mejor mercado durante todo el año.

En las zonas de altitudes intermedias, aunque la reducción podría pensarse como ventaja, debe considerase que muchas de éstas son productoras frutícolas, actividad que también podría verse afectada por el menor número de horas frío, pues estas especies requieren de un cierto número de horas con frío para su producción.

Entonces, zonas frutícolas de altitud intermedia con baja probabilidad de heladas en el futuro deberán considerar un cambio de vocación productiva, aprovechando mejor las nuevas condiciones o introducir nuevas variedades. Asimismo, otras áreas podrían habilitarse para este tipo de cultivos, acompañado de un adecuado apoyo técnico productivo.

La variabilidad en estos municipios es también importante, especialmente en los de mayor altitud, lo que no garantiza éxito en cultivos sensibles a las heladas. Sin embargo, con adecuada planificación, es posible ampliar la vocación productiva con un relativo bajo riesgo.

e) Cintis

En la actualidad, esta zona muestra un bajo riesgo de heladas, el cual se reducirá levemente hacia 2020 y, más evidentemente, hacia el 2050 (Poster 6.5).También debe incluirse en el análisis la dispersión identificada en algunas estaciones; por ejemplo, los municipios podrían enfrentar en un año solamente 20 días con temperaturas bajas, mientras que al siguiente año, podría tener que lidiar con 50 ó más días con temperaturas por debajo de 0 °C, lo cual podría afectar sus sistemas productivos en cultivos sensibles. Es importante considerar que estos municipios tienen un rango amplio de altitud, por lo que las zonas altas todavía tendrán cierto impacto de heladas, lo que requiere de estudios a mayor profundidad.

La adecuada planificación del sistema productivo y la introducción de sistemas protegidos, podrían reducir el impacto negativo de las heladas durante el cultivo de invierno, pero también debe considerarse la amenaza de sequía que, como se describió en el Capítulo 5, es muy elevada en esta zona y tiende a incrementarse. En este punto, nuevamente se llega a la conclusión que la adaptación a amenazas emergentes como consecuencia del cambio climático, requiere de un sólido sistema de extensión agrícola que apoye a los agricultores con respuestas tecnológicas que ayuden al efecto.

f) Región Andina de Cochabamba

Por su altitud, se espera que esta región presente riesgos de heladas. Desafortunadamente, no fue posible identificar ninguna estación meteorológica dentro del área de estudio que cuente con registros térmicos, por eso la aproximación fue

3 El chuño (ch'uñu, voz aimara – quechua que significa "arrugas"), originario de los Andes centrales. Es el resultado de la deshidratación de la papa, por lo general por liofilización.

realizada con las estaciones altiplánicas. (Poster 6.6). Es probable una reducción en la ocurrencia de heladas especialmente en cultivos de ciclo largo.

Cultivos andinos de elevado valor biológico y legumbres de ciclo corto podrían desarrollarse en estas altitudes. En los municipios de menor altitud se reduce el riesgo de heladas en tasas similares a las de los valles interandinos.

g) Caine

Esta área presenta municipios de diferentes altitudes, por lo que el impacto del cambio climático sobre la ocurrencia de heladas no será homogéneo (Poster 6.7). Los municipios de mayor altitud como Anzaldo, Arbieto y Sacabamba muestran una fuerte reducción de la amenaza de días con heladas, pues sus Tmín están actualmente próximos a los 0°C, por lo que leves incrementos reducirán rápidamente su número de días con temperatura de congelación.

Al 2050, los municipios con ocurrencia de helada, en tres meses, reducirán esta amenaza con poca variabilidad (50 días aproximadamente); mientras las áreas bajas de los municipios, prácticamente ya no presentarían heladas. Sin embargo, algunos años "fríos" presentarán aproximadamente 11 días con helada, lo cual no se traduce en impactos para los cultivos anuales, pero podría influir negativamente en los frutales. Para ello, se recomienda estudiar la introducción de plantines con características de alto rendimiento y tolerancia a heladas como medida de adaptación al cambio climático.

h) Chaco Chuquisaqueño

En el caso de Chaco Chuquisaqueño (Poster 6.8), si bien se observa reducción en el número de días con helada, ésta es muy pequeña y su variabilidad se mantiene en el futuro. La intensidad de las heladas también podría ser elevada, por lo que las contingencias actuales, respecto a la presencia de heladas en la zona deben continuar en el futuro.

En la mayoría de los municipios, la información promedio presentada de Tmín mensuales (Capítulo 5) no muestra temperaturas inferiores a cero; mientras que los extremos (días individuales con helada) presentan diferencias significativas y podrían constituirse en un factor de riesgo productivo.

i) Héroes de la Independencia (valles de Tarija)

La escasa información térmica disponible permite inferir que, a futuro, en los valles de la Mancomunidad Héroes de la Independencia, los días con helada se reducirán, especialmente hacia mediados de siglo (Poster 6.9). De esta manera, en la época invernal de 2050 estas áreas ya no enfrentarían heladas, a excepción de algunos eventos de ingreso de masas frías del Sur que reducirían también su frecuencia.

6.3.2. Valor extremo anual de la Tmín diaria

Las temperaturas más bajas a las que está expuesto un sistema productivo definen en gran medida su potencial. Si bien las Tmín no significan daños para la producción por sí mismas, si no alcanzan el punto de congelación; su variación también determinará el cambio de la vocación productiva de una zona. Esto también depende del tipo de cultivos predominantes en la zona de análisis y de la fase fenológica en que se encuentra cuando se registre el evento, mucho más evidente si se consideran zonas donde previamente las Tmín limitaban el desarrollo de cierto tipo de cultivos.

En general, los Posters 6.1 al 6.9 muestran que las Tmín se incrementarán con diferente intensidad, siendo que en algunas zonas con probabilidad de helada persiste esta amenaza pero con menor intensidad y, en otras, se reduciría fuertemente el número de días con helada pero éstas serían muy intensas.

a) Norte Paceño Tropical

Aunque las temperaturas promedio en esta área se presentarían entre las de menor ascenso (Capítulo 5), los extremos no muestran el mismo comportamiento. Las medianas de las temperaturas más bajas se mostrarían con fuertes incrementos (3°C aproximadamente) desde el registro histórico hasta 2050 (Poster 6.1). Sin embargo, los mayores impactos se muestran en los extremos y en la variabilidad interanual de la temperatura más baja que podría esperarse en la zona.

En el futuro, los valores mayores de las temperaturas más bajas de cada año podrían ser hasta 3.8°C más calientes y valores menores de las temperaturas más bajas podrían no tener variación con la actualidad, mostrando entonces que de año a año podrían esperarse inviernos con noches muy calientes o inviernos con noches muy frías.

b) Norte Potosí

Los municipios de San Pedro y Toro Toro no presentan Tmín extremas por debajo del punto de congelación (Poster 6.2). Las estaciones de mayor altitud de la zona, presentan temperaturas extremadamente bajas, especialmente las estaciones de Sacaca y Acasio, las que cambiarán levemente en la próxima década, se incrementarían mucho en el 2050 aunque para entonces serían bastante bajas.

Las estaciones de Chayanta, Caripuyo y Pocoata reducen la intensidad de las heladas, resultado que debe considerarse con cuidado debido a que la información de análisis fue tomada de la estación de Llallagua, cuya zona presenta características diferentes. Si la aproximación es correcta, estas zonas mejorarán su potencial agrícola, pues desde un punto de vista térmico, no sólo se reducirá el número de días con helada, sino también su intensidad.

c) Aymaras Sin Fronteras (zona altiplánica)

En el altiplano que abarca la Mancomunidad Aymaras Sin Fronteras, se reducirán los días con heladas (Poster 6.3), pero sus temperaturas mínimas extremas todavía se encuentran en rangos bajo cero; es decir que las heladas serán muy intensas con valores de hasta -18 °C, lo cual limitaría la productividad de la zona y la intensidad de las heladas permanecerá latente. En general, se destaca que el rango de las Tmín no tiene directa relación con la altitud, pues zonas de altitud intermedia pueden tener igual nivel de intensidad de heladas que zonas más altas o a la inversa.

Por lo mencionado, el análisis sobre la amenaza de heladas no se concentra sólo en la intensidad, sino también en la duración del periodo, (que continuará siendo un peligro en la mayoría de las zonas de referencia).

En invierno, las especies probablemente no puedan soportar el estrés, incluso podrían morir con mayor facilidad que aquellas forrajeras tradicionalmente cultivadas en la zona y provocar épocas de baja disponibilidad de forraje para la zona. Por ello y para evitar el déficit de alimentos en invierno, tanto para las personas como para el ganado, es necesario planificar estrategias de seguridad alimentaria promoviendo sistemas de almacenamiento y tratamiento de rastrojos, como una manera de garantizar la disponibilidad y acceso a alimentos en estas épocas de estiaje.

d) Gran Centro Potosí

A pesar de que la altitud de este grupo de municipios es menor que la del Altiplano y que la incidencia de heladas reduciría a futuro, la intensidad todavía es una amenaza (Poster 6.4) aunque reducirá gradualmente hacia el 2020 y al 2050.

Aunque los incrementos promedio de temperatura se encontrará por el rango de los 2°C en 2050 (Capítulo 5), los extremos (en este caso las Tmín) sufren cambios más drásticos con incrementos de más de 3°C. De cualquier forma, todavía se enfrentarán días con temperaturas mínimas por debajo de 0°C durante periodos relativamente largos en las estaciones de mayor altitud.

e) Cintis

A pesar de encontrarse en altitudes moderadas, las temperaturas extremas son bajas actualmente, probablemente por la aridez de la zona que no permite almacenar energía nocturna (Poster 6.5). A futuro, todavía se tendría esta amenaza con heladas intensas aunque en menor número de días. En esta mancomunidad los extremos presentan una dispersión similar a los promedios.

La variabilidad interanual de la Tmín extrema sería muy importante en el futuro, pudiéndose enfrentar años con temperaturas próximas a cero, así como años muy fríos en los que los valores mínimos se encuentren por los –8°C.

f) Región Andina de Cochabamba

La aproximación de las Tmín extremas de las áreas altas de la Región Andina de Cochabamba (Poster 6.6), permiten afirmar que la intensidad de las amenazas por heladas estará muy pre-

sente incluso en un mundo más caliente. Si bien el periodo con presencia elevada de heladas se reducirá, la intensidad será todavía evidente pudiendo dañar los sistemas productivos de la zona si están compuestos por especies sensibles. Es necesaria entonces una adecuada planificación, pues esta fuerte intensidad no permite ni siquiera intentar cultivar en épocas invernales, pero se podría aprovechar bien el periodo libre de heladas que se alargaría en el futuro.

g) Caine

Las zonas de mayor altitud de los municipios de este grupo (Poster 6.7), todavía enfrentarán heladas con intensidad elevada y las recomendaciones para áreas de mayor altitud también tienen validez en esta mancomunidad. Es decir que es pertinente aprovechar los periodos libres de helada que se incrementarían y llevar adelante cultivos tolerantes o resistentes a heladas.

En las estaciones de menor altitud como Capinota y Tarata, la intensidad de las heladas será muy reducida, por lo que esta amenaza habrá desaparecido para 2050, tanto en duración como en intensidad.

h) Chaco Chuquisaqueño

El calentamiento del planeta no provocará una reducción substancial del periodo de helada (que es corto) ni de su intensidad en la zona, probablemente por su fuerte exposición a las masas de aire frío del Sur en invierno. Los valores presentados en el Poster 6.8, muestran que las heladas aunque reducidas en número, en el futuro, tendrán intensidades todavía perjudiciales. La aridez de esta zona que no tiende a reducirse, también podría ser la razón para que los pocos eventos de heladas todavía sean de similar intensidad en el futuro.

i) Héroes de la Independencia (valles de Tarija)

El Poster 6.9 muestra que en esta zona se incrementará la Tmín extrema en hasta 3°C. La intensidad de las heladas en esta zona, se reducirá aunque todavía existirán en 2050, lo cual es consistente con la reducción del periodo de heladas. Por ello sus limitaciones invernales relacionadas a las bajas temperaturas casi desaparecerán hasta mediados de siglo, por lo que en invierno se podría incrementar el rango de cultivos que podrían ser manejados, aunque los eventos de heladas no desaparecerían completamente.

En invierno, los cultivos frutales de la región de los valles, probablemente, reduzcan sus rendimientos por la falta de horas frío que debe acumular durante el invierno.

6.3.3. Días muy calientes

El número de días con temperaturas mayores a 25°C (días muy calientes) se incrementará significativamente en algunas estaciones, siendo muy similar en otras. Este valor tiene diferentes impactos, especialmente en la agricultura. Muchos cultivos reducirán sus rendimientos a partir de esta temperatura y la evapotranspiración de las zonas también se incrementará con el consecuente riesgo de estrés hídrico. Los Posters 6.1 a 6.9 expresan esta amenaza y describen la fuerte variabilidad espacial que existe en el país.

a) Norte Paceño Tropical

Actualmente, Norte Paceño Tropical enfrenta muchos días con temperaturas superiores a 25 °C, siendo que menos de 30 días al año, registran valores inferiores a éste (Poster 6.1). En el futuro cercano se espera un incremento intermedio, que persiste hasta 2050. En adelante, se espera que los Tmáx superen los 25°C, lo que no representa un cambio extremo de las condiciones actuales, pues la región se caracteriza precisamente por sus elevadas temperaturas. Sin embargo, éstas podrían incrementar la probabilidad de incendios y sequías invernales por los prolongados periodos de estiaje.

b) Norte Potosí

El cambio de días más calientes en Norte Potosí es significativo, especialmente en zonas bajas (Poster 6.2). Las estaciones de San Pedro y Toro Toro, incrementarán el número de días muy calientes (Tmáx> 25°C) en aproximadamente 100 días, en comparación al periodo histórico, probablemente se deba a la combinación de altitud y latitud de las zonas. Siendo zonas situadas cerca al Ecuador y de altitud media con baja cobertura vegetal, no existe modulación del nivel de insolación. Las temperaturas se ele-

varían con intensidad, incrementando el estrés al que estarán sometidos los cultivos, especialmente entre primavera y otoño.

Contrariamente, las estaciones de mayor altitud, de alguna forma, se protegen contra este efecto por la delgada capa de la atmósfera y sus incrementos son menos significativos, aunque también provocarán algún estrés en los cultivos de su zona. Este impacto es importante en zonas áridas, pues en muchos casos, a pesar de contar con agua, el suelo y las plantas no pueden cubrir el gradiente de evapotranspiración por la diferencia en la demanda de vapor de agua de la atmósfera.

c) Aymaras Sin Fronteras (zona altiplánica)

El Poster 6.3 muestra que la zona altiplánica que abarca la Mancomunidad Aymaras Sin Fronteras, sigue el patrón de leve incremento de los días muy calientes. Al igual que los municipios de altura de Potosí. En éstos, la altitud reduce el impacto del calentamiento, pues la transparencia del aire no permite mucha acumulación energética y no se incrementa significativamente el estrés del sistema de la zona.

Las razones para este comportamiento se encuentran en que el altiplano al encontrarse a altitud elevada, posee una columna atmosférica delgada que no cambiará bajo un escenario de cambio climático; por lo tanto, en el futuro, tampoco podrá retener demasiada energía calórica reduciendo sus posibilidades de enfrentar muchos días de temperaturas muy elevadas.

Es importante recalcar que la altitud provoca una mayor intensidad de la radiación y podría incluso incrementar la mayor incidencia de radiación ultra violeta si la capa de ozono continúa deteriorándose, lo cual incrementará la sensación térmica, aunque esto no se exprese en mayores temperaturas. Esto podría acentuarse debido a la concentración de la precipitación que determinará mayor cantidad de días sin nubes, lo cual expondría más a la zona a la influencia de la elevada radiación ultra violeta.

Asimismo, durante el periodo histórico, los días con Tmáx mayores a 25°C eran excepcionales, aunque en algunas estaciones no se registraban. Sin embargo, en el futuro su presencia será regular, es decir que existirá al menos un día al año en que se superará este índice.

d) Gran Centro Potosí

La altitud intermedia de los municipios de esta zona, hace que los días muy calientes se incrementen significativamente por la alta insolación que reciben, y su atmósfera retiene esta energía con intensidad especialmente en verano (Poster 6.4). Así, la mayoría de los municipios contarán entre 30 y 90 días con temperaturas muy elevadas. De esta manera, se enfrentaría una fuerte elevación de las Tmáx en periodos más largos durante el año.

e) Cintis

La zona presenta alto nivel de disección dentro y entre municipios, principalmente debido a su conformación fisiográfica que determina un fuerte gradiente de altitud (Poster 6.5). De esta manera, los municipios de Culpina e Incahuasi que se encuentran cerca de los 3.000 msnm incrementan moderadamente los días con temperatura superiores a 25°C hasta en 70 días por año. Las zonas bajas de los municipios al igual que otros valles de altitud media, incrementan este índice con mucha intensidad sostenida alcanzando 100 días hasta el 2050 y existiendo la probabilidad de que enfrenten hasta 270 ó más días con temperaturas superiores a 25°C. También se observa que la variabilidad interanual es creciente a medida que avanzan los años.

Considerando que esta zona es predominantemente agrícola, estos valores deben orientar sobre tipos de cultivos a priorizar o la implementación de otras medidas de adaptación como el riego complementario, que disminuiría el riesgo de pérdida de cultivos debido a las altas temperaturas.

Se debe considerar que, fisiológicamente, los cultivos sufren daños cuando las temperaturas sobrepasan ciertos umbrales. Dado que las temperaturas elevadas se producen en verano, principalmente, un análisis agroclimático orientará el rumbo del desarrollo productivo. Estas acciones podrían incluir el cambio de calendario

agrícola estudiando épocas de siembra y manejo de la fertilidad del suelo, evitando la exposición de los cultivos en fases fenológicas críticas a los días más calurosos o la siembra de variedades tolerantes o resistentes a las olas de calor en periodos de mayor frecuencia.

f) Región Andina de Cochabamba

La mayor altitud afecta esta zona reduciendo su acumulación energética en la columna atmosférica más delgada (Poster 6.6). Es pertinente recordar, sin embargo, que la sensación de elevación térmica podría ser fuerte en estas zonas, no por la elevación de la temperatura en sí misma, sino por la mayor incidencia de radiación ultra violeta.

g) Caine

La zona presenta variaciones fisiográfica. Las estaciones de las zonas altas muestran elevaciones no significativas de días muy calientes, en comparación a las zonas de menor altitud. En el caso de Capinota y Tarata (Poster 6.7) tendrán años en los que todos los días serán más calientes, lo que probablemente incida sobre un estrés hídrico permanente con tasas de evapotranspiración más altos.

h) Chaco Chuquisaqueño

Esta zona incrementará moderadamente el número de días muy calientes que enfrentará en comparación con el periodo histórico (Poster 6.8). En la actualidad, presenta un número elevado de días muy calientes por año, de esta manera, la planificación podría basarse en la experiencia de las situaciones que se enfrentaron durante el periodo histórico.

i) Héroes de la Independencia (valles de Tarija)

Los valles tarijeños que abarca la mancomunidad Héroes de la Independencia no muestran grandes elevaciones de este índice, por lo tanto el estrés será modulado por la humedad relativa (Poster 6.9).

6.3.4. Temperaturas máximas absolutas

Las Tmáx absolutas no presentan diferencias espaciales en el cambio, pero un comportamiento similar en variabilidad interanual respecto al periodo histórico (Poster 6.1 al 6.9). Resalta, nuevamente, que las zonas de los valles interandinos sufrirán las tasas más elevadas de calentamiento.

Es probable que estas zonas (los valles) incrementen en mayor proporción las olas de calor, tanto en duración como en intensidad, lo que incidirá en el déficit hídrico; pues los días calientes normalmente coinciden con días sin lluvia y esto provocará estrés por falta de agua en los cultivos. Es importante considerar la amenaza de días calientes u olas de calor para el desarrollo de las comunidades que se encuentran en estas zonas, especialmente por su vocación agrícola expuesta a los cambios térmicos.

a) Norte Paceño Tropical

La Tmáx extrema muestra cambios próximos al promedio global, probablemente modulado por la humedad local. A futuro, la variabilidad interanual mostraría similitud con lo que ocurre actualmente, por eso es importante monitorear este índice para planificar acciones. (Poster 6.1).

b) Norte Potosí

La zona presenta elevaciones de la Tmáx extrema cercanas al ascenso promedio (Poster 6.2). Las temperaturas más elevadas provocarán estrés en zonas como Toro Toro y San Pedro, en las cuales las temperaturas máximas ascenderán a valores que incidirán en un mayor déficit hídrico afectando los cultivos, aunque actualmente no se registran temperaturas máximas muy elevadas. Las restantes estaciones enfrentarán elevaciones moderadas.

c) Aymaras Sin Fronteras (zona altiplánica)

El incremento térmico es de aproximadamente 2.5°C (Poster 6.3) consistente con la elevación de la temperatura esperada para la zona. Las Tmáx absolutas anuales presentan baja variabilidad interanual. Aunque este factor muestra estrés para los cultivos y pasturas, su intensidad no es diferente a lo observado debido a que los días con temperaturas muy elevadas son reducidos.

d) Gran Centro Potosí

Las Tmáx extremas se encuentran cerca al promedio de la zona, siendo que su variabilidad

interanual no es significativa (Poster 6.4). Sin embargo, esto no significa que el calentamiento no tenga impacto en el área, especialmente en el estrés hídrico ya observado. Por lo tanto, reducidas elevaciones térmicas afectarían más a su sistema productivo.

e) Cintis

Aunque las Tmáx extremas no ascenderán más que el promedio, habrá mucho estrés térmico e hídrico y concentrada precipitación. Este problema provocará situaciones de emergencia más frecuentes y persistente. Municipios de altitud intermedia como Villa Abecia presentarán mayor impacto por la severidad de sus extremos.

f) Región Andina de Cochabamba

Las temperaturas extremas presentan variabilidad (Poster 6.6). Aunque enfrentarán pocos días de calor extremo, es probable que éstos se registren en el futuro. Si los agricultores no reciben apoyo durante estos periodos, podría incrementar las pérdidas en la producción, fundamentalmente por periodos cortos e intensos de Tmáx extremas.

g) Caine

Los municipios no presentarán registros con Tmáx extremas diferentes al promedio (Poster 6.7). Sin embargo, las temperaturas más elevadas ocurrirán durante periodos prolongados, especialmente en las estaciones de menor altitud, lo cual provocarán fuertes presiones sobre los cultivos. Incluso en el caso de los sistemas de riego existente, como en estas zonas, la probabilidad de conflictos por el uso del agua será mayor.

h) Chaco Chuquisaqueño

Los cambios de elevación térmica absoluta serán leves hasta el 2020, pero entre 2020 y 2050 se incrementarán significativamente (Poster 6.8), produciendo mayor estrés en los sistemas productivos. Un análisis agroclimático permitirá identificar opciones potenciales de adaptación para reducir el impacto de olas de calor sobre el sistema.

También es probable la ocurrencia de sequías de moderadas a fuertes, debido a que la precipitación tiende a concentrarse; provocando la presencia de años con temperaturas más elevadas durante periodos más largos que en la actualidad.

i) Héroes de la Independencia (valles de Tarija)

La zona presentará elevaciones en su Tmáx extrema, con igual ritmo hasta 2020 y hasta 2050 (Poster 6.9). La Tmáx extrema no presenta fuerte variabilidad interanual para el futuro, pero la elevación térmica debe considerarse como un factor de planificación de las actividades agrícolas en la zona, especialmente si afecta el desarrollo de frutales que requieren una determinada cantidad de frío que será impedida de acumularse con las temperaturas máximas extremas muy elevadas.

6.3.5. Periodo de retorno de la Tmáx absoluta histórica

La evaluación estadística de la Tmáx absoluta ocurrida durante el periodo histórico y su probabilidad de ocurrencia, permiten conocer cuán alejada o integrada a la población se encuentra esta variable. Su valor en el futuro se repetirá con diferente frecuencia, pues la población térmica del 2050 no es la misma que en la actualidad. El conocer esta distribución permite evaluar cuán frecuentemente se presentarán eventos que al presente o históricamente se consideraban extremos, pero que podrían ser muy recurrentes en el futuro.

Los Posters 6.1 al 6.9 muestran que las Tmáx absolutas en todos los grupos de municipios considerados, presentarán en el futuro periodos de retorno muy cortos de entre 1 a 3 años. En otras palabras, los eventos que se consideraban extremos térmicos que ocurrían cada 10 a 30 años, se repetirán con mayor frecuencia y se convertirán en parte de la población normal de las temperaturas máximas de la zona. De esta manera, los eventos térmicos extremos que ocurrieron en el pasado y la forma en que reaccionaron a ellos, tanto la población como los sistemas productivos, pueden dar pistas sobre la forma en que el sistema podría comportarse recurrentemente y el nivel de exposición mostrada.

Los posters muestran que estos cambios no tendrán un comportamiento lineal, es decir que el incremento térmico es leve hasta el 2020,

pero que el periodo desde la década del 2020 al 2050, tendrá una tasa de incremento mayor, reduciendo el periodo de retorno hasta llegar a una situación habitual de Tmáx extrema anual, muy similar a la extrema de todo el registro histórico.

El comportamiento del periodo de retorno previsto para el futuro es similar para todas las zonas, es decir que independientemente de su altitud, latitud o posición fisiográfica, las zonas enfrentarán, el 2050, temperaturas máximas que hoy se consideran excepcionales.

6.3.6. Número de días con precipitación muy intensa (DP20)

Esta variable muestra la amenaza de sufrir precipitaciones muy intensas en un día que podrían provocar inundaciones o avenidas de consideración. En general, en todas las zonas, las variables relacionadas con la precipitación no mostraron cambios significativos en su mediana, pero sí niveles altos de dispersión que son los que incrementan las amenazas en las zonas.

a) Norte Paceño Tropical

A futuro, la mediana no cambiará en ninguno de los municipios de la zona. Sin embargo, la variabilidad interanual se incrementa notoriamente, debido a un número elevado de probables precipitaciones intensas o muy intensas por año, las que se intercalarían con años con pocas tormentas (Poster 6.1).

Este comportamiento incrementará su exposición a las amenazas climáticas, pues los pobladores de la zona deberán estar preparados para extremos pluviométricos tanto elevados como bajos. Esto combinado con altas temperaturas podría provocar déficit hídrico.

b) Norte Potosí

En esta zona no se presenta variación en la mediana de las precipitaciones intensas, pero existe alta dispersión interanual, pudiendo tener años con hasta 30 eventos muy intensos y en otros ninguno, en la misma zona (Poster 6.2). Estos ecosistemas son frágiles a precipitaciones extremas debido a sus pendientes variables y suelos descubiertos que reducen la capacidad de infiltración, incrementando el nivel de erosión hídrica. Por ello, si bien la amenaza media no cambiará, el número máximo de eventos extremos deben ser considerados para obras futuras.

c) Aymaras Sin Fronteras (zona altiplánica)

En la zona también se mantiene la mediana del número de eventos de lluvia mayor a 20 mm, incrementándose los extremos (Poster 6.3). Aunque el número de eventos en general es bajo, existe la probabilidad de inundación en zonas planas de mal drenaje.

d) Gran Centro Potosí

Los extremos pluviométricos muestran que los rangos de inundación son importantes, aunque la mediana no haya cambiado (Poster 6.4). Estos ecosistemas son frágiles a las lluvias intensas, por su marcada pendiente, aridez y la poca capacidad de sus suelos de amortiguar el impacto de las precipitaciones intensas. Por ello, si bien la amenaza media sería similar en el futuro, la cantidad máxima de eventos extremos podría producir mayores daños en las zonas.

e) Cintis

Las lluvias intensas en el cañón de los Cintis, se incrementarán significativamente mientras que en la parte alta el incremento no será significativo. Es posible que en la parte baja se incremente el desborde de ríos (Poster 6.5).

f) Región Andina de Cochabamba

Compartiendo resultados con la zona altiplánica, esta región podría enfrentar años con aproximadamente 10 días con precipitaciones muy intensas, y a continuación años sin ningún evento (Poster 6.6). La diferencia en la amenaza, se basa en la fisiografía de la zona que presenta mayores pendientes, por lo que la amenaza de avenidas y erosión es mayor que en la zona altiplánica.

g) Caine

El comportamiento es muy parecido al de los valles interandinos, por lo que se debe considerar la prevención para evitar el impacto negativo de avenidas que tienen una fuerte probabilidad de ocurrir en forma más dispersa que en la actualidad (Poster 6.7).

h) Chaco Chuquisaqueño

El rango de variación de la cantidad de eventos con precipitaciones muy intensas por año se eleva, aunque la mediana se mantiene en forma similar (Poster 6.8). Esto incrementa el riesgo de la zona, pues las amenazas de un número elevado de eventos de lluvia muy intensa se presentarán con cierta frecuencia, lo que debe ser considerado para las obras de prevención de avenidas en las zonas expuestas.

i) Héroes de la Independencia (Valles tarijeños)

En esta zona, se presentarán eventos de precipitación muy intensa (Poster 6.9), por lo menos en dos ocasiones por año. Conforme a la información histórica, no existes antecedentes de registros de precipitaciones intensas.

6.3.7. Precipitación máxima en un día

A futuro, las medianas de la precipitación extrema se mantendrán relativamente constantes. Sin embargo, se evidencia una leve tendencia al descenso en la cantidad máxima de lluvia registrada aunque no es significativa.

a) Norte Paceño Tropical

La precipitación máxima en un día se reduce levemente y todavía mantiene sus características de enfrentar años con precipitaciones de gran magnitud. Por este motivo, la probabilidad de inundaciones se mantendrá en cantidad e intensidad, con tendencia similar tanto al 2020 como al 2050 (Poster 6.1).

Las zonas bajas presentan tormentas más intensas que en las zonas altas, por lo tanto, tienen probabilidades de inundaciones más recurrentes. A diferencia del comportamiento actual, el nivel de dispersión es mayor, existiendo años con la ocurrencia de pocos eventos y otros con muchos eventos.

b) Norte Potosí

La zona presenta una mediana de precipitación extrema constante. A mayor altitud existe la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones extremas más intensas que en la actualidad en valores absolutos. A menor altitud, las precipitaciones máximas se mantendrán como actualmente (Poster 6.2). Sin embargo, por la escasa información para el análisis se tiene una alta incertidumbre.

c) Aymaras Sin Fronteras (zona altiplánica)

La zona presenta una dispersión histórica constante de las precipitaciones extremas que se mantendrán en el futuro, probablemente por su cercanía al anticiclón del Pacífico y por la baja temperatura ambiente que reduce la posibilidad de eventos de mayor magnitud. Estos datos otorgan la idea de que la planificación futura con respecto a la lluvia extrema, se puede realizar en base a la información histórica reduciendo la incertidumbre (Poster 6.3).

d) Gran Centro Potosí, Cintis y el Caine

Las precipitaciones máxima extrema siguen patrones muy similares en estas tres áreas (Poster 6.4, 6.5y 6.7). La tendencia general es de poco cambio en la mediana. También se evidencia bajo nivel de dispersión en los valores máximos y mínimos, lo que podría ser un indicador para la planificación de acciones de adaptación.

e) Región Andina de Cochabamba

Esta zona muestra una tendencia al incremento no significativo de la magnitud de las tormentas, tanto en las medianas como en los máximos y mínimos de este índice. La no significancia del incremento posibilita planificar acciones con la información histórica (Poster 6.6).

f) Chaco Chuquisaqueño

Los valores medios de la precipitación muestran bajos niveles de dispersión y los extremos superiores tienden a incrementarse. Se recomienda explorar funciones probabilísticas que ayuden a representar este comportamiento y puedan ser considerados en el diseño de obras de prevención.

g) Héroes de la Independencia (valles de Tarija)

Estas zonas no muestran cambios en los rangos de la precipitación máxima. Por ello, la información pluviométrica actual debe servir de base para diversos estudios hidrológicos.

6.3.8. Índice Simple de Intensidad Diaria (ISID)

Este índice describe la intensidad promedio de las precipitaciones en un año. Los Posters 6.1 a 6.9

reflejan que, a excepción de Norte Paceño Tropical, el resto de las áreas de intervención del PRRD presenta valores de ISID bajos de entre 5 a 15 mm por evento lluvioso.

Estos valores indicarían que las zonas estudiadas no presentan precipitaciones homogéneas, sino que lluvias reducidas podrían alternarse con tormentas de magnitud. Por otra parte, se advierte que la dispersión, distribución y frecuencia futura de la ISID será mayor, de manera que se podrían esperar años con precipitaciones elevadas en muchos de los eventos lluviosos y en contraposición se podrán esperar también años con precipitaciones reducidas alternadas o no con eventos de magnitud.

6.3.9. Periodo de retorno de la Precipitación Máxima Absoluta

La recurrencia en la precipitación máxima absoluta se mantiene con baja probabilidad de cambio (Posters 6.1 a 6.9), tanto al 2020 como al 2050.

La zona altiplánica y los valles de los Cintis presentarán en el futuro tormentas similares al registro histórico. Mientras que en los valles potosinos y tarijeños y en Norte Paceño Tropical estudiados, prácticamente no se evidencian cambios en la recurrencia a futuro en comparación con el periodo histórico. En la zona que se ubica entre Norte Potosí y Cochabamba, la recurrencia de las precipitaciones extremas se reduce levemente entre 5 y 10 años.

6.3.10. Probabilidad de años secos, normales y húmedos

La probabilidad de enfrentar años secos, normales y húmedos fue evaluado en cada zonas entre noviembre a diciembre (época de siembra) y enero a marzo (época de lluvias) con proyección al 2020 y 2050 (Posters 6.1 a 6.9).

En Norte Paceño Tropical (Poster 6.1) se podría enfrentar años más secos en los meses de inicio de la época de lluvias, especialmente entre noviembre y diciembre, mientras que la probabilidad de enfrentar años más húmedos podría incrementarse levemente entre enero y marzo. De esta forma, la precipitación tiende a concentrarse y aumentar la amenaza de sequía a finales de año e incrementar las inundaciones entre enero y marzo.

En Norte Potosí se incrementará a futuro la probabilidad de sequías (Poster 6.2). Asimismo, se observa tendencia a la presencia de años normales y la probabilidad de enfrentar años húmedos en el futuro. Tomando en cuenta el incremento térmico, la precipitación no compensará la demanda atmosférica de vapor de agua.

La zona altiplánica podría enfrentar mayor frecuencia de años secos, con retraso en la época de lluvias (diciembre a marzo). Mientras que Gran Centro Potosí (Poster 6.4) muestra una tendencia de años secos con déficit al inicio de la época de lluvias (noviembre a diciembre) y, entre enero y marzo, un incremento de la humedad. En la zona de los Cintis (Poster 6.5) existe la probabilidad de enfrentar años secos.

En la Región Andina de Cochabamba existe la probabilidad de que se presenten años normales más frecuentemente (Poster 6.6), tomando en cuenta las bajas precipitaciones predominantes. Si esta característica se mantiene en el futuro, la zona requerirá mayor atención hacia problemas de falta de agua. Sin embargo, la presencia de precipitaciones extremas persistirá en algunas regiones ocasionando desborde de ríos.

El comportamiento de bajas precipitaciones en la cuenca del Caine tiende a mantenerse como en la actualidad (Poster 6.7). Sin embargo, en Tarata la tendencia es a la reducción, incrementando la probabilidad de enfrentar años secos.

En Chaco Chuquisaqueño existe la probabilidad de tener humedad entre enero y marzo (Poster 6.8). El comportamiento entre noviembre y diciembre aumenta la probabilidad de tener déficit. La zona podría enfrentar retrasos del inicio de la época de lluvias y luego aumentar la ocurrencia de lluvias hasta niveles similares que en la actualidad, pero concentradas en pocos días.

El Poster 6.9 presenta los cálculos probabilísticos para la zona de Héroes de la Independencia

(valles de Tarija). En esta zona se podrían mantener las características pluviométricas actuales.

6.4. CONCLUSIONES

El estudio evaluó la probabilidad de heladas y de golpes de calor (duración e intensidad), amenazas de inundaciones y años secos mostrados por ciertos patrones de regímenes de precipitación, así como los periodos de recurrencia de los extremos térmicos y pluviométricos.

Se reduce la probabilidad de heladas y los valores promedios mensuales de Tmín se han incrementado por encima del punto de congelación. Sin embargo, persistirán días con bajas temperaturas afectando los cultivos.

El ascenso de la Tmín, también podría afectar la producción de frutales que requiere de un número de horas – frío que probablemente no se alcance en el futuro, lo cual también se constituye en un impacto sobre los rendimientos.

Las zonas altas podrían cambiar su potencial productivo hacia cultivos o forrajeras comerciales.

El promedio de las Tmáx se incrementa en 2°C a 3°C y existe la probabilidad de que se presenten días muy calientes (>25°C). Esto significa mayor demanda de agua en el sistema que no podrá ser cubierta por la precipitación, al no experimentar cambios de consideración.

En el futuro, las zonas con déficit hídrico en el registro histórico empeorarán su condición debido a la mayor demanda en los sistemas productivos. Por ello, se debe pensar en tecnologías alternativas ya sea con apoyo de sistemas de riego, cultivos tolerantes a la sequía y/o cambios en los calendarios agrícolas que deberán ser analizados a mayor profundidad con más investigaciones.

La precipitación también se constituye en un factor condicionante de ciertas amenazas, tanto por el déficit hídrico como por intensidades altas. En general, los valores de precipitación máxima diaria no muestran cambios significativos, a excepción de algunos valles donde se enfrentarán tormentas de magnitud.

Es muy probable la ocurrencia de granizadas que afecten la producción agrícola. Los valles presentan una mayor probabilidad de formación de sistemas convectivos. Asimismo, la zona de los Cintis muestra una tendencia descendente de la precipitación marcando un déficit hídrico durante el periodo de cultivo. El comportamiento en Gran Centro Potosí y Norte Potosí sigue este mismo patrón aunque en menor intensidad.

El análisis estadístico de la precipitación en las zonas presenta tendencia al retraso de la época de lluvias, intensificando la ocurrencia de su máxima precipitación. Esto implica que debe considerarse el riego complementario en las fases iniciales de los cultivos a secano. Sin embargo, algunas zonas parecen incrementar la probabilidad de presencia de años secos entre enero y marzo, lo cual es un factor muy complejo de exposición ya que la agricultura en estas zonas es principalmente a secano. Menor precipitación con incremento de temperaturas en la época de mayor requerimiento de agua en los cultivos, pondría en peligro la producción de la zona.

En general, en todas las zonas se observa alta dispersión de los extremos climáticos, por lo tanto, deberán plantearse estrategias muy flexibles para contrarrestar sus efectos.

La temperatura presenta un constante ascenso, hecho que incidirá en la probabilidad de que los extremos históricos se conviertan en el futuro en registros normales.

Partiendo de la alta probabilidad de que los extremos de hoy podrían ser condiciones medias en el futuro, es importante profundizar el análisis mediante la comparación espacial y/o temporal con análogos. También se recomienda el uso de otros sistemas de observación de sensores remotos, con los que se obtienen índices que pueden ayudar a interpretar con mayor precisión los resultados.

Los resultados del presente estudio son insumos para analizar el impacto del cambio climático mediante la aplicación de modelos estocásticos o dinámicos calibrados u otros métodos de investi-

gación (aplicados en producción agrícola, hidrología, etc.), reduciendo el nivel de incertidumbre.

Finalmente, en la Tabla 6.3 se realiza una síntesis cualitativa de los impactos esperados en las zonas de estudio.

Tabla 6.3.
Descripcion cualitativa de los cambios esperados en los extremos climáticos hacia el 2050 para las mancomunidades analizadas. Tendencia ascendente leve. Tendencia ascendente intensa. Tendencia descendente leve. Tendencia descendente intensa. Cambios leves. Variable no analizada.

Región / Índice	Norte Paceño Tropical	Norte Potosí	Aymaras Sin Fronteras	Gran Centro Potosí	Cintis	Región Andina de Cocha-bamba	Caine	Chaco Chuquisa-queño	Héroes de la Indepen-dencia
Días con heladas	✕	↓	↓	↓	⇩	↓	↓	⇩	↓
Tendencias de la temperatura mínima extrema	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Días muy calientes	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Tendencias de la temperatura máxima extrema	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Periodos de retorno de la temperatura máxima extrema	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Promedio de días de precipitación muy abundante	~	~	~	~	~	~	~	~	~
Promedio de la precipitación máxima extrema	⇩	~	~	~	~	↑	~	~	~
Índice Simple de Intensidad Diaria	⇩	~	~	~	~	~	~	~	~
Periodos de retorno de la precipitación máxima extrema	~	⇩	⇩	⇩	~	⇩	⇩	~	⇩
Probabilidad de años secos entre noviembre y diciembre	↑	↑	↑	↑	↑	~	~	↑	↑
Probabilidad de años secos entre enero y marzo	~	↑	↑	⇩	↑	⇩	↑	⇩	⇩
Probabilidad de años húmedos entre noviembre y diciembre	⇩	⇩	⇩	⇩	⇩	↑	⇩	⇩	⇩
Probabilidad de años húmedos entre enero y marzo	~	~	⇩	↑	⇩	⇩	↑	~	~

OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA TEMPERATURA EN LA MANCOMUNIDAD NORTE PACEÑO TROPICAL

TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA ANUAL (°C)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
APOLO	6	9	11	6	10	13	7	11	14
GUANAY	6	7	11	3	8	12	4	9	14
IXIAMAS	6	7	11	3	8	12	4	9	14
MAPIRI	6	7	11	3	8	12	4	9	14
SAN BUENAVENTURA	6	7	11	3	8	12	4	9	14
TACACOMA	SIN INFORMACION								
TEOPONTE	6	9	11	6	10	13	7	11	14
TIPUANI	6	9	11	6	10	13	7	11	14

DÍAS CON HELADAS (Tmin < 0°C)

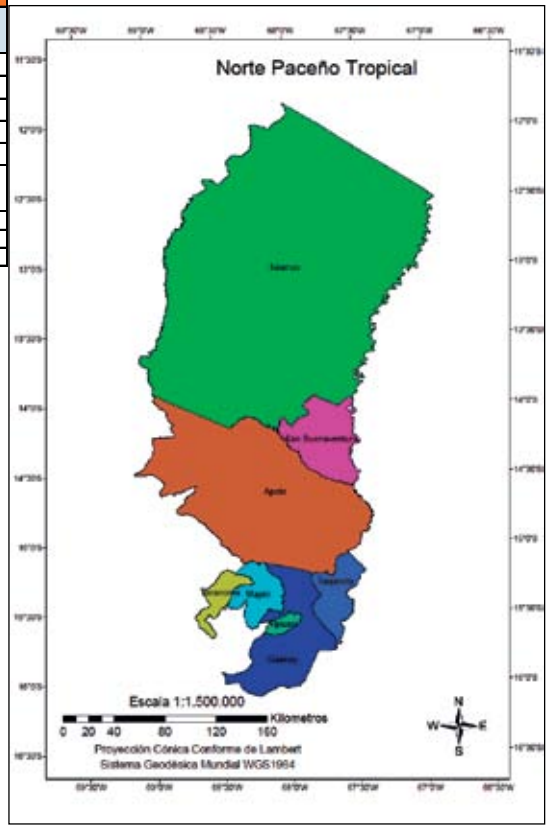
PERIODO	HÍSTORICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
APOLO	NO EXISTEN								
GUANAY									
IXIAMAS									
MAPIRI									
SAN BUENAVENTURA									
TACACOMA	SIN INFORMACIÓN								
TEOPONTE	NO EXISTEN								
TIPUANI									

TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA ANUAL (°C)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
APOLO	36	39	42	37	40	42	39	41	44
GUANAY	36	39	42	37	40	42	39	41	44
IXIAMAS	37	38	40	38	39	41	40	41	43
MAPIRI	36	39	42	37	40	42	39	41	44
SAN BUENAVENTURA	37	38	40	38	39	41	40	41	43
TACACOMA	SIN INFORMACIÓN								
TEOPONTE	36	39	42	37	40	42	39	41	44
TIPUANI	36	39	42	37	40	42	39	41	44

NÚMERO DE DÍAS CALIENTES (Tmax > 25 °C)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
APOLO (Sapecho)	345	349	359	351	356	362	354	361	364
GUANAY	345	349	359	351	356	362	354	361	364
IXIAMAS	326	339	346	338	347	357	341	350	356
MAPIRI Guanay	345	349	359	351	356	362	354	361	364
SAN BUENAVENTURA	326	339	346	338	347	357	341	350	356
TACACOMA	SIN INFORMACIÓN								
TEOPONTE	345	349	359	351	356	362	354	361	364
TIPUANI	345	349	359	351	356	362	354	361	364



SE PRESENTAN LOS LÍMITES DE OCURRENCIA DEL EVENTO EXTREMO DEL ENCABEZADO, POR EJEMPLO PARA EL CASO DEL *NÚMERO DE DÍAS MUY CALIENTES* EN APOLO, LA TABLA MUESTRA QUE DURANTE EL REGISTRO HISTÓRICO SE ENFRENTARON EN APOLO COMO MÍNIMO 345 DÍAS CON TEMPERATURAS > 25 °C, COMO MÁXIMO 359 DÍAS Y QUE LA MEDIANA DEL REGISTRO FUE DE 349 DÍAS. CON LA MISMA LÓGICA PARA 2050, SE ESPERA QUE COMO MÍNIMO SE TENGAN 354 DÍAS CON TEMPERATURAS > 25 °C, UNA MEDIANA DE 361 DÍAS Y COMO MÁXIMO 364 DÍAS CON ESAS TEMPERATURAS. ES DECIR QUE EN ALGUNOS AÑOS LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS SERÁN TODOS LOS DÍAS SUPERIORES A 25 °C.

PERIODO DE RETORNO TEMP. MÁX. EXTREMA (AÑOS)

MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
APOLO	13	7	3
GUANAY	13	7	3
IXIAMAS	30	4	2
MAPIRI	13	7	3
SAN BUENAVENTURA	30	4	2
TACACOMA	SIN INFORMACIÓN		
TEOPONTE	13	7	3
TIPUANI	13	7	3

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Temperatura Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.

APLICACIONES Y USOS DE LOS ÍNDICES

Tmín extrema: Sirve para calcular la importancia de los golpes de frío y su intensidad.
Días con heladas: Muestra si la zona debe trabajar el riesgo de heladas y su duración.
Tmáx extrema: Sirve para calcular la intensidad de los golpes de calor y a qué nivel de trabajo se deberá llegar en la protección contra sequías y olas de calor.
Días de verano: Se utiliza para evaluar probables golpes de calor, es decir, permite identificar periodos con Tmáx extremas.
Días de lluvia muy intensa: Identifica días con lluvias intensas para alertar sobre probables inundaciones.
PPmáx en un día: Se usa en cálculo de avenidas, cálculo de márgenes de inundación, periodos de retorno, etc.
ISID: Muestra la intensidad promedio de lluvia de una zona.

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE · PRRD Programa de Reducción del Riesgo de Desastres · HELVETAS Swiss Intercooperation

OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA PRECIPITACIÓN EN LA MANCOMUNIDAD NORTE PACEÑO TROPICAL

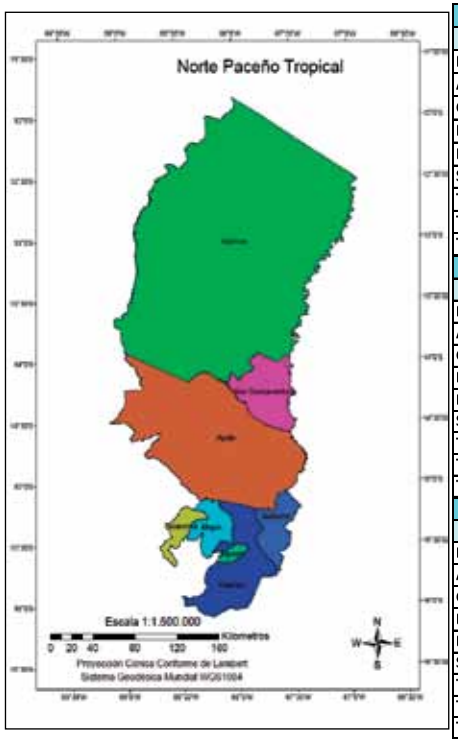
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UN TIPO DE AÑO HIDROLÓGICO EN LOS PERIODOS NOVIEMBRE DICIEMBRE (N-D) Y ENERO A MARZO (E-M)

MUNICIPIO	Tipo de Año	HISTÓRICO N-D	2020 N-D	2050 N-D	HISTÓRICO E-M	2020 E-M	2050 E-M
APOLO	Seco	23,2	25,0	26,8	25,0	25,0	20,2
	Normal	48,2	44,6	44,6	45,2	47,6	47,6
	Húmedo	28,6	30,4	28,6	29,8	27,4	32,1
GUANAY	Seco	19,6	26,8	32,1	22,6	38,1	36,9
	Normal	51,8	51,8	48,2	47,6	42,9	38,1
	Húmedo	28,6	21,4	19,6	29,8	19,0	25,0
IXIAMAS	Seco	23,2	28,6	12,5	25,0	23,8	25,0
	Normal	51,8	48,2	62,5	48,8	48,8	58,3
	Húmedo	25,0	23,2	25,0	26,2	27,4	16,7
MAPIRI	Seco	19,6	26,8	32,1	22,6	38,1	36,9
	Normal	51,8	51,8	48,2	47,6	42,9	38,1
	Húmedo	28,6	21,4	19,6	29,8	19,0	25,0
SAN BUENAVENTURA	Seco	23,2	35,7	33,9	25,0	23,8	25,0
	Normal	51,8	50,0	50,0	50,0	46,4	41,7
	Húmedo	25,0	14,3	16,1	25,0	29,8	33,3
TACACOMA	Seco	23,2	23,2	26,8	25,0	27,4	26,2
	Normal	50,0	48,2	42,9	48,8	52,4	50,0
	Húmedo	26,8	28,6	30,4	26,2	20,2	23,8
TEOPONTE	Seco	19,6	26,8	32,1	22,6	38,1	36,9
	Normal	51,8	51,8	48,2	47,6	42,9	38,1
	Húmedo	28,6	21,4	19,6	29,8	19,0	25,0
TIPUANI	Seco	19,6	26,8	32,1	22,6	38,1	36,9
	Normal	51,8	51,8	48,2	47,6	42,9	38,1
	Húmedo	28,6	21,4	19,6	29,8	19,0	25,0

PERIODO DE RETORNO PP. MÁXIMA EXTREMA (AÑOS)

MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
APOLO	23	17	18
GUANAY	12	17	18
IXIAMAS	10	9	9
MAPIRI	12	17	18
SAN BUENAVENTURA	35	32	18
TACACOMA	9	8	7
TEOPONTE	12	17	18
TIPUANI	12	17	18

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Precipitación Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.



NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA MUY INTENSA (MAYOR A 20 mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
APOLO	16	25	31	15	25	36	16	25	38
GUANAY	32	38	42	25	36	45	25	36	47
IXIAMAS	26	28	30	25	30	38	23	30	40
MAPIRI	32	38	42	25	36	45	25	36	47
SAN BUENAVENTURA	31	41	51	26	39	51	26	39	50
TACACOMA	5	8	13	3	8	13	3	8	14
TEOPONTE	32	38	42	25	36	45	25	36	47
TIPUANI	32	38	42	25	36	45	25	36	47

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EXTREMA ANUAL (mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
APOLO	57	101	136	55	89	136	56	87	134
GUANAY	56	100	137	53	89	133	54	90	132
IXIAMAS	81	115	125	75	104	121	69	98	115
MAPIRI	56	100	137	53	89	133	54	90	132
SAN BUENAVENTURA	105	160	276	104	174	284	112	169	288
TACACOMA	32	50	56	27	45	56	24	47	60
TEOPONTE	56	100	137	53	89	133	54	90	132
TIPUANI	56	100	137	53	89	133	54	90	132

ÍNDICE SIMPLE DE INTENSIDAD DIARIA (mm/día)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
APOLO	13	15	16	12	15	19	11	15	19
GUANAY	18	22	24	17	20	25	17	20	25
IXIAMAS	17	18	21	15	18	21	14	20	25
MAPIRI	18	22	24	17	20	25	17	20	25
SAN BUENAVENTURA	19	24	26	19	23	25	18	23	27
TACACOMA	8	9	10	7	9	10	7	9	10
TEOPONTE	18	22	24	17	20	25	17	20	25
TIPUANI	18	22	24	17	20	25	17	20	25

RESUMEN DE LOS IMPACTOS EN NORTE PACEÑO TROPICAL

El Norte Paceño Tropical tiene tendencia al incremento de sus temperaturas tanto medias como extremas. La duración de sus periodos cálidos no se presenta con cambios extremos, aunque en 2050 podrían existir años en que todos los días se tengan temperaturas muy elevadas. El aumento de la demanda de energía podría ser muy alto, si se prevén sistemas de refrigeración. Lo más probable es que las temperaturas que hoy se consideran muy altas, sean las normales en 2050.

No se prevén cambios significativos en las tormentas muy intensas, pero los años se tornarían más secos al inicio de la época de lluvias y más húmedos en el pico de la estación de lluvias. De esta manera, los últimos meses del año se tendría menor precipitación con una mayor demanda evaporativa, lo que daría lugar a una tendencia a menor escorrentía en ríos (sequías). En el futuro, las sequías podrían ser más frecuentes y más intensas, incrementando el riesgo de incendios al final del año, mientras que la probabilidad de inundaciones se incrementa en los primeros meses del año, lo cual también elevará el riesgo de emergencias sanitarias no solamente para la población humana sino también para los agroecosistemas. El inicio de algunos años podría ser muy seco, por lo que se requiere estar preparados para ambos extremos, reduciéndose la posibilidad de años “normales”. El aumento de extremos meteorológicos puede dar lugar a inundaciones repentinas, tensiones en las planicies de drenaje, cortes de energía y presión permanente para los servicios de defensa civil y brigadas de emergencia.

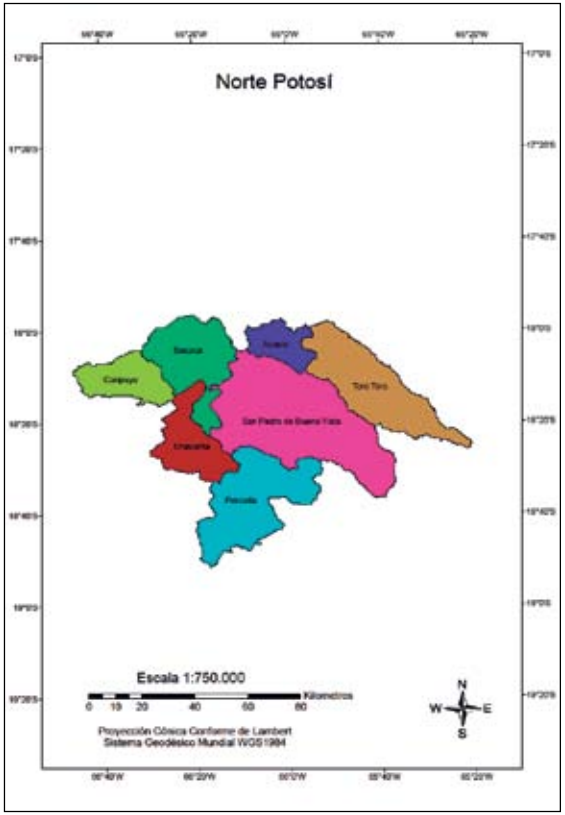
OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA TEMPERATURA EN LA MANCOMUNIDAD NORTE POTOSÍ

TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA ANUAL (°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
SAN PEDRO DE BUENA VISTA	3	4	4	4	5	5	5	7	7
TOROTORO	0	1	1	0	1	2	0	2	4
SACACA	-10	-9	-8	-10	-8	-7	-8	-7	-6
CHAYANTA	-6	-5	-4	-5	-4	-3	-4	-3	-2
CARIPUYO	-6	-5	-4	-5	-4	-3	-4	-3	-2
POCOATA	-6	-5	-4	-5	-4	-3	-4	-3	-2
ACASIO	-9	-7	-7	-8	-6	-6	-7	-5	-4

DÍAS CON HELADAS (Tmin < 0°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
SAN PEDRO DE BUENA VISTA	NO EXISTEN								
TOROTORO									
SACACA	109	117	122	105	119	125	92	104	113
CHAYANTA	62	69	81	49	63	79	22	31	45
CARIPUYO	62	69	81	49	63	79	22	31	45
POCOATA	62	69	81	49	63	79	22	31	45
ACASIO	84	100	114	70	83	99	38	50	62

TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA ANUAL (°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
SAN PEDRO DE BUENA VISTA	33	34	35	34	35	36	36	37	38
TOROTORO	30	31	32	30	32	34	32	33	35
SACACA	25	25	29	23	27	28	25	28	29
CHAYANTA	23	24	25	23	24	25	24	26	27
CARIPUYO	23	24	25	23	24	25	24	26	27
POCOATA	23	24	25	23	24	25	24	26	27
ACASIO	25	27	30	26	28	30	28	29	32

NÚMERO DE DÍAS CALIENTES (Tmax > 25 °C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
SAN PEDRO DE BUENA VISTA	252	259	275	289	297	304	325	335	348
TOROTORO	143	163	168	176	196	213	265	278	292
SACACA	14	19	28	16	24	33	71	98	115
CHAYANTA	0	0	0	0	0	1	0	2	6
CARIPUYO	0	0	0	0	0	1	0	2	6
POCOATA	0	0	0	0	0	1	0	2	6
ACASIO	2	7	13	7	15	27	33	47	68



SE PRESENTAN LOS LÍMITES DE OCURRENCIA DEL EVENTO EXTREMO DEL ENCABEZADO, POR EJEMPLO PARA EL CASO DEL *DÍAS CON HELADAS* SE ESTABLECE QUE EN SACACA DURANTE EL REGISTRO HISTÓRICO SE ENFRENTARON COMO MÍNIMO 109 DÍAS CON TEMPERATURAS < 0°C, COMO MÁXIMO 298 DÍAS Y QUE LA MEDIANA DEL REGISTRO FUE DE 270 DÍAS. CON LA MISMA LÓGICA PARA 2050, SE ESPERA QUE COMO MÍNIMO SE TENGAN 92 DÍAS CON TEMPERATURAS < 0 °C, UNA MEDIANA DE 104 DÍAS Y COMO MÁXIMO SE ENFRENTEN 113 DÍAS CON ESAS TEMPERATURAS, ES DECIR QUE EL NÚMERO DE DE DÍAS CON HELADAS HABRÁ BAJADO EN LA ZONA EN PROMEDIO EN ALREDEDOR DE 15 DÍAS.

PERIODO DE RETORNO TEMP. MÁX. EXTREMA (AÑOS)			
MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
SAN PEDRO DE BUENA VISTA	4	2	1
TOROTORO	7	2	1
SACACA	15	5	3
CHAYANTA	30	15	1
CARIPUYO	30	15	1
POCOATA	30	15	1
ACASIO	12	7	2

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Temperatura Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.

APLICACIONES Y USOS DE LOS ÍNDICES

Tmín extrema: Sirve para calcular la importancia de los golpes de frío y su intensidad.
Días con heladas: Muestra si la zona debe trabajar el riesgo de heladas y su duración.
Tmáx extrema: Sirve para calcular la intensidad de los golpes de calor y a qué nivel de trabajo se deberá llegar en la protección contra sequías y olas de calor.
Días de verano: Se utiliza para evaluar probables golpes de calor, es decir, permite identificar periodos con Tmáx extremas.
Días de lluvia muy intensa: Identifica días con lluvias intensas para alertar sobre probables inundaciones.
PPmáx en un día: Se usa en cálculo de avenidas, cálculo de márgenes de inundación, periodos de retorno, etc.
ISID: Muestra la intensidad promedio de lluvia de una zona.

OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA PRECIPITACIÓN EN LA MANCOMUNIDAD NORTE POTOSÍ

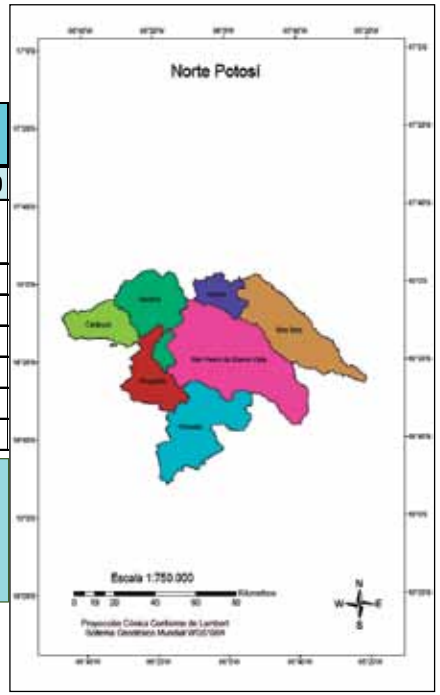
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (%) DE UN TIPO DE AÑO HIDROLÓGICO EN LOS PERIODOS NOVIEMBRE DICIEMBRE (N-D) Y ENERO A MARZO (E-M)

MUNICIPIO	Tipo de Año	HISTÓRICO N-D	2020 N-D	2050 N-D	HISTÓRICO E-M	2020 E-M	2050 E-M
SAN PEDRO DE B.VISTA	Seco	23,2	19,6	26,8	25,0	29,8	27,4
	Normal	48,2	51,8	51,8	48,8	44,0	42,9
	Húmedo	28,6	28,6	21,4	26,2	26,2	29,8
TOROTORO	Seco	17,9	8,9	16,1	23,8	29,8	26,2
	Normal	50,0	64,3	64,3	46,4	41,7	42,9
	Húmedo	32,1	26,8	19,6	29,8	28,6	31,0
SACACA	Seco	21,4	23,2	26,8	26,2	29,8	28,6
	Normal	39,3	57,1	58,9	33,3	36,9	35,7
	Húmedo	39,3	19,6	14,3	40,5	33,3	35,7
ACASIO	Seco	23,2	37,5	41,1	23,8	10,7	10,7
	Normal	48,2	39,3	35,7	48,8	27,4	27,4
	Húmedo	28,6	23,2	23,2	27,4	61,9	61,9
CHAYANTA	Seco	21,4	33,9	33,9	22,6	38,1	38,1
	Normal	46,4	46,4	46,4	45,2	45,2	46,4
	Húmedo	32,1	19,6	19,6	32,1	16,7	15,5
CARIPUYO	Seco	21,4	33,9	33,9	22,6	38,1	38,1
	Normal	46,4	46,4	46,4	45,2	45,2	46,4
	Húmedo	32,1	19,6	19,6	32,1	16,7	15,5
POCOATA	Seco	21,4	33,9	33,9	22,6	38,1	38,1
	Normal	46,4	46,4	46,4	45,2	45,2	46,4
	Húmedo	32,1	19,6	19,6	32,1	16,7	15,5

PERIODO DE RETORNO PP. MÁXIMA EXTREMA (AÑOS)

MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
SAN PEDRO DE BUENA VISTA	15	13	12
TOROTORO	30	28	28
SACACA	13	10	9
CHAYANTA	8	4	5
CARIPUYO	8	4	5
POCOATA	8	4	5
ACASIO	31	29	26

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Precipitación Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.



NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA MUY INTENSA (MAYOR A 20 mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
SAN PEDRO DE BUENA VISTA	4	10	15	3	10	15	4	10	17
TOROTORO	10	13,5	20	8	16	28	8	16	30
SACACA	4	10	17	4	9,5	19	4	10	20
CHAYANTA	4	7,5	11	2	6	11	1	6	13
CARIPUYO	4	7,5	11	2	6	11	1	6	13
POCOATA	4	7,5	11	2	6	11	1	6	13
ACASIO	8	12	18	6	14	20	6	14	21

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EXTREMA ANUAL (mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
SAN PEDRO DE BUENA VISTA	12	42	50	13	40	48	10	40	50
TOROTORO	13	37	50	10	33	50	11	27	51
SACACA	16	41	49	14	40	47	12	40	46
CHAYANTA	25	34	37	21	34	47	19	34	50
CARIPUYO	25	34	37	21	34	47	19	34	50
POCOATA	25	34	37	21	34	47	19	34	50
ACASIO	11	39	48	11	40	50	12	38	48

ÍNDICE SIMPLE DE INTENSIDAD DIARIA (mm/día)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
SAN PEDRO DE BUENA VISTA	9	10	13	9	10	12	9	10	12
TOROTORO	13	14	17	11	14	17	11	14	18
SACACA	8	9	11	7	9	11	7	9	11
CHAYANTA	7	8	9	6	8	9	6	8	9
CARIPUYO	7	8	9	6	8	9	6	8	9
POCOATA	7	8	9	6	8	9	6	8	9
ACASIO	11	12	14	10	12	13	10	12	13

RESUMEN DE LOS IMPACTOS EN LA MANCOMUNIDAD NORTE POTOSÍ

Los municipios de valles en Norte Potosí presentan baja probabilidad de heladas y aumenta su ocurrencia en las zonas más altas. Las heladas de mayor intensidad ocurren en invierno, reduciendo su impacto durante el ciclo vegetativo. Cambios en el comportamiento de heladas podrían inducir a una rápida migración de los ecosistemas y sistemas productivos, con sus consecuencias sanitarias, agrícolas y sociales tanto positivas como negativas. La duración de sus periodos cálidos muestra incrementos de hasta 100 días de temperaturas muy elevadas en comparación a lo que pasa en el periodo histórico, lo cual incrementará el estrés sobre los cultivos y el riesgo de pérdida debido a la falta de agua. Actualmente, la zona presenta alta aridez, con períodos calientes cortos, lo que podría cambiar en el futuro. Lo más probable es que las temperaturas que hoy se consideran muy altas, sean las normales en 2050. Este cambio también pueden contribuir a la propagación de enfermedades transmitidas por vectores, enfermedades transmitidas por el agua y por los alimentos provocando emergencias sanitarias mayores a las actuales.

No se prevén cambios significativos en las tormentas muy intensas, pero las precipitaciones que hoy se consideran extremas podrían ser más comunes en el futuro. Los años se tornarían más secos al inicio de la época de lluvias y más húmedos en el pico de la estación de lluvias. De esta manera los últimos meses del año se tendría una mayor demanda evaporativa, lo que daría lugar a una tendencia a menor escorrentía en ríos (sequías) y altas probabilidades de fracaso de los cultivos a secano. Las avenidas tienen una elevada probabilidad de ocurrencia en los primeros meses del año, especialmente en municipios con pendientes elevadas, lo cual también elevará el riesgo de daños a las infraestructuras, a la población humana y también a los agroecosistemas. En los primeros meses del año, algunos años, también podrían presentarse muy secos, por lo que se requiere estar preparados para ambos extremos.

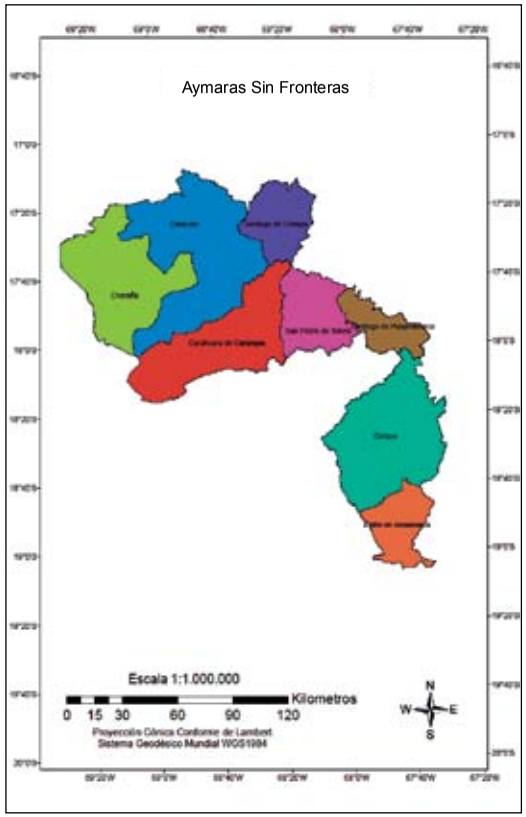
OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA TEMPERATURA EN LA MANCOMUNIDAD AYMARAS SIN FRONTERAS

TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA ANUAL (°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
BELEN DE ANDAMARCA	-18	-17	-15	-18	-16	-11	-16	-15	-9
CALACOTO	-20	-17	-14	-18	-16	-13	-18	-14	-12
CALLAPA	-20	-17	-14	-18	-16	-13	-18	-14	-12
CHARAÑA	-19	-16	-14	-18	-16	-13	-17	-14	-12
CORQUE	-18	-17	-15	-18	-16	-11	-16	-15	-9
CURAHUARA	-18	-17	-15	-18	-16	-11	-16	-15	-9
HUAYLLAMARCA	-18	-17	-15	-18	-16	-11	-16	-15	-9
SAN PEDRO DE TOTORA	-18	-17	-15	-18	-16	-11	-16	-15	-9

DÍAS CON HELADAS (Tmín < 0°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
BELEN DE ANDAMARCA	245	270	298	230	255	288	170	195	225
CALACOTO	191	218	252	180	201	245	140	175	205
CALLAPA	191	218	252	180	201	245	140	175	205
CHARAÑA	248	267	291	215	255	275	170	195	225
CORQUE	245	270	298	230	255	288	170	195	225
CURAHUARA	245	270	298	230	255	288	170	195	225
HUAYLLAMARCA	245	270	298	230	255	288	170	195	225
SAN PEDRO DE TOTORA	245	270	298	230	255	288	170	195	225

TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA ANUAL (°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
BELEN DE ANDAMARCA	21	23	23	23	24	24	23	25	26
CALACOTO	22	24	26	23	25	26	23	26	27
CALLAPA	22	24	26	23	25	26	23	26	27
CHARAÑA	23	25	26	24	26	26	24	27	28
CORQUE	21	23	23	23	24	24	23	25	26
CURAHUARA	22	23	27	24	26	26	23	26	28
HUAYLLAMARCA	21	23	23	23	24	24	23	25	26
SAN PEDRO DE TOTORA	22	23	27	24	26	26	23	26	28

NÚMERO DE DÍAS CALIENTES (Tmax > 25 °C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
BELEN DE ANDAMARCA	0	0	2	0	1	4	0	2	6
CALACOTO	0	0	1	0	1	4	0	2	6
CALLAPA	0	0	1	0	1	4	0	2	6
CHARAÑA	0	0	4	0	1	4	0	2	6
CORQUE	0	0	2	0	1	4	0	2	6
CURAHUARA	0	0	3	0	1	4	0	1	5
HUAYLLAMARCA	0	0	2	0	1	4	0	2	6
SAN PEDRO DE TOTORA	0	0	3	0	1	4	0	1	5



SE PRESENTAN LOS LÍMITES DE OCURRENCIA DEL EVENTO EXTREMO DEL ENCABEZADO, POR EJEMPLO PARA EL CASO DEL *NÚMERO DE DÍAS MUY CALIENTES* EN CHARAÑA, LA TABLA MUESTRA QUE DURANTE EL REGISTRO HISTÓRICO SE ENFRENTARON EN CHARAÑA COMO MÍNIMO 0 DÍAS CON TEMPERATURAS > 25 ℃ COMO MÁXIMO 4 DÍAS Y QUE LA MEDIANA DEL REGISTRO FUE DE 0 DÍAS. CON LA MISMA LÓGICA PARA 2050, SE ESPERA QUE COMO MÍNIMO SE TENGAN 0 DÍAS CON TEMPERATURAS > 25 ° C, UNA MEDIANA DE 2 DÍAS Y COMO MÁXIMO 6 DÍAS CON ESAS TEMPERATURAS.

PERIODO DE RETORNO TEMP. MÁX. EXTREMA (AÑOS)			
MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
BELEN DE ANDAMARCA	9	3	2
CALACOTO	5	2	2
CALLAPA	5	2	2
CHARAÑA	8	4	2
CORQUE	9	3	2
CURAHUARA	10	4	2
HUAYLLAMARCA	9	3	2
SAN PEDRO DE TOTORA	10	4	2

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Temperatura Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.

APLICACIONES Y USOS DE LOS ÍNDICES

Tmín extrema: Sirve para calcular la importancia de los golpes de frío y su intensidad.
Días con heladas: Muestra si la zona debe trabajar el riesgo de heladas y su duración.
Tmáx extrema: Sirve para calcular la intensidad de los golpes de calor y a qué nivel de trabajo se deberá llegar en la protección contra sequías y olas de calor.
Días de verano: Se utiliza para evaluar probables golpes de calor, es decir, permite identificar periodos con Tmáx extremas.
Días de lluvia muy intensa: Identifica días con lluvias intensas para alertar sobre probables inundaciones.
PPmáx en un día: Se usa en cálculo de avenidas, cálculo de márgenes de inundación, periodos de retorno, etc.
ISID: Muestra la intensidad promedio de lluvia de una zona.

OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA PRECIPITACIÓN EN LA MANCOMUNIDAD AYMARAS SIN FRONTERAS

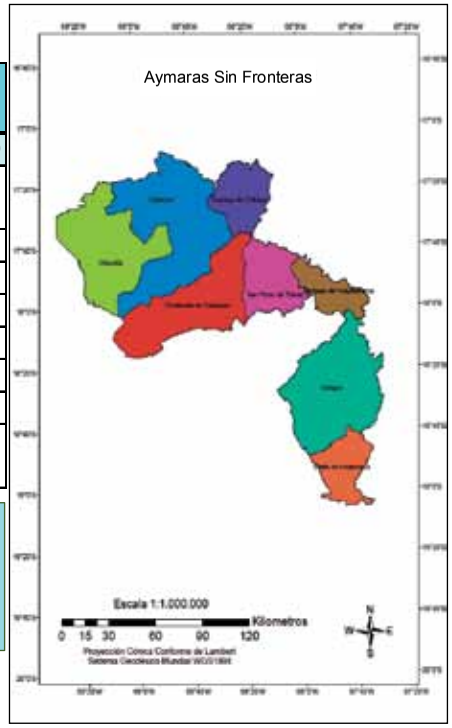
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (%) DE UN TIPO DE AÑO HIDROLÓGICO EN LOS PERIODOS NOVIEMBRE DICIEMBRE (N-D) Y ENERO A MARZO (E-M)

MUNICIPIO	Tipo de Año	HISTÓRICO N-D	2020 N-D	2050 N-D	HISTÓRICO E-M	2020 E-M	2050 E-M
BELEN DE ANDAMAR.	Seco	19,6	25,0	30,4	25,0	31,0	25,0
	Normal	48,2	50,0	50,0	45,2	53,6	60,7
	Húmedo	32,1	25,0	19,6	29,8	15,5	14,3
CALACOTO	Seco	24,6	30,0	33,4	25,0	31,0	25,0
	Normal	58,2	60,0	50,0	45,2	53,6	60,7
	Húmedo	27,1	20,0	17,6	29,8	15,5	14,3
CALLAPA	Seco	24,6	30,0	33,4	25,0	31,0	25,0
	Normal	58,2	60,0	50,0	45,2	53,6	60,7
	Húmedo	27,1	20,0	17,6	29,8	15,5	14,3
CHARAÑA	Seco	10,7	37,5	46,4	26,2	45,2	48,8
	Normal	50,0	14,3	17,9	33,3	42,9	42,9
	Húmedo	39,3	48,2	35,7	40,5	11,9	8,3
CORQUE	Seco	19,6	25,0	30,4	25,0	31,0	25,0
	Normal	48,2	50,0	50,0	45,2	53,6	60,7
	Húmedo	32,1	25,0	19,6	29,8	15,5	14,3
CURAHUARA	Seco	10,7	37,5	46,4	26,2	45,2	48,8
	Normal	50,0	14,3	17,9	33,3	42,9	42,9
	Húmedo	39,3	48,2	35,7	40,5	11,9	8,3
HUAYLLA MARCA	Seco	19,6	25,0	30,4	25,0	31,0	25,0
	Normal	48,2	50,0	50,0	45,2	53,6	60,7
	Húmedo	32,1	25,0	19,6	29,8	15,5	14,3
SN. PEDRO TOTORA	Seco	10,7	37,5	46,4	26,2	45,2	48,8
	Normal	50,0	14,3	17,9	33,3	42,9	42,9
	Húmedo	39,3	48,2	35,7	40,5	11,9	8,3

PERIODO DE RETORNO PP. MÁXIMA EXTREMA (AÑOS)

MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
BELEN DE ANDAMARCA	9	8	10
CALACOTO	12	13	14
CALLAPA	12	13	14
CHARAÑA	11	11	12
CORQUE	9	8	10
CURAHUARA	12	12	13
HUAYLLAMARCA	9	8	10
SAN PEDRO DE TOTORA	12	12	13

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Precipitación Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.



NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA MUY INTENSA (MAYOR A 20 mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
BELEN DE ANDAMARCA	0	2,5	6	0	2	6	0	2	8
CALACOTO	0	2	8	0	2	9	0	2	11
CALLAPA	0	2	8	0	2	9	0	2	11
CHARAÑA	0	0	2	0	1	3	0	1	6
CORQUE	0	2,5	6	0	2	6	0	2	8
CURAHUARA	0	3	7	0	3	7	0	3	9
HUAYLLAMARCA	0	2,5	6	0	2	6	0	2	8
SAN PEDRO DE TOTORA	0	3	7	0	3	7	0	3	9

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EXTREMA ANUAL (mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
BELEN DE ANDAMARCA	19	28	34	9	26	39	9	27	40
CALACOTO	14	24	39	15	25	40	18	24	39
CALLAPA	14	24	39	15	25	40	18	24	39
CHARAÑA	12	20	33	13	21	34	19	24	36
CORQUE	19	28	34	9	26	39	9	27	40
CURAHUARA	18	33	37	16	32	37	16	32	37
HUAYLLAMARCA	19	28	34	9	26	39	9	27	40
SAN PEDRO DE TOTORA	18	33	37	16	32	37	16	32	37

ÍNDICE SIMPLE DE INTENSIDAD DIARIA (mm/día)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
BELEN DE ANDAMARCA	6	7	10	5	6	10	5	6	11
CALACOTO	4	5	7	3	6	8	4	6	9
CALLAPA	4	5	7	3	6	8	4	6	9
CHARAÑA	4	6	8	4	6	8	4	7	9
CORQUE	6	7	10	5	6	10	5	6	11
CURAHUARA	5	6	7	4	5	8	3	5	9
HUAYLLAMARCA	6	7	10	5	6	10	5	6	11
SAN PEDRO DE TOTORA	5	6	7	4	5	8	3	5	9

RESUMEN DE LOS IMPACTOS EN LA MANCOMUNIDAD AYMARAS SIN FRONTERAS

En el territorio de la Mancomunidad Aymaras Sin Fronteras continuará la tendencia al incremento de las temperaturas máximas y mínimas. Sin embargo, es posible enfrentar días con alta insolación, especialmente al inicio de la época de cultivo (noviembre a diciembre) cuando la precipitación tiende a reducir, por lo que habría menor nubosidad y mayor incidencia de radiación. Existe alta probabilidad de reducir el número de días con heladas, mejorando la aptitud agrícola con las amenazas latentes de heladas y sequías. Durante el verano será posible introducir nuevos cultivos y nueva vegetación silvestre podrían migrar a zonas de mayor altitud, pero sufrir daños durante el invierno por las heladas que todavía serán muy intensas. Permanecerá la época de estiaje con baja disponibilidad de forraje para el ganado. Debe considerarse el riesgo latente de problemas zoo y fitosanitarios debido al proceso de adaptación natural de patógenos y vectores a los cambios en los rangos de temperatura mínimas, lo que no permite controlar la emergencia de éstos. Por otra parte, las temperaturas ya no serán limitantes para la agricultura en verano. Las precipitaciones extremas podrían ser más frecuentes por la mayor presencia de eventos convectivos de repentina formación. La perspectiva de tener años más secos al inicio de la época de lluvias se incrementará y es probable la menor cantidad de años con lluvia suficiente en esta época. La amenaza de sequía también se incrementará durante la época de lluvias, así como la probabilidad de enfrentar años secos. En esta zona deberá considerarse como prioridad el manejo de agua, tanto para riego como para consumo animal.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE

PRRD Programa de Reducción del Riesgo de Desastres

HELVETAS Swiss Intercooperation

OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA TEMPERATURA EN LA MANCOMUNIDAD GRAN CENTRO POTOSÍ

TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA ANUAL (°C)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
BETANZOS	-10	-8	-4	-10	-6	-4	-8	-4	-2
CAIZA D	-10	-8	-4	-10	-6	-4	-8	-4	-2
CHAQUI	-10	-8	-4	-10	-6	-4	-8	-4	-2
PORCO	-12	-10	-8	-11	-9	-7	-9	-7	-5
PUNA	-12	-9	-7	-11	-8	-6	-9	-6	-4
TACOBAMBA	-12	-10	-8	-11	-9	-7	-9	-7	-5
TINQUIPAYA	-5	-4	-3	-5	-4	-3	-3	-2	-1
TOMAVE	-12	-10	-8	-11	-9	-7	-9	-7	-5
URMIRI	-12	-10	-8	-11	-9	-7	-9	-7	-5
YOCALLA	-12	-10	-8	-11	-9	-7	-9	-7	-5

DIAS CON HELADAS (Tmín < 0°C)

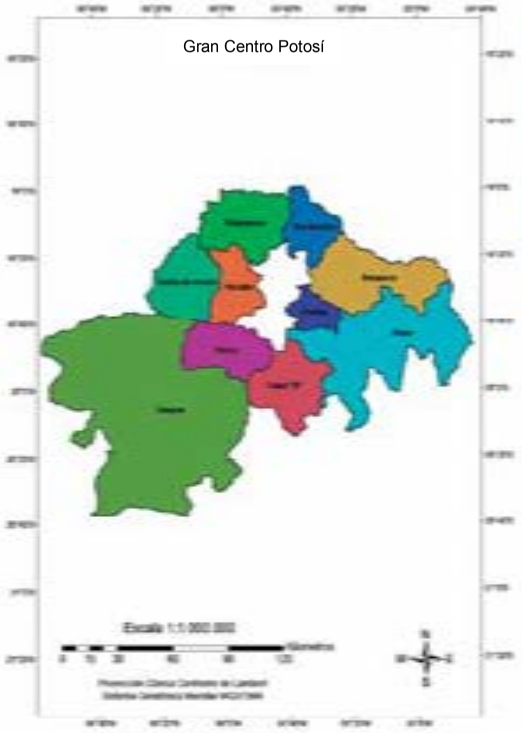
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
BETANZOS	26	38	49	15	22	30	3	8	13
CAIZA D	26	38	49	15	22	30	3	8	13
CHAQUI	26	38	49	15	22	30	3	8	13
PORCO	97	110	125	74	96	104	48	61	79
PUNA	85	93	100	57	70	84	26	39	55
TACOBAMBA	97	110	125	74	96	104	48	61	79
TINQUIPAYA	37	48	55	23	44	50	9	20	34
TOMAVE	97	110	125	74	96	104	48	61	79
URMIRI	97	110	125	74	96	104	48	61	79
YOCALLA	97	110	125	74	96	104	48	61	79

TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA ANUAL (°C)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
BETANZOS	25	27	28	26	27	29	28	29	29
CAIZA D	25	27	28	26	27	29	28	29	29
CHAQUI	25	27	28	26	27	29	28	29	29
PORCO	25	27	28	26	27	29	28	29	29
PUNA	27	27	29	27	28	30	29	29	30
TACOBAMBA	27	27	29	27	28	30	29	29	30
TINQUIPAYA	27	27	29	27	28	30	29	29	30
TOMAVE	27	27	29	27	28	30	29	29	30
URMIRI	27	27	29	27	28	30	29	29	30
YOCALLA	27	27	29	27	28	30	29	29	30

NÚMERO DE DÍAS CALIENTES (Tmáx > 25 °C)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
BETANZOS	1	4	10	4	8	17	17	27	40
CAIZA D	0	0	1	0	0	1	2	5	10
CHAQUI	1	4	10	4	8	17	17	27	40
PORCO	0	0	1	0	0	1	2	5	10
PUNA	7	11	16	13	23	36	42	55	69
TACOBAMBA	8	17	27	20	32	46	65	83	110
TINQUIPAYA	7	11	16	13	23	36	42	55	69
TOMAVE	1	4	10	4	8	17	17	27	40
URMIRI	1	4	10	4	8	17	17	27	40
YOCALLA	8	17	27	20	32	46	65	83	110



SE PRESENTAN LOS LÍMITES DE OCURRENCIA DEL EVENTO EXTREMO DEL ENCABEZADO, POR EJEMPLO PARA EL EVENTO *DÍAS CON HELADAS* SE ESTABLECE QUE EN BETANZOS EN EL PERIODO HISTÓRICO SE ENFRENTARON COMO MÍNIMO 26 DÍAS CON TEMPERATURAS < 0 °C, QUE LA MEDIANA FUE DE 38 DÍAS Y QUE COMO MÁXIMO SE TUVIERON 49 DÍAS CON HELADA EN EL MUNICIPIO. CON LA MISMA LÓGICA PARA 2050, SE ESPERA QUE COMO MÍNIMO SE ENFRENTE 3 DÍAS CON HELADAS, QUE LA MEDIANA SEA DE 8 DÍAS Y COMO MÁXIMO SE ENFRENTEN 13 DÍAS CON ESAS TEMPERATURAS. ES DECIR QUE EL NÚMERO DE DÍAS CON HELADAS BAJARÍA EN LA ZONA CASI EN UN MES.

PERIODO DE RETORNO TEMP. MÁX. EXTREMA (AÑOS)

MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
BETANZOS	14	9	2
CAIZA D	14	9	2
CHAQUI	14	9	2
PORCO	19	14	3
PUNA	15	10	3
TACOBAMBA	19	14	3
TINQUIPAYA	22	15	2
TOMAVE	19	14	3
URMIRI	19	14	3
YOCALLA	19	14	3

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Temperatura Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.

APLICACIONES Y USOS DE LOS ÍNDICES

Tmín extrema: Sirve para calcular la importancia de los golpes de frío y su intensidad.
Días con heladas: Muestra si la zona debe trabajar el riesgo de heladas y su duración.
Tmáx extrema: Sirve para calcular la intensidad de los golpes de calor y a qué nivel de trabajo se deberá llegar en la protección contra sequías y olas de calor.
Días de verano: Se utiliza para evaluar probables golpes de calor, es decir, permite identificar periodos con Tmáx extremas.
Días de lluvia muy intensa: Identifica días con lluvias intensas para alertar sobre probables inundaciones.
PPmáx en un día: Se usa en cálculo de avenidas, cálculo de márgenes de inundación, periodos de retorno, etc.
IS10: Muestra la intensidad promedio de lluvia de una zona.

OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA PRECIPITACIÓN EN LA MANCOMUNIDAD GRAN CENTRO POTOSÍ

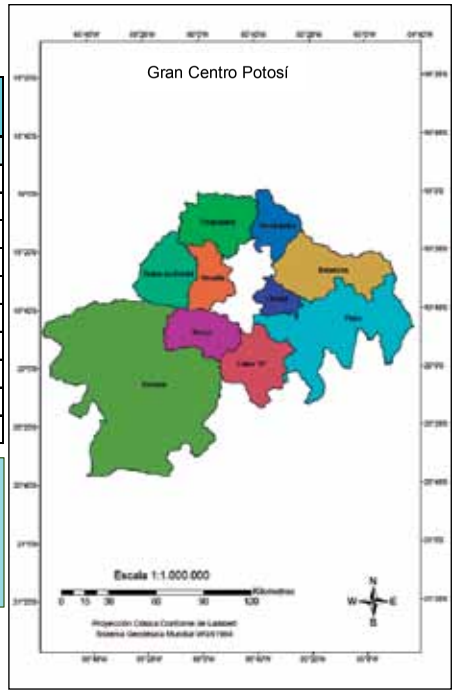
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (%) DE UN TIPO DE AÑO HIDROLÓGICO EN LOS PERIODOS NOVIEMBRE DICIEMBRE (N-D) Y ENERO A MARZO (E-M)

MUNICIPIO	Tipo de Año	HISTÓRICO N-D	2020 N-D	2050 N-D	HISTÓRICO E-M	2020 E-M	2050 E-M
BETANZOS	Seco	10,7	32,1	32,1	22,6	26,2	23,8
	Normal	60,7	48,2	50,0	47,6	52,4	53,6
	Húmedo	28,6	19,6	17,9	29,8	21,4	22,6
CAIZA D	Seco	25,0	21,4	21,4	25,0	28,6	28,6
	Normal	50,0	35,7	46,4	50,0	52,4	51,2
	Húmedo	25,0	42,9	32,1	25,0	19,0	20,2
CHAQUÍ	Seco	25,0	32,1	37,5	25,0	26,2	28,6
	Normal	50,0	42,9	46,4	50,0	47,6	44,0
	Húmedo	25,0	25,0	16,1	25,0	26,2	27,4
PORCO	Seco	10,7	37,5	46,4	26,2	45,2	48,8
	Normal	50,0	14,3	17,9	33,3	42,9	42,9
	Húmedo	39,3	48,2	35,7	40,5	11,9	8,3
PUNA	Seco	21,4	23,2	33,9	25,0	17,9	16,7
	Normal	53,6	46,4	41,1	47,6	56,0	51,2
	Húmedo	25,0	30,4	25,0	27,4	26,2	32,1
TACOBAMBA	Seco	23,2	25,0	26,8	22,6	21,4	19,0
	Normal	50,0	39,3	48,2	51,2	59,5	56,0
	Húmedo	26,8	35,7	25,0	26,2	19,0	25,0
TINGUIPAYA	Seco	23,2	25,0	26,8	22,6	21,4	19,0
	Normal	50,0	39,3	48,2	51,2	59,5	56,0
	Húmedo	26,8	35,7	25,0	26,2	19,0	25,0
TOMAVE	Seco	23,2	25,0	26,8	22,6	21,4	19,0
	Normal	50,0	39,3	48,2	51,2	59,5	56,0
	Húmedo	26,8	35,7	25,0	26,2	19,0	25,0
URMIRI	Seco	23,2	25,0	26,8	22,6	21,4	19,0
	Normal	50,0	39,3	48,2	51,2	59,5	56,0
	Húmedo	26,8	35,7	25,0	26,2	19,0	25,0
YOCALLA	Seco	23,2	25,0	26,8	22,6	21,4	19,0
	Normal	50,0	39,3	48,2	51,2	59,5	56,0
	Húmedo	26,8	35,7	25,0	26,2	19,0	25,0

PERIODO DE RETORNO PP. MÁXIMA EXTREMA (AÑOS)

MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
BETANZOS	15	14	12
CAIZA D	36	37	30
CHAQUI	15	13	12
PORCO	19	18	15
PUNA	36	34	28
TACOBAMBA	19	18	15
TINQUIPAYA	31	30	24
TOMAVE	19	18	15
URMIRI	19	18	15
YOCALLA	19	18	15

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Precipitación Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.



NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA MUY INTENSA (MAYOR A 20 mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
BETANZOS	0	4	7	0	4	7	0	4	7
CAIZA D	0	4,5	9	0	4,5	10	0	4,5	10
CHAQUI	1	5	7	1	5	8	1	5	8
PORCO	1	3	5	0	3	7	0	3	7
PUNA	0	3	8	0	3,5	7	0	3	8
TACOBAMBA	1	3	5	0	3	7	0	3	7
TINQUIPAYA	1	4	7	1	4	7	1	4	7
TOMAVE	1	3	5	0	3	7	0	3	7
URMIRI	1	3	5	0	3	7	0	3	7
YOCALLA	1	3	5	0	3	7	0	3	7

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EXTREMA ANUAL (mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
BETANZOS	23	36	43	22	37	43	19	33	44
CAIZA D	19	38	63	19	41	62	19	41	66
CHAQUI	23	34	40	23	35	39	22	36	40
PORCO	21	27	38	20	28	36	19	28	39
PUNA	17	28	41	17	33	41	17	32	44
TACOBAMBA	21	27	38	20	28	36	19	28	39
TINQUIPAYA	21	40	59	20	37	65	21	38	66
TOMAVE	21	27	38	20	28	36	19	28	39
URMIRI	21	27	38	20	28	36	19	28	39
YOCALLA	21	27	38	20	28	36	19	28	39

ÍNDICE SIMPLE DE INTENSIDAD DIARIA (mm/día)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
BETANZOS	6	8	9	5	8	10	5	8	10
CAIZA D	6	9	14	7	10	14	7	10	14
CHAQUI	5	6	8	5	6	9	5	6	9
PORCO	5	6	8	4	6	8	4	6	9
PUNA	5	6	9	5	6	9	5	6	10
TACOBAMBA	5	6	8	4	6	8	4	6	9
TINQUIPAYA	6	7	11	6	7	10	6	7	11
TOMAVE	5	6	8	4	6	8	4	6	9
URMIRI	5	6	8	4	6	8	4	6	9
YOCALLA	5	6	8	4	6	8	4	6	9

RESUMEN DE LOS IMPACTOS EN GRAN CENTRO POTOSÍ

En la Mancomunidad Gran Centro de Potosí se reducirá la intensidad de las heladas. La cantidad de días muy calientes incrementa significativamente, por lo que aumentará la demanda de agua. Aunque la temperatura máxima no se elevará significativamente, los periodos calientes serán más largos. Este cambio implica probables migraciones de los ecosistemas y de los sistemas productivos. Actualmente, la zona es árida con periodos calientes cortos, pero probablemente cambie este patrón en el futuro. Los últimos meses del año se tendría menor precipitación con una mayor demanda evaporativa por las temperaturas elevadas durante periodos largos, lo que daría lugar a una reducción del caudal en los ríos. Por la ocurrencia de sequías, existe alta probabilidad de pérdida en cultivos a secano. En el periodo de mayor precipitación (enero a marzo) existe mayor probabilidad de ocurrencia de mazamorras, especialmente en los municipios que tienen pendientes elevadas, lo que afectará la infraestructura, los asentamientos humanos y sus agroecosistemas.

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE · PRRD Programa de Reducción del Riesgo de Desastres · HELVETAS Swiss Intercooperation

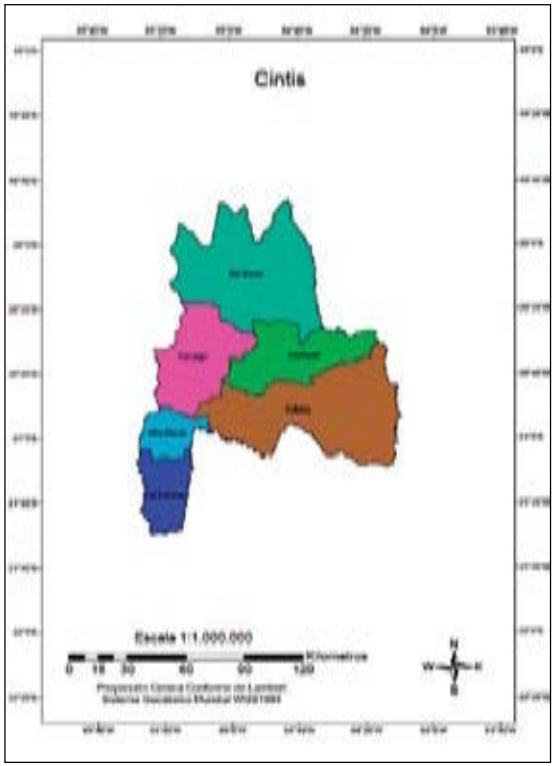
OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA TEMPERATURA EN LA MANCOMUNIDAD CINTIS

TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA ANUAL (°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
CAMARGO	4	6	7	4	7	14	6	9	10
CULPINA	4	6	7	4	7	14	6	9	10
INCAHUASI	4	6	7	4	7	14	6	9	10
LAS CARRERAS	4	6	7	4	7	14	6	9	10
SAN LUCAS	4	6	7	4	7	14	6	9	10
VILLA ABECIA	4	6	7	4	7	14	6	9	10

DÍAS CON HELADAS (Tmin < 0°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
CAMARGO	58	62	73	42	55	68	22	36	47
CULPINA	66	72	89	43	57	70	21	30	43
INCAHUASI	66	72	89	43	57	70	21	30	43
LAS CARRERAS	58	62	73	42	55	68	22	36	47
SAN LUCAS	58	62	73	42	55	68	22	36	47
VILLA ABECIA	58	62	73	42	55	68	22	36	47

TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA ANUAL (°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
CAMARGO	30	32	33	31	32	34	32	33	35
CULPINA	28	29	30	29	30	31	30	31	33
INCAHUASI	28	29	30	29	30	31	30	31	33
LAS CARRERAS	28	29	30	29	30	31	30	31	33
SAN LUCAS	30	32	33	31	32	34	32	33	35
VILLA ABECIA	30	32	33	31	32	34	32	33	35

NÚMERO DE DÍAS CALIENTES (Tmáx > 25 °C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
CAMARGO	129	146	157	159	177	195	230	253	276
CULPINA	13	20	27	25	35	48	66	85	94
INCAHUASI	13	20	27	25	35	48	66	85	94
LAS CARRERAS	129	146	157	159	177	195	230	253	276
SAN LUCAS	129	146	157	159	177	195	230	253	276
VILLA ABECIA	129	146	157	159	177	195	230	253	276



SE PRESENTAN LOS LÍMITES DE OCURRENCIA DEL EVENTO EXTREMO DEL ENCABEZADO, POR EJEMPLO PARA EL EVENTO *DÍAS CON HELADAS* SE ESTABLECE QUE EN CAMARGO EN EL PERIODO HISTÓRICO SE ENFRENTARON COMO MÍNIMO 58 DÍAS CON TEMPERATURAS < 0 °C, QUE LA MEDIANA FUE DE 62 DÍAS Y QUE COMO MÁXIMO SE TUVIERON 73 DÍAS CON HELADA EN EL MUNICIPIO. CON LA MISMA LÓGICA PARA 2050, SE ESPERA QUE COMO MÍNIMO SE ENFRENTE 22 DÍAS CON HELADAS, QUE LA MEDIANA SEA DE 36 DÍAS Y COMO MÁXIMO SE ENFRENTEN 47 DÍAS CON ESAS TEMPERATURAS. ES DECIR QUE EL NÚMERO DE DIAS CON HELADAS BAJARÍA EN LA ZONA CASI EN UN MES.

PERIODO DE RETORNO TEMP. MÁX. EXTREMA (AÑOS)			
MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
CAMARGO	20	9	2
CULPINA	10	7	1
INCAHUASI	10	7	1
LAS CARRERAS	20	9	2
SAN LUCAS	20	9	2
VILLA ABECIA	20	9	2

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Temperatura Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.

APLICACIONES Y USOS DE LOS ÍNDICES

Tmín extrema: Sirve para calcular la importancia de los golpes de frío y su intensidad.
Días con heladas: Muestra si la zona debe trabajar el riesgo de heladas y su duración.
Tmáx extrema: Sirve para calcular la intensidad de los golpes de calor y a qué nivel de trabajo se deberá llegar en la protección contra sequías y olas de calor.
Días de verano: Se utiliza para evaluar probables golpes de calor, es decir, permite identificar periodos con Tmáx extremas.
Días de lluvia muy intensa: Identifica días con lluvias intensas para alertar sobre probables inundaciones.
PPmáx en un día: Se usa en cálculo de avenidas, cálculo de márgenes de inundación, periodos de retorno, etc.
ISID: Muestra la intensidad promedio de lluvia de una zona.

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE · PRRD Programa de Reducción del Riesgo de Desastres · HELVETAS Swiss Intercooperation

OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA PRECIPITACIÓN EN LA MANCOMUNIDAD CINTIS

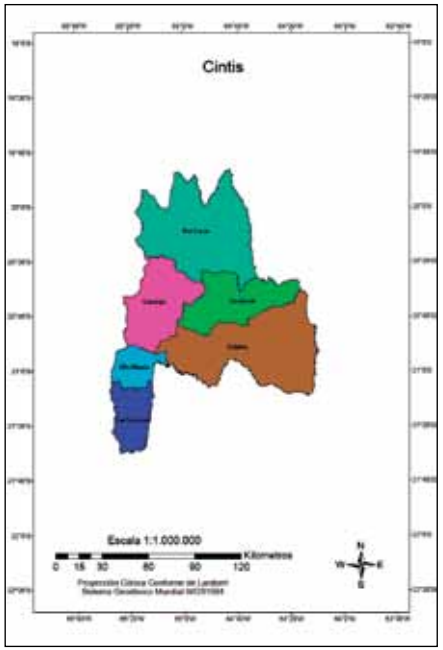
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (%) DE UN TIPO DE AÑO HIDROLÓGICO EN LOS PERIODOS NOVIEMBRE DICIEMBRE (N-D) Y ENERO A MARZO (E-M)

MUNICIPIO	Tipo de Año	HISTÓRICO N-D	2020 N-D	2050 N-D	HISTÓRICO E-M	2020 E-M	2050 E-M
CAMARGO	Seco	25,0	30,4	26,8	25,0	38,1	33,3
	Normal	50,0	57,1	60,7	50,0	51,2	56,0
	Húmedo	25,0	12,5	12,5	25,0	10,7	10,7
CULPINA	Seco	23,2	30,4	32,1	25,0	32,1	29,8
	Normal	50,0	50,0	53,6	48,8	41,7	41,7
	Húmedo	26,8	19,6	14,3	26,2	26,2	28,6
INCAHUASI	Seco	23,2	30,4	32,1	25,0	32,1	29,8
	Normal	50,0	50,0	53,6	48,8	41,7	41,7
	Húmedo	26,8	19,6	14,3	26,2	26,2	28,6
CARRERAS	Seco	25,0	40,3	40,3	25,0	41,0	41,0
	Normal	38,2	30,6	32,0	50,0	39,2	31,4
	Húmedo	37,7	29,5	28,0	25,7	20,3	28,3
SAN LUCAS	Seco	23,2	23,2	25,0	23,8	34,5	34,5
	Normal	50,0	55,4	55,4	50,0	41,7	40,5
	Húmedo	26,8	21,4	19,6	26,2	23,8	25,0
V.ABECIA	Seco	23,2	25,0	30,4	16,7	32,1	32,1
	Normal	50,0	48,2	46,4	57,1	52,4	53,6
	Húmedo	26,8	26,8	23,2	26,2	15,5	14,3

PERIODO DE RETORNO PP. MÁXIMA EXTREMA (AÑOS)

MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
CAMARGO	32	40	45
CULPINA	10	12	14
INCAHUASI	10	12	14
LAS CARRERAS	15	14	14
SAN LUCAS	13	14	15
VILLA ABECIA	15	18	16

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Precipitación Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.



NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA MUY INTENSA (MAYOR A 20 mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
CAMARGO	1	5	8	1	5	8	1	5	9
CULPINA	0	3	6	0	3	6	0	3	8
INCAHUASI	0	3	6	0	3	6	0	3	8
LAS CARRERAS	0	2,5	6	0	2	6	0	2,5	6
SAN LUCAS	1	5	8	1	5	8	1	5	9
VILLA ABECIA	0	4	8	0	4	6	0	4	7

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EXTREMA ANUAL (mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Min.	Med.	Máx.
CAMARGO	19	37	55	19	33	44	19	33	50
CULPINA	20	26	42	16	26	42	15	26	40
INCAHUASI	20	26	42	16	26	42	15	26	40
LAS CARRERAS	18	28	36	18	29	39	17	28	40
SAN LUCAS	22	35	49	22	37	51	22	36	49
VILLA ABECIA	18	29	57	18	28	55	18	28	57

ÍNDICE SIMPLE DE INTENSIDAD DIARIA (mm/día)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
CAMARGO	6	9	12	6	8	10	6	8	9
CULPINA	6	7	10	5	7	10	5	7	10
INCAHUASI	6	7	10	5	7	10	5	7	10
LAS CARRERAS	6	8	11	6	8	11	6	8	11
SAN LUCAS	8	9	12	7	9	12	7	9	12
VILLA ABECIA	8	9	12	6	9	14	6	9	14

RESUMEN DE LOS IMPACTOS EN LA MANCOMUNIDAD CINTIS

En Cintis, la cantidad de días con heladas y su intensidad se reducirá a la época invernal. La cantidad de días muy calientes se incrementará significativamente, por lo que también reducirá la presión de vapor, provocando mayor estrés hídrico en los cultivos. Aunque la temperatura máxima no subiría demasiado, los periodos calientes serán más largos. Este cambio podría inducir migraciones de los ecosistemas y de los sistemas productivos, pero fundamentalmente podría tener consecuencias sanitarias, agrícolas y sociales e incrementar las emergencias por brotes de algunas epidemias. Actualmente, la zona enfrenta muchos problemas por su alta aridez, pero la duración de los periodos calientes es corto, lo que probablemente cambiará en el futuro. No se esperan cambios significativos en la magnitud y frecuencia de las tormentas y, en general, los años se tornarían más secos. De esta manera, la zona enfrentará sequías permanentes que complicarán su sistema productivo. Esto podría reducir la cobertura vegetal del suelo.

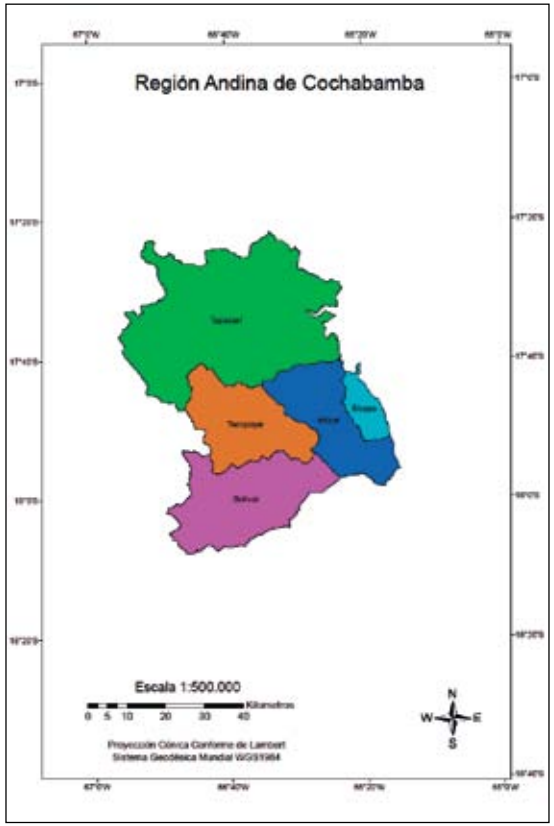
OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA TEMPERATURA EN LA MANCOMUNIDAD REGIÓN ANDINA DE COCHABAMBA

TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA ANUAL (°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
TACOPAYA	-18	-17	-15	-18	-16	-11	-16	-15	-9
TAPACARI	-18	-17	-15	-18	-16	-11	-16	-15	-9
ARQUE	-18	-17	-15	-18	-16	-11	-16	-15	-9
BOLÍVAR	-18	-17	-15	-18	-16	-11	-16	-15	-9
SICAYA	-18	-17	-15	-18	-16	-11	-16	-15	-9

DÍAS CON HELADAS (Tmín < 0°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
TACOPAYA	245	270	298	230	255	288	170	195	225
TAPACARI	245	270	298	230	255	288	170	195	225
ARQUE	245	270	298	230	255	288	170	195	225
BOLÍVAR	245	270	298	230	255	288	170	195	225
SICAYA	245	270	298	230	255	288	170	195	225

TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA ANUAL (°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
TACOPAYA	21	23	23	23	24	24	23	25	26
TAPACARI	21	23	23	23	24	24	23	25	26
ARQUE	21	23	23	23	24	24	23	25	26
BOLÍVAR	21	23	23	23	24	24	23	25	26
SICAYA	21	23	23	23	24	24	23	25	26

NÚMERO DE DÍAS CALIENTES (Tmáx > 25 °C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
TACOPAYA	0	0	2	0	1	4	0	2	6
TAPACARI	0	0	2	0	1	4	0	2	6
ARQUE	0	0	2	0	1	4	0	2	6
BOLÍVAR	0	0	2	0	1	4	0	2	6
SICAYA	0	0	2	0	1	4	0	2	6



SE PRESENTAN LOS LÍMITES DE OCURRENCIA DEL EVENTO EXTREMO DEL ENCABEZADO, POR EJEMPLO PARA EL CASO DEL *NÚMERO DE DÍAS CON HELADAS* EN LOS MUNICIPIOS, LA TABLA MUESTRA QUE DURANTE EL REGISTRO HISTÓRICO SE ENFRENTARON EN BOLÍVAR COMO MÍNIMO 245 DÍAS CON TEMPERATURAS <0°C, COMO MÁXIMO 298 DÍAS Y QUE LA MEDIANA DEL REGISTRO FUE DE 270 DÍAS. CON LA MISMA LÓGICA PARA 2050, SE ESPERA QUE COMO MÍNIMO SE TENGAN 170 DÍAS CON TEMPERATURAS < 0 °C, UNA MEDIANA DE 195 DÍAS Y COMO MÁXIMO 225 DÍAS CON ESAS TEMPERATURAS.

PERIODO DE RETORNO TEMP. MÁX. EXTREMA (AÑOS)			
MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
TACOPAYA	9	3	2
TAPACARÍ	9	3	2
ARQUE	9	3	2
BOLÍVAR	9	3	2
SICAYA	9	3	2

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Temperatura Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.

APLICACIONES Y USOS DE LOS ÍNDICES

Tmín extrema: Sirve para calcular la importancia de los golpes de frío y su intensidad.
Días con heladas: Muestra si la zona debe trabajar el riesgo de heladas y su duración.
Tmáx extrema: Sirve para calcular la intensidad de los golpes de calor y a qué nivel de trabajo se deberá llegar en la protección contra sequías y olas de calor.
Días de verano: Se utiliza para evaluar probables golpes de calor, es decir, permite identificar periodos con Tmáx extremas.
Días de lluvia muy intensa: Identifica días con lluvias intensas para alertar sobre probables inundaciones.
PPmáx en un día: Se usa en cálculo de avenidas, cálculo de márgenes de inundación, periodos de retorno, etc.
ISID: Muestra la intensidad promedio de lluvia de una zona.

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE

PRRD Programa de Reducción del Riesgo de Desastres

HELVETAS Swiss Intercooperation

OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA PRECIPITACIÓN EN LA MANCOMUNIDAD REGIÓN ANDINA DE COCHABAMBA

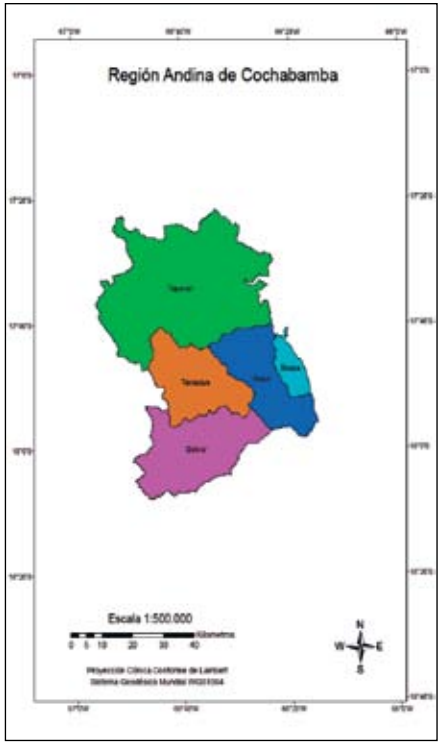
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (%) DE UN TIPO DE AÑO HIDROLÓGICO EN LOS PERIODOS NOVIEMBRE DICIEMBRE (N-D) Y ENERO A MARZO (E-M)

MUNICIPIO	Tipo de Año	HISTÓRICO N-D	2020 N-D	2050 N-D	HISTÓRICO E-M	2020 E-M	2050 E-M
ARQUE	Seco	25,0	19,6	21,4	25,0	22,6	21,4
	Normal	50,0	55,4	55,4	50,0	52,4	52,4
	Húmedo	25,0	25,0	23,2	25,0	25,0	26,2
BOLÍVAR	Seco	25,0	19,6	21,4	25,0	22,6	21,4
	Normal	50,0	55,4	55,4	50,0	52,4	52,4
	Húmedo	25,0	25,0	23,2	25,0	25,0	26,2
SICAYA	Seco	25,0	19,6	21,4	25,0	22,6	21,4
	Normal	50,0	55,4	55,4	50,0	52,4	52,4
	Húmedo	25,0	25,0	23,2	25,0	25,0	26,2
TACOPAYA	Seco	25,0	19,6	21,4	25,0	22,6	21,4
	Normal	50,0	55,4	55,4	50,0	52,4	52,4
	Húmedo	25,0	25,0	23,2	25,0	25,0	26,2
TAPACARI	Seco	25,0	19,6	21,4	25,0	22,6	21,4
	Normal	50,0	55,4	55,4	50,0	52,4	52,4
	Húmedo	25,0	25,0	23,2	25,0	25,0	26,2

PERIODO DE RETORNO PP. MÁXIMA EXTREMA (AÑOS)

MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
TACOPAYA	8	5	3
TAPACARÍ	8	5	3
ARQUE	8	5	3
BOLÍVAR	8	5	3
SICAYA	8	5	3

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Precipitación Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.



NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA MUY INTENSA (MAYOR A 20 mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
TACOPAYA	0	4	8	0	3	8	1	4	10
TAPACARI	0	4	8	0	3	8	1	4	10
ARQUE	0	4	8	0	3	8	1	4	10
BOLÍVAR	0	4	8	0	3	8	1	4	10
SICAYA	0	4	8	0	3	8	1	4	10

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EXTREMA ANUAL (mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
TACOPAYA	16	33	57	17	33	58	20	36	59
TAPACARÍ	16	33	57	17	33	58	20	36	59
ARQUE	16	33	57	17	33	58	20	36	59
BOLÍVAR	16	33	57	17	33	58	20	36	59
SICAYA	16	33	57	17	33	58	20	36	59

ÍNDICE SIMPLE DE INTENSIDAD DIARIA (mm/día)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
TACOPAYA	6	9	11	6	8	11	6	8	12
TAPACARÍ	6	9	11	6	8	11	6	8	12
ARQUE	6	9	11	6	8	11	6	8	12
BOLÍVAR	6	9	11	6	8	11	6	8	12
SICAYA	6	9	11	6	8	11	6	8	12

RESUMEN DE LOS IMPACTOS EN LA REGIÓN ANDINA DE COCHABAMBA

En la Mancomunidad Región Andina de Cochabamba continuará la tendencia al ascenso de las temperaturas máximas y mínimas. El número de días con heladas disminuirá y permitirá mejorar la aptitud agrícola, aunque con presencia de heladas y sequía. Dada la capacidad de estas comunidades de interactuar con su ambiente, es importante rescatar los conocimientos tradicionales en manejo del riesgo. Debe considerarse el riesgo latente de enfrentar problemas zoo y fitosanitarios. Las precipitaciones extremas podrán ser más frecuentes por la mayor probabilidad de formaciones convectivas. Dada la fisiografía de la zona, es posible la presencia de mazamorras e inundaciones en las planicies. La probabilidad de tener años secos como húmedos no cambiará sustancialmente, pero el incremento de la temperatura significará mayor demanda atmosférica de vapor de agua, consecuentemente mayor déficit de agua para la agricultura.

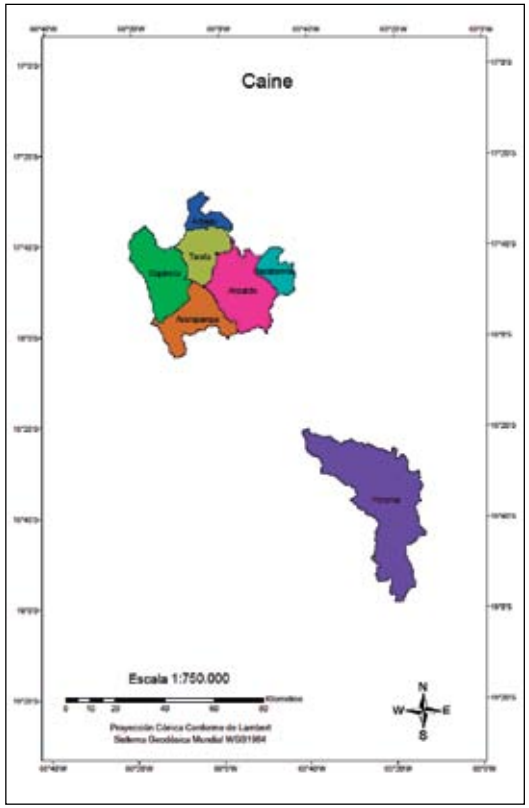
OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA TEMPERATURA EN LA MANCOMUNIDAD CAINE

TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA ANUAL (°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
ANZALDO	-9	-7	-7	-8	-6	-6	-7	-5	-4
ARBIETO	-9	-7	-7	-8	-6	-6	-7	-5	-4
SACABAMBA	-9	-7	-7	-8	-6	-6	-7	-5	-4
CAPINOTA	-6	-3	-2	-5	-2	-1	-3	-1	1
TARATA	-5	-4	-3	-4	-3	-2	-2	-1	0
POROMA	-6	-3	-2	-5	-2	-1	-3	-1	1
ARAMPAMPA	-9	-7	-7	-8	-6	-6	-7	-5	-4

DÍAS CON HELADAS (Tmín < 0°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
ANZALDO	84	100	114	70	83	99	38	50	62
ARBIETO	84	100	114	70	83	99	38	50	62
SACABAMBA	84	100	114	70	83	99	38	50	62
CAPINOTA	6	13	21	2	5	10	0	1	6
TARATA	36	46	54	22	32	43	2	7	11
POROMA	6	13	21	2	5	10	0	1	6
ARAMPAMPA	84	100	114	70	83	99	38	50	62

TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA ANUAL (°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
ANZALDO	25	27	30	26	28	30	28	29	32
ARBIETO	25	27	30	26	28	30	28	29	32
SACABAMBA	25	27	30	26	28	30	28	29	32
CAPINOTA	32	33	34	33	34	35	34	36	35
TARATA	31	32	33	32	33	34	33	34	35
POROMA	32	33	34	33	34	35	34	36	35
ARAMPAMPA	25	27	30	26	28	30	28	29	32

NÚMERO DE DÍAS CALIENTES (Tmáx > 25 °C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
ANZALDO	2	7	13	7	15	27	33	47	68
ARBIETO	2	7	13	7	15	27	33	47	68
SACABAMBA	2	7	13	7	15	27	33	47	68
CAPINOTA	284	301	324	308	318	332	333	343	351
TARATA	263	279	289	313	324	329	335	343	349
POROMA	284	301	324	308	318	332	333	343	351
ARAMPAMPA	2	7	13	7	15	27	33	47	68



SE PRESENTAN LOS LÍMITES DE OCURRENCIA DEL EVENTO EXTREMO DEL ENCABEZADO, POR EJEMPLO PARA EL EVENTO *DÍAS CON HELADAS* SE ESTABLECE QUE EN CAPINOTA EN EL PERIODO HISTÓRICO SE ENFRENTARON COMO MÍNIMO 6 DÍAS CON TEMPERATURAS < 0 °C, QUE LA MEDIANA FUE DE 13 DÍAS Y QUE COMO MÁXIMO SE TUVIERON 21 DÍAS CON HELADA EN EL MUNICIPIO. CON LA MISMA LÓGICA PARA 2050, SE ESPERA QUE COMO MÍNIMO SE ENFRENTE 0 DÍAS CON HELADAS, QUE LA MEDIANA SEA DE 1 DÍA Y COMO MÁXIMO SE ENFRENTEN 6 DÍAS CON ESAS TEMPERATURAS. ES DECIR QUE EL NÚMERO DE DÍAS CON HELADAS BAJARÍA EN LA ZONA HASTA CASI DESAPARECER.

PERIODO DE RETORNO TEMP. MÁX. EXTREMA (AÑOS)			
MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
ANZALDO	12	7	2
ARBIETO	12	7	2
SACABAMBA	12	7	2
CAPINOTA	18	9	2
TARATA	9	6	1
POROMA	18	9	2
ARAMPAMPA	12	7	2

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Temperatura Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.

APLICACIONES Y USOS DE LOS ÍNDICES

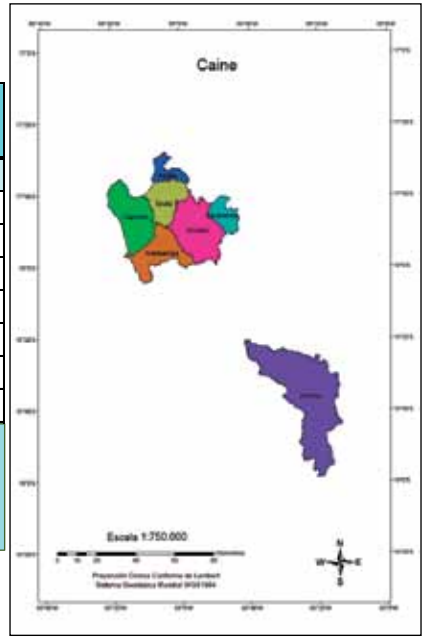
Tmín extrema: Sirve para calcular la importancia de los golpes de frío y su intensidad.
Días con heladas: Muestra si la zona debe trabajar el riesgo de heladas y su duración.
Tmáx extrema: Sirve para calcular la intensidad de los golpes de calor y a qué nivel de trabajo se deberá llegar en la protección contra sequías y olas de calor.
Días de verano: Se utiliza para evaluar probables golpes de calor, es decir, permite identificar periodos con Tmáx extremas.
Días de lluvia muy intensa: Identifica días con lluvias intensas para alertar sobre probables inundaciones.
PPmáx en un día: Se usa en cálculo de avenidas, cálculo de márgenes de inundación, periodos de retorno, etc.
ISID: Muestra la intensidad promedio de lluvia de una zona.

OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA PRECIPITACIÓN EN LA MANCOMUNIDAD CAINE

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (%) DE UN TIPO DE AÑO HIDROLÓGICO EN LOS PERIODOS NOVIEMBRE DICIEMBRE (N-D) Y ENERO A MARZO (E-M)							
MUNICIPIO	Tipo de Año	HISTÓRICO N-D	2020 N-D	2050 N-D	HISTÓRICO E-M	2020 E-M	2050 E-M
ANZALDO	Seco	25,0	23,2	25,0	25,0	26,2	25,0
	Normal	50,0	51,8	50,0	50,0	47,6	46,4
	Húmedo	25,0	25,0	25,0	25,0	26,2	28,6
ARBIETO	Seco	25,0	23,2	25,0	25,0	26,2	25,0
	Normal	50,0	51,8	50,0	50,0	47,6	46,4
	Húmedo	25,0	25,0	25,0	25,0	26,2	28,6
SACABAMBA	Seco	19,6	12,5	12,5	23,8	35,7	34,5
	Normal	48,2	58,9	58,9	46,4	47,6	45,2
	Húmedo	32,1	28,6	28,6	29,8	16,7	20,2
CAPINOTA	Seco	25,0	25,0	25,0	26,2	25,0	21,4
	Normal	50,0	50,0	50,0	48,8	52,4	47,6
	Húmedo	25,0	25,0	25,0	25,0	22,6	31,0
TARATA	Seco	25,0	25,0	21,4	25,0	37,0	38,2
	Normal	50,0	50,0	51,8	50,0	43,3	43,3
	Húmedo	25,0	25,0	26,8	25,0	19,3	18,1
POROMA	Seco	25,0	26,8	28,6	25,0	28,6	26,2
	Normal	48,2	50,0	50,0	48,8	47,6	46,4
	Húmedo	26,8	23,2	21,4	26,2	23,8	27,4
ARAMPAMPA	Seco	23,2	37,5	41,1	23,8	10,7	10,7
	Normal	48,2	39,3	35,7	48,8	27,4	27,4
	Húmedo	28,6	23,2	23,2	27,4	61,9	61,9

PERIODO DE RETORNO PP. MÁXIMA EXTREMA (AÑOS)			
MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
ANZALDO	31	29	26
ARBIETO	31	29	26
SACABAMBA	31	29	26
CAPINOTA	43	40	30
TARATA	40	37	29
POROMA	43	40	30
ARAMPAMPA	31	29	26

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Precipitación Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.



NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA MUY INTENSA (MAYOR A 20 mm)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
ANZALDO	1	5	11	2	5	12	2	6	13
ARBIETO	1	5	11	2	5	12	2	6	13
SACABAMBA	1	8	12	1	8	13	1	8	13
CAPINOTA	2	5,5	11	2	6	11	2	6	12
TARATA	3	10	15	2	10	16	2	10	16
POROMA	2	5,5	11	2	6	11	2	6	12
ARAMPAMPA	1	5	11	2	5	12	2	6	21

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EXTREMA ANUAL (mm)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
ANZALDO	20	33	54	21	33	53	21	32	57
ARBIETO	20	33	54	21	33	53	21	32	57
SACABAMBA	20	34	48	21	34	48	20	36	48
CAPINOTA	22	35	46	23	36	47	24	37	47
TARATA	30	38	46	30	38	46	29	39	48
POROMA	22	35	46	23	36	47	24	37	47
ARAMPAMPA	11	39	48	11	40	50	12	38	48

ÍNDICE SIMPLE DE INTENSIDAD DIARIA (mm/día)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
ANZALDO	8	11	13	8	11	13	8	11	13
ARBIETO	8	11	13	8	11	13	8	11	13
SACABAMBA	11	14	18	10	13	20	10	14	21
CAPINOTA	7	9	12	7	9	12	7	9	12
TARATA	13	18	20	13	18	20	13	18	21
POROMA	7	9	12	7	9	12	7	9	12
ARAMPAMPA	11	12	14	10	12	13	10	12	13

RESUMEN DE LOS IMPACTOS EN LA MANCOMUNIDAD CUENCA DEL CAINE

La Mancomunidad Cuenca del Caine presenta diferencias significativas en la probabilidad de heladas, dependiendo de la altura de la zona. La mayor intensidad se restringe a la época invernal, por lo tanto, la probabilidad de heladas durante el ciclo vegetativo de los cultivos es muy baja. Este cambio podría inducir una migración de los ecosistemas y cambio de aptitud de los sistemas productivos. Actualmente, la zona cuenta con sistemas de riego y conflictos por el uso del agua que podrían agravarse en el futuro.

Las precipitaciones que hoy se consideran extremas podrían tornarse normales en el futuro. En cambio, en los meses de mayor precipitación durante la época de lluvias, se enfrentarán eventos extremos, lo que significa que se presentarán años secos y luego años muy húmedos. En el futuro, entonces, las sequías podrían ser más frecuentes y más severas durante el desarrollo de los cultivos.

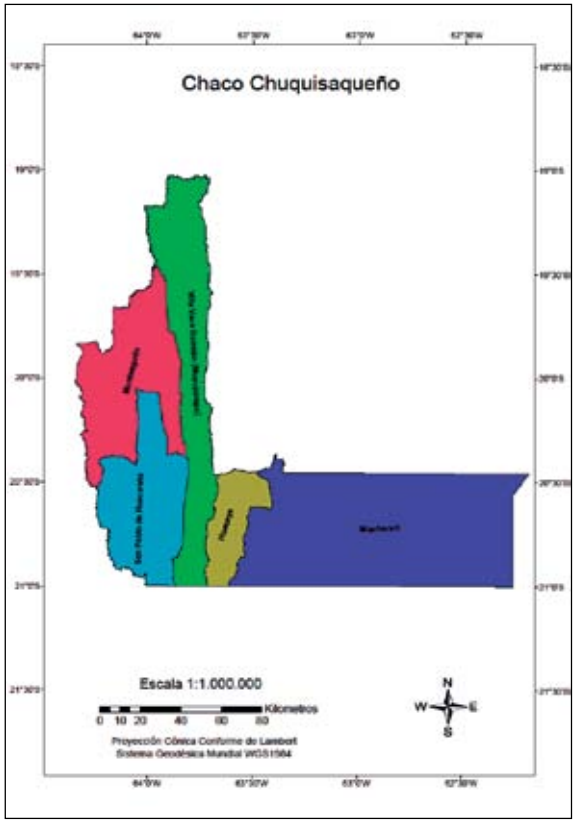
OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA TEMPERATURA EN LA MANCOMUNIDAD DEL CHACO CHUQUISAQUEÑO

TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA ANUAL (°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
MONTEAGUDO	-7	-3	-2	-8	-4	-1	-7	-3	1
MUYUPAMPA	-7	-3	-2	-8	-4	-1	-7	-3	1
MACHARETÍ	-7	-3	-2	-8	-4	-1	-7	-3	1
HUACARETA	-7	-3	-2	-8	-4	-1	-7	-3	1
HUACAYA	-7	-3	-2	-8	-4	-1	-7	-3	1

DÍAS CON HELADAS (Tmín < 0°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
MONTEAGUDO	1	4	10	1	3	8	0	2	6
MUYUPAMPA	1	4	10	1	3	8	0	2	6
MACHARETÍ	1	4	10	1	3	8	0	2	6
HUACARETA	1	4	10	1	3	8	0	2	6
HUACAYA	1	4	10	1	3	8	0	2	6

TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA ANUAL (°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
MONTEAGUDO	37	39	41	38	40	42	40	42	44
MUYUPAMPA	37	39	41	38	40	42	40	42	44
MACHARETÍ	37	39	41	38	40	42	40	42	44
HUACARETA	37	39	41	38	40	42	40	42	44
HUACAYA	37	39	41	38	40	42	40	42	44

NÚMERO DE DÍAS CALIENTES (Tmáx > 25 °C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
MONTEAGUDO	261	272	290	265	289	306	289	308	324
MUYUPAMPA	261	272	290	265	289	306	289	308	324
MACHARETÍ	261	272	290	265	289	306	289	308	324
HUACARETA	261	272	290	265	289	306	289	308	324
HUACAYA	261	272	290	265	289	306	289	308	324



SE PRESENTAN LOS LÍMITES DE OCURRENCIA DEL EVENTO EXTREMO DEL ENCABEZADO, POR EJEMPLO PARA EL EVENTO *DÍAS CON HELADAS* SE ESTABLECE QUE EN MONTEAGUDO EN EL PERIODO HISTÓRICO SE ENFRENTARON COMO MÍNIMO 1 DÍA CON TEMPERATURA < 0 °C, QUE LA MEDIANA FUE DE 4 DÍAS Y QUE COMO MÁXIMO SE TUVIERON 10 DÍAS CON HELADA EN EL MUNICIPIO. CON LA MISMA LÓGICA PARA 2050, SE ESPERA QUE COMO MÍNIMO SE ENFRENTE 0 DÍAS CON HELADAS, QUE LA MEDIANA SEA DE 2 DÍAS Y COMO MÁXIMO SE ENFRENTEN 6 DÍAS CON ESAS TEMPERATURAS. ES DECIR QUE EL NÚMERO DE DÍAS CON HELADAS BAJARÍA EN LA ZONA MUY POCO, SIENDO EN PROMEDIO ALREDEDOR DE 4 DÍAS MENOS

PERIODO DE RETORNO TEMP. MÁX. EXTREMA (AÑOS)			
MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
MONTEAGUDO	9	4	2
MUYUPAMPA	9	4	2
MACHARETÍ	9	4	2
HUACARETA	9	4	2
HUACAYA	9	4	2

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Temperatura Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.

APLICACIONES Y USOS DE LOS ÍNDICES

Tmín extrema: Sirve para calcular la importancia de los golpes de frío y su intensidad.
Días con heladas: Muestra si la zona debe trabajar el riesgo de heladas y su duración.
Tmáx extrema: Sirve para calcular la intensidad de los golpes de calor y a qué nivel de trabajo se deberá llegar en la protección contra sequías y olas de calor.
Días de verano: Se utiliza para evaluar probables golpes de calor, es decir, permite identificar periodos con Tmáx extremas.
Días de lluvia muy intensa: Identifica días con lluvias intensas para alertar sobre probables inundaciones.
PPmáx en un día: Se usa en cálculo de avenidas, cálculo de márgenes de inundación, periodos de retorno, etc.
ISID: Muestra la intensidad promedio de lluvia de una zona.

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE | PRRD Programa de Reducción del Riesgo de Desastres | HELVETAS Swiss Intercooperation

OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA PRECIPITACIÓN EN LA MANCOMUNIDAD DEL CHACO CHUQUISAQUEÑO

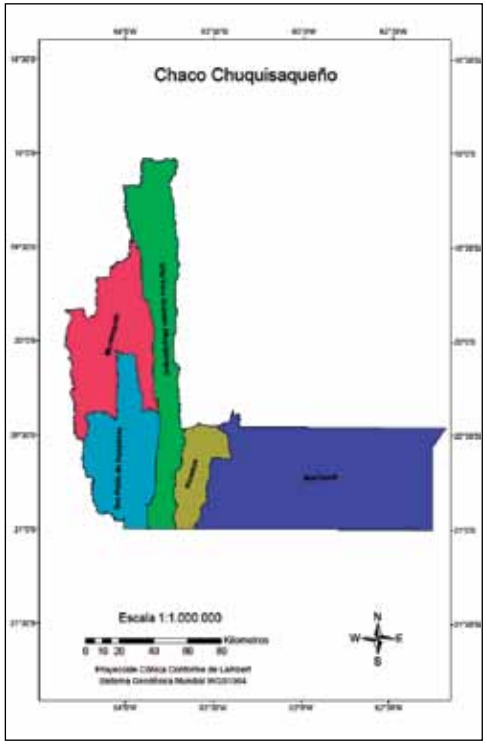
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (%) DE UN TIPO DE AÑO HIDROLÓGICO EN LOS PERIODOS NOVIEMBRE DICIEMBRE (N-D) Y ENERO A MARZO (E-M)

MUNICIPIO	Tipo de Año	HISTÓRICO N-D	2020 N-D	2050 N-D	HISTÓRICO E-M	2020 E-M	2050 E-M
MONTEAGUDO	Seco	21,4	25,0	28,6	23,8	21,4	19,0
	Normal	51,8	51,8	50,0	47,6	46,4	45,2
	Húmedo	26,8	23,2	21,4	28,6	32,1	35,7
MUYUPAMPA	Seco	21,4	19,6	21,4	26,2	38,1	38,1
	Normal	50,0	33,9	35,7	41,7	38,1	38,1
	Húmedo	28,6	46,4	42,9	32,1	23,8	23,8
MACHARETÍ	Seco	17,9	41,1	41,1	23,8	19,0	19,0
	Normal	55,4	39,3	39,3	42,9	56,0	53,6
	Húmedo	26,8	19,6	19,6	33,3	25,0	27,4
HUACARETA	Seco	23,2	10,7	10,7	26,2	4,8	4,8
	Normal	51,8	21,4	26,8	48,8	20,2	17,9
	Húmedo	25,0	67,9	62,5	25,0	75,0	77,4
HUACAYA	Seco	21,4	25,0	28,6	23,8	21,4	19,0
	Normal	51,8	51,8	50,0	47,6	46,4	45,2
	Húmedo	26,8	23,2	21,4	28,6	32,1	35,7

PERIODO DE RETORNO PP. MÁXIMA EXTREMA (AÑOS)

MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
MONTEAGUDO	9	9	10
MUYUPAMPA	27	24	20
MACHARETÍ	6	7	8
HUACARETA	21	22	22
HUACAYA	9	9	10

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Precipitación Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.



NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA MUY INTENSA (MAYOR A 20 mm)

PERIODO	HÍSTORICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
MONTEAGUDO	7	11,5	16	7	11	19	6	11,5	20
MUYUPAMPA	9	11,5	14	6	11,5	16	5	11	17
MACHARETÍ	6	9,5	14	6	10	15	6	10,5	16
HUACARETA	10	13,5	16	10	13	17	8	13,5	19
HUACAYA	7	11,5	16	7	11	19	6	11,5	20

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EXTREMA ANUAL (mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
MONTEAGUDO	46	73	93	42	75	100	43	72	102
MUYUPAMPA	47	66	95	36	68	107	37	69	105
MACHARETÍ	53	74	100	47	75	105	48	76	106
HUACARETA	47	72	109	47	72	108	42	73	120
HUACAYA	46	73	93	42	75	100	43	72	102

ÍNDICE SIMPLE DE INTENSIDAD DIARIA (mm/día)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
MONTEAGUDO	10	14	18	9	13	17	9	13	18
MUYUPAMPA	12	14	18	9	13	19	9	13	20
MACHARETÍ	13	16	20	11	15	23	11	15	23
HUACARETA	11	14	19	11	14	21	10	14	21
HUACAYA	10	14	18	9	13	17	9	13	18

RESUMEN DE LOS IMPACTOS EN EL CHACO CHUQUISAQUEÑO

La Mancomunidad Chaco Chuquisaqueño presenta la tendencia al incremento de sus temperaturas medias, especialmente desde 2020. La duración de sus periodos cálidos se incrementaría en aproximadamente un mes hasta 2050. El aumento de la demanda de energía podría ser muy alto, pues se prevé incremento de las necesidades de los sistemas de refrigeración. Lo más probable es que las temperaturas que hoy se consideran muy altas, sean las normales en 2050. Por ello las altas temperaturas también pueden contribuir a la propagación de enfermedades transmitidas por vectores e hidroconducidas, provocando emergencias sanitarias mayores a las actuales. No se prevén cambios significativos en las tormentas intensas, pero los años se tornarían más secos al inicio de la época de lluvias y levemente más húmedos en el pico de la estación de lluvias. De esta manera, los últimos meses del año se tendría menor precipitación con una mayor demanda evaporativa, lo que daría lugar a una tendencia a menor caudal en ríos, sequías hidrológicas y agrícolas. Los primeros meses del año podrían ser muy secos. Los eventos meteorológicos extremos pueden dar lugar a sequías persistentes.

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE · PRRD Programa de Reducción del Riesgo de Desastres · HELVETAS Swiss Intercooperation

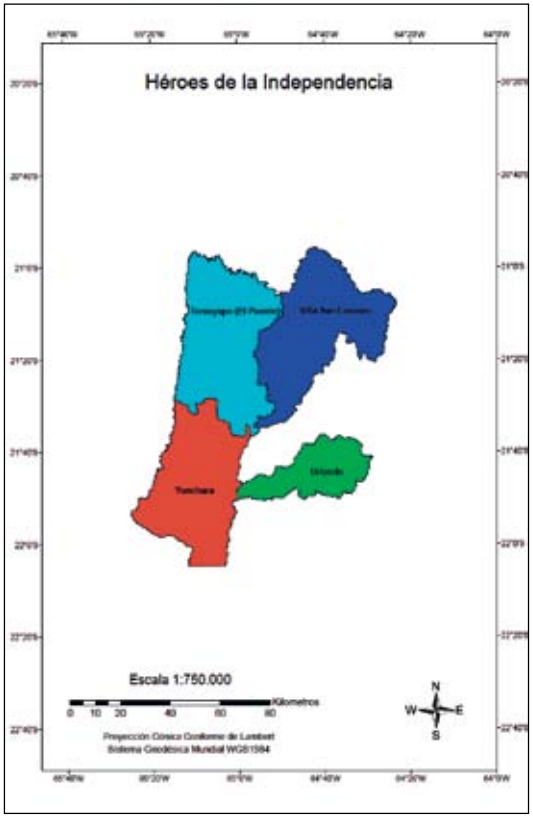
OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA TEMPERATURA EN LA MANCOMUNIDAD HÉROES DE LA INDEPENDENCIA

TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA ANUAL (°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
SAN LORENZO	-6	-3	-3	-6	-3	-2	-4	-1	0
EL PUENTE	-6	-3	-3	-6	-3	-2	-4	-1	0
URIONDO	-6	-3	-3	-6	-3	-2	-4	-1	0
YUNCHARÁ	-6	-3	-3	-6	-3	-2	-4	-1	0

DÍAS CON HELADAS (Tmín < 0°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
SAN LORENZO	20	28	30	8	14	25	1	3	9
EL PUENTE	20	28	30	8	14	25	1	3	9
URIONDO	20	28	30	8	14	25	1	3	9
YUNCHARÁ	20	28	30	8	14	25	1	3	9

TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA ANUAL (°C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
SAN LORENZO	35	37	39	36	38	40	37	39	41
EL PUENTE	35	37	39	36	37	40	37	39	41
URIONDO	35	37	39	36	38	40	37	39	41
YUNCHARÁ	35	37	39	36	37	40	37	39	41

NÚMERO DE DÍAS CALIENTES (Tmáx > 25 °C)									
PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
SAN LORENZO	205	237	266	220	252	281	295	316	338
EL PUENTE	298	309	314	314	331	341	348	355	360
URIONDO	205	237	266	220	252	281	295	316	338
YUNCHARÁ	298	309	314	314	331	341	348	355	360



SE PRESENTAN LOS LÍMITES DE OCURRENCIA DEL EVENTO EXTREMO DEL ENCABEZADO, POR EJEMPLO PARA EL EVENTO *DÍAS CON HELADAS* SE ESTABLECE QUE EN SAN LORENZO EN EL PERIODO HISTÓRICO SE ENFRENTARON COMO MÍNIMO 20 DÍAS CON TEMPERATURAS < 0 °C, QUE LA MEDIANA FUE DE 28 DÍAS Y QUE COMO MÁXIMO SE TUVIERON 30 DÍAS CON HELADA EN EL MUNICIPIO. CON LA MISMA LÓGICA PARA 2050, SE ESPERA QUE COMO MÍNIMO SE ENFRENTE SÓLO 1 DÍA CON HELADAS, QUE LA MEDIANA SEA DE 3 DÍAS Y COMO MÁXIMO SE ENFRENTEN 9 DÍAS CON ESAS TEMPERATURAS. ES DECIR QUE EL NÚMERO DE DÍAS CON HELADAS HA BAJADO EN LA ZONA EN PROMEDIO ALREDEDOR DE 25 DÍAS.

PERIODO DE RETORNO TEMP. MÁX. EXTREMA (AÑOS)			
MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
SAN LORENZO	13	9	2
EL PUENTE	15	10	3
URIONDO	13	9	2
YUNCHARÁ	15	10	3

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Temperatura Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.

APLICACIONES Y USOS DE LOS ÍNDICES

Tmín extrema: Sirve para calcular la importancia de los golpes de frío y su intensidad.
Días con heladas: Muestra si la zona debe trabajar el riesgo de heladas y su duración.
Tmáx extrema: Sirve para calcular la intensidad de los golpes de calor y a qué nivel de trabajo se deberá llegar en la protección contra sequías y olas de calor.
Días de verano: Se utiliza para evaluar probables golpes de calor, es decir, permite identificar periodos con Tmáx extremas.
Días de lluvia muy intensa: Identifica días con lluvias intensas para alertar sobre probables inundaciones.
PPmáx en un día: Se usa en cálculo de avenidas, cálculo de márgenes de inundación, periodos de retorno, etc.
ISID: Muestra la intensidad promedio de lluvia de una zona.

OCURRENCIA DE EXTREMOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA PRECIPITACIÓN EN LA MANCOMUNIDAD HÉROES DE LA INDEPENDENCIA

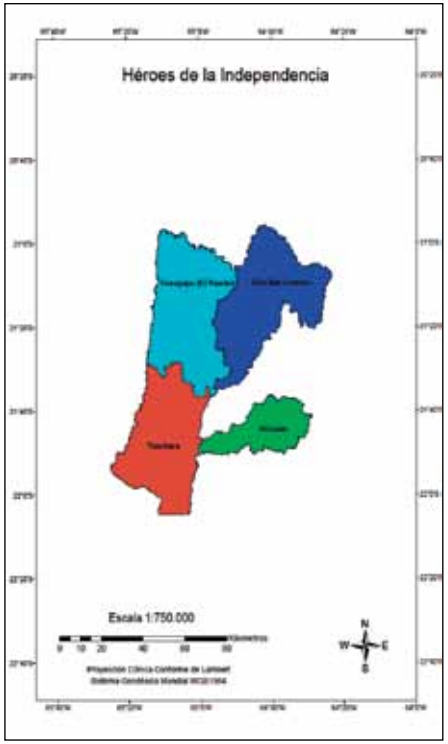
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (%) DE UN TIPO DE AÑO HIDROLÓGICO EN LOS PERIODOS NOVIEMBRE DICIEMBRE (N-D) Y ENERO A MARZO (E-M)

MUNICIPIO	Tipo de Año	HISTÓRICO N-D	2020 N-D	2050 N-D	HISTÓRICO E-M	2020 E-M	2050 E-M
SAN LORENZO	Seco	25,0	25,0	28,6	25,0	25,0	25,0
	Normal	50,0	50,0	48,2	50,0	51,2	51,2
	Húmedo	25,0	25,0	23,2	25,0	23,8	23,8
EL PUENTE	Seco	19,6	25,0	25,0	25,0	21,4	17,9
	Normal	48,2	46,4	50,0	44,0	57,1	56,0
	Húmedo	32,1	28,6	25,0	31,0	21,4	26,2
URIONDO	Seco	25,0	25,0	28,6	25,0	25,0	25,0
	Normal	50,0	50,0	48,2	50,0	51,2	51,2
	Húmedo	25,0	25,0	23,2	25,0	23,8	23,8
YUNCHARÁ	Seco	19,6	25,0	25,0	25,0	21,4	17,9
	Normal	48,2	46,4	50,0	44,0	57,1	56,0
	Húmedo	32,1	28,6	25,0	31,0	21,4	26,2

PERIODO DE RETORNO PP. MÁXIMA EXTREMA (AÑOS)

MUNICIPIO	Histórico	2020	2050
SAN LORENZO	15	14	10
EL PUENTE	15	14	14
URIONDO	15	14	10
YUNCHARÁ	15	14	14

El periodo de retorno muestra el número de años promedio en el que ocurrirá nuevamente la Precipitación Máxima Extrema registrada en el periodo histórico.



NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA MUY INTENSA (MAYOR A 20 mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
SAN LORENZO	2	6	9	3	5	11	2	6	11
EL PUENTE	0	4	8	0	3	8	2	5	9
URIONDO	2	6	9	3	5	11	2	6	11
YUNCHARÁ	0	4	8	0	3	8	2	5	9

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EXTREMA ANUAL (mm)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
SAN LORENZO	22	32	60	22	33	61	22	32	58
EL PUENTE	19	31	63	20	32	63	20	33	67
URIONDO	22	32	60	22	33	61	22	32	58
YUNCHARÁ	19	31	63	20	32	63	20	33	67

ÍNDICE SIMPLE DE INTENSIDAD DIARIA (mm/día)

PERIODO	HISTÓRICO			2020			2050		
MUNICIPIO	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
SAN LORENZO	6	8	9	6	8	9	6	8	10
EL PUENTE	8	10	13	8	10	14	7	11	14
URIONDO	6	8	9	6	8	9	6	8	10
YUNCHARÁ	8	10	13	8	10	14	7	11	14

RESUMEN DE LOS IMPACTOS EN LA MANCOMUNIDAD HÉROES DE LA INDEPENDENCIA

En la Mancomunidad Héroes de la Independencia, se espera una disminución de los días con heladas. Los cultivos de invierno enfrentarían menores riesgos de pérdidas si cuentan con agua de riego. Sin embargo, los cultivos frutícolas requieren de horas frío, lo que podría incidir en la reducción de los rendimientos. La cantidad de días muy calientes se incrementará, consecuentemente, la demanda evaporativa de la atmósfera será mayor provocando mayor estrés hídrico en los cultivos. Aunque la temperatura máxima no subiría demasiado, los periodos calientes serán más largos. Este cambio podría inducir migraciones de los ecosistemas y de los sistemas productivos, pero fundamentalmente podría tener consecuencias sobre emergencias sanitarias. La Mancomunidad se encuentra en una zona árida, la duración de los periodos calientes es corto, lo que se espera que cambie en el futuro. Es probable que las temperaturas que hoy se consideran muy altas, sean las normales en 2050.

No se prevén cambios significativos en la magnitud, intensidad y frecuencia de las tormentas, pero los años se tornarían un poco más secos al inicio de la época de lluvias, esperando sequías con frecuencia media. La época de mayor precipitación no cambiará significativamente. En general, las temperaturas se incrementarán, esto significa que el déficit hídrico será mayor a lo largo de un año.

www.cosude.org.bo
www.prrd.com.bo