

2018

Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala



Departamento de Investigación y Servicios Climáticos
Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología,
Meteorología e Hidrología
Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y
Vivienda



PRESENTACIÓN

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología – INSIVUMEH-, entidad del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, creada ante la necesidad impostergable de ampliar el conocimiento técnico y científico en el campo de la hidrometeorología y geofísica, en cumplimiento de una de sus funciones principales de realizar y comunicar investigaciones y estudios especializados en los campos de su competencia, se permite presentar ante la comunidad científica, tomadores de decisiones y público en general el estudio denominado “Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala”.

Dicho estudio es producto del registro, procesamiento y administración de las bases de datos que el INSIVUMEH a través de un monitoreo constante durante muchos años ha realizado y el esfuerzo del personal profesional, técnico y administrativo del Departamento de Investigación y Servicios Climáticos, con el importante apoyo de las Autoridades Superiores del Ministerio.

Estando de acuerdo con que el conocimiento científico de las variables climáticas juntamente con los escenarios futuros se consideran una capacidad, se espera contribuir dando a conocer las condiciones relacionadas al tema que se han dado a través de los registros en el tiempo y que se podrían dar en las diferentes regiones climáticas del país, para que la información sea un insumo importante como base para la definición, formulación, planificación y ejecución de proyectos para la reducción de la vulnerabilidad, mitigación y adaptación ante la variabilidad y cambio climático en Guatemala.

Se aprecia el trabajo del personal de las diferentes disciplinas que contribuyó en la realización y publicación del presente estudio.

Ciudad de Guatemala, febrero de 2018.

Eddy Hardie Sánchez Benett
Director General
INSIVUMEH





Índice General

Contenido	Página
I. Introducción.....	1
II. Objetivos	2
III. Línea base o climatología de referencia.....	3
3.1 Climatología de referencia o la línea base 1971-2000.....	3
3.2 Análisis estadístico, anomalías y tendencias por regiones climáticas	3
IV. Red climática en Guatemala.....	4
V. Regionalización climática de Guatemala	7
5.1 Región Caribe.....	8
5.1.1 Análisis de anomalía	12
5.1.2 Análisis de tendencias.....	13
5.2 Región Valles del Oriente	14
5.2.1 Análisis de anomalía	21
5.2.2 Análisis de tendencias.....	22
5.3 Región del Occidente.....	25
5.3.1 Análisis de anomalía	31
5.3.2 Análisis de tendencias.....	33
5.4 Región Boca Costa	35
5.4.1 Análisis de anomalía	40
5.4.2 Análisis de tendencias.....	42
5.5 Región Costa del Pacífico.....	44
5.5.1 Análisis de anomalía	49
5.5.2 Análisis de tendencias.....	51
5.6 Región del Altiplano Central	53
5.6.1 Análisis de anomalía	59
5.6.2 Análisis de tendencias.....	61
5.7 Región Franja Transversal del Norte	63
5.7.1 Análisis de anomalía	66
3.7.2 Análisis de tendencias.....	67
5.8 Región del Norte.....	67
5.8.1 Análisis de anomalía	70
5.8.2 Análisis de tendencias.....	71



VI. Eventos extremos en Guatemala.....	73
6.1 Inundaciones	73
6.1.1 Caracterización de la inundación del Estor	73
6.1.2 Caracterización de la inundación de Mazatenago.....	83
6.1.3 Análisis de tendencias.....	89
6.2 Sequias.....	90
6.3 Heladas.....	92
VII. Eventos de variabilidad climáticas en Guatemala.....	96
7.1 El Niño Oscilación del Sur (ENOS).....	96
7.2 Ciclones tropicales.....	101
7.3 Frentes fríos.....	106
7.4 Canícula.....	110
VIII. Proyecciones futuras del clima en Guatemala.....	121
8.1 Escenarios climáticos de precipitación	122
8.2 Escenarios climáticos de temperatura promedio	126
8.3 Escenarios de balances climáticos	130
IX. Conclusiones	133
X. Bibliografía	134



Índice de Cuadros

Cuadro 1. Estaciones climáticas del INSIVUMEH.....	5
Cuadro 2. Discretización del evento de lluvia.....	73
Cuadro 3. Lluvia diaria registrada en la red de climática del área de estudio	75
Cuadro 4. Series de suelos presentes en la cuenca.	77
Cuadro 5. Uso de la tierra	77
Cuadro 6. Curva número por categoría hidrológica de la cuenca.	77
Cuadro 7. Series de suelos presentes en la cuenca.	79
Cuadro 8. Uso de la tierra de la cuenca Túnico.	79
Cuadro 9. Curva número por categoría hidrológica de la cuenca.	79
Cuadro 10. Series de suelos presentes en la microcuenca.	81
Cuadro 11. Uso de la tierra de la cuenca.	81
Cuadro 12. Curva número por categoría hidrológica de la cuenca.	81
Cuadro 13. Evento de lluvia registrado en las estaciones pluviométricas Lorena, Tululá y Mazatenango.	87
Cuadro 14. Probabilidad de ocurrencia de heladas según horario.....	93
Cuadro 15. Clasificación del ENOS por años.....	97
Cuadro 16. Estadística comparativa de los ciclones tropicales para el periodo 1971 a 2014.	103
Cuadro 17. Frecuencia relativa mensual del comportamiento la actividad ciclónica de 1851 a 2014.	104
Cuadro 18. Clasificación del Índice de Anomalía de Presión Atmosférica (IAPA).	107
Cuadro 19. Comportamientos de frentes en la época fría de Guatemala.	109
Cuadro 20. Comportamiento de los frentes fríos asociados al índice NAO y ENSO.	110
Cuadro 21. Porcentaje de anomalía de lluvia anual por década para el escenario B1.....	123
Cuadro 22. Anomalía de temperatura media por década para el escenario B1..	127



Índice de figuras

Figura 1. Leyenda de las gráficas de cajas y bigotes 4

Figura 2. Mapa de ubicación de la red climática de INSIVUMEH..... 6

Figura 3. Regionalización climática de Guatemala..... 8

Figura 4. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Puerto Barrios, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 9

Figura 5. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Puerto Barrios mediante un gráfico de cajas y bigotes. 10

Figura 6. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Puerto Barrios, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 10

Figura 7. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Puerto Barrios mediante un gráfico de cajas y bigotes 11

Figura 8. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Puerto Barrios periodo 1971 - 2014..... 12

Figura 9. Anomalía de temperatura en la estación Puerto Barrios periodo 1971 - 2014. 13

Figura 10. Tendencia de la lluvia anual en la estación Puerto Barrios 13

Figura 11. Tendencia de la temperatura anual en la estación Puerto Barrios 14

Figura 12. Comportamiento de la lluvia anual en la estación La Fragua, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 15

Figura 13. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Asunción Mita, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 16

Figura 14. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación La Fragua mediante un gráfico de cajas y bigotes 17

Figura 15. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Asunción Mita mediante un gráfico de cajas y bigotes 17

Figura 16. Comportamiento de la temperatura anual en la estación La Fragua, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 18

Figura 17. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Asunción Mita, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 19

Figura 18. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación La Fragua mediante un gráfico de cajas y bigotes. 20

Figura 19. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Asunción Mita mediante un gráfico de cajas y bigotes..... 20

Figura 20. Porcentaje de anomalía estandarizada lluvia en la estación La Fragua periodo 1971 - 2014. 21

Figura 21. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Asunción Mita periodo 1971 - 2014. 21



Figura 22. Anomalía de temperatura en la estación Asunción Mita periodo 1971 - 2014. 22

Figura 23. Anomalía de temperatura en la estación Asunción Mita periodo 1971 - 2014. 22

Figura 24. Tendencia de la lluvia anual en la estación La Fragua..... 23

Figura 25. Tendencia de la lluvia anual en la estación Asunción Mita 23

Figura 26. Tendencia de la temperatura anual en la estación La Fragua 24

Figura 27. Tendencia de la temperatura anual en la estación Asunción Mita 24

Figura 28. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Labor Ovalle, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 26

Figura 29. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Huehuetenango, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 27

Figura 30. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Labor Ovalle mediante un gráfico de cajas y bigotes. 28

Figura 31. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Huehuetenango mediante un gráfico de cajas y bigotes. 28

Figura 32. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Labor Ovalle, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 29

Figura 33. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Huehuetenango, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014..... 29

Figura 34. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Labor Ovalle mediante un gráfico de cajas y bigotes. 30

Figura 35. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Huehuetenango mediante un gráfico de cajas y bigotes..... 30

Figura 36. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Labor Ovalle periodo 1971 - 2014. 31

Figura 37. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Huehuetenango periodo 1971 - 2014..... 31

Figura 38. Anomalía de temperatura en la estación Labor Ovalle periodo 1971 - 2014. 32

Figura 39. Anomalía de temperatura media anual de la estación Huehuetenango periodo 1971 - 2014. 32

Figura 40. Tendencia de la lluvia anual en la estación Labor Ovalle..... 33

Figura 41. Tendencia de la lluvia anual en la estación Huehuetenango 33

Figura 42. Tendencia de temperatura anual en la estación Labor Ovalle 34

Figura 43. Tendencia de temperatura anual en la estación Huehuetenango 34

Figura 44. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Camantulul, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 36



Figura 45. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Sabana Grande, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 37

Figura 46. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Camantulul mediante un gráfico de cajas y bigotes 37

Figura 47. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Sabana Grande mediante un gráfico de cajas y bigotes. 38

Figura 48. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Camantulul, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 38

Figura 49. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Sabana Grande, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 39

Figura 50. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Camantulul mediante un gráfico de cajas y bigotes. 40

Figura 51. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Sabana Grande mediante un gráfico de cajas y bigotes. 40

Figura 52. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Camantulul periodo 1971 - 2014. 41

Figura 53. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Sabana Grande periodo 1971 - 2014. 41

Figura 54. Anomalía de temperatura en la estación Camantulul periodo 1971 - 2014. 41

Figura 55. Anomalía de temperatura en la estación Sabana Grande periodo 1971 - 2014. 42

Figura 56. Tendencia de la lluvia anual en la estación Camantulul..... 42

Figura 57. Tendencia de la lluvia anual en la estación Sabana Grande..... 43

Figura 58. Tendencia de la temperatura anual en la estación Camantulul..... 43

Figura 59. Tendencia de la temperatura anual en la estación Sabana Grande 44

Figura 60. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Montufar, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 45

Figura 61. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Puerto San José, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 46

Figura 62. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Montufar mediante un gráfico de cajas y bigotes. 46

Figura 63. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Puerto San José mediante un gráfico de cajas y bigotes. 47

Figura 64. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Montufar, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 47

Figura 65. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Puerto San José, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014..... 48



Figura 66. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Montufar mediante un gráfico de cajas y bigotes 48

Figura 67. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Puerto San José mediante un gráfico de cajas y bigotes..... 49

Figura 68. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Montufar periodo 1971 - 2014. 49

Figura 69. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Puerto San José periodo 1971 - 2014. 50

Figura 70. Anomalía de temperatura en la estación Puerto San José periodo 1971 - 2014. 50

Figura 71. Anomalía de temperatura en la estación Puerto San José periodo 1971 - 2014. 51

Figura 72. Tendencia de la lluvia anual en la estación Montufar 51

Figura 73. Tendencia de la lluvia anual en la estación Puerto San José 52

Figura 74. Tendencia de la temperatura anual en la estación Montufar..... 52

Figura 75. Tendencia de la lluvia temperatura en la estación Puerto San José.... 53

Figura 76. Comportamiento de la lluvia anual en la estación INSIVUMEH, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 54

Figura 77. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Alameda ICTA, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 55

Figura 78. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación INSIVUMEH mediante un gráfico de cajas y bigotes. 55

Figura 79. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Alameda ICTA mediante un gráfico de cajas y bigotes. 56

Figura 80. Comportamiento de la Temperatura anual en la estación INSIVUMEH, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 57

Figura 81. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Alameda ICTA, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014. 58

Figura 82. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación INSIVUMEH mediante un gráfico de cajas y bigotes. 58

Figura 83. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Alameda ICTA mediante un gráfico de cajas y bigotes 59

Figura 84. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación INSIVUMEH periodo 1971 - 2014. 59

Figura 85. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Alameda ICTA periodo 1971 - 2014..... 60

Figura 86. Anomalía de temperatura en la estación INSIVUMEH periodo 1971 - 2014. 60



Figura 87. Anomalía de temperatura en la estación Alameda ICTA periodo 1971 - 2014.	61
Figura 89. Tendencia de la lluvia anual en la estación Alameda ICTA.....	62
Figura 90. Tendencia de la temperatura anual en la estación INSIVUMEH.....	62
Figura 91. Tendencia de la temperatura anual en la estación Alameda ICTA.....	63
Figura 92. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Cobán, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.	64
Figura 93. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Cobán mediante un gráfico de cajas y bigotes.	64
Figura 94. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Cobán, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.	65
Figura 95. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Cobán mediante un gráfico de cajas y bigotes.	65
Figura 96. Porcentaje de anomalía estandarizada de la estación Cobán periodo 1971 - 2014.	66
Figura 97. Anomalía de temperatura en la estación Cobán periodo 1971 - 2014.	66
Figura 98. Tendencia de la lluvia anual en la estación Cobán.	67
Figura 99. Tendencia de la temperatura anual en la estación Cobán.	67
Figura 100. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Flores, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.	68
Figura 101. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Flores mediante un gráfico de cajas y bigotes.	69
Figura 102. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Flores, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.	69
Figura 103. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Flores mediante un gráfico de cajas y bigotes.	70
Figura 104. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Flores periodo 1971 - 2014.	70
Figura 106. Tendencia de la lluvia anual en la estación Flores.....	71
Figura 107. Tendencia de la temperatura anual en la estación Flores.....	72
Figura 108. Discretización del evento de lluvia que causo la inundación.....	74
Figura 109. Distribución espacial del evento de lluvia.....	75
Figura 110. Distribución de los acumulados de lluvia en 10 días, dentro del área de influencia.	76
Figura 111. Hietograma e Hidrograma de evento de lluvia de 67.8 mm.....	78
Figura 112. Hietograma e Hidrograma de evento de lluvia de 136.8 mm.....	78
Figura 113. Hietograma e Hidrograma del evento de lluvia de 78.2 mm.....	80
Figura 114. Hietograma e Hidrograma del evento de lluvia de 136.8 mm.....	80



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

Figura 115. Hietograma e Hidrograma del evento de lluvia de 93.4 mm.....	82
Figura 116. Hietograma e Hidrograma del evento de lluvia de 136.8 mm.....	82
Figura 117. Ubicación de las tres cuencas.....	83
Figura 118. Detección del evento de lluvia con las imágenes de satélite (GOES) y el radar meteorológico.....	85
Figura 119. Ubicación de estaciones climáticas e hidrométricas	85
Figura 120. Hietograma del evento de lluvia del 18 de septiembre de 2017 de las estaciones Lorena y Tulula.....	86
Figura 121. Estimación del hietograma del evento de lluvia del 18 de septiembre de 2017 en la estación Mazatenango.....	86
Figura 122. Hietograma de lluvia de la estación Mazatenango a cada 15 minutos estimado con los datos de lluvia de la estaciones Tululá y Lorena.	88
Figura 123. Distribución espacial del evento de lluvia.....	88
Figura 124. Crecida del río Sis.....	89
Figura 125. Tendencia de la ocurrencia de inundaciones a nivel municipal.....	90
Figura 126. Mapa de probabilidad de ocurrencia espacial de sequía para el periodo 1970 a 2014.	91
Figura 127. Mapa de probabilidad de afectación de lluvias de julio de 2014 asociado a un probable evento El Niño de categoría débil a moderado.	92
Figura 128. Comportamiento mensual de la probabilidad de ocurrencia empírica de Weibull de heladas.....	93
Figura 129. Mapa de probabilidad de ocurrencia de heladas en la época fría.	94
Figura 130. Probabilidad de ocurrencia de heladas para el mes de diciembre	94
Figura 131. Probabilidad de ocurrencia de heladas para el mes de enero	95
Figura 132. Probabilidad de ocurrencia de heladas para el mes de febrero	95
Figura 133. Región del ENSO.....	96
Figura 134. Comportamiento de las corrientes y temperatura superficial del océano pacifico ecuatorial.....	97
Figura 135. Comportamiento de la lluvia bajo el efecto del ENSO en la región de Occidente.....	98
Figura 136. Comportamiento de la lluvia bajo el efecto del ENSO en la región del Altiplano Central.....	99
Figura 137. Comportamiento de la lluvia bajo el efecto del ENSO en la región de Boca Costa.....	99
Figura 138. Comportamiento de la lluvia bajo el efecto del ENSO en la región de la Costa Sur.	99
Figura 139. Comportamiento de la lluvia bajo el efecto del ENSO en la región del Oriente.	99



Figura 140. Comportamiento de la lluvia bajo el efecto del ENSO en la región de la Franja Transversal y Caribe.	100
Figura 141. Comportamiento de la lluvia bajo el efecto del ENSO en la región de Norte.	100
Figura 142. Porcentaje de lluvia acumulada de agosto de 2015.	101
Figura 143. Mapa de frecuencia de ciclones tropicales de 1850 a 2010.	102
Figura 144. Comportamiento de los ciclones tropicales en el Océano Pacífico y Atlántico para el periodo 1950 a 2014.	103
Figura 145. Frecuencia relativa mensual del comportamiento la actividad ciclónica de 1851 a 2014.	104
Figura 146. Ciclones tropicales que han afectado a Guatemala.	105
Figura 147. Imagen de vapor de agua donde se muestra el ingreso del Frente Frio en la región del mar Caribe.	106
Figura 148. Influencia de los Frentes fríos en el clima de Guatemala.	108
Figura 149. Frecuencia promedio de frentes fríos por mes.	109
Figura 150. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de Huehuetenango.	111
Figura 151. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de Huehuetenango.	111
Figura 152. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de Labor Ovalle.	112
Figura 153. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de Labor Ovalle.	112
Figura 154. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de Chinique.	113
Figura 155. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de Chinique.	113
Figura 156. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de Santa Cruz Balanyá.	114
Figura 157. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de Santa Cruz Balanyá.	114
Figura 158. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de INSIVUMEH.	115
Figura 159. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de INSIVUMEH.	115
Figura 160. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de La Fragua.	116
Figura 161. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de La Fragua.	116



Figura 162. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de San Jerónimo	117
Figura 163. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de San Jerónimo.....	117
Figura 164. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de Asunción Mita.....	118
Figura 165. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de Asunción Mita	118
Figura 166. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de Camotán.....	119
Figura 167. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de Camotán	119
Figura 168. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de La Ceibita	120
Figura 169. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de La Ceibita	120
Figura 170. Cambio en la precipitación promedio para los periodos 1970 a 2000 y 2001 a 2014.	122
Figura 171. Promedio nacional de la precipitación anual bajo os escenarios B1 y A2.....	123
Figura 172. Lluvia anual para la década 2030 y 2050 bajo el escenario B1 y A2	124
Figura 173. Lluvia anual para la década 2070 y 2090 bajo el escenario B1 y A2	125
Figura 174. Leyenda de precipitación anual.....	125
Figura 175. Cambio de la temperatura anual para el periodo 1970-200 y 2001-2014.	126
Figura 176. Proyección del cambio de temperatura bajo los escenarios B1 y A2.	127
Figura 177. Temperatura media anual para la década 2030 y 2050 bajo el escenario B1 y A2	128
Figura 178. Temperatura media anual para la década 2070 y 2090 bajo el escenario B1 y A2.	129
Figura 179. Leyenda de la temperatura media anual.....	129
Figura 180. Disponibilidad hídrica futura para la década 2030 y 2050 bajo el escenario B1 y A2	131
Figura 181. Disponibilidad hídrica futura para la década 2070 y 2090 bajo el escenario B1 y A2	132
Figura 182. Leyenda de la disponibilidad hídrica Futura	132



I. Introducción

En las últimas décadas, los ciclos naturales de oscilación en la temperatura y la precipitación, se han visto caracterizados por fuertes variaciones que conducen a extremos climáticos y meteorológicos en diferentes partes del planeta. El efecto antropogénico, asociado a la contaminación con gases de efecto invernadero, es uno de los generadores de estas marcadas oscilaciones de la variabilidad climática. De hecho, algunos científicos coinciden en que los efectos de la variabilidad climática interanual, se están mezclando y potenciando con los efectos del cambio climático (Zwiers et al 2003, Sinha Ray y De 2003, IPCC 2007).

De acuerdo con Zwiers et al 2003, el detectar cambios en el clima frente a su variabilidad, es clave en la investigación climatológica. Este reto es de reciente importancia, si se trata de evidenciar la magnitud de los cambios como signos de los efectos del calentamiento global, comparando períodos climáticos de un pasado reciente, con períodos climáticos actuales.

Para poder establecer estudios de clima, variabilidad y cambio climático, es necesario caracterizar un período de tiempo suficientemente extenso, como para obtener resultados estadísticos robustos. Según el IPCC (2007), la línea base es el escenario climático de referencia o de comparación a partir del cual se determinan los escenarios y proyecciones de cambio climático. Normalmente, estos estudios tipifican las proyecciones futuras de elementos como precipitación y temperatura a diferentes horizontes de tiempo, caracterizando su tendencia, la variación en magnitud y su distribución espacial y temporal. La línea base junto con la proyección futura del clima, debe estar ligada por un análisis de lo que se podría llamar evidencias o signos de cambio, en el caso de que existan. Estas “evidencias” son observaciones recientes que indiquen cambios estadísticos importantes ante el valor de referencia y que sean coherentes con los resultados de la proyección futura del clima. De esta forma, regiones que ya presentan una tendencia clara de cambio y cuya proyección futura indica un reforzamiento de esta tendencia, deben ser objeto de monitoreo constante, priorización de atención y diseño de estrategias de adaptación. De esta forma, los recursos de adaptación serán administrados en forma diferencial sobre regiones prioritarias.



II. Objetivos

Evaluar los cambios en los registros de precipitación y temperatura para los periodos de 1971-2000 (Línea base o referencia), 2001-2014 (Línea actual) y 2030-2090 (Escenarios de cambio climático B1 y A2) en las regiones climáticas de Guatemala.

- a) Establecer la línea base para cada región climática
- b) Determinar los cambio en precipitación y temperatura en cada región
- c) Estimar las tendencias de las variables climáticas precipitación y temperatura.
- d) Analizar el comportamiento de la precipitación y temperatura a través del tiempo.
- e) Analizar los cambios en los en los fenómenos hidrometeorológicos.
- f) Determinar los cambios en el clima de Guatemala mediante los escenarios de cambio climático A2 y B1 por década.



III. Línea base o climatología de referencia

3.1 Climatología de referencia o la línea base 1971-2000

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomendó el uso de períodos estándares para caracterizar el clima actual de una región y hacerlos comparables estadísticamente con otros (INECO 2007). Estos períodos se conocen como Normales Climatológicas Reglamentarias, que son medias de los datos climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 años, a partir del 01 de enero de 1901 (OMM sf). Actualmente, la mayor parte de estas normales climatológicas o “líneas base climáticas” se construyen a partir de los registros del período normal 1961-1990, aunque debido a la mayor disponibilidad de datos y cercanía de tiempo también se están utilizando las del período 1971-2000. El análisis de la variabilidad climática de estos períodos base permite detectar tendencias, fases de oscilación de largo período e incluso cambios climáticos que se estén sucediendo (DINAMA 2005, Sinha y De 2003). Para el presente estudio se utilizará como periodo base del promedio de 1971 a 2000.

3.2 Análisis estadístico, anomalías y tendencias por regiones climáticas

El concepto de variabilidad climática hace referencia a las variaciones del estado medio y a otras características estadísticas del clima en todas las escalas temporales y espaciales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa) (IPCC, 2007). Para lo cual se determinó la climatología de cada región, mediante el uso de los siguientes estadísticos: Valor extremo (máximo y mínimo), medidas de tendencia central (promedio y mediana), medidas de dispersión (Desviación estándar y coeficiente de variación) y percentiles (percentil 10, 25, 75 y 90). Estos, sirvieron para evaluar la variabilidad temporal de la variable (Lluvia y temperatura). Además, se determinó el promedio para el periodo base (1971 a 2000) y periodo actual (2001 a 2014) para observar la los cambios anuales y mensuales de cada variable a través de la anomalía y la tendencia.

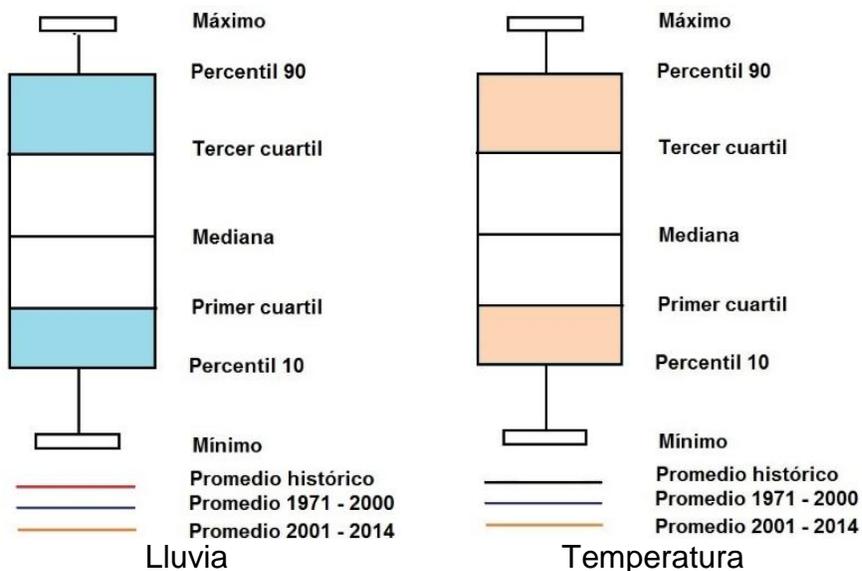


Figura 1. Leyenda de las gráficas de cajas y bigotes

La anomalía se utilizó como indicador de cambio entre los periodos evaluados a nivel anual y mensual. La anomalía presenta tres fases: Negativa, positiva y neutra; cuando la anomalía es negativa indica que el valor de la variable (lluvia o temperatura) observada estuvo por debajo del promedio del periodo base, cuando la anomalía es positiva indica que el valor de la variable observada estuvo por arriba del promedio del periodo base, y cuando es neutra el valor de la variable observada es igual al promedio del periodo base.

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la anomalía son las siguientes:

$$\text{Anomalía} = \text{Valor observado} - \text{promedio periodo base}$$

$$\text{Porcentaje de anomalía estandarizada} = \frac{\text{Valor observado} - \text{promedio periodo base}}{\text{desviación estandar periodo base}} * 100$$

La evaluación de la tendencia se realizó mediante el cálculo de la pendiente de la recta de la variable media anual y su comportamiento en el tiempo. Si la pendiente de la recta es positiva representa una tendencia creciente o de aumento, y si la pendiente es negativa representa una tendencia decreciente o disminución.

IV. Red climática en Guatemala

Actualmente, el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) cuenta con una red climatológica de 37 estaciones climatológicas que llenan los requisitos para realizar estudios de variabilidad climática.



Cuadro 1. Estaciones climáticas de INSIVUMEH

No.	Estación	Registro (años)
1	Puerto Barrios, Izabal	43
2	Camotán, Chiquimula	43
3	Asunción Mita, Jutiapa	43
4	San Jerónimo, Baja Verapaz	43
5	INSIVUMEH, Guatemala	43
6	San Martín Jilotepeque, Chimaltenango	43
7	Chuitinamit, Sacapulas, El Quiché	43
8	Nebaj, El Quiché	43
9	Huehuetenango	43
10	Camantulul, Santa Lucia Cotz., Escuintla	43
11	Quezada, Jutiapa	43
12	Cobán, Alta Verapaz	42
13	La Unión, Zacapa	42
14	La Ceibita, Monjas, Jalapa	42
15	Pasabien, Zacapa	42
16	Labor Ovalle, Quetzaltenango	42
17	Esquipulas	41
18	La Fragua, Estanzuela, Zacapa	41
19	Sabana Grande	41
20	Flores aeropuerto, Flores, Petén	40
21	Las Vegas, Livingston, Izabal	40
22	Potrero Carrillo, Jalapa	40
23	San Pedro Ayampuc, Guatemala	40
24	Suiza Contenta, San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez	40
25	San Marcos	40
26	Todos Santos, Huehuetenango	40
27	San José Aeropuerto, Puerto San José, Escuintla	40
28	Santa María Cahabón, Cahabón, Alta Verapaz	39
29	Santa Cruz Balanyá, Chimaltenango	39
30	Santiago Atitlán, Sololá	39
31	Chinique	39
32	Montufar, Jutiapa	38
33	San Agustín Chixoy, Chisec, Alta Verapaz	36
34	Retalhuleu Aeropuerto	34
35	Cubulco, Alta Verapaz	33
36	Alameda ICTA, Chimaltenango	33
37	Quiché Chixoy, Chicamán, Quiché	30

Fuente: INSIVUMEH, 2015



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

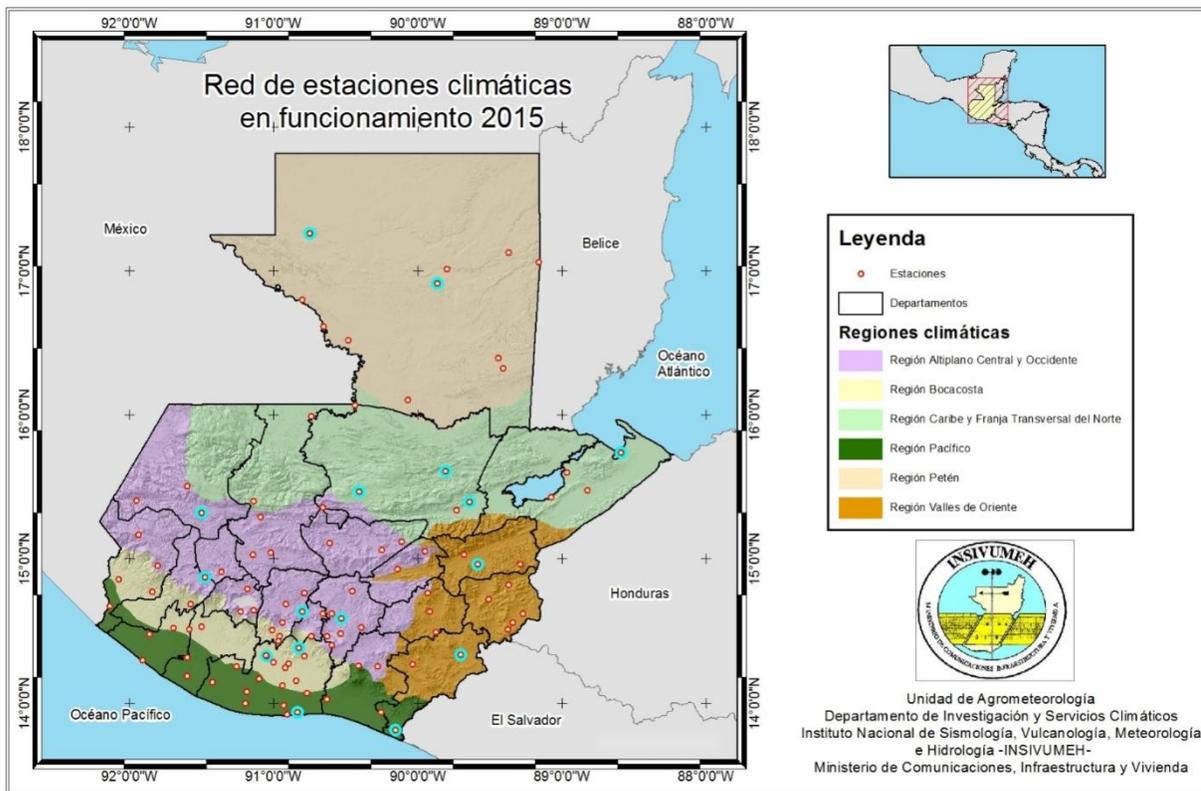


Figura 2. Mapa de ubicación de la red climática de INSIVUMEH, 2015



V. Regionalización climática de Guatemala

El clima de Guatemala se origina a partir de los fenómenos que se generan por efecto de la circulación general de la atmósfera, la influencia oceánica, y este va adquiriendo características particulares por la posición geográfica y la topografía del país.

Las cuatro estaciones que normalmente se marcan en el hemisferio Norte, no se marcan en Guatemala. Sino, que se marcan dos épocas particulares, siendo estas: La época lluviosa (mayo a octubre) y seca (noviembre a abril).

El ciclo lluvioso se produce cuando se establece el régimen de los vientos Alisios del Nordeste, y subsecuentemente la zona de convergencia Intertropical (ZCTI) se aproxima a nuestras latitudes, se dependen sistemas nubosos desde la costa africana y son trasladadas por los vientos alisios que adquieren mayor componente del Este (Ondas del Este), a su paso estas ondas del Este van generando lluvia y algunas veces adquieren un componente de vorticidad convirtiéndolas en ciclones tropicales, este fenómeno genera una gran cantidad de lluvia durante su paso. La época lluviosa por lo general da inicio en el mes de mayo, en el mes de junio suelen presentarse días nublados y lluviosos. En julio y parte de agosto se produce un período seco denominado canícula, esto debido a la inversión de los alisios, y al fortalecimiento del anticiclón del Golfo de México, posteriormente al debilitarse y desaparecer vuelve nuevamente las precipitaciones intensas que completan la temporada lluviosa (septiembre y octubre).

La época seca da inicio con el incremento de la presión atmosférica y la migración de masas de aire frío proveniente de la zona polar (Frentes fríos), causando un descenso de la temperatura e incrementando la velocidad del viento, por lo general se tiene predominancia de viento norte, esta época fría se marca de noviembre a febrero, y posteriormente, se incrementa la temperatura presentándose olas de calor en los meses de marzo y abril. Durante esta época se pueden presentar algunas lluvias locales de tipo convectivo, o prefrontales por la influencia de frentes fríos.

Las condiciones descritas son de carácter general; pero cada región tiene sus propias características climáticas locales debido al efecto de la topografía regional, vegetación, geología y tipos de suelo, permitiendo definir seis regiones perfectamente caracterizadas, siendo estas regiones las siguientes:

- a) Región Caribe
- b) Región de los Valles de Oriente
- c) Región de Occidente
- d) Región Boca Costa
- e) Región Pacífico
- f) Región del Altiplano Central
- g) Región Franja Transversal del Norte
- h) Región Norte

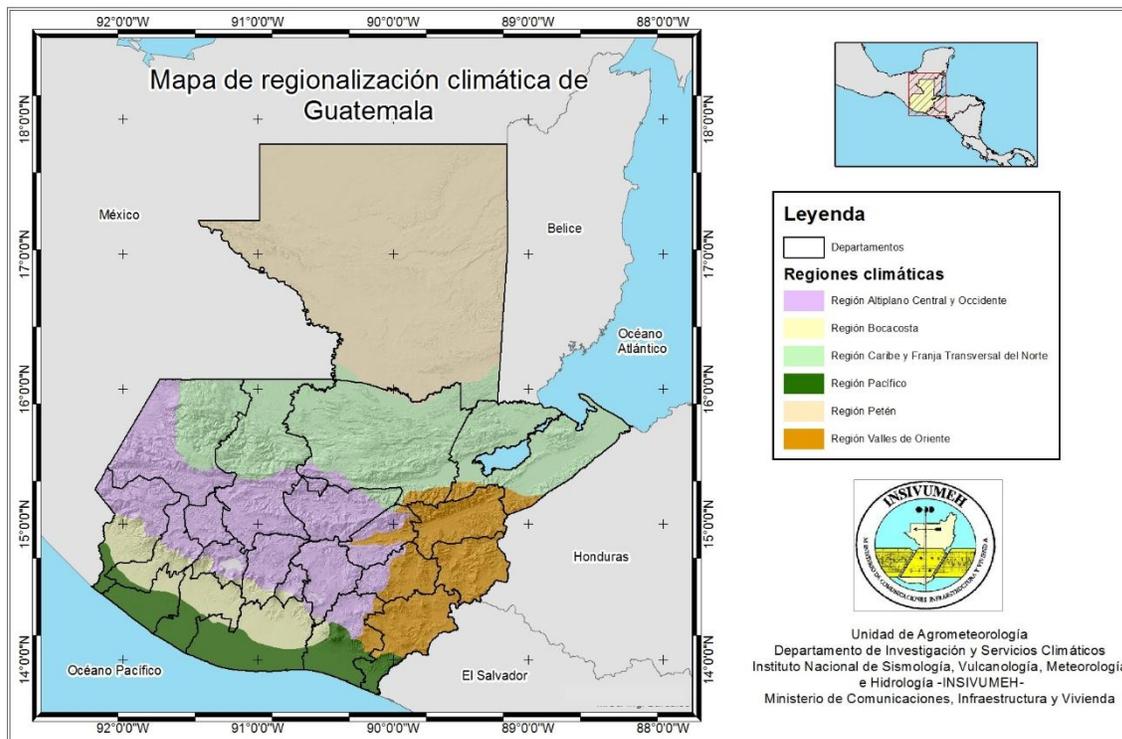


Figura 3. Regionalización climática de Guatemala
Fuente: INSIVUMEH, 2013

5.1 Región Caribe

La lluvia en la región Caribe oscila entre los 3230 a 3726 mm anuales. Sin embargo, la lluvia máxima anual que se ha registrado en todo el periodo es de 4564 (año 2006) y la lluvia mínima anual fue de 1745.7 (año 1977). Al evaluar la concentración de lluvia anual entre los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014, se observa que las medias tienen un incremento en 75.2 mm. Sin embargo, el 50% de los datos se encuentra concentrado entre 2960.9 a 3657.7 mm en los últimos 14 años.

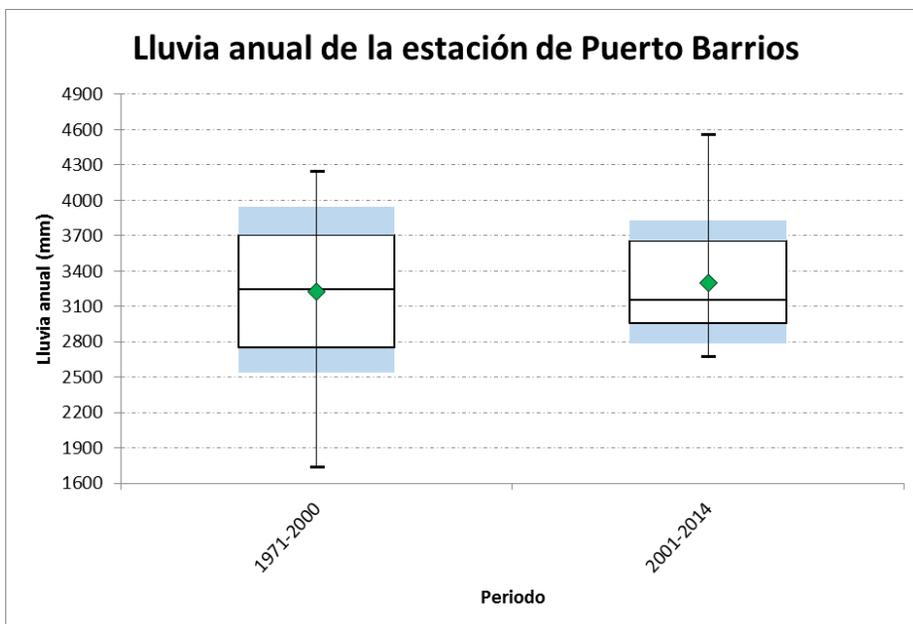


Figura 4. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Puerto Barrios, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

Esta región se caracteriza por presentar lluvia durante todo el año. El comportamiento de la lluvia para el mes de enero oscila entre 182.3 a 356.1 mm, febrero suele presentar lluvias entre 106.1 a 241.6 mm, marzo se caracteriza por ser el mes con menor lluvia, presentándose entre 72.1 a 167.3 mm, abril es otro mes con bajo registro de lluvia oscilando entre 81.1 a 197.4 mm, el mes de mayo se caracteriza por presentar un periodo seco entre 15 a 21 días iniciando las lluvias entre el 21 al 31 de mayo, esto permite que se den acumulados de 82.6 a 256.5 mm, junio es un mes donde se presentan lluvias normales, oscilando entre los 166.5 a 321.9, en julio se pueden presentar acumulados entre 321.1 a 480.6, agosto es un mes muy variable en cuanto al registro de lluvia y se debe a la actividad ciclónica del mar Caribe, oscilando entre 285.4 a 528 mm, septiembre tiende a oscilar entre 240 a 368.9 mm, octubre tiende a oscilar entre 220.8 a 466.1 mm, noviembre se caracteriza por la influencia de los frentes fríos y a la finalización de la temporada ciclónica, oscilando los acumulados entre 197.5 y 429 mm, y diciembre presenta acumulados entre 186.4 a 356.7 mm. La lluvia mensual a incrementado en los últimos 14 años para los meses: Enero, febrero, abril, mayo y junio; pero para los meses de agosto, octubre, noviembre y diciembre se encuentra por debajo del promedio del periodo 1971 a 2001. El mes de marzo no presenta cambio.

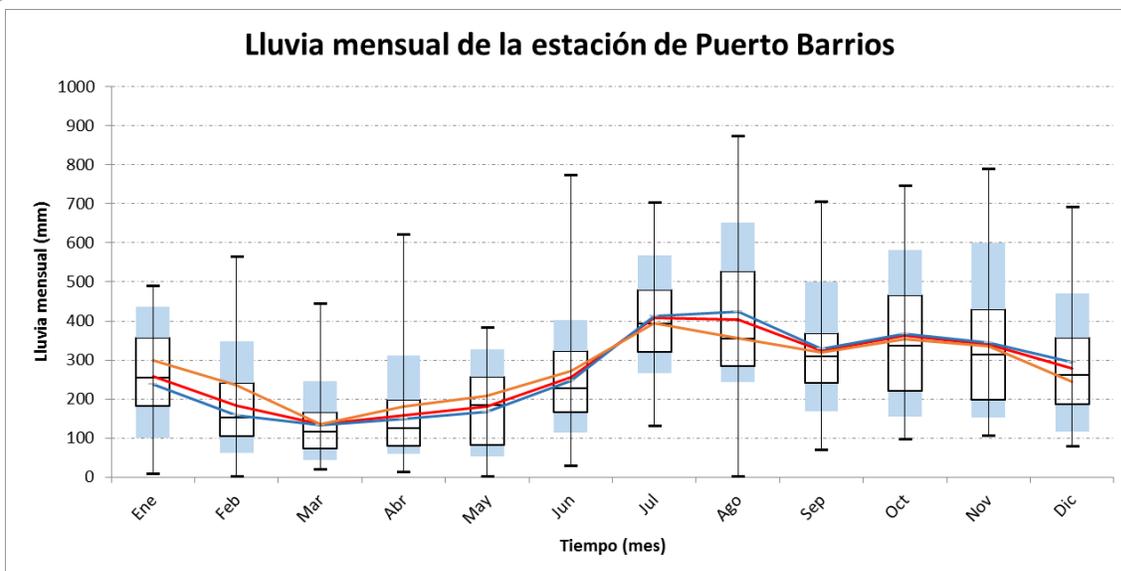


Figura 5. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Puerto Barrios mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea roja = Promedio 1971 a 2014)

La temperatura media anual tiende a oscilar entre los 25.8 a 26.6 °C. Sin embargo, se observa un incremento de 0.4 °C en el periodo de 2001 a 2014. Además, los datos tienden a concentrarse más en los últimos 14 años, oscilando entre 26.3 a 26.7 °C la temperatura promedio anual.

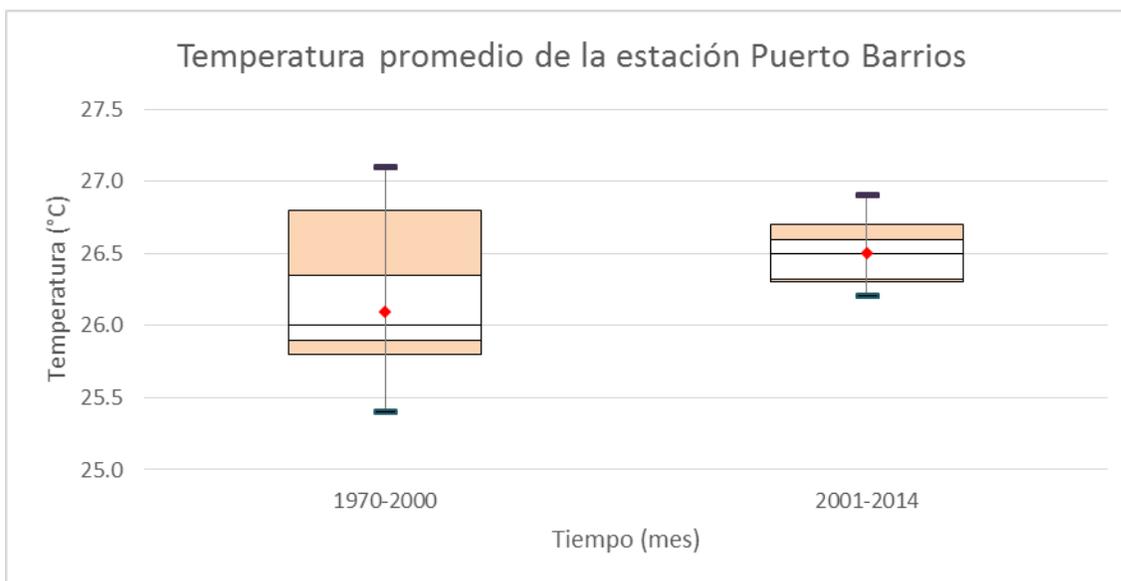


Figura 6. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Puerto Barrios, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

La variabilidad de mensual de la temperatura se observa en la siguiente gráfica, para el mes de enero las temperatura media mensual tiende a oscilar entre 23.1 a 24.1 °C, en febrero varía de 23.7 a 24.8 °C, en marzo de 25.2 a 26.0 °C, en abril de 26.8 a 27.5 °C, en mayo oscila entre 27.7 y 28.5 °C, en junio varia de 27.6 a 28.5°C, en julio tiende a oscilar entre 27.2 a 27.9°C, en agosto la temperatura varia de 27.2 y 28.1°C, en septiembre tiende a encontrarse entre 27 y 28°C, en octubre varia de 26.2 a 27°C, en noviembre oscila entre 24.3 a 25.5°C, y en diciembre la temperatura puede encontrarse entre 23.4 a 24.3°C. Los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero corresponde a la época fría de Guatemala, y son los que presentan las menores temperaturas. Al comparar las medias climáticas de los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014, se observa que en los meses de noviembre, diciembre y enero son más fríos, mientras el resto de meses son más cálidos comparado con la normal climática (periodo 1971 a 2000), siendo el mes de julio y agosto los que presentan el mayor aumento, aproximadamente de 0.8°C.

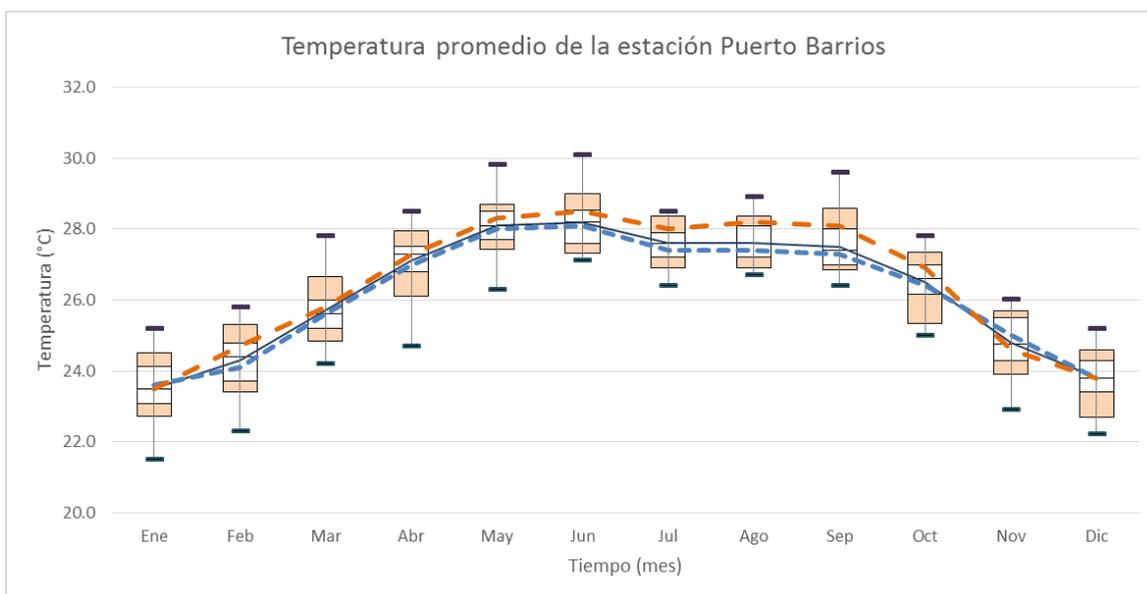


Figura 7. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Puerto Barrios mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea negra = Promedio 1971 a 2014)

La amplitud térmica promedio es la diferencia entre la temperatura máxima promedio y temperatura mínima promedio, la variación mensual oscila entre 7.4 a 9.2°C, siendo los meses con mayor amplitud térmica marzo, abril y mayo; debido a la influencia de la época calurosa, y los meses con menor amplitud térmica son noviembre y diciembre, estos meses están influenciados por la época fría del hemisferio Norte.

5.1.1 Análisis de anomalía

Esta zona presenta anomalías estandarizadas de lluvias negativas, pero están más relacionadas al enfriamiento de la región del océano Atlántico Tropical Norte (ATN), algunos años a la combinación con el fenómeno de El Niño. En forma general cuando existe un enfriamiento en la región ATN, las lluvias disminuyen alcanzando una categoría de sequía ligeramente seca, en el año 1971 y 1973 se alcanzó un nivel de moderadamente seco, y en 1977 extremadamente seco.

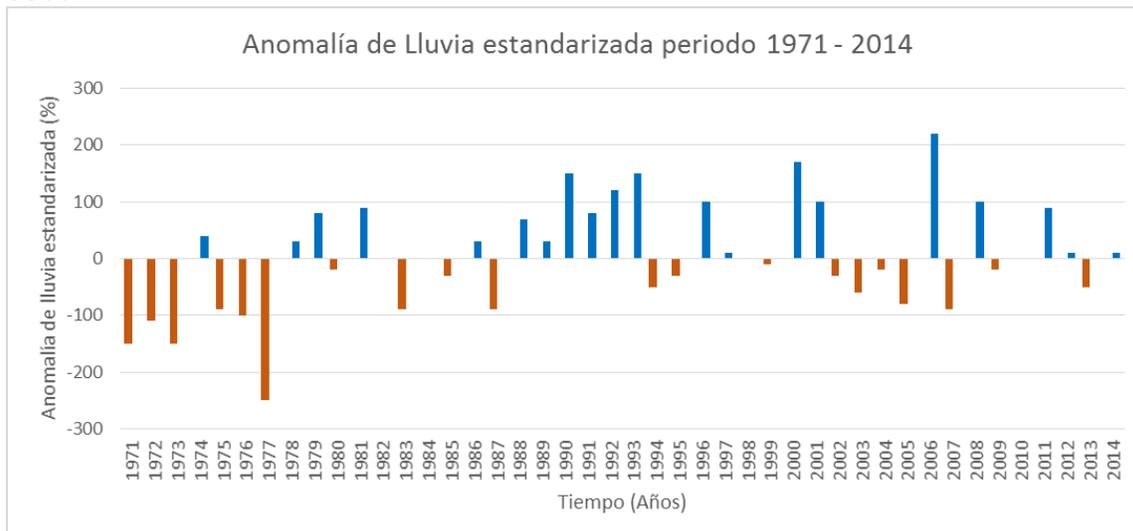


Figura 8. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Puerto Barrios periodo 1971 - 2014.

Las anomalías de temperatura muestran un incremento a partir del año 1990 a la fecha, oscilando la anomalía entre 0.2 y 1 °C. Las anomalías positivas más altas están ligadas a eventos del fenómeno de El Niño de 1983, 1995, 1997 y 1998. Sin embargo, la temperatura en promedio ha aumentado en 0.4 °C.

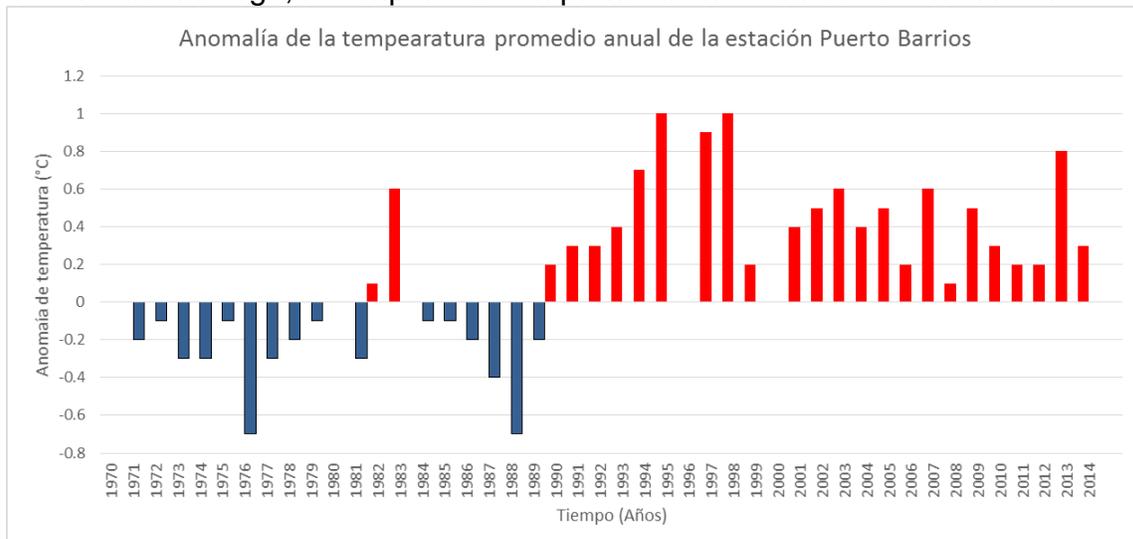




Figura 9. Anomalía de temperatura en la estación Puerto Barrios periodo 1971 - 2014.

5.1.2 Análisis de tendencias

La lluvia anual tiene una tendencia lineal de incremento en 14 mm/año. La oscilación de la lluvia está influenciada por factores climáticos externos, siendo estos: ciclones tropicales en la región del mar caribe, frentes fríos, pasó de ondas del Este y las temperaturas del ATN.

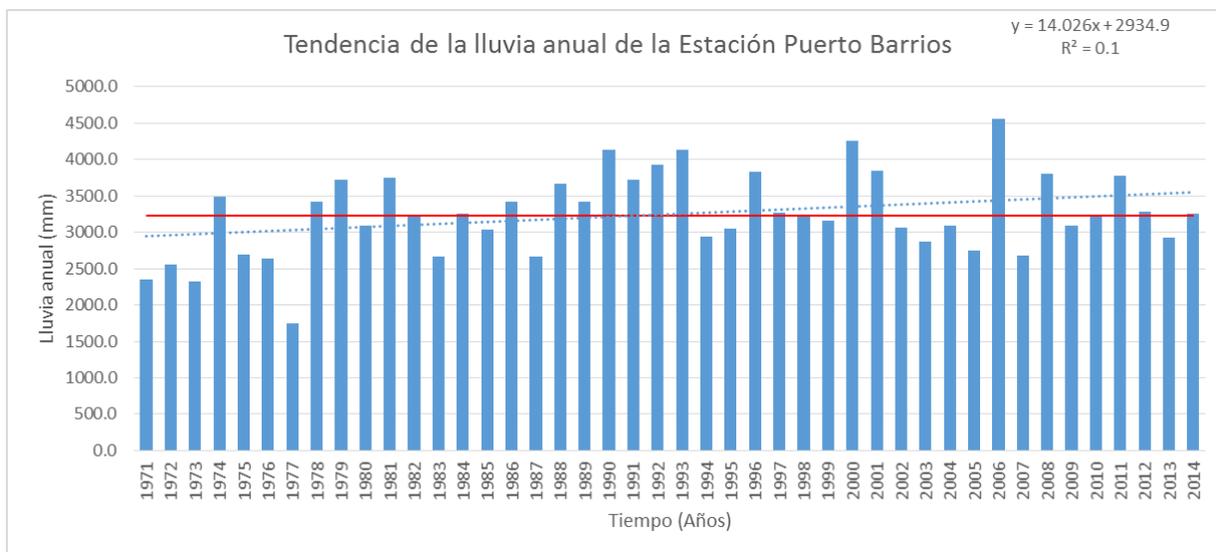


Figura 10. Tendencia de la lluvia anual en la estación Puerto Barrios

La temperatura presenta una tendencia lineal de incremento de 0.02 °C/año, esto indica un incremento por década de 0.2 °C en la temperatura media, lo que va acorde con el cambio encontrado entre el periodo actual y base, que es de 0.4 °C.

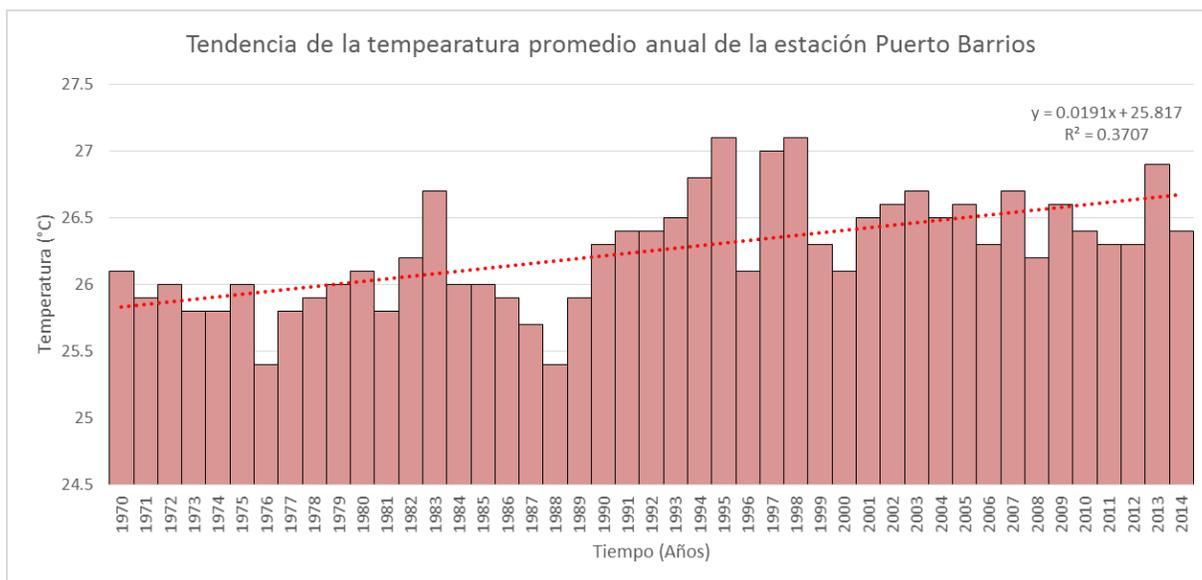




Figura 11. Tendencia de la temperatura anual en la estación Puerto Barrios

5.2 Región Valles del Oriente

Comprende la mayor parte del departamento de Zacapa y sectores de los departamentos de Chiquimula, el Progreso y Jalapa. La característica principal es la deficiencia de lluvia (la región del país donde menos llueve). El factor que define las condiciones de la región es la Sierra de las Minas, que la deja sin humedad, filtrándose únicamente aire cálido.

Se manifiestan climas de género cálido con invierno benigno, variando su carácter de semisecos sin estación seca bien definida hasta seco con invierno seco. La vegetación característica es pastizal y matorrales.

Esta región se ha caracterizado por ser la que menor lluvia anual registra a nivel nacional, oscilando su promedio pluviométrico entre 700 a 1300 mm de lluvia anual, en la actualidad presenta un incremento en su promedio de lluvia anual entre 175 a 200 mm en toda la región.

La estación La Fragua presentó un promedio en el periodo base de 699.6 mm, y actualmente su promedio ha incrementado en 193.2 mm, siendo el promedio para el periodo actual de 892.3 mm. Los valores de lluvia por debajo del percentil 10 (482.7 mm) son: 469 mm (1983), 451.7 mm (1972) y 440.9 mm (1976); siendo este el valor mínimo en el registro histórico. Mientras, el valor mínimo del periodo actual es de 540.1 mm y está comprendido entre los valores del percentil 10 y 25 del periodo base (482.7 y 578.7 mm, respectivamente). Los valores máximos de lluvia por arriba del percentil 90 (915.2 mm) se registraron en los años del periodo base y actual, siendo estos: 1996 (919.5 mm), 1998 (1005.1 mm), 2011 (1021.5 mm), 1984 (1031.5 mm), 2008 (1179.8 mm), 2014 (1293 mm) y 2010 (1492.1 mm) siendo este último el valor máximo en todo el registro histórico.

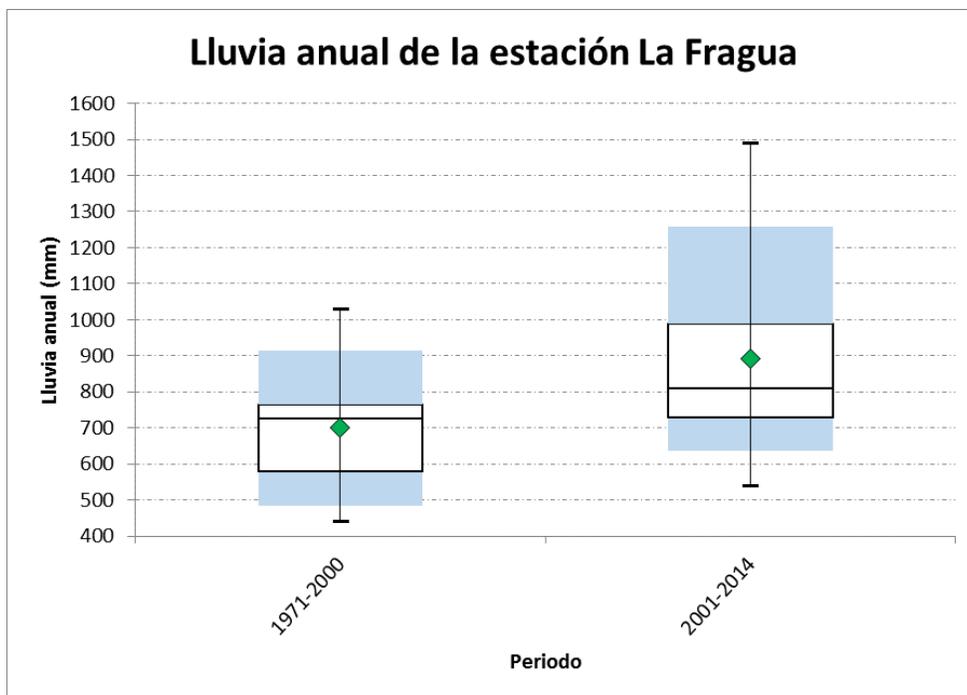


Figura 12. Comportamiento de la lluvia anual en la estación La Fragua, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

La estación Asunción Mita presento un promedio base de 1288 mm, y actualmente su promedio ha incrementado en 172.9 mm, siendo el promedio para el periodo actual de 1460.9 mm. Los valores de lluvia por debajo del percentil 10 (990.7 mm) son: 931 mm (1977), 890.5 mm (1972) y 865.9 mm (1986); siendo este el valor mínimo en el registro histórico. Mientras, el valor mínimo del periodo actual es de 1116.4 mm y está comprendido entre los valores del percentil 10 y 25 del periodo base (1063.6 y 1195.7 mm, respectivamente). Los valores máximos de lluvia por arriba del percentil 90 (1580.3 mm) se registraron en los años del periodo base y actual, siendo estos: 1995 (1591.9 mm), 2006, (1648.9 mm), 2010 (1708.8 mm), 1996 (1734.3 mm), 1971 (1764.2 mm) y 2011 (2033.1 mm), siendo este último el valor máximo en todo el registro histórico.

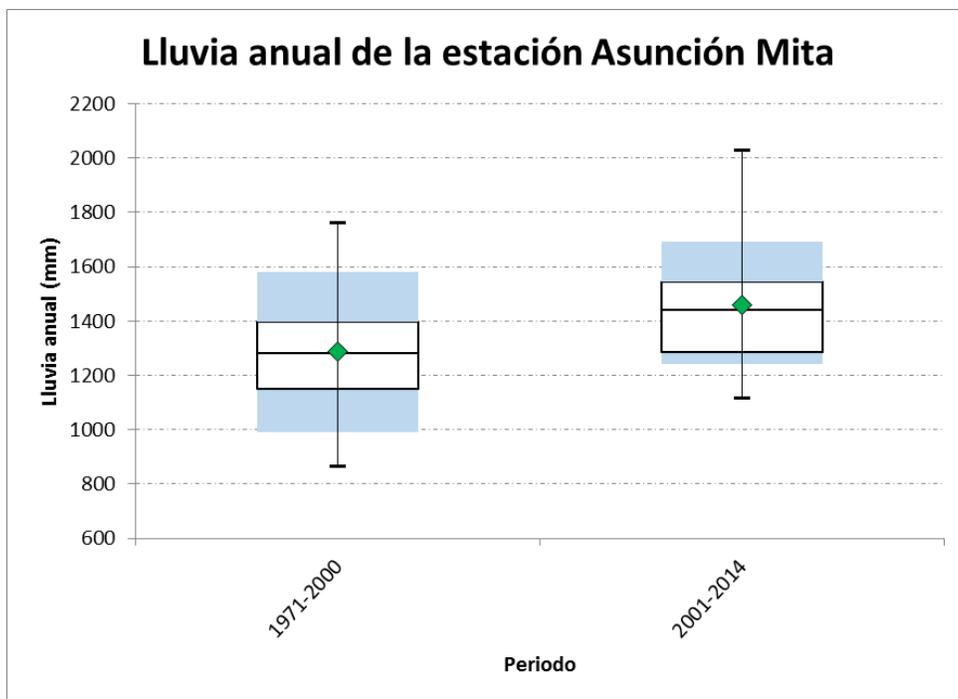


Figura 13. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Asunción Mita, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

El régimen de lluvias está comprendido entre los meses de mayo a octubre, en promedio la época lluviosa se suele establecer en el 15 y 25 de mayo y finaliza entre el 15 al 25 de octubre en un año normal, durante un año bajo la influencia del fenómeno de El Niño, el inicio de la época lluviosa es irregular; pero tiende a retrasarse entre 15 a 21 días, y su finalización es irregular; pero tiende a adelantarse entre 7 a 10 días, y en años Niña, generalmente el inicio de la época lluviosa se adelanta entre 10 a 15 días y se atrasa la finalización de la misma, entre 5 a 10 días. Mientras el fenómeno de la Canícula se marca bien en esta región, en los meses de julio y agosto, en años niños la canícula es prolongada y generalmente se unen las 2 y en años niña no se manifiesta la canícula o no es perceptible. En la figura 14 y 15, se observa el incremento de lluvia en el mes de mayo, septiembre y octubre. Además se observan los eventos ciclónicos que alteraron las medias climáticas en los últimos 14 años, siendo estos: Agatha (Mayo, 2010), Stan (Octubre, 2005) y la Depresión 12-E (Octubre, 2011).

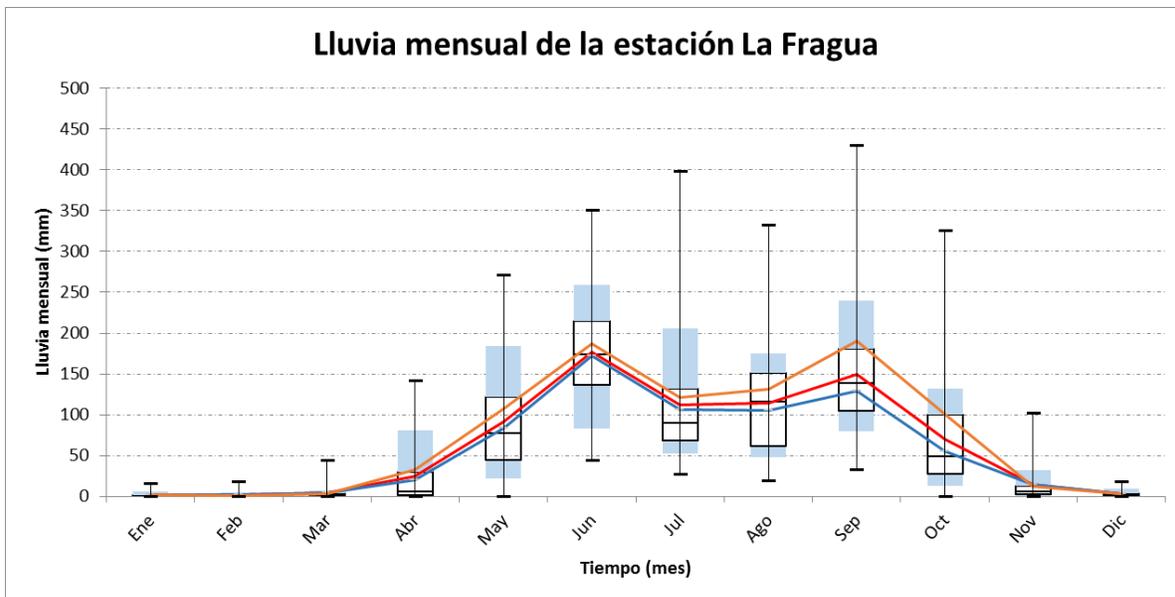


Figura 14. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación La Fragua mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea roja = Promedio 1971 a 2014)

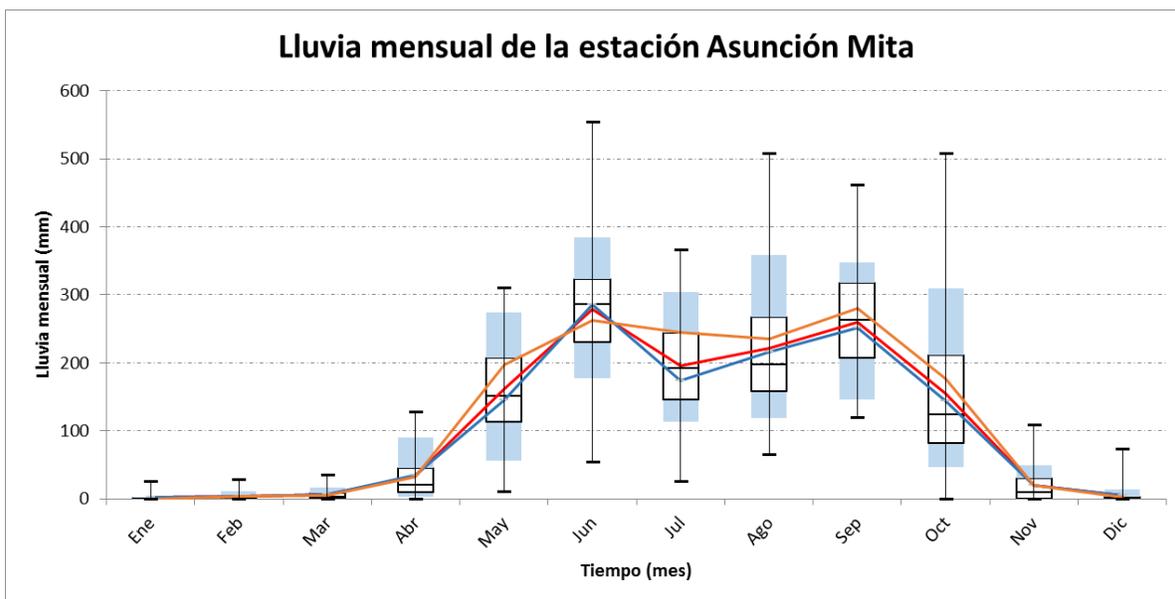


Figura 15. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Asunción Mita mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea roja = Promedio 1971 a 2014)

La temperatura promedio anual en la estación la Fragua oscila entre 26.5 a 28 °C, siendo el promedio del periodo base de 27.4 °C y actualmente el promedio es de 28.1 °C. Para la estación Asunción Mita, la temperatura promedio anual oscila entre 26.4 a 27.5 °C, siendo el promedio para el periodo base de 26.8 °C, y



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

el promedio actual es de 27.4 °C. Al observar las figuras 16 y 17, se identifican los cambios marcados en la variabilidad de la temperatura, haciendo que los datos se concentren más en el periodo 2001 a 2014.

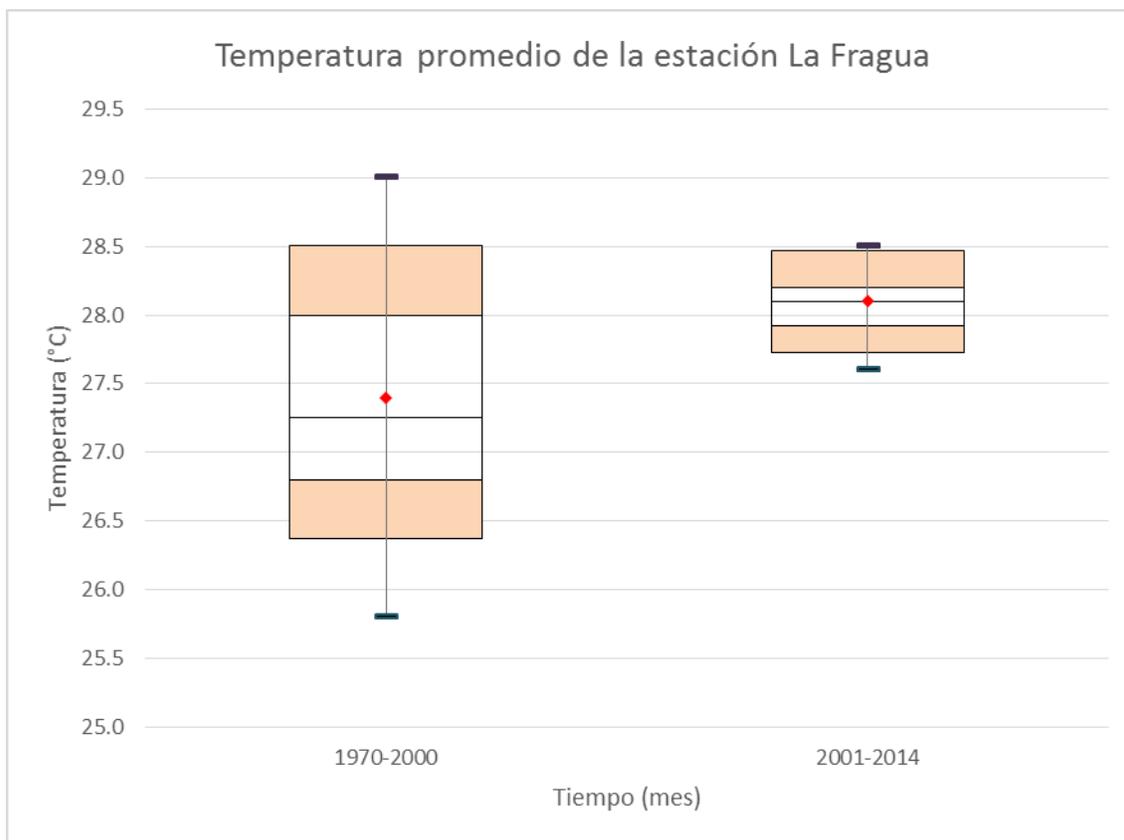


Figura 16. Comportamiento de la temperatura anual en la estación La Fragua, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

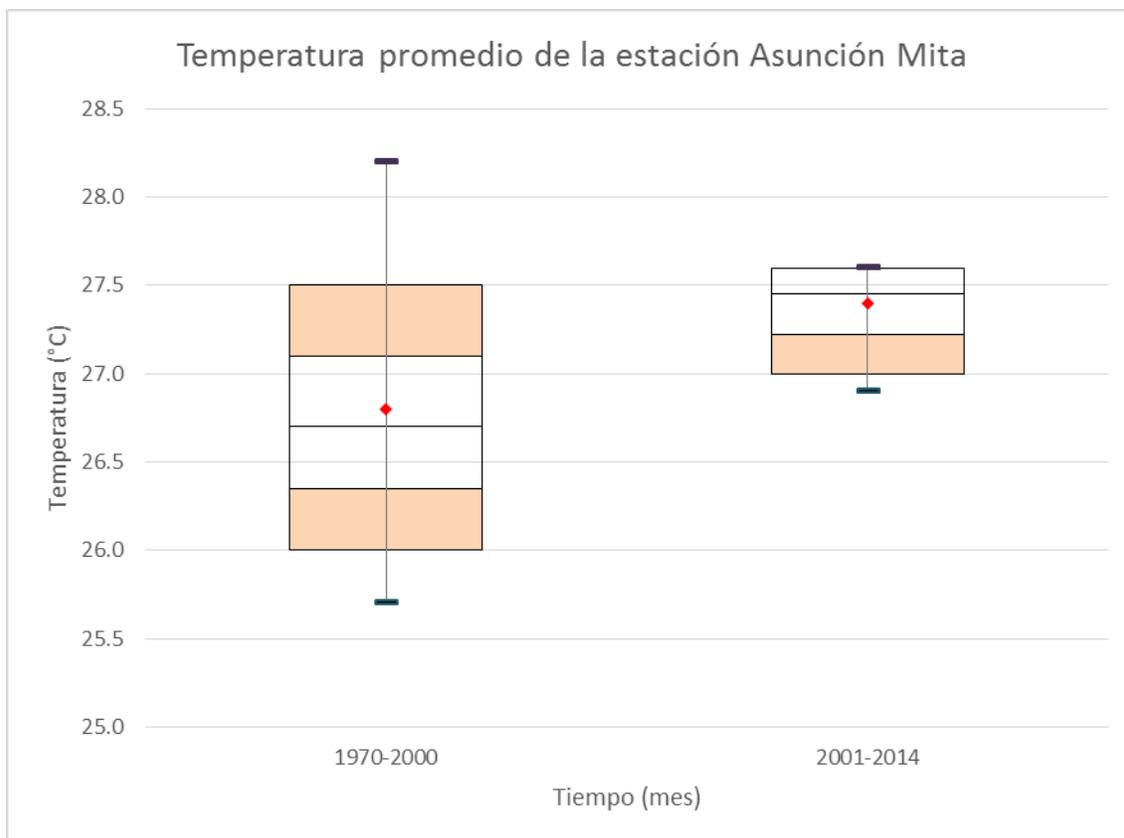


Figura 17. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Asunción Mita, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

En la figura 18 y 19, se observa el incremento de la temperatura en los meses de enero a octubre, y descenso de la temperatura en el mes de noviembre. Los meses que presentan mayor temperatura media mensual son abril y mayo, donde se presentan las olas de calor. Sin embargo, el mayor incremento de temperatura respecto al periodo base se observa en julio y agosto, principalmente por la presencia de la canícula.

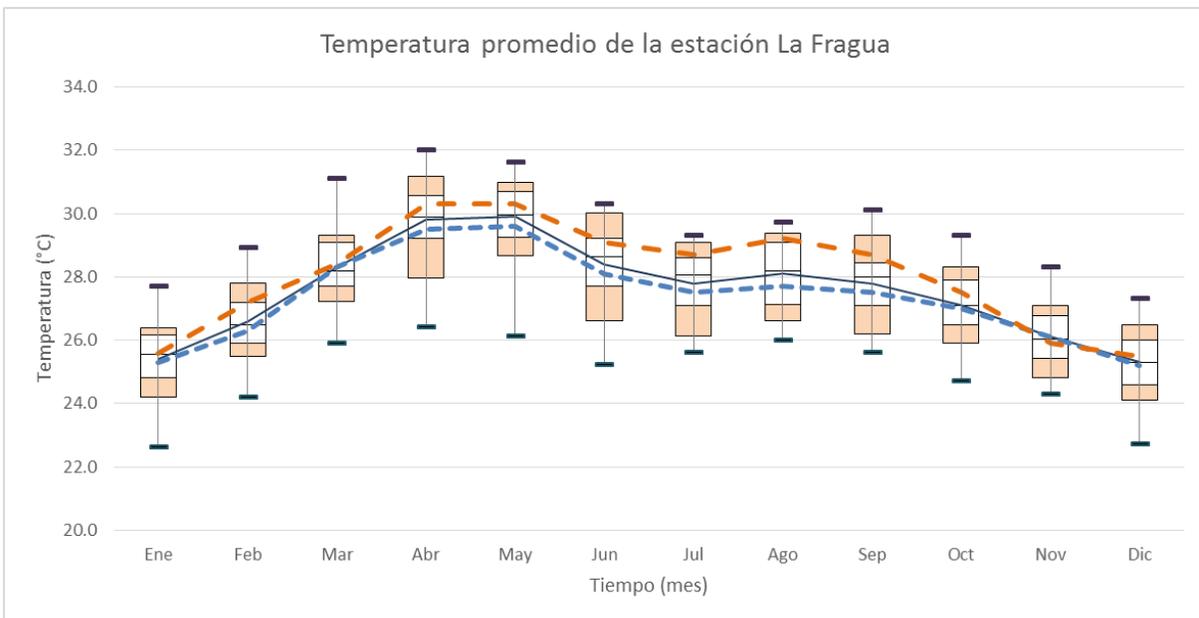


Figura 18. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación La Fragua mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea negra = Promedio 1971 a 2014)

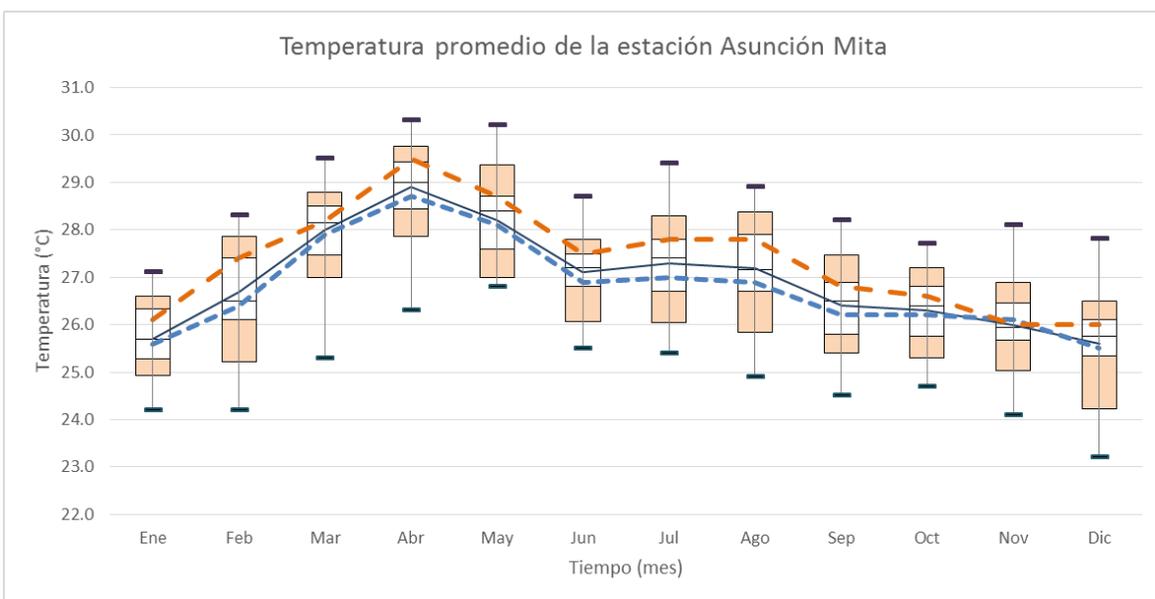


Figura 19. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Asunción Mita mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea negra = Promedio 1971 a 2014).



5.2.1 Análisis de anomalía

Esta región presente sensibilidad al fenómeno de El Niño, la cual se observa en las figuras 20 y 21, cuando el porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia está por debajo del -100%, la lluvia puede reducirse entre 250 a 350 mm anuales. Y cuando la anomalía estandarizada de lluvia es positiva y sobre pasa del 100%, se debe principalmente a eventos ciclónicos, incrementa entre 340 a 480 mm anuales.

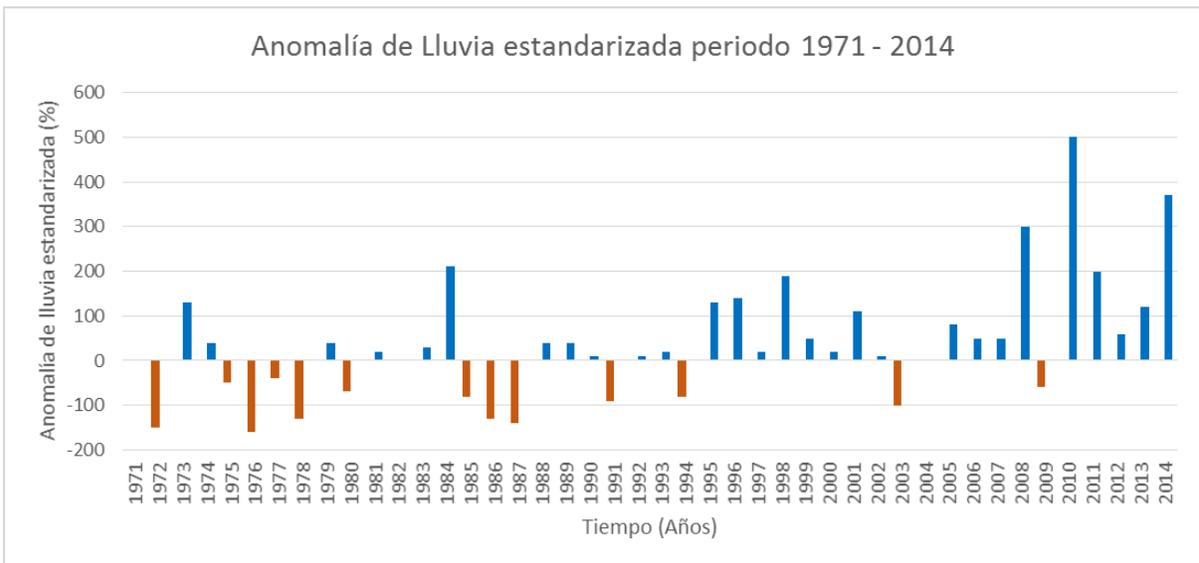


Figura 20. Porcentaje de anomalía estandarizada lluvia en la estación La Fragua periodo 1971 - 2014.

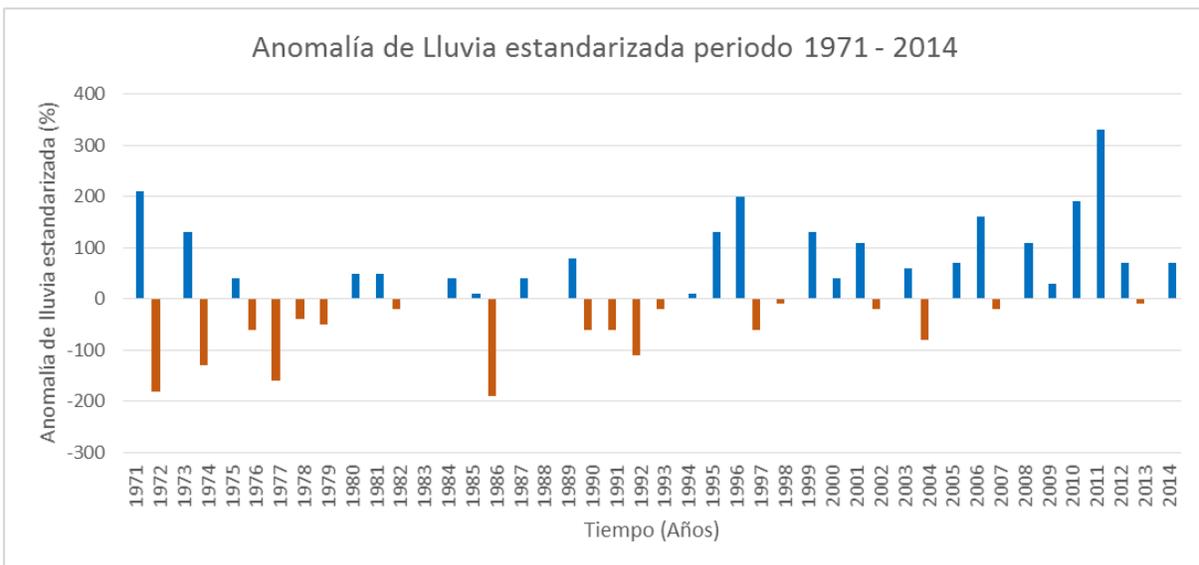


Figura 21. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Asunción Mita periodo 1971 - 2014.

Se observa que la temperatura incrementa a partir del año 1990 al 2014, oscilando entre 0.5 a 1 °C; alcanzando los valores máximos de anomalía de 1.5 °C en los



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

años de 1994 y 1998. Antes del año 1990, se observa incrementos de temperatura aislados, que se deben principalmente al efecto del fenómeno de El Niño ocurridos en 1982 y 1987. Este comportamiento se observa en la figura 22 y 23.

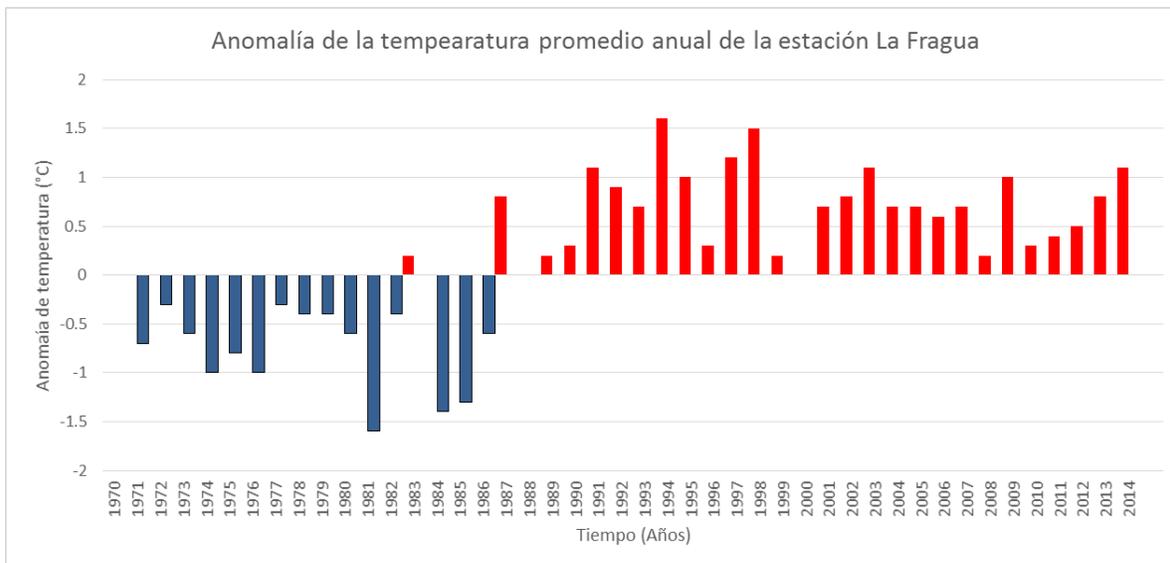


Figura 22. Anomalía de temperatura en la estación Asunción Mita periodo 1971 - 2014.

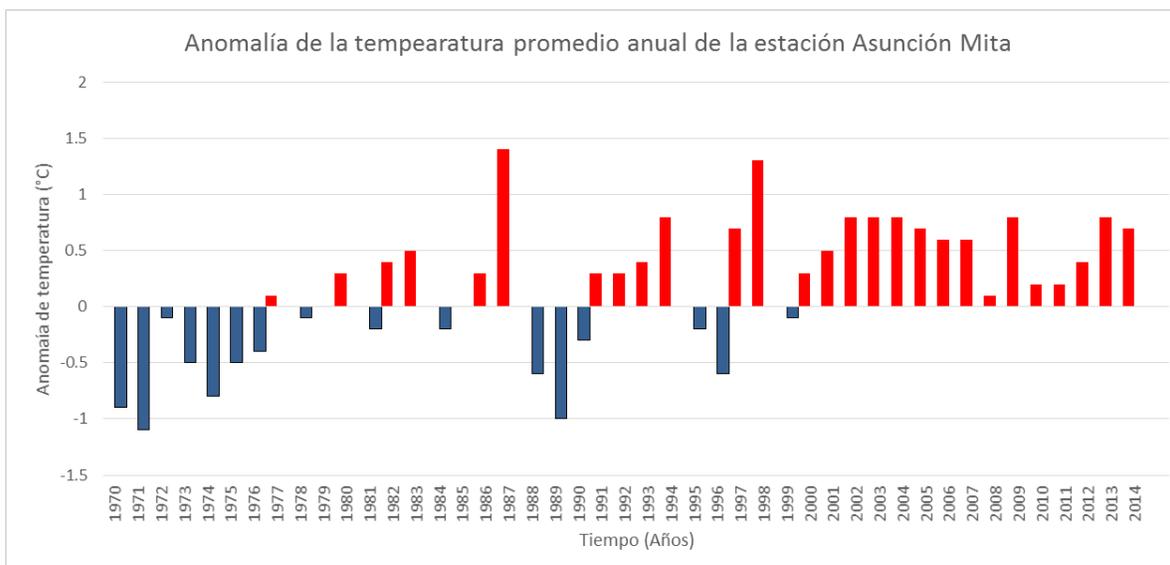


Figura 23. Anomalía de temperatura en la estación Asunción Mita periodo 1971 - 2014.

5.2.2 Análisis de tendencias

La lluvia anual tiene una tendencia lineal de incremento entre 7 a 11 mm/año. La oscilación de la lluvia está influenciada por factores climáticos



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

externos, siendo estos: ciclones tropicales, pasó de ondas del Este y el fenómeno de El Niña.

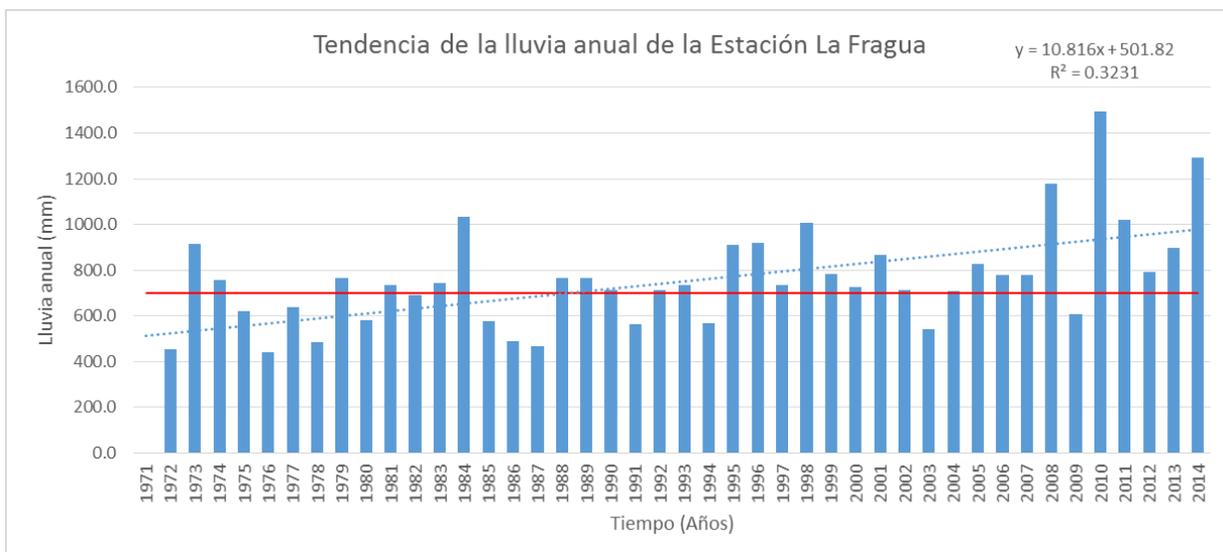


Figura 24. Tendencia de la lluvia anual en la estación La Fragua

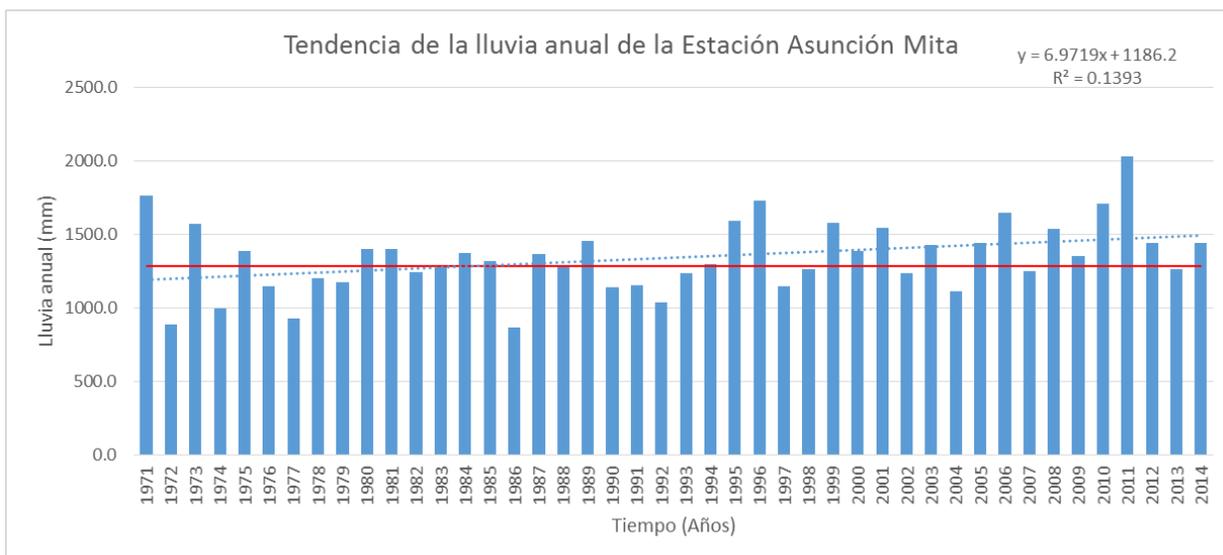


Figura 25. Tendencia de la lluvia anual en la estación Asunción Mita

La temperatura presenta una tendencia lineal de incremento de 0.025 a 0.043 °C/año, esto indica un incremento por década de 2.5 a 4.3°C en la temperatura media. Sin embargo, el cambio encontrado entre el periodo actual y base, que es de 0.6 a 0.7 °C, lo que implica que la variación de la temperatura media anual ha sido menor a la estimada con el modelo lineal.

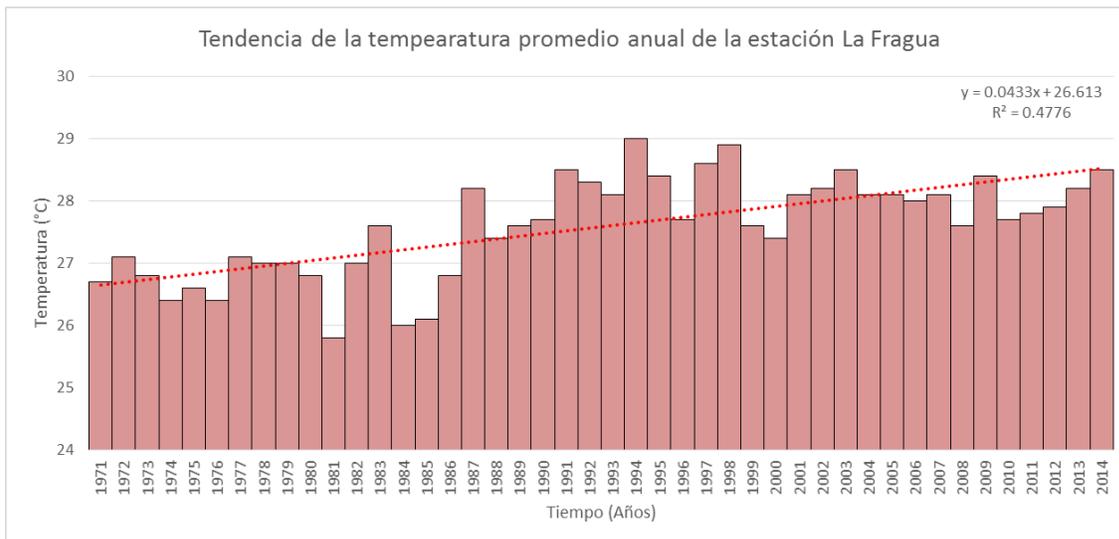


Figura 26. Tendencia de la temperatura anual en la estación La Fragua

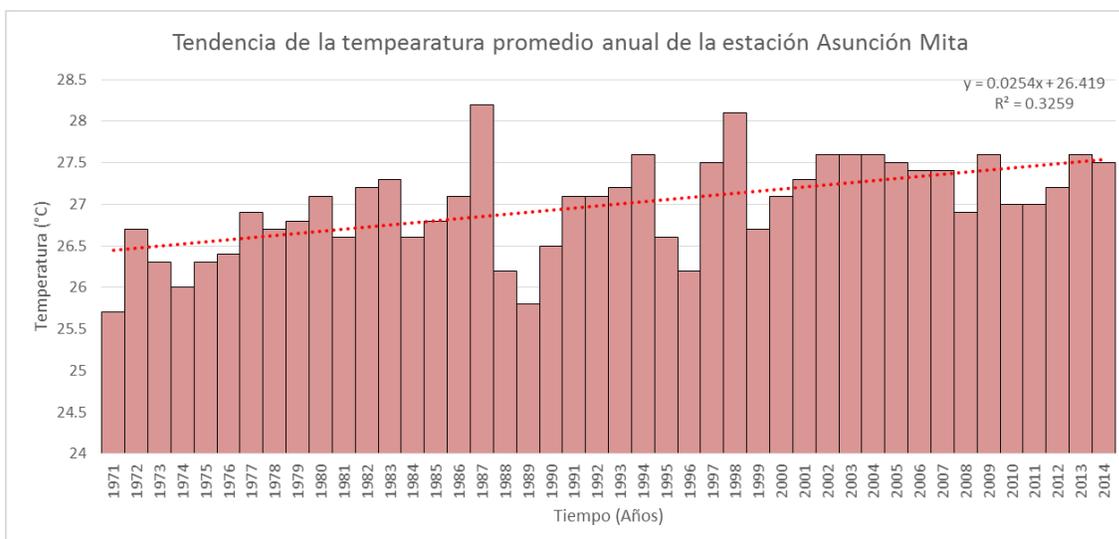


Figura 27. Tendencia de la temperatura anual en la estación Asunción Mita



5.3 Región del Occidente

Comprende la mayor parte de los departamentos de Huehuetenango, El Quiché, San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, Chimaltenango y Guatemala y sectores de Alta y Baja Verapaz y Jalapa. Es la región más montañosa del territorio nacional. Las montañas tienen altitudes que oscilan entre 2500 y 3500 metros sobre el nivel del mar. Estos accidentes geográficos permiten la generación de una gran diversidad de microclimas. Esta región está densamente poblada, y las acciones humanas y el avance de la frontera agrícola se convierten en factor de variación apreciable.

Las lluvias son de baja a media intensidad, los registros más altos se obtienen de mayo a octubre. En los meses restantes se pueden dar registros deficitarios. En cuanto a la temperatura, en diversos puntos de esta región se registran los niveles más bajos del país, principalmente en las partes más altas. Existen climas que varían de Templados y semifríos con invierno benigno, de carácter húmedos y semisecos con invierno seco.

En esta región hay una franja desde la frontera con México, a la altura del límite entre Huehuetenango y San Marcos, que se extiende hasta el extremo noroccidental de Jalapa; allí se encuentran las menores altitudes (dentro del altiplano) y define un eje de simetría entre los climas de la región norte y sur del país. Se registran las temperaturas más altas del altiplano y las precipitaciones son deficitarias en alguna época del año.

Esta región se ha caracterizado por presentar un promedio pluviométrico entre 800 a 1200 mm de lluvia anual, en la actualidad presenta un incremento en su promedio de lluvia anual entre 115 a 130 mm en toda la región.

La estación Labor Ovalle presentó un promedio base de 833.5 mm, y actualmente su promedio ha incrementado en 117.9 mm, siendo el promedio para el periodo actual de 951.4 mm. Los valores de lluvia por debajo del percentil 10 (677.6 mm) son: 665.1 mm (1992), y 646.1 mm (1987); siendo este el valor mínimo en el registro histórico. Mientras, el valor mínimo del periodo actual es de 718.4 mm (2002) y está comprendido entre los valores del percentil 25 y 50 del periodo base (717.2 y 836.8 mm, respectivamente). Los valores máximos de lluvia por arriba del percentil 90 (1033.8 mm) se registraron en los años del periodo base y actual, siendo estos: 1996 (1047.7 mm), 1979, (1052.6 mm), 1998 (1083.9 mm), 2011 (1160.7 mm), 2005 (1203 mm) y 2010 (1477.9 mm), siendo este último el valor máximo en todo el registro histórico.

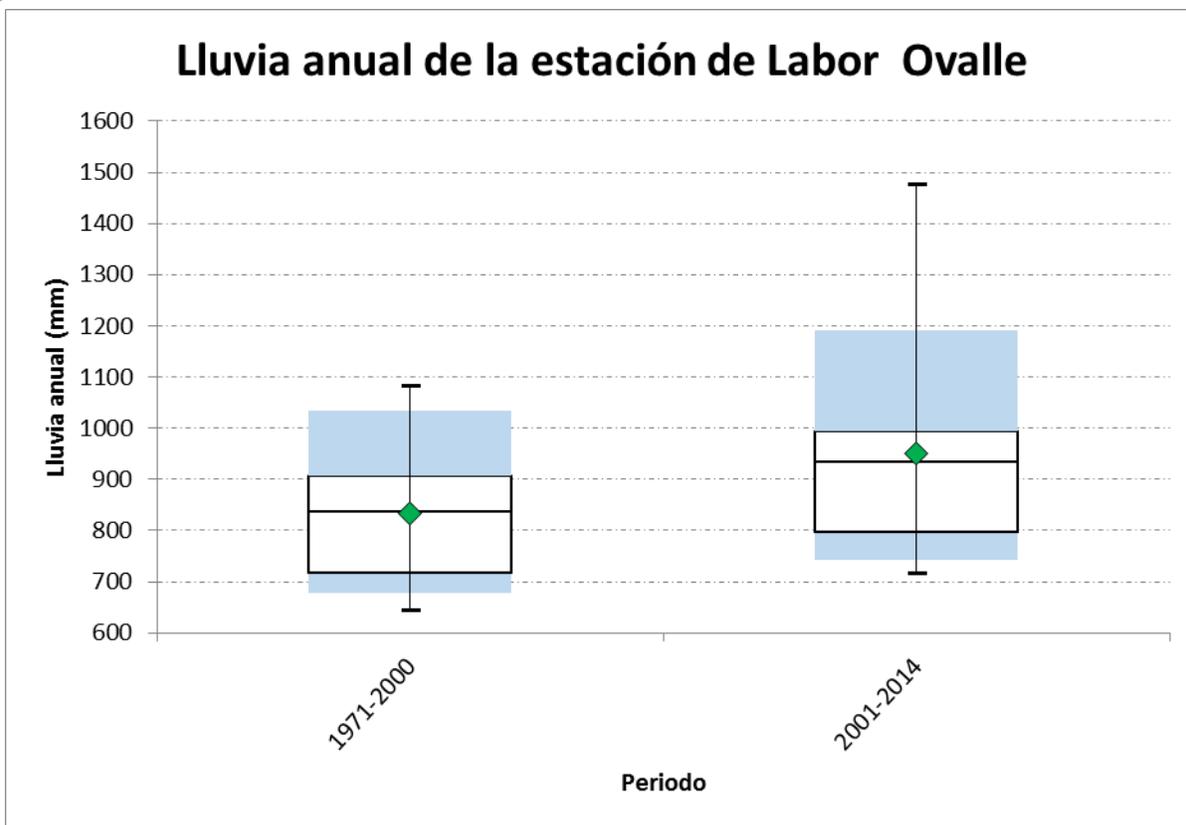


Figura 28. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Labor Ovalle, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

La estación Huehuetenango presentó un promedio base de 984.7 mm, y actualmente su promedio ha incrementado en 129.6 mm, siendo el promedio para el periodo actual de 1114.3 mm. Los valores de lluvia por debajo del percentil 10 (743 mm) son: 729.9 mm (1987), 722.6 mm (1972) y 610.2 mm (1985); siendo este el valor mínimo en el registro histórico. Mientras, el valor mínimo del periodo actual es de 850.5 mm (2002) y está comprendido entre los valores del percentil 25 y 50 del periodo base (788.2 y 1020.7 mm, respectivamente). Los valores máximos de lluvia por arriba del percentil 90 (1222.7 mm) se registraron en los años del periodo base y actual, siendo estos: 1981 (1286.9 mm), 1999, (1355.6 mm), 2005 (1360.9 mm), 1979 (1380.2 mm) y 2010 (1515.3 mm), siendo este último el valor máximo en todo el registro histórico.

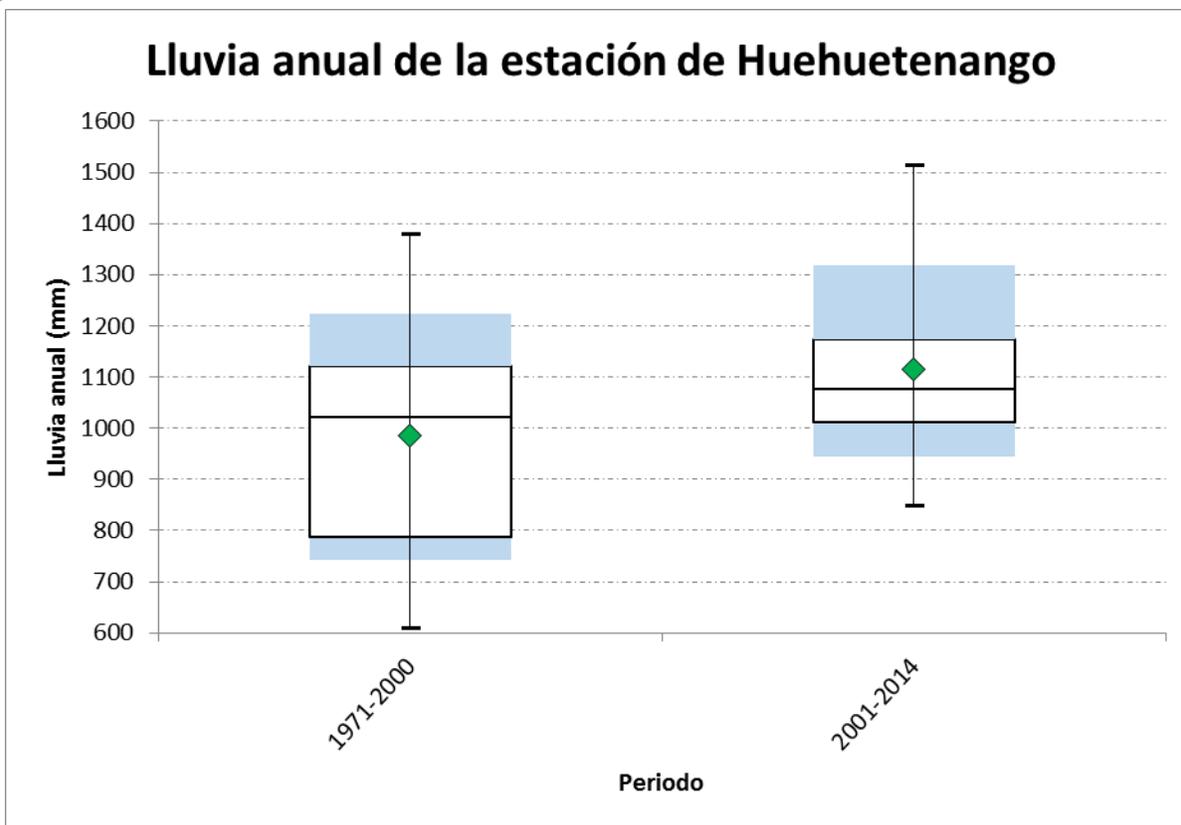


Figura 29. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Huehuetenango, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

El régimen de lluvias está comprendido entre los meses de mayo a octubre, en promedio la época lluviosa se suele establecer entre el 5 y 15 de mayo y finaliza entre el 10 al 20 de octubre en un año normal, durante un año bajo la influencia del fenómeno de El Niño, el inicio de la época lluviosa es irregular; pero tiende a retrasarse entre 10 a 20 días, y su finalización es irregular; pero tiende a adelantarse entre 7 a 10 días, y en años Niña, generalmente el inicio de la época lluviosa se adelanta entre 10 a 15 días y se atrasa la finalización de la misma, entre 5 a 10 días. Mientras el fenómeno de la Canícula se marca bien en esta región, en los meses de julio y agosto, en años niños la canícula es prolongada y generalmente se unen las 2 y en años niña no se manifiesta la canícula o no es perceptible. En la figura 30 y 31, se observa el incremento de lluvia en el mes de mayo, junio y octubre. Además se observan los eventos ciclónicos que alteraron las medias climáticas en los últimos 14 años, siendo estos: Agatha (Mayo, 2010), Stan (Octubre, 2005) y la Depresión 12-E (Octubre, 2011).

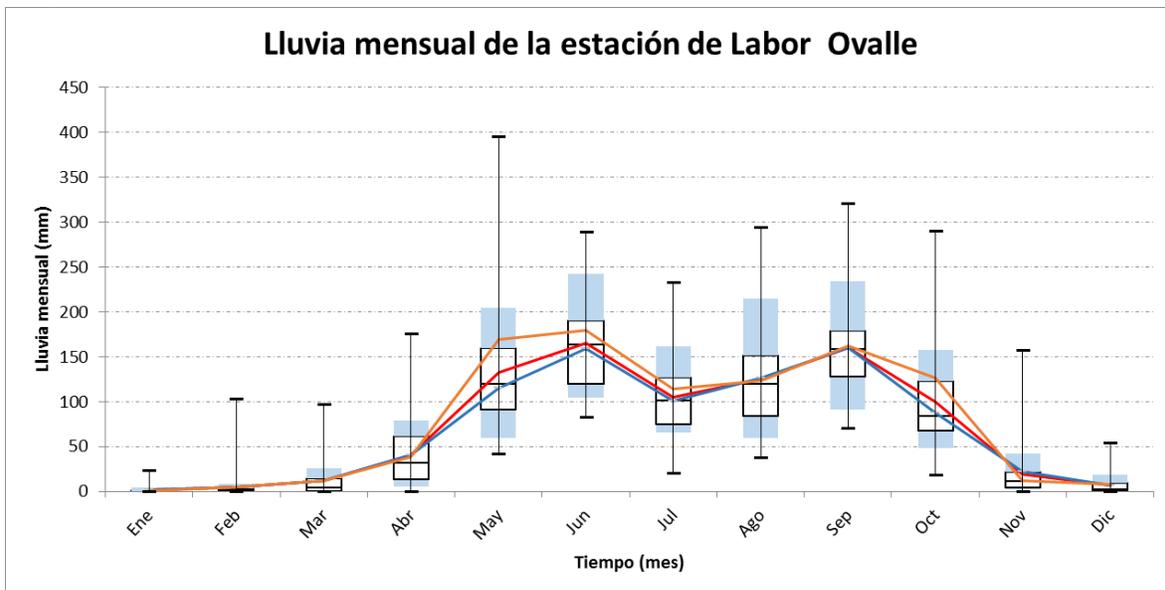


Figura 30. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Labor Ovalle mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea roja = Promedio 1971 a 2014).

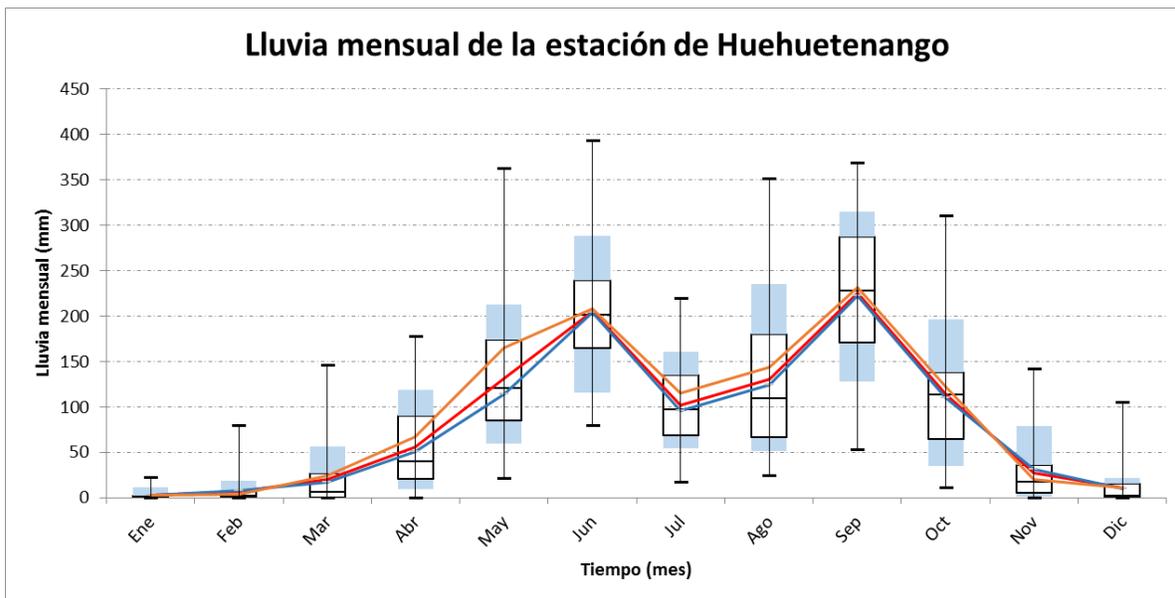


Figura 31. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Huehuetenango mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea roja = Promedio 1971 a 2014).

La temperatura promedio anual en la estación de Labor Ovalle oscila entre 13.2 a 15.3 °C, siendo el promedio del periodo base de 13.6 °C y actualmente el promedio es de 15 °C. Para la estación Huehuetenango, la temperatura promedio anual oscila entre 16.8 a 18.8 °C, siendo el promedio para el periodo base de 17.1



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

°C, y el promedio actual es de 18.7 °C. Al observar las figuras 32 y 33, se identifican los cambios marcados en la variabilidad de la temperatura, haciendo que los datos se concentren más en el periodo 2001 a 2014.

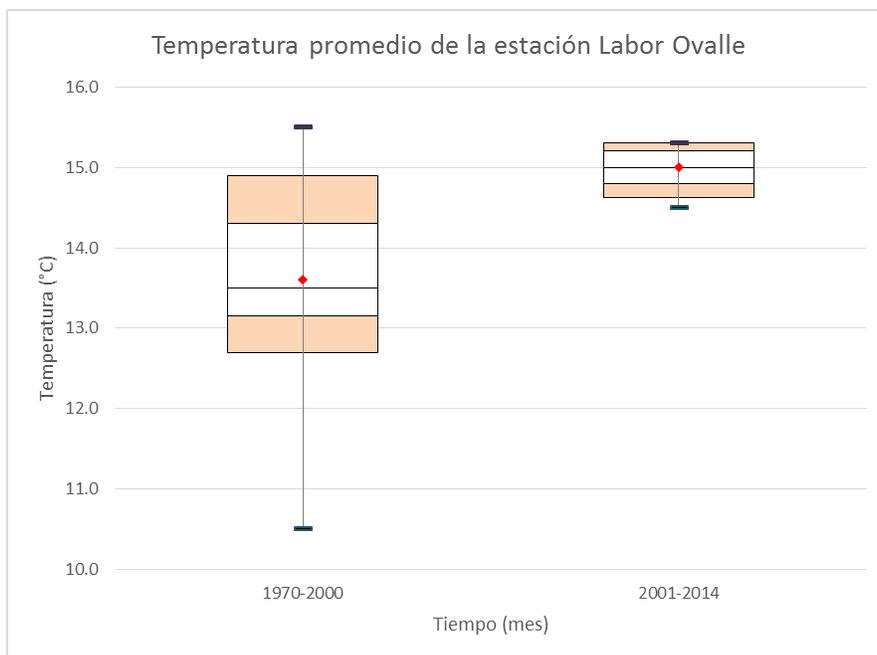


Figura 32. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Labor Ovalle, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

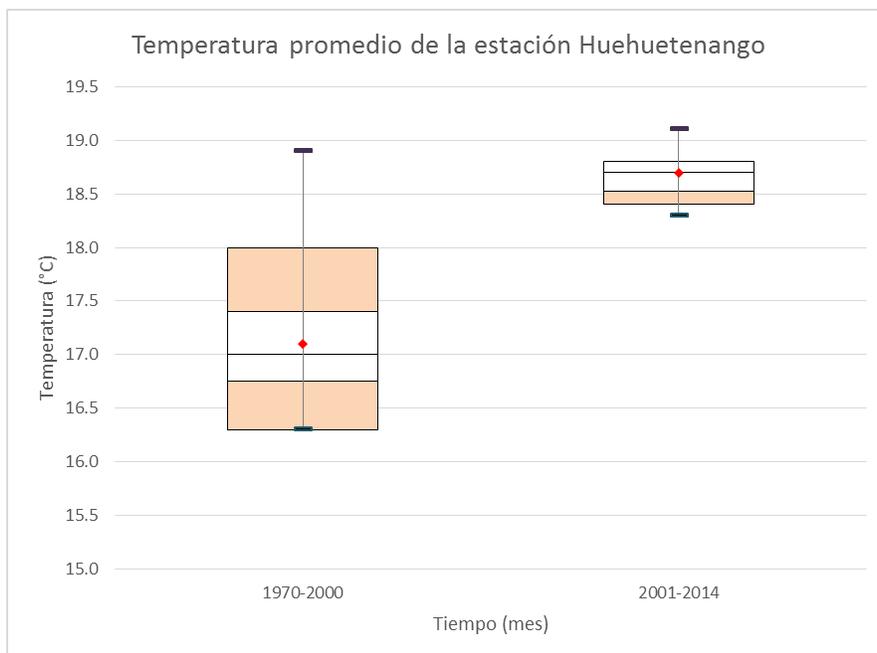


Figura 33. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Huehuetenango, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

En la figura 34 y 35, se observa el incremento de la temperatura de enero a diciembre. Se logra observar en las figuras que el promedio mensual de temperatura se concentra entre el percentil 75 y 90 del registro histórico de temperatura media. El incremento mensual de temperatura oscila entre 1 a 1.5 °C.

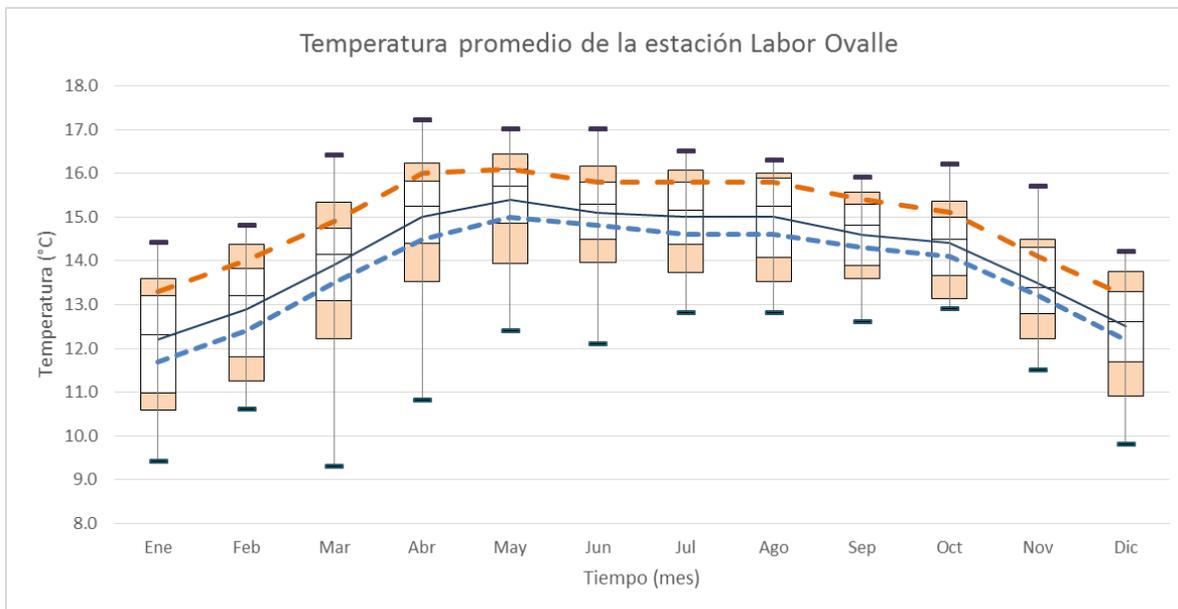


Figura 34. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Labor Ovalle mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea negra = Promedio 1971 a 2014).

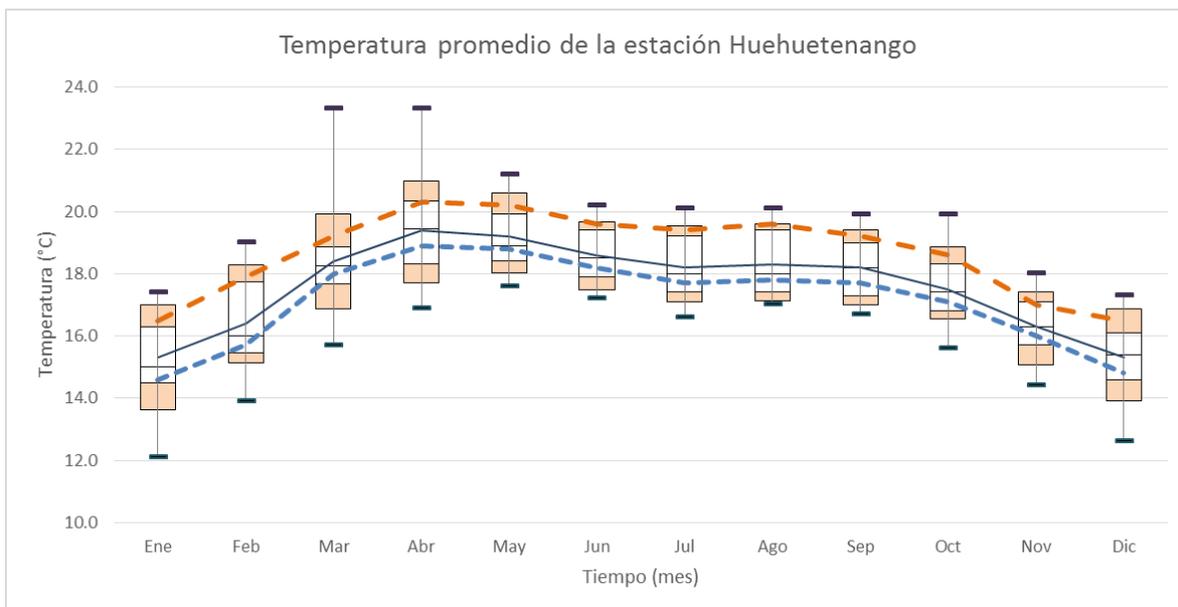


Figura 35. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Huehuetenango mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea negra = Promedio 1971 a 2014).



5.3.1 Análisis de anomalía

Se puede observar en las figuras 36 y 37, que los valores por debajo de 0 corresponden a eventos de sequía los cuales están asociados con los eventos del Fenómeno de El Niño.

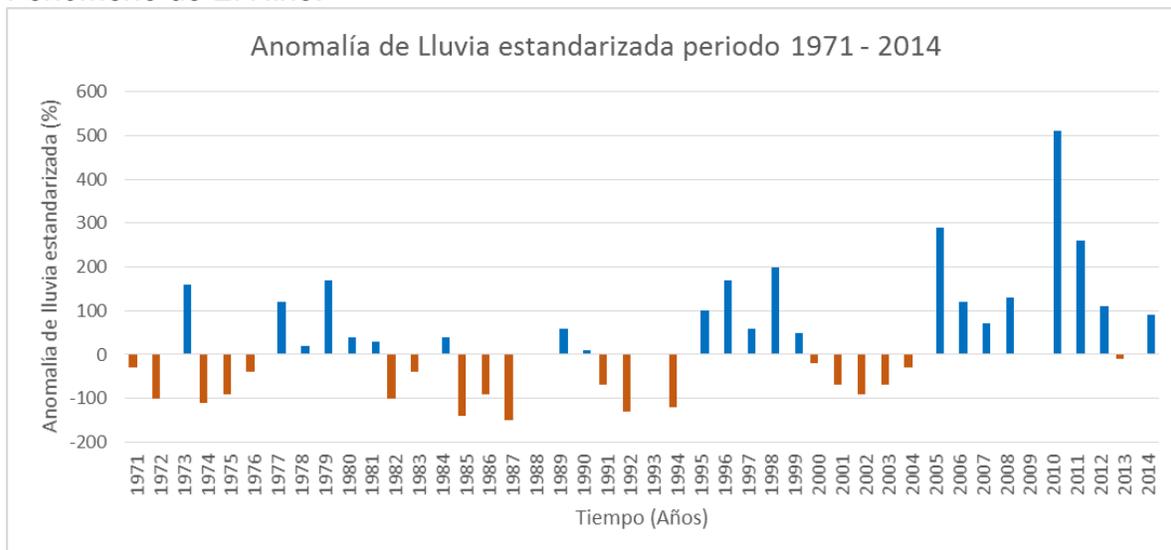


Figura 36. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Labor Ovalle periodo 1971 - 2014.

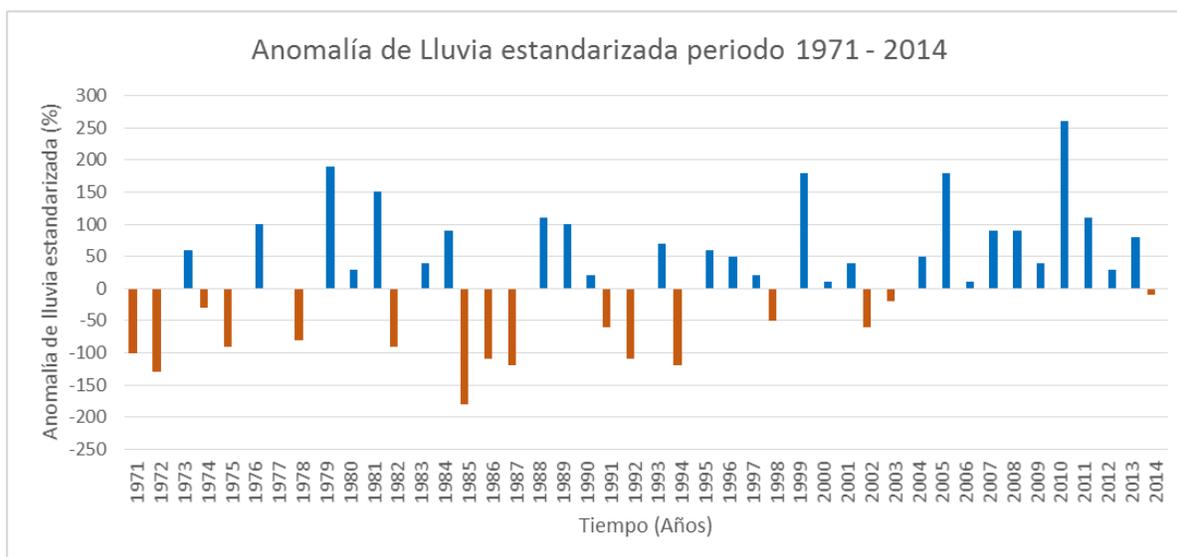


Figura 37. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Huehuetenango periodo 1971 - 2014.



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

El comportamiento de temperatura claramente muestra un incremento a partir de la década de 1990 hasta la fecha, presentando mayor incremento cuando hay fenómenos de el Niño.

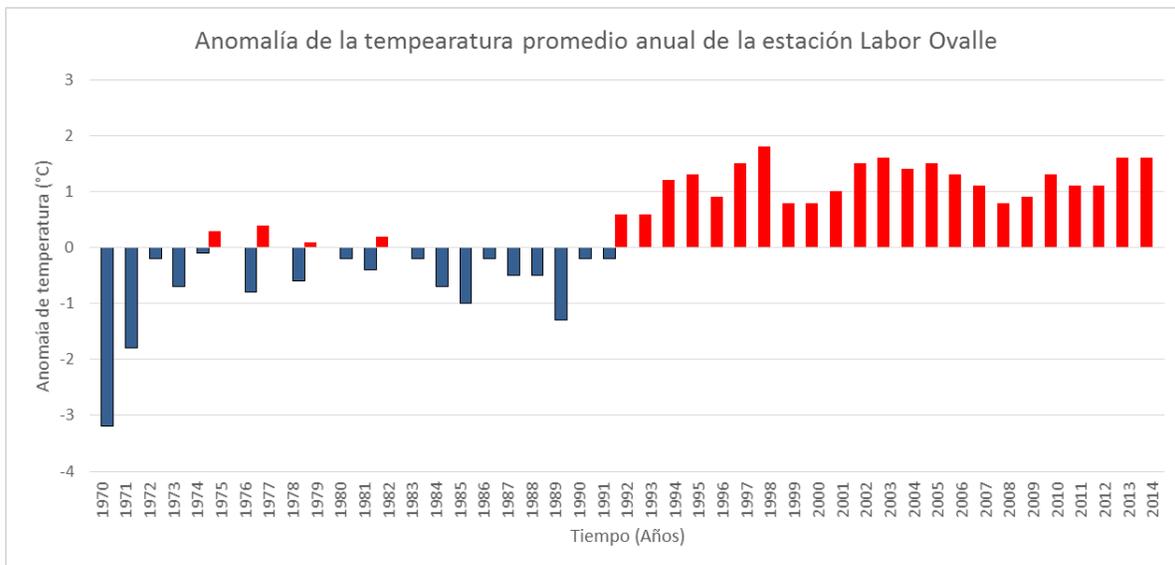


Figura 38. Anomalia de temperatura en la estación Labor Ovalle periodo 1971 - 2014.

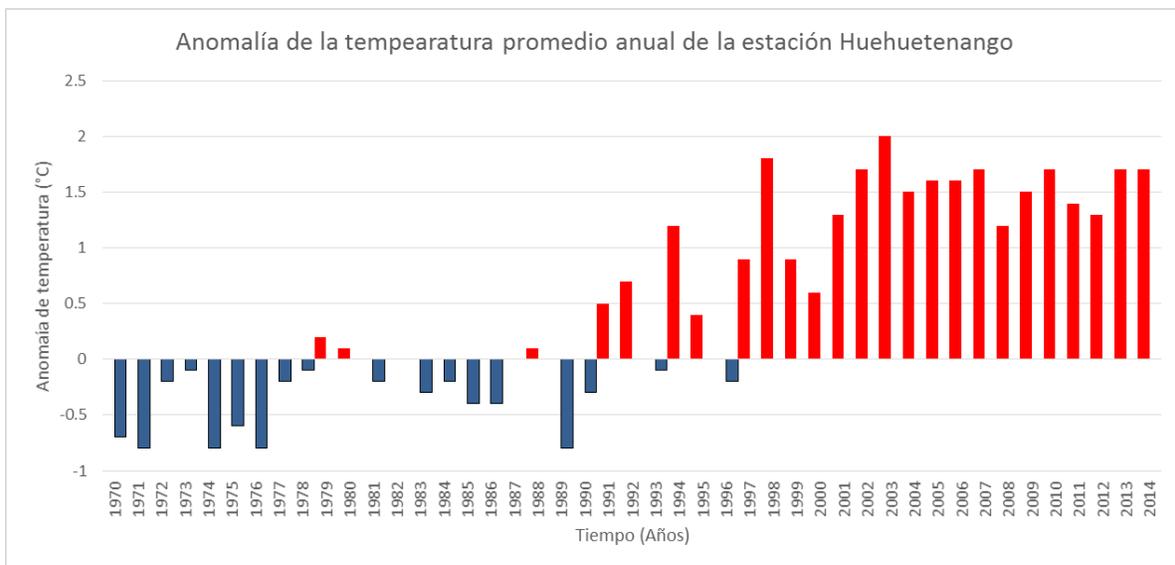


Figura 39. Anomalia de temperatura media anual de la estación Huehuetenango periodo 1971 - 2014.

5.3.2 Análisis de tendencias

La lluvia anual tiene una tendencia lineal de incremento entre 4.9 a 5.3 mm/año. La oscilación de la lluvia está influenciada por factores climáticos externos, siendo estos: ciclones tropicales, pasó de ondas del Este y el fenómeno de El Niño.

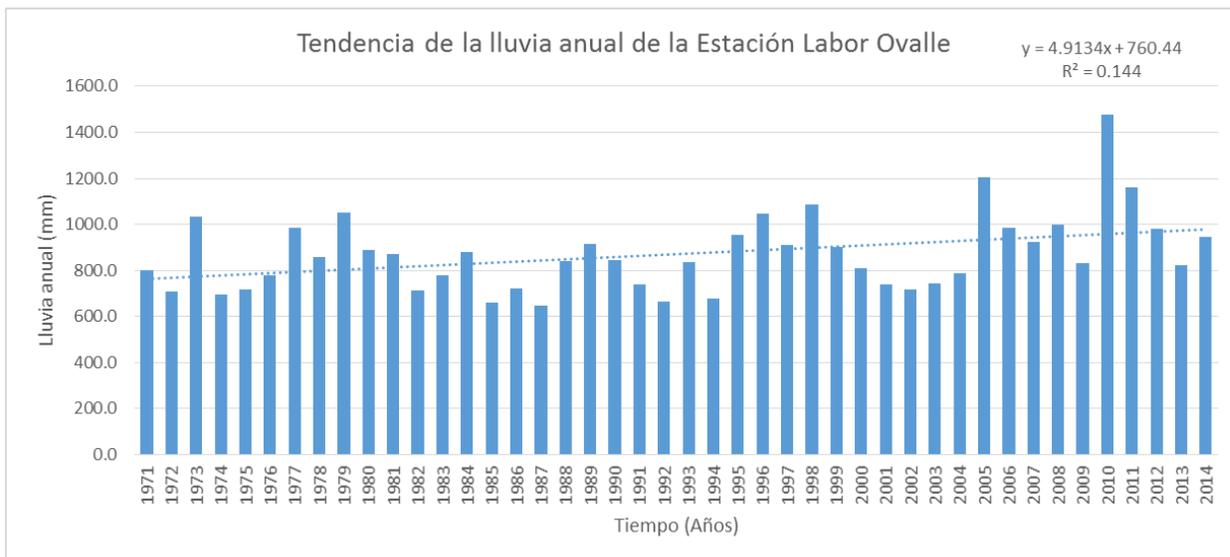


Figura 40. Tendencia de la lluvia anual en la estación Labor Ovalle

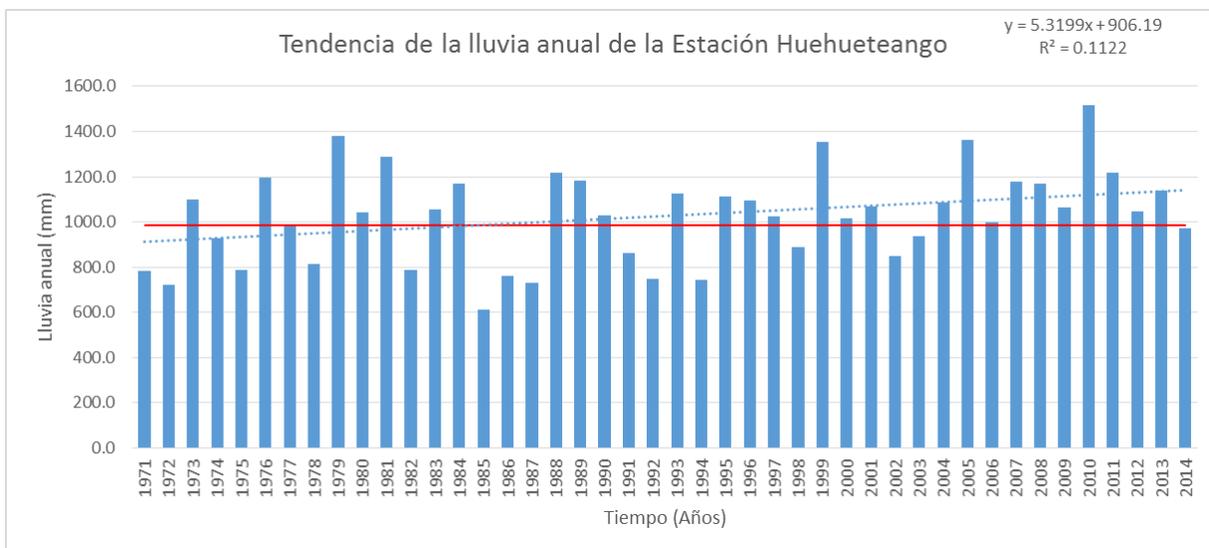


Figura 41. Tendencia de la lluvia anual en la estación Huehuetenango

La temperatura presenta una tendencia lineal de incremento de 0.06 a 0.063 °C/año. Sin embargo, el cambio encontrado entre el periodo actual y base, que es de 1.4 a 1.6 °C.

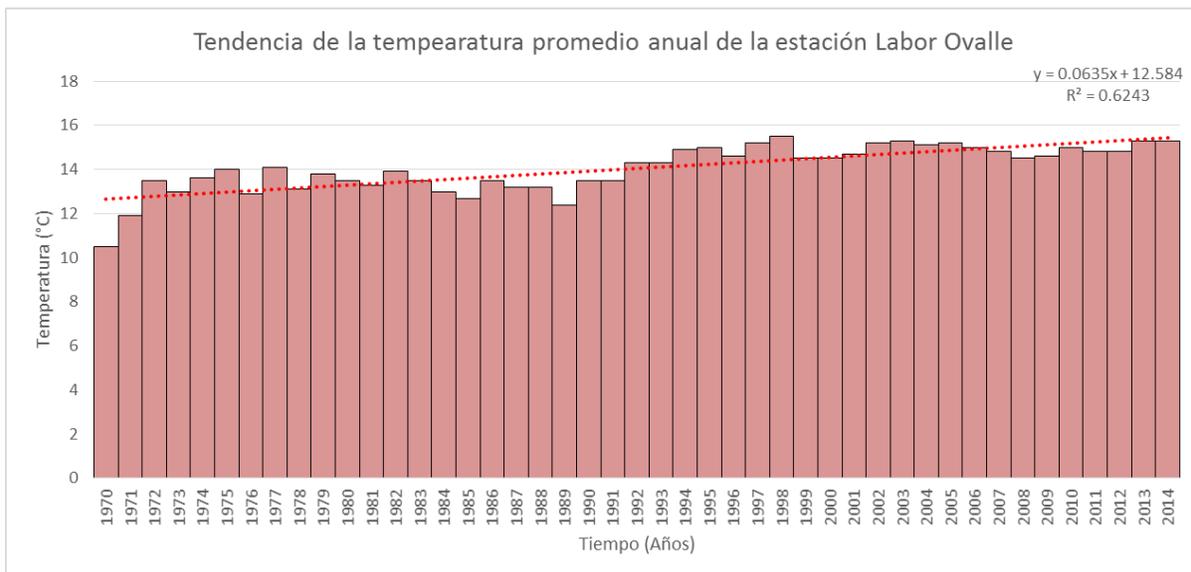


Figura 42. Tendencia de temperatura anual en la estación Labor Ovalle

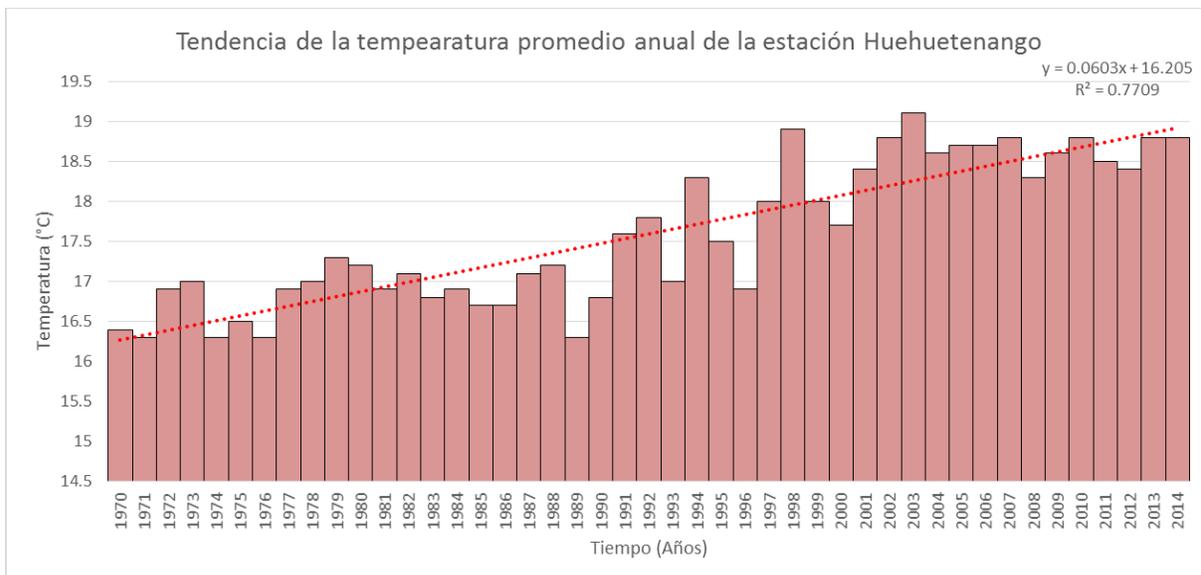


Figura 43. Tendencia de temperatura anual en la estación Huehuetenango



5.4 Región Boca Costa

Es una región angosta que transversalmente se extiende desde el departamento de San Marcos hasta el de Santa Rosa, situada en la ladera montañosa, en el descenso desde el altiplano hacia la planicie costera del pacífico. Tiene juntamente con la transversal del norte los índices más altos de precipitación en el país. Los niveles de temperatura aumentan a medida que desciende hacia el litoral. Alcanzan cierta estabilidad en las regiones próximas al mar.

Las precipitaciones están bien caracterizadas: son escasas en los meses iniciales del año pero se intensifican a partir de mayo. El período más lluvioso es el comprendido de junio a septiembre. Existe un clima generalizado de género semicálidos y sin estación fría bien definida; con carácter de muy húmedo sin estación seca bien definida y la vegetación característica es selva. Varía a húmedo y sin estación seca bien definida, en el extremo oriental.

Esta región se ha caracterizado por presentar un promedio pluviométrico entre 3100 a 4000 mm de lluvia anual, en la actualidad presenta un incremento en su promedio de lluvia anual entre 190 a 660 mm en toda la región.

La estación Camantulul presentó un promedio base de 3510.3 mm, y actualmente su promedio ha incrementado en 657.7 mm, siendo el promedio para el periodo actual de 4168.0 mm. Los valores de lluvia por debajo del percentil 10 (2878.9 mm) son: 2869.4 mm (1976), 2764.2 mm (1991) y 2559.0 mm (1971); siendo este el valor mínimo en el registro histórico. Mientras, el valor mínimo del periodo actual es de 3071.1 mm (2002) y está comprendido entre los valores del percentil 10 y 25 del periodo base (2878.9 y 3255.8 mm, respectivamente). Los valores máximos de lluvia por arriba del percentil 90 (4074.4 mm) se registraron en los años del periodo base y actual, siendo estos: 2003 (4088.27 mm), 1999 (4221.8 mm), 2012 (4282.9 mm), 1979 (4330.5 mm), 2004 (4379.5 mm), 1981 (4462.9 mm), 2002 (4652.2 mm), 2011 (4839.2 mm), 2010 (4874.2 mm) y 2006 (5197.5 mm), siendo este último el valor máximo en todo el registro histórico.

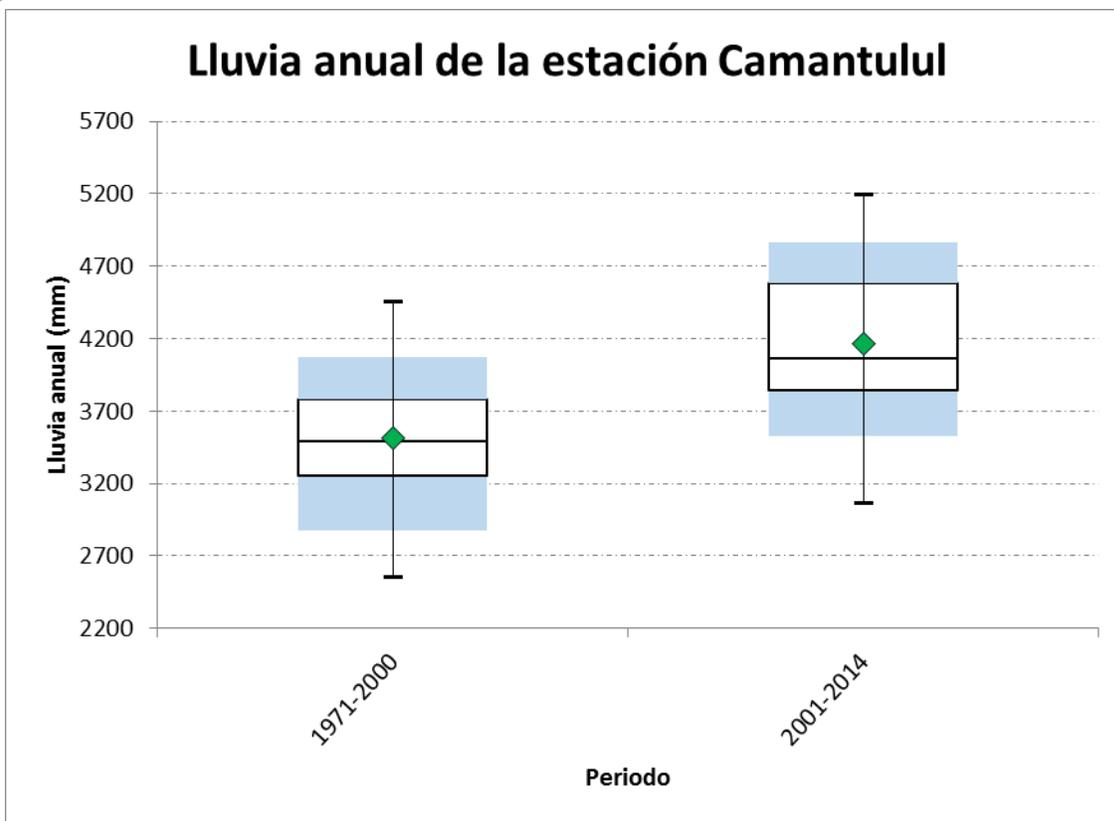


Figura 44. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Camantulul, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

La estación Sabana Grande presentó un promedio base de 3181.1 mm, y actualmente su promedio ha incrementado en 191.2 mm, siendo el promedio para el periodo actual de 3372.3 mm. Los valores de lluvia por debajo del percentil 10 (2587.9 mm) son: 2577.6 mm (2004), 2571.8 mm (2001), 2543.2 mm (1977), 2424.6 mm (1987) y 2269.4 mm (1976); siendo este el valor mínimo en el registro histórico. Mientras, el valor mínimo del periodo actual es de 2571.8 mm (2002). Los valores máximos de lluvia por arriba del percentil 90 (3811.4 mm) se registraron en los años del periodo base y actual, siendo estos: 2013 (3940.7 mm), 1979 (3969.7 mm), 2011 (4054.0 mm), 1975 (4089.2 mm), 1995 (4251.6 mm) y 2010 (5164.6 mm), siendo este último el valor máximo en todo el registro histórico.

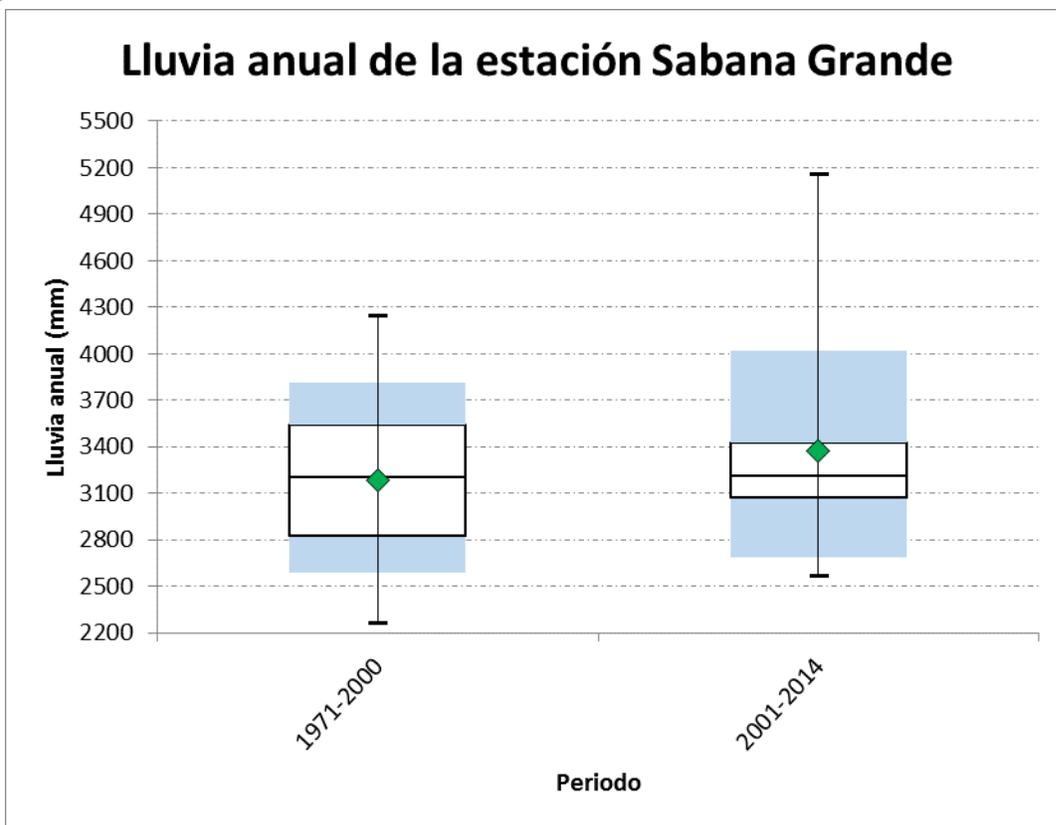


Figura 45. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Sabana Grande, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

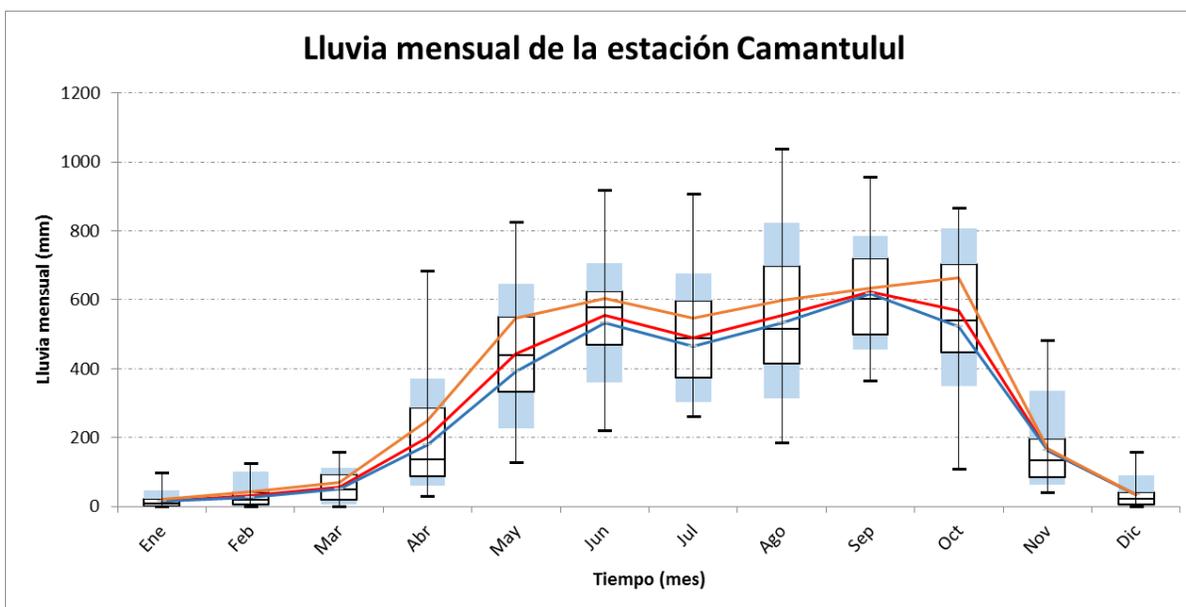


Figura 46. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Camantulul mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea roja = Promedio 1971 a 2014)

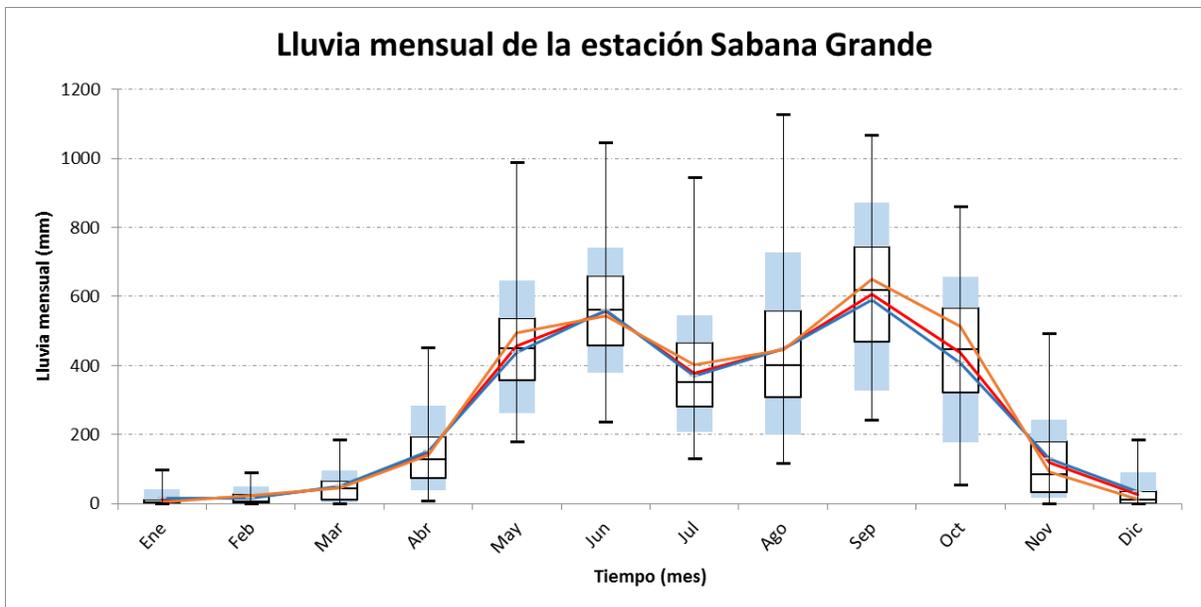


Figura 47. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Sabana Grande mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea roja = Promedio 1971 a 2014)

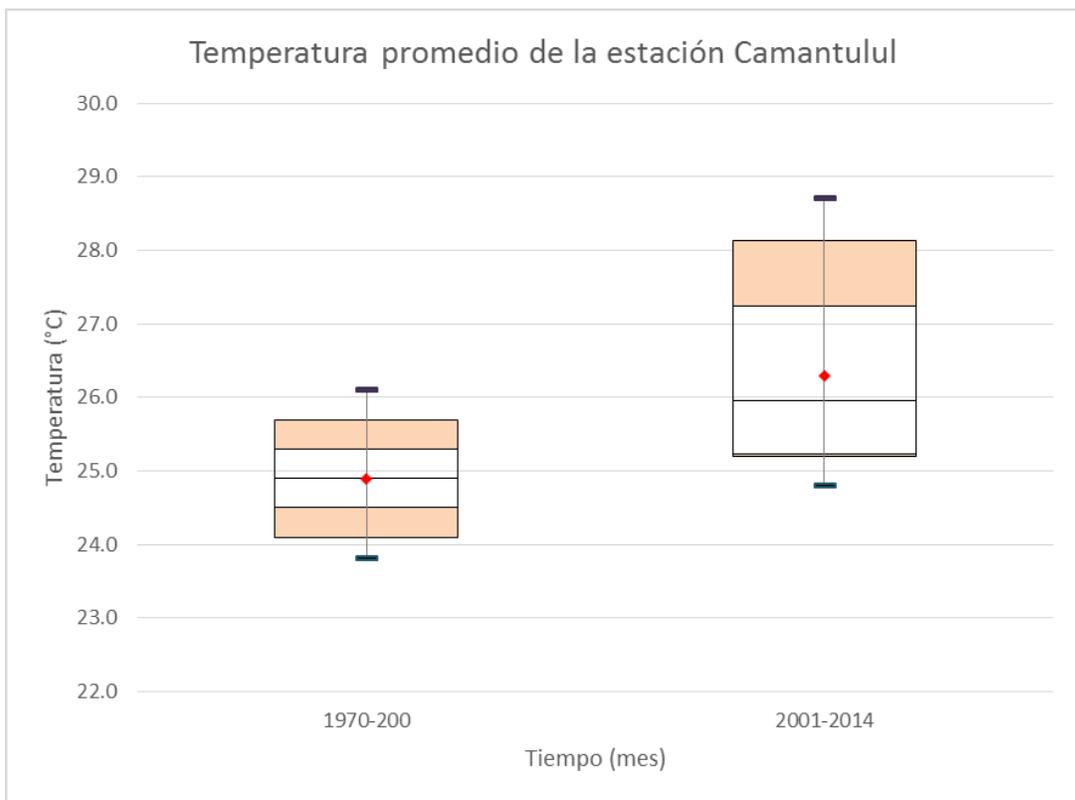


Figura 48. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Camantulul, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

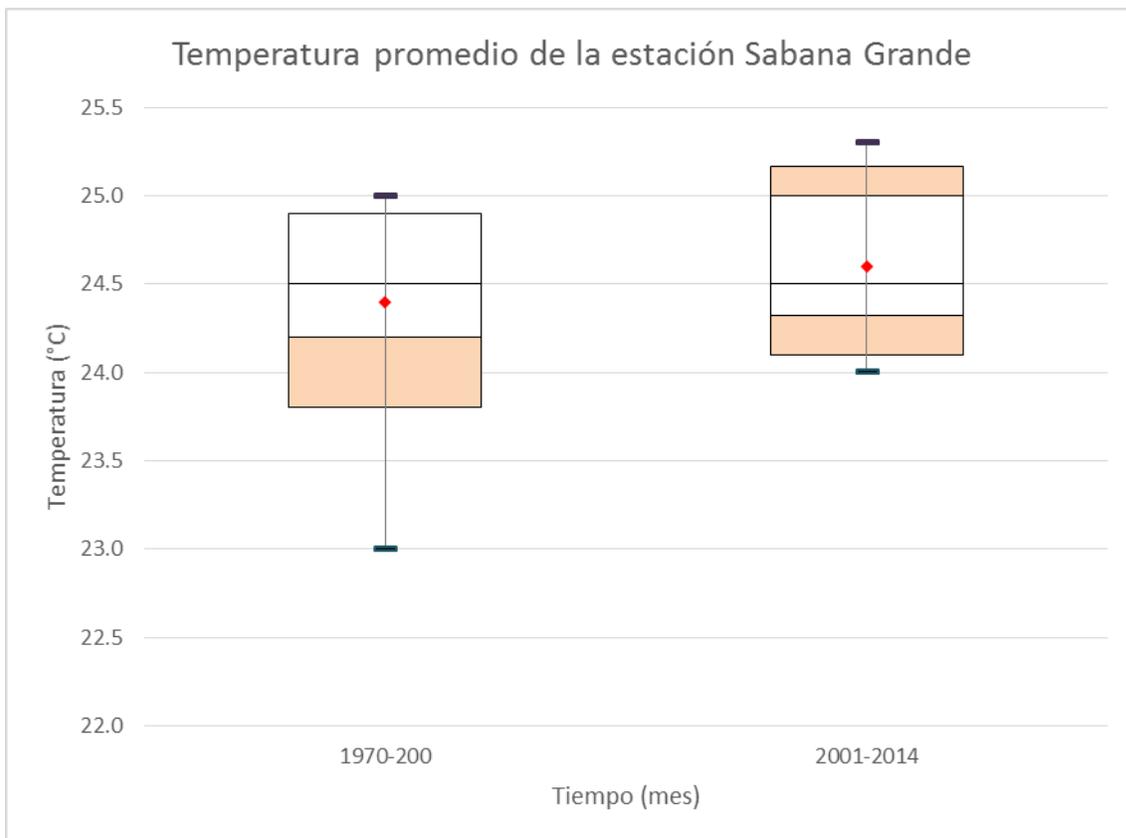
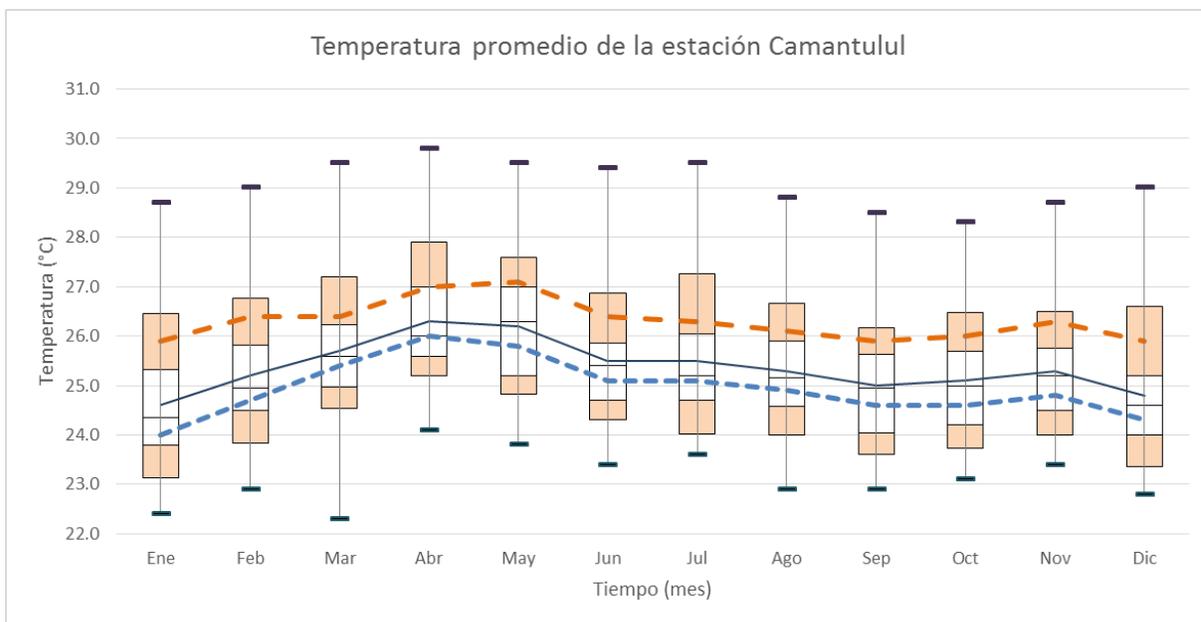


Figura 49. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Sabana Grande, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.





Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

Figura 50. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Camantulul mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea negra = Promedio 1971 a 2014).

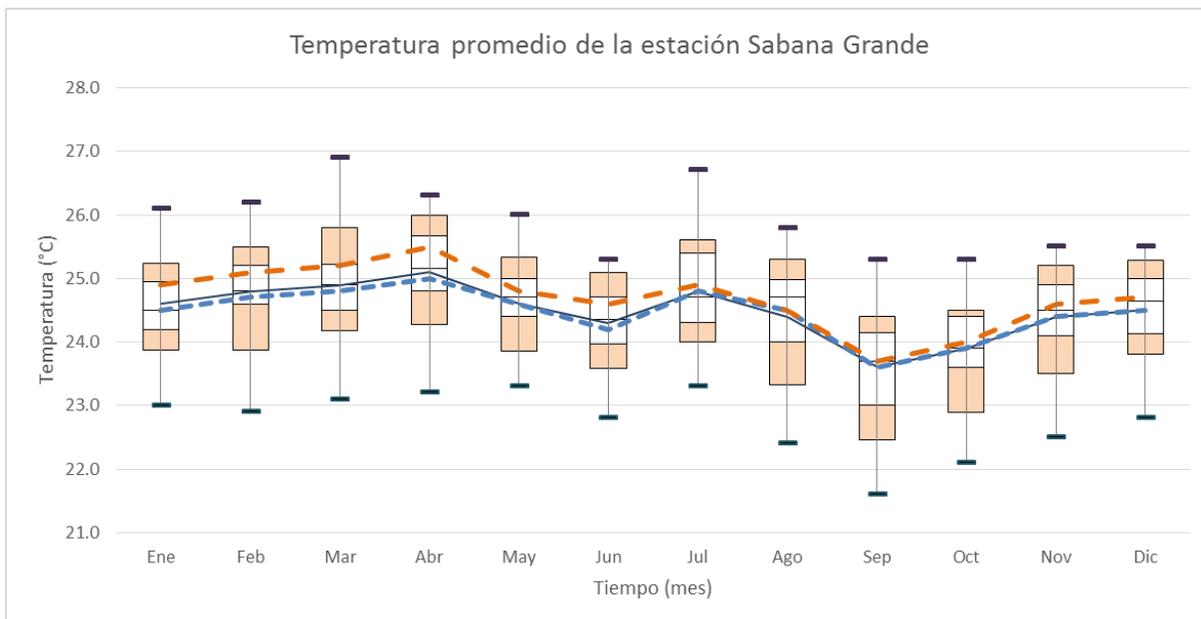
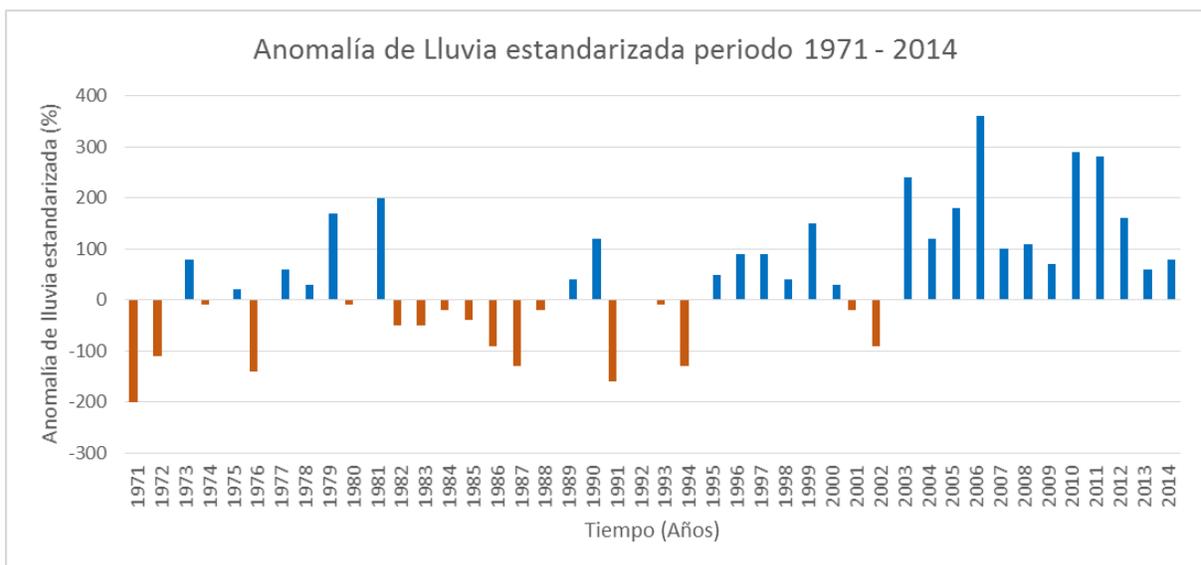


Figura 51. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Sabana Grande mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea negra = Promedio 1971 a 2014).

5.4.1 Análisis de anomalía





Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

Figura 52. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Camantulul periodo 1971 - 2014.

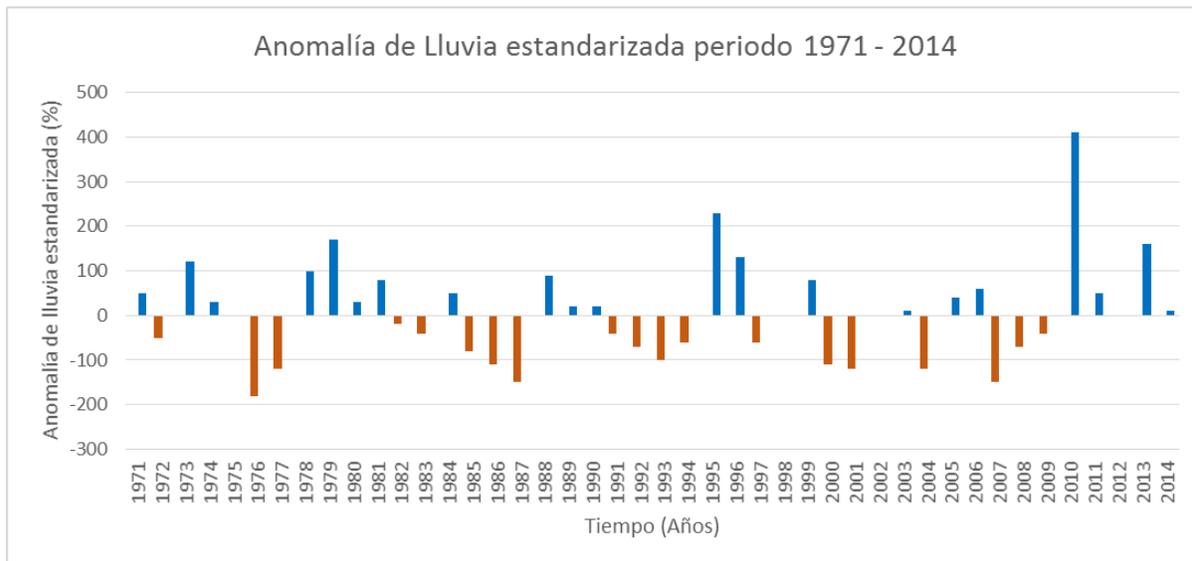


Figura 53. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Sabana Grande periodo 1971 - 2014.

En estos gráficos claramente se aprecia los años en los que las temperaturas han incrementado.

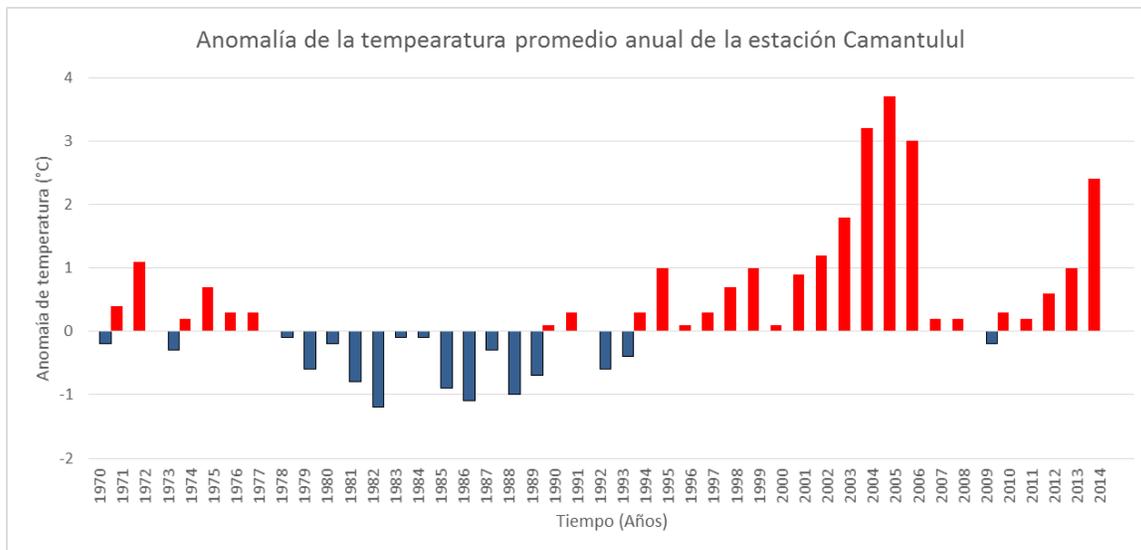


Figura 54. Anomalía de temperatura en la estación Camantulul periodo 1971 - 2014.

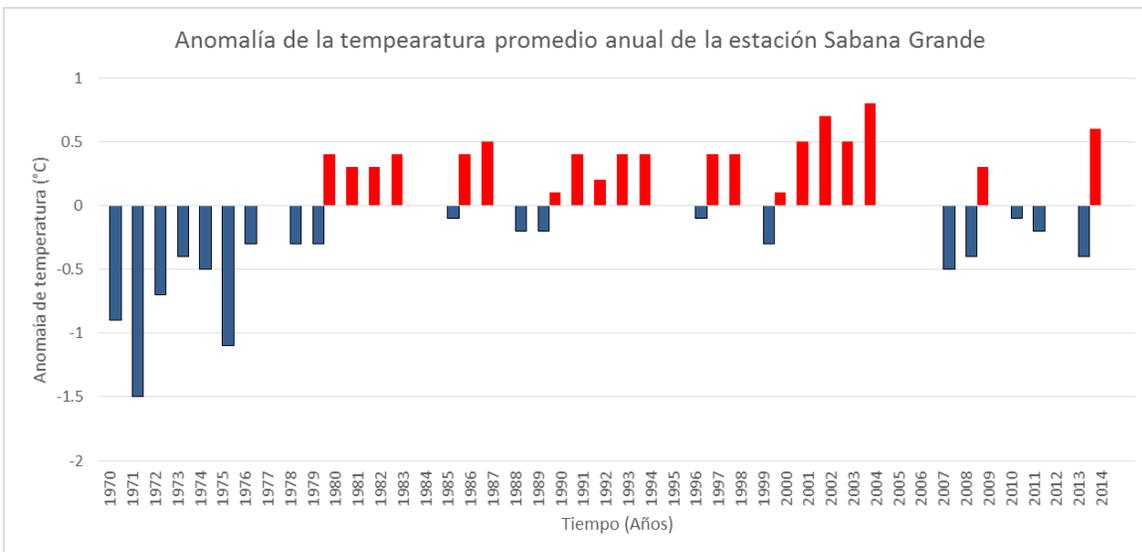


Figura 55. Anomalía de temperatura en la estación Sabana Grande periodo 1971 - 2014.

5.4.2 Análisis de tendencias

La tendencia de la lluvia anual es al incremento, y en esta región varía entre 3 y 24 mm/año.

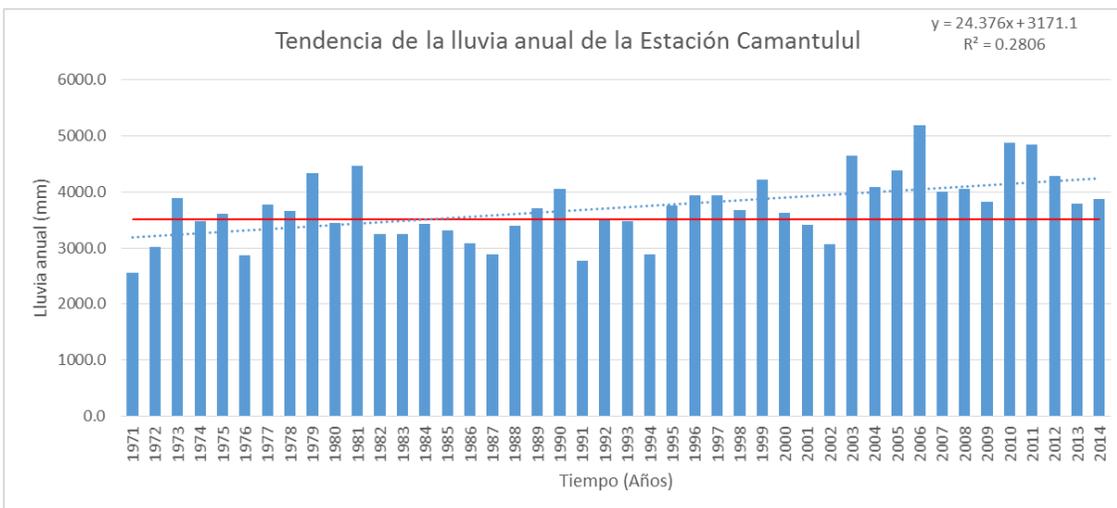


Figura 56. Tendencia de la lluvia anual en la estación Camantulul



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

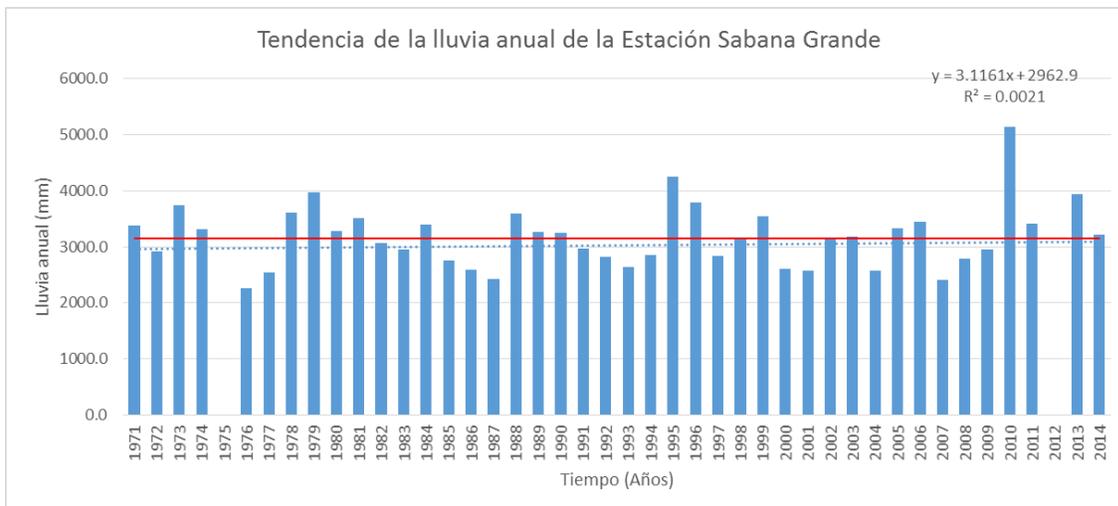


Figura 57. Tendencia de la lluvia anual en la estación Sabana Grande

El incremento de la temperatura anual es de 0.01 a 0.04 °C/ año, esto debido al mismo calentamiento global.

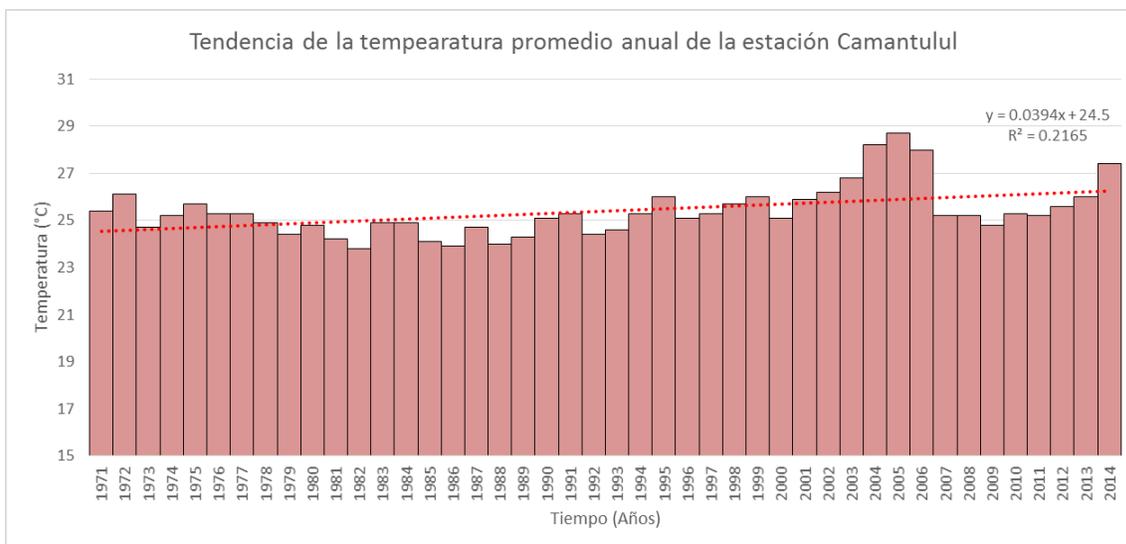


Figura 58. Tendencia de la temperatura anual en la estación Camantulul

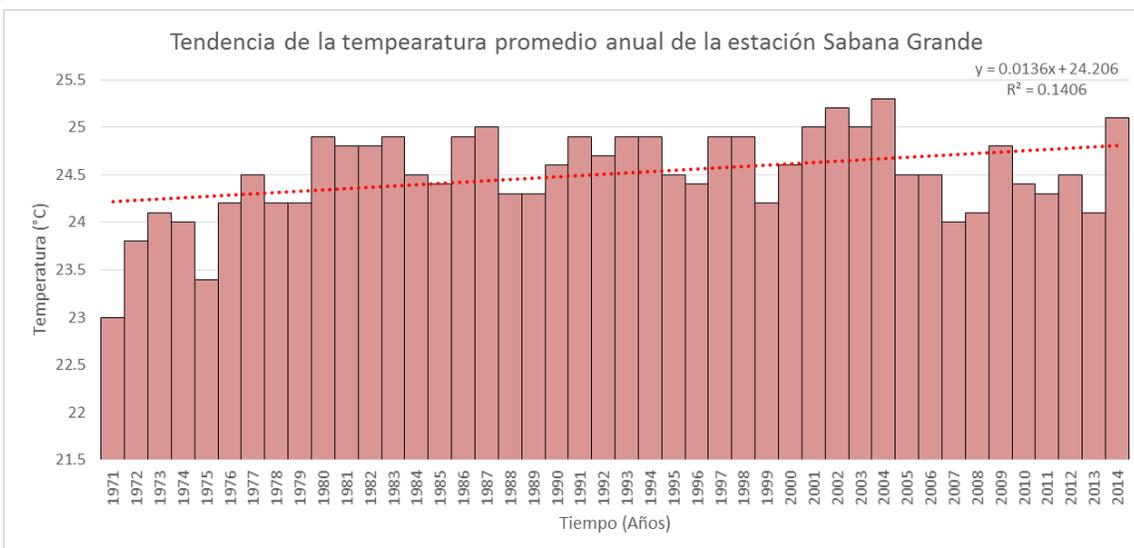


Figura 59. Tendencia de la temperatura anual en la estación Sabana Grande

5.5 Región Costa del Pacífico

Es una región que se extiende desde el departamento de San Marcos hasta Jutiapa. Desciende de 600 a 0 metros sobre el nivel del mar. Con precipitaciones menos intensas que la Boca Costa, que tienden a disminuir conforme se acerca al litoral marítimo. Los registros de temperatura son altos.

Existen climas de género cálido sin estación fría bien definida; con carácter húmedo con invierno seco, variando a semisecos con invierno seco. La vegetación varía de bosque a pastizal en el sector oriental. Se manifiesta deficiencia de lluvia en algunos meses del año.

Esta región se ha caracterizado por presentar un promedio pluviométrico entre 1200 a 1700 mm de lluvia anual, en la actualidad presenta un incremento en su promedio de lluvia anual entre 286 a 215.8 mm en toda la región.

La estación Montufar presentó un promedio base de 1338.2 mm, y actualmente su promedio ha incrementado en 315.8 mm, siendo el promedio para el periodo actual de 1654.0 mm. Los valores de lluvia por debajo del percentil 10 (999.9 mm) son: 986.0 mm (1987), 966.5 mm (1994) y 888.7 mm (1976); siendo este el valor mínimo en el registro histórico. Mientras, el valor mínimo del periodo actual es de 1017.4 mm (2014) y está comprendido entre los valores del percentil 10 y 25 del periodo base (999.9 y 1183.8 mm, respectivamente). Los valores máximos de lluvia por arriba del percentil 90 (1580.1 mm) se registraron en los años del periodo base y actual, siendo estos: 1989 (1590.9 mm), 2009 (1599.3 mm), 1990 (1643.6 mm), 2006 (1672.6 mm), 1973 (1751.3 mm), 2011 (1584.6 mm), 2007 (1901.5 mm), 2005 (2248.2 mm), 2008 (2298.2 mm) y 2010 (2667.6 mm), siendo este último el valor máximo en todo el registro histórico.

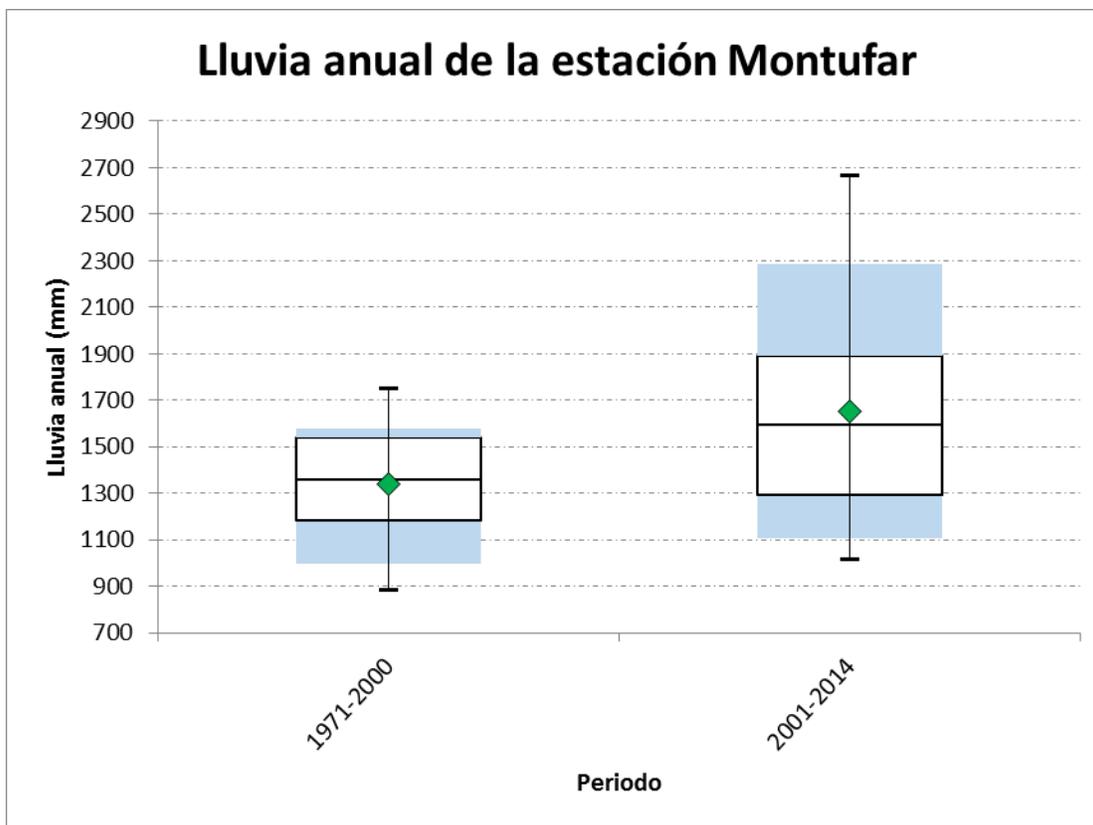


Figura 60. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Montufar, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

La estación Puerto San José presentó un promedio base de 1442.7 mm, y actualmente su promedio ha incrementado en 286.1 mm, siendo el promedio para el periodo actual de 1728.8 mm. Los valores de lluvia por debajo del percentil 10 (997.2 mm) son: 982.1 mm (1978), 935.5 mm (1987) y 506.5 mm (1975); siendo este el valor mínimo en el registro histórico. Mientras, el valor mínimo del periodo actual es de 1096.0 mm (2000) y está comprendido entre los valores del percentil 10 y 25 del periodo base (997.2 y 1150.3 mm, respectivamente). Los valores máximos de lluvia por arriba del percentil 90 (1942.6 mm) se registraron en los años del periodo base y actual, siendo estos: 2001 (1994.7 mm), 1999 (2000.7 mm), 1997 (2047.6 mm), 2005 (2214.6 mm), 1998 (2665 mm), y 2010 (3149.3 mm), siendo este último el valor máximo en todo el registro histórico.

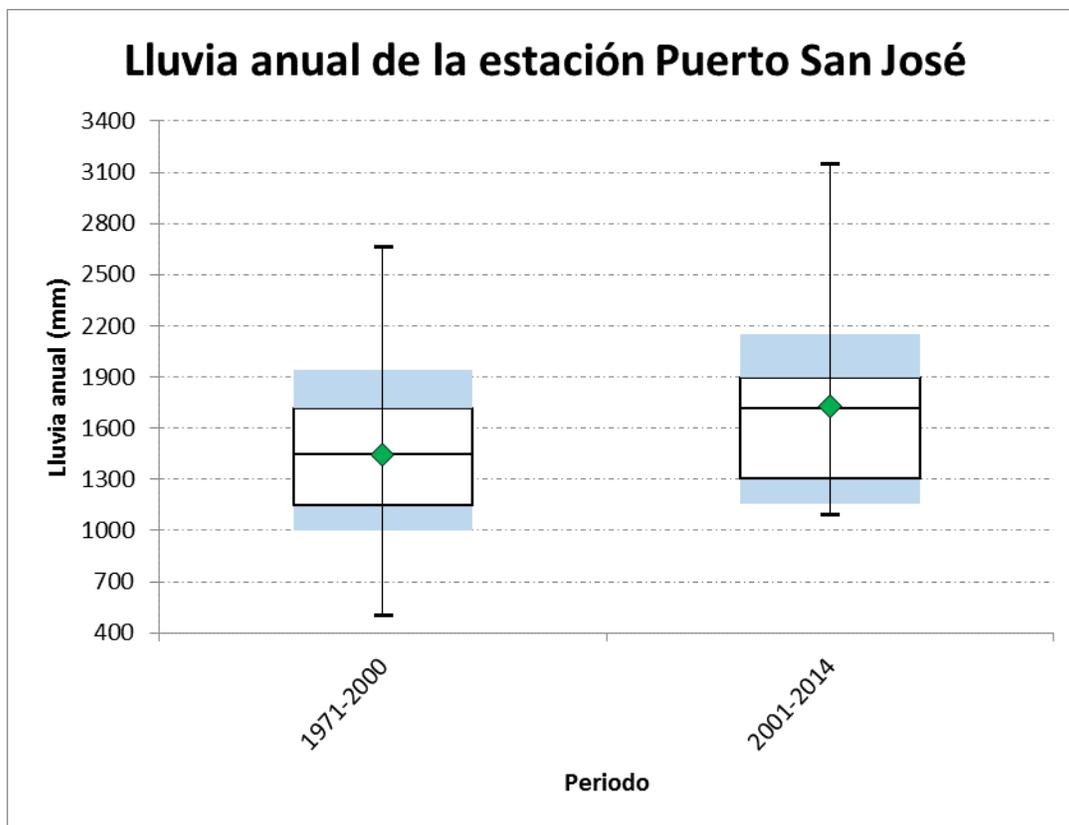


Figura 61. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Puerto San José, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

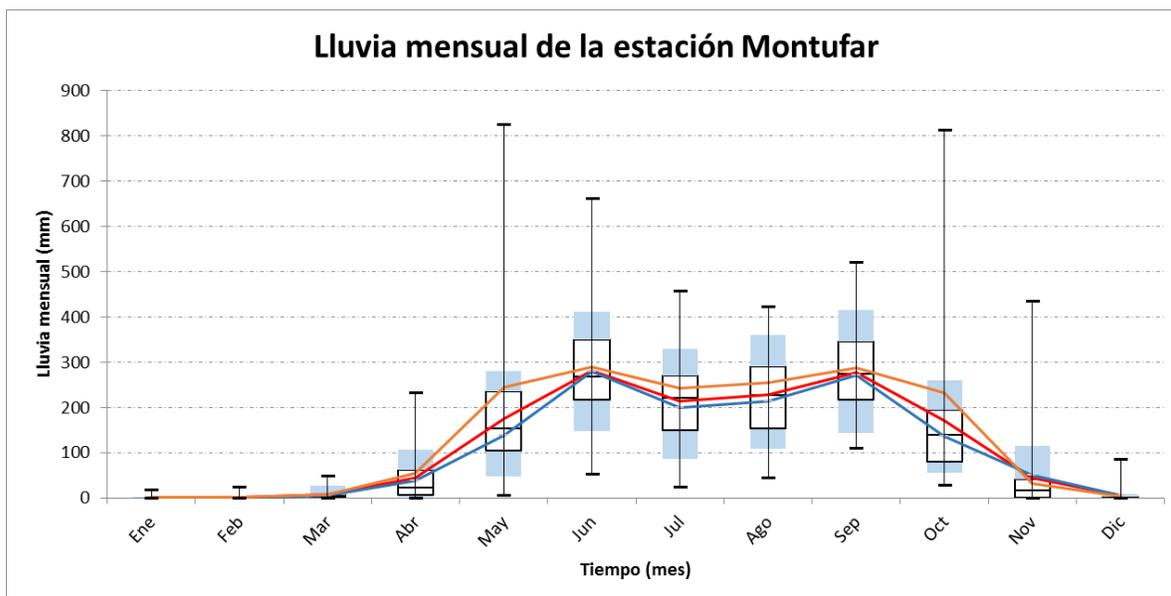


Figura 62. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Montufar mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea roja = Promedio 1971 a 2014)

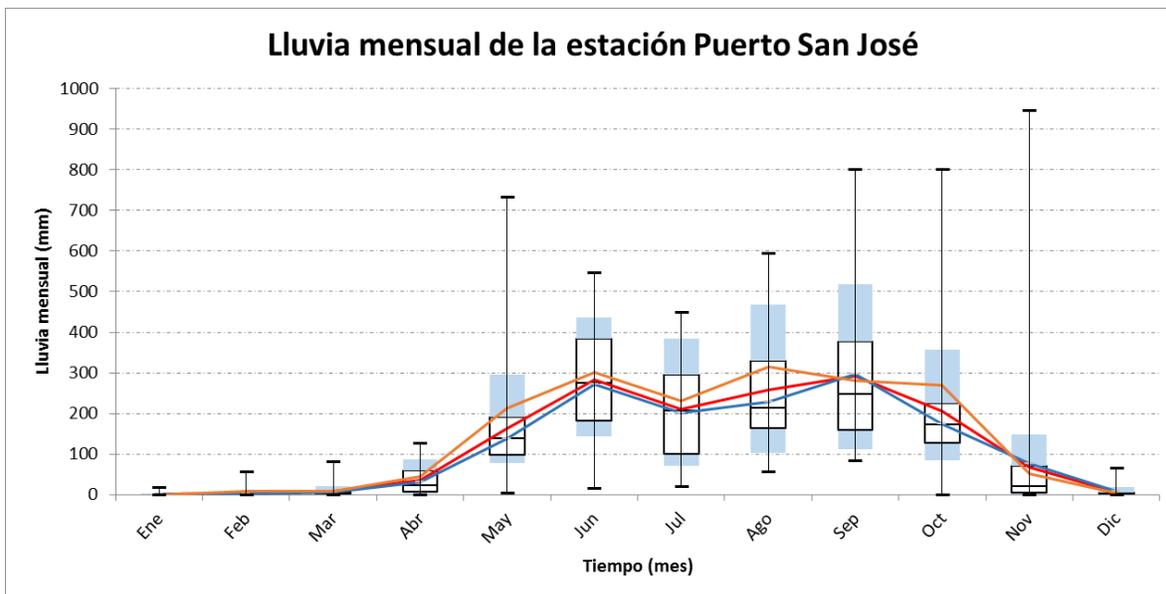


Figura 63. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Puerto San José mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea roja = Promedio 1971 a 2014)

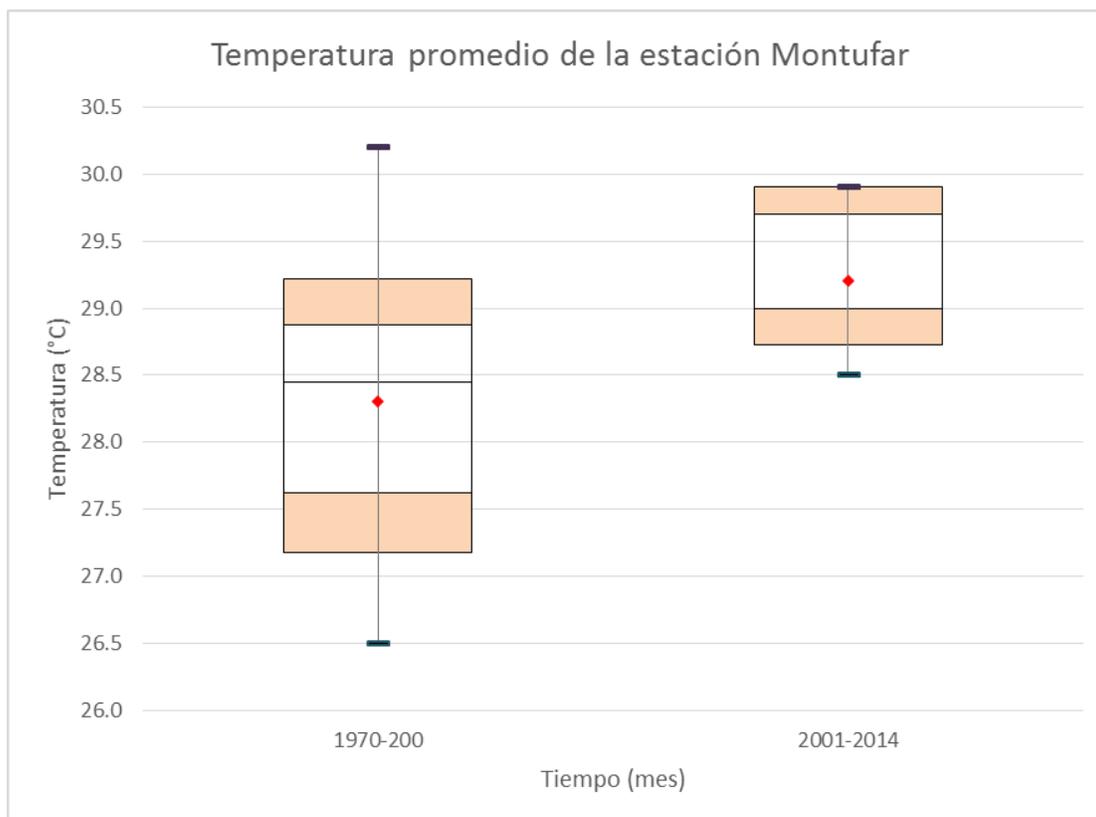


Figura 64. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Montufar, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

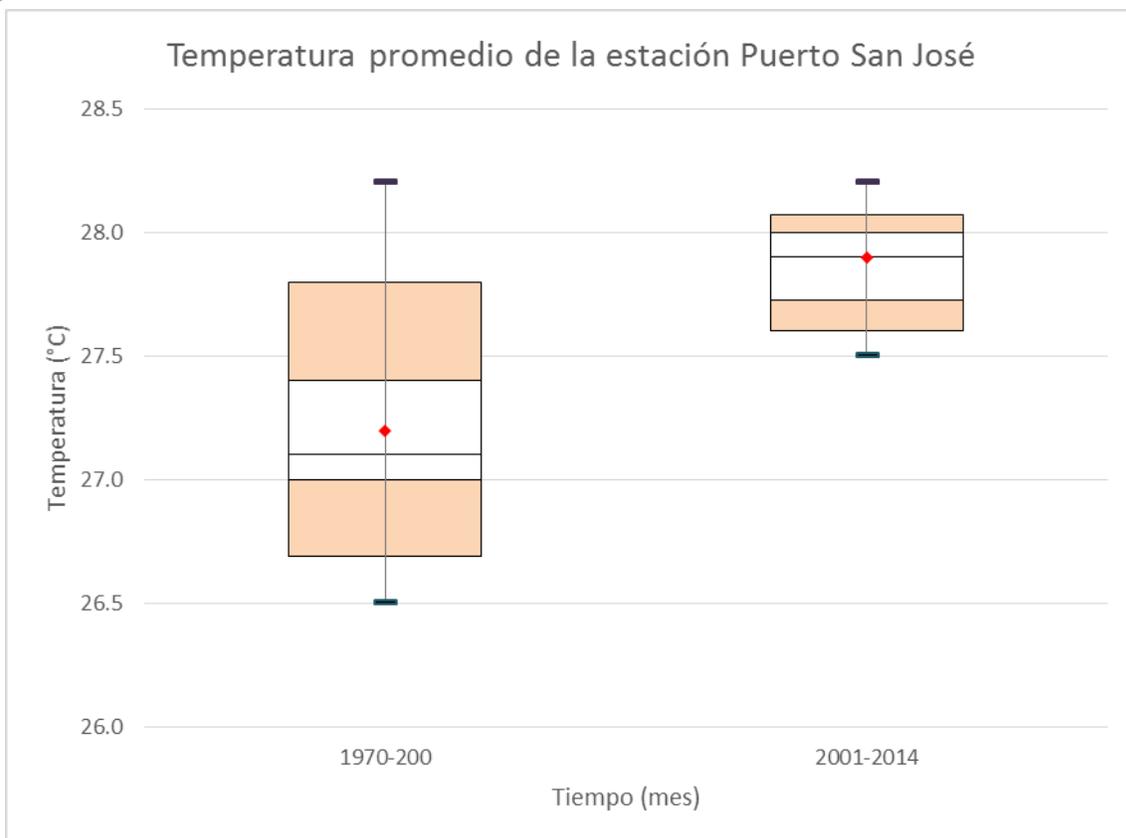


Figura 65. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Puerto San José, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

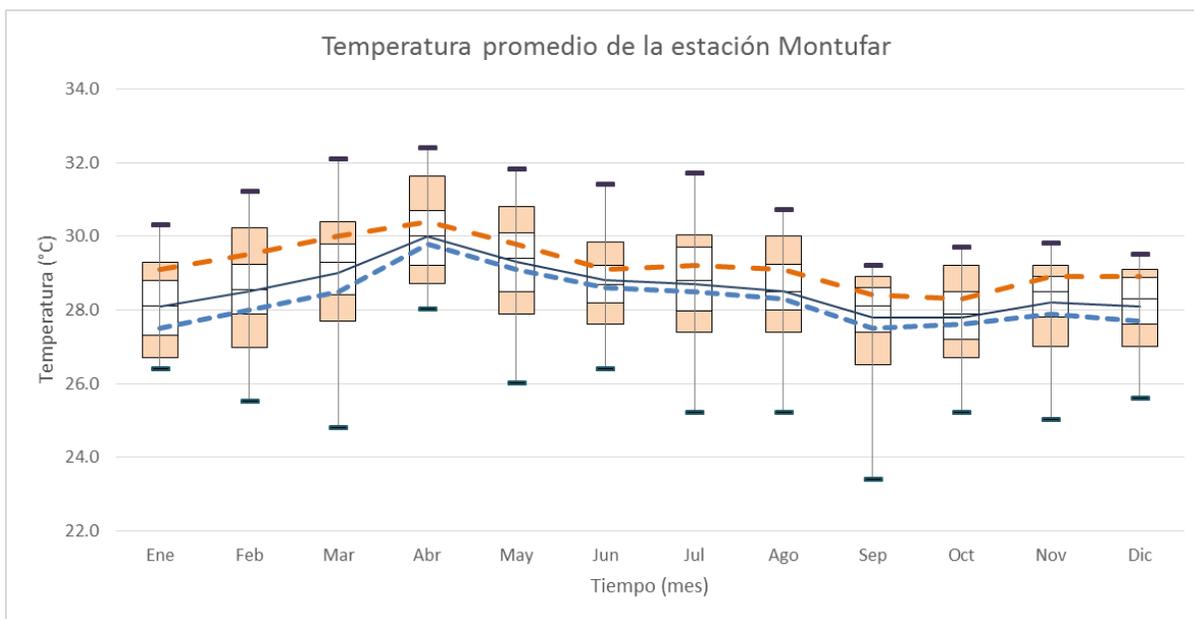


Figura 66. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Montufar mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea negra = Promedio 1971 a 2014)

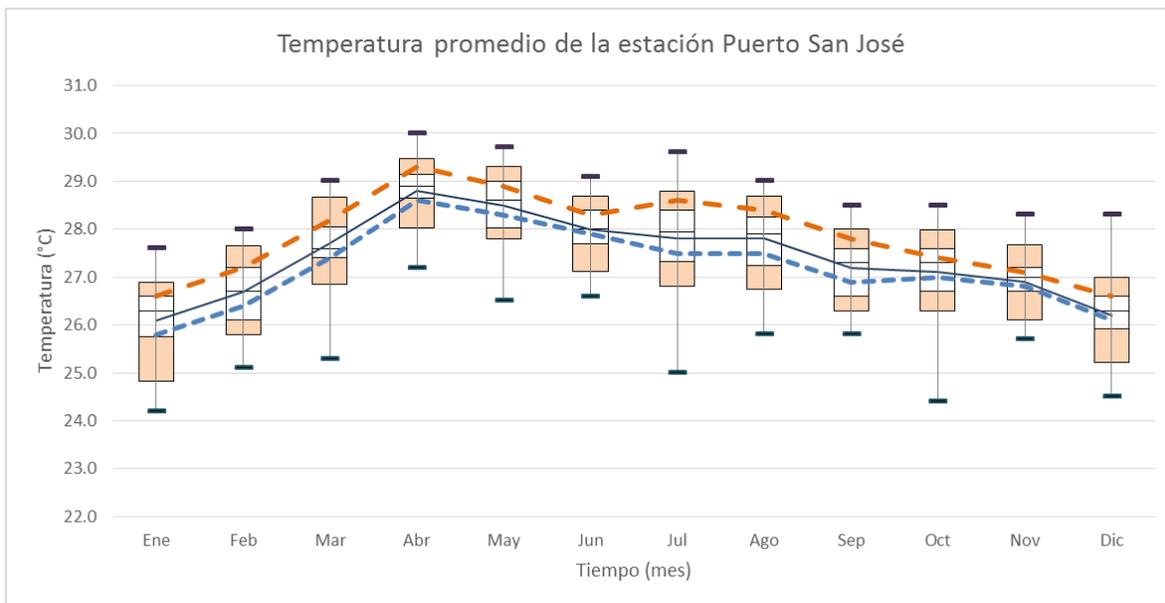


Figura 67. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Puerto San José mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea negra = Promedio 1971 a 2014)

5.5.1 Análisis de anomalía

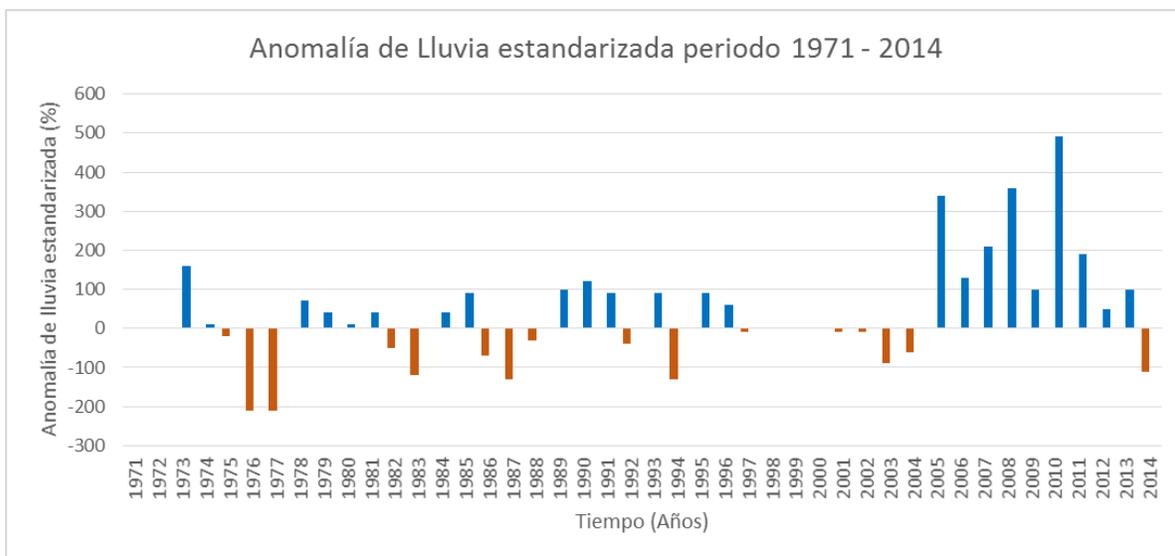


Figura 68. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Montufar periodo 1971 - 2014.

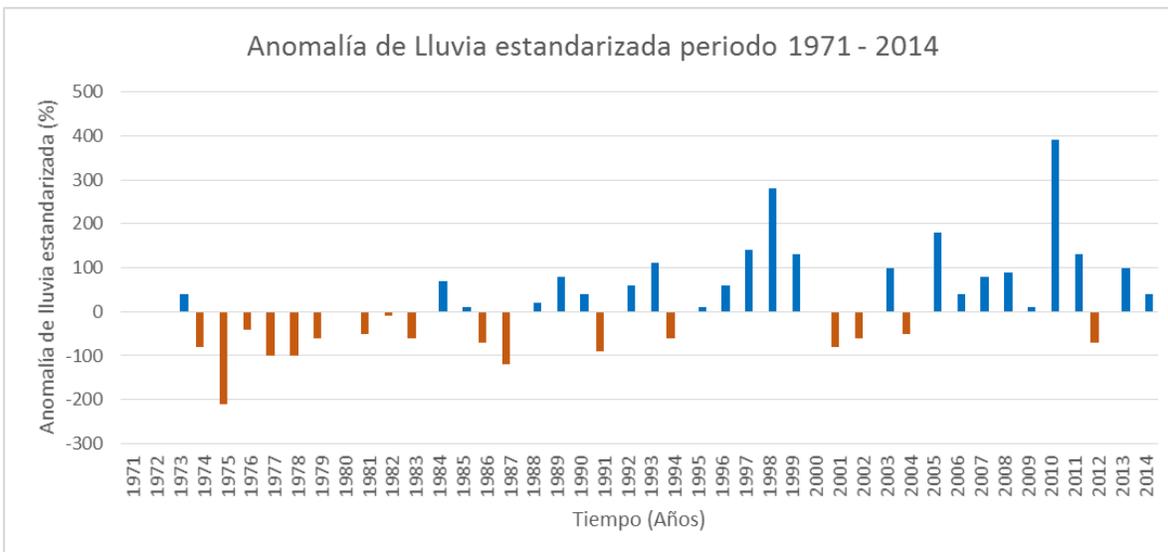


Figura 69. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Puerto San José periodo 1971 - 2014.

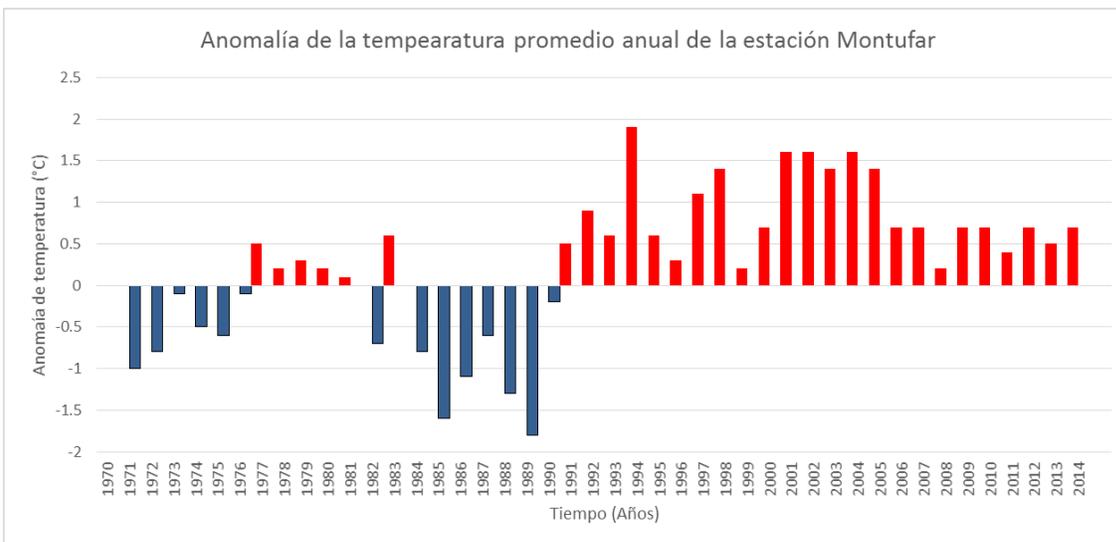


Figura 70. Anomalía de temperatura en la estación Puerto San José periodo 1971 - 2014.

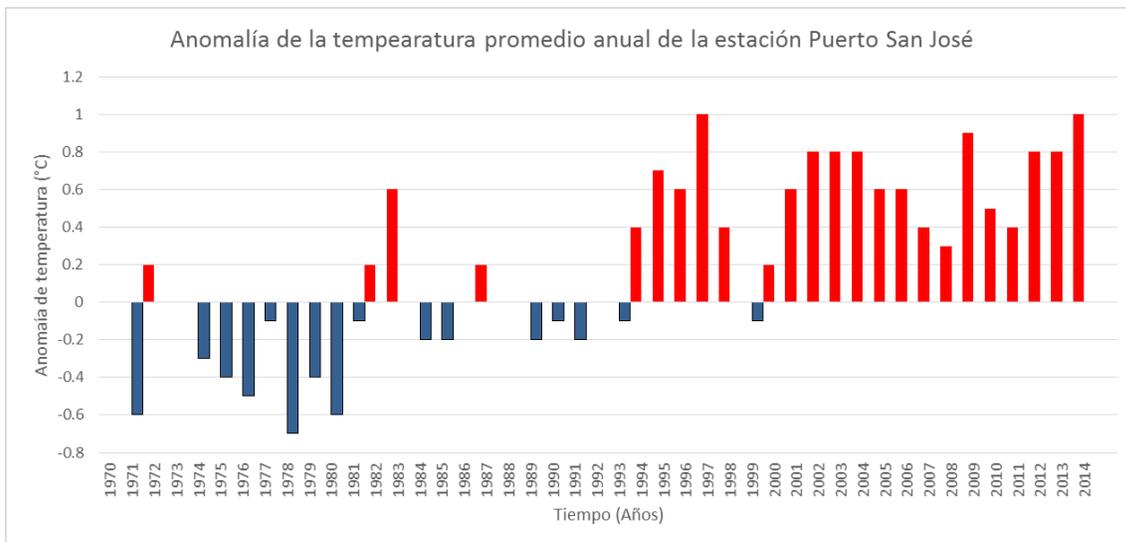


Figura 71. Anomalía de temperatura en la estación Puerto San José periodo 1971 - 2014.

5.5.2 Análisis de tendencias

La tendencia es que la lluvia anual incremente de 15 a 29 mm/año, lo que indica que cada vez se tienen eventos de lluvia de mayor intensidad, y menor días con lluvia, lo que es alarmante para la parte agrícola, principalmente en esta región.

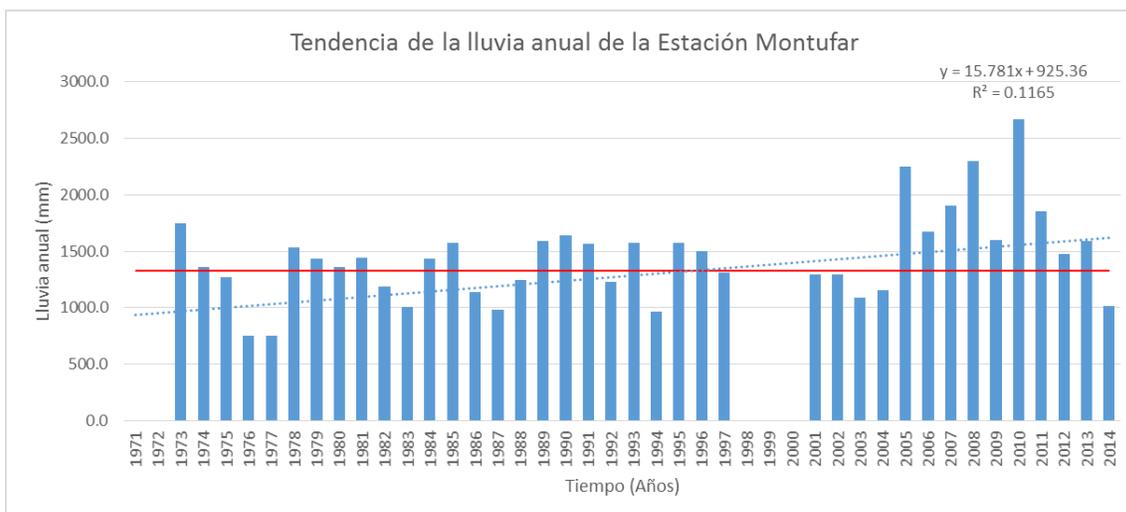


Figura 72. Tendencia de la lluvia anual en la estación Montufar



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

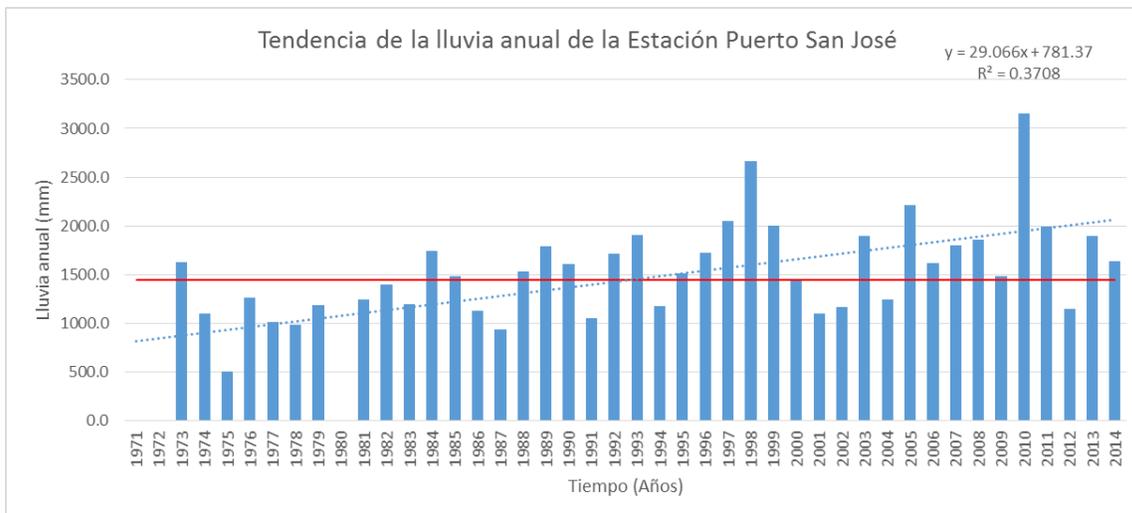


Figura 73. Tendencia de la lluvia anual en la estación Puerto San José

La temperatura incrementa de 0.02 a 0.03 °C/año, causando un aumento en las tasas de evapotranspiración potencial, lo que potencializa a una menor reducción de la cantidad de agua en los suelos.

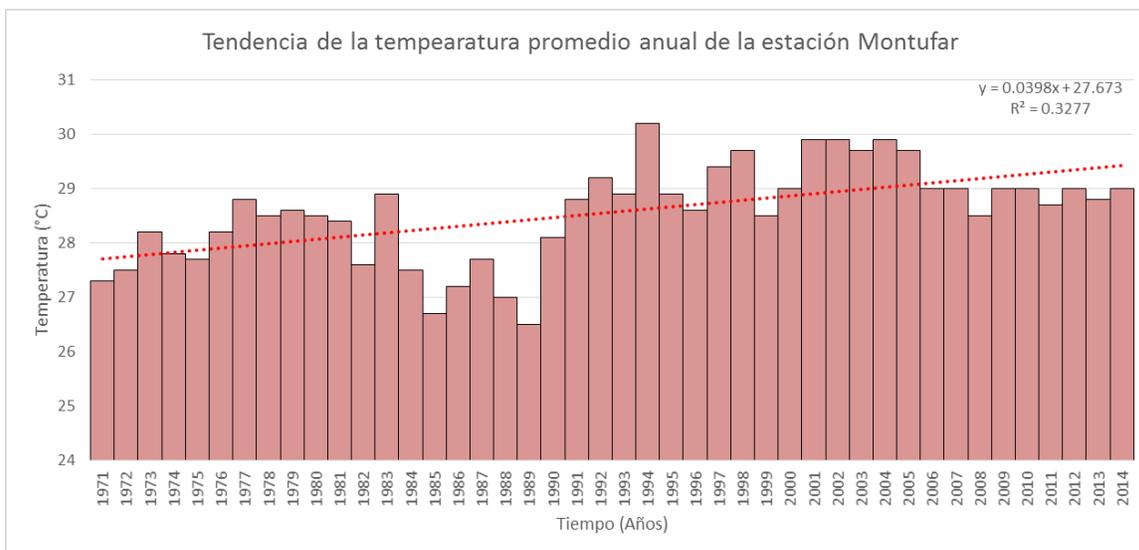


Figura 74. Tendencia de la temperatura anual en la estación Montufar

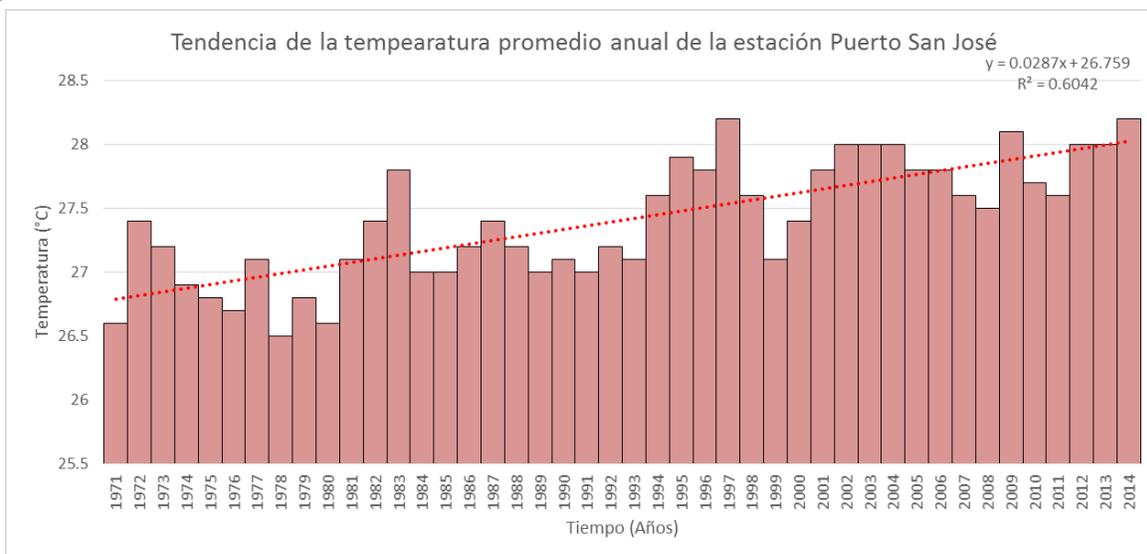


Figura 75. Tendencia de la lluvia temperatura en la estación Puerto San José.

5.6 Región del Altiplano Central

Esta región se ha caracterizado por presentar un promedio pluviométrico entre 900 a 1200 mm de lluvia anual, en la actualidad presenta un incremento en su promedio de lluvia anual entre 214.6 a 240 mm en toda la región.

La estación INSIVUMEH presentó un promedio base de 1126.7 mm, y actualmente su promedio ha incrementado en 214.6 mm, siendo el promedio para el periodo actual de 1341.3 mm. Los valores de lluvia por debajo del percentil 10 (892.9 mm) son: 892.8 mm (1978), 847.4 mm (1972) y 812.8 mm (1977); siendo este el valor mínimo en el registro histórico. Mientras, el valor mínimo del periodo actual es de 941.6 mm (2009) y está comprendido entre los valores del percentil 10 y 25 del periodo base (892.9 y 1002.4 mm, respectivamente). Los valores máximos de lluvia por arriba del percentil 90 (1456.9 mm) se registraron en los años del periodo base y actual, siendo estos: 2006 (1459.3 mm), 1998 (1487.5 mm), 1995 (1524.0 mm), 2008 (1596.0 mm), 2011 (1674.2 mm), 1988 (1693.7 mm), y 2010 (2084.2 mm), siendo este último el valor máximo en todo el registro histórico.

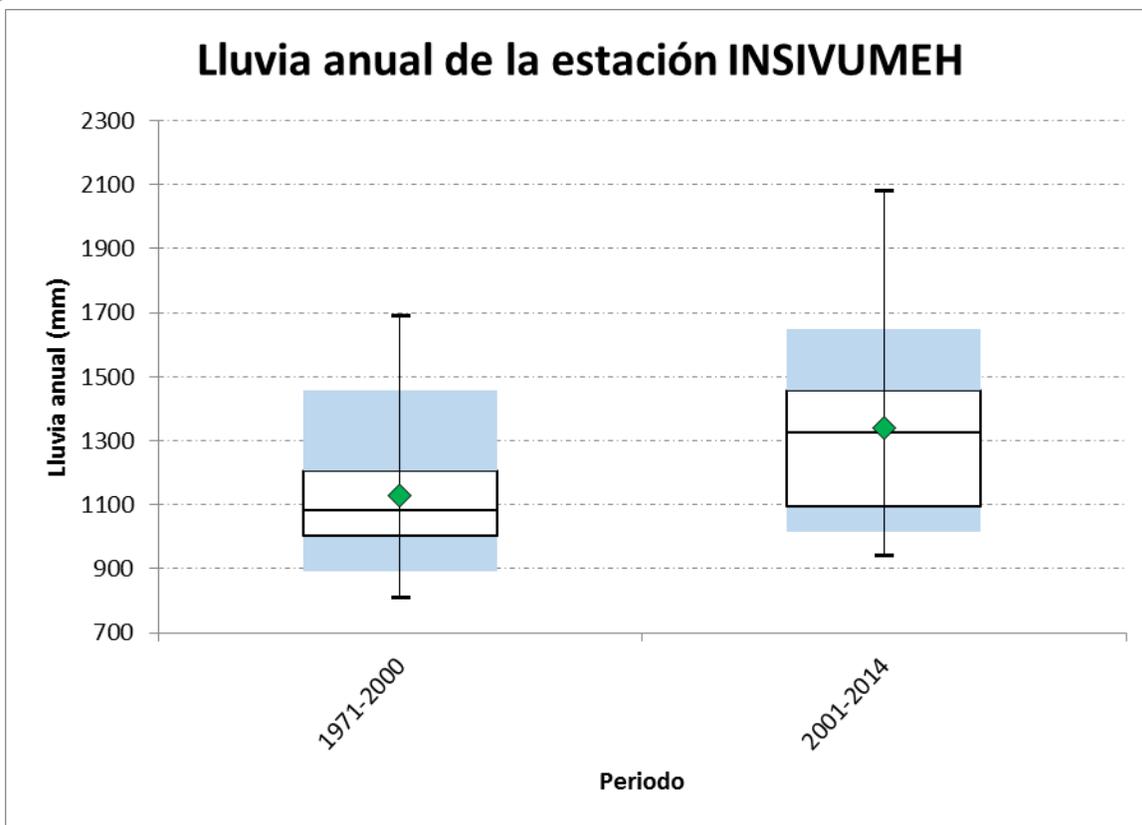


Figura 76. Comportamiento de la lluvia anual en la estación INSIVUMEH, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

La estación Alameda ICTA presentó un promedio base de 965.2 mm, y actualmente su promedio ha incrementado en 241.4 mm, siendo el promedio para el periodo actual de 1206.6 mm. Los valores de lluvia por debajo del percentil 10 (781.3 mm) son: 731.5 mm (1974) y 654.2 mm (1977); siendo este el valor mínimo en el registro histórico. Mientras, el valor mínimo del periodo actual es de 882.0 mm (2002) y está comprendido entre los valores del percentil 25 y 50 del periodo base (857.8 y 936.7 mm, respectivamente). Los valores máximos de lluvia por arriba del percentil 90 (1232.9 mm) se registraron en los años del periodo base y actual, siendo estos: 2011 (1302.4 mm), 2005 (1316.7 mm), 2003 (1338.6 mm), 1979 (1433.5 mm), 2006 (1562.6 mm), y 2010 (1903.9 mm), siendo este último el valor máximo en todo el registro histórico.

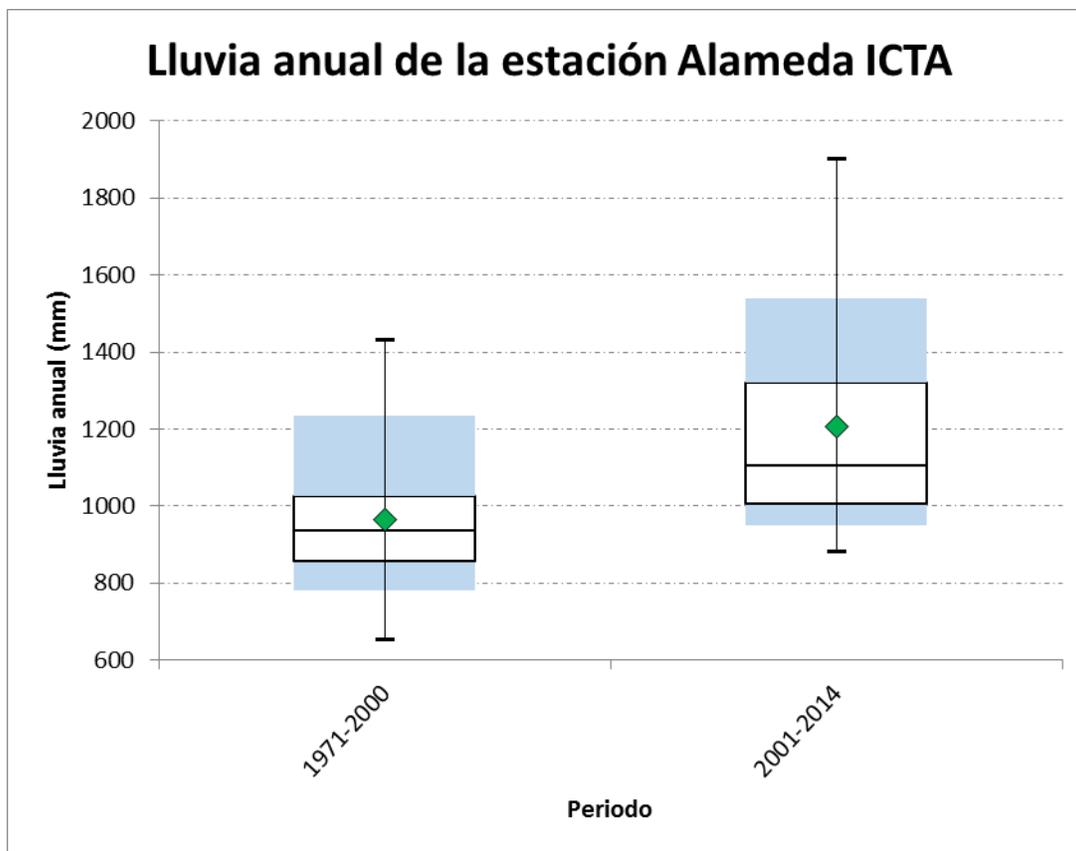


Figura 77. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Alameda ICTA, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

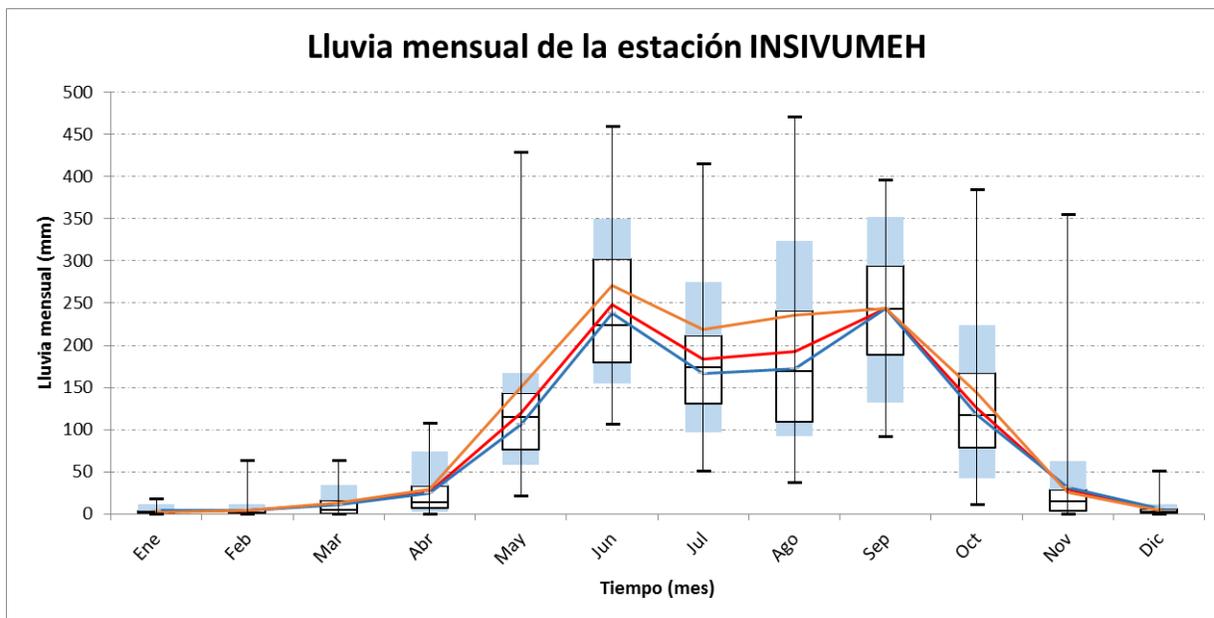


Figura 78. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación INSIVUMEH mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea roja = Promedio 1971 a 2014)

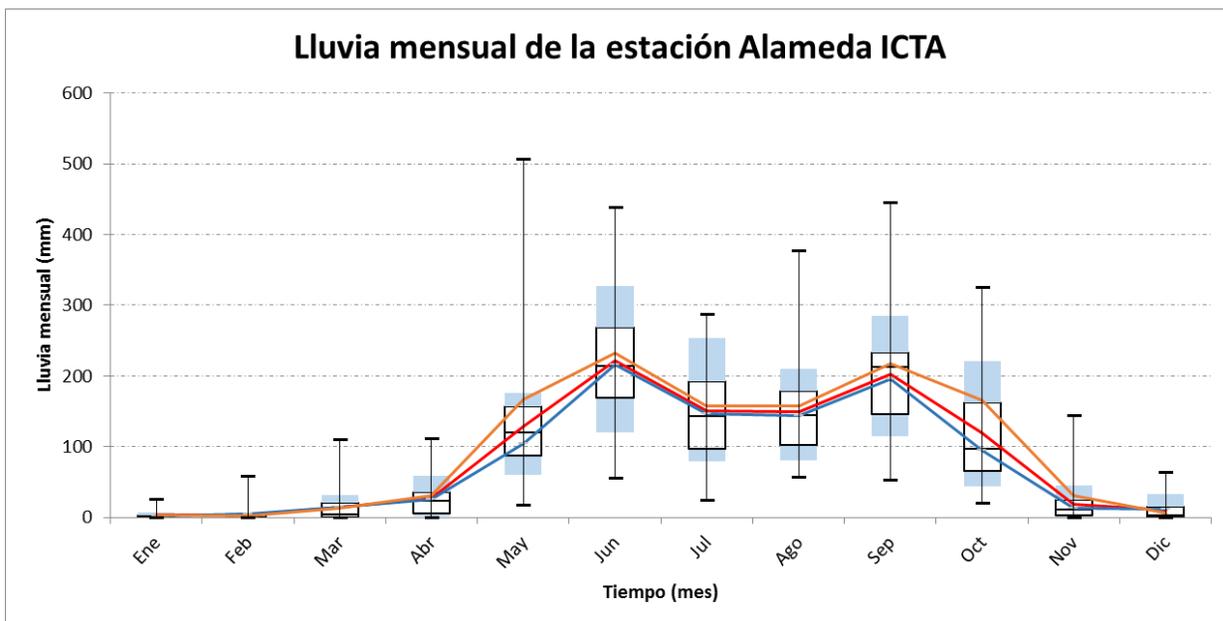


Figura 79. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Alameda ICTA mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea roja = Promedio 1971 a 2014)

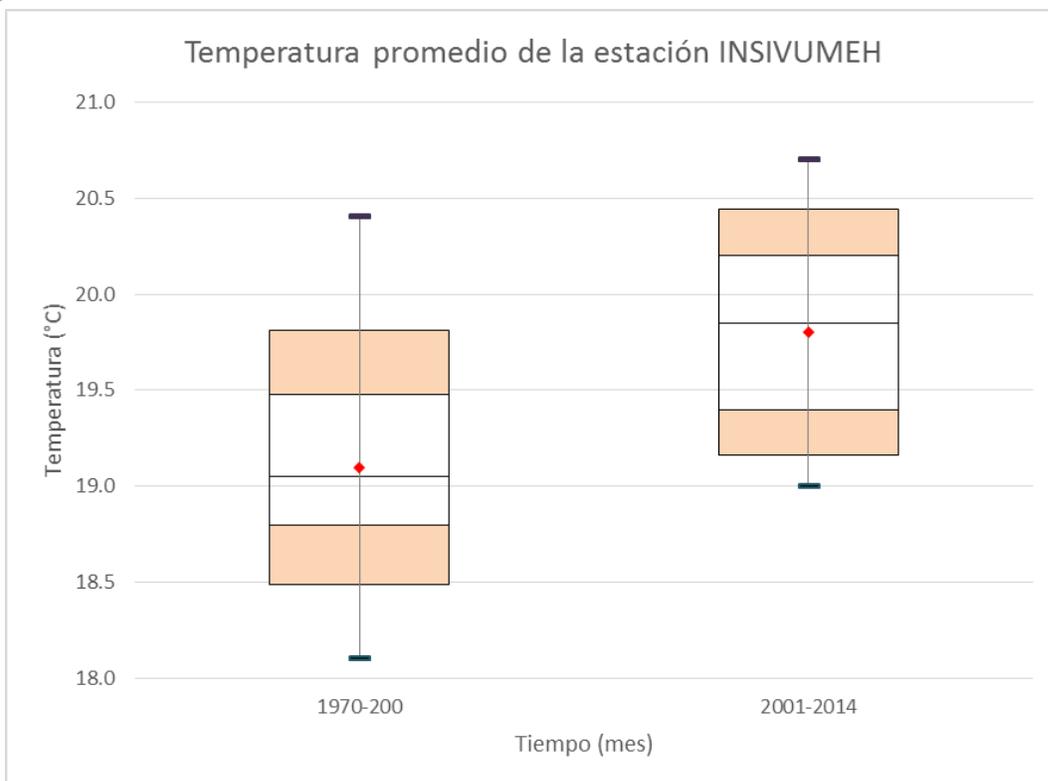


Figura 80. Comportamiento de la Temperatura anual en la estación INSIVUMEH, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

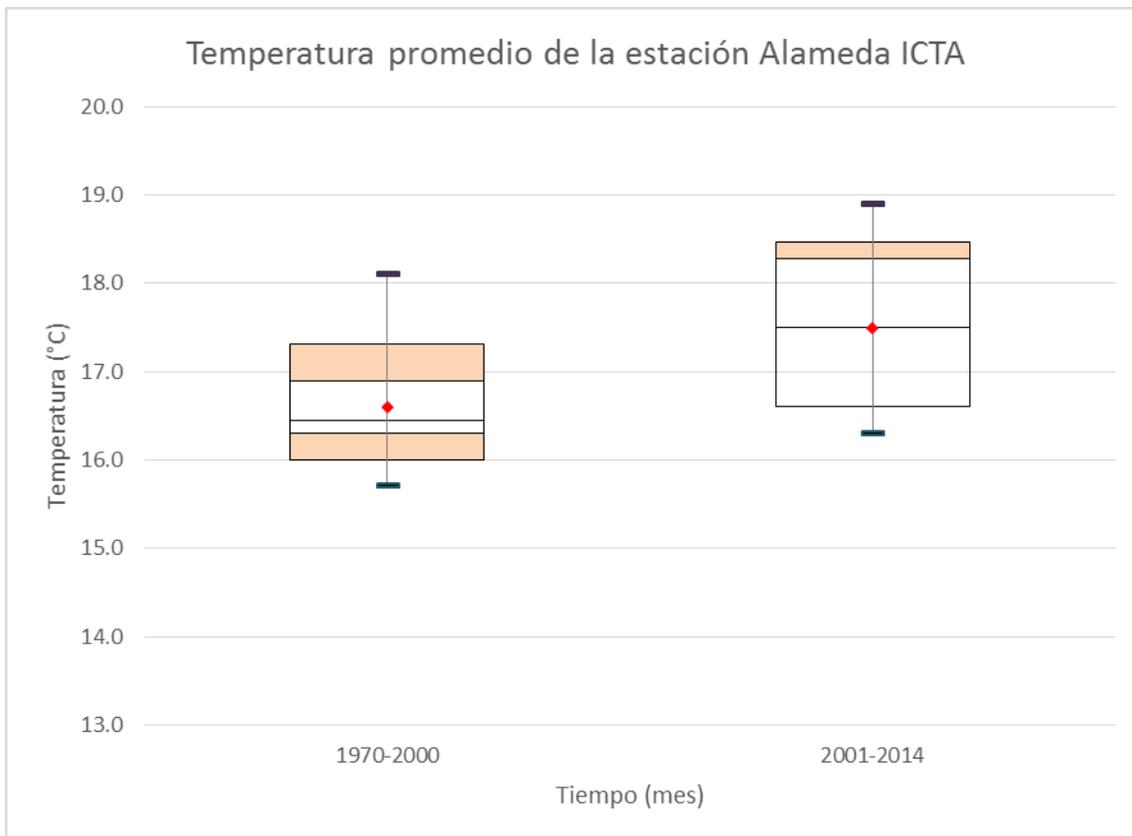


Figura 81. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Alameda ICTA, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

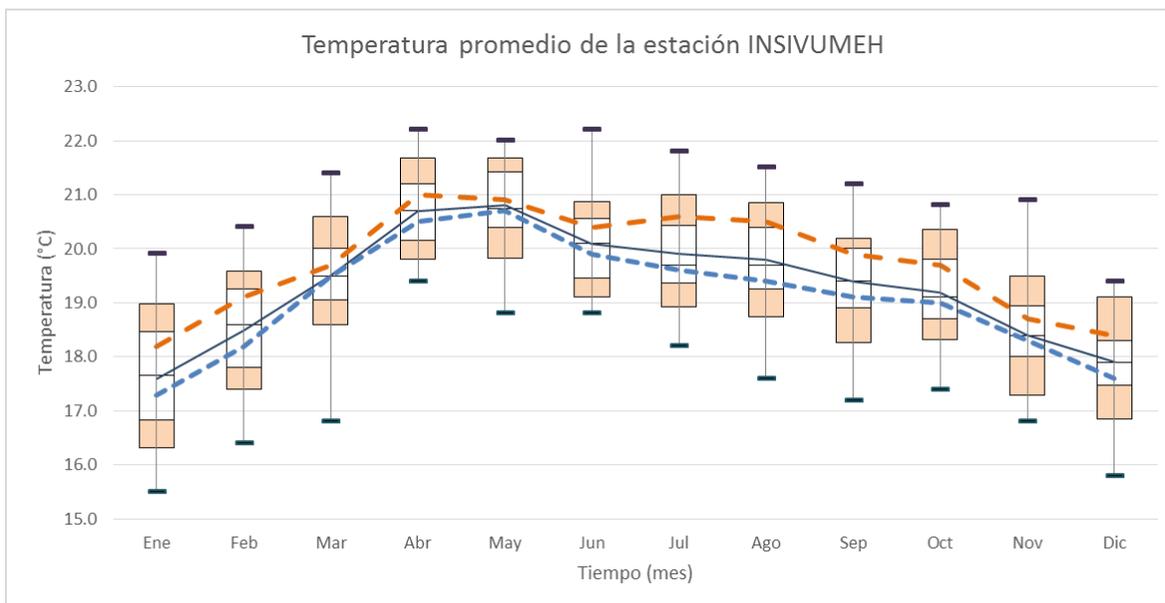


Figura 82. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación INSIVUMEH mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea negra = Promedio 1971 a 2014)



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

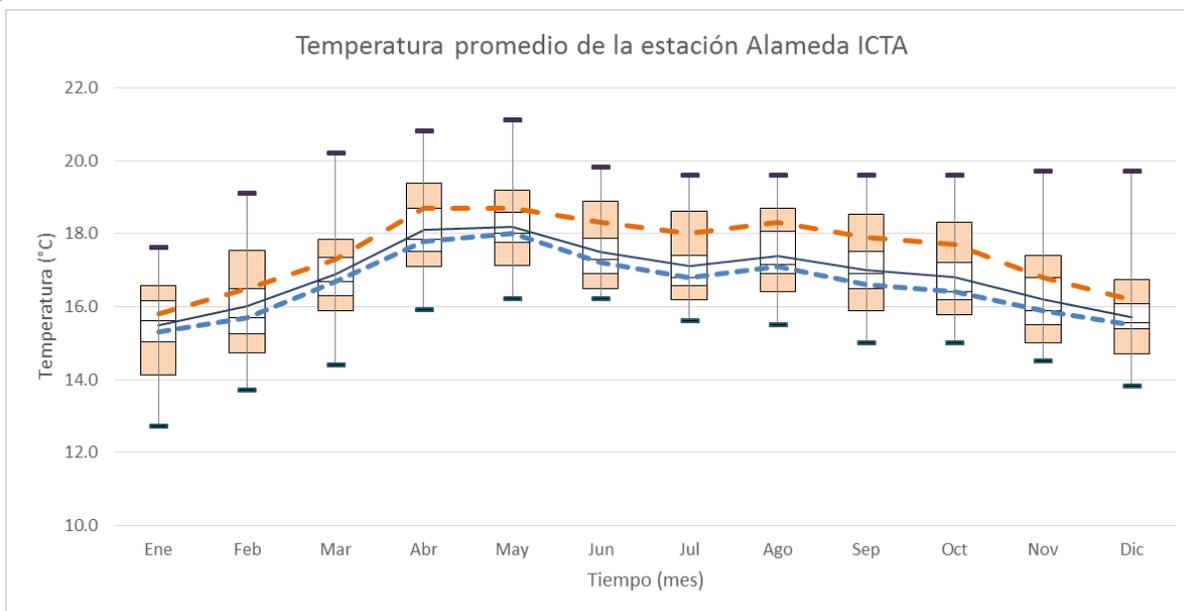


Figura 83. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Alameda ICTA mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea negra = Promedio 1971 a 2014)

5.6.1 Análisis de anomalía

El evento de mayor magnitud de lluvia se dio en los años de Niña, principalmente en el 2010, y los años secos están asociados a la fase calidat al fenómeno de El Niño Oscilación Sur, de la misma forma se observan los gráficos de temperatura, donde los mayores aumentos se observan en años niños, y se ve una clara relación del aumento de temperatura con el calentamiento global.

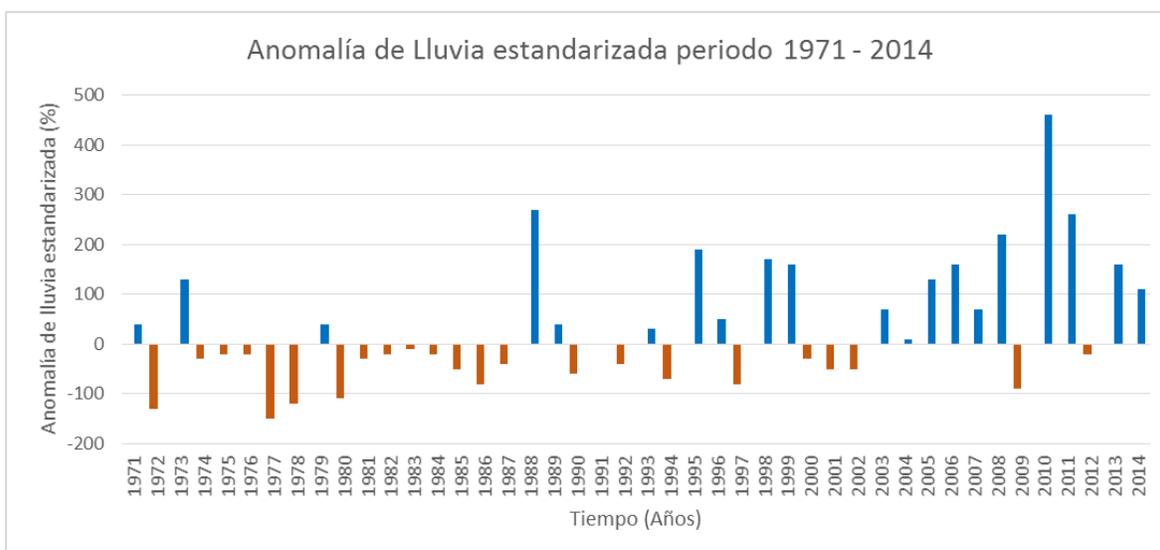


Figura 84. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación INSIVUMEH periodo 1971 - 2014.



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

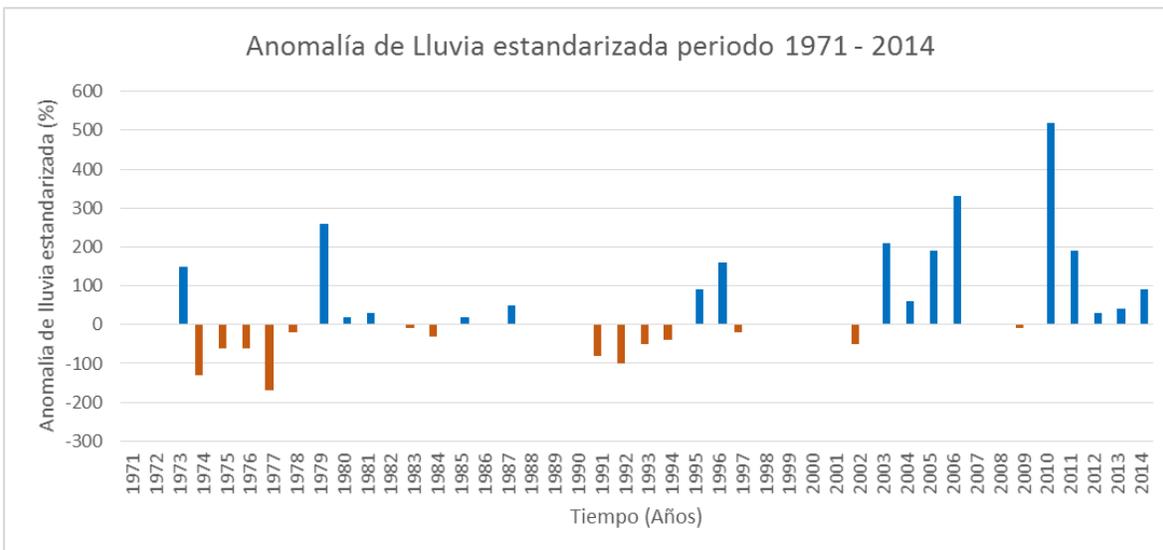


Figura 85. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Alameda ICTA periodo 1971 - 2014.

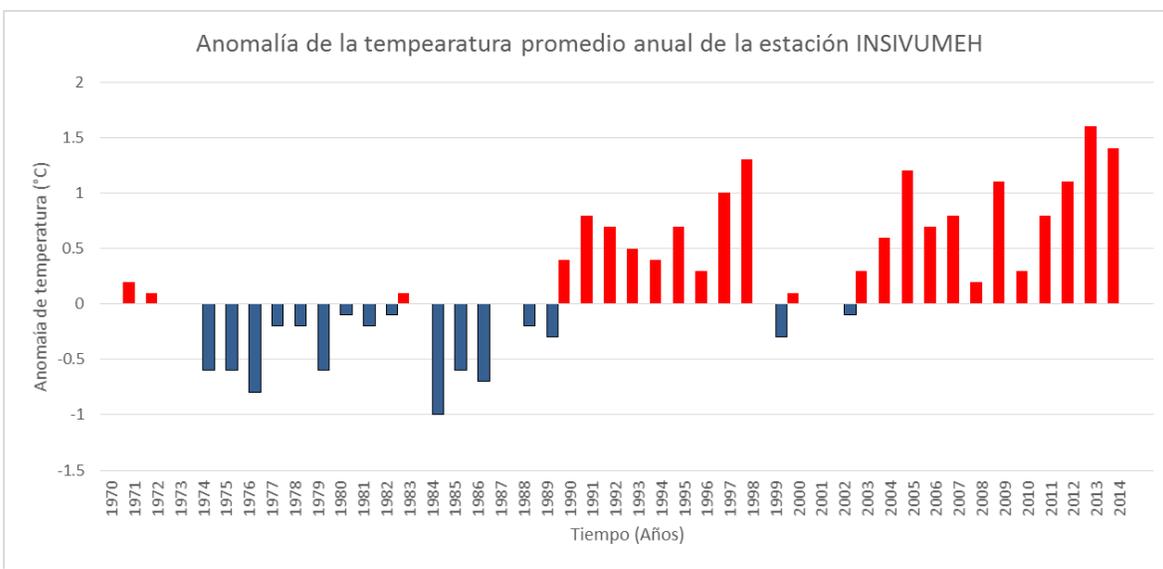


Figura 86. Anomalía de temperatura en la estación INSIVUMEH periodo 1971 - 2014.

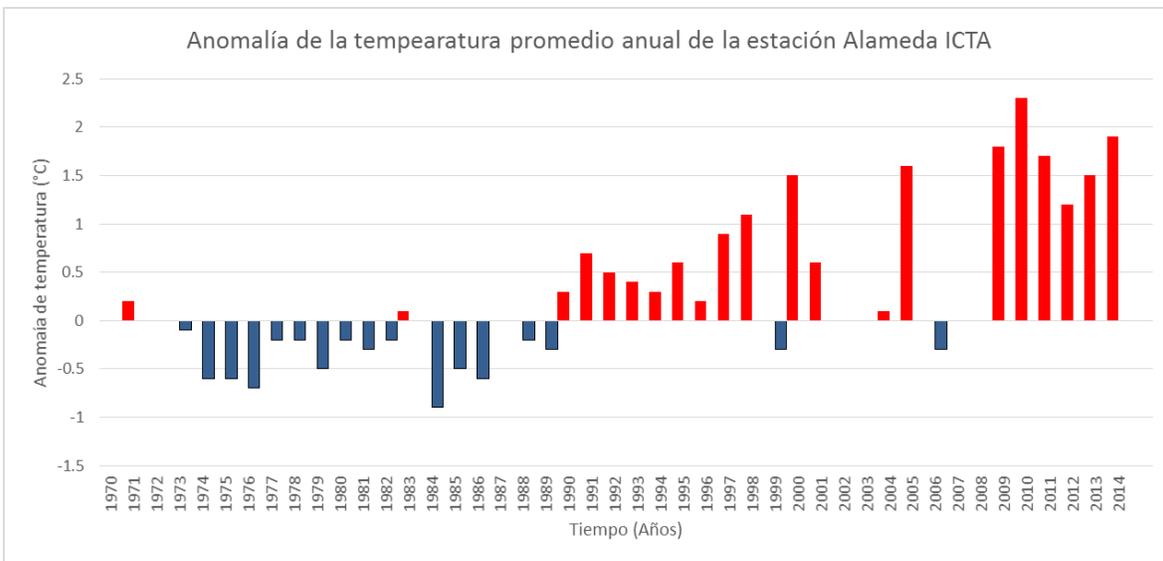


Figura 87. Anomalía de temperatura en la estación Alameda ICTA periodo 1971 - 2014.

5.6.2 Análisis de tendencias

La tendencia de la lluvia en esta región es de incremento la cual está asociada a los eventos ocurridos durante la Niña, la tendencia muestra un incremento entre 8 a 10 mm/año.

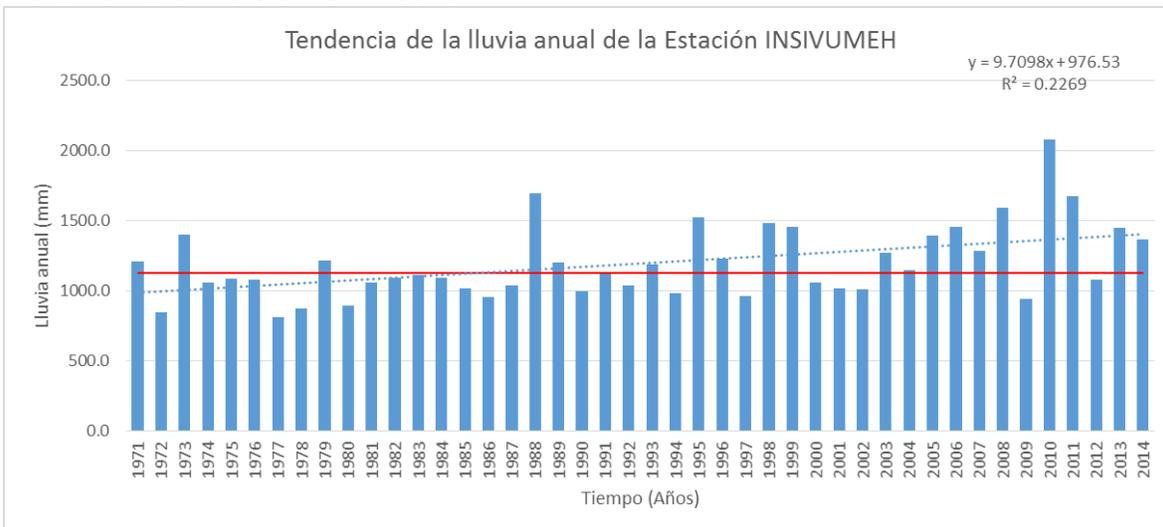


Figura 88. Tendencia de la lluvia anual en la estación INSIVUMEH

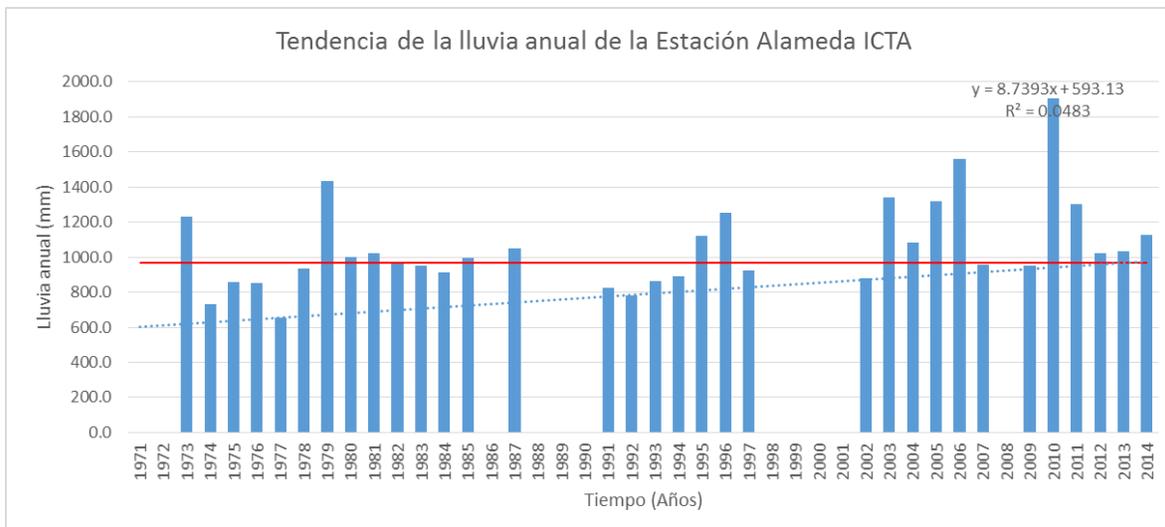


Figura 89. Tendencia de la lluvia anual en la estación Alameda ICTA

La tendencia de la temperatura es al incremento entre 0.03 a 0.04 °C/año, lo que significa un incremento por década de 0.3 a 0.4 grados de temperatura anual, este incremento causara una modificación en los patrones de lluvia así como el desplazamiento de especies y modificación de la región climática. También, se espera la aparición de nuevas enfermedades y plagas.

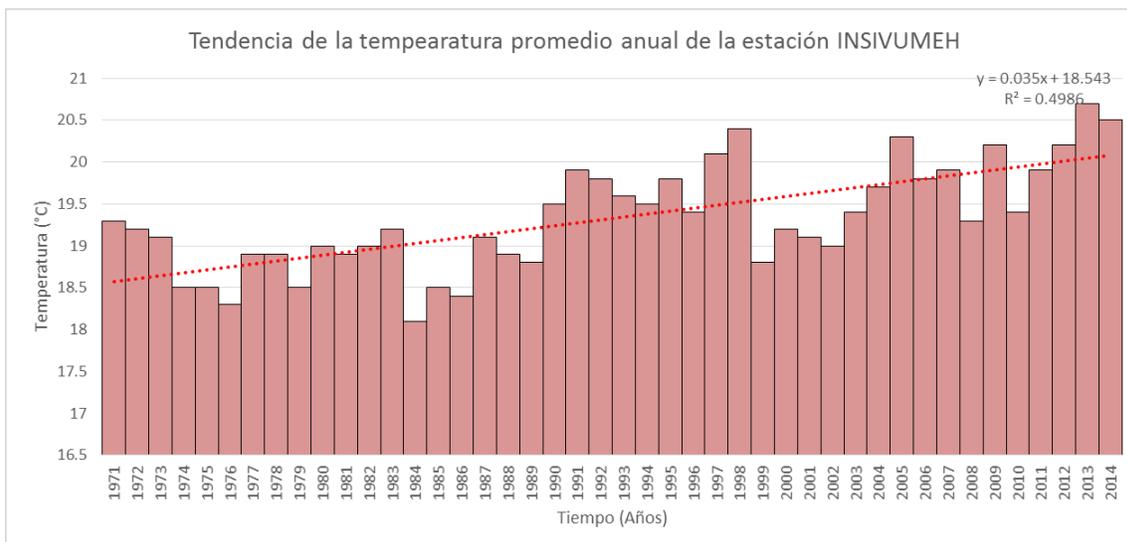


Figura 90. Tendencia de la temperatura anual en la estación INSIVUMEH

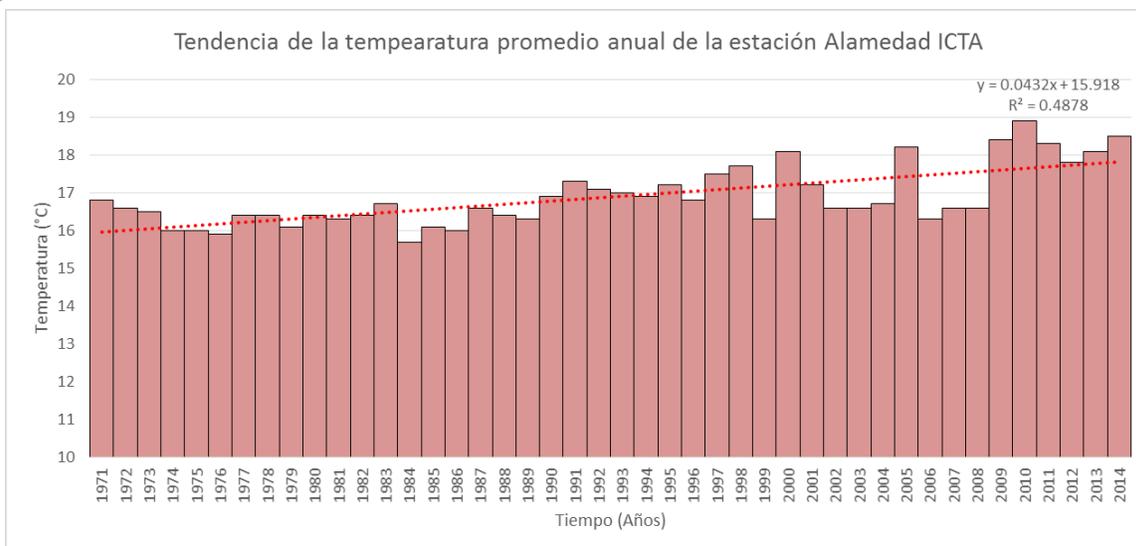


Figura 91. Tendencia de la temperatura anual en la estación Alameda ICTA

5.7 Región Franja Transversal del Norte

Es prolongación de la zona descrita anteriormente. Establecida en la ladera montañosa y localizada en los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz e Izabal. Las altitudes oscilan entre los 900 hasta los 2000 metros sobre el nivel del mar. Es muy lluviosa y los registros más altos se obtienen de junio a octubre. Los niveles de temperatura descienden conforme aumenta la altitud, los registros más altos se obtienen entre mayo y septiembre.

Existen climas de género cálido con inviernos benignos; cálidos sin estación fría bien definida y semicálidos con invierno benigno. Su carácter varía de muy húmedos sin estación seca bien definida. Vegetación: selva o bosque.

Esta región se ha caracterizado por presentar un promedio pluviométrico entre 1929 y 2634 mm de lluvia anual, en la actualidad presenta un incremento en su promedio de lluvia anual de 200 mm en toda la región.

La estación de Cobán presentó un promedio base de 2116.6 mm, y actualmente su promedio ha incrementado en 202.7 mm, siendo el promedio para el periodo actual de 2319.3 mm. Los valores de lluvia por debajo del percentil 10 (1811.0 mm) son: 1794.0 mm (2012), 1730.4 mm (1987), 1682.3 mm (1994), 1631.3 mm (2004) y 1589.3 mm (2009); siendo este el valor mínimo en el registro histórico. Los valores máximos de lluvia por arriba del percentil 90 (2492.5 mm) se registraron en los años del periodo base y actual, siendo estos: 1996 (2496.5 mm), 1995 (2512.2 mm), 2011 (2539.0 mm), 2006 (2589.0 mm), 1999 (2624.6 mm), 2007 (2649.0 mm), 2010 (2680.1 mm), 2014 (2823.0) y 2008 (2842.1 mm), siendo este último el valor máximo en todo el registro histórico.

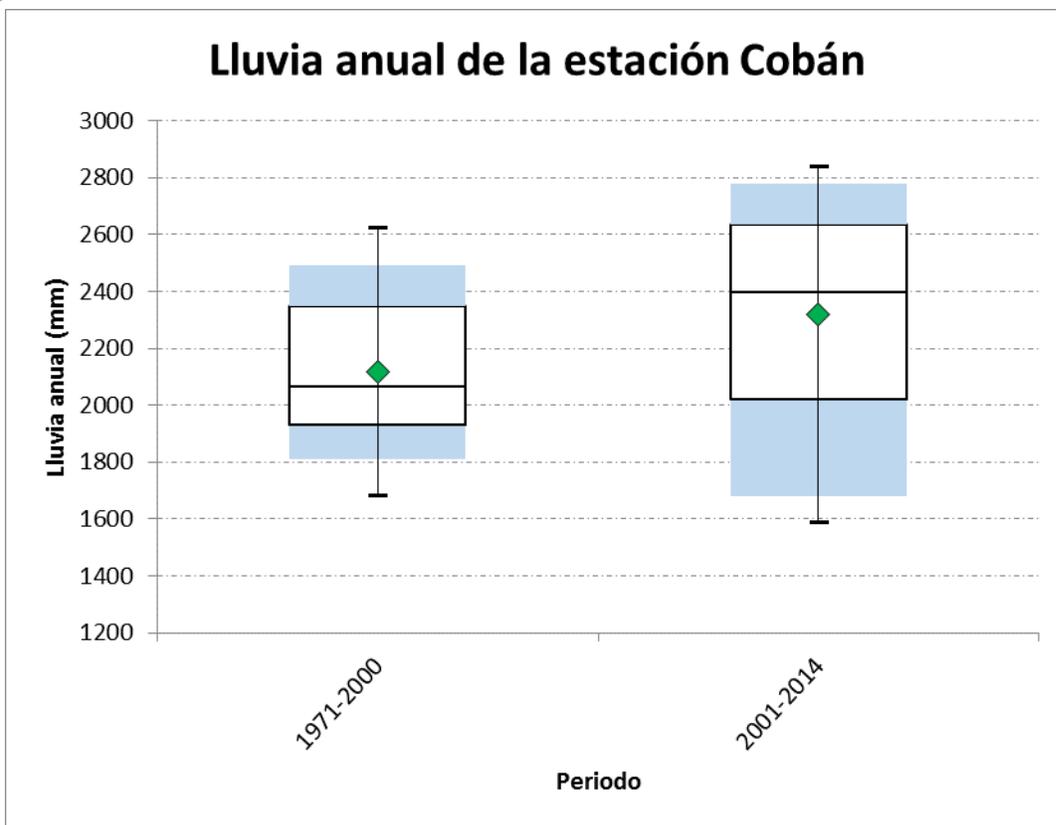


Figura 92. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Cobán, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

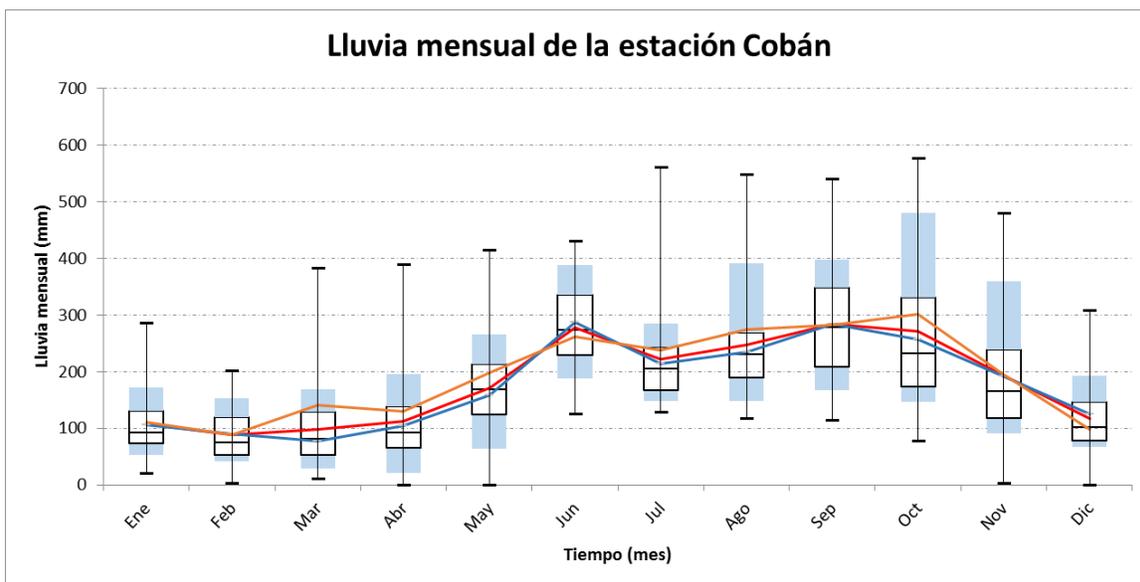


Figura 93. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Cobán mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea roja = Promedio 1971 a 2014)

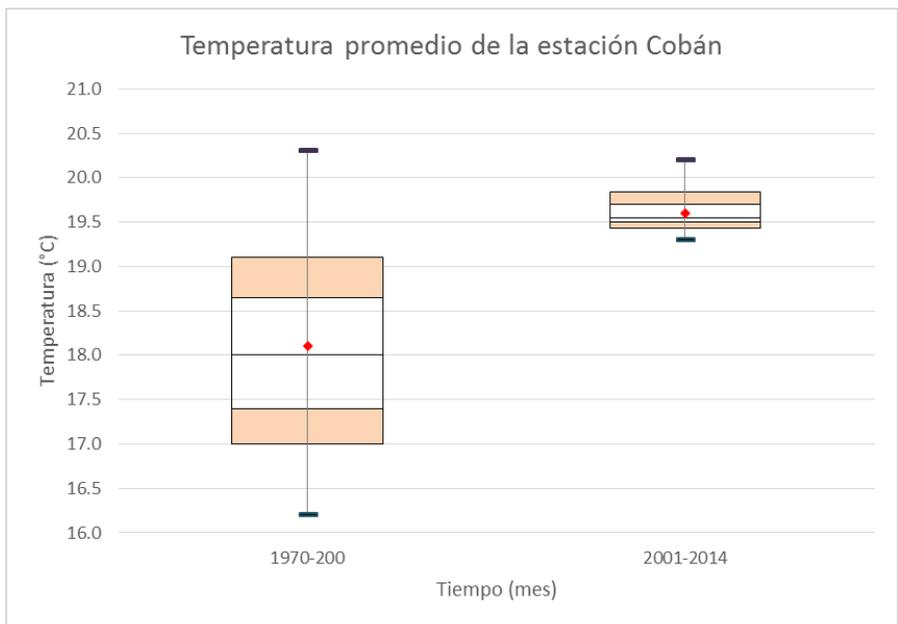


Figura 94. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Cobán, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

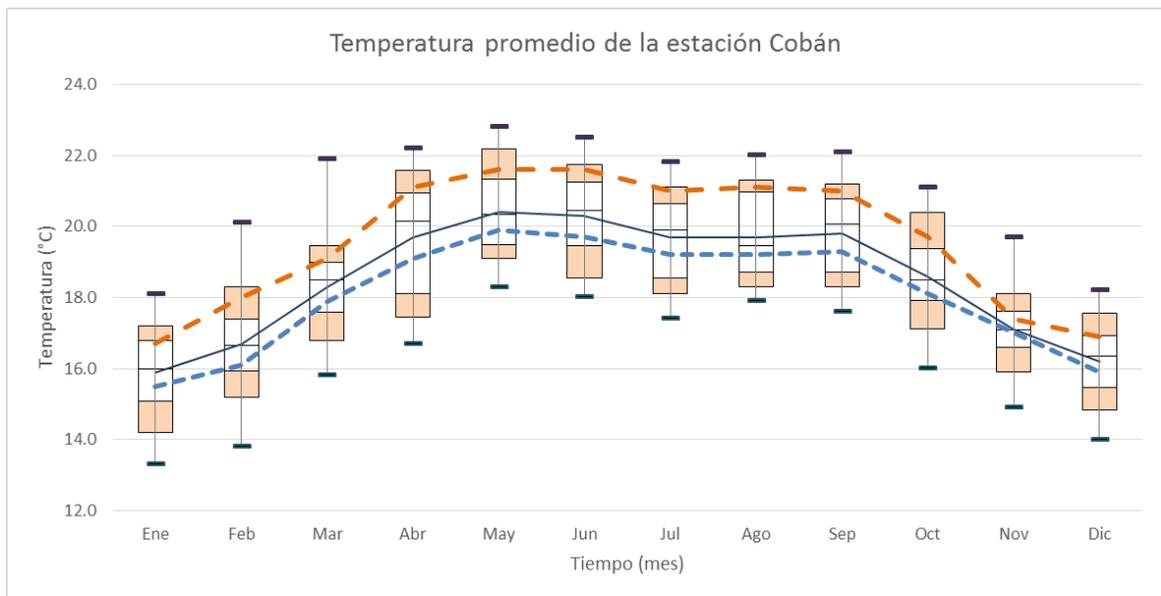


Figura 95. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Cobán mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea negra = Promedio 1971 a 2014)

5.7.1 Análisis de anomalía

La región de la Franja es muy sensible a los fenómenos de El Niño, causando déficit hídrico, esto se puede observar en la siguiente gráfica.

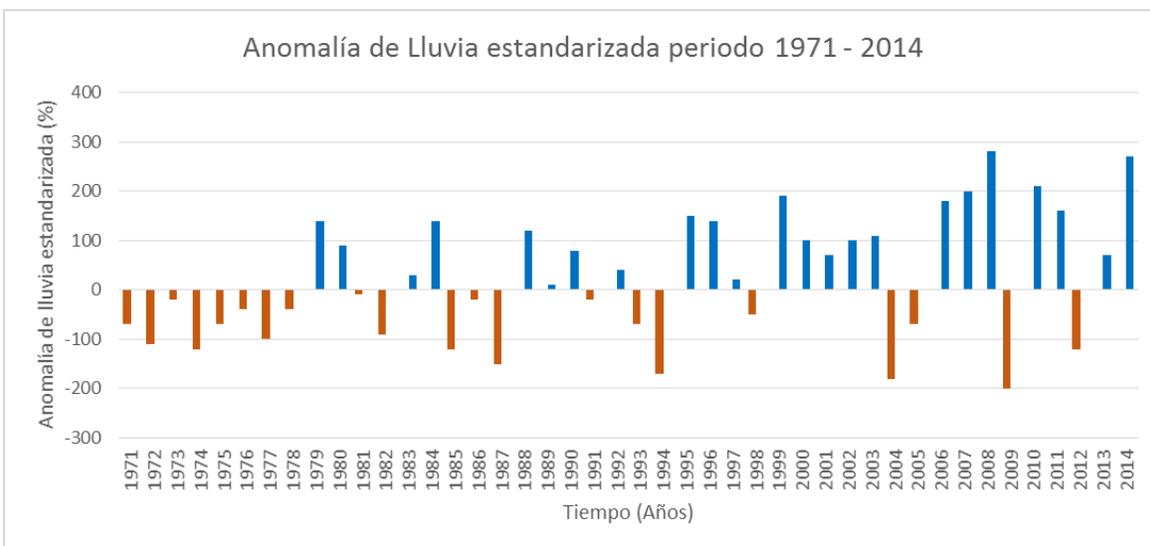


Figura 96. Porcentaje de anomalía estandarizada de la estación Cobán periodo 1971 - 2014.

El incremento de la temperatura está asociado con el calentamiento global.

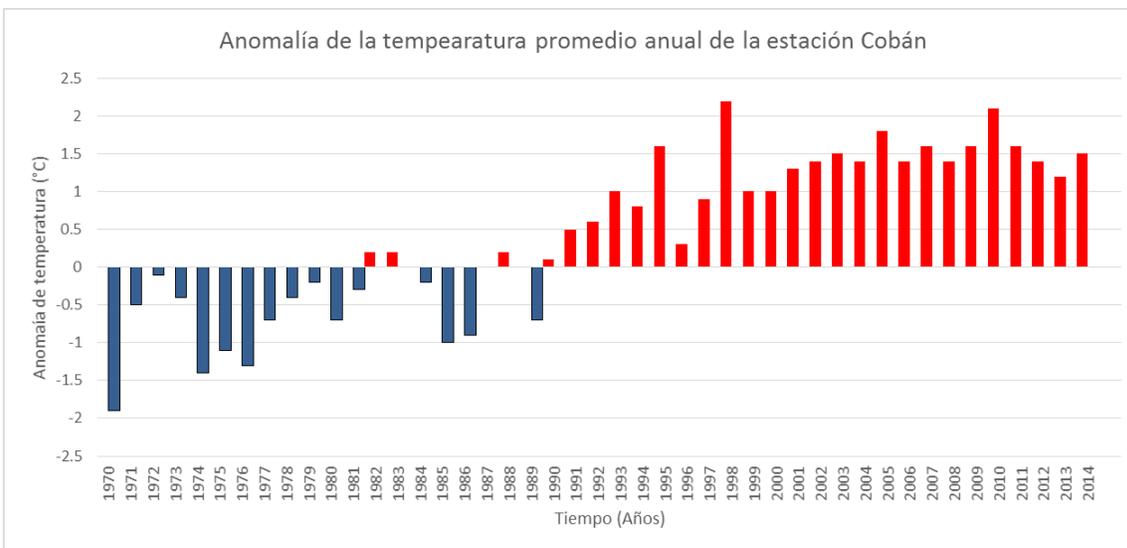


Figura 97. Anomalía de temperatura en la estación Cobán periodo 1971 - 2014.

3.7.2 Análisis de tendencias

La lluvia anual tiene un incremento que oscila alrededor de 10.4 mm/año, esto repercute en la vida de las personas de la región, ya que cada vez habrán tormentas severas, lo que causara crecidas e inundaciones, causando pérdidas en cultivos, infraestructura y desastres naturales.

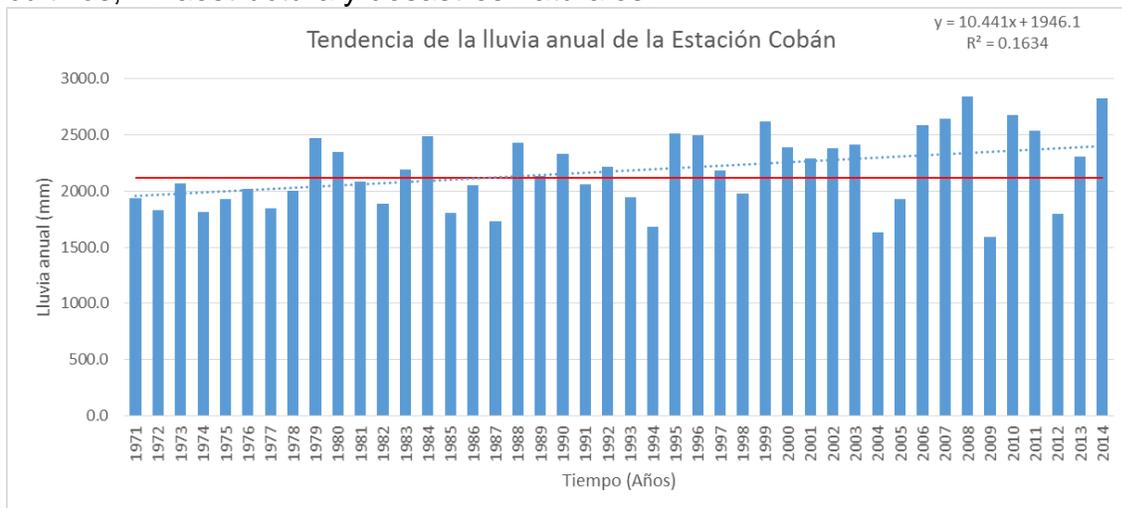


Figura 98. Tendencia de la lluvia anual en la estación Cobán.

El incremento de la temperatura es de 0.07 °C/año, lo que indica que en una década la temperatura habrá incrementado 0.7 °C, estos resultados no se alejan de las proyecciones de los escenarios de cambio climático.

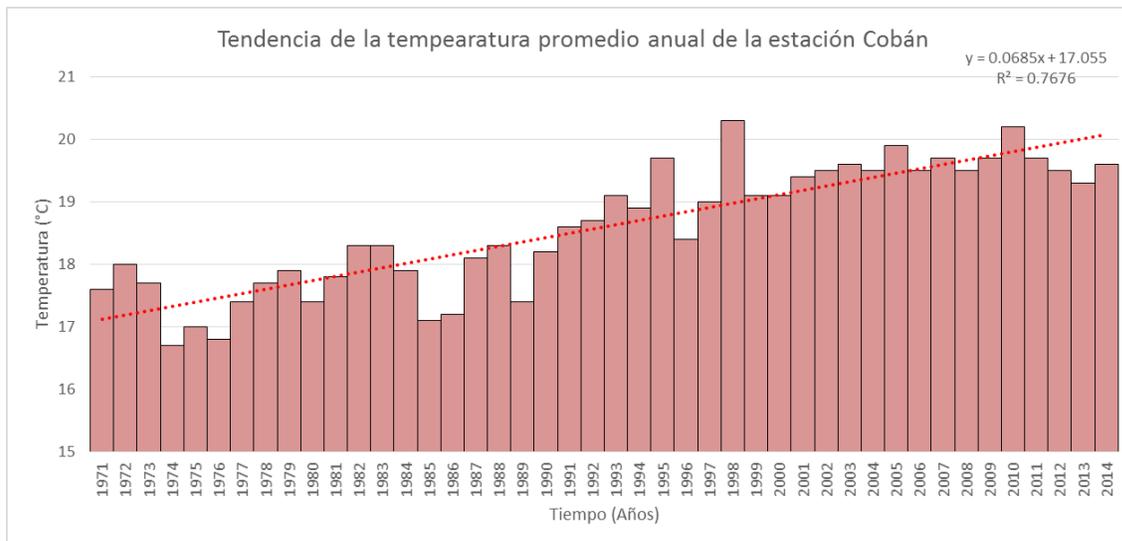


Figura 99. Tendencia de la temperatura anual en la estación Cobán.

5.8 Región del Norte

Comprende las planicies de El Petén. Las altitudes oscilan entre 0 y 900 metros sobre el nivel del mar. El ascenso se realiza mientras se interna en el territorio petenero. Es una zona muy lluviosa, llueve durante todo el año, aunque



de junio a octubre se registran las precipitaciones más intensas. Los registros de temperatura promedio oscilan entre los 20° y 30° C. Los niveles más altos se manifiestan entre abril y septiembre. En esta región se manifiestan climas de género cálidos con invierno benigno, variando su carácter entre muy húmedos; húmedos y semisecos; y sin estación seca bien definida. La vegetación natural característica, varía entre selva y bosque.

Esta región se ha caracterizado por presentar un promedio pluviométrico entre 1559.1 y 1718.2 mm de lluvia anual, en la actualidad presenta un incremento en su promedio de lluvia anual de 751.9 mm en la región.

La estación de Flores presentó un promedio base de 1557.4 mm, y actualmente su promedio ha incrementado en 751.9 mm, siendo el promedio para el periodo actual de 2309.3 mm. Los valores de lluvia por debajo del percentil 10 (1278.2 mm) son: 1258.8 mm (1974), 1159.2 mm (1994) y 1099.4 mm (1987); siendo este el valor mínimo en el registro histórico. Para el periodo actual, el valor mínimo de lluvia registrado es de 1663.0 mm (2009). Los valores máximos de lluvia por arriba del percentil 90 (1839.5 mm) se registraron en los años del periodo base y actual, siendo estos: 1979 (1912.5 mm), 1978 (1981.4 mm), 2004 (2035.3 mm), 2003 (2085.0 mm), 2002 (2104.3 mm), 2001 (2167.4 mm), 2000 (2174.2 mm), 2008 (2332.2 mm), 2010 (2531.2 mm), 2012 (2555.9 mm), 2011 (2626.4 mm), 2014 (2761.7 mm), 2006 (2832.7 mm) y 2013 (3106.1 mm), siendo este último el máximo en todo registro histórico.

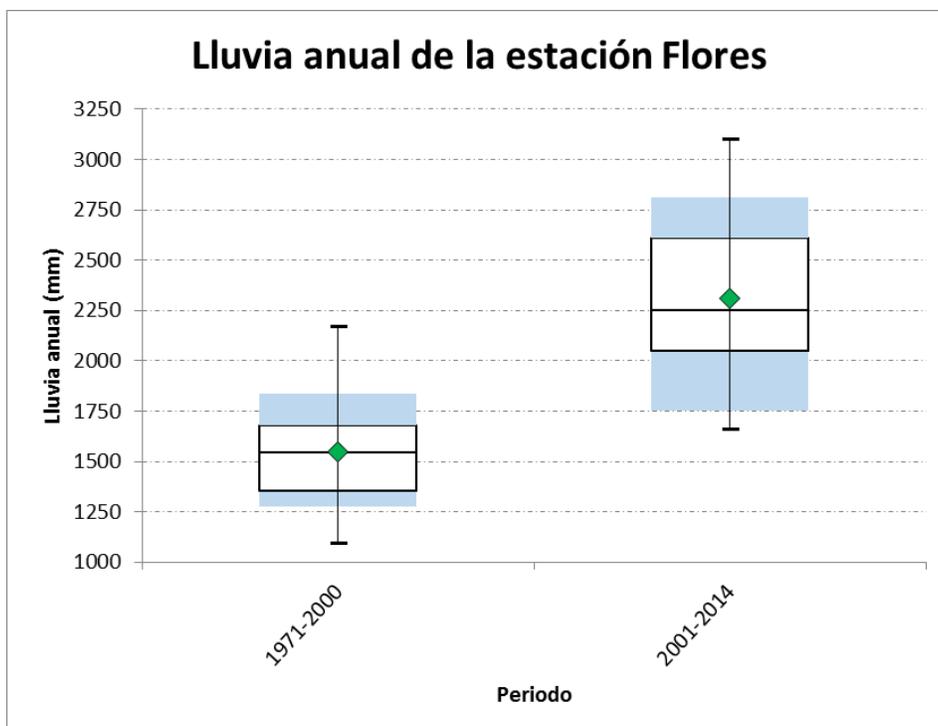


Figura 100. Comportamiento de la lluvia anual en la estación Flores, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

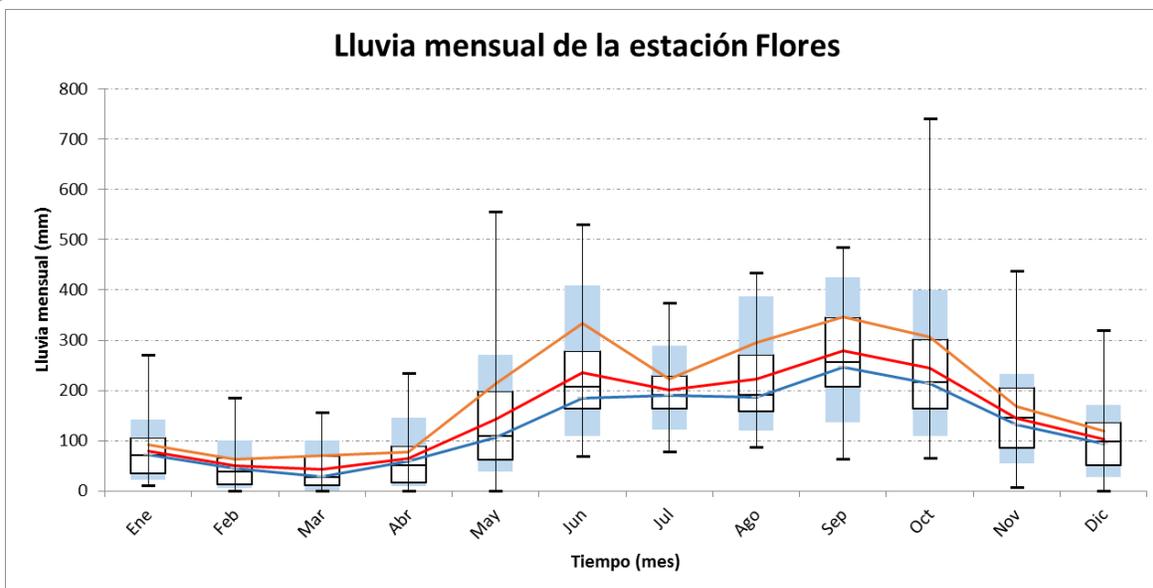


Figura 101. Comportamiento de la lluvia mensual en la estación Flores mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea roja = Promedio 1971 a 2014)

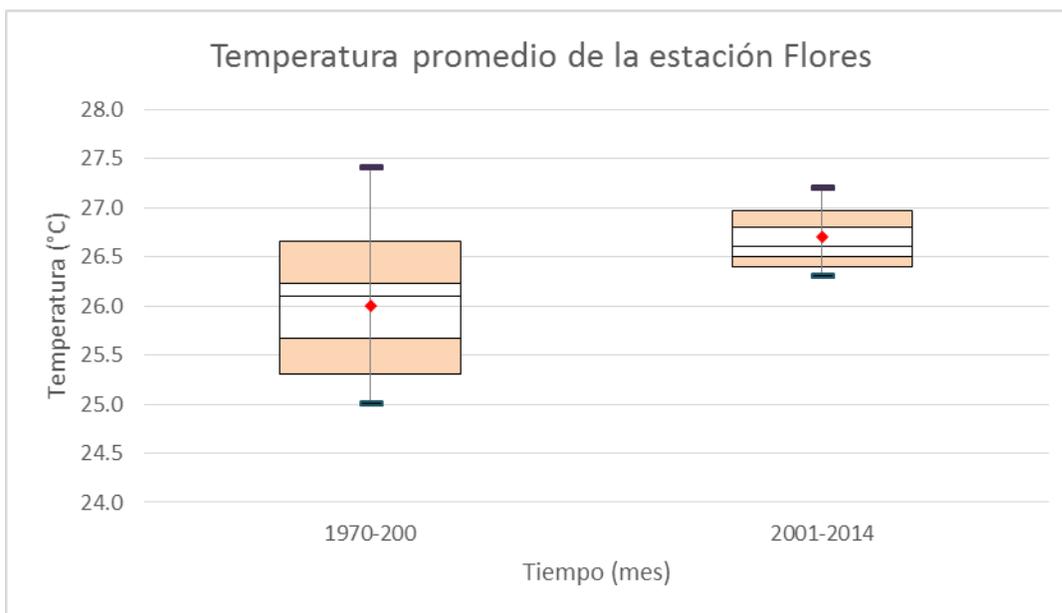


Figura 102. Comportamiento de la temperatura anual en la estación Flores, para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

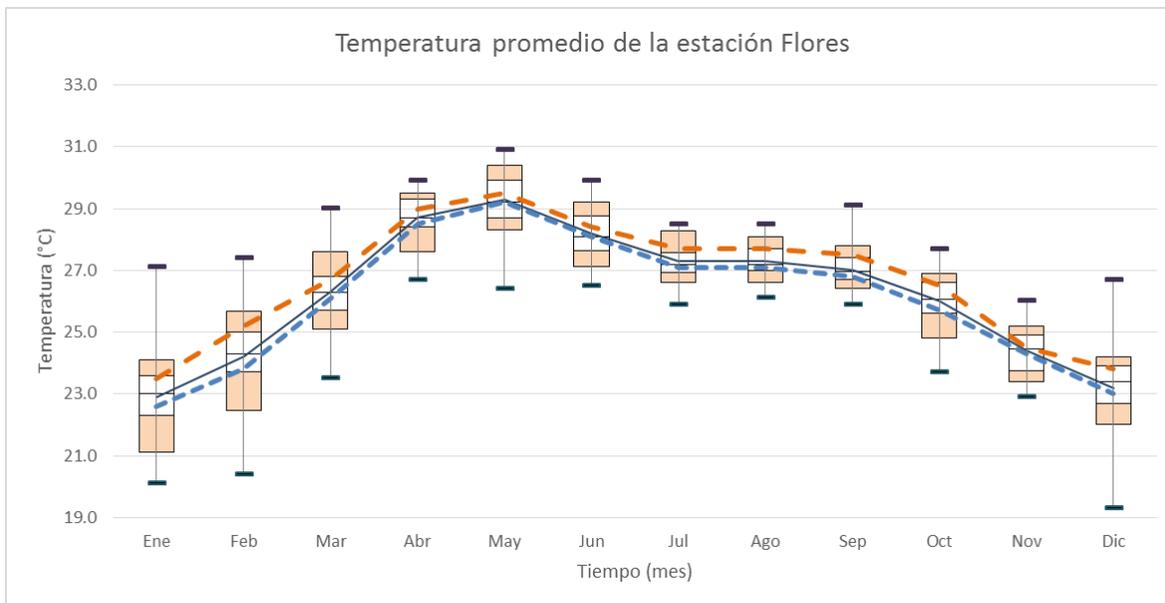


Figura 103. Comportamiento de la temperatura mensual en la estación Flores mediante un gráfico de cajas y bigotes. (Línea azul = Promedio 1971 a 2000, línea naranja = Promedio 2001 a 2014 y línea negra = Promedio 1971 a 2014)

5.8.1 Análisis de anomalía

La región del norte ha tenido una particularidad en el patrón de lluvias, en los últimos 15 años se ha visto un incremento de las mismas hasta de un 600%, el fenómeno de El niño no le causa mayor impacto en el régimen de lluvias, sin embargo, un enfriamiento del Atlántico Norte Tropical si, y esto es debido a la relación que existe entre la temperatura y la actividad ciclónica.

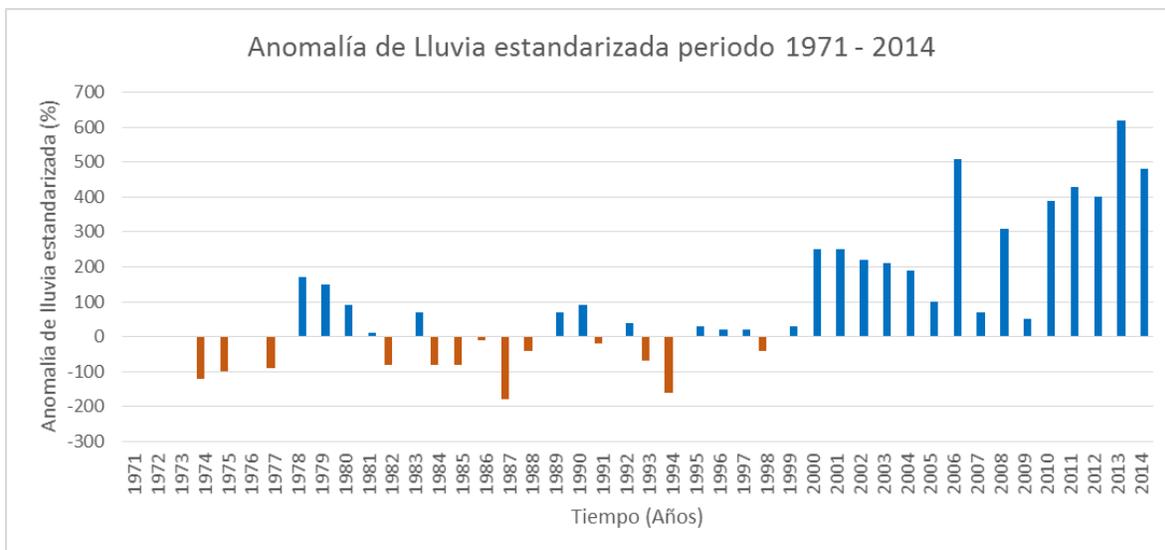


Figura 104. Porcentaje de anomalía estandarizada de lluvia en la estación Flores periodo 1971 - 2014.



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

Al igual que las otras regiones, la temperatura se ve influenciada por el calentamiento global.

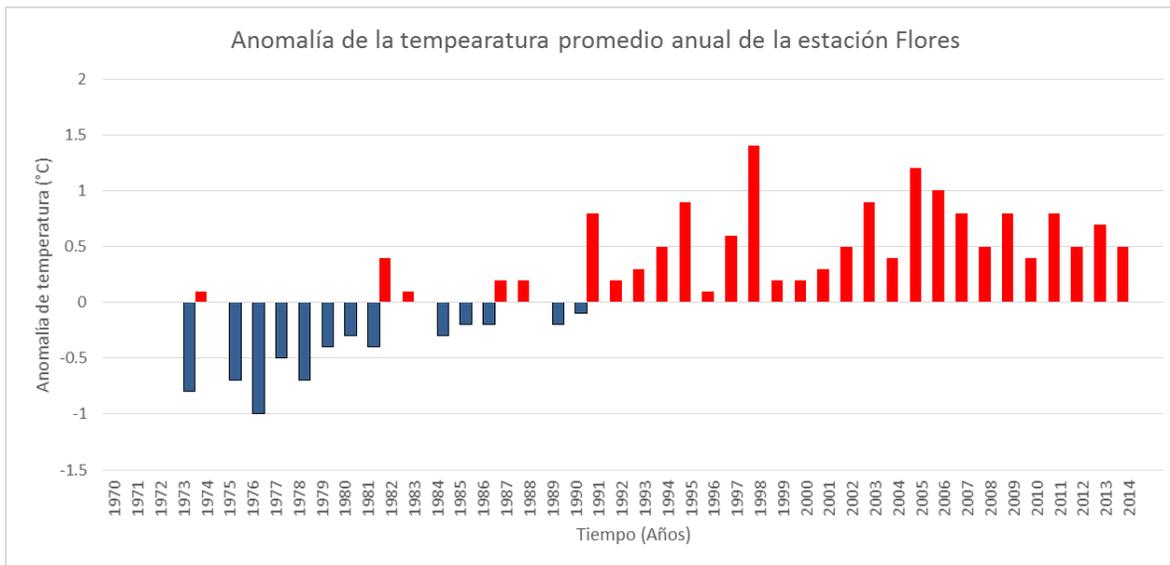


Figura 105. Anomalía de temperatura en la estación Flores periodo 1971 - 2014.

5.8.2 Análisis de tendencias

La tendencia de la lluvia es a incrementar, y esta oscila entre los 39 mm/año, lo que evidencia que en esta región también aumentara los casos por inundación, perdidas en cultivos, infraestructura, etc.

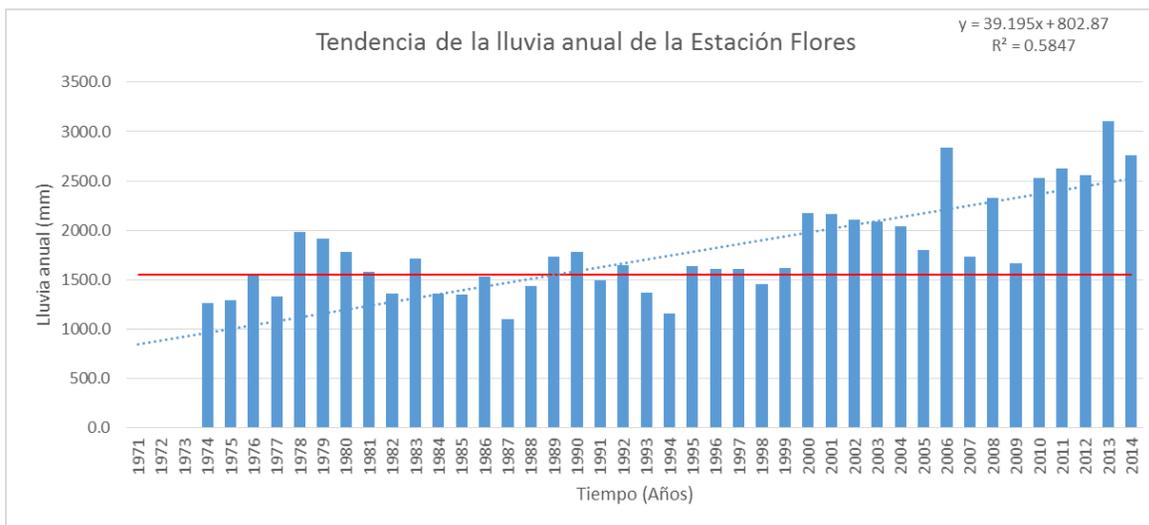


Figura 106. Tendencia de la lluvia anual en la estación Flores



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

La tendencia de la temperatura es a incrementar en 0.04°C / año, lo que indica que en una década el cambio será de 0.4°C .

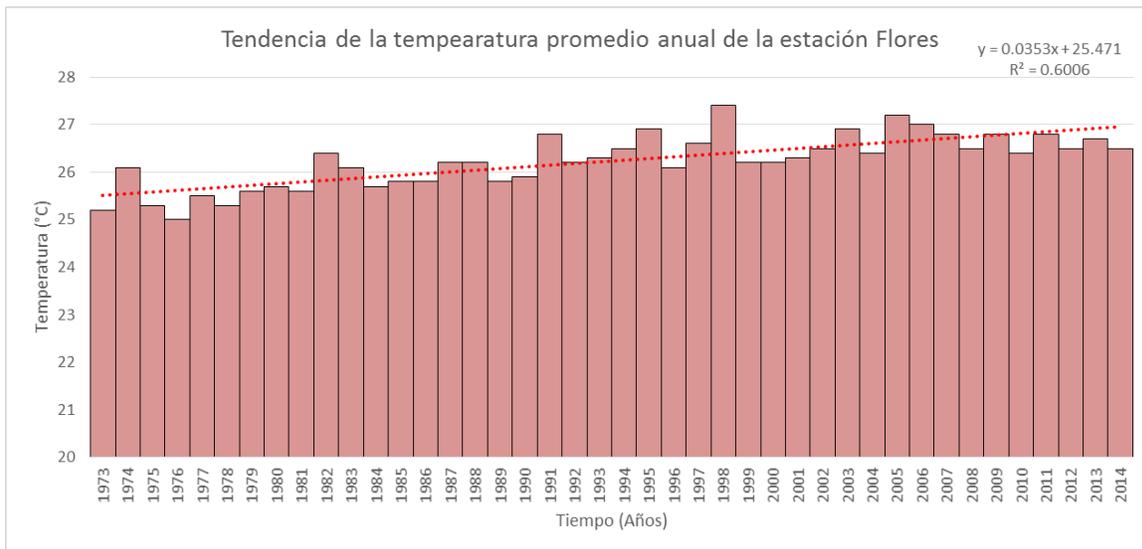


Figura 107. Tendencia de la temperatura anual en la estación Flores



VI. Eventos extremos en Guatemala

6.1 Inundaciones

6.1.1 Caracterización de la inundación del Estor

6.1.1.1 Caracterización del evento de lluvia

El evento de lluvia inició a las 23:00 del día 5 de agosto y finalizó a las 3:30 del 6 de agosto, la intensidad máxima fue de 131 mm/h la cual se dio a la 1:00 del día 6 de agosto con una discretización de 15 minutos. La máxima intensidad del evento discretizado a 30 minutos se alcanzó a los 150 minutos de haber iniciado el evento, siendo de 78.4 mm/h, la intensidad máxima del evento discretizado a una hora fue de 64.8 mm/h y se alcanzó a los 180 minutos de haber iniciado el evento.

Cuadro 2. Discretización del evento de lluvia

Fecha y hora	Tiempo (minutos)	Lluvia acumulada	Discretización del evento		
			15 min	30 min	1 hora
Ago 5 2015 11:00PM	0	--	--	--	--
Ago 5 2015 11:15PM	15	5.6	22.4		
Ago 5 2015 11:30PM	30	6.4	3.2	12.8	
Ago 5 2015 11:45PM	45	7.2	3.2		
Ago 6 2015 12:00AM	60	7.2	0	1.6	7.2
Ago 6 2015 12:15AM	75	7.2	0		
Ago 6 2015 12:30AM	90	8	3.2	1.6	
Ago 6 2015 12:45AM	105	8	0		
Ago 6 2015 1:00AM	120	13.6	22.4	11.2	6.4
Ago 6 2015 1:15AM	135	46.4	131.2		
Ago 6 2015 1:30AM	150	52.8	25.6	78.4	
Ago 6 2015 1:45AM	165	60.8	32		
Ago 6 2015 2:00AM	180	78.4	70.4	51.2	64.8
Ago 6 2015 2:15AM	195	106.4	112		
Ago 6 2015 2:30AM	210	116.8	41.6	76.8	
Ago 6 2015 2:45AM	225	120.8	16		
Ago 6 2015 3:00AM	240	126.4	22.4	19.2	48
Ago 6 2015 3:15AM	255	133.6	28.8		
Ago 6 2015 3:30AM	270	133.6	0	14.4	
Ago 6 2015 3:45AM	285	133.6	0		
Ago 6 2015 4:00AM	300	133.6	0	0	7.2
Ago 6 2015 4:15AM	315	136	9.6		
Ago 6 2015 4:30AM	330	136.8	3.2	6.4	
Ago 6 2015 4:45AM	345	136.8	0		
Ago 6 2015 5:00AM	360	136.8	0	0	3.2

Fuente: Elaboración propia.

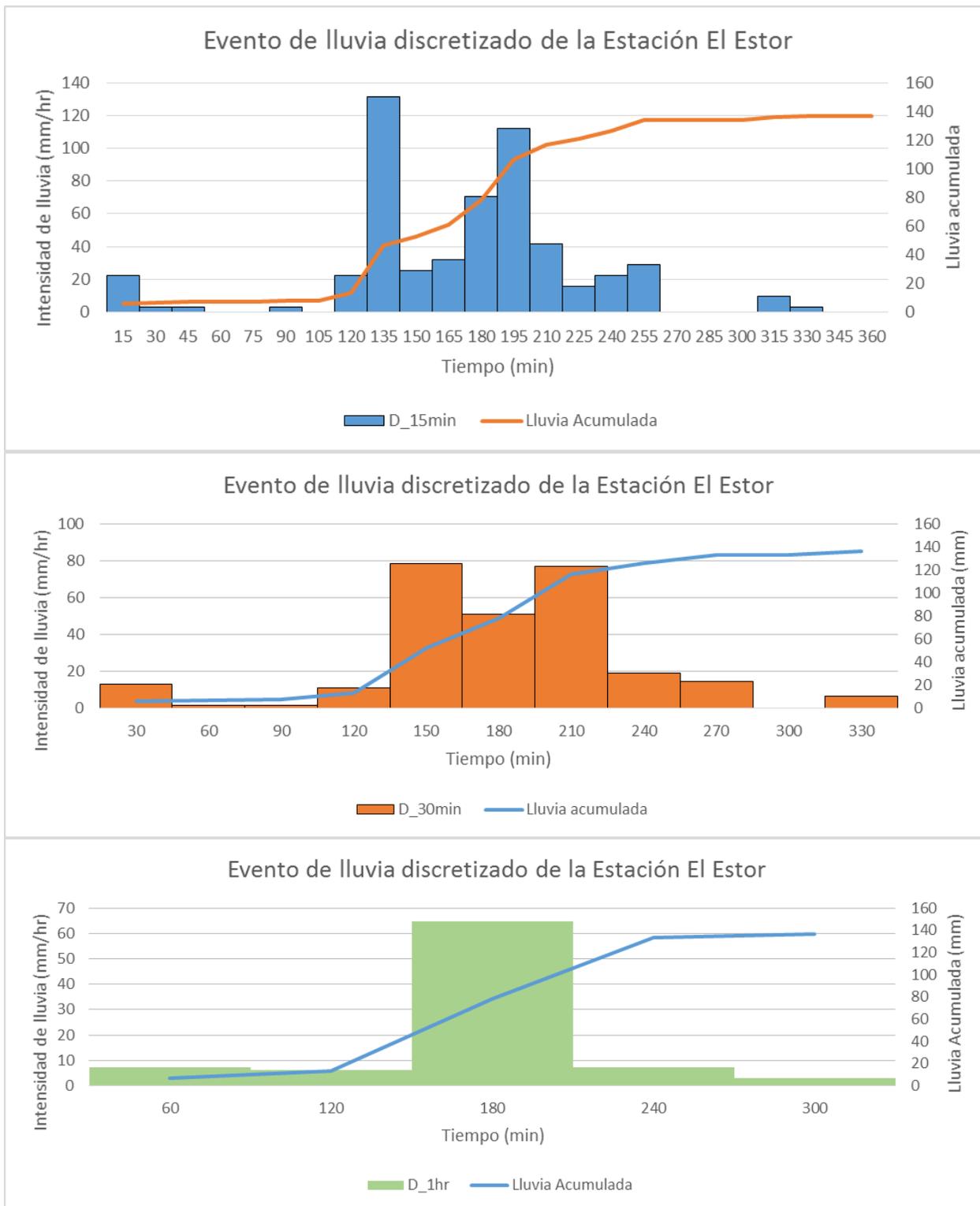


Figura 108. Discretización del evento de lluvia que causó la inundación

En la figura 5 se observa que la mayor cantidad de lluvia se concentró en El Estor, donde la estación registró 136.8 mm durante el evento.

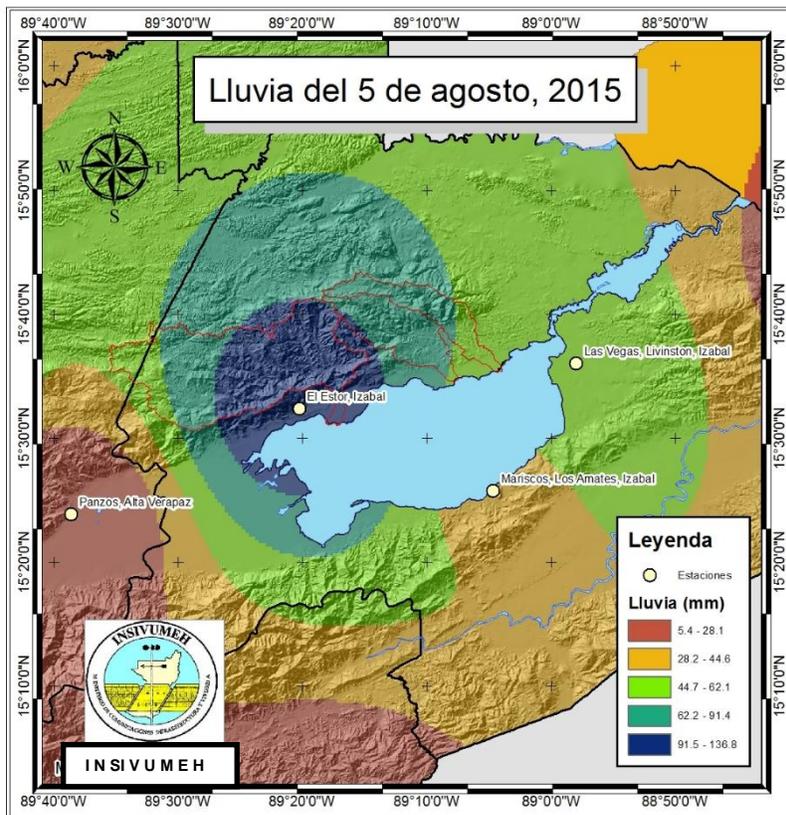


Figura 109. Distribución espacial del evento de lluvia.

En el siguiente cuadro se muestra la lluvia registrada en los últimos 10 días, donde se aprecian acumulados de lluvia considerables, condición que favorece a que exista suficiente humedad en los suelos, casi al punto de encontrarse saturados.

Cuadro 3. Lluvia diaria registrada en la red de climática del área de estudio

No.	Estación	longitud	latitud	Julio					Agosto					Acumulado
				DIA 27	DIA 28	DIA 29	DIA 30	DIA 31	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	
1	El Estor, Izabal	-89.338	15.539	0.0	5.6	54.4	4.0	4.0	0.0	14.4	1.6	1.6	136.8	222.4
2	Las Vegas, Livinston, Izabal	-88.966667	15.6	0.0	7.0	2.0	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	57.4	78.8
3	Mariscos, Los Amates, Izabal	-89.07781	15.42866	0.0	2.1	62.8	8.0	9.0	1.1	0.0	0.0	0.0	37.0	120.0
4	Panzos, Alta Verapaz	-89.6439	15.3972	10.0	28.0	27.2	17.9	42.8	5.3	17.2	0.0	4.6	5.6	158.6
5	Teléman, Panzos, Alta Verapaz	-89.734019	15.33618889	11.1	32.2	6.1	34.4	29.1	0.0	33.3	0.0	0.0	7.5	153.7
6	Santa María Cahabón, Alta Verapaz	-89.810556	15.60833333	0.0	0.0	13.8	53.4	20.0	2.0	10.0	0.0	0.0	66.6	165.8
7	Puerto Barrios, Izabal	-88.591667	15.73777778	2.2	0.6	26.5	14.7	31.2	0.3	14.2	5.6	20.0	12.4	127.7
8	Cobán, Alta Verapaz	-90.4075	15.46666667	4.7	0.0	12.3	9.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	5.4	31.7
9	La Unión, Zacapa	-89.291111	14.96333333	0.2	0.3	0.8	45.7	0.2	0.0	0.4	0.0	0.3	5.8	53.7
10	Chilasco, Salamá, Baja Verapaz	-90.113583	15.11772222	0.8	4.8	10.4	2.5	-99.9	0.0	4.0	1.8	0.1	13.4	37.8
11	El Pato, Sayaxché, Petén	-90.071667	16.10416	0.1	2.3	12.2	1.7	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	34.7

Fuente: INSIVUMEH, 2015.

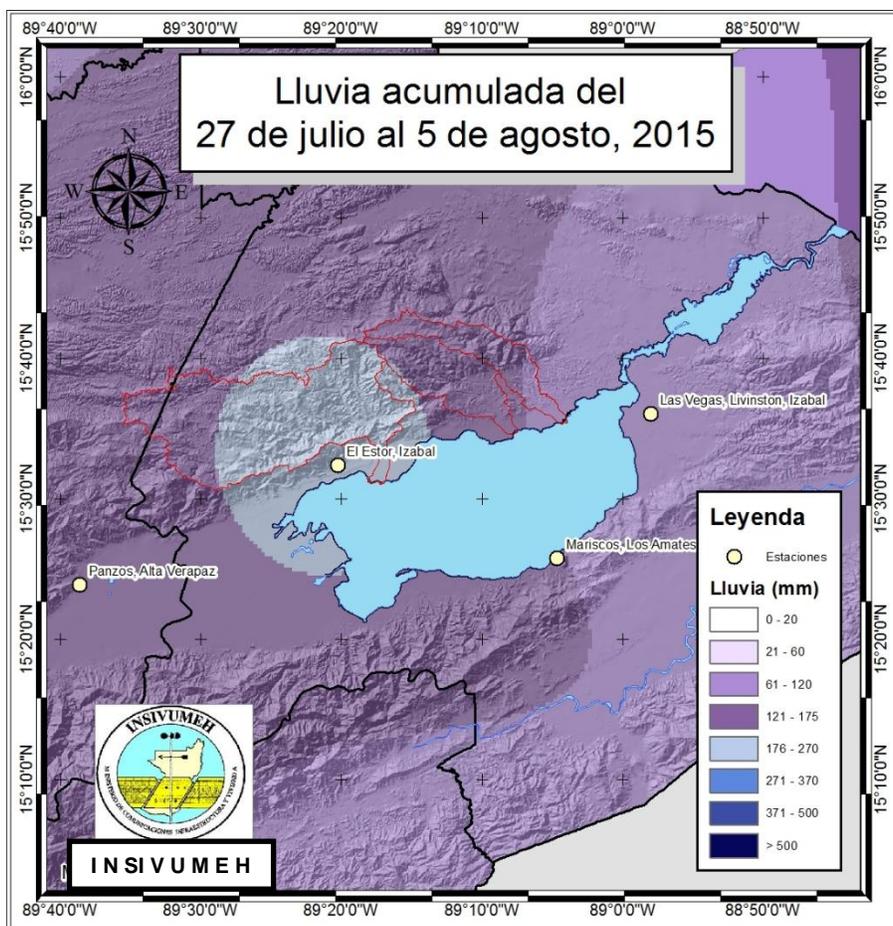


Figura 110. Distribución de los acumulados de lluvia en 10 días, dentro del área de influencia.

6.1.1.2 Cuenca Sumaché

La cuenca tiene un perímetro de 75 Km y un área de 88.92 Km², el cauce principal tiene una longitud de 39.614 Km. La pendiente media de la cuenca es de 33.2%, la pendiente media del cauce principal es de 20.6% estos dos parámetros nos dan la pauta de un relieve escarpado que favorecen la escorrentía.

La elevación mínima se encuentra en el punto de aforo, siendo esta de 1 msnm y la elevación máxima dentro de la cuenca es de 897 msnm.

El tiempo de concentración de la cuenca fue de 290 minutos y el de retardo de 175 minutos, esto muestra una respuesta hidrológica rápida.

La cuenca cuenta con cuatro tipos de suelos, estos se muestra en el siguiente cuadro:



Cuadro 4. Series de suelos presentes en la cuenca.

Símbolo	Serie	Grupo hidrológico	Km ²	%
Cha	Chacalté	C	11.2	12.6
Sh	Sebach	C	64.2	72.2
Gl	Guapinol	C	10.2	11.5
SA	Suelos Aluviales	B	3.3	3.7
Total			88.9	100

Fuente: MAGA, 2001.

El uso de la tierra de la cuenca se presenta en el cuadro 5.

Cuadro 5. Uso de la tierra

Categoría	Área (Km2)	Porcentaje
Cultivos	3.3	3.7
Bosques	64.5	72.5
Urbano	0.2	0.2
Pastos	20.6	23.1
Playas	0.4	0.4
Total	88.9	100.0

Fuente: MAGA, 2010.

El número de curva para la cuenca se ajustó para un suelo con humedad saturada, siendo el valor ponderado de CN de 77.

Cuadro 6. Curva número por categoría hidrológica de la cuenca.

Uso del suelo	CN	Área (Km ²)	CNi
Cultivos	90	3.3	3.3
Bosques	73	64.5	53
Urbano	100	0.2	0.25
Pastos	85	20.6	19.65
Playas	80	0.4	0.35
Total		88.9	76.5

Fuente: Elaboración propia.

El hietograma del evento discretizado a 15 minutos fue el que se utilizó en la modelación hidrológica, el programa Hec-HMS, debido a la incerteza de la distribución espacial de lluvia se trabajó con dos escenarios, el primer escenario asume que la precipitación media es de 67.8 mm producto de la interpolación del registro del evento de lluvia. Y el segundo escenario asume como precipitación media la máxima registrada por la estación de El Estor siendo de 136.8 mm durante el evento.

Bajo este criterio, se estableció que la crecida en la cuenca Sumaché pudo encontrarse entre 178 a 488 m³/s.

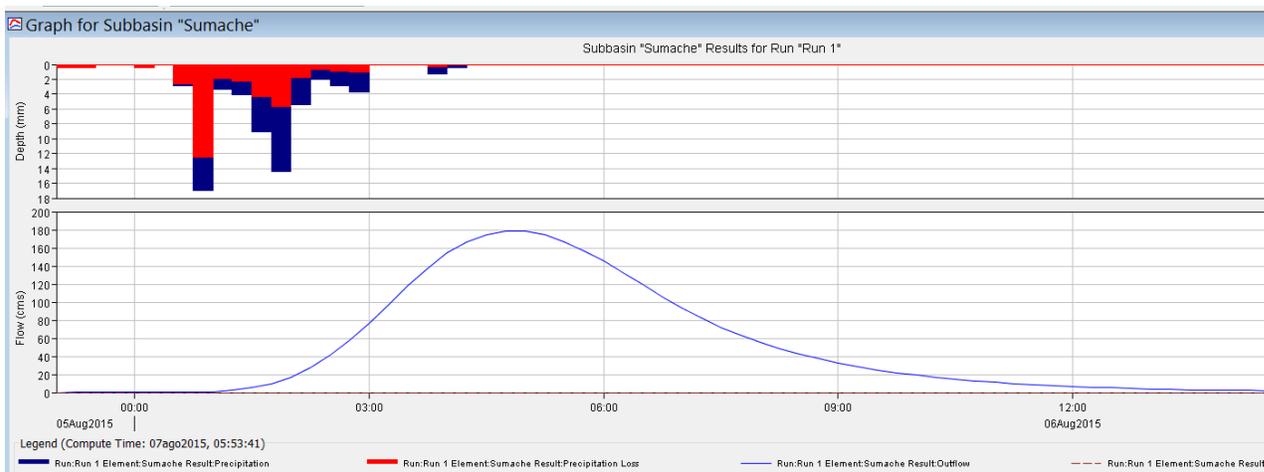


Figura 111. Hietograma e Hidrograma de evento de lluvia de 67.8 mm

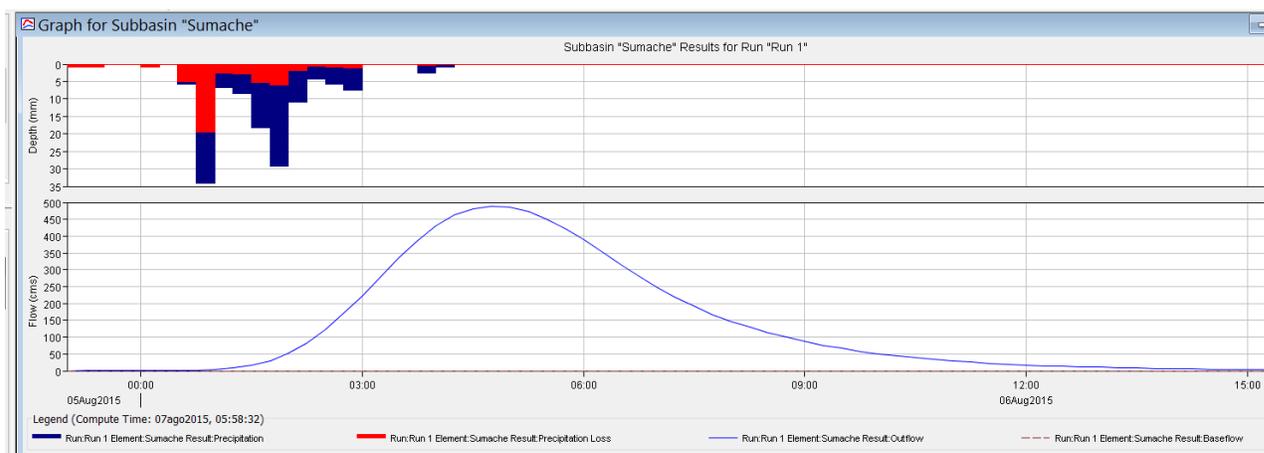


Figura 112. Hietograma e Hidrograma de evento de lluvia de 136.8 mm

6.1.1.3 Cuenca río Túnico

La cuenca tiene un perímetro de 60 Km y un área de 112.5 Km², el cauce principal tiene una longitud de 31 Km. La pendiente media de la cuenca es de 36%, la pendiente media del cauce principal es de 23.9 % estos dos parámetros nos dan la pauta de un relieve escarpado que favorecen la escorrentía.

La elevación mínima se encuentra en el punto de aforo, siendo esta de 1 msnm y la elevación máxima dentro de la cuenca ésta en los 1008 msnm.

El tiempo de concentración de la microcuenca fue de 210 minutos y el de retardo de 126 minutos, esto muestra una respuesta hidrológica rápida.

La cuenca cuenta con cuatro tipos de suelos, estos se muestra en el siguiente cuadro:



Cuadro 7. Series de suelos presentes en la cuenca.

Símbolo	Serie	Grupo hidrológico	Km ²	%
Cha	Chacalté	C	12.8	11.4
Sh	Sebach	C	76.9	68.4
Gl	Guapinol	C	20.0	17.8
SA	Suelos Aluviales	B	2.8	2.5
Total			112.5	100

Fuente: MAGA, 2001.

El uso de la tierra de la cuenca se presenta en el cuadro 8.

Cuadro 8. Uso de la tierra de la cuenca Túnico.

Categoría	Área (Km ²)	Porcentaje
Cultivos	6.9	6.2
Bosques	76.9	68.3
Urbano	0.6	0.5
Pastos	27.1	24.1
Playas	1.1	0.9
Total	112.5	100.0

Fuente: MAGA, 2010.

El número de curva para la cuenca se ajustó para un suelo con humedad saturada, siendo el valor ponderado de CN de 75.

Cuadro 9. Curva número por categoría hidrológica de la cuenca.

Uso del suelo	CN	Área (Km ²)	CNi
Cultivos	87	6.9	5.33
Bosques	70	76.9	47.8
Urbano	90	0.6	0.48
Pastos	84	27.1	20.2
Playas	80	1.1	0.78
Total		112.5	74.6

Fuente: Elaboración propia.

El hietograma del evento discretizado a 15 minutos fue el que se utilizó en la modelación hidrológica, el programa Hec-HMS, debido a la incerteza de la distribución espacial de lluvia se trabajó con dos escenarios, el primer escenario asume que la precipitación media es de 78.2 mm producto de la interpolación del registro del evento de lluvia. Y el segundo escenario asume como precipitación media la máxima registrada por la estación de El Estor siendo de 136.8 mm durante el evento.

Bajo este criterio, se estableció que la crecida en la cuenca del río Túnico pudo encontrarse entre 350 a 700 m³/s.

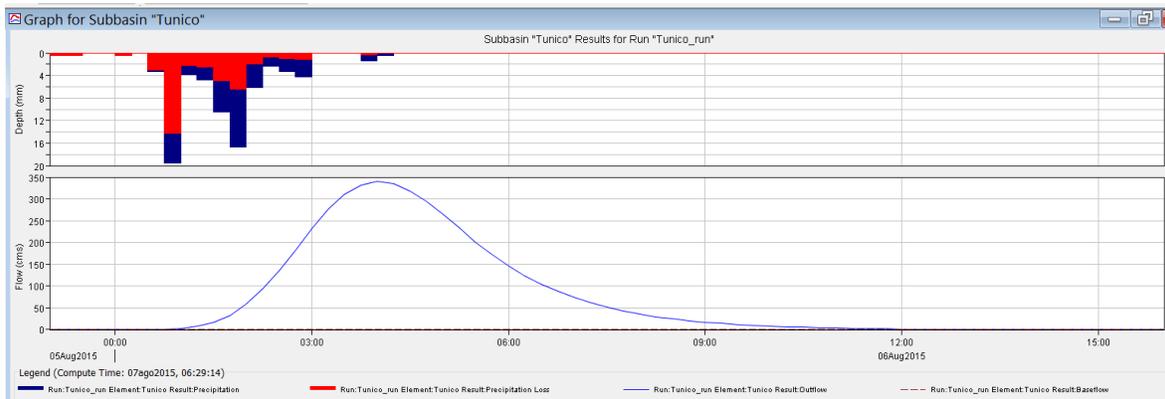


Figura 113. Hietograma e Hidrograma del evento de lluvia de 78.2 mm

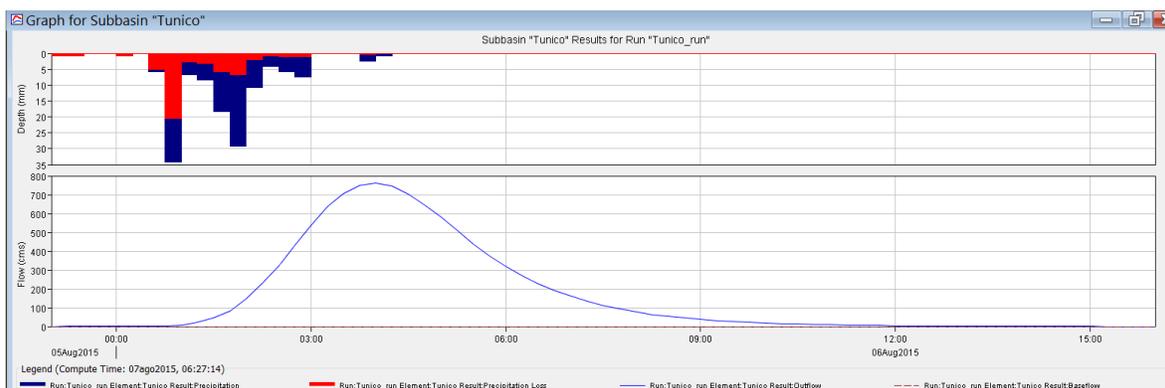


Figura 114. Hietograma e Hidrograma del evento de lluvia de 136.8 mm

6.1.1.4 Cuenca El Sauce

La cuenca tiene un perímetro de 139 Km y un área de 398.53 Km², el cauce principal tiene una longitud de 59.8 Km. La pendiente media de la cuenca es de 42%, la pendiente media del cauce principal es de 23.7 % estos dos parámetros nos dan la pauta de un relieve escarpado que favorecen la escorrentía.

La elevación mínima se encuentra en el punto de aforo, siendo esta de 1 msnm, y la elevación máxima dentro de la cuenca ésta en los 956 msnm.

El tiempo de concentración de la cuenca fue de 457 minutos y el de retardo de 275 minutos, esto muestra una respuesta hidrológica rápida.

La cuenca cuenta con cinco tipos de suelos, estos se muestra en el siguiente cuadro:



Cuadro 10. Series de suelos presentes en la microcuenca.

Símbolo	Serie	Grupo hidrológico	Km ²	%
Tm	Tamahú	B	87.6	22.0
Sh	Sebach	C	256.6	64.4
Gp	Guapaca	C	17.7	4.4
Su	Semuc	C	29.9	7.5
SA	Suelos Aluviales	B	6.7	1.7
Total			398.5	100.0

Fuente: MAGA, 2001.

El uso de la tierra de la cuenca se presenta en el cuadro 11.

Cuadro 11. Uso de la tierra de la cuenca.

Categoría	Área (Km ²)	Porcentaje
Cultivos	10.0	2.5
Bosques	255.5	64.1
Urbano	0.6	0.1
Playas	1.1	0.3
Pastos	131.3	33.0
Total	398.5	100.0

Fuente: MAGA, 2010.

El número de curva para la cuenca se ajustó para un suelo con humedad saturada, siendo el valor ponderado de CN de 70.

Cuadro 12. Curva número por categoría hidrológica de la cuenca.

Categoría	Área (Km ²)	Porcentaje	CNi
Cultivos	10.0	2.5	2.2
Bosques	255.5	64.1	39.7
Urbano	0.6	0.1	0.2
Playas	1.1	0.3	0.2
Pastos	131.3	33.0	27.7
Total	398.5	100.0	69.9

Fuente: Elaboración propia.

El hietograma del evento discretizado a 15 minutos fue el que se utilizó en la modelación hidrológica, el programa Hec-HMS, debido a la incerteza de la distribución espacial de lluvia se trabajó con dos escenarios, el primer escenario asume que la precipitación media es de 93.4 mm producto de la interpolación del

registro del evento de lluvia. Y El segundo escenario asume como precipitación media la máxima registrada por la estación de El Estor siendo de 136.8 mm durante el evento.

Bajo este criterio, se estableció que la crecida en la cuenca del río El Sauce pudo encontrarse entre 600 a 1200 m³/s.

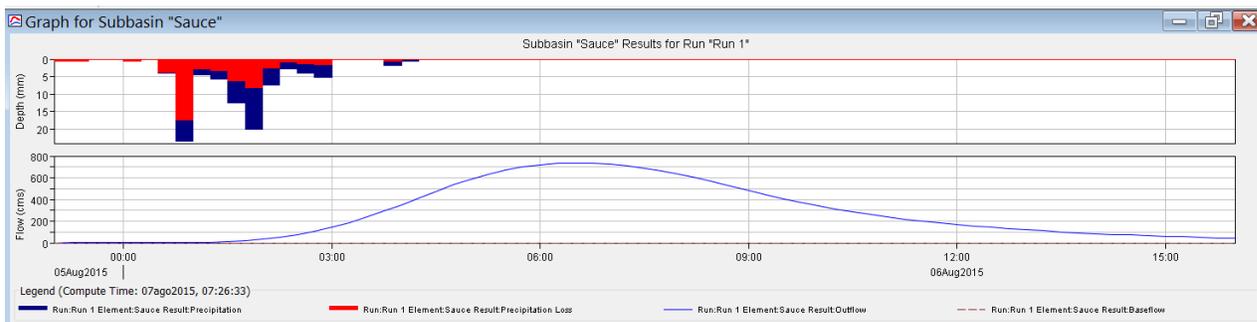


Figura 115. Hietograma e Hidrograma del evento de lluvia de 93.4 mm

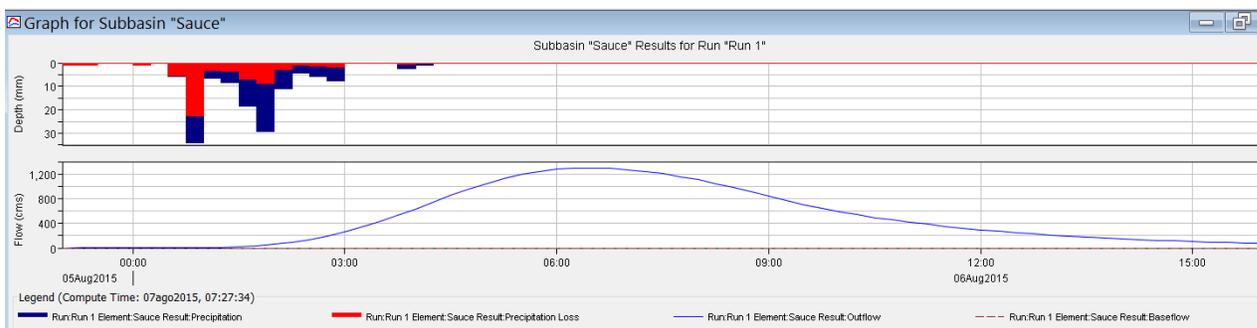


Figura 116. Hietograma e Hidrograma del evento de lluvia de 136.8 mm

6.1.2 Caracterización de la inundación de Mazatenango

Las subcuencas que atraviesan el municipio de Mazatenango son el Río Sis e Icán que conforman la cuenca de Río Sis-Icán, estas drenan al Pacífico de Guatemala, Las subcuencas se encuentran dentro de los Departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu.

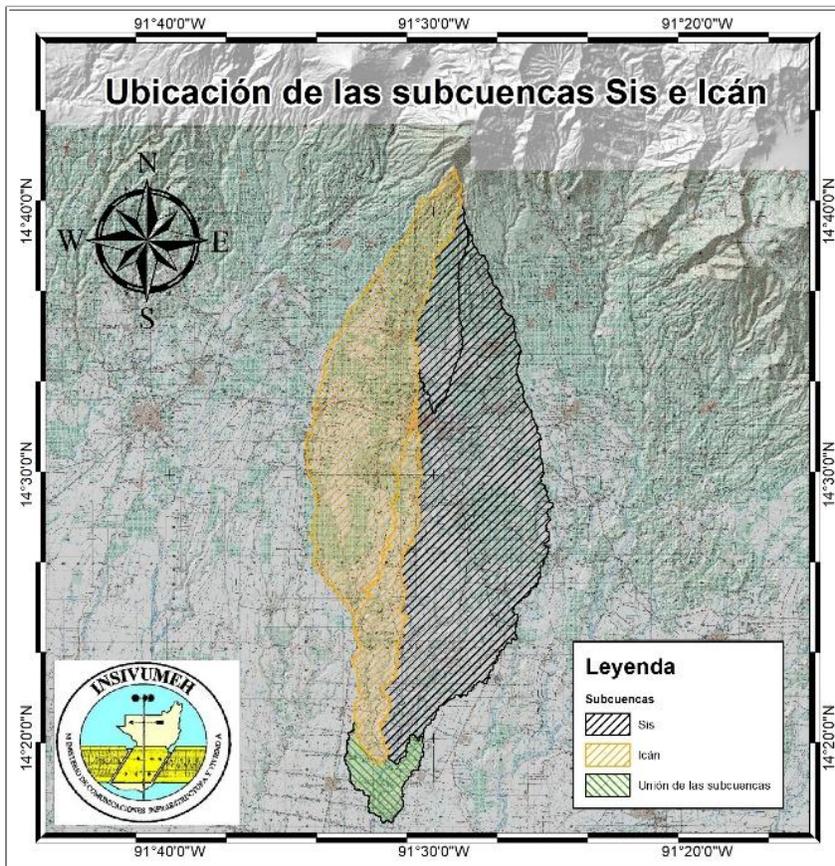
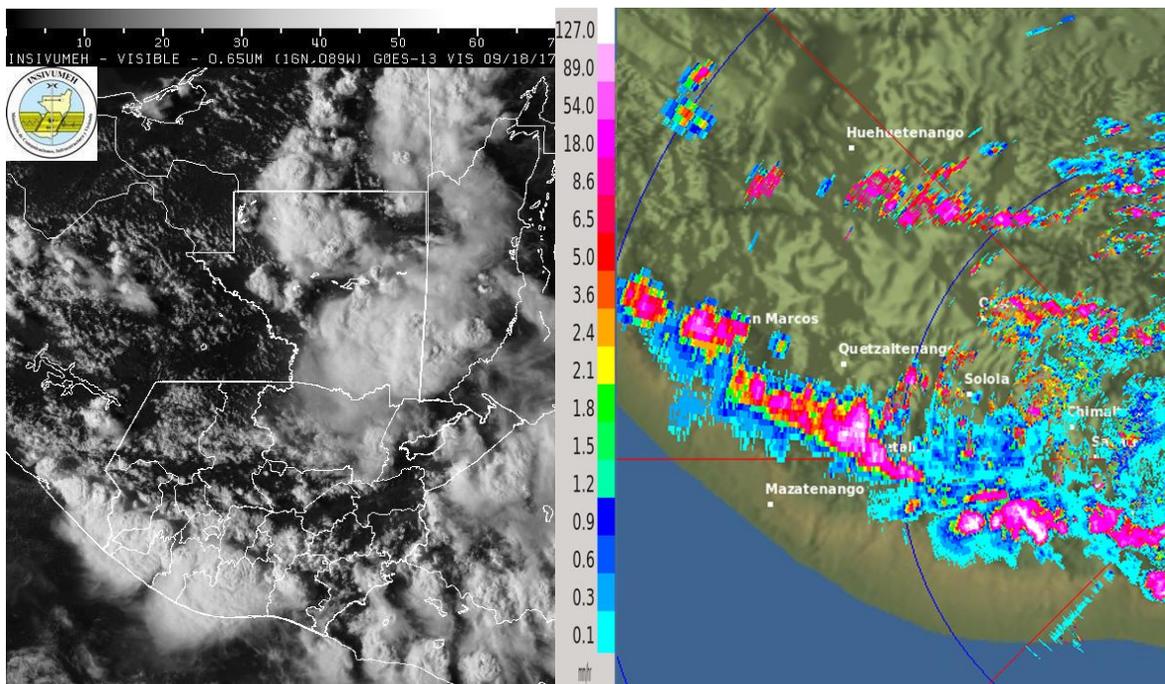


Figura 117. Ubicación de las tres cuencas

6.1.2.1 Condiciones meteorológicas

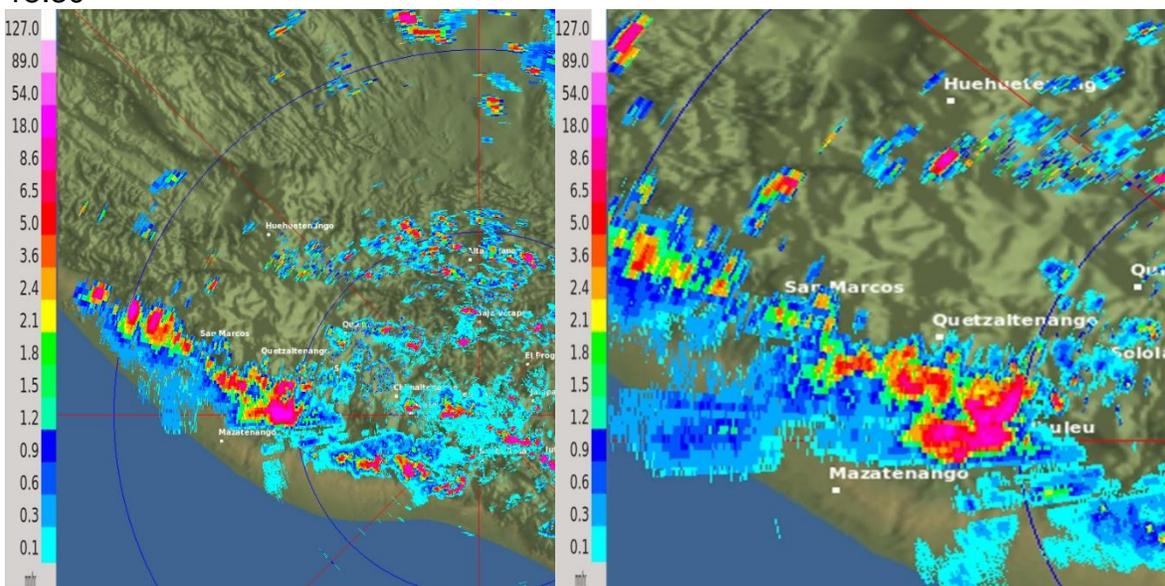
Las lluvias que se presentaron en la tarde y noche del día lunes 18 de septiembre en el territorio nacional, se registraron con mayor intensidad en la región de Boca Costa, Suroccidente y Costa Sur. Estas fueron asociadas al paso de una onda del Este o perturbación tropical que inicio su incursión en el territorio nacional la noche del 17/09/2017 y al acercamiento de la zona de convergencia intertropical a las costas del Pacífico de Guatemala, estos dos fenómenos hidrometeorológicos favorecieron la intensificación de las lluvias en horas de la tarde y parte de la noche. Es normal, que la zona de convergencia intertropical se posicione cerca de Guatemala en el mes de septiembre y también que pasen ondas del Este durante la época lluviosa. Sin embargo, la presencia de estos dos fenómenos hidrometeorológicos favoreció el desarrollo del evento de lluvia catalogado como extremo, el cual fue cuantificado por el pluviómetro en la estación de Mazatenango.

En la imagen visible del satélite geostacionario registrada a las 15:30 hora local (figura 118), se observa el desarrollo de nubes de tormenta (Cumulonimbos), las cuales estaban posicionadas a lo largo de la región de Boca Costa, Suroccidente y Costa Sur, y con el escaneo del radar meteorológico se estimó la intensidad de lluvia de dicha zona, la cual fue de 54 a 127 mm/hr.



a) Identificación de los nubes de lluvia con la imagen visible a las 15:30

b) Estimación de la intensidad de lluvia con el Radar a la 15:40 horas



c) Estimación de la intensidad de lluvia con el Radar a la 16:00 horas

d) Estimación de la intensidad de lluvia con el Radar a la 16:30 horas

Figura 118. Detección del evento de lluvia con las imágenes de satélite (GOES) y el radar meteorológico.

6.1.2.2 Caracterización del evento de lluvia

Para la caracterización del evento de lluvia se utilizaron los datos registrados por las estaciones pluviométricas Mazatenango, La Máquina, El Asintal y Retalhuleu que pertenecen a la red de estaciones de INSIVUMEH, y con las estaciones automáticas Lorena y Tululá pertenecientes a la red de estaciones del Instituto de Cambio Climático Privado (ICC), se obtuvieron los hietogramas de lluvia discretizado a 15 minutos.

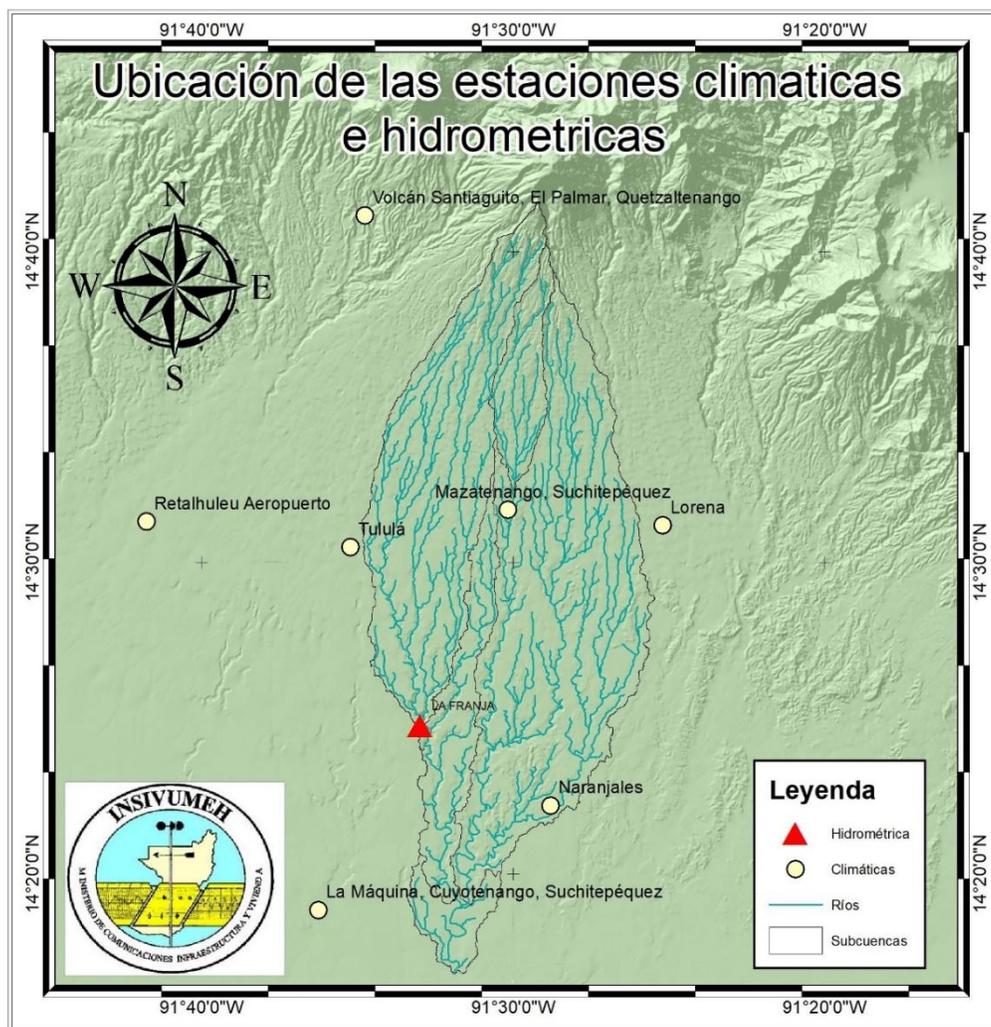


Figura 119. Ubicación de estaciones climáticas e hidrométricas

El hietograma de la estación Mazate se estimó a partir de los hietogramas de las estaciones de Tululá y Lorena discretizados a 15 minutos (ICC, 2017), y el

valor de lluvia pluviométrico registrado en la estación de Mazatenango que fue de 197.5 mm (INSIVUMEH, 2017).



Figura 120. Hietograma del evento de lluvia del 18 de septiembre de 2017 de las estaciones Lorena y Tuluá.



Figura 121. Estimación del hietograma del evento de lluvia del 18 de septiembre de 2017 en la estación Mazatenango.

El evento de lluvia inició a las 15:00 y finalizó a las 17:30 del 18 de septiembre, la intensidad máxima fue de 119 mm/h la cual se dio aproximadamente a las 16:30 con una discretización de 15 minutos. La máxima intensidad del evento discretizado a 30 minutos se alcanzó a los 90 minutos de haber iniciado el evento, siendo de 99.4 mm/h, la intensidad máxima del evento discretizado a una hora fue de 89 mm/h y se alcanzó a los 120 minutos de haber iniciado el evento.



Cuadro 13. Evento de lluvia registrado en las estaciones pluviométricas Lorena, Tululá y Mazatenango.

Fecha y hora	Lorena	Tululá	Mazatenango			
	Hietograma	Hietograma	Lluvia acumulada	Intensidad (mm/hr) discretizada		
				15 minutos	30 minutos	60 minutos
18/09/17 14:15	0.2	0	0.2	0.8		
18/09/17 14:30	0	0	0.2	0	0.4	
18/09/17 14:45	0	0.8	1.7	6		
18/09/17 15:00	0.2	0	1.9	0.8	3.4	1.9
18/09/17 15:15	23.2	0.4	26.2	97.2		
18/09/17 15:30	10.4	0.2	37.1	43.6	70.4	
18/09/17 15:45	23.2	0.2	61	95.6		
18/09/17 16:00	24.2	0.2	85.9	99.6	97.6	84
18/09/17 16:15	4.8	8	105.7	79.2		
18/09/17 16:30	1.6	15.2	135.6	119.6	99.4	
18/09/17 16:45	2.4	12.8	161.9	105.2		
18/09/17 17:00	4	4.8	174.9	52	78.6	89
18/09/17 17:15	1.8	0.6	177.8	11.6		
18/09/17 17:30	0	0.2	178.2	1.6	6.6	
18/09/17 17:45	0.2	0.2	178.8	2.4		
18/09/17 18:00	0.2	0.6	180.1	5.2	3.8	5.2
18/09/17 18:15	0	2.6	184.9	19.2		
18/09/17 18:30	0	3.6	191.6	26.8	23	
18/09/17 18:45	0	1.6	194.6	12		
18/09/17 19:00	0	0	194.6	0	6	14.5

Fuente: Elaboración propia con datos del INSIVUMEH e ICC, 2017.



Figura 122. Hietograma de lluvia de la estación Mazatenango a cada 15 minutos estimado con los datos de lluvia de la estaciones Tululá y Lorena.

En la figura 123 se observa que la mayor cantidad de lluvia se concentró en el municipio de Mazatenango, donde la estación pluviométrica registro 197.2 mm durante el evento, la estación Lorena 97.2 mm, Tululá 53 mm, El Volcán Santiaguito 67.9 mm, Retalhuleu 17 mm, La Máquina 18.6 mm y Naranjales 1 mm.

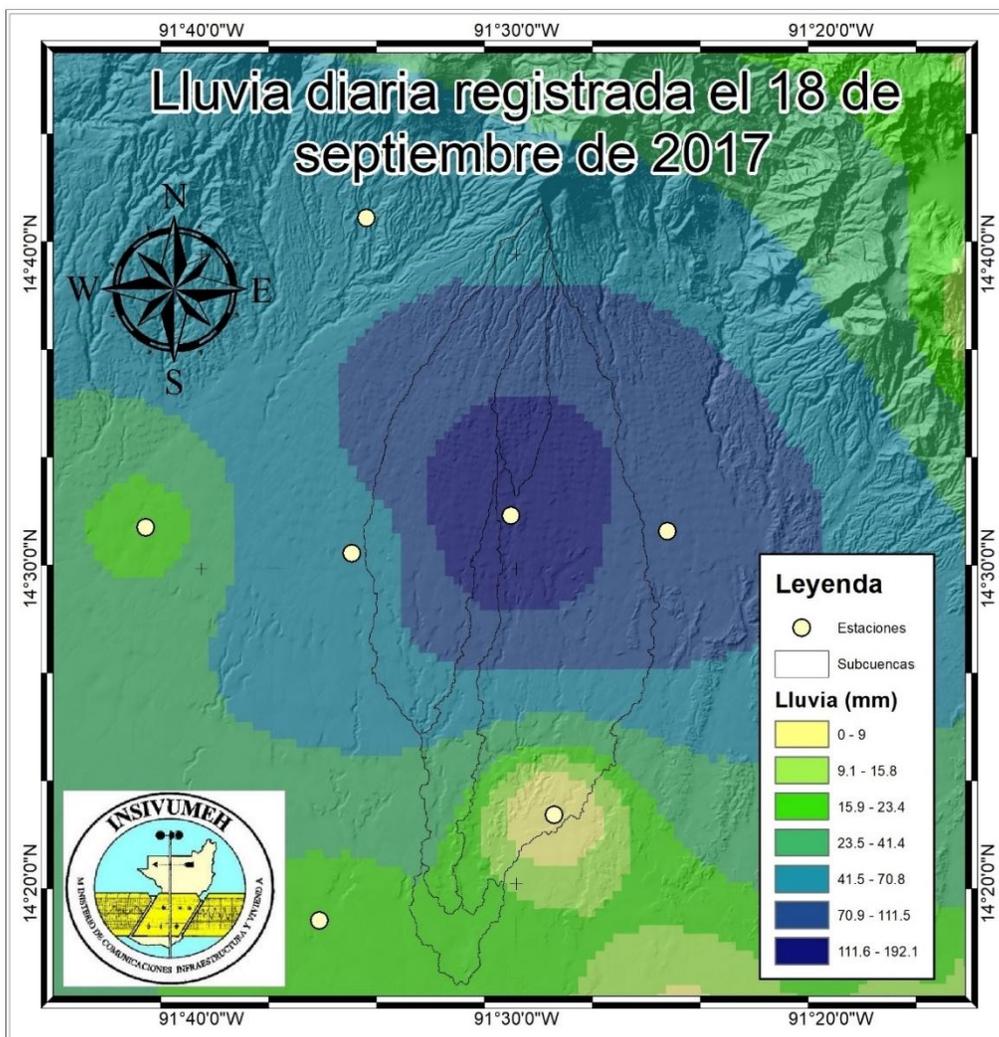


Figura 123. Distribución espacial del evento de lluvia.

En el siguiente cuadro se muestra la lluvia registrada en los 10 días previos al evento, donde se aprecian acumulados de lluvia considerables, condición que favorece a que exista suficiente humedad en los suelos, al punto de encontrarse saturados.

6.1.2.3 Caudal de Crecida

El caudal máximo registrado en la estación hidrométrica fue de 250 m³/s.



Figura 124. Crecida del río Sís
Fuente: Prensa Libre, 2017

6.1.3 Análisis de tendencias

La tendencia a la ocurrencia de crecidas en Guatemala va en aumento, esto debido a que cada vez son de mayor intensidad los eventos de lluvia, y estos combinados con la deforestación por el avance de la frontera agrícola causan una modificación del ciclo hidrológico en las cuencas, haciendo que aumente la escorrentía y con ello el riesgo de crecidas e inundaciones en las partes medias y bajas de la cuenca. Otro fenómeno que está aumentando son las inundaciones urbanas, esto a consecuencia del colapso de las redes de alcantarillado debido a que los eventos sobrepasan los umbrales de diseño o por mal manejo de los desechos sólidos que causan taponamiento en los drenajes.

En la figura 125, se muestran las zonas con mayor recurrencia de inundaciones para un año, siendo las partes bajas y planas de las cuencas las que tienen mayor impacto, principalmente bajo los efectos del fenómeno de La Niña, que causa un incremento en la cantidad de lluvia.

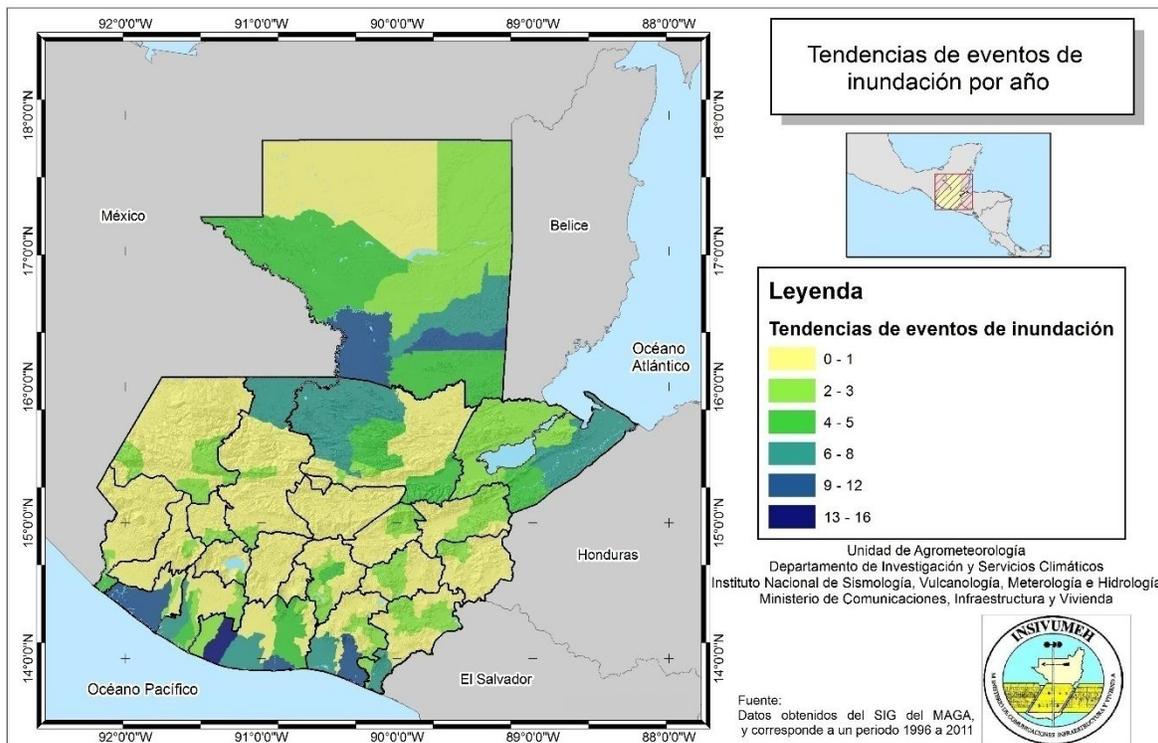


Figura 125. Tendencia de la ocurrencia de inundaciones a nivel municipal

6.2 Sequías

Las sequías son generalmente consideradas como derivados de un déficit de precipitación acumulada, y se puede definir en términos meteorológicos, o en términos de los impactos sobre las personas, la agricultura, el abastecimiento de agua o el medio ambiente (Sene, 2009).

Fenómeno que sobreviene cuando la precipitación ha sido considerablemente inferior a la normalmente registrada, causando con ello graves desequilibrios hidrológicos que suelen afectar negativamente los recursos en las tierras y los sistemas de producción (IPCC, 2007).

Podría ser definido como una disminución significativa circunstancial de los recursos hidrológicos, durante un intervalo de tiempo prolongado sobre un área extensa y que le genera consecuencias socioeconómicas adversas (Andreu et al., 2006).

En Guatemala, se conoce como canícula a la disminución o ausencias de las lluvias por un periodo de 15 días, y al aumento de la temperatura en esta época. Sin embargo, en los últimos años se ha presentado la canícula en forma prolongada, o sea a tardado más de lo normal, causando un déficit considerable en la cantidad de lluvia mensual, a este fenómeno se le conoce como sequía meteorológica (Bardales, 2012).

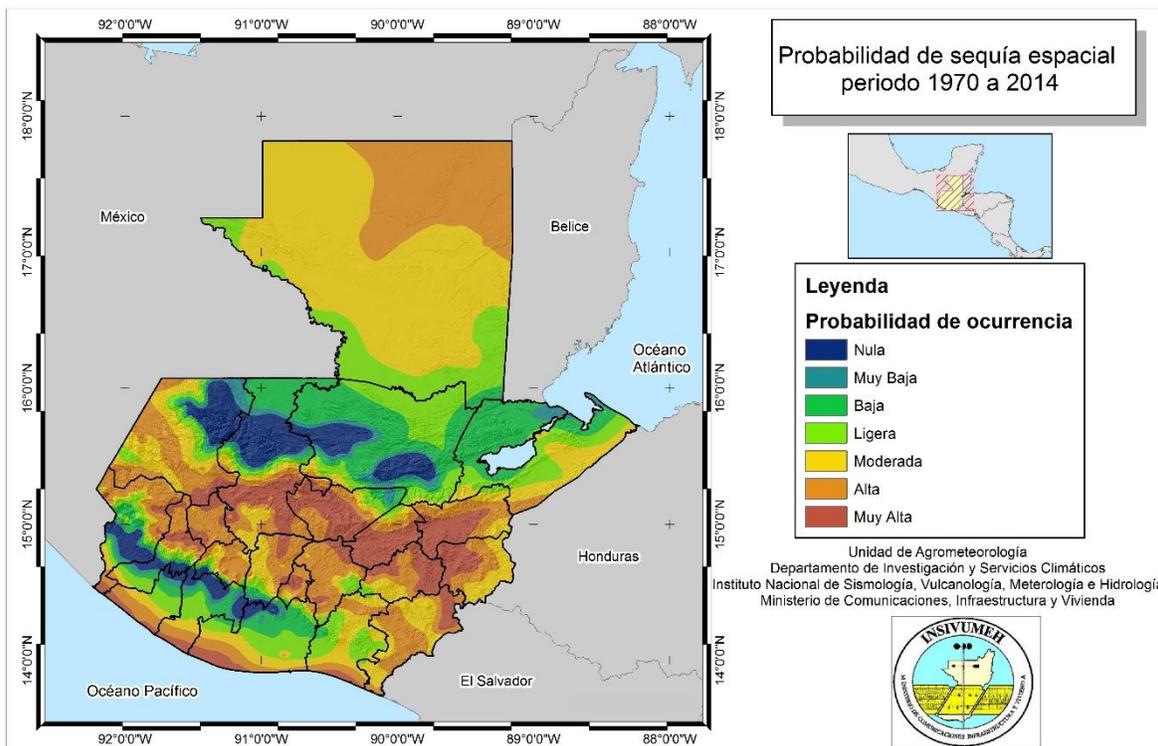


Figura 126. Mapa de probabilidad de ocurrencia espacial de sequía para el periodo 1970 a 2014.

En la Primera Comunicación en Cambio Climático de Guatemala (MARN, 2001) se señala que la ocurrencia de eventos de sequía pudiera incrementarse debido a los cambios climáticos producto del aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero causado por las actividades humanas. Entre los efectos del cambio climático, están el incremento de la temperatura del aire, y cambios en los patrones de precipitación, que en el país ha sido la disminución de la misma.

Según los registros, durante los años 1982, 1986, 1997, 2001, 2002, 2006, 2009, 2012 y 2014 se presentaron eventos de sequía que afectó fuertemente a la agricultura del país, estos años coinciden con la ocurrencia de eventos de El Niño. El INSIVUMEH (2014), realizó el estudio en el cual muestra la afectación de lluvias del mes de Julio de 2014 asociado a un evento de El Niño de categoría débil a moderado, relacionando las variables de índice de anomalía de las temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4 y la lluvia de la red climatológica nacional. En este estudio muestra que la probabilidad de ocurrencia de sequía meteorológica aumenta al presentarse un fenómeno de El Niño.

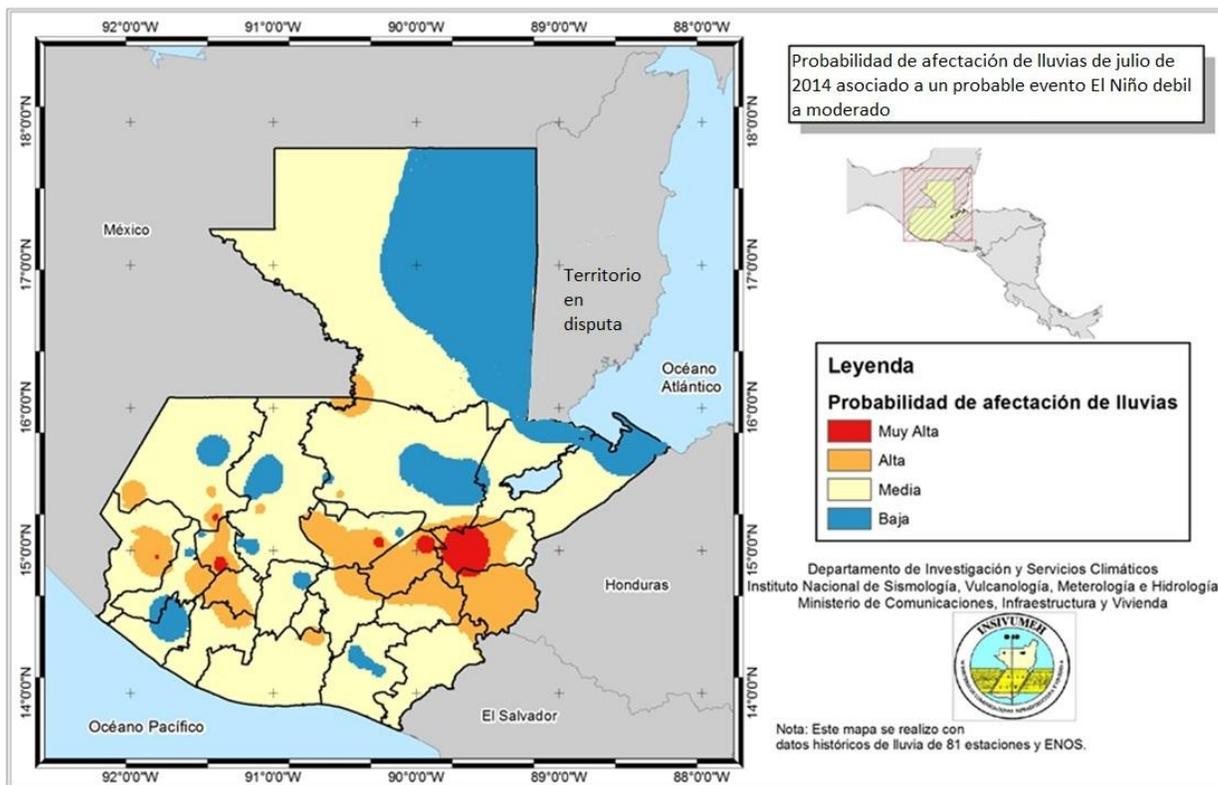


Figura 127. Mapa de probabilidad de afectación de lluvias de julio de 2014 asociado a un probable evento El Niño de categoría débil a moderado.

6.3 Heladas

Meteorológicamente, las heladas se dan cuando la temperatura es menor o igual a 0 °C. Sin embargo, la susceptibilidad o daños por heladas pueden presentarse en los seres vivos aun cuando la temperatura no haya llegado a los 0 °C. En algunos casos se necesitan temperaturas bastantes por debajo de 0 °C para causar daños.

La elevación mínima para que ocurra una helada en Guatemala es de 1700 msnm. Lo que representa que un 20% del territorio es susceptible a este fenómeno. La época de mayor probabilidad de heladas es la comprendida desde noviembre hasta marzo. Sin embargo, eso no quiere decir que no puedan darse eventos de heladas en otros meses. La ampliación o reducción de este periodo, la intensidad y severidad de las heladas dependen de: la baja nubosidad, viento con tendencia a calma, baja humedad atmosférica y edáfica, un gradiente térmico inverso en la noche con temperaturas menores en superficie que en el abrigo meteorológico es bastante seguro que desde la media noche hasta la madrugada se dé una helada si la elevación, la época y las características del lugar son favorables. En promedio la temporada de heladas tiene una duración aproximada 120 días con desviación estándar de 20 días. Esto causa que sea una amenaza climatológica importante para la agricultura del Altiplano Central y Occidente del país.



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

Para caracterizar la probabilidad horaria de ocurrencia de heladas en el Occidente y el Altiplano Central, se utilizaron las bandas de los termógrafos de la red de estaciones del INSIVUMEH. Obteniendo como resultado que la mayor probabilidad de ocurrencia de heladas está comprendida entre las 23:00 y 7:00 horas del día, aumentando la probabilidad de ocurrencia de la helada conforme se acerca el amanecer. Esto debido a que la Tierra irradia la energía capturada en el día, y conforme se acerca el amanecer la cantidad de energía atmosférica desciende, enfriando la misma.

Cuadro 14. Probabilidad de ocurrencia de heladas según horario

Mes	Probabilidad de ocurrencia de heladas	de Horario
Noviembre	Baja	8:30 hasta 1:30
	Moderada	1:30 a 2:30 y 7:30 a 8:00
	Alta	2:30 a 07:00
Diciembre	Baja	8:30 hasta 1:30
	Moderada	1:30 a 3:00 y 8:00 a 8:30
	Alta	3:00 a 4:30 y 7:00 a 8:00
	Muy Alta	04:30 a 07:00
Enero	Baja	8:30 hasta 1:30
	Moderada	1:30 a 3:30 y 8:00 a 8:30
	Alta	3:30 a 4:30 y 7:30 a 8:00

Fuente: INSIVUMEH, 1983.

Hasta la fecha la temperatura más baja registrada en el país ha sido de -10°C el 2 de febrero de 1983 en Quetzaltenango, en san marcos la mínima temperatura registrada ha sido de -8°C el 26 de diciembre de 1974: en Huehuetenango ha sido de -5.5°C el 20 de febrero de 1972 y en la ciudad de Guatemala ha sido de 4.2°C en enero de 1956.

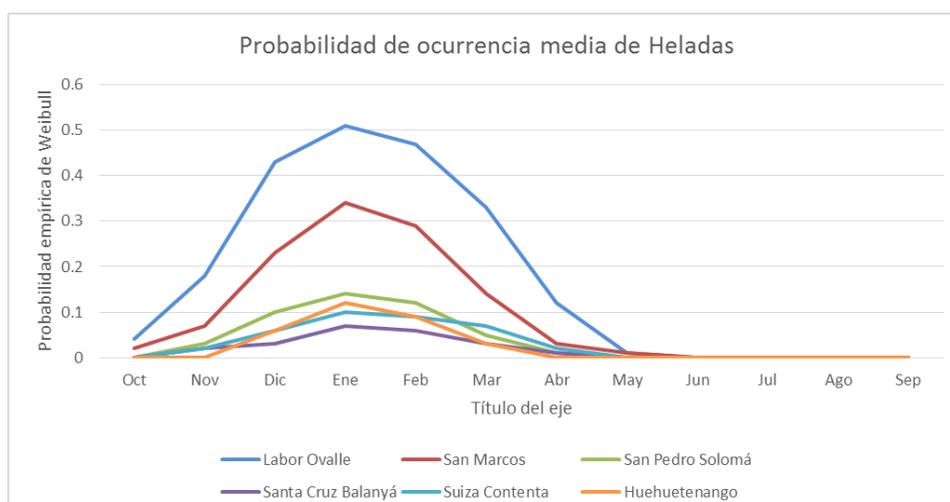


Figura 128. Comportamiento mensual de la probabilidad de ocurrencia empírica de Weibull de heladas.

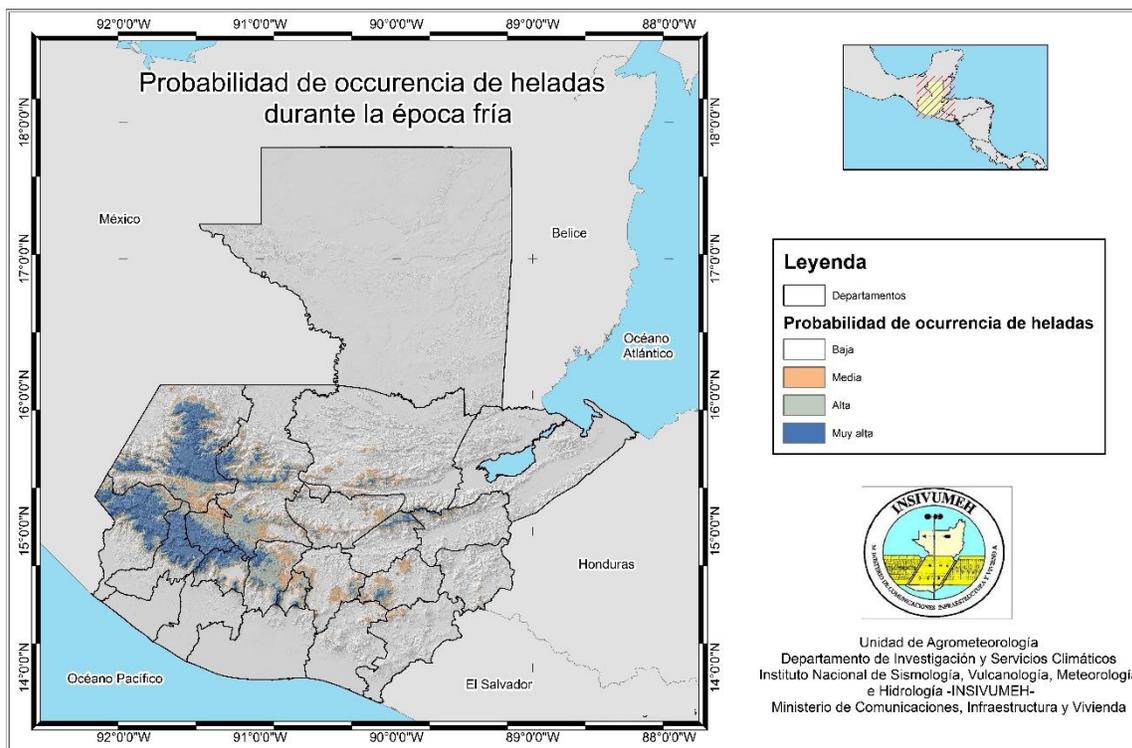


Figura 129. Mapa de probabilidad de ocurrencia de heladas en la época fría.

La tendencia es la disminución de la probabilidad de ocurrencia de heladas, debido al aumento de la temperatura. Sin embargo, esto no quiere decir, que se dejen de presentar o que sean menos intensas al momento de ocurrir. A continuación se realiza la comparación de la probabilidad de ocurrencia de heladas para los periodos 1971 a 2000 y 2001 a 2014.

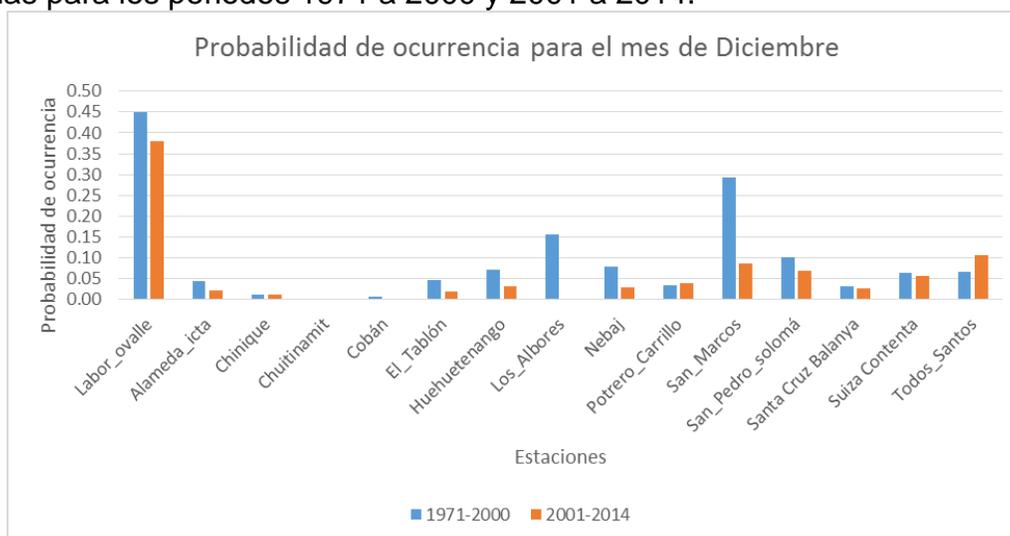


Figura 130. Probabilidad de ocurrencia de heladas para el mes de diciembre



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

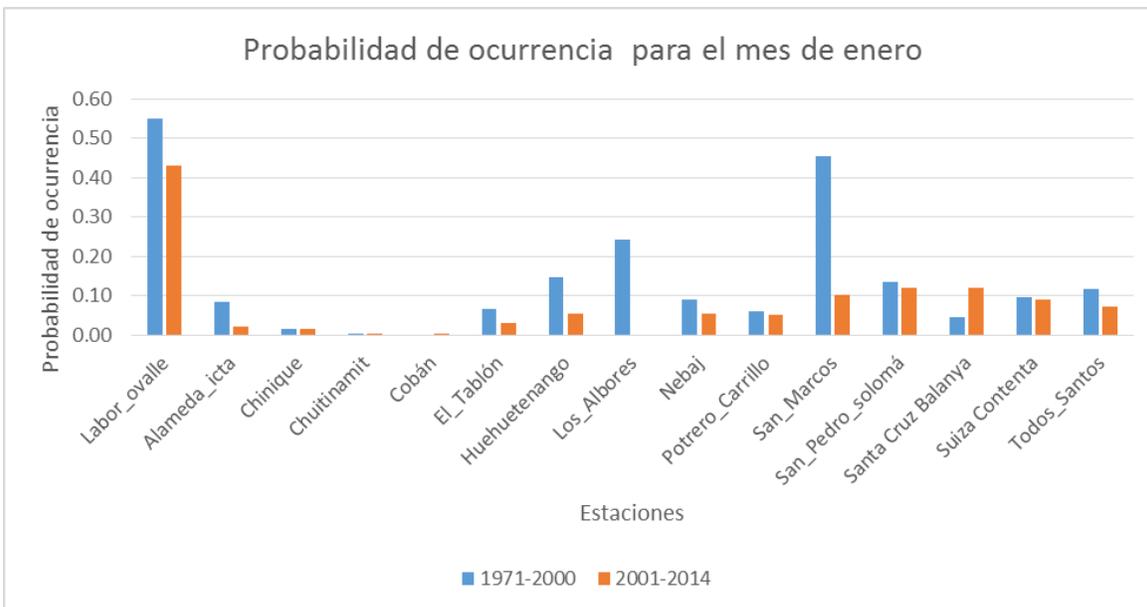


Figura 131. Probabilidad de ocurrencia de heladas para el mes de enero

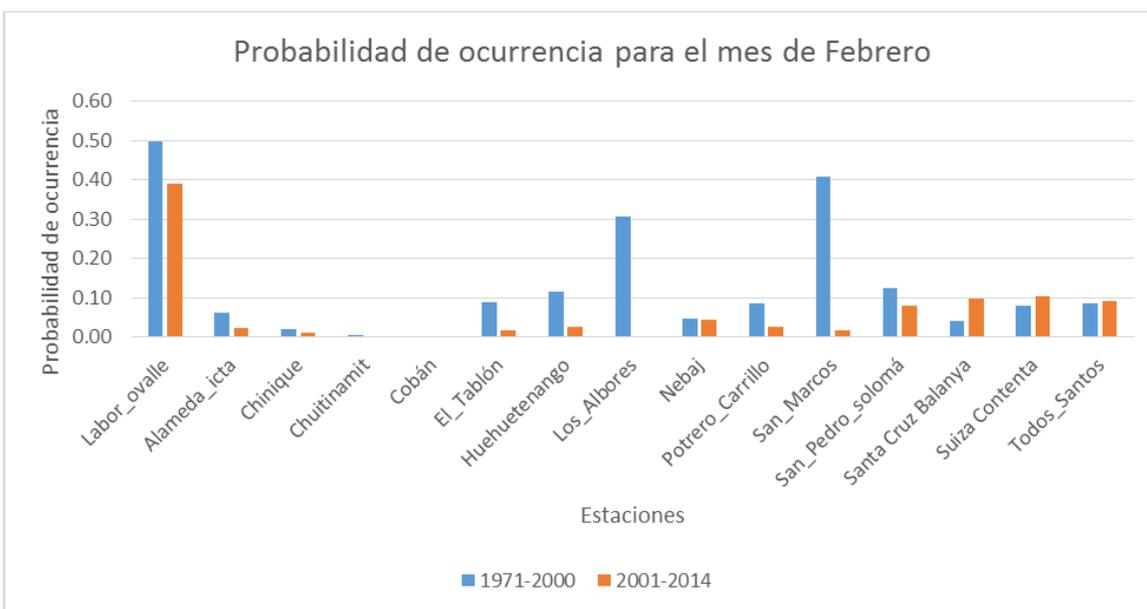


Figura 132. Probabilidad de ocurrencia de heladas para el mes de febrero

VII. Eventos de variabilidad climática en Guatemala

7.1 El Niño Oscilación del Sur (ENOS)

"El Niño, Oscilación del Sur" (ENOS) por su acrónimo en inglés ENSO (El Niño- Southern Oscillation) es la interacción de un fenómeno oceánico-atmosférico, que ocurre en la región del océano Pacífico tropical.

Este fenómeno tiene dos fases, en las cuales: El océano se manifiesta como una oscilación de la temperatura superficial del mar entre una fase cálida ("El Niño") y una fase fría ("La Niña") a lo largo del Pacífico tropical, y en la atmósfera como una oscilación entre una fase negativa ("El Niño") y una fase positiva ("La Niña") de la Oscilación del Sur (OS).

La región de El Niño se divide en 4 regiones:

- Niño 1+2,
- Niño 3,
- Niño 4 y
- Niño 3.4

La variabilidad oceánica y atmosférica está acoplada entre sí, de tal manera que los cambios observados en las aguas oceánicas se reflejan en la atmósfera y viceversa, haciendo que la atmósfera modifique, paulatinamente, su comportamiento en varias partes del mundo. Debido a esto, cada región es usada como predictor del clima estacional, ya que las variaciones océano-atmosféricas en esta región tardan de 3 a 6 meses en dar respuesta.

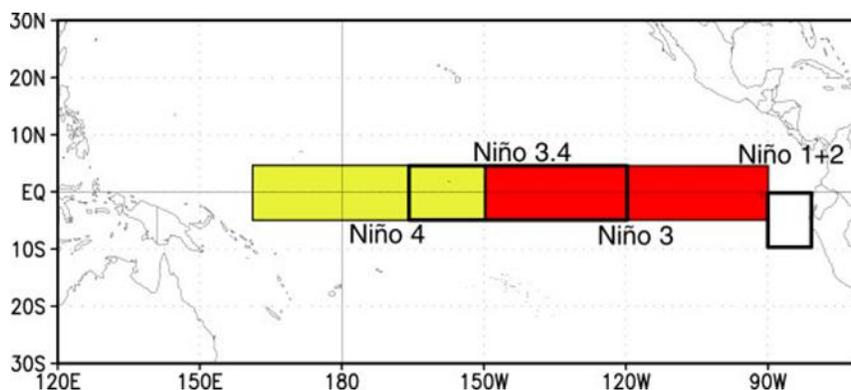


Figura 133. Región del ENSO

Los parámetros oceánicos-atmosféricos que se ven influenciados por la presencia de este evento son los siguientes:

- Intensidad y/o dirección de los vientos alisios y corrientes
- Temperatura superficial del mar
- Nivel del mar
- Presión atmosférica superficial
- Temperatura del aire

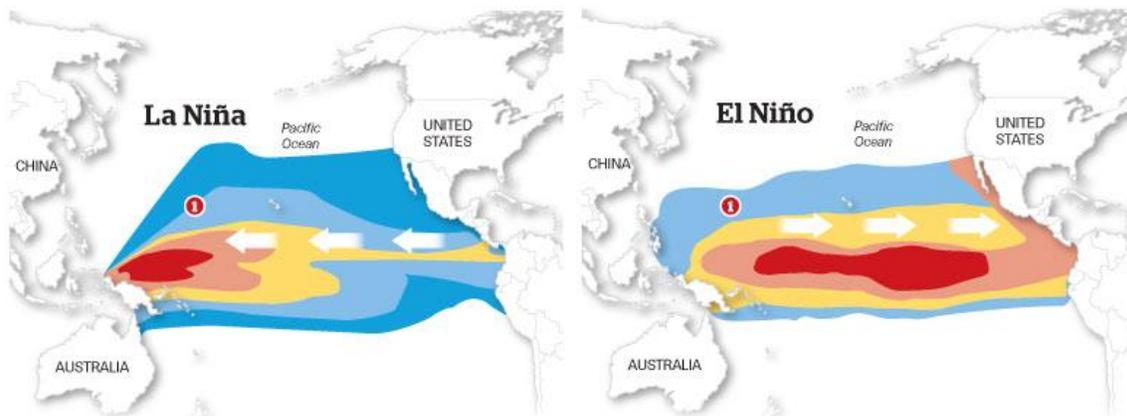


Figura 134. Comportamiento de las corrientes y temperatura superficial del océano pacífico ecuatorial.

Fuente: Katie Sanders. (<http://www.tampabay.com/specials/2010/graphics/la-nina-vs-el-nino/>). Bad hurricane season ahead. Consulta: octubre 2015.

La declaración del fenómeno de El Niño se da cuando el océano Pacífico Ecuatorial muestra un calentamiento por arriba de $+0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el de la Niña cuando se da un enfriamiento por debajo de $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ con respecto al promedio, durante al menos cinco meses consecutivos. Y cuando la temperatura superficial del mar se encuentra entre 0.5 y -0.5 se dice que son condiciones neutras.

Cuadro 15. Clasificación del ENOS por años

El Niño	Neutro	La Niña
1997 (+2.4), 1982 (+2.2),	1970 (-0.2), 1976 (-0.1)	1973 (-2.0), 1974 (-1.9)
1983 (+2.2), 1972 (+2.1)	1978 (-0.1), 1995 (-0.1)	1988 (-1.9), 1955 (-1.7)
1965 (+1.9), 1957 (+1.8)	2012 (-0.1), 1960 (0)	1975 (-1.7), 1989 (-1.7)
1958 (+1.8), 1987 (+1.6)	1961 (0), 1998 (0)	1999 (-1.7), 2000 (-1.7)
1992 (+1.6), 2009 (+1.6)	2014 (0), 1959 (+0.1)	2008 (-1.5), 2010 (-1.5)
1963 (+1.4), 1966 (+1.4)	1968 (+0.1), 2005 (+0.1),	1950 (-1.4), 2007 (-1.4)
1991 (+1.4), 2002 (+1.3)	2006 (+0.1), 1952 (+0.2),	2011 (-1.4), 1971 (-1.3)
1951 (+1.2), 1986 (+1.2)	1979 (+0.2), 1980 (+0.2)	1956 (-1.1), 1984 (-1.1)
1994 (+1.2), 1969 (+1.1)		1985 (-1.0), 1996 (-0.9)
2003 (+1.1), 1953 (+0.8)		1954 (-0.8), 1964 (-0.8)
1977 (+0.8), 2004 (+0.8)		2001 (-0.7), 1981 (-0.6)
1993 (+0.6), 1990 (+0.4)		2013 (-0.6), 1962 (-0.5)
		1967 (-0.5)

Fuente: Elaboración propia utilizando datos NCEP, 2015

Del año 1950 al 2014 se han registrado 24 fenómenos de El Niño. Todos los Fenómenos de El Niño son diferentes tanto en tiempo como en magnitud de la anomalía de temperatura y duración. Se han registrado eventos de gran duración, como el registrado entre Abril 1991 a Julio 1992, con un calentamiento anómalo promedio hasta de $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, y de corta duración como el registrado entre Febrero a Agosto 1993 con un calentamiento anómalo promedio hasta de $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los niños

más intensos se han registrado en los periodos de 1997-1998, 1982-1983 y 1972, estos se han caracterizado por ser de corta duración pero su efecto ha causado un gran impacto en el clima, ya que las lluvias disminuyen considerablemente y aumenta la temperatura.

Del año 1950 al 2014 se han registrado 25 fenómenos de La Niña. Todos los Fenómenos de La Niña son diferentes, tanto en tiempo como en magnitud de la anomalía de temperatura. Se han registrado eventos de gran duración, como el registrado entre Marzo 1954 a Febrero 1957, con un enfriamiento anómalo hasta de -2.1°C , y de corta duración como el registrado entre Octubre 1995 a Marzo 1996 con un enfriamiento anómalo hasta de -0.9°C . Las Niñas más intensas se registraron en 1974-1975, 1988 y 1955.

Esto fenómenos se forma paulatinamente, pero suele alcanzar sus máximos entre octubre a enero. La duración del fenómeno es variable y depende de la razón de cambio en la temperatura superficial del mar. En Guatemala este fenómeno impacta principalmente en la variación de la lluvia, canícula y temperatura.

El fenómeno de El Niño afecta disminuyendo los acumulados de lluvia por debajo de lo normal, en las siguientes regiones: Occidente, Altiplano Central, Oriente, Boca Costa, Costa Sur y Norte. Las regiones que no se ven afectadas por este fenómeno son: Franja Transversal y Caribe.

La Niña afecta aumentando los acumulados de lluvia por arriba de lo normal, en las siguientes regiones: Costa Sur, Boca Costa, Altiplano Central y Oriente. Las regiones que no se ven afectadas por este fenómeno son: Occidente, Franja Transversal, Caribe y Norte.

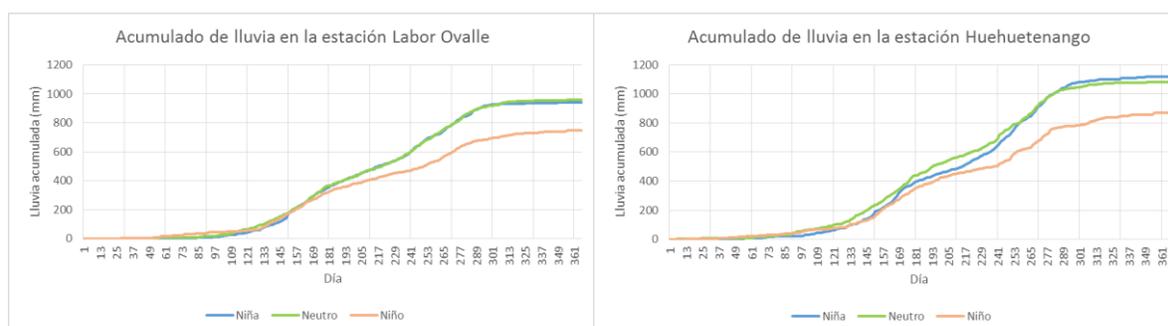


Figura 135. Comportamiento de la lluvia bajo el efecto del ENSO en la región de Occidente.



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

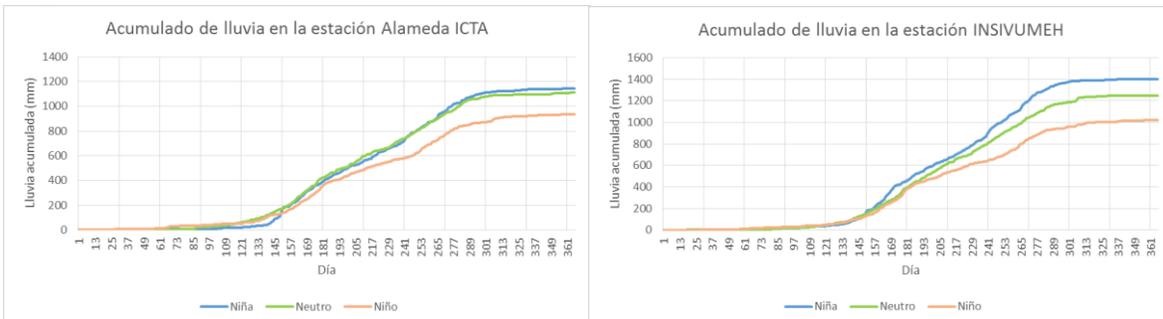


Figura 136. Comportamiento de la lluvia bajo el efecto del ENSO en la región del Altiplano Central.

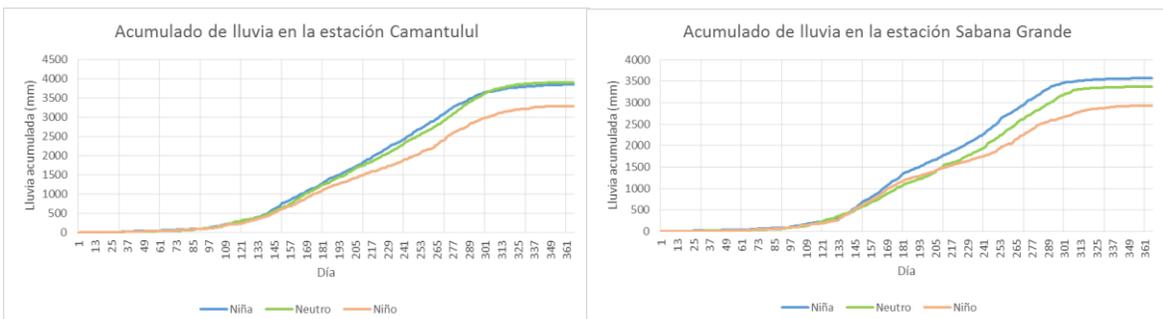


Figura 137. Comportamiento de la lluvia bajo el efecto del ENSO en la región de Boca Costa.

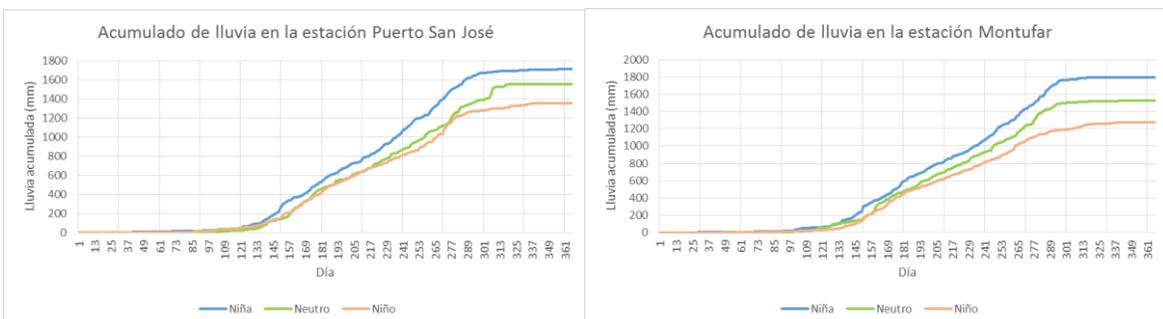


Figura 138. Comportamiento de la lluvia bajo el efecto del ENSO en la región de la Costa Sur.

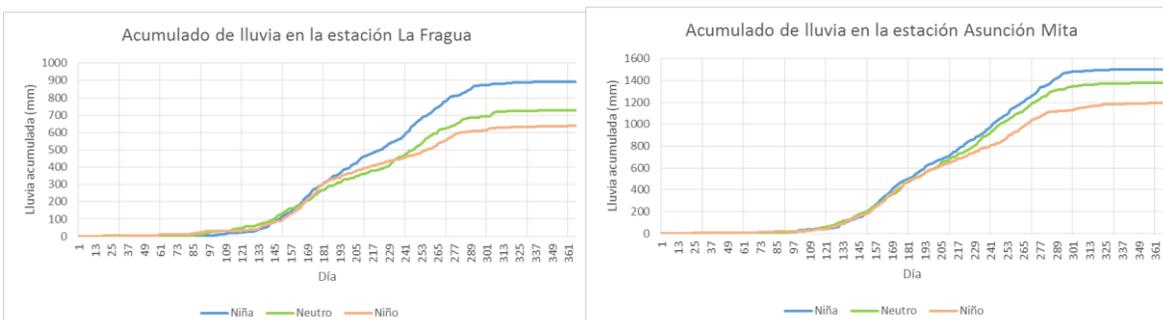


Figura 139. Comportamiento de la lluvia bajo el efecto del ENSO en la región del Oriente.

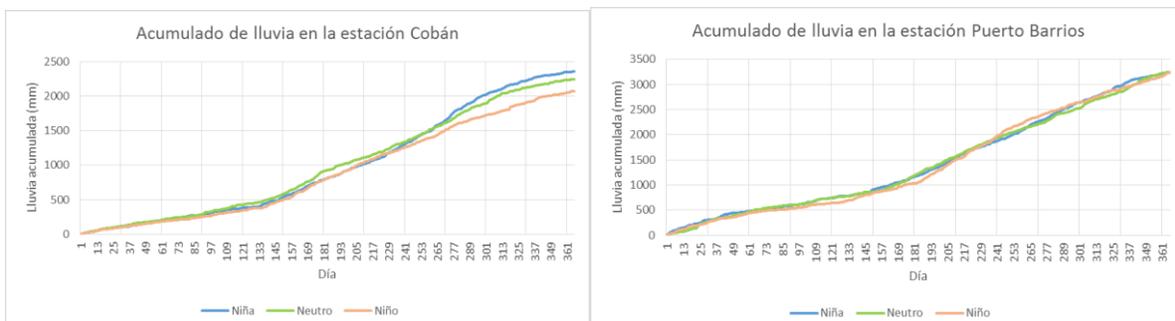


Figura 140. Comportamiento de la lluvia bajo el efecto del ENSO en la región de la Franja Transversal y Caribe.

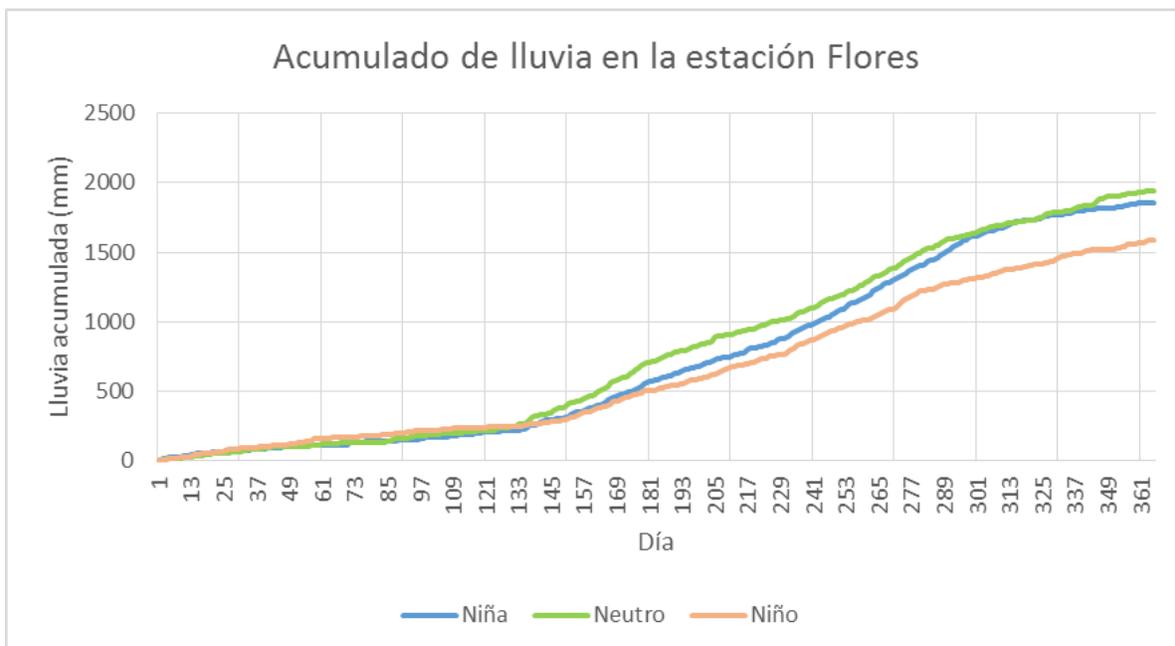


Figura 141. Comportamiento de la lluvia bajo el efecto del ENSO en la región de Norte.

La región Norte, Franja Transversal y Caribe se ve afectada en disminución de lluvia por debajo de lo normal, cuando hay un fenómeno de El Niño de moderado a fuerte y la temperatura superficial del océano Atlántico Tropical está por debajo de lo normal (Enfriamiento).

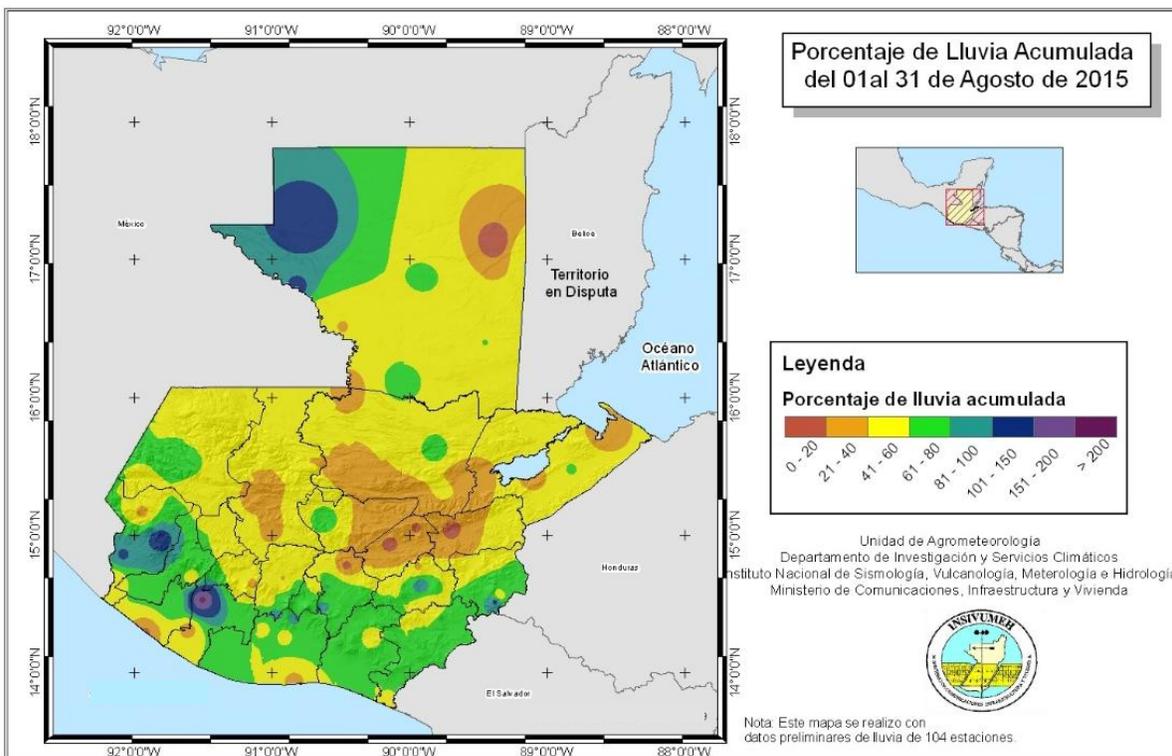


Figura 142. Porcentaje de lluvia acumulada de agosto de 2015.

7.2 Ciclones tropicales

Los ciclones tropicales que suelen afectar a Guatemala son sistemas atmosféricos de presión baja, caracterizados por vientos intensos y lluvias abundantes, que se originan sobre los océanos Pacífico y Atlántico. Las temporadas de formación de estos ciclones son de Mayo a octubre en el océano Pacífico y de junio a noviembre en el océano Atlántico. Los ciclones tropicales pasan la mayor parte de su tiempo de vida sobre los océanos, esto se debe a que es sobre los océanos donde se producen los principales transportes de calor (latente y sensible) que alimentan a estas perturbaciones atmosféricas; por el contrario, sobre las regiones continentales ceden gran parte de su energía al suelo, ya sea en forma de lluvia o por fricción, por lo que son rápidamente disipados.

Los ciclones tropicales han sido objeto de numerosos estudios, tanto de su estructura y características generales, como de los mecanismos que rigen su génesis, evolución y trayectoria, pues son de los fenómenos naturales más impresionantes de la naturaleza y siempre están asociados tanto a efectos destructivos (por los fuertes vientos e inundaciones repentinas) como a efectos benéficos (pues las lluvias permiten la recarga de acuíferos y presas). Los estudios de estos fenómenos, hoy en día, se basan en las más sofisticadas observaciones (aviones de reconocimiento, imágenes de satélite, radar doppler y estaciones de superficie), así como de modelos tridimensionales en computadora. La formación de estos fenómenos se observa en regiones muy húmedas,

inestables y donde se presenta una perturbación atmosférica que favorece la disminución de la presión. En la zona tropical existen varios tipos de perturbaciones ondulatorias de escala sinóptica que ocurren principalmente en las capas inferiores de la atmósfera y que se originan de los procesos de intercambio de energía, calor y masa entre el mar y el aire; solamente unas cuantas de ellas evolucionan para convertirse en ciclones tropicales. La gran mayoría, son perturbaciones atmosféricas poco profundas (0-8 km. de altura) que viajan del este al oeste, inmersas en la corriente de vientos alisios en los trópicos. Estas perturbaciones pueden originarse de distintas formas, pero quizás la más común se deriva de lo que se conoce como las ondas del este.

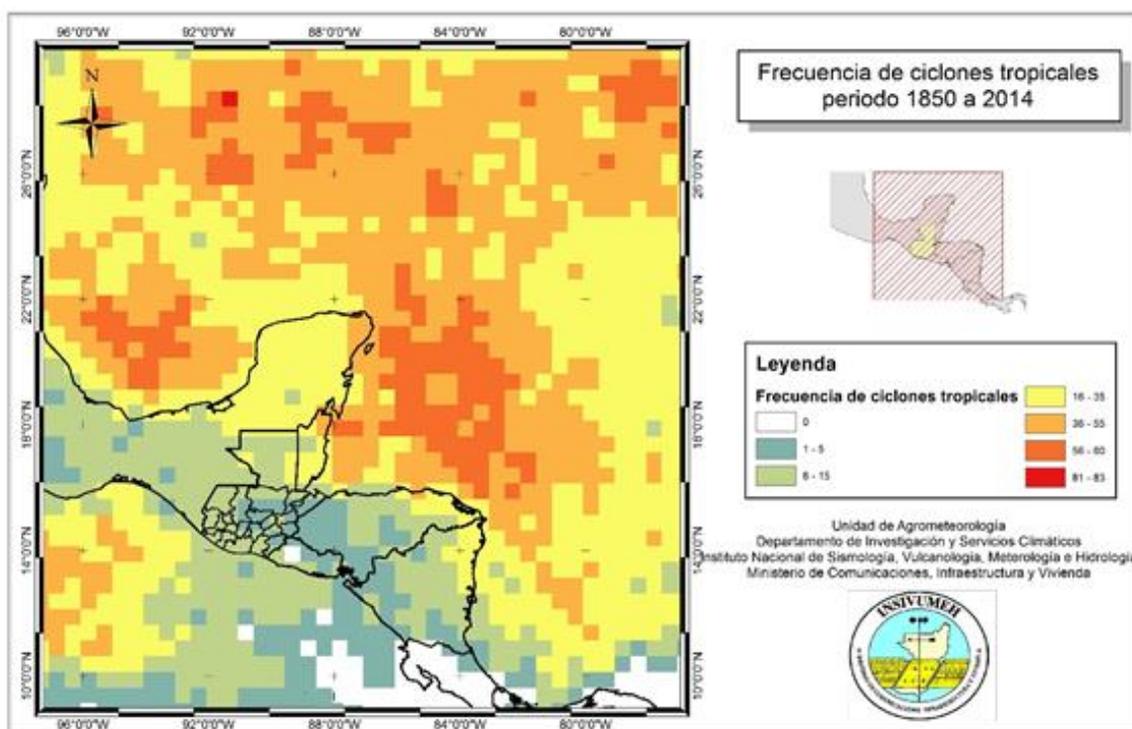


Figura 143. Mapa de frecuencia de ciclones tropicales de 1850 a 2010

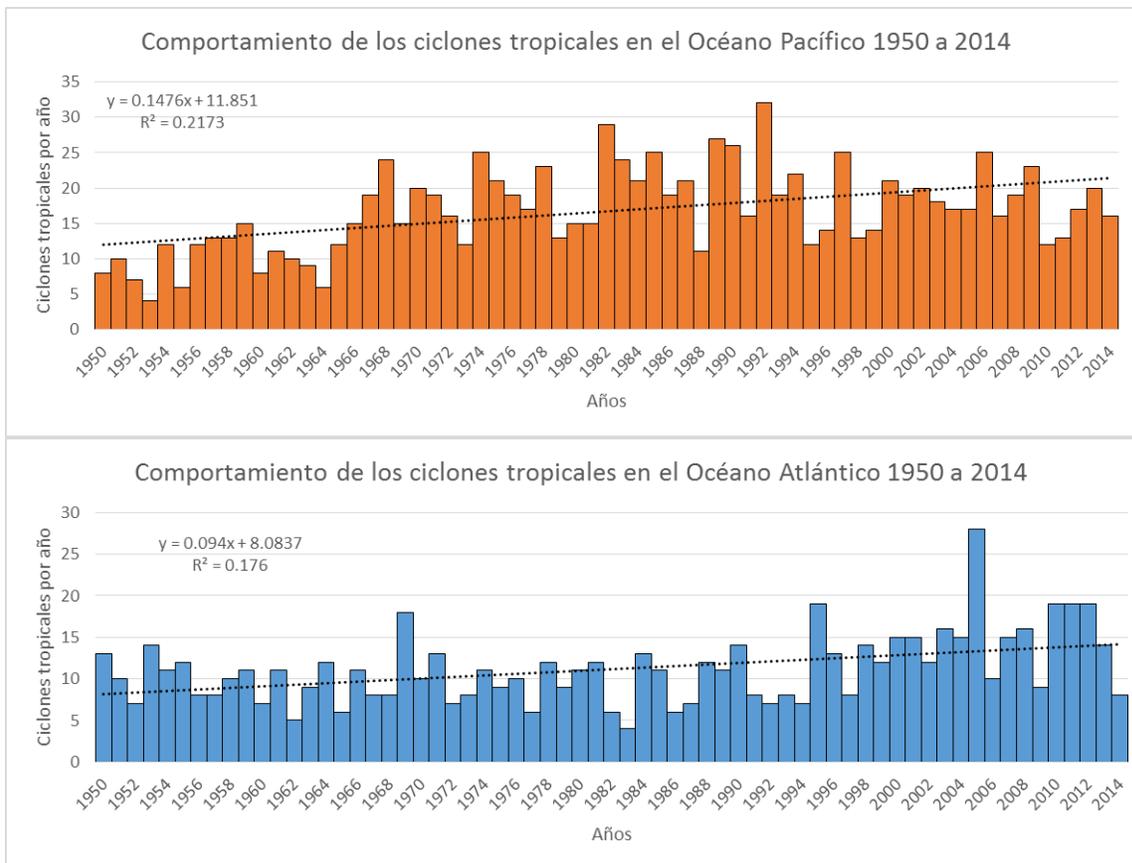


Figura 144. Comportamiento de los ciclones tropicales en el Océano Pacífico y Atlántico para el periodo 1950 a 2014.

Cuadro 16. Estadística comparativa de los ciclones tropicales para el periodo 1971 a 2014.

Periodo	Estadístico	Ciclones tropicales	
		Pacífico	Atlántico
1971-2000	Promedio	19.5	10.1
	Desviación Estándar	5.5	3.3
2001-2014	Promedio	18	15.4
	Desviación Estándar	3.5	5.1

Fuente: INSIVUMEH con datos de Hurricane NOAA, 2015

Un factor importante que parece haber incidido en la dinámica anterior son los cambios en la génesis y las trayectorias de los ciclones tropicales. Por lo general, los del Océano Pacífico se formaban en una latitud cercana a la costa de México, con trayectoria hacia el norte, pero en los últimos años se desarrollaron mucho más cerca de la Frontera de México y Guatemala, como fue el caso de Andrés (1997), Adrián (2005), Barbara (2007), Agatha (2010) y 12-E (2011).

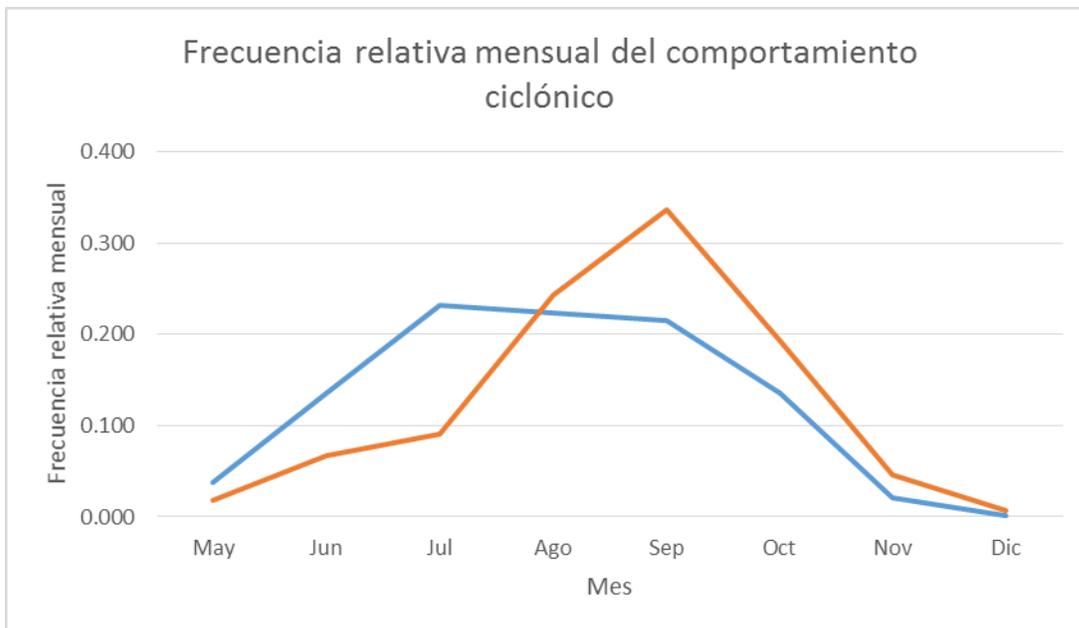


Figura 145. Frecuencia relativa mensual del comportamiento la actividad ciclónica de 1851 a 2014.

Cuadro 17. Frecuencia relativa mensual del comportamiento la actividad ciclónica de 1851 a 2014.

Océano	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pacífico	0.038	0.135	0.232	0.224	0.214	0.136	0.020	0.001
Atlántico	0.018	0.067	0.090	0.243	0.336	0.193	0.046	0.008

Fuente: INSIVUMEH con datos de Hurricane NOAA, 2015



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

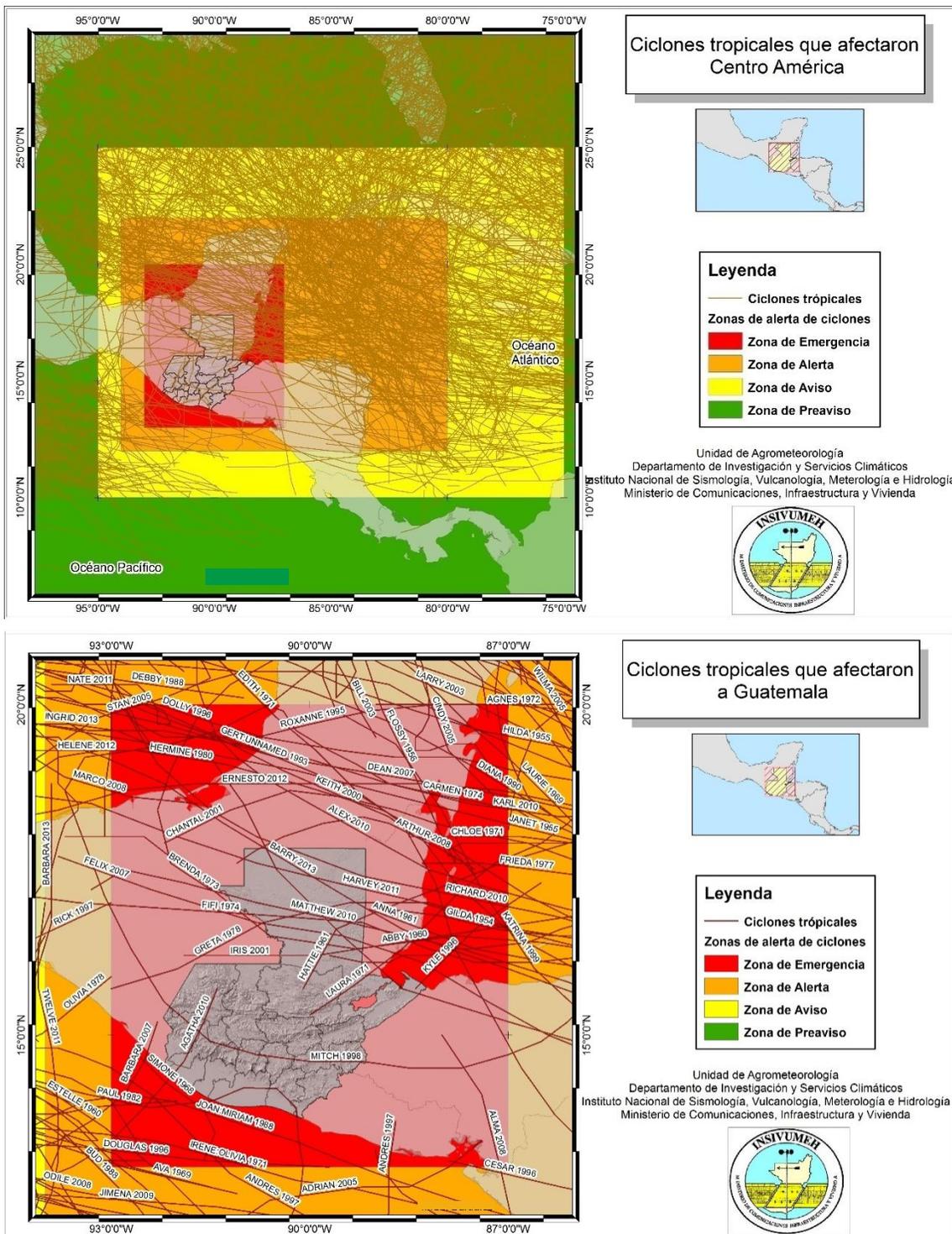


Figura 146. Ciclones tropicales que han afectado a Guatemala

7.3 Frentes fríos

La American Meteorological Society (2000) citado por Zarate (2013), define una masa de aire como “un gran volumen de aire que es aproximadamente homogéneo en su extensión horizontal, principalmente en cuanto a temperatura y humedad. Las variaciones verticales de estos parámetros son similares a los horizontales”. Las masas de aire se clasifican con base en la temperatura y la humedad de sus “regiones fuente” (zonas donde se forman), las cuales pueden ser oceánicas o continentales. Las masas invernales de aire frío que alcanzan Centroamérica y el Caribe entre fines de otoño y principios de primavera del hemisferio norte, son por sus regiones fuente, del tipo marítimo Polar (mP), continental Ártica (cA) y continental Polar (cP). La figura 134 muestra la región y la trayectoria que sigue los frentes fríos, en sus desplazamientos hacia el sur. La temperatura y la humedad de estas masas de aire frío, se modifican sustancialmente por el prolongado trayecto que ejecutan, pero sobre todo, por el paso sobre las aguas del Golfo de México y el Mar Caribe.

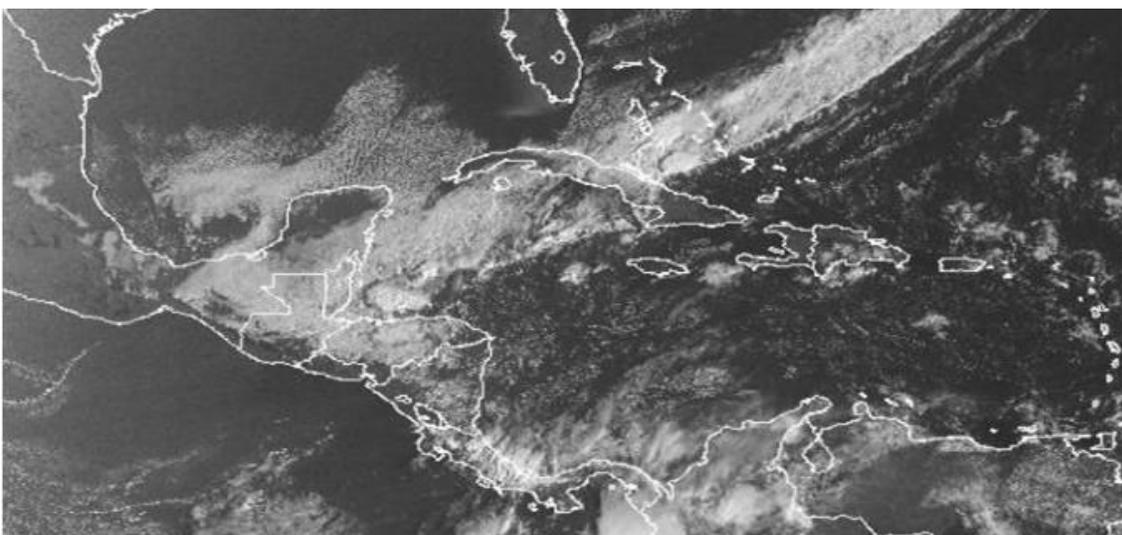


Figura 147. Imagen de vapor de agua donde se muestra el ingreso del frente frío en la región del mar Caribe.

Según Zarate (2013), cuando una masa invernal de aire frío se desprende de su región de origen en latitudes altas o medias y avanza hacia el sur, se forma en su parte delantera una interface o zona de transición denominada frente. Los frentes pueden ser fríos, cálidos, ocluidos o estacionarios. Las zonas frontales son la separación entre dos masas de aire de diferentes temperaturas y densidades, que tienen por lo general unas cuantas decenas de kilómetros de ancho. A su paso, a medida que la masa de aire frío avanza hacia latitudes menores, se producen tormentas eléctricas y lluvias acompañadas de cambios bruscos de temperatura, humedad y viento.

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología utiliza la metodología desarrollada por Herrera (2007), y esta consiste en un Índice de Anomalía de Presión Atmosférica (IAPA) que identifica las incursiones



de masas de aire polar. El índice utiliza los datos de presión atmosférica de la estación sinóptica de Puerto Barrios, localizada en la costa caribeña de Guatemala. El índice detecta las anomalías de presión y las subdivide en siete categorías, desde una anomalía normal hasta una extrema.

Cuadro 18. Clasificación del Índice de Anomalía de Presión Atmosférica (IAPA).

IAPA	Categoría
0.0 - 1.8	Normal
1.9 - 3.7	Ligero
3.8 - 5.6	Suave
5.7 - 7.5	Moderado
7.6 - 9.4	Fuerte
9.5 - 11.3	Muy Fuerte
11.4 en adelante	Extremo

Fuente: INSIVUMEH, 2015.

La época fría en Guatemala suele iniciar durante la segunda quincena de octubre para finalizar en la primera quincena de marzo. Durante este periodo Guatemala es influenciada indirectamente por masas de aire frío que provienen de las zonas de latitudes altas y medias. La mayor parte de los frentes fríos ingresan entre la media noche y 6 de la mañana. Y en menor medida en las siguientes horas, esto posiblemente se deba al contenido de energía en esta parte de la tierra. La duración de un frente frío es variable, y depende de la intensidad de los vientos alisios.

La influencia indirecta de los frentes fríos en Guatemala se marca en 5 regiones climáticas, siendo estas: Norte, Caribe, Franja Transversal del Norte, Occidente y Altiplano Central. Los efectos de este fenómeno meteorológico están asociados a la presencia de lluvias por el choque de masas de aire frío y cálido en la parte frontal del frente, y al paso del mismo se esperan cielos despejados, baja humedad atmosférica y el descenso de la temperatura ambiente, favoreciendo el desarrollo de heladas.

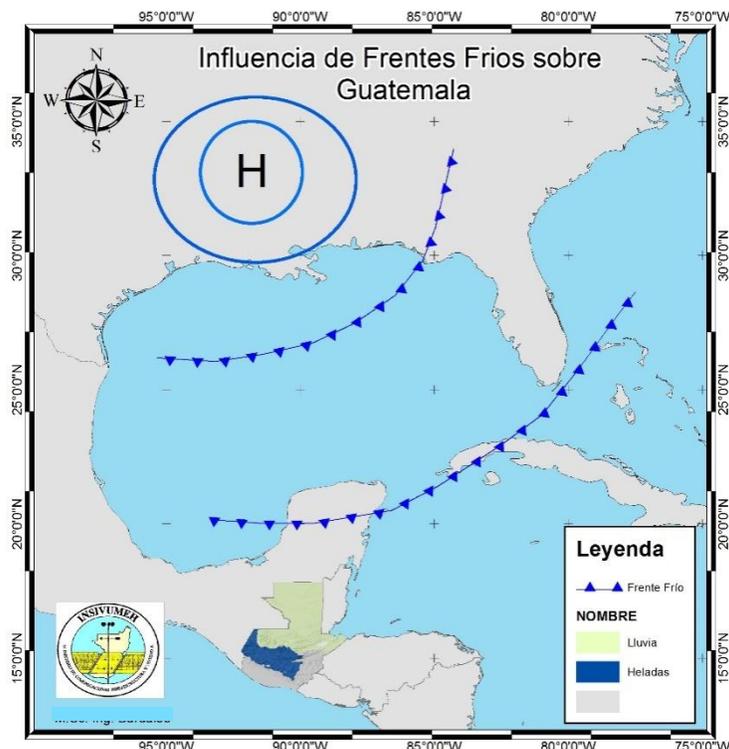


Figura 148. Influencia de los Frentes fríos en el clima de Guatemala

El mes de octubre es considerado un mes de transición, debido a que finaliza la época lluviosa e inicia la época fría, históricamente se suele tener la influencia de 1 a 2 frentes de categoría normal a ligero. En el mes de noviembre, ya se considera establecida la época fría, en este se suelen presentar 2 a 4 frentes, de los cuales pueden ir de normal a moderado. Durante el mes de diciembre se presentan 3 a 6 frentes, de los cuales al menos uno pueden alcanzar la categoría de muy fuerte o extremo. El mes de enero pueden presentarse de 3 a 5 frentes, de los cuales al menos uno alcanza la categoría de muy fuerte o extremo. En febrero, se presentan de 2 a 4 frentes, pudiendo alcanzar la categoría de extremo. Y marzo, es considerado un mes de transición en el cual finaliza la época lluviosa e inicia la época cálida; pero en este mes, se pueden presentar de 1 a 4 frentes, de categoría normal a fuerte.

En el gráfico inferior se muestra un cambio en el patrón promedio de frentes fríos, en el cual, se observa un aumento en los últimos 14 años. Además, de ser diciembre es el mes con mayor número de frentes fríos. Sin embargo, esta tendencia está ligada a la Oscilación del Atlántico Norte (NAO sus siglas en Inglés), pues cuando está en su fase positiva se suelen presentar menos frentes fríos en Centro América, que cuando está en su Fase Negativa.

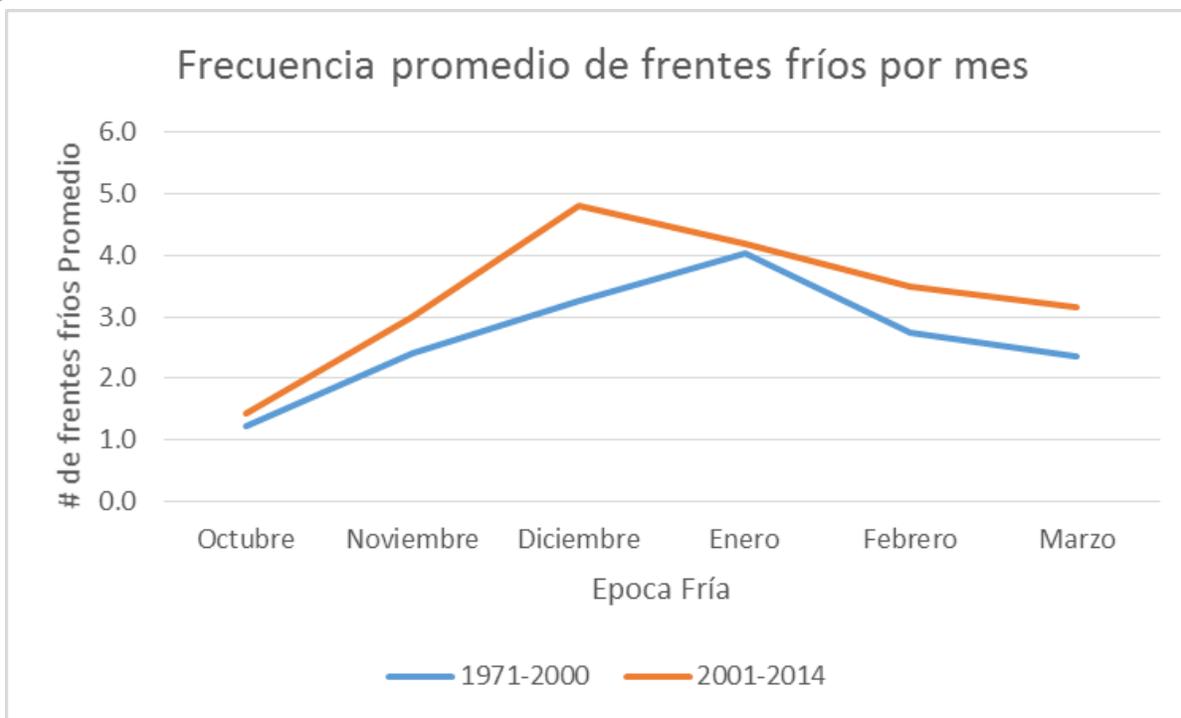


Figura 149. Frecuencia promedio de frentes fríos por mes

Cuadro 19. Comportamientos de frentes en la época fría de Guatemala.

Periodo	Estadística	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1971-2000	Máximo	3	5	7	6	4	5
	Promedio	1.2	2.4	3.3	4.0	2.8	2.4
	Mínimo	1	1	1	1	1	1
	Rango	1-2	1-4	2-5	3-5	2-4	1-4
2001-2014	Máximo	3	6	6	7	6	5
	Promedio	1.4	3.0	4.8	4.2	3.5	3.2
	Mínimo	1	1	2	3	2	1
	Rango	1-2	2-4	3-6	3-5	2-5	2-4

Fuente: INISIVUMEH, 2015

Según Rogers citado por Jiménez (s.f.), en el norte del Golfo de México existe cierta relación entre la NAO y El Niño Oscilación Sur, así aunque la periodicidad de estos procesos es variable, porque el ENSO se ha reconocido en periodos de 2 a 7 años, mientras que la NAO en intervalos de aproximadamente 3 a 7 años, la coocurrencia de ambos se ha detectado en periodos de 6 años. Esa coocurrencia se aprecia en el siguiente cuadro, cuando existe una fase cálida del índice NAO y ENSO se tiene un promedio de 15.9 frentes fríos y un coeficiente de variación del 11.3%, mientras que la fase negativa del índice NAO y la fase positiva del ENSO tienen en promedio 17.2 frentes fríos y un coeficiente de variación del 16.1%, la fase positiva del índice NAO y la fase negativa del ENSO presenta en promedio 15 frentes fríos y 13.7% de coeficiente de variación, y



cuando se tiene fase negativa en el índice NAO y ENSO se presentan 16.4 frentes fríos y 8.4% de coeficiente de variación en la temporada fría.

Cuadro 20. Comportamiento de los frentes fríos asociados al índice NAO y ENSO.

	NAO (+) y ENSO (+)	NAO (-) y ENSO (+)	NAO (+) y ENSO (-)	NAO (-) y ENSO (-)
Máximo	19	20	18	18
Promedio	15.9	17.2	15.0	16.4
Mínimo	13	13	11	14
Desviación estándar	1.79	2.77	2.06	1.42
Coeficiente de Variación	11.3	16.1	13.7	8.7

Fuente: INSIVUMEH, 2015

El análisis anterior, indica que cuando el índice de NAO está en la fase negativa (o Positiva) y el ENSO en la fase positiva (o Negativa), hay mayor variabilidad en cuanto a la cantidad de frentes que ingresan a la región; pero cuando están en Fase negativa de NAO y ENSO, la cantidad de frenes que baja a Centro América es más contante durante la temporada fría.

7.4 Canícula

La canícula es el período de varios días sin lluvia o con lluvia inefectiva, este período puede ir desde los 5 hasta los 15 días consecutivos sin lluvias. Recibe este nombre, porque un periodo de varios días de la época lluviosa se da las condiciones características de la época seca (Aguilar et. al., 1994).

Este fenómeno meteorológico suele presentarse entre los meses de Julio y Agosto, en el cual el régimen de lluvias disminuye por un periodo relativamente corto.

Se calcularon los acumulados de lluvia de 5 días consecutivos a partir del 1 de enero (Péntadas), a excepción los meses de 31 días tendrán la última péntada de 6 días y el mes de febrero de 4 días.

Se consideraron los siguientes criterios:

- Ausencia de lluvia por un periodo no menor de 6 días.
- Días de lluvia con valores menores o iguales a 5 mm por día.
- Duración del periodo de canícula

La estación de Huehuetenango presenta un patrón regular en la presencia de la canícula. Esta se suele presentar entre la péntadía 37 y 47, la duración promedio de la misma esta entre 20 a 30 días.

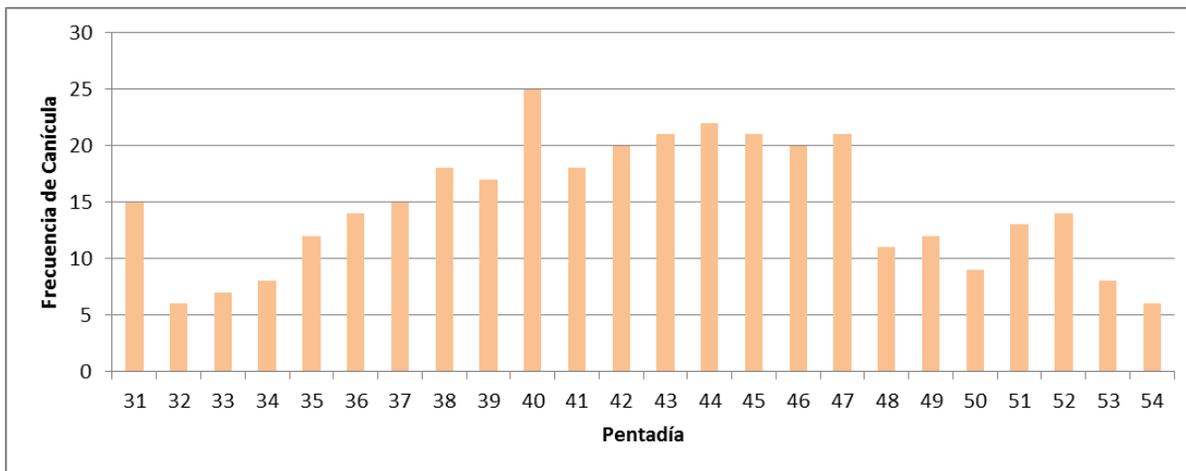


Figura 150. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de Huehuetenango

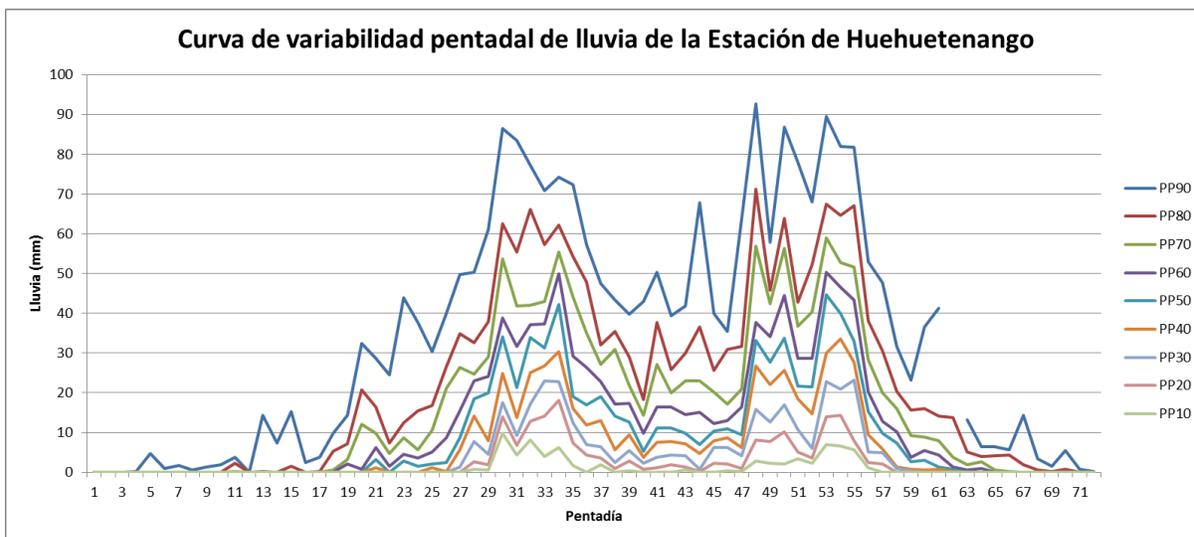


Figura 151. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de Huehuetenango.

La estación de Labor Ovalle presenta un patrón regular en la presencia de la canícula. Esta se suele presentar entre la pentadía 37 y 47, la duración promedio de la misma esta entre 20 a 30 días.

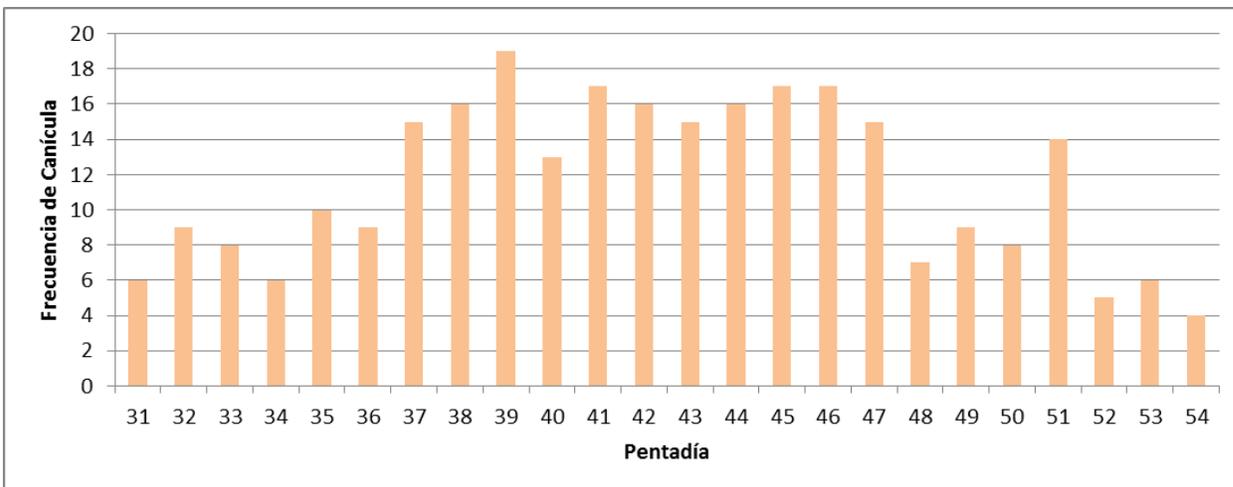


Figura 152. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de Labor Ovalle

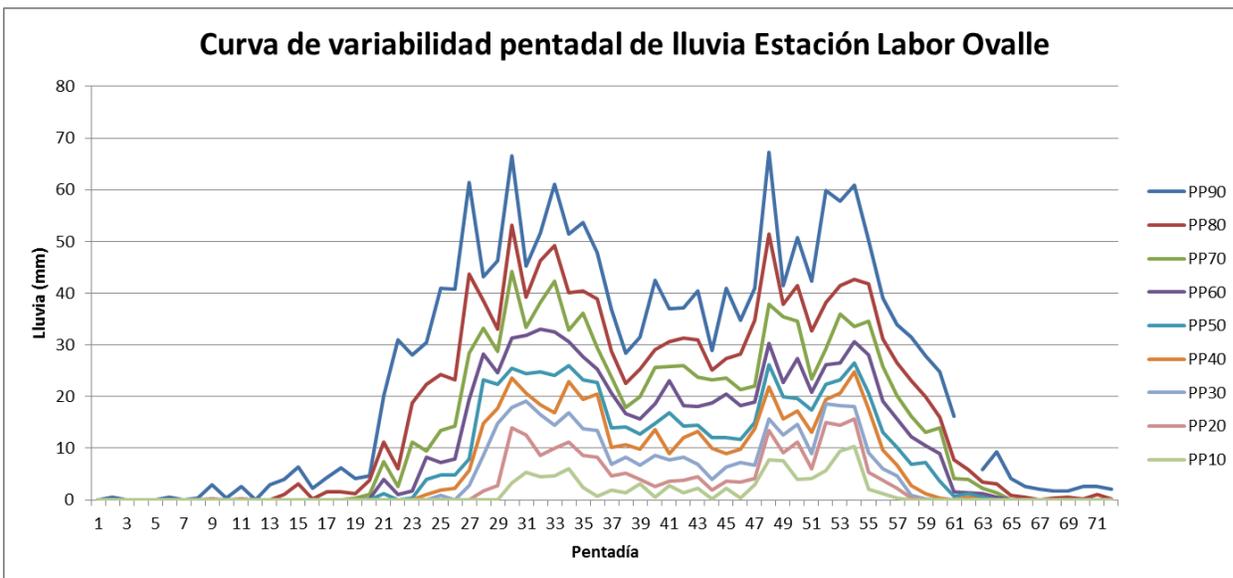


Figura 153. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de Labor Ovalle.

La estación de Chinique suele presentar dos canículas marcadas, la primera entre la pentadía 38 y 40, y su duración es de 15 a 21 días, y la segunda entre 44 y 45, y su duración es entre 10 a 15 días.

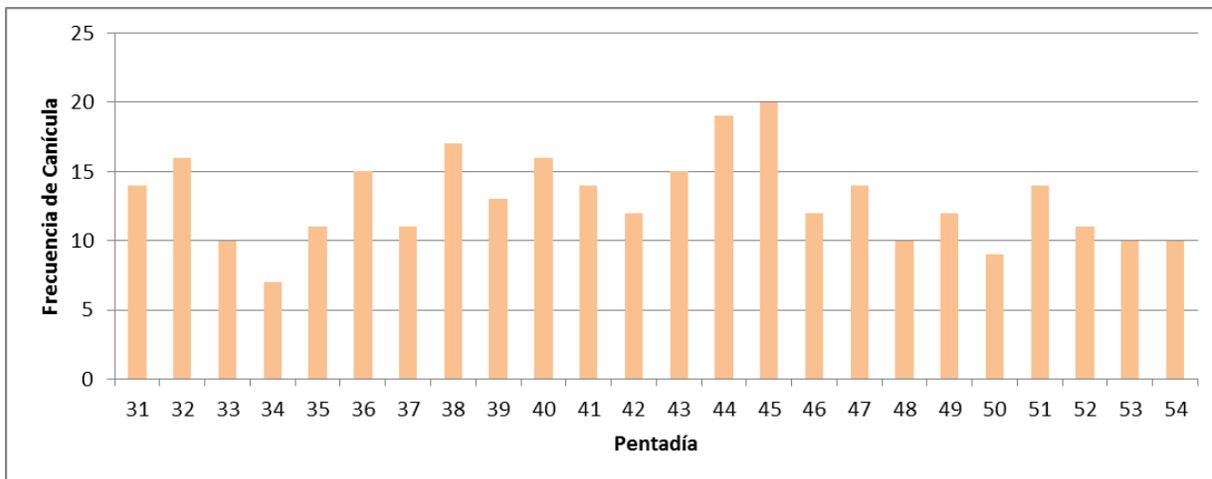


Figura 154. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de Chinique

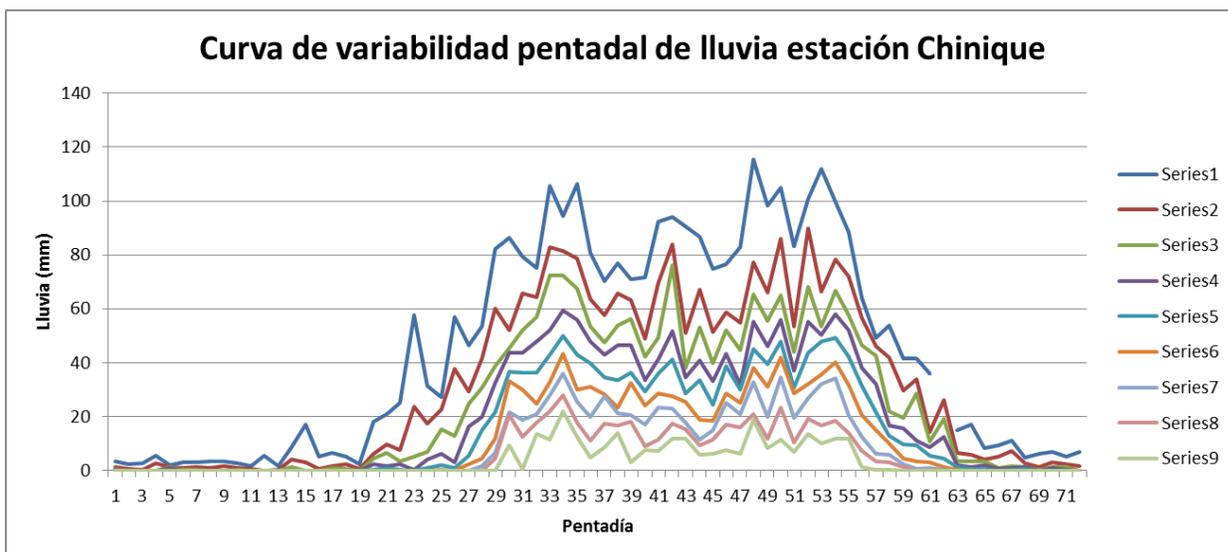


Figura 155. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de Chinique.

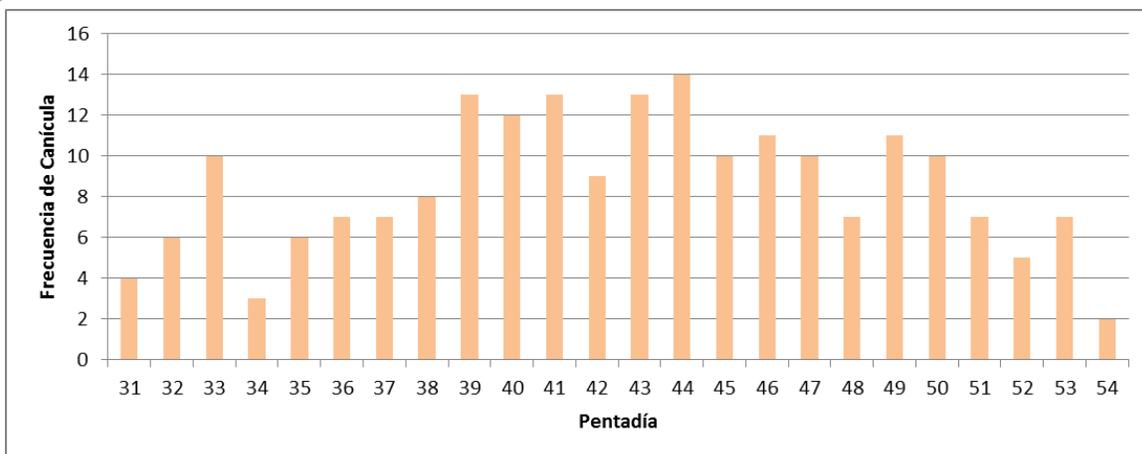


Figura 156. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de Santa Cruz Balanyá

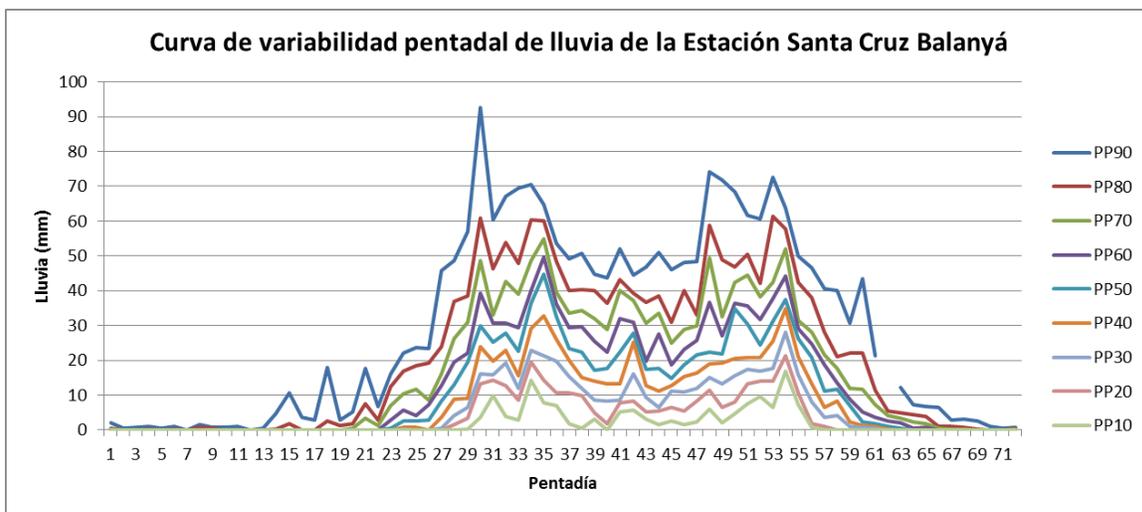


Figura 157. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de Santa Cruz Balanyá

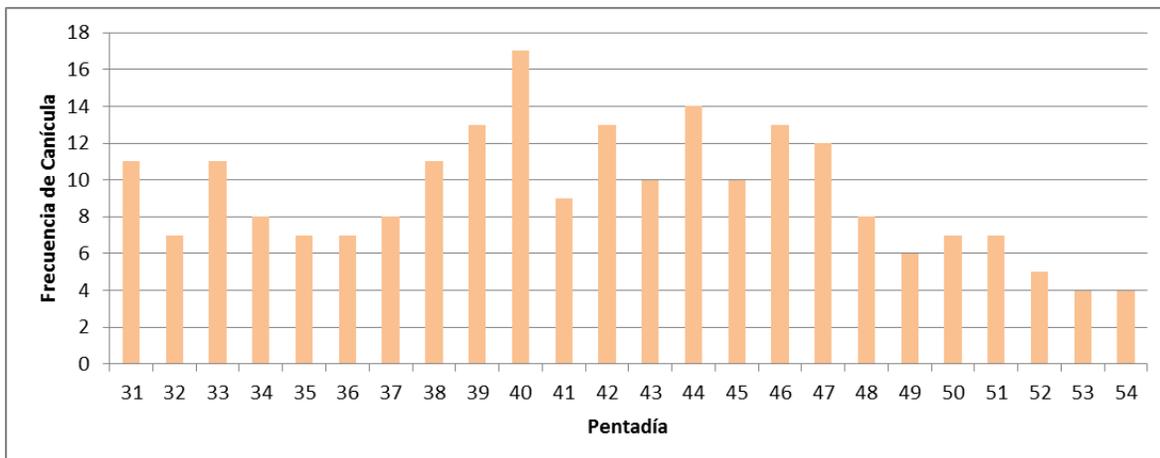


Figura 158. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de INSIVUMEH

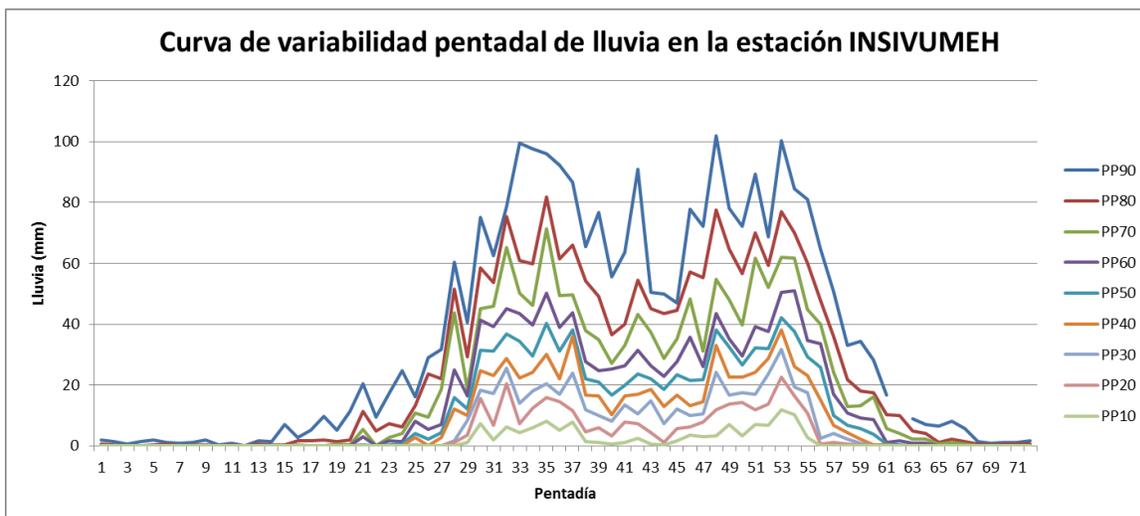


Figura 159. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de INSIVUMEH.

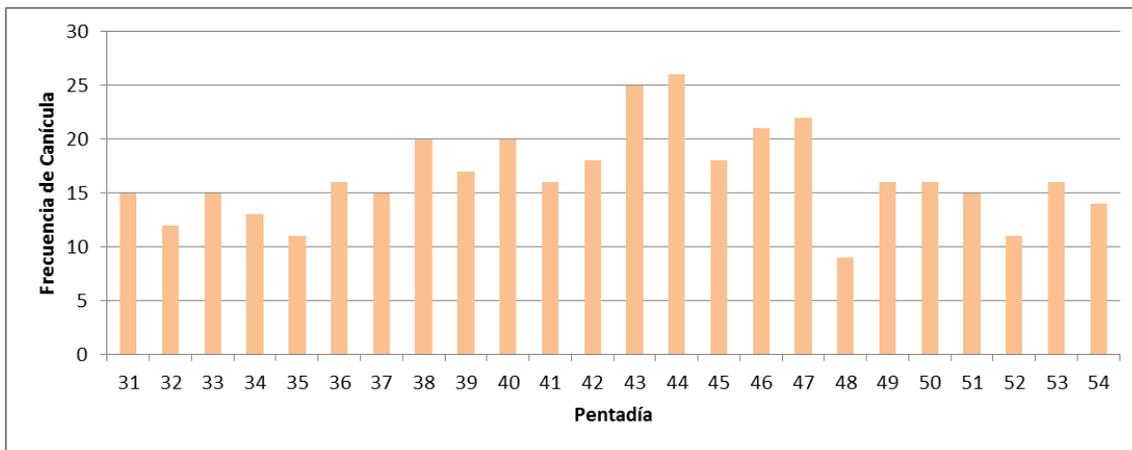


Figura 160. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de La Fragua

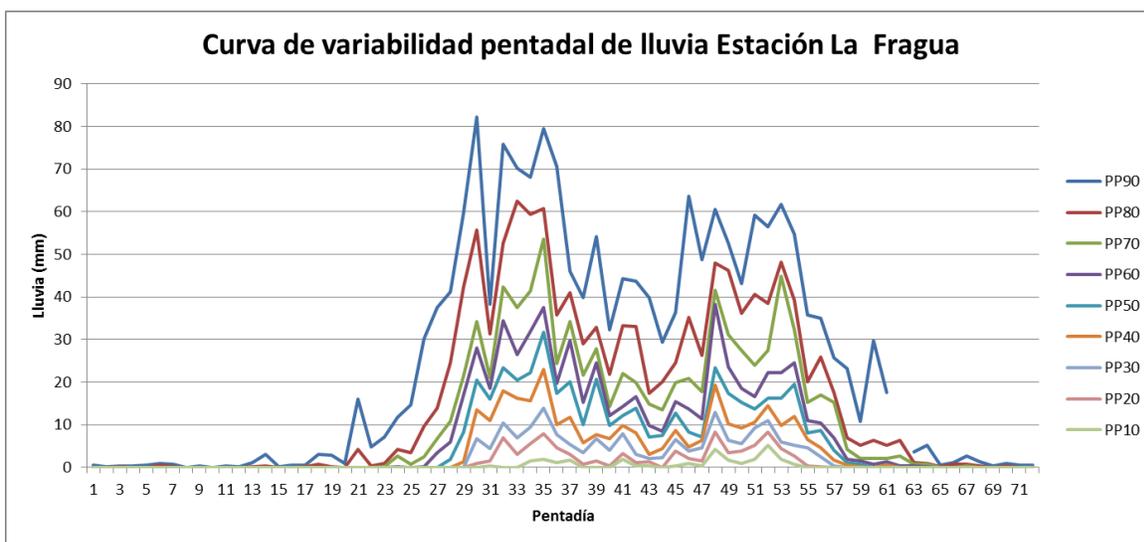


Figura 161. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de La Fragua

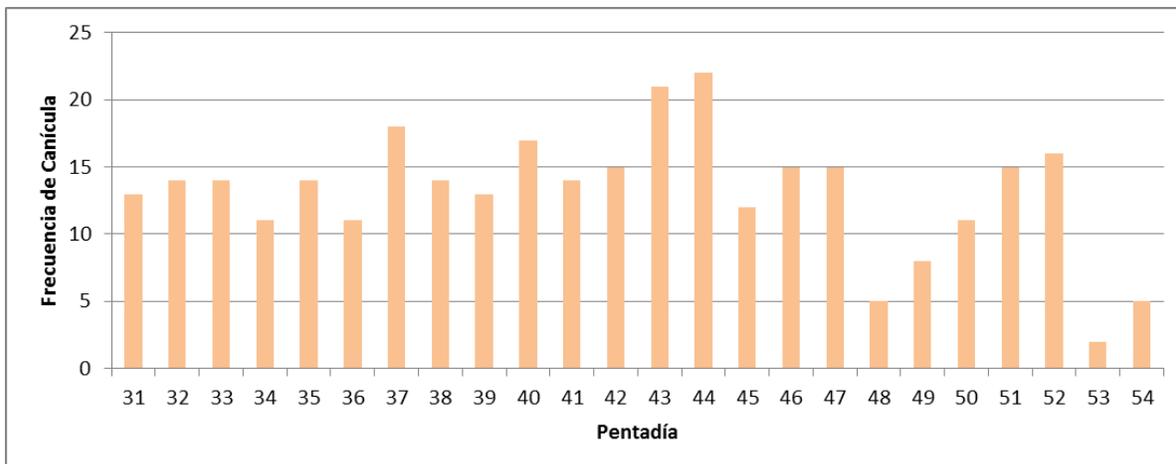


Figura 162. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de San Jerónimo

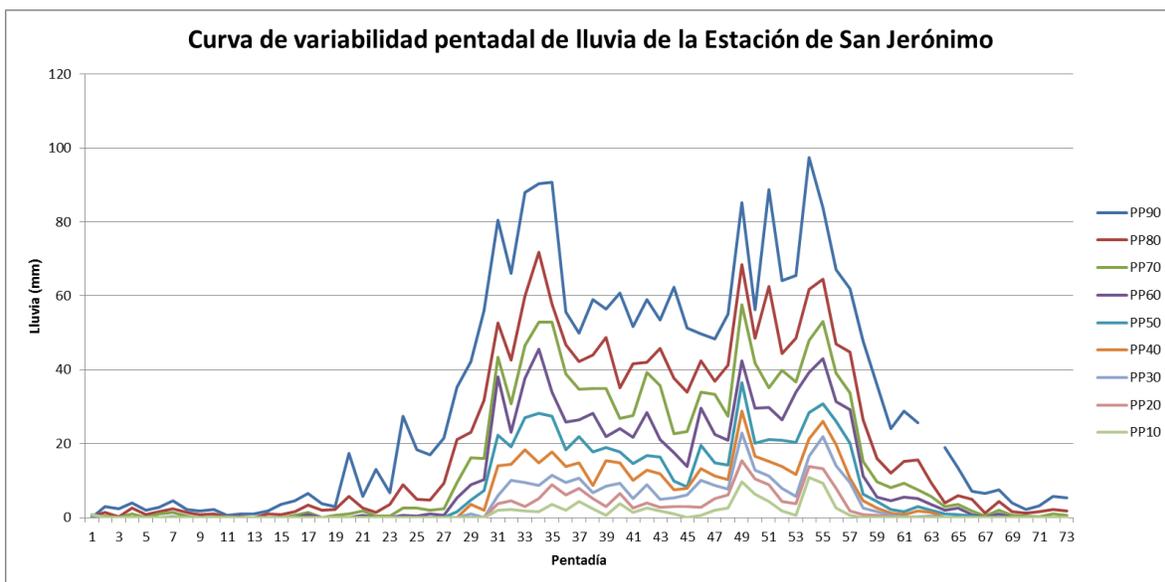


Figura 163. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de San Jerónimo

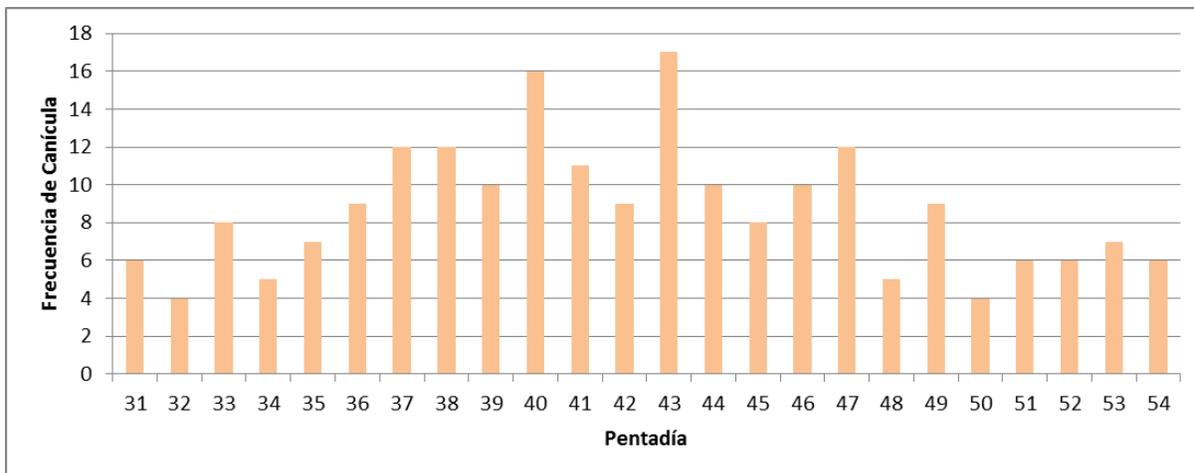


Figura 164. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de Asunción Mita

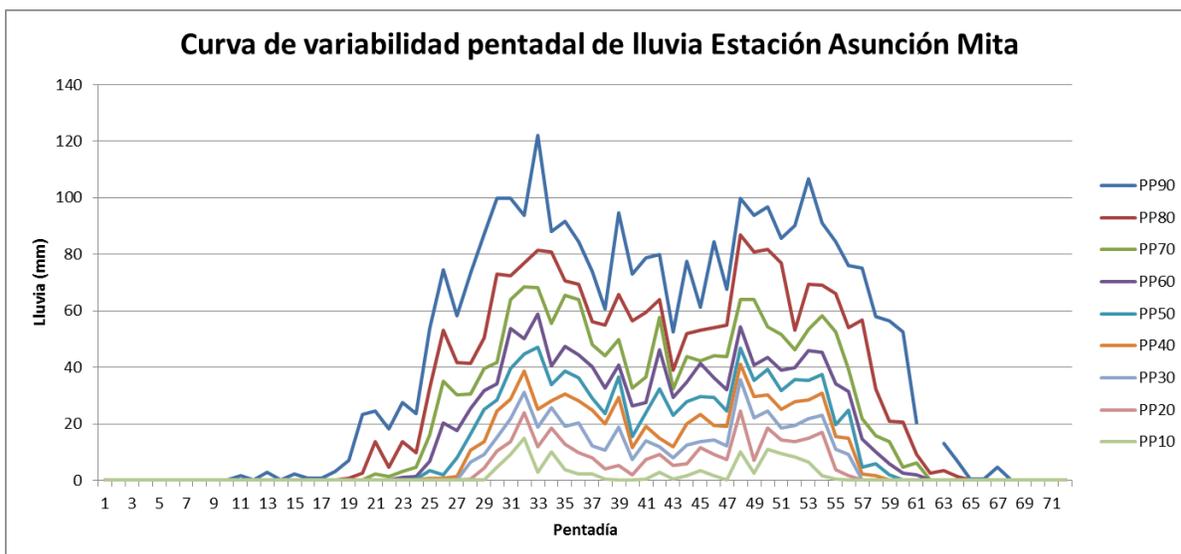


Figura 165. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de Asunción Mita

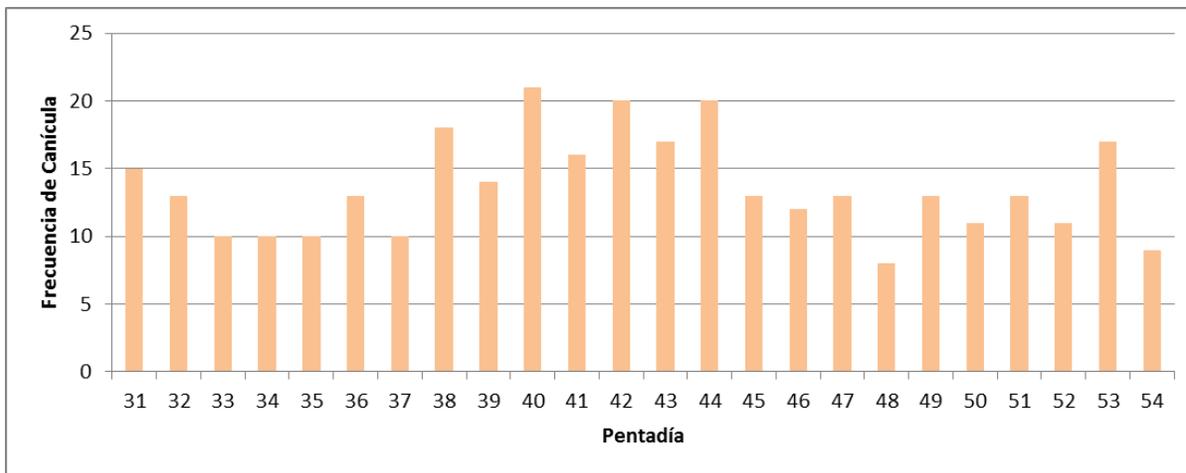


Figura 166. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de Camotán

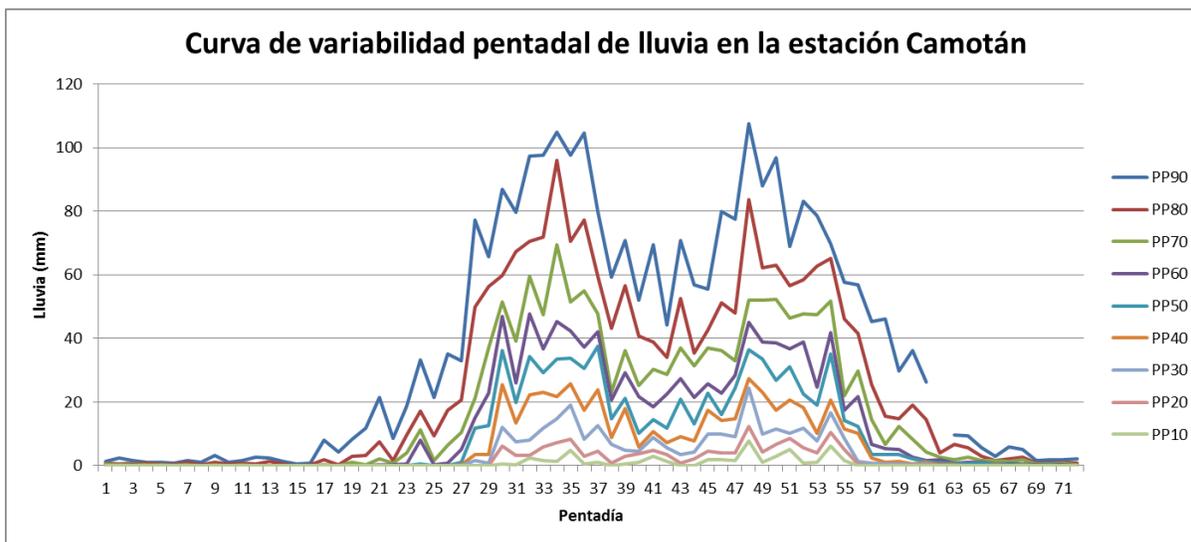


Figura 167. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de Camotán

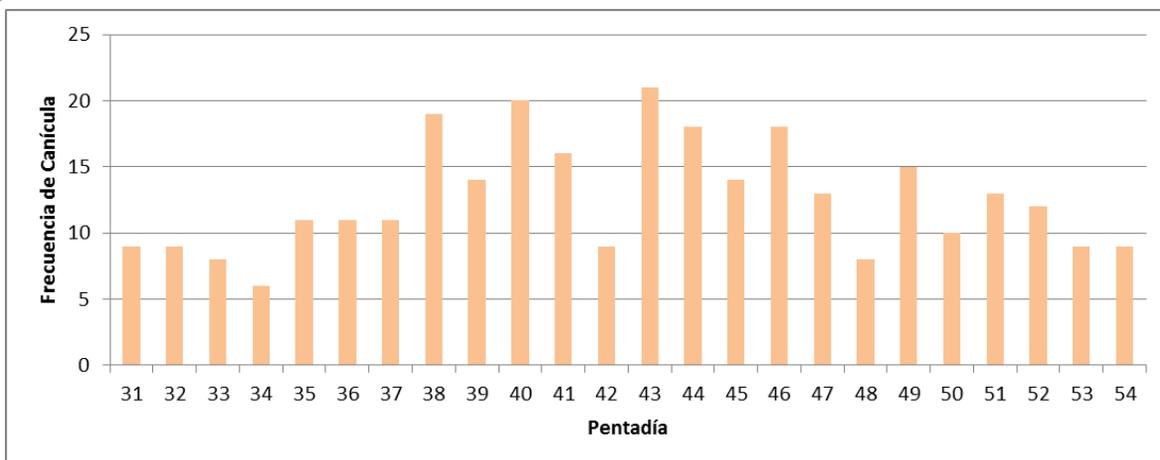


Figura 168. Frecuencias de los eventos del fenómeno de Canícula en la estación de La Ceibita

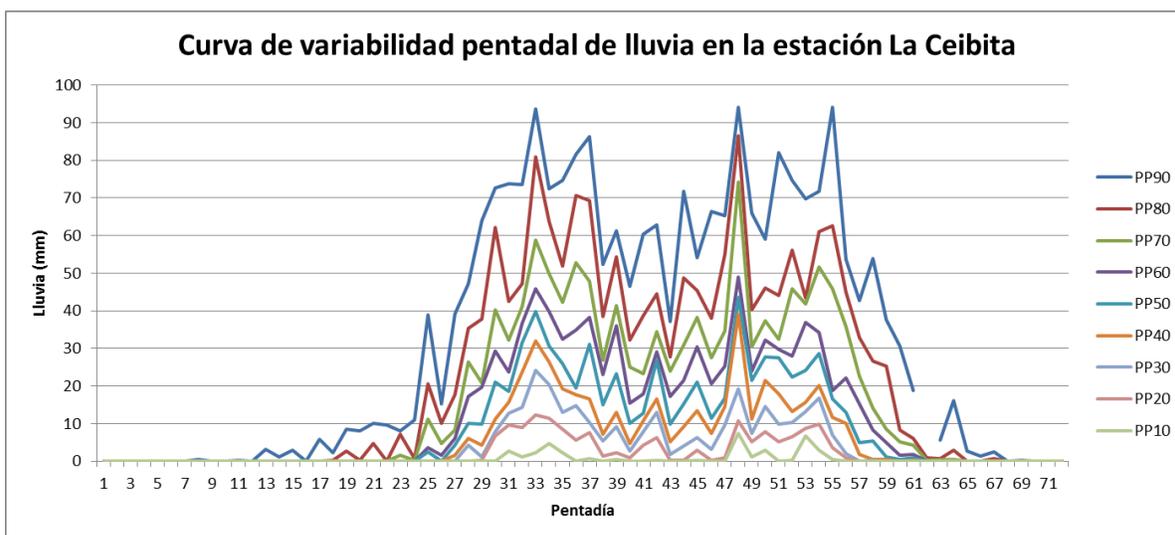


Figura 169. Curva de variabilidad de la lluvia pentadal en la estación de La Ceibita



VIII. Proyecciones futuras del clima en Guatemala

La conciencia de la medida en que el cambio de clima puede afectar el medio ambiente, la sociedad y la economía es cada vez mayor. El cambio climático a largo plazo se ha observado en las escalas de las cuencas continentales, regionales y del océano, debido al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero sobre todo de dióxido de carbono. Estos incluyen cambios en la cantidad de precipitación y los tiempos, temperaturas árticas, los patrones de viento, y los aspectos de las condiciones meteorológicas extremas, como fuertes precipitaciones, sequías y olas de calor (IPCC, 2007).

El patrón de la precipitación no se distribuye de manera uniforme y se rige por los patrones de circulación atmosférica y la humedad disponible. Estos dos factores se ven afectados por la temperatura por lo que se espera que el patrón de la precipitación a cambios debido a los cambios de temperatura (Trenberth, KE et al., 2007).

Los cambios incluyen el tipo de precipitación, la cantidad, la intensidad y la frecuencia. Las precipitaciones han aumentado en el Norte, Franja Transversal y Boca Costa, y la disminución de lluvias se marca en la Meseta Central, Oriente y Sur Oriente del país.

El clima de mesoescala fue obtenido con el modelo PRECIS, para dos períodos distintos:

- a) 1961-1990 que representa el clima actual modelado y que es utilizado como referencia (línea base);
- b) 2071-2100 que representa el clima del futuro con base en los escenarios de emisiones A2 y B1.
- c) Los datos para los períodos (2011-2040 y 2041-2070) fueron extrapolados mediante la técnica del patrón de escalamiento (Mitchell, 2003; Jones et al., 2004) a partir de la salida directa del MCG (HadAM3P) del período 2071-2100.

Por lo expuesto anteriormente, en este estudio se proporcionan escenarios de cambio climático para 238 estaciones pluviométricas y 149 estaciones tienen registros de temperatura de Guatemala, agrupadas en ocho regiones climáticas, con proyecciones generadas para los años 2030, 2050, 2070 y 2090 a partir de las salidas del modelo de circulación general HadAM3P bajo los SRES A2 y B1.

Las proyecciones futuras para las décadas 2020, 2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080 y 2090, bajo los parámetros del Special Report on Emissions Scenarios (SRES) A2 y B1, se construyeron a partir de las salidas de los modelos de circulación general Hadley. Las salidas del modelo fueron georreferenciadas y manipuladas con un sistema de información geográfica, con la finalidad de sobreponerles la ubicación de las estaciones climatológicas. Se creó la base de datos correspondiente a los incrementos de temperatura (°C) y a las variaciones

en la precipitación (mm/día), para generar los escenarios de clima futuro correspondientes a cada una de estas variables.

Las salidas del MCG fueron agrupadas por escenarios acuerdo al SRES (A2 y B1). En las figuras 3 y 4 a se proporcionan los gráficos de la climatología futura de lluvia y temperatura para las décadas 2030, 2050, 2070 y 2090. Y en los cuadros 1 y 2 se muestran las variaciones promedio por región de lluvia y temperatura.

8.1 Escenarios climáticos de precipitación

Actualmente, la precipitación anual a aumentado a nivel nacional, los cambios más fuertes se han registrado en las regiones de Boca Costa, Costa Sur y Norte con acumulado mayores a 230 mm; mientras las regiones de Meseta Central, Oriente y Caribe han registrado cambio entre 120 a 230 mm, y para el Occidente y Franja Transversal del Norte los cambio han sido entre 75 a 120 mm.

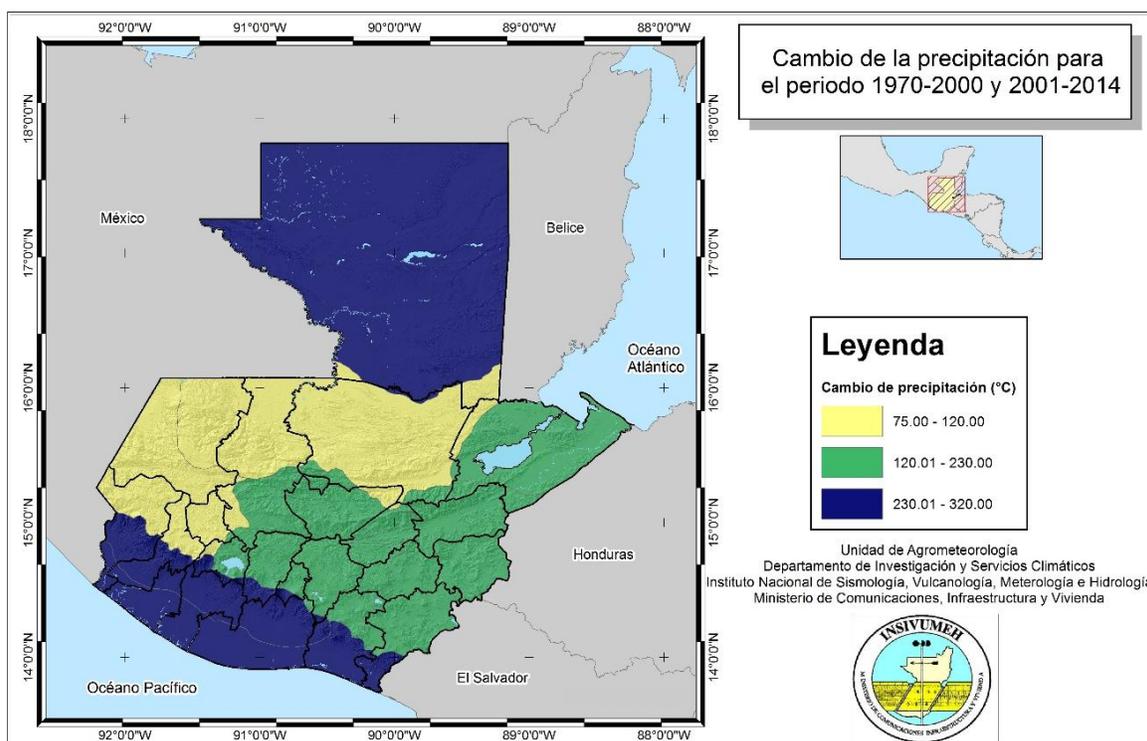


Figura 170. Cambio en la precipitación promedio para los periodos 1970 a 2000 y 2001 a 2014.

En las proyecciones futuras se observa una tendencia al incremento de la precipitación anual entre la década de 2010 a 2020. Sin embargo, de la década de 2030 a 2090 se observa una variabilidad bien marcada, ya que entre la década 2030 a 2040 se observa un decremento de la lluvia anual nacional, y entre la década de 2040 a 2050 se observa un incremento den la lluvia, y entre la décadas de 2050 a 2070 so observa un decremento de lluvia y posteriormente entre las décadas de 2070 a 2080 la lluvia vuelve a aumenta. El mismo comportamiento se

observa en ambas proyecciones; pero en el escenario A2 los cambios son más bruscos comparados con el escenario B1.

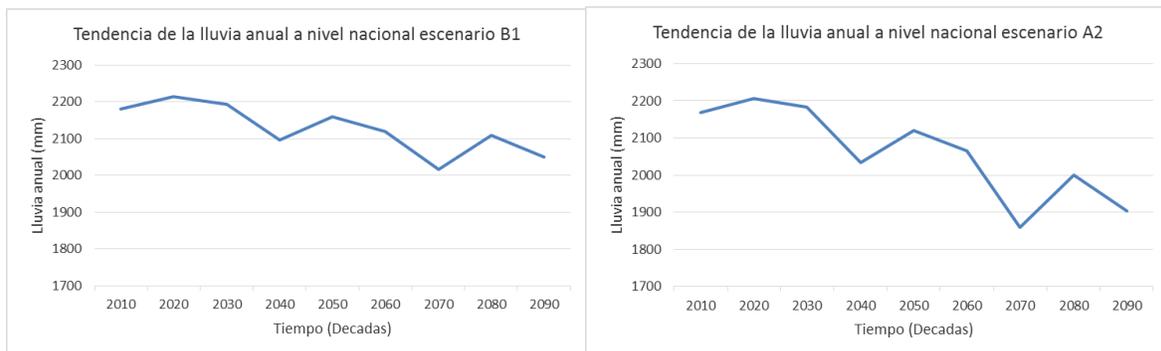


Figura 171. Promedio nacional de la precipitación anual bajo los escenarios B1 y A2.

En el cuadro 21, se observa el cambio de la precipitación por región y escenario, se observa que en las regiones de Altiplano Central, Occidente y Oriente del país presentarán los mayores impactos en reducción de los acumulados de lluvia, reducciones de entre un 15 al 20%. Esto repercutirá en el ambiente debido a que estas regiones son las que registran los menores acumulados de lluvia, lo cual impactará en la agricultura de subsistencia.

Cuadro 21. Porcentaje de anomalía de lluvia anual por década para el escenario B1.

Región	Lluvia anual (mm)	Anomalía de lluvia (%)							
		Escenario B1				Escenario A2			
		D30	D50	D70	D90	D30	D50	D70	D90
Caribe	3267.9	-6.2	-10.2	-14.1	-15.8	-6.9	-13.5	-23.2	-25.9
Oriente	758.3	-13.2	-15.7	-27.4	-32.4	-14.7	-20.7	-44.5	-52.7
	1378.1	-7.7	-9.1	-14.9	-19.2	-8.5	-11.9	-24.5	-31
Occidente	884.5	-6.6	-7.9	-24.1	-16.8	-7.4	-10.3	-38	-27.1
	1046.3	-3.7	-3.7	-12.6	-9.1	-4	-4.8	-20.7	-14.4
Altiplano Central	1204.5	-14.4	-16.6	-31.6	-34.8	-18.3	-25.4	-51.6	-63.5
	1067.6	-16.5	-19.6	-36.8	-40.4	-16	-21.5	-44.9	-56.3
Boca Costa	3271.8	-4.7	-5.5	-11.1	-11.9	-5.3	-7.1	-18.2	-19.4
	3725.5	-2.8	-3.8	-7.9	-7.1	-3.1	-4.8	-13.1	-11.7
Costa Sur	1579.6	-5.6	-6.2	-14.3	-14.2	-6.3	-8.1	-23.5	-23.4
	1519.6	-6.3	-7.4	-13.8	-15.7	-7.1	-9.7	-22.8	-25.5
Franja Transversal	2203.2	-7	-9.4	-17.6	-17.8	-7.8	-12.5	-29	-29.3
Norte	1739.3	-5	-8	-12.8	-12.7	-5.6	-10.6	-21.1	-20.9

Fuente: Elaboración propia

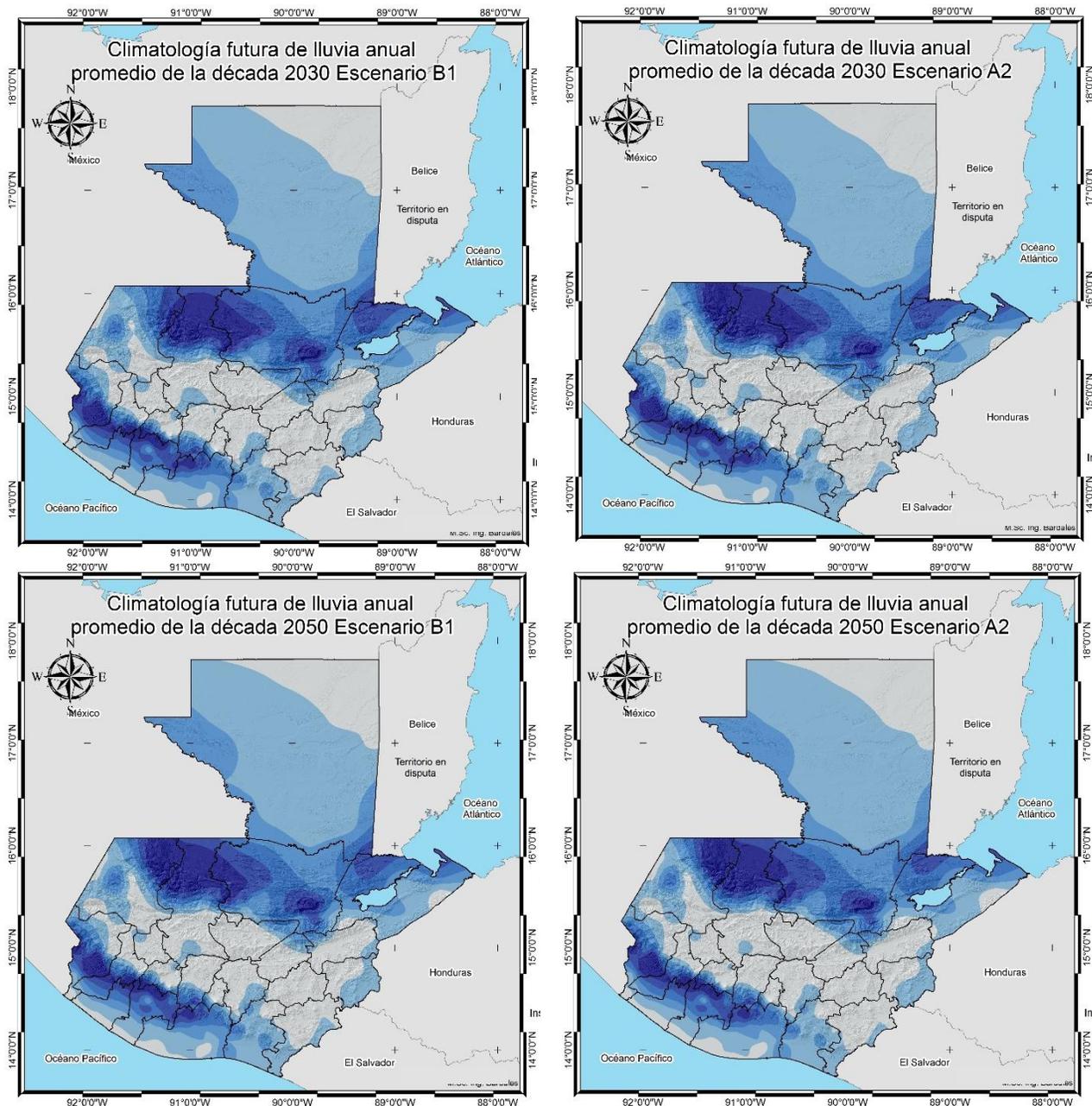


Figura 172. Lluvia anual para la década 2030 y 2050 bajo el escenario B1 y A2

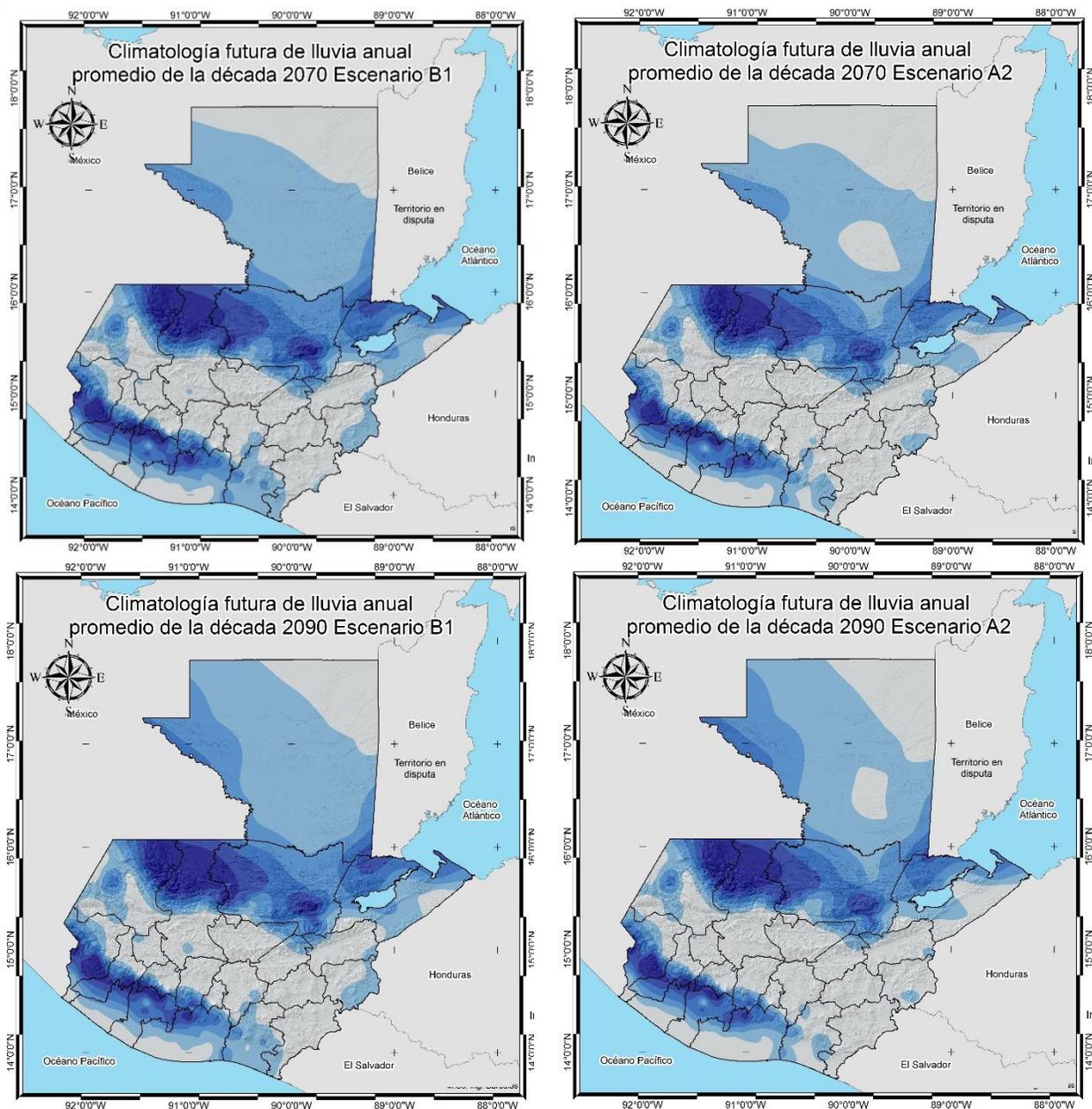


Figura 173. Lluvia anual para la década 2070 y 2090 bajo el escenario B1 y A2

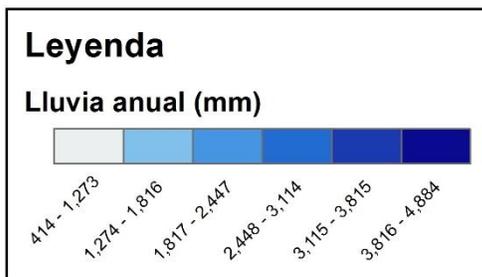


Figura 174. Leyenda de precipitación anual

8.2 Escenarios climáticos de temperatura promedio

En los últimos 14 años, la temperatura media anual a aumentado a nivel nacional; los cambios más fuertes se han registrado en las regiones de Occidente y Franja Transversal con un incremento de 0.96 a 1.4 °C; mientras las regiones de Meseta Central, Oriente, Costa Sur y Boca Costa ha registrado cambios entre 0.71 a 0.96 °C, y para el Norte y Caribe los cambio han sido entre 0.5 a 0.70 °C.

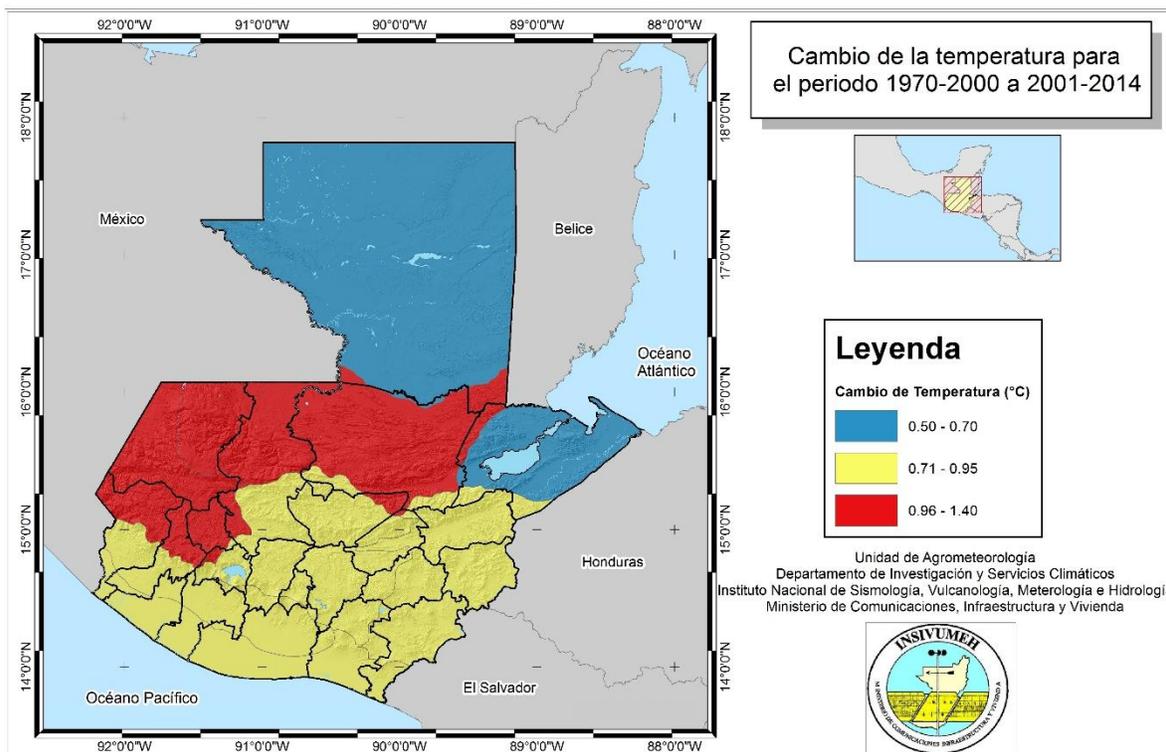


Figura 175. Cambio de la temperatura anual para el periodo 1970-200 y 2001-2014.

Las proyecciones de temperatura futuras presentan una tendencia creciente en ambos escenarios, el escenario A2 presenta un cambio mayor comparado al escenario B1. En los últimos 14 años el incremento de temperatura a nivel nacional ha sido de 0.94 °C, comparado con el periodo base (1971-2000). Las tendencias muestran cambios de temperatura 1.1 y 1.2 °C para la década del 2020, 1.3 y 1.5°C para la década de 2030, entre 2 y 2.7 °C para la década de 2050, entre 2.5 y 4.1 °C para la década de 2070, y entre 3.3 y 5.4 °C.

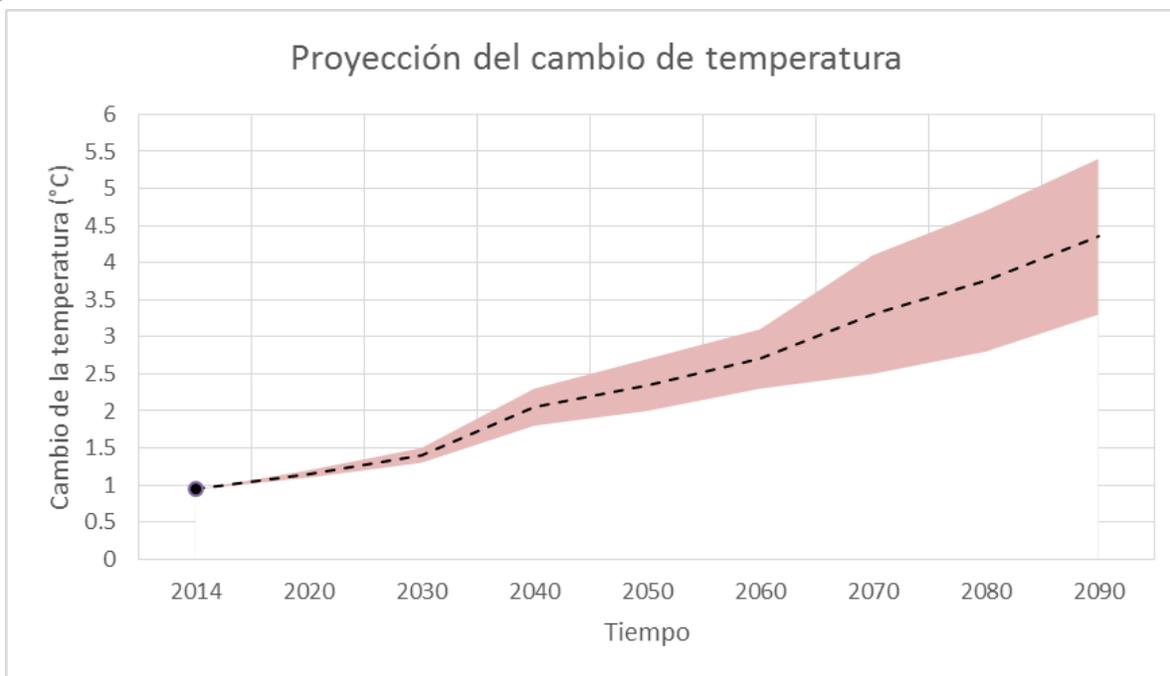


Figura 176. Proyección del cambio de temperatura bajo los escenarios B1 y A2.

En el cuadro 22, se muestra los incrementos de temperatura por región climática y bajo los escenarios B1 y A2, se observan los mayores incrementos en las Regiones del Norte, Caribe, Oriente y Costa Sur.

Cuadro 22. Anomalía de temperatura media por década para el escenario B1.

Región	Temperatura anual (°C)	Anomalía de temperatura media (°C)							
		Escenario B1				Escenario A2			
		2030	2050	2070	2090	2030	2050	2070	2090
Caribe	25.8	1.3	2.0	2.3	3.3	1.5	2.6	3.7	5.5
Oriente	27.5	1.4	2.1	2.7	3.6	1.5	2.8	4.5	5.9
	26.8	1.4	2.2	2.8	3.6	1.6	2.9	4.6	5.9
Occidente	14.0	1.2	2.0	2.4	3.0	1.4	2.6	4	5
	17.8	1.2	1.9	2.4	3.0	1.3	2.6	4	5
Altiplano Central	20.0	1.2	1.8	2.1	3.0	1.3	2.3	3.5	4.9
	16.4	1.2	1.8	2.2	3.0	1.4	2.4	3.6	5
Boca Costa	24.1	1.3	2.0	2.5	3.4	1.5	2.7	4.1	5.6
	26.0	1.3	2.0	2.4	3.3	1.4	2.7	4.1	5.5
Costa Sur	26.8	1.4	2.1	2.8	3.5	1.5	2.8	4.6	5.8
	27.4	1.4	2.2	2.8	3.6	1.6	2.9	4.6	5.9
Franja Transversal	18.8	1.2	1.8	2.2	2.9	1.3	2.3	3.6	4.8
Norte	25.9	1.4	2.3	2.8	3.6	1.6	3.1	4.6	5.9

Fuente: Elaboración propia



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

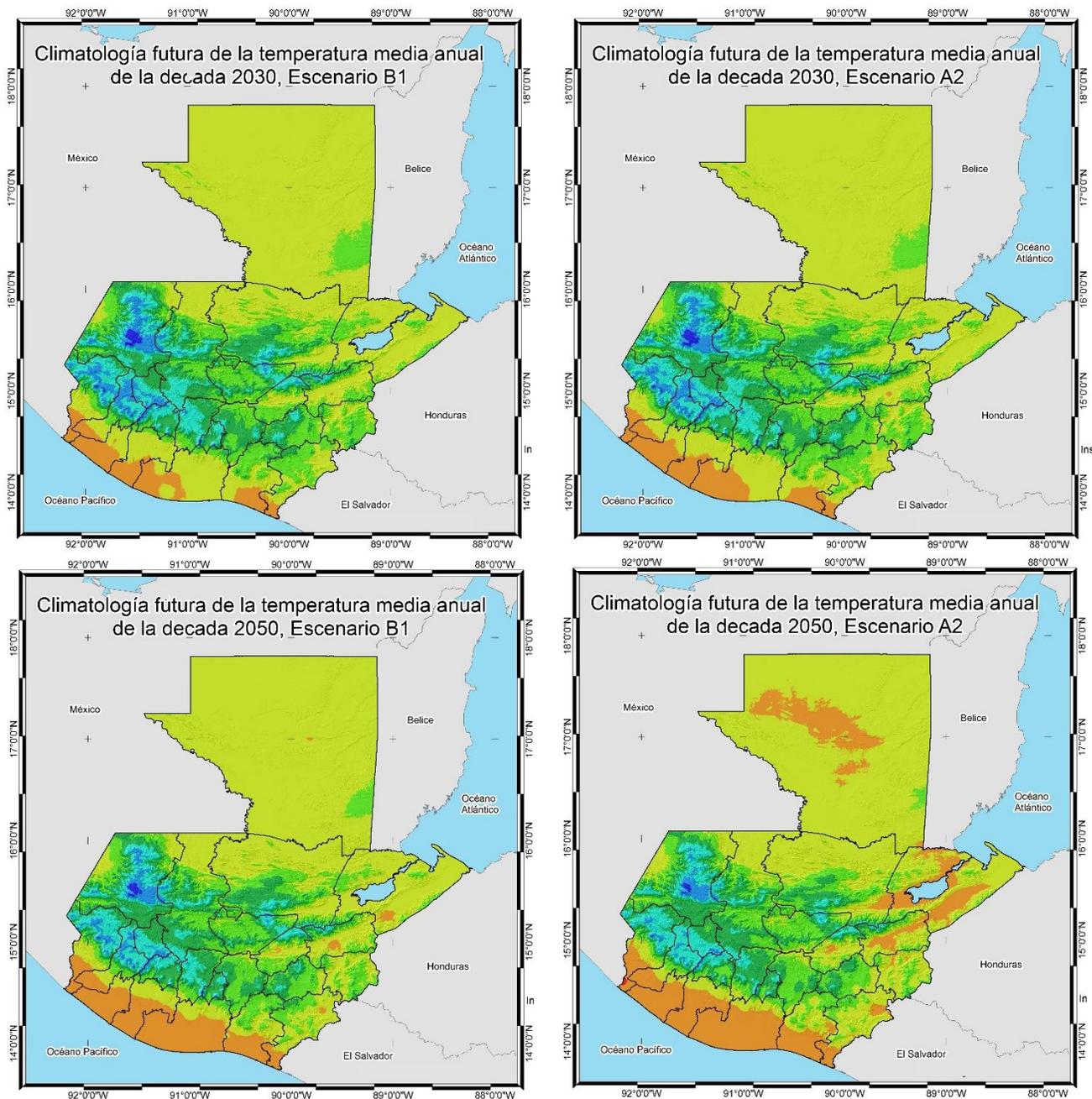


Figura 177. Temperatura media anual para la década 2030 y 2050 bajo el escenario B1 y A2



Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala

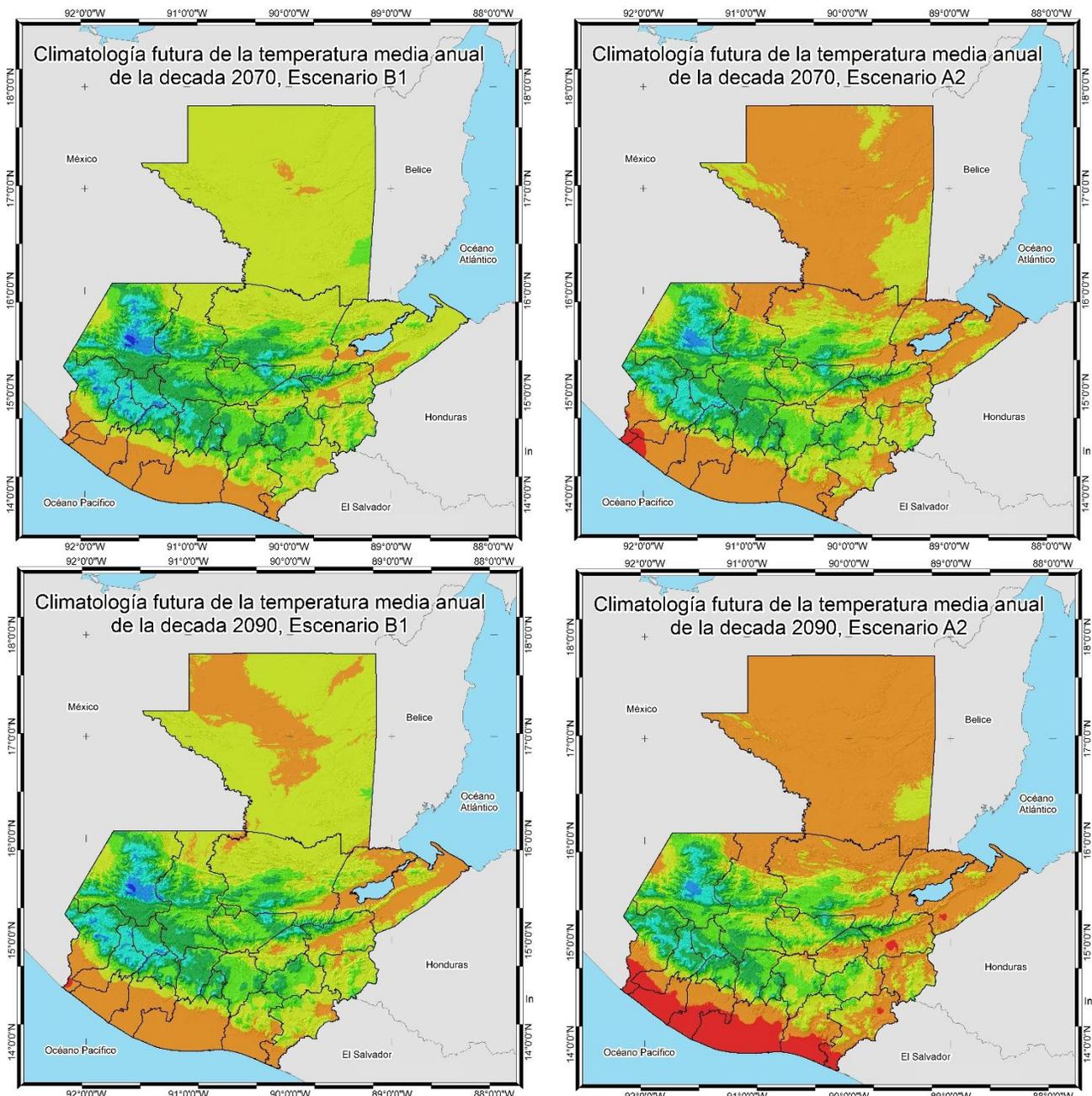


Figura 178. Temperatura media anual para la década 2070 y 2090 bajo el escenario B1 y A2.

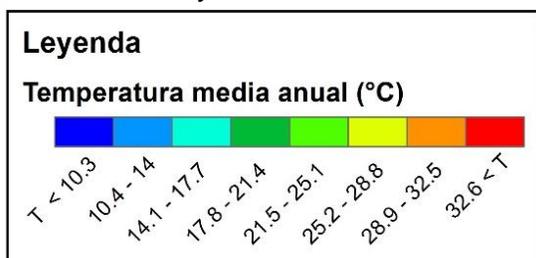


Figura 179. Leyenda de la temperatura media anual



8.3 Escenarios de balances climáticos

En este estudio se realiza el balance climático bajo la condición de escenarios futuros A2 y B1 para las décadas de 2030, 2050, 2070 y 2090, para cada una de las regiones climáticas de Guatemala. Se determinó a escala anual la lámina de cada uno de los elementos que conforman el balance (ecuación 1).

$$\text{Balance climático} = \text{Precipitación} - \text{Evapotranspiración potencial} \quad \text{Ec. 1}$$

Como es bien sabido, el balance climático está siendo fuertemente afectado por la actividad humana desde la escala local hasta la global. Por tal motivo, es importante la evaluación del impacto del cambio climático sobre el recurso hídrico potencial en el futuro. Para estimar la evapotranspiración potencial (ETP) mensual, se utilizó la metodología de Hargreaves.

El mayor impacto de la disponibilidad hídrica se esperaría en los departamentos de Baja Verapaz, Sacatepéquez, Totonicapán, Chimaltenango, Guatemala, El Progreso, Zacapa, Jutiapa, Chiquimula, sur de Quiché, y sur de Huehuetenango. Se espera una disminución de los acumulados de lluvia hasta de un 50% en la zona semiárida del país (Corredor seco). Además se observa que la zona semiárida del país se extiende en área, presentando una mayor área afectada en el escenario A2.

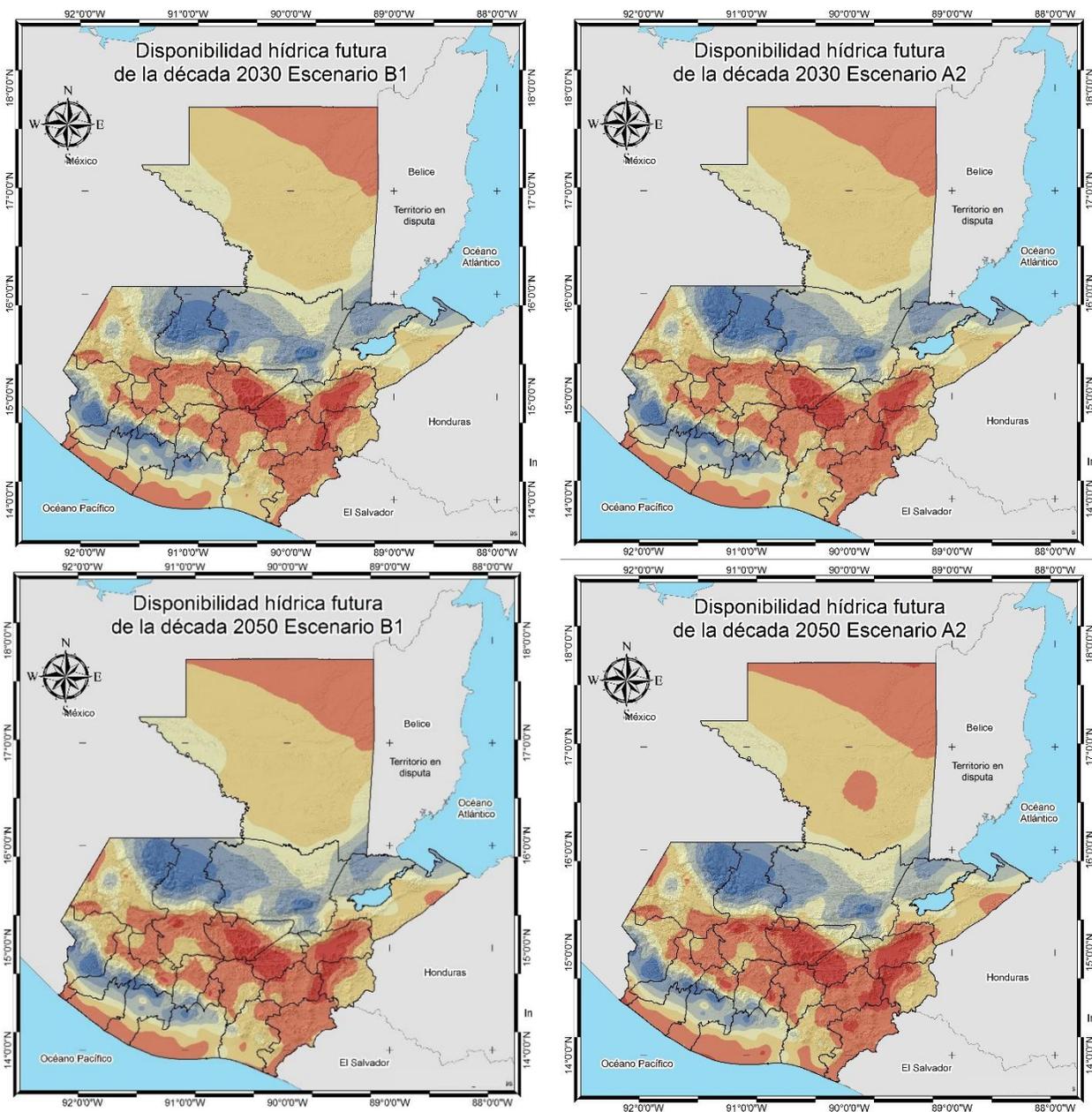


Figura 180. Disponibilidad hídrica futura para la década 2030 y 2050 bajo el escenario B1 y A2

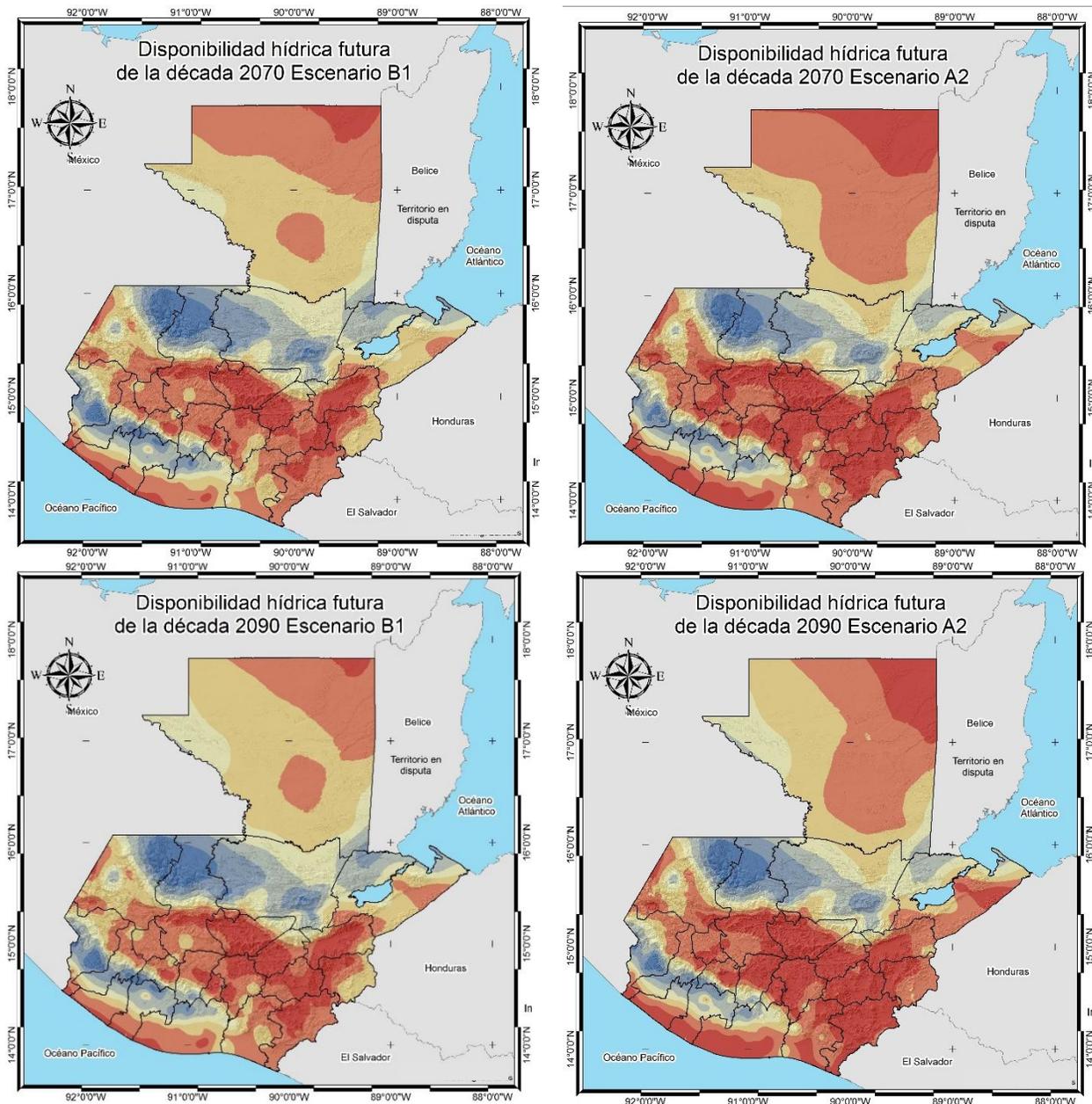


Figura 181. Disponibilidad hídrica futura para la década 2070 y 2090 bajo el escenario B1 y A2

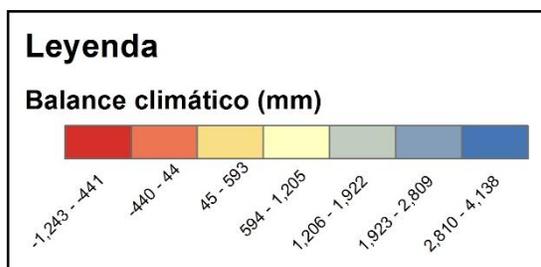


Figura 182. Legenda de la disponibilidad hídrica Futura



IX. Conclusiones

- El INSIVUMEH en cumplimiento con la misión encomendada por el gobierno de Guatemala, se ha encargado del monitoreo y registro de las variables hidrometeorológicas, crear y analizar los escenarios de cambio climáticos, para ser utilizados por los distintos sectores del país como una herramienta para la toma de decisiones.
- La temperatura está aumentando, lo que provocará un aumento de las olas de calor, y a la vez un incremento en las tasas de evaporación y reducción en la humedad residual del suelo.
- Las olas de calor se producen cuando la temperatura máxima es superior a 38°C durante 3 días consecutivos. Con un nivel de confianza del 95%, el número de olas de calor ha aumentado en la región Oriental y Norte en los meses de marzo, abril y mayo.
- Las noches frías están disminuyendo, la cantidad de heladas se está reduciendo. Sin embargo, la intensidad estará en función de la masa de aire frío proveniente de las latitudes altas o de las pérdidas de energía por radiación.
- La probabilidad de ocurrencia de heladas ha disminuido en la región occidental, pero en la meseta central permanece igual y el área amenazada por la ocurrencia de heladas puede variar en función del comportamiento de la Oscilación Ártica y El Niño Oscilación Sur.
- Los días de lluvia están disminuyendo, la intensidad de la lluvia va en aumento, cada vez se tienen más eventos de lluvia extremos, de los cuales solo el 24 % es representado por ciclones tropicales y el 76% se debe a eventos no ciclónicos.
- La canícula es un evento que se presenta en julio y agosto y su duración varía entre 10 a 15 días; pero bajo efecto del fenómeno del ENOS en fase positiva suele presentarse una canícula con una duración entre 30 a 50 días, lo que provoca un déficit de lluvia en los meses de julio y agosto.
- La región Norte, Franja Transversal y Caribe se ve afectada en disminución de lluvia por debajo de lo normal, cuando hay un fenómeno de El Niño de moderado a fuerte y la temperatura superficial del océano Atlántico Tropical está por debajo de lo normal (Enfriamiento).
- El mayor impacto de la disponibilidad hídrica se esperaría en los departamentos de Baja Verapaz, Sacatepéquez, Totonicapán, Chimaltenango, Guatemala, El Progreso, Zacapa, Jutiapa, Chiquimula, sur de Quiché, y sur de Huehuetenango.



- Se espera una disminución de los acumulados de lluvia hasta de un 50% en la zona semiárida del país (Corredor seco).

X. Bibliografía

1. ANACAFE (Asociación Nacional del Café) .2016. Datos de diario de las estaciones para el periodo 2008 a 2015. Formato digital.
2. Alfaro, E. y L. Cid, 1999. Análisis de las anomalías en el inicio y el término de la estación lluviosa en Centroamérica y su relación con los océanos Pacífico y Atlántico Tropical. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos. 6(1):1-13,1999 Costa Rica.
3. Bardales, W. A. 2012. Boletín climatológico de Canícula. INSIVUMEH. Guatemala. 5 p.
4. Bardales, W. A. 2015. Variabilidad y cambio climático de Guatemala (Borrador). INSIVUMEH. Guatemala. 126 p.
5. Gómez, R. 2014. Índices de cambio climático para la Vertiente del Pacífico. Tesis de grado. Facultad de Agronomía, USAC
6. García, L., Fernández, W., 1996 b: Un análisis de la lluvia diaria en El Salvador: La Canícula y el comienzo y final de la estación lluviosa. Revista Geofísica, 45, 5-42, Costa Rica.
7. Herrera, L. 2007. Índice de Anomalía de Presión atmosférica (IAPA). INSIVUMEH. Guatemala.
8. INDE (Instituto Nacional de Electrificación) .2016. Datos de diario de la red de estaciones para el periodo 1970 a 2015. Formato digital
9. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología) .2016. Datos diarios de la red de estaciones INSIVUMEH para el periodo 1970 a 2015. Formato digital
10. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología) .2002. El fenómeno de El Niño y sus impactos en Guatemala.
11. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología) .1983. Caracterización de Heladas en el Altiplano Occidental.
12. IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). 2007. Cambio climático 2007. Base de las ciencias físicas. Resumen para responsables de políticas. Resumen técnico. Preguntas frecuentes. Contribución del Grupo de Trabajo 1 al Cuarto Informe de Evaluación. OMM-UNEP. 153p.



13. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales). 2001. Primera comunicación de cambio climático. Digital
14. NOAA. Base de datos de huracanes y eventos del fenómeno de El Niño Oscilación Sur.
15. Pacay, N. 2015. Análisis de eventos extremos de lluvia diaria en Guatemala. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería, USAC. 213 p.
16. Sanders, K. 2015. Imagen del Fenómeno de El Niño Oscilación Sur (en línea). Disponible en: <http://www.tampabay.com/specials/2010/graphics/la-nina-vs-el-nino/>. Bad hurricane season ahead. Consultado: octubre 2015.
17. Sulca, J. C. (2010a). Identificación de veranillos en el valle del río Mantaro en: Compendio de trabajos de investigación realizado por estudiantes durante el año 2009, Instituto Geofísico del Perú, 11, 51-54.
18. Zárate, E. 2005. Comportamiento de los empujes fríos que alcanzan Centroamérica y el Caribe. "Evaluación de impactos ocasionados por eventos extremos sobre el sector hídrico y medidas de adaptación bajo condiciones de Cambio Climático en América Central. (AIACC-LA06). Sistema de la Integración Centroamericana (SICA). Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH). Universidad de Costa Rica (UCR). Centro de Investigaciones Geofísicas de la UCR. San José, Costa Rica. 22p.