

**Proyección de la variación de la temperatura y la precipitación ante Cambio Climático para Bogotá**

Omar Felipe De Jesús Escobar García

Informe Final de Opción de Grado

**Christian Euscátegui Collazos**  
**Ing. Geógrafo. Msc. en Meteorología**  
**Director**

Universidad Santo Tomas  
Facultad de ingeniería Ambiental  
Bogotá  
2012

**Proyección de la variación de la temperatura y la precipitación ante Cambio Climático para Bogotá**

Omar Felipe De Jesús Escobar García

Universidad Santo Tomas  
Facultad de ingeniería Ambiental

Bogotá

2012

# CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>RESUMEN.....</b>  | <b>12</b> |
| <b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>                                | <b>13</b> |
| <b>2. JUSTIFICACION .....</b>  | <b>14</b> |
| <b>3. OBJETIVOS .....</b>  | <b>15</b> |
| 3.1 Objetivo General .....   | 15        |
| 3.2 Objetivo Especifico.....   | 15        |
| <b>4. MARCO REFERENCIAL.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>4.1 MARCO CONTEXTUAL .....</b>  | <b>16</b> |
| 4.1.1 Contexto General.....  | 16        |
| 4.1.2 IDEAM .....  | 17        |
| 4.1.3 Area de estudio.....   | 19        |
| 4.1.4 Localidades de Bogotá .....  | 21        |
| 4.1.5 Estaciones usadas en el proyecto.....                              | 22        |
| <b>4.2 MARCO TEORICO .....</b>   | <b>23</b> |
| 4.2.1 Cambio Climatico como teoria base de la investigacion.....         | 23        |
| 4.2.2 Origen.....  | 23        |
| 4.2.3 El Cambio Climatico y su panorama en Colombia .....                | 24        |
| 4.2.4 Por que es importante estudiar el Cambio Climatico.....            | 25        |
| 4.2.5 Escenarios del Cambio Climatico.....                               | 26        |
| 4.2.5.1 Ejemplo de Escenarios en Colombia.....                           | 29        |
| 4.2.6 Eventos climaticos extremos.....                                   | 30        |
| 4.2.6.1 Principales manifestaciones de eventos climaticos extremos.....  | 30        |
| 4.2.6.2 Principales afectaciones de los eventos climaticos extremos..... | 30        |
| <b>4.3 MARCO CONCEPTUAL .....</b>  | <b>31</b> |
| 4.3.1 Tiempo.....  | 31        |
| 4.3.2 Clima .....  | 31        |
| 4.3.3 Metereologia .....   | 31        |
| 4.3.4 Climatologia .....   | 31        |
| 4.3.5 Celda de Walker .....  | 31        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.3.6 Termoclina .....                                  | 32        |
| 4.3.7 Ensamble Multimodelo.....                         | 32        |
| 4.3.8 Era40 .....                                       | 32        |
| 4.3.9 Echam5 .....                                      | 33        |
| 4.3.10 HadCM3 .....                                     | 33        |
| 4.3.11 PRECIS .....                                     | 33        |
| 4.3.12 Metodo Dinamico y Estadistico .....              | 34        |
| 4.3.13 Variacion Temporal.....                          | 35        |
| 4.3.14 Variable Dependiente .....                       | 35        |
| 4.3.15 Variable Independiente .....                     | 35        |
| 4.3.16 Valor Típico.....                                | 35        |
| 4.3.17 Clasificacion Climatica de Lang .....            | 36        |
| 4.3.18 Jaziku .....                                     | 36        |
| 4.3.19 Zona Niño 3.4 .....                              | 37        |
| 4.3.20 Proyeccion .....                                 | 38        |
| 4.3.21 Proyeccion Climatica .....                       | 38        |
| 4.3.22 Modelo Globlas de Cambio Climatico .....         | 38        |
| 4.3.23 Cambio Climatico.....                            | 38        |
| 4.3.24 Escenario Local de Cambio Climatico.....         | 39        |
| 4.3.25 Escenario Regional de Cambio Climatico .....     | 39        |
| 4.3.26 Gases de Efecto Invernadero .....                | 39        |
| 4.3.27 Sistema Climatico .....                          | 39        |
| 4.3.28 BOX-PLOT.....                                    | 39        |
| 4.3.29 Cuartil .....                                    | 40        |
| 4.3.30 Percentil.....                                   | 40        |
| <b>4.4 MARCO LEGAL.....</b>                             | <b>40</b> |
| <b>5. ESTADO DEL ARTE .....</b>                         | <b>41</b> |
| <b>6. METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO .....</b>           | <b>42</b> |
| <b>7. DESAROLLO .....</b>                               | <b>44</b> |
| <b>7.1 CONSTRUIR LA BASE DE DATOS .....</b>             | <b>44</b> |
| 7.1.1 Descripcion de las bases de datos empleadas ..... | 44        |
| 7.1.1.1 Precipitacion. ....                             | 44        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 7.1.1.2    | Temperatura Media.....  | 46        |
| 7.1.1.3    | Temperatura Minima y Maxima.....                                      | 47        |
| 7.1.2      | Estimacion de la Precipitacion Mensual a partir de datos diarios..... | 48        |
| 7.1.2.1    | Precipitacion.....  | 48        |
| 7.1.2.2    | Temperatura Media,Maxima,Minima.....                                  | 49        |
| 7.1.3      | Contruccion detalladas de la bases de datos finales.....              | 50        |
| 7.1.3.1    | Precipitacion.....  | 50        |
| 7.1.3.1.1  | Aplicación de los Criterios.....                                      | 51        |
| 7.1.3.1.2  | Algoritmo.....  | 54        |
| 7.1.3.2    | Temperatura media,minima y maxima.....                                | 55        |
| 7.1.3.2.1  | Aplicación de los criterios.....                                      | 56        |
| 7.1.3.2.2  | Algoritmos.....   | 67        |
| 7.1.3.2.3  | Aplicación Software TSW.....  | 67        |
| <b>7.2</b> | <b>DESCRIPCION DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES.....</b>           | <b>59</b> |
| 7.2.1      | Precipitacion.....  | 59        |
| 7.2.2      | Temperatura (Tmin,Tmed,Tmax).....                                     | 60        |
| <b>7.3</b> | <b>VARIABILIDAD CLIMATICA.....</b>                                    | <b>61</b> |
| <b>7.4</b> | <b>ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO.....</b>                            | <b>63</b> |
| 7.4.1      | Selección del Escenario de Emisiones.....                             | 63        |
| 7.4.2      | Selección del Modelo Global.....                                      | 64        |
| 7.4.2.1    | Criterios de seleccion.....   | 64        |
| 7.4.2.2    | Evaluacion de los Criterios.....                                      | 65        |
| 7.4.2.3    | Selección final de los modelos.....                                   | 68        |
| 7.4.3      | Seleccionar el metodo para generar la regionalizacion.....            | 68        |
| 7.4.4      | Condiciones iniciales y de frontera.....                              | 72        |
| 7.4.5      | Eventos Extremos.....   | 75        |
| <b>7.5</b> | <b>ELABORACION DE MAPAS.....</b>                                      | <b>76</b> |
| 7.5.1      | Explicacion Categorias.....   | 76        |
| <b>8.</b>  | <b>RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>                                      | <b>79</b> |
| <b>8.1</b> | <b>COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS.....</b>                | <b>79</b> |
| 8.1.1      | Precipitacion.....  | 79        |
| 8.1.2      | Temperatura minima, media y maxima.....                               | 88        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>8.2 VARIABILIDAD CLIMATICA .....</b>                | <b>97</b>  |
| 8.2.1 Precipitacion .....                              | 97         |
| 8.2.2 Temperatura Media.....                           | 103        |
| 8.2.3 Tempertura Maxima.....                           | 108        |
| 8.2.4 Temperatura Minima.....                          | 113        |
| <b>8.3 ESCENARIOS .....</b>                            | <b>117</b> |
| 8.3.1 Cambio porcentaje de precipitacion .....         | 117        |
| 8.3.2 Diferencia de Temperatura .....                  | 120        |
| 8.3.2.1 Temperatura Media.....                         | 121        |
| 8.3.2.2 Temperatura Minima.....                        | 123        |
| 8.3.2.3 Temperatura Maxima.....                        | 126        |
| 8.3.3 Comportamiento Proyectada .....                  | 129        |
| 8.3.3.1 Precipitacion. ....                            | 129        |
| 8.3.3.2 Temperatura Media.....                         | 131        |
| 8.3.3.3 Temperatura Minima.....                        | 133        |
| 8.3.3.4 Temperatura Maxima.....                        | 135        |
| 8.3.4 Clasificacion Climatica de lang .....            | 137        |
| 8.3.5 Eventos Extremos.....                            | 140        |
| 8.3.5.1 Limite interno superior.....                   | 140        |
| 8.3.5.1.1 Precipitacion. ....                          | 140        |
| 8.3.5.1.2 Temperatura Media.....                       | 142        |
| 8.3.5.1.3 Temperatura Minima .....                     | 143        |
| 8.3.5.1.4 Temperatura Maxima .....                     | 144        |
| 8.3.5.2 Probabilidad de Ocurrencia.....                | 145        |
| <b>8.4 SINTESIS DE RESULTADOS O CONCLUSIONES .....</b> | <b>146</b> |
| 8.4.1 Frente a Variabilidad Climatica .....            | 146        |
| 8.4.2 Frente a escenarios de Cambio Climatico.....     | 146        |
| <b>9. COMPARACION CON OTROS TRABAJOS.....</b>          | <b>148</b> |
| <b>10. BENEFICIOS DEL TRABAJO DESARROLLADO .....</b>   | <b>150</b> |
| <b>11. RECOMENDACIONES.....</b>                        | <b>152</b> |
| <b>12. BIBLIOGRAFIA .....</b>                          | <b>153</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 1. Estructura General del SINA.....                               | 16  |
| FIGURA 2. Organigrama IDEAM.....   | 19  |
| FIGURA 3. Mapa de Bogota D.C.....  | 20  |
| FIGURA 4. Localidades de Bogota .....                                    | 21  |
| FIGURA 5. Mapa localidades de Bogota.....                                | 21  |
| FIGURA 6. Distribucion Espacial de estaciones por variable.....          | 22  |
| FIGURA 7. Estado del arte del Cambio Climatico .....                     | 26  |
| FIGURA 8. Familias y tipos de Escenarios.....                            | 27  |
| FIGURA 9. Caracteristicas de los Escenarios.....                         | 28  |
| FIGURA 10. Temperatura del aire .....                                    | 29  |
| FIGURA 11. Precipitacion.....  | 29  |
| FIGURA 12. Zonas del Niño.....   | 37  |
| FIGURA 13. Estructura general de resultados en jaziku .....              | 61  |
| FIGURA 14. Principales Institutos con sus respectivos modelos .....      | 64  |
| FIGURA 15. Resultados de los criterios evaluados.....                    | 65  |
| FIGURA 16. Evaluacion regional de la precipitacion.....                  | 66  |
| FIGURA 17. Evaluacion regional de la temperatura .....                   | 66  |
| FIGURA 18. Variacion anual de precipitacion en mm.....                   | 67  |
| FIGURA 19. Variacion anual temperatura en °C.....                        | 67  |
| FIGURA 20. Coeficiente de correlacion.....                               | 68  |
| FIGURA 21. Condiciones de frontera para un modelo global .....           | 72  |
| FIGURA 22. Condiciones de frontera nacional y regional.....              | 72  |
| FIGURA 23. Punto de corte del modelo regional PRECIS .....               | 72  |
| FIGURA 24. Indice confianza temperatura .....                            | 74  |
| FIGURA 25. Indice confianza precipitacion.....                           | 74  |
| FIGURA 26. Diagrama BOX-PLOT Estacion El Dorado TMin °C .....            | 75  |
| FIGURA 27. Variacion media mensual anual de la Precipitacion en mm ..... | 88  |
| FIGURA 28. Limite Interno superior de la Precipitacion en mm .....       | 140 |
| FIGURA 29. Diagrama BOX-PLOT Estaciones de Precipitacion en mm.....      | 141 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>FIGURA 30. Diagrama BOX-PLOT Estaciones de Precipitacion en mm.....</b>     | <b>141</b> |
| <b>FIGURA 31. Diagrama BOX-PLOT Estaciones de Precipitacion en mm.....</b>     | <b>141</b> |
| <b>FIGURA 32. Limite Interno superior de la Temperatura media en °C .....</b>  | <b>142</b> |
| <b>FIGURA 33. Diagrama BOX-PLOT Estaciones Temperatura Media en °C. ....</b>   | <b>142</b> |
| <b>FIGURA 34. Limite Interno superior de la Temperatura Minima en °C .....</b> | <b>143</b> |
| <b>FIGURA 35. Diagrama BOX-PLOT Estaciones Temperatura Minima en °C.....</b>   | <b>143</b> |
| <b>FIGURA 36. Limite Interno superior de la Temperatura Maxima en °C .....</b> | <b>144</b> |
| <b>FIGURA 37. Diagrama BOX-PLOT Estaciones Temperatura Maxima en °C .....</b>  | <b>144</b> |
| <b>FIGURA 38. Probabilidad de ocurrencia Temperatura (Tmed,Tmin,Tmax).....</b> | <b>145</b> |
| <b>FIGURA 39. Comparacion con otro trabajos.....</b>                           | <b>148</b> |

## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Clasificacion Climatica de Lang .....                                   | 36 |
| Tabla 2. Trimestres manejados por Jaziku .....                                   | 37 |
| Tabla 3. Estaciones del IDEAM para Precipitacion.....                            | 45 |
| Tabla 4. Estaciones SDA para Precipitacion.....                                  | 45 |
| Tabla 5. Codigos Estaciones Acueducto para Precipitacion.....                    | 46 |
| Tabla 6. Estaciones IDEAM para T. media.....                                     | 46 |
| Tabla 7. Estaciones SDA para T. media .....                                      | 47 |
| Tabla 8. Estaciones IDEAM para T Minina-T Maxima .....                           | 47 |
| Tabla 9. Ejemplo estimacion datos Precipitacion a patir de datos horarios.....   | 48 |
| Tabla 10. Ejemplo estimacion datos T media a partir de datos horarios .....      | 49 |
| Tabla 11. Porcentaje de datos.....   | 50 |
| Tabla 12. Estaciones con más del 70% de los datos frente al período 1971-201051  |    |
| Tabla 13. Clasificacion de las estaciones por variacion temporal .....           | 53 |
| Tabla 14. Rangos de Clasificacion por Elevacion .....                            | 55 |
| Tabla 15. Resultados Clasificacion por Elevacion .....                           | 56 |
| Tabla 16. Cantidad de estaciones por rango de clasificacion de elevacion .....   | 57 |
| Tabla 17. Valores típicos de temperatura (Mínina, Media, Máxima) para Bogotá .57 |    |
| Tabla 18. Ejemplo archivo .....  | 58 |
| Tabla 19. Ejemplo archivo de salida .....  | 59 |
| Tabla 20. Promedios mensuales multianuales de precipitacion en mm .....          | 59 |
| Tabla 21. Total multianual de precipitacion en mm .....                          | 59 |
| Tabla 22. Precipitacion media mensual en mm .....                                | 60 |
| Tabla 23. Promedios mensuales multianuales de la temperatura media en °C ....    | 60 |
| Tabla 24. Promedio multianual de temperatura media en °C .....                   | 60 |
| Tabla 25. Archivo de entrada a Jaziku.....                                       | 62 |
| Tabla 26. Archivo de entrada a Jaziku-Variable Independiente.....                | 62 |
| Tabla 27. Archivo arrojado por el script.....                                    | 63 |
| Tabla 28. Modelos globales implementados.....                                    | 68 |
| Tabla 29. Valores del indice de confianza .....                                  | 74 |
| Tabla 30. Estructura de datos para BOX-PLOT –Estacion el Dorado-Tmin .....       | 75 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Tabla 31. Ejemplo elaboracion mapas categoria 2 .....</b>   | <b>78</b>  |
| <b>Tabla 32. Promedios mensuales multianuales de la precipitacion en mm para el periodo 1971-2010.....</b> | <b>79</b>  |
| <b>Tabla 33. Promedios mensuales multianuales T min en °C para el periodo 1971-2010 .....</b>              | <b>89</b>  |
| <b>Tabla 34. Promedios mensuales multianuales T min en °C para el periodo 1971-2010 .....</b>              | <b>89</b>  |
| <b>Tabla 35. Promedios mensuales multianuales T max en °C para el periodo 1971-2010 .....</b>              | <b>90</b>  |
| <b>Tabla 36. Promedio MultiAnual de la temperatura (Mínima, Media, Máxima) en °C para 1971-2010 .....</b>  | <b>90</b>  |
| <b>Tabla 37. Cambio Porcentaje para precipitacion .....</b>  | <b>117</b> |
| <b>Tabla 38. Diferencia para T media en °C.....</b>  | <b>120</b> |
| <b>Tabla 39. Diferencia para T minima °C.....</b>  | <b>123</b> |
| <b>Tabla 40. Diferencia para T maxima °C.....</b>  | <b>126</b> |

## LISTA DE MAPAS

|   |     |
|---|-----|
| Mapa 1-4. Distribucion Espacial de la precipitacion en mm a nivel década .....  | 81  |
| Mapa 5. Distribucion Espacial de la precipitacion en mm .....                   | 82  |
| Mapa 6-9. Distribución espacial de la temperatura media en °C a nivel década .  | 92  |
| Mapa 10. Distribucion Espacial Tmedia en °C .....                               | 93  |
| Mapa 11-14. Distribución espacial de la temperatura mínima en °C a nivel década | 94  |
| Mapa 15. Distribucion Espacial Tmin en °C .....                                 | 94  |
| Mapa 16-19. Distribución espacial de la temperatura mínima en °C a nivel década | 95  |
| Mapa 20. Distribucion Espacial Tmax en °C.....                                  | 96  |
| Mapa 21-56.Variabilidad Climatica Precipitacion para los 12 trimestres .....    | 100 |
| Mapa 57-92.Variabilidad Climatica T Media para los 12 trimestres .....          | 105 |
| Mapa 93-128.Variabilidad Climatica T Maxima para los 12 trimestres .....        | 110 |
| Mapa 129-164.Variabilidad Climatica T Minima para los 12 trimestres .....       | 114 |
| Mapa 165-168. Porcentaje observado de Precipitacion .....                       | 118 |
| Mapa 169-177. Cambio proyectado en Porcentaje de Precipitacion .....            | 119 |
| Mapa 178-181.Diferencia observada para Temperatura media en °C.....             | 121 |
| Mapa 182-190.Diferencia proyectada para Temperatura media en °C.....            | 122 |
| Mapa 191-194.Diferencia observada para Temperatura minima en °C.....            | 124 |
| Mapa 195-203.Diferencia proyectada para Temperatura minima en °C.....           | 125 |
| Mapa 204-207.Diferencia observada para Temperatura maxima en °C.....            | 126 |
| Mapa 208-216.Diferencia proyectada para Temperatura maxima en °C.....           | 128 |
| Mapa 217-225. Comportamiento Proyectado de la Precipitación en mm.....          | 130 |
| Mapa 226-234. Comportamiento Proyectado de la Temperatura media en °C.....      | 132 |
| Mapa 235-243. Comportamiento Proyectado de la Temperatura minima en °C ..       | 134 |
| Mapa 244-252. Comportamiento Proyectado de la Temperatura maxima en °C..        | 136 |
| Mapa 253.Clasificacion Climatica de LANG observada .....                        | 137 |
| Mapa 254-262.Clasificacion Climatica de LANG proyectada .....                   | 138 |

## RESUMEN

El desarrollo del proyecto de pasantía **“Proyección de la variación de la temperatura y la precipitación ante Cambio Climático para Bogotá”**, surge como la respuesta a la necesidad de identificar los efectos de las manifestaciones climáticas en esta parte del territorio nacional.

Es bien sabido, que el clima se relaciona estrechamente con el hombre y su cotidianidad. Por esta razón, la mayoría de procesos humanos están íntimamente involucrados con las variaciones en el clima, de aquí la importancia de un proyecto como éste, pues es necesario conocer el comportamiento climático para lograr afrontar panoramas futuros y así reducir las incidencias negativas sobre la sociedad. Con base en esto, el objetivo de este trabajo radica en la construcción de escenarios de Cambio Climático, con información veraz y soporte científico, en donde fue factible por medio de diferentes análisis determinar las afectaciones sobre el clima para el período 2011-2100, tomando como referencia el período 1971-2010.

Para llevar a cabo el proyecto, se planteó una metodología enfocada en una serie de pasos que en conjunto proyectan y encierran los objetivos básicos del mismo. Esta metodología se enfocó en 4 etapas claves, primero se elaboró las bases de datos, segundo, obtención del comportamiento de las variables, tercero determinación de la variabilidad climática y cuarto elaboración de los escenarios de Cambio Climático, esto para las variables precipitación y temperatura.

Una vez aplicada la metodología, se obtuvo un panorama general sobre algunas variables meteorológicas estudiadas y como estas influyen en el territorio Bogotano en términos de variabilidad climática y comportamiento. Por otro lado, el resultado principal radica en la obtención de escenarios de Cambio Climático, los cuales nos permitieron comprender de forma cuantitativa, la influencia del Cambio Climático en el área de estudio; desde el punto de vista de las variables climatológicas estudiadas.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los efectos del Cambio Climático sobre la temperatura y la precipitación en Bogotá, para un período de incidencia 2011-2100?

El hombre desde el inicio de los tiempos ha tenido diversidad de necesidades, la gran mayoría de éstas se ven íntimamente relacionadas con su entorno. Una de las principales características de esta relación se denota de manera directa al clima, éste es un factor clave en el desarrollo del hombre pues provee las condiciones óptimas para que pueda cumplir su ciclo de vida, y por la misma razón es importante conocerlo a profundidad y emprender un estudio sobre el mismo para así llegar a comprender su importancia.

Para partir cómodamente en un análisis de esta relación, el hombre debe ubicarse como un elemento propio de la misma y entender que el clima como tal gobierna nuestro existir, pues gracias a él se dan fenómenos como la lluvia, entre otros. El clima afecta nuestra economía, nuestra cultura, nuestra religión, nuestra política, nuestra riqueza, nuestro territorio, incluso se ve directamente relacionado con nuestra salud. Todas estas razones, hacen vital encontrar las relaciones afectivas del hombre con el clima para poder sacarle provecho y así poder continuar en un equilibrio constante.

Para lograr encontrar relaciones efectivas Hombre-Clima, se debe conocer el clima. La investigación continua del mismo, ha permitido llegar a conclusiones valederas y la comprensión de fenómenos como lo es el Cambio Climático. Como bien se sabe, los efectos generados a nivel global por este fenómeno son una realidad que hoy por hoy genera factores amplios de riesgo para toda sociedad. Por esta razón, es que este proyecto se ve enfocado al planteamiento de escenarios de Cambio Climático por medio de una metodología eficiente, con el fin de percibir de forma oportuna el problema y tomar decisiones frente a la prevención, mitigación y preparación para cualquier evento relacionado al Cambio Climático en Bogotá.

En el caso específico del proyecto, el IDEAM ha generado antecedentes vitales para la investigación de esta problemática, esto se puede percibir en documentos como el Inventario Nacional de GEI y también ha realizado un monitoreo continuo de variables climáticas como la temperatura y precipitación, los cuales le han permitido concluir diversidad de escenarios futuros. Esta información, permite entonces desarrollar una metodología de forma oportuna para conllevar finalmente al desarrollo de escenarios de Cambio Climático en Bogotá.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La humanidad durante todo su desarrollo, ha teniendo que ser consciente de la importancia que representa el clima. Este conocimiento, lo ha adquirido gracias a la continua observación, investigación y posterior entendimiento de los fenómenos de carácter climático. En conclusión, el hombre ha llegado a darse cuenta de que es parte de una continua simbiosis, una relación en la cual cada componente exige una parte del otro ya que el hombre también es importante para la conservación y adecuada ocurrencia de todos los fenómenos que ocurren en nuestro entorno.

Para partir cómodamente en un análisis de esta relación, el hombre debe ubicarse como un elemento propio de la misma y entender que el clima como tal gobierna nuestro existir pues gracias a él, se dan fenómenos como la lluvia, entre otros. El clima afecta nuestra economía, nuestra cultura, nuestra religión, nuestra política, nuestra riqueza, todo incluso nuestro territorio y más aún por las diferentes condiciones climatológicas incluso se ve directamente relacionado con nuestra salud. Todas estas razones hacen vital encontrar las relaciones afectivas del hombre con el clima para poder sacarle provecho y así poder continuar en un equilibrio constante.

El desarrollo de este proyecto se centra en la importancia que pueden tener los resultados del mismo para diferentes sectores socioeconómicos de la región Andina y para los tomadores de decisiones, pues suponiendo que tenemos un escenario futuro posible, estos podrán asumir la toma de decisiones respecto a una conveniencia y así no verse afectados por el Cambio Climático. Como segundo aspecto, Colombia es un país que no tiene un avance significativo en la formulación de escenarios de Cambio Climático, el desarrollo de este trabajo se enfatiza en la realización de escenarios, con una necesidad de garantizar una veracidad en los resultados obtenidos para la implementación oportuna de ellos. La realización de este trabajo, es una contribución importante a la investigación de esta temática a nivel nacional y local, ya que la investigación acorde a este tema nos permite estar más preparados para las consecuencias del mismo.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 GENERAL**

- Proyectar la variación en las variables climatológicas temperatura y precipitación ante Cambio Climático, para el período 2011-2100 para Bogotá.

#### **3.2 ESPECÍFICOS**

- Identificar los efectos del Cambio Climático para Bogotá, realizando un análisis de un ensamble multimodelo de los escenarios sobre las distintas variables climatológicas analizadas en cada una de las estaciones consideradas a nivel decadal para el período 2011-2100.
- Identificar cambios de variabilidad climática sobre las variables climatológicas temperatura y precipitación, para clima futuro (2011-2100).

## 4. MARCO REFERENCIAL

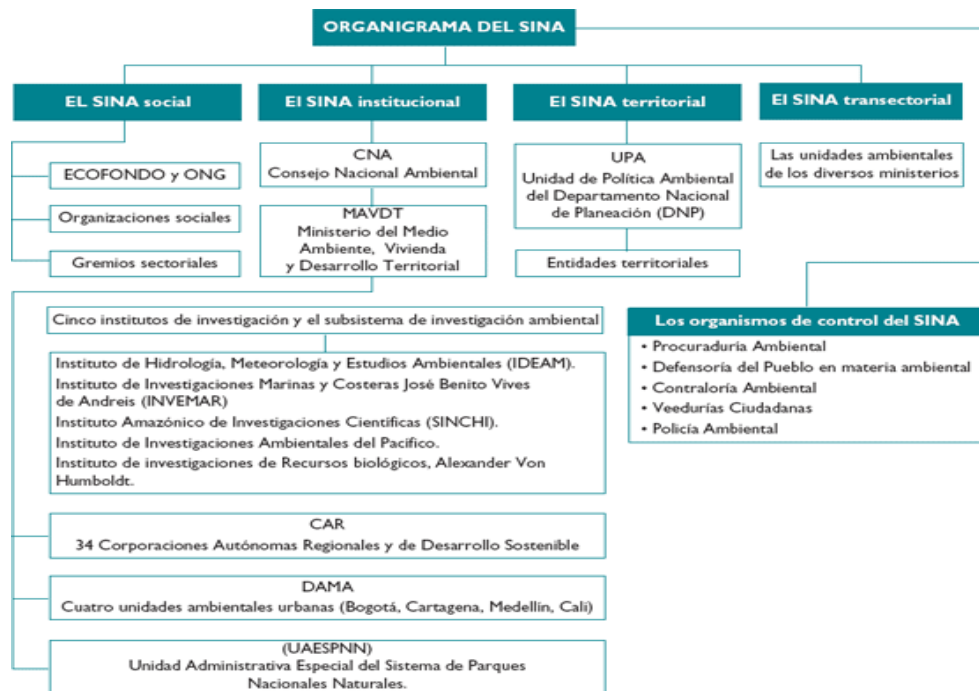
### 4.1 MARCO CONTEXTUAL

#### 4.1.1 Contexto General

En el año 1993 bajo el amparo de la ley 93, se dio legitimidad al Sistema Nacional Ambiental de Colombia (SINA). El SINA se define como “el conjunto de orientaciones, normas, actividades, recursos, programas e instituciones que permiten la puesta en marcha de los principios generales ambientales contenidos en la Constitución Política de Colombia de 1991 y la ley 99 de 1993” (Humbolt, 2010), como resultado de ello se buscaba incentivar y fortificar el campo ambiental en nuestro país, de manera que todos los esfuerzos por dicha causa estuvieran igualmente encaminados.

Basándonos en esto, el SINA se conforma de la siguiente manera:

Figura 1: Estructura general del SINA.



Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Para contextualizar este trabajo, nos enfocamos en el SINA institucional. De esta manera podemos deducir que el Ministerio es la principal institución reguladora a nivel ambiental en el País. Pero para lograr este objetivo, dentro de

la ley 93 se crearon las instituciones de investigación adscritas al Ministerio, dentro de estas se resalta para fines de este trabajo el IDEAM la cual se crea con el propósito de generar y analizar todo tipo de información adjunta al medio ambiente físico del país.

#### **4.1.2 IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales)**

El IDEAM surge como apoyo a la labor investigativa y técnico-científica del SINA. Dentro de estos términos su labor se ve reflejada en “Generar conocimiento y garantizar el acceso a la información sobre el estado de los recursos naturales y condiciones hidrometeorológicas de todo el país para la toma de decisiones de la población, autoridades, sectores económicos y sociales de Colombia”(IDEAM,2012), esta labor se ve incentivada en 5 frentes:

- **Sistema Nacional Ambiental:** Apoyo a la gestión ambiental de las autoridades ambientales, ordenamiento territorial y conservación de ecosistemas.
- **Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres:** Prevención y reducción del riesgo asociado a la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos.
- **Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología:** Transferencia del conocimiento y tecnologías en temas ambientales y de desarrollo.
- **Sistema Nacional de Áreas Protegidas:** Generación de información que contribuya a la conservación y ordenamiento, monitoreo de glaciares, deforestación (bosque, agua, carbono), estructura ecológica principal, pago por servicios ambientales, etc.
- **Sistema Mundial de Información:** Pronósticos y predicciones mundiales.

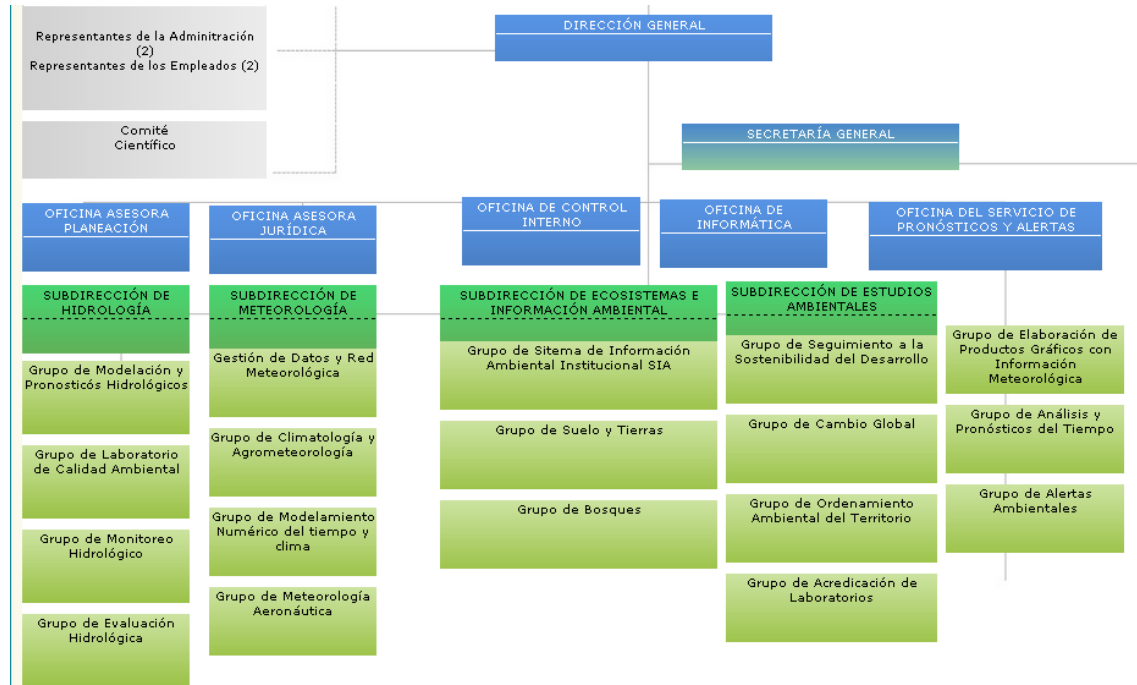
Entonces, el trabajo específico del IDEAM se limita a las siguientes funciones:

- Suministrar los conocimientos, los datos y la información ambiental que requieren el Ministerio del Medio Ambiente y demás entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA).
- Realizar el levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país.
- Establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento ambiental del territorio.
- Obtener, almacenar, analizar, estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre hidrología, hidrogeología, meteorología, geografía básica sobre aspectos biofísicos, geomorfología, suelos y cobertura vegetal para el manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la Nación, en especial las

que en estos aspectos, con anterioridad a la Ley 99 de 1993 venían desempeñando el Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT); el Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química (INGEOMINAS); y la Subdirección de Geografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC-.

- Establecer y poner en funcionamiento las infraestructuras oceanográficas, mareográficas, meteorológicas e hidrológicas nacionales para proveer informaciones, predicciones, avisos y servicios de asesoramiento a la comunidad.
- Efectuar el seguimiento de los recursos biofísicos de la Nación especialmente en lo referente a su contaminación y degradación, necesarios para la toma de decisiones de las autoridades ambientales.
- Realizar estudios e investigaciones sobre recursos naturales, en especial la relacionada con recursos forestales y conservación de suelos, y demás actividades que con anterioridad a la Ley 99 de 1993 venían desempeñando las Subgerencias de Bosques y Desarrollo del Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Ambiente (INDERENA).
- Realizar los estudios e investigaciones sobre hidrología y meteorología que con anterioridad a la Ley 99 de 1993 venía desempeñando el HIMAT.
- Realizar los estudios e investigaciones ambientales que permitan conocer los efectos del desarrollo socioeconómico sobre la naturaleza, sus procesos, el medio ambiente y los recursos naturales renovables y proponer indicadores ambientales.
- Acopiar, almacenar, procesar, analizar y difundir datos y allegar o producir la información y los conocimientos necesarios para realizar el seguimiento de la interacción de los procesos sociales, económicos y naturales y proponer alternativas tecnológicas, sistemas y modelos de desarrollo sostenible.
- Dirigir y coordinar el Sistema de Información Ambiental y operarlo en colaboración con las entidades científicas vinculadas al Ministerio del Medio Ambiente, con las Corporaciones y demás entidades del SINA.
- Prestar el servicio de información en las áreas de su competencia a los usuarios que la requieran.

**Figura 2: Organigrama IDEAM**



**Fuente: IDEAM**

Como se ve en el organigrama para el cumplimiento de sus funciones, el IDEAM se dividió en 4 subdirecciones. En el caso de este trabajo, la subdirección encargada fue la de Meteorología la cual “realiza los estudios e investigaciones relacionadas con la atmósfera, el tiempo y el clima del país, además de preparar productos que contribuyan al aprovechamiento del recurso clima, en el mejoramiento y optimización de la producción de los distintos sectores socioeconómicos del país” (IDEAM, 2012). De igual manera, el grupo de Modelamiento Numérico del tiempo y el clima lidero este proyecto.

### 4.1.3 Área de Estudio

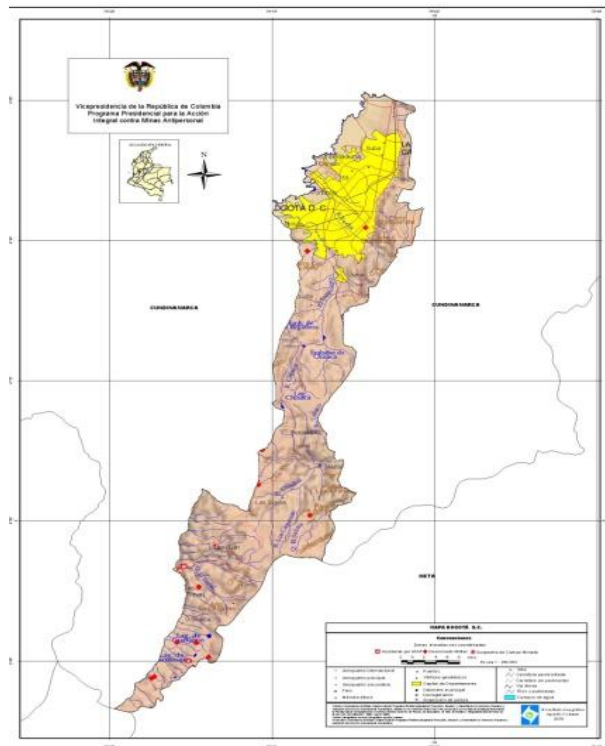
Para la realización de este trabajo se tomó como área de estudio a la ciudad de Bogotá D.C., la capital de nuestro país.

Las principales características de Bogotá son:

- Longitud: De sur a norte: 33 km y de Oriente a Occidente: 16 km.
- Localidades: 19 Urbanas y 1 rural.
- Habitantes: 8 millones de personas.
- M2 de verde por habitante: 107 M2.

- Se hace referencia a ella como la sabana de Bogotá, por hacer parte del altiplano Cundiboyacense, con una formación montañosa ubicada en la cordillera Oriental de los Andes (Duarte Diana, 2012).
- Área Total: 1776 Km2.
- Área urbana: 307 Km2.
- Área suburbana: 170.45 Km2.
- Área rural: 1298.15 Km2.
- Principales formaciones montañosas: Cerro de Monserrate y cerro de Guadalupe.
- Temperatura promedio: Entre 6°C - 24 °C.
- Altitud: Entre 2600 msnm y 3250msnm.
- Principales cuerpos Hídricos: Río Bogotá, Río Fucha, Río Tunjuelo y el Río Salitre.

**Figura 3: Mapa de Bogotá D.C.**



Fuente: <http://www.derechoshumanos.gov.co/PNA/Departamentos/Paginas/bogota.aspx>

#### 4.1.4 Localidades de Bogotá

Bogotá dentro de la división de su territorio a generada 20 localidades. De ellas 19 son de carácter urbano y 1 de carácter rural llamada Sumapaz.

Figura 4: Localidades de Bogotá.

|                         |
|-------------------------|
| 1. Usaquén.             |
| 2. Chapinero.           |
| 3. Santa Fe.            |
| 4. San Cristóbal.       |
| 5. Usme.                |
| 6. Tunjuelito.          |
| 7. Bosa.                |
| 8. Kennedy.             |
| 9. Fontibón.            |
| 10. Engativá.           |
| 11. Suba.               |
| 12. Barrios Unidos.     |
| 13. Teusaquillo.        |
| 14. Los Mártires.       |
| 15. Antonio Nariño.     |
| 16. Puente Aranda.      |
| 17. La Candelaria.      |
| 18. Rafael Uribe Uribe. |
| 19. Ciudad Bolívar.     |
| 20. Sumapaz.            |



Figura 5: Mapa localidades de Bogotá.

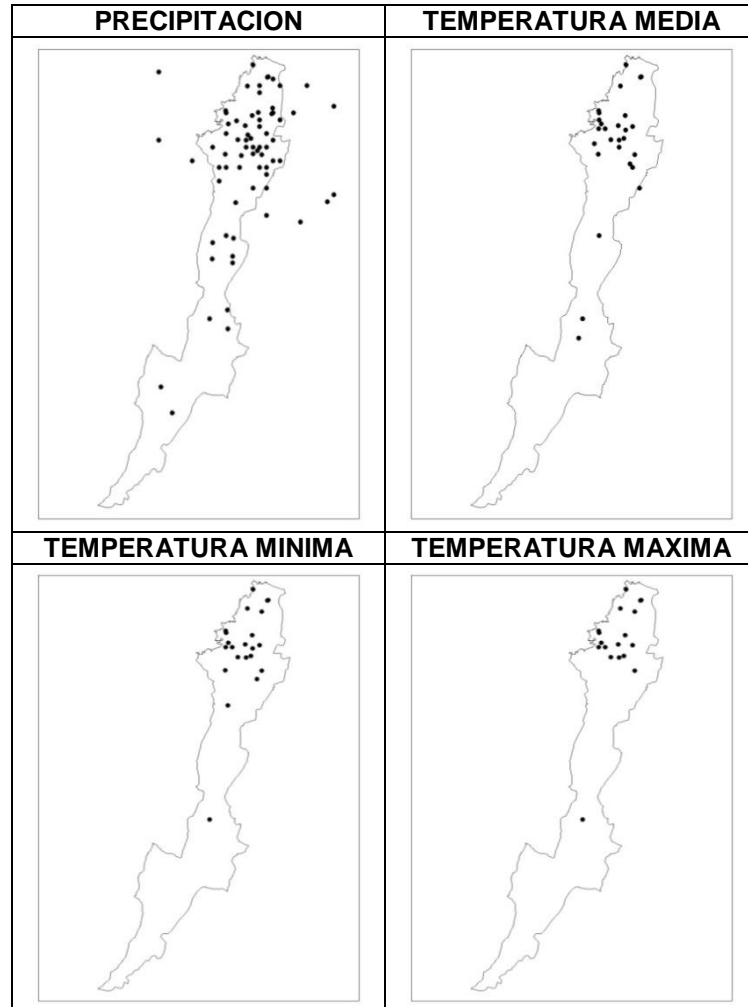
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Bogot%C3%A1>

#### 4.1.5 Estaciones Usadas en el Proyecto

Para el desarrollo de este trabajo, se usó para cada variable estudiada un conjunto de estaciones ubicadas dentro del rango del área de estudio es decir la ciudad de Bogotá.

La distribución espacial de las estaciones, es la siguiente:

**Figura 6: Distribución espacial de estaciones por variable.**



Fuente: Autor

## 4.2 MARCO TEÓRICO

### 4.2.1 El Cambio Climático como teoría base de la investigación

A pesar de presentarse el Cambio Climático como un fenómeno natural en algunos casos como la “era de hielo”, en la actualidad dicho fenómeno se ve acelerado por la mano del hombre. El Cambio Climático es en si la modificación de los fenómenos climáticos presentado en una región y deben ser variables en comparación a los datos históricos tomados con respecto a las variables estudiadas.

Se considera el Cambio Climático como la teoría base de esta investigación, ya que este superpone las condiciones sobre el hombre, puesto que se relaciona con base a los siguientes aspectos:

- El Cambio Climático genera alteraciones en el clima como el aumento esporádico de la temperatura y la variación en las corrientes de viento y de las precipitaciones.
- Alteración de los ecosistemas. Podemos evidenciarla en cuanto a pérdida de vegetación, cambios en el cuerpo hídrico, desertización, pérdida de especies endémicas y crecimiento de especies invasoras, aumento del nivel de las aguas, entre otras.
- El Cambio Climático altera los nichos naturales y propios dentro de los ecosistemas.
- El Cambio Climático al alterar los nichos hace variar los ciclos naturales de los seres vivos.
- El Cambio Climático genera una alteración en el ciclo biológico de los vectores transmisores de enfermedades.
- El Cambio Climático al condicionar los ciclos biológicos hace variar la frecuencia de enfermedades e infecciones entorno a la salud humana.
- El Cambio Climático condiciona la frecuencia de las estaciones lo cual conlleva a la proliferación y caída de ciertas amenazas a la salud humana.
- El Cambio Climático en algunos casos hace presentar con mayor frecuencia algunos fenómenos naturales o peor aún eventos climatológicos extremos.

### 4.2.2 Origen

En el marco del Cambio Climático se contemplan las siguientes causas como factores generadores de dicho fenómeno:

- **Variabilidad solar:** Se refiere a la carga de radiación proveniente del sol.
- **Variabilidad orbital:** Se refiere a la oscilación de la tierra sobre su órbita, ya que cada cierto tiempo la posición de la misma varia haciendo diferente la recepción de rayos solares.

- **Meteoritos:** Se refiere a cuerpos estelares que al impactar con la tierra varían las condiciones naturales de la misma.
- **Deriva continental:** Se refiere a la variación de la forma y la posición de los continentes, esto da como resultado el condicionamiento climático.
- **Composición atmosférica:** Se refiere a la composición de la atmósfera en consecuencia la introducción de gases por procesos naturales.
- **Corrientes oceánicas:** Se refiere a las corrientes provenientes de los océanos que actúan como moderador climático.
- **El magnetismo terrestre:** Se refiere al campo magnético de la tierra capaz de detener las partículas solares.
- **El hombre:** Se refiere a los procesos industriales generados por el mismo que tienen como resultado la emanación de agentes contaminantes.

#### 4.2.3 El Cambio Climático y su panorama en Colombia

El Cambio Climático dentro del panorama Colombiano, debido a los procesos continuos de industrialización en nuestro territorio y a nivel mundial, ha tenido una mayor incidencia desde la segunda mitad del siglo pasado.

Esta incidencia, se evidencia en los siguientes aspectos:

- Aumento de la temperatura media anual del aire en un promedio de 0.1 a 0.2°C.
- Disminución de la precipitación en algunas zonas del país en un rango del 4%.
- Aumento de la precipitación en algunas zonas del país en un rango del 6%.
- Aumento del nivel del mar en un promedio de 3 a 5 mm por año. Generando cobertura de zonas bajas como playas afectando las poblaciones costeras. Como segunda consecuencia, tenemos el deterioro y alteración de ecosistemas marinos y sistemas coralinos.
- Perdida del área glaciaria, ya que hay una disminución del 3% cada año. Esto contribuye a la disminución de caudales de los ríos de alta montaña. Entre los ecosistemas menos favorecidos se encuentran los nevados y los páramos.  
  
**“De hecho, Colombia ha perdido en el último medio siglo el cincuenta por ciento de su área glaciaria... (Revista Diners, el cambio climático...2010)”**
- Perdida del suelo por procesos de desertificación, esto se debe a que en estas zonas se presenta poca precipitación alternando los procesos productivos y de degradación del suelo.

**“Colombia posee 24’534.200 hectáreas en ecosistemas de zonas secas (21,5 por ciento del país), de las cuales 19’351.000 padecen desertificación (16,95 por ciento del país)... (Revista Diners, el cambio climático...2010).”**

Como segunda causa de este problema, tenemos los malos procesos de deforestación y erosión realizados por el hombre.

- La salud de los colombianos se ve comprometida, el Cambio Climático puede generar alteraciones de ciclos biológicos los cuales van de la mano a la proliferación de vectores los cuales generan enfermedades en la población. Puede también generar, riesgo frente a algunas amenazas de origen natural como inundaciones afectando de igual manera la salud de la población.

Desafortunadamente, este es el panorama general de nuestro país. El tomar medidas es una acción a realizar de inmediato puesto que las consecuencias nos son individuales, cada una se ve relacionada a la otra y poco a poco el país puede entrar en un estado de emergencia considerable en donde nosotros como ciudadanos seremos los mayores receptores de dichos problemas.

#### **4.2.4 Porque es importante estudiar el Cambio Climático**

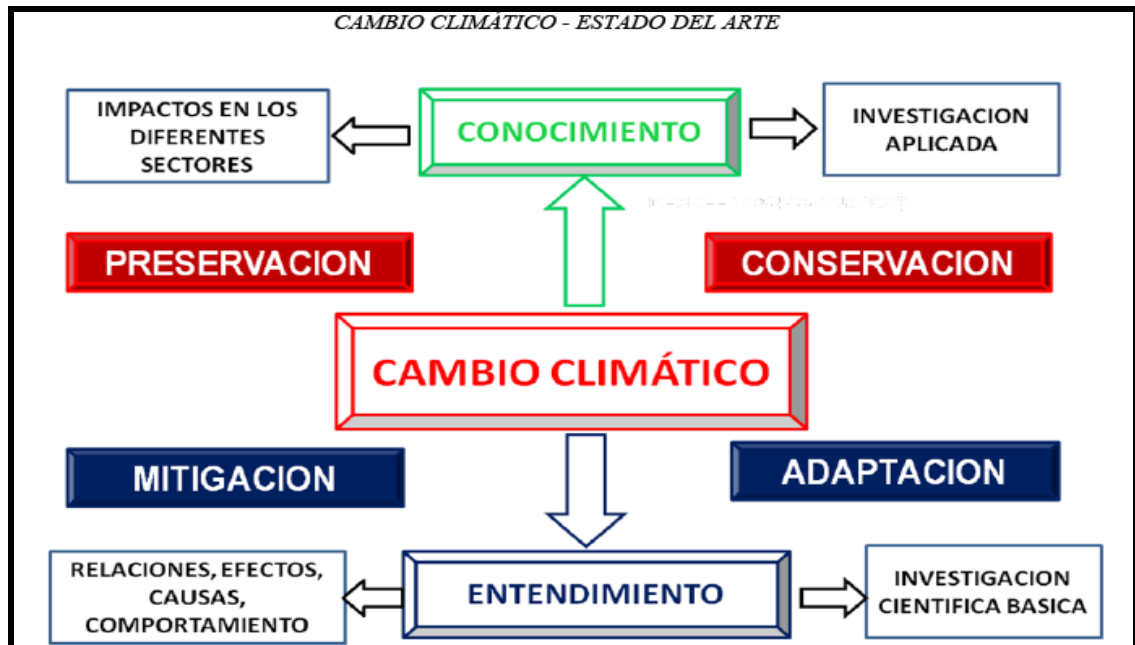
El Cambio Climático es una realidad hoy por hoy, por esta razón es muy importante comprender el por qué presenta consecuencias de gran calibre. Estas consecuencias, están enfatizadas como los impactos que recibimos todos dentro del planeta tierra.

Por esta razón, el emprender la búsqueda de soluciones y encontrar medidas de mitigación, prevención y adopción se debe convertir en una necesidad. Para podernos enfatizar en satisfacer esta necesidad debemos tener muy claro 2 aspectos:

- Debemos conocer cuáles son los impactos y la magnitud de los mismos, deduciendo que la magnitud varía dependiendo de las características del impacto, esto se denomina CONOCIMIENTO del impacto.
- Debemos entender las relaciones de los impactos, es decir de donde se generan, por qué y para donde van, esto se denomina ENTENDIMIENTO del impacto.

Conociendo esto es importante entonces, empezar a determinar las relaciones entre el cambio climático y la sociedad actual, basándonos en la investigación pasada y la proyección al futuro, para así lograr establecer metas que de seguro mejoraran la calidad de vida actual y nos garantizaran la vida en este planeta aunque sea por unos años más.

Figura 7: Estado del arte del Cambio Climático.



Fuente: Revista Peruana Geo-atmosférica.

#### 4.2.5 Escenarios del Cambio Climático

Es importante entender este concepto para la realización del trabajo, a continuación se presenta la teoría base sobre escenarios de Cambio Climático:

- **Definición**

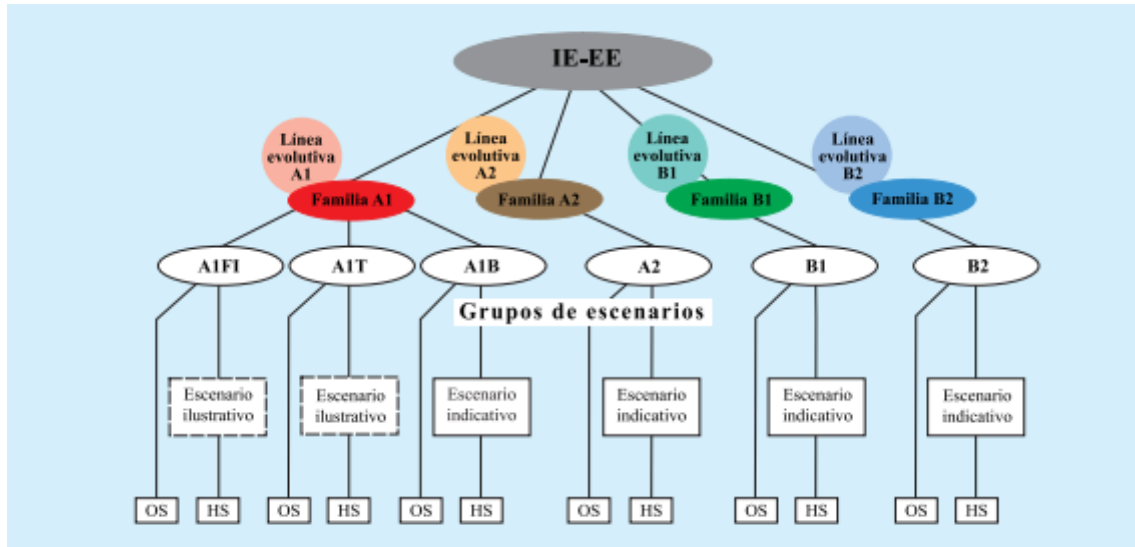
Es una descripción sustentada en bases reales, para determinar como el sistema climático de la tierra cambiara en un futuro.

- **Objeto**

Se hacen con 6 fines fundamentales:

- i. Dar un reporte actual del Cambio Climático.
- ii. Dar una proyección futura del Cambio Climático
- iii. Determinación de impactos.
- iv. Generar Planeamiento Estratégico.
- v. Generar Políticas de control
- vi. Generar políticas de mitigación.

Figura 8: Familias y tipos de Escenarios.



Fuente: IPCC

- **Tipos**

### Escenario de Emisiones

Son escenarios en los cuales se hace la proyección de emisiones de GEI para un determinado tiempo, generando un panorama factible de emisiones.

1. **A1:** Escenario con crecimiento económico muy rápido, a la mitad del siglo la población llegara a su máximo para un posterior descenso. Las tecnologías verdes serán introducidas y serán eficientes. Hay una convergencia entre regiones, interacción de culturas ya a nivel de sociedad, con una mayor cantidad de ingresos por habitante. Según la fuente de energía en su orientación tecnológica se dividen en :
  - A1F1: Las tecnologías se desarrollan con energía de fuentes fósiles.
  - A1T: Las tecnologías se desarrollan con energía de fuentes no fósiles.
  - A1B: Las tecnologías se desarrollan con energía de TODAS las fuentes.
2. **A2:** Escenario en donde se conservan las identidades locales y muy autosuficiente. Población mundial en continuo crecimiento. La economía crece a nivel regional de manera lenta, al igual que el crecimiento económico por habitante.
3. **B1:** Presenta un pico de población a mitad del siglo y su posterior descenso, reducción de consumo y aumento de tecnologías limpias con consumo óptimo de recursos. Se enfatiza en la sostenibilidad económica, y

la economía de servicios y de información. La sostenibilidad ambiental y social es un punto importante.

4. **B2:** Sostenibilidad local, a nivel social, económico y ambiental. Crecimiento continuo de población y pocos cambios tecnológicos. Desarrollo económico intermedio.

**Figura 9: Características de los escenarios.**

| <i>Característica</i>                               | <i>B1</i> | <i>A1T</i> | <i>B2</i> | <i>A1B</i> | <i>A2</i> | <i>A1FI</i> |
|---|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-------------|
| <i>Población máxima 2050</i>                        | x         | x          |           | x          |           | x           |
| <i>Crecimiento demográfico constante</i>            |           |            | x         |            | x         |             |
| <i>Economía regionalmente orientada</i>             |           |            | x         |            | x         |             |
| <i>Servicio global e información de la Economía</i> |           | x          |           | x          |           | x           |
| <i>Desarrollo rápido y convergente</i>              | x         | x          |           | x          |           | x           |
| <i>Desarrollo lento, regional y fragmentado</i>     |           |            | x         |            | x         |             |
| <i>Énfasis en la sustentabilidad</i>                | x         |            | x         |            |           |             |
| <i>Energía basada en hidrocarburos</i>              |           |            |           |            |           | x           |
| <i>Energía mixta</i>                                |           |            | x         | x          | x         |             |
| <i>Energía basada en combustibles renovables</i>    | x         | x          |           |            |           |             |

**Fuente: IDEAM tomado de IPCC.**

- **Factores forzantes en los escenarios**

Para la creación de escenarios de Cambio Climático, el IPCC partió del principio de que las concentraciones de gases en la atmósfera, continuarían en un aumento paulatino hasta la década del 2100. Esto en consecuencia a la influencia de la mano del hombre.

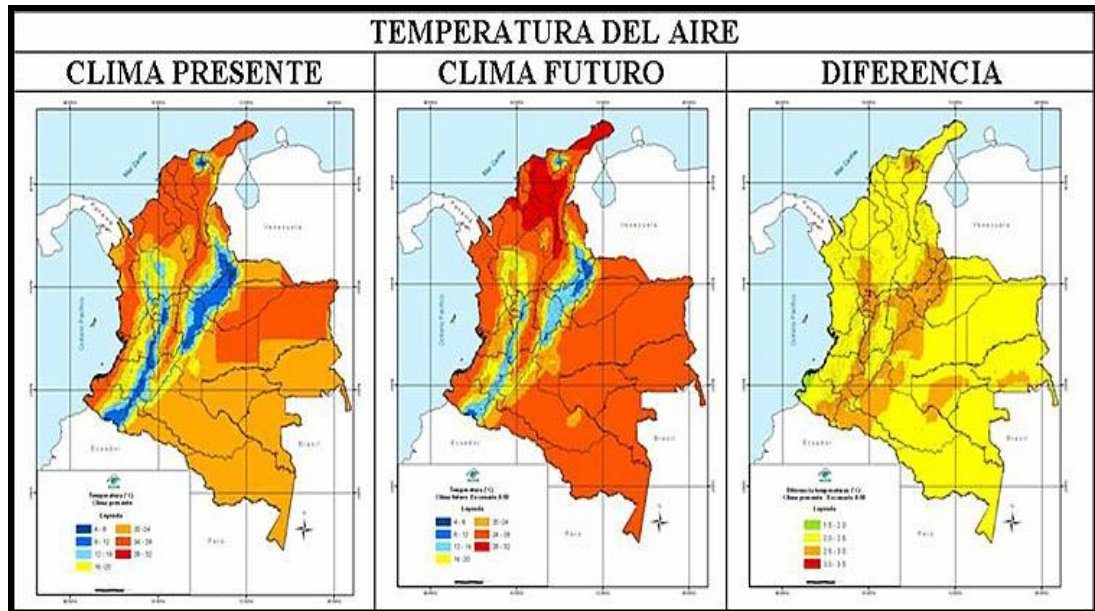
Con esto claro, definió unos factores los cuales se consideran como influencia directa en el aumento de emisiones:

- Población Mundial.
- Crecimiento del PIB y desarrollo económico.
- Uso de la energía.
- Crecimiento tecnológico.
- Uso del suelo.

El enfoque de los escenarios se centra entonces en que estos factores aumentarían de forma significativa las emisiones de CO<sub>2</sub> y los GEI.

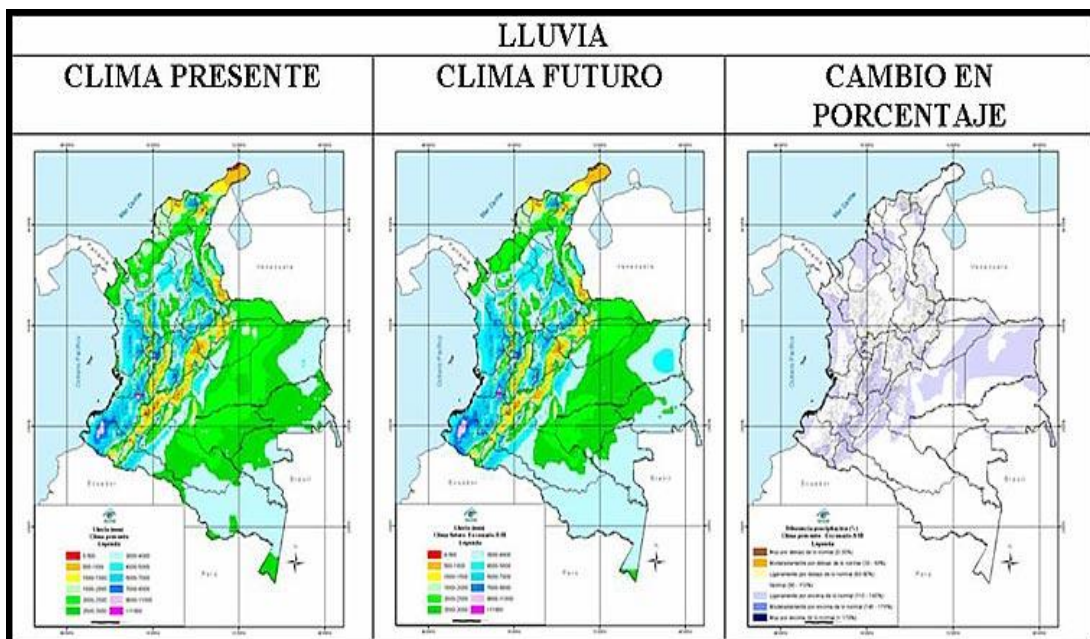
#### 4.2.5.1 Ejemplo de Escenarios en Colombia

- Figura 10: Temperatura del aire



Fuente: IDEAM

- Figura 11: Precipitación



Fuente: IDEAM

#### **4.2.6 Eventos climáticos extremos**

Esta categoría se denomina así puesto que lo eventos estudiados exceden las condiciones naturales o base climatológicas, con base en esto se denotan dos subcategorías:

- Aquellos en donde se presentan los extremos simples de los intervalos climáticos estadísticos.
- Los fenómenos complejos: Sequías, inundaciones y, incendios y huracanes.

##### **4.2.6.1 Principales manifestaciones de eventos climáticos extremos:**

- El Niño-Oscilación Austral (ENOA)-otros fenómenos
- Temperaturas extremas: olas de calor y frío
- Catástrofes naturales

El fenómeno del niño figura como un fenómeno de gran magnitud climatológica y meteorológica a nivel mundial, el Cambio Climático sin duda afecta su incidencia y su frecuencia.

##### **4.2.6.2 Principales afectaciones de los eventos climáticos extremos:**

- Alteración del ciclo natural de vectores.
- Alteraciones de las condiciones ambientales base.
- Alteraciones de las condiciones socioeconómicas a nivel humano.
- Condicionamiento para proliferación de infecciones y enfermedades.
- En cuestión de agua muchas veces se generan inundaciones y estas recaen sobre cuerpos hídricos que a su vez resultan contaminados, es posible que esta agua sea para consumo.
- Muchos fenómenos naturales ocasionan destierro de personas de sus tierras, haciendo que se trasladen constantemente y no tengan un hogar para protegerse vulnerando ampliamente la salud de los mismos.
- Las sequías generan pérdida de suelo y destierro de personas.
- Los agentes contaminantes pueden viajar en un cuerpo hídrico o presentarse a altas o bajas temperaturas, vulnerando así la calidad del alimento que se consume.

### **4.3 MARCO CONCEPTUAL:**

#### **4.3.1 Tiempo**

Es el estado instantáneo de la atmósfera.

El tiempo es la manifestación de la dinámica de la atmósfera en un lugar y momento determinados. La dinámica de la atmósfera al distribuir la masa (vapor de agua y otros gases) y la energía (calor y movimiento) genera variaciones espaciotemporales de elementos como la temperatura, la presión y la humedad, lo cual produce en un lugar y tiempo determinados condiciones cálidas o frías, húmedas o secas, de cielo nublado o de cielo despejado, situaciones de lluvia, etc. (IDEAM, Atlas Climatológico, 2010).

#### **4.3.2 Clima**

El clima es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del estado del tiempo, durante un periodo de tiempo y en un lugar o región dada, y controlado por los denominados factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del denominado *sistema climático* (atmósfera, hidrosfera, litosfera, criósfera, biosfera y antropósfera) (IDEAM, Atlas Climatológico, 2010).

Se suele definir el clima como el "promedio del estado del tiempo" o, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo en términos de valores medios y de variabilidad de las cantidades de interés durante periodos de varios decenios (normalmente, tres decenios, según la definición de la OMM). Dichas cantidades son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento), aunque en un sentido más amplio el "clima" es una descripción del estado del sistema climático (IPCC, Glossary).

#### **4.3.3 Meteorología**

Se define como la ciencia encargada del estudio de los fenómenos que ocurren en la atmósfera y sus propiedades en un lapso de tiempo corto.

Se enfatiza en el estudio del tiempo.

#### **4.3.4 Climatología**

Se define como la ciencia encargada del estudio de los fenómenos atmosféricos y sus propiedades en un lapso de tiempo prolongado.

#### **4.3.5 Celda de Walker**

Corresponde a una celda de circulación atmosférica que se desarrolla sobre el Pacífico ecuatorial y que está caracterizada por un flujo hacia el oeste en

superficie (vientos alisios), ascenso en el Pacífico ecuatorial occidental, flujo hacia el este en niveles altos de la troposfera, y descenso (subsistencia) distribuido en todo la zona ecuatorial al este de la región de ascenso (U de Chile, 2011).

#### **4.3.6 Termoclina**

Se conoce como la capa atmosférica u oceánica, caracterizada por presentar un cambio brusco de temperatura ligado a la altura o a la profundidad.

#### **4.3.7 Ensamble Multimodelo**

Los escenarios de cambio climático parten de suposiciones y por esta razón no hay una manera de cuantificar a ciencia cierta qué tanto de lo proyectado en los escenarios se hará realidad. La generación de escenarios se hace de manera individual, es decir se generan escenarios como el A1, A1B, etc, pero bajo ninguno de estos hay certeza de los resultados obtenidos. Para evitar esto, lo que se hace es generar un escenario más probable en el cual se toma un promedio de los escenarios generados, denominado ensamble.

De esta manera se tiene una mejor idea del comportamiento del cambio climático.

#### **4.3.8 Era40**

Durante un lapso de 45 años, equivalente al periodo comprendido entre 1957-2001 se realizó una observación intensiva a escala internacional sobre el comportamiento de la atmósfera y así mismo sobre el comportamiento del océano y la tierra. Como resultado de dicha observación, el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo (ECMWF) logro generar un modelo de datos meteorológicos que sirve como una base de datos a nivel mundial.

Este modelo de datos, se usa fundamentalmente para realizar una validación frente a la calidad de los análisis climáticos hechos a nivel global. De esta manera se logra una comparación entre los valores del modelo y los valores generados en los análisis de tipo mundial.

La asimilación de los datos comprende una secuencia de pasos de análisis en el que se combina la información de fondo del modelo con las observaciones generadas en los análisis globales, para producir una estimación del estado de la atmósfera en un momento determinado. El conjunto de observaciones comprende típicamente varios tipos de medición, cada uno con su propia precisión y distribución. El análisis es, sin embargo completo en términos de las variables meteorológicas y de dominio de interés, dentro de una resolución espacial elegida.

#### **4.3.9 Ecam5**

Es un modelo de circulación global de la atmósfera y del océano, diseñado y elaborado por el Instituto alemán de meteorología: Max Planck. Dentro de su funcionamiento se caracteriza por tener sub-modelos en cuanto a:

- Química de la atmósfera.
- Bioquímica.
- Aerosoles.
- Vegetación.
- Hielo
- Océano

Finalmente alcanza una profundidad en la atmósfera de:

- De la troposfera a la estratosfera inferior: 10 hPa(30 km)
- De la troposfera -estratosfera -baja mesosfera : 0,01hPa( 80km)

#### **4.3.10 HadCM3**

Es un modelo de circulación global de la atmósfera y del océano. Diseñado y elaborado por el centro Hadley para la investigación y predicción del clima, del Reino Unido.

Dentro de su pronóstico, evalúa las siguientes variables:

- Atmósfera: Temperatura, velocidad y dirección del viento, velocidad de rayos UV, aerosoles, sulfatos, GEI, presión atmosférica, precipitación y contenido de la precipitación.
- Océano: Temperatura, salinidad, vientos, profundidad.

Incluye también sub-modelos para vegetación, capa de hielo, bioquímica, química de la atmósfera, aerosoles y sus efectos.

Tiene una resolución atmosférica de 2.75° de latitud y 3.75° de longitud, y oceánica de 1.25° por 1.25°.

#### **4.3.11 PRECIS**

Modelo climático regional PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies) del Hadley Centre de la Oficina Meteorológica del Reino Unido.

El modelo PRECIS es un modelo atmosférico y de suelo, de área limitada y alta resolución el cual requiere la descripción de la superficie y condiciones laterales de frontera. Las condiciones de superficie son solo requeridas en el agua, donde los modelos necesitan series de tiempo de temperatura superficial del mar y extensiones de hielo. Las condiciones laterales de frontera suministran información de la dinámica atmosférica en los bordes latitudinales y longitudinales del dominio. No hay restricción prescrita en las condiciones de altura del modelo. Las condiciones laterales de frontera comprenden variables atmosféricas estándar como la presión en superficie, las componentes horizontales del viento y medidas de temperatura y humedad. También ciertas configuraciones de PRECIS contienen la representación total del ciclo de azufre y un conjunto de condiciones de frontera (incluyendo SO<sub>2</sub>, aerosoles Sulfatados y especies químicas asociadas) que también son requeridas. El modelo PRECIS fue implementado en el IDEAM inicialmente en un clúster de PCs de 3 nodos compuesto de 12 procesadores; en cada nodo se instaló el modelo, permitiendo correr varios escenarios al mismo tiempo. Las condiciones iniciales fueron tomadas de los resultados de los modelos globales ECHAM5, y HadCM3Q. La resolución de los resultados se obtuvo en grillas de 25 km \* 25 Km (IDEAM, RUIZ (2011)).

#### **4.3.12 Método dinámico y estadístico**

Dentro del proceso de la generación de escenarios, uno de los principales retos es la regionalización de la escala. El objetivo final de esto es llevar los resultados de los modelos desde una escala global hasta una escala regional o local. Los modelos de carácter global tienen una resolución entre 300 km y 150 km, es por eso que es importante sintetizar estos resultados a una escala regional 25 Km y más allá a una escala local 10 km.

Para lograr este fin, hay dos métodos base. El primero se denomina método estadístico en el cual por medio de datos observados se ajustan los resultados de los modelos a la escala regional o local, las observaciones corresponden a los datos de normales climatológicas en un rango de tiempo determinado, la gran ventaja de este método recae sobre el bajo costo de aplicación.

El método número 2, se denomina método dinámico. Este método consiste en la representación de los resultados de los modelos globales por un modelo tipo regional. La forma común de utilizar los modelos dinámicos regionales es aprovechar su capacidad de simular dominios cercanos a los 5000 km x 5000 km para obtener una aproximación del clima presente en una resolución mayor a la que dan los modelos globales. Es necesaria una validación del modelo comparándolo con los datos climáticos observados en varios años, se recomienda mínimo 30, y realizar los ajustes que requiera el modelo para que los resultados obtenidos al modelar el clima presente sean satisfactorios de acuerdo con los registros reales. Dinámicamente es más complejo obtener resultados a escala local debido a que se requiere gran cantidad de cómputo ya que los modelos de

regionalización no pueden tener en cuenta todas las condiciones dadas en una resolución muy alta, en este caso se recomienda el uso de técnicas estadísticas (IDEAM, Guía de procedimientos...2010).”

Una de las desventajas del método estadístico, es que no genera representaciones de las relaciones entre la atmósfera y el océano, ni de las condiciones físicas como si lo hace el método dinámico. Por esta razón se recomienda generar un trabajo con los 2 métodos expuestos, es decir; se va a utilizar un método híbrido en donde los resultados obtenidos por el método dinámico serán refinados estadísticamente.

#### **4.3.13 Variación Temporal**

Se define como la caracterización de una zona natural según y en relación al comportamiento de las condiciones y variables propias de la zona como la temperatura o la precipitación, durante un periodo de tiempo específico. Según el comportamiento de las variables las regiones se caracterizan en 2 grupos base:

- **Monomodal:** Existe un patrón de comportamiento en donde la tendencia obedece a un solo valor máximo o pico.
- **Bimodal:** Existe un patrón de comportamiento en donde la tendencia obedece a la mezcla de 2 o más comportamientos monomodales, es decir; hay 2 o más valores máximos o picos.

#### **4.3.14 Variable Dependiente**

Representación de una magnitud. Aquella variable la cual se ve intervenida por el efecto de una variable de tipo independiente. Las variables meteorológicas son variables independientes, ya que su comportamiento y variabilidad dependen de variables independientes como los procesos de gran escala.

#### **4.3.15 Variable Independiente**

Variable que puede cambiar libremente su valor, sin que su valor se vea afectado por alguna otra variable. Los Fenómenos climáticos de gran escala como el ciclo ENSO son considerados como variables independientes ya que su comportamiento no depende de ninguna otra variable.

#### **4.3.16 Valor Típico**

“Valores medios de los elementos meteorológicos (temperatura, humedad, precipitación, evaporación, etc.) calculados con los datos recabados durante un periodo largo y relativamente uniformes, generalmente de 30 años (Tu tiempo, 2011).”

#### 4.3.17 Clasificación Climática de Lang

Al tener claridad en el comportamiento de la temperatura media y la precipitación durante un periodo de tiempo determinado y en una zona determinada, es posible llegar a concluir cual es el tipo de clima que se presenta en dicho lugar. Uno de los principales métodos para lograr esto, es el uso de la clasificación de Lang, la cual tiene como fundamento principal el uso del cociente entre la precipitación (mm) y la temperatura media (°C), a su vez este valor es agrupado en varias categorías de la siguiente manera:

**Tabla 1: Clasificación Climática de Lang**

| Factor Lang (P/T) | TIPO CLIMA  | SIMBOLO |
|-------------------|-------------|---------|
| 0 A 20            | Desértico   | D       |
| 20.1 A 40         | Árido       | A       |
| 40.1 A 60         | Semiárido   | sa      |
| 60.1 A 100        | Semihúmedo  | sh      |
| 100.1 A 160       | Húmedo      | H       |
| MAYOR QUE 160.1   | Superhúmedo | SH      |

Fuente: IDEAM

#### 4.3.18 Jazikü

De acuerdo con el compromiso IDEAM por promover y orientar la investigación científica sobre el pronóstico del tiempo y el clima "Jazikü" es un programa diseñado para evaluar las tele-conexiones entre las variables meteorológicas con los principales índices de la variabilidad climática que afectan el clima en Colombia. Jazikü, sigue la metodología de análisis de compuesto propuesto por la Universidad - Corporación para la Investigación Atmosférica (UCAR)), Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) y EE.UU. Departamento de Comercio (DOC) [1][1, 2][1, 2, 21][1, 2, 21] y puede producir escenarios de probabilidad bajo los cuales se espera que la precipitación o cualquier otra variable en los sitios de mayor afectación o áreas específicas interpoladas se comporten, en función de los valores de probabilidad estimados para cada uno de los fenómenos de variabilidad del clima y de la historia climatológica en relación al valor promedio trimestral. Tales escenarios se han convertido en una herramienta poderosa para la toma de decisiones por los servicios meteorológicos nacionales (IDEAM. Manual Jaziku-1.0.0 Español.2011).

Los análisis ejecutados por jazikü, nos entregan la dinámica de la variabilidad climática. Esta variabilidad se centra en el estudio de 12 trimestres, expresados de la siguiente manera:

**Tabla 2: Trimestres manejados por Jazikü**

| NUMERO DE TRIMESTRE | MESES INVOLUCRADOS           | SIGLAS |
|---------------------|------------------------------|--------|
| 1                   | ENERO-FEBRERO-MARZO          | EFM    |
| 2                   | FEBRERO-MARZO-ABRIL          | FMA    |
| 3                   | MARZO-ABRIL-MAYO             | MAM    |
| 4                   | ABRIL-MAYO-JUNIO             | AMY    |
| 5                   | MAYO-JUNIO-JULIO             | MJJ    |
| 6                   | JUNIO-JULIO-AGOSTO           | JJA    |
| 7                   | JULIO-AGOSTO-SEPTIEMBRE      | JAS    |
| 8                   | AGOSTO-SEPTIEMBRE-OCTUBRE    | ASO    |
| 9                   | SEPTIEMBRE-OCTUBRE-NOVIEMBRE | SON    |
| 10                  | OCTUBRE-NOVIEMBRE-DICIEMBRE  | OND    |
| 11                  | NOVIEMBRE-DICIEMBRE-ENERO    | NDE    |
| 12                  | DICIEMBRE-ENERO-FEBRERO      | DEF    |

**Fuente: Autor**

Jazikü dentro de su metodología, divide el año en 12 trimestres expuestos en la tabla 2; con el fin de generar un análisis más detallado de la variabilidad climática durante las diferentes épocas del año. Este brinda la posibilidad a los sectores productivos y a los tomadores de decisiones, de obtener un panorama más específico de la variación en el clima y no se limita a los 4 trimestres comunes al calendario.

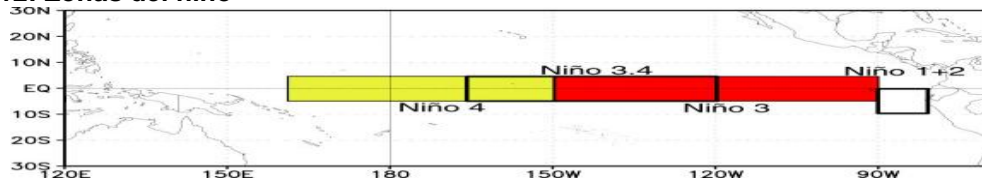
#### **4.3.19 Zona Niño 3.4**

La incidencia de fenómenos de gran escala sobre el pacífico especialmente la del ciclo ENSO, se ve reflejada en la alteración de los valores por encima o por debajo de la temperatura superficial del mar. Para el estudio de esta incidencia, la comunidad científica ha sectorizado el océano pacífico en 4 zonas:

- Región 3: Parte central del océano.
- Región 4: Parte occidental del océano.
- Región 3.4: Parte centro-occidental del océano.
- Región 1+2: Parte oriental.

En efecto de este trabajo, la zona de interés corresponde a la zona 3.4ya que es la zona de estudio del ONI. La Zona está ubicada en (5° N a 5° S y 120° W a 170° W).

**Figura 12: Zonas del niño**



**Fuente: NOAA**

#### **4.3.20 Proyección**

Evolución potencial futura de una cantidad o conjunto de cantidades, a menudo calculadas con la ayuda de una simulación. La proyección se diferencia de una 'predicción' para enfatizar que la proyección se basa en hipótesis sobre, por ejemplo, avances tecnológicos y socioeconómicos futuros, que se pueden o no realizar, y está sujeta a una gran incertidumbre (IPCC, glossary).

“Estimación de una situación futura mediante el estudio de la condición actual o a través de una extrapolación (estadística, numérica o dinámica) del curso de los procesos (por ejemplo: extrapolación de tendencias). (IDEAM (2010))”.

#### **4.3.21 Proyección Climática**

Proyección de la respuesta del sistema climático a escenarios de emisiones o concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles, o escenarios de forzamiento radiactivo, basándose a menudo en simulaciones climáticas. Las proyecciones climáticas se diferencian de las predicciones climáticas para enfatizar que las primeras dependen del escenario de forzamiento radioactivo/emisiones/concentraciones/radiaciones utilizado, que se basa en hipótesis sobre, por ejemplo, diferentes pautas de desarrollo socioeconómico y tecnológico que se pueden realizar o no y, por lo tanto, están sujetas a una gran incertidumbre (IPCC, glossary).

#### **4.3.22 Modelo Global de Cambio Climático**

Es un programa o conjunto de programas de software que simula el efecto que tiene en el globo terrestre, el cambio de concentración de gases efecto invernadero en el comportamiento medio de las variables meteorológicas.

Desde otra definición, un modelo global representa la dinámica de la circulación atmósfera-océano, esta se ve representada en una resolución horizontal de hasta 600 km y una resolución vertical de 20 km para la atmósfera y 30 km para el océano.

Los modelos usan la información sobre el estado de la atmósfera y del océano adyacente o de la superficie marina para calcular los intercambios de calor, humedad y momento entre los dos componentes, de manera que simulan directamente las condiciones pasadas y presente de los vientos, las corrientes oceánicas y muchas otras variables y procesos que caracterizan la atmósfera y los océanos (IDEAM (1) (2010)).

#### **4.3.23 Cambio Climático**

Se refiere a cualquier cambio en el clima a través del tiempo debido a la variabilidad natural del mismo o como resultado de la actividad humana (IPCC,

2001). Según la Convención Marco de Cambio climático, el cambio climático se refiere al cambio del clima que es atribuido directa o indirectamente por la actividad humana, alterando la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (UNFCCC, 1992) .

#### **4.3.24 Escenario Local de Cambio Climático**

Es una proyección climática que se ha calculado para una pequeña zona geográfica, a partir de escenarios globales de cambio climático.

#### **4.3.25 Escenario Regional de Cambio Climático**

Proyección de variables climáticas que se realiza para una región, utilizando resultados de escenarios globales de cambio climático.

#### **4.3.26 Gases de efecto invernadero**

Aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y remiten radiación infrarroja (UNFCCC, 1992). Los gases efecto invernadero contemplados en el Anexo A del protocolo de Kyoto (UNFCCC, 1998) son Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC), Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). También son considerados gases efecto invernadero el Ozono (O<sub>3</sub>) y el vapor de agua (H<sub>2</sub>O) según el IPCC (IPCC, 1995) aunque estos no son fácilmente controlables por el hombre”.

#### **4.3.27 Sistema Climático**

Sistema muy complejo que consiste en cinco componentes principales: la atmósfera, la hidrosfera, la criósfera, la superficie terrestre y la biosfera, y las interacciones entre ellas. El sistema climático evoluciona en el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna debido a forzamientos externos, por ejemplo, erupciones volcánicas, variaciones solares, y forzamientos inducidos por el hombre tales como la composición cambiante de la atmósfera y el cambio en el uso de las tierras (IPCC, 2001). Es la totalidad de atmósfera, la hidrósfera, la biósfera y la geósfera, y las interacciones que ocurren entre ellas (UNFCCC, 1992)”.

#### **4.3.28 BOX –PLOT**

El diagrama Box-plot se usa para representar la distribución de un conjunto de datos en cuanto a su simetría, tendencia y dispersión. Esto por medio del uso de 5 medidas descriptivas:

- **Mínimo o límite inferior** Es el extremo inferior. Los datos por encima de este límite se consideran atípicos.
- **Mediana:** Coincide con el segundo cuartil. Divide a la distribución en dos partes iguales. De este modo, 50% de los datos están por debajo de la mediana y 50% está por encima.
- **Máximo o límite superior:** Es el extremo superior. Los datos por encima de este límite se consideran atípicos.
- **Cuartil 1:** Por debajo de este valor se encuentra como máximo el 25% de los datos.
- **Cuartil 3:** Por debajo de este valor se encuentran como máximo el 75% de los datos.

#### 4.3.29 Cuartil

“Son valores que dividen a la distribución en cuatro partes iguales en cuanto a la cantidad de datos. Así, tenemos que el Primer cuartil ( $Q_1$ ), es el valor por debajo del cual ocurre el 25% de las observaciones y el Tercer cuartil ( $Q_3$ ) es aquel por debajo del cual ocurre el 75% de las observaciones (Universidad Simón Bolívar,2006).

#### 4.3.30 Percentil

Se define como el valor correspondiente a la división de una serie de datos en 100 partes iguales. De esta manera, el cálculo de un percentil refleja el valor frente a un dato correspondiente.

### 4.4 MARCO LEGAL

| <b>NORMATIVA</b>                               | <b>DESCRIPCION</b>  |
|--|---|
| <b>Convención Marco de las Naciones Unidas</b> | Se busca reducir la concentración de GEI.   |
| <b>Ley 64 de 1994</b>                          | Por el cual se ratifica en Colombia la Convención Marco.                                  |
| <b>Protocolo de Kyoto</b>                      | Reducción de los 6 principales gases que generan el calentamiento global, en un 5 %.      |
| <b>Ley 629 del 2000</b>                        | Por el cual se ratifica en Colombia el protocolo de Kyoto.                                |
| <b>Ley 788 del 2002</b>                        | Incentivos de tipo tributario a la reducción de GEI                                       |
| <b>CONPES 3242 DEL 2003</b>                    | Para incentivar los servicios ambientales orientados a la reducción del Cambio Climático. |
| <b>Resolución 453 del 2004</b>                 | Para aprobar los MDL en Colombia.   |

## 5. ESTADO DEL ARTE

Como fundamento base del tema, surge la problemática del cambio en el sistema climático mundial por la afectación directa de los gases de efecto invernadero. El protocolo de Kyoto, busco atacar dicha problemática generando alternativas de control frente a la emisión de dichos gases, en concordancia a esto surge el tema de los escenarios de Cambio Climático.

Los primeros vestigios de interés en relación a este tema, se desarrollaron frente a la preocupación por parte del IPCC (PANEL INTERGUBERNAMENTAL PARA EL CAMBIO CLIMATICO) por la influencia del Cambio Climático en nuestras vidas.

Atendiendo a esto, el IPCC creo una categorización de escenarios de emisiones en su informe de escenarios de emisiones de gases efecto invernadero (IPCC, 2000), abordando las características generales de cada uno de los escenarios propuestos. Convirtiéndose así, en la guía general para determinar los escenarios a nivel mundial, por medio de la implementación de modelos. Luego en su cuarto informe de evaluación del Cambio Climático (IPCC, 2007) emite una alerta sobre la necesidad de afrontar el Cambio Climático de manera oportuna.

A nivel Colombia, una vez se dio inicio a la implementación de “La Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”, empezó un trabajo de peso frente a adquirir desarrollo relacionado al tema, dando paso a trabajos afines desde el año 2001.

Sin embargo, los trabajos con mayor veracidad surgen a partir del año 2006 de manos del IDEAM, los cuales se han generado de la siguiente manera:

- Año 2007, trabajo realizado en conjunto UNAL e IDEAM, se publicaron resultados a nivel Colombia para el escenarios A1B.
- Año 2009, se trabajó nuevamente en conjunto IDEAM-UNAL, se publicaron resultados a nivel Colombia y para una mayor cantidad de escenarios.

Los resultados obtenidos frente a estas actividades se encuentra en la página web del IDEAM: [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co), en la sección de Cambio Climático de la Subdirección de Meteorología.

Finalmente es importante darse cuenta que los trabajos realizados son a nivel de regiones o a nivel Colombia, un trabajo tan localizado como Bogotá no tiene un antecedente y los resultados obtenidos prometen ser innovadores frente a la temática del cambio climático en Colombia.

De igual manera, los resultados de trabajos anteriores se presentan en periodos de 30 años, los resultados de este trabajo se presentan de manera decadal.

## **6. METODOLOGÍA DESARROLLADA**

Para la aplicación de la metodología, esta se segmentó en actividades realizadas unas por parte del IDEAM y otras por parte del estudiante. Esta división obedeció al hecho de que algunas actividades irremediablemente necesitan de los recursos tecnológicos del instituto, tal cual como correr los modelos de cambio climático ya que esto exige una plataforma informática de gran calibre y conocimientos específicos en el manejo y la programación de dichas herramientas. La segunda causa obedece a que, la información para correr los modelos es suministrada por institutos meteorológicos internacionales los cuales tienen convenio con el IDEAM y proporcionan la información de manera limitada.

Toda la metodología expuesta en este trabajo se aplicó para cada una de las variables meteorológicas escogidas y su correspondiente número de estaciones:

- Precipitación: 105 estaciones
- Temperatura Media: 37 estaciones
- Temperatura Mínima: 37 estaciones
- Temperatura Máxima: 37 estaciones

### **Actividades realizadas por el estudiante:**

1. Construir la base de datos de precipitación, temperatura media, temperatura máxima media y temperatura mínima media; de los registros de IDEAM y otras instituciones que realizan mediciones meteorológicas como Secretaria Distrital de Ambiente, Acueducto, etc., para la serie 1971-2010.
2. Realizar un Análisis de Componentes Principales (método Varimax) u otra metodología para regionalizar cada una de las variables meteorológicas para Bogotá.
3. Con base en la regionalización; completar información faltante desde el nivel diario al mensual y anual utilizando algoritmos estadísticos (TSW-Series de Tiempo y métodos usados tradicionalmente por la hidrometeorología) y/o métodos geo-estadísticos sencillos.

4. Construir la descripción del comportamiento de las variables con base en una estadística descriptiva mediante el uso de herramientas estadísticas tipo software.
5. Generación de la variabilidad climática por medio del software Jaziku.

**Actividades realizadas por el IDEAM:**

6. Construir la base de datos de precipitación, temperatura media, temperatura máxima media y temperatura mínima media; de clima futuro simulada por PRECIS utilizando datos de baja resolución del reanálisis ERA40.
7. Aplicar el método del FACTOR DE CAMBIO entre lo simulado y lo observado para calibrar los escenarios de cambio climático A2, B2 y A1B, generados en alta resolución con PRECIS, utilizando datos de baja resolución suministrados por el Centro Hadley
8. Generar y comparar la climatología simulada por PRECIS con la generada para las estaciones; así como validarlas mediante métricas estadísticas.
9. Salida información final de escenarios.
10. Difusión de la información saliente para su respectivo análisis.

**Actividades realizadas por el estudiante:**

11. Generación e interpretación del análisis de los resultados obtenidos, acompañado de la construcción de mapas y graficas como herramientas de apoyo.

## **7. DESARROLLO**

Para el oportuno desarrollo de la pasantía, se fijó una metodología acorde al cumplimiento de los objetivos planteados, de esta manera en este capítulo se procede a profundizar en el desarrollo metodológico.

### **7.1 CONSTRUIR LA BASE DE DATOS DE PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA MEDIA, TEMPERATURA MÁXIMA Y TEMPERATURA MÍNIMA; DE LOS REGISTROS DE IDEAM Y OTRAS INSTITUCIONES QUE REALIZAN MEDICIONES METEOROLÓGICAS COMO SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE, ACUEDUCTO, ETC., PARA LA SERIE 1971-2010.**

La construcción de las bases se restringió a precipitación y temperatura (media, máxima y mínima). Para iniciar el proceso, se tomaron 3 bases de datos las cuales se especifican a continuación:

- **IDEAM**
- **SDA**
- **ACUEDUCTO**

Sin embargo para la construcción oportuna de las bases finales de ambas variables, no se usaron en su totalidad las 3 bases de datos, mas adelanté se especificara cuales bases fueron usadas para cada variable.

#### **7.1.1 Descripción de las bases de datos empleadas**

##### **7.1.1.1 Precipitación**

Para la construcción de la base final de esta variable se usaron las 3 bases de datos iniciales, las cuales se relacionan de la siguiente manera:

- **IDEAM:**

Obedece al conjunto de datos mensuales desde el año 1971 hasta el año 2010. Los datos encontrados, corresponden a las siguientes estaciones:

**Tabla 3: Estaciones del IDEAM para Precipitación**

| Código  | Nombre             | LATITUD | LONGITUD | Elev | Código  | Nombre              | LATITUD | LONGITUD | Elev |
|---------|--------------------|---------|----------|------|---------|---------------------|---------|----------|------|
| 2119014 | El guamo           | 3,9667  | -74,2833 | 3870 | 2120523 | Obs Met Nacional    | 4,6333  | -74,1000 | 2556 |
| 2119027 | San Juan           | 4,0310  | -74,3112 | 2900 | 3502035 | Betania             | 4,2189  | -74,1469 | 3150 |
| 2119028 | San Antonio        | 4,1000  | -74,3333 | 2800 | 2120525 | Lumbre La           | 4,6167  | -74,1833 | 2540 |
| 2119510 | Las sopas          | 4,1500  | -74,2000 | 3200 | 2120547 | Fontibón            | 4,6833  | -74,1500 | 2518 |
| 2120085 | cicaca             | 4,4833  | -74,0833 | 2880 | 2120552 | El dorado Didáctica | 4,7000  | -74,1500 | 2546 |
| 2120111 | Usaquén            | 4,6833  | -74,0167 | 2647 | 2120554 | Inst Geofís. Andes  | 4,6333  | -74,0667 | 2600 |
| 2120115 | Edificio M Mejía   | 4,6167  | -74,0833 | 2580 | 2120558 | Venado Oro Vivero   | 4,5984  | -74,0616 | 2725 |
| 2120116 | Edificio Saraga    | 4,6000  | -74,0833 | 2640 | 2120559 | Apto Guaymaral      | 4,8167  | -74,0833 | 2560 |
| 2120120 | Esc La Unión       | 4,3429  | -74,1839 | 3320 | 2120560 | Velódromo 1 D Mayo  | 4,6167  | -74,0667 | 2650 |
| 2120123 | Enmanuel D Alzon   | 4,7011  | -74,0703 | 2520 | 2120571 | Jardín Botánico     | 4,6693  | -74,1027 | 2552 |
| 3502031 | Nazareth           | 4,1723  | -74,1460 | 2800 | 2120573 | Centro Med Andes    | 4,6982  | -74,0368 | 2575 |
| 2120124 | Sta María de Usme  | 4,4813  | -74,1263 | 2800 | 2120576 | Clínica San Rafael  | 4,6000  | -74,0833 | 2600 |
| 2120129 | Sta Rosa           | 4,2333  | -74,1833 | 3430 | 3502507 | Taques Los          | 4,1967  | -74,1909 | 3150 |
| 2120130 | Australia          | 4,3943  | -74,1320 | 3050 | 2120579 | El dorado           | 4,7056  | -74,1507 | 2547 |
| 2120156 | La picota          | 4,5667  | -74,1333 | 2580 | 2120584 | Sena K 30           | 4,5954  | -74,1118 | 2553 |
| 2120157 | Esc Col Ingeniería | 4,7833  | -74,0500 | 2650 | 2120600 | Adpostal            | 4,6808  | -74,1236 | 2550 |
| 2120158 | Pasquilla          | 4,4465  | -74,1548 | 3000 | 2120604 | Esap                | 4,6468  | -74,0964 | 2553 |
| 2120160 | Sede IDEAM Kra 10  | 4,6071  | -74,0729 | 2685 | 2120605 | Esc Col Ingeniería  | 4,7883  | -74,0456 | 2650 |
| 2120177 | Anclaje 14         | 4,6000  | -74,4000 | 1110 | 2120609 | Zipaquirá           | 5,0167  | -74,0167 | 2620 |
| 2120504 | La picota          | 4,5500  | -74,1333 | 2600 | 2120622 | U Nacional          | 4,6381  | -74,0891 | 2556 |
| 2120534 | Acdto Bosa         | 4,6167  | -74,1833 | 2585 | 2120624 | Centro Gaviotas     | 4,6000  | -74,0667 | 2700 |
|         |                    |         |          |      | 2120630 | Doña Juana          | 4,5000  | -74,1667 | 2700 |

Fuente: IDEAM

- **SDA:**

Obedece al conjunto de datos horarios desde el día 1 de agosto del año 1997 a las 1:00 horas hasta el día 30 de mayo del 2011 a las 23:00 horas. Los datos encontrados, corresponden a las siguientes estaciones:

**Tabla 4: Estaciones SDA para Precipitación**

|                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| Fontibón 1999      | Guaymaral1997       |
| Puente Aranda 1999 | Usaquén 1997        |
| Kennedy 2005       | Suba 1997           |
| Carvajal 1997      | Las ferias 2000     |
| Tunal 2006         | Chicó               |
| Vitelma 2006       | Simón bolívar 2001  |
| San Cristóbal 2009 | Sagrado Corazón     |
| Usme 2005          | Estación Móvil 2008 |

Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente

- **ACUEDUCTO:**

Obedece al conjunto de datos anuales desde el año 1925 hasta el año 2010 (mes a mes). Sin embargo, en algunas estaciones se evidencia la falta de datos en algunos años. Los datos encontrados, corresponden a las siguientes estaciones:

**Tabla 5: Códigos Estaciones Acueducto para Precipitación**

|         |         |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 2120008 | 2120048 | 2120204 | 2120034 | 2120569 | 2120032 | 2120027 |
| 2120011 | 2120050 | 2120205 | 2120040 | 2120154 | 2120202 | 2120031 |
| 2120013 | 2120052 | 2120207 | 2120041 | 3502009 | 2120538 | 2120066 |
| 2120019 | 2120058 | 2120208 | 2120042 | 3502005 | 2120197 | 2120069 |
| 2120020 | 2120059 | 2120211 | 2120044 | 3503504 | 2120077 |         |
| 2120023 | 2120061 | 2120509 | 2120198 | 3503505 | 2120530 |         |
| 2120024 | 2120065 | 2120524 | 2120196 | 2120200 | 2120536 |         |

**Fuente: Acueducto**

En la base de datos del Acueducto suministrada por el IDEAM, las estaciones se mencionan por códigos; razón por la cual la tabla 6 no presenta los nombres de las estaciones.

### 7.1.1.2 Temperatura Media

Para la construcción de la base final de esta variable se usaron 2 de las 3 bases de datos iniciales, las cuales se relacionan de la siguiente manera:

- **IDEAM:**

Obedece al conjunto de datos anuales desde el año 1971 hasta el año 2010 (mes a mes). Los datos encontrados, corresponden a las siguientes estaciones:

**Tabla 6: Estaciones IDEAM para T. Media**

| Código  | Nombre                 | LATITUD | LONGITUD | Elev | Código  | Nombre             | LATITUD | LONGITUD | Elev |
|---------|------------------------|---------|----------|------|---------|--------------------|---------|----------|------|
| 2119510 | sopas                  | 4,1500  | -74,2000 | 3200 | 2120569 | Camavieja          | 4,6167  | -74,1000 | 2680 |
| 2120509 | Regadera 1             | 4,4000  | -74,1500 | 3050 | 2120571 | Jardín Botánico    | 4,6693  | -74,1027 | 2552 |
| 2120523 | Obs Met Nacional       | 4,6333  | -74,1000 | 2556 | 2120579 | El dorado          | 4,7056  | -74,1507 | 2547 |
| 2120524 | Vitelma                | 4,5667  | -74,0667 | 2800 | 2120605 | Esc Col Ingeniería | 4,7883  | -74,0456 | 2650 |
| 2120530 | Palo Blanco            | 4,5167  | -74,0500 | 3256 | 2120619 | Univ Pedagógica    | 4,6667  | -74,0667 | 2570 |
| 2120547 | Fontibón               | 4,6833  | -74,1500 | 2518 | 2120622 | U nacional         | 4,6381  | -74,0891 | 2556 |
| 2120552 | El dorado<br>Didáctica | 4,7000  | -74,1500 | 2546 | 2120623 | U Nacional         | 4,6381  | -74,0891 | 2556 |
| 2120556 | Tibabuyes              | 4,7333  | -74,0833 | 2655 | 2120650 | Col Abraham Lincol | 4,7566  | -74,0616 | 2570 |
| 2120558 | Venado Oro Viviero     | 4,5984  | -74,0616 | 2725 | 2120656 | INEM Kennedy       | 4,6611  | -74,1348 | 2580 |
| 2120559 | Apto Guaymaral         | 4,8167  | -74,0833 | 2560 | 3502507 | Taques Los         | 4,1967  | -74,1909 | 3150 |

**Fuente: IDEAM**

- **SDA:**

Obedece al conjunto de datos diarios desde el día 1 de agosto del año 1997 a las 8:00 horas hasta el día 20 de junio del 2011 a las 23:00 horas. Los datos encontrados, corresponden a las siguientes estaciones:

**Tabla7: Estaciones SDA para T. Media**

|                    |                      |               |
|--------------------|----------------------|---------------|
| Guaymaral 2m 1997  | Parque Simón Bolívar | Carvajal      |
| Guaymaral 8M 1997  | sagrado corazón      | Tunal         |
| Guaymaral 20M 1997 | Estación Móvil       | vitelma       |
| Usaquén            | Fontibón             | San Cristóbal |
| Suba               | Puente Aranda        | Usme          |
| Las ferias         | Kennedy              |               |

Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente

### 7.1.1.3 Temperatura Mínima y Máxima

Para la construcción de la base final de estas 2 variables, se usaron 2 de las 3 bases de datos iniciales; las cuales se relacionan de la siguiente manera.

- **IDEAM:**

Obedece al conjunto de datos anuales para cada variable desde el año 1971 hasta el año 2010 (mes a mes). Los datos encontrados, corresponden a las siguientes estaciones:

**Tabla 8: Estaciones IDEAM para T. Mínima –T. Máxima**

| Código  | Nombre             | LATITUD | LONGITUD | Elev | Código  | Nombre             | LATITUD | LONGITUD | Elev |
|---------|--------------------|---------|----------|------|---------|--------------------|---------|----------|------|
| 2119510 | sopas              | 4,1500  | -74,2000 | 3200 | 2120569 | camavieja          | 4,6167  | -74,1000 | 2680 |
| 2120509 | Regadera 1         | 4,4000  | -74,1500 | 3050 | 2120571 | Jardín Botánico    | 4,6693  | -74,1027 | 2552 |
| 2120523 | Obs Met Nacional   | 4,6333  | -74,1000 | 2556 | 2120579 | El dorado          | 4,7056  | -74,1507 | 2547 |
| 2120524 | Vitelma            | 4,5667  | -74,0667 | 2800 | 2120605 | Esc Col Ingeniería | 4,7883  | -74,0456 | 2650 |
| 2120530 | Palo Blanco        | 4,5167  | -74,0500 | 3256 | 2120619 | Univ Pedagógica Na | 4,6667  | -74,0667 | 2570 |
| 2120547 | Fontibón           | 4,6833  | -74,1500 | 2518 | 2120622 | U nacional         | 4,6381  | -74,0891 | 2556 |
| 2120552 | Eldorado Didáctica | 4,7000  | -74,1500 | 2546 | 2120623 | U Nacional         | 4,6381  | -74,0891 | 2556 |
| 2120556 | Tibabuyes          | 4,7333  | -74,0833 | 2655 | 2120650 | Col Abraham Lincol | 4,7566  | -74,0616 | 2570 |
| 2120558 | Venado Oro Vivero  | 4,5984  | -74,0616 | 2725 | 2120656 | Inem Kennedy       | 4,6611  | -74,1348 | 2580 |
| 2120559 | Apto Guaymaral     | 4,8167  | -74,0833 | 2560 | 3502507 | Taques Los         | 4,1967  | -74,1909 | 3150 |

Fuente: IDEAM

- **SDA:**

Al no existir una base inicial propia para las variables (TMín-TMax), se procedió a construirlas de la siguiente manera:

- Se toma la base de temperatura media.
- En los datos diarios de la temperatura media, se identifican los valores mínimos.
- Estos valores, se convierten en la base inicial para trabajar la variable (TMín).
- En los datos diarios de la temperatura media, se identifican los valores máximos.
- Estos valores, se convierten en la base inicial para trabajar la variable (TMáx).

## 7.1.2 Estimación de datos Mensuales a partir de datos diarios

Para el manejo adecuado de los datos, es oportuno convertir cada una de las bases al formato: Año – mes a mes. Las bases del IDEAM y el ACUEDUCTO cumplen con esta condición, sin embargo; las bases de la SDA están en el formato horario por lo cual fue necesario llevarla al formato requerido:

### 7.1.2.1 Precipitación

Se realizó el siguiente proceso para la base de la SDA:

- Los datos de las 24 horas se suman, este proceso se repite para cada uno de los días. El resultado es el dato diario de precipitación.
- Finalmente los datos diarios de cada mes se suman, obteniendo así los datos mensuales.

**Tabla 9: Ejemplo estimación datos precipitación a partir de datos horarios**

| DATO HORARIO  |     |      |      |      |  |  |  |  |  |      |
|---|-----|------|------|------|--|--|--|--|--|------|
| 19/08/1997 08:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  |      |
| 19/08/1997 09:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  |      |
| 19/08/1997 10:00                                    | 3,8 | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  |      |
| 19/08/1997 11:00                                    | 3,6 | 0    | 1    | 1,3  |  |  |  |  |  |      |
| 19/08/1997 12:00                                    | 0,8 | 0    | 0    | 1,3  |  |  |  |  |  |      |
| 19/08/1997 13:00                                    | 0   | 0    | 2,5  | 0,1  |  |  |  |  |  |      |
| 19/08/1997 14:00                                    | 0   | 0    | 17,3 | 0    |  |  |  |  |  |      |
| 19/08/1997 15:00                                    | 0   | 0,8  | 0,5  | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 19/08/1997 16:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 19/08/1997 17:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 19/08/1997 18:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 19/08/1997 19:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 19/08/1997 20:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 19/08/1997 21:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 19/08/1997 22:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 19/08/1997 23:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 20/08/1997 00:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 20/08/1997 01:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 20/08/1997 02:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 20/08/1997 03:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 20/08/1997 04:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 20/08/1997 05:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 20/08/1997 06:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
| 20/08/1997 07:00                                    | 0   | 0    | 0    | 0    |  |  |  |  |  | 0    |
|   | 8,2 | 0,8  | 21,3 | 2,7  |  |  |  |  |  | 0    |
| DATO DIARIO   |     |      |      |      |  |  |  |  |  |      |
| Corresponde a la suma de todos los horarios del Día |     |      |      |      |  |  |  |  |  |      |
| 1997-19-08  | 8,2 | 0,8  | 21,3 | 2,7  |  |  |  |  |  | 0    |
| DATO MENSUAL  |     |      |      |      |  |  |  |  |  |      |
| Corresponde a la suma de todos los diarios del mes  |     |      |      |      |  |  |  |  |  |      |
| Ago-97  | 41  | 18,6 | 43,4 | 11,5 |  |  |  |  |  | 10,4 |

Fuente: Autor

### 7.1.2.2 Temperatura Media, Máxima, Mínima:

Para la base SDA se realizó el siguiente proceso:

- Los datos de las 24 horas se promedian, este proceso se repite para cada uno de los días. El resultado es el dato diario de temperatura.
- Finalmente los datos diarios de cada mes se promedian, obteniendo así los datos mensuales.

**Tabla 10: Ejemplo estimación datos T. Media a partir de datos horarios.**

| <b>DATO HORA</b>   |       |        |            |
|--|-------|--------|------------|
| 01/08/1997 08:00   | 14,5  | 15,7   | 12,6       |
| 01/08/1997 09:00   | 16    | 15,6   | 12,9       |
| 01/08/1997 10:00   | 17,9  | 16,9   | 14,5       |
| 01/08/1997 11:00   | 19,7  | 18     | 15,3       |
| 01/08/1997 12:00   | 22,4  | 20     | 16,2       |
| 01/08/1997 13:00   | 21,6  | 19,4   | 16,4       |
| 01/08/1997 14:00   | 20,7  | 18,8   | 15,3       |
| 01/08/1997 15:00   | 21    | 19,7   | 15,7       |
| 01/08/1997 16:00   | 21,2  | 19,9   | 16,3       |
| 01/08/1997 17:00   | 19,3  | 18,6   | 15         |
| 01/08/1997 18:00   | 17,6  | 17,4   | 13,5       |
| 01/08/1997 19:00   | 15,2  | 15,5   | 11,7       |
| 01/08/1997 20:00   | 13,8  | 14,3   | 10,1       |
| 01/08/1997 21:00   | 13,7  | 14,1   | 9,6        |
| 01/08/1997 22:00   | 13    | 13,9   | 9,5        |
| 01/08/1997 23:00   | 11,8  | 12,9   | 8,1        |
| 02/08/1997 00:00   | 10,1  | 11,8   | 6,2        |
| 02/08/1997 01:00   | 9,2   | 11,2   | 4,5        |
| 02/08/1997 02:00   | 8,5   | 10,3   | 4,8        |
| 02/08/1997 03:00   | 8,1   | 9,6    | 4,5        |
| 02/08/1997 04:00   | 9,5   | 11     | 5,5        |
| 02/08/1997 05:00   | 10,3  | 11,1   | 6,6        |
| 02/08/1997 06:00   | 10,6  | 11,6   | 7,3        |
| 02/08/1997 07:00   | 11,8  | 11,9   | 7,7        |
| promedio   | 15,95 | 15,575 | 11,875     |
| Máx.   | 22,4  | 20     | 16,4       |
| Mín.   | 8,1   | 9,6    | 4,5        |
| <b>DATO DIARIO</b>   |       |        |            |
| <b>Corresponde al promedio de todos los horarios del día para T Med.</b>   |       |        |            |
| <b>Para T Min y T Max, corresponde al valor máximo y mínimo en el día.</b> |       |        |            |
| promedio   | 15,95 | 15,575 | 11,875     |
| Máx.   | 22,4  | 20     | 16,4       |
| Mín.   | 8,1   | 9,6    | 4,5        |
| <b>DATO MENSUAL</b>  |       |        |            |
| <b>Corresponde al promedio de todos los diarios del mes.</b>               |       |        |            |
| promedio   | 14,89 | 14,755 | 10,8943548 |
| Máx.   | 20,31 | 19,003 | 16,0580645 |
| Mín.   | 9,945 | 10,716 | 5,9483871  |

Fuente: Autor

### 7.1.3 Construcción detallada de las base de datos finales

Para la construcción de las bases finales se procedió a la complementación de datos faltantes, según la variable a completar y las características de los datos iniciales se adoptaron diferentes metodologías.

#### 7.1.3.1 Precipitación

En el inicio de este proceso, se da paso a un análisis riguroso con el fin de clasificar las estaciones y así posteriormente completar sus datos. Para llevar a cabo esta clasificación se aplicaron 2 criterios:

- **Variación Temporal:**

Se define como la caracterización de una zona natural, según y en relación al comportamiento de las condiciones y variables propias de la zona como la temperatura o la precipitación, durante un período de tiempo específico.

En este procedimiento, las estaciones se han clasificado entonces según el comportamiento de la variable medida, de la siguiente manera:

- **Monomodal:** Existe un patrón de comportamiento en donde la tendencia obedece a un solo valor máximo o pico.
- **Bimodal:** Existe un patrón de comportamiento en donde la tendencia obedece a la mezcla de 2 comportamientos monomodales, es decir; hay 2 valores máximos o picos.
- **Bimodal tipo 2:** El patrón de comportamiento es similar al bimodal, sin embargo; presenta leves alteraciones.
- **No Datos:** Estas estaciones se eliminan, ya que por la escasez de datos no permiten que se presenta un patrón de comportamiento real.

- **Porcentaje de datos:**

Se determina el porcentaje de datos que posee cada una de las estaciones frente al período 1971-2010. Dependiendo del porcentaje obtenido se realizaron los siguientes procedimientos:

Tabla 11. Porcentaje de datos

| <b>% DE DATOS</b>    | <b>PROCEDIMIENTO</b>   |
|----------------------|--|
| MAYOR O IGUAL AL 70% | Se someterán a un análisis de componentes principales según su variación temporal.                       |
| MENOR AL 70 %        | No se someterán al análisis de componentes principales. Serán complementadas por el uso de un algoritmo. |

Fuente: Autor

### 7.1.3.1.1 Aplicación de los criterios

#### ▪ Variación Temporal -Porcentaje de datos

El primer paso consiste en generar el promedio mensual multianual en mm para cada estación desde el año 1971 hasta el 2010, ya que es el lapso de tiempo que nos interesa.

Como paso a seguir, una vez determinados los promedios de cada mes, estos se grafican evidenciando el comportamiento de cada estación; exponiendo su variación temporal.

A continuación, se determina cual es el porcentaje de datos de cada estación. Del total de estaciones evaluadas, las siguientes corresponden a un porcentaje de datos por encima del 70%:

**Tabla 12: Estaciones con más del 70% de los datos frente al período 1971-2010**

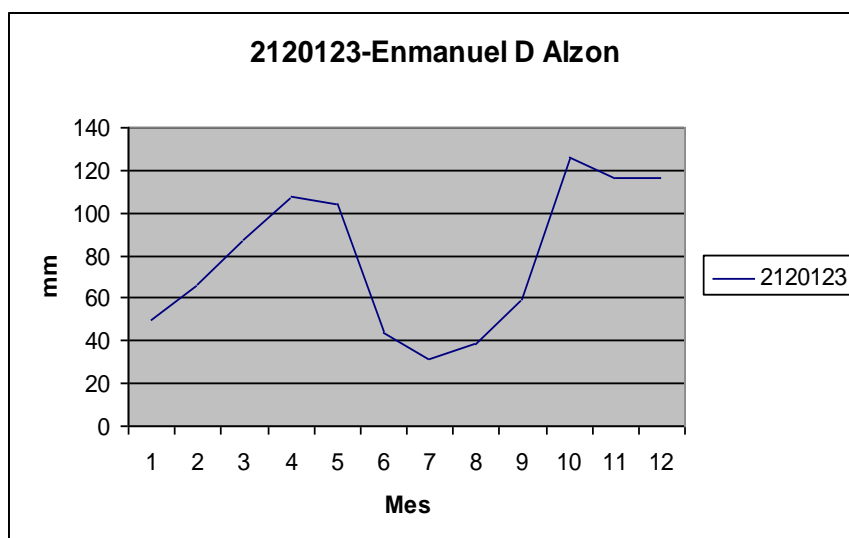
| Nombre            | %  | Nombre        | %   | Nombre             | %   |
|-------------------|----|---------------|-----|--------------------|-----|
| Enmanuel D Alzon  | 93 | Delirio       | 99  | Regadera 2 La      | 100 |
| Sta María de Usme | 73 | Boca Grande   | 94  | Sta Lucia          | 100 |
| Venado Oro Vivero | 95 | Hato El       | 100 | Salitre Casa Bomba | 82  |
| Jardín Botánico   | 85 | San Diego     | 87  | Casablanca         | 85  |
| El dorado         | 98 | Verjon        | 100 | Vitelma            | 96  |
| Arrayán-San Fco   | 97 | Cerro de Suba | 97  | Camavieja          | 88  |
| San Rafael        | 98 | Granizo       | 98  | Bosa               | 94  |

Fuente: Autor

A continuación, se presenta a modo de ejemplo la variación temporal de algunas de las estaciones de la tabla 13:

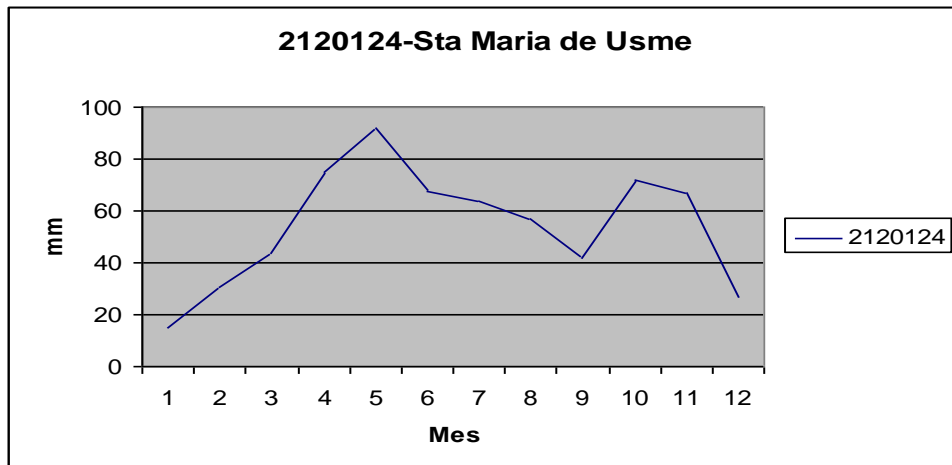
#### ▪ Tipo: Bimodal

|             |
|-------------|
| 2120123     |
| 49,92       |
| 66,43428571 |
| 87,39142857 |
| 107,3611111 |
| 104         |
| 43,79189189 |
| 31,1027027  |
| 38,7        |
| 59,8        |
| 126,3       |
| 116         |
| 116         |



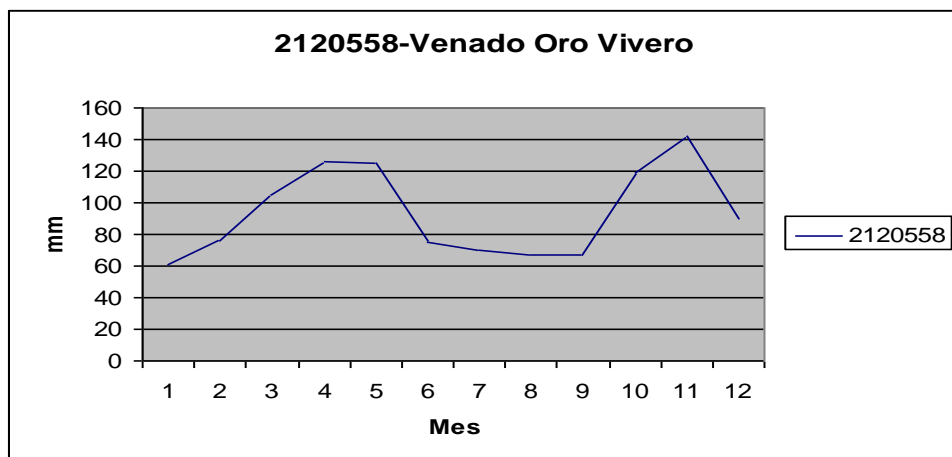
▪ Tipo: Bimodal

|         |
|---------|
| 2120124 |
| 15,1583 |
| 30,5174 |
| 43,813  |
| 75,0458 |
| 91,7739 |
| 67,5792 |
| 63,8958 |
| 56,8    |
| 41,9    |
| 71,9    |
| 66,7    |
| 26,1    |

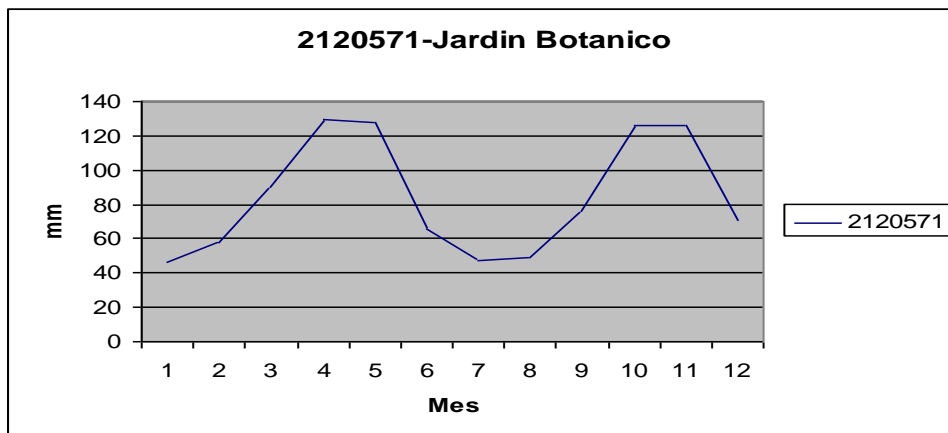


▪ Tipo: Bimodal

|             |
|-------------|
| 2120558     |
| 60,68125    |
| 76,41       |
| 105,0333333 |
| 125,5545455 |
| 125,2090909 |
| 74,53225806 |
| 69,52424242 |
| 67,4        |
| 67,2        |
| 119,3       |
| 142,0       |
| 89,3        |

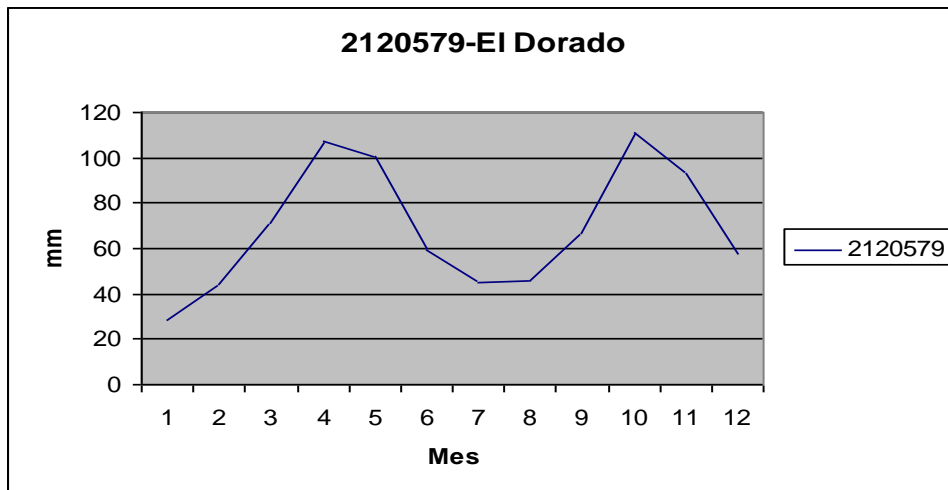


▪ Tipo: Bimodal



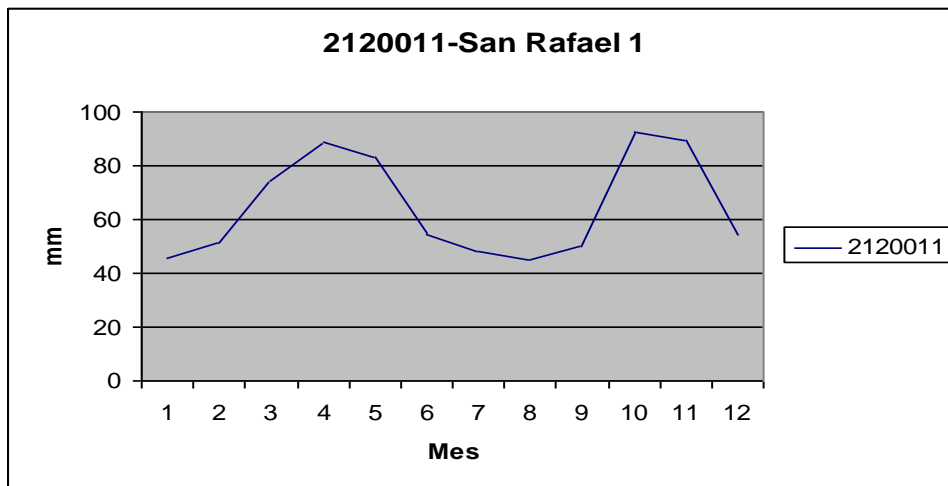
|             |
|-------------|
| 2120571     |
| 46,19259259 |
| 57,49666667 |
| 90,04193548 |
| 129,56875   |
| 127,9       |
| 65,5        |
| 46,98387097 |
| 49,2        |
| 76,4        |
| 126,3       |
| 125,9       |
| 69,9        |

- **Tipo: Bimodal**



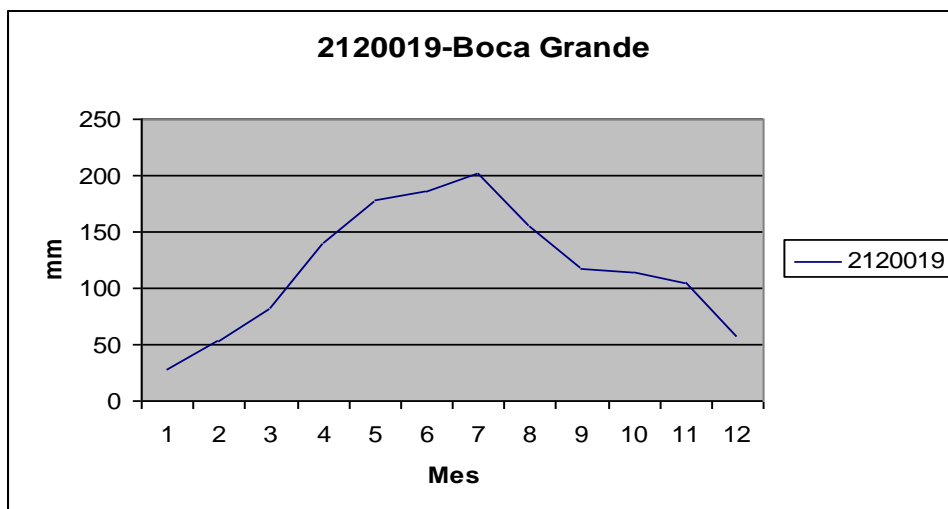
| 2120579     |
|-------------|
| 28,66842105 |
| 44,14615385 |
| 71,31282051 |
| 107,0410256 |
| 100,6794872 |
| 58,96666667 |
| 44,93333333 |
| 45,9        |
| 66,4        |
| 111,3       |
| 93,1        |
| 57,1        |

- **Tipo: Bimodal**



| 2120011     |
|-------------|
| 45,32       |
| 51,08       |
| 74,1        |
| 88,8097561  |
| 83,30487805 |
| 54,08717949 |
| 48,03846154 |
| 44,7        |
| 49,8        |
| 92,2        |
| 89,6        |
| 53,9        |

- **Tipo : Monomodal**



| 2120019     |
|-------------|
| 28,9        |
| 53,4425     |
| 82,87894737 |
| 140,9368421 |
| 178,0513514 |
| 185,7657895 |
| 200,9351351 |
| 155,0       |
| 117,5       |
| 113,9       |
| 104,4       |
| 55,5        |

Finalmente se presentan los resultados totales, de la variación temporal aplicada a las estaciones con más del 70% de datos:

**Tabla 13: Clasificación de las estaciones por comportamiento según la Variación Temporal**

| <b>Monomodal</b> | <b>Bimodal</b>     | <b>Bimodal 2</b>  |
|------------------|--------------------|-------------------|
| Boca Grande      | Enmanuel D Alzon   | Sta María de Usme |
|                  | Venado Oro Vivero  | Delirio           |
|                  | El dorado          | Hato El           |
|                  | Jardín Botánico    | Regadera 2 La     |
|                  | Arrayán-San Fco    |                   |
|                  | San Rafael         |                   |
|                  | San Diego          |                   |
|                  | Verjón             |                   |
|                  | Cerro de Suba      |                   |
|                  | Granizo            |                   |
|                  | Sta Lucia          |                   |
|                  | Salitre Casa Bomba |                   |
|                  | Casablanca         |                   |
|                  | Vitelma            |                   |
|                  | Camavieja          |                   |
|                  | Bosa               |                   |

**Fuente: Autor**

Para las estaciones con mas del 70 % de datos y con una variación temporal tipo bimodal, se uso el análisis de componentes principales con el fin generar grupos comunes; luego se completaron con el algoritmo.

#### **7.1.3.1.2 Algoritmo**

Descripción del algoritmo usado en el complemento de las bases de datos:

#### **ALGORITMO:**

- Se sube la base de datos a completar, en este caso se sube mes a mes, es decir; primero enero, luego febrero, etc.
- Una vez lista la base, se calcula la suma de los valores para todas las estaciones, en el mes que se desee.
- Se procede a calcular los datos faltantes, asumiendo los siguientes cálculos:

$$Nx/n$$

Dónde:

**Nx**=Promedio para cada estación.

**n**= Cantidad de estaciones disponibles.

Luego:

$$P_i/N_x$$

Dónde:

$P_i$ =Dato mensual de cada estación.

$N_x$ =Promedio para cada estación.

**Ahora se suma los valores obtenidos en el último paso, para todas las estaciones en el mes que se desea calcular.**

Luego:

$$(N_x/n) * \sum(P_i/N_x)$$

Dónde:

$(N_x/n)$  =Valor obtenido de la división entre el promedio cada estación y la cantidad de estaciones disponibles.

$\sum(P_i/N_x)$ =Suma de valores para todas las estaciones, en el mes que se desea calcular, según el paso anterior.

El mismo algoritmo se usó para completar:

- El resto de las estaciones con un porcentaje de datos mayor al 70 %, es decir las que tienen un comportamiento monomodal y las 4 bimodal tipo 2.
- El total de estaciones con un porcentaje de datos menor al 70 %.

### 7.1.3.2 Temperatura media, mínima y máxima

Debido a que la temperatura no es de carácter lineal, el comportamiento de la misma no puede ser caracterizado basándonos en los criterios expuestos para la variación temporal de la precipitación. En este caso, el criterio de clasificación será la elevación de las estaciones.

- **Clasificación por elevación:**

Al hacer una comparación entre todas las elevaciones de las estaciones a completar, se llegó a definir 3 intervalos presentados a continuación:

**Tabla 14: Rangos de clasificación por elevación**

| Rango | Número | Elevación (msnm) |
|-------|--------|------------------|
|       | 1      | 2500 - 2800      |
|       | 2      | 2800-3100        |
|       | 3      | 3100-3500        |

Fuente: Autor

### 7.1.3.2.1 Aplicación de los Criterios:

- **Clasificación por elevación:**

La clasificación se hizo para la temperatura mínima, media y máxima, con el fin de generar una base de datos para cada variable.

**Tabla 15: Resultados clasificación por elevación**

| T Min         |           |               | T Med         |           |               | T Max         |           |               |
|---------------|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|
| Estación      | Elevación | Rango         | Estación      | Elevación | Rango         | Estación      | Elevación | Rango         |
| 3502507       | 3150      | 3 (3100-3500) | 3502507       | 3150      | 3 (3100-3500) | E2120579      | 2547      | 1 (2500-2800) |
| 2120656       | 2580      | 1 (2500-2800) | 2120656       | 2580      | 1 (2500-2800) | E2120559      | 2560      | 1 (2500-2800) |
| 2120650       | 2570      | 1 (2500-2800) | 2120623       | 2543      | 1 (2500-2800) | E2120650      | 2570      | 1 (2500-2800) |
| 2120623       | 2543      | 1 (2500-2800) | 2120622       | 2556      | 1 (2500-2800) | E2120552      | 2546      | 1 (2500-2800) |
| 2120622       | 2556      | 1 (2500-2800) | 2120619       | 2570      | 1 (2500-2800) | E2120571      | 2552      | 1 (2500-2800) |
| 2120619       | 2570      | 1 (2500-2800) | 2120605       | 2650      | 1 (2500-2800) | E2120605      | 2650      | 1 (2500-2800) |
| 2120605       | 2650      | 1 (2500-2800) | 2120579       | 2547      | 1 (2500-2800) | E2120656      | 2580      | 1 (2500-2800) |
| 2120579       | 2547      | 1 (2500-2800) | 2120571       | 2552      | 1 (2500-2800) | E2120523      | 2556      | 1 (2500-2800) |
| 2120571       | 2552      | 1 (2500-2800) | 2120569       | 2680      | 1 (2500-2800) | E3502507      | 3150      | 3 (3100-3500) |
| 2120559       | 2560      | 1 (2500-2800) | 2120559       | 2560      | 1 (2500-2800) | E2120622      | 2556      | 1 (2500-2800) |
| 2120558       | 2725      | 1 (2500-2800) | 2120558       | 2725      | 1 (2500-2800) | E2120619      | 2570      | 1 (2500-2800) |
| 2120552       | 2546      | 1 (2500-2800) | 2120552       | 2546      | 1 (2500-2800) | E2120623      | 2543      | 1 (2500-2800) |
| 2120523       | 2556      | 1 (2500-2800) | 2120547       | 2518      | 1 (2500-2800) | E2120558      | 2725      | 1 (2500-2800) |
| Guaymaral     | 2575      | 1 (2500-2800) | 2120530       | 3256      | 3 (3100-3500) | Guaymaral     | 2575      | 1 (2500-2800) |
| Suba          | 2569      | 1 (2500-2800) | 2120524       | 2800      | 1 (2500-2800) | Usaquén       | 2574      | 1 (2500-2800) |
| Las Ferias    | 2563      | 1 (2500-2800) | 2120523       | 2556      | 1 (2500-2800) | Suba          | 2569      | 1 (2500-2800) |
| Simón Bolívar | 2577      | 1 (2500-2800) | 2120509       | 3050      | 3 (3100-3500) | Las Ferias    | 2563      | 1 (2500-2800) |
| Fontibón      | 2576      | 1 (2500-2800) | 2119510       | 3200      | 3 (3100-3500) | Simón Bolívar | 2577      | 1 (2500-2800) |
| Puente Aranda | 2581      | 1 (2500-2800) | Guaymaral     | 2575      | 1 (2500-2800) | Fontibón      | 2576      | 1 (2500-2800) |
| Carvajal      | 2541      | 1 (2500-2800) | Usaquén       | 2574      | 1 (2500-2800) | Puente Aranda | 2581      | 1 (2500-2800) |
| Vitelma       | 2761      | 1 (2500-2800) | Suba          | 2569      | 1 (2500-2800) | Kennedy       | 2569      | 1 (2500-2800) |
| USME          | 2789      | 1 (2500-2800) | Las Ferias    | 2563      | 1 (2500-2800) | Carvajal      | 2541      | 1 (2500-2800) |
|               |           |               | Simón Bolívar | 2577      | 1 (2500-2800) | Tunal         | 2562      | 1 (2500-2800) |
|               |           |               | Fontibón      | 2576      | 1 (2500-2800) | Vitelma       | 2761      | 1 (2500-2800) |
|               |           |               | Puente Aranda | 2581      | 1 (2500-2800) | USME          | 2789      | 1 (2500-2800) |
|               |           |               | Kennedy       | 2569      | 1 (2500-2800) |               |           |               |
|               |           |               | Carvajal      | 2541      | 1 (2500-2800) |               |           |               |
|               |           |               | Tunal         | 2562      | 1 (2500-2800) |               |           |               |
|               |           |               | Vitelma       | 2761      | 1 (2500-2800) |               |           |               |
|               |           |               | USME          | 2789      | 1 (2500-2800) |               |           |               |

**Fuente: Autor**

Con esta clasificación, se buscaba identificar grupos de estaciones dentro de los rangos propuestos para así poder generar un algoritmo para cada grupo. Sin embargo, en consecuencia a la escasez de estaciones en algunos rangos se tomó la decisión de aplicar el algoritmo para el conjunto total de estaciones.

**Tabla 16: Cantidad estaciones por rango de clasificación de elevación**

| Rango o Grupo (msnm)  | Cantidad estaciones identificadas |         |       |
|-----------------------|-----------------------------------|---------|-------|
|                       | T min                             | T media | T max |
| <b>1 (2500 -2800)</b> | 21                                | 26      | 24    |
| <b>2 (2800-3100)</b>  | 0                                 | 0       | 0     |
| <b>3 (3100-3500)</b>  | 1                                 | 4       | 1     |

Fuente: Autor

- **Rango 1 de 2500 a 2800 msnm:** Se encontraron, 21 estaciones para temperatura mínima, 26 para temperatura media y 24 para temperatura máxima.
- **Rango 2 de 2800 a 3100 msnm:** No se encontró ninguna estación.
- **Rango 3 de 3100 a 3500 msnm:** Se encontraron, 1 estación para temperatura mínima, 4 para temperatura media y 1 para temperatura máxima.

### 7.1.3.2.2 Algoritmos

El algoritmo que se utilizó en este caso fue el mismo aplicado en la parte de precipitación. Se generó una corrida independiente para cada una de las temperaturas (T Mínima, T media, T Máxima), de esta manera se obtuvo una base para cada variable.

A diferencia de lo ocurrido en la precipitación, los valores de los datos arrojados en el algoritmo para las temperaturas no fueron satisfactorios, esto en consecuencia a que presentaban valores muy altos que excedían los rangos típicos de temperatura en Bogotá. Para corregir dicho problema fue necesario emplear un método de complementación:

- Según las observaciones de los datos de temperatura para Bogotá y la experiencia del funcionario del IDEAM el Doctor Franklyn Ruiz se definieron 3 intervalos uno para cada temperatura, el cual corresponde a los valores típicos de las variables en la ciudad:

**Tabla 17: Valores típicos de temperatura (Mínima, Media, Máxima) para Bogotá**

|                 | °C          |
|-----------------|-------------|
| <b>T Mínima</b> | 3 a 11      |
| <b>T Media</b>  | 11 a 17.5   |
| <b>T Máxima</b> | 17.5 a 24.1 |

Fuente: Autor

Una vez teniendo claros dichos intervalos, se procedió a eliminar de las bases de datos generadas en los algoritmos; todo los datos que excedieran por encima o por debajo dichos valores.

### 7.1.3.2.3 Aplicación software TSW

Al tener que eliminar una gran cantidad de datos en el paso anterior, se generó una amplia cantidad de vacíos los cuales fueron completados en este paso.

- Archivo de entrada al software:

El archivo entrante se compone de los datos de todas las estaciones.

Tabla 18: Ejemplo archivo

|        | E2120579 | E2120523 | E2120552 | E2120558 |
|--------|----------|----------|----------|----------|
| Ene-72 | 19,1     | 18,8     | 19,1065  | 17,943   |
| Feb-72 | 19,3     | 19,9     | 19,3065  | 19,4     |
| Mar-72 | 19,2     | 20,2     | 19,2065  | 19,1     |
| Abr-72 | 18,9     | 19,3     | 18,9     | 17,743   |
| May-72 | 19       | 19,4     | 19,0065  | 17,843   |
| Jun-72 | 18,3     | 18,3     | 18,3065  | 17,143   |
| Jul-72 | 17,9     | 18       | 17,9065  | 16,743   |
| Ago-72 | 18,4     | 18,9     | 18,4065  | 17,243   |
| Sep-72 | 18,4     | 18,5     | 18,4065  | 17,243   |
| Oct-72 | 19,1     | 19,7     | 19,1065  | 17,6     |
| Nov-72 | 19,2     | 19,4     | 19,2065  | 17       |
| Dic-72 | 19       | 19,9     | 19,0065  | 17,5     |

Fuente: Autor

- Pasos siguientes:

The figure illustrates the workflow of the software through six sequential steps:

- Selección de la estación a completar.** A screenshot of the 'Series List' window where station 'E2120579' is selected.
- La grafica muestra los lugares donde faltan datos.** A time-series plot for station E2120579 showing data points with gaps (missing values).
- Selección de parametros del metodo arima.** A screenshot of the 'Automatic Procedure - Arima Model' dialog box with various parameters set.
- Selección de parametro generales.** A screenshot of the 'Series Name' dialog box with general attributes like '# Observations' and 'Starting Year'.
- Se corre el software, la grafica muestra la serie completada.** A time-series plot for station E2120579 showing the data series after missing values have been imputed.
- Archivo de salida.** A screenshot of the output file showing a table with columns for DATE, SERIES, and TREND/CYCLE.

Lo más representativo de este proceso, ocurre en los parámetros del método ARIMA el cual debe estar ajustado para lograr regresiones sobre la serie de tiempo. Para lograr este resultado se corrigen y se interpolan los valores faltantes dentro de la serie.

**Tabla 19: Ejemplo archivo salida**

|           |        |            |          |
|-----------|--------|------------|----------|
| "2120579" |        |            |          |
| DATE      | SERIES | TRENDCYCLE | SASERIES |
| 1-1972    | 6,9    | 7,333587   | 8,225093 |
| 2-1972    | 4,6    | 7,272336   | 6,338766 |
| 3-1972    | 7,5    | 7,245438   | 7,316086 |
| 4-1972    | 7,5    | 7,258502   | 6,990038 |
| 5-1972    | 8,9    | 7,279816   | 7,495371 |
| 6-1972    | 8,5    | 7,288387   | 7,411463 |
| 7-1972    | 8,6    | 7,256546   | 7,782204 |

Fuente: Autor

## 7.2 DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS

A partir de las bases de datos resultantes, se procede a generar una descripción del comportamiento de la precipitación y las temperaturas (T Mínima, T Media, T Máxima) en el período 1971-2010.

### 7.2.1 Precipitación

Lo primero es generar los promedios mensuales multianuales del período 1971-2010.

A manera de ejemplo se presentan los promedios mensuales multianuales para algunas estaciones. La tabla completa se presenta en el capítulo de Resultados.

**Tabla 20: Promedios mensuales multianuales de precipitación en mm**

| Código  | Nombre     | LAT        | LON      | Ene   | Feb   | Mar    | Abr    | May    | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct    | Nov    | Dic   |
|---------|------------|------------|----------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 2120558 | Venado Oro | 4,59836111 | -74,0616 | 66,66 | 77,58 | 104,97 | 135,86 | 128,74 | 75,98 | 72,45 | 66,83 | 65,78 | 135,58 | 149,16 | 92,26 |
| 2120052 | Sta Lucia  | 4,56666667 | -74,1167 | 24,40 | 36,20 | 55,24  | 88,74  | 81,17  | 54,19 | 40,89 | 42,24 | 48,91 | 92,05  | 76,52  | 47,09 |

Fuente: Autor

Luego se calculo el valor total multianual en mm. A manera de ejemplo se presenta el total anual para algunas estaciones. La tabla completa se presenta en el capítulo de Resultados.

**Tabla 21: Total multianual de precipitación en mm**

| Código  | Nombre     | LAT        | LON      | Ene   | Feb   | Mar    | Abr    | May    | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct    | Nov    | Dic   | Suma    |
|---------|------------|------------|----------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|---------|
| 2120558 | Venado Oro | 4,59836111 | -74,0616 | 66,66 | 77,58 | 104,97 | 135,86 | 128,74 | 75,98 | 72,45 | 66,83 | 65,78 | 135,58 | 149,16 | 92,26 | 1171,84 |
| 2120052 | Sta Lucia  | 4,56666667 | -74,1167 | 24,40 | 36,20 | 55,24  | 88,74  | 81,17  | 54,19 | 40,89 | 42,24 | 48,91 | 92,05  | 76,52  | 47,09 | 687,63  |

Fuente: Autor

El valor total multianual, se utilizó para determinar:

- Distribución espacial-temporal de la precipitación en Bogotá.
- Tendencia y comportamiento de las estaciones (Bimodal, monomodal, bimodal 2).

Como paso final se calcula la precipitación media mensual, para establecer, cuáles son los meses con mayor y menor precipitación en Bogotá.

**Tabla 22: Precipitación media mensual en mm**

| Ene   | Feb   | Mar   | Abr    | May    | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct    | Nov    | Dic   |
|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 41,32 | 60,58 | 84,71 | 116,01 | 123,49 | 92,12 | 80,31 | 72,03 | 73,07 | 118,39 | 108,29 | 66,13 |

Fuente: Autor

### 7.2.2 Temperatura (T Mínima, T Media, T Máxima)

Lo primero fue generar los promedios mensuales multianuales del período 1971-2010.

A manera de ejemplo se presentan los promedios mensuales multianuales para algunas estaciones. La tabla completa se presenta en el capítulo de Resultados.

**Tabla 23: Promedios mensuales multianuales de la temperatura media en °C**

| Código  | Nombre          | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic   |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2120579 | Apto El Dorado  | 13,15 | 13,55 | 13,81 | 13,01 | 14,03 | 13,79 | 13,40 | 13,38 | 13,40 | 13,44 | 13,50 | 13,26 |
| 2120523 | ObsMet Nacional | 13,76 | 14,11 | 14,34 | 14,25 | 14,50 | 14,24 | 13,84 | 13,93 | 13,96 | 13,45 | 14,05 | 13,93 |

Fuente: Autor

Con los valores mensuales multianuales se procedió a calcular el promedio multianual.

A manera de ejemplo se presenta el promedio anual para algunas estaciones. La tabla completa se presenta en el capítulo de Resultados.

**Tabla 24: Promedio multianual de temperatura media en °C.**

| Codigo  | Nombre          | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic   | Pro   |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2120579 | Apto El Dorado  | 13,15 | 13,55 | 13,81 | 13,01 | 14,03 | 13,79 | 13,40 | 13,38 | 13,40 | 13,44 | 13,50 | 13,26 | 13,48 |
| 2120523 | ObsMet Nacional | 13,76 | 14,11 | 14,34 | 14,25 | 14,50 | 14,24 | 13,84 | 13,93 | 13,96 | 13,45 | 14,05 | 13,93 | 14,03 |

Fuente: Autor

El valor del promedio multianual, se utilizó para determinar:

- Variabilidad temporal de la temperatura en Bogotá.
- Variabilidad espacial de la temperatura en Bogotá.

### 7.3 VARIABILIDAD CLIMÁTICA

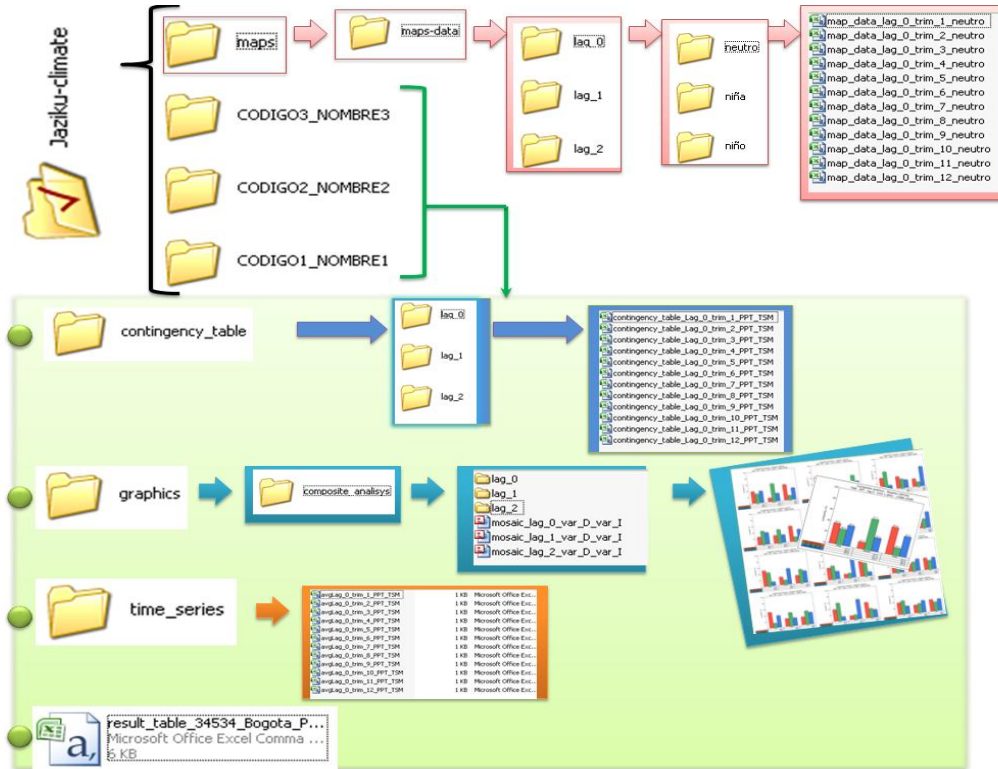
La metodología empleada en esta sección fue pensada teniendo en cuenta la relación que hay entre ciertas variables climatológicas (Precipitación, T Mínima, T Media, T Máxima) y el índice de variabilidad climática ONI. Para determinar esta, se empleó el software JAZIKU. Los efectos de esta relación, se ven evidenciados en los resultados arrojados por el software los cuales están categorizados así:

- **Valor Above:** Todo valor por encima del valor normal. En este caso entendió como el fenómeno del niño.
- **Valor Below:** Todo valor por encima del valor normal. En este caso entendió como el fenómeno del niño.
- **Valor Normal:** Se utiliza para definir y comparar el clima y generalmente representa el valor promedio de una serie continua de mediciones de una variable climatológica durante un período de por lo menos 30 años.

De la misma manera el software expresa sus resultados de 3 formas básicas:

- **Tablas de contingencia**
- **Análisis Compuesto**
- **INDEX (maps)**

Figura 13: Estructura general de resultados en Jaziku



Fuente: Manual Jaziku 2011, IDEAM.

A continuación se presenta el proceso de implementación del software:

- **Consideraciones Generales para correr el programa:**

Plataforma Linux.

Uso de script.

Uso de comandos.

- **Archivo de entrada al programa Variable dependiente:**

Debe manejar la estructura Año-Mes-Estación.

**Tabla 25: Archivo de entrada a Jaziku**

| AÑO  | MES | 2120579 | 2120523 | 2120524 | 2120547 |
|------|-----|---------|---------|---------|---------|
| 1971 | 1   | 99999   | 13,6    | 11,1    | 99999   |
| 1972 | 1   | 12,6    | 13,7    | 9,2     | 12,7885 |
| 1973 | 1   | 13,3    | 15      | 8,3     | 13,2    |
| 1974 | 1   | 12,1    | 13,3    | 8,7     | 11,8    |
| 1975 | 1   | 12,3    | 13,8    | 8,3     | 12,3    |
| 1976 | 1   | 12,2    | 13,6    | 9,4     | 12      |
| 1977 | 1   | 12,7    | 14,5    | 13,5    | 12      |
| 1978 | 1   | 12,5    | 15      | 9,7     | 9,9     |

Fuente: Autor

- **Archivo de entrada al programa Variable Independiente:**

Datos tomados de la página del CPC (ClimatePrediction Center): [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)

**Tabla 26: Archivo de entrada a Jaziku-Variable Independiente**

|         |      |
|---------|------|
| 1971-1  | -1.3 |
| 1971-2  | -1.3 |
| 1971-3  | -1.1 |
| 1971-4  | -0.9 |
| 1971-5  | -0.8 |
| 1971-6  | -0.8 |
| 1971-7  | -0.8 |
| 1971-8  | -0.8 |
| 1971-9  | -0.8 |
| 1971-10 | -0.9 |
| 1971-11 | -1.0 |
| 1971-12 | -0.9 |

Fuente: Autor

- **Corrida del programa:**

Una vez listos los archivos de variable independiente y dependiente, se usa el script para transformar el archivo de la variable dependiente en una lista de estaciones que leerá jaziku:

**Tabla 27: Archivo arrojado por el script**

| Código  | Estación           | Longitud | Latitud | Ubicación VD                    | VD   | Ubicación VI  | VI  | CONDICIONANTES |         |
|---------|--------------------|----------|---------|---------------------------------|------|---------------|-----|----------------|---------|
| 2120579 | Apto El Dorado     | -74,15   | 4,71    | dependent_var_files/2120579.txt | TEMP | ONIJAZIKU.csv | ONI | default        | default |
| 2120523 | ObsMet Nacional    | -74,10   | 4,63    | dependent_var_files/2120523.txt | TEMP | ONIJAZIKU.csv | ONI | default        | default |
| 2120524 | 2120524            | (lon)    | (lat)   | dependent_var_files/2120524.txt | TEMP | ONIJAZIKU.csv | ONI | default        | default |
| 2120547 | 2120547            | (lon)    | (lat)   | dependent_var_files/2120547.txt | TEMP | ONIJAZIKU.csv | ONI | default        | default |
| 2120552 | Eldorado Didactica | -74,15   | 4,70    | dependent_var_files/2120552.txt | TEMP | ONIJAZIKU.csv | ONI | default        | default |
| 2120558 | Venado Oro Vivero  | -74,06   | 4,60    | dependent_var_files/2120558.txt | TEMP | ONIJAZIKU.csv | ONI | default        | default |
| 2120559 | Apto Guaymaral     | -74,08   | 4,82    | dependent_var_files/2120559.txt | TEMP | ONIJAZIKU.csv | ONI | default        | default |
| 2120569 | 2120569            | (lon)    | (lat)   | dependent_var_files/2120569.txt | TEMP | ONIJAZIKU.csv | ONI | default        | default |
| 2120571 | JardinBotanico     | -74,10   | 4,67    | dependent_var_files/2120571.txt | TEMP | ONIJAZIKU.csv | ONI | default        | default |

|               |  |
|---------------|--|
| VD            | Variable Dependiente                               |
| VI            | Variable Independiente                             |
| Condicionante | Permite que el programa tome los datos ingresados. |

**Fuente: Autor-Tomado de Jaziku.**

## 7.4 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Para la generación de los escenarios, se manejó la siguiente metodología:

### 7.4.1 Selección del escenario de emisiones

El IPCC en su cuarto informe de evaluación del Cambio Climático (IPCC,2007) y en el informe de escenarios de emisiones de gases efecto invernadero (IPCC, 2000) contribuyó con una amplia variedad de escenarios de Cambio Climático, cada uno igualmente válido. Con base en estos documentos, el IDEAM adoptó los escenarios A2, B2, y A1B, ya que según las características de cada uno se presume que pueden llegar a ser los que más se ajusten al contexto de nuestro país y en este caso a la ciudad de Bogotá.

Sin embargo, ya que una proyección de escenarios radica en el hecho de que hay muchos factores que influyen en el comportamiento y desarrollo de los mismos, es imposible definir exactamente cuál va a ser el comportamiento y la evolución del clima en nuestro país y en Bogotá frente al Cambio Climático. Por esta razón, asumiendo que no se tiene una constancia de este hecho se dará prioridad en el trabajo al escenario resultante del ensamble (ver marco conceptual) de los 3 escenarios. De esta manera se permitirá cubrir de una manera más oportuna el efecto del Cambio Climático en Bogotá.

## 7.4.2 Selección del modelo Global

Es importante tener claro que para el desarrollo de las proyecciones esperadas, existe un sinfín de factores forzantes que influyen en ellas. Tales son como la circulación atmosférica, el flujo de masas de aire, el equilibrio térmico, el equilibrio hidrostático, el balance energético, la continuidad del aire seco y la continuidad de la humedad (IDEAM(1),2010), el comportamiento de las variables estudiadas, las concentraciones de los gases de efecto invernadero y el comportamiento del océano. Una vez asumidas estas condiciones, es entonces clave entender que nuestro modelo a trabajar debe ser uno de circulación general de atmósfera-océano.

### 7.4.2.1 Criterios de selección

Dentro de la comunidad científica global, hay una amplia gama de institutos e instituciones dedicadas al diseño e implementación de modelos globales.

Teniendo en cuenta esta variedad, es necesario someter cada uno de los modelos a unos criterios de evaluación los cuales permitirán seleccionar de la manera oportuna los más eficaces.

**Figura 14: Principales institutos con sus respectivos modelos globales**

| Originating Group(s)   | Country         | CMIP3 I.D.       |
|--|-----------------|------------------|
| Beijing Climate Center   | China           | BCC-CM1          |
| Bjerknes Centre for Climate Research   | Norway          | BCCR-BCM2.0      |
| National Center for Atmospheric Research   | USA             | CCSM3            |
| Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis   | Canada          | CGCM3.1(T47)     |
| Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis   | Canada          | CGCM3.1(T63)     |
| Météo-France / Centre National de Recherches Météorologiques   | France          | CNRM-CM3         |
| CSIRO Atmospheric Research   | Australia       | CSIRO-Mk3.0      |
| CSIRO Atmospheric Research   | Australia       | CSIRO-Mk3.5      |
| Max Planck Institute for Meteorology   | Germany         | ECHAM5/MPI-OM    |
| Meteorological Institute of the University of Bonn, Meteorological Research Institute of KMA, and Model and Data group.  | Germany / Korea | ECHO-G           |
| LASG / Institute of Atmospheric Physics  | China           | FGOALS-g1.0      |
| US Dept. of Commerce / NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory  | USA             | GFDL-CM2.0       |
| US Dept. of Commerce / NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory  | USA             | GFDL-CM2.1       |
| NASA / Goddard Institute for Space Studies   | USA             | GISS-AOM         |
| NASA / Goddard Institute for Space Studies   | USA             | GISS-EH          |
| NASA / Goddard Institute for Space Studies   | USA             | GISS-ER          |
| Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  | Italy           | INGV-SXG         |
| Institute for Numerical Mathematics  | Russia          | INM-CM3.0        |
| Institut Pierre Simon Laplace  | France          | IPSL-CM4         |
| Center for Climate System Research (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC) | Japan           | MIROC3.2(hires)  |
| Center for Climate System Research (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC) | Japan           | MIROC3.2(medres) |
| Meteorological Research Institute  | Japan           | MRI-CGCM2.3.2    |
| National Center for Atmospheric Research   | USA             | PCM              |
| Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office   | UK              | UKMO-HadCM3      |
| Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office   | UK              | UKMO-HadGEM1     |

Fuente: IPCC.

Según Ruiz (IDEAM, 2011), los principales criterios de evaluación de escenarios son:

- Correlación: Medida de ajuste.

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

- Sesgo: Error medio del modelo.

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

+ = sobrestimación - = subestimación

- Raíz del error cuadrático medio (RMSE): Medida de la exactitud.

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

- Raíz del error cuadrático medio corregido (RMSE-corr): Es el error cuadrático medio después de una corrección aplicada al campo de la media del modelo para eliminar cualquier sesgo.

$$(RMSE - corr)^2 = (RMSE)^2 - BIAS^2$$

- Variación anual.
- Correlación de la precipitación.

#### 7.4.2.2 Evaluación de los criterios

Los primeros 4 criterios ha sido evaluados anteriormente por el IPCC en forma simultánea y se han consolidado sus resultados:

Figura 15: Resultados de los criterios evaluados

|          | PRECIPITACIÓN |       |          |           | TEMPERATURA |       |          |           | PRESIÓN |       |          |           |
|----------|---------------|-------|----------|-----------|-------------|-------|----------|-----------|---------|-------|----------|-----------|
|          | CORREL        | RMSE  | BIAS ABS | CORR-RMSE | CORREL      | RMSE  | BIAS ABS | CORR-RMSE | CORREL  | RMSE  | BIAS ABS | CORR-RMSE |
| BCCRBCM2 | 0.622         | 1.592 | 0.287    | 1.566     | 0.980       | 2.272 | 1.819    | 1.362     | 0.975   | 1.090 | 0.390    | 1.017     |
| CCCMA-31 | 0.752         | 1.294 | 0.153    | 1.285     | 0.971       | 1.925 | 1.009    | 1.639     | 0.904   | 2.558 | 0.139    | 2.554     |
| CCSM--30 | 0.600         | 1.692 | 0.526    | 1.608     | 0.979       | 1.438 | 0.267    | 1.413     | 0.962   | 2.096 | 0.614    | 2.004     |
| CNRM-CM3 | 0.639         | 1.590 | 0.477    | 1.517     | 0.976       | 2.361 | 1.787    | 1.543     | 0.966   | 1.653 | 1.082    | 1.250     |
| CSIRO-30 | 0.459         | 1.953 | 0.704    | 1.821     | 0.975       | 2.016 | 1.294    | 1.546     | 0.933   | 2.578 | 0.284    | 2.562     |
| ECHO---G | 0.811         | 1.170 | 0.168    | 1.158     | 0.977       | 1.659 | 0.760    | 1.475     | 0.949   | 1.752 | 0.960    | 1.465     |
| FGOALS1G | 0.619         | 1.538 | 0.103    | 1.535     | 0.970       | 1.762 | 0.484    | 1.694     | 0.939   | 1.734 | 0.186    | 1.724     |
| GFDLCM20 | 0.702         | 1.437 | 0.286    | 1.408     | 0.981       | 1.803 | 1.211    | 1.336     | 0.938   | 2.334 | 1.286    | 1.948     |
| GFDLCM21 | 0.617         | 1.573 | 0.238    | 1.555     | 0.970       | 1.853 | 0.811    | 1.666     | 0.954   | 2.006 | 1.365    | 1.470     |
| GISS--EH | 0.633         | 1.611 | 0.486    | 1.536     | 0.941       | 2.521 | 0.918    | 2.348     | 0.913   | 7.976 | 7.743    | 1.912     |
| GISS--ER | 0.540         | 1.854 | 0.357    | 1.820     | 0.942       | 2.380 | 0.022    | 2.379     | 0.884   | 3.638 | 2.962    | 2.111     |
| INMCM-30 | 0.566         | 1.670 | 0.361    | 1.631     | 0.970       | 2.684 | 2.093    | 1.680     | 0.948   | 1.953 | 0.974    | 1.693     |
| IPSL_CM4 | 0.538         | 1.899 | 0.473    | 1.839     | 0.959       | 2.641 | 1.282    | 2.310     | 0.930   | 2.175 | 1.081    | 1.887     |
| MIROC-HI | 0.675         | 1.684 | 0.164    | 1.676     | 0.983       | 1.571 | 0.885    | 1.298     | 0.943   | 2.626 | 0.172    | 2.620     |
| MIROCMED | 0.682         | 1.511 | 0.292    | 1.482     | 0.969       | 2.164 | 1.352    | 1.689     | 0.939   | 2.711 | 0.672    | 2.627     |
| MPIECH-5 | 0.709         | 1.425 | 0.113    | 1.421     | 0.988       | 1.222 | 0.021    | 1.222     | 0.972   | 1.161 | 0.200    | 1.144     |
| MRI-232A | 0.804         | 1.243 | 0.219    | 1.224     | 0.972       | 1.649 | 0.352    | 1.611     | 0.963   | 1.608 | 1.050    | 1.218     |
| NCARPCM1 | 0.308         | 2.127 | 0.014    | 2.127     | 0.967       | 2.163 | 1.245    | 1.769     | 0.919   | 2.223 | 0.117    | 2.220     |
| UKHADCM3 | 0.821         | 1.164 | 0.064    | 1.163     | 0.983       | 1.287 | 0.082    | 1.285     | 0.948   | 1.804 | 0.936    | 1.542     |
| UKHADGEM | 0.707         | 2.073 | 0.609    | 1.981     | 0.987       | 1.871 | 1.501    | 1.118     | 0.978   | 1.434 | 0.066    | 1.433     |

Fuente: Ruiz, Generación de escenarios de CC, IDEAM.

En la figura15, se ve los resultados obtenidos por la evaluación en donde el color verde arroja los mejores resultados y los rojos los peores. De esta manera podemos concluir que los modelos cuyos resultados fueron los mejores en cuanto a la temperatura y a la precipitación son :

- UKHADCM3
- ECHO---G
- MPIECH-5

Para dar una mayor seguridad a la selección del modelo, se evaluaron los mismo 4 criterios pero a nivel regional.

Figura 16. Evaluación regional de la precipitación

|           | Dic-Ene-Feb |       |          |           | Mar-Abr-May |       |          |           | Jun-Jul-Ago |       |          |           | sep-Oct-Nov |       |          |           |
|-----------|-------------|-------|----------|-----------|-------------|-------|----------|-----------|-------------|-------|----------|-----------|-------------|-------|----------|-----------|
|           | CORREL      | RMSE  | BIAS ABS | CORR-RMSE | CORREL      | RMSE  | BIAS ABS | CORR-RMSE | CORREL      | RMSE  | BIAS ABS | CORR-RMSE | CORREL      | RMSE  | BIAS ABS | CORR-RMSE |
| BCCRCM2   | 0.622       | 2.091 | 0.293    | 2.071     | 0.578       | 2.240 | 0.338    | 2.214     | 0.735       | 1.953 | 0.002    | 1.953     | 0.781       | 1.754 | 0.460    | 1.693     |
| CCOMA-31  | 0.702       | 1.725 | 0.281    | 1.702     | 0.591       | 2.148 | 0.373    | 2.115     | 0.810       | 1.711 | 0.218    | 1.697     | 0.826       | 1.514 | 0.004    | 1.514     |
| CCSM--30  | 0.514       | 2.531 | 0.400    | 2.499     | 0.567       | 2.384 | 0.794    | 2.247     | 0.712       | 2.139 | 0.806    | 1.981     | 0.635       | 2.235 | 0.526    | 2.172     |
| CNRM-CM3  | 0.594       | 2.258 | 0.656    | 2.160     | 0.546       | 2.302 | 0.425    | 2.263     | 0.798       | 1.681 | 0.117    | 1.677     | 0.754       | 1.834 | 0.547    | 1.750     |
| CSIRO-30  | 0.430       | 2.669 | 0.600    | 2.601     | 0.643       | 2.188 | 0.850    | 2.016     | 0.673       | 2.318 | 1.053    | 2.064     | 0.506       | 2.538 | 0.805    | 2.407     |
| ECHO---G  | 0.624       | 2.150 | 0.007    | 2.150     | 0.640       | 2.098 | 0.105    | 2.096     | 0.745       | 2.037 | 0.045    | 2.037     | 0.756       | 1.826 | 0.350    | 1.792     |
| FGOALS1G  | 0.723       | 1.648 | 0.031    | 1.648     | 0.666       | 1.946 | 0.258    | 1.929     | 0.645       | 2.175 | 0.402    | 2.137     | 0.535       | 2.233 | 0.115    | 2.230     |
| GFDLCM20  | 0.655       | 1.952 | 0.341    | 1.922     | 0.769       | 1.780 | 0.346    | 1.746     | 0.749       | 2.100 | 0.524    | 2.034     | 0.843       | 1.616 | 0.434    | 1.557     |
| GFDLCM21  | 0.581       | 2.191 | 0.095    | 2.189     | 0.732       | 1.860 | 0.189    | 1.850     | 0.645       | 2.285 | 0.619    | 2.199     | 0.793       | 1.844 | 0.302    | 1.819     |
| GISS--EH  | 0.463       | 2.380 | 0.534    | 2.319     | 0.554       | 2.394 | 0.527    | 2.336     | 0.747       | 1.900 | 0.228    | 1.886     | 0.849       | 1.536 | 0.623    | 1.404     |
| GISS--ER  | 0.487       | 2.508 | 0.639    | 2.425     | 0.589       | 2.350 | 0.384    | 2.318     | 0.660       | 2.128 | 0.083    | 2.126     | 0.546       | 2.423 | 0.523    | 2.368     |
| INMCM-30  | 0.509       | 2.096 | 0.311    | 2.073     | 0.537       | 2.397 | 0.164    | 2.392     | 0.703       | 2.066 | 0.573    | 1.985     | 0.714       | 1.976 | 0.594    | 1.885     |
| IPSL_CM4  | 0.469       | 2.548 | 0.639    | 2.466     | 0.591       | 2.443 | 0.736    | 2.330     | 0.729       | 2.220 | 0.465    | 2.170     | 0.604       | 2.381 | 0.939    | 2.188     |
| MIROC-HI  | 0.578       | 2.497 | 0.191    | 2.490     | 0.712       | 2.033 | 0.094    | 2.031     | 0.736       | 2.234 | 0.185    | 2.227     | 0.724       | 2.204 | 0.126    | 2.200     |
| MIROC-MED | 0.570       | 2.435 | 0.124    | 2.432     | 0.739       | 1.874 | 0.334    | 1.844     | 0.730       | 2.115 | 0.806    | 1.955     | 0.703       | 2.074 | 0.366    | 2.042     |
| MPIECH-5  | 0.619       | 2.128 | 0.208    | 2.117     | 0.590       | 2.207 | 0.448    | 2.159     | 0.729       | 2.126 | 0.385    | 2.091     | 0.883       | 1.320 | 0.107    | 1.316     |
| MRI-232A  | 0.740       | 1.730 | 0.349    | 1.694     | 0.752       | 1.828 | 0.482    | 1.773     | 0.861       | 1.481 | 0.285    | 1.453     | 0.763       | 1.801 | 0.088    | 1.799     |
| NCARPCM1  | 0.409       | 2.318 | 0.120    | 2.316     | 0.080       | 3.438 | 0.154    | 3.435     | 0.603       | 2.411 | 0.390    | 2.379     | 0.611       | 2.467 | 0.218    | 2.457     |
| UKHADCM3  | 0.805       | 1.708 | 0.068    | 1.707     | 0.783       | 1.662 | 0.159    | 1.655     | 0.856       | 1.548 | 0.347    | 1.509     | 0.765       | 1.876 | 0.102    | 1.873     |
| UKHADGEM  | 0.668       | 2.884 | 0.565    | 2.829     | 0.676       | 2.730 | 0.436    | 2.695     | 0.815       | 2.576 | 0.535    | 2.520     | 0.766       | 2.362 | 0.749    | 2.240     |

Fuente: Ruiz, Generación de escenarios de CC, IDEAM.

Figura 17. Evaluación regional de la temperatura

|           | Dic-Ene-Feb |       |          |           | Mar-Abr-May |       |          |           | Jun-Jul-Ago |       |          |           | sep-Oct-Nov |       |          |           |
|-----------|-------------|-------|----------|-----------|-------------|-------|----------|-----------|-------------|-------|----------|-----------|-------------|-------|----------|-----------|
|           | CORREL      | RMSE  | BIAS ABS | CORR-RMSE | CORREL      | RMSE  | BIAS ABS | CORR-RMSE | CORREL      | RMSE  | BIAS ABS | CORR-RMSE | CORREL      | RMSE  | BIAS ABS | CORR-RMSE |
| BCCRCM2   | 0.902       | 2.572 | 2.014    | 1.600     | 0.868       | 2.620 | 1.861    | 1.714     | 0.976       | 2.692 | 2.074    | 1.716     | 0.950       | 2.069 | 1.616    | 1.293     |
| CCOMA-31  | 0.876       | 2.252 | 1.326    | 1.820     | 0.873       | 2.131 | 1.254    | 1.722     | 0.969       | 2.277 | 1.158    | 1.960     | 0.902       | 2.006 | 0.834    | 1.825     |
| CCSM--30  | 0.910       | 1.584 | 0.439    | 1.522     | 0.886       | 1.649 | 0.413    | 1.596     | 0.981       | 1.553 | 0.160    | 1.545     | 0.914       | 1.697 | 0.113    | 1.693     |
| CNRM-CM3  | 0.906       | 2.576 | 2.060    | 1.546     | 0.855       | 2.754 | 2.083    | 1.801     | 0.978       | 2.616 | 2.013    | 1.671     | 0.926       | 2.374 | 1.785    | 1.565     |
| CSIRO-30  | 0.898       | 2.286 | 1.368    | 1.832     | 0.910       | 2.309 | 1.747    | 1.510     | 0.979       | 2.195 | 1.475    | 1.626     | 0.884       | 2.378 | 0.938    | 1.668     |
| ECHO---G  | 0.836       | 2.120 | 0.609    | 2.031     | 0.874       | 1.802 | 0.571    | 1.709     | 0.882       | 1.693 | 0.767    | 1.509     | 0.914       | 1.916 | 0.907    | 1.687     |
| FGOALS1G  | 0.881       | 1.876 | 0.842    | 1.676     | 0.864       | 2.030 | 1.048    | 1.738     | 0.972       | 1.926 | 0.412    | 1.882     | 0.871       | 2.122 | 0.556    | 1.048     |
| GFDLCM20  | 0.910       | 2.488 | 1.783    | 1.729     | 0.895       | 2.461 | 1.839    | 1.605     | 0.984       | 1.897 | 1.260    | 1.418     | 0.885       | 2.394 | 1.087    | 2.133     |
| GFDLCM21  | 0.887       | 2.332 | 1.357    | 1.897     | 0.869       | 2.363 | 1.577    | 1.759     | 0.975       | 1.990 | 0.935    | 1.757     | 0.851       | 2.577 | 0.522    | 2.523     |
| GISS--EH  | 0.673       | 2.886 | 0.547    | 2.839     | 0.610       | 2.852 | 0.459    | 2.795     | 0.953       | 2.448 | 0.496    | 2.397     | 0.818       | 2.494 | 0.714    | 2.389     |
| GISS--ER  | 0.767       | 2.563 | 0.039    | 2.562     | 0.745       | 2.435 | 0.252    | 2.422     | 0.950       | 2.535 | 0.074    | 2.534     | 0.738       | 2.903 | 0.100    | 2.901     |
| INMCM-30  | 0.858       | 2.468 | 1.694    | 1.832     | 0.861       | 2.635 | 1.966    | 1.755     | 0.969       | 3.469 | 2.781    | 2.073     | 0.889       | 2.642 | 1.684    | 2.035     |
| IPSL_CM4  | 0.834       | 2.410 | 0.878    | 2.245     | 0.824       | 2.227 | 0.920    | 2.028     | 0.968       | 2.623 | 1.418    | 2.206     | 0.839       | 2.445 | 0.572    | 2.877     |
| MIROC-HI  | 0.941       | 1.691 | 1.177    | 1.214     | 0.937       | 1.659 | 1.128    | 1.217     | 0.979       | 1.917 | 0.997    | 1.637     | 0.927       | 1.815 | 0.881    | 1.587     |
| MIROC-MED | 0.867       | 2.122 | 1.193    | 1.755     | 0.860       | 2.107 | 1.169    | 1.753     | 0.967       | 2.502 | 1.485    | 2.013     | 0.890       | 2.050 | 0.789    | 1.891     |
| MPIECH-5  | 0.943       | 1.210 | 0.108    | 1.205     | 0.944       | 1.146 | 0.035    | 1.146     | 0.987       | 1.358 | 0.064    | 1.356     | 0.959       | 1.399 | 0.562    | 1.281     |
| MRI-232A  | 0.856       | 1.883 | 0.220    | 1.870     | 0.870       | 1.714 | 0.254    | 1.695     | 0.978       | 1.762 | 0.623    | 1.648     | 0.911       | 1.745 | 0.280    | 1.723     |
| NCARPCM1  | 0.828       | 2.568 | 1.418    | 2.141     | 0.702       | 2.983 | 1.579    | 2.530     | 0.971       | 2.684 | 1.885    | 1.911     | 0.912       | 2.164 | 1.280    | 1.745     |
| UKHADCM3  | 0.940       | 1.433 | 0.177    | 1.422     | 0.938       | 1.264 | 0.191    | 1.249     | 0.979       | 1.653 | 0.191    | 1.642     | 0.932       | 1.667 | 0.375    | 1.624     |
| UKHADGEM  | 0.944       | 1.792 | 1.331    | 1.200     | 0.938       | 1.981 | 1.579    | 1.196     | 0.986       | 2.143 | 1.676    | 1.336     | 0.954       | 1.785 | 1.239    | 1.285     |

Fuente: Ruiz, Generación de escenarios de CC, IDEAM.

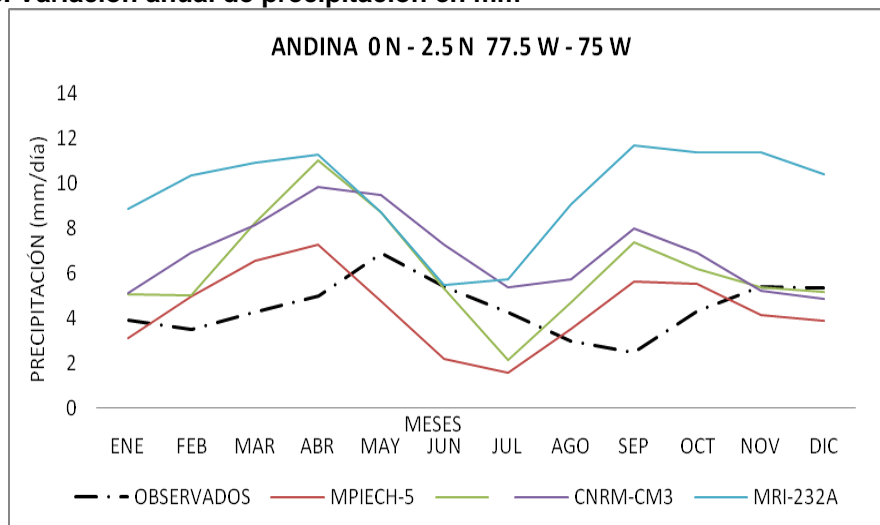
Los resultados en ambos casos permiten evidenciar que los modelos con mejores resultados fueron:

- UKHANCM3
- MPIECH-5

Otro de los criterios aplicados por el IDEAM, es la representación de la variación anual para las variables estudiadas en las diferentes regiones de

Colombia. En este caso hablamos específicamente de la región Andina, ya que en ella se encuentra nuestra área de estudio. Los resultados obtenidos son:

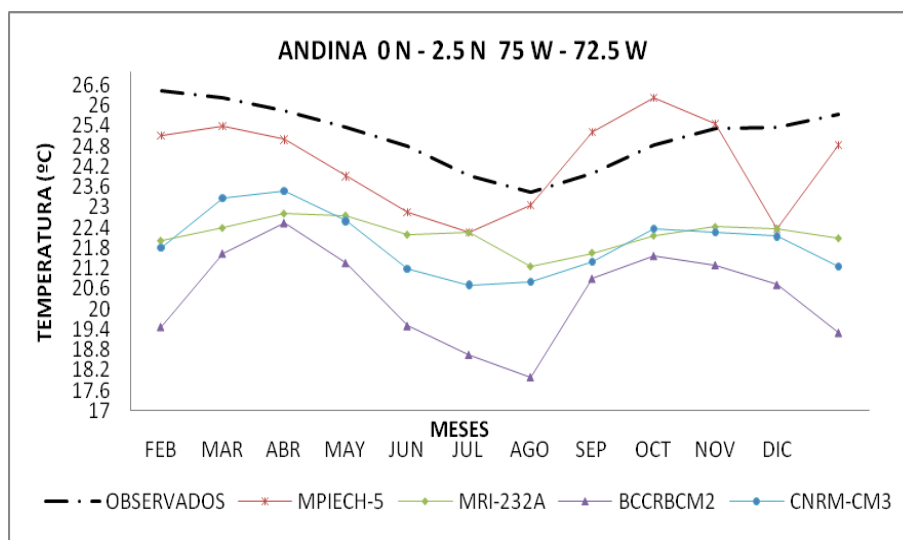
**Figura 18. Variación anual de precipitación en mm**



Fuente: Ruiz, Generación de escenarios de CC, IDEAM.

En la figura 18, se puede observar sin ninguna duda que el modelo que más se aproxima a lo observado es el MPIECH-5.

**Figura 19. Variación anual T Media en °C**



Fuente: Ruiz, Generación de escenarios de CC, IDEAM.

En la figura 19, se puede observar sin ninguna duda que el modelo que más se aproxima a lo observado es el MPIECH-5.

Finalmente como criterio final de comprobación, se usa la tabla de coeficientes de correlación para la precipitación generada por Pabón en el 2010:

Figura 20. Coeficiente de correlación entre la precipitación simulada (1961-1990) y la representada por el NCEP/NCARreanalysis para la América Tropical (Pabón, 2010)

| MODELO | MESES |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | PROMEDIO |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
|        | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGO   | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   |          |
| CSIRO  | 0.884 | 0.900 | 0.915 | 0.924 | 0.912 | 0.892 | 0.883 | 0.887 | 0.891 | 0.905 | 0.886 | 0.871 | 0.896    |
| ECHAM4 | 0.881 | 0.874 | 0.872 | 0.841 | 0.831 | 0.850 | 0.820 | 0.799 | 0.826 | 0.878 | 0.869 | 0.871 | 0.851    |
| Hadley | 0.969 | 0.889 | 0.881 | 0.828 | 0.801 | 0.821 | 0.840 | 0.861 | 0.894 | 0.838 | 0.830 | 0.842 | 0.858    |
| CCCma  | 0.822 | 0.802 | 0.795 | 0.811 | 0.813 | 0.800 | 0.805 | 0.804 | 0.825 | 0.821 | 0.824 | 0.815 | 0.811    |
| CCSR   | 0.792 | 0.799 | 0.774 | 0.781 | 0.782 | 0.792 | 0.822 | 0.836 | 0.832 | 0.849 | 0.829 | 0.807 | 0.808    |
| NCAR   | 0.632 | 0.571 | 0.539 | 0.590 | 0.613 | 0.641 | 0.663 | 0.682 | 0.704 | 0.702 | 0.743 | 0.763 | 0.654    |

|        |   |
|--------|---|
| CSIRO  | Commonwealth Scientific and Ind. Research Org (Australia) |
| ECHAM4 | European Centre Hamburg Model (Alemania)                  |
| Hadley | Hadley Centre (Reino Unido)                               |
| CCCma  | Canadian Climate Centre                                   |
| CCSR   | Center for Climate research Studies (Japón)               |
| NCAR   | National Center for Atmospheric Research (USA)            |

La figura 20 muestra el coeficiente de correlación de los modelos. De esta manera, los coeficientes más cercanos a 1 corresponden a los mejores modelos.

#### 7.4.2.3 Selección final de los modelos

Una vez tenidos en cuenta los resultados de los criterios, se seleccionaron los modelos para hacer las proyecciones y los escenarios a proyectar con cada uno.

Tabla 28. Modelos globales implementados

| Escenario | Modelos del instituto Hadley<br>HadCM3 (UK) | MPIECH-5 o ECHAM5(Max Planck<br>Institute-Alemania) |
|-----------|---|---|
| A2        | X   |   |
| B2        | X   |   |
| A1B       |   | X   |
| A1Bs      | X   |   |

Fuente: Autor

#### 7.4.3 Seleccionar el método para generar la regionalización

Para lograr llegar a generar escenarios de escala regional y local, es necesario someter los modelos de escala global aun proceso de reducción y centralización de escala. Para lograr llegar a este objetivo usualmente se usa el método dinámico y el método estadístico o si es necesario un método que contenga ambas características denominado Híbrido o mixto. El resultado será una aproximación más ajustada de los escenarios a las características de la zona estudiada (IDEAM (1) ,2010).

En el caso de este trabajo, las proyecciones al realizarse sobre Bogotá son de carácter local, esto exige entonces un mayor detalle sobre los resultados. Para lograr este detalle es necesario usar el modelo Híbrido de regionalización.

- **Método Dinámico:**

Cada zona en específico tiene unas características propias como lo son la topografía, la orografía, el comportamiento de la atmósfera, entre otros. Para que un modelo genere una proyección acorde a esas características, es necesario que se apoye de los fundamentos de la física y logre describir principalmente lo siguiente:

- La radiación.
- El comportamiento del viento.
- Conducción y convección.
- Energía.

En su forma básica, los modelos climatológicos consideran: la ecuación de la primera ley de la termodinámica, la conservación de la masa, los cambios de fase del agua y las técnicas para resolver procesos meteorológicos de pequeña escala en términos de la gran escala denominados parametrizaciones.

En este caso el modelo seleccionado para la regionalización dinámica es el PRECIS del Instituto Hadley (UK), ya que cumplió las siguientes condiciones generales:

- Se acopla de buena manera con los modelos globales seleccionados. Esto es vital ya que las condiciones iniciales del PRECIS son dadas por los modelos globales.
- El modelo PRECIS es un modelo atmosférico y de suelo, de área limitada y alta resolución el cual requiere la descripción de la superficie y condiciones laterales de frontera (IDEAM, RUIZ (2011)).
- Es un modelo el cual se puede correr con la infraestructura computacional del IDEAM.
- Es costo de su ejecución no es elevado.

De esta manera se procede a generar los escenarios por medio del uso de este nuevo modelo.

- **Método Estadístico:**

Este método permite tomar los resultados del modelo regional y convertirlos a una escala de carácter local. En esta ocasión, se implementó el método de factor de cambio.

Este método permite expresar la relación existente entre lo observado durante un período de referencia y lo proyectado. Existe una variedad de categorías del método de factor de cambio:

- A. El factor de cambio enfatizado en la escala de tiempo de la serie.
- B. El factor de cambio que obedece a su formulación matemática, que puede ser de carácter aditivo o multiplicativo.

C. El factor de cambio dado por la cantidad de factores evaluados.

Ya que lo que estamos buscando es un análisis sobre variables climatológicas, es de vital importancia implementar el factor de cambio por formulación matemática.

Para el caso de la temperatura se ha generado un factor de cambio aditivo, en donde se calcula la diferencia de la temperatura entre los valores de la variable en una observación actual y el valor de la variable generada en la proyección del escenario. Esta diferencia se adiciona a los valores locales, generando así los resultados.

Para el caso de la precipitación se ha generado un factor de cambio multiplicativo, en donde se calcula la diferencia de la temperatura entre los valores de la variable en una observación actual y el valor de la variable generada en la proyección del escenario. Esta diferencia se multiplica a los valores locales, generando así los resultados.

El proceso llevado a cabo fue el siguiente:

**Paso 1:** Se estiman los valores simulados por el modelo global, en cuanto a los valores de la línea base y los valores futuros. Esto se hace por medio del uso de 2 ecuaciones:

- **Ecuación 1**

$$\overline{GCMb} = \sum_{t=1}^{Nb} \frac{GCMb_t}{Nb}$$

**En donde:**

$\overline{GCMb}$ : Obedece a los valores corregidos de la línea base en un dominio temporal.

$GCMb$  : Obedece a los valores de la línea base en un dominio temporal.

$Nb$  : Numero de valores de la línea base en un dominio temporal.

- **Ecuación 2:**

$$\overline{GCMf} = \sum_{t=1}^{Nf} \frac{GCMf_t}{Nf}$$

**En donde:**

$\overline{GCMf}$ : Obedece a los valores corregidos de los escenarios futuros en un dominio temporal.

$GCMf$  : Obedece a los valores de los escenarios futuros en un dominio temporal.

$Nf$  : Numero de valores de los escenarios futuros en un dominio temporal.

**Paso 2:** Calculo aditivo y o multiplicativo.

- **Ecuación 1: Calculo aditivo.**

$$CF_{add} = \overline{GCMf} - \overline{GCMb}$$

- **Ecuación 2: Calculo multiplicativo.**

$$CF_{mul} = \frac{GCMf}{GCMb}$$

**Paso 3:** Calculo de los valores futuros locales a escala.

- **Ecuación 1 :**

$$LSf_{add} = LOb_t + Cf_{add}$$

**En donde:**

*LSf<sub>add</sub>*: Valor de la variable en los escenarios futuros por cálculo aditivo.

*LOB<sub>t</sub>*: Valor de una variable meteorológica en una estación meteorológica en un dominio temporal.

- **Ecuación 2 :**

$$LSf_{mul} = LOb_t + Cf_{mul}$$

**En donde:**

*LSf<sub>mul</sub>*: Valor de la variable en los escenarios futuros por cálculo multiplicativo.

*LOB<sub>t</sub>*: Valor de una variable meteorológica en una estación meteorológica en un dominio temporal.

La técnica estadística permitió calcular las tendencias de las variables meteorológicas una vez se establecieron relaciones entre los modelos con las observaciones (IDEAM, RUIZ (2011)).

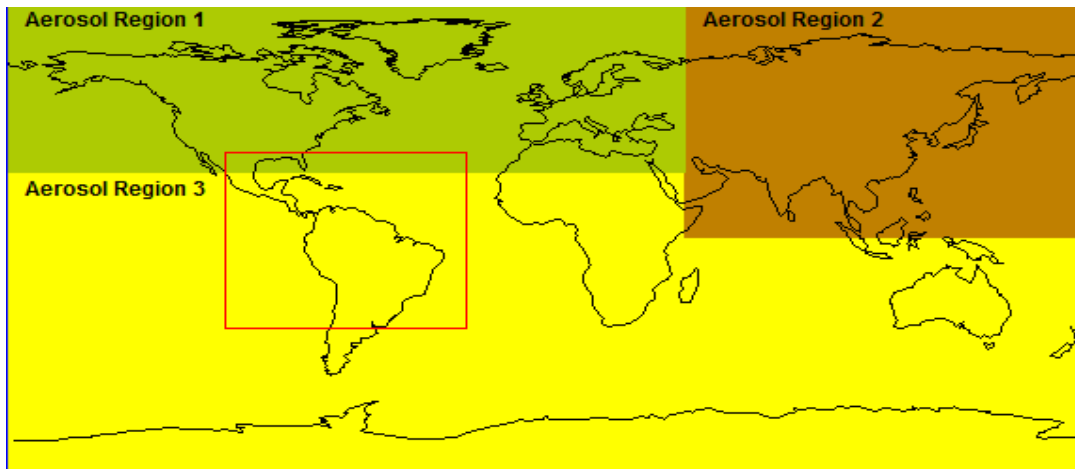
#### **7.4.4 Condiciones iniciales y de frontera**

Se debe incluir como condiciones de frontera en los modelos regionales de Cambio Climático, los valores encontrados con los modelos climáticos globales. Incluir la información de topografía, uso del suelo y cuerpos de agua para la región a modelar.

Para conseguir un adecuado resultado en el uso de los modelos entonces las condiciones de frontera son seleccionadas de manera que la región a estudiar no se vea afectada, ni en términos de condiciones locales, ni en términos de cálculos errados por el modelo global.

Las condiciones de frontera son:

Figura 21: Condiciones de frontera para un modelo global.



Fuente: Rodríguez, Evaluación de modelos globales, IDEAM.

Figura 22: Condiciones de frontera regional y nacional.

REGIONAL: Lat.: -35 a 32.5

Lon. : -107.5 a -27.5

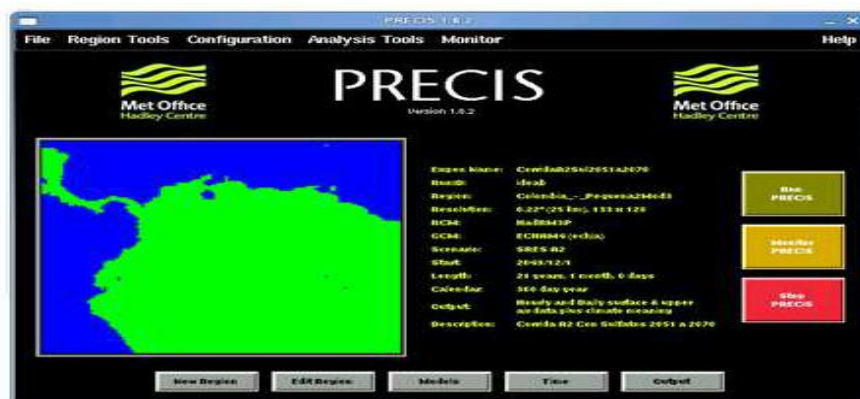
NACIONAL: Lat.: -5 a 15

Lon. : -82.5 a -67.5

Fuente: IDEAM

Como bien se mencionó, en nuestro caso se implementó el modelo PRECIS. En la figura 27, se observa el punto de corte que hace el modelo regional sobre la escala global.

Figura 23: Punto de corte del modelo regional PRECIS.



Fuente. IDEAM, RUIZ

## Validación del modelo regional

La siguiente metodología es tomada de la nota técnica sobre Cambio Climático en Colombia, realizada por el IDEAM.

Los datos del modelo global ERA40 (este modelo maneja datos del período 1957-2001) pasan por un proceso de re análisis junto con los datos generados para describir el comportamiento de las variables estudiadas en el período 1971-2010. Este análisis comparativo, genera un ajuste sobre los datos.

La comparación generara un resultado que permitirá evidenciar de qué manera son confiables los resultados expuestos por los modelos regionales.

### 1. Correlación de datos:

Si la correlación de datos es entre 0 y 1:

$$I_1 = 100 * \textit{Coeficiente de Correlacion}$$

Si la correlación es entre -1 y 0:

$$I_1 = 0$$

### 2. Longitud de serie de datos observadas:

$$I_2 = \% \textit{ de datos}$$

### 3. Dirección de la tendencia de los modelos y lo observado:

Si la tendencia del modelo y la observación, ambas aumentan

$$I_3 = 100 \%$$

Si la tendencia del modelo y la observación, ambas disminuyen

$$I_3 = 100 \%$$

Si la tendencia del modelo y la observación van en sentidos opuestos

$$I_3 = 0$$

### 4. Diferencia entre los valores observados en al tendencia de los modelos y la de las observaciones.

Si la diferencia  $\rightarrow \infty$

$$I_4 = 0 \%$$

Si la diferencia  $\rightarrow 0$

$$I_4 = 100 \%$$

Una vez evaluados estos 4 criterios, se procede a determinar el índice de confianza del modelo:

$$I = \frac{4I_1 + I_2 + 3I_3 + 2I_4}{10}$$

El Resultado obtenido será categorizado de la siguiente manera:

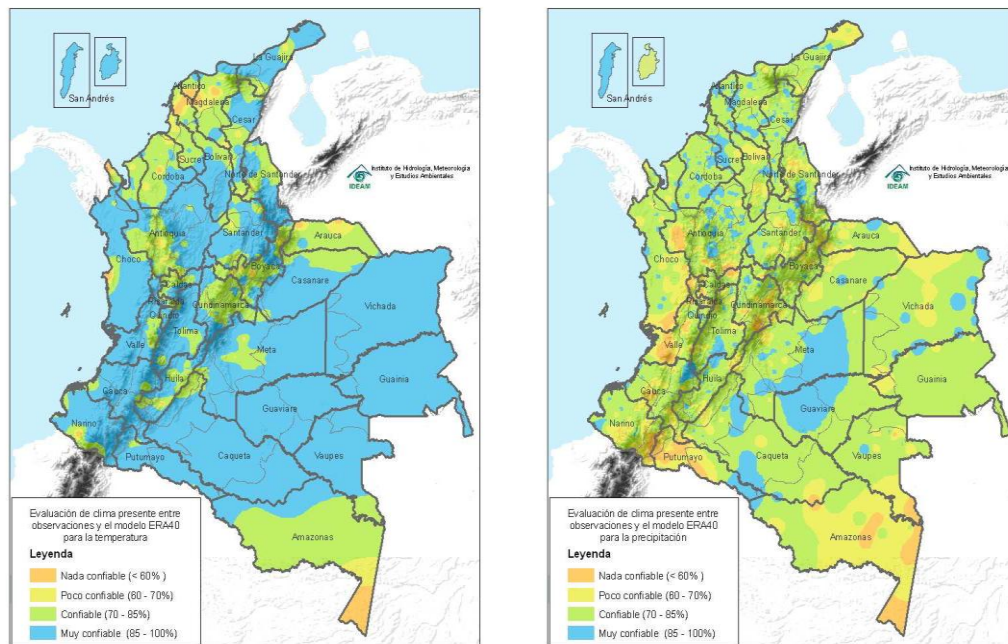
**Tabla 29: Valores del índice de confianza**

| Índice           | Clase          |
|------------------|----------------|
| < 60 %           | Nada Confiable |
| Entre 61% y 70%  | Poco Confiable |
| Entre 71% y 85%  | Confiable      |
| Entre 85% y 100% | Muy confiable  |

**Fuente: IDEAM**

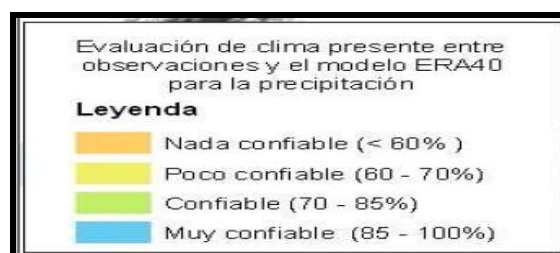
Esta metodología fue aplicada por el IDEAM en el año 2010 y los resultados fueron los siguientes:

**Figura 24: Índice de confianza temperatura. Figura 25: Índice de confianza precipitación.**



**Fuente: IDEAM**

Las figuras 27 y 28 manejan la siguiente leyenda:



### 7.4.5 Eventos Extremos

Dentro de los resultados arrojados por el modelo PRECIS, se hace referencia a los eventos extremos por medio del uso del diagrama Box-Plot. Los resultados para cada una de las estaciones, generan una estructura de datos individual con los parámetros estadísticos tenidos en cuenta para realizar el diagrama. La estructura es la siguiente:

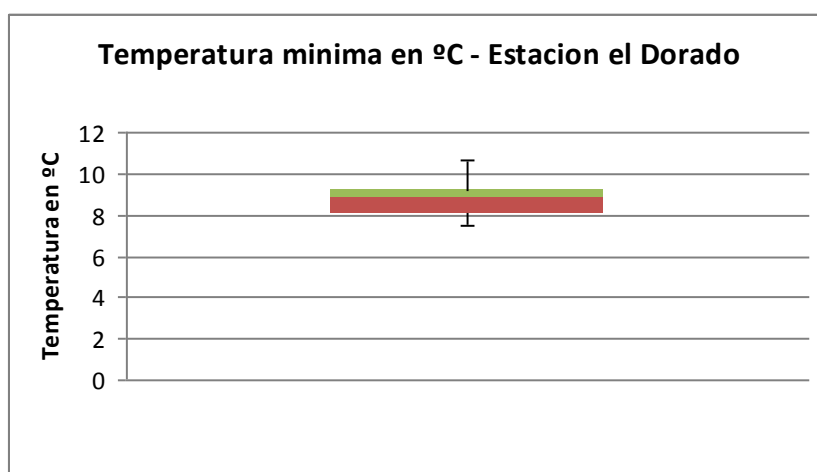
**Tabla 30: Estructura de datos para diagrama de Box-Plot - Estación El dorado- Temperatura Mínima.**

|                                |                |
|--------------------------------|----------------|
| <b>Código</b>                  | 2120579        |
| <b>Nombre</b>                  | Apto El Dorado |
| <b>Mínimo</b>                  | 6,608333333    |
| <b>Q1</b>                      | 7,170833333    |
| <b>Mediana</b>                 | 7,510621837    |
| <b>Q3</b>                      | 7,88125        |
| <b>Máximo</b>                  | 8,958333333    |
| <b>Límite interno superior</b> | 8,946875       |
| <b>ATÍPICO</b>                 | 8,946875       |

Fuente. IDEAM

Estos valores, se someten a un proceso de análisis acorde al diagrama generado:

**Figura 26: Diagrama Box-Plot – Estación El dorado – Temperatura Mínima en °C**



Fuente. Autor

De esta manera es posible identificar los valores extremos como los valores acordes al límite interno superior, ya que todos los valores por encima de este son atípicos.

Es de carácter importante tener en cuenta que los valores arrojados por PRECIS solo corresponden al valor límite superior, lo cual solo permite identificar eventos extremos de carácter positivo o hacia arriba.

## 7.5 ELABORACIÓN DE MAPAS

Con el objetivo de sintetizar los resultados obtenidos y presentarlos de manera clara se procedió a la generación de mapas por medio del uso del software Arcgis versión 9.1.

Los mapas elaborados en síntesis se clasifican en 2 categorías:

### **Categoría 1:**

- Mapa del comportamiento de la precipitación periodo 1971-2010.
- Mapas de la variabilidad climática de la temperatura (mínima, media, máxima).
- Mapas de la variabilidad climática de la precipitación (mínima, media, máxima).
- Mapas de cambio de porcentaje en la precipitación a nivel década, para el periodo 1971-2100.
- Mapas de diferencia de temperaturas (mínima, media, máxima) a nivel década, para el periodo 1971-2100.
- Generar los mapas de la clasificación climática de Lang a nivel década para el periodo 2011-2100.
- Mapas del comportamiento de la precipitación a nivel década, para el periodo 2011-2100.

### **Categoría 2:**

- Mapa del comportamiento de la temperatura (mínima, media, máxima) periodo 1971-2010.
- Mapas del comportamiento de la temperatura (mínima, media y máxima) a nivel década, para el periodo 2011-2100.

#### **7.5.1 Explicación Categorías**

- **Categoría 1:**

Esta metodología obedece a la caracterización en mapas, de diversidad de valores expresados en unidades como mm, %, años, °C, etc. Por esta razón no manifiestan incidencia de las características propias del terreno como la topografía, lo cual nos permite desarrollarlos por medio de una interpolación simple.

Estas son las consideraciones generales del proceso de elaboración de mapas por esta metodología:

- a. Para los mapas del comportamiento de las variables se usaron los datos de las bases de datos completadas inicialmente.
- b. Para los mapas de variabilidad climática se usan los datos generados por el software jaziku.

- c. Para los mapas de Cambio Climático se usan los datos generados por los modelos.
- d. La variable precipitación no es precisamente un campo continuo, debido a la heterogeneidad de factores que la producen y a la alta variación espacial en la distribución de la misma. Sin embargo, para lograr una aproximación al comportamiento del campo se asumen promedios validados mediante observaciones de largos periodos de tiempo los cuales omiten comportamientos extremos de los eventos lluviosos.
- e. La variación espacial de la temperatura y la precipitación son acertadamente modeladas al usar la red meteorológica nacional, sin embargo, particularidades locales pueden no ser reflejadas por ausencia de observaciones igualmente localizadas durante periodos de tiempo representativos.
- f. El método de interpolación seleccionado fue el IDW (Inverse Distance Weighted).
- g. Los mapas resultantes se ajustan a la plantilla solicitada por el IDEAM.

- **Categoría 2:**

Esta metodología obedece a la caracterización en mapas, de diversidad de valores expresados en °C. Por esta razón manifiestan incidencia directa sobre el resultado de las características propias de la zona como la topografía.

Como es conocido, existe una estrecha relación entre las variaciones en altura topográfica con el gradiente vertical de temperatura; lo que motivó a la realización de un análisis de regresión que permitiera expresar los valores de temperatura en función de la altura sobre el nivel del mar. A este procedimiento se le denominó modelo de elevación.

El modelo de elevación se creó de la siguiente manera:

Se debe hacer claridad en que siempre habrá una variable dependiente y otra independiente, a lo cual en este caso asumimos:

- Variable dependiente: La variable climatológica en este caso la temperatura (mínima, media, máxima).
- Variable Independiente: La elevación (msnm).

El objetivo es determinar cuál es la relación entre estas 2 variables, para ello entonces debemos ajustar los valores a una recta de forma que se va a conocer de manera más veras el valor de una variable cuando se conoce el valor de la otra.

Conociendo esto partimos de la ecuación general de la recta:

$$Y = A + BX$$

Es evidente la necesidad de encontrar los valores de A y B, para una recta de regresión esto se logra apoyándose en 2 ecuaciones:

$$\sum Y = nA + B \sum X$$

$$\sum XY = A \sum X + B \sum X^2$$

A manera de ejemplo se expone un caso:

**Tabla 31: Ejemplo elaboración mapas categoría 2**

| Nombre                 | x     | y         | xy         | x <sup>2</sup> |
|------------------------|-------|-----------|------------|----------------|
| Apto El Dorado         | 2547  | 13,1      | 33366,4    | 6487209        |
| Obs Met Nacional       | 2556  | 14,2      | 36404,7    | 6533136        |
| Vitelma                | 2800  | 9,8       | 27461,0    | 7840000        |
| Fontibón               | 2518  | 13,2      | 33208,8    | 6340324        |
| El dorado<br>Didáctica | 2546  | 13,1      | 33467,0    | 6482116        |
| $\Sigma$               | 12967 | 63,484111 | 163907,901 | 33682785       |

Fuente: Autor

Los valores calculados se remplazan en las ecuaciones pertinentes:

$$63,484 = 5A + B12967$$

$$163907,901 = A12967 + B336822785$$

Luego de estas ecuaciones se despeja el valor de A y B. Supongamos que al despejar, el valor de A y B corresponde:

- A= -11,32846
- B= 17,78335

Como paso final estos valores se reemplazan en la ecuación de la recta:

$$Y = -11,32846 + 17,78335X$$

El valor de X corresponde entonces al valor de la elevación en donde se quiere determinar una temperatura:

$$Y = -11,32846 + 17,78335 * ELEVACION$$

Esta función es determinada como nuestro modelo de elevación.

## 8. RESULTADOS OBTENIDOS

Para la comprensión de los resultados, estos se explicaran para cada uno de los componentes del trabajo realizado, es decir, comportamiento de las variables, variabilidad climática y escenarios.

### 8.1 COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS

#### 8.1.1 Precipitación

Como se nombró anteriormente, el comportamiento presente se ha determinado para el período 1971-2010 a partir de los datos horarios, obteniendo los siguientes valores de promedios mensuales multianuales:

**Tabla 32: Promedios mensuales multianuales de precipitación en mm para el período 1971-2010**

| Código  | Nombre             | Ene  | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic   | Annual |
|---------|--------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2120558 | Venado Oro Viviero | 66,7 | 77,6  | 105,0 | 135,9 | 128,7 | 76,0  | 72,4  | 66,8  | 65,8  | 135,6 | 149,2 | 92,3  | 1171,8 |
| 2120052 | Sta Lucia          | 24,4 | 36,2  | 55,2  | 88,7  | 81,2  | 54,2  | 40,9  | 42,2  | 48,9  | 92,1  | 76,5  | 47,1  | 687,6  |
| 2120023 | San Diego          | 55,6 | 71,6  | 100,3 | 136,7 | 114,9 | 70,3  | 55,5  | 52,4  | 58,7  | 135,0 | 148,1 | 91,2  | 1090,4 |
| 2120154 | Merced La          | 19,1 | 29,0  | 50,0  | 79,4  | 75,7  | 55,7  | 36,4  | 40,4  | 50,3  | 84,4  | 75,1  | 33,8  | 629,6  |
| 2120197 | Casablanca         | 22,0 | 30,8  | 48,3  | 82,9  | 86,3  | 57,1  | 40,9  | 38,9  | 51,4  | 82,5  | 70,6  | 36,0  | 647,7  |
| 2120579 | Apto El Dorado     | 29,0 | 44,7  | 73,0  | 109,2 | 103,4 | 60,6  | 44,9  | 46,5  | 67,6  | 111,5 | 93,8  | 58,2  | 842,4  |
| 2120569 | Cama vieja         | 42,8 | 54,7  | 81,2  | 110,8 | 112,8 | 54,5  | 41,2  | 46,4  | 57,8  | 124,9 | 115,2 | 69,6  | 912,0  |
| 2120571 | Jardín Botánico    | 49,5 | 63,3  | 94,2  | 137,1 | 133,1 | 71,8  | 48,6  | 51,5  | 78,8  | 130,8 | 128,8 | 73,9  | 1061,2 |
| 2120123 | Enmanuel D Alzon   | 53,2 | 68,7  | 87,6  | 111,6 | 107,0 | 49,7  | 31,7  | 40,0  | 62,5  | 127,5 | 118,5 | 120,0 | 978,0  |
| 2120031 | Cerro de Suba      | 44,1 | 64,6  | 87,3  | 109,3 | 104,2 | 51,2  | 42,1  | 45,2  | 69,4  | 125,7 | 111,9 | 66,4  | 921,6  |
| 2120196 | Salitre Casa Bomba | 50,6 | 67,9  | 91,3  | 115,6 | 117,7 | 60,9  | 43,0  | 42,2  | 72,7  | 133,5 | 130,3 | 73,1  | 998,7  |
| 8       | Guaymaral 2m 1997  | 27,0 | 28,6  | 83,8  | 92,5  | 119,7 | 55,8  | 45,0  | 37,4  | 52,0  | 118,5 | 104,5 | 74,5  | 839,3  |
| 1       | Usaquén            | 50,0 | 73,9  | 109,0 | 98,6  | 99,2  | 50,0  | 36,3  | 32,3  | 48,8  | 126,4 | 108,8 | 79,6  | 912,9  |
| 11      | Suba               | 29,3 | 56,8  | 62,2  | 68,1  | 76,8  | 68,9  | 34,6  | 38,1  | 63,8  | 101,1 | 84,1  | 55,8  | 739,6  |
| 6       | Las ferias         | 38,5 | 54,2  | 61,9  | 90,2  | 104,0 | 42,7  | 38,9  | 27,5  | 48,5  | 107,3 | 105,0 | 79,8  | 798,6  |
| 14      | Fontibón           | 18,8 | 37,8  | 71,7  | 74,7  | 68,1  | 31,6  | 32,4  | 21,8  | 42,8  | 63,3  | 64,2  | 41,2  | 568,5  |
| 13      | Puente Aranda      | 28,5 | 56,4  | 88,6  | 73,1  | 73,2  | 51,7  | 53,2  | 40,6  | 60,2  | 111,5 | 103,4 | 59,3  | 799,9  |
| 3       | Carvajal           | 16,8 | 42,5  | 61,5  | 77,5  | 77,5  | 53,0  | 38,3  | 33,4  | 38,4  | 79,9  | 73,4  | 41,9  | 634,2  |
| 2119014 | Guamo El           | 50,2 | 58,0  | 116,7 | 170,9 | 152,4 | 118,9 | 89,2  | 91,9  | 95,5  | 171,9 | 145,9 | 97,7  | 1359,2 |
| 2119027 | San Juan           | 40,2 | 61,6  | 93,1  | 176,4 | 152,7 | 90,3  | 85,5  | 76,5  | 73,4  | 160,3 | 149,4 | 60,0  | 1219,4 |
| 2120111 | Usaquén            | 82,9 | 116,8 | 120,8 | 167,5 | 113,9 | 83,5  | 69,1  | 70,1  | 60,4  | 133,0 | 158,9 | 89,6  | 1266,4 |
| 2120115 | Edificio M Mejía   | 50,5 | 54,8  | 76,1  | 115,1 | 95,1  | 43,4  | 35,9  | 34,1  | 38,0  | 113,0 | 106,7 | 74,3  | 836,9  |
| 2120116 | Edificio Saraga    | 47,0 | 80,1  | 103,8 | 172,0 | 127,5 | 63,3  | 49,8  | 59,7  | 72,0  | 155,9 | 166,2 | 91,8  | 1189,1 |
| 2120160 | Sede Ideam Kra 10  | 67,0 | 79,1  | 106,0 | 125,7 | 129,2 | 60,0  | 55,2  | 54,0  | 61,7  | 145,1 | 153,4 | 92,9  | 1129,2 |
| 2120523 | ObsMet Nacional    | 54,1 | 70,6  | 99,6  | 137,4 | 124,2 | 61,0  | 38,9  | 47,9  | 70,2  | 142,0 | 134,5 | 90,0  | 1070,3 |
| 2120525 | Lumbre La          | 24,3 | 34,2  | 52,2  | 87,2  | 78,3  | 49,4  | 32,6  | 39,2  | 49,4  | 99,9  | 90,8  | 34,6  | 672,2  |
| 2120552 | Eldorado Didáctica | 35,8 | 47,7  | 74,5  | 118,1 | 100,7 | 57,0  | 45,7  | 48,0  | 72,3  | 115,1 | 103,3 | 59,1  | 877,2  |
| 2120559 | Apto Guaymaral     | 30,9 | 51,5  | 70,9  | 104,7 | 95,7  | 62,7  | 43,6  | 42,7  | 66,4  | 105,8 | 87,9  | 51,2  | 813,9  |
| 2120584 | Sena K 30          | 42,3 | 76,9  | 68,7  | 81,1  | 114,1 | 63,5  | 46,3  | 29,2  | 56,7  | 84,4  | 77,2  | 62,4  | 802,9  |
| 2120604 | Esap               | 36,1 | 46,1  | 59,6  | 69,1  | 155,2 | 49,6  | 30,8  | 45,6  | 57,6  | 120,7 | 34,3  | 33,4  | 738,1  |
| 2120605 | Esc Col Ingeniería | 49,2 | 64,6  | 93,2  | 101,3 | 108,8 | 64,3  | 47,1  | 42,8  | 68,7  | 122,9 | 106,1 | 70,5  | 939,4  |
| 2120609 | Zipaquirá          | 80,3 | 104,3 | 128,6 | 117,1 | 113,0 | 60,7  | 48,1  | 48,9  | 70,4  | 124,0 | 147,5 | 93,9  | 1136,6 |
| 2120622 | Univ Nacional      | 51,2 | 66,8  | 93,6  | 97,6  | 117,2 | 52,6  | 46,3  | 41,3  | 80,0  | 123,4 | 132,2 | 82,8  | 985,1  |
| 2120534 | Acdto Bosa         | 19,6 | 25,7  | 52,2  | 81,9  | 77,2  | 55,2  | 34,6  | 51,7  | 57,7  | 89,9  | 86,8  | 34,0  | 666,6  |
| 3502035 | Betania            | 29,6 | 45,5  | 69,9  | 126,0 | 161,8 | 150,7 | 141,1 | 128,7 | 93,0  | 105,4 | 97,1  | 48,2  | 1197,1 |
| 3502507 | Taques Los         | 30,2 | 55,9  | 88,3  | 142,9 | 198,3 | 199,1 | 192,9 | 148,0 | 108,8 | 111,8 | 96,9  | 49,7  | 1422,9 |
| 2120040 | San Luis 1 Y 2     | 62,3 | 78,7  | 102,5 | 131,9 | 111,5 | 69,7  | 55,7  | 55,2  | 62,2  | 129,7 | 129,7 | 99,9  | 1088,9 |
| 2120044 | Pradera La         | 33,6 | 43,7  | 81,7  | 111,7 | 111,9 | 63,3  | 59,2  | 53,5  | 81,8  | 159,1 | 125,8 | 79,0  | 1004,3 |

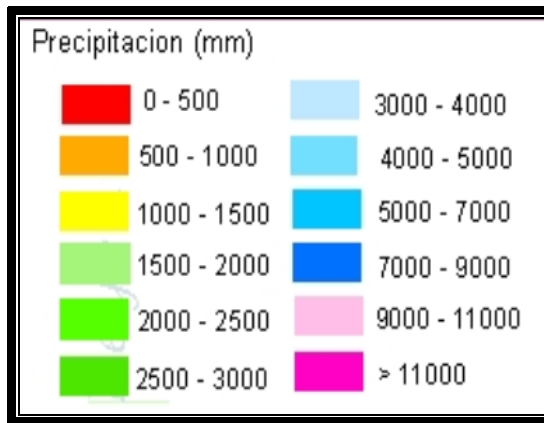
|         |                     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |
|---------|---------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2120050 | Sabana La           | 35,6 | 55,6  | 55,6  | 115,1 | 119,8 | 104,6 | 68,5  | 74,9  | 69,0  | 104,6 | 99,2  | 55,6  | 958,1  |
| 2120058 | Hormona-Lab         | 37,0 | 78,0  | 88,4  | 128,5 | 119,4 | 51,3  | 39,7  | 46,6  | 73,0  | 128,8 | 127,7 | 91,5  | 1010,0 |
| 2120059 | Tunal El Candelario | 19,8 | 25,6  | 50,2  | 86,4  | 79,7  | 56,4  | 38,8  | 40,8  | 60,5  | 81,0  | 70,0  | 36,9  | 646,0  |
| 120065  | Contador            | 51,2 | 91,5  | 110,5 | 134,9 | 105,7 | 47,0  | 36,0  | 36,7  | 57,8  | 129,4 | 120,0 | 101,7 | 1022,6 |
| 2120066 | Vieja La            | 75,2 | 70,1  | 121,9 | 146,6 | 115,2 | 64,3  | 50,5  | 56,4  | 64,3  | 146,6 | 142,6 | 96,6  | 1150,4 |
| 2120069 | Tesoro-Vertientes   | 29,4 | 77,8  | 96,4  | 102,1 | 109,4 | 107,8 | 85,6  | 83,4  | 101,1 | 117,9 | 99,2  | 64,2  | 1074,2 |
| 2120077 | Torca               | 35,6 | 81,8  | 115,2 | 146,3 | 125,8 | 91,5  | 85,7  | 66,1  | 99,2  | 129,3 | 134,8 | 95,6  | 1207,1 |
| 2120198 | Guadalupe           | 34,3 | 82,0  | 111,4 | 110,2 | 127,1 | 103,7 | 88,1  | 91,4  | 65,8  | 143,4 | 130,3 | 81,9  | 1169,6 |
| 2120202 | Serrezuela          | 35,3 | 69,4  | 90,6  | 123,4 | 111,2 | 67,4  | 59,2  | 58,1  | 65,6  | 127,5 | 122,3 | 76,7  | 1006,8 |
| 2120205 | Quiba               | 34,0 | 38,7  | 59,9  | 86,3  | 99,9  | 61,5  | 51,6  | 48,5  | 55,0  | 95,9  | 76,7  | 42,1  | 750,0  |
| 2120207 | Saucedal 2          | 33,9 | 41,5  | 70,0  | 96,5  | 101,5 | 67,7  | 40,1  | 43,8  | 51,9  | 95,4  | 90,3  | 45,1  | 777,6  |
| 2120208 | Conejera La         | 33,7 | 62,9  | 91,0  | 103,7 | 98,1  | 55,0  | 44,4  | 47,6  | 64,9  | 121,1 | 105,2 | 57,2  | 884,9  |
| 2120211 | Huertas Las         | 33,6 | 26,2  | 47,5  | 81,1  | 72,9  | 47,1  | 33,7  | 28,5  | 46,4  | 72,0  | 59,0  | 39,2  | 587,3  |
| 2120024 | Verjon El           | 45,4 | 55,9  | 89,7  | 108,3 | 130,0 | 144,4 | 149,7 | 123,9 | 81,1  | 120,3 | 118,0 | 68,5  | 1235,2 |
| 2120008 | Arrayan-San Fco     | 68,3 | 70,6  | 94,0  | 124,3 | 136,8 | 112,6 | 118,3 | 100,3 | 72,1  | 124,9 | 121,6 | 86,3  | 1229,8 |
| 2120032 | Granizo             | 64,4 | 75,2  | 96,2  | 124,1 | 127,9 | 90,5  | 81,1  | 74,6  | 65,5  | 131,2 | 134,1 | 86,8  | 1151,8 |
| 2120524 | Vitelma             | 57,7 | 73,2  | 97,7  | 123,3 | 111,5 | 78,5  | 86,0  | 75,4  | 63,6  | 121,9 | 127,2 | 86,3  | 1102,2 |
| 2120011 | San Rafael 1        | 45,3 | 47,0  | 73,3  | 84,5  | 79,5  | 55,4  | 50,5  | 46,1  | 49,6  | 91,3  | 90,9  | 52,9  | 766,2  |
| 3502031 | Nazareth            | 21,4 | 44,7  | 74,4  | 120,2 | 177,9 | 176,9 | 167,8 | 136,6 | 98,3  | 99,7  | 67,2  | 31,8  | 1216,8 |
| 2120019 | Boca Grande         | 29,2 | 51,6  | 82,0  | 139,9 | 175,4 | 185,3 | 190,9 | 153,7 | 114,5 | 112,5 | 106,3 | 53,0  | 1394,2 |
| 2120027 | Saucio              | 22,6 | 36,7  | 61,7  | 93,4  | 107,0 | 134,5 | 139,5 | 96,4  | 73,2  | 75,9  | 63,0  | 31,6  | 935,4  |
| 2120536 | Bocagrande          | 44,7 | 79,2  | 98,6  | 214,4 | 234,6 | 285,1 | 276,3 | 240,5 | 181,3 | 160,2 | 156,2 | 77,6  | 2048,6 |
| 3503504 | Chingaza            | 51,5 | 90,0  | 134,1 | 211,7 | 269,1 | 343,7 | 317,1 | 253,5 | 181,7 | 174,1 | 148,3 | 80,2  | 2255,0 |
| 3503505 | Chuzá               | 79,1 | 119,9 | 194,1 | 310,9 | 356,9 | 464,8 | 408,1 | 318,4 | 248,2 | 245,0 | 169,6 | 102,5 | 3017,4 |
| 2120124 | StaMaria de Usme    | 19,6 | 38,0  | 53,8  | 88,3  | 112,4 | 80,1  | 77,5  | 67,3  | 53,5  | 86,0  | 78,1  | 34,7  | 789,3  |
| 2120013 | Delirio             | 52,5 | 71,5  | 95,3  | 105,2 | 126,4 | 141,5 | 161,1 | 124,7 | 73,6  | 106,6 | 109,4 | 73,3  | 1241,1 |
| 2120020 | Hato El             | 18,5 | 34,8  | 51,5  | 89,4  | 114,5 | 93,0  | 84,2  | 70,6  | 63,8  | 82,5  | 67,7  | 34,4  | 805,0  |
| 2120120 | Esc La Union        | 19,1 | 37,7  | 59,0  | 98,1  | 113,7 | 97,8  | 87,4  | 71,5  | 63,3  | 96,6  | 78,6  | 34,2  | 857,2  |
| 2120130 | Australia           | 24,7 | 45,7  | 71,7  | 121,2 | 178,4 | 173,5 | 168,0 | 132,0 | 106,3 | 133,0 | 96,1  | 45,3  | 1295,9 |
| 2120573 | Centro Med Andes    | 73,4 | 137,9 | 94,0  | 104,4 | 147,6 | 54,1  | 48,8  | 44,5  | 49,9  | 125,9 | 108,4 | 51,6  | 1040,5 |
| 2120600 | Adpostal            | 45,0 | 47,0  | 63,1  | 65,6  | 164,2 | 54,0  | 38,5  | 38,0  | 72,3  | 90,6  | 70,6  | 70,3  | 819,2  |
| 2120200 | Simaya              | 31,1 | 57,2  | 63,6  | 106,1 | 156,9 | 155,4 | 143,8 | 143,7 | 94,7  | 116,9 | 83,1  | 49,8  | 1202,2 |
| 2120204 | Juan Rey            | 48,5 | 64,0  | 93,4  | 114,6 | 139,1 | 160,4 | 161,5 | 127,2 | 72,5  | 112,8 | 124,4 | 71,7  | 1290,0 |
| 2120509 | Regadera 1          | 23,3 | 39,3  | 57,9  | 126,2 | 157,5 | 163,3 | 143,4 | 123,9 | 104,8 | 113,4 | 95,3  | 46,9  | 1195,4 |
| 2120530 | Palo Blanco         | 61,6 | 63,3  | 107,0 | 171,1 | 209,4 | 233,8 | 233,8 | 199,3 | 134,6 | 154,4 | 132,2 | 76,8  | 1777,3 |
| 3502009 | Caqueza             | 17,4 | 32,3  | 44,7  | 95,1  | 127,0 | 122,1 | 121,6 | 116,9 | 77,1  | 88,1  | 59,7  | 22,6  | 924,7  |
| 3502005 | Chipaque            | 21,9 | 40,8  | 64,3  | 117,8 | 130,3 | 132,7 | 125,3 | 113,6 | 83,8  | 95,8  | 81,3  | 30,9  | 1038,4 |
| 2119510 | Las Sopas           | 36,5 | 45,2  | 92,7  | 164,5 | 231,9 | 239,5 | 219,2 | 188,5 | 148,5 | 136,9 | 105,6 | 54,4  | 1663,4 |

Fuente: Autor

### Distribución de lluvias en Bogotá:

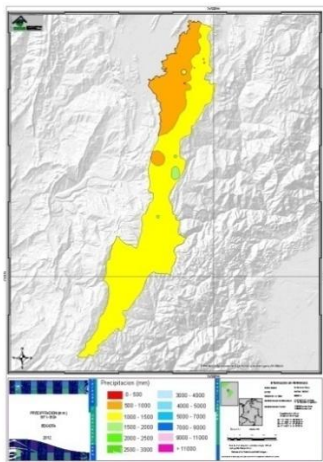
- Según el total multianual los valores más altos de precipitación (mm), están presentes hacia la parte noreste afectando localidades como Santa fe, San Cristóbal, Chapinero y Usaquén, parte central influenciando Usme y la parte sur sobre Sumapaz, con valores que oscilan entre los 1000 y 2000 mm.
- En cuanto a los valores mínimos toda la parte noroeste se ve afectada, principalmente Suba, Engativá y Fontibón. Los valores oscilan, entre 500 y 1000 mm.

Los mapas 1 a 5 manejan la siguiente leyenda:

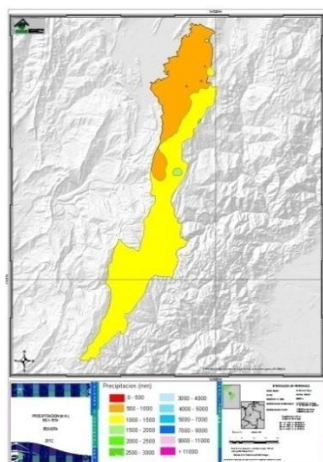


Mapa 1-4: Distribución espacial de la precipitación en mm a nivel década para el período 1971-2010

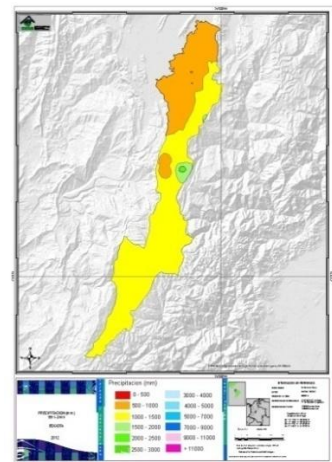
1971-1980



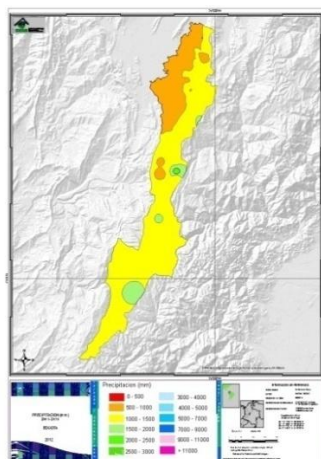
1981-1990



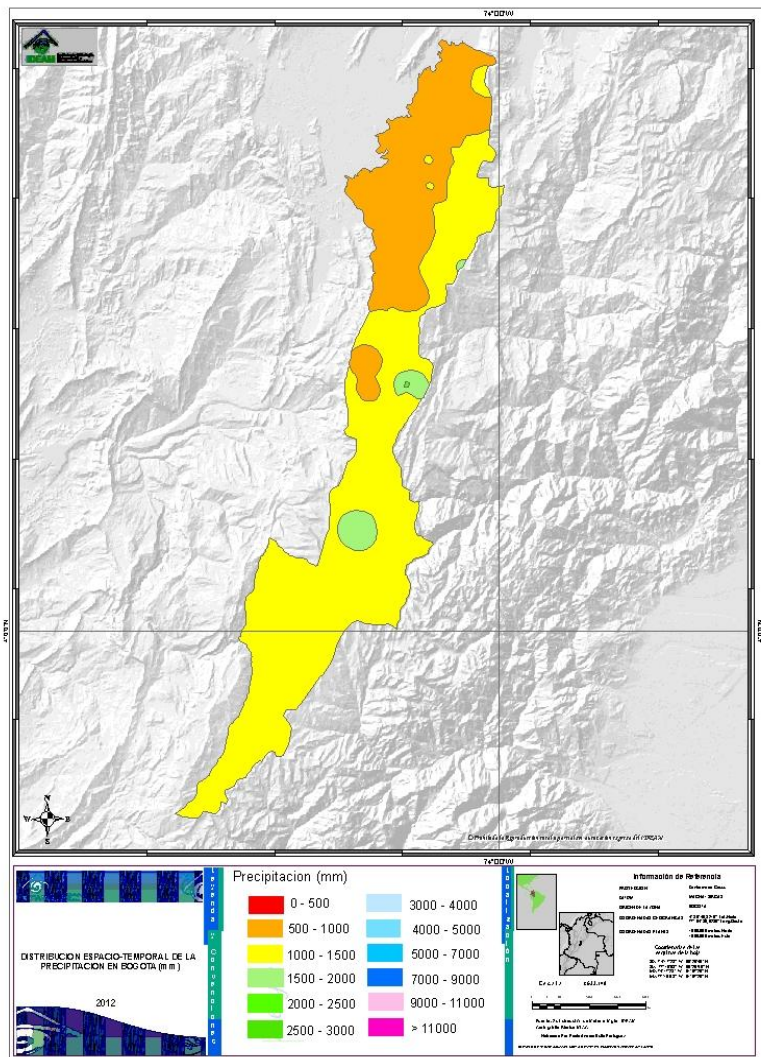
1991-2000



2001-2010



**Mapa 5: Distribución espacial de la precipitación en mm para el período 1971-2010**

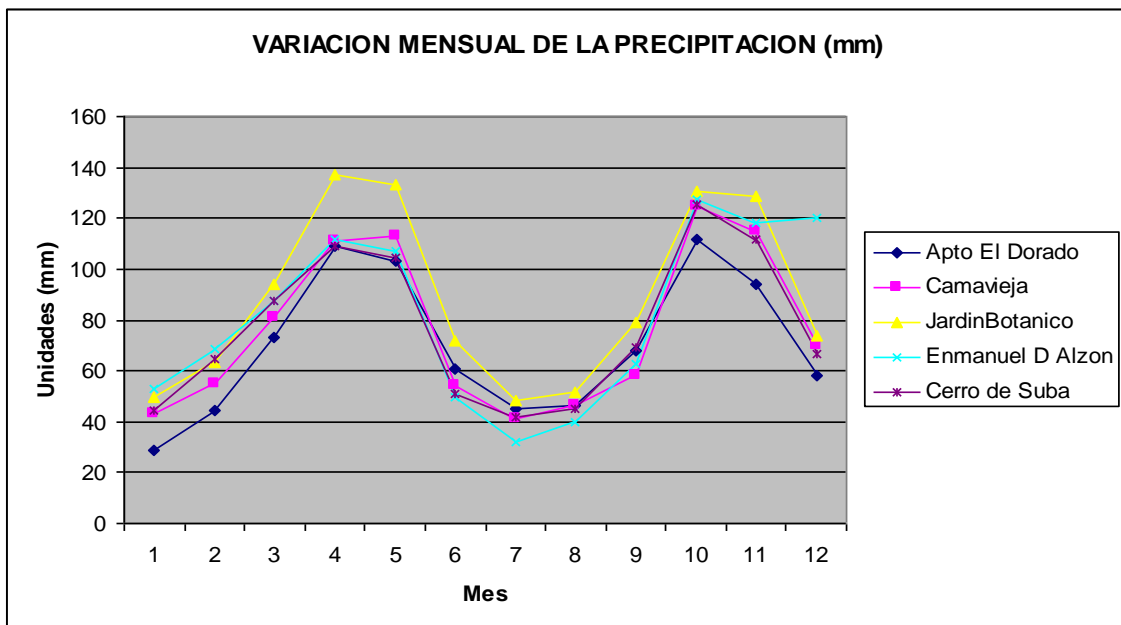
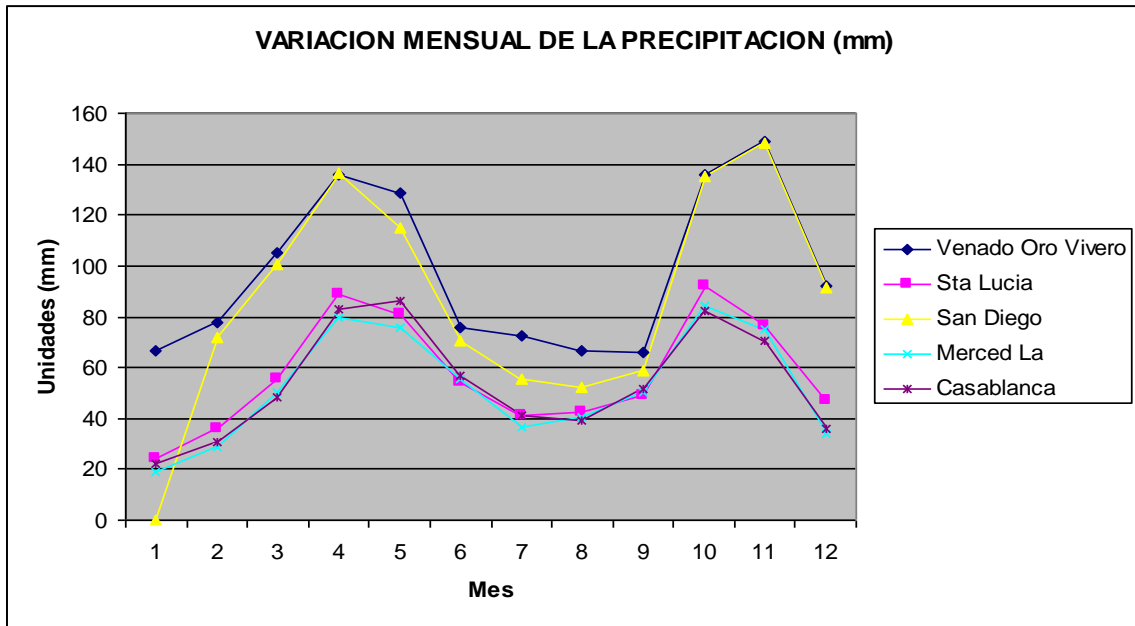


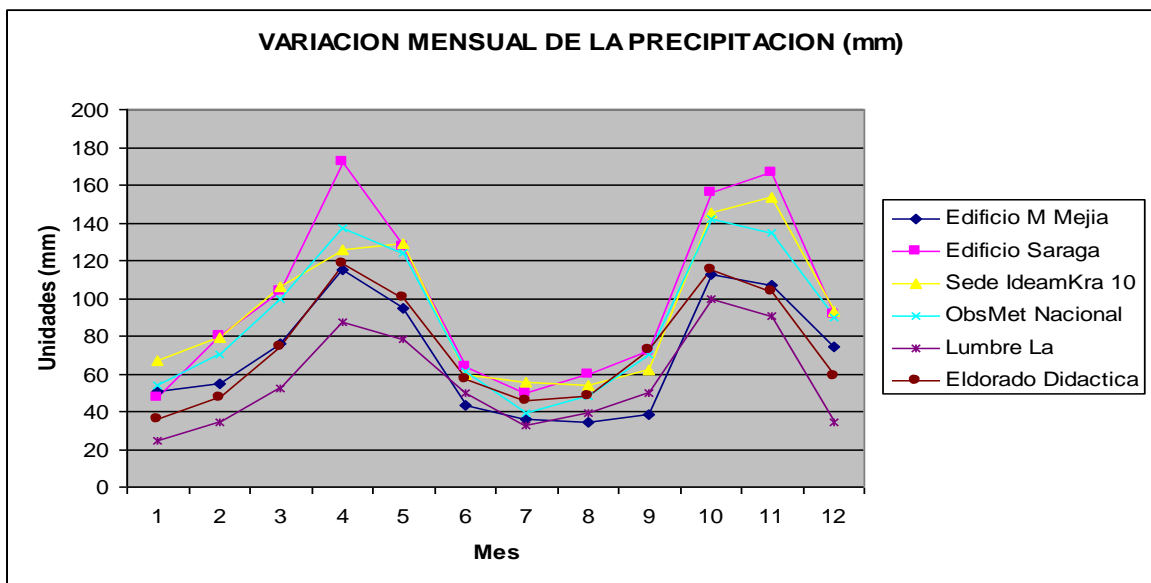
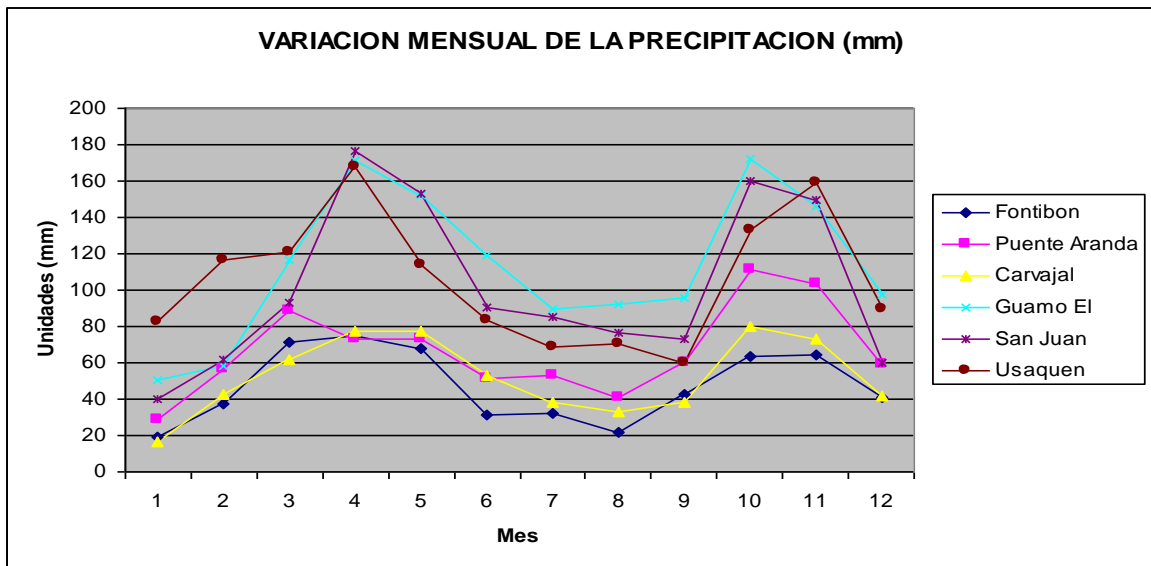
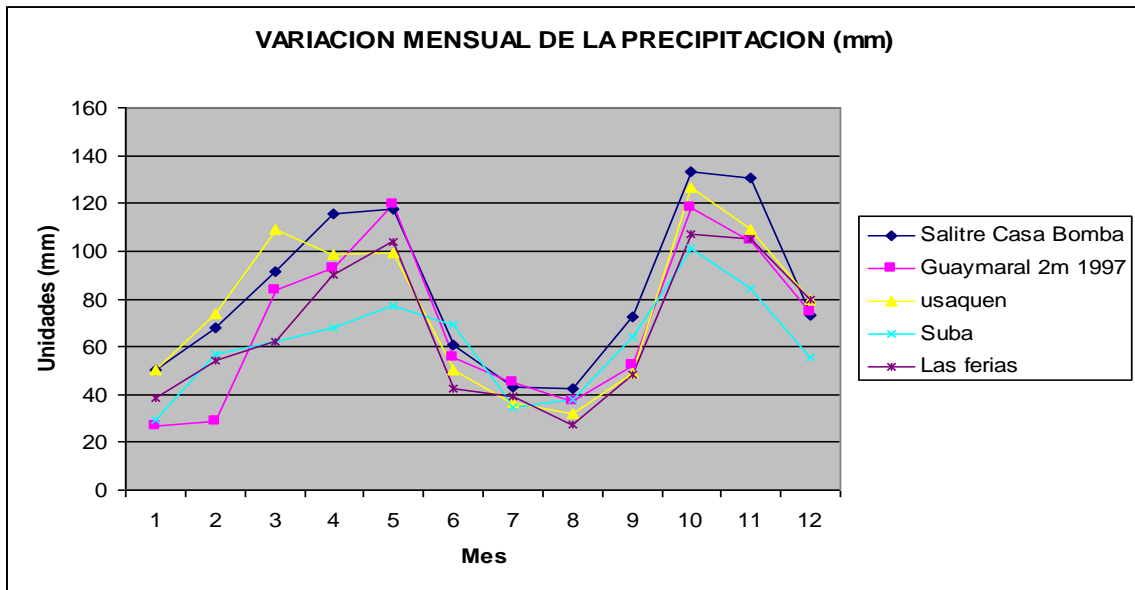
**Fuente: Autor**

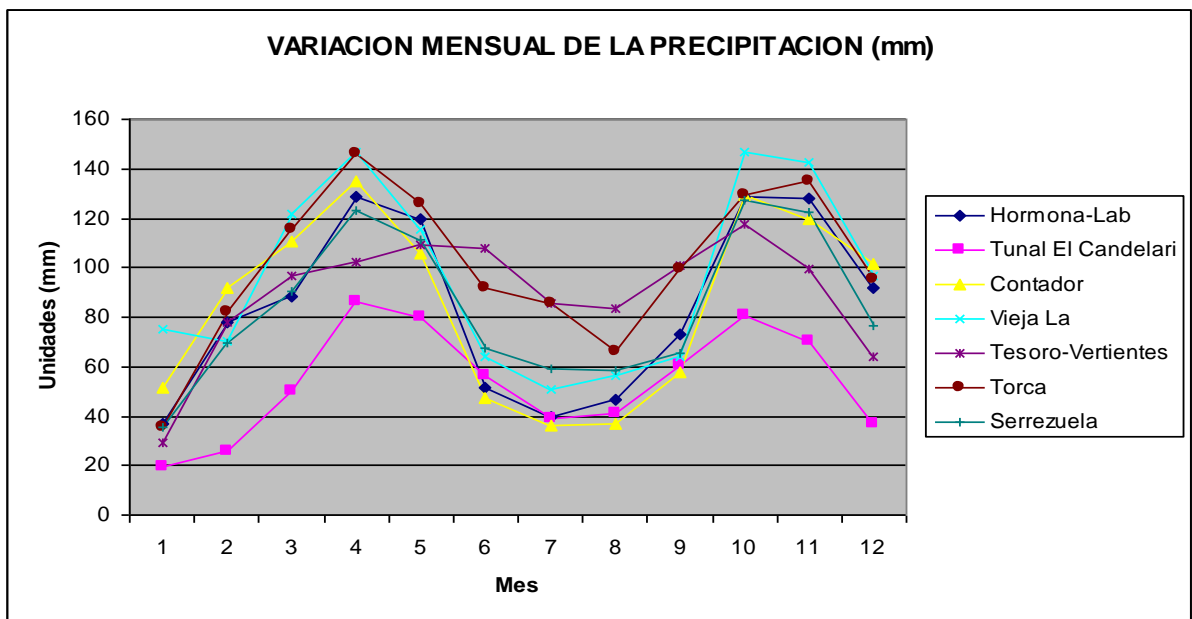
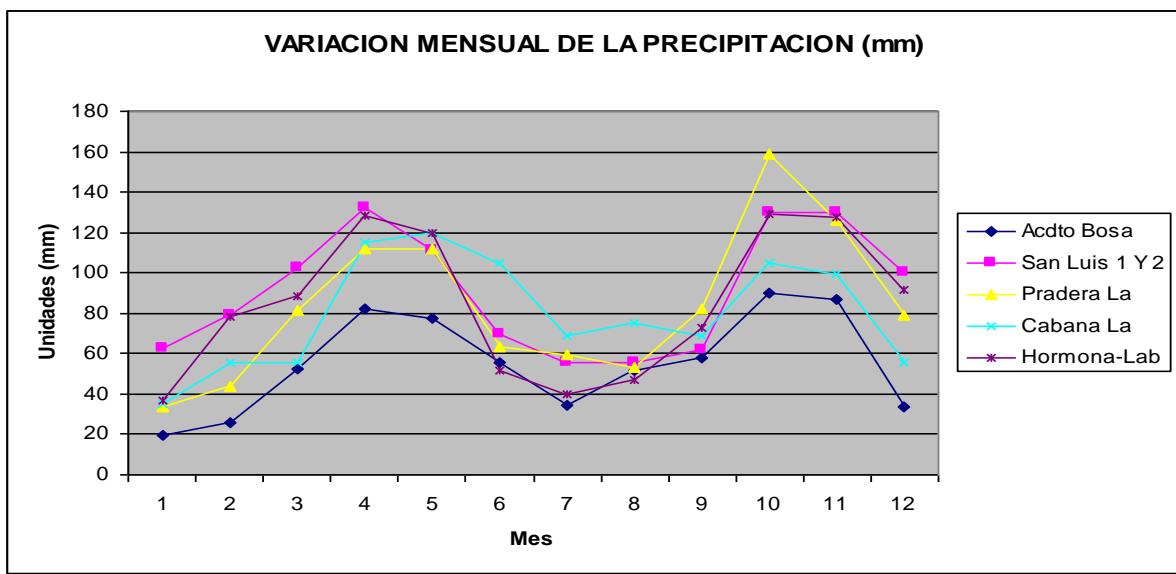
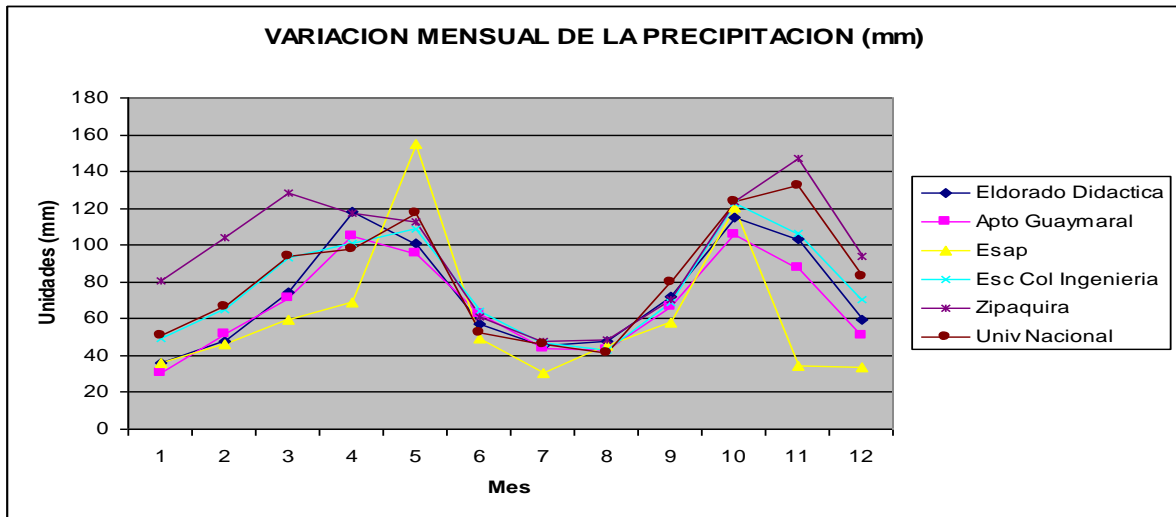
- La distribución de la precipitación, presenta una tendencia bimodal ya que un porcentaje mayor al 80% de las estaciones presenta este comportamiento y un porcentaje muy pequeño presenta una tendencia monomodal.
- Gran parte de la zona de estudio presenta comportamiento bimodal, es decir hay dos valores pico de precipitación durante el año, estos valores cambian según la estación. Algunas zonas como la parte central tendiendo al sur (finales de Usme y comienzos de Sumapaz) y una ligera zona en el noreste presentan comportamiento de carácter monomodal.

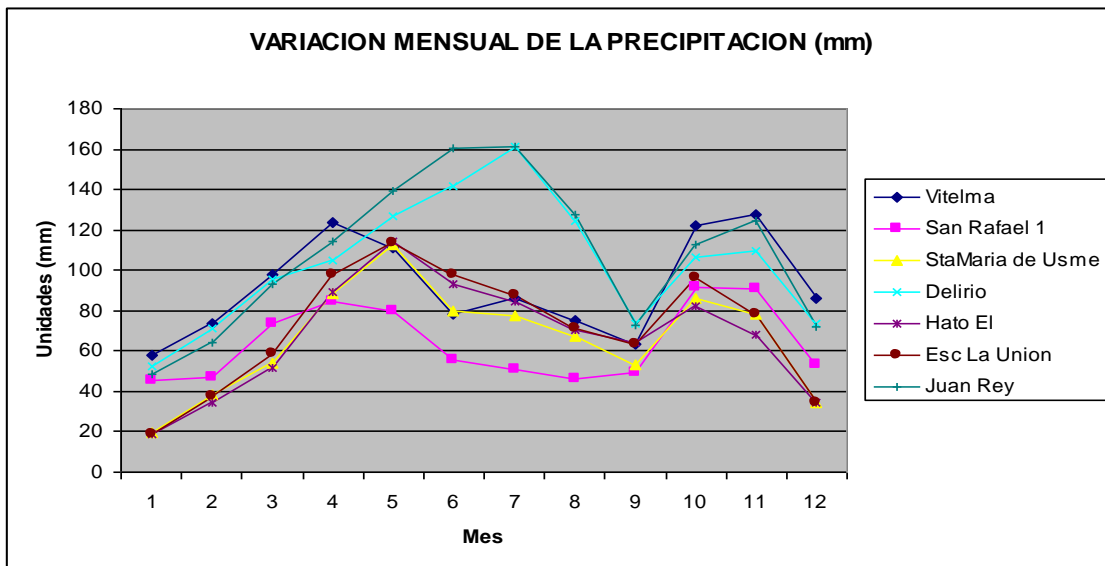
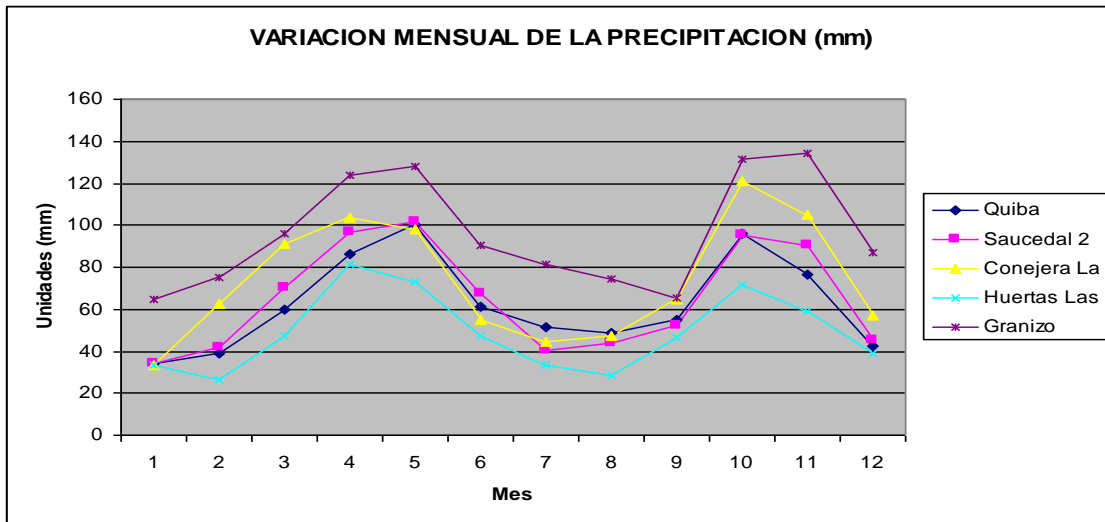
A continuación se presentan algunos de los comportamientos más representativos:

- **Comportamiento Bimodal:**

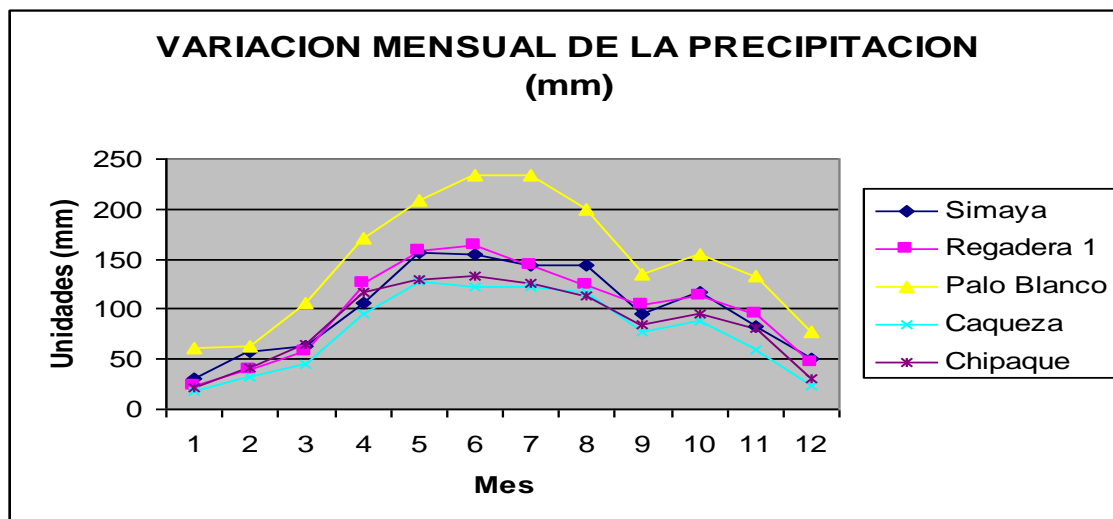


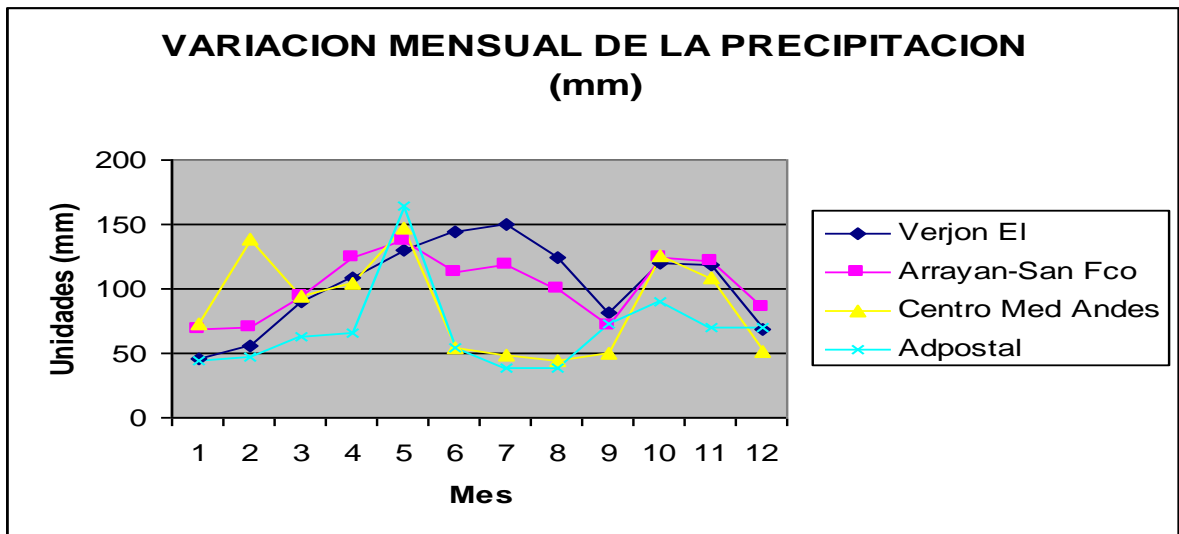
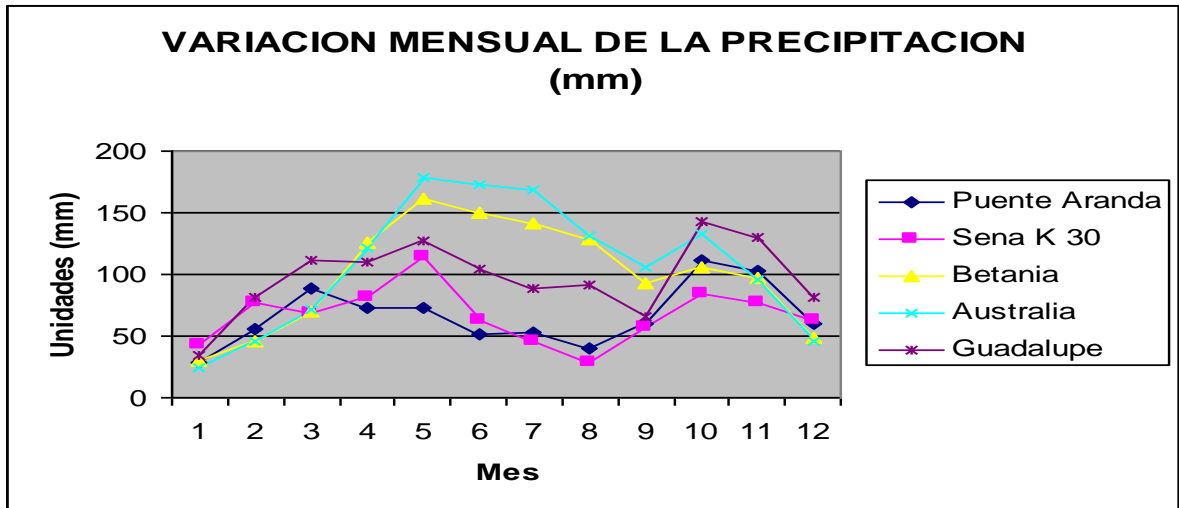




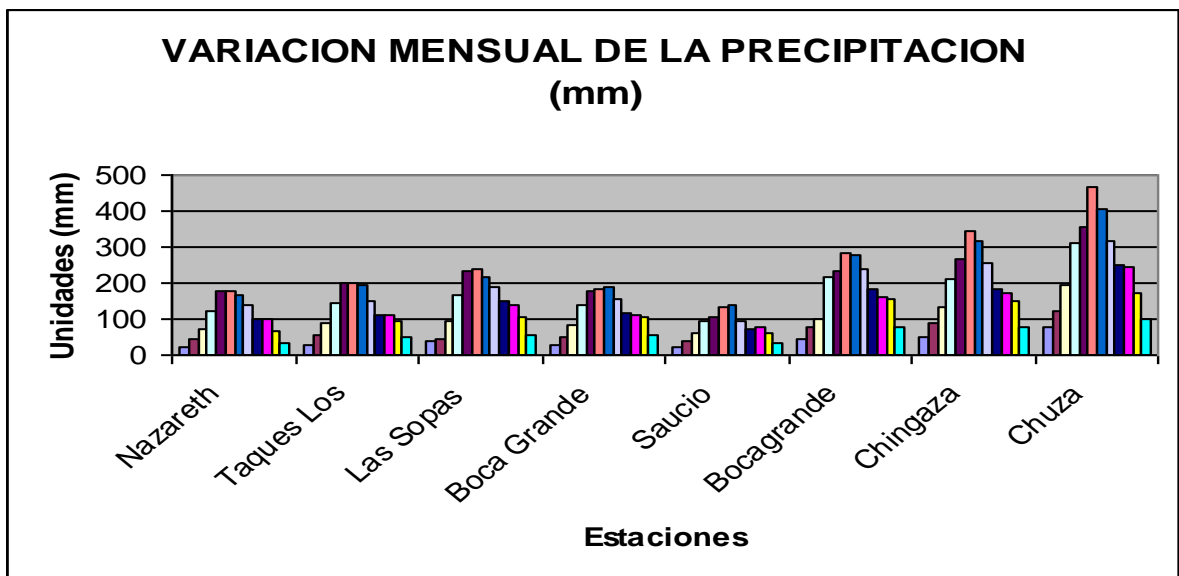


- **Comportamiento Bimodal 2:**





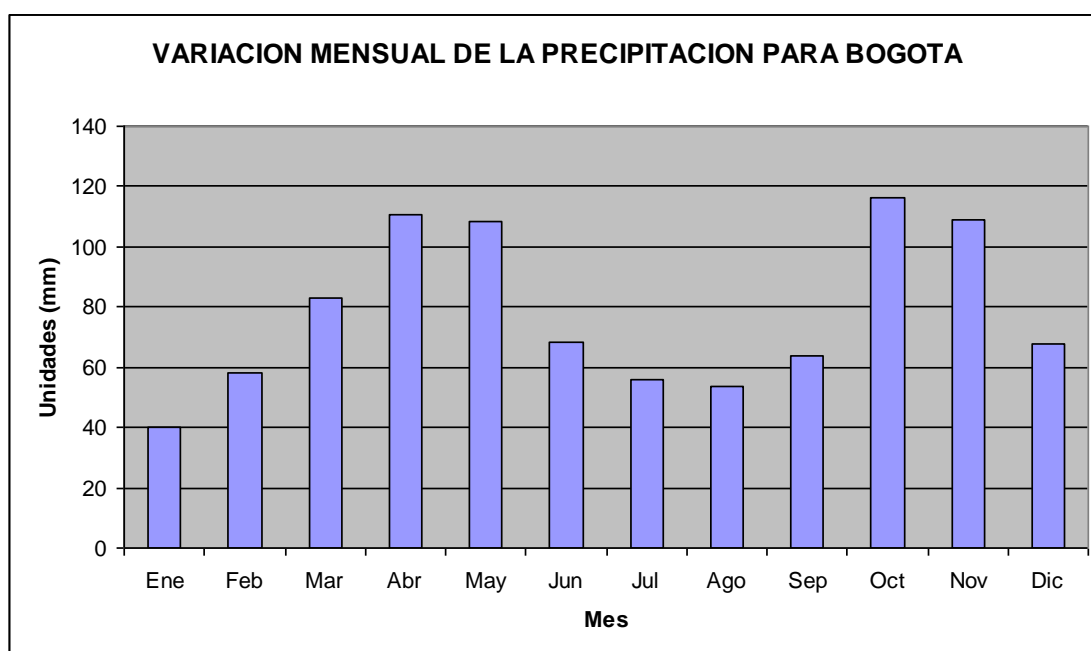
- Comportamiento Monomodal:



Finalmente haciendo el cálculo de la media mensual anual, concluimos que el mes con mayor tendencia de lluvia es Abril con un valor promedio de 110 mm y el mes donde la tendencia es menor es Enero con un valor promedio de 40 mm.

Como se observa igualmente en la Figura 30, los periodos con mayores precipitaciones son 2. El primero en abril - mayo, y el segundo en octubre – noviembre, esto en consecuencia a la zona de influencia intertropical. De igual manera, también se presentan periodos donde la lluvia presenta valores muy bajos, estos son de diciembre a febrero y de julio a septiembre.

**Figura 27: Variación media mensual anual de la precipitación en mm**



**Fuente: Autor**

### **8.1.2 Temperatura mínima, media y máxima**

Como se mencionó anteriormente, el comportamiento presente se ha determinado para el periodo 1971-2010 a partir de los datos horarios, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 33: Promedios Mensuales Multianuales T Mínima en °C para 1971-2010**

| Código  | Nombre                  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr   | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  | Prom |
|---------|-------------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2120579 | Apto El Dorado          | 7,63 | 6,68 | 7,82 | 8,83  | 8,94 | 8,55 | 7,97 | 7,63 | 7,35 | 7,91 | 8,13 | 6,72 | 7,85 |
| 2120523 | ObsMet Nacional         | 8,45 | 7,52 | 8,72 | 9,39  | 9,24 | 9,17 | 8,71 | 8,46 | 8,21 | 8,64 | 8,78 | 7,41 | 8,56 |
| 2120552 | Eldorado<br>Didáctica   | 7,48 | 6,59 | 7,69 | 8,71  | 8,83 | 8,41 | 7,88 | 7,49 | 7,18 | 7,78 | 7,89 | 6,59 | 7,71 |
| 2120558 | Venado Oro<br>Vivero    | 8,15 | 7,50 | 8,45 | 9,09  | 9,25 | 8,91 | 8,50 | 8,15 | 8,14 | 8,29 | 8,40 | 7,68 | 8,37 |
| 2120559 | Apto Guaymaral          | 8,11 | 7,30 | 8,14 | 9,17  | 9,23 | 8,90 | 8,40 | 8,11 | 7,83 | 8,30 | 8,56 | 7,34 | 8,28 |
| 2120571 | Jardín Botánico         | 8,28 | 7,23 | 8,34 | 9,16  | 9,36 | 8,88 | 8,27 | 8,28 | 7,90 | 8,34 | 8,44 | 7,48 | 8,33 |
| 2120605 | Esc Col Ingeniería      | 7,45 | 6,47 | 7,60 | 8,50  | 8,68 | 8,23 | 7,74 | 7,45 | 7,21 | 7,64 | 7,85 | 6,56 | 7,61 |
| 2120619 | UnivPedagogicaNa        | 7,99 | 7,27 | 8,10 | 9,23  | 9,12 | 8,60 | 8,16 | 7,99 | 7,93 | 8,47 | 8,77 | 6,88 | 8,21 |
| 2120622 | Univ Nacional           | 8,12 | 7,23 | 8,44 | 9,26  | 9,35 | 9,04 | 8,33 | 8,12 | 7,91 | 8,30 | 8,36 | 7,33 | 8,32 |
| 2120623 | Vegas Las Hda           | 7,69 | 6,65 | 7,87 | 8,78  | 8,97 | 8,56 | 8,01 | 7,69 | 7,39 | 7,93 | 8,10 | 6,82 | 7,87 |
| 2120650 | Col Abraham<br>Lincol   | 7,26 | 6,36 | 7,30 | 8,04  | 8,14 | 8,00 | 7,58 | 7,26 | 6,89 | 7,40 | 7,68 | 6,45 | 7,36 |
| 2120656 | Inem Kennedy            | 7,85 | 6,98 | 8,22 | 8,86  | 8,97 | 8,63 | 8,04 | 7,85 | 7,56 | 7,99 | 8,20 | 6,96 | 8,01 |
| 3502507 | Taques Los              | 4,19 | 3,03 | 4,15 | 5,03  | 5,27 | 4,91 | 4,48 | 4,19 | 4,06 | 4,46 | 4,56 | 3,56 | 4,32 |
| 8       | Guaymaral 2m<br>1997    | 7,87 | 6,90 | 8,05 | 8,88  | 9,03 | 8,59 | 8,05 | 7,87 | 7,55 | 8,17 | 8,30 | 6,94 | 8,02 |
| 11      | Suba                    | 7,58 | 6,78 | 7,88 | 8,64  | 8,91 | 8,49 | 7,87 | 7,58 | 7,34 | 7,89 | 7,95 | 6,87 | 7,81 |
| 6       | Las ferias              | 8,29 | 7,18 | 8,45 | 9,34  | 9,40 | 9,05 | 8,54 | 8,29 | 8,04 | 8,44 | 8,55 | 7,26 | 8,40 |
| 5       | Parque Simón<br>bolívar | 7,59 | 6,77 | 7,97 | 8,86  | 8,93 | 8,52 | 7,95 | 7,59 | 7,34 | 7,91 | 8,14 | 6,75 | 7,86 |
| 14      | Fontibón                | 8,23 | 7,43 | 8,41 | 9,22  | 9,31 | 8,94 | 8,42 | 8,23 | 7,95 | 8,44 | 8,61 | 7,43 | 8,39 |
| 13      | Puente Aranda           | 9,29 | 8,49 | 9,51 | 10,03 | 9,79 | 9,74 | 9,34 | 9,29 | 9,07 | 9,37 | 9,49 | 8,33 | 9,31 |
| 3       | Carvajal                | 7,94 | 7,02 | 8,17 | 9,01  | 9,11 | 8,74 | 8,24 | 7,94 | 7,71 | 8,20 | 8,31 | 6,98 | 8,11 |
| 16      | vitelma                 | 6,43 | 5,59 | 6,65 | 7,58  | 7,79 | 7,44 | 6,72 | 6,43 | 6,25 | 6,73 | 6,90 | 5,55 | 6,67 |
| 15      | Usme                    | 6,19 | 5,30 | 6,46 | 7,46  | 7,54 | 7,16 | 6,49 | 6,19 | 6,11 | 6,70 | 6,78 | 5,34 | 6,48 |

Fuente: Autor

**Tabla 34: Promedios Mensuales Multianuales T Media en °C para 1971-2010**

| Código  | Nombre              | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic   | Pro   |
|---------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2120579 | Apto El Dorado      | 13,15 | 13,55 | 13,81 | 13,01 | 14,03 | 13,79 | 13,40 | 13,38 | 13,40 | 13,44 | 13,50 | 13,26 | 13,48 |
| 2120523 | ObsMet Nacional     | 13,76 | 14,11 | 14,34 | 14,25 | 14,50 | 14,24 | 13,84 | 13,93 | 13,96 | 13,45 | 14,05 | 13,93 | 14,03 |
| 2120524 | Vitelma             | 11,04 | 11,28 | 11,59 | 8,68  | 11,71 | 11,35 | 11,14 | 10,96 | 10,95 | 13,32 | 11,30 | 11,03 | 11,19 |
| 2120547 | Fontibón            | 13,18 | 13,55 | 13,85 | 13,08 | 14,24 | 13,96 | 13,58 | 13,49 | 13,58 | 13,44 | 13,68 | 13,36 | 13,58 |
| 2120552 | Eldorado Didáctica  | 13,35 | 13,74 | 13,94 | 13,01 | 14,19 | 13,95 | 13,63 | 13,57 | 13,59 | 13,42 | 13,66 | 13,45 | 13,62 |
| 2120558 | Venado Oro Vivero   | 12,66 | 12,86 | 13,06 | 11,96 | 13,01 | 12,71 | 12,31 | 12,34 | 12,51 | 13,41 | 12,59 | 12,49 | 12,66 |
| 2120559 | Apto Guaymaral      | 13,12 | 13,45 | 13,68 | 13,89 | 13,77 | 13,42 | 13,11 | 13,20 | 13,28 | 13,43 | 13,38 | 13,16 | 13,41 |
| 2120569 | Camavieja           | 12,60 | 12,97 | 13,19 | 12,14 | 13,26 | 13,09 | 12,69 | 12,69 | 12,69 | 13,44 | 12,88 | 12,66 | 12,86 |
| 2120571 | JardinBotanico      | 14,41 | 14,66 | 14,70 | 12,84 | 14,93 | 14,70 | 14,45 | 14,48 | 14,53 | 13,44 | 14,59 | 14,43 | 14,35 |
| 2120605 | Esc Col Ingeniería  | 12,99 | 13,55 | 13,74 | 12,34 | 13,78 | 13,46 | 13,05 | 13,05 | 13,20 | 13,44 | 13,51 | 12,96 | 13,26 |
| 2120619 | UnivPedagogicaNa    | 13,30 | 13,80 | 13,99 | 12,86 | 14,05 | 13,69 | 13,27 | 13,30 | 13,46 | 13,44 | 13,75 | 13,28 | 13,52 |
| 2120622 | Univ Nacional       | 13,50 | 13,85 | 14,14 | 12,95 | 14,45 | 14,13 | 13,62 | 13,67 | 13,78 | 13,44 | 13,90 | 13,68 | 13,76 |
| 2120623 | Vegas Las Hda       | 13,05 | 13,39 | 13,67 | 13,03 | 13,93 | 13,67 | 13,40 | 13,35 | 13,40 | 13,44 | 13,50 | 13,19 | 13,42 |
| 2120656 | Inem Kennedy        | 13,18 | 13,74 | 14,00 | 12,79 | 14,11 | 13,93 | 13,51 | 13,45 | 13,42 | 13,44 | 13,46 | 13,27 | 13,53 |
| 3502507 | Taques Los          | 9,14  | 9,38  | 9,76  | 9,09  | 9,80  | 9,42  | 9,03  | 9,00  | 9,22  | 13,44 | 9,55  | 9,27  | 9,67  |
| 2119510 | Sopas Las           | 8,54  | 8,88  | 8,98  | 7,39  | 9,23  | 8,86  | 8,51  | 8,55  | 8,56  | 13,44 | 8,71  | 8,60  | 9,02  |
| 2120509 | Regadera 1          | 9,81  | 10,21 | 10,45 | 9,62  | 10,55 | 10,25 | 9,71  | 9,68  | 9,81  | 13,38 | 10,21 | 9,86  | 10,29 |
| 2120530 | Palo Blanco         | 8,29  | 8,62  | 8,95  | 9,10  | 9,00  | 8,75  | 8,33  | 8,43  | 8,49  | 13,30 | 8,73  | 8,49  | 9,04  |
| 8       | Guaymaral 2m 1997   | 13,31 | 13,75 | 14,05 | 12,82 | 14,14 | 13,73 | 13,43 | 13,64 | 13,54 | 13,44 | 13,82 | 13,53 | 13,60 |
| 11      | Suba                | 13,02 | 13,34 | 13,80 | 12,86 | 13,99 | 13,68 | 13,39 | 13,17 | 13,10 | 13,44 | 13,36 | 13,16 | 13,36 |
| 6       | Las ferias          | 13,52 | 13,84 | 14,34 | 12,90 | 14,30 | 14,15 | 13,98 | 13,86 | 13,85 | 13,44 | 13,88 | 13,58 | 13,80 |
| 5       | Parque SimonBolivar | 13,14 | 13,63 | 13,95 | 12,81 | 14,10 | 13,78 | 13,50 | 13,41 | 13,46 | 13,44 | 13,56 | 13,35 | 13,51 |
| 14      | Fontibon            | 13,40 | 13,80 | 13,99 | 12,82 | 14,17 | 13,88 | 13,61 | 13,60 | 13,59 | 13,44 | 13,76 | 13,49 | 13,63 |
| 13      | Puente Aranda       | 13,43 | 13,82 | 14,03 | 12,78 | 14,19 | 13,85 | 13,56 | 13,60 | 13,67 | 13,44 | 13,77 | 13,58 | 13,64 |
| 9       | Kennedy             | 13,10 | 13,58 | 13,76 | 12,86 | 14,00 | 13,73 | 13,39 | 13,33 | 13,39 | 13,44 | 13,44 | 13,25 | 13,44 |
| 3       | Carvajal            | 13,20 | 13,68 | 14,06 | 13,04 | 14,12 | 13,85 | 13,51 | 13,43 | 13,59 | 13,44 | 13,56 | 13,28 | 13,56 |
| 16      | Vitelma             | 11,96 | 12,27 | 12,55 | 11,61 | 12,80 | 12,46 | 12,03 | 12,01 | 12,11 | 12,11 | 12,26 | 12,00 | 12,18 |

Fuente: Autor

**Tabla 35: Promedios Mensuales Multianuales T Máxima en °C para 1971-2010**

| Código   | Nombre             | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic   | Pro   |
|----------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| E2120579 | Apto El Dorado     | 19,77 | 19,97 | 19,76 | 19,44 | 19,15 | 18,61 | 18,27 | 18,52 | 18,93 | 19,11 | 19,24 | 19,48 | 19,19 |
| E2120523 | ObsMet Nacional    | 19,98 | 20,22 | 20,02 | 19,66 | 19,37 | 19,00 | 18,45 | 18,76 | 19,13 | 19,43 | 19,48 | 19,73 | 19,43 |
| E2120552 | Eldorado Didáctica | 19,83 | 20,03 | 19,84 | 19,57 | 19,23 | 18,62 | 18,30 | 18,58 | 19,13 | 19,18 | 19,31 | 19,56 | 19,27 |
| E2120558 | Venado Oro Vivero  | 18,75 | 18,84 | 18,67 | 18,50 | 18,25 | 17,72 | 17,22 | 17,38 | 17,96 | 18,05 | 18,00 | 18,24 | 18,13 |
| E2120559 | Apto Guaymaral     | 20,25 | 20,42 | 20,13 | 19,73 | 19,36 | 18,74 | 18,38 | 18,61 | 19,20 | 19,51 | 19,69 | 19,93 | 19,50 |
| E2120571 | Jardín Botánico    | 20,45 | 20,63 | 20,32 | 20,07 | 19,90 | 19,59 | 19,27 | 19,46 | 19,68 | 19,92 | 19,89 | 20,08 | 19,94 |
| E2120605 | Esc Col Ingeniería | 19,77 | 19,97 | 19,76 | 19,44 | 19,15 | 18,61 | 18,27 | 18,52 | 18,93 | 19,11 | 19,24 | 19,48 | 19,19 |
| E2120619 | UnivPedagogicaNa   | 19,67 | 19,65 | 19,81 | 19,29 | 19,17 | 18,57 | 18,21 | 18,40 | 18,70 | 19,21 | 19,24 | 19,31 | 19,10 |
| E2120622 | Univ Nacional      | 19,68 | 19,83 | 19,64 | 19,36 | 19,12 | 18,60 | 18,10 | 18,37 | 18,86 | 19,09 | 19,23 | 19,41 | 19,11 |
| E2120623 | Vegas Las Hda      | 19,78 | 19,93 | 19,79 | 19,60 | 19,37 | 18,89 | 18,61 | 18,76 | 19,14 | 19,29 | 19,29 | 19,53 | 19,33 |
| E2120650 | Col Abraham Lincol | 19,61 | 19,71 | 19,61 | 19,25 | 19,05 | 18,60 | 18,18 | 18,49 | 18,84 | 19,00 | 19,06 | 19,28 | 19,06 |
| E2120656 | Inem Kennedy       | 19,82 | 19,98 | 19,89 | 19,51 | 19,22 | 18,71 | 18,22 | 18,69 | 18,97 | 19,13 | 19,21 | 19,45 | 19,23 |
| E3502507 | Taques Los         | 15,19 | 15,25 | 15,03 | 14,53 | 14,16 | 13,58 | 13,21 | 13,21 | 13,84 | 14,19 | 14,52 | 14,75 | 14,29 |
| 8        | Guaymaral 2m 1997  | 19,76 | 19,94 | 19,84 | 19,36 | 19,01 | 18,30 | 17,94 | 18,21 | 18,74 | 19,11 | 19,32 | 19,55 | 19,09 |
| 11       | Suba               | 19,24 | 19,22 | 19,11 | 18,73 | 18,45 | 17,87 | 17,48 | 17,71 | 18,09 | 18,24 | 18,48 | 18,74 | 18,45 |
| 6        | Las ferias         | 19,24 | 19,22 | 19,11 | 18,73 | 18,45 | 17,87 | 17,48 | 17,71 | 18,09 | 18,24 | 18,48 | 18,74 | 18,45 |
| 14       | Fontibón           | 19,31 | 19,55 | 19,43 | 19,11 | 18,80 | 18,19 | 17,83 | 18,02 | 18,49 | 18,71 | 18,84 | 19,03 | 18,77 |
| 13       | Puente Aranda      | 19,43 | 19,62 | 19,44 | 19,12 | 18,82 | 18,20 | 17,84 | 18,07 | 18,53 | 18,80 | 18,92 | 19,15 | 18,83 |

Fuente: Autor

**Tabla 36: Promedio MultiAnual de la temperatura (Mínima, Media, Máxima) en °C para 1971-2010**

| Temperatura mínima °C |                      | Temperatura Media °C |                      | Temperatura Máxima °C |                      |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| Estación              | Promedio Multi-Anual | Estación             | Promedio Multi-Anual | Estación              | Promedio Multi-Anual |
| Apto El Dorado        | 7,85                 | Apto El Dorado       | 13,48                | Apto El Dorado        | 19,19                |
| Obs Met Nacional      | 8,56                 | Obs Met Nacional     | 14,03                | Obs Met Nacional      | 19,43                |
| Eldorado Didáctica    | 7,71                 | Vitelma              | 11,19                | Eldorado Didáctica    | 19,27                |
| Venado Oro Vivero     | 8,37                 | Fontibón             | 13,58                | Venado Oro Vivero     | 18,13                |
| Apto Guaymaral        | 8,28                 | Eldorado Didáctica   | 13,62                | Apto Guaymaral        | 19,5                 |
| Jardín Botánico       | 8,33                 | Venado Oro Vivero    | 12,66                | Jardín Botánico       | 19,94                |
| Esc Col Ingeniería    | 7,61                 | Apto Guaymaral       | 13,41                | Esc Col Ingeniería    | 19,19                |
| Univ Pedagógica Na    | 8,21                 | Camavieja            | 12,86                | Univ Pedagógica Na    | 19,1                 |
| Univ Nacional         | 8,32                 | Jardín botánico      | 14,35                | Univ Nacional         | 19,11                |
| Vegas Las Hda         | 7,87                 | Esc Col Ingeniería   | 13,26                | Vegas Las Hda         | 19,33                |
| Col Abraham Lincol    | 7,36                 | Univ Pedagógica Na   | 13,52                | Col Abraham Lincol    | 19,06                |
| Inem Kennedy          | 8,01                 | Univ Nacional        | 13,76                | Inem Kennedy          | 19,23                |
| Taques Los            | 4,32                 | Vegas Las Hda        | 13,42                | Taques Los            | 14,29                |
| Guaymaral 2m 1997     | 8,02                 | Inem Kennedy         | 13,53                | Guaymaral 2m 1997     | 19,09                |
| Suba                  | 7,81                 | Taques Los           | 9,67                 | Suba                  | 18,45                |
| Las ferias            | 8,4                  | Sopas Las            | 9,02                 | Las ferias            | 18,45                |
| Parque Simón bolívar  | 7,86                 | Regadera 1           | 10,29                | Fontibón              | 18,77                |
| Fontibón              | 8,39                 | Palo Blanco          | 9,04                 | Puente Aranda         | 18,83                |
| Puente Aranda         | 9,31                 | Guaymaral 2m 1997    | 13,6                 |                       |                      |
| Carvajal              | 8,11                 | Suba                 | 13,36                |                       |                      |
| vitelma               | 6,67                 | Las ferias           | 13,8                 |                       |                      |
| Usme                  | 6,48                 | Parque Simón Bolívar | 13,51                |                       |                      |
|                       |                      | Fontibón             | 13,63                |                       |                      |
|                       |                      | Puente Aranda        | 13,64                |                       |                      |
|                       |                      | Kennedy              | 13,44                |                       |                      |
|                       |                      | Carvajal             | 13,56                |                       |                      |
|                       |                      | Vitelma              | 12,18                |                       |                      |

Fuente: Autor

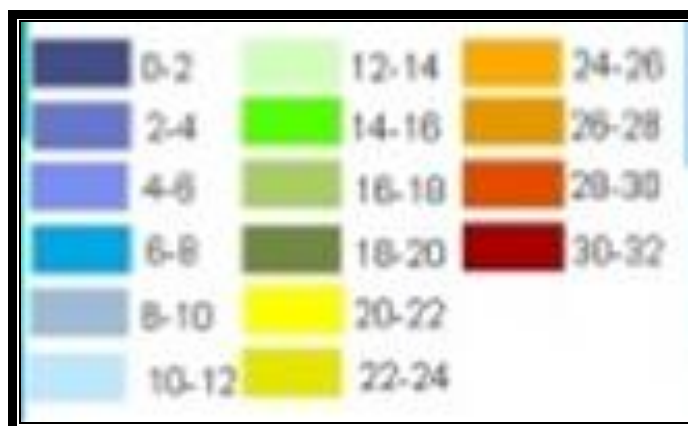
### Variabilidad espacial de la temperatura:

- Los valores del promedio multianual de temperatura media se encuentran entre los 9°C y 14°C para Bogotá, este último valor tiende a ubicarse hacia la parte noroeste de la ciudad, en donde se encuentran las localidades de Suba, Engativá, entre otras. Por otro lado los valores más bajos se presentan hacia la parte central y sur tal como Sumapaz.
- Los valores del promedio multianual de temperatura mínima se encuentran entre los 4°C y 9°C para Bogotá, dando prioridad hacia la parte central y sur para los valores más bajos, y la parte norte los valores más cálidos.
- Los valores de temperatura máxima media anual se encuentran entre 18°C y 19°C.

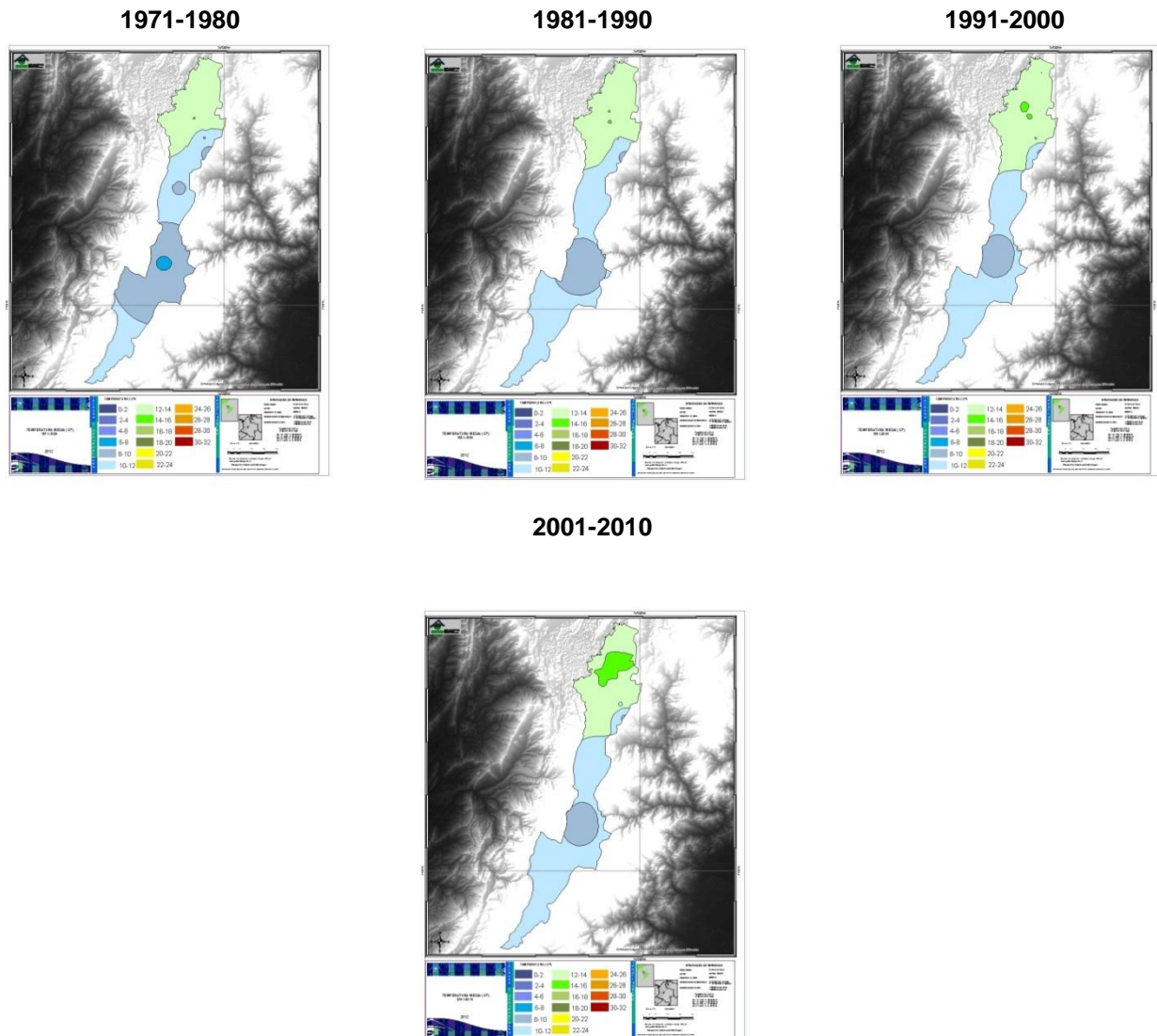
### Variabilidad mensual de la temperatura:

- A nivel mensual, el período comprendido entre diciembre y abril se caracteriza por las temperaturas más altas, con valores que oscilan entre los 19°C y 20°C.
- En relación a la temperatura mínima, los meses comprendidos en el período entre diciembre y marzo, y en el período julio-agosto, reflejan una disminución significativa. Las temperaturas oscilan entre los 3,5°C y los 9°C.
- Frente a la temperatura media, hay una tendencia para todo el año a comportarse entre los 12°C y 13°C.

Los mapas 6 a 9 manejan la siguiente leyenda:



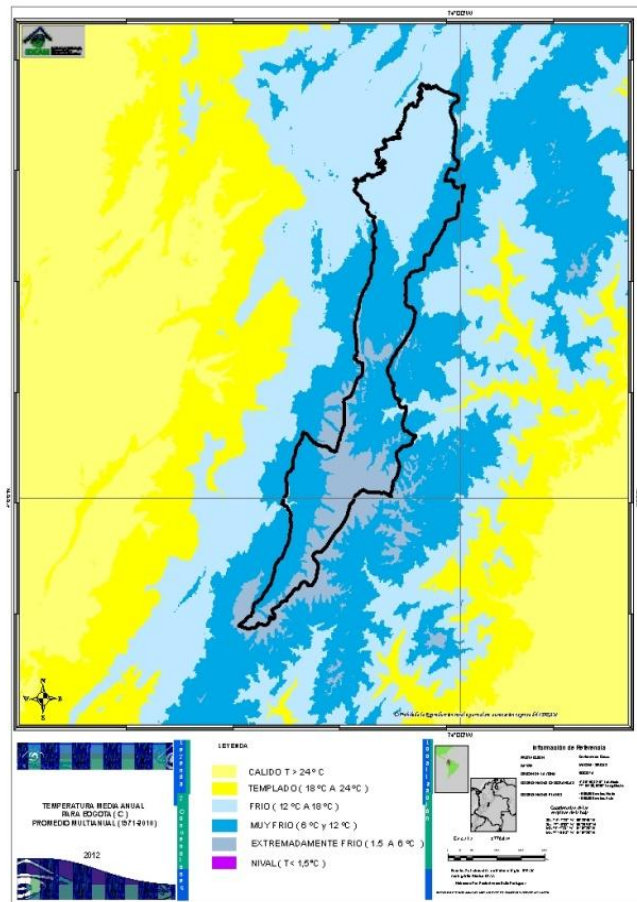
**Mapa 6-9: Distribución espacial de la temperatura media en °C a nivel década para el periodo 1971-2010**



El mapa numero 10 maneja la siguiente leyenda:

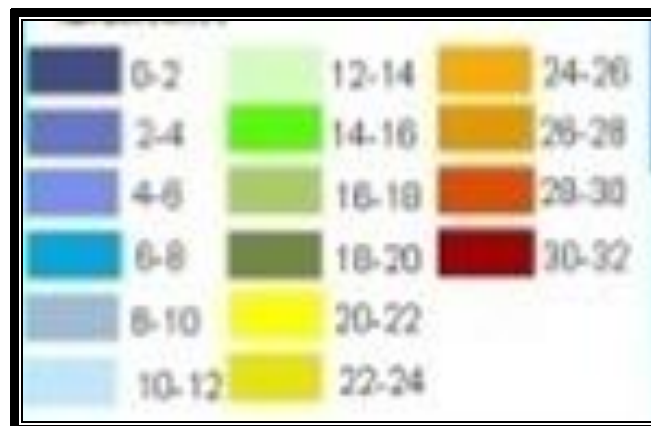


**Mapa 10: Distribución espacial Temperatura media en °C para el período 1971-2010.**

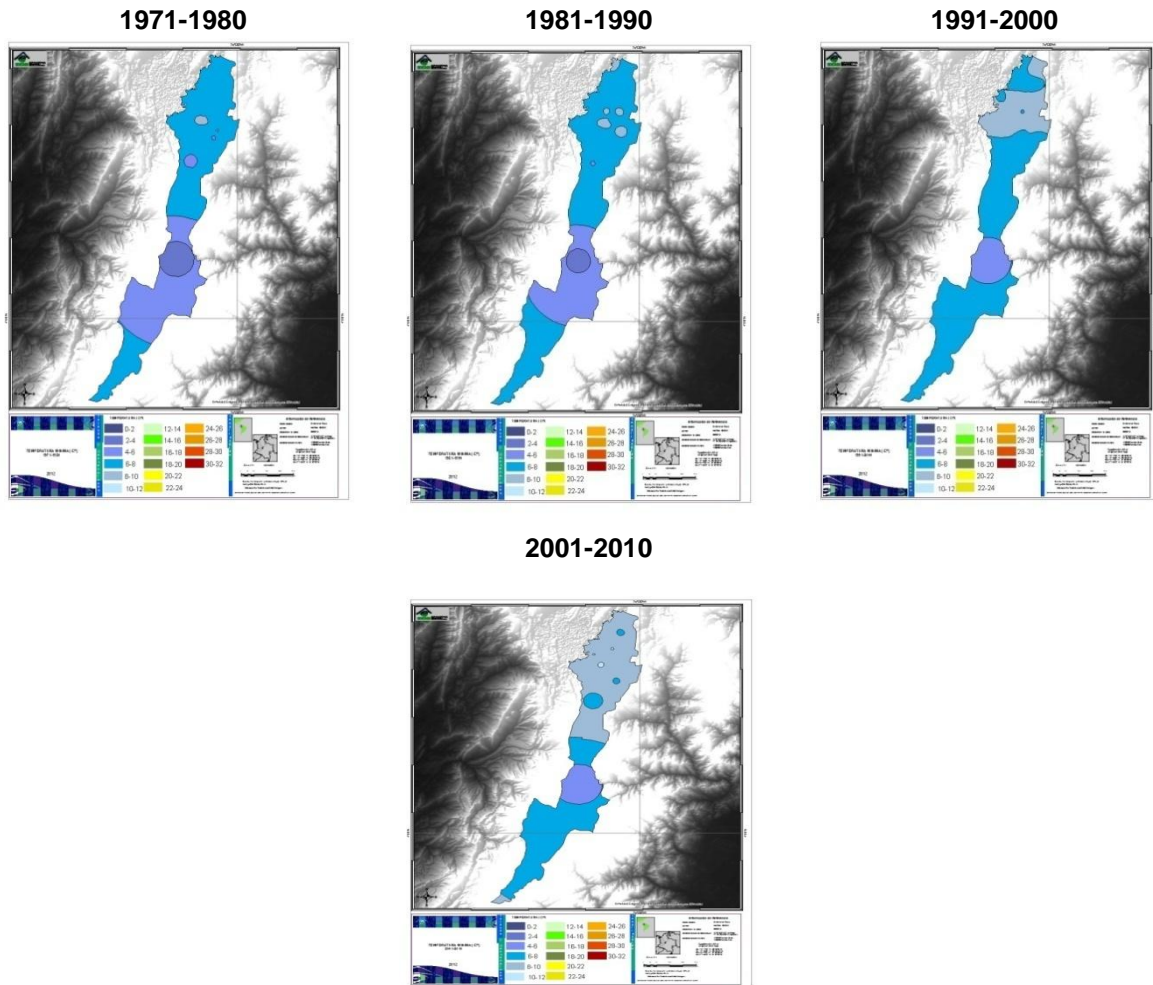


Fuente: Autor

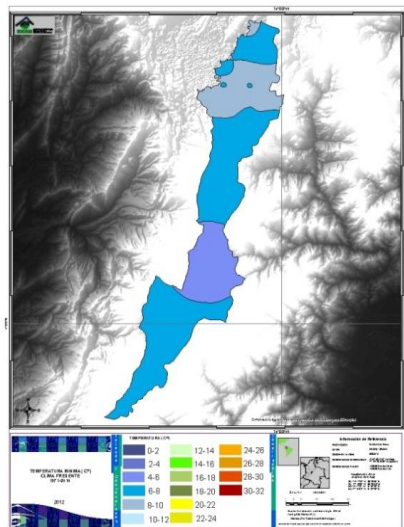
Mapas del 10 al 14 corresponden a la siguiente leyenda:



**Mapa 11-14: Distribución espacial de la temperatura mínima en °C a nivel década para el periodo 1971-2010**

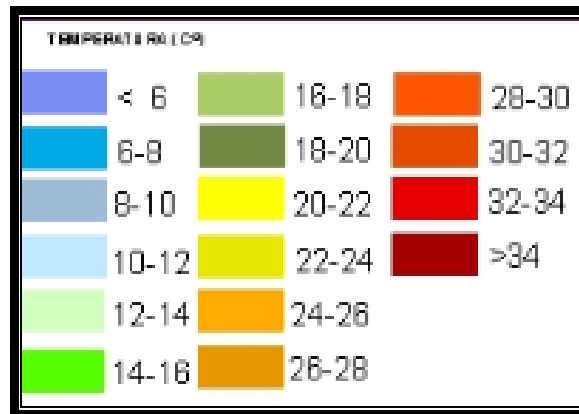


**Mapa 15: Distribución espacial Temperatura mínima en °C para el período 1971-2010.**



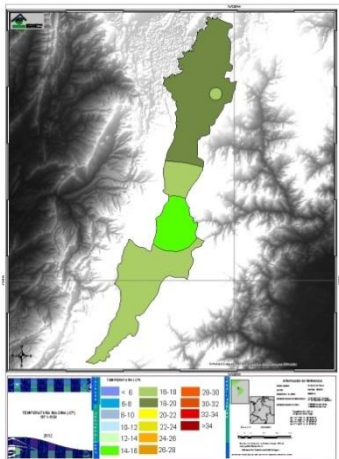
Fuente: Autor

Mapas 16 a 19 manejan la siguiente leyenda:

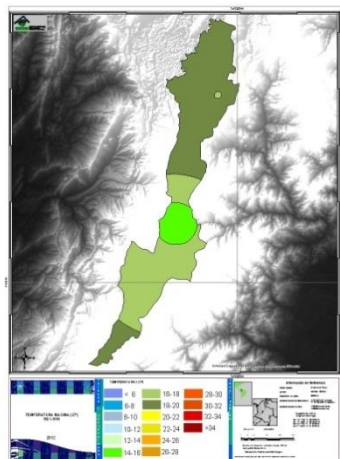


Mapas 16-19: Distribución espacial de la temperatura máxima en °C a nivel década para el período 1971-2010

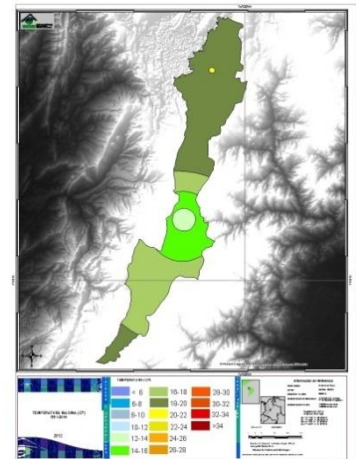
1971-1980



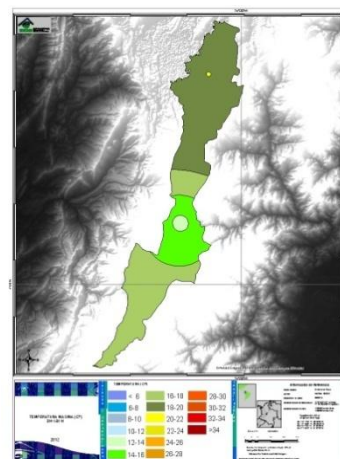
1981-1990



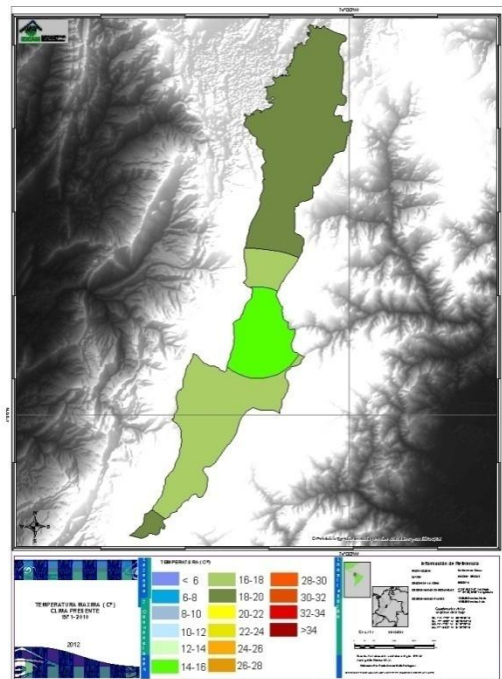
1991-2000



2001-2010



Mapa 20: Distribución espacial Temperatura máxima en °C para el período 1971-2010.



Fuente: Autor

## 8.2 VARIABILIDAD CLIMÁTICA

### 8.2.1 Precipitación

#### Comportamiento tipo Below o por debajo:

El principal efecto es el aumento notorio en los niveles de precipitación. Cuando se presenta un comportamiento por debajo, Bogotá se caracteriza por que en el lapso del trimestre 1 al número 5 hay un rango de variación en la precipitación. Esta disminución se manifiesta en que aproximadamente en el 1 trimestre hay un 80% de los casos bajo influencia de la Niña, pero este porcentaje baja hasta un rango entre el 35% y un -35% en el 5 trimestre, lo cual significa que los niveles de precipitación estuvieron en condiciones normales. Este comportamiento vuelve a cambiar desde el trimestre número 6, en donde la tendencia de los casos influenciados por la Niña aumenta hasta el trimestre número 12 en donde hasta el 80% de los casos están por debajo de lo normal.

Basándonos en esto, el trimestre de mayor afectación es el número 7. De igual manera, los trimestres 10, 11 y 12, tienen un comportamiento bastante influenciado pues los niveles de precipitación han aumentado considerablemente lo cual nos permite concluir que hacia el mes de diciembre se evidencian los mayores efectos ya que es el mes común para los 3 trimestres.

Durante la década 2001-2010 se pudieron observar los valores más altos de precipitación, alcanzando valores máximos hasta de 1214 mm en el año 2002 en el mes de junio. Evidencia directa de esta situación, se puede constatar por las emergencias vividas en la ciudad durante los últimos años. En el año 2010, el nivel del río Bogotá aumento de forma significativa y se desbordo generando daños en buena parte del occidente de la ciudad (City TV, Perdidas en el occidente..., 2010). Anteriormente hacia el año 2002, el río Tunjuelito se desbordo generando inundaciones de incluso un 1.50m de altura en algunos barrios de la ciudad, dejando miles de damnificados (BBC Mundo, Bogotá..., 2002).

Las zonas con mayor afectación, corresponden a la parta NOR-OCCIDENTAL de la ciudad influenciando localidades como Suba y Engativá, Fontibón, Barrios Unidos, Teusaquillo, etc. De igual manera en menor porcentaje la localidad de Sumapaz ubicada al sur de Bogotá se ve afectada.

Podemos concluir entonces que en la mayoría de los trimestres hay un influencia directa por el fenómeno Niña, lo cual desencadena un aumento en la precipitación. Sin embargo en algunos trimestres las lluvias no han superado los valores típicos.

Según (Montealegre, 2009) es muy posible que el océano como controlador del clima y la atmósfera en cuyo seno se suscitan los procesos físicos de la condensación (formación de nubes), sean los responsables más determinantes de la variabilidad de la precipitación. Esto se apoya en el hecho de que al florecer las aguas frías en el oriente del océano pacífico en consecuencia a la mayor intensidad de los alisios, hay un mayor porcentaje de evaporación lo

cual contribuye a la formación de nubes y el arrastre de las mismas aumentando los niveles de precipitación.

### **Comportamiento tipo Normal:**

Bajo condiciones normales, predomina un comportamiento de las lluvias acorde a los valores típicos. En este caso la mayoría de los trimestres no presentan ningún tipo de comportamiento por encima o por debajo y se encuentran en el intervalo comprendido entre 35% y -35%, a excepción del trimestre número 4 que presenta una tendencia en donde el 35% al 60 % de los casos presentaron comportamientos por encima.

Estos comportamientos obedecen a ciertas condiciones que pueden relacionarse al comportamiento atmosférico como tal a nivel Colombia, o a factores locales directamente influyentes, tal como el hecho de que la distribución geográfica o la distribución y velocidad de los vientos influyan en la uniformidad de las lluvias. En los casos donde se ven valores entre -35 y -50%, se deben considerar una diversidad de factores (IDEAM, (2010)) el primero es la relación brisa tierra –agua, en donde el calentamiento del agua y de la tierra a diferentes velocidades genera que las corrientes de aire se enfríen y se calienten formando una brisa, la relación brisa montaña-valle, en donde ciertas laderas de las montañas reciben mayor radiación solar contribuyendo al aumento de la evaporación del agua. Cuando los vientos se encuentran con obstáculos geográficos, el aire tiende a acumularse en la cara por la que choca (barlovento) acumulando más humedad y generando lluvias, de igual manera al estar ubicado Bogotá sobre el altiplano cundíboyacense y la cordillera oriental este fenómeno cobra gran amplitud generando precipitaciones.

La localidad de Sumapaz obedece a un caso especial de análisis, el comportamiento observado radica en el hecho de que al tener características de páramo contiene una gran cantidad de recursos hídricos, esto en sumatoria a la cantidad de formaciones montañosas de la zona, permiten generar una constante precipitación.

### **Comportamiento tipo Above o por encima:**

Cuando se presenta un comportamiento por encima, el efecto observado para Bogotá es la reducción en los niveles de precipitación. La influencia de este fenómeno en Bogotá, se caracteriza por una tendencia a mantener los valores de precipitación dentro de los valores típicos ya que en la mayoría de trimestres hay una tendencia al -35% y el 35% de los casos. Sin embargo, para los trimestres 11,12 y 1, la influencia del Niño recae de manera directa generando valores hasta donde el 80% de los casos están por encima de lo normal. El trimestre con mayor afectación es el trimestre número 12 seguido del trimestre número 1, lo cual nos permite concluir que los meses de Enero y febrero son los de mayor reducción ya que son los meses comunes a ambos trimestres, este comportamiento se verifica al comparar los resultados de esta sección con los resultados del comportamiento de la temperatura en el período 1971-2010.

Este tipo de comportamiento se ha presentado en la ciudad de Bogotá en varias ocasiones, ya que la precipitación se reduce a valores que pueden llegar

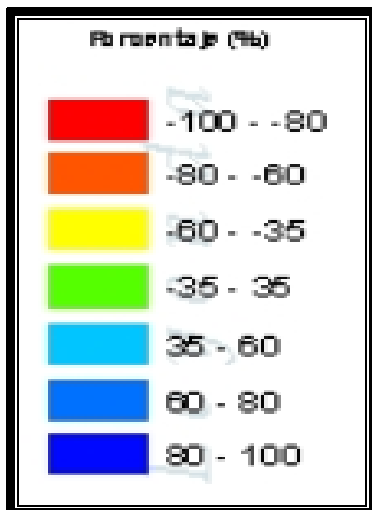
a 0 ejemplo de ello se da hacia el año 2009 en donde los meses de octubre, noviembre y diciembre, se caracterizaron por presentar valores muy bajos de lluvia lo cual obligo a la administración Distrital a construir pozos para asegurar el abastecimiento de agua en la ciudad (El ESPECTADOR, Bogotá...,2009).

Las zonas de mayor afectación durante el comportamiento above varían según el trimestre que se tiene en cuenta, durante el trimestre 11 localidades como Ciudad Bolívar y Usme padecen disminución de la precipitación. Durante el trimestre 12 toda la ciudad se vea afectada por el fenómeno, y durante el trimestre 1 principalmente Ciudad Bolívar y Fontibón.

Podemos concluir que durante el comportamiento above, en la mayoría de los trimestres la precipitación ha tendido a mantenerse en rangos normales, sin embargo en algunos casos, la reducción de precipitación es bastante significativa.

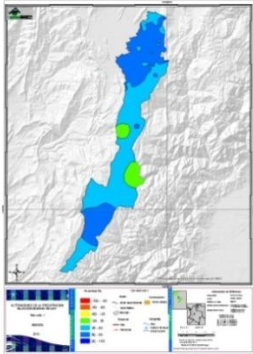
Este comportamiento está asociado a la llegada de aguas cálidas a la parte oriental del océano pacífico desde la parte occidental, situación generada por la disminución de los vientos Alisios. Esto quiere decir que al generarse la presencia de agua caliente en la zona hay una disminución en la presión atmosférica lo cual genera una inversión en la célula de Walker y de esa manera los vientos que favorecen la precipitación en Bogotá cesan su fuerza.

La variabilidad climática para la precipitación presentada en los mapas 21 al 56, se representa por la siguiente leyenda:

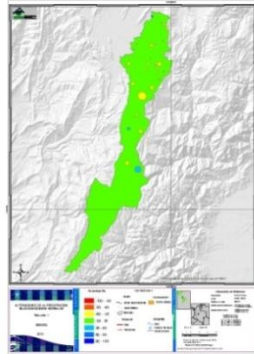


Mapas 21-56. Variabilidad Climática de la Precipitación para los 12 trimestres

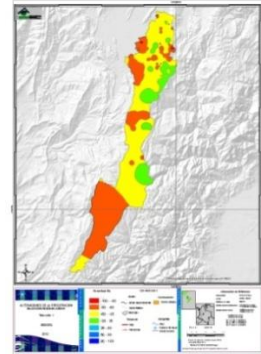
Below Trimestre 1



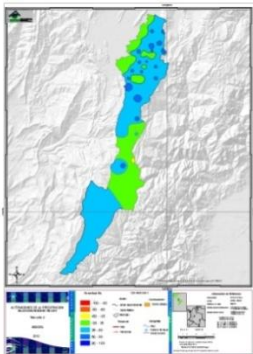
Normal Trimestre 1



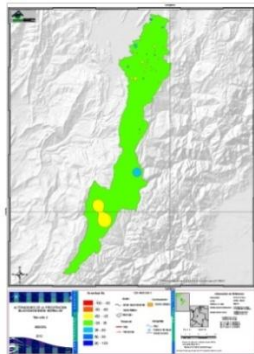
Above Trimestre 1



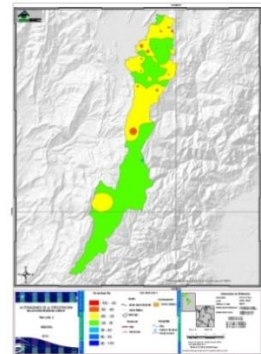
Below Trimestre 2



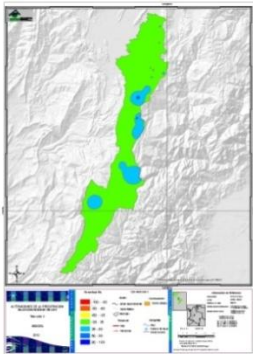
Normal Trimestre 2



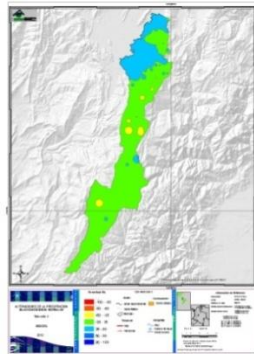
Above Trimestre 2



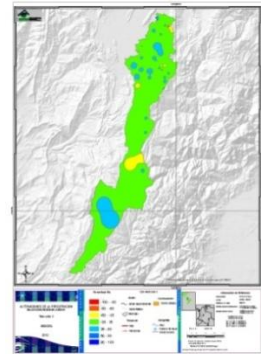
Below Trimestre 3



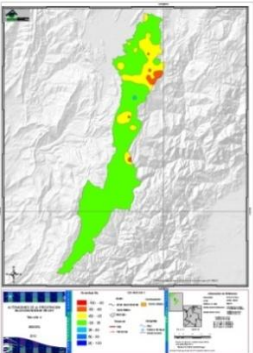
Normal Trimestre 3



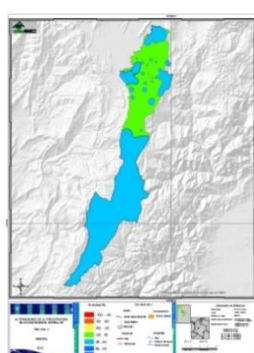
Above Trimestre 3



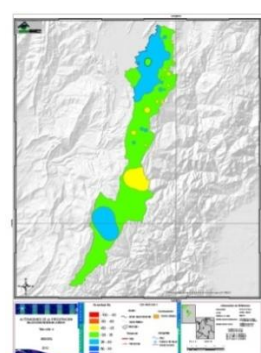
Below Trimestre 4



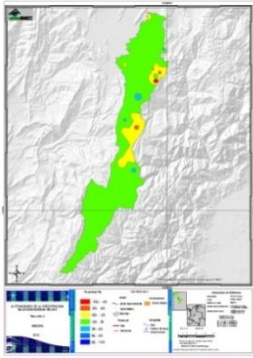
Normal Trimestre 4



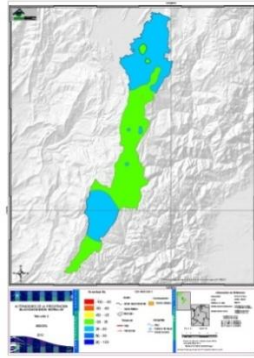
Above Trimestre 4



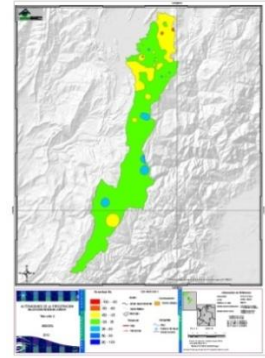
**Below Trimestre 5**



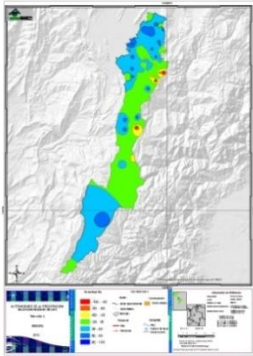
**Normal Trimestre 5**



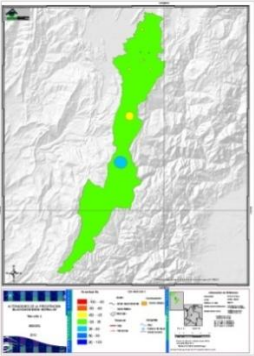
**Above Trimestre 5**



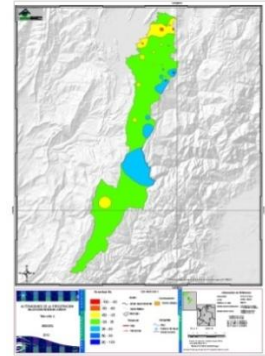
**Below Trimestre 6**



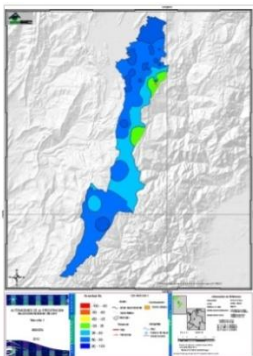
**Normal Trimestre 6**



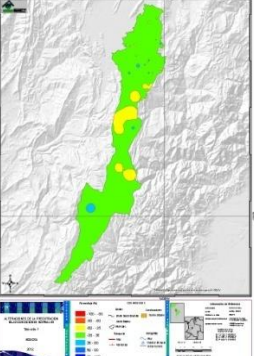
**Above Trimestre 6**



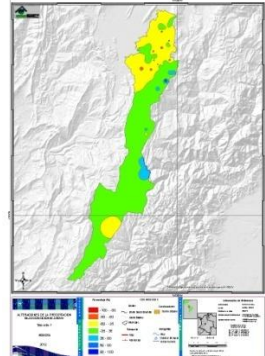
**Below Trimestre 7**



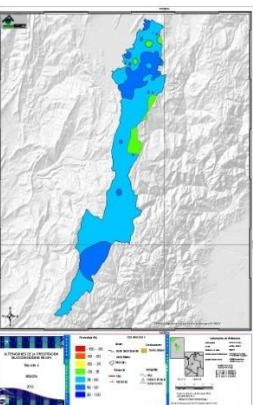
**Normal Trimestre 7**



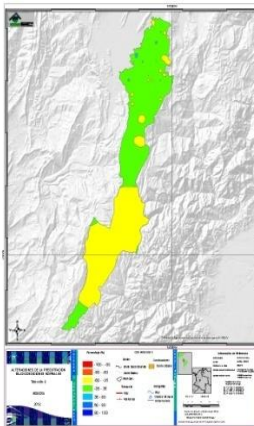
**Above Trimestre 7**



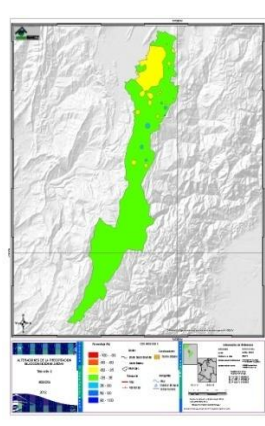
**Below Trimestre 8**



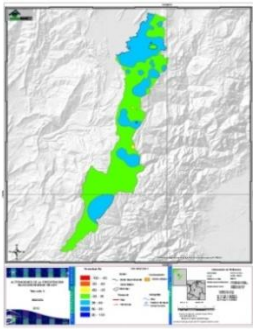
**Normal Trimestre 8**



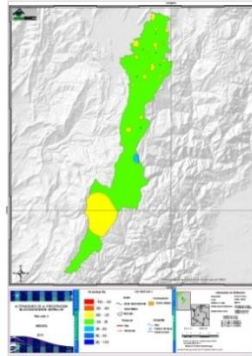
**Above Trimestre 8**



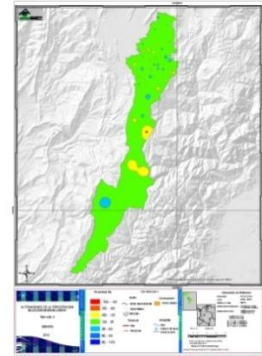
**Below Trimestre 9**



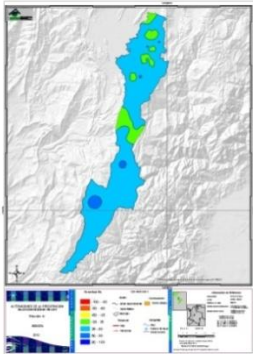
**Normal Trimestre 9**



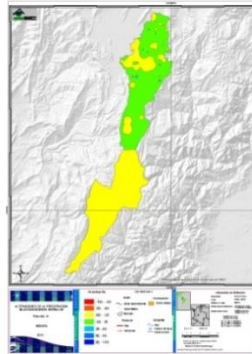
**Above Trimestre 9**



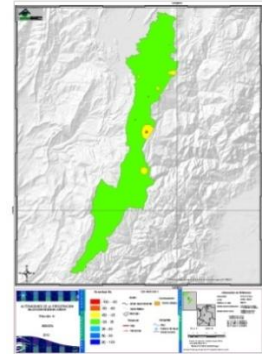
**Below Trimestre 10**



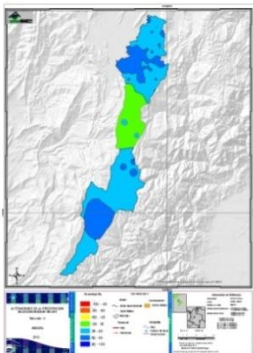
**Normal Trimestre 10**



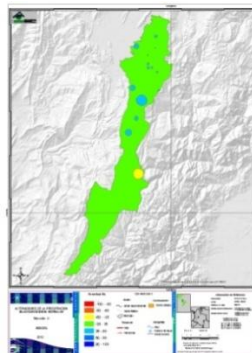
**Above Trimestre 10**



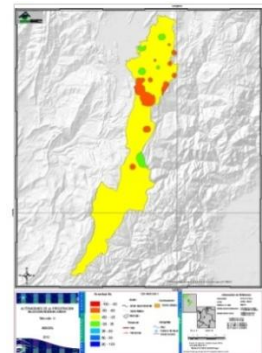
**Below Trimestre 11**



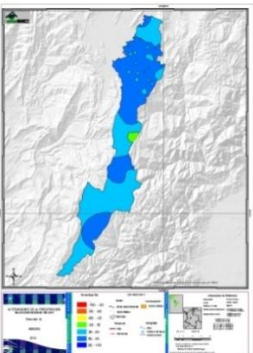
**Normal Trimestre 11**



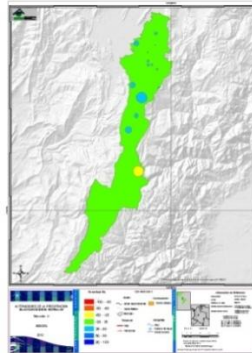
**Above Trimestre 11**



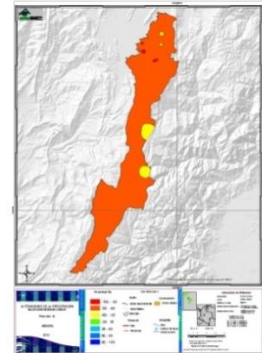
**Below Trimestre 12**



**Normal Trimestre 12**



**Above Trimestre 12**



Fuente: Autor

## **8.2.2 Temperatura Media**

### **Comportamiento Below o por debajo:**

Cuando se presenta un comportamiento por debajo, el efecto observado para Bogotá es una disminución en la temperatura.

Esto se ve representado, en que la tendencia obedece a que entre el -60% y el -100% de los casos están bajo condiciones por debajo, este comportamiento se ve reflejado en todos los trimestres estudiados, podemos concluir entonces que la disminución de temperatura es el factor común. Sin embargo, el trimestre número 2 es aquel que presenta mayor disminución, seguido del trimestre 3, lo que nos permite concluir que marzo y abril son los meses de mayor afectación ya que son comunes a ambos trimestres. De igual manera, otro de los trimestres más afectados es el número 10; al compararlos con la precipitación en el mismo trimestre la información nos permite concluir que hay mayor precipitación y una disminución en la temperatura media.

La afectación sobre Bogotá se caracteriza por generar una cobertura de todo el territorio, excluyendo casos específicos como el trimestre 4 y 8 en donde la temperatura está dado bajo condiciones normales para la localidad de Sumapaz.

Este comportamiento, está asociado al hecho de que durante un fenómeno niña, las temperaturas deben bajar y la precipitación debe subir. Ya que la incidencia de corrientes frías genera vientos de las mismas características que favorecen los procesos de precipitación.

### **Comportamiento Normal:**

Cuando la temperatura está bajo condiciones normales, Bogotá se caracteriza por presentar un comportamiento para todos los trimestres entre el -35% y el 35%. Lo cual permite concluir que se cumplen las condiciones normales, y no hay comportamiento ni por encima, ni por debajo.

Este comportamiento, está asociado a una diversidad de factores. En primer lugar se encuentran los factores radiactivos, ya que hay un balance en la radiación solar terrestre lo cual permite mantener las condiciones normales de temperatura, por otro el enfriamiento de las capas de montañas que no reciben directamente la radiación solar, dependiendo de la dirección de los vientos y las barreras geográficas que encuentren como la cordillera oriental.

### **Comportamiento Above o por encima:**

Cuando se presenta un comportamiento por encima, el efecto observado para Bogotá es un aumento en la temperatura.

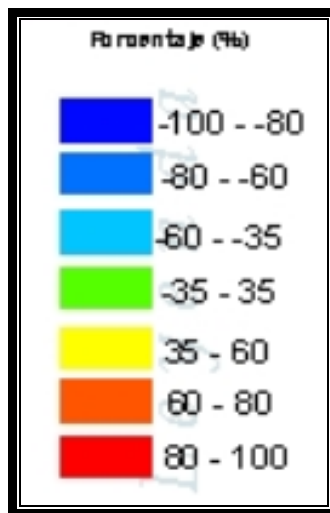
Hay una tendencia al incremento de la temperatura hasta en el 80% de los casos, para los primeros 4 trimestres. Sin embargo, luego de esto hay una disminución que repercute en valores cercanos incluso a las condiciones normales.

El trimestre de mayor afectación es el trimestre número 1, seguido del número 2 y del 3, lo que nos permite concluir que el mes de marzo es el más afectado,

seguido de abril ya que son comunes a los trimestres. Al comparar estos trimestres con la precipitación, el trimestre numero 1 nos permite evidenciar que la precipitación se ha reducido para dar paso a un aumento de la temperatura media.

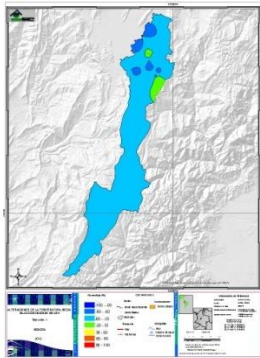
La afectación por el comportamiento por encima, se ve gradualmente sobre todo el territorio Bogotano. En algunos trimestres es evidente que la parte más norte de la ciudad se caracteriza por tener valores de temperatura media dentro de los valores típicos.

Todos los mapas correspondientes a la variabilidad climática de la temperatura (media, mínima, máxima), se representan por la siguiente leyenda:

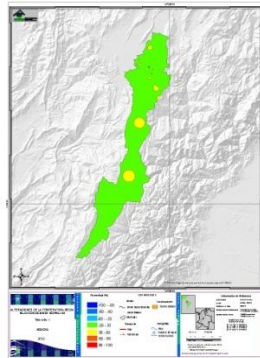


Mapas 57-92. Variabilidad Climática T Media para los 12 trimestres

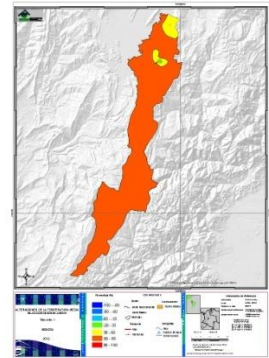
Below Trimestre 1



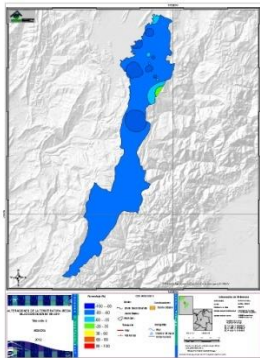
Normal Trimestre 1



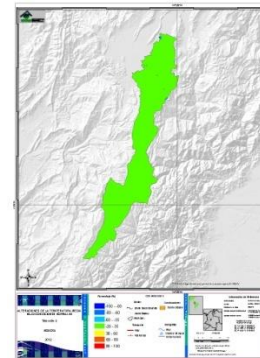
Above Trimestre 1



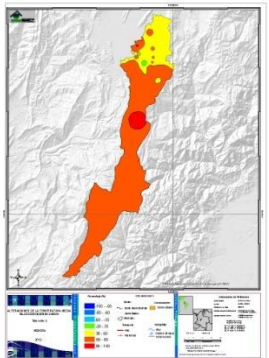
Below Trimestre 2



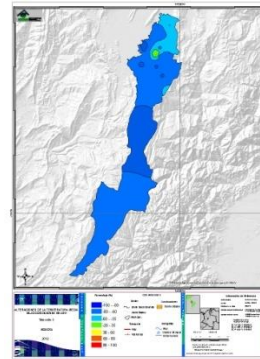
Normal Trimestre 2



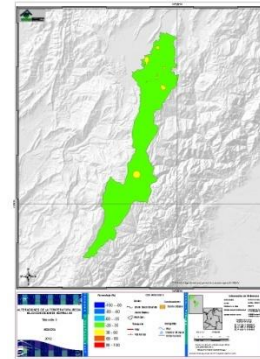
Above Trimestre 2



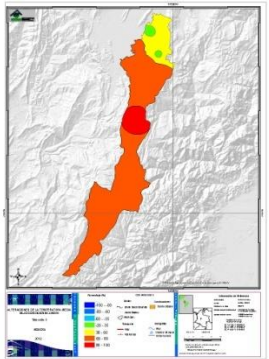
Below Trimestre 3



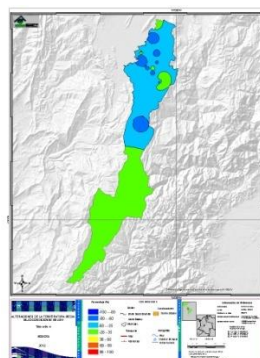
Normal Trimestre 3



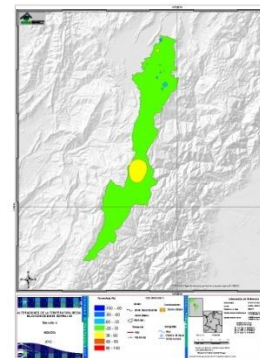
Above Trimestre 3



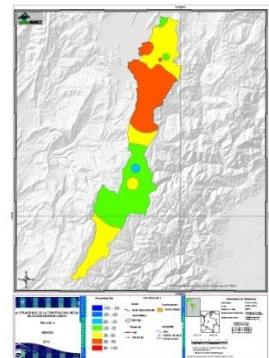
Below Trimestre 4



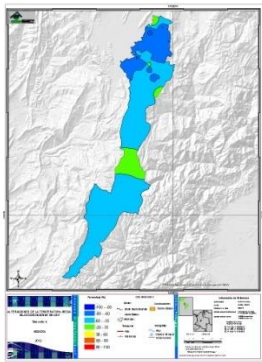
Normal Trimestre 4



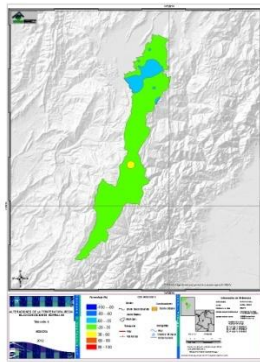
Above Trimestre 4



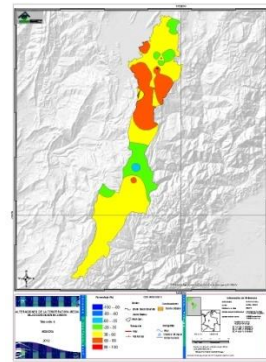
**Below Trimestre 5**



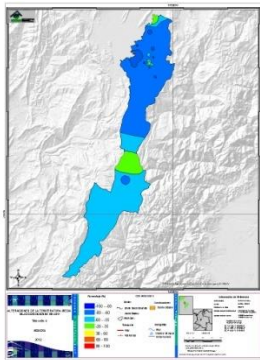
**Normal Trimestre 5**



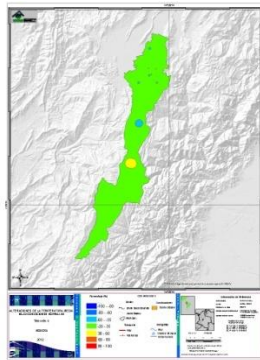
**Above Trimestre 5**



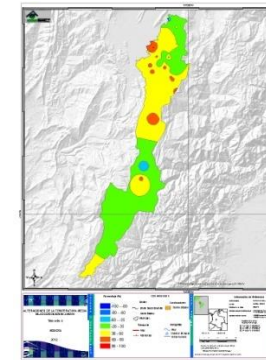
**Below Trimestre 6**



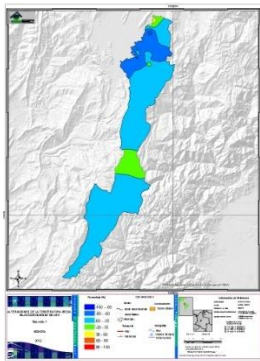
**Normal Trimestre 6**



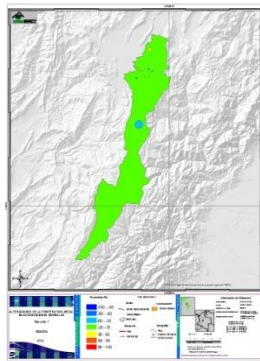
**Above Trimestre 6**



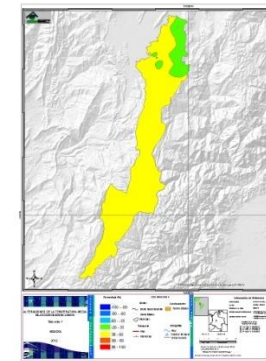
**Below Trimestre 7**



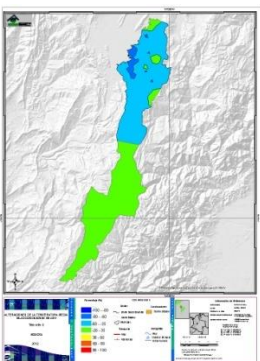
**Normal Trimestre 7**



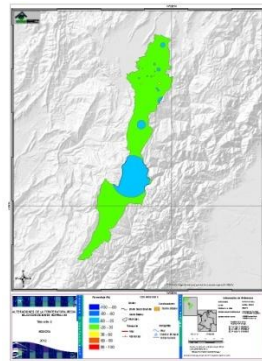
**Above Trimestre 7**



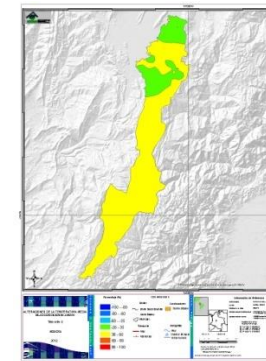
**Below Trimestre 8**



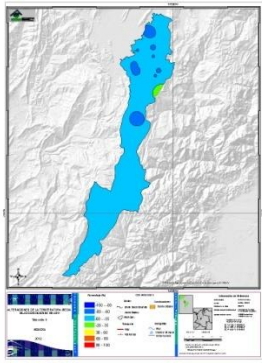
**Normal Trimestre 8**



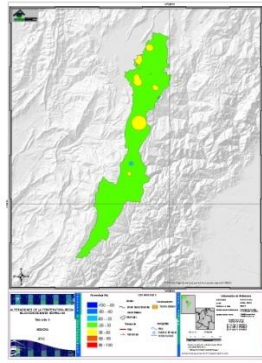
**Above Trimestre 8**



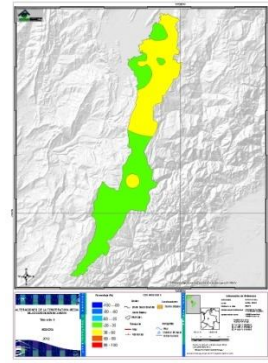
**Below Trimestre 9**



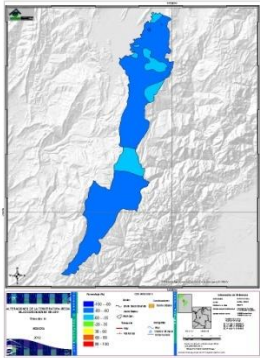
**Normal Trimestre 9**



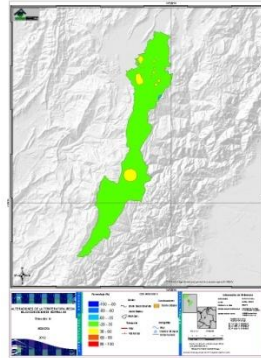
**Above Trimestre 9**



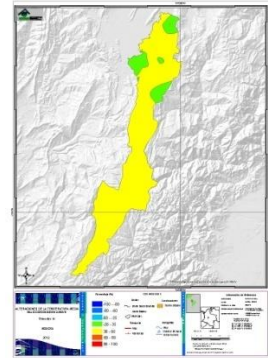
**Below Trimestre 10**



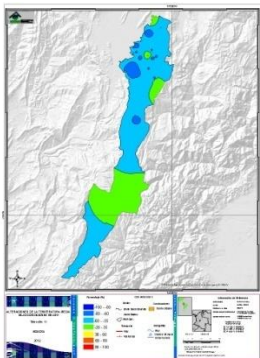
**Normal Trimestre 10**



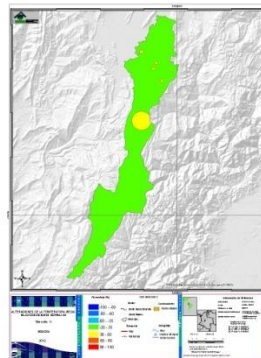
**Above Trimestre 10**



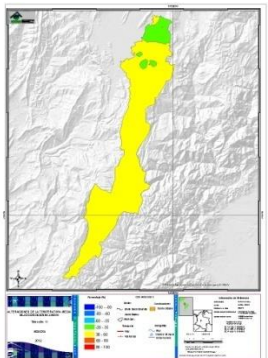
**Below Trimestre 11**



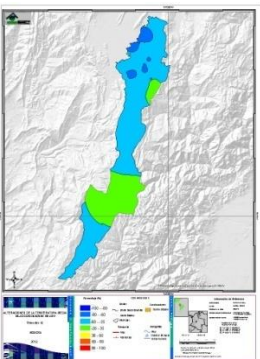
**Normal Trimestre 11**



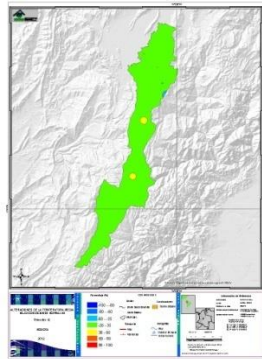
**Above Trimestre 11**



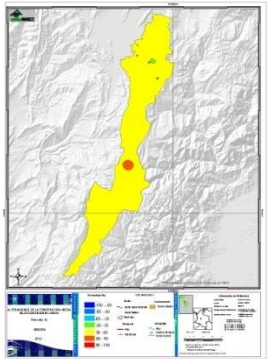
**Below Trimestre 12**



**Normal Trimestre 12**



**Above Trimestre 12**



**Fuente: Autor**

### **8.2.3 Temperatura Máxima**

#### **Comportamiento tipo Below o por debajo:**

Cuando se presenta un comportamiento por debajo, el efecto observado para Bogotá es una disminución en la temperatura.

Entre el -35% y -100% de los casos presentan reducción de temperatura. Solamente casos específicos como el trimestre 4 y 5 presentan condiciones normales. Desde el trimestre 6 en adelante la tendencia regresa a la afectación por debajo de lo normal.

Los trimestres 12 y 1 son los más afectados. Estos nos permiten concluir que Enero y Febrero son los meses más golpeados al ser comunes para ambos trimestres. Al compararlo con la precipitación, se observa que al disminuir la temperatura, mayor precipitación. En el año 1998 se dio el máximo valor de temperatura correspondiente un valor de 24,15°C y el menor valor registrado es en el año 1975 correspondiente a 17.3°C.

Las zonas norte y central de Bogotá son las que presentan mayor reducción de temperatura.

Este comportamiento, está asociado primeramente al hecho de que durante un fenómeno niña, las temperaturas deben bajar y la precipitación debe subir. Ya que la incidencia de corrientes frías genera vientos de las mismas características que favorecen los procesos de precipitación.

#### **Comportamiento tipo Normal:**

Bajo condiciones normales, la tendencia de la temperatura consiste en que para los primeros 7 trimestres los casos se encontraban entre el -35% y el 35%, es decir dentro de los valores típicos de temperatura. Sin embargo; a partir del trimestre 8 los valores oscilan entre el 35% y el 60%, concluyendo así que hay cierta afectación de un comportamiento por encima.

El trimestre de mayor afectación es el trimestre 11, es decir que en los meses Noviembre, Diciembre y Enero se ve un incremento en la temperatura.

Las zonas con mayor afectación, para los primeros 7 trimestres es toda Bogotá, a partir del trimestre 8 resaltan Suba y alguna parte de Sumapaz.

#### **Comportamiento tipo Above o por encima:**

Cuando se presenta un comportamiento por encima, el efecto observado para Bogotá es un aumento en la temperatura.

Para los trimestres 12, 1, 2 y 3 hay un aumento de temperatura importante correspondiente a un rango entre el 60% y el 100% de los casos. Sin embargo, a partir del trimestre 4 estos valores se empiezan a reducir hasta llegar a valores que obedecen a valores típicos.

El trimestre más afectado es el 1, seguido del 2 y del 3. Esto nos permite concluir que el mes más incidente es marzo seguido de abril, ya que son comunes a los 3 trimestres. Esto se corrobora al comprobarlos con los datos

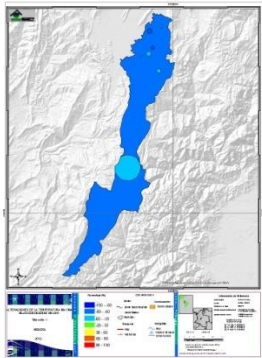
del comportamiento de la temperatura máxima en el período 1971-2010. El máximo valor de temperatura registrado es 24,1°C en el año 1998.

Evidencia de esto, son las manifestaciones de sequías y las olas de calor en la ciudad. En el año 2009, se presentaron temperaturas de 23°C (El TIEMPO, Ola de calor...,2009), lo cual puede incluso generar problemas a nivel de salud. Otra situación relacionada al mencionado incremento son los incendios forestales, uno de los más graves se presentó en el año 2010 en el mes de Enero, cuando la zona “El tanque de los ángeles” en la periferia bogotana se incendió acabando con varias hectáreas de vegetación (EL ESPECTADOR, Van más de...,2010). Según el observatorio ambiental de Bogotá el año con mayores incendios forestales en la ciudad ha sido el 2004(OBSERVATORIO AMBIENTAL DE BOGOTA), este año tiene un promedio de temperatura de 22.4°C.

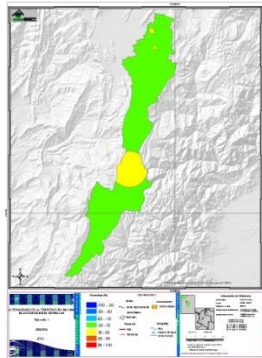
Las zonas más afectadas por el Niño, se dan hacia la parte NOR-OCCIDENTAL de la ciudad abarcando localidades como Suba, Engativá, Fontibón, Barrios Unidos Teusaquillo, etc.

Mapas 93-128. Variabilidad Climática T Máxima para los 12 trimestres

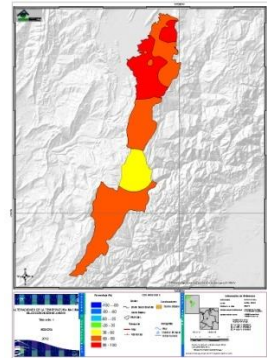
Below Trimestre 1



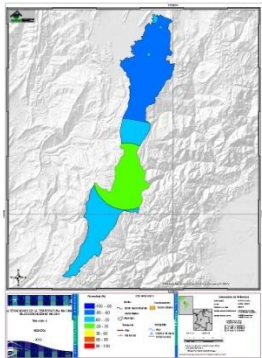
Normal Trimestre 1



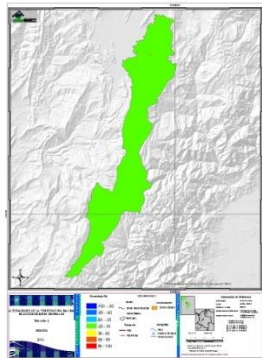
Above Trimestre 1



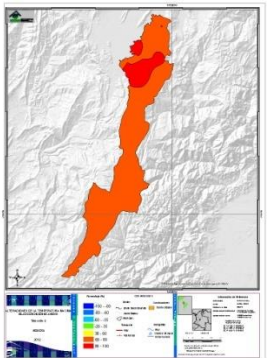
Below Trimestre 2



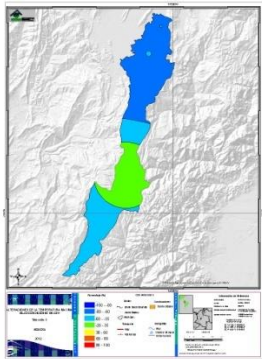
Normal Trimestre 2



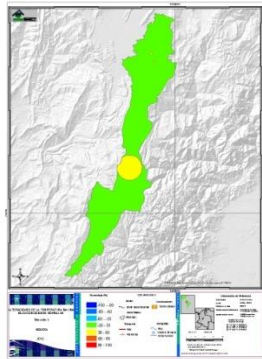
Above Trimestre 2



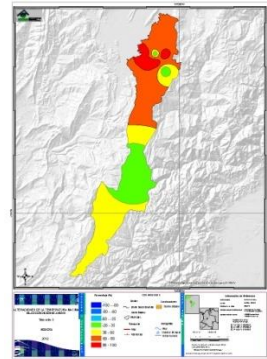
Below Trimestre 3



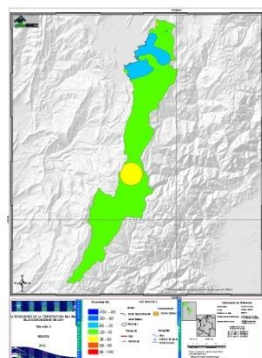
Normal Trimestre 3



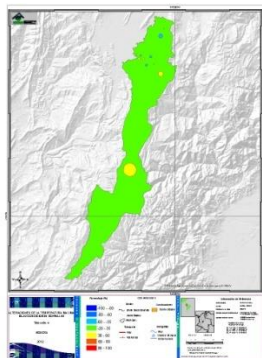
Above Trimestre 3



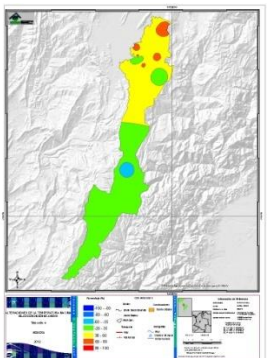
Below Trimestre 4



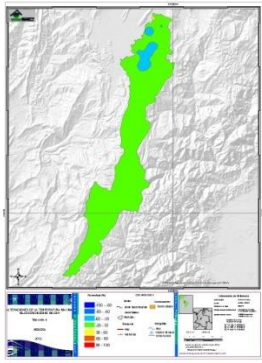
Normal Trimestre 4



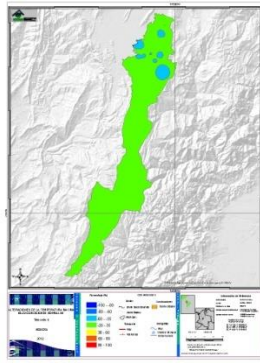
Above Trimestre 4



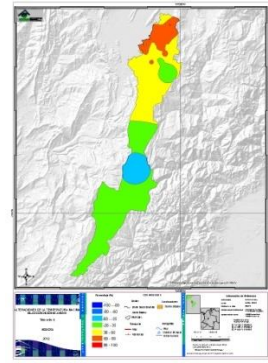
**Below Trimestre 5**



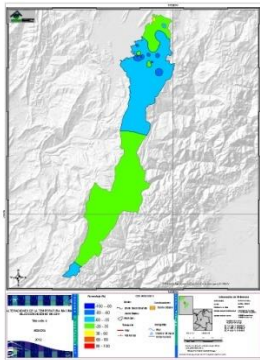
**Normal Trimestre 5**



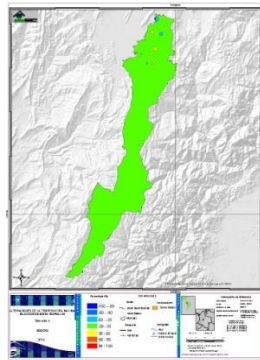
**Above Trimestre 5**



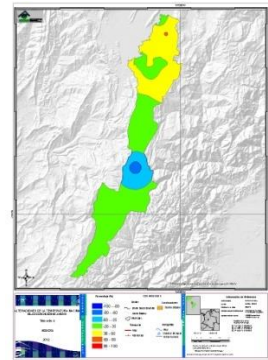
**Below Trimestre 6**



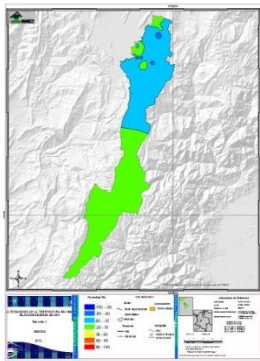
**Normal Trimestre 6**



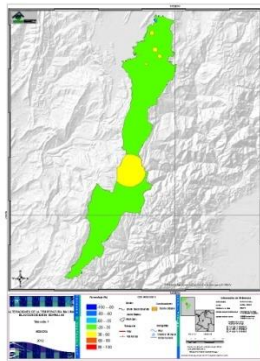
**Above Trimestre 6**



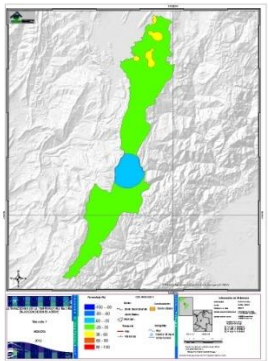
**Below Trimestre 7**



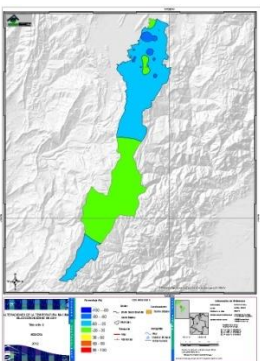
**Normal Trimestre 7**



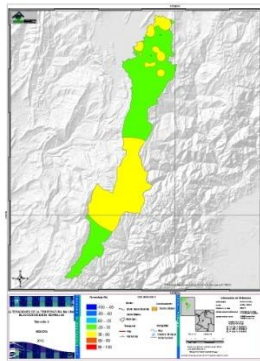
**Above Trimestre 7**



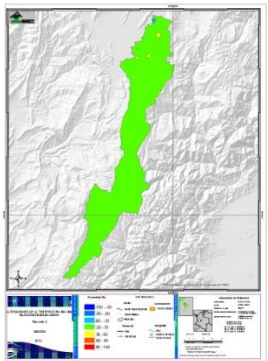
**Below Trimestre 8**



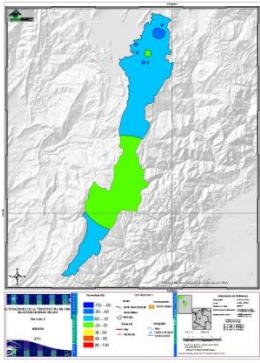
**Normal Trimestre 8**



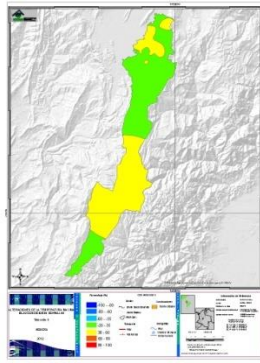
**Above Trimestre 8**



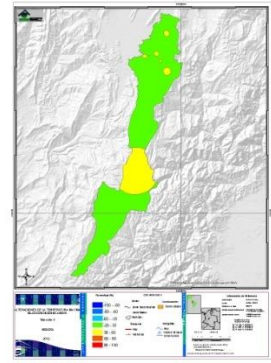
**Below Trimestre 9**



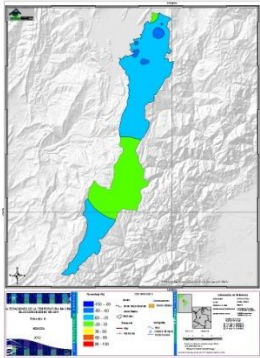
**Normal Trimestre 9**



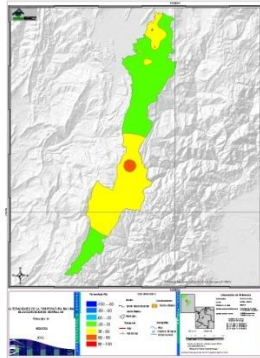
**Above Trimestre 9**



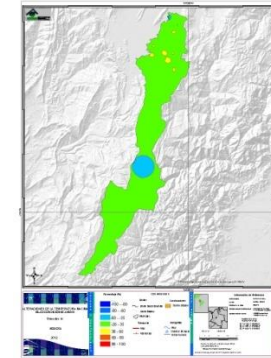
**Below Trimestre 10**



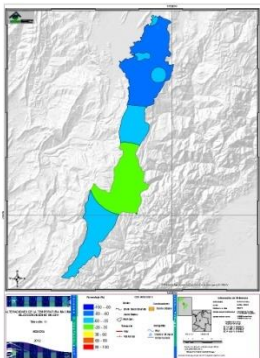
**Normal Trimestre 10**



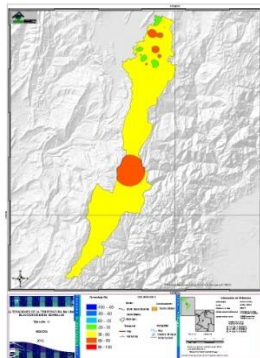
**Above Trimestre 10**



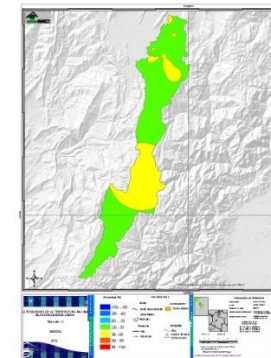
**Below Trimestre 11**



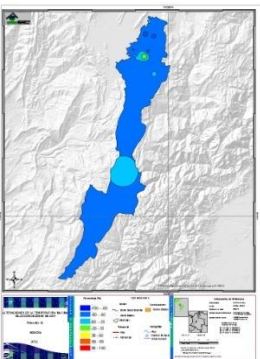
**Normal Trimestre 11**



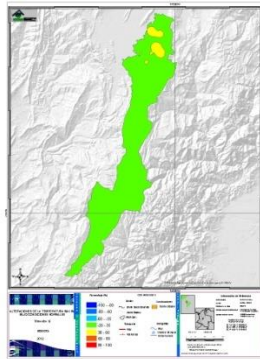
**Above Trimestre 11**



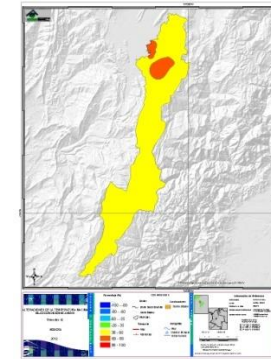
**Below Trimestre 12**



**Normal Trimestre 12**



**Above Trimestre 12**



Fuente: Autor

## **8.2.4 Temperatura Mínima**

### **Comportamiento tipo Below o por debajo:**

Cuando se presenta un comportamiento por debajo, la tendencia en Bogotá se dio hacia las condiciones normales ya que para varios trimestres entre el 35% y el -35% de los casos se presentan estas condiciones. La mayor incidencia del comportamiento por debajo de lo normal se ve reflejada en los trimestres 3,4,5,6 y 7, ya que se presentaron valores entre el -60% y el -100% lo cual indica condiciones tipo below y una disminución en la temperatura mínima.

El trimestre más afectado es el número 5, seguido del trimestre 4 y el 6. Esto nos permite concluir que el mes de mayor afectación es julio ya que es común a los 3 trimestres. Sin embargo, al generar una comparación con los datos del comportamiento de la variable en el período 1971-2010, el mes de febrero presenta los decesos de temperatura más significativos. El menor valor de temperatura mínima registrado corresponde al año 1985 en el mes de febrero con un valor de  $-1.2^{\circ}\text{C}$ .

Ejemplos de este comportamiento, se evidenciaron hacia el año 2007 cuando se presentaron temperaturas muy frías en la sabana de Bogotá afectando de manera directa la producción de flores, ya que estas al ser muy sensibles se quemaron por las frías temperaturas, el mismo efecto se ve sobre otros cultivos de hortalizas (REVISTA SEMANA, Los extremos cambios...).

La afectación bajo condiciones Niña se da para toda Bogotá.

### **Comportamiento tipo Normal:**

En este caso la tendencia es bastante clara todos los trimestres, estos presentaron valores entre el -35% y el 35%, indicador de condiciones normales.

La afectación se da para toda Bogotá, a excepción de los trimestres 8 y 9 donde hay una ligera tendencia a la disminución de la temperatura.

### **Comportamiento tipo Above o por encima:**

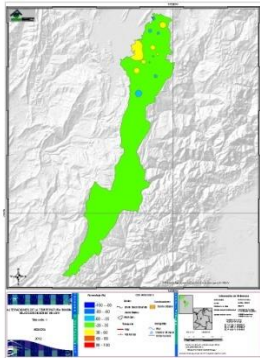
Cuando se presenta un comportamiento por encima, la tendencia refleja valores entre el 35% y el 60% de los casos para todos los trimestres, estipulando un aumento en la temperatura. Sin embargo, hay también una pequeña tendencia a valores entre el 35% y el -35% lo cual obedece a condiciones normales.

El máximo aumento en la temperatura se presenta en el trimestre 6 y 7, lo que nos sugiere que julio es el mes de más afectación, ya que es el mes común en los 2 trimestres. Los valores más altos de la temperatura mínima registrados corresponden a  $11^{\circ}\text{C}$ . Al comparar estos trimestres con la precipitación se observa que hay bajos niveles de lluvia acorde al aumento de la temperatura mínima. Sin embargo, al comparar esta información con el comportamiento de la variable en el período 1971-2010, esta nos muestra que el mes de mayor aumento de la temperatura corresponde a Marzo.

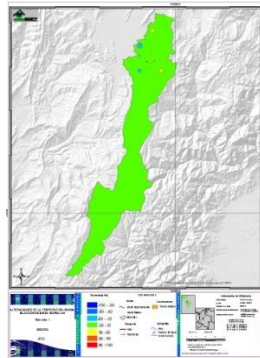
Las zona de afectación bajo condiciones por encima obedece a todo Bogotá solo que dependiendo del trimestre los efectos son más significativos.

Mapas 129-164. Variabilidad Climática T Mínima para los 12 trimestres

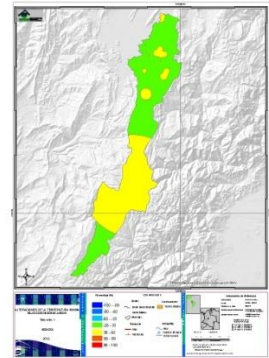
Below Trimestre 1



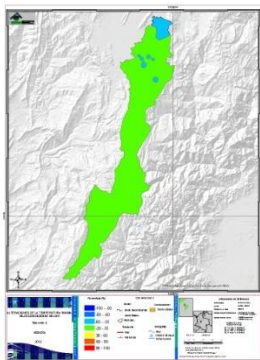
Normal Trimestre 1



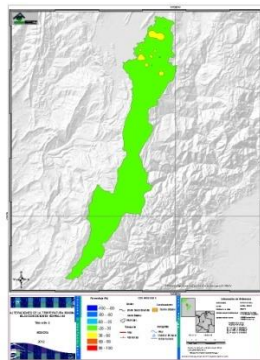
Above Trimestre 1



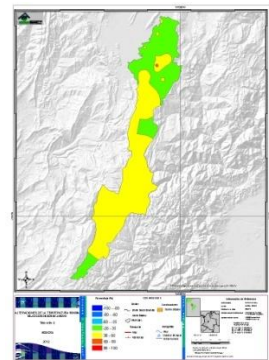
Below Trimestre 2



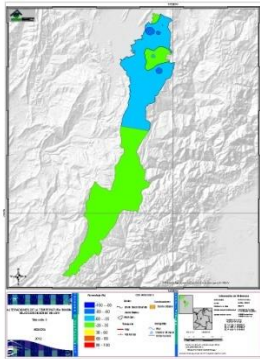
Normal Trimestre 2



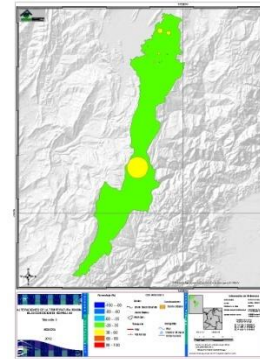
Above Trimestre 2



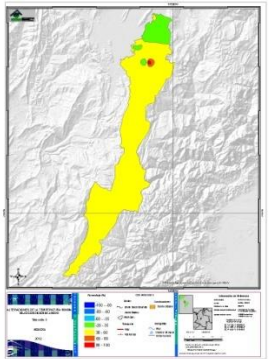
Below Trimestre 3



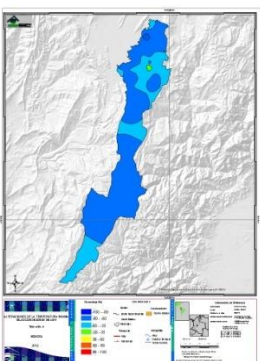
Normal Trimestre 3



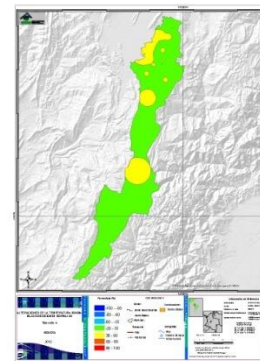
Above Trimestre 3



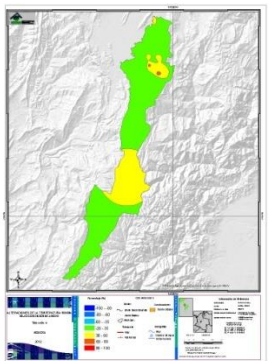
Below Trimestre 4



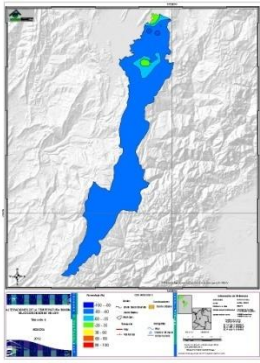
Normal Trimestre 4



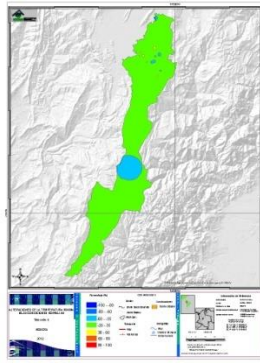
Above Trimestre 4



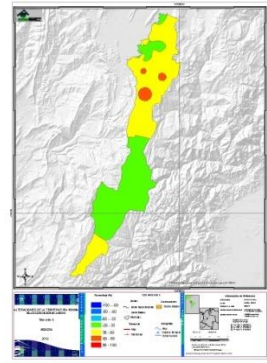
**Below Trimestre 5**



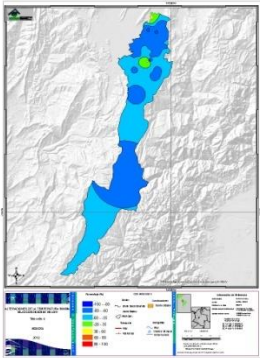
**Normal Trimestre 5**



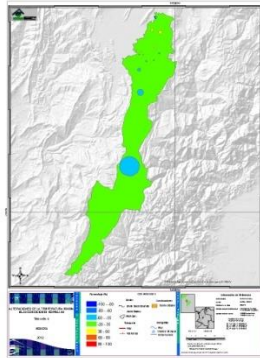
**Above Trimestre 5**



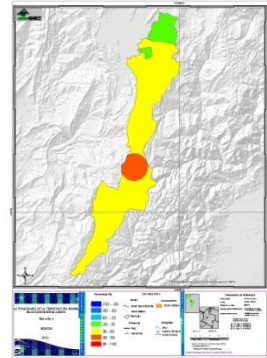
**Below Trimestre 6**



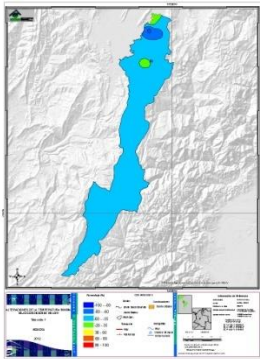
**Normal Trimestre 6**



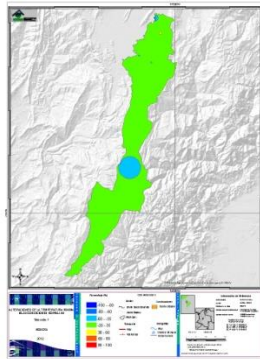
**Above Trimestre 6**



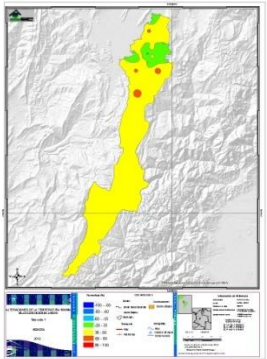
**Below Trimestre 7**



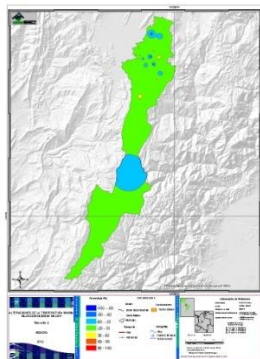
**Normal Trimestre 7**



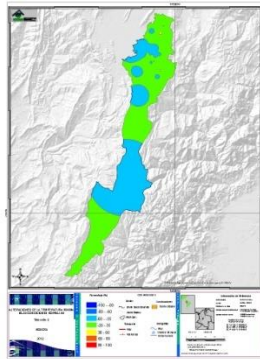
**Above Trimestre 7**



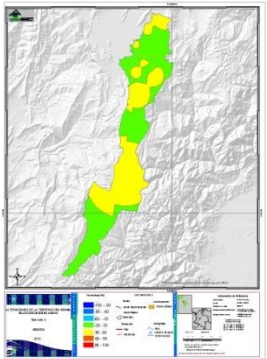
**Below Trimestre 8**



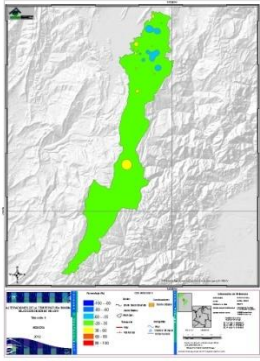
**Normal Trimestre 8**



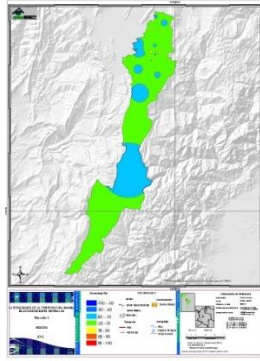
**Above Trimestre 8**



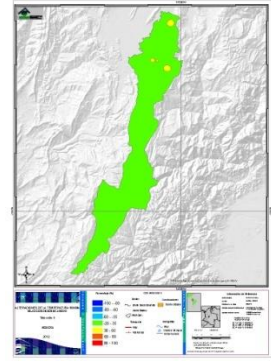
**Below Trimestre 9**



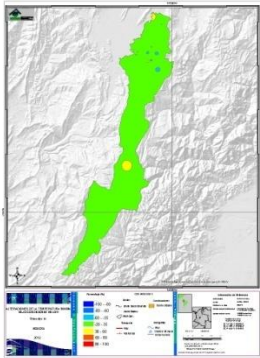
**Normal Trimestre 9**



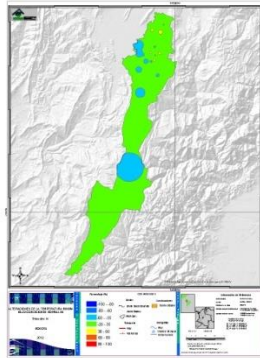
**Above Trimestre 9**



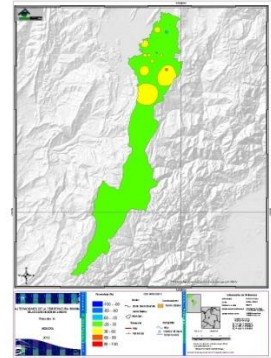
**Below Trimestre 10**



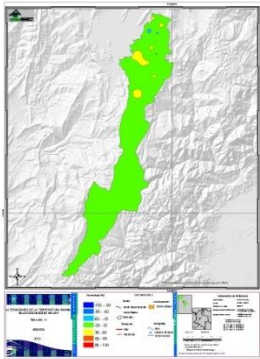
**Normal Trimestre 10**



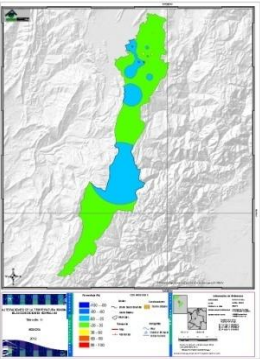
**Above Trimestre 10**



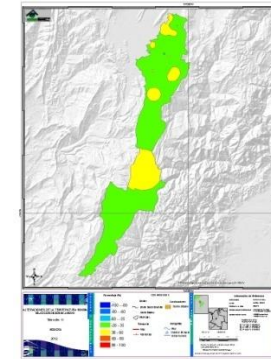
**Below Trimestre 11**



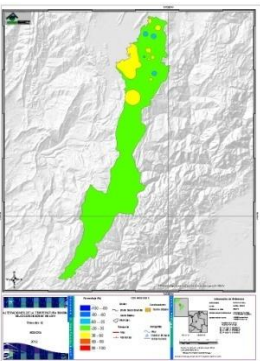
**Normal Trimestre 11**



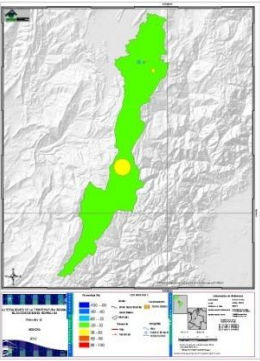
**Above Trimestre 11**



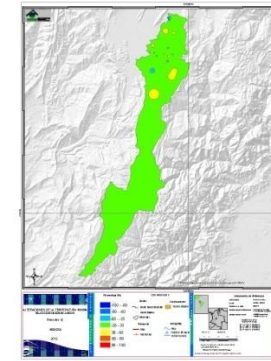
**Below Trimestre 12**



**Normal Trimestre 12**



**Above Trimestre 12**



**Fuente: Autor**

## 8.3 ESCENARIOS

### 8.3.1 Cambio Porcentaje de Precipitación

En cuanto al Cambio Climático, Bogotá puede presentar una reducción en las precipitaciones durante el siglo XXI, equivalente a un 18,4 % en comparación al comportamiento de la variable en los años de referencia 1971-2010.

Tabla 37: Cambio de porcentaje para precipitación

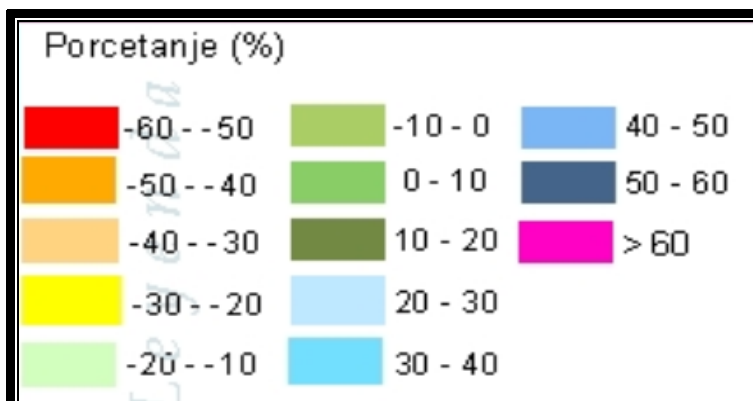
| Década     | Valor (%)   |
|------------|-------------|
| 2011-2020  | -15,3537696 |
| 2021-2030  | -20,3793963 |
| 2031-2040  | -18,193129  |
| 2041-2050  | -14,4740112 |
| 2051-2060  | -19,3252855 |
| 2061-2070  | -16,7381878 |
| 2071-2080  | -46,9290732 |
| 2081-2090  | -50,2742745 |
| 2091-2100  | -48,8346334 |
| Pro. Siglo | -18,4051556 |

Fuente: Autor

Apoyándose en el análisis de los mapas, se observa que puede presentarse un incremento en los valores de la precipitación desde el año 1971 hasta el año 2010, sin embargo; se observa a partir del año 2011 una posible disminución hasta llegar a la década 2091-2100, en la cual la reducción de precipitación es bastante alarmante alcanzando valores hasta del 50 %.

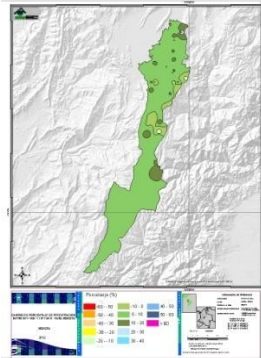
El efecto es general sobre todo el territorio Bogotano, sin embargo, hay una mayor tendencia de reducción en precipitación hacia la parte norte de Bogotá, afectando localidades tales como, Suba, Usaquén, Engativá, Fontibón.

Los mapas 165 a 177, se representan por la siguiente leyenda:

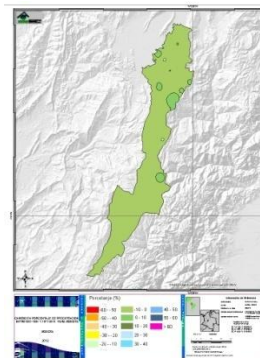


## MAPAS DE LO OBSERVADO

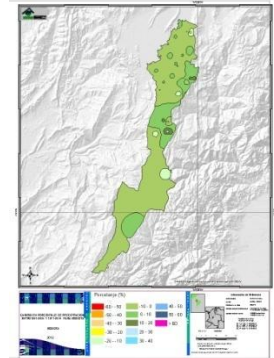
1971-1980 respecto 1971-2010



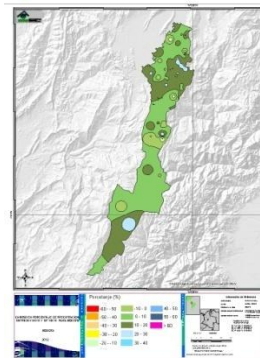
1981-1990 respecto 1971-2010



1991-2000 respecto 1971-2010



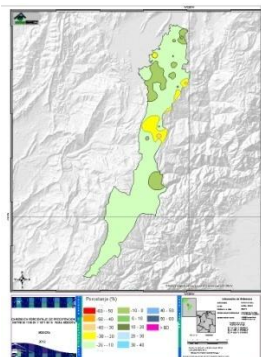
2001-2010 respecto 1971-2010



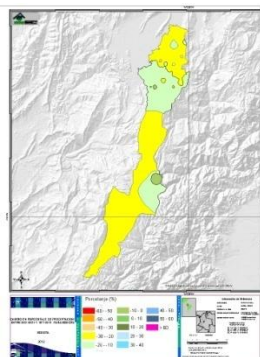
Mapas 165-168. Porcentaje Observado de Precipitación

## MAPAS DE LOS ESCENARIOS PROYECTADOS

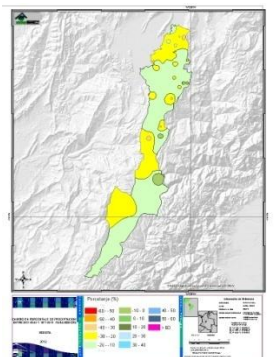
2011-2020 respecto 1971-2010



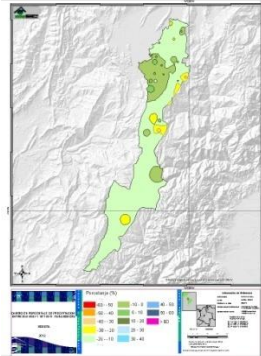
2021-2030 respecto 1971-2010



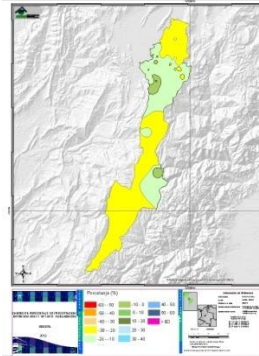
2031-2040 respecto 1971-2010



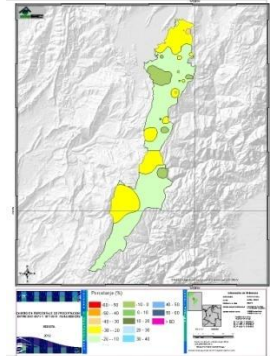
**2041-2050 respecto 1971-2010**



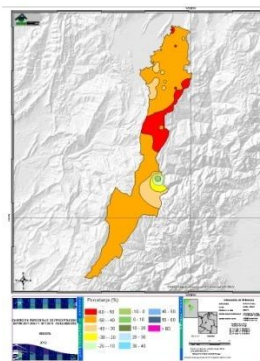
**2051-2060 respecto 1971-2010**



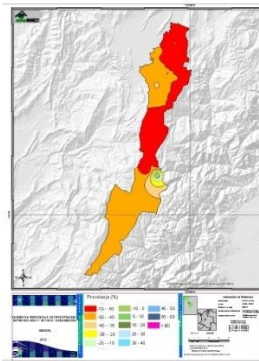
**2061-2070 respecto 1971-2010**



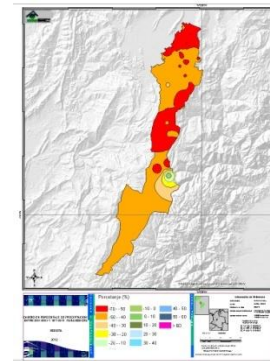
**2071-2080 respecto 1971-2010**



**2081-2090 respecto 1971-2010**



**2091-2100 respecto 1971-2010**



**Fuente: Autor**

**Mapas 169-177. Cambio proyectado en Porcentaje de Precipitación**

## 8.3.2 Diferencia de Temperatura

### 8.3.2.1 Temperatura Media

En cuanto al Cambio Climático, se observa que puede presentarse una tendencia al aumento de la temperatura. Incrementándose en promedio cada tres décadas 1°C. Esto quiere decir, que a comparación con el comportamiento de la variable en el período 1971-2010, para finales de este siglo la temperatura media estaría por encima 3°C o más.

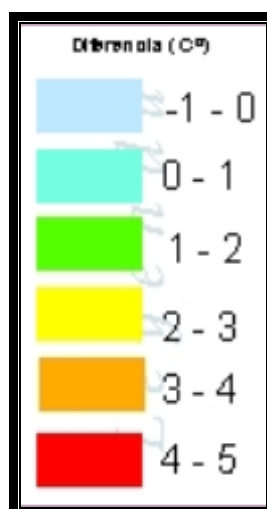
Tabla 40: Diferencia para Temperatura media en °C

| DECADA    | VALOR(°C)  |
|-----------|------------|
| 2011-2020 | 1,05021258 |
| 2021-2030 | 1,39362571 |
| 2031-2040 | 1,68903266 |
| 2041-2050 | 2,14752042 |
| 2051-2060 | 2,49093355 |
| 2061-2070 | 2,7863405  |
| 2071-2080 | 3,02696286 |
| 2081-2090 | 3,37037598 |
| 2091-2100 | 3,66578293 |

Fuente: Autor

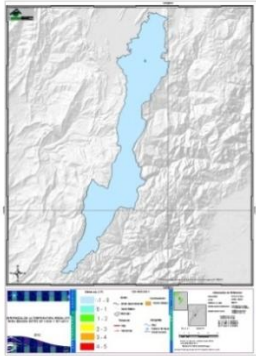
Apoyándose en el análisis de los mapas, se observa un posible aumento en la temperatura media, el efecto es casi igual para todo Bogotá. Exceptuando durante la década 2071-2080, en donde se hace evidente el incremento en algunas localidades como Suba, Engativá, Kennedy y Bosa, alcanzando valores por encima entre 3°C y 4°C. La mayor tendencia de aumento puede darse en la última década del siglo, afectando principalmente las localidades de Bosa y Kennedy en donde la temperatura en algunas partes puede estar cerca de 4°C.

Los mapas 178 a 190, se representan por la siguiente leyenda:

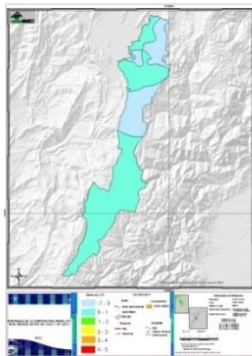


## MAPAS DE LO OBSERVADO

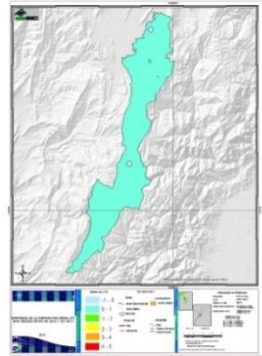
1971-1980 respecto 1971-2010



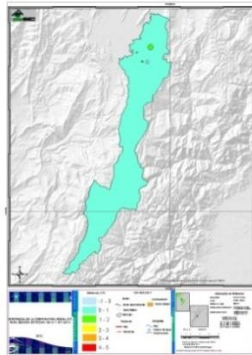
1981-1990 respecto 1971-2010



1991-2000 respecto 1971-2010



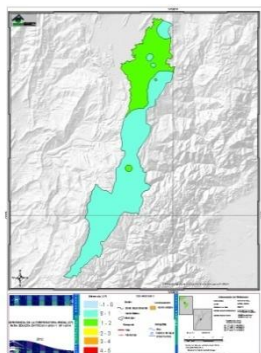
2001-2010 respecto 1971-2010



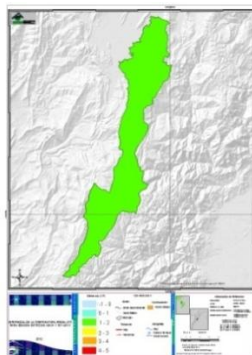
Mapas 178-181. Diferencia Observada para Temperatura Media en °C

## MAPAS DE LOS ESCENARIOS PROYECTADOS

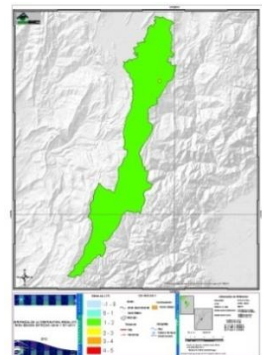
2011-2020 respecto 1971-2010



2021-2030 respecto 1971-2010



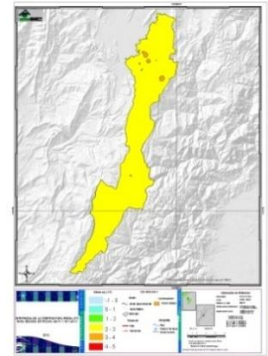
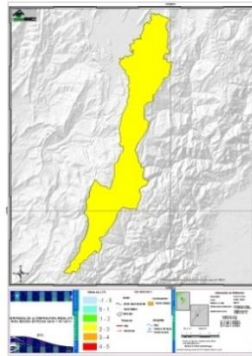
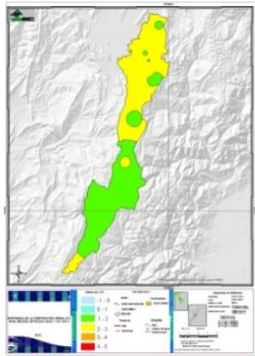
2031-2040 respecto 1971-2010



2041-2050 respecto 1971-2010

2051-1960 respecto 1971-2010

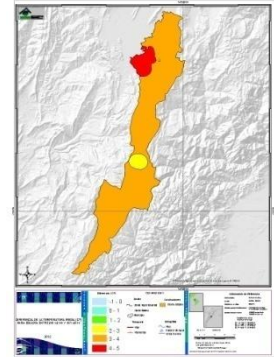
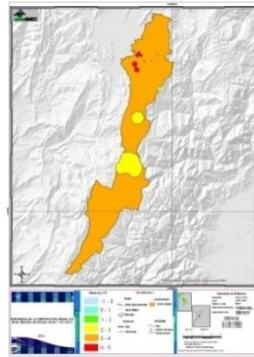
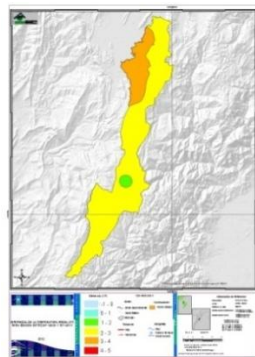
2061-2070 respecto 1971-2010



2071-2080 respecto 1971-2010

2081-2090 respecto 1971-2010

2091-2100 respecto 1971-2010



Fuente: Autor

Mapas 182-190. Diferencia proyectada para Temperatura Media en °C

### 8.3.2.2 Temperatura Mínima

En cuanto al Cambio Climático, puede presentarse una tendencia al aumento de la temperatura, incrementándose en promedio cada cinco décadas 1°C desde la década 2001-2010. Esto quiere decir, que a comparación con el comportamiento de la variable en el período 1971-2010, para finales de este siglo la temperatura mínima estaría por encima 2.6 °C o más.

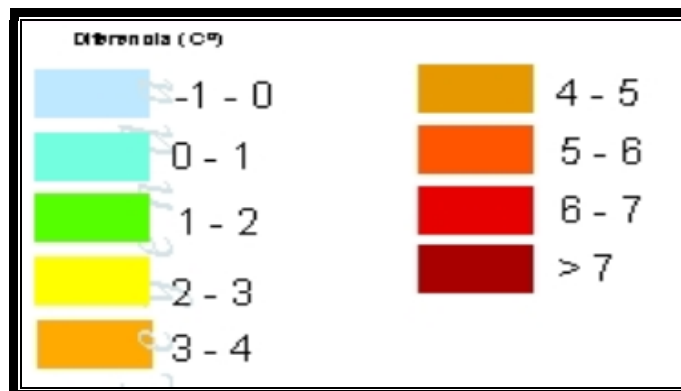
Tabla 41: Diferencia para Temperatura mínima en °C

| DECADA    | VALOR       |
|-----------|-------------|
| 2011-2020 | 0,841024956 |
| 2021-2030 | 1,159830034 |
| 2031-2040 | 1,515761196 |
| 2041-2050 | 1,879044726 |
| 2051-2060 | 2,197849804 |
| 2061-2070 | 2,553780966 |
| 2071-2080 | 2,016843096 |
| 2081-2090 | 2,335648174 |
| 2091-2100 | 2,691579336 |

Fuente: Autor

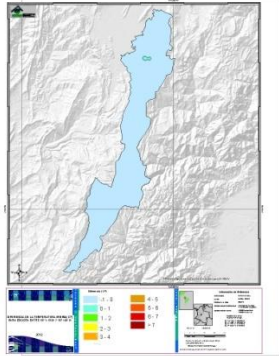
Apoyándose en el análisis de los mapas, se observa que puede presentarse un aumento en la temperatura mínima, el efecto es casi igual para todo Bogotá. Exceptuando durante la década de 2071-2080, en donde se hace evidente el incremento en algunas localidades como Ciudad Bolívar, Usme, Soacha, Kennedy y Bosa, alcanzando valores entre 2 y 3 °C. Posiblemente la mayor afectación del Cambio Climático se dará en la última década del siglo, afectando por igual a casi todo Bogotá exceptuando a una parte de la localidad de Sumapaz en donde se aumentara la temperatura en algunas partes en cerca de 3°C.

Los mapas 191 a 203, se representan con la siguiente leyenda:

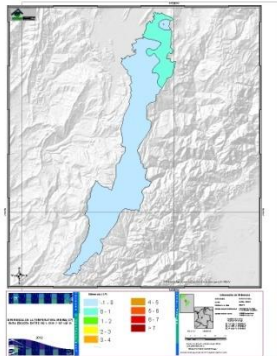


## MAPAS DE LO OBSERVADO

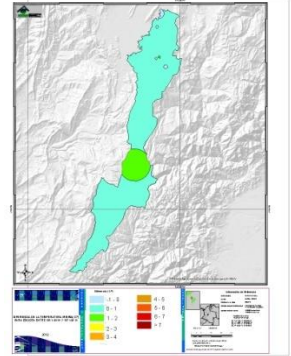
1971-1980 respecto 1971-2010



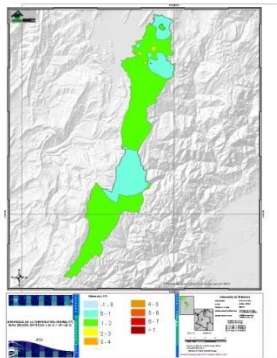
1981-1990 respecto 1971-2010



1991-2000 respecto 1971-2010



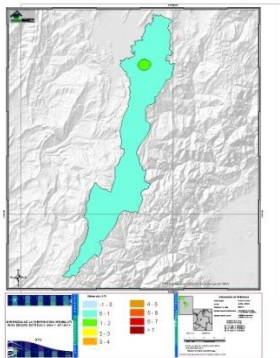
2001-2010 respecto 1971-2010



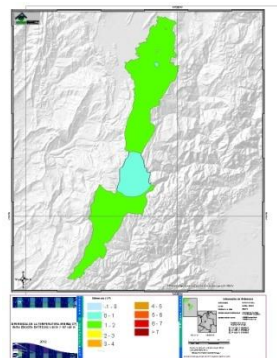
Mapas 191-194. Diferencia Observada para Temperatura Mínima en °C

## MAPAS DE LOS ESCENARIOS PROYECTADOS

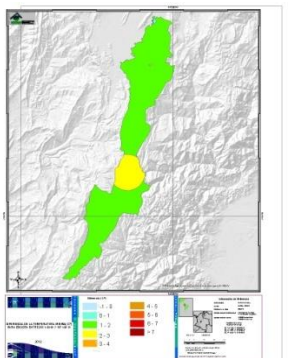
2011-2020 respecto 1971-2010



2021-2030 respecto 1971-2010



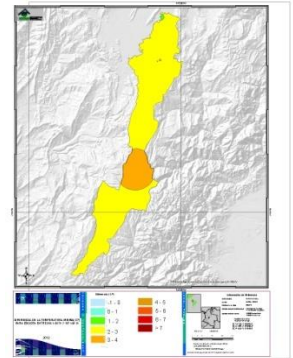
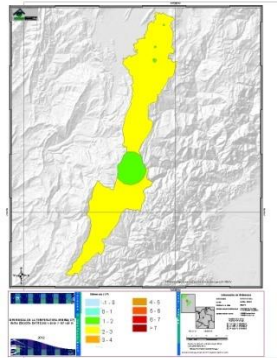
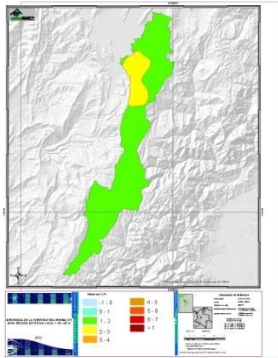
2031-2040 respecto 1971-2010



2041-2050 respecto 1971-2010

2051-1960 respecto 1971-2010

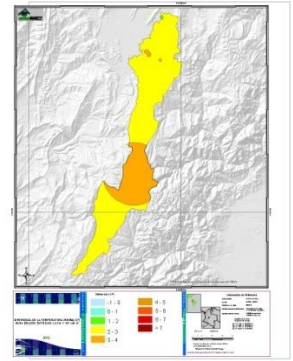
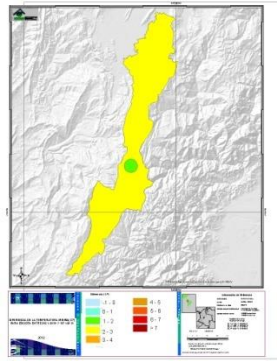
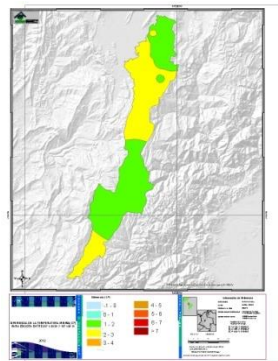
2061-2070 respecto 1971-2010



2071-2080 respecto 1971-2010

2081-2090 respecto 1971-2010

2091-2100 respecto 1971-2010



Fuente: Autor

Mapas 195-203. Diferencia proyectada para Temperatura Mínima en C

### 8.3.2.3 Temperatura Máxima

En cuanto a Cambio Climático, se observa que puede haber una tendencia al aumento de la temperatura, incrementándose en promedio cada dos décadas 1°C a partir de la década 2011-2020. Esto quiere decir que a comparación con el comportamiento de la variable en el período 1971-2010, para finales de este siglo la temperatura media estará por encima 5°C o más.

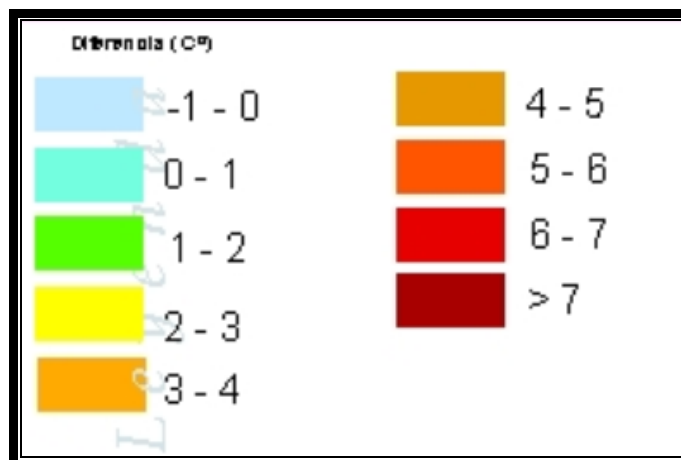
Tabla 42: Diferencia para Temperatura máxima en °C

| DECADA    | VALOR       |
|-----------|-------------|
| 2011-2020 | 1,512074088 |
| 2021-2030 | 1,830510544 |
| 2031-2040 | 2,072742778 |
| 2041-2050 | 2,830318453 |
| 2051-2060 | 3,14875491  |
| 2061-2070 | 3,390987143 |
| 2071-2080 | 4,95304618  |
| 2081-2090 | 5,271482636 |
| 2091-2100 | 5,513714869 |

Fuente: Autor

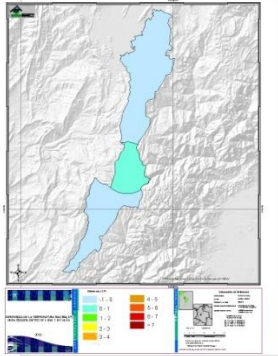
Apoyándose en el análisis de los mapas, se muestra que posiblemente frente al aumento de la temperatura hay una mayor incidencia hacia toda la parte norte y central de Bogotá. Resaltando el efecto en localidades como Usme, Ciudad Bolívar, Suba, Bosa, Soacha y Kennedy, haciendo un énfasis mayor en las décadas ubicadas dentro del período 2071-2100 ya que hay un incremento significativo correspondiente a valores entre los 5°C y 6°C. El mayor aumento puede presentarse en la última década del siglo, afectando principalmente a Bosa, Soacha y Kennedy en donde la temperatura estará casi 6°C por encima.

Los mapas 2043 a 216, se representan por la siguiente leyenda:

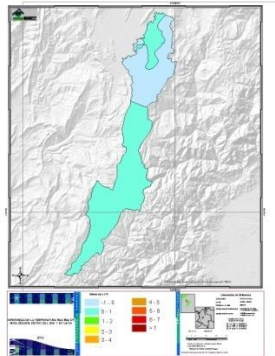


## MAPAS DE LO OBSERVADO

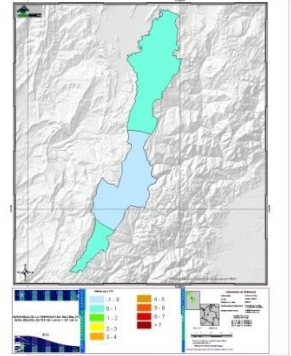
1971-1980 respecto 1971-2010



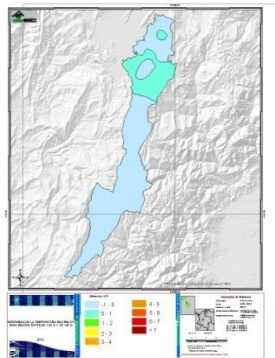
1981-1990 respecto 1971-2010



1991-2000 respecto 1971-2010



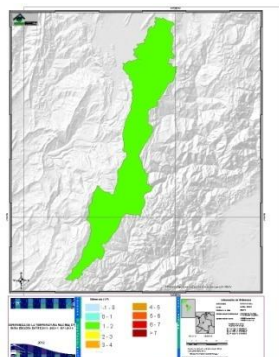
2001-2010 respecto 1971-2010



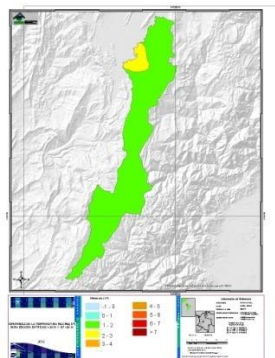
Mapas 204-207. Diferencia Observada para Temperatura Máxima en °C

## MAPAS DE LOS ESCENARIOS PROYECTADOS

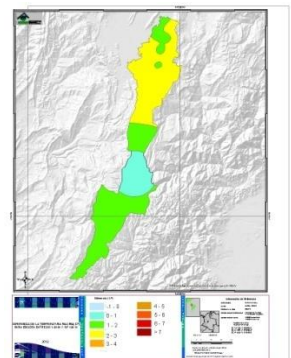
2011-2020 respecto 1971-2010



2021-2030 respecto 1971-2010



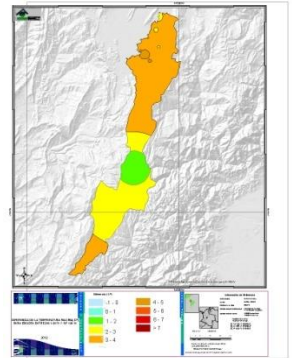
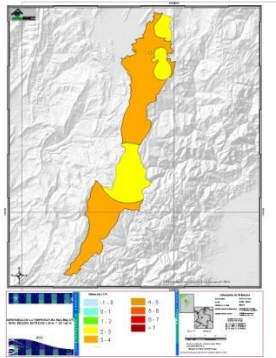
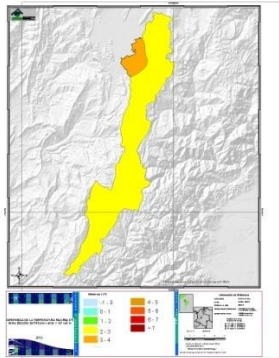
2031-2040 respecto 1971-2010



2041-2050 respecto 1971-2010

2051-1960 respecto 1971-2010

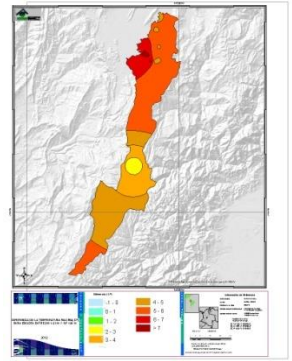
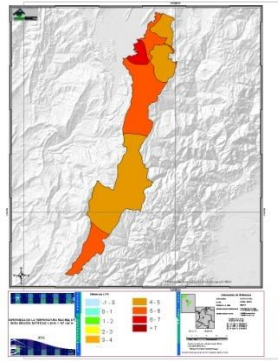
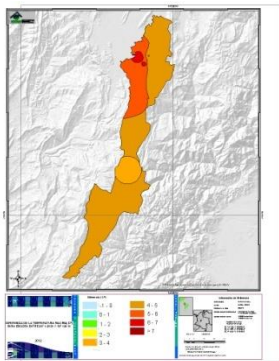
2061-2070 respecto 1971-2010



2071-2080 respecto 1971-2010

2081-2090 respecto 1971-2010

2091-2100 respecto 1971-2010



Fuente: Autor

Mapas 208-216. Diferencia proyectada para Temperatura Máxima en °C

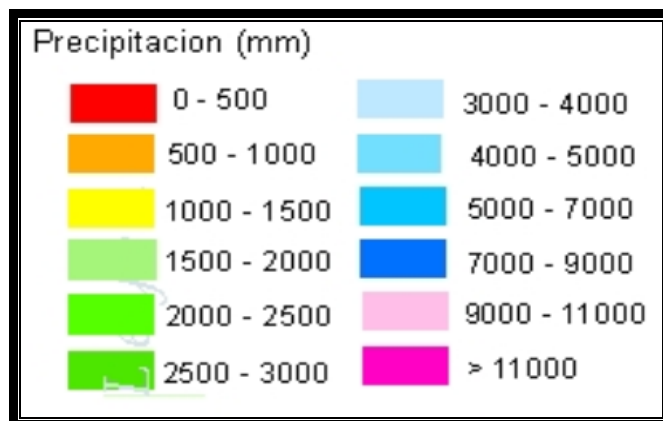
### 8.3.3 Comportamiento Proyectado

Anteriormente se presentó cual será la variación en los valores de precipitación y temperatura media a nivel decadal, ahora se presentan los nuevos valores.

#### 8.3.3.1 Precipitación

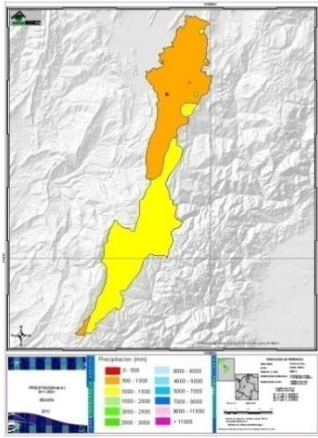
Observando los mapas, se muestra una posible tendencia a la reducción de la precipitación con el paso de los años. Esta afecta en general a la ciudad, pero con una reducción hacia la parte nor-occidental afectando localidades como Suba, Kennedy y Engativá. Esta reducción es preocupante puesto que las últimas décadas del siglo, especialmente la correspondiente a 2091-2100 presenta valores de precipitación entre 0-500 mm en comparación con el período inicial 1971-2010 en donde se presentaron valores entre 1000-2500 mm.

Los mapas 217 a 225, se representan con la siguiente leyenda:

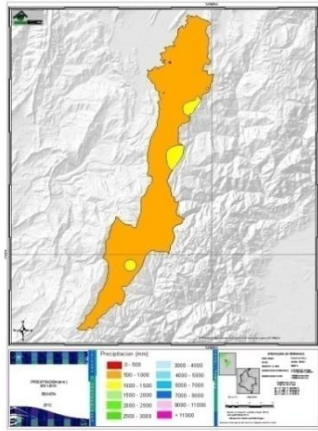


## MAPAS ESCENARIOS PROYECTADOS

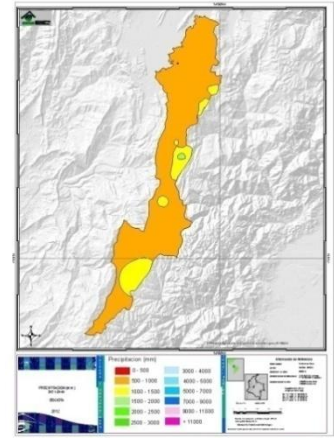
2011-2020



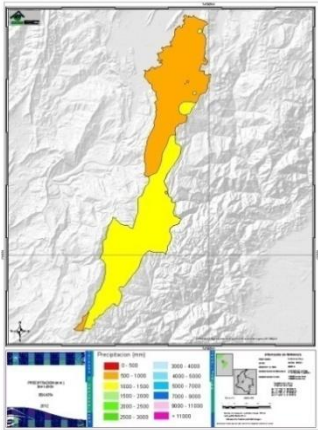
2021-2030



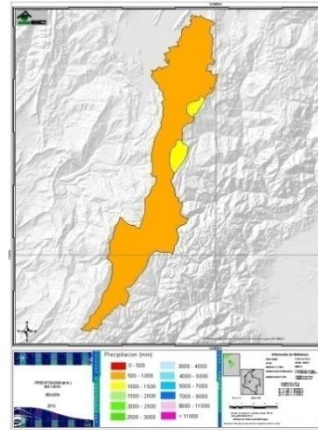
2031-2040



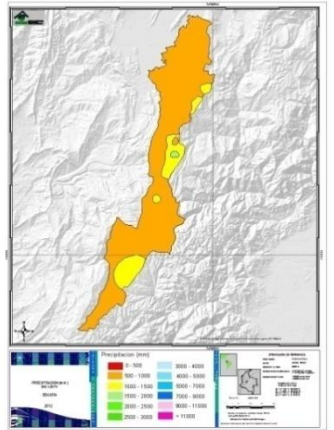
2041-2050



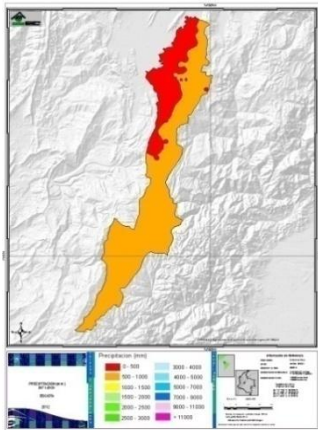
2051-2060



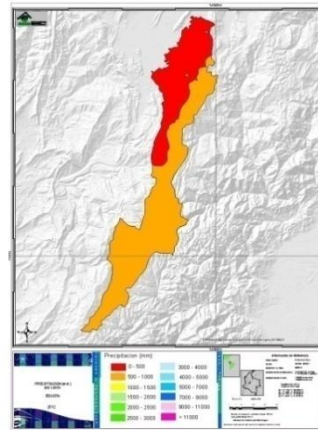
2061-2070



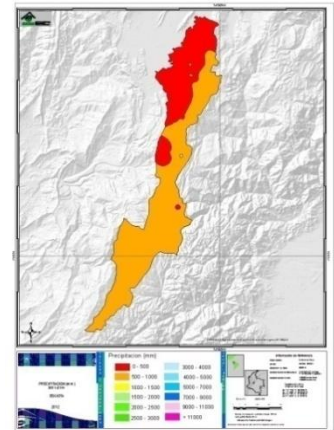
2071-2080



2081-2090



2091-2100



Mapas 217-225. Comportamiento Projectado de la Precipitación en mm

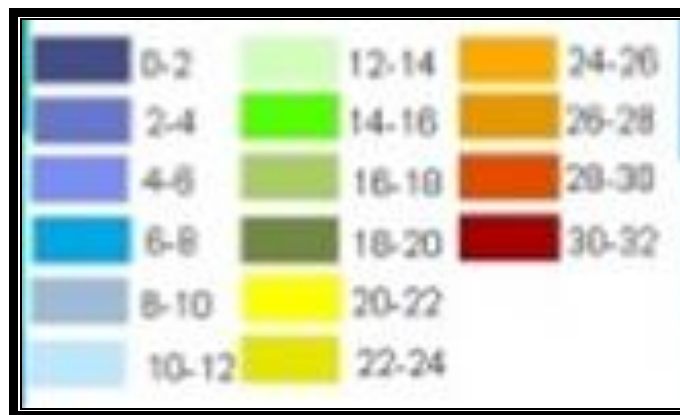
Fuente: Autor

### 8.3.3.2 Temperatura Media

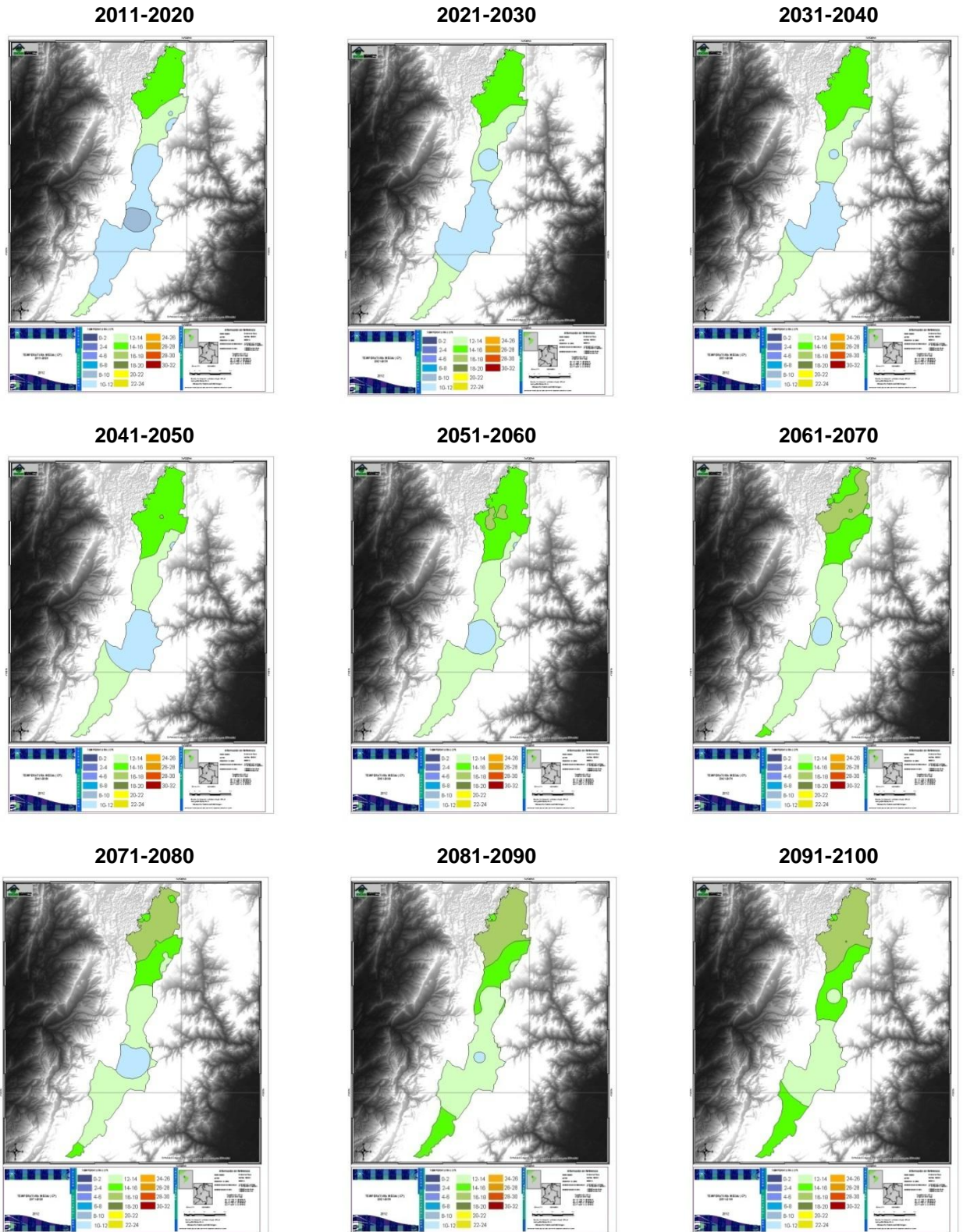
Observando los mapas, se muestra una posible tendencia al aumento de la temperatura con el paso de los años. Lo cual confirma lo expuesto frente a la diferencia de temperatura. Afectando en general a la ciudad, pero con un mayor aumento hacia la parte norte en localidades como Suba, Kennedy, Ciudad Bolívar y Engativá.

Este incremento es preocupante puesto que en las últimas décadas del siglo, especialmente en la correspondiente a 2091-2100 se presentan valores entre los 14°C -18°C, en comparación con el período 1971-2010 en donde se presentaron temperaturas entre los 10°C -14 °C.

Los mapas 226 a 234, se representan con la siguiente leyenda:



## MAPAS ESCENARIOS PROYECTADOS



**Mapas 226-234. Comportamiento Projectado de la Temperatura Media en °C**

**Fuente: Autor**

### 8.3.3.3 Temperatura Mínima:

Observando los mapas, se muestra una posible tendencia al aumento en los valores mínimos de la temperatura a través de los años. Afectando en general a la ciudad, pero con un mayor énfasis hacia la parte nor-central principalmente en localidades como Suba, Engativá, Barrios Unidos, Teusaquillo y Chapinero.

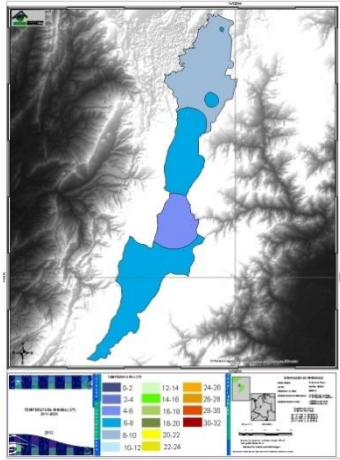
Este incremento es preocupante puesto que en las últimas décadas del siglo, especialmente en la correspondiente a 2091-2100 se presentan valores entre los 8°C -12°C, en comparación con el período 1971-2010 en donde se presentaron temperaturas entre los 4°C - 8°C.

Los mapas 235 a 243, se representan con la siguiente leyenda:

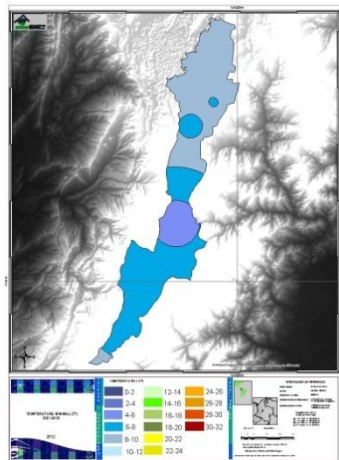


## MAPAS ESCENARIOS PROYECTADOS

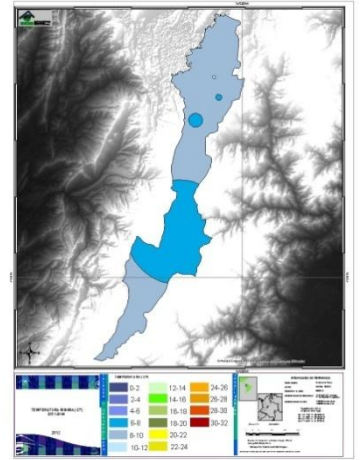
2011-2020



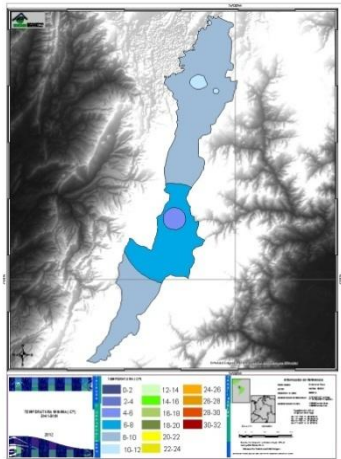
2021-2030



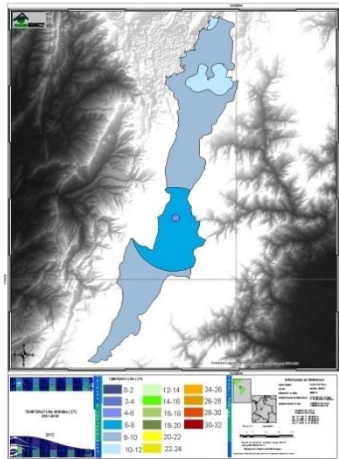
2031-2040



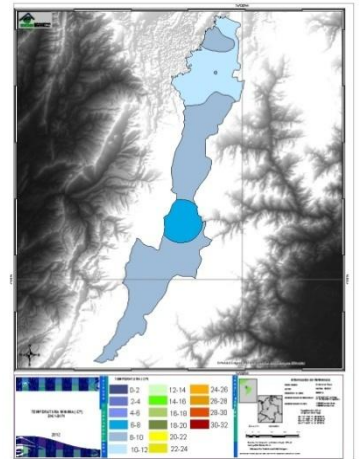
2041-2050



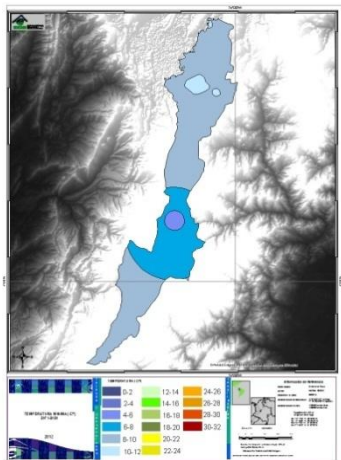
2051-2060



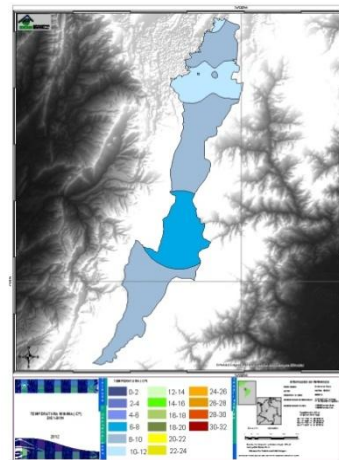
2061-2070



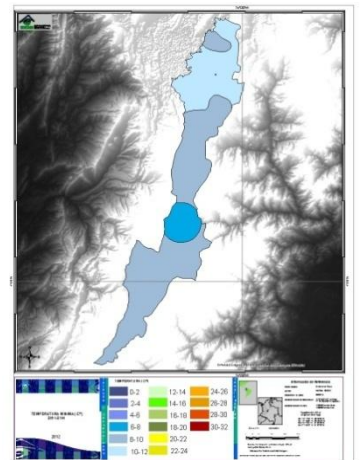
2071-2080



2081-2090



2091-2100



Mapas 234-243. Comportamiento Projectado de la T Mínima en °C

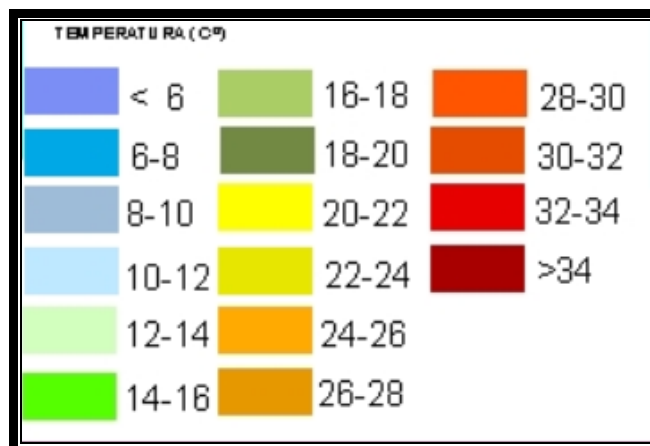
Fuente: Autor

### 8.3.3.4 Temperatura Máxima

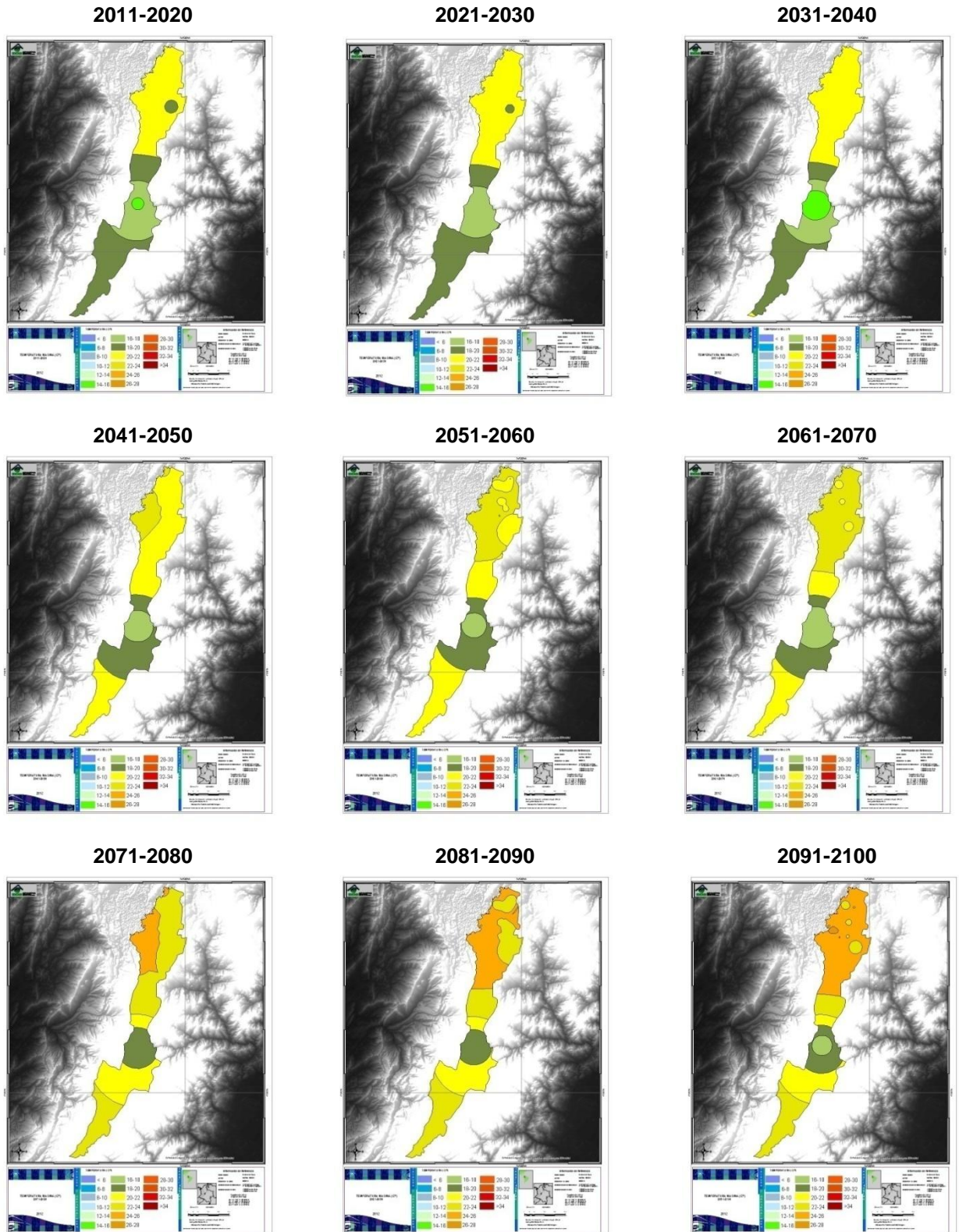
Observando los mapas, se muestra una posible tendencia al aumento en los valores máximos de la temperatura a través de los años. Lo cual confirma lo expuesto frente a la diferencia de temperatura. Afectando en general a la ciudad, pero con un mayor énfasis hacia la parte norte principalmente en localidades como Suba, Engativá, Barrios Unidos, Chapinero, Usaquén y Puente Aranda.

Este incremento es preocupante puesto que en las últimas décadas del siglo, especialmente en la correspondiente a 2091-2100 se presentan valores entre los 22°C-28°C, en comparación con el período 1971-2010 en donde se muestran temperaturas entre los 14°C-22°C.

Los mapas 244 a 252, se representan con la siguiente leyenda:



## MAPAS ESCENARIOS PROYECTADOS



Mapas 244-252. Comportamiento Projectado de la T Máxima en °C

Fuente: Autor

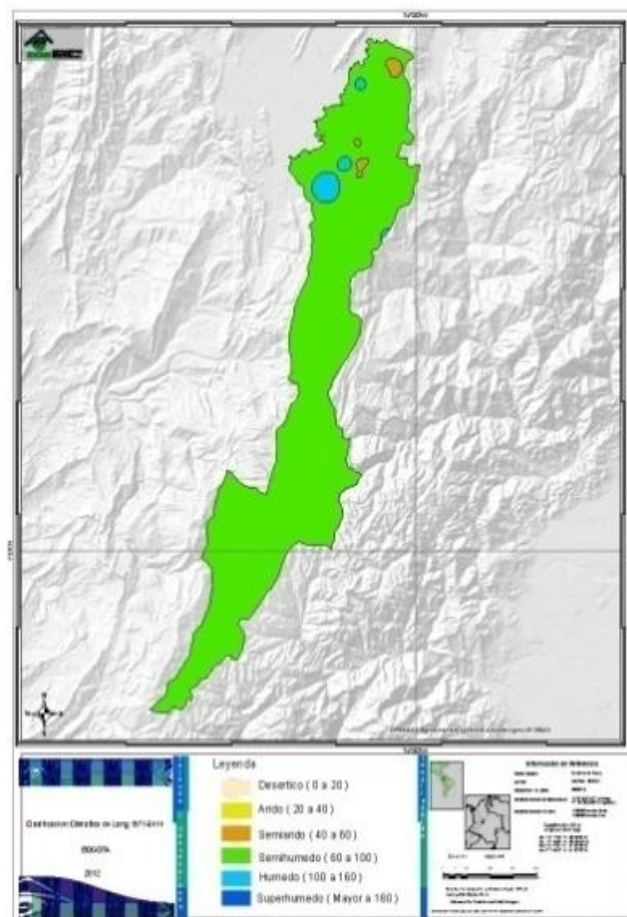
### 8.3.4 Clasificación Climática de Lang

Los mapas 252 a 261, corresponde a la siguiente leyenda:



### MAPA DE LO OBSERVADO

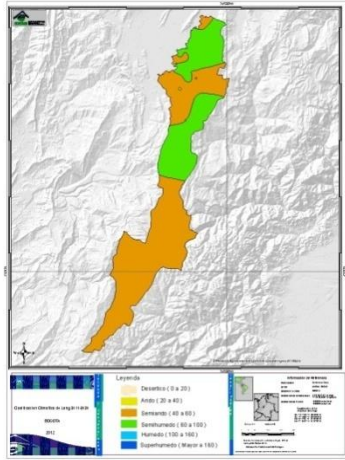
1971-2010



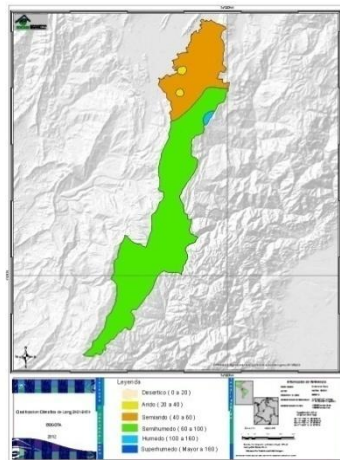
Mapa 253. Clasificación Climática de Lang Observada

## MAPAS DE LOS ESCENARIOS PROYECTADOS

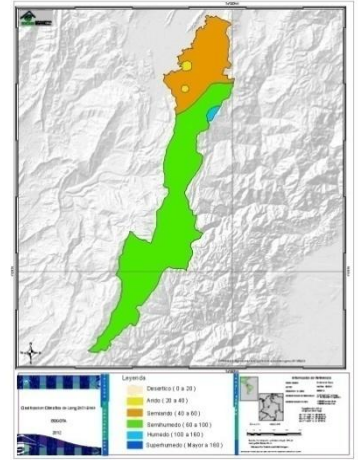
2011-2020



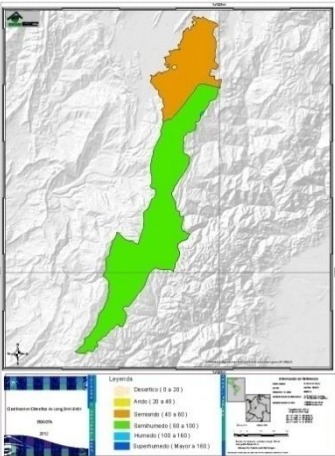
2021-2030



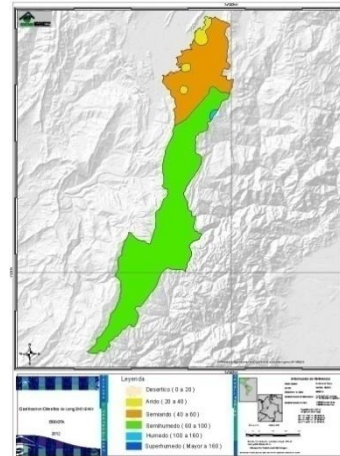
2031-2040



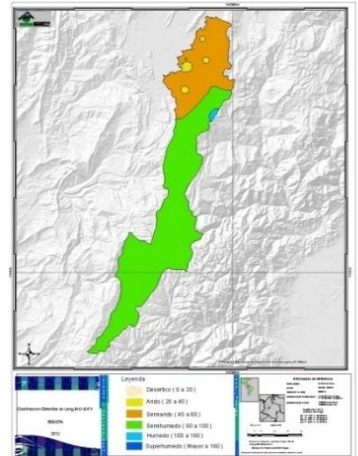
2041-2050



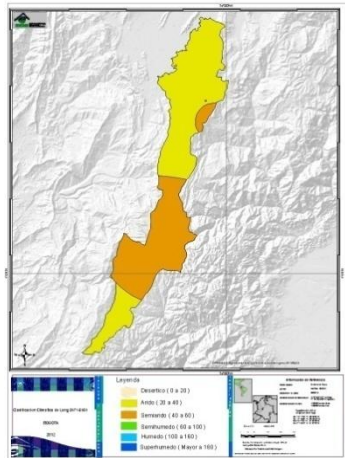
2051-2060



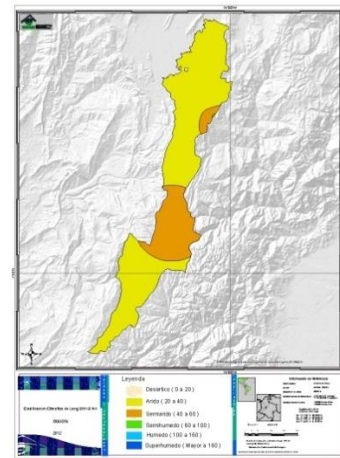
2061-2070



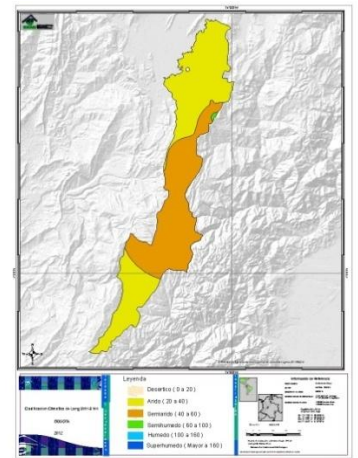
2071-2080



2081-2090



2091-2100



Mapas 254-262. Clasificación Climática de Lang Proyectada

Fuente: Autor

Como se puede analizar en los mapas, en el período 1971-2010 se presenta un clima semihúmedo. A partir de la década 2011-2020 probablemente se inicie una tendencia de características de clima semiárido. Hacia finales del siglo XXI posiblemente se presenten características de clima árido. Puede que toda Bogotá presente afectaciones en su tipo de clima; infortunadamente la zona central será la mayormente influenciada ya que tendrá amplias zonas de tipo árido, específicamente esto se verá en las localidades de Usme, Ciudad Bolívar y Sumapaz.

Este cambio en el tipo de clima corrobora las proyecciones de los escenarios, ya que se produce en consecuencia al aumento de la temperatura y la disminución en las precipitaciones.

### 8.3.5 Eventos extremos

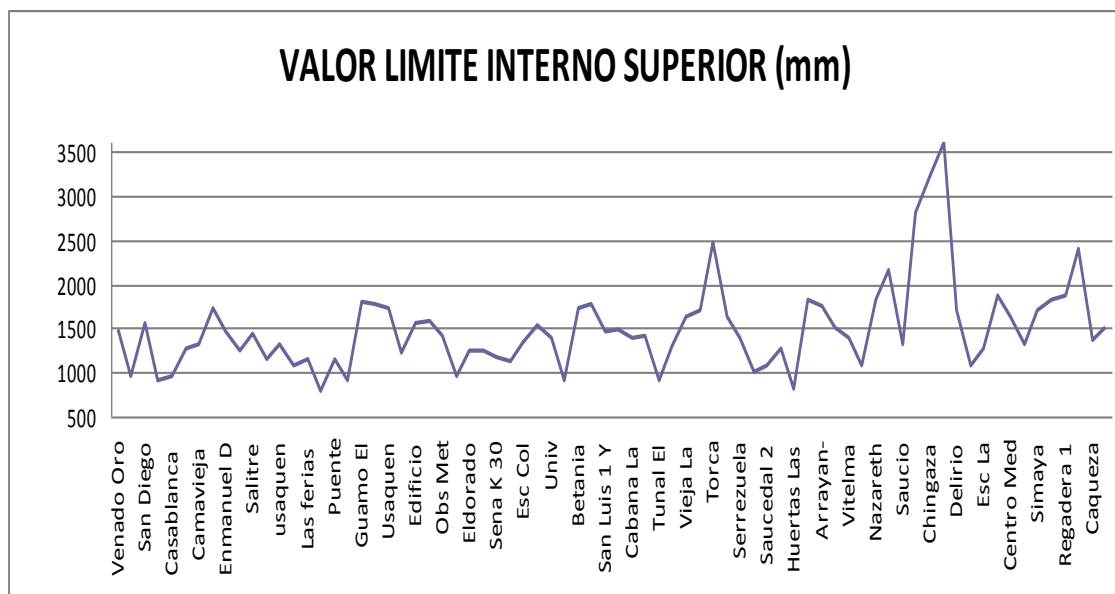
El análisis desarrollado en este apartado, se realiza basándose en los resultados arrojados por el modelo regional de Cambio Climático PRECIS. Estos resultados son obtenidos con base en los valores del comportamiento para las variables de estudio en el período 1971-2010, de esta manera el modelo regional genera datos en cuanto a límite interno superior, probabilidad de ocurrencia y periodo de retorno para los eventos extremos.

#### 8.3.5.1 Límite interno superior

El valor del límite superior se tomara como el criterio dado para los eventos extremos. Es decir, todo valor que sea igual o esté por encima de este límite es un valor atípico que representa un evento extremo.

##### 8.3.5.1.1 Precipitación

Figura 28. Límite interno superior de la precipitación en mm

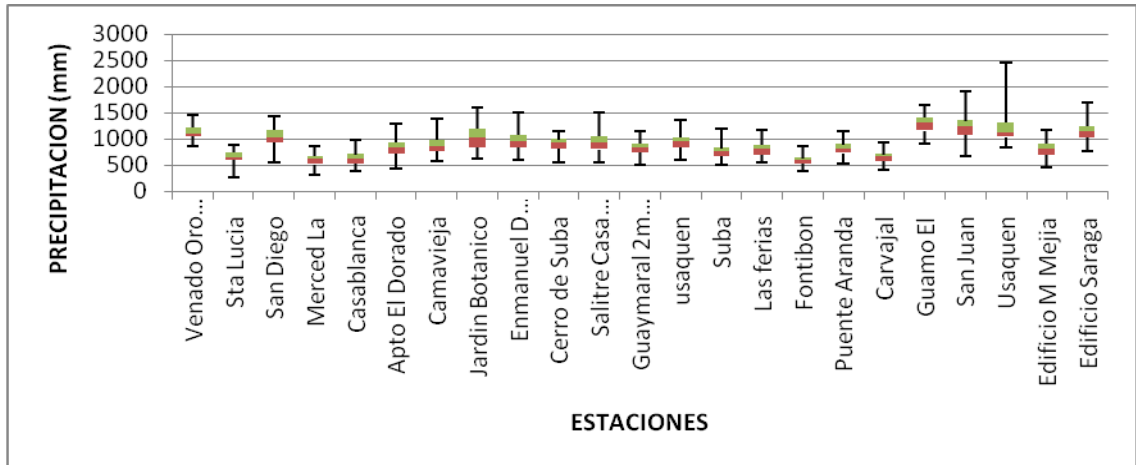


Fuente: Autor

Como se puede observar el evento extremo va a considerarse cuando cada estación alcance el valor graficado el cual corresponde al valor límite superior identificado en el diagrama de Box-Plot. En este caso se aprecia que el máximo valor entre todos los valores extremos corresponde a 3600 mm.

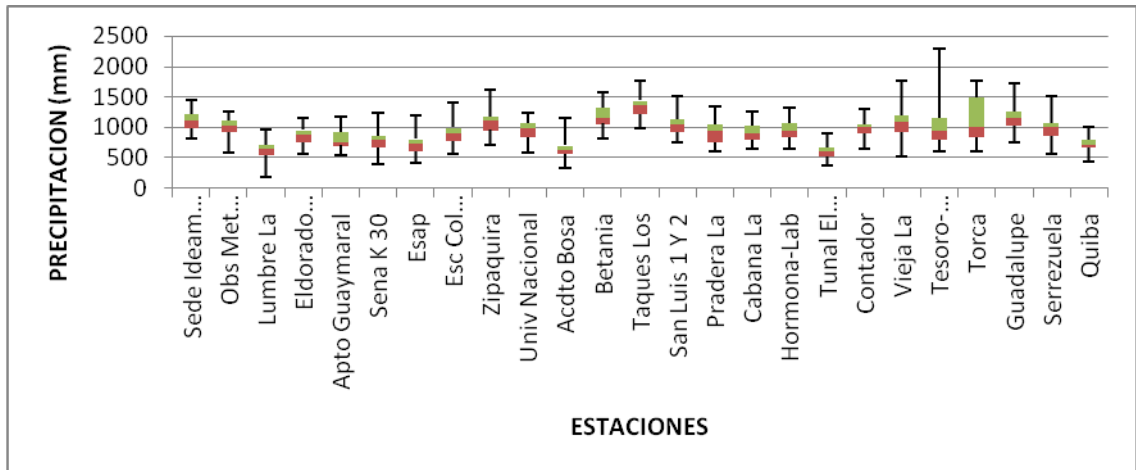
De igual manera se presenta a continuación el Diagrama de Box-Plot para cada una de las estaciones, en los cuales se puede apreciar la distribución de los datos evaluada para los parámetros propios del diagrama y se evidencia el límite interno superior como el extremo superior de los datos.

**Figura 29: Diagrama de Box-Plot - Estaciones Precipitación en mm**



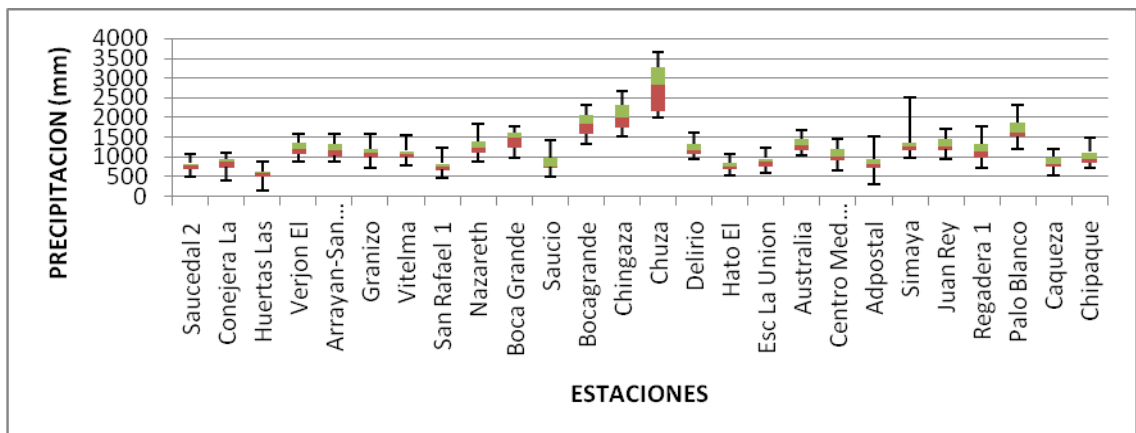
Fuente: Autor

**Figura 30: Diagrama de Box-Plot - Estaciones Precipitación en mm**



Fuente: Autor

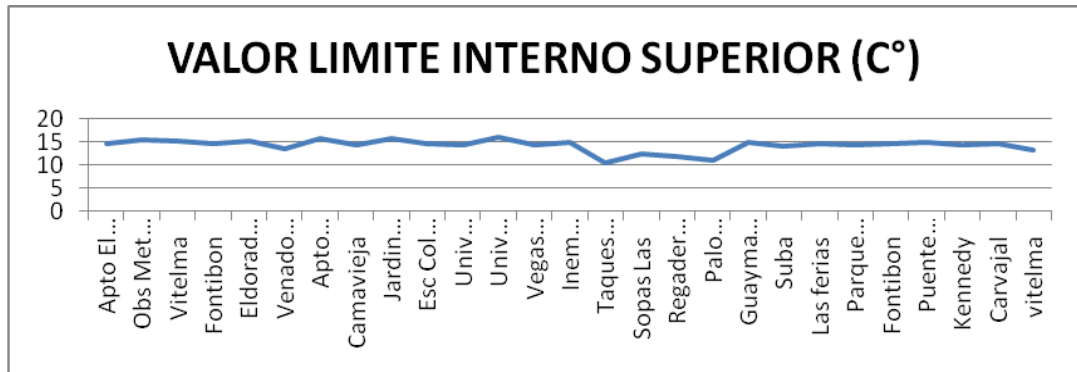
**Figura 31: Diagrama de Box-Plot - Estaciones Precipitación en mm**



Fuente: Autor

### 8.3.5.1.2 Temperatura Media

Figura 32: Límite interno superior de la temperatura media en °C

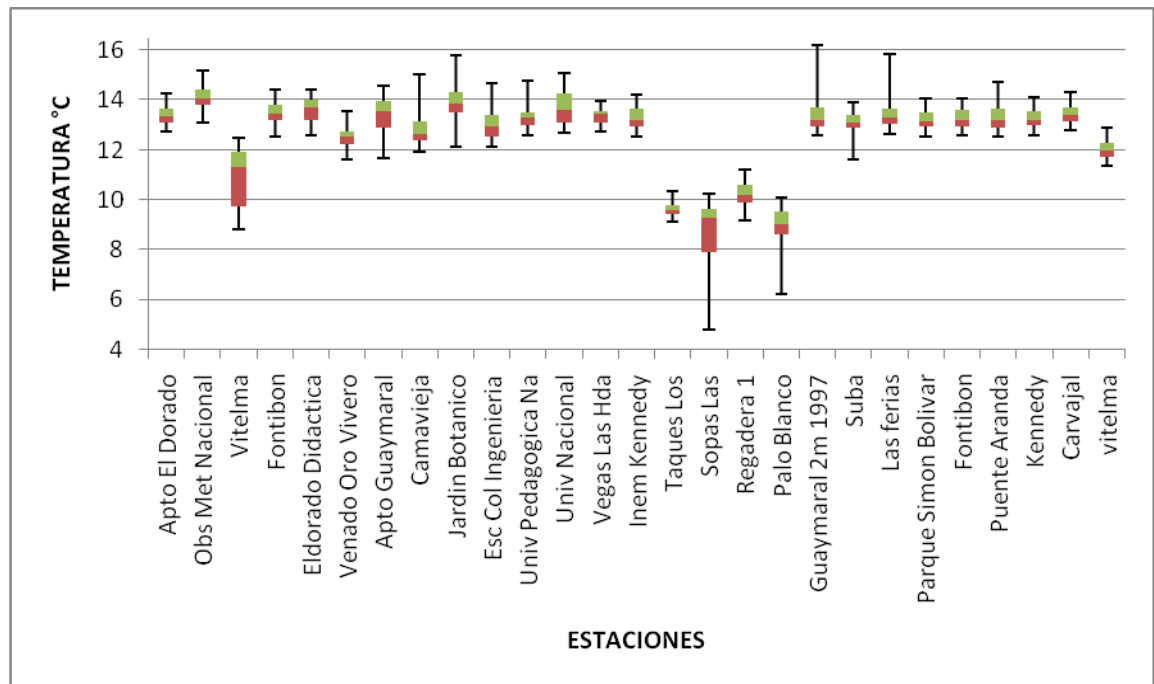


Fuente: Autor

Como se puede observar el evento extremo va a considerarse cuando cada estación alcance el valor graficado el cual corresponde al valor límite superior identificado en el diagrama de Box-Plot. En este caso se aprecia que el máximo valor entre todos los valores extremos corresponde a 15.97°C.

De igual manera se presenta a continuación el Diagrama de Box-Plot para cada una de las estaciones, en los cuales se puede apreciar la distribución de los datos evaluada para los parámetros propios del diagrama y se evidencia el límite interno superior como el extremo superior de los datos.

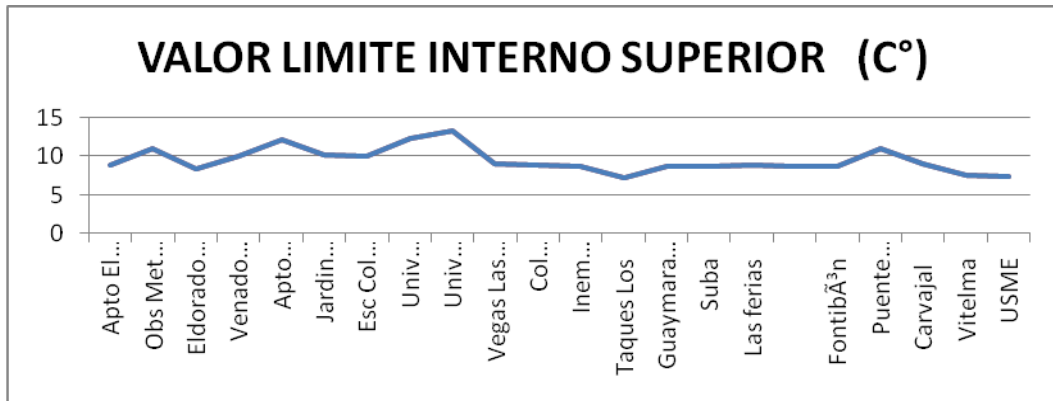
Figura 33: Diagrama de Box-Plot - Estaciones Temperatura Media en °C.



Fuente: Autor

### 8.3.5.1.3 Temperatura Mínima

Figura 34: Límite interno superior de la temperatura mínima en °C

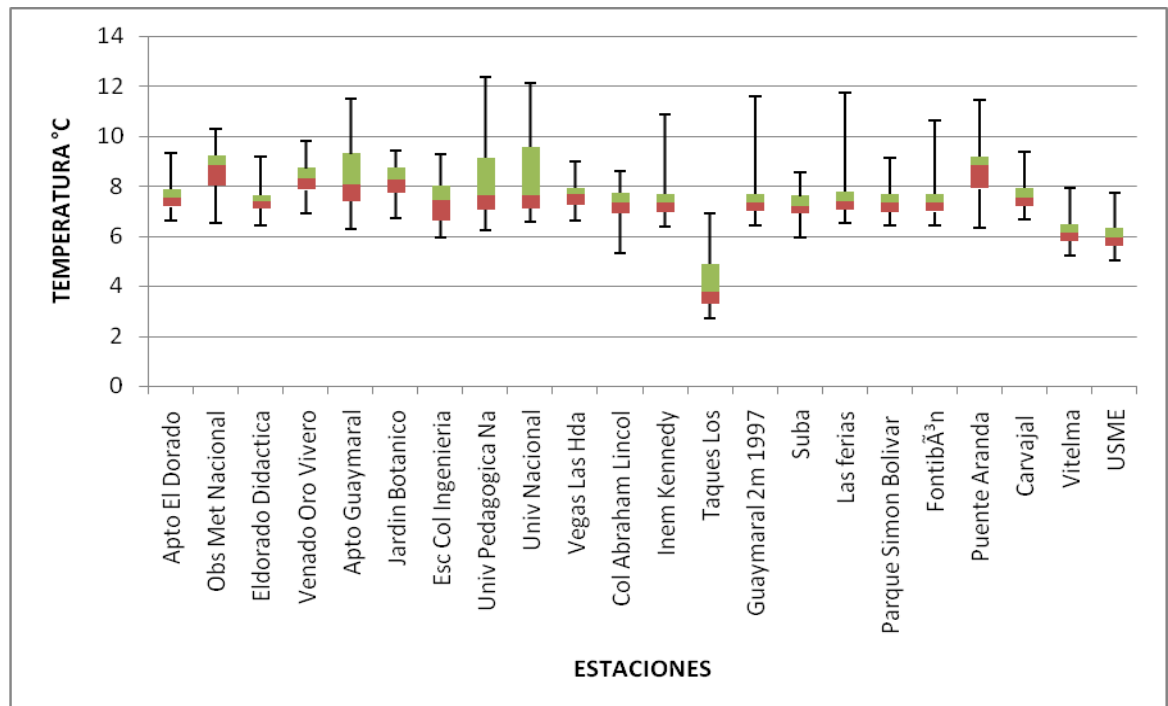


Fuente: Autor

Como se puede observar el evento extremo va a considerarse cuando cada estación alcance el valor graficado el cual corresponde al valor límite superior identificado en el diagrama de Box-Plot. En este caso se aprecia que el máximo valor entre todos los valores extremos corresponde a 13.2°C.

De igual manera se presenta a continuación el Diagrama de Box-Plot para cada una de las estaciones, en los cuales se puede apreciar la distribución de los datos evaluada para los parámetros propios del diagrama y se evidencia el límite interno superior como el extremo superior de los datos.

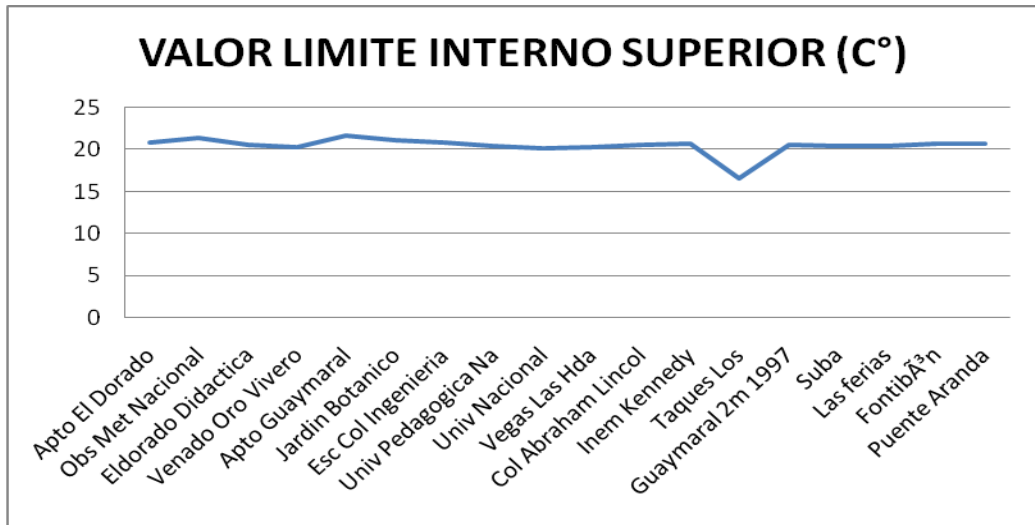
Figura 35: Diagrama de Box-Plot -Temperatura Mínima en °C



Fuente: Autor

### 8.3.5.1.4 Temperatura Máxima

Figura 36: Límite interno superior de la temperatura máxima en °C

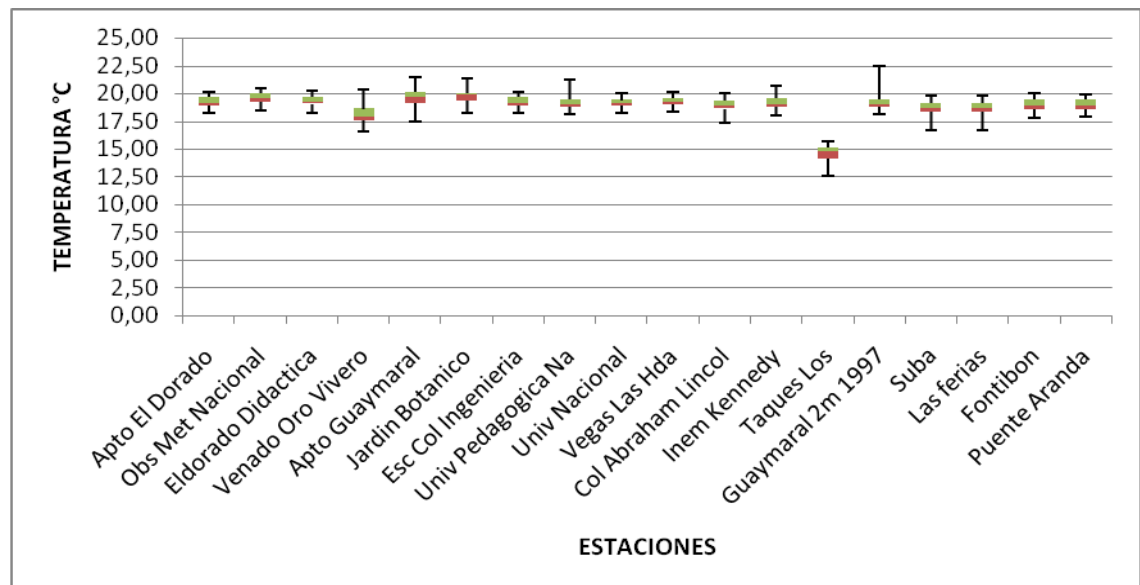


Fuente: Autor

Como se puede observar el evento extremo va a considerarse cuando cada estación alcance el valor graficado el cual corresponde al valor límite superior identificado en el diagrama de Box-Plot. En este caso se aprecia que el máximo valor entre todos los valores extremos corresponde a 21.65 C°.

De igual manera se presenta a continuación el Diagrama de Box-Plot para cada una de las estaciones, en los cuales se puede apreciar la distribución de los datos evaluada para los parámetros propios del diagrama y se evidencia el límite interno superior como el extremo superior de los datos.

Figura 37: Diagrama de Box-Plot -Temperatura Máxima en °C.

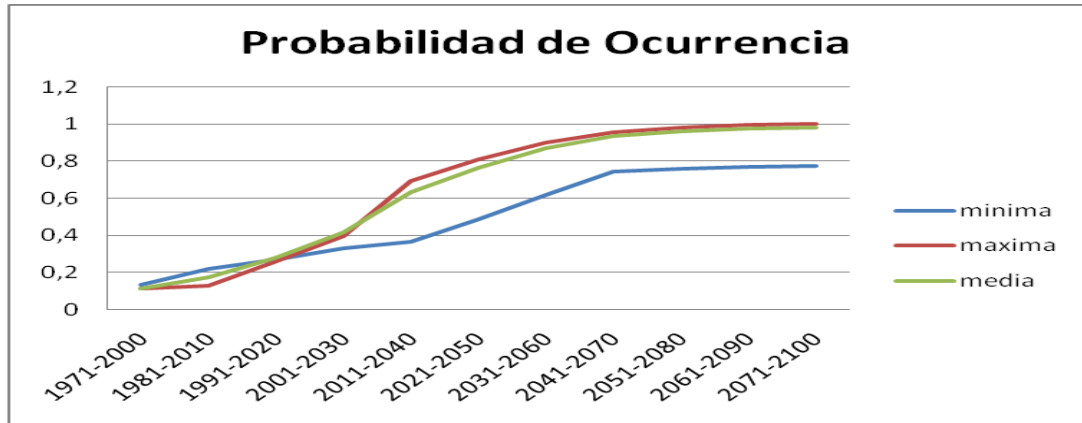


Fuente: Autor

### 8.3.5.2 Probabilidad de ocurrencia:

A medida que se genera mayor afectación en el sistema climático, es más factible que se generen eventos extremos frente a las variables estudiadas.

Figura 38: Probabilidad de ocurrencia Temperatura (T Med, T Mín, T Máx)



Fuente: Autor

Para la temperatura mínima, la máxima probabilidad de ocurrencia posiblemente se presente en el período 2071-2100 con un 0,77% y la menor probabilidad corresponde a 0.15% para el período 1971-2000. La temperatura máxima puede presentar una máxima probabilidad de ocurrencia para el período 2071-2100 equivalente a 0,99%, en contraste al período 1971-2000 con un valor de 0.16% correspondiente a la mínima probabilidad de ocurrencia. En cuanto a la temperatura media, la máxima probabilidad posiblemente se dé en el período 2071-2100 con un valor de 0.98 y la mínima en el período 1971-2000 con un valor de 0.15%.

Este comportamiento obedece a la relación dada entre la probabilidad de ocurrencia y el período de retorno. De esta manera, la probabilidad de ocurrencia de algún evento es mayor en cuanto el período de retorno sea menor.

## **8.4 SÍNTESIS DE RESULTADOS O CONCLUSIONES**

### **8.4.1 Frente a Variabilidad Climática**

- La precipitación en un comportamiento por debajo de lo normal presento un aumento significativo en los niveles de lluvia, este se hace más evidente hacia los últimos trimestres del año. Cuando se presenta un comportamiento por encima de lo normal la tendencia en Bogotá obedece a una disminución de la precipitación, afectando en una menor intensidad la parte final del año. Esto para el período 1971-2010.
- La temperatura media en un comportamiento por debajo de lo normal presento una tendencia a disminuir específicamente en los trimestres 2 y 3. Cuando se presenta un comportamiento por encima de lo normal, la temperatura media aumenta principalmente a comienzos del año en los trimestres 1, 2 y 3, esto para el período 1971-2010.
- La temperatura máxima frente a un comportamiento por debajo de lo normal tiende a disminuirse siendo más incidente en la parte final e inicial de año afectando los trimestres 12 y 1, la zona de mayor afectación es la nor-central de Bogotá. Durante un comportamiento por encima de lo normal la temperatura aumenta, principalmente en los trimestres 1 hasta el 3, las zonas de mayor afectación son Suba, Engativá, Fontibón, Barrios Unidos Teusaquillo. Esto para el período 1971-2010.
- La temperatura mínima frente a un comportamiento por debajo de lo normal tiende a disminuir afectando los trimestres de 3 al 7, en cuanto a un comportamiento por encima de lo normal la temperatura aumenta durante los trimestres 6 y 7. esto para el período 1971-2010.

### **8.4.2 Frente a Escenarios de Cambio Climático**

Los resultados permiten concluir que el escenario más probable para Bogotá es el siguiente:

- De acuerdo al modelo se espera que se presente una reducción de las precipitaciones sobre el área de estudio entre los años 2011-2100, correspondiente al 18% con respecto al período de referencia 1971-2010. Estas reducciones se evidencian ya que para el período 1971-2010 se presentaron precipitaciones que oscilan entre los 1000 mm y los 2500 mm, para las décadas del período 2011-2061 podrían presentarse precipitaciones entre los 500 mm y los 1500 mm, en contraste a la última década del siglo 2091-2100 en donde se presentarían precipitaciones entre los 500 mm y 1000 mm.
- Estas reducciones en las precipitaciones se podrían presentar principalmente en la parte nor-occidental de la ciudad, en donde están presentes las localidades de Suba, Engativá, Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Fontibón.
- De acuerdo con el modelo posiblemente se presente un aumento en la temperatura media para el área de estudio en el período 2011-2100. El

incremento puede llegar a estar por encima de 1°C a 3°C para las décadas del período 2011-2100 en comparación a los valores registrados en el período 1971-2010, en el cual se presentaron valores típicos que varían entre los 8°C y los 14°C. Los valores estimados para el período 2011-2070, pueden variar entre los 10°C y los 16°C. Para el período 2071-2100 los valores estarían entre los 12°C y los 18°C.

- Este aumento en la temperatura media, se podría presentar en la parte nor-occidental del área de estudio, en donde están presentes las localidades de Suba, Engativá, Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Fontibón, Usaquén, y Barrios Unidos.
- De acuerdo al modelo se espera un aumento en la temperatura mínima para el área de estudio en el período 2011-2100. El incremento puede llegar a estar por encima de 0.8°C a 2°C para las décadas del período 2011-2050 y de 2°C a 3°C frente a las décadas del período 2051-2100, esto en comparación a los valores registrados para el período 1971-2010, en el cual se presentaron valores típicos entre los 4°C y los 8°C. Los valores estimados para el período 2011-2050, varían entre los 8°C y los 10°C. Para el período 2051-2100 los valores estarían entre los 8°C y los 12°C.
- Este aumento en la temperatura mínima, podría presentarse en la parte nor-occidental del área de estudio, en donde están presentes las localidades de Suba, Engativá, Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Fontibón, Usaquén y Barrios Unidos.
- De acuerdo al modelo posiblemente se de un aumento en la temperatura máxima para el área de estudio en el período 2011-2100. El incremento puede llegar a estar por encima de 1°C a 3°C para las décadas del período 2011-2050 y de 3.1°C y 6°C para las décadas del período 2051-2100, esto en comparación a los valores registrados para el período 1971-2010, en el cual se presentaron valores típicos entre los 14°C y los 22°C. Los valores estimados para el período 2011-2050, varían entre los 22°C y los 24°C. Para el período 2051-2100 los valores estarían entre los 22°C y los 28°C.
- Este aumento en la temperatura máxima, podría presentarse en la parte norte del área de estudio, en donde están presentes las localidades de Kennedy, Bosa, Soacha, Usme, Chapinero, Barrios Unidos, Suba, Santa Fe, Teusaquillo, Puente Aranda, Tunjuelito, Rafael Uribe Y San Cristóbal.
- Las localidades de menor afectación en cuanto a los posibles cambios en precipitación o temperatura, se espera que sean las ubicadas hacia la parte nororiental de la ciudad tales como Chapinero, Santa Fe y San Cristóbal y la localidad de Sumapaz ubicada en el sur del área de estudio.
- El aumento de la temperatura y la reducción en los valores de precipitación, generaran un tipo de clima árido. Por lo cual muchas zonas del área estudio perderán su valor en términos agrícolas.
- Los eventos extremos para la temperatura (Mínima, Media, Máxima) puede que se conviertan en valores típicos para las variables meteorológicas estudiadas en el período 2070-2100.

## 9. COMPARACIÓN CON OTROS TRABAJOS

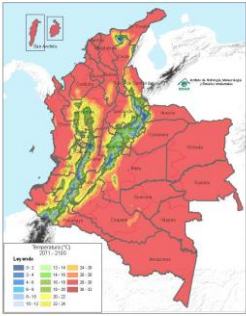
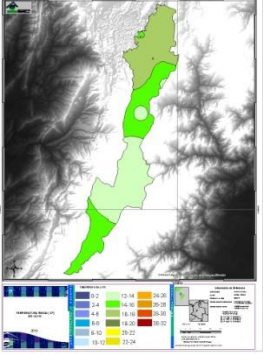
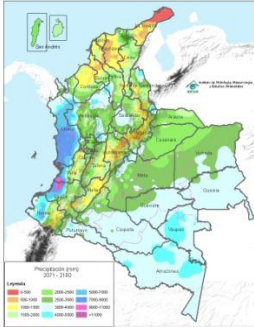
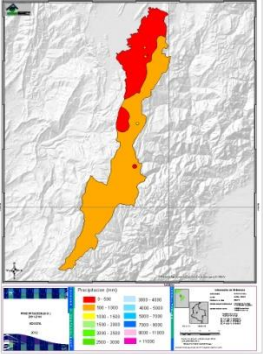

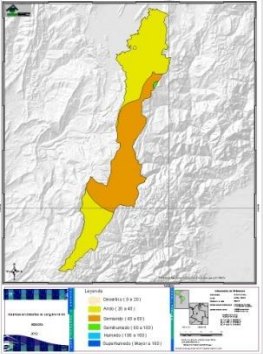
En el año 2010, el IDEAM publico la nota técnica “CAMBIO CLIMÁTICO EN TEMPERATURA, PRECIPITACION Y HUMEDAD RELATIVA PARA COLOMBIA USANDO MODELOS METEOROLÓGICOS DE ALTA RESOLUCION (PANORAMA 2011-2100)”. En esta se consignan los resultados de los escenarios generados por modelos globales y regionales para Colombia.

Este trabajo género una proyección de escenarios a nivel tri-decadal en donde se tomó de periodo de referencia los años comprendidos entre 1971-2000, y los resultados se expusieron para los siguientes periodos: 2011-2040,2041-2070,2071-2100. Los modelos globales usados fueron HadAM3P y HadCM3Q y a nivel regional se utilizó el modelo PRECIS Y EL WRF. Para fines de esta comparación se tomaran netamente los resultados obtenidos por el modelo PRECIS.

La comparación se hizo para varios resultados, siempre teniendo como referencia el último periodo de tiempo proyectado ya que se presume que es el momento de mayor evidencia del cambio climático. Es decir para el trabajo realizado en el 2010 se tomó el periodo 2071-2100 y para el trabajo actual se tomó el periodo 2091-2100.

Figura 42: Comparación con otros trabajos

| PARAMETRO EVALUADO   | TRABAJO REALIZADO EN EL 2010. | TRABAJO REALIZADO ACTUALMENTE. | ANALISIS  |
|--|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Diferencia de temperatura media en °C frente al periodo de referencia.       |                               |                                | Para el trabajo realizado en el 2010 la diferencia esta en el orden de los 4°C, mientras que en el trabajo actual corresponde de 4°C a 5°C. |
| Cambio en porcentaje de precipitación en mm frente al periodo de referencia. |                               |                                | El trabajó 2010 muestra una reducción hasta del 4%.El trabajo actual muestra reducciones hasta de 48 %.                                     |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| <p><b>Comportamiento proyectado temperatura media °C.</b></p> |    |    | <p>El trabajo 2010 muestra valores de la temperatura</p>   |
| <p><b>Comportamiento proyectado precipitación mm.</b></p>     |    |    | <p>El trabajo 2010 dice que la precipitación tendrá valores entre 1000mm y 2000mm. Por otro lado la reducción es más significativa en el trabajo actual con valores de precipitación entre 500mm y 1000mm.</p> |
| <p><b>Clasificación de Lang.</b></p>                          |  |  | <p>Ambos trabajos exponen una tendencia a que se presenten climas de tipo semiárido y arido.</p>   |

Fuente: Autor

Las diferencias obtenidas en los resultados, posiblemente están asociadas a los siguientes factores:

- La extensión del periodo de referencia. El trabajo 2010 maneja 1971-2000, mientras que este trabajo maneja 1971-2010.
- El área de estudio. El trabajo 2010 se hizo sobre la totalidad del territorio nacional, mientras que este trabajo se enfoca en Bogotá.
- La escala. El trabajo 2010 se hizo a nivel regional. Mientras que la escala manejada en el trabajo actuales de carácter local.
- Las condiciones establecidas en los modelos globales.

## 10. BENEFICIOS DEL TRABAJO DESARROLLADO

Los beneficios dados por la realización de este trabajo, se evidencian desde los siguientes puntos de vista:

- **Beneficios para la academia**

1. Adquirir un conocimiento específico sobre la temática del Cambio Climático y a partir de este proceso fundamentarlo como una línea de investigación dentro de la universidad.
2. Desde el punto de vista de la ingeniera ambiental, este trabajo brinda un panorama para contribuir en la identificación de problemáticas ambientales actuales y en el planteamiento de soluciones que permitan garantizar la interacción entre la sociedad, el ambiente, el clima y la economía.
3. Reconocimiento por ser parte junto con el IDEAM, de una investigación más profunda y local sobre el Cambio Climático, puesto que los trabajos realizados anteriormente, han sido ejecutados desde una visión más general.
4. El trabajo en conjunto con el IDEAM, generó una herramienta para conocer de manera más directa la afectación sobre el medio ambiente por parte el Cambio Climático.
5. Desarrollo de la capacidad de investigación.
6. Adquirir experiencia frente a como trabajar de manera directa con una entidad de peso como el IDEAM y como desarrollar un proyecto apadrinado por la misma.
7. Fortalecimiento de la relación academia-estado con el fin de abordar la identificación y solución de problemáticas ambientales.

- **Beneficios para el IDEAM**

1. Reconocimiento como una de las entidades más activas del país en el estudio del Cambio Climático.
2. Fortalecimiento de su base de datos y de su bibliografía en cuanto a Cambio Climático.
3. Obtención de Información de calidad para la generación de notas técnicas y artículos científicos.
4. Consolidar una base de información en donde los tomadores de decisiones puedan respaldarse en los asuntos frente al Cambio Climático.

- **Beneficios para Bogotá y Colombia**

1. Los resultados obtenidos en este trabajo, permiten a la administración local tomar conciencia frente al cambio climático, esto con el fin de iniciar la búsqueda de medidas que permitan

- contener y mitigar los efectos que se puedan dar entorno al medio ambiente por las variaciones climáticas.
2. Desde la ingeniería ambiental, este trabajo permite que se brinde la información oportuna para que el profesional en esta área identifique problemáticas y plantee soluciones a nivel ambiental desde el punto de vista del Cambio Climático, todo en pro de garantizar la sostenibilidad y el desarrollo de la capital Colombiana.
  3. Permite brindarle a la administración distrital la posibilidad de que incluya dentro del sector educativo, la temática del Cambio Climático.
  4. Visualizar el desarrollo local desde un punto de vista incluyente para el Cambio Climático. Es decir, el POT debe convertirse en un instrumento de ordenamiento del territorio que debe tener en cuenta dentro de su columna vertebral la incidencia del clima.
  5. Dar una idea del panorama presente y futuro frente a la incidencia del cambio Climático en Bogotá.
  6. Este documento sirve como guía para que otras instituciones y entidades asociadas al estudio del clima y el ambiente en el territorio nacional, se preocupen por el estudio del Cambio Climático y desarrollen investigaciones y trabajos en torno al tema.
  7. Permite tomar conciencia frente al papel del ciudadano y del gobierno frente al Cambio Climático, ya que los resultados evidenciados en este trabajo son consecuencia de la falta de acciones positivas por parte de los seres humanos.

## 11.RECOMENDACIONES

- Que el IDEAM homogenice de manera oportuna una metodología de complementación de datos faltantes.
- Que el IDEAM genere un proceso de acompañamiento más eficaz y adecuado para los futuros pasantes, en cuanto a la supervisión de la pasantía.
- Generar un acompañamiento más oportuno en cuanto al uso de herramientas tipo SIG para futuros pasantes, por parte del IDEAM.
- Que la academia patrocine a futuro la investigación frente al Cambio Climático, pues la información contenida en este trabajo, es un primer paso en cuanto al estudio y la cuantificación de la incidencia del Cambio Climático en la capital de nuestro país.
- Iniciar un proceso de toma de decisiones que eviten consecuencias futuras para la ciudad, como la proliferación de vectores, el aumento de enfermedades y las pérdidas de cultivos que sin ninguna duda concluirán en pérdidas económicas.
- Visualizar el desarrollo local desde un punto de vista incluyente para el Cambio Climático. Es decir, el POT debe convertirse en un instrumento de ordenamiento del territorio que debe tener en cuenta dentro de su columna vertebral la incidencia del clima.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE F., Marcos F. y BLACUTT B., Luis A. *EVALUACIÓN DEL MODELO CLIMÁTICO REGIONAL PRECIS PARA EL ÁREA DE BOLIVIA: COMPARACIÓN CON DATOS DE SUPERFICIE*. *Revista Boliviana de Física*, 2010, vol.16, no.16, p.1-12. ISSN 1562-3823.
- *Agroinfoclima. Ciclo ENSO (El Niño / SouthernOscillation)*. Recuperado el 10/1/12 de [http://agro.infoclima.com/?page\\_id=539](http://agro.infoclima.com/?page_id=539)
- *Banco de España.TSW*. Recuperado el 10/1/12 de <http://www.bde.es/webbde/es/secciones/servicio/software/notascurso.html>
- *BBC Mundo (2010). Bogotá: Miles de Damnificados*. Recuperado el 15/6/11 de [http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/latin\\_america/newsid\\_2036000/2036280.stm](http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/latin_america/newsid_2036000/2036280.stm)
- *Bogotá Humana (2010). Bogotá una metrópoli Latinoamericana*. Recuperado el 15/6/11 de <http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/01.270701.html>
- Cassan, Fabian (2006). *Atlas visual de la ciencia*. Bogotá. Ed. Sol90.
- *Ciclo Hidrológico. Precipitación*. Recuperado el 10/1/12 de <http://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>
- *Duarte, Diana (2012). Bogotá una metrópoli Latinoamericana*. Recuperado el 15/6/11 de <http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/01.270701.html>
- *El Espectador (2009). Bogotá, lista para la época de sequía*. Recuperado el 10/4/11 de <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/articulo162731-bogota-lista-epoca-de-sequia>
- *CITY TV (2010). Pérdidas en el occidente de la ciudad por desbordamiento del río Bogotá*. Recuperado el 10/4/11 de <http://www.citytv.com.co/videos/287640/perdidas-en-el-occidente-de-la-ciudad-por-desbordamiento-del-rio-bogota>
- *DNP.SINA*. Recuperado el 10/1/12 de <http://www.dnp.gov.co/Programas/Ambiente/MedioAmbiente/SistemaNacionalAmbientaSINA.aspx>
- *El Espectador (2010). Van más de 350 hectáreas arrasadas por incendios*. Recuperado el 10/4/11 de <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/articulo180387-siguen-incendios-bogota-y-sus-alrededores>
- *El Tiempo (2009). Ola de calor en Bogotá llegó a los 23 grados centígrados y el frío de la madrugada bajó a un grado*. Recuperado el 10/4/11 de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-6247249>

- **ESPINOZA E., CASIMIRO W.** *Cambio Climático-Estado del Arte. Revista Peruana GEO-ATMOSFERICA*, 2009, no.1.  
[http://www.senamhi.gob.pe/rpga/pdf/2009\\_vol01/art12.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/rpga/pdf/2009_vol01/art12.pdf)
- **Humboldt (2010).** *Sistema Nacional Ambiental*. Recuperado el 10/4/11 de  
<http://www.humboldt.org.co/sina/c-sina.htm>
- **IDEAM (2010).** *Atlas Climatológico Nacional*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 10/1/10 de  
<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=815>
- **IDEAM (1) (2010).** *Guía de procedimiento para la generación de escenarios de Cambio Climático Regional y Local a partir de modelos globales*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 10/1/10 de  
<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1074>
- **IDEAM, RODRIGUEZ (2010).** *Evaluación de los modelos globales del clima utilizados para la generación de escenarios de Cambio Climático con el clima presente en Colombia*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 10/1/11 de  
<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1074>
- **IDEAM, RUIZ (2011).** *Cambio Climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 10/1/10 de  
<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1074>
- **IDEAM (2010).** *Guía de procedimiento para la generación de escenarios de Cambio Climático Regional y Local a partir de modelos globales*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 10/1/10 de  
<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1074>
- **IDEAM, (2011).** *Manual Jaziku-1.0.0 Español.2011*. Bogotá, Colombia.
- **IDEAM (2012).** *Información General*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 10/1/10 de  
<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=6#mision1>
- **IPCC.** *Centro de distribución de datos*. Recuperado el 10/1/12 de  
<http://www.ipcc-data.org/ar4/model-UKMO-HADCM3.html>

- **IPCC. ESCENARIOS DE EMISIONES.** Recuperado el 10/1/12 de <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-sp.pdf>
- **IPCC. Glossary.** Recuperado el 10/1/12 de <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/ipcc-glossary.pdf>
- **IPCC (2001). Impactos, adaptación y vulnerabilidad.** Recuperado el 10/1/12 de <http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/synthesis-syr/spanish/wg2-summaries.pdf>
- **IPCC (1997) .Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el segundo informe de evaluación del IPCC.** Recuperado el 10/1/12 de <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/paper-ii-sp.pdf>
- **IPCC (2001). La base científica del Cambio Climático.** Recuperado el 10/1/12 de <http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/synthesis-syr/spanish/wg1-summaries.pdf>
- **IPCC (2001). Mitigación.** Recuperado el 10/1/12 de <http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/synthesis-syr/spanish/wg3-summaries.pdf>
- **MAX PLANCK INSTITUT. ECHAM5.** Recuperado el 10/1/12 de <http://www.mpimet.mpg.de/en/science/models/echam/echam5.html>
- **NOAA.El Niño/Southern Oscillation(ENSO).** Recuperado el 10/1/12 de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/>
- **NOAA (2007). ENSO cycle: Recent Evolution, Current Status and Predictions.** Recuperado el 10/1/12 de <http://www.authorstream.com/Presentation/GenX-7196-enso-evolution-status-fcsts-web-ENSO-Cycle-Recent-Evolution-Current-Status-Predictions-Outline-Overview-Equatorial-Pacific-SS-ppt-powerpoint/>
- **NOAA. Frequently Asked Questions about El Niño and La Niña.** Recuperado el 10/1/12 de [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensofaq.shtml#SOSCILL](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensofaq.shtml#SOSCILL)
- **Observatorio Ambiental de Bogotá .Áreas afectadas por incendios forestales.** Recuperado el 10/4/11 de <http://oab.ambientebogota.gov.co/index.shtml?s=l&id=180>
- **PABON, (2005).Elaboración de Escenarios de Cambio Climático para la segunda mitad del siglo XXI en las diferentes regiones del territorio Colombiano y de un informe de evaluación del Cambio Climático en Colombia que incluya entre otras las tendencias actuales y futuras y los posibles impactos del Cambio Climático en los sectores Socioeconómicos y regiones del país.** Proyecto INAP. Bogotá, Colombia.

- **PCMDI. Documentación de Modelos Climáticos.** Recuperado el 10/1/11 de [http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/model\\_documentation/ipcc\\_model\\_documentation.php](http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/model_documentation/ipcc_model_documentation.php)
- **PCMDI. UKMO-HadCM3.** Recuperado el 10/1/12 de [http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/model\\_documentation/HadCM3.htm](http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/model_documentation/HadCM3.htm)
- **PCMDI. ECHAM5\_MPI-OM.** Recuperado el 10/1/12 de [http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/model\\_documentation/ECHAM5\\_MPI-OM.htm](http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/model_documentation/ECHAM5_MPI-OM.htm)
- **Revista Diners (2008). El Cambio Climático en Colombia.** Recuperado el 10/8/09 <http://www.revistadiners.com.co/nuevo/internaedicion.php?idn=24&idm=3>
- **Revista Semana, Mejía, Juan (2007). Los extremos cambios climáticos en la Sabana de Bogotá acaban con valiosos cultivos.** Recuperado el 10/1/10 de <http://www.semana.com/on-line/extremos-cambios-climaticos-sabana-bogota-acaban-valiosos-cultivos/100878-3.aspx>
- **SNET (2006). Informe especial ENOS. El salvador.** Recuperado el 10/1/12 de <http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/pronostico/el+nino/informe+especial>  
L
- **Universidad de Chile (2011). Glosario.** Recuperado el 1/12/11 de <http://met.dgf.uchile.cl/clima/HTML/GLOSARIO/glosarioc.htm>
- **Universidad de Chile. El Niño y la Oscilación del Sur.** Recuperado el 10/1/12 de [http://mct.dgf.uchile.cl/CURSOS/Clases\\_Atmosfera/tema11\\_enso.pdf](http://mct.dgf.uchile.cl/CURSOS/Clases_Atmosfera/tema11_enso.pdf)
- **Universidad Simón Bolívar, Peña (2006). BOXPLOT.** Recuperado el 1/1/11 de [http://www.cesma.usb.ve/~npena/estadistica\\_1/BOXPLOT-ayudaenlinea4.htm#Límites](http://www.cesma.usb.ve/~npena/estadistica_1/BOXPLOT-ayudaenlinea4.htm#Límites)









