

EVALUACIÓN DEL CAMBIO PRODUCIDO EN LA TEMPERATURA ZONAL DEL DEPARTAMENTO DEL CESAR DEBIDO A LA EXPLOTACIÓN EXTENSIVA DE MINERALES A CIELO ABIERTO



JUAN CARLOS MELO LUNA

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA “JULIO GARAVITO”
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2021

EVALUACIÓN DEL CAMBIO PRODUCIDO EN LA TEMPERATURA ZONAL DEL
DEPARTAMENTO DEL CESAR DEBIDO A LA EXPLOTACIÓN EXTENSIVA DE
MINERALES A CIELO ABIERTO



JUAN CARLOS MELO LUNA

Trabajo de tesis para optar el título de Magíster en Ingeniería Civil

Director
William Ricardo Aguilar Piña

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA “JULIO GARAVITO”
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2021

Notas de aceptación:

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, D.C., 27 de octubre de 2021

A mis padres y familia quienes son pilares fundamentales en mi vida, esta dedicatoria es por su respaldo, incondicionalidad y apoyo en mi crecimiento personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

En primer lugar, a mi director de tesis William Ricardo Aguilar Piña y al ingeniero Andrés Humberto Otálora Carmona dado que, su constante apoyo, consejos y su gran conocimiento, fueron de gran importancia para el desarrollo de esta investigación.

Igualmente agradezco al Instituto colombiano de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) por su colaboración con el suministro de la información.

Agradezco a mis padres por su apoyo e incondicionalidad. A mi Padre Hernando Melo por su conocimiento y experiencia en estudios de coberturas de la tierra y demás temáticas agrológicas y medioambientales.

A la Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”, por su entera disposición para el cumplimiento de su misión institucional de alta calidad y excelencia en profesores.

RESUMEN

La explotación de minerales a cielo abierto en Colombia ha venido creciendo desde los años ochenta generando diversos impactos ambientales y contribuyendo al cambio climático. Este trabajo tiene como fin evaluar la incidencia de la minería extensiva a cielo abierto en el comportamiento histórico de la temperatura en el departamento del Cesar por medio del estudio de datos históricos de estaciones climatológicas terrestres para el periodo comprendido entre 1981 a 2019, incluyendo como variable principal temperatura y variables secundarias como la altitud, brillo solar, latitud, humedad relativa, punto de rocío e información geográfica del departamento y su zona circundante. Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y a través de la herramienta Model Builder de ArcGIS® versión 10.5, se creó un modelo de análisis y pronóstico hasta el año 2100 que genera diferentes salidas gráficas y comparaciones. Si bien no existe la total evidencia de que el aumento de la temperatura en el departamento del Cesar se deba principalmente a los procesos de minería relacionada con carbón, si existen algunos elementos que muestran una posible relación entre la minería y el cambio climático, ya que las zonas aledañas a los títulos mineros son las de mayor aumento en la temperatura, sin embargo no se puede afirmar de manera concluyente que este fenómeno sea principalmente por consecuencia de la minería ya que existen fenómenos que pueden también contribuir al calentamiento zonal como el crecimiento demográfico, la producción industrial y la deforestación, entre otros.

Palabras clave: departamento del Cesar, explotación de carbón a cielo abierto, sistemas de información geográfica, ambiente, cambio climático, temperatura.

ABSTRACT

Open pit mineral exploitation in Colombia has been growing since the 1980s, generating several environmental impacts and contributing to climate change. The purpose of this work is to evaluate the incidence of extensive open-pit mining on the historical behavior of temperature in the department of Cesar through the study of historical data from terrestrial climatological stations for the period between 1981 to 2019, including as a variable main temperature and secondary variables such as altitude, solar brightness, latitude, relative humidity, dew point and geographic information of the department and its surrounding area. Through the use of Geographic Information Systems (GIS) and through the Model Builder tool of ArcGIS® version 10.5, an analysis and forecast model was created up to the year 2100 that generates different graphical outputs and comparisons. Although there is no complete evidence that the increase in temperature in the department of Cesar is mainly due to mining processes related to coal, there are some elements that show a possible relation between mining and climate change, since the areas surrounding the mining titles are the ones with the greatest increase in temperature, however it cannot be conclusively affirmed that this phenomenon is mainly a consequence of mining, since there are phenomena that can also contribute to regional warming, such as demographic growth, industrial production and deforestation, among others.

Keywords: Cesar department, open-cast coal mining, geographic information systems, environment, climate change, temperature.

CONTENIDO

| | Pág |
|---|-----|
| INTRODUCCIÓN..... | 15 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 16 |
| 2. OBJETIVOS..... | |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL..... | |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 18 |
| 3. MARCO CONCEPTUAL..... | 18 |
| 3.1 DESARROLLO HISTÓRICO DE LA MINERÍA EN COLOMBIA..... | 18 |
| 3.2 LA MINERÍA EN COLOMBIA..... | 19 |
| 3.3 VARIABLES CLIMATOLÓGICAS..... | 19 |
| 3.4 CARACTERÍSTICAS MINERO-ENERGÉTICAS..... | 19 |
| 3.5 CAMBIO CLIMÁTICO..... | 21 |
| 3.6 FENÓMENOS CLIMÁTICOS..... | 22 |
| 3.6.1 Fenómeno del Niño..... | 25 |
| 3.6.2 Fenómeno año Niña..... | 25 |
| 3.7 EFECTOS DE LA MINERA EN LA ACELERACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO..... | 26 |
| 3.8 EFECTOS AMBIENTALES POR LA MINERÍA EN EL CESAR..... | 26 |
| 3.9 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)..... | 26 |
| 3.10 MODELOS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)..... | 27 |
| 3.11 ELEMENTOS QUE COMPONEN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)..... | 27 |
| 3.12 UTILIDAD DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA..... | 28 |
| 4. ANTECEDES DE ESTUDIO..... | 28 |
| 5. METODOLOGÍA..... | 29 |
| 6. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO..... | 31 |
| 7. OBTENCIÓN Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN..... | 32 |
| 8. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN..... | 35 |
| 8.1 COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LA TEMPERATURA..... | 35 |
| 8.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AÑOS CONFORME AL FENÓMENO CLIMATOLÓGICO..... | 44 |
| 8.3 PROYECCIÓN DE TEMPERATURA..... | 44 |
| 9. VARIABLES DE ESTUDIO..... | 48 |
| 9.1 VARIABLE TEMPERATURA..... | 51 |
| 9.1.1 Temperatura periodo 1980 -2016..... | 53 |
| 9.1.2 Temperatura para años Neutros..... | 56 |
| 9.1.3 Temperatura para años con fenómeno climatológico Niño..... | 56 |
| 9.1.4 Temperatura para años con fenómeno climatológico Niña..... | 60 |

| | |
|---|-----|
| 9.2 VARIABLE HUMEDAD RELATIVA..... | 63 |
| 9.2.1 Humedad Relativa para el periodo de 1980 – 2016..... | 66 |
| 9.2.2 Humedad Relativa para años Neutros..... | 70 |
| 9.2.3 Humedad Relativa para años con fenómeno climatológico Niño..... | 70 |
| 9.2.4 Humedad Relativa para años con fenómeno climatológico Niña..... | 73 |
| 9.3 VARIABLE BRILLO SOLAR..... | 76 |
| 9.3.1 Brillo Solar para el periodo de 1980 – 2016..... | 79 |
| 9.3.2 Brillo Solar para años Neutros..... | 83 |
| 9.3.3 Brillo solar para años con fenómeno climatológico Niño..... | 83 |
| 9.3.4 Brillo Solar para años con fenómeno climatológico Niña..... | 87 |
| 9.4 VARIABLE DE TEMPERATURA DE ROCÍO..... | 91 |
| 9.4.1 Temperatura de Rocío para el periodo de 1980 – 2016..... | 95 |
| 9.4.2 Temperatura de rocío para los años neutros..... | 98 |
| 9.4.3 Temperatura punto de rocío para años con fenómeno climatológico Niño..... | 98 |
| 9.4.4 Temperatura rocío para los años con fenómeno climatológico Niña..... | 102 |
| | 105 |
| 10. RESULTADOS..... | 108 |
| 10.1 DESARROLLO DEL MODELO CLIMATOLÓGICO..... | |
| 10.2 PARÁMETROS DEL MODELO..... | 111 |
| 10.3 MODELO CLIMATOLÓGICO..... | 111 |
| 10.4 SECCIONES DEL MODELO..... | 111 |
| 10.4.1 Sección 1..... | 113 |
| 10.4.2 Sección 2..... | 114 |
| 10.4.3 Sección 3..... | 114 |
| 10.4.4 Sección 4..... | 115 |
| 10.4.5 Sección 5..... | 115 |
| 10.4.6 Sección 6..... | 116 |
| 10.4.7 Sección 7..... | 117 |
| 10.4.8 Sección 8..... | 118 |
| 10.5. EJECUCIÓN DEL MODELO..... | 119 |
| 10.5.1 Resultados de proyección..... | 119 |
| 10.6 RESULTADOS DEL MODELO..... | 121 |
| 10.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 124 |
| | 139 |
| 11. CONCLUSIONES..... | 165 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 166 |
| ANEXOS..... | 167 |
| | 172 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág |
|--|-----|
| Tabla 1. Subregiones del departamento del Cesar..... | 21 |
| Tabla 2. Empresas más representativas en el Distrito La Jagua del departamento del Cesar.. | 24 |
| Tabla 3. Estaciones climatológicas del área de estudio..... | 36 |
| Tabla 4. Número de datos mensuales por año de las estaciones climatológicas terrestres del área de estudio..... | 38 |
| Tabla 5. Promedio de temperatura zonal multianual..... | 40 |
| Tabla 6. Capas requeridas para el desarrollo de la investigación..... | 41 |
| Tabla 7. Promedios anuales de temperatura por estación..... | 44 |
| Tabla 8. Pendiente e intersección en el eje para los periodos de estudio..... | 47 |
| Tabla 9. Proyecciones de temperatura..... | 47 |
| Tabla 10. Clasificación de los años de acuerdo con el fenómeno climático..... | 49 |
| Tabla 11. Promedios totales mensuales de temperatura..... | 49 |
| Tabla 12. Promedios anuales de temperatura años Neutros..... | 50 |
| Tabla 13. Promedios anuales de temperatura años Niño..... | 50 |
| Tabla 14. Promedios anuales de temperatura años Niña..... | 51 |
| Tabla 15. Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio..... | 53 |
| Tabla 16. Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Neutros..... | 54 |
| Tabla 17. Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niño..... | 55 |
| Tabla 18. Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niña..... | 56 |
| Tabla 19. Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio..... | 57 |
| Tabla 20. Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura por estación..... | 59 |
| Tabla 21. Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Neutros..... | 60 |
| Tabla 22. Promedios totales anuales de temperatura por estación para los años Neutros..... | 63 |
| Tabla 23. Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niño..... | 64 |
| Tabla 24. Promedios totales anuales de temperatura por estación para los años Niño..... | 66 |
| Tabla 25. Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niña..... | 67 |
| Tabla 26. Promedios totales anuales de temperatura por estación para los años Niña..... | 69 |
| Tabla 27. Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio..... | 70 |
| Tabla 28. Promedios totales mensuales de humedad relativa para el periodo de 1980-2016.. | 72 |
| Tabla 29. Promedios totales anuales de humedad relativa por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Neutros..... | 73 |
| Tabla 30. Promedios totales mensuales de humedad relativa para los años Neutros..... | 75 |
| Tabla 31. Promedios totales anuales de humedad relativa por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niño..... | 76 |
| Tabla 32. Promedios totales mensuales de humedad relativa para los años Niño..... | 78 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 33. Promedios totales anuales de humedad relativa por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niña..... | 79 |
| Tabla 34. Promedios totales mensuales de humedad relativa para años Niña..... | 82 |
| Tabla 35. Promedios totales anuales (1980-2016) de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio..... | 83 |
| Tabla 36. Promedios totales mensuales de brillo solar para el periodo de 1980-2016..... | 86 |
| Tabla 37. Promedios totales anuales de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Neutros..... | 87 |
| Tabla 38. Datos mensuales totales completos e incompletos de brillo solar para los años Neutros..... | 90 |
| Tabla 39. Promedios totales anuales de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Niño..... | 91 |
| Tabla 40. Datos mensuales totales completos e incompletos de brillo solar para los años Niño..... | 94 |
| Tabla 41. Promedios totales anuales de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años con Niña..... | 95 |
| Tabla 42. Promedio total mensual de brillo solar para los años Niña..... | 97 |
| Tabla 43. Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura de rocío por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio..... | 99 |
| Tabla 44. Promedios totales mensuales de temperatura de rocío para el periodo 1980-2016. | 101 |
| Tabla 45. Promedios totales anuales de temperatura de rocío por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Neutros..... | 102 |
| Tabla 46. Promedio total mensual de temperatura de rocío para los años Neutros..... | 104 |
| Tabla 47. Promedios totales anuales de temperatura de rocío por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Niño..... | 105 |
| Tabla 48. Promedios totales mensuales de temperatura de rocío para los años Niño..... | 107 |
| Tabla 49. Promedios totales anuales de temperatura de rocío por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Niña..... | 108 |
| Tabla 50. Promedios totales mensuales de temperatura para los años Niña..... | 110 |
| Tabla 51. Promedio de temperatura anual prevista..... | 137 |
| Tabla 52. Temperatura prevista diferentes años..... | 138 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | Pág |
|--|-----|
| Gráfica 1. Características del departamento del Cesar..... | 20 |
| Gráfica 2. Diagrama metodológico..... | 31 |
| Gráfica 3. Títulos mineros vigentes departamento del Cesar..... | 33 |
| Gráfica 4. Títulos mineros de carbón vigentes departamento del departamento del Cesar.... | 34 |
| Gráfica 5. Localización de las estaciones climatológicas del área de estudio..... | 37 |
| Gráfica 6. Promedios anuales zonales de temperatura en el departamento del Cesar..... | 41 |
| Gráfica 7. Información solicitada para el desarrollo de la investigación..... | 43 |
| Gráfica 8. Promedios de temperatura..... | 45 |
| Gráfica 9. Promedios anuales zonales de temperatura en el departamento del Cesar (1980-1999)..... | 46 |
| Gráfica 10. Promedios anuales zonales de temperatura en el departamento del Cesar (2000-2016)..... | 46 |
| Gráfica 11. Proyecciones de temperatura..... | 48 |
| Gráfica 12. Promedios totales mensuales de temperatura de acuerdo con el fenómeno climático..... | 50 |
| Gráfica 13. Promedios totales anuales de Temperatura 1980-2016..... | 51 |
| Gráfica 14. Correlación entre temperatura y cota para el periodo de 1980-2016..... | 59 |
| Gráfica 15. Relación de datos de temperatura del periodo de 1980-2016..... | 60 |
| Gráfica 16. Correlación entre temperatura y cota para los años Neutros..... | 62 |
| Gráfica 17. Relación de datos de temperatura para los años Neutros..... | 63 |
| Gráfica 18. Correlación entre temperatura y cota para los años Niño..... | 65 |
| Gráfica 19. Relación de datos de temperatura de los años Niño..... | 66 |
| Gráfica 20. Correlación entre temperatura y cota para los años Niña..... | 68 |
| Gráfica 21. Relación de datos de temperatura de los años Niña..... | 69 |
| Gráfica 22. Correlación entre humedad relativa y temperatura para el periodo 1980-2016... | 71 |
| Gráfica 23. Relación humedad relativa del periodo 1980-2016..... | 72 |
| Gráfica 24. Correlación humedad relativa y temperatura para los años Neutros..... | 74 |
| Gráfica 25. Relación de datos de humedad relativa para los años Neutros..... | 75 |
| Gráfica 26. Correlación entre humedad relativa y temperatura para años Niño..... | 77 |
| Gráfica 27. Relación humedad relativa para los años Niño..... | 78 |
| Gráfica 28. Correlación humedad relativa y brillo solar para años Niña..... | 80 |
| Gráfica 29. Correlación humedad relativa y temperatura para años Niña..... | 81 |
| Gráfica 30. Relación humedad relativa para los años Niña..... | 83 |
| Gráfica 31. Correlación brillo solar y cota para el periodo 1980-2016..... | 85 |
| Gráfica 32. Correlación brillo solar y temperatura para el periodo 1980-2016..... | 85 |
| Gráfica 33. Relación brillo solar para el periodo 1980-2016..... | 87 |
| Gráfica 34 Correlación entre brillo solar y temperatura para los años Neutros..... | 89 |
| Gráfica 35. Correlación entre brillo solar y cota para los años Neutros..... | 89 |
| Gráfica 36. Relación de datos de brillo solar para los años Neutros..... | 91 |
| Gráfica 37. Correlación entre brillo solar y temperatura para años Niño..... | 93 |
| Gráfica 38. Correlación brillo solar y cota para años Niño..... | 93 |
| Gráfica 39. Relación de brillo solar para los años Niño..... | 94 |
| Gráfica 40. Correlación entre brillo solar y temperatura para los años Niña..... | 96 |

| | |
|--|-----|
| Gráfica 41. Correlación entre brillo solar y cota para los años Niña..... | 97 |
| Gráfica 42. Relación de datos brillo solar para los años Niña..... | 98 |
| Gráfica 43. Correlación entre temperatura de rocío y cota para el periodo 1980-2016..... | 100 |
| Gráfica 44. Relación de datos de temperatura de rocío para el periodo 1980-2016..... | 101 |
| Gráfica 45. Correlación entre temperatura de rocío y cota para los años Neutros..... | 103 |
| Gráfica 46. Relación de temperatura de rocío para los años Neutros..... | 104 |
| Gráfica 47. Correlación temperatura de rocío y cota para los años Niño..... | 106 |
| Gráfica 48. Relación de temperatura de rocío para los años Niño..... | 107 |
| Gráfica 49. Correlación entre temperatura de rocío y cota para los años Niña..... | 109 |
| Gráfica 50. Relación de temperatura de rocío para los años Niña..... | 110 |
| Gráfica 51. Gráfico de Modelo climatológico..... | 113 |
| Gráfica 52. Gráfico Sección 1 Modelo climatológico..... | 114 |
| Gráfica 53. Gráfico Sección 2 Modelo climatológico..... | 115 |
| Gráfica 54. Gráfico Sección 3 Modelo climatológico..... | 115 |
| Gráfica 55. Gráfico Sección 4 Modelo climatológico..... | 116 |
| Gráfica 56. Gráfico Sección 5 Modelo climatológico..... | 117 |
| Gráfica 57. Gráfico Sección 6 Modelo climatológico..... | 118 |
| Gráfica 58. Gráfico Sección 7 Modelo climatológico..... | 119 |
| Gráfica 59. Gráfico Sección 8 Modelo climatológico..... | 119 |
| Gráfica 60. Gráfico Ejecución del modelo..... | 121 |
| Gráfica 61. Gráfico variables proyectadas..... | 122 |
| Gráfica 62. Gráfico factores..... | 123 |
| Gráfica 63. Gráfico temperatura histórica..... | 124 |
| Gráfica 64. Incremento de temperatura previsto mes de enero..... | 125 |
| Gráfica 65. Incremento de temperatura previsto mes de febrero..... | 126 |
| Gráfica 66. Incremento de temperatura previsto mes de marzo..... | 127 |
| Gráfica 67. Incremento de temperatura previsto mes de abril..... | 128 |
| Gráfica 68. Incremento de temperatura prevista mes de mayo..... | 129 |
| Gráfica 69. Incremento de temperatura previsto mes de junio..... | 130 |
| Gráfica 70. Incremento de temperatura previsto mes de julio..... | 131 |
| Gráfica 71. Incremento de temperatura previsto mes de agosto..... | 132 |
| Gráfica 72. Incremento de temperatura previsto mes de septiembre..... | 133 |
| Gráfica 73. Incremento de temperatura previsto mes de octubre..... | 134 |
| Gráfica 74. Incremento de temperatura prevista mes de noviembre..... | 135 |
| Gráfica 75. Incremento de temperatura prevista mes de diciembre..... | 136 |
| Gráfica 76. Promedio incremento de temperatura..... | 137 |
| Gráfica 77. Promedio incremento temperatura anual..... | 138 |
| Gráfica 78. Promedio incremento de temperatura..... | 139 |
| Gráfica 79. Temperatura proyectada para los diferentes meses año 2100..... | 139 |
| Gráfica 80. Gráfico cambio temperatura enero para 2100 año niña..... | 141 |
| Gráfica 81. Gráfico cambio temperatura marzo para 2100 año niña..... | 142 |
| Gráfica 82. Gráfico Cambio de temperatura octubre para 2100 año niña..... | 143 |
| Gráfica 83. Gráfico Cambio de temperatura enero para 2100 año neutro..... | 144 |
| Gráfica 84. Gráfico Cambio de temperatura marzo para 2100 año neutro..... | 145 |
| Gráfica 85. Gráfico Cambio de temperatura octubre para 2100 año neutro..... | 146 |
| Gráfica 86. Gráfico Cambio de temperatura enero para 2100 año compuesto..... | 147 |
| Gráfica 87. Gráfico Cambio de temperatura marzo para 2100 año compuesto..... | 148 |
| Gráfica 88. Gráfico Cambio de temperatura octubre para 2100 año compuesto..... | 149 |
| Gráfica 89 Gráfico Cambio de temperatura enero para 2100 año niño..... | 150 |

| | |
|--|-----|
| Gráfica 90. Gráfico Cambio de temperatura marzo para 2100 año niño..... | 151 |
| Gráfica 91. Gráfico Cambio de temperatura octubre para 2100 año niño..... | 152 |
| Gráfica 92. Gráfico Cambio de temperatura enero para 2100 año niña..... | 153 |
| Gráfica 93. Gráfico Cambio de temperatura marzo para 2100 año niña..... | 154 |
| Gráfica 94. Gráfico de temperatura proyectada octubre para 2100 año niña..... | 155 |
| Gráfica 95. Gráfico Temperatura proyectada enero para 2100 año neutro..... | 156 |
| Gráfica 96. Gráfico Temperatura proyectada marzo para 2100 año neutro..... | 157 |
| Gráfica 97. Gráfico Temperatura proyectada octubre para 2100 año neutro..... | 158 |
| Gráfica 98. Gráfico Temperatura proyectada enero para 2100 año compuesto..... | 159 |
| Gráfica 99. Gráfico Temperatura proyectada marzo para 2100 año compuesto..... | 160 |
| Gráfica 100. Gráfico temperatura proyectada octubre para 2100 año compuesto..... | 161 |
| Gráfica 101. Gráfico temperatura proyectada enero para 2100 año año niño..... | 162 |
| Gráfica 102. Gráfico Temperatura proyectada marzo para 2100 año niño..... | 163 |
| Gráfica 103. Gráfico Temperatura proyectada octubre para 2100 año niño..... | 164 |

INTRODUCCIÓN

La industria del carbón ha hecho parte de la economía colombiana, la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) reporta una producción nacional de este mineral desde 1940 de 1.12 millones de toneladas al año, pero se estima que estas explotaciones iniciaron desde comienzos del siglo XX, lo que demuestra que el carbón ha hecho parte del desarrollo económico del país desde tiempo atrás (Arias, 2015).

En la actualidad, el carbón colombiano representa el 10% del comercio mundial de este mineral, además el país es el principal productor en América Latina, ocupa el undécimo lugar en el mundo y el quinto mayor exportador (Habib, 2017), para el 2019 la producción se estimó en 82.2 millones de toneladas de las cuales el 64% provino del departamento del Cesar (Acosta, 2020) el cual para el 2016 tenía 348 títulos mineros vigentes (Agencia Nacional Minera [ANM], 2016).

El territorio del Cesar posee un gran potencial de extracción de minerales a cielo abierto, especialmente de carbón, cuenta con aproximadamente 1'878.210 hectáreas disponibles, de las cuales existen 496.318 hectáreas están concesionadas por títulos; este panorama genera un gran desarrollo económico para la región proporcional al riesgo ambiental debido a que este tipo de explotación minera ha incrementado la presión sobre los recursos naturales; debido a los altos niveles de contaminación por la liberación de residuos tóxicos durante la extracción y transporte del carbón, presentando cambios y alteraciones al ecosistema y al clima (Perdomo, et al., 2010, p. 3).

El presente estudio hace una recopilación de datos de temperatura desde el año 1980 hasta el 2016, los cuales fueron obtenidos de 19 estaciones climatológicas del departamento del Cesar; a través de la revisión documental y análisis de información obtenida se construyó un modelo de predicción con la herramienta Model Builder del software ArcGIS® que permitan generar mapas a años futuros y con ello tomar decisiones que permitan mitigar los efectos negativos de la minería en el territorio cesarense.

El documento inicia con una breve descripción del desarrollo de la economía minera en Colombia y en el departamento del Cesar, caracterización del área de estudio, efectos de la minería en el cambio climático y el papel que desempeña los sistemas de información geográfica en este tipo de estudios, posteriormente se da a conocer la metodología empleada durante el desarrollo de este trabajo de grado, los resultados, análisis y discusión de estos y referencias.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La interacción del ser humano con el planeta a través de los años ha sido la principal característica que ha generado cambios representativos cuyos acontecimientos no se consideran precisamente naturales: la deforestación, el inadecuado uso de los recursos naturales, la exploración y explotación extensiva e intensiva de los minerales, así como la intervención de los ecosistemas, han producido un cambio drástico en la estructura física, química y biológica de los entornos.

En Colombia, a partir del año 1973 y con la crisis energética mundial “se generó la necesidad de encontrar un sustituto energético al petróleo, fue así como se empezó a desarrollar la minería de carbón a cielo abierto en la costa del Caribe Colombiano; especialmente en los departamentos de la Guajira, Cesar y Córdoba” (Perdomo et al, 2010), para el año 2003 el departamento del Cesar alcanzó una producción de 19 millones de toneladas anuales que correspondían al 40% del total nacional y para el año 2016, el Cesar ya tenía 348 títulos mineros vigentes que representan un área de 277.180 Ha, correspondientes al 12,39% del departamento.

De estos títulos, 51 estaban en etapa de exploración, 78 en construcción y montaje, y 219 en explotación. Para ello tuvieron en cuenta los minerales extraídos y los usos dados por lo que mencionan que “73 de esos títulos eran de carbón, 200 de materiales para construcción, 13 de metales preciosos y 62 de otros minerales.” Según datos informativos de la Agencia Nacional de Minería de Colombia. (ANM, 2016). Así mismo manifiesta que el 99,97% de las asignaciones directas de regalías actuales del departamento del Cesar, provienen de la explotación de minerales como el carbón y el restante de materiales de construcción.

Actualmente existen diferentes técnicas cuyo objetivo está relacionado con la extracción de minerales. Estos métodos han generado interacciones ambientales perjudiciales a la superficie terrestre, a las fuentes hídricas, a las condiciones atmosféricas y a la calidad del aire, este último es uno de los elementos más desafiantes debido a su conexión atmosférica, su facilidad de interacción y reacción con agentes químicos y contaminantes además de no obedecer a fronteras geopolíticas. Si se suman las fuentes de energía y los consumos desmedidos de esta, la quema de minerales, maderas y combustibles fósiles, las consecuencias mundiales sobre la calidad del aire, la contaminación atmosférica y el calentamiento global serán significativos teniendo en cuenta que dentro de las causas más relevantes relacionadas con las variaciones climáticas se encuentra el crecimiento demográfico, la producción industrial y alimentaria, la deforestación y el consumo energético que actualmente genera una connotación importante debido a su relación con todos los sectores económicos, ya que se proyecta que la electricidad generada por combustibles entre el carbón, gas natural y petróleo siga en aumento por lo menos hasta el año 2030.

Actualmente se están realizando investigaciones cuyo planteamiento admite la existencia y las dificultades ocasionadas por el cambio climático y los resultados han demostrado que el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) ha incurrido en los cambios de la temperatura a nivel global generando daños significativos e irreparables en los ecosistemas, el agua, la salud humana, las ciudades costeras y la economía.

Un ejemplo es la Iniciativa Global de Metano (GMI) quien afirma que “el metano es emitido en minas subterráneas y de superficie, ya sea que estas sean activas o estén abandonadas, y como resultado de actividades posteriores a la actividad minera (tales como el procesamiento, almacenamiento y

transporte de carbón)” (Agencia de Protección Ambiental [EPA], 2014). Así mismo menciona que “En el año 2010, se estimó que las emisiones mundiales de metano producidas por las minas de carbón fueron aproximadamente de 584 MMTCO₂E (million metric tons of carbon dioxide equivalents), y responsables del 8% del total de emisiones de metano a nivel mundial.” (EPA, 2014).

La explotación intensiva y extensiva de minerales a cielo abierto, puede representar un espectro de análisis en los patrones de temperatura local, cuya dinámica se pueda evaluar mediante datos obtenidos en estaciones terrestres y mediante satélite, ya que actualmente no se conoce una metodología que permita entender la dinámica del calentamiento en esta zona. Por lo tanto, se propone que la industria del carbón ha hecho parte de la economía colombiana, la Unidad de Planeación y esta investigación con un modelo que permita demostrar, pronosticar y evidenciar cambios climáticos relacionados con la temperatura zonal debido a la explotación por minería únicamente de carbón a cielo abierto.

Existen modelos basados en estadística, estocásticos, deterministas o en procesos físicos y dependiendo de los requerimientos exigidos, es importante definir cual se adapta mejor, por lo que es importante concretar cual se utilizará en este trabajo de grado, ya que, para desarrollar modelos de predicción es necesario definir las variables a utilizar mediante un esquema que permita contemplar la información cartográfica y climatológica requerida tal y como se menciona en el documento “SIG aplicados al análisis y cartografía de riesgos climáticos” (Sarria, 2004).

La formulación del problema se ha definido como:

¿De qué manera la explotación de minerales a cielo abierto ha intervenido al punto de producir variaciones de la temperatura en el departamento de Cesar?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la incidencia de la minería extensiva a cielo abierto en el comportamiento histórico de la temperatura en el departamento del Cesar.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dimensionar el comportamiento histórico de la temperatura del aire en la zona minera del departamento del Cesar a partir de los datos de estaciones climatológicas terrestres del IDEAM y otras fuentes bibliográficas.

Analizar la variación en la temperatura zonal de la zona central del Departamento del Cesar, como consecuencia de la explotación extensiva e intensiva de minerales a cielo abierto.

Estimar mediante datos y series históricas, la posible correlación que existe entre los cambios zonales producidos en la temperatura del aire cerca de la superficie terrestre con las condiciones climáticas y el fenómeno del calentamiento global a partir de información histórica disponible.

Construir un modelo de predicción de cambio en la temperatura del aire con soporte en Sistemas de Información Geográfica el cual permita evaluar cambios en los patrones de temperatura de la zona de estudio.

Generar mapas históricos y predictivos de temperatura del aire a partir de diferentes hipótesis (expansión minera, cambios climático y fenómenos como el Niño, la Niña y compuestos).

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 DESARROLLO HISTÓRICO DE LA MINERÍA EN COLOMBIA

Colombia posee múltiples ventajas geográficas y con ello una amplia variedad de recursos minerales lo cual ha generado una histórica vocación minera que se remonta a la época muisca, donde utilizaban el carbón como fuente térmica (Forero, 2017, p.7); a medidos del periodo de la Colonia (1550-1810) el carbón era extraído a menor escala para el consumo interno (Arango et al, 2016, p.6).

En 1886 al expedir la constitución de ese año, el gobierno de Rafael Núñez adopto para toda Colombia el ya antiguo Código de Minas del Estado Soberano de Antioquia, el cual se convirtió en el primer estatuto minero de alcance nacional; pero fue hasta en el periodo comprendiendo ente 1973-1991 en el cual se produjo una gran participación estatal con intervenciones reformistas de tipo político-administrativas incentivando la inversión extranjera en el país (Forero, 2017, p.8).

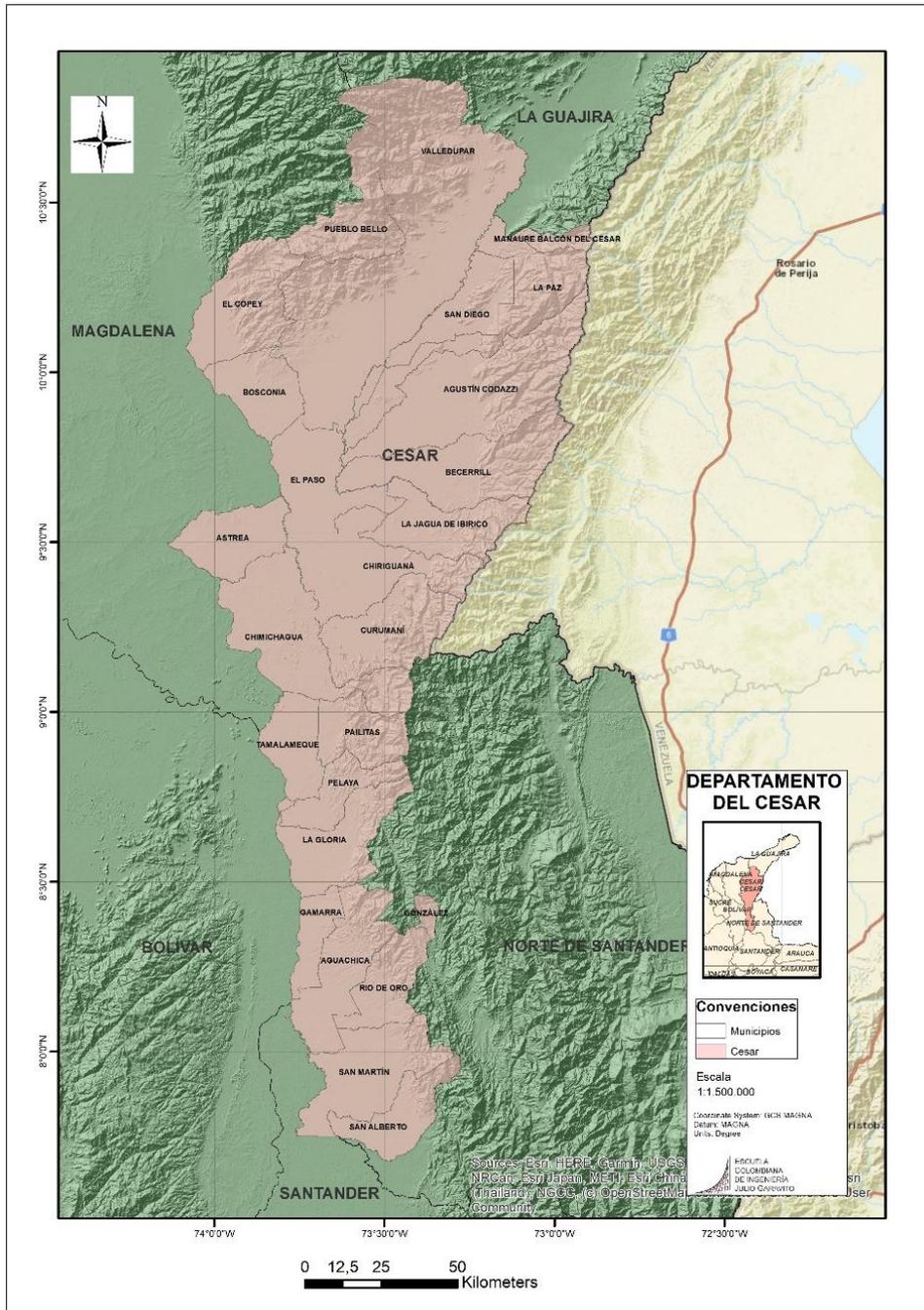
A través de la ley 685 del 2001 se produce un cambio sustantivo en el sector, donde el Estado Colombiano reguló y ejerció mecanismos de control de esta economía, generando un escenario muy atractivo para capitales extranjeros con bajas tasas en los impuestos y con nuevos yacimientos para ser explotados, dando la bienvenida a un periodo de apertura minera extendiéndose así hasta la actualidad (Arango et al, 2016, p.8).

3.2 LA MINERÍA EN COLOMBIA

El país cuenta con el 48,3% de las reservas aprobadas de carbón bituminoso y antártico de Latinoamérica y el 0,7% de las reservas probadas de carbón a nivel mundial (4,881 millones de toneladas), por ello se posiciona como el undécimo país en el mundo con mayor cantidad de reservas, las cuales le permitirán mantener su posición como productor de carbón por más de 120 años (Bulla et al., 2019, p.2); el sector minero representa cerca del 2% del PIB colombiano, genera alrededor de 350.000 empleos directos y un millón de indirectos a través de sus encadenamientos productivos, actualmente cuenta con 7.771 títulos mineros otorgados hasta el año 2019 (Agencia Nacional Minera [ANM], 2019, p. 6).

El carbón es el principal recurso minero de exportación en Colombia debido a su alta calidad, poder calorífico, bajo contenido de cenizas, azufre y humedad lo que permite a sus consumidores finales reducir sus emisiones contaminantes; representa el 64% del PIB minero, los principales proyectos carboníferos a gran escala y a cielo abierto se localizan en los departamentos del Cesar y la Guajira, mientras que las operaciones a pequeña y mediana escala en su gran mayoría subterráneas se ubican principalmente en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. (ANM, 2019, p.12).

Gráfica 1. Características del departamento del Cesar



Fuente: Propia

Nota: El mapa representa la ubicación geográfica del departamento del Cesar.

El Departamento del Cesar está situado en el norte del país, en la llanura del Caribe, localizado entre los 07°41'16'' y 10°52'14'' de latitud norte y los 72°53'27'' y 74°08'28'' de longitud oeste. Según la Gobernación, este es uno de los departamentos más jóvenes del país, fue creado a través de la Ley 25 del 21 de junio de 1967 luego de la separación del antiguo Magdalena Grande.

El 21 de diciembre de ese año se inauguró como nuevo departamento de Colombia, el cual tiene una extensión de 22.905 km², que equivalen al 2% de la extensión total de Colombia y al 15,1% de la extensión de la región Caribe colombiana (Gobernación del Cesar, 2020).

Al norte limita con los departamentos del Magdalena y Guajira; al sur, con Santander y Norte de Santander; al oriente, con Venezuela y al occidente con Magdalena y Bolívar; se divide administrativamente en 25 municipios, además su población es diversa ya que el departamento cuenta con 10 resguardos indígenas ubicados en la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá y varios consejos comunitarios de poblaciones negras. Las cuatro subregiones en las que se divide el departamento se describen a continuación:

Tabla 1. Subregiones del departamento del Cesar

| Subregión | Municipios |
|----------------------|--|
| Norte | Valledupar (capital), Becerril, Agustín Codazzi, La Paz, Manaure, Pueblo Bello, San Diego, Valledupar. |
| Noroccidental | Astrea, Bosconia, El Copey y El Paso. |
| Central | Chimichagua, Chiriguaná, Curumaní, La Jagua de Ibérico, Pailitas y Tamalameque. |
| Sur | Aguachica, Gamarra, González, La Gloria, Pelaya, Río de Oro, San Alberto, y San Martín |

Nota: Esta tabla muestra cómo se divide el departamento del Cesar en cuatro subregiones. Recuperado de <http://cesar.gov.co/d/index.php/es/mainmeneldpto/mendeppre>

3.3 VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

De acuerdo con el Plan Departamental de Gestión del Riesgo (2015), el departamento presenta las siguientes variables climatológicas y que son acordes al presente estudio:

Temperatura. Se define como el grado de calor o frío que hay en un lugar, la temperatura del aire en la Tierra está determinada por la cantidad de energía que llega desde el sol en forma de ondas, esta depende de la humedad, el aire y la fuerza del viento. Para la medición de temperatura existen diferentes escalas Fahrenheit, kelvin y centígrado (Gómez et al, 2018), este último fue el que se empleó en este estudio.

En todo el territorio del Cesar se pueden encontrar pisos térmicos que van desde el nivel del mar hasta los 5.000 m.s.n.m, climas cálidos y secos, por ello la variación de la temperatura en el 64% oscila entre 26 y 30 °C. Las temperaturas máximas se presentan al norte del departamento, con temperaturas entre 36 – 38 °C cubriendo el 50 % del departamento, generalmente en las estaciones localizadas dentro del área del departamento del Cesar se registran temperaturas máximas que se aproximan o alcanzan los 42°C en los meses de febrero, marzo y agosto, en los meses restantes en promedio la temperatura máxima sobrepasa los 36°C (p.33-34).

Brillo Solar. Es la duración del brillo solar o heliofanía en horas, representa el tiempo durante el cual incide luz solar directa sobre algún lugar entre el amanecer y el atardecer y se mide a través de un heliógrafo (Furest, 2016). El promedio diario del brillo solar en el departamento de 6.5 horas de brillo solar y con promedios anuales de 2.000 y 3.000 horas de insolación (p.36).

Humedad Relativa. El vapor de agua en la atmósfera se mide en términos de la humedad relativa, que es la relación de la cantidad de vapor de agua en el aire a una temperatura dada (humedad absoluta), respecto al máximo de vapor que puede contener la atmósfera a esa temperatura (humedad absoluta de saturación) (Inzunza, 2015).

En el departamento del Cesar, el período más húmedo del año dura 9,5 meses, del 14 de marzo al 30 de diciembre se presenta un promedio de 56 % de humedad, durante los meses de enero, febrero una media de 80%, estos datos pueden variar según la zona (p.36).

Punto de Rocío. El punto de rocío es la temperatura a la cual se debe enfriar el aire para que el vapor de agua se condense en rocío o escarcha. A cualquier temperatura hay una cantidad máxima de vapor de agua que puede contener el aire. Esta cantidad máxima se llama presión de saturación de vapor de agua. La adición de más vapor de agua produce condensación (Salazar, 2011).

3.4 CARACTERÍSTICAS MINERO-ENERGÉTICAS

El actual departamento del Cesar pertenecía antes al Magdalena Grande, para diciembre de 1967 cuando se separó de esta unidad territorial, la bonanza algodонера y en menor medida las actividades pecuarias eran el motor de la economía (Gamarra, 2005, p.2). A finales de los años ochenta se presentó una gran crisis económica a tal punto que los pequeños campesinos vendieron sus fincas, sumado a esto la grave situación social debido al conflicto armado agudizo aún más la situación.

Debido a este contexto, los gobernantes del departamento y la Nación vieron en el carbón una gran ventaja competitiva, la extracción de este mineral inicio a mediados de los años ochenta, pero en la década de los noventa arribaron las empresas extranjeras a las que se les adjudico grandes yacimientos (Montoya, 2018).

Para el año 2018, el país produjo 82.2 millones de toneladas, es el quinto mayor exportador de carbón del mundo después de Australia, Indonesia, Rusia y Estados Unidos, lo que representa el 76,6% de las exportaciones mineras de Colombia, el 18% de las exportaciones totales del país y cerca del 9% de las exportaciones mundiales de este mineral (ANM, 2019).

El 64% de la producción total provino del “Distrito Minero de la Jagua” en el departamento del Cesar (Acosta, 2020); según la Agencia Nacional de Minería (2019) tiene 348 títulos mineros vigentes; entre los principales compradores están países como Turquía, Holanda, Chile, México, España, Portugal, Estados Unidos, entre otros. (ANM, 2016).

Ascencio, et al (2015) afirma que el carbón producido en el “Distrito de la Jagua” se transporta mediante la infraestructura férrea manejada por la Red de Ferrocarriles del Norte (FENOCO), el cual conecta dicho distrito con los puertos de las bahías de Magdalena, además se creó una zona portuaria de las compañías Drummond y Glencore en las bahías de los municipios de Santa Marta y Ciénega. Las principales compañías transnacionales establecidas en el territorio del Cesar son Drummond Ltda. y Glencore (ver tabla 2), estas dos compañías explotan el 84% del total del área concedida para actividades mineras en este departamento, su volumen de extracción, transporte y explotación de carbón es el mayor en toda Colombia y a futuro tenderán a aumentar su producción. (p.14-15).

Tabla 2. Empresas más representativas en el Distrito La Jagua del departamento del Cesar

| Empresa | Empresa transnacional asociada | Nombre de la mina | Área de concesión minera en hectáreas | Porcentaje del total del área concesionada | Porcentaje de la producción total |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---|--|---|--|
| DRUMMOND | DRUMMOND | La Loma | 5.740 | 8.30 | 32.16 |
| C.I. PRODECO S.A. | GLENCORE | Calenturitas | 6.667 | 9.65 | 25.70 |
| DRUMMOND LTD. | DRUMMOND | Proyecto Integrado El Descanso (Similoa, Rincón, Hondo y Cerrolargo Centro) | 42.800 | 61.86 | 18.40 |
| Consorcio Minero Unido S.A. | GLENCORE | Yerbabuena | 438.5 | 0.63 | 9.20 |
| EMCARBON S.A. | Colombian Natural Resources | El Hatillo | 9.638 | 13.93 | 6.59 |
| Carbones de la Jagua | GLENCORE | La Jagua | 1.869 | 2.70 | 6.15 |
| Compañía Carbones del Cesar | Colombian Natural Resources | La Francia | 1.000 | 1.45 | 0.87 |
| NORCARBON S.S Área la Divisa | Pacific Coal Resources LTD | Cerrolargo Norte | 487 | 0.70 | 0.67 |
| Carbones del Tesoro S.A. | GLENCORE | La Victoria | 540 | 0.78 | 0.26 |

Nota. Esta tabla muestra las empresas de explotación de carbón más representativas en el departamento del Cesar. (2015). Recuperado de Centro de Estudios para la justicia social (Tierra Digna). <https://tierradigna.org/pdfs/informe-carbon.pdf>

3.5 CAMBIO CLIMÁTICO

El clima de la tierra está controlado por la radiación solar que ingresa al planeta, la tierra intercepta los rayos solares, los que al atravesar la atmosfera sufren un proceso de debilitamiento (difusión, reflexión y absorción). Desde la superficie el calor se transfiere mediante diversos mecanismos a la atmósfera, algunos gases componentes el aire como el dióxido de carbono y el metano retienen parte de esta energía de onda larga que la superficie emite hacia el espacio, manteniéndola así en la atmósfera, constituyendo así el efecto invernadero, algunos de estos gases ya emitidos permanecerán actuando en la atmósfera, algunos hasta cien años (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2018, p. 12)

El clima de un lugar o región depende de donde se encuentre dentro de esa distribución global (humedad del aire o nubes) y energía solar (calor), si está lejos o cerca del Ecuador, si se localiza al nivel del mar o a cierta altura, si está en una topografía plana o montañosa, los sistemas de circulación general de la atmósfera y si tiene influencia de corrientes marinas (Fundación Española para la Ciencia y Tecnología [FECTY], 2018, p. 60).

Colombia no es ajena a esta problemática, Costa (2007) afirma que el monitoreo sistemático del IDEAM permite afirmar que, de manera similar al igual al resto del planeta, los glaciares colombianos pierden entre 50 centímetros y un metro de espesor al año. Desde 1960, el nivel del mar aumentó en promedio 1.8 milímetros al año en el planeta, mientras que en los últimos diez años viene aumentando en 3.1 milímetros por año. En Colombia se percibe un comportamiento parecido. El IDEAM ha registrado, en Cartagena y en Tumaco, incrementos de entre 3 y 5 milímetros por año durante los últimos cincuenta años, lo cual ha hecho que durante este período el nivel medio del mar en las costas colombianas haya aumentado 10 cm en el Caribe y 22 cm en el Pacífico. Por otra parte, durante los últimos 50 años la temperatura promedio de la superficie aumentó 0.65°C. No puede ser coincidencia que, a partir de 1995, prácticamente todos los años hayan sido los más calientes de la historia, igualmente existen evidencias de que el incremento de la temperatura es mayor a mayores alturas, lo que permite suponer que los impactos serán mayores a mayor altitud (p.75).

La magnitud del cambio climático y sus impactos dependerá de los controles efectivos a la emisión de gases efecto invernadero, según el IDEAM (2010) para el año 2100 el aumento de la temperatura promedio puede llegar a ser de 3.5 °C, el nivel promedio del mar puede subir hasta 60 cm, en el 2050 habrá desaparecido el 80% del área glaciar del país y el 60% del área de páramos estará altamente degradada, se redistribuirán las lluvias debido a cambios en la circulación de la atmósfera, aumento de la precipitación en el pacífico colombiano y reducción en la cuenca del caribe y en las zonas secas se acelerara el proceso de desertificación (p.10).

3.6 FENÓMENOS CLIMÁTICOS

De acuerdo con Montealegre (2007), el ciclo conocido como Niño y Niña u Oscilación del Sur (ENOS) es la causa de la mayor señal de variabilidad climática en la franja tropical del Océano Pacífico, debido a la variación interanual del campo de presión atmosférica cerca de la superficie en la región del Pacífico centro-occidental. Los fenómenos del ciclo ENOS son el resultado de la interacción entre el océano y la atmósfera, su ocurrencia produce fuertes perturbaciones sobre la circulación atmosférica global y sus efectos climatológicos tienen dramáticas implicaciones socioeconómicas y ambientales en casi todo el planeta (p.6).

Dada a su localización geográfica, Colombia recibe la influencia directa de los procesos que se suscitan en el sistema acoplado océano-atmósfera del Pacífico tropical, asociados al ciclo ENOS. Se ha podido

establecer claramente que la intensidad de los fenómenos Niño y Niña están en función directa con la magnitud de las anomalías registradas en la temperatura superficial y subsuperficial del océano y con el área cubierta por las mismas; la influencia de dicha intensidad no es lineal y puede ser diferente de la magnitud del efecto climático y del impacto producido por los fenómenos de las actividades humanas (Montealegre, 2007).

3.6.1 Fenómeno del Niño

El Niño hace parte de un fenómeno mucho más extenso denominado ENOS “Niño Oscilación del Sur” en el que las oscilaciones de presión atmosférica entre la parte oriental Ecuatorial y occidental del océano Pacífico Tropical se debilitan reversando los vientos alisios, calentando y llevando el agua desde el occidental al oriente en la Costa Suramericana, creando con esto una redistribución de las corrientes aéreas con déficit de lluvia, principalmente en los países cercanos al Ecuador. Este es un fenómeno de interacción entre el océano y la atmósfera, por tanto, para que Niño se dé completamente se requiere que se presenten cambios en ambos, lo que se conoce como “acoplamiento total” (Pabón, et al. 2017).

3.6.2 Fenómeno año Niña

También denominado Niña Oscilación del Sur, durante este fenómeno la presión atmosférica del nivel del mar tiende a ser más baja en el Pacífico occidental y más alta en el Pacífico oriental, presentando condiciones frías extremas, produciendo enfriamiento de grandes extensiones de este océano, por lo menos durante seis meses, por su magnitud altera sensiblemente el clima en diferentes regiones del planeta generando un aumento considerable de las precipitaciones y una disminución de las temperaturas (IDEAM, 2011).

3.7 EFECTOS DE LA MINERA EN LA ACELERACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO

La minería a cielo abierto conlleva impactos ambientales que no se pueden evitar y que por lo general tienen una alta incidencia sobre el entorno natural, se ha evidenciado que la explotación minera afecta la mayor parte de los sistemas naturales, la fauna, la flora, los cuerpos de agua, el aire y los suelos, modificando en su totalidad las condiciones normales de vida de la población y su entorno natural; asimismo, aumenta la vulnerabilidad de los ecosistemas, ante la variabilidad climática y el cambio climático (Greenpeace, 2018, p.10).

Según la Defensoría del Pueblo (2015), entre las consecuencias ambientales que más produce este tipo de explotación minera encontramos: emisiones a la atmósfera tanto sólidas (polvo en las voladuras, carga y transporte) como gases liberados en el proceso de extracción (CO_2 y CO), deforestación de bosques naturales y demás ecosistemas estratégicos, remoción y degradación de cobertura vegetal es la segunda causa de la emisión de gases efecto invernadero, erosión y desertificación de los suelos.

La minería tiene un triple impacto sobre el agua: consume, contamina y destruye sus cauces, de acuerdo con los estudios de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) para extraer una tonelada de carbón se requieren $1,43 \text{ m}^3$; el agua residual producto de la explotación minera no tiene ningún tipo de tratamiento contaminando cauces y ríos (p.179).

3.8 EFECTOS AMBIENTALES POR LA MINERÍA EN EL CESAR

La extracción, el transporte y la exportación de carbón se han desplegado de forma avasalladora sobre el departamento del Cesar, a través del establecimiento de amplias minas a cielo abierto, extensas vías férreas y tecnificados puertos de embarque. En 2015 la explotación minera ocupaba un poco más del 14% del área total de este departamento, esto junto a múltiples operaciones industriales relacionadas, amenaza con destruir el entorno natural de miles de personas y especies naturales (MinMinas, 2016).

Una de las zonas más afectadas ha sido Boquerón (La Jagua de Ibirico) donde sus pobladores basan su economía en actividades productivas ancestrales como la pesca, la caza, la pequeña ganadería y la agricultura, sin embargo, en los últimos 20 años debido a la llegada de la minería de carbón a gran escala se han visto obligados a transformar sus territorios debido a los efectos ambientales de esta industria. (El carbón de Colombia ¿Quién gana, quién pierde? 109-112).

La calidad del aire ha sido una de las más afectadas por la extracción y el transporte de carbón, debido a que pequeñas partículas del mineral son emitidas a la atmósfera, los contaminantes que son transportados en el aire se diluyen y son sujetos a cambios físicos y químicos que pueden causar serios efectos en la salud de las personas, el agua, la vida silvestre y en el clima.

El recurso hídrico también se ha visto afectado, se estima que las compañías carboníferas emplean aproximadamente 6 millones de metros cúbicos al año; informes científicos apuntan a que el cambio climático y las explotaciones mineras disminuirán la disponibilidad del agua a futuro porque estos reducen la oferta del recurso hídrico mediante mecanismos como el aumento de la temperatura, la modificación del régimen de lluvias, el elevado consumo de agua para el proceso de extracción y la acidez de las aguas utilizadas por la minería.

La explotación carbonífera impacta en el suelo y paisaje lo cual se traduce en la transformación de zonas donde antes se desarrollaba actividades productivas con una pérdida irreversible del recurso suelo, capa vegetal que contiene materia orgánica (Ascencio, et al, 2015, p. 112-145).

3.9 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

La geografía está compuesta por diferentes visiones entre las cuales está la visión ecológica que hace referencia al estudio de la relación hombre-medios, la visión cronológica, estudia la diferenciación de espacios sobre la superficie terrestre y finalmente esta la visión sistémica, la encargada del estudio de las leyes que rigen las pautas de distribución espacial, siendo estas tres unificadas dan como resultado final que la geografía puede ser definida como la ciencia de la organización del territorio (resultado de múltiples interacciones entre la sociedad y el medio a través de la evolución histórica), siendo está considerada como ciencia aplicada o ciencia aplicable (Buzai et al, 2019).

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) o Geographic Information System (GIS) se ha convertido en una tecnología que agrupa un conjunto integrado de medios y métodos informáticos capaz de recolectar, almacenar, relacionar, actualizar, editar, analizar y visualizar datos de localización con atributos alfanuméricos, además presenta una serie de posibilidades orientadas hacia el análisis multicriterio de la información, con el fin de convertirla en elementos de juicio para ayudar en la toma de decisiones.

Este sistema permite separar la información de diferentes capas (layers) temáticas y almacenarlas independientemente, permitiendo trabajar con ellas de forma rápida y sencilla, facilitando al profesional la

posibilidad de relacionar la información existente; además, un SIG ayuda a comprender las complejas relaciones espaciales (Sáenz, 2015).

3.10 MODELOS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

En función del modelo de datos implementados en cada sistema, se pueden distinguir tres grandes grupos de Sistema de Información Geográfica:

- **SIG Vectorial:** los elementos geográficos se representan a partir de tres estructuras básicas como puntos, líneas y polígonos.
- **SIG Ráster:** se caracterizan por la existencia de una red formada por celdas o cuadrículas, más comúnmente conocidas como píxel, en la que cada cuadrícula o píxel presenta una cualidad o propiedad espacial (color, altitud, etc.).
- **SIG Orientado a objetos:** organizan la información geográfica a partir del propio objeto geográfico y sus relaciones con otros a través del tiempo y/o espacio de este (Morea., et al, 2017).

3.11 ELEMENTOS QUE COMPONEN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) está compuesto de los siguientes elementos:

- **Los equipos o "hardware":** compuesto por el computador con sus respectivos dispositivos periféricos, incluyendo dentro de ellos los que permitan la entrada y salida de datos gráficos.
- **El componente operativo o "software":** compuesto por los comandos y programas especializados que actúan sobre la información contenida en la base de datos. Adicionalmente, incluye los programas de aplicación diseñados por el usuario.
- **Base de datos:** Los datos son la materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, y los que contienen la información geográfica vital para la propia existencia de los SIG.
- **Métodos:** Un conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos.
- **Recursos Humanos:** personal multidisciplinario que no sólo resuelvan los problemas de entrada y manipulación de los datos, sino la conceptualización y análisis eficiente de las bases de datos integradas y las modelaciones desarrolladas con base en las tecnologías multicriterio (Olaya, 2014).

3.12 UTILIDAD DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La mayor utilidad de un SIG está íntimamente relacionada con la capacidad de visualizar datos de forma gráfica y de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de la integración y combinación de datos de diversa naturaleza dentro de un marco territorial; estos modelos son muy útiles para la simulación de los efectos que produce sobre un determinado territorio.

Además los SIG contribuyen al análisis y aportan soluciones para un amplio rango de necesidades, como por ejemplo: producción y actualización de cartografía, regulación del uso del suelo, catastro, atención de emergencias: incendios, terremotos, accidentes de tránsito, estratificación socioeconómica, gestión medioambiental, evaluación de áreas de riesgos (prevención y atención de desastres), localización óptima de las infraestructuras, diseño y mantenimiento de la red vial., formulación y evaluación de planes de desarrollo social, entre otras (Olaya, 2014).

4. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

El uso de los sistemas de información geográfica ha sido empleado exitosamente para estudios ambientales y climatológicos tanto en el país como en el exterior, dentro de los que se encuentran:

Propuesta metodológica para el desarrollo de SIG mineros en Colombia por medio de la georreferenciación de cada uno de los puntos y polígonos donde se encontraban las explotaciones mineras (legales o ilegales) y caracterización social y económica de la zona, esta información fue comparada con la información de INGEOMINAS, alcaldías municipales, Corporaciones Autónomas Regionales y demás entes territoriales con el propósito de unificar la información en una base de datos, para el posterior diseño y estructuración de la herramienta que pueda ser consultada por el público y que su información (cartografía) este actualizada en tiempo real (Delgado., et al, 2011).

Diseño de un Sistema de Información Geográfica para la ubicación optima de una instalación minera en el Principado de Asturias, España. Los datos para la construcción del SIG es la localización de cinco posibles zonas de ubicación determinadas por una evaluación ambiental que tuvo en cuenta criterios como topografía, vegetación, geología, espacios naturales protegidos, hidrología, población, entre otros. El programa empleado fue el Geo Media Professional de la compañía americana Intergraph, esta herramienta es una de las más avanzadas del mercado. La información obtenida para cada uno de los indicadores se encuentra en diferentes formatos, principalmente Shapefile (SHP); se realizó un análisis a través de una matriz de valoración para la determinación de las diferentes alternativas para la ubicación de la mina (Ávila, 2014).

Sistematización de la información geográfica de los lugares de explotación minera a cielo abierto cercanos a la ciudad de Tunja, Boyacá, a través de una aplicación de fácil acceso a los actores del mercado de materiales para la construcción. Para lo cual se realizó una geolocalización y caracterización de la situación actual de la explotación de canteras y areneras. Se determinaron los atributos que se diligencian en el SIG, teniendo en cuenta la información de los datos tanto antiguos como de los obtenidos a través de la recopilación efectuada en el estudio. Finalmente, se diseña el SIG, con sus respectivos atributos para las canteras de explotación ubicadas en este municipio. El enfoque de la investigación implicó un proceso de recolección, análisis de los resultados, vinculando datos tanto cuantitativos como cualitativos, posibilitando así la creación del sistema de información geográfica. Bajo este contexto de trabajo investigativo se diseñó un aplicativo SIG con la ayuda de plataformas como de Google Maps y la segunda con AppBuilder de ArcGIS Web conectada a Survey 123 (González., et al, 2020).

Utilidad de las herramientas SIG en la modelización hidrogeológica de minas subterráneas, a través del desarrollo de diferentes etapas, la primera fue la recopilación, análisis y valoración de información de los datos mineros como el nivel hidrológico y la longevidad de la actividad minera, alguna de esta información se convirtió en formato CAD (.dxf, .dwg, .dgn) a Shapefile (.shp), ya con esta información se hizo una transformación de coordenadas; la segunda etapa fue la conceptualización del problema con el objetivo de formular un modelo conceptual hidrogeológico, la identificación y la cuantificación adecuada de los procesos que representan el comportamiento del sistema real; tercera etapa la modelización numérica, con la ayuda de ArcGIS se creó la geometría del dominio tridimensional del modelo, haciendo uso de archivos que previamente han sido almacenados en la base de datos lo cual permitió visualizar la red hidrogeológica de la mina y con ello tomar mejores y más acertadas decisiones (Noriega., et al, 2014).

Uso de la Geomorfología y el SIG para caracterizar el impacto de actividades mineras en zonas kársticas: el entorno de la cueva de Las Herrerías (Asturias, España), la extracción de áridos y elementos metálicos (hierro y manganeso) ha provocado la modificación del paisaje natural del entorno, habiéndose generando

tanto cortes de extracción como rellenos artificiales que se observan bien en superficie. La impronta de la actividad antrópica también se ha podido observar en el interior de la cavidad, con la presencia de acumulaciones de arenas y fangos procedentes de una explotación de arenas silíceas. Para poder discernir cuáles son las formas naturales y cuáles han sido afectadas por el hombre, ha sido fundamental la utilización de técnicas geomorfológicas de Sistemas de Información Geográfica a través de la recopilación de la información topográfica digital a escala 1:5.000 (2003) y de las fotografías aéreas a escalas 1:18.000 (1995) y 1:15.000, elaboración de una cartografía preliminar a partir de trabajos de fotointerpretación, elaboración de una cartografía geológica a escala 1:10.000, elaboración de un mapa geomorfológico a escala 1:5.000, digitalización de la cartografía y creación de una base de datos georreferenciada y creación de modelos digitales del terreno, perfiles interpretativos y análisis cuantitativos espaciales de los elementos cartografiados; todos estos estudios llevaron a la conclusión, la actividad minera de la zona ha dejado una impronta en el paisaje en forma de cortas de explotación y de rellenos antrópicos y la utilización conjunta de métodos de trabajo geológicos y geomorfológicos junto con Sistemas de Información Geográfica será fundamental para evaluar cuantitativamente el impacto antrópico en la zona (Cuesta., et al, 2010).

5. METODOLOGÍA

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados, se planteó el proceso metodológico descrito en la Gráfica 2:

Gráfica 2. Diagrama metodológico



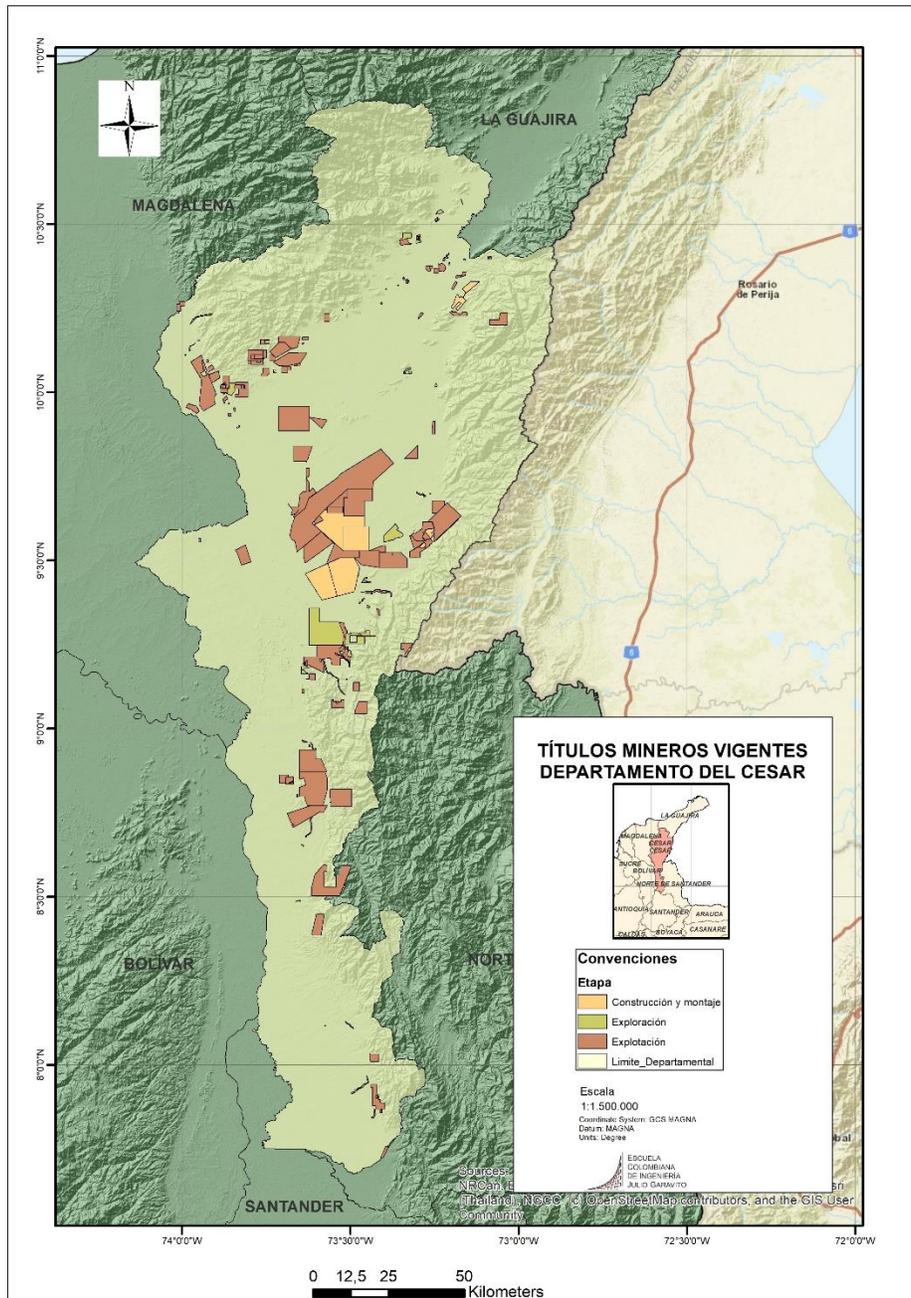
Fuente: Propia

Nota. Este gráfico representa la metodología empleada en este estudio.

6. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Departamento del Cesar se encuentra situado al norte del país, en la llanura del Caribe; localizado entre los $07^{\circ}41'16''$ y $10^{\circ}52'14''$ de latitud norte y los $72^{\circ}53'27''$ y $74^{\circ}08'28''$ de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 22.925 km^2 lo que representa el 2% del territorio nacional. Limita por el norte con los departamentos de Magdalena y La Guajira, por el este con la República de Venezuela y el departamento de Norte de Santander, por el sur con los departamentos de Norte de Santander y Santander y por el oeste con los departamentos de Bolívar y Magdalena, así mismo, el departamento del Cesar está dividido en 25 municipios, 165 corregimientos, 3 inspecciones de policía, así como, numerosos caseríos y sitios poblados (Hurtado, 2015, p. 2).

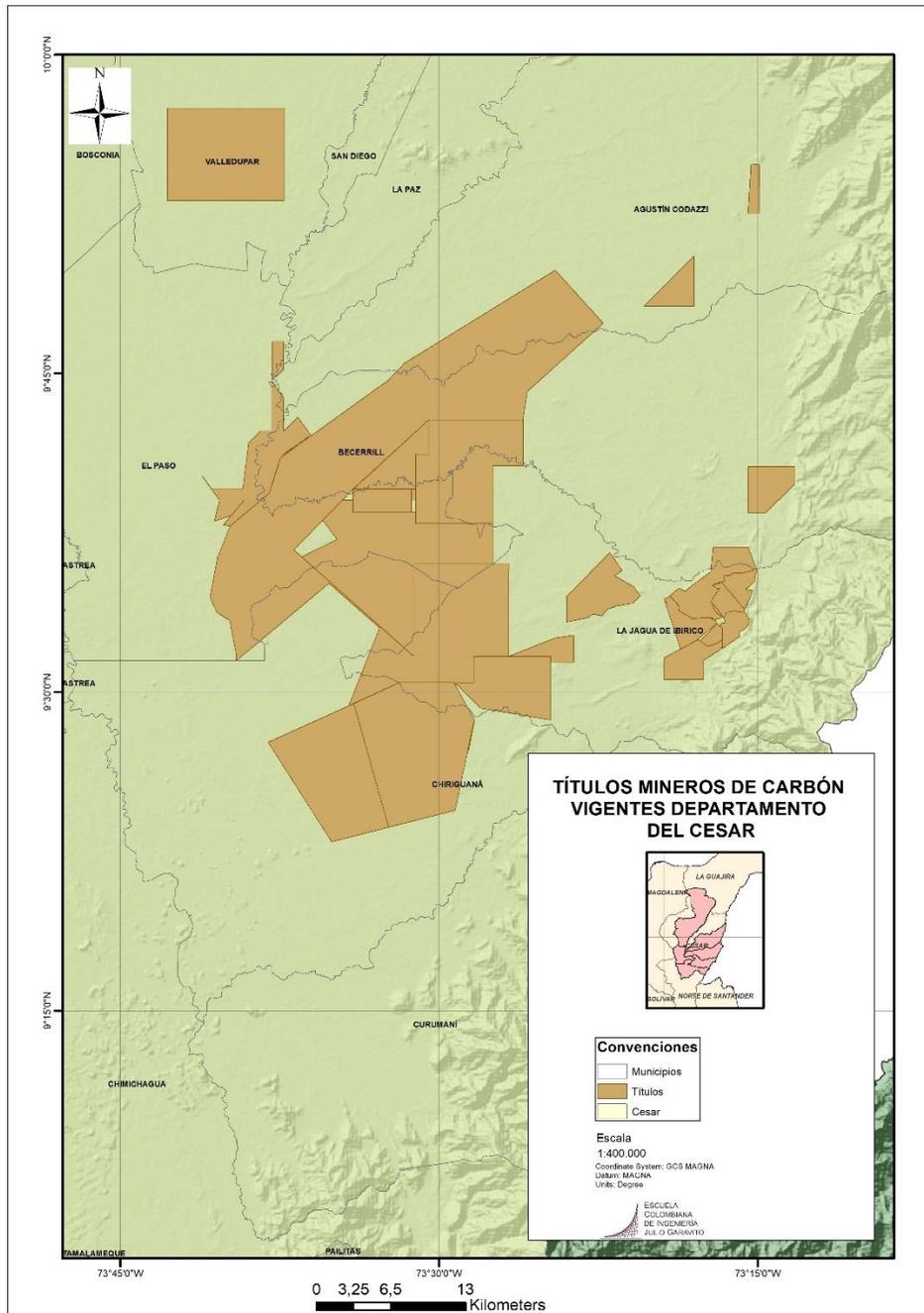
Gráfica 3. Títulos mineros vigentes departamento del Cesar



Fuente: Propia

Nota: El mapa representa los títulos mineros vigentes departamento del Cesar.

Gráfica 4. Títulos mineros de carbón vigentes departamento del departamento del Cesar



Fuente: Propia

Nota: El mapa representa los títulos mineros de carbón vigentes departamento del departamento del Cesar.

7. OBTENCIÓN Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Inicialmente, se planteó la alternativa de hacer uso de imágenes LANDSAT (banda térmica TIRS) para la determinación de la temperatura, el diseño y la construcción del modelo de predicción climatológico, pero se evidenciaron diversas anomalías que no permitieron continuar con el uso de estos insumos, entre ello, se encontró que dichas imágenes no proporcionaban ninguna continuidad temporal en la información debido a la resolución temporal de sensor, se evidenció que hubo presencia de fenómenos exógenos a la temperatura como la nubosidad, (en varias ocasiones se evaluó la temperatura en un lugar determinado con alta presencia de nubosidad arrojando datos erróneos) y, la información que proporcionan las imágenes LANDSAT, no son datos promedios, por lo que sólo indican la temperatura en un momento determinado del día, lo cual, limita la oportunidad de realizar un análisis más detallado.

Tal y como se indicó previamente la información del sensor LANDSAT no pudo ser utilizada como fuente primaria, sin embargo, se utilizó como fuente secundaria para procesos de verificación, adicionalmente a esta información también se utilizaron otras fuentes de registro de datos terrestres como las de los concesionarios mineros, corporaciones autónomas regionales y datos científicos continuos en formato NetCDF.

De acuerdo con lo anteriormente planteado, se optó tomar información climatológica recopilada y trabajada por el *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)* (Ver anexo datos crudos) por lo que se solicitó sin resultado alguno, razón por la que se requirió mediante un derecho de petición (ver apéndice 1), la información del periodo comprendido entre el año de 1954 al 2016.

Adicionalmente es importante indicar que para el análisis no se utilizaron como referencia únicamente las estaciones existentes en el departamento del Cesar, en este sentido se tomaron además las estaciones existentes en zonas aledañas al departamento que pudiesen ser requeridas para que espacialmente se pudiera cubrir toda la zona de estudio, debido a que tan solo existen 7 estaciones IDEAM con datos registrados para el Departamento en estudio (Ver anexo estaciones climatológicas).

Seguido de ello, se procedió a realizar un análisis y se observó que de acuerdo con la longitud de la serie durante los años comprendidos entre 1954 al 1979, los datos no tenían continuidad, razón por la que se definió el periodo de trabajo entre el año 1980 hasta 2016.

Igualmente ocurrió que, inicialmente se solicitó la información de 21 estaciones, pero solo 19 contaban con datos continuos, como se observa en la Tabla 3; los datos diarios de cada estación climatológica terrestre no fueron proporcionados por el IDEAM (ver anexo 2), por tal motivo esta investigación se realizó con la información mensual de cada estación climatológica terrestre.

Tabla 3. Estaciones climatológicas del área de estudio

| Numero de Estación Terrestre Climatológica | Código de Identificación | Nombre de la Estación Terrestre Climatológica | Municipio de localización | Departamento de localización |
|---|---------------------------------|--|----------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 15015060 | San Lorenzo | Santa Marta | Magdalena |
| 2 | 16025030 | Salazar | Salazar | Norte de Santander |
| 3 | 16055010 | Aeropuerto Aguas Claras | Ocaña | Norte de Santander |
| 4 | 16055020 | Teorama | Teorama | Norte de Santander |
| 5 | 16055040 | Abrego Centro | Übrego | Norte de Santander |
| 6 | 16055060 | La Playa | La Playa | Norte de Santander |
| 7 | 16055090 | Institución Agrícola Convención | Convención | Norte de Santander |
| 8 | 23185010 | Villa Leiva | Sabana de Torres | Santander |
| 9 | 25025090 | Aeropuerto Las Flores | El Banco | Magdalena |
| 10 | 25025100 | Aeropuerto Baracoa | Magangual | Bolívar |
| 11 | 25025250 | Chiriguana | Chiringuaní | Cesar |
| 12 | 28015070 | Urumita | Urumita | La Guajira |
| 13 | 28025020 | El Callao | | |
| 14 | 28025070 | Motilona Codazzi | Agustín Codazzi | Cesar |
| 15 | 28025080 | Socomba | Becerril | Cesar |
| 16 | 28025090 | Hacienda Centenario | Agustín Codazzi | Cesar |
| 17 | 28035010 | Villa Rosa | Valledupar | Cesar |
| 18 | 28035020 | El Callao | Valledupar | Cesar |
| 19 | 28035040 | Guaymaral | Valledupar | Cesar |
| 20 | 23195040 | Universidad Industrial de Santander | Bucaramanga | Santander |
| 21 | 25025240 | Majagual | Majagual | Sucre |

Nota. Esta tabla consiga el nombre, municipio y departamento donde se ubican las estaciones climatológicas del área de estudio, las estaciones climatológicas terrestres 20 y 21 no fueron incluidas en esta investigación.

Tabla 4. Número de datos mensuales por año de las estaciones climatológicas terrestres del área de estudio

| Año | 15015060 | 16025030 | 16055010 | 16055020 | 16055040 | 16055060 | 16055090 | 23185010 | 25025090 | 25025100 | 25025250 | 28015070 | 28025020 | 28025070 | 28025080 | 28025090 | 28035010 | 28035020 | 28035040 | 23195040 | 25025240 | |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----|
| 1954 | | | | | | | | | 12 | 12 | | | | | | | | | | | | |
| 1955 | | | | | | | | | 9 | 11 | | | | | | | | | | | | |
| 1956 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1957 | 12 | | | | | | | | 5 | | | | | | | | | | | | 12 | |
| 1958 | | | | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1959 | | | | | | | | | 12 | | | | | | | | | | | | | |
| 1960 | | | | | | | | | 12 | | | | | | | | | | | | | |
| 1961 | | | | | | | | | 12 | | | | | | | | | | | | | |
| 1962 | | | | | | | | | 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 1963 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1964 | | | | | | | | | | | | | 8 | | | | | | | | 3 | |
| 1965 | | | | | | | | | | | | | 3 | | | | | | | | 3 | |
| 1966 | | | | | | | | | | | | | 7 | | | | | | | | 7 | |
| 1967 | | | | | | | | | | | | | 12 | | | | | | | | | |
| 1968 | | | | | | | | 3 | 11 | | | | 12 | | | | | | | | | |
| 1969 | 12 | | | | 6 | | | 12 | 11 | 8 | | | 12 | | | | 2 | 10 | | | 8 | |
| 1970 | 11 | | | | 12 | | | 12 | 11 | 12 | | | 12 | | | | 2 | 12 | | | 12 | |
| 1971 | 12 | | | | 12 | | | 12 | 10 | 4 | | | 12 | | | | 8 | 12 | | | 12 | |
| 1972 | | | | | 12 | | | 12 | 8 | | | | 12 | | | 4 | | 5 | 12 | 2 | 12 | |
| 1973 | 12 | | | 4 | 12 | | | 12 | 8 | 9 | 6 | | 12 | 6 | | | | 11 | 11 | 10 | 12 | |
| 1974 | 12 | 12 | | | 12 | 12 | | 12 | 12 | 12 | 11 | | 12 | | | | 4 | 12 | 4 | 12 | | |
| 1975 | 12 | 12 | | | 12 | 12 | | 12 | 12 | 11 | 12 | 4 | 12 | 12 | 2 | | 5 | 11 | 11 | 12 | 9 | |
| 1976 | 11 | 12 | | | 12 | 12 | | 12 | 10 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | | | 11 | 12 | 10 | 12 | 11 | |
| 1977 | 11 | 12 | | | 12 | 12 | | 12 | 3 | 10 | 9 | | 12 | 12 | 11 | | 12 | 11 | 1 | 12 | 5 | |
| 1978 | 12 | 12 | | | 12 | 12 | | 12 | 2 | 1 | 2 | 12 | 12 | 12 | 11 | | | | 10 | | 12 | 1 |
| 1979 | 12 | 12 | 2 | | 12 | 12 | | 12 | | 2 | 8 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | | 1 | 5 | 12 | 9 | |
| 1980 | 12 | 12 | | | 12 | 12 | | 12 | 12 | | | 12 | 12 | 12 | 12 | | 9 | 4 | | 12 | 12 | |
| 1981 | 12 | 12 | | | 12 | 12 | | 12 | | | 7 | 12 | 12 | 12 | 12 | 3 | | 5 | 2 | 12 | 12 | |
| 1982 | 10 | 12 | | | 12 | 12 | | 12 | | | 1 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | | 4 | 4 | 12 | 12 | |
| 1983 | 12 | 12 | | | 12 | 12 | | 12 | | 8 | | 12 | 11 | 12 | | 12 | | 5 | | 12 | 12 | |
| 1984 | 11 | 12 | 3 | | 12 | 12 | | 12 | | 12 | 2 | 12 | 12 | 12 | 5 | 12 | | 2 | | 12 | 12 | |
| 1985 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | | 11 | | | 10 | 12 | 10 | 12 | 12 | 12 | 11 | 5 | 6 | 12 | 12 | |
| 1986 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | | 12 | 12 | | 12 | 10 | 12 | 11 | 12 | 6 | 11 | 9 | | 4 | 12 | 12 | |
| 1987 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | | 12 | | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 10 | 12 | 12 | 12 | 12 | |
| 1988 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | | 12 | | | | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | |
| 1989 | 11 | 12 | | | 12 | 12 | 12 | 12 | | | | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |

| Año | 15015060 | 16025030 | 16055010 | 16055020 | 16055040 | 16055060 | 16055090 | 23185010 | 25025090 | 25025100 | 25025250 | 28015070 | 28025020 | 28025070 | 28025080 | 28025090 | 28035010 | 28035020 | 28035040 | 23195040 | 25025240 |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1990 | 6 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 5 | 12 | | 1 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 1991 | 12 | 12 | | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | | 3 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 1992 | 12 | 12 | | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 2 | 8 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 |
| 1993 | 12 | 12 | | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 6 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 1994 | 12 | 12 | | | 7 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 6 |
| 1995 | 12 | 12 | 11 | 12 | | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 9 |
| 1996 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 |
| 1997 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 1998 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 8 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 1999 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 2000 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 2001 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 2002 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 4 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 2003 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 2 | 12 | 12 | 12 | 12 | | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 |
| 2004 | 12 | 12 | 6 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 2 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 8 | | 12 |
| 2005 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 5 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | | 12 |
| 2006 | 12 | 12 | | 12 | 12 | 12 | 12 | | 12 | 11 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | | 11 |
| 2007 | 12 | 12 | 6 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | | |
| 2008 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | | |
| 2009 | 12 | 12 | 12 | 6 | 12 | 11 | 12 | 12 | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | | 2 |
| 2010 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 9 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | | |
| 2011 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 9 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | | |
| 2012 | 12 | 6 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 4 | | 12 | 12 | 12 | | 12 | 12 | 12 | 12 | | |
| 2013 | 12 | 12 | 11 | 10 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 10 | 5 | 12 | 12 | 11 | | 12 | 12 | 12 | 12 | | |
| 2014 | 11 | 12 | 10 | 4 | 9 | 12 | 12 | 8 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | | | 12 | 9 | 9 | 12 | | |
| 2015 | 11 | 12 | 2 | | 4 | 12 | 10 | 12 | 10 | 12 | 9 | 9 | 11 | 12 | | 12 | 5 | 7 | 10 | | |
| 2016 | 12 | 12 | 12 | 6 | 12 | 12 | | 12 | 11 | 9 | | 12 | 12 | 12 | | 12 | 11 | 12 | 9 | | |

Fuente: Propia

Nota. Esta tabla consigna el número de datos anuales mensuales por año de las 21 estaciones climatológicas terrestres del IDEAM, del periodo comprendido entre 1954 y 2016 las estaciones climatológicas 23195040 y 25025240 no se incluyeron en esta investigación.

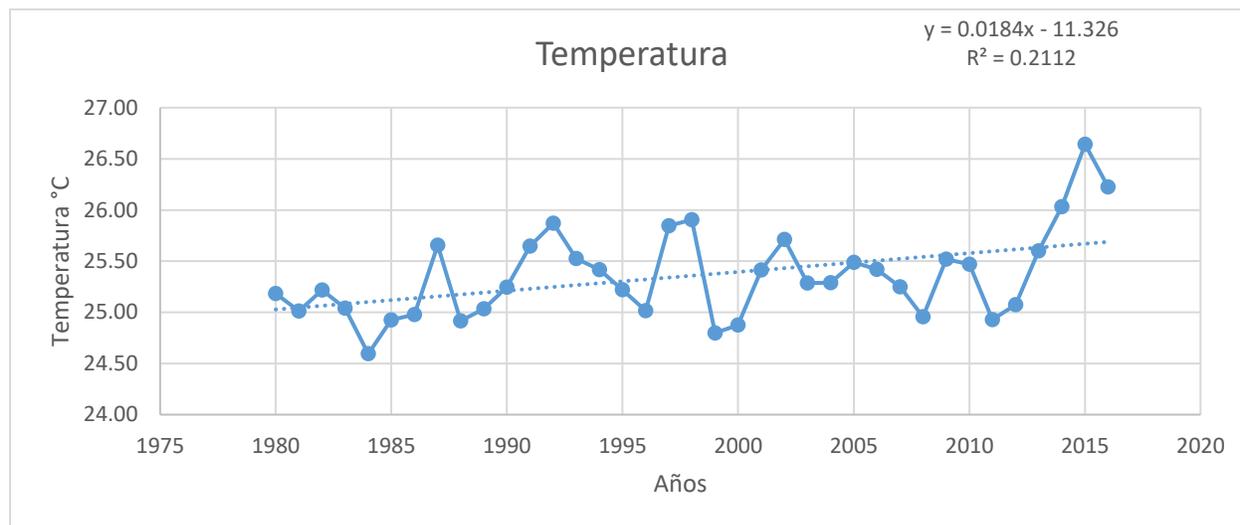
A partir de la información de temperatura suministrada por el IDEAM se calcularon los promedios de temperatura zonal multianual (Ver tabla 5), se generó una gráfica (Ver Gráfica 6) que permite visualizar a nivel zonal el comportamiento de la temperatura promedio la zona de estudio para los años trabajados (1980-2016).

Tabla 5. Promedio de temperatura zonal multianual

| Año | Temperatura (°C) |
|------|------------------|
| 1980 | 25,184 |
| 1981 | 25,013 |
| 1982 | 25,215 |
| 1983 | 25,040 |
| 1984 | 24,594 |
| 1985 | 24,924 |
| 1986 | 24,978 |
| 1987 | 25,655 |
| 1988 | 24,916 |
| 1989 | 25,033 |
| 1990 | 25,244 |
| 1991 | 25,647 |
| 1992 | 25,869 |
| 1993 | 25,526 |
| 1994 | 25,415 |
| 1995 | 25,221 |
| 1996 | 25,015 |
| 1997 | 25,847 |
| 1998 | 25,905 |
| 1999 | 24,799 |
| 2000 | 24,876 |
| 2001 | 25,415 |
| 2002 | 25,713 |
| 2003 | 25,287 |
| 2004 | 25,289 |
| 2005 | 25,489 |
| 2006 | 25,419 |
| 2007 | 25,249 |
| 2008 | 24,957 |
| 2009 | 25,520 |
| 2010 | 25,471 |
| 2011 | 24,929 |
| 2012 | 25,075 |
| 2013 | 25,599 |
| 2014 | 26,031 |
| 2015 | 26,642 |
| 2016 | 26,225 |

Fuente: Propia

Gráfica 6. Promedios anuales zonales de temperatura en el departamento del Cesar



Nota: En esta Gráfica se observa una tendencia de aumento en la temperatura durante el tiempo.

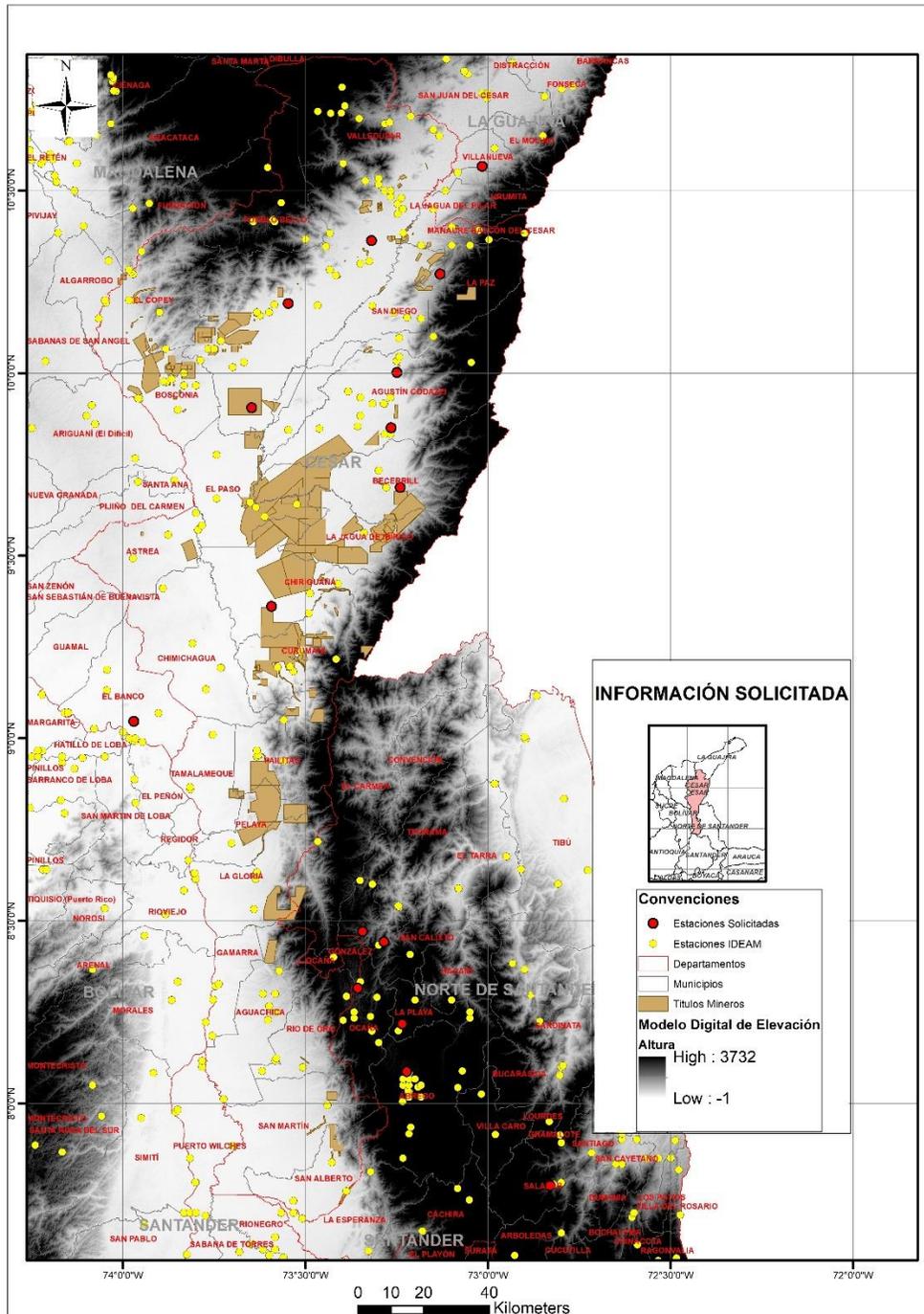
La información temática, estadística, geográfica y alfanumérica necesaria para el desarrollo de esta investigación se relaciona en la Tabla 6, las capas vectoriales requeridas se obtuvieron de los geo-portales de diferentes entidades públicas, en formato tipo Shapefile. Teniendo en cuenta la importancia de manejar el mismo sistema de proyección de coordenadas, en las capas se utilizó el sistema de referencia: Magna Sirgas origen Bogotá (EPSG: 3116), en caso de contar con capas diferentes a este sistema de referencia, se empleó las herramientas SIG para estandarizar esta información.

Tabla 6. Capas requeridas para el desarrollo de la investigación

| Nombre de la Capa | Institución | Escala | Formato |
|---|--------------------------------------|-----------|-----------------------|
| Modelo Digital de elevación | Instituto Geográfico Agustín Codazzi | 12.5 m | Ráster |
| Limite Municipal | Instituto Geográfico Agustín Codazzi | 1:100.000 | Vector, tipo polígono |
| Limite Departamental | Instituto Geográfico Agustín Codazzi | 1:100.000 | Vector, tipo polígono |
| Títulos mineros vigentes y Solicitados | Ministerio de Minas y Energía | 1:25.000 | Vector, tipo polígono |
| Puntos de monitoreo del IDEAM | IDEAM | 1:25.000 | Vector, tipo punto |
| Estaciones Meteorológicas del dpto. Cesar | IDEAM | 1:25.000 | Vector, tipo punto |

Nota. Esta tabla consiga las capas requeridas para el desarrollo de la investigación.

Gráfica 7. Información solicitada para el desarrollo de la investigación



Fuente: Propia

Nota: El mapa representa información solicitada para el desarrollo de la investigación.

8. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

8.1 COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LA TEMPERATURA

Para entender como ha sido el comportamiento de la temperatura histórico en el departamento se genera una tabla (Ver tabla 7), la cual presenta los promedios de temperatura anual para los años de estudio de las estaciones que tienen incidencia en la zona del proyecto, en esta tabla se puede observar un leve aumento de la temperatura en cada una de las estaciones conforme pasa el tiempo.

Tabla 7. Promedios anuales de temperatura por estación

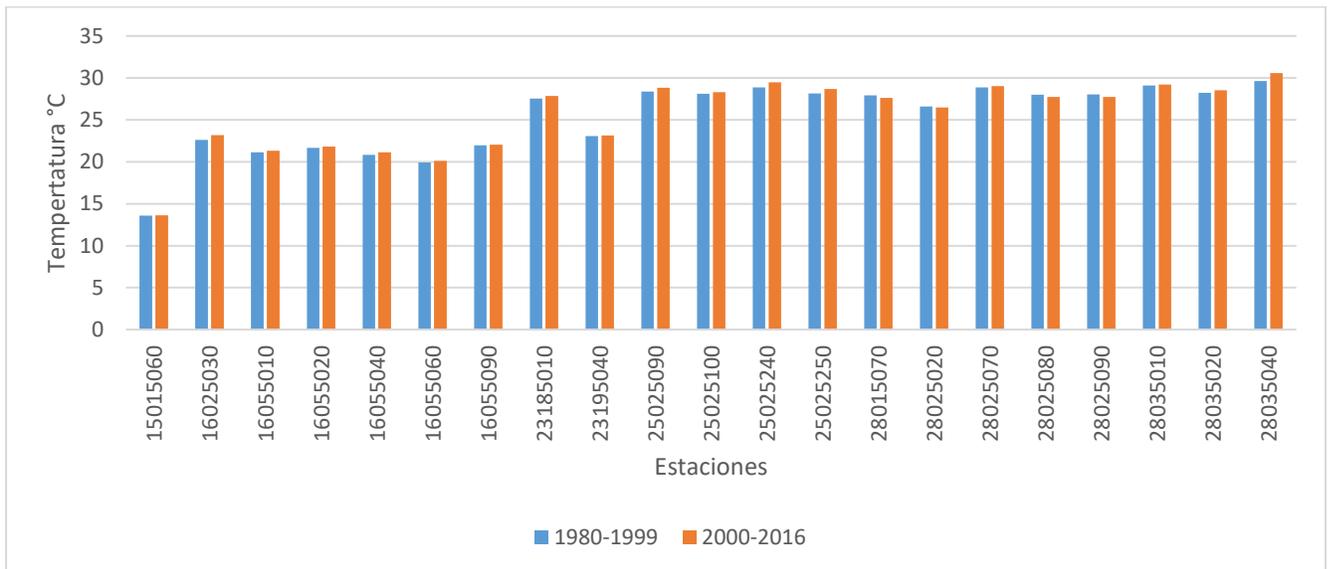
| Año | 15015060 | 16025030 | 16055010 | 16055020 | 16055040 | 16055060 | 16055090 | 23185010 | 23195040 | 25025090 | 25025100 | 25025240 | 25025250 | 28015070 | 28025020 | 28025070 | 28025080 | 28025090 | 28035010 | 28035020 | 28035040 |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1980 | 13,63 | 22,94 | | 21,67 | 20,69 | | | 27,57 | 23,44 | 28,63 | | 29,47 | | 27,73 | 27,66 | 29,31 | 28,18 | | 26,73 | 27,48 | |
| 1981 | 13,53 | 22,50 | | 21,28 | 20,18 | | | 27,15 | 22,69 | | | 29,93 | 28,09 | 26,98 | 26,58 | 28,26 | 27,22 | 27,27 | | 27,66 | 28,50 |
| 1982 | 13,51 | 22,35 | | 21,08 | 20,40 | | | 27,24 | 22,89 | | | 29,73 | 27,10 | 27,46 | 26,59 | 28,56 | 28,02 | 27,88 | | 28,25 | 29,40 |
| 1983 | 14,01 | 23,26 | | 22,02 | 20,79 | | | 27,63 | 23,38 | 27,33 | | 29,11 | | 28,13 | 27,08 | 29,04 | | 28,00 | | 28,16 | |
| 1984 | 13,15 | 22,23 | 20,03 | 21,07 | 19,96 | | | 26,80 | 22,34 | 27,56 | | 27,17 | 28,60 | 27,53 | 25,83 | 28,23 | 28,50 | 26,99 | | 27,85 | |
| 1985 | 13,01 | 22,64 | 20,69 | 20,93 | 19,74 | 19,36 | | 27,25 | 22,54 | | | 27,53 | 28,13 | 27,39 | 25,96 | 28,57 | 28,02 | 27,53 | 30,43 | 28,90 | 30,25 |
| 1986 | 13,43 | 22,79 | 20,91 | 21,53 | 20,25 | 19,78 | | 27,35 | 22,58 | 28,23 | | 27,64 | 28,18 | 27,41 | 26,76 | 28,66 | 27,70 | 27,60 | 30,13 | | 28,95 |
| 1987 | 14,09 | 23,13 | 21,73 | 22,19 | 21,27 | 20,74 | | 27,96 | 23,39 | 28,45 | | 28,45 | 28,23 | 28,01 | 26,90 | 28,93 | 28,36 | 28,76 | 29,11 | 28,50 | 29,80 |
| 1988 | 13,38 | 22,31 | 20,86 | 21,66 | 20,48 | 19,58 | | 27,42 | 22,89 | | | 28,33 | 28,08 | 27,24 | 26,80 | 28,43 | 27,75 | 27,98 | 28,98 | 27,98 | 29,73 |
| 1989 | 12,89 | 22,04 | | 20,98 | 20,56 | 19,40 | | 27,13 | 22,86 | | | 28,74 | 27,92 | 27,68 | 26,30 | 28,32 | 27,60 | 27,68 | 29,03 | 28,21 | 29,79 |
| 1990 | 13,22 | 22,18 | | 21,39 | 20,62 | 19,83 | 21,84 | 27,41 | 23,32 | 27,60 | | 29,34 | 28,01 | 27,70 | 26,34 | 29,12 | 28,23 | 28,18 | 29,19 | 28,56 | 29,76 |
| 1991 | 13,67 | 22,44 | | 21,64 | 20,93 | 19,99 | 21,82 | 27,71 | 23,53 | 27,43 | | 30,01 | 28,35 | 28,43 | 26,65 | 29,64 | 28,93 | 29,23 | 29,95 | 29,04 | 30,17 |
| 1992 | 13,76 | 22,85 | | 22,16 | 21,26 | 20,18 | 22,10 | 27,55 | 23,68 | 28,50 | 28,50 | 29,29 | 28,39 | 28,20 | 26,48 | 29,44 | 28,75 | 29,28 | 29,15 | 28,52 | 30,59 |
| 1993 | 13,98 | 22,53 | | 21,86 | 21,03 | 20,03 | 21,94 | 27,11 | 23,26 | 28,20 | 28,26 | 28,60 | 28,21 | 28,08 | 26,47 | 28,76 | 28,18 | 28,47 | 29,08 | 27,82 | 29,48 |
| 1994 | 13,76 | 22,18 | | 21,55 | 21,04 | 19,88 | 21,64 | 27,16 | 22,92 | 28,22 | 28,23 | 29,22 | 28,14 | 28,33 | 26,09 | 29,12 | 27,43 | 28,02 | 29,30 | 28,02 | 29,40 |
| 1995 | 13,62 | 22,68 | 21,28 | 22,00 | 21,47 | 19,83 | 22,00 | 27,78 | 22,98 | 28,44 | 28,42 | 28,91 | 27,93 | 28,01 | 25,87 | 28,83 | 27,88 | 27,77 | 28,14 | 28,06 | 29,23 |
| 1996 | 13,50 | 22,42 | 20,79 | 21,51 | 20,84 | 19,61 | 21,53 | 27,76 | 22,71 | 27,79 | 28,26 | 29,85 | 27,68 | 27,71 | 26,33 | 28,64 | 27,57 | 27,42 | 29,00 | 27,66 | 29,31 |
| 1997 | 13,79 | 22,84 | 21,58 | 22,08 | 21,77 | 20,25 | 22,16 | 28,69 | 23,52 | 28,65 | 28,66 | 28,14 | 28,93 | 29,38 | 27,44 | 29,83 | 28,15 | 28,48 | 29,41 | 28,87 | 30,15 |
| 1998 | 14,25 | 23,33 | 22,47 | 22,78 | 22,39 | 20,53 | 22,62 | 28,75 | 23,45 | 28,74 | 28,43 | 29,11 | 28,82 | 29,49 | 27,28 | 29,14 | 27,82 | 28,27 | 28,64 | 28,65 | 29,83 |
| 1999 | 13,15 | 22,59 | 21,12 | 21,49 | 20,99 | 19,32 | 21,34 | 28,18 | 22,59 | 28,10 | 27,33 | 29,22 | 27,69 | 27,83 | 25,62 | 27,85 | 27,48 | 26,73 | 27,67 | 27,32 | 29,39 |
| 2000 | 13,40 | 21,95 | 20,68 | 21,09 | 20,91 | 19,17 | 21,25 | 27,97 | 22,70 | 28,35 | 27,73 | 29,22 | 27,93 | 27,41 | 25,82 | 28,35 | 28,13 | 27,34 | 28,30 | 27,45 | 29,43 |
| 2001 | 13,65 | 22,98 | 21,55 | 21,83 | 21,16 | 19,98 | 22,05 | 27,55 | 23,18 | 28,90 | 28,30 | 29,09 | 28,41 | 27,59 | 26,10 | 28,77 | 29,14 | 28,06 | 28,84 | 28,53 | 29,50 |
| 2002 | 13,65 | 23,21 | 21,59 | 22,20 | 21,22 | 19,97 | 22,11 | 27,95 | 23,64 | 29,36 | 28,75 | 29,71 | 28,96 | 27,38 | 26,86 | 29,70 | 29,83 | 28,26 | 28,69 | 28,78 | 30,10 |
| 2003 | 13,62 | 23,23 | 21,29 | 22,23 | 21,01 | 19,94 | 22,38 | 28,10 | 23,67 | 29,18 | 29,00 | 29,98 | 28,59 | 27,22 | 26,50 | 29,03 | | 28,01 | 28,40 | 28,22 | 29,21 |
| 2004 | 13,34 | 22,83 | 20,85 | 21,91 | 20,68 | 19,81 | 21,73 | 27,94 | | 29,06 | 29,15 | 30,33 | 28,57 | 27,68 | 26,08 | 29,01 | 27,57 | 27,74 | 28,34 | 28,35 | 29,85 |
| 2005 | 13,53 | 22,93 | | 21,87 | 21,20 | 19,71 | 22,14 | 27,71 | | 28,40 | 27,40 | 29,64 | 28,58 | 27,79 | 26,59 | 28,89 | 27,25 | 27,85 | 28,30 | 28,86 | 29,81 |
| 2006 | 13,48 | 23,03 | | 21,85 | 20,71 | 19,83 | 22,06 | 27,42 | | 28,39 | 28,01 | 29,96 | 28,57 | 27,62 | 26,43 | 28,65 | 27,38 | 27,68 | 28,06 | 28,48 | 29,91 |

| Año | 15015060 | 16025030 | 16055010 | 16055020 | 16055040 | 16055060 | 16055090 | 23185010 | 23195040 | 25025090 | 25025100 | 25025240 | 25025250 | 28015070 | 28025020 | 28025070 | 28025080 | 28025090 | 28035010 | 28035020 | 28035040 |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2007 | 13,56 | 23,12 | 21,32 | 21,97 | 20,89 | 19,95 | 22,03 | 27,58 | | 28,38 | 27,94 | | 28,86 | 27,07 | 26,69 | 28,83 | 27,02 | 27,43 | 28,78 | 28,77 | 29,57 |
| 2008 | 13,74 | 22,66 | 20,83 | 21,53 | 20,81 | 19,66 | 21,61 | 27,16 | | 28,15 | 27,72 | | 28,25 | 26,98 | 25,94 | 28,66 | 26,88 | 27,16 | 28,61 | 28,52 | 29,35 |
| 2009 | 13,60 | 23,17 | 21,41 | 22,30 | 21,14 | 19,70 | 21,79 | 27,77 | | 28,47 | 28,37 | 28,15 | 28,94 | 27,71 | 26,35 | 29,48 | 27,88 | 27,75 | 29,82 | 28,66 | 30,60 |
| 2010 | 13,75 | 23,84 | 21,77 | 22,42 | 21,18 | 20,74 | 22,26 | 27,73 | | 28,03 | 27,97 | | 28,67 | 27,23 | 26,33 | 28,66 | 27,53 | 27,28 | 29,48 | 28,12 | 31,00 |
| 2011 | 13,22 | 22,90 | 20,88 | 21,33 | 20,55 | 19,96 | 21,71 | 27,28 | | 27,87 | 27,60 | | 28,00 | 26,76 | 25,79 | 28,15 | 26,62 | 26,81 | 29,39 | 27,76 | 31,08 |
| 2012 | 13,47 | 22,55 | 21,03 | 21,70 | 20,94 | 20,34 | 22,00 | 27,81 | | 28,53 | 28,40 | | | 27,30 | 26,28 | 29,05 | | 27,64 | 30,10 | 27,70 | 31,45 |
| 2013 | 13,58 | 23,59 | 21,43 | 21,82 | 21,32 | 20,63 | 22,27 | 27,91 | | 29,03 | 28,66 | | 28,22 | 27,75 | 26,84 | 29,15 | | 27,83 | 30,41 | 27,83 | 32,53 |
| 2014 | 13,57 | 23,89 | 21,97 | 21,78 | 21,04 | 20,78 | 22,76 | 28,18 | | 29,79 | 28,95 | | 30,06 | 28,24 | 26,99 | 29,78 | | 28,30 | 30,58 | 29,74 | 32,18 |
| 2015 | 13,71 | 24,40 | 20,40 | | 22,08 | 21,30 | 23,19 | 28,28 | | 30,16 | 29,41 | | 30,46 | 29,08 | 27,63 | 30,09 | | 29,01 | 30,96 | 30,54 | 32,24 |
| 2016 | 14,22 | 24,14 | 22,37 | 22,67 | 22,25 | 21,33 | | 28,47 | | 30,25 | 28,79 | | | 28,34 | 27,33 | 29,70 | | 28,61 | 29,95 | 29,29 | 31,91 |

Fuente: Propia

Debido a que el objetivo del presente trabajo busca evidenciar la incidencia en la minería intensiva en el departamento del Cesar en el aumento de la temperatura, se realizó un análisis del comportamiento promedio de la temperatura en dos periodos, 1980-1999 y 2000-2016 ya que los procesos de extracción intensiva iniciaron hacia los años 2000 con la llegada de la minería a carbón a gran escala, dicho análisis busca verificar si había ocurrido un aumento significativo en la tasa de crecimiento de la temperatura como consecuencia de entre otros procesos, la extracción minera. En la Gráfica 8 se observa el promedio de temperatura para cada estación en los dos periodos previamente referidos.

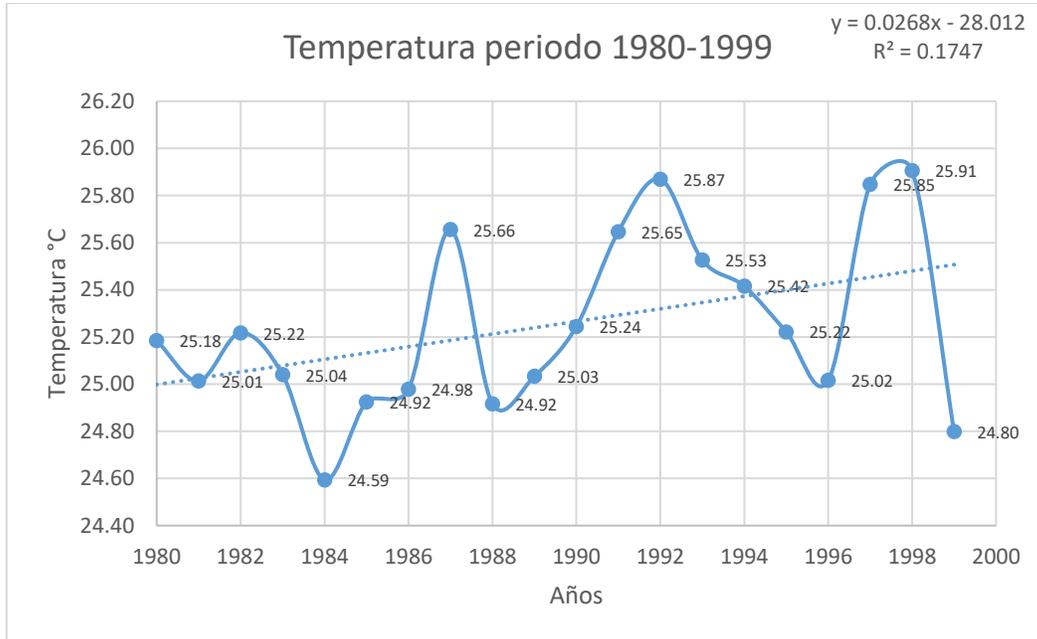
Gráfica 8. Promedios de temperatura



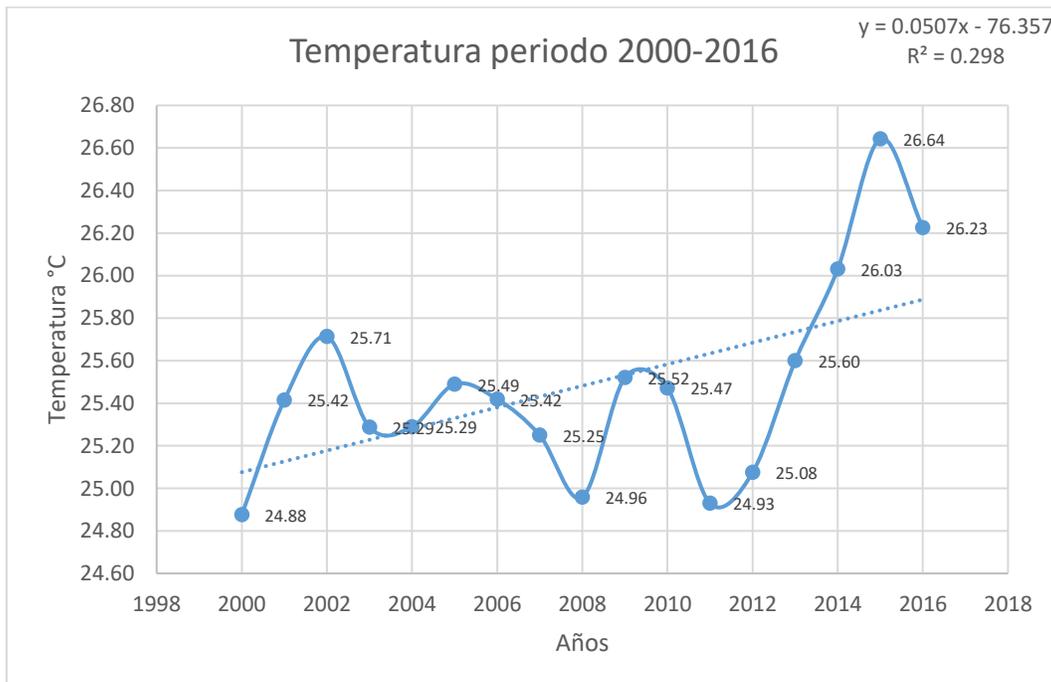
Como se observa en la gráfica anterior, en un gran número de estaciones se ha presentado aumento en la temperatura en el segundo periodo evaluado con respecto al primero.

Para entender la tendencia de la temperatura a nivel regional se generaron las Gráficas 9 y 10 en las cuales observa el comportamiento de la temperatura zonal para los periodos 1980-1999 y 2000-2016

Gráfica 9. Promedios anuales zonales de temperatura en el departamento del Cesar (1980-1999)



Gráfica 10. Promedios anuales zonales de temperatura en el departamento del Cesar (2000-2016)



De acuerdo con las gráficas anteriores, se observa que existe un crecimiento en la tasa de la temperatura en el segundo periodo analizado, al generar la ecuación lineal de la recta en las

gráficas, se evidencia que la pendiente de la recta es mayor en el segundo periodo (2000-2016), ver Tabla 8. A partir de este parámetro se pueden tener indicios que permiten suponer que existe una presunta relación entre la minería y el aumento de la temperatura en el departamento. En la tabla 9 y la Gráfica 11 se muestra una proyección de la temperatura en el tiempo teniendo en cuenta la tendencia de cada uno de los periodos.

Tabla 8. Pendiente e intersección en el eje para los periodos de estudio

| Periodo | 1980-1999 | 2000-2016 |
|---------|-----------|-----------|
| m | 0,0268 | 0,0507 |
| b | -28,012 | -76,357 |

Fuente: propia

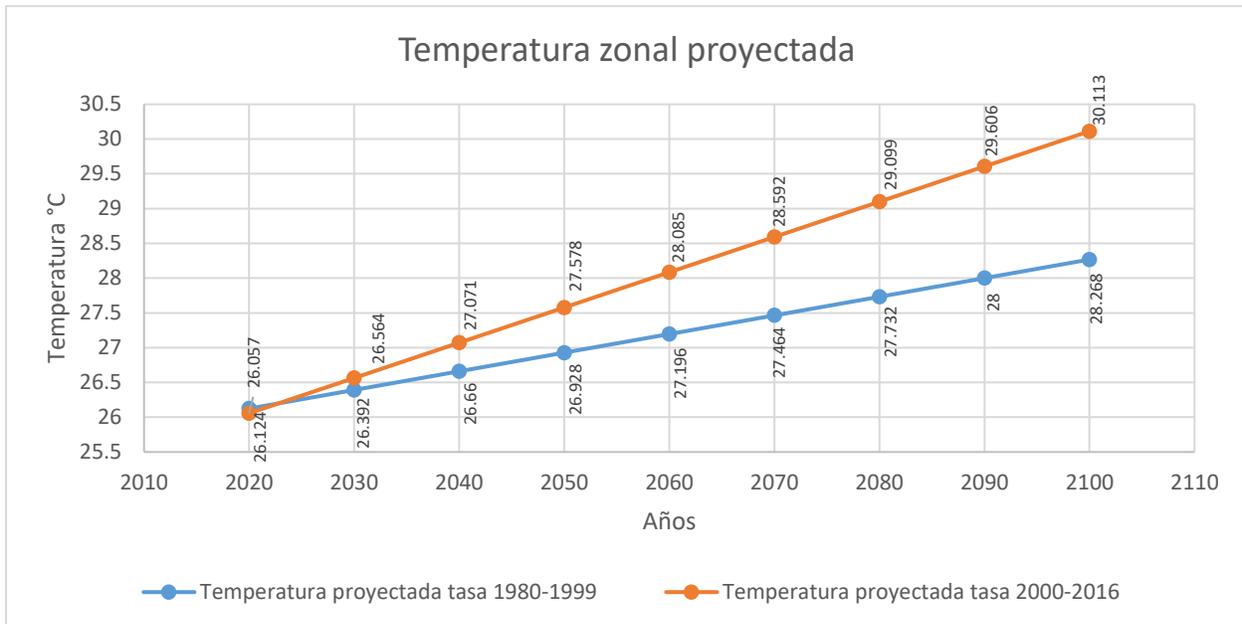
Tabla 9. Proyecciones de temperatura

| Año | Temperatura proyectada con tasa de aumento periodo 1980-1999, °C | Temperatura proyectada con tasa de aumento periodo 2000-2016, °C | Diferencia, °C |
|------|--|--|----------------|
| 2020 | 26,124 | 26,057 | -0,067 |
| 2030 | 26,392 | 26,564 | 0,172 |
| 2040 | 26,66 | 27,071 | 0,411 |
| 2050 | 26,928 | 27,578 | 0,65 |
| 2060 | 27,196 | 28,085 | 0,889 |
| 2070 | 27,464 | 28,592 | 1,128 |
| 2080 | 27,732 | 29,099 | 1,367 |
| 2090 | 28 | 29,606 | 1,606 |
| 2100 | 28,268 | 30,113 | 1,845 |

Fuente: propia

Nota: Esta tabla consigna las proyecciones de temperatura para los periodos estudiados

Gráfica 11. Proyecciones de temperatura



Nota. Esta gráfica consigna la proyección de temperatura aplicando la tasa de crecimiento para los dos periodos analizados (1980-1999 y 2000-2016).

8.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AÑOS CONFORME AL FENÓMENO CLIMATOLÓGICO

De acuerdo con la metodología del Sistema de Administración y Análisis de Datos Climatológicos de la Organización Meteorológica Mundial, la clasificación de los años con eventos climáticos Niño, Niña y Neutros, se evaluó mediante el Índice Oceánico Niño u Oceanic Niño Index (ONI), el cual es calculado como la media de tres puntos de la serie mensual de anomalías de la temperatura de la superficie del mar.

De acuerdo con este índice, se debe cumplir los siguientes parámetros para la clasificación:

- Parámetros estadísticos de temperatura “Niño” valores superiores a $+0.5^{\circ}\text{C}$ y -0.5°C .
- Parámetros estadísticos de temperatura “Niña” valores inferiores a -0.5°C .
- Parámetros estadísticos de temperatura “Neutro”

Para establecer la clasificación climatológica de cada año se realizó el siguiente procedimiento:

Se agruparon los meses de cada año en conjunto de tres meses (diciembre-enero-febrero/enero-febrero-marzo/febrero-marzo-abril) sucesivamente para cada año de estudio.

Posteriormente se evaluó si el valor de la anomalía, la cual debería encontrarse en los rangos establecidos (superior a $+0.5^{\circ}\text{C}$ o inferior a -0.5°C)

Para cada año se evaluó si se produjeron 5 o más periodos no consecutivos con los valores establecidos y así se clasificaron los años como niño, niña o neutro.

De acuerdo a la metodología anteriormente planteada, se clasificaron los años de acuerdo a la presencia algún tipo de fenómeno climático (ver Tabla 10), adicionalmente se establecieron los promedios mensuales de temperatura (ver Tabla 11) para los años de 1980 a 2016; como se observa en la Gráfica 12, la clasificación de cada año se realizó correctamente, ya que al comparar las temperaturas de los años Niña, son más bajas con relación a los años Neutros y Niño, lo mismo ocurre si se relaciona los datos de Niño con los años Neutros y Niña, dichos datos van a ser mayores con respecto a estos fenómenos.

Tabla 10. Clasificación de los años de acuerdo con el fenómeno climático

| | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Año con fenómeno “Niño” | 1982 | 1987 | 1991 | 1992 | 1997 | 1998 | 2002 | 2005 | 2009 | 2015 |
| Año con fenómeno “Niña” | 1984 | 1988 | 1996 | 1999 | 2000 | 2003 | 2007 | 2008 | 2011 | |
| Año “Neutro” | 1980 | 1981 | 1983 | 1985 | 1986 | 1989 | 1990 | 1993 | 1994 | 1995 |
| | 2001 | 2004 | 2006 | 2010 | 2012 | 2013 | 2014 | 2016 | | |

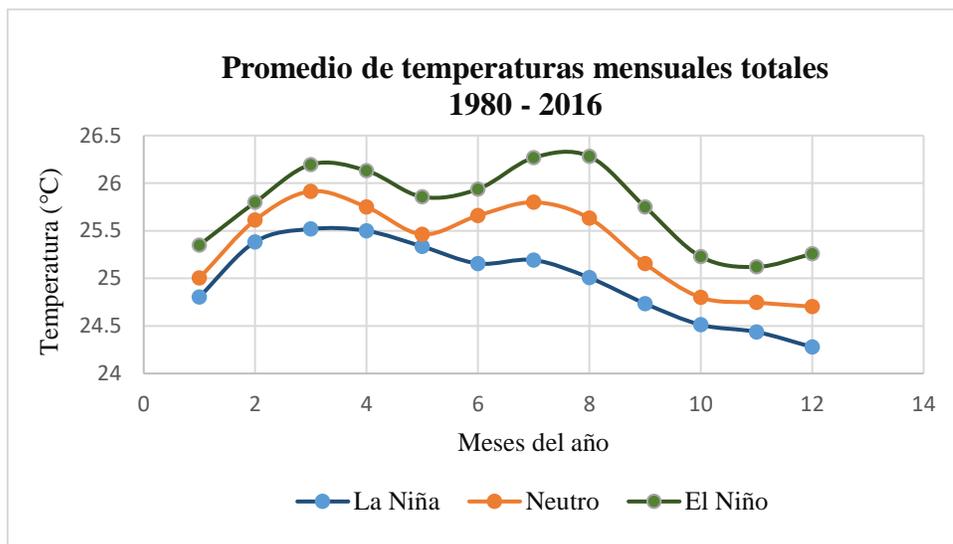
Nota. Esta tabla consigna la clasificación de los años de estudio de acuerdo con la presencia de fenómeno climático Niño, Niña y Neutro.

Tabla 11. Promedios totales mensuales de temperatura

| Mes / Fenómeno | Niña (°C) | Neutro (°C) | Niño (°C) |
|-----------------------|------------------|--------------------|------------------|
| Enero | 24,805 | 25,002 | 25,349 |
| Febrero | 25,383 | 25,611 | 25,798 |
| Marzo | 25,518 | 25,914 | 26,195 |
| Abril | 25,499 | 25,749 | 26,131 |
| Mayo | 25,335 | 25,462 | 25,856 |
| Junio | 25,156 | 25,658 | 25,937 |
| Julio | 25,192 | 25,798 | 26,267 |
| Agosto | 25,006 | 25,631 | 26,281 |
| Septiembre | 24,734 | 25,153 | 25,721 |
| Octubre | 24,512 | 24,799 | 25,227 |
| Noviembre | 24,436 | 24,745 | 25,119 |
| Diciembre | 24,279 | 24,703 | 25,256 |

Nota. Esta tabla consiga los promedios anuales totales de temperatura para el periodo 1980-2016.

Gráfica 12. Promedios totales mensuales de temperatura de acuerdo con el fenómeno climático



Nota. El gráfico representa los promedios mensuales totales de temperatura de acuerdo con cada fenómeno climatológico Niño, Neutro y Niña.

De igual manera, se compararon los promedios anuales de temperatura como se observa en las Tablas 12, 13 y 14 para cada fenómeno climatológico, verificando que la clasificación se realizó correctamente (ver Gráfica 13).

Tabla 12. Promedios anuales de temperatura años Neutros

| Año | 1980 | 1981 | 1983 | 1985 | 1986 | 1989 | 1990 | 1993 | 1994 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Temperatura (°C) | 25,275 | 25,158 | 25,093 | 24,870 | 24,970 | 25,039 | 25,337 | 25,527 | 25,404 |
| Año | 1995 | 2001 | 2004 | 2006 | 2010 | 2012 | 2013 | 2014 | 2016 |
| Temperatura (°C) | 25,224 | 25,414 | 25,281 | 25,417 | 25,477 | 25,085 | 25,626 | 25,998 | 26,149 |

Nota. Esta tabla consiga los datos totales anuales de temperatura para los años neutros.

Tabla 13. Promedios anuales de temperatura años Niño

| Año | 1982 | 1987 | 1991 | 1992 | 1997 | 1998 | 2002 | 2005 | 2009 | 2015 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| Temperatura (°C) | 25,377 | 25,656 | 25,721 | 25,912 | 25,849 | 25,918 | 25,6667 | 25,544 | 25,535 | 26,466 |

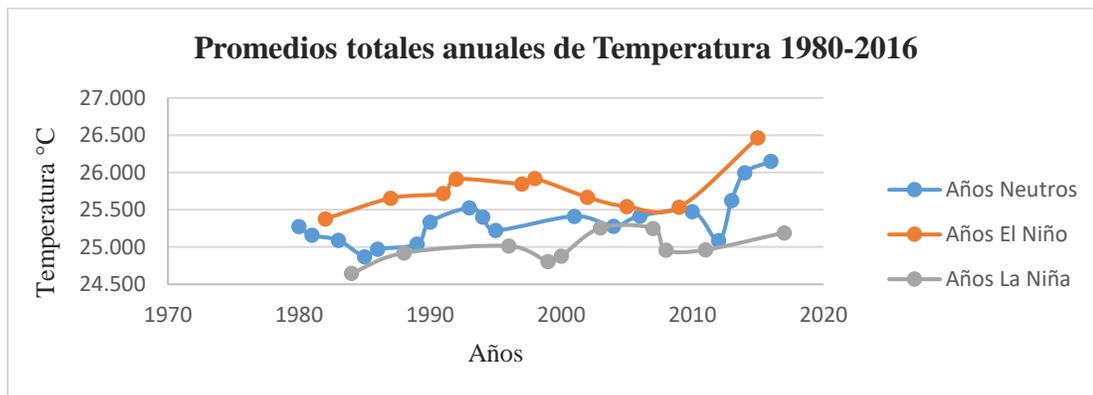
Nota. Esta tabla consiga los datos totales anuales de temperatura para los años Niño.

Tabla 14. Promedios anuales de temperatura años Niña

| Año | 1984 | 1988 | 1996 | 1999 | 2000 | 2003 | 2007 | 2008 | 2011 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Temperatura (°C) | 24,647 | 24,920 | 25,014 | 24,804 | 24,876 | 25,257 | 25,251 | 24,959 | 24,962 |

Nota. Esta tabla consiga los datos totales anuales de temperatura para los años Niña.

Gráfica 13. Promedios totales anuales de Temperatura 1980-2016



Nota. El grafico representa los promedios anuales totales de temperatura de acuerdo con cada fenómeno climatológico Niña, Niño y Neutro.

8.3 PROYECCIÓN DE TEMPERATURA

A través de una regresión lineal múltiple, se calculó el valor de temperatura (variable dependiente) en función de las variables independientes (año proyectado, brillo solar, humedad relativa y temperatura de rocío) para cada mes y para cada estación climatológica terrestre; se manejaron dos tipos de datos: los conocidos en el tiempo los cuales fueron las variables independientes y un dato incógnita, en este caso, la temperatura.

En este sentido, es importante mencionar que se decidió utilizar este tipo de regresión, ya que evalúa el efecto de cada predictor en presencia del resto, evitando el fenómeno de confusión que puede aparecer cuando la asociación observada entre un predictor y la variable respuesta se explica por otra variable (factor de confusión) de manera total o parcial.

La ecuación general para calcular la temperatura en grados centígrados fue la siguiente:

$$\text{Temperatura del año proyectado} = \text{intersección} + (\text{variable } x1 * \text{año proyectado}) + (\text{variable } x2 * \text{brillo solar} **) + (\text{variable } x3 * \text{humedad relativa}**) + (\text{variable } x4 * \text{temperatura de rocío}**)$$

**Los valores de brillo solar, humedad relativa y temperatura de rocío, equivalen a los valores correspondientes al año proyectado hasta el año 2100, los cuales se estimaron a través de una correlación lineal simple, entre el año y cada una de las variables, a través de la ecuación:

$$\text{Variable} = x * m + b$$

Variable = brillo solar, humedad relativa y temperatura de rocío

x = año proyectado

m = pendiente de la ecuación

b = intersección en el eje

9. VARIABLES DE ESTUDIO

Las variables que se tuvieron en cuenta en el desarrollo de esta investigación fueron: temperatura (°C), cota (m.s.n.m.), humedad relativa (%), punto de rocío (°C), brillo solar (HM), latitud (°); con respecto a la nubosidad, no se incluyó dentro de las variables de estudio, ya que no se encontró correlación representativa entre esta variable y las demás, como se observa en las Tablas 15, 16, 17 y 18, ya que el valor es el que menos se aproxima a 1 y a -1.

Tabla 15. Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Humedad Relativa (%) | Nubosidad (octas) | Punto de rocío (°C) | Brillo solar (HM) | Latitud (°) |
|----------------------------------|------------------|----------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------|
| 16055020 | 21,742 | 1083,000 | 87,121 | 6,000 | 19,352 | 149,000 | 8,442222 |
| 16055040 | 20,992 | 1386,000 | 80,224 | 5,000 | 17,188 | 157,506 | 8,087222 |
| 16055060 | 20,102 | 1509,000 | 81,429 | 5,000 | 16,663 | 152,973 | 8,217500 |
| 16055090 | 22,007 | 1030,000 | 82,551 | 6,000 | 18,826 | 157,624 | 8,470556 |
| 25025090 | 28,203 | 37,000 | 72,739 | 4,000 | 22,957 | 202,870 | 9,046333 |
| 25025250 | 28,604 | 34,000 | 79,792 | 4,000 | 24,139 | 208,758 | 9,361028 |
| 28015070 | 27,769 | 240,000 | 68,950 | 5,000 | 21,285 | 193,432 | 10,56638 |
| 28025020 | 26,335 | 417,000 | 75,951 | 5,000 | 21,655 | 168,900 | 10,27138 |
| 28025070 | 28,815 | 105,000 | 70,634 | 4,000 | 22,574 | 208,495 | 10,00180 |
| 28025080 | 27,892 | 100,000 | 76,621 | 4,000 | 23,059 | 258,800 | 9,686667 |
| 28025090 | 29,259 | 87,000 | 69,890 | 4,000 | 22,679 | 205,249 | 9,850250 |
| 28035010 | 28,451 | 110,000 | 71,432 | 4,000 | 22,485 | 211,810 | 10,19066 |
| 28035020 | 30,217 | 61,000 | 64,343 | 4,000 | 22,052 | 203,749 | 10,36305 |
| 28035040 | 27,903 | 145,000 | 75,608 | 4,000 | 22,742 | 197,602 | 9,904917 |
| Valor Correlación | | -0,984 | -0,811 | -0,813 | 0,932 | 0,807 | 0,845 |

Nota. Esta tabla consiga los promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio.

Tabla 16. Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Neutros

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Humedad Relativa (%) | Nubosidad (octas) | Punto de rocío (°C) | Brillo solar (HM) | Latitud (°) |
|----------------------------------|------------------|----------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------|
| 16055020 | 21,617 | 1083 | 87,403 | 5,000 | 19,326 | | 8,442222 |
| 16055040 | 20,937 | 1386 | 80,231 | 5,000 | 17,160 | 156,952 | 8,087222 |
| 16055060 | 20,145 | 1509 | 81,333 | 5,000 | 16,655 | 149,878 | 8,217500 |
| 16055090 | 22,095 | 1030 | 82,448 | 6,000 | 18,906 | 159,104 | 8,470556 |
| 25025090 | 28,305 | 37 | 71,288 | 4,000 | 22,772 | 201,505 | 9,046333 |
| 25025250 | 28,622 | 34 | 80,453 | 4,000 | 24,328 | 209,847 | 9,361028 |

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Humedad Relativa (%) | Nubosidad (octas) | Punto de rocío (°C) | Brillo solar (HM) | Latitud (°) |
|----------------------------------|------------------|----------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------|
| 28015070 | 27,657 | 240 | 69,915 | 5,000 | 21,383 | 198,103 | 10,56638 |
| 28025020 | 26,215 | 417 | 76,082 | 5,000 | 21,643 | 168,900 | 10,27138 |
| 28025070 | 28,615 | 105 | 69,630 | 4,000 | 22,297 | 207,563 | 10,00180 |
| 28025080 | 27,843 | 145 | 74,724 | 4,000 | 22,567 | 196,004 | 9,686667 |
| 28025090 | 27,794 | 100 | 76,911 | 4,000 | 22,954 | | 9,850250 |
| 28035010 | 29,292 | 87 | 68,919 | 4,000 | 22,491 | 202,307 | 10,19066 |
| 28035020 | 28,509 | 110 | 71,824 | 4,000 | 22,545 | 213,078 | 10,36305 |
| 28035040 | 30,275 | 61 | 63,801 | 4,000 | 21,967 | 201,956 | 9,904917 |
| Valor Correlación | | -0,983 | -0,809 | -0,789 | 0,924 | 0,938 | 0,838 |

Nota. Esta tabla consiga promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Neutros.

Tabla 17. Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niño

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Humedad Relativa (%) | Nubosidad (octas) | Punto de rocío (°C) | Brillo solar (HM) | Latitud (°) |
|----------------------------------|------------------|----------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------|
| 16055020 | 21,959 | 1083 | 86,983 | 6,000 | 19,381 | 149,000 | 8,442222 |
| 16055040 | 21,141 | 1386 | 78,614 | 5,000 | 16,956 | 167,891 | 8,087222 |
| 16055060 | 20,284 | 1509 | 80,339 | 4,000 | 16,662 | 161,345 | 8,217500 |
| 16055090 | 22,047 | 1030 | 81,669 | 6,000 | 18,675 | 164,412 | 8,470556 |
| 25025090 | 28,725 | 37 | 72,840 | 4,000 | 23,039 | 210,383 | 9,046333 |
| 25025250 | 28,841 | 34 | 78,818 | 3,000 | 23,947 | 214,730 | 9,361028 |
| 28015070 | 28,146 | 240 | 66,054 | 5,000 | 20,972 | 197,272 | 10,56638 |
| 28025020 | 26,716 | 417 | 74,565 | | 21,593 | | 10,27138 |
| 28025070 | 29,284 | 105 | 70,478 | 4,000 | 22,869 | 218,456 | 10,00180 |
| 28025080 | 28,323 | 145 | 73,570 | 4,000 | 22,647 | 204,880 | 9,686667 |
| 28025090 | 28,367 | 100 | 74,459 | 4,000 | 22,981 | | 9,850250 |
| 28035010 | 29,498 | 87 | 68,592 | 4,000 | 22,671 | 212,084 | 10,19066 |
| 28035020 | 28,661 | 110 | 70,649 | 4,000 | 22,606 | 212,094 | 10,36305 |
| 28035020 | 30,311 | 61 | 65,467 | 5,000 | 22,406 | 208,874 | 9,904917 |
| Valor Correlación | | -0,987 | -0,797 | -0,534 | 0,945 | 0,955 | 0,846 |

Nota. Esta tabla consiga los promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niño.

Tabla 18. Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niña

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Humedad Relativa (%) | Nubosidad (octas) | Punto de rocío (°C) | Brillo Solar (HM) | Latitud (°) |
|----------------------------------|------------------|----------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------|
| 16055020 | 21,690 | 1083 | 86,821 | 6,000 | 19,358 | | 8,442222 |
| 16055040 | 20,882 | 1386 | 82,358 | 4,000 | 17,547 | 145,736 | 8,087222 |
| 16055060 | 19,806 | 1509 | 82,788 | 5,000 | 16,678 | 148,140 | 8,217500 |
| 16055090 | 21,831 | 1030 | 83,832 | 6,000 | 18,908 | 146,783 | 8,470556 |
| 25025090 | 28,228 | 37 | 74,905 | 4,000 | 23,153 | 195,280 | 9,046333 |
| 25025250 | 28,282 | 34 | 80,102 | 4,000 | 24,100 | 199,103 | 9,361028 |
| 28015070 | 27,489 | 240 | 71,094 | 5,000 | 21,526 | 189,786 | 10,566389 |
| 28025020 | 26,232 | 417 | 77,565 | | 21,760 | | 10,271389 |
| 28025070 | 28,515 | 105 | 72,626 | 5,000 | 22,672 | 197,872 | 10,001806 |
| 28025080 | 27,503 | 145 | 78,758 | 4,000 | 23,021 | 191,469 | 9,686667 |
| 28025090 | 27,390 | 100 | 79,022 | 4,000 | 23,339 | 258,800 | 9,850250 |
| 28035010 | 28,912 | 87 | 72,627 | 4,000 | 22,941 | 201,041 | 10,190667 |
| 28035020 | 28,162 | 110 | 71,780 | 3,000 | 22,232 | 209,006 | 10,363056 |
| 28035040 | 29,990 | 61 | 63,937 | 5,000 | 21,790 | 199,905 | 9,904917 |
| Valor Correlación | | -0,983 | -0,806 | -0,471 | -0,471 | 0,768 | 0,839 |

Nota. Esta tabla consiga los promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niña.

En el desarrollo del modelo de predicción se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

9.1 VARIABLE TEMPERATURA

9.1.1 Temperatura periodo 1980 -2016

Para la obtención de los datos faltantes de la variable de temperatura, se realizó el siguiente procedimiento:

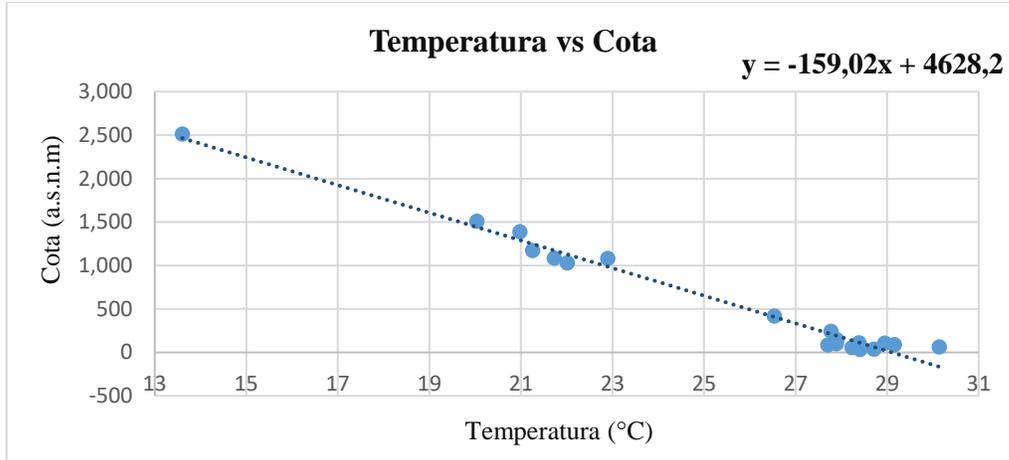
Se calculó el promedio anual de temperatura, temperatura punto de rocío, humedad relativa y brillo solar, además se incluyó la información de cota, latitud y longitud para cada una de las estaciones climatológicas terrestres, estos promedios se correlacionaron mediante el “coeficiente de correlación” el cual si es cercano o igual a 1 existe una correlación lineal perfecta entre los datos y si es cercano o igual a -1 hay una correlación inversa perfecta; para el caso de temperatura, la variable que presento mayor correlación fue la cota con un valor de -0.991 (correlación inversamente proporcional), entre menor sea la cota mayor será la temperatura (ver Tabla 19).

Tabla 19. Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Latitud (°) | Longitud (°) | Temperatura Rocío (°C) | Humedad Relativa (%) | Brillo Solar (HM) |
|----------------------------------|------------------|----------------|-------------|--------------|------------------------|----------------------|-------------------|
| 15015060 | 13,600 | 2511 | 11,111083 | -74,0546944 | 12,498 | 92,356 | 7,763 |
| 16025030 | 22,896 | 1078 | 7,774583 | -72,8305556 | 18,914 | 78,759 | 13,937 |
| 16055010 | 21,253 | 1171 | 8,315278 | -73,3575 | 18,180 | 83,091 | 16,498 |
| 16055020 | 21,726 | 1083 | 8,442222 | -73,2852778 | 19,337 | 87,041 | |
| 16055040 | 20,978 | 1386 | 8,087222 | -73,2230556 | 17,165 | 80,161 | 15,850 |
| 16055060 | 20,039 | 1509 | 8,217500 | -73,235 | 16,663 | 81,429 | 15,284 |
| 16055090 | 22,013 | 1030 | 8,470556 | -73,3438889 | 18,826 | 82,551 | 15,747 |
| 23185010 | 27,701 | 83 | 7,456111 | -73,5372222 | 24,266 | 82,902 | 17,327 |
| 25025090 | 28,710 | 37 | 9,046333 | -73,9708333 | 22,936 | 72,763 | 20,336 |
| 25025100 | 28,230 | 56 | 9,281944 | -74,8452778 | 23,897 | 78,967 | 18,784 |
| 25025250 | 28,409 | 34 | 9,361028 | -73,5933889 | 24,139 | 79,792 | 21,014 |
| 28015070 | 27,773 | 240 | 10,566389 | -73,0163889 | 21,340 | 69,039 | 19,484 |
| 28025020 | 26,535 | 417 | 10,271389 | -73,1313889 | 21,656 | 75,799 | 16,890 |
| 28025070 | 28,946 | 105 | 10,001806 | -73,2493889 | | 70,702 | 20,907 |
| 28025080 | 27,898 | 145 | 9,686667 | -73,2405556 | 22,727 | 75,495 | 19,861 |
| 28025090 | 27,889 | 100 | 9,850250 | -73,2654722 | 23,059 | 76,621 | |
| 28035010 | 29,160 | 87 | 10,190667 | -73,5473889 | 22,679 | 70,314 | 20,664 |
| 28035020 | 28,384 | 110 | 10,363056 | -73,3194444 | 22,516 | 71,529 | 21,485 |
| 28035040 | 30,142 | 61 | 9,904917 | -73,6475278 | 22,052 | 64,343 | 20,460 |
| Valor de Correlación | | -0,991 | 0,205 | -0,058 | 0,956 | -0,815 | 0,931 |

Nota: Esta tabla consigna los promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio

Gráfica 14. Correlación entre temperatura y cota para el periodo de 1980-2016



Nota. El grafico representa el índice de correlación entre la temperatura y la cota.

A través de la ecuación dada por coeficiente de correlación (ver Gráfica 14), se logró establecer los datos faltantes de temperatura de cada estación climatológica para el periodo comprendido entre 1980-2016, al despejar la ecuación dio como resultado:

$$\text{Temperatura } (^\circ\text{C}) = \frac{\text{Cota} - 4628,2}{-159,02}$$

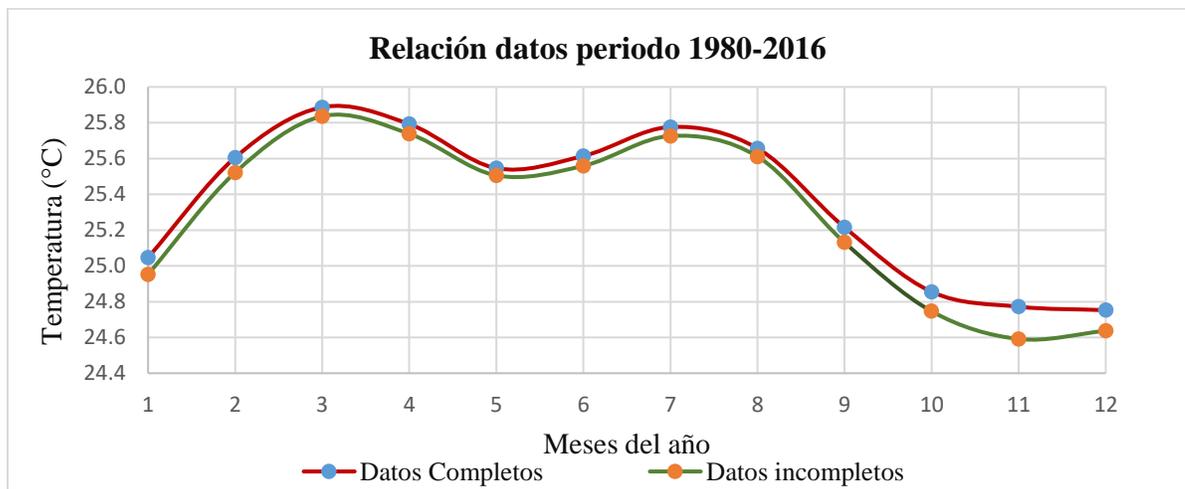
Adicionalmente, se realizó una verificación de información, a través de una comparación de los datos de temperatura promedio total mensual de todos los años con los datos faltantes en relación con los datos de temperatura promedio total mensual donde se aplicó la ecuación. Se pudo constatar que la tendencia de la temperatura se mantuvo como se observa en la Gráfica 15, la diferencia entre los datos no alcanzo el 1% (ver Tabla 20).

Tabla 20. Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura por estación

| Mes | Datos promedio completos (°C) | Datos promedio incompletos (°C) | Diferencia (°C) | Porcentaje (%) |
|------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------|----------------|
| Enero | 25,047 | 24,953 | 0,094 | 0,376 |
| Febrero | 25,605 | 25,522 | 0,084 | 0,327 |
| Marzo | 25,886 | 25,836 | 0,05 | 0,194 |
| Abril | 25,793 | 25,738 | 0,054 | 0,21 |
| Mayo | 25,546 | 25,506 | 0,04 | 0,158 |
| Junio | 25,614 | 25,559 | 0,05 | 0,195 |
| Julio | 25,776 | 25,726 | 0,05 | 0,195 |
| Agosto | 25,657 | 25,611 | 0,046 | 0,178 |
| Septiembre | 25,215 | 25,131 | 0,084 | 0,438 |
| Octubre | 24,855 | 24,746 | 0,109 | 0,438 |
| Noviembre | 24,772 | 24,591 | 0,18 | 0,728 |
| Diciembre | 24,752 | 24,637 | 0,115 | 0,466 |

Nota. Esta tabla consigna los datos Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura por estación.

Gráfica 15. Relación de datos de temperatura del periodo de 1980-2016



Nota. El grafico representa la relación de datos completos e incompletos de temperatura.

Posteriormente, este mismo procedimiento se realizó de manera independiente para los años Neutros y los años que presentaron los fenómenos de Niño y Niña, dando como resultado:

9.1.2 Temperatura para años Neutros

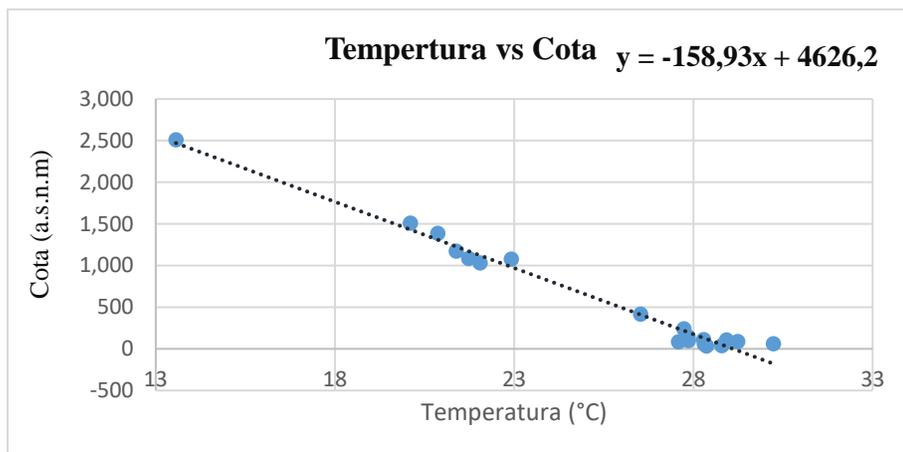
Para el caso de temperatura, la variable de mayor correlación fue la cota con un valor de -0.991 (correlación inversa o inversamente proporcional), es decir entre menor sea la cota mayor será la temperatura (ver Tabla 21).

Tabla 21. Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Neutros

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Brillo (HM) | Humedad Relativa (%) | Temperatura Rocío (°C) |
|----------------------------------|------------------|----------------|-------------|----------------------|------------------------|
| 15015060 | 13,563 | 2511 | 7,592 | 91,685 | 12,366 |
| 16025030 | 22,921 | 1078 | 13,973 | 79,217 | 19,039 |
| 16055010 | 21,384 | 1171 | 16,366 | 82,650 | 18,156 |
| 16055020 | 21,731 | 1083 | | 87,330 | 19,445 |
| 16055040 | 20,869 | 1386 | 15,841 | 79,830 | 16,996 |
| 16055060 | 20,103 | 1509 | 15,471 | 80,994 | 16,612 |
| 16055090 | 22,050 | 1030 | 15,912 | 82,461 | 18,859 |
| 23185010 | 27,584 | 83 | 17,360 | 83,960 | 24,409 |
| 25025090 | 28,789 | 37 | 19,945 | 73,281 | 23,092 |
| 25025100 | 28,306 | 56 | 18,136 | 78,238 | 23,818 |
| 25025250 | 28,363 | 34 | 20,939 | 80,493 | 24,294 |
| 28015070 | 27,733 | 240 | 19,494 | 69,896 | 21,563 |
| 28025020 | 26,527 | 417 | 16,890 | 75,449 | 21,604 |
| 28025070 | 28,929 | 105 | 20,773 | 71,034 | |
| 28025080 | 27,848 | 145 | 19,673 | 75,347 | 22,653 |
| 28025090 | 27,861 | 100 | | 77,009 | 23,108 |
| 28035010 | 29,236 | 87 | 20,291 | 69,496 | 22,607 |
| 28035020 | 28,288 | 110 | 21,223 | 72,159 | 22,589 |
| 28035040 | 30,230 | 61 | 20,277 | 64,356 | 22,162 |
| Valor de Correlación | | -0,991 | 0,926 | -0,796 | 0,955 |

Nota. Esta tabla consiga los promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Neutros.

Gráfica 16. Correlación entre temperatura y cota para los años Neutros



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre la temperatura y la cota.

A través de la ecuación dada por coeficiente de correlación (ver Gráfica 16), se lograron establecer los datos faltantes de temperatura de cada estación climatológica para los años Neutros, al despejar la ecuación, se obtuvo como resultado:

$$\text{Temperatura } (^{\circ}\text{C}) = \frac{\text{Cota} - 4626,2}{-158,93}$$

Se verificó la información, mediante la comparación de los datos de temperatura promedio total mensual de los años Neutros con los datos faltantes, con relación a los datos de temperatura promedio total mensual, donde se aplicó la ecuación.

Adicionalmente, se verificó la información, a través de una comparación de temperatura promedio total mensual de los años Neutros con datos faltantes, con relación a la temperatura total mensual aplicando la ecuación. Se pudo constatar que la tendencia del porcentaje de humedad relativa se mantuvo (ver Gráfica 17), al igual que la tendencia de la temperatura, la diferencia entre los datos, no sobrepasó el 0.7% como se observa en la Tabla 22).

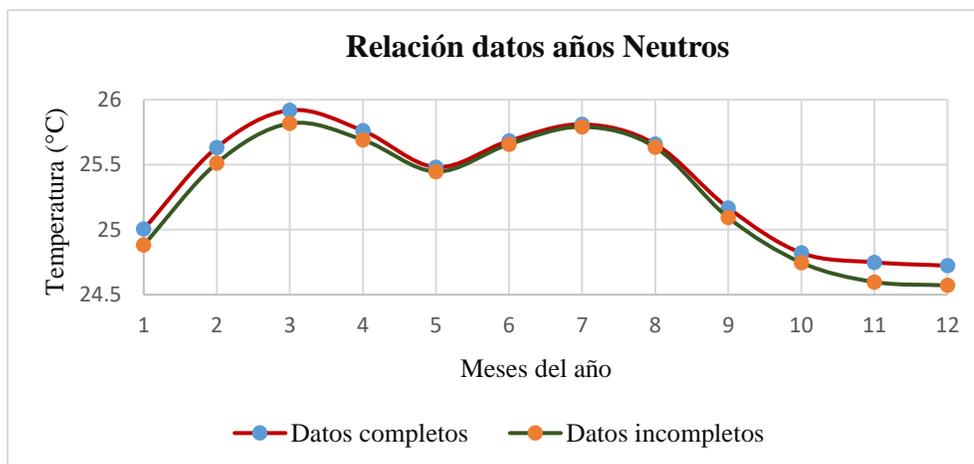
Tabla 22. Promedios totales anuales de temperatura por estación para los años Neutros

| Mes | Datos promedio completos ($^{\circ}\text{C}$) | Datos promedio sin completar ($^{\circ}\text{C}$) | Diferencia ($^{\circ}\text{C}$) | Porcentaje (%) |
|-------------------|---|---|-----------------------------------|----------------|
| Enero | 25,005 | 24,882 | 0,122 | 0,490 |
| Febrero | 25,632 | 25,512 | 0,120 | 0,470 |
| Marzo | 25,919 | 25,817 | 0,101 | 0,391 |
| Abril | 25,761 | 25,691 | 0,700 | 0,271 |
| Mayo | 25,481 | 25,446 | 0,034 | 0,134 |
| Junio | 25,638 | 25,657 | 0,026 | 0,102 |
| Julio | 25,810 | 25,791 | 0,019 | 0,074 |
| Agosto | 25,658 | 25,634 | 0,024 | 0,095 |
| Septiembre | 25,167 | 25,093 | 0,074 | 0,295 |
| Octubre | 24,821 | 24,747 | 0,074 | 0,300 |

| Mes | Datos promedio completos (°C) | Datos promedio sin completar (°C) | Diferencia (°C) | Porcentaje (%) |
|-----------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| Noviembre | 24,749 | 24,597 | 0,151 | 0,611 |
| Diciembre | 24,723 | 24,571 | 0,151 | 0,614 |

Nota. Esta tabla consigna los Promedios totales anuales de temperatura por estación para los años Neutros.

Gráfica 17. Relación de datos de temperatura para los años Neutros



Nota. El gráfico representa la relación de datos completos e incompletos de temperatura para los años neutros.

9.1.3 Temperatura para años con fenómeno climatológico Niño

Para el caso de temperatura, la variable de mayor correlación, fue la cota con un valor de -0.992 (correlación inversa o inversamente proporcional), es decir que, entre menor sea la cota mayor será la temperatura; se graficaron los datos de las dos variables y así obtener la ecuación (ver Tabla 23).

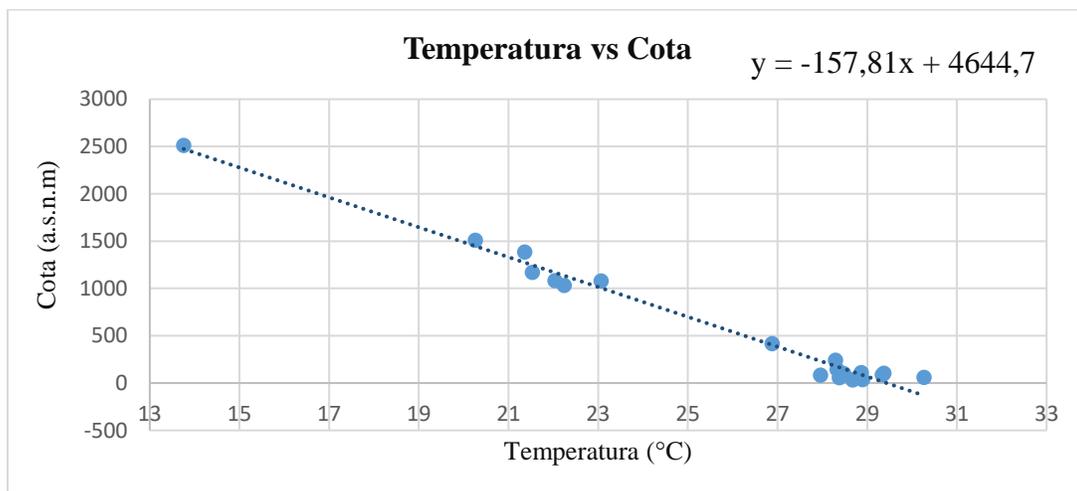
Tabla 23. Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niño

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Brillo (HM) | Humedad Relativa (%) | Temperatura Rocío (°C) |
|----------------------------------|------------------|----------------|-------------|----------------------|------------------------|
| 15015060 | 13,756 | 2511 | 8,223 | 92,173 | 12,649 |
| 16025030 | 23,065 | 1078 | 14,403 | 77,464 | 18,835 |
| 16055010 | 21,530 | 1171 | 17,666 | 82,591 | 18,620 |
| 16055020 | 22,033 | 1083 | | 85,906 | 19,260 |
| 16055040 | 21,364 | 1386 | 16,718 | 78,535 | 17,148 |
| 16055060 | 20,263 | 1509 | 16,111 | 80,877 | 16,827 |
| 16055090 | 22,240 | 1030 | 16,138 | 81,773 | 18,863 |
| 23185010 | 27,961 | 83 | 17,668 | 82,403 | 24,319 |

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Brillo (HM) | Humedad Relativa (%) | Temperatura Rocío (°C) |
|----------------------------------|------------------|----------------|-------------|----------------------|------------------------|
| 25025090 | 28,898 | 37 | 21,054 | 71,686 | 22,876 |
| 25025100 | 28,378 | 56 | 19,804 | 78,814 | 23,967 |
| 25025250 | 28,675 | 34 | 21,618 | 79,317 | 24,170 |
| 28015070 | 28,293 | 240 | 19,176 | 66,074 | 21,071 |
| 28025020 | 26,876 | 417 | | 74,398 | 21,656 |
| 28025070 | 29,370 | 105 | 21,827 | 69,291 | 37,472 |
| 28025080 | 28,329 | 145 | 20,575 | 73,918 | 22,766 |
| 28025090 | 28,475 | 100 | | 74,155 | 23,148 |
| 28035010 | 29,336 | 87 | 21,021 | 70,097 | 22,879 |
| 28035020 | 28,866 | 110 | 21,608 | 69,905 | 22,527 |
| 28035040 | 30,269 | 61 | 20,728 | 63,440 | 22,031 |
| Valor de Correlación | | -0,992 | 0,926 | -0,807 | 0,738 |

Nota. Esta tabla consiga Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niño.

Gráfica 18. Correlación entre temperatura y cota para los años Niño



Nota. El grafico representa el índice de correlación entre la temperatura y la cota para los años Niño.

A través de la ecuación dada por coeficiente de correlación (ver Gráfica 18), se lograron establecer los datos faltantes de temperatura de cada estación climatológica para los años Neutros, al despejar la ecuación se obtuvo como resultado:

$$Temperatura = \frac{Cota - 4644,7}{-157,81}$$

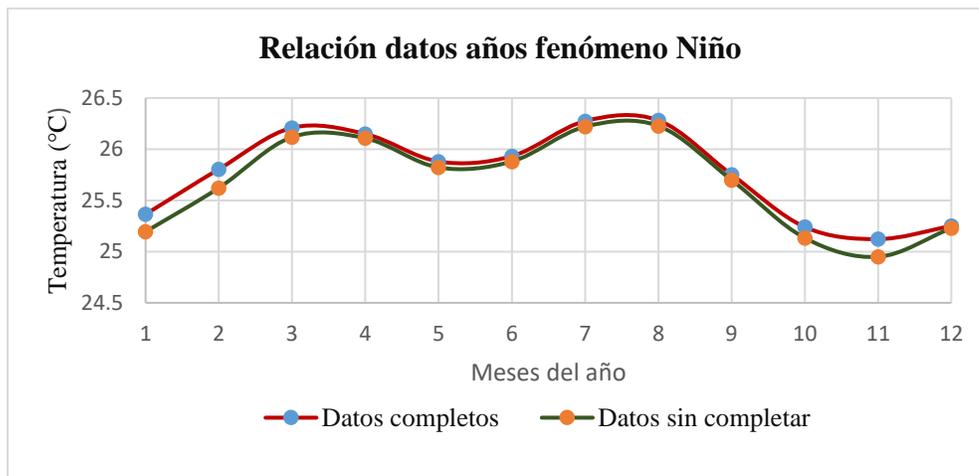
Adicionalmente, se realizó la verificación de información a través de una comparación de temperatura promedio total mensual de los años Niño con datos faltantes con relación a la temperatura promedio total aplicando la ecuación, se pudo constatar que la tendencia de la temperatura se mantuvo como se observa en la Gráfica 19, además la diferencia entre los datos no alcanzo al 1% como se observa en Tabla 24).

Tabla 24. Promedios totales anuales de temperatura por estación para los años Niño

| Mes | Datos promedio completos (°C) | Datos promedio sin completar (°C) | Diferencia (°C) | Porcentaje (%) |
|------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| Enero | 25,364 | 25,194 | 0,170 | 0,670 |
| Febrero | 25,805 | 25,622 | 0,182 | 0,700 |
| Marzo | 26,209 | 26,119 | 0,090 | 0,345 |
| Abril | 26,149 | 26,107 | 0,041 | 0,160 |
| Mayo | 25,879 | 25,821 | 0,058 | 0,224 |
| Junio | 25,931 | 25,880 | 0,051 | 0,199 |
| Julio | 26,274 | 26,220 | 0,054 | 0,207 |
| Agosto | 26,281 | 26,228 | 0,053 | 0,203 |
| Septiembre | 25,752 | 25,700 | 0,052 | 0,204 |
| Octubre | 25,240 | 25,133 | 0,107 | 0,424 |
| Noviembre | 25,122 | 24,949 | 0,172 | 0,688 |
| Diciembre | 25,249 | 25,229 | 0,019 | 0,079 |

Nota. Esta tabla consigna los promedios totales anuales de temperatura por estación para los años Niño.

Gráfica 19. Relación de datos de temperatura de los años Niño



Nota: El gráfico representa la relación de datos completos e incompletos de temperatura para los años Niño.

9.1.4 Temperatura para años con fenómeno climatológico Niña

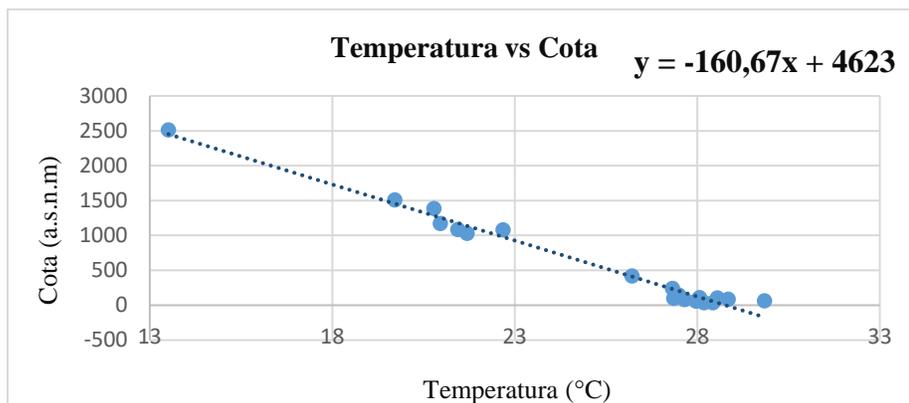
Para el caso de temperatura, la variable de mayor correlación fue la cota con un valor de -0.991 (correlación inversa o inversamente proporcional), es decir entre menor sea la cota mayor será la temperatura; se graficaron los datos de las dos variables y así obtener la ecuación (ver Tabla 25).

Tabla 25. Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niña

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Brillo (HM) | Humedad Relativa (%) | Temperatura Rocío (°C) |
|----------------------------------|------------------|----------------|-------------|----------------------|------------------------|
| 15015060 | 13,511 | 2511,000 | 7,559 | 93,748 | 12,583 |
| 16025030 | 22,681 | 1078 | 13,418 | 79,275 | 18,780 |
| 16055010 | 20,957 | 1171 | 15,645 | 83,781 | 17,985 |
| 16055020 | 21,442 | 1083 | | 87,573 | 19,223 |
| 16055040 | 20,789 | 1386 | 15,084 | 82,381 | 17,485 |
| 16055060 | 19,710 | 1509 | 14,298 | 82,705 | 16,586 |
| 16055090 | 21,693 | 1030 | 15,041 | 83,582 | 18,734 |
| 23185010 | 27,652 | 83 | 16,960 | 81,496 | 23,956 |
| 25025090 | 28,427 | 37 | 20,321 | 72,928 | 22,756 |
| 25025100 | 27,966 | 56 | 19,059 | 80,253 | 23,949 |
| 25025250 | 28,186 | 34 | 20,485 | 79,161 | 23,833 |
| 28015070 | 27,323 | 240 | 19,774 | 70,460 | 21,206 |
| 28025020 | 26,209 | 417 | | 77,830 | 21,751 |
| 28025070 | 28,554 | 105 | 20,306 | 71,515 | 42,205 |
| 28025080 | 27,494 | 145 | 19,500 | 77,798 | 22,814 |
| 28025090 | 27,351 | 100 | | 78,468 | 22,893 |
| 28035010 | 28,847 | 87 | 21,014 | 72,462 | 22,579 |
| 28035020 | 28,064 | 110 | 21,816 | 72,213 | 22,368 |
| 28035040 | 29,845 | 61 | 20,504 | 65,325 | 21,903 |
| Valor de Correlación | | -0,991 | 0,948 | -0,844 | 0,655 |

Nota. Esta tabla consiga los Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niña.

Gráfica 20. Correlación entre temperatura y cota para los años Niña



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre la temperatura y la cota.

A través de la ecuación dada por coeficiente de correlación (ver Gráfica 20) se logró establecer los datos faltantes de temperatura para cada estación climatológica de los años Neutros, al despejar la ecuación da como resultado:

$$Temperatura = \frac{Cota - 4623}{-160,67}$$

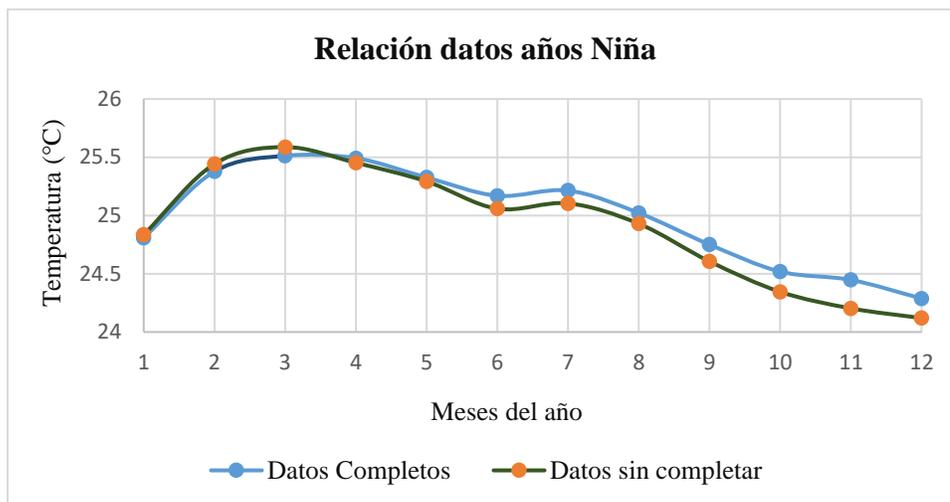
Adicionalmente, se realizó la verificación de información, a través de una comparación de temperatura promedio total mensual de los años con presencia del fenómeno de Niña con datos faltantes en relación con la temperatura promedio total mensual aplicando la ecuación, se pudo constatar que la tendencia de la temperatura se mantuvo Gráfica 21, la diferencia entre los datos no alcanzo al 1% ni al -0,3% como se observa en Tabla 26).

Tabla 26. Promedios totales anuales de temperatura por estación para los años Niña

| Mes | Datos promedio completos (°C) | Datos promedio sin completar (°C) | Diferencia (°C) | Porcentaje (%) |
|------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| Enero | 24,809 | 24,835 | -0,026 | -0,106 |
| Febrero | 25,377 | 25,442 | -0,064 | -0,254 |
| Marzo | 25,512 | 25,587 | -0,074 | -0,292 |
| Abril | 25,452 | 25,292 | 0,039 | 0,155 |
| Mayo | 25,326 | 25,292 | 0,034 | 0,135 |
| Junio | 25,169 | 25,058 | 0,111 | 0,442 |
| Julio | 25,213 | 25,104 | 0,109 | 0,434 |
| Agosto | 25,022 | 24,929 | 0,092 | 0,368 |
| Septiembre | 24,750 | 24,606 | 0,144 | 0,584 |
| Octubre | 24,518 | 24,345 | 0,173 | 0,708 |
| Noviembre | 24,447 | 24,203 | 0,243 | 0,997 |
| Diciembre | 24,287 | 24,119 | 0,168 | 0,693 |

Nota. Esta tabla consigna los promedios totales anuales de temperatura por estación para los años Niña.

Gráfica 21. Relación de datos de temperatura de los años Niña



Nota. El grafico representa la relación de datos completos e incompletos de temperatura para los años Niña.

9.2 VARIABLE HUMEDAD RELATIVA

9.2.1 Humedad Relativa para el periodo de 1980 – 2016

Para la obtención de los datos faltantes de la variable de humedad relativa, se realizó el siguiente procedimiento:

Se calculó el promedio anual de porcentaje de humedad relativa, temperatura, temperatura punto de rocío y brillo solar, además se incluyó la información de cota, latitud y longitud para cada una de las estaciones climatológicas terrestres, estos promedios se correlacionaron mediante el “coeficiente de correlación” para el caso humedad relativa, la variable que presento mayor correlación fue temperatura, con un valor de -0.815 (ver Tabla 27).

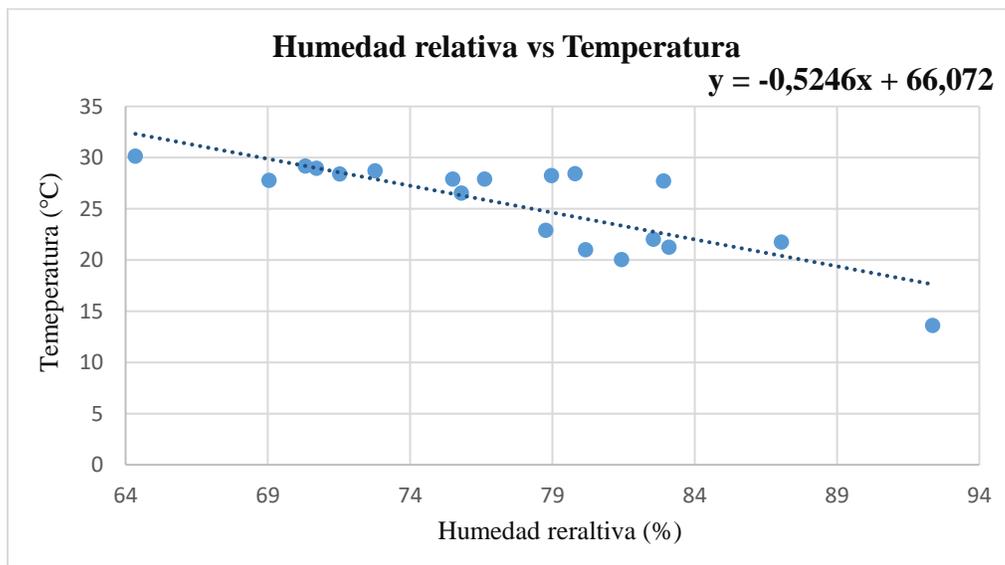
Tabla 27. Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio

| Estación Climatológica Terrestre | Humedad Relativa (%) | Cota (m.s.n.m) | Latitud (°) | Longitud (°) | Temperatura (°C) | Temperatura Rocío (°C) | Brillo Solar (HM) |
|----------------------------------|----------------------|----------------|-------------|--------------|------------------|------------------------|-------------------|
| 15015060 | 92,356 | 2511 | 11,111083 | -74,0546944 | 13,600 | 12,497 | 77,626 |
| 16025030 | 78,759 | 1078 | 7,774583 | -72,8305556 | 22,896 | 18,914 | 139,368 |
| 16055010 | 83,091 | 1171 | 8,315278 | -73,3575 | 21,253 | 18,180 | 164,982 |
| 16055020 | 87,041 | 1083 | 8,442222 | -73,2852778 | 21,726 | 19,337 | |
| 16055040 | 80,161 | 1386 | 8,087222 | -73,2230556 | 20,978 | 17,165 | 158,498 |
| 16055060 | 81,429 | 1509 | 8,217500 | -73,235 | 20,039 | 16,663 | 152,843 |
| 16055090 | 82,551 | 1030 | 8,470556 | -73,3438889 | 22,013 | 18,826 | 157,469 |
| 23185010 | 82,902 | 83 | 7,456111 | -73,5372222 | 27,701 | 24,266 | 173,273 |

| Estación Climatológica Terrestre | Humedad Relativa (%) | Cota (m.s.n.m) | Latitud (°) | Longitud (°) | Temperatura (°C) | Temperatura Rocío (°C) | Brillo Solar (HM) |
|----------------------------------|----------------------|----------------|-------------|--------------|------------------|------------------------|-------------------|
| 25025090 | 72,763 | 37 | 9,046333 | -73,9708333 | 28,710 | 22,936 | 203,359 |
| 25025100 | 78,967 | 56 | 9,281944 | -74,8452778 | 28,230 | 23,897 | 187,838 |
| 25025250 | 79,792 | 34 | 9,361028 | -73,5933889 | 28,409 | 24,139 | 210,142 |
| 28015070 | 69,039 | 240 | 10,566389 | -73,0163889 | 27,773 | 21,340 | 194,837 |
| 28025020 | 75,799 | 417 | 10,271389 | -73,1313889 | 26,535 | 21,656 | 168,900 |
| 28025070 | 70,702 | 105 | 10,001806 | -73,2493889 | 28,946 | | 209,068 |
| 28025080 | 75,495 | 145 | 9,686667 | -73,2405556 | 27,898 | 22,727 | 198,612 |
| 28025090 | 76,621 | 100 | 9,850250 | -73,2654722 | 27,889 | 23,059 | |
| 28035010 | 70,314 | 87 | 10,190667 | -73,5473889 | 29,160 | 22,679 | 206,642 |
| 28035020 | 71,529 | 110 | 10,363056 | -73,3194444 | 28,384 | 22,516 | 214,854 |
| 28035040 | 64,343 | 61 | 9,904917 | -73,6475278 | 30,142 | 22,052 | 204,602 |
| Valor de Correlación | | 0,742 | -0,373 | -0,148 | -0,815 | -0,602 | -0,808 |

Nota. Esta tabla consiga los promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio.

Gráfica 22. Correlación entre humedad relativa y temperatura para el periodo 1980-2016



Nota. El grafico representa el índice de correlación entre humedad relativa y la cota.

A través de la ecuación dada por coeficiente de correlación (ver Gráfica 22) se logró establecer los datos faltantes de porcentaje de humedad relativa de cada estación climatológica para el periodo comprendido entre 1980-2016, al despejar la ecuación da como resultado:

$$\text{Humedad Relativa (\%)} = \frac{\text{Temperatura} - 66,072}{-0,524}$$

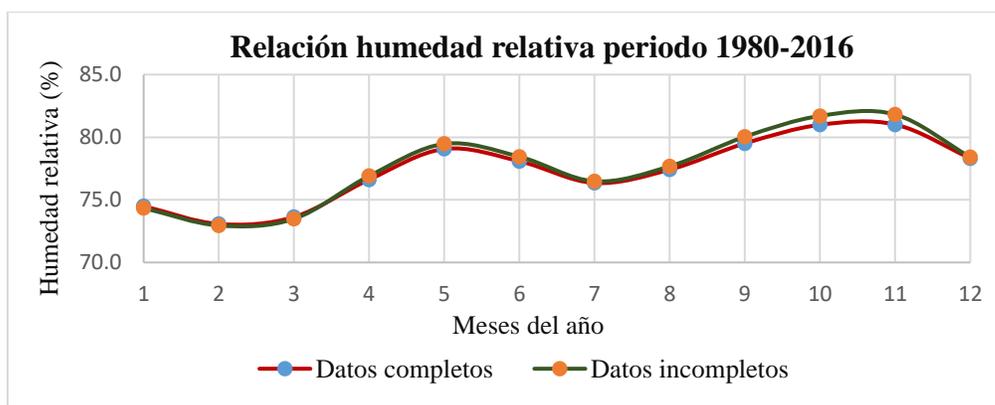
Adicionalmente se realizó la verificación de información, a través de una comparación de humedad relativa promedio total mensual del periodo comprendido entre 1980-2016 con datos faltantes en relación con humedad relativa promedio total mensual aplicando la ecuación, se pudo constatar que la tendencia del porcentaje de humedad relativa se mantuvo (ver Gráfica 23), la diferencia entre los datos no sobrepaso el 0.154 ni el -0.8 como se observa en Tabla 28).

Tabla 28. Promedios totales mensuales de humedad relativa para el periodo de 1980-2016

| Mes | Datos promedio completos (%) | Datos promedio sin completar (%) | Diferencia (%) | Porcentaje (%) |
|------------|------------------------------|----------------------------------|----------------|----------------|
| Enero | 74,497 | 74,343 | 0,155 | 0,002 |
| Febrero | 73,072 | 72,952 | 0,120 | 0,002 |
| Marzo | 73,630 | 73,481 | 0,150 | 0,002 |
| Abril | 76,614 | 76,903 | -0,289 | -0,004 |
| Mayo | 79,063 | 79,472 | -0,408 | -0,005 |
| Junio | 78,090 | 78,449 | -0,359 | -0,005 |
| Julio | 76,346 | 76,482 | -0,136 | -0,002 |
| Agosto | 77,412 | 77,675 | -0,263 | -0,003 |
| Septiembre | 79,504 | 80,036 | -0,532 | -0,007 |
| Octubre | 80,993 | 81,702 | -0,709 | -0,009 |
| Noviembre | 81,014 | 81,813 | -0,799 | -0,010 |
| Diciembre | 78,325 | 78,409 | -0,085 | -0,001 |

Nota. Esta tabla consigna los datos promedios mensuales totales de humedad relativa del periodo 1980-2016, relacionando los datos completos con los incompletos.

Gráfica 23. Relación humedad relativa del periodo 1980-2016



Nota. El grafico representa la relación de datos completos e incompletos de temperatura para el periodo 1980-2016.

Posteriormente, este mismo procedimiento se realizó de manera independiente para los años Neutros y los años que presentaron los fenómenos de Niño y Niña, dando como resultado:

9.2.2 Humedad Relativa para años Neutros

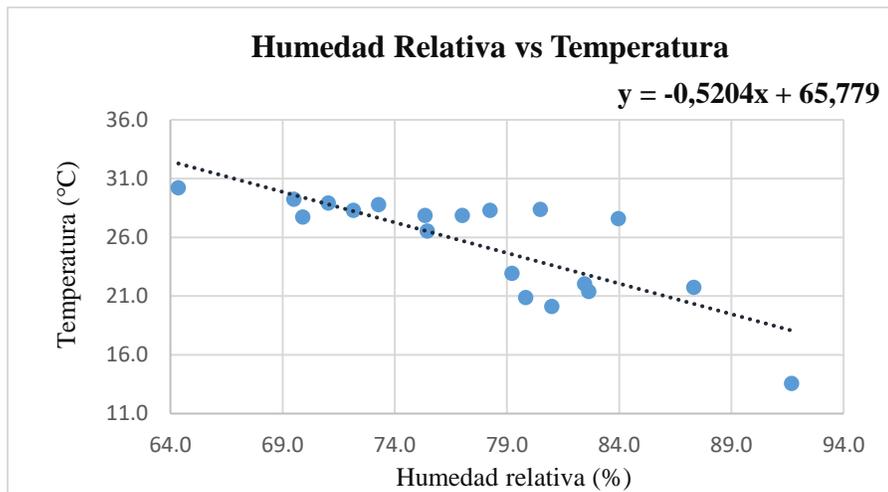
Para el caso de humedad relativa para los años Neutros, la que mejor se relacionó, fue la temperatura con un valor de -0,796 (ver Tabla 29).

Tabla 29. Promedios totales anuales de humedad relativa por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Neutros

| Estación Climatológica Terrestre | Humedad Relativa (%) | Cota (m.s.n.m) | Temperatura (°C) | Brillo Solar (HM) | Temperatura Rocío (°C) |
|----------------------------------|----------------------|----------------|------------------|-------------------|------------------------|
| 15015060 | 91,685 | 2511 | 13,563 | 75,915 | 12,366 |
| 16025030 | 79,217 | 1078 | 22,921 | 139,729 | 19,039 |
| 16055010 | 82,650 | 1171 | 21,384 | 163,660 | 18,156 |
| 16055020 | 87,330 | 1083 | 21,731 | | 19,445 |
| 16055040 | 79,830 | 1386 | 20,869 | 158,409 | 16,996 |
| 16055060 | 80,994 | 1509 | 20,103 | 154,709 | 16,612 |
| 16055090 | 82,461 | 1030 | 22,050 | 159,116 | 18,859 |
| 23185010 | 83,960 | 83 | 27,584 | 173,605 | 24,409 |
| 23185010 | 73,281 | 37 | 28,789 | 199,455 | 23,092 |
| 25025100 | 78,238 | 56 | 28,306 | 181,358 | 23,818 |
| 25025250 | 80,493 | 34 | 28,363 | 209,389 | 24,294 |
| 28015070 | 69,896 | 240 | 27,733 | 194,937 | 21,563 |
| 28025020 | 75,449 | 417 | 26,527 | 168,900 | 21,604 |
| 28025070 | 71,034 | 105 | 28,929 | 207,732 | |
| 28025080 | 75,347 | 145 | 27,848 | 196,730 | 22,653 |
| 28025090 | 77,009 | 100 | 27,861 | | 23,108 |
| 28035010 | 69,496 | 87 | 29,236 | 202,911 | 22,607 |
| 28035020 | 72,159 | 110 | 28,288 | 212,232 | 22,589 |
| 28035040 | 64,356 | 61 | 30,230 | 202,768 | 22,162 |
| Valor de Correlación | | 0,717 | -0,796 | -0,789 | -0,572 |

Nota. Esta tabla consiga los promedios totales anuales de humedad relativa por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Neutros.

Gráfica 24. Correlación humedad relativa y temperatura para los años Neutros



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre la humedad relativa y cota.

A través de la ecuación dada por coeficiente de correlación (ver Gráfica 24), se lograron establecer los datos faltantes de porcentaje de humedad relativa de cada estación climatológica para los años neutro, al despejar la ecuación, se obtuvo como resultado:

$$\text{Humedad Relativa (\%)} = \frac{\text{Temperatura} - 65,779}{-0,5204}$$

Adicionalmente, se realizó la verificación de información, a través de una comparación de humedad relativa promedio total mensual de los años Neutros con datos faltantes, con relación a los datos de porcentaje de humedad relativa promedio total mensual, donde se aplicó la ecuación. Se pudo constatar que la tendencia del porcentaje de humedad relativa se mantuvo (ver Gráfica 25), la diferencia entre los datos, no sobrepasó el -0.925 tal y como se observa en Tabla 30.

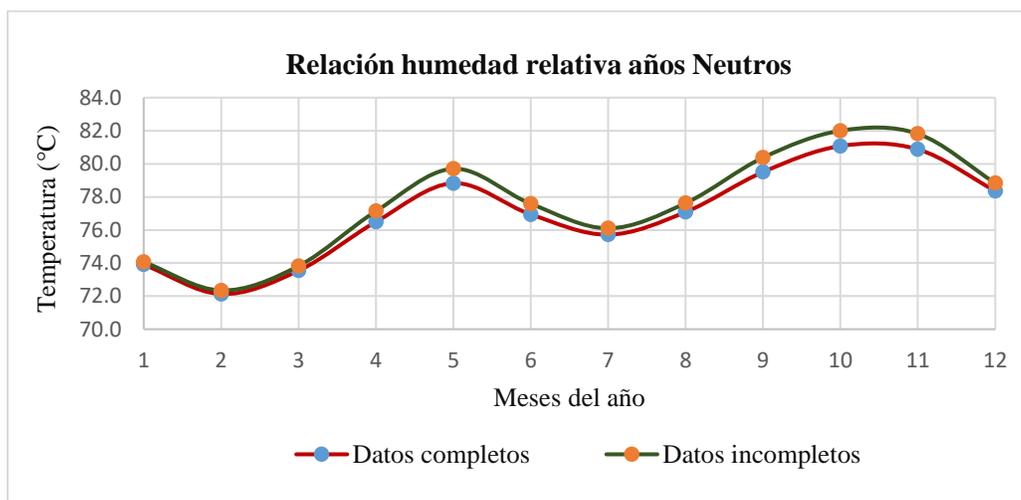
Tabla 30. Promedios totales mensuales de humedad relativa para los años Neutros

| Mes | Datos promedio completos (%) | Datos promedio sin completar (%) | Diferencia (%) | Porcentaje (%) |
|------------|------------------------------|----------------------------------|----------------|----------------|
| Enero | 73,903 | 74,064 | -0,161 | -0,002 |
| Febrero | 72,130 | 72,344 | -0,214 | -0,002 |
| Marzo | 73,539 | 73,821 | -0,281 | -0,003 |
| Abril | 76,492 | 77,136 | -0,644 | -0,008 |
| Mayo | 78,826 | 79,700 | -0,874 | -0,011 |
| Junio | 76,941 | 77,584 | -0,643 | -0,008 |
| Julio | 75,714 | 76,100 | -0,385 | -0,005 |
| Agosto | 77,082 | 77,620 | -0,537 | -0,006 |
| Septiembre | 79,503 | 80,373 | -0,869 | -0,010 |

| Mes | Datos promedio completos (%) | Datos promedio sin completar (%) | Diferencia (%) | Porcentaje (%) |
|------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------|----------------|
| Octubre | 81,074 | 82 | -0,925 | -0,011 |
| Noviembre | 80,876 | 81,815 | -0,938 | -0,011 |
| Diciembre | 78,360 | 78,830 | -0,469 | -0,005 |

Nota. Esta tabla consigna los datos promedios mensuales totales de humedad relativa para los años neutros, relacionando los datos completos con los incompletos.

Gráfica 25. Relación de datos de humedad relativa para los años Neutros



Nota. El gráfico representa la relación de datos completos e incompletos de humedad relativa para los años neutros.

9.2.3 Humedad Relativa para años con fenómeno climatológico Niño

Para el caso de humedad relativa, no se observó un ajuste con respecto a las variables correlacionadas, pero la que mejor se relaciono fue la temperatura con un valor de -0,797 (ver Tabla 31).

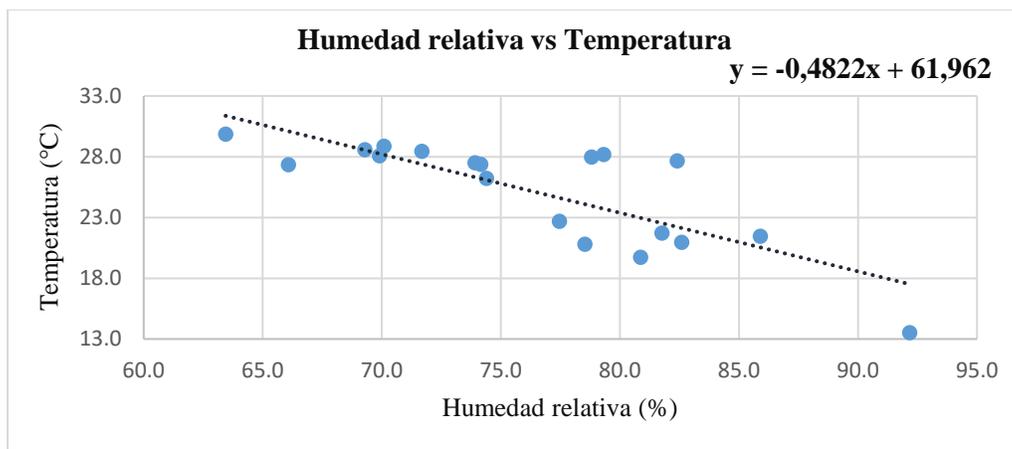
Tabla 31. Promedios totales anuales de humedad relativa por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niño

| Estación Climatológica Terrestre | Humedad Relativa (%) | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Brillo Solar (HM) | Temperatura Rocío (°C) |
|----------------------------------|----------------------|------------------|----------------|-------------------|------------------------|
| 15015060 | 92,173 | 13,511 | 2511 | 82,232 | 12,649 |
| 16025030 | 77,464 | 22,681 | 1078 | 144,031 | 18,835 |
| 16055010 | 82,591 | 20,957 | 1171 | 176,661 | 18,620 |
| 16055020 | 85,906 | 21,442 | 1083 | | 19,260 |
| 16055040 | 78,535 | 20,789 | 1386 | 167,177 | 17,148 |

| Estación Climatológica Terrestre | Humedad Relativa (%) | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Brillo Solar (HM) | Temperatura Rocío (°C) |
|----------------------------------|----------------------|------------------|----------------|-------------------|------------------------|
| 16055060 | 80,877 | 19,710 | 1509 | 161,106 | 16,827 |
| 16055060 | 81,773 | 21,693 | 1030 | 161,379 | 18,863 |
| 23185010 | 82,403 | 27,652 | 83 | 176,684 | 24,319 |
| 25025090 | 71,686 | 28,427 | 37 | 210,538 | 22,876 |
| 25025100 | 78,814 | 27,966 | 56 | 198,044 | 23,967 |
| 25025250 | 79,317 | 28,186 | 34 | 216,184 | 24,170 |
| 28015070 | 66,074 | 27,323 | 240 | 191,755 | 21,071 |
| 28025020 | 74,398 | 26,209 | 417 | | 21,656 |
| 28025070 | 69,291 | 28,554 | 105 | 218,269 | 37,472 |
| 28025080 | 73,918 | 27,494 | 145 | 205,751 | 22,766 |
| 28025090 | 74,155 | 27,351 | 100 | | 23,148 |
| 28035010 | 70,097 | 28,847 | 87 | 210,210 | 22,879 |
| 28035020 | 69,905 | 28,064 | 110 | 216,075 | 22,527 |
| 28035040 | 63,440 | 29,845 | 61 | 207,278 | 22,031 |
| Valor de Correlación | | -0,797 | 0,733 | -0,763 | -0,538 |

Nota. Esta tabla consiga los promedios totales anuales de humedad relativa por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niño.

Gráfica 26. Correlación entre humedad relativa y temperatura para años Niño



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre humedad relativa y temperatura.

A través de la ecuación dada por coeficiente de correlación (ver Gráfica 26) se logró establecer los datos faltantes de porcentaje de humedad relativa de cada estación climatológica para los años con influencia del fenómeno Niño, al despejar la ecuación da como resultado:

$$\text{Humedad Relativa (\%)} = \frac{\text{Temperatura} - 61,962}{-0,4822}$$

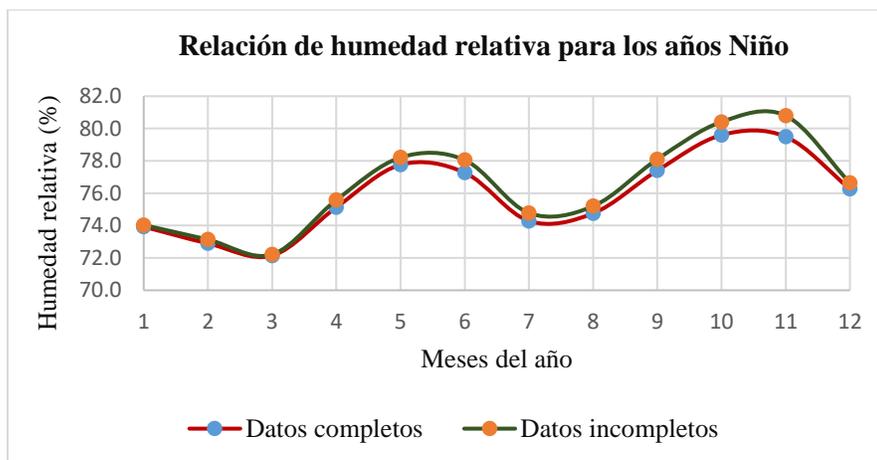
Adicionalmente se realizó la verificación de información, a través de una comparación de humedad relativa promedio total mensual de los años Niño con datos faltantes en relación con la humedad relativa promedio total mensual aplicando la ecuación, se pudo constatar que la tendencia del porcentaje de humedad relativa se mantuvo (ver Gráfica 27), la mayor diferencia fue de -1,298, tal y como se observa en la Tabla 32.

Tabla 32. Promedios totales mensuales de humedad relativa para los años Niño

| Mes | Datos promedio completos (%) | Datos promedio sin completar (%) | Diferencia (%) | Porcentaje (%) |
|------------|------------------------------|----------------------------------|----------------|----------------|
| Enero | 73,929 | 74,033 | -0,103 | -0,140 |
| Febrero | 72,903 | 73,135 | -0,072 | -0,100 |
| Marzo | 72,144 | 72,216 | -0,450 | -0,599 |
| Abril | 75,131 | 75,581 | -0,450 | -0,599 |
| Mayo | 77,764 | 78,211 | -0,447 | -0,575 |
| Junio | 77,275 | 78,053 | -0,778 | -1,007 |
| Julio | 74,285 | 74,776 | -0,491 | -0,661 |
| Agosto | 74,758 | 75,200 | -0,442 | -0,591 |
| Septiembre | 77,406 | 78,106 | -0,700 | -0,904 |
| Octubre | 79,599 | 80,413 | -0,814 | -1,022 |
| Noviembre | 79,496 | 80,793 | -1,298 | -1,633 |
| Diciembre | 76,268 | 76,638 | -0,371 | -0,486 |

Nota. Esta tabla consigna los datos promedios mensuales totales de humedad relativa para los años Niño, relacionando los datos completos con los incompletos.

Gráfica 27. Relación humedad relativa para los años Niño



Nota. El gráfico representa la relación de datos completos e incompletos de humedad relativa para los años Niño.

9.2.4 Humedad Relativa para años con fenómeno climatológico Niña

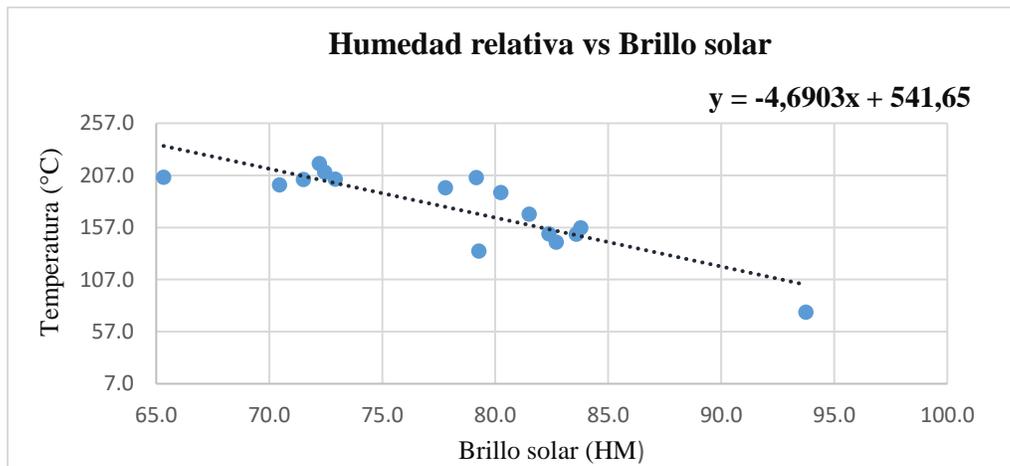
Para la variable de humedad relativa en los años Niña, se correlacionaron los valores totales anuales con dos variables, inicialmente brillo solar presentó una correlación de -0,855, (ver Tabla 33) pero al aplicar la ecuación los valores, sobrepasaban su rango debido a que algunos datos de esta variable, tenían valores de cero, por tal razón se ajustaron con la ecuación de temperatura.

Tabla 33. Promedios totales anuales de humedad relativa por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niña

| Estación Climatológica Terrestre | Humedad Relativa (%) | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Brillo (HM) | Temperatura Rocío (°C) |
|----------------------------------|----------------------|------------------|----------------|---------------|------------------------|
| 15015060 | 93,748 | 13,511 | 2511 | 75,586 | 12,583 |
| 16025030 | 79,275 | 22,681 | 1078 | 134,184 | 18,780 |
| 16055010 | 83,781 | 20,957 | 1171 | 156,455 | 17,985 |
| 16055020 | 87,573 | 21,442 | 1083 | | 19,223 |
| 16055040 | 82,381 | 20,789 | 1386 | 150,839 | 17,485 |
| 16055060 | 82,705 | 19,710 | 1509 | 142,982 | 16,586 |
| 16055090 | 83,582 | 21,693 | 1030 | 150,411 | 18,734 |
| 23185010 | 81,496 | 27,652 | 83 | 169,605 | 23,956 |
| 25025090 | 72,928 | 28,427 | 37 | 203,208 | 22,756 |
| 25025100 | 80,253 | 27,966 | 56 | 190,595 | 23,949 |
| 25025250 | 79,161 | 28,186 | 34 | 204,852 | 23,833 |
| 28015070 | 70,460 | 27,323 | 240 | 197,737 | 21,206 |
| 28025020 | 77,830 | 26,209 | 417 | | 21,751 |
| 28025070 | 71,515 | 28,554 | 105 | 203,059 | 42,205 |
| 28025080 | 77,798 | 27,494 | 145 | 195,000 | 22,814 |
| 28025090 | 78,468 | 27,351 | 100 | | 22,893 |
| 28035010 | 72,462 | 28,847 | 87 | 210,138 | 22,579 |
| 28035020 | 72,213 | 28,064 | 110 | 218,157 | 22,368 |
| 28035040 | 65,325 | 29,845 | 61 | 205,044 | 21,903 |
| Valor de Correlación | | -0,844 | 0,780 | -0,855 | -0,547 |

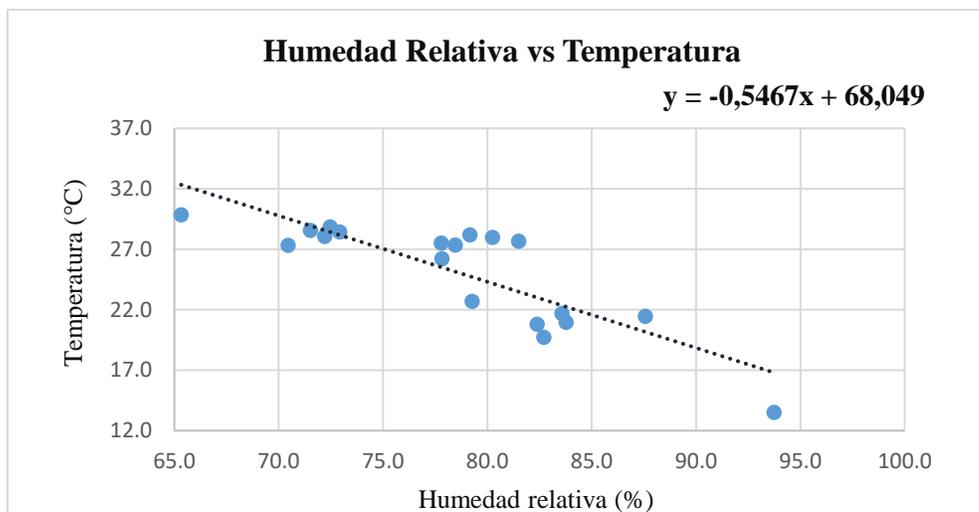
Nota. Esta tabla consiga los Promedios totales anuales de humedad relativa por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niña.

Gráfica 28. Correlación humedad relativa y brillo solar para años Niña



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre humedad relativa.

Gráfica 29. Correlación humedad relativa y temperatura para años Niña



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre humedad relativa y temperatura.

A través de las dos ecuaciones dadas por coeficiente de correlación (ver Gráficas 16 y 17), se lograron establecer los datos faltantes de porcentaje de humedad relativa de cada estación climatológica para los años con influencia del fenómeno Niña, al despejar las ecuaciones dieron como resultado:

$$\text{Humedad Relativa (\%)} = \frac{\text{Brillo Solar} - 541,65}{-4,6903}$$

$$\text{Humedad Relativa (\%)} = \frac{\text{Temperatura} - 68,049}{-0,5467}$$

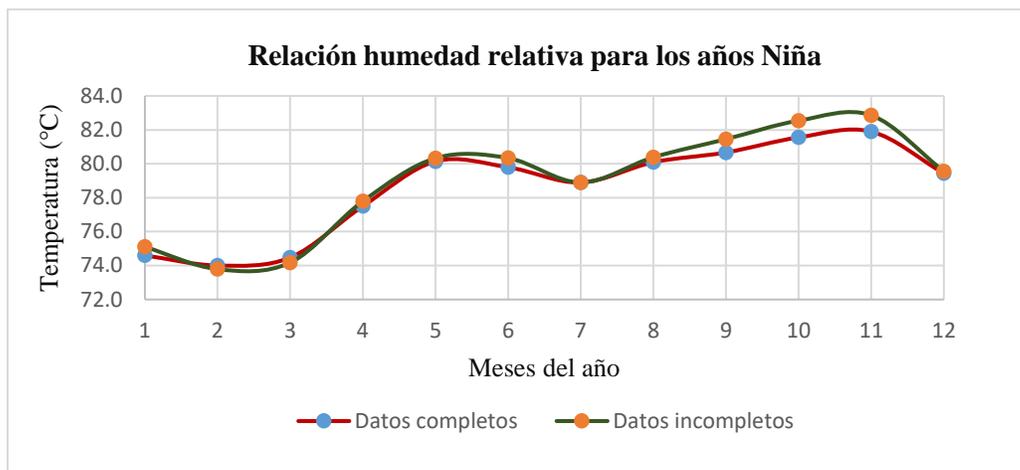
Adicionalmente se realizó la verificación de información, a través de una comparación de humedad relativa promedio total mensual de los años con influencia del fenómeno Niña con datos faltantes en relación con la humedad relativa promedio total mensual aplicando las ecuaciones, se pudo constatar que la tendencia del porcentaje de humedad relativa se mantuvo (ver Gráfica 30), la mayor diferencia fue de -0,973 como se observa en la Tabla 34.

Tabla 34. Promedios totales mensuales de humedad relativa para años Niña

| Mes | Datos promedio completos (%) | Datos promedio sin completar (%) | Diferencia (%) | Porcentaje (%) |
|-------------------|-------------------------------------|---|-----------------------|-----------------------|
| Enero | 74,495 | 75,101 | -0,506 | -0,678 |
| Febrero | 74,003 | 73,787 | 0,216 | 0,291 |
| Marzo | 74,471 | 74,173 | 0,298 | 0,400 |
| Abril | 77,501 | 77,791 | -0,290 | -0,374 |
| Mayo | 80,140 | 80,329 | -0,189 | -0,236 |
| Junio | 79,796 | 80,338 | -0,542 | -0,679 |
| Julio | 78,896 | 78,899 | -0,003 | -0,003 |
| Agosto | 80,090 | 80,381 | -0,291 | -0,363 |
| Septiembre | 80,666 | 81,451 | -0,785 | -0,973 |
| Octubre | 81,555 | 82,541 | -0,987 | -1,210 |
| Noviembre | 81,897 | 82,856 | -0,959 | -1,171 |
| Diciembre | 79,431 | 79,550 | -0,119 | -0,149 |

Nota. Esta tabla consigna los datos promedios mensuales totales de humedad relativa de los años Niña, relacionando los datos completos con los incompletos.

Gráfica 30. Relación humedad relativa para los años Niña



Nota. El gráfico representa la relación de datos completos e incompletos de humedad relativa para los años Niña.

9.3 VARIABLE BRILLO SOLAR

9.3.1 Brillo Solar para el periodo de 1980 – 2016

Para la obtención de los datos faltantes de la variable brillo solar, se realizó el siguiente procedimiento:

A través del promedio anual de brillo solar, temperatura, humedad relativa, temperatura y punto de rocío entre los años de 1980-2016, se incluyó información de cota, latitud y longitud para cada una de las estaciones climatológicas terrestres, estos promedios se analizaron mediante el “coeficiente de correlación” para el brillo solar. Inicialmente se relacionó el brillo solar con temperatura, dado que su resultado fue un coeficiente de 0,931 (lineal perfecto). Es importante mencionar que algunos datos sobrepasaron su rango, debido a la falta de información de brillo solar, razón por la que estos datos se ajustaron con la variable cota, presentando un coeficiente de -0.0924 (inversamente proporcional) (ver Tabla 34).

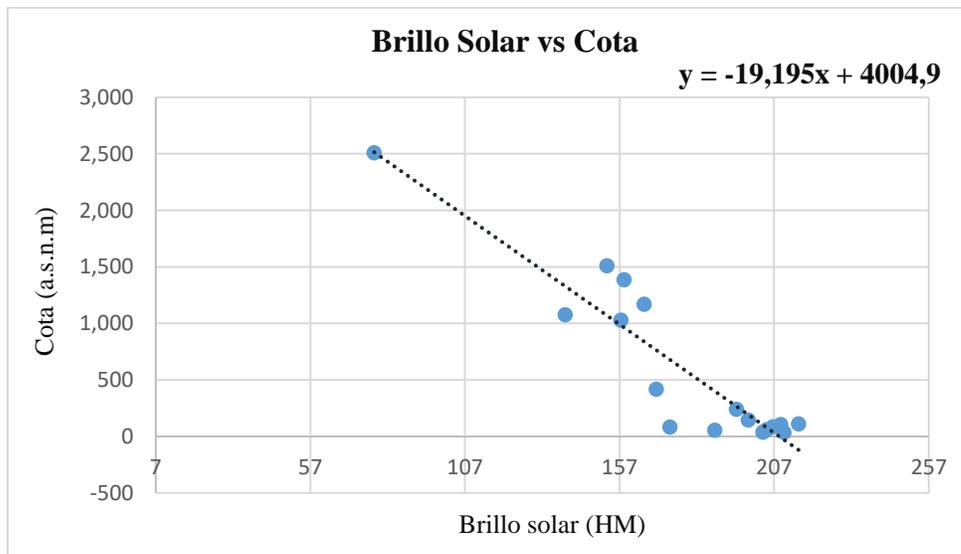
Tabla 35. Promedios totales anuales (1980-2016) de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio

| Estación Climatológica Terrestre | Brillo Solar (HM) | Cota (m.s.n.m) | Latitud (°) | Longitud (°) | Temperatura Rocío (°C) | Humedad Relativa (°C) | Temperatura (°C) |
|----------------------------------|-------------------|----------------|-------------|--------------|------------------------|-----------------------|------------------|
| 15015060 | 77,626 | 2511 | 11,111083 | -74,0546944 | 12,498 | 92,356 | 13,600 |
| 16025030 | 139,368 | 1078 | 7,774583 | -72,8305556 | 18,914 | 78,759 | 22,896 |
| 16055010 | 164,982 | 1171 | 8,315278 | -73,3575 | 18,180 | 83,091 | 21,253 |
| 16055040 | 158,498 | 1386 | 8,442222 | -73,2852778 | 17,165 | 80,161 | 20,978 |
| 16055060 | 152,843 | 1509 | 8,087222 | -73,2230556 | 16,663 | 81,429 | 20,039 |

| Estación Climatológica Terrestre | Brillo Solar (HM) | Cota (m.s.n.m) | Latitud (°) | Longitud (°) | Temperatura Rocío (°C) | Humedad Relativa (°C) | Temperatura (°C) |
|----------------------------------|-------------------|----------------|-------------|--------------|------------------------|-----------------------|------------------|
| 16055090 | 157,469 | 1030 | 8,217500 | -73,235 | 18,826 | 82,551 | 22,013 |
| 23185010 | 173,273 | 83 | 8,470556 | -73,3438889 | 24,266 | 82,902 | 27,701 |
| 25025090 | 203,359 | 37 | 7,456111 | -73,5372222 | 22,936 | 72,763 | 28,710 |
| 25025100 | 187,838 | 56 | 9,046333 | -73,9708333 | 23,897 | 78,967 | 28,230 |
| 25025250 | 210,142 | 34 | 9,281944 | -74,8452778 | 24,139 | 79,792 | 28,409 |
| 28015070 | 194,837 | 240 | 9,361028 | -73,5933889 | 21,340 | 69,039 | 27,773 |
| 28025020 | 168,900 | 417 | 10,566389 | -73,0163889 | 21,656 | 75,799 | 26,535 |
| 28025070 | 209,068 | 105 | 10,271389 | -73,1313889 | | 70,702 | 28,946 |
| 28025080 | 198,612 | 145 | 10,001806 | -73,2493889 | 22,727 | 75,495 | 27,898 |
| 28035010 | 206,642 | 87 | 9,686667 | -73,2405556 | 22,679 | 70,314 | 29,160 |
| 28035020 | 214,854 | 110 | 9,850250 | -73,2654722 | 22,516 | 71,529 | 28,384 |
| 28035040 | 204,602 | 61 | 10,190667 | -73,5473889 | 22,052 | 64,343 | 30,142 |
| Valor de Correlación | | -0,925 | 0,140 | 0,015 | 0,871 | -0,808 | 0,931 |

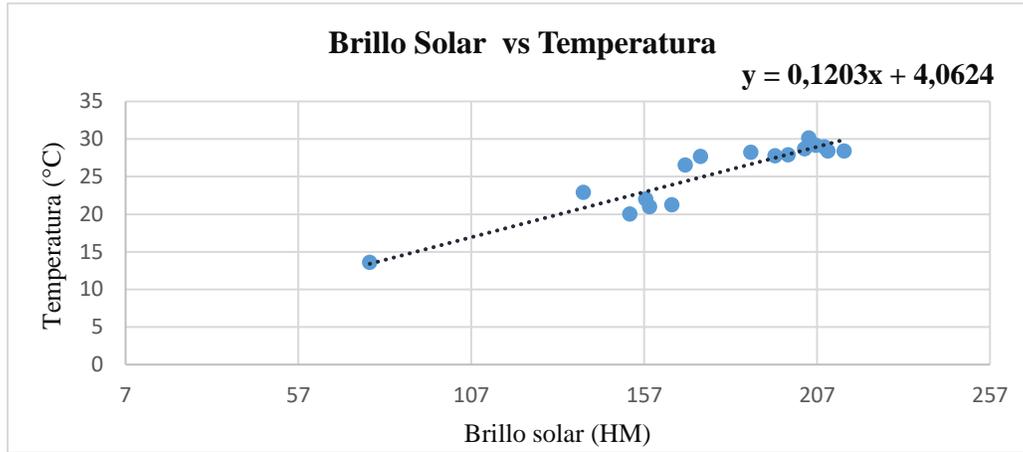
Nota. Esta tabla consiga promedios totales anuales (1980-2016) de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio.

Gráfica 31. Correlación brillo solar y cota para el periodo 1980-2016



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre la temperatura y la cota.

Gráfica 32. Correlación brillo solar y temperatura para el periodo 1980-2016



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre brillo solar y temperatura.

A través de las dos ecuaciones dadas por coeficiente de correlación (ver Gráficas 31 y 32) se lograron establecer los datos faltantes de porcentaje de brillo solar de cada estación climatológica para los años comprendidos entre 1980-2016, al despejar las ecuaciones se obtuvo como resultado:

$$\text{Brillo Solar (HM)} = \frac{\text{Cota} - 4004,9}{-19,195}$$

$$\text{Brillo Solar (HM)} = \frac{\text{Temperatura} - 4,0624}{-0,1203}$$

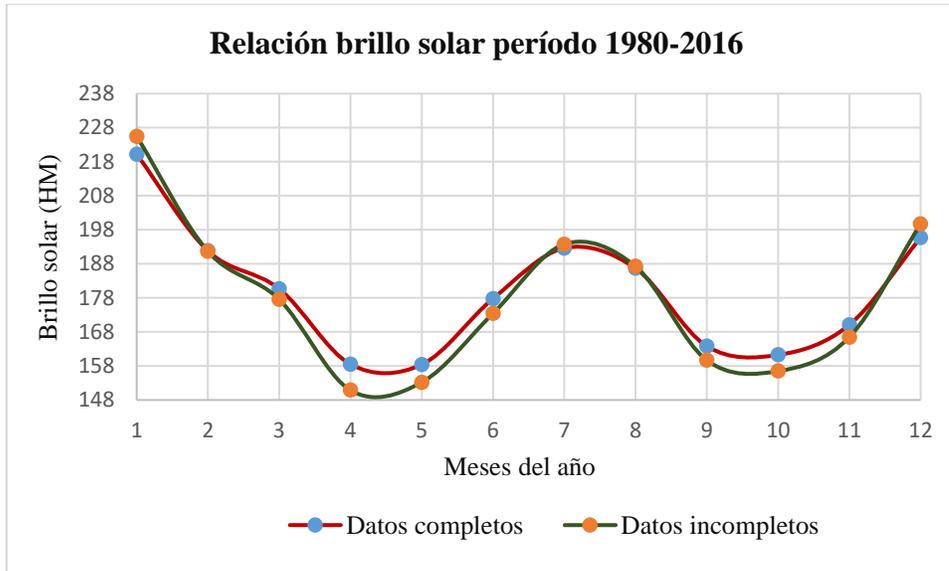
Adicionalmente, se realizó la verificación de información a través de una comparación de brillo solar promedio total mensual de los años entre 1980-2016, con datos faltantes con relación a brillo solar promedio total mensual, aplicando las ecuaciones, se pudo constatar que la tendencia de brillo solar se mantuvo (ver Gráfica 33), la mayor diferencia fue de 7,636 para el mes de abril como se observa en la Tabla 36.

Tabla 36. Promedios totales mensuales de brillo solar para el periodo de 1980-2016

| Mes | Datos promedio completos (HM) | Datos promedio sin completar (HM) | Diferencia (HM) | Porcentaje (%) |
|------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| Enero | 220,198 | 225,449 | -5,251 | -2,385 |
| Febrero | 191,811 | 191,671 | 0,140 | 0,073 |
| Marzo | 180,673 | 177,545 | 3,129 | 1,732 |
| Abril | 158,504 | 150,868 | 7,637 | 4,818 |
| Mayo | 158,421 | 153,188 | 5,233 | 3,303 |
| Junio | 177,775 | 173,431 | 4,344 | 2,444 |
| Julio | 192,627 | 193,766 | -1,139 | -0,591 |
| Agosto | 186,681 | 187,236 | -0,555 | -0,297 |
| Septiembre | 163,823 | 159,687 | 4,136 | 2,525 |
| Octubre | 161,259 | 156,497 | 4,762 | 2,953 |
| Noviembre | 170,073 | 166,471 | 3,602 | 2,118 |
| Diciembre | 195,682 | 199,723 | -4,041 | -2,065 |

Nota. Esta tabla consigna los datos promedios mensuales totales de brillo solar del periodo de 1980-2016, relacionando los datos completos con los incompletos.

Gráfica 33. Relación brillo solar para el periodo 1980-2016



Nota. El gráfico representa la relación de datos completos e incompletos de brillo solar para el periodo de 1980-2016.

Posteriormente, este mismo procedimiento se realizó de manera independiente para los años Neutros y los años que presentaron los fenómenos de Niño y Niña, arrojando lo siguiente:

9.3.2 Brillo Solar para años Neutros

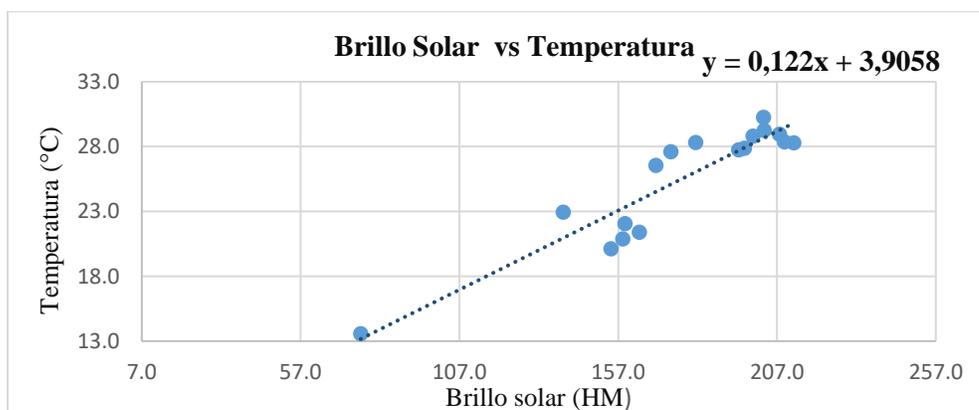
Para el caso de brillo solar de los años Neutros, se correlacionó con dos variables, la primera de ellas fue temperatura con un índice de 0,925 seguido de cota con un valor de -0,919 como se observa en la Tabla 36.

Tabla 37. Promedios totales anuales de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Neutros

| Estación Climatológica Terrestre | Brillo Solar (HM) | Cota (m.s.n.m) | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Temperatura Rocío (°C) |
|----------------------------------|-------------------|----------------|------------------|----------------------|------------------------|
| 15015060 | 75,915 | 2511 | 13,563 | 91,685 | 12,366 |
| 16025030 | 139,729 | 1078 | 22,921 | 79,217 | 19,039 |
| 16055010 | 163,660 | 1171 | 21,384 | 82,650 | 18,156 |
| 16055040 | 158,409 | 1386 | 20,869 | 79,830 | 16,996 |
| 16055060 | 154,709 | 1509 | 20,103 | 80,994 | 16,612 |
| 16055090 | 159,116 | 1030 | 22,050 | 82,461 | 18,859 |
| 23185010 | 173,605 | 83 | 27,584 | 83,960 | 24,409 |
| 25025090 | 199,455 | 37 | 28,789 | 73,281 | 23,092 |
| 25025100 | 181,358 | 56 | 28,306 | 78,238 | 23,818 |
| 25025250 | 209,389 | 34 | 28,363 | 80,493 | 24,294 |
| 28015070 | 194,937 | 240 | 27,733 | 69,896 | 21,563 |
| 28025020 | 168,900 | 417 | 26,527 | 75,449 | 21,604 |
| 28025070 | 207,732 | 105 | 28,929 | 71,034 | |
| 28025080 | 196,730 | 145 | 27,848 | 75,347 | 22,653 |
| 28035010 | 202,911 | 87 | 29,236 | 69,496 | 22,607 |
| 28035020 | 212,232 | 110 | 28,288 | 72,159 | 22,589 |
| 28035040 | 202,768 | 61 | 30,230 | 64,356 | 22,162 |
| Valor de Correlación | | -0,919 | 0,926 | -0,789 | 0,865 |

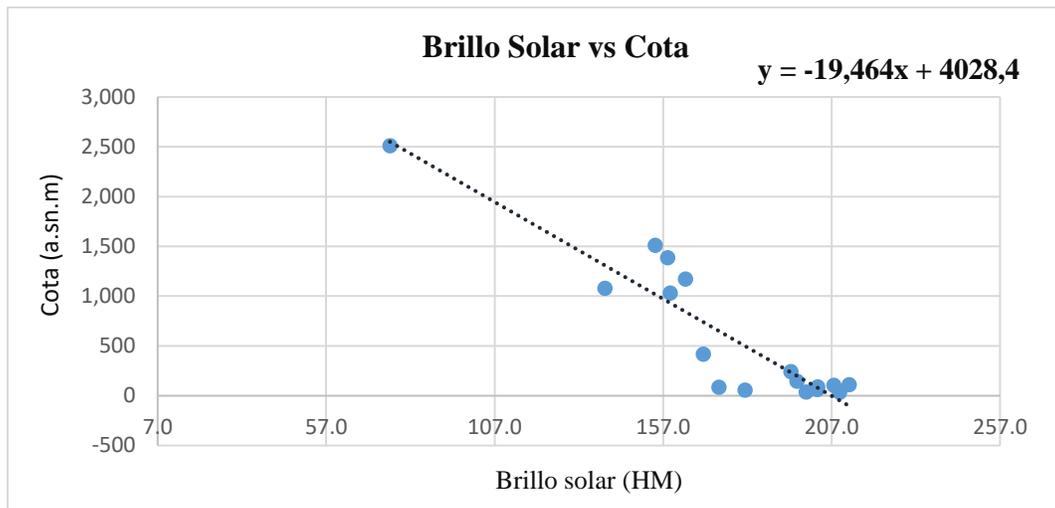
Nota. Esta tabla consiga los promedios totales anuales de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Neutros.

Gráfica 34. Correlación entre brillo solar y temperatura para los años Neutros



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre brillo solar y temperatura.

Gráfica 35. Correlación entre brillo solar y cota para los años Neutros



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre brillo solar y cota.

A través de las dos ecuaciones dadas por coeficiente de correlación (ver Gráficas 34 y 35), se logró establecer los datos faltantes de brillo solar de cada estación climatológica para los años Neutro, al despejar las ecuaciones dieron como resultado:

$$\text{Brillo Solar (HM)} = \frac{\text{Temperatura} - 3,9058}{-0,122}$$

$$\text{Brillo Solar (HM)} = \frac{\text{Cota} - 4028,4}{-19,464}$$

Adicionalmente, se realizó la verificación de información a través de una comparación de brillo solar, el promedio total mensual de los años Neutros con datos faltantes. En relación con los datos de brillo solar promedio total mensual, donde se aplicaron las ecuaciones, se pudo constatar que la tendencia de brillo solar se mantuvo (ver Gráfica 36), la mayor diferencia fue de -3,155% para el mes de abril como se observa en la Tabla 38.

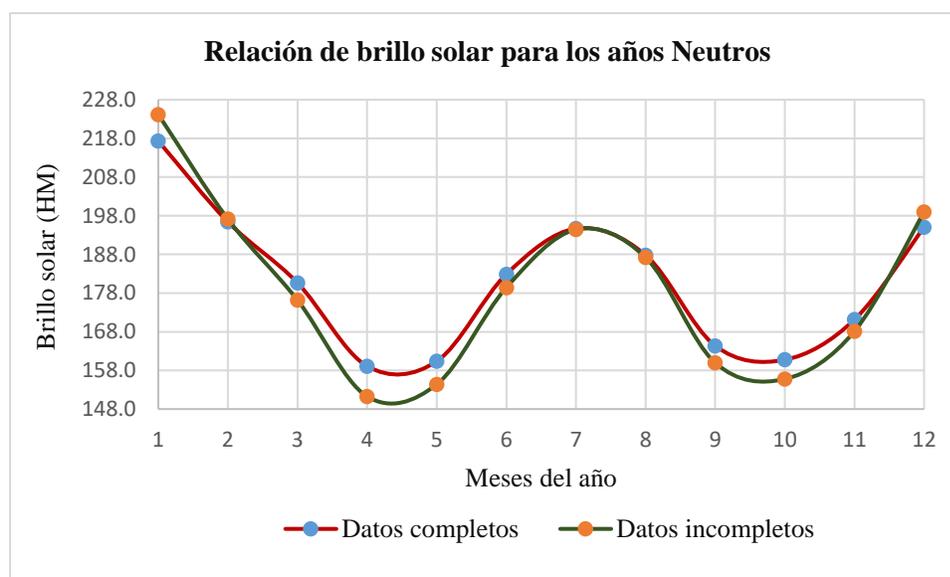
Tabla 38. Datos mensuales totales completos e incompletos de brillo solar para los años Neutros

| Mes | Datos promedio completos (HM) | Datos promedio sin completar (HM) | Diferencia (HM) | Porcentaje (%) |
|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| Enero | 217,315 | 224,179 | -6,863 | -3,158 |
| Febrero | 196,420 | 197,134 | -0,714 | -0,364 |
| Marzo | 180,637 | 176,171 | 4,466 | 2,472 |
| Abril | 159,113 | 151,278 | 7,835 | 4,924 |
| Mayo | 160,374 | 154,408 | 5,966 | 3,720 |
| Junio | 182,885 | 179,435 | 3,450 | 1,886 |
| Julio | 194,678 | 194,433 | 0,245 | 0,126 |
| Agosto | 187,823 | 187,213 | 0,610 | 0,325 |

| Mes | Datos promedio completos (HM) | Datos promedio sin completar (HM) | Diferencia (HM) | Porcentaje (%) |
|------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| Septiembre | 164,377 | 159,967 | 4,410 | 2,683 |
| Octubre | 160,764 | 155,786 | 4,977 | 3,096 |
| Noviembre | 171,143 | 168,122 | 3,021 | 1,765 |
| Diciembre | 195,032 | 198,950 | -3,917 | -2,009 |

Nota. Esta tabla consigna los datos promedios mensuales totales de brillo solar de los años Neutros, relacionando los datos completos con los incompletos.

Gráfica 36. Relación de datos de brillo solar para los años Neutros



Nota. El gráfico representa la relación de datos completos e incompletos de brillo solar.

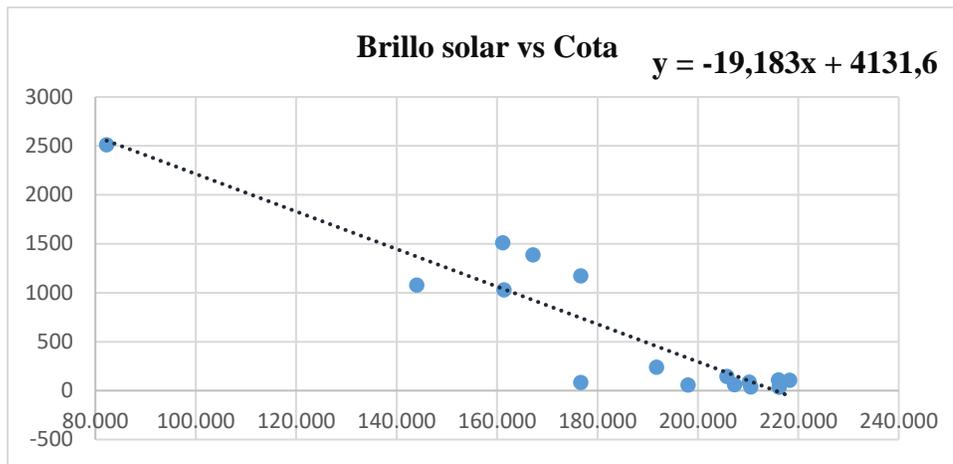
9.3.3 Brillo solar para años con fenómeno climatológico Niño

Para el caso de brillo solar para los años Niño, se correlaciono con dos variables, la primera de ellas fue temperatura con un índice de 0,925 seguido de cota con un valor de -0,918, esto debido a la falta de datos de brillo solar (ver Tabla 39).

Tabla 39. Promedios totales anuales de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Niño

| Estación Climatológica Terrestre | Brillo Solar (HM) | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Humedad Relativa (%) | Temperatura Rocío (°C) |
|----------------------------------|-------------------|------------------|----------------|----------------------|------------------------|
| 15015060 | 82,232 | 13,756 | 2511 | 92,173 | 12,649 |

Gráfica 38. Correlación brillo solar y cota para años Niño



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre brillo solar y cota.

A través de las dos ecuaciones obtenidas por coeficiente de correlación (ver Gráficas 37 y 38), se logró establecer los datos faltantes de brillo solar de cada estación climatológica para los años Niño. Al despejar las ecuaciones dieron como resultado:

$$\text{Brillo Solar (HM)} = \frac{\text{Temperatura} - 3,859}{0,1211}$$

$$\text{Brillo Solar (HM)} = \frac{\text{Cota} - 4131,6}{-19,183}$$

Adicionalmente, se realizó la verificación de información, a través de una comparación de los brillos solar promedio total mensual de los años Niño con datos faltantes, en relación a los datos de brillo solar promedio total mensual aplicando las ecuaciones, se pudo constatar que la tendencia de brillo solar, se mantuvo (ver Gráfica 38), la mayor diferencia fue de -8,046 % para el mes de abril, tal y como se observa en la Tabla 40.

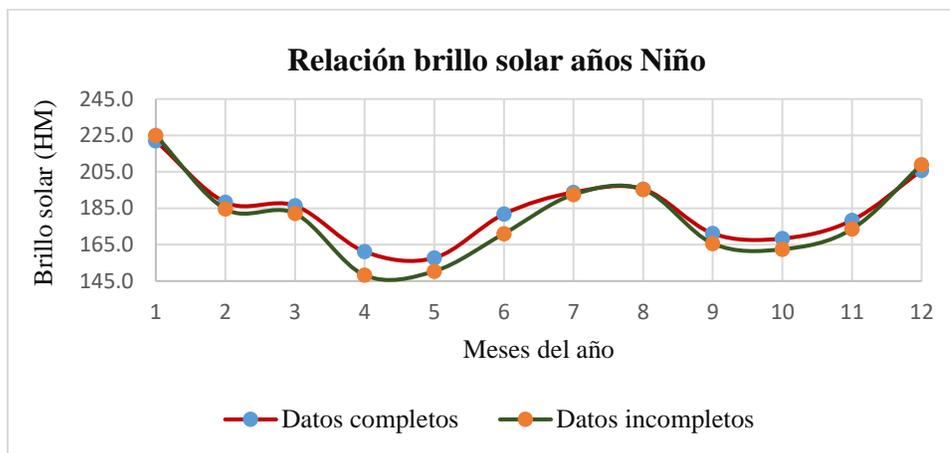
Tabla 40. Datos mensuales totales completos e incompletos de brillo solar para los años Niño

| Mes | Datos promedio completos (HM) | Datos promedio sin completar (HM) | Diferencia (HM) | Porcentaje (%) |
|------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| Enero | 221,956 | 224,973 | -3,018 | -1,360 |
| Febrero | 188,271 | 184,573 | 3,698 | 1,964 |
| Marzo | 186,409 | 182,125 | 4,284 | 2,298 |
| Abril | 161,187 | 148,217 | 12,970 | 8,046 |
| Mayo | 157,712 | 150,389 | 7,323 | 4,643 |
| Junio | 181,803 | 171,057 | 10,746 | 5,911 |
| Julio | 193,770 | 192,522 | 1,248 | 0,644 |
| Agosto | 195,522 | 195,355 | 0,167 | 0,086 |
| Septiembre | 171,143 | 165,649 | 5,494 | 3,210 |
| Octubre | 168,376 | 162,473 | 5,902 | 3,505 |

| Mes | Datos promedio completos (HM) | Datos promedio sin completar (HM) | Diferencia (HM) | Porcentaje (%) |
|-----------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| Noviembre | 178,353 | 173,545 | 4,808 | 2,696 |
| Diciembre | 205,813 | 208,950 | -3,137 | -1,524 |

Nota. Esta tabla consigna los datos promedios mensuales totales de brillo solar relacionando los datos completos con los incompletos

Gráfica 39. Relación de brillo solar para los años Niño



Nota. El gráfico representa la relación de datos completos e incompletos de brillo solar para los años Niño.

9.3.4 Brillo Solar para años con fenómeno climatológico Niña

Para la variable de brillo solar en los años Niña, se correlacionaron los valores totales anuales con dos variables, inicialmente se correlacionó con temperatura con un valor de $-0,948$ (correlación lineal perfecta), pero, al aplicar la ecuación, los valores sobrepasaban su rango debido a que algunos datos de esta variable, tenían valores de cero (0), por tal razón, se ajustaron con la ecuación de cota, la cual presentó un valor de $-0,943$ (correlación inversa perfecta) como se observa en la Tabla 41.

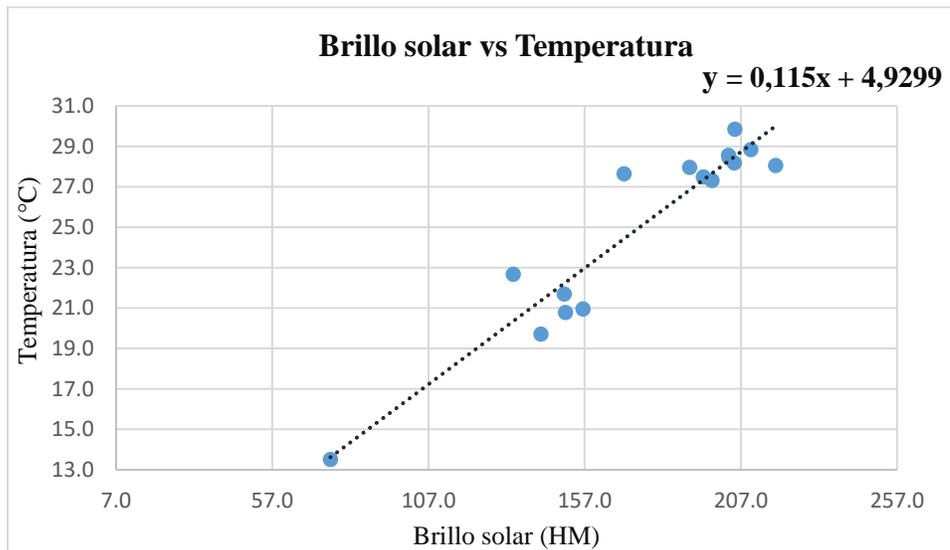
Tabla 41. Promedios totales anuales de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años con Niña

| Estación Climatológica Terrestre | Brillo (HM) | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Humedad Relativa (%) | Temperatura Rocío (°C) |
|----------------------------------|-------------|------------------|----------------|----------------------|------------------------|
| 15015060 | 75,586 | 13,511 | 2511 | 93,748 | 12,583 |
| 16025030 | 134,184 | 22,681 | 1078 | 79,275 | 18,780 |
| 16055010 | 156,455 | 20,957 | 1171 | 83,781 | 17,985 |
| 16055040 | 150,839 | 20,789 | 1386 | 82,381 | 17,485 |
| 16055060 | 142,982 | 19,710 | 1509 | 82,705 | 16,586 |
| 16055090 | 150,411 | 21,693 | 1030 | 83,582 | 18,734 |

| Estación Climatológica Terrestre | Brillo (HM) | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Humedad Relativa (%) | Temperatura Rocío (°C) |
|----------------------------------|-------------|------------------|----------------|----------------------|------------------------|
| 23185010 | 169,605 | 27,652 | 83 | 81,496 | 23,956 |
| 25025090 | 203,208 | 28,427 | 37 | 72,928 | 22,756 |
| 25025100 | 190,595 | 27,966 | 56 | 80,253 | 23,949 |
| 25025250 | 204,852 | 28,186 | 34 | 79,161 | 23,833 |
| 28015070 | 197,737 | 27,323 | 240 | 70,460 | 21,206 |
| 28025070 | 203,059 | 28,554 | 105 | 71,515 | 42,205 |
| 28025080 | 195,000 | 27,494 | 145 | 77,798 | 22,814 |
| 28035010 | 210,138 | 28,847 | 87 | 72,462 | 22,579 |
| 28035020 | 218,157 | 28,064 | 110 | 72,213 | 22,368 |
| 28035040 | 205,044 | 29,845 | 61 | 65,325 | 21,903 |
| Valor de Correlación | | 0,948 | -0,944 | -0,855 | 0,610 |

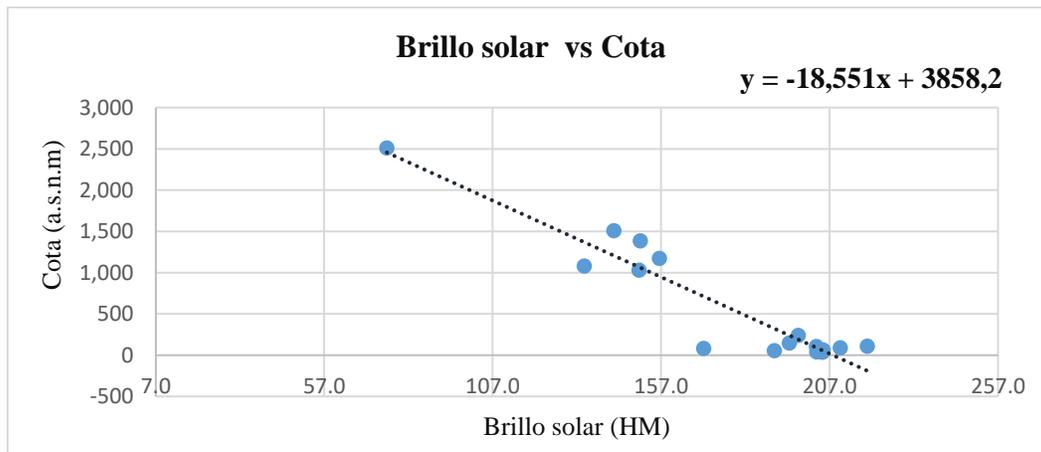
Nota. Esta tabla consiga los promedios totales anuales de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años con Niña.

Gráfica 40. Correlación entre brillo solar y temperatura para los años Niña



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre brillo solar y temperatura.

Gráfica 41. Correlación entre brillo solar y cota para los años Niña



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre brillo y cota.

A través de las dos ecuaciones dadas por coeficiente de correlación (ver Gráficas 40 y 41), se lograron establecer los datos faltantes de porcentaje de humedad relativa de cada estación climatológica para los años con influencia del fenómeno Niña, al despejar las ecuaciones dieron como resultado:

$$\text{Brillo Solar (HM)} = \frac{\text{Temperatura} - 4,9299}{-0,115}$$

$$\text{Brillo Solar (\%)} = \frac{\text{Cota} - 3858,2}{-18,551}$$

Adicional a ello, se procedió a la verificación de información, a través de una comparación de datos de brillo solar promedio total mensual de los años Niña incluyendo datos faltantes, en relación con el brillo solar promedio total mensual donde se aplicaron las ecuaciones. Se pudo constatar que la tendencia del porcentaje de humedad relativa se mantuvo (ver Gráfica 30), el mayor porcentaje de diferencia fue de 2,891% para el mes de noviembre tal como se observa en la Tabla 42.

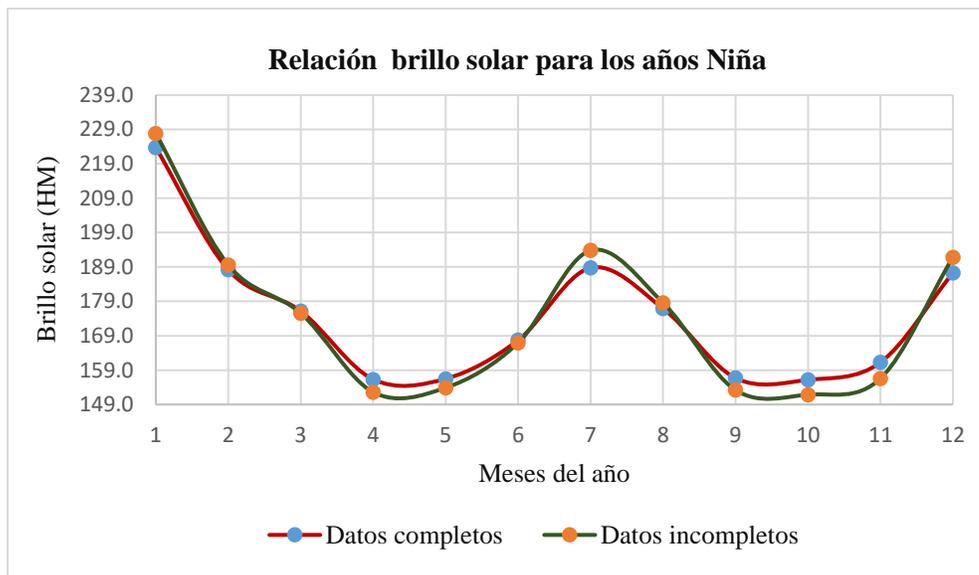
Tabla 42. Promedio total mensual de brillo solar para los años Niña

| Mes | Datos promedio completos (HM) | Datos promedio sin completa (HM) | Diferencia (HM) | Porcentaje (%) |
|-------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------|----------------|
| Enero | 223,751 | 227,584 | -4,103 | -1,834 |
| Febrero | 188,176 | 189,621 | -1,444 | -0,768 |
| Marzo | 176,161 | 175,568 | 0,593 | 0,337 |
| Abril | 156,316 | 152,596 | 3,720 | 2,380 |
| Mayo | 156,482 | 153,877 | 2,605 | 1,665 |
| Junio | 167,712 | 166,938 | 0,774 | 0,462 |
| Julio | 188,747 | 193,818 | -5,070 | -2,686 |
| Agosto | 176,938 | 178,588 | -1,650 | -0,932 |
| Septiembre | 156,704 | 153,223 | 3,481 | 2,221 |

| Mes | Datos promedio completos (HM) | Datos promedio sin completa (HM) | Diferencia (HM) | Porcentaje (%) |
|-----------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------|----------------|
| Octubre | 156,170 | 151,867 | 4,303 | 2,755 |
| Noviembre | 161,250 | 156,587 | 4,303 | 2,892 |
| Diciembre | 187,283 | 191,830 | -4,547 | -2,428 |

Nota. Esta tabla consigna los datos promedios mensuales totales de brillo solar de los años Niña, relacionando los datos completos con los incompletos.

Gráfica 42. Relación de datos brillo solar para los años Niña



Nota. El gráfico representa la relación de datos completos e incompletos de brillo solar para los años Niña.

9.4 VARIABLE DE TEMPERATURA DE ROCÍO

9.4.1 Temperatura de Rocío para el periodo de 1980 – 2016

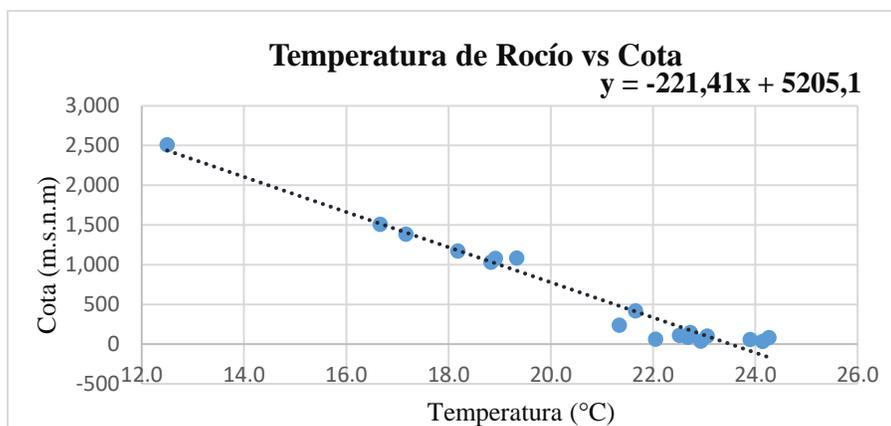
Para la obtención de los datos faltantes de la temperatura de rocío, se realizó el siguiente procedimiento: a través del promedio anual de temperatura de rocío, brillo solar, temperatura y humedad relativa del periodo de 1980-2016, incluyendo la información de cota, latitud y longitud para cada una de las estaciones climatológicas terrestres, estos promedios se correlacionaron mediante el “coeficiente de correlación” para el caso de temperatura de rocío la variable que presento mayor relación fue cota con un valor de -0,982 (inversamente proporcional) (ver Tabla 43).

Tabla 43. Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura de rocío por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura Rocío (°C) | Cota (m.s.n.m) | Latitud (°) | Longitud (°) | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Brillo Solar (HM) |
|----------------------------------|------------------------|----------------|-------------|--------------|------------------|----------------------|-------------------|
| 15015060 | 12,498 | 2511 | 11,111083 | -74,0546944 | 13,600 | 92,356 | 77,626 |
| 16025030 | 18,914 | 1078 | 7,774583 | -72,8305556 | 22,896 | 78,759 | 139,368 |
| 16055010 | 18,180 | 1171 | 8,315278 | -73,3575 | 21,253 | 83,091 | 164,982 |
| 16055020 | 19,337 | 1083 | 8,442222 | -73,2852778 | 21,726 | 87,041 | |
| 16055040 | 17,165 | 1386 | 8,087222 | -73,2230556 | 20,978 | 80,161 | 158,498 |
| 16055060 | 16,663 | 1509 | 8,217500 | -73,235 | 20,039 | 81,429 | 152,843 |
| 16055090 | 18,826 | 1030 | 8,470556 | -73,3438889 | 22,013 | 82,551 | 157,469 |
| 23185010 | 24,266 | 83 | 7,456111 | -73,5372222 | 27,701 | 82,902 | 173,273 |
| 25025090 | 22,936 | 37 | 9,046333 | -73,9708333 | 28,710 | 72,763 | 203,359 |
| 25025100 | 23,897 | 56 | 9,281944 | -74,8452778 | 28,230 | 78,967 | 187,838 |
| 25025250 | 24,139 | 34 | 9,361028 | -73,5933889 | 28,409 | 79,792 | 210,142 |
| 28015070 | 21,340 | 240 | 10,566389 | -73,0163889 | 27,773 | 69,039 | 194,837 |
| 28025020 | 21,656 | 417 | 10,271389 | -73,1313889 | 26,535 | 75,799 | 168,900 |
| 28025070 | | 105 | 10,001806 | -73,2493889 | 28,946 | 70,702 | 209,068 |
| 28025080 | 22,727 | 145 | 9,686667 | -73,2405556 | 27,898 | 75,495 | 198,612 |
| 28025080 | 23,059 | 100 | 9,850250 | -73,2654722 | 27,889 | 76,621 | |
| 28035010 | 22,679 | 87 | 10,190667 | -73,5473889 | 29,160 | 70,314 | 206,642 |
| 28035020 | 22,516 | 110 | 10,363056 | -73,3194444 | 28,384 | 71,529 | 214,854 |
| 28035040 | 22,052 | 61 | 9,904917 | -73,6475278 | 30,142 | 64,343 | 204,602 |
| Valor de Correlación | | -0,982 | 0,054 | -0,149 | 0,956 | -0,602 | 0,871 |

Nota. Esta tabla, consiga los Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura de rocío por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio.

Gráfica 43. Correlación entre temperatura de rocío y cota para el periodo 1980-2016



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre la temperatura de rocío y cota.

A través de la ecuación dada por el coeficiente de correlación (ver Gráfica 43) se logró establecer los datos faltantes de temperatura de rocío de cada estación climatológica para el periodo entre 1980-2016, al despejar la ecuación dio como resultado:

$$\text{Temperatura de rocío } (^{\circ}\text{C}) = \frac{\text{Temperatura} - 45205,1}{-221,41}$$

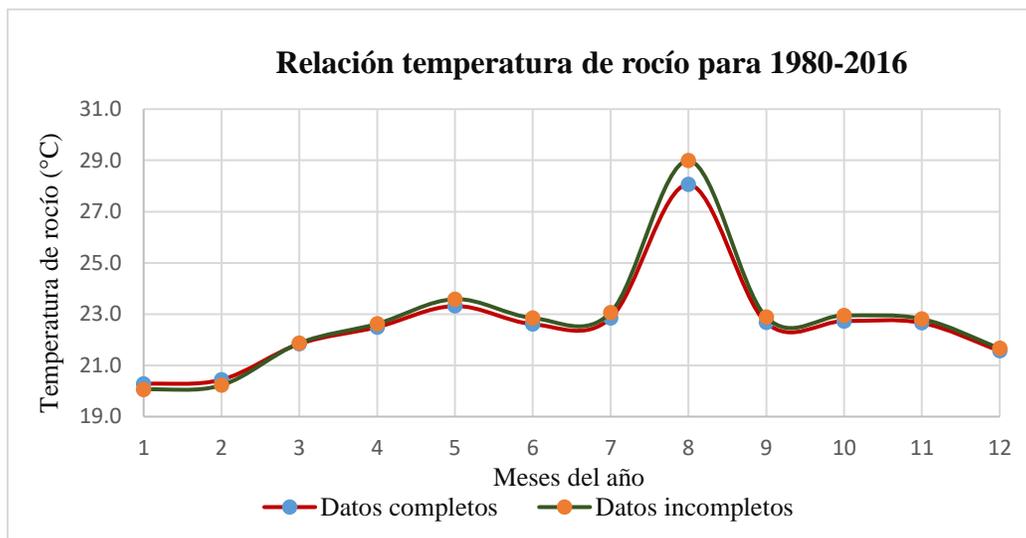
Adicionalmente se realizó la verificación de información, a través de una comparación de temperatura de rocío promedio total mensual del periodo 1980-2016 incluyendo datos faltantes en relación con la temperatura de rocío promedio total mensual donde aplicando la ecuación, se pudo constatar que la tendencia temperatura de rocío se mantuvo (ver Gráfica 44), el mayor porcentaje de diferencia fue de -3,310% para el mes de agosto como se observa en la Tabla 44.

Tabla 44. Promedios totales mensuales de temperatura de rocío para el periodo 1980-2016

| Mes | Datos promedio completos ($^{\circ}\text{C}$) | Datos promedio sin completar ($^{\circ}\text{C}$) | Diferencia ($^{\circ}\text{C}$) | Porcentaje (%) |
|-------------------|---|---|-----------------------------------|----------------|
| Enero | 20,274 | 20,055 | 0,219 | 1,079 |
| Febrero | 20,440 | 20,224 | 0,217 | 1,060 |
| Marzo | 21,837 | 21,867 | -0,030 | -0,137 |
| Abril | 22,492 | 22,623 | -0,131 | -0,581 |
| Mayo | 23,317 | 23,585 | -0,267 | -1,147 |
| Junio | 22,611 | 22,850 | -0,239 | -1,057 |
| Julio | 22,850 | 23,063 | -0,214 | -0,935 |
| Agosto | 28,061 | 28,990 | -0,929 | -3,310 |
| Septiembre | 22,668 | 22,884 | -0,217 | -0,956 |
| Octubre | 22,729 | 22,950 | 0,221 | -0,971 |
| Noviembre | 22,656 | 22,812 | -0,156 | -0,690 |
| Diciembre | 21,565 | 21,666 | -0,101 | -0,468 |

Nota. Esta tabla consigna los datos promedios totales mensuales de temperatura de rocío para el periodo 1980-2016, relacionando los datos completos con los incompletos.

Gráfica 44. Relación de datos de temperatura de rocío para el periodo 1980-2016



Nota. El gráfico representa la relación entre datos completos e incompletos de temperatura de rocío para el periodo 1980-2016.

Posteriormente, este mismo procedimiento se realizó de manera independiente para los años Neutros y los años que presentaron los fenómenos de Niño y Niña, dando como resultado:

9.4.2 Temperatura de rocío para los años neutros

Para el caso de temperatura de rocío para los años Neutros, la variable que mayor correlación presentó, fue la cota con un valor de $-0,982$, correlación inversamente proporcional, como se observa en la Tabla 45.

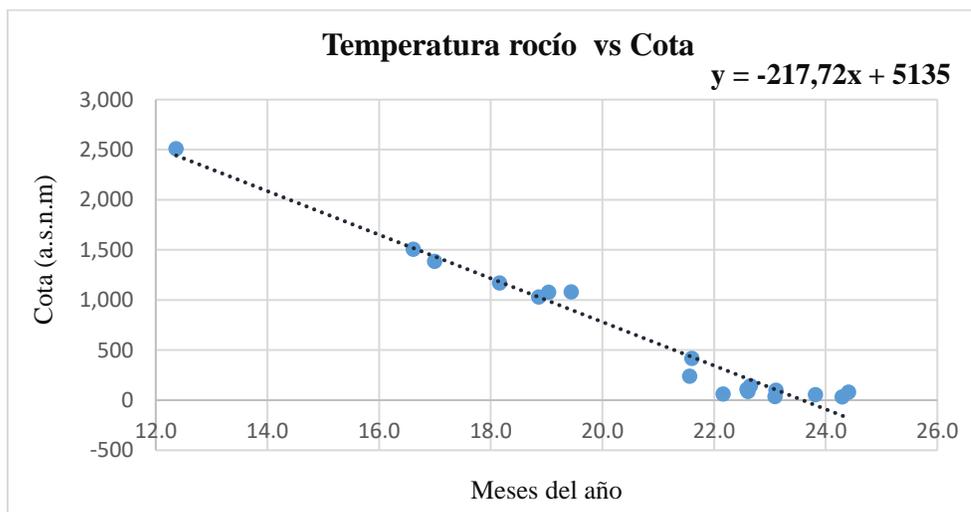
Tabla 45. Promedios totales anuales de temperatura de rocío por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Neutros

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura Rocío (°C) | Cota (m.s.n.m) | Brillo Solar (HM) | Humedad Relativa (%) | Temperatura (°C) |
|----------------------------------|------------------------|----------------|-------------------|----------------------|------------------|
| 15015060 | 12,366 | 2511 | 75,915 | 91,685 | 13,563 |
| 16025030 | 19,039 | 1078 | 139,729 | 79,217 | 22,921 |
| 16055010 | 18,156 | 1171 | 163,660 | 82,650 | 21,384 |
| 16055020 | 19,445 | 1083 | | 87,330 | 21,731 |
| 16055040 | 16,996 | 1386 | 158,409 | 79,830 | 20,869 |
| 16055060 | 16,612 | 1509 | 154,709 | 80,994 | 20,103 |
| 16055090 | 18,859 | 1030 | 159,116 | 82,461 | 22,050 |
| 23185010 | 24,409 | 83 | 173,605 | 83,960 | 27,584 |
| 25025090 | 23,092 | 37 | 199,455 | 73,281 | 28,789 |

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura Rocío (°C) | Cota (m.s.n.m) | Brillo Solar (HM) | Humedad Relativa (%) | Temperatura (°C) |
|----------------------------------|------------------------|----------------|-------------------|----------------------|------------------|
| 25025100 | 23,818 | 56 | 181,358 | 78,238 | 28,306 |
| 25025250 | 24,294 | 34 | 209,389 | 80,493 | 28,363 |
| 28015070 | 21,563 | 240 | 194,937 | 69,896 | 27,733 |
| 28025020 | 21,604 | 417 | 168,900 | 75,449 | 26,527 |
| 28025070 | | 105 | 207,732 | 71,034 | 28,929 |
| 28025080 | 22,653 | 145 | 196,730 | 75,347 | 27,848 |
| 28025090 | 23,108 | 100 | | 77,009 | 27,861 |
| 28035010 | 22,607 | 87 | 202,911 | 69,496 | 29,236 |
| 28035020 | 22,589 | 110 | 212,232 | 72,159 | 28,288 |
| 28035040 | 22,162 | 61 | 202,768 | 64,356 | 30,230 |
| Valor de Correlación | | -0,982 | 0,865 | -0,572 | 0,955 |

Nota. Esta tabla consiga los promedios totales anuales de temperatura de rocío por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Neutros.

Gráfica 45. Correlación entre temperatura de rocío y cota para los años Neutros



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre la temperatura de rocío y cota.

A través de la ecuación dada por el coeficiente de correlación (ver Gráfica 45), se lograron establecer los datos faltantes de temperatura de rocío de cada estación climatológica para los años Neutros. Al despejar la ecuación, se obtuvo como resultado:

$$\text{Temperatura de rocío } (^\circ\text{C}) = \frac{\text{Cota} - 5135}{-217,72}$$

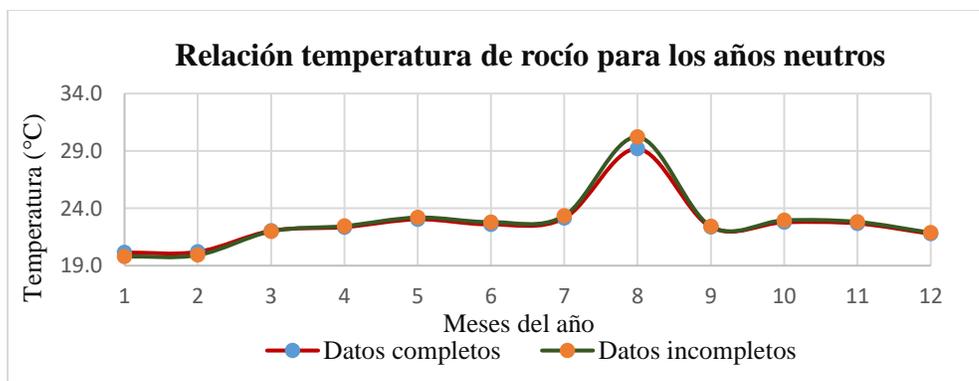
Adicional a esto, se realizó la verificación de información, a través de una comparación de temperatura de rocío promedio total mensual de los años Neutros, incluyendo datos faltantes en relación con la temperatura de rocío promedio total mensual aplicando la ecuación, se pudo constatar que la tendencia de temperatura de rocío se mantuvo (ver Gráfica 46); el mayor porcentaje de diferencia fue de -3,529% para el mes de septiembre como se observa en la Tabla 46.

Tabla 46. Promedio total mensual de temperatura de rocío para los años Neutros

| Mes | Datos promedio completo (°C) | Datos promedio sin completar (°C) | Diferencia (°C) | Porcentaje (%) |
|------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| Enero | 20,142 | 19,800 | 0,342 | 1,696 |
| Febrero | 20,205 | 19,921 | 0,284 | 1,405 |
| Marzo | 22,034 | 21,989 | 0,044 | 0,201 |
| Abril | 22,356 | 22,451 | -0,095 | -0,427 |
| Mayo | 23,035 | 23,195 | -0,160 | 0,697 |
| Junio | 22,593 | 22,800 | -0,206 | -0,913 |
| Julio | 23,143 | 23,346 | -0,203 | -0,879 |
| Agosto | 29,186 | 30,217 | -1,030 | -3,530 |
| Septiembre | 22,363 | 22,424 | -0,060 | -0,270 |
| Octubre | 22,781 | 22,954 | -0,172 | -0,756 |
| Noviembre | 22,677 | 22,811 | -0,133 | -0,588 |
| Diciembre | 21,775 | 21,868 | -0,093 | -0,427 |

Nota. Esta tabla consigna los datos promedios mensuales de temperatura de rocío del periodo 1980-2016, relacionando los datos completos con los incompletos.

Gráfica 46. Relación de temperatura de rocío para los años Neutros



Nota. El gráfico representa la relación de datos completos e incompletos de temperatura y su porcentaje de diferencia.

9.4.3 Temperatura punto de rocío para años con fenómeno climatológico Niño

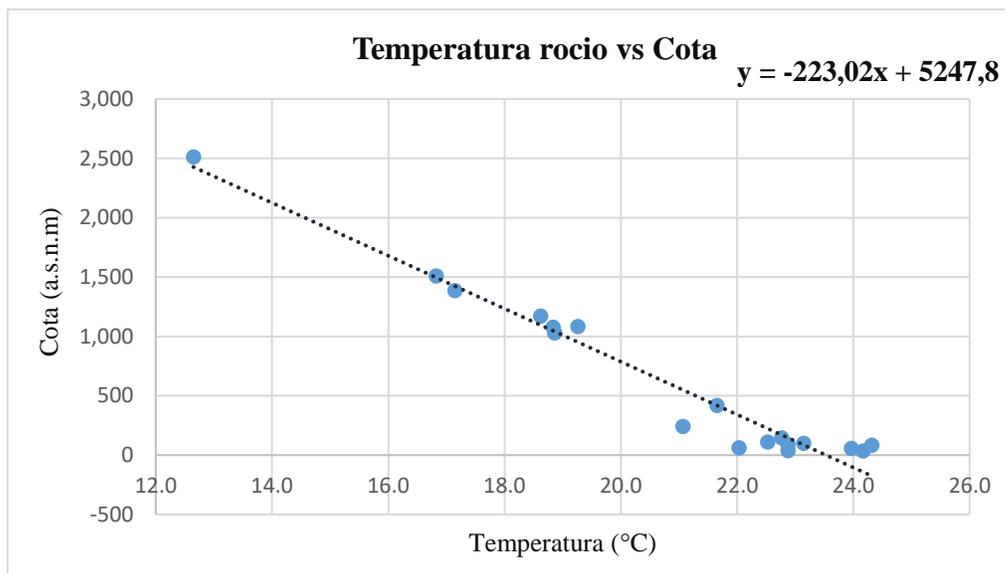
Para el caso de temperatura de rocío para los años Niño, la variable que mayor correlación presentó, fue la cota con un valor de -0,979 correlación inversamente proporcional como se observa en la Tabla 47.

Tabla 47. Promedios totales anuales de temperatura de rocío por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Niño

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura Rocío (°C) | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Brillo Solar (HM) | Humedad Relativa (%) |
|----------------------------------|------------------------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| 15015060 | 12,649 | 13,756 | 2511 | 82,232 | 92,173 |
| 16025030 | 18,835 | 23,065 | 1078 | 144,031 | 77,464 |
| 16055010 | 18,620 | 21,530 | 1171 | 176,661 | 82,591 |
| 16055020 | 19,260 | 22,033 | 1083 | | 85,906 |
| 16055040 | 17,148 | 21,364 | 1386 | 167,177 | 78,535 |
| 16055060 | 16,827 | 20,263 | 1509 | 161,106 | 80,877 |
| 16055090 | 18,863 | 22,240 | 1030 | 161,379 | 81,773 |
| 23185010 | 24,319 | 27,961 | 83 | 176,684 | 82,403 |
| 25025090 | 22,876 | 28,898 | 37 | 210,538 | 71,686 |
| 25025100 | 23,967 | 28,378 | 56 | 198,044 | 78,814 |
| 25025250 | 24,170 | 28,675 | 34 | 216,184 | 79,317 |
| 28015070 | 21,071 | 28,293 | 240 | 191,755 | 66,074 |
| 28025020 | 21,656 | 26,876 | 417 | | 74,398 |
| 28025070 | | 29,370 | 105 | 218,269 | 69,291 |
| 28025080 | 22,766 | 28,329 | 145 | 205,751 | 73,918 |
| 28025090 | 23,148 | 28,475 | 100 | | 74,155 |
| 28035010 | 22,879 | 29,336 | 87 | 210,210 | 70,097 |
| 28035020 | 22,527 | 28,866 | 110 | 216,075 | 69,905 |
| 28035040 | 22,031 | 30,269 | 61 | 207,278 | 63,440 |
| Valor de Correlación | | 0,952 | -0,979 | 0,876 | -0,577 |

Nota. Esta tabla consiga los promedios totales anuales de temperatura de rocío por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Niña

Gráfica 47. Correlación temperatura de rocío y cota para los años Niño



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre la temperatura de rocío y cota.

A través de la ecuación dada por el coeficiente de correlación (ver Gráfica 47), se lograron establecer los datos faltantes de temperatura de rocío, de cada estación climatológica para los años Niño. Al despejar la ecuación se obtuvo como resultado:

$$\text{Temperatura de rocío } (^\circ\text{C}) = \frac{\text{Cota} - 5247,8}{-223,02}$$

Adicional a ello, se realizó la verificación de información, a través de una comparación de temperatura de rocío promedio total mensual de los años Niño, incluyendo datos faltantes en relación con la temperatura de rocío promedio total mensual, aplicando la ecuación, se pudo constatar que la tendencia temperatura de rocío se mantuvo (ver Gráfica 36), el mayor porcentaje de diferencia fue de -1,477% para el mes de agosto, seguido del mes de mayo, con un valor de -1,457 como se observa en la Tabla 48.

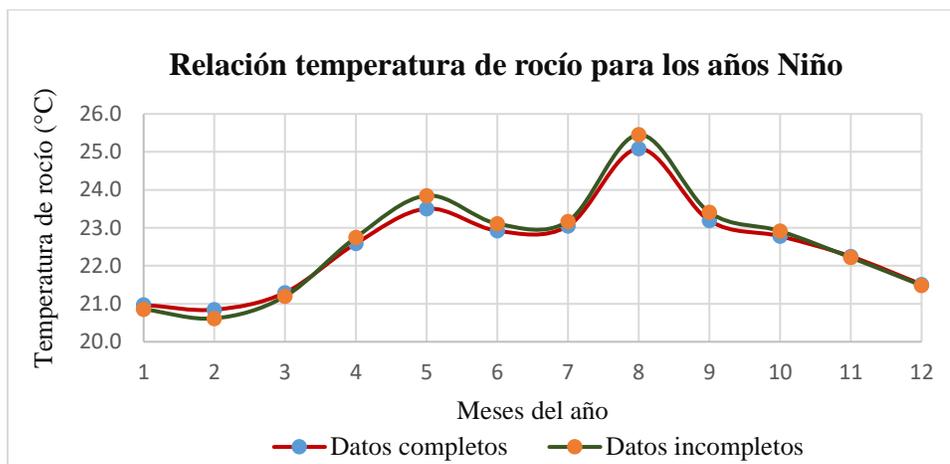
Tabla 48. Promedios totales mensuales de temperatura de rocío para los años Niño

| Mes | Datos promedio completos (°C) | Datos promedio sin completar (°C) | Diferencia (°C) | Porcentaje (%) |
|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| Enero | 20,973 | 20,859 | 0,114 | 0,546 |
| Febrero | 20,846 | 20,616 | 0,229 | 1,100 |
| Marzo | 21,294 | 21,197 | 0,097 | 0,455 |
| Abril | 22,588 | 22,748 | -0,160 | -0,709 |
| Mayo | 23,506 | 23,848 | -0,343 | -1,457 |
| Junio | 22,922 | 23,109 | -0,188 | -0,818 |
| Julio | 23,050 | 23,173 | -0,123 | -0,532 |
| Agosto | 25,086 | 25,457 | -0,371 | -1,477 |

| Mes | Datos promedio completos (°C) | Datos promedio sin completar (°C) | Diferencia (°C) | Porcentaje (%) |
|------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| Septiembre | 23,192 | 23,409 | -0,217 | -0,935 |
| Octubre | 22,780 | 22,915 | -0,135 | -0,592 |
| Noviembre | 22,248 | 22,218 | 0,029 | 0,132 |
| Diciembre | 21,511 | 21,483 | 0,028 | 0,129 |

Nota. Esta tabla consigna los datos promedios mensuales de temperatura de rocío para los años Niño, relacionando los datos completos con los incompletos.

Gráfica 48. Relación de temperatura de rocío para los años Niño



Nota. El gráfico representa la relación de datos completos e incompletos de temperatura de rocío y su porcentaje de diferencia.

9.4.4 Temperatura rocío para los años con fenómeno climatológico Niña

Para el caso de temperatura de rocío para los años Niña la variable que mayor correlación presentó, fue la cota con un valor de -0,982, correlación inversamente proporcional, tal y como se observa en la Tabla 49.

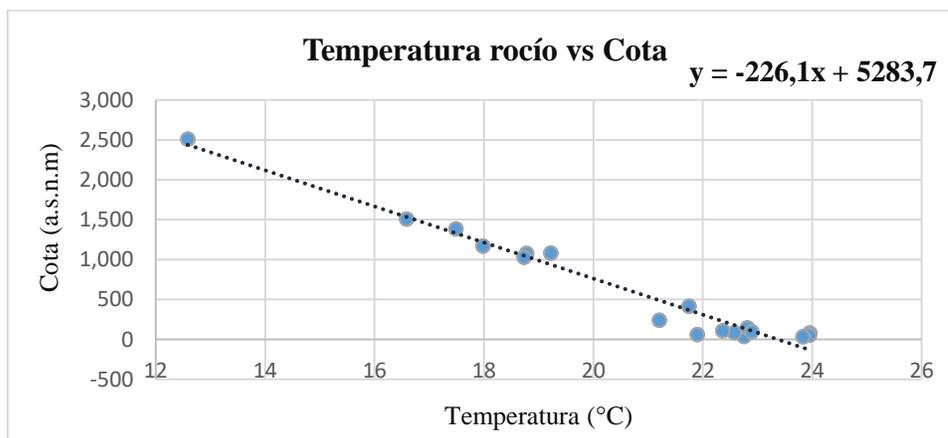
Tabla 49. Promedios totales anuales de temperatura de rocío por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Niña

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura de Rocío (°C) | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Brillo Solar (HM) | Humedad Relativa (%) |
|----------------------------------|---------------------------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| 15015060 | 12,583 | 13,511 | 2511 | 75,586 | 93,748 |
| 16025030 | 18,780 | 22,681 | 1078 | 134,184 | 79,275 |
| 16055010 | 17,985 | 20,957 | 1171 | 156,455 | 83,781 |
| 16055020 | 19,223 | 21,442 | 1083 | | 87,573 |
| 16055040 | 17,485 | 20,789 | 1386 | 150,839 | 82,381 |
| 16055060 | 16,586 | 19,710 | 1509 | 142,982 | 82,705 |

| Estación Climatológica Terrestre | Temperatura de Rocío (°C) | Temperatura (°C) | Cota (m.s.n.m) | Brillo Solar (HM) | Humedad Relativa (%) |
|----------------------------------|---------------------------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| 16055090 | 18,734 | 21,693 | 1030 | 150,411 | 83,582 |
| 23185010 | 23,956 | 27,652 | 83 | 169,605 | 81,496 |
| 25025090 | 22,756 | 28,427 | 37 | 203,208 | 72,928 |
| 25025100 | 23,949 | 27,966 | 56 | 190,595 | 80,253 |
| 25025250 | 23,833 | 28,186 | 34 | 204,852 | 79,161 |
| 28015070 | 21,206 | 27,323 | 240 | 197,737 | 70,460 |
| 28025020 | 21,751 | 26,209 | 417 | | 77,830 |
| 28025070 | | 28,554 | 105 | 203,059 | 71,515 |
| 28025080 | 22,814 | 27,494 | 145 | 195,000 | 77,798 |
| 28025090 | 22,893 | 27,351 | 100 | | 78,468 |
| 28035010 | 22,579 | 28,847 | 87 | 210,138 | 72,462 |
| 28035020 | 22,368 | 28,064 | 110 | 218,157 | 72,213 |
| 28035040 | 21,903 | 29,845 | 61 | 205,044 | 65,325 |
| Valor de Correlación | | 0,959 | -0,982 | 0,888 | -0,654 |

Nota. Esta tabla consiga los promedios totales anuales de temperatura de rocío por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Niña.

Gráfica 49. Correlación entre temperatura de rocío y cota para los años Niña



Nota. El gráfico representa el índice de correlación entre temperatura y cota.

A través de la ecuación dada por el coeficiente de correlación (ver Gráfica 49), se lograron establecer los datos faltantes de temperatura de rocío de cada estación climatológica para los años Niña. Al despejar la ecuación dio como resultado:

$$\text{Temperatura de rocío (°C)} = \frac{\text{Cota} - 5283,7}{-226,1}$$

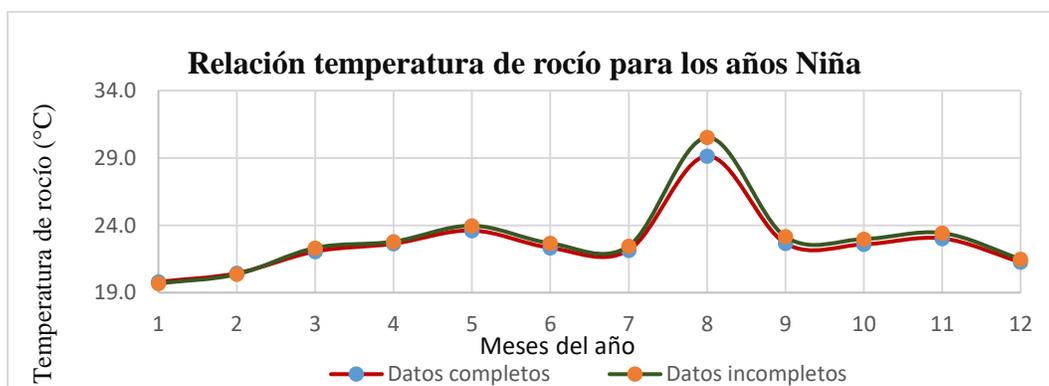
Adicionalmente se realizó la verificación de información, a través de una comparación de temperatura de rocío promedio total mensual de los años Niña incluyendo datos faltantes en relación con la temperatura de rocío promedio total mensual. Aplicando la ecuación, se pudo constatar que la tendencia de temperatura de rocío, se mantuvo (ver Gráfica 50), el mayor porcentaje de diferencia fue de -4,742% para el mes de agosto, tal y como se observa en la Tabla 50.

Tabla 50. Promedios totales mensuales de temperatura para los años Niña

| Mes | Datos promedio completos (°C) | Datos promedio sin completar (°C) | Diferencia (°C) | Porcentaje (%) |
|------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| Enero | 20,973 | 20,859 | 0,114 | 0,546 |
| Febrero | 20,846 | 20,616 | 0,229 | 1,100 |
| Marzo | 21,294 | 21,197 | 0,097 | 0,455 |
| Abril | 22,588 | 22,748 | -0,160 | -0,709 |
| Mayo | 23,506 | 23,848 | -0,343 | -1,457 |
| Junio | 22,922 | 23,109 | -0,188 | -0,818 |
| Julio | 23,050 | 23,173 | -0,123 | -0,532 |
| Agosto | 25,086 | 25,457 | -0,371 | -1,477 |
| Septiembre | 23,192 | 23,409 | -0,217 | -0,935 |
| Octubre | 22,780 | 22,915 | -0,135 | -0,592 |
| Noviembre | 22,248 | 22,218 | 0,029 | 0,132 |
| Diciembre | 21,511 | 21,483 | 0,028 | 0,129 |

Nota. Esta tabla consigna los datos promedios mensuales de temperatura de rocío para los años Niña, relacionando los datos completos con los incompletos

Gráfica 50. Relación de temperatura de rocío para los años Niña



Nota. El gráfico representa la relación de datos completos e incompletos de temperatura de rocío para los años Niña.

10. RESULTADOS

10.1 DESARROLLO DEL MODELO CLIMATOLÓGICO

De acuerdo con lo planteado para el desarrollo de este proyecto, se utilizó la herramienta Model Builder del software ArcGIS, con el fin de estructurar un modelo que, en términos generales, tome una capa base (estaciones) y estime la proyección de temperatura de acuerdo con el parámetro establecido como “año” (2021-2100), el cual será definido por el usuario. Así mismo, se debe establecer el tipo de fenómeno climatológico al momento de ejecutar la herramienta (Compuesto, Neutro, Niña, Niño).

Para usar el modelo con el fin de calcular la variabilidad en la temperatura de años futuros, se utilizan los factores obtenidos a partir de las correlaciones lineales múltiples de las variables descritas en los capítulos anteriores del documento, dichos procedimientos, se realizan de manera individual para cada estación dentro de la zona de estudio, para finalmente realizar una interpolación que permite generar un mapa de temperatura zonal del departamento del Cesar, de acuerdo con los parámetros establecidos por el usuario.

Adicional a ello, se genera de manera automática, una comparación entre un año pasado (1980-2016) contraste al resultado de la proyección de temperatura, permitiendo realizar la comparación y visualización de las zonas críticas en las cuales se ha presentado una variación representativa de la temperatura a nivel regional. Este análisis es posible a partir de la generación de un mapa de temperatura histórico, de acuerdo con el año definido por el usuario como un parámetro, se realiza una asociación individual con relación a cada estación, lo que permite realizar una interpolación, de manera tal, que se genere el mapa histórico para el año definido.

Es importante mencionar que, para realizar un análisis válido entre el mapa de temperatura histórico y el mapa de temperatura futuro, se requiere que el tipo de fenómeno para los años de análisis sean los mismos (Compuestos, Neutro, Niña, Niño).

10.2 PARÁMETROS DEL MODELO

- Factores: Son tablas generadas a partir de los factores calculados de acuerdo con la correlación lineal múltiple para cada estación, estos factores se encuentran calculados de acuerdo con el fenómeno por año (Compuesto, Neutro, Niña, Niño), y al mes a ser evaluado (Ver anexo Factores.dbf).
- Variables proyectadas: Corresponden a tablas con las estimaciones calculadas a partir de correlaciones lineales simples para las distintas variables de estudio (Brillo solar, Humedad, Punto de Rocío), calculadas mes a mes, hasta el año 2100 para cada fenómeno de año (Compuesto, Neutro, Niña, Niño). Estos datos son la variable dentro de las ecuaciones de cálculo de temperatura (Ver anexo Proyecciones_Climatologicas.dbf).
- Temperatura histórica: Son tablas organizadas para cada fenómeno por año (Compuesto, Neutro, Niña, Niño) que contienen la temperatura mensual registrada a lo largo de los años

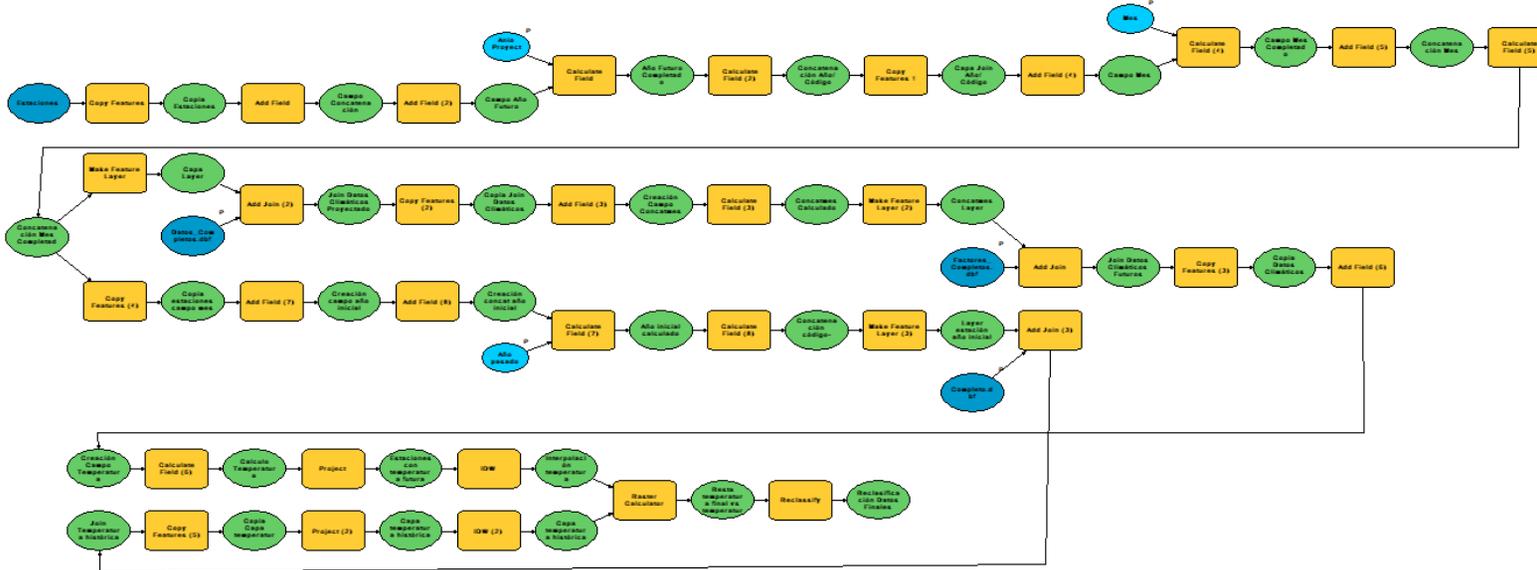
(1980-2016), estas tablas son el insumo para la generación del mapa histórico de temperatura (Ver anexo Temperatura_Historica).

- Año Futuro: Dato numérico con el año al que se quiere proyectar la temperatura.
- Mes: Dato numérico con el mes del año al que se quiere calcular la temperatura.
- Año Pasado: Dato numérico con el año con el cual se quiere realizar la comparación con la temperatura proyectada para la generación de la capa de cambio de temperatura.

10.3 MODELO CLIMATOLÓGICO

De acuerdo con los datos de entrada referenciados previamente en el documento y con los parámetros de entrada, se generó un modelo (Ver anexo Modelo_cambio_climatico.tbx) que permite la predicción de la temperatura en los años futuros (hasta el 2100), dicho modelo se desarrolló el Model Builder de la herramienta de escritorio ArcGIS 10.5.

Gráfica 51. Gráfico de Modelo climatológico

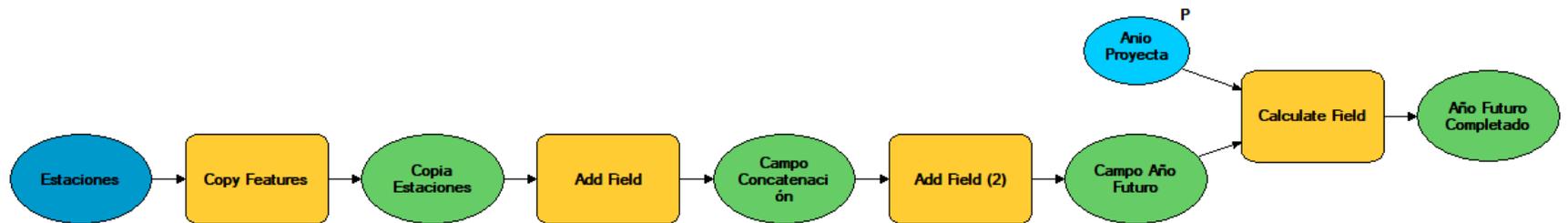


Fuente: Propia

10.4 SECCIONES DEL MODELO

10.4.1 Sección 1

Gráfica 52. Gráfico Sección 1 Modelo climatológico

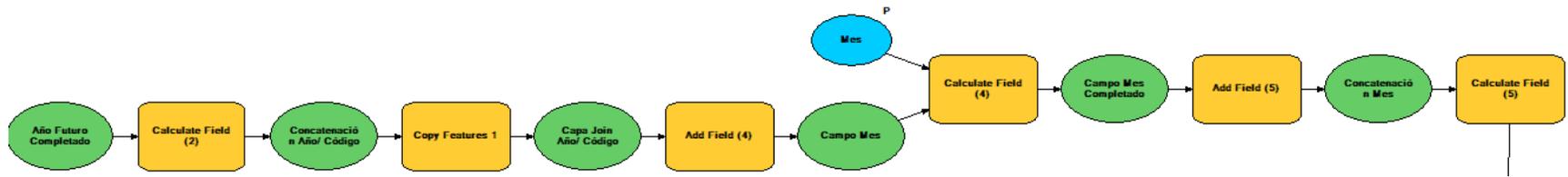


Fuente: Propia

- Se genera una copia de la capa “Estaciones”
- Se crea el campo “Concatenación”
- Se crea el campo “Año_Futuro”
- Se calcula el campo “Año_Futuro” con el año de seleccionado por el usuario para la ejecución del modelo

10.4.2 Sección 2

Gráfica 53. Gráfico Sección 2 Modelo climatológico

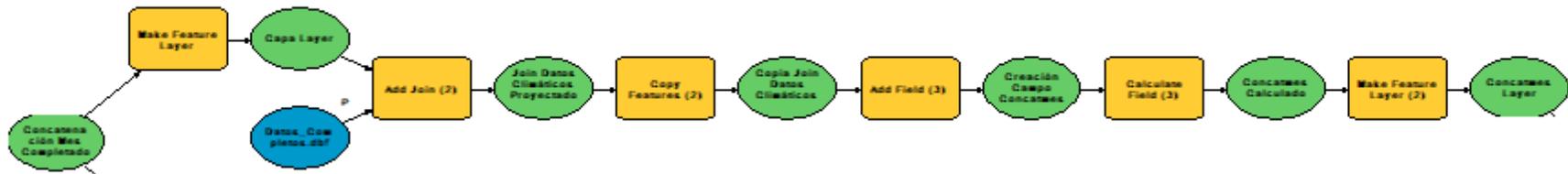


Fuente: Propia

- Se calcula el campo “concatenación” concatenando el nombre de la estación con el dato del “Anio_Futuro”
- Se genera una copia de la capa
- Se crea el campo “Mes”
- Se calcula el campo “Mes” con el parámetro ingresado por el usuario.
- Se crea el campo “Concatmes”
- Se calcula el campo “Concatmes” con la concatenación de los campos “Concat” y “Mes”

10.4.3 Sección 3

Gráfica 54. Gráfico Sección 3 Modelo climatológico

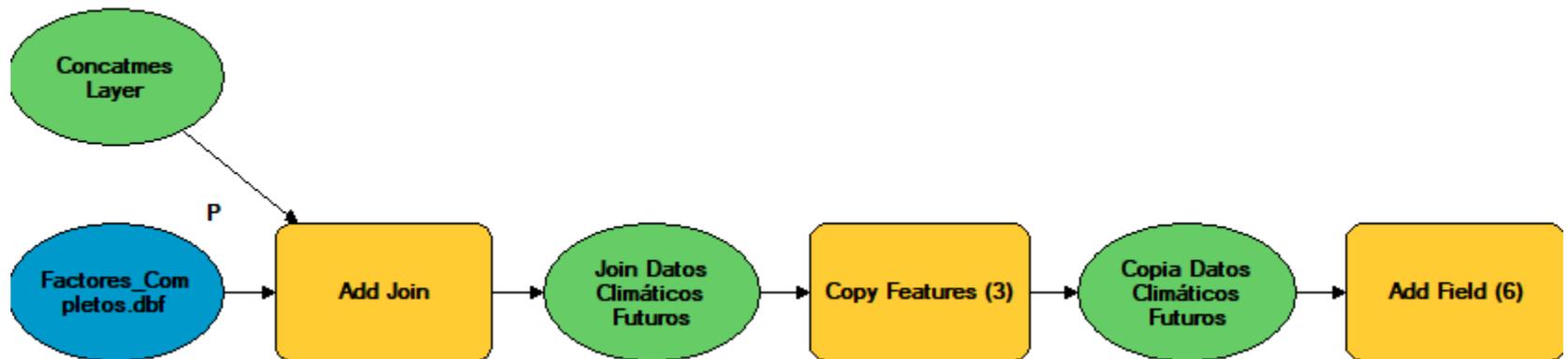


Fuente: Propia

- Se realiza una unión entre el parámetro “Variables proyectadas” y la capa base
- Se genera una copia de la capa generada
- Se genera el campo “Concatfactores”
- Se calcula el campo “Concatmes” concatenado el código de la estación con el campo “Mes”

10.4.4 Sección 4

Gráfica 55. Gráfico Sección 4 Modelo climatológico

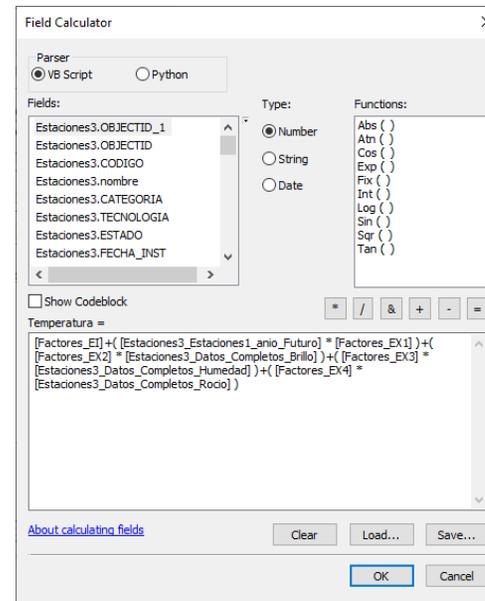
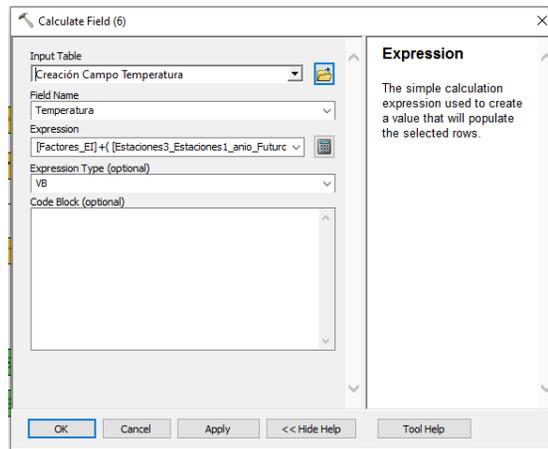


Fuente: Propia

- Se realiza una unión entre el parámetro “Factores” y la capa base a partir del campo “Concatfactores”
- Se genera una copia de la capa resultante
- Se genera el campo “Temperatura”

10.4.5 Sección 5

Gráfica 56. Gráfico Sección 5 Modelo climatológico



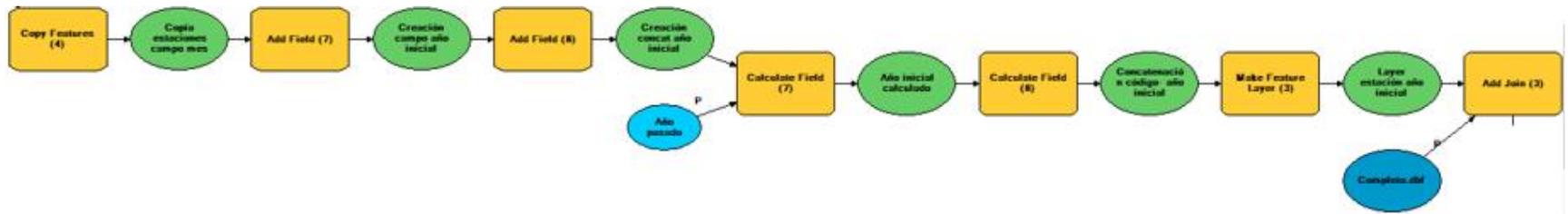
Fuente: Propia

- Se calcula de la temperatura para el año proyectado
- Se re proyecta la capa generada
- Se realiza la interpolación de los datos de temperatura unitarios para obtener el mapa zonal de temperatura proyectada.

10.4.6 Sección 6

Nota: Este es un proceso paralelo surgido a partir de la “sección 3”

Gráfica 57. Gráfico Sección 6 Modelo climatológico



Fuente: Propia

- Se realiza una copia de la capa base
- Se crea el campo “Anio_Inicial”
- Se crea el campo “Concatini”
- Se calcula el campo “Anio_Inicial” con el parámetro “Año pasado” ingresado por el usuario.
- Se calcula el campo “Concatini” con la unión de los campos “estacion” y “Anio_Inicial”
- Se realiza la unión de la capa base con el parámetro “Temperatura histórica”

10.4.7 Sección 7

Gráfica 58. Gráfico Sección 7 Modelo climatológico

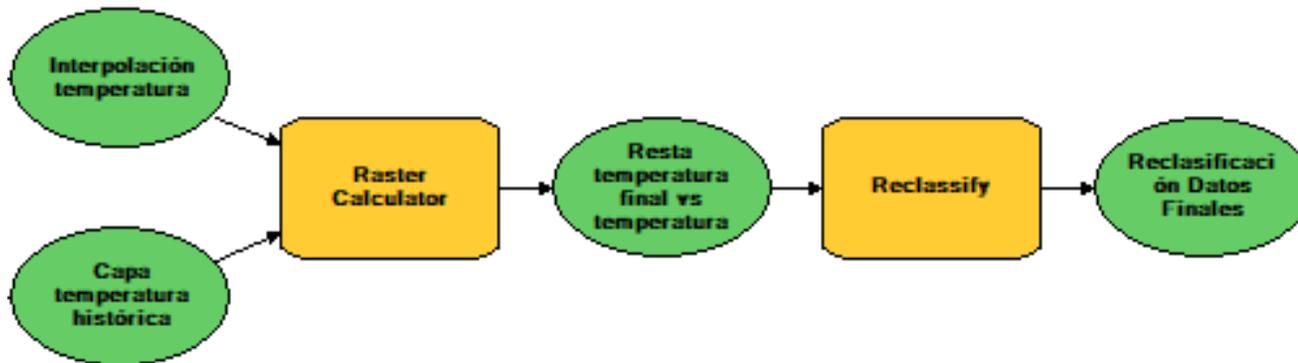


Fuente: Propia

- Se reproyecta la capa con la temperatura histórica
- Se realiza la interpolación para obtener el mapa zonal con temperatura histórica para el departamento del Cesar.

10.4.8 Sección 8

Gráfica 59. Gráfico Sección 8 Modelo climatológico



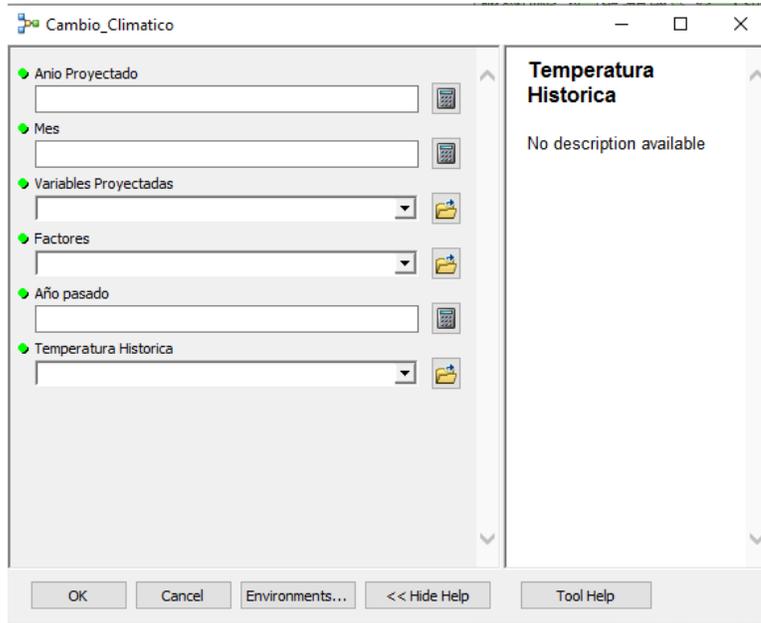
Fuente: Propia

Nota: Esta sección es la continuación de los procesos de la “sección 5” y “sección 7”

- Se realiza una resta entre la capa con la temperatura proyectada y la capa de temperatura histórica para determinar las zonas de mayor variación de la temperatura
- Se realiza una reclasificación de los datos resultantes en intervalos iguales para mejorar la representación de la información.

10.5. EJECUCIÓN DEL MODELO

Gráfica 60. Gráfico Ejecución del modelo

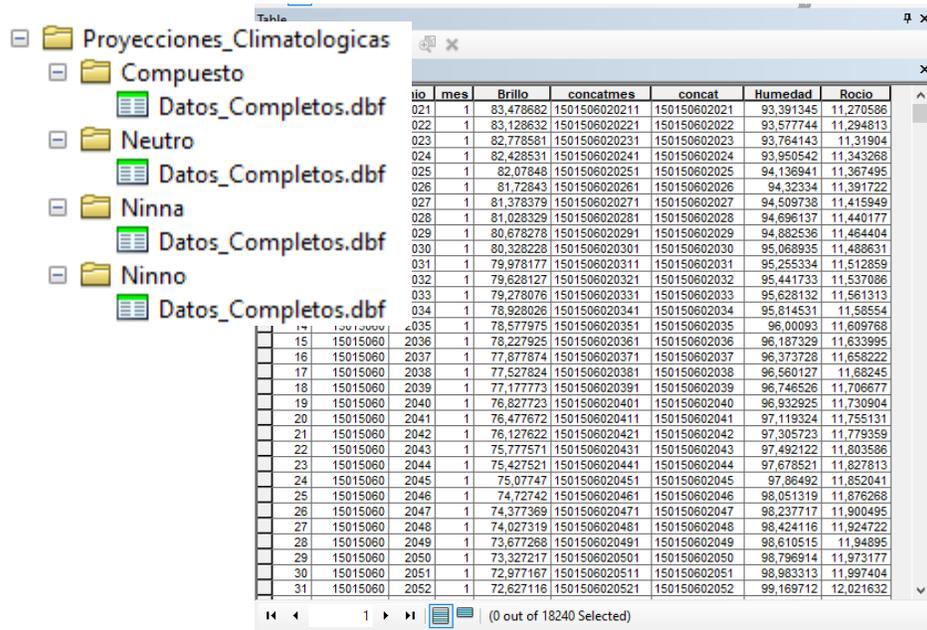


Fuente: Propia

Para la ejecución del modelo se deben ingresar seis parámetros con los cuales se definirán los resultados que se buscan obtener, como lo son año de la proyección, fenómeno climatológico y año histórico con el que quiere realizar la comparación del cambio climático, cada una de las variables requeridas para la ejecución de la herramienta se describen a continuación.

- Año proyectado: es un campo de tipo numérico en el cual se debe indicar el año al cual se quiere proyectar la temperatura.
- Mes: es un campo de tipo numérico en el cual se debe indicar el mes al cual se quiere proyectar la temperatura.
- Variables proyectadas: Corresponde a tablas en formato con extensión dbase file (.dbf) que contiene las variables (humedad, punto de rocío, brillo solar) proyectadas al periodo máximo de ejecución del modelo (2100), clasificadas según el fenómeno climatológico que se desee evaluar (compuesto, neutro, niño, niña), ver la Gráfica 60.

Gráfica 61. Gráfico variables proyectadas



| Año | mes | Brillo | concatmes | concat | Humedad | Rocío |
|------|-----|-----------|---------------|--------------|-----------|-----------|
| 2021 | 1 | 83.478682 | 1501506020211 | 150150602021 | 93.391345 | 11.270586 |
| 2022 | 1 | 83.128632 | 1501506020221 | 150150602022 | 93.577744 | 11.294813 |
| 2023 | 1 | 82.778581 | 1501506020231 | 150150602023 | 93.764143 | 11.31904 |
| 2024 | 1 | 82.428531 | 1501506020241 | 150150602024 | 93.950542 | 11.343268 |
| 2025 | 1 | 82.07848 | 1501506020251 | 150150602025 | 94.136941 | 11.367495 |
| 2026 | 1 | 81.72843 | 1501506020261 | 150150602026 | 94.32334 | 11.391722 |
| 2027 | 1 | 81.378379 | 1501506020271 | 150150602027 | 94.509738 | 11.415949 |
| 2028 | 1 | 81.028329 | 1501506020281 | 150150602028 | 94.696137 | 11.440177 |
| 2029 | 1 | 80.678278 | 1501506020291 | 150150602029 | 94.882536 | 11.464404 |
| 2030 | 1 | 80.328228 | 1501506020301 | 150150602030 | 95.068935 | 11.488631 |
| 2031 | 1 | 79.978177 | 1501506020311 | 150150602031 | 95.255334 | 11.512859 |
| 2032 | 1 | 79.628127 | 1501506020321 | 150150602032 | 95.441733 | 11.537086 |
| 2033 | 1 | 79.278076 | 1501506020331 | 150150602033 | 95.628132 | 11.561313 |
| 2034 | 1 | 78.928026 | 1501506020341 | 150150602034 | 95.814531 | 11.58554 |
| 2035 | 1 | 78.577975 | 1501506020351 | 150150602035 | 96.00093 | 11.609768 |
| 2036 | 1 | 78.227925 | 1501506020361 | 150150602036 | 96.187329 | 11.633995 |
| 2037 | 1 | 77.877874 | 1501506020371 | 150150602037 | 96.373728 | 11.658222 |
| 2038 | 1 | 77.527824 | 1501506020381 | 150150602038 | 96.560127 | 11.68245 |
| 2039 | 1 | 77.177773 | 1501506020391 | 150150602039 | 96.746526 | 11.706677 |
| 2040 | 1 | 76.827723 | 1501506020401 | 150150602040 | 96.932925 | 11.730904 |
| 2041 | 1 | 76.477672 | 1501506020411 | 150150602041 | 97.119324 | 11.755131 |
| 2042 | 1 | 76.127622 | 1501506020421 | 150150602042 | 97.305723 | 11.779359 |
| 2043 | 1 | 75.777571 | 1501506020431 | 150150602043 | 97.492122 | 11.803586 |
| 2044 | 1 | 75.427521 | 1501506020441 | 150150602044 | 97.678521 | 11.827813 |
| 2045 | 1 | 75.07747 | 1501506020451 | 150150602045 | 97.86492 | 11.852041 |
| 2046 | 1 | 74.72742 | 1501506020461 | 150150602046 | 98.051319 | 11.876268 |
| 2047 | 1 | 74.377369 | 1501506020471 | 150150602047 | 98.237717 | 11.900495 |
| 2048 | 1 | 74.027319 | 1501506020481 | 150150602048 | 98.424116 | 11.924722 |
| 2049 | 1 | 73.677268 | 1501506020491 | 150150602049 | 98.610515 | 11.94895 |
| 2050 | 1 | 73.327217 | 1501506020501 | 150150602050 | 98.796914 | 11.973177 |
| 2051 | 1 | 72.977167 | 1501506020511 | 150150602051 | 98.983313 | 11.997404 |
| 2052 | 1 | 72.627116 | 1501506020521 | 150150602052 | 99.169712 | 12.021632 |

Fuente: Propia

Factores: Corresponde a tablas en formato con extensión dbase file (.dbf) que contiene las variables con la que se genera la ecuación de correlación lineal múltiple para el cálculo de la temperatura futuro, los factores se encuentran clasificados según el fenómeno climatológico que se desee evaluar (compuesto, neutro, niño, niña), ver la Gráfica 61.

Gráfica 62. Gráfico factores

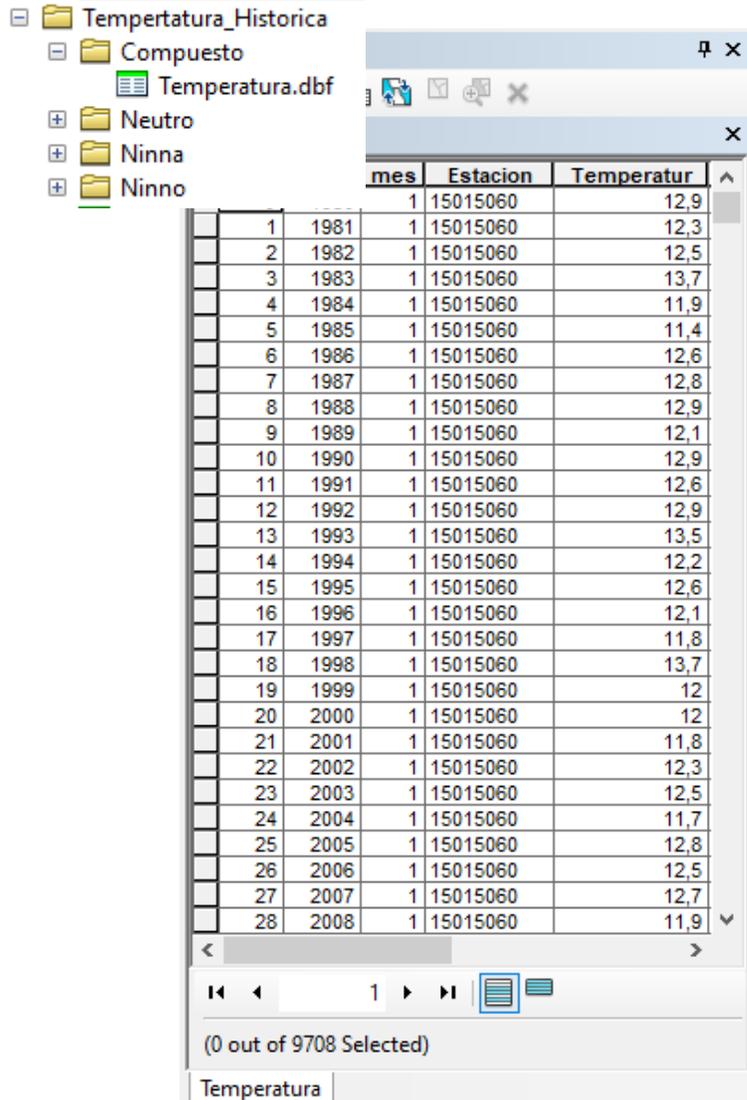
| | | EI | EX1 | EX2 | EX3 | EX4 | Estacion |
|----|---|------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 1 | 1 | 21,09035 | -0,002319 | -0,000848 | -0,161007 | 0,971832 | 15015060 |
| 1 | 1 | 11,53475 | 0,005025 | -0,000054 | -0,213357 | 0,958645 | 16025030 |
| 1 | 1 | 31,655184 | -0,004424 | -0,002287 | -0,284586 | 1,267199 | 16055010 |
| 1 | 1 | 2,775112 | 0,008544 | 0 | -0,190794 | 0,947925 | 16055020 |
| 1 | 1 | -19,121458 | 0,019161 | 0,003908 | -0,134936 | 0,682456 | 16055040 |
| 5 | 1 | -6,937546 | 0,016039 | 0,002187 | -0,164202 | 0,433564 | 16055060 |
| 6 | 1 | 38,53438 | -0,008863 | -0,002209 | -0,231331 | 1,108627 | 16055090 |
| 7 | 1 | -9,358552 | 0,010757 | 0,003288 | -0,174091 | 1,212485 | 23185010 |
| 8 | 1 | 7,844575 | 0,007981 | -0,000266 | -0,276403 | 1,092629 | 25025090 |
| 9 | 1 | 20,682531 | 0,003736 | 0 | -0,178836 | 0,58365 | 25025100 |
| 10 | 1 | 29,150022 | -0,003013 | -0,001967 | -0,229296 | 0,99806 | 25025250 |
| 11 | 1 | -3,70925 | 0,013068 | -0,001128 | -0,300501 | 1,239529 | 28015070 |
| 12 | 1 | 5,028695 | 0,009398 | 0 | -0,272588 | 1,082256 | 28025020 |
| 13 | 1 | 24,600465 | 0,00206 | -0,005783 | -0,169098 | 0,6229 | 28025070 |
| 14 | 1 | 39,560473 | -0,006024 | 0,001085 | -0,193383 | 0,636651 | 28025080 |
| 15 | 1 | 8,287185 | 0,011887 | 0 | -0,273894 | 0,706646 | 28025090 |
| 16 | 1 | 34,731695 | -0,004284 | 0,00451 | -0,297653 | 0,988782 | 28035010 |
| 17 | 1 | -1,263418 | 0,015866 | -0,002185 | -0,198034 | 0,552652 | 28035020 |
| 18 | 1 | -5,84933 | 0,014434 | 0,000255 | -0,40973 | 1,506967 | 28035040 |
| 19 | 2 | 15,882666 | 0,000928 | -0,002161 | -0,177166 | 0,997155 | 15015060 |
| 20 | 2 | 14,657034 | 0,003398 | -0,000408 | -0,222001 | 1,008436 | 16025030 |
| 21 | 2 | 30,983786 | -0,00499 | 0,000222 | -0,241023 | 1,123551 | 16055010 |
| 22 | 2 | 4,057058 | 0,007204 | 0 | -0,204568 | 1,095789 | 16055020 |
| 23 | 2 | -2,241869 | 0,00965 | 0,004306 | -0,152563 | 0,910412 | 16055040 |
| 24 | 2 | -4,262827 | 0,010906 | 0,003777 | -0,184549 | 1,018727 | 16055060 |
| 25 | 2 | 26,352668 | -0,003762 | 0,000619 | -0,207611 | 1,084835 | 16055090 |
| 26 | 2 | -1,154488 | 0,01298 | -0,000269 | -0,147707 | 0,637426 | 23185010 |
| 27 | 2 | 41,034301 | -0,007082 | 0,001757 | -0,296728 | 0,999691 | 25025090 |
| 28 | 2 | 9,968892 | 0,007777 | 0 | -0,158713 | 0,643237 | 25025100 |
| 29 | 2 | 40,955402 | -0,010498 | 0,009787 | -0,273908 | 1,155389 | 25025250 |
| 30 | 2 | 6,381505 | 0,007818 | -0,000745 | -0,289762 | 1,223698 | 28015070 |

Fuente: Propia

Año pasado: es un campo de tipo numérico en el cual se debe indicar el año pasado con el cual se quiere comparar la proyección de temperatura para generar la capa de cambio de temperatura.

Temperatura histórica: Corresponde a tablas en formato con extensión dbase file (.dbf) que contiene los datos históricos de temperatura para genera la capa a ser comparada para determinar el cambio de temperatura, las temperaturas históricas se encuentran clasificadas según el fenómeno climatológico que se desee evaluar (compuesto, neutro, niño, niña), ver la Gráfica 62.

Gráfica 63. Gráfico temperatura histórica



| mes | Estacion | Temperatur |
|-----|----------|------------|
| 1 | 15015060 | 12,9 |
| 1 | 1981 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,3 |
| 2 | 1982 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,5 |
| 3 | 1983 | 1 |
| 1 | 15015060 | 13,7 |
| 4 | 1984 | 1 |
| 1 | 15015060 | 11,9 |
| 5 | 1985 | 1 |
| 1 | 15015060 | 11,4 |
| 6 | 1986 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,6 |
| 7 | 1987 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,8 |
| 8 | 1988 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,9 |
| 9 | 1989 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,1 |
| 10 | 1990 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,9 |
| 11 | 1991 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,6 |
| 12 | 1992 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,9 |
| 13 | 1993 | 1 |
| 1 | 15015060 | 13,5 |
| 14 | 1994 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,2 |
| 15 | 1995 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,6 |
| 16 | 1996 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,1 |
| 17 | 1997 | 1 |
| 1 | 15015060 | 11,8 |
| 18 | 1998 | 1 |
| 1 | 15015060 | 13,7 |
| 19 | 1999 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12 |
| 20 | 2000 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12 |
| 21 | 2001 | 1 |
| 1 | 15015060 | 11,8 |
| 22 | 2002 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,3 |
| 23 | 2003 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,5 |
| 24 | 2004 | 1 |
| 1 | 15015060 | 11,7 |
| 25 | 2005 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,8 |
| 26 | 2006 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,5 |
| 27 | 2007 | 1 |
| 1 | 15015060 | 12,7 |
| 28 | 2008 | 1 |
| 1 | 15015060 | 11,9 |

Fuente: Propia

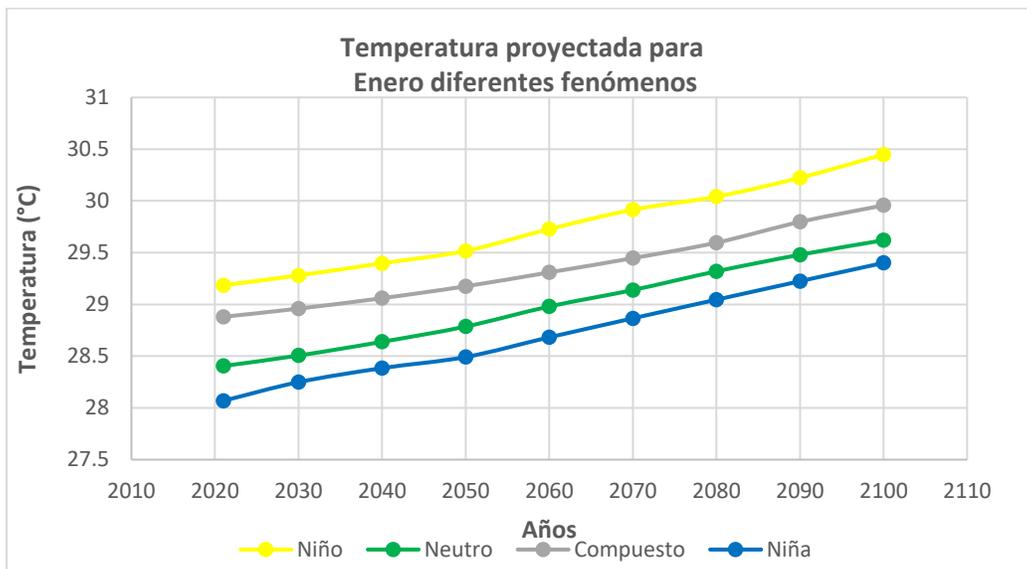
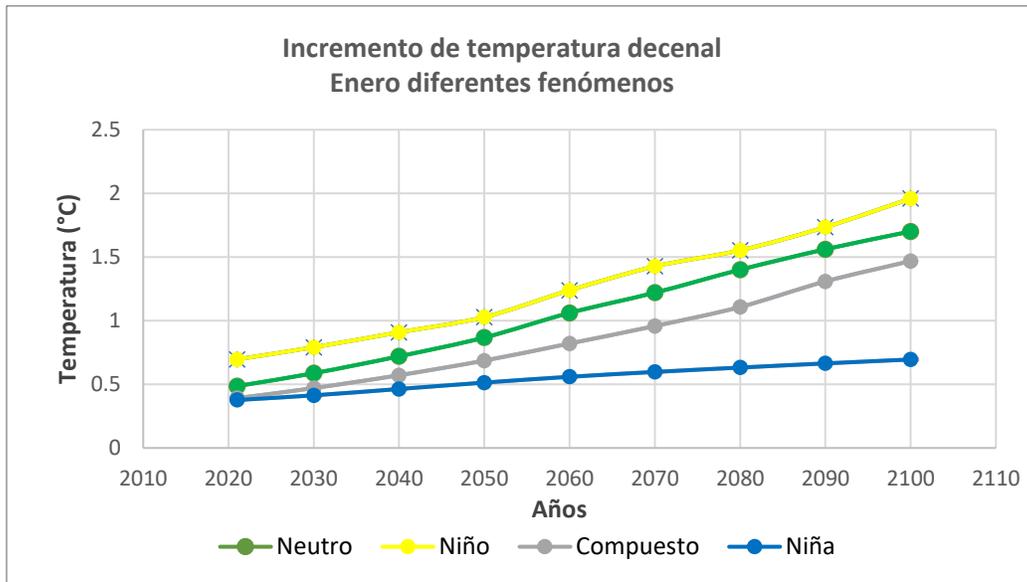
10.5.1 Resultados de proyección

Al final de la ejecución del modelo se genera una capa con la variación de la temperatura entre el año de referencia y el año futuro definidos en el momento de la ejecución del modelo y la temperatura proyectada para el periodo seleccionado.

Se presenta a continuación en gráficas, tablas y mapas los resultados obtenidos para los diferentes escenarios futuros obtenidos en cálculos tanto en Excel como en los resultados del modelo predictivo.

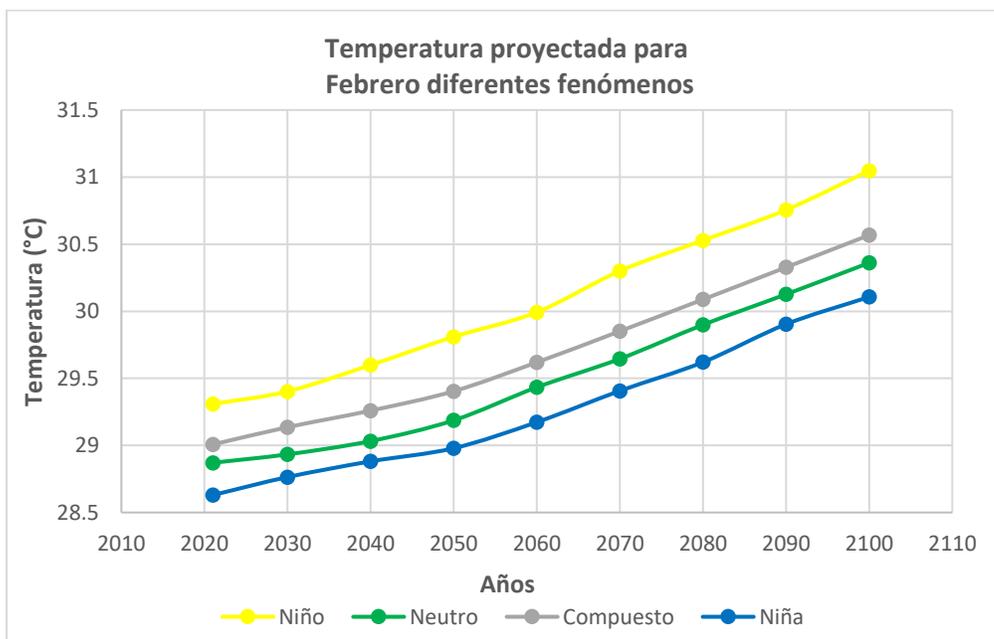
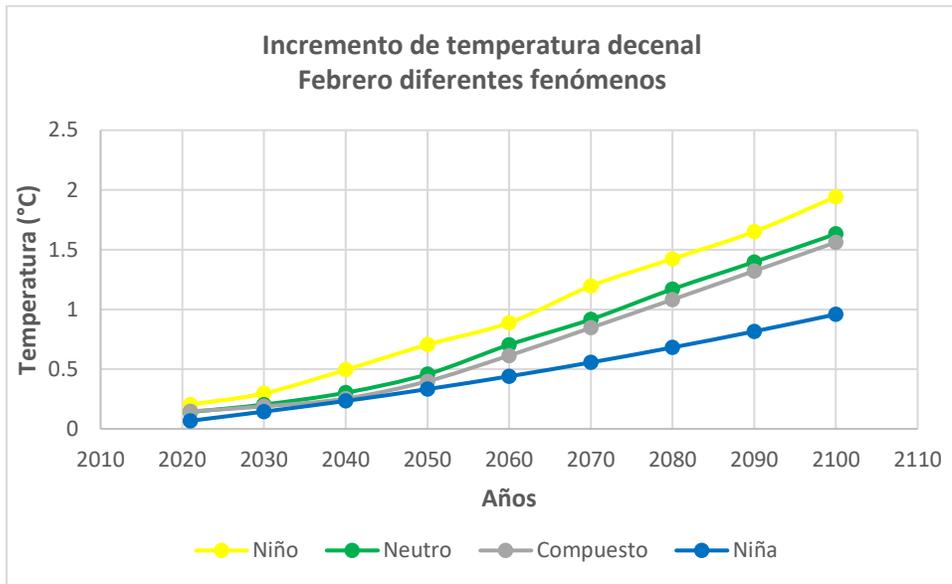
De acuerdo con los cálculos predictivos se esperan los siguientes promedios de temperatura para cada año del 2021 al 2100, diferenciando por fenómeno (niña, niño, neutro y compuesto) para cada mes:

Gráfica 64. Incremento de temperatura previsto mes de enero



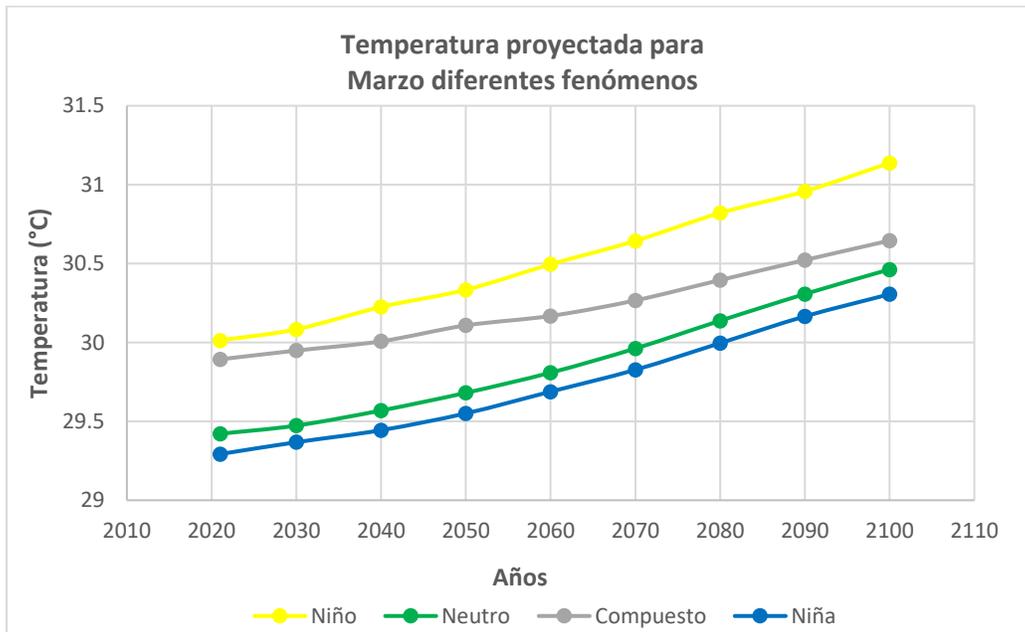
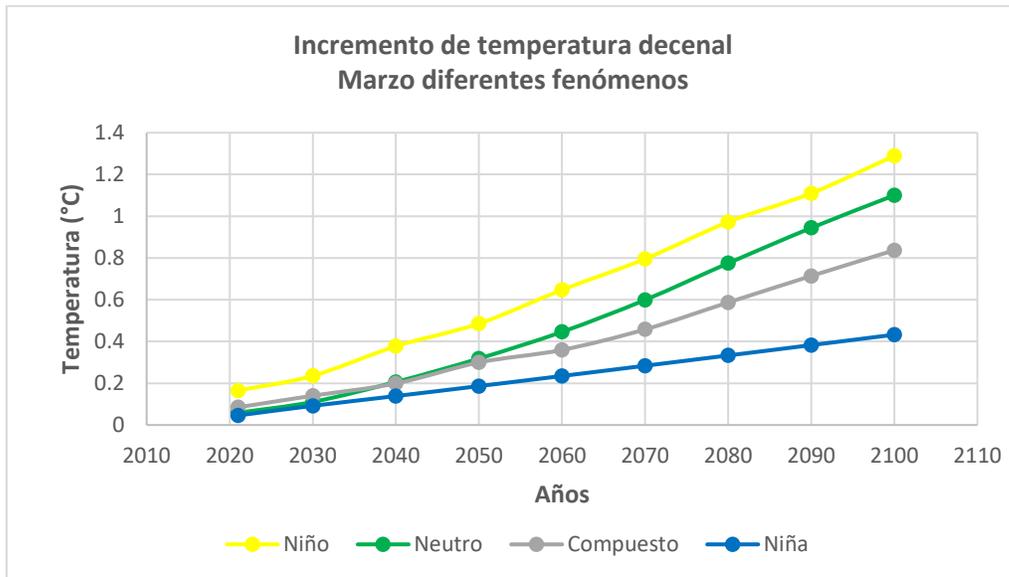
Para el mes de enero ocurre un comportamiento esperado en los diferentes escenarios, se estima una diferencia de casi medio grado para final de siglo entre un año neutro con un año compuesto.

Gráfica 65. Incremento de temperatura previsto mes de febrero



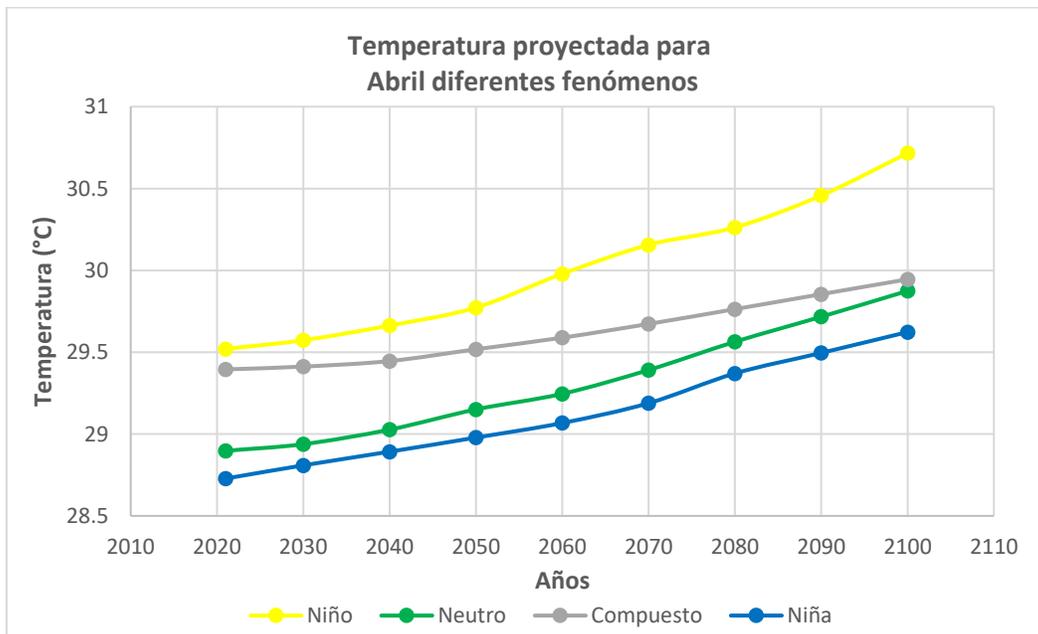
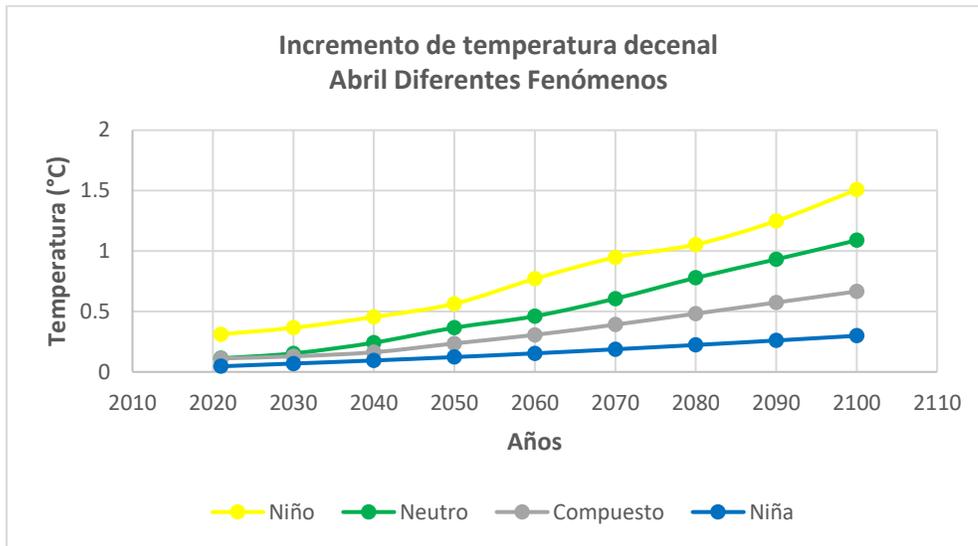
Para el mes de febrero ocurre un comportamiento esperado para casi todo el periodo 2030 – 2100, con una diferencia de 1.5°C entre los años niño y niña para el año 2100.

Gráfica 66. Incremento de temperatura prevista mes de marzo



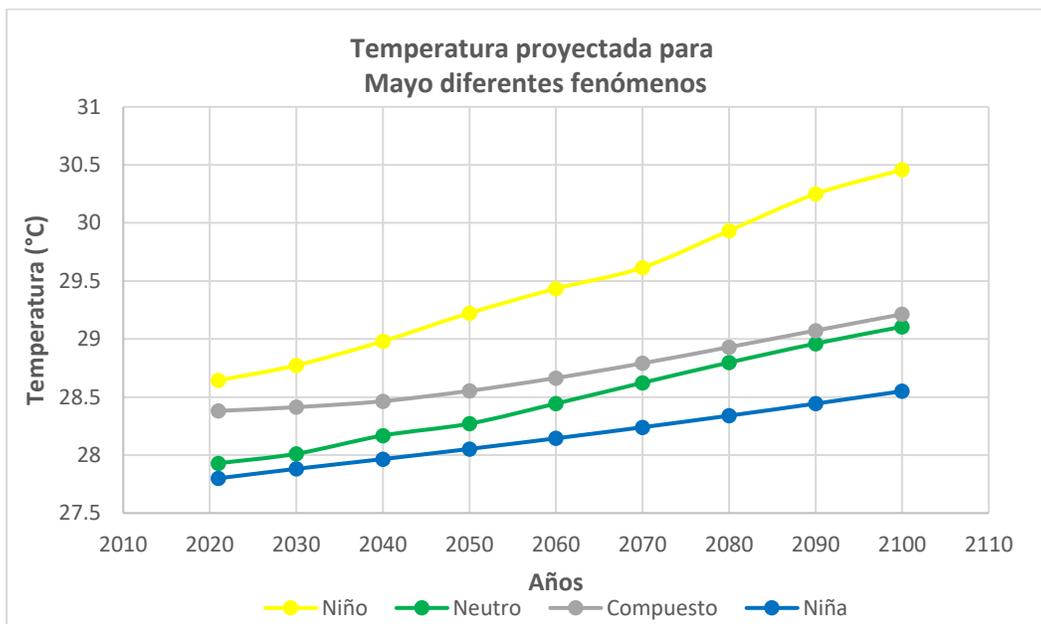
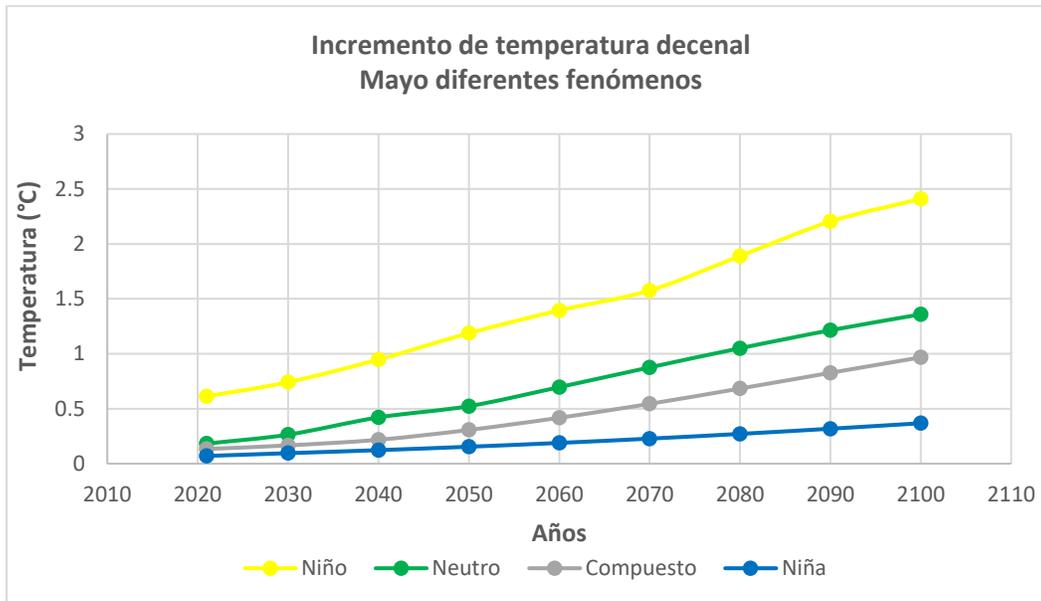
Para el periodo de marzo destaca el leve incremento que experimenta el escenario niña a través de los años.

Gráfica 67. Incremento de temperatura previsto mes de abril



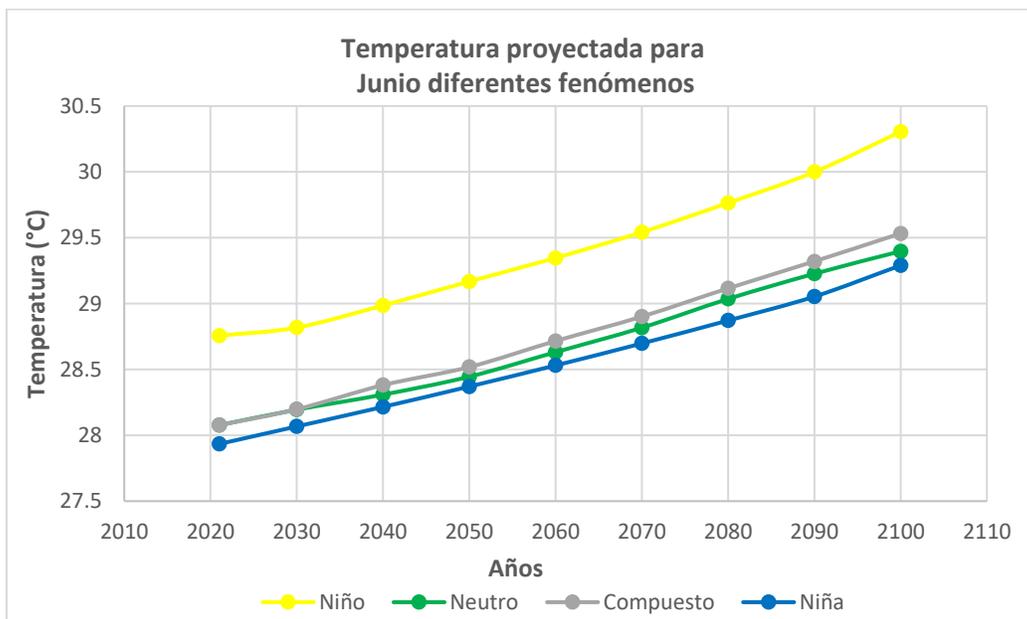
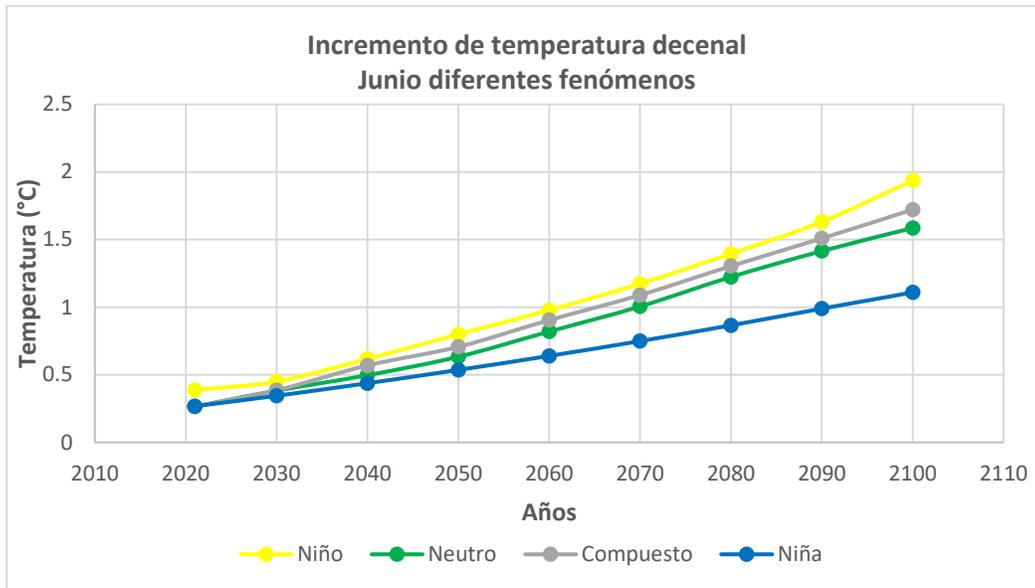
Para el periodo de abril se destaca la similitud entre el comportamiento del año neutro con el año niña, así como también la diferencia de más de un grado que mantienen estos dos escenarios con respecto al escenario niño, que permanece sin mucha variación en el tiempo.

Gráfica 68. Incremento de temperatura previsto mes de mayo



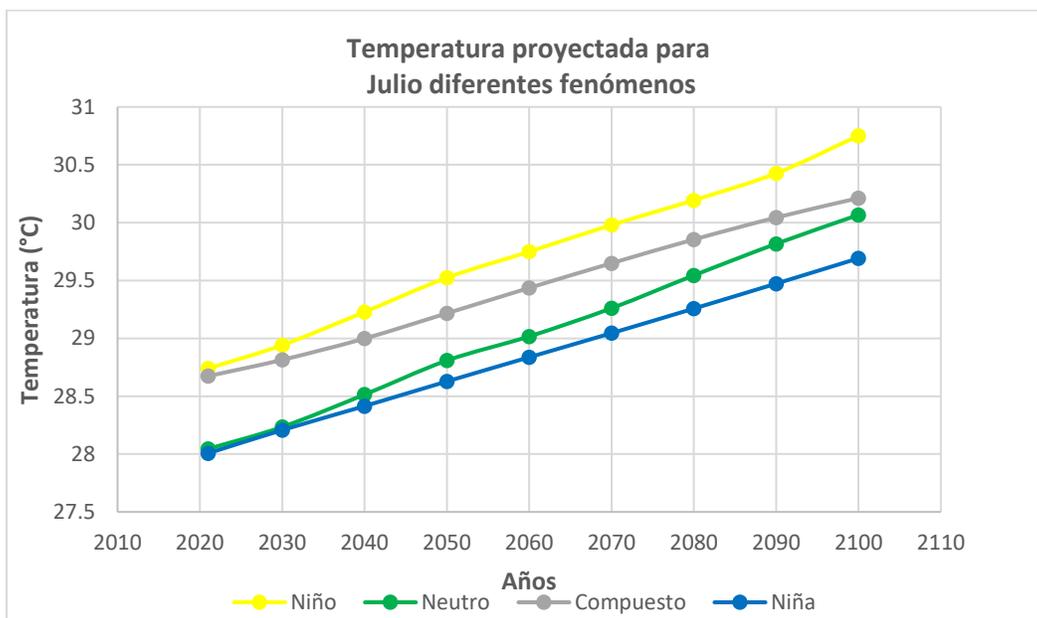
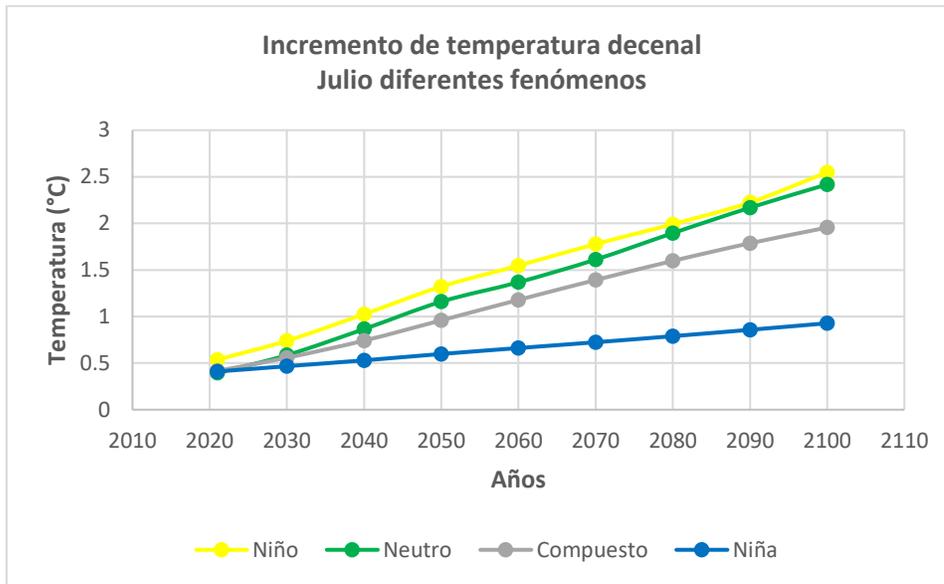
Para el mes de mayo se proyecta el comportamiento estándar en el cual el mayor incremento de temperatura ocurre en año niño seguido de año compuesto, año neutro y finalmente año niña.

Gráfica 69. Incremento de temperatura previsto mes de junio



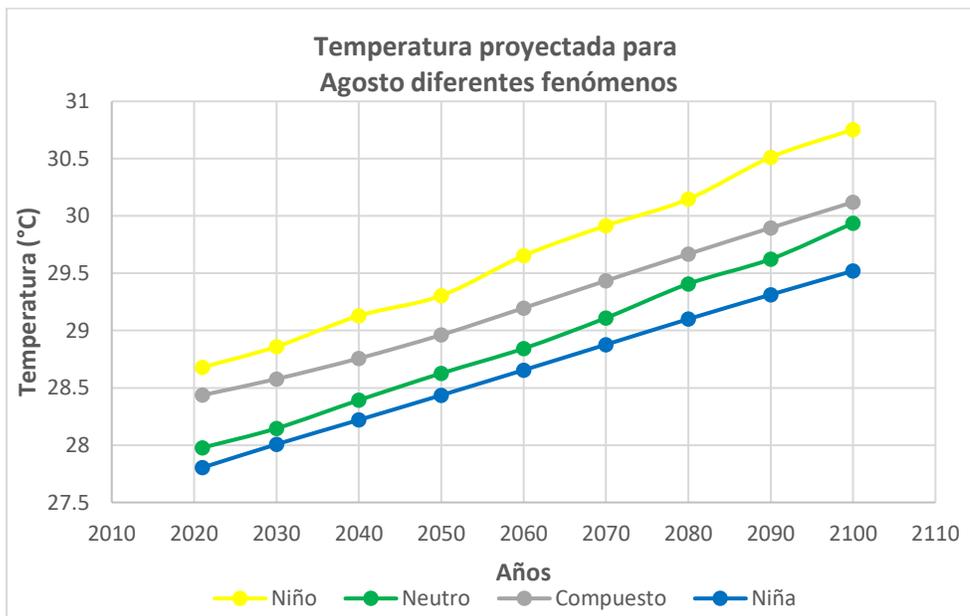
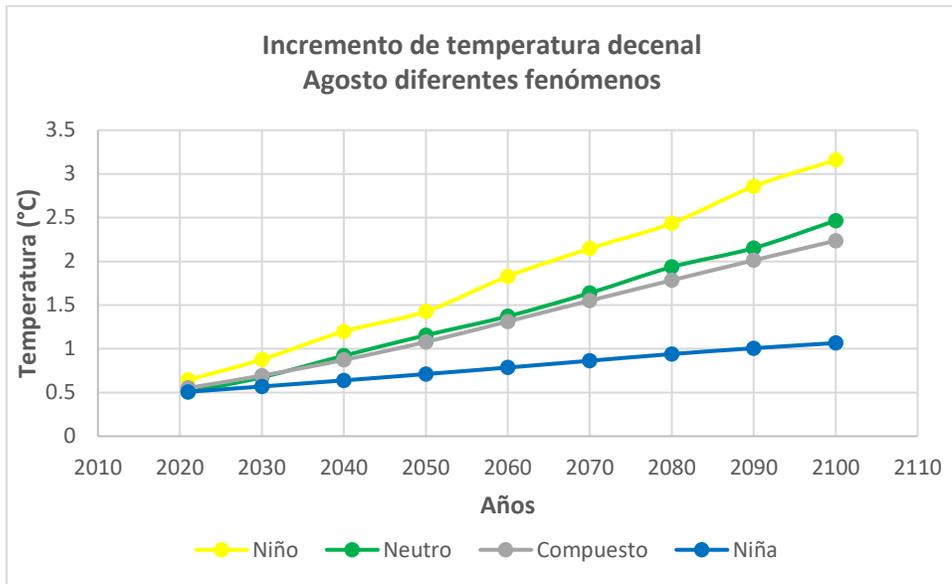
Para los meses de junio se ve una gran similitud en el comportamiento de los años compuesto, neutro y niña.

Gráfica 70. Incremento de temperatura previsto mes de julio



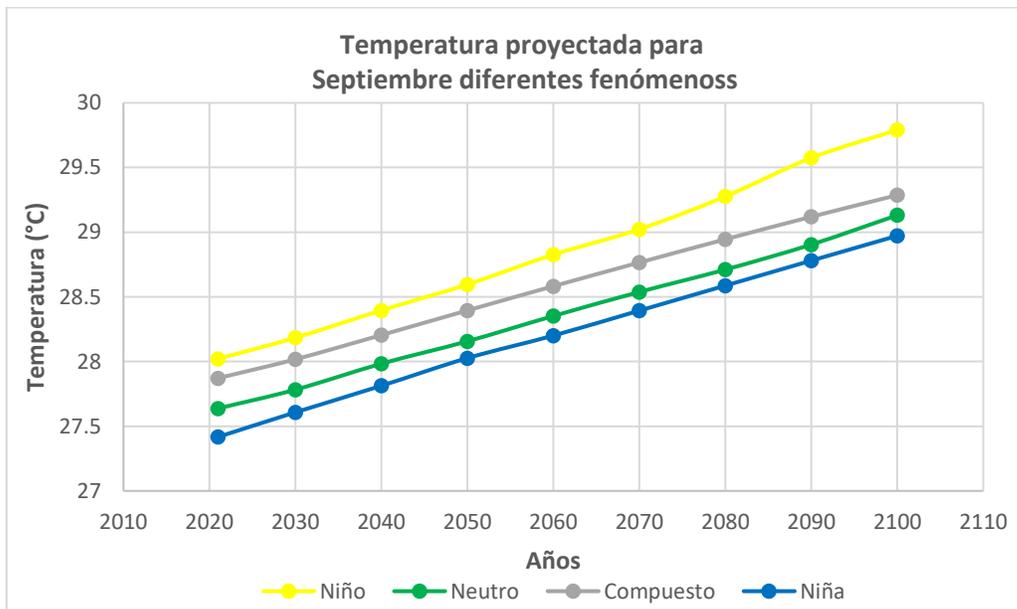
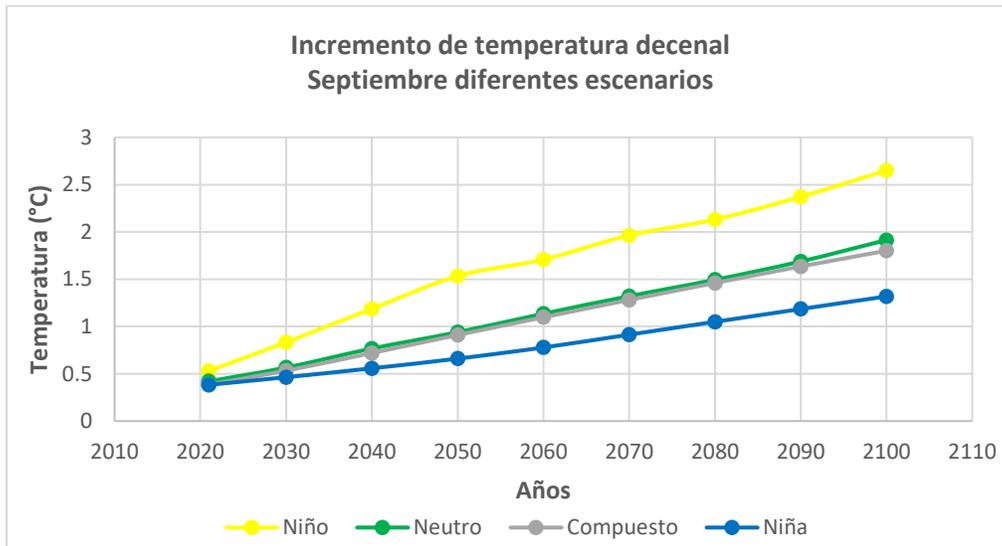
Para el mes de Julio se ve un comportamiento proyectado esperado con una tasa de crecimiento mayor para los años niño.

Gráfica 71. Incremento de temperatura previsto mes de agosto



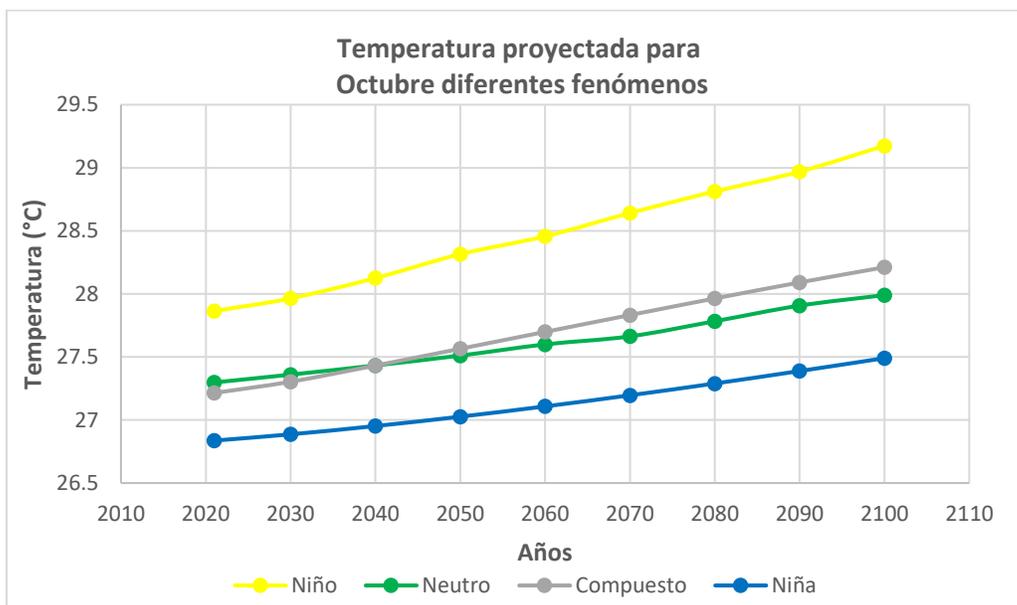
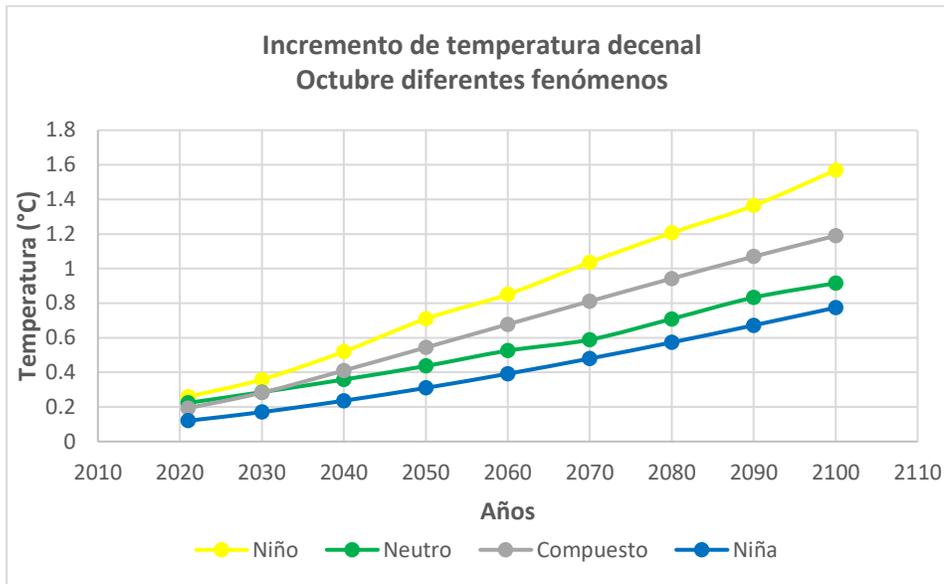
Para agosto se observa una tasa de crecimiento similar para todos los periodos.

Gráfica 72. Incremento de temperatura prevista mes de septiembre



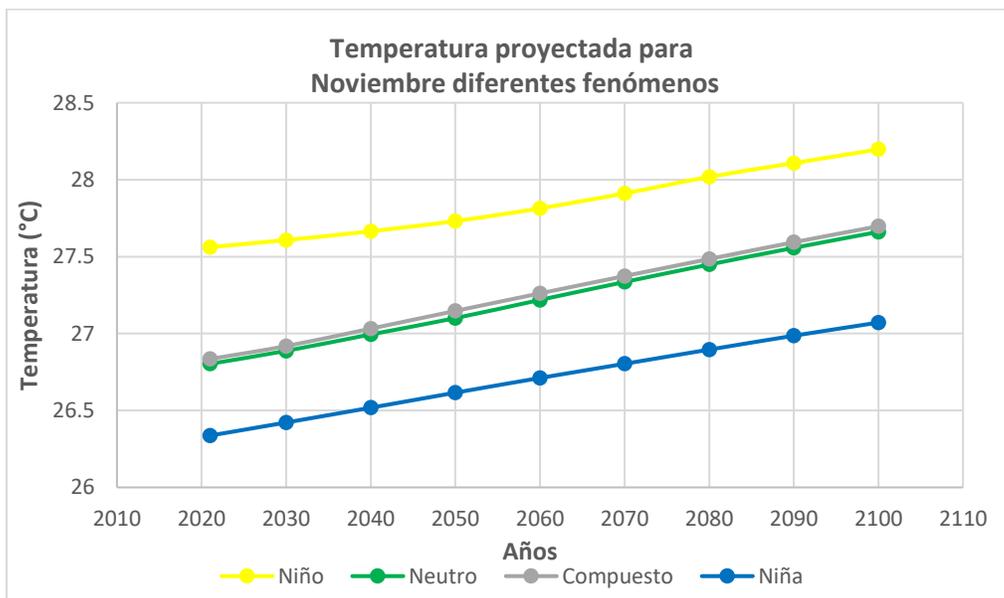
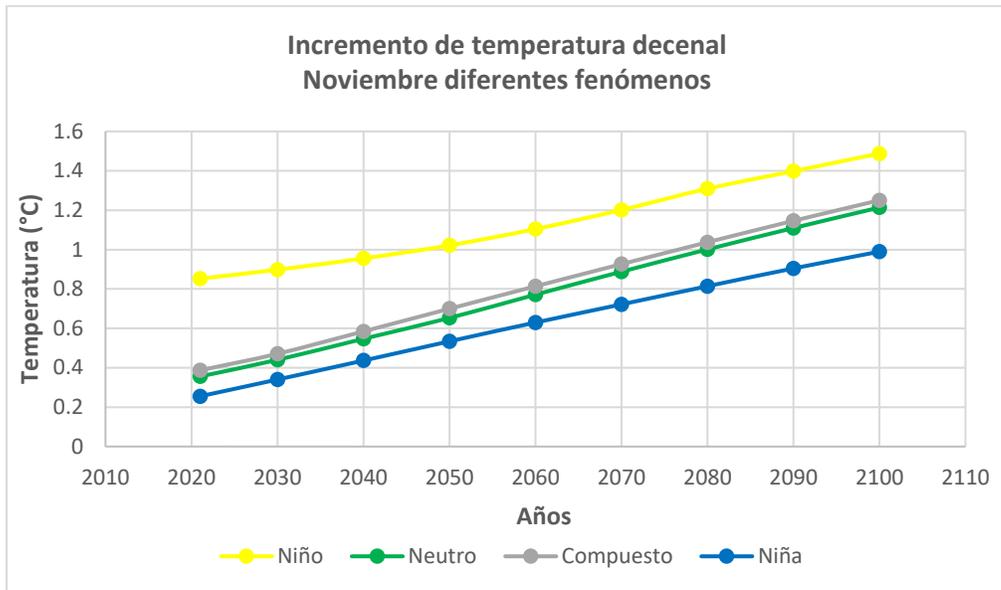
Para el mes de septiembre se prevé un aumento similar de los 4 fenómenos climatológicos.

Gráfica 73. Incremento de temperatura prevista mes de octubre



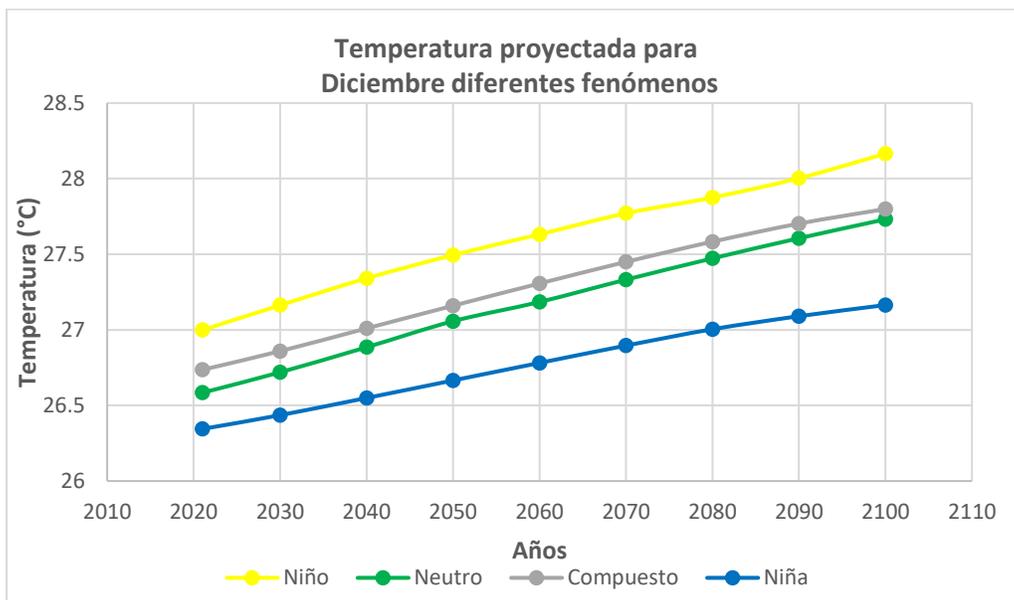
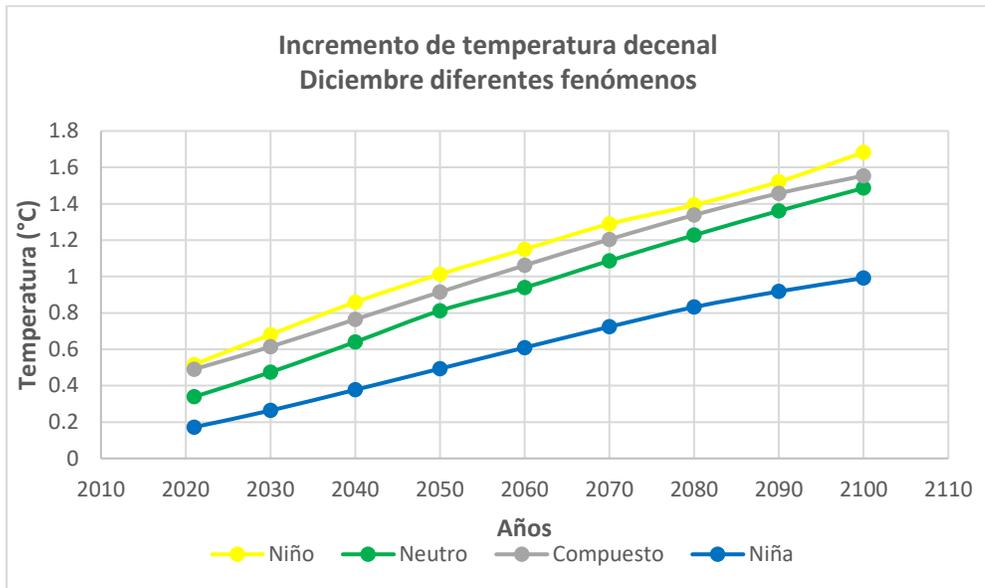
Para el mes de octubre se ve un comportamiento muy similar entre los años neutro y compuesto y una diferencia de alrededor de 1.5 °C para los años niño y niña.

Gráfica 74. Incremento de temperatura prevista mes de noviembre



Para el mes de noviembre se destaca el comportamiento tan similar de los escenarios compuesto y neutro.

Gráfica 75. Incremento de temperatura prevista mes de diciembre



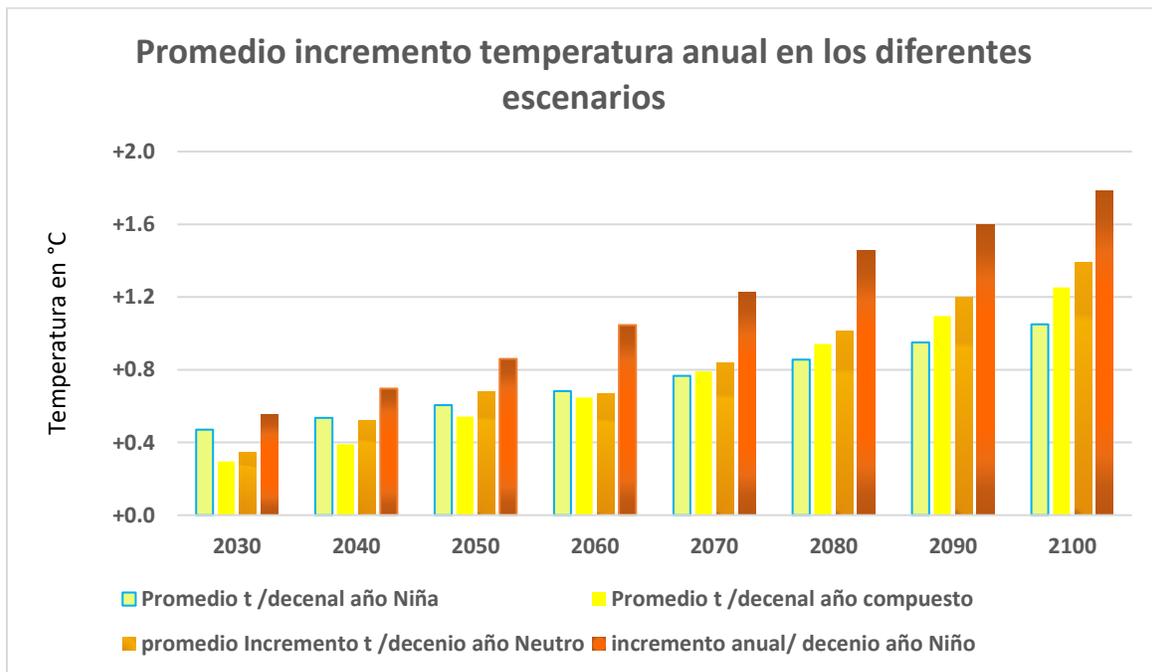
Para el mes de diciembre destaca un comportamiento muy similar entre los 4 fenómenos climatológicos.

Promediando el resultado de cada mes para cada año se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 51. Promedio de temperatura anual prevista

| Promedio anual Incremento temperatura diferentes Escenarios 2030-2100 | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Año | Promedio Anual Año niño | Promedio anual año Niña | Promedio anual Año Neutro | Promedio cambio Anual Año compuesto |
| 2030 | 0,550 | 0,471 | 0,344 | 0,296 |
| 2040 | 0,696 | 0,536 | 0,520 | 0,391 |
| 2050 | 0,860 | 0,606 | 0,678 | 0,542 |
| 2060 | 1,046 | 0,683 | 0,667 | 0,647 |
| 2070 | 1,226 | 0,766 | 0,837 | 0,791 |
| 2080 | 1,454 | 0,856 | 1,015 | 0,941 |
| 2090 | 1,597 | 0,951 | 1,201 | 1,095 |
| 2100 | 1,786 | 1,049 | 1,393 | 1,253 |

Gráfica 76. Promedio incremento de temperatura



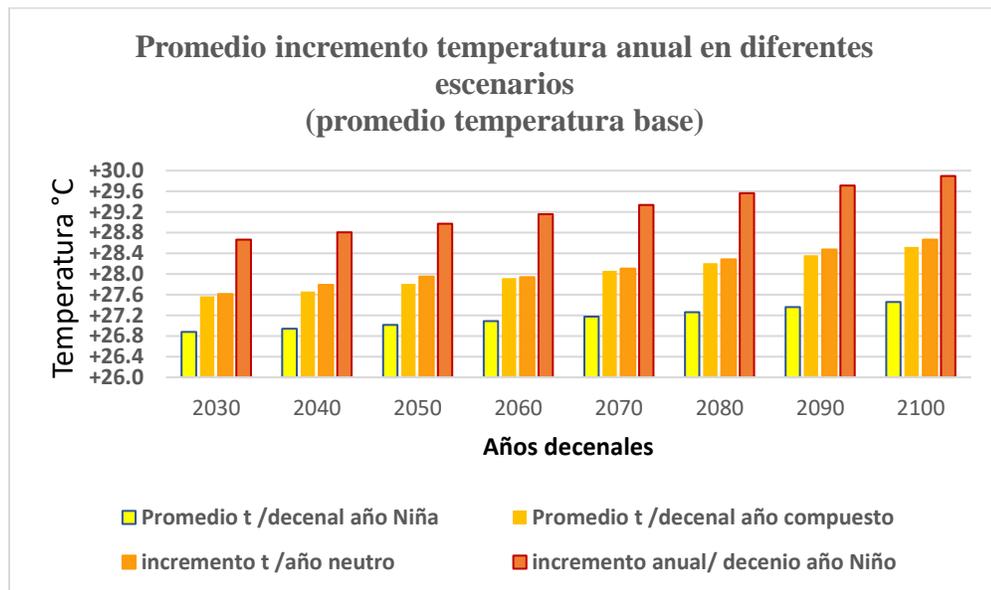
En la gráfica 76 se observa que a medida que se acerca al 2100 se acentúan más los cambios entre los diferentes regímenes (siendo el año niño el de mayor incremento y año niña el de menor incremento).

Teniendo en cuenta la temperatura base y el incremento de temperatura que se espera para cada año se prevé la siguiente tabla de promedios anuales:

Tabla 52. Temperatura prevista diferentes años

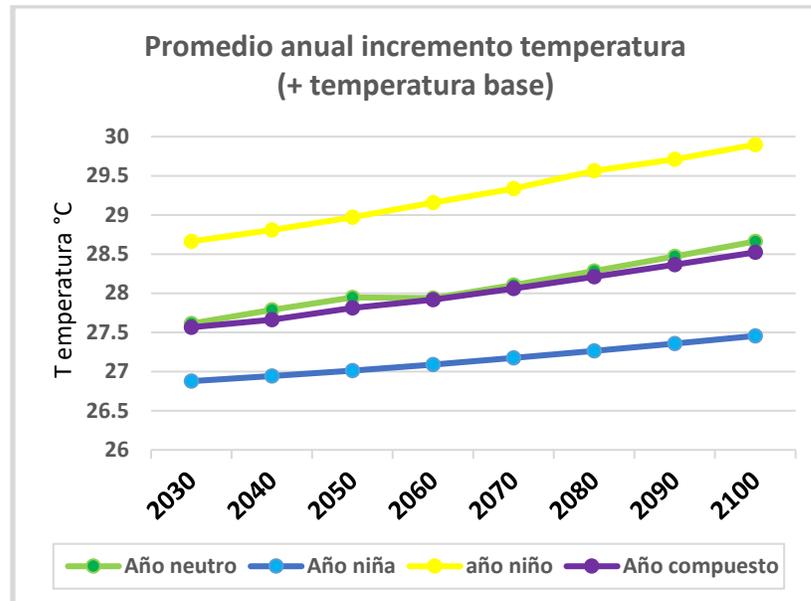
| Temperatura base + promedio incremento anual | | | | |
|--|--------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Año | Promedio cambio Anual Año niño | Promedio Anual Año niña | Promedio cambio Anual Año neutro | Promedio cambio Anual Año compuesto |
| 2030 | 28,663 | 26,878 | 27,614 | 27,566 |
| 2040 | 28,809 | 26,942 | 27,790 | 27,661 |
| 2050 | 28,972 | 27,012 | 27,948 | 27,811 |
| 2060 | 29,158 | 27,089 | 27,937 | 27,917 |
| 2070 | 29,338 | 27,173 | 28,107 | 28,061 |
| 2080 | 29,566 | 27,262 | 28,285 | 28,211 |
| 2090 | 29,710 | 27,357 | 28,471 | 28,365 |
| 2100 | 29,899 | 27,456 | 28,663 | 28,523 |

Gráfica 77. Promedio incremento temperatura anual

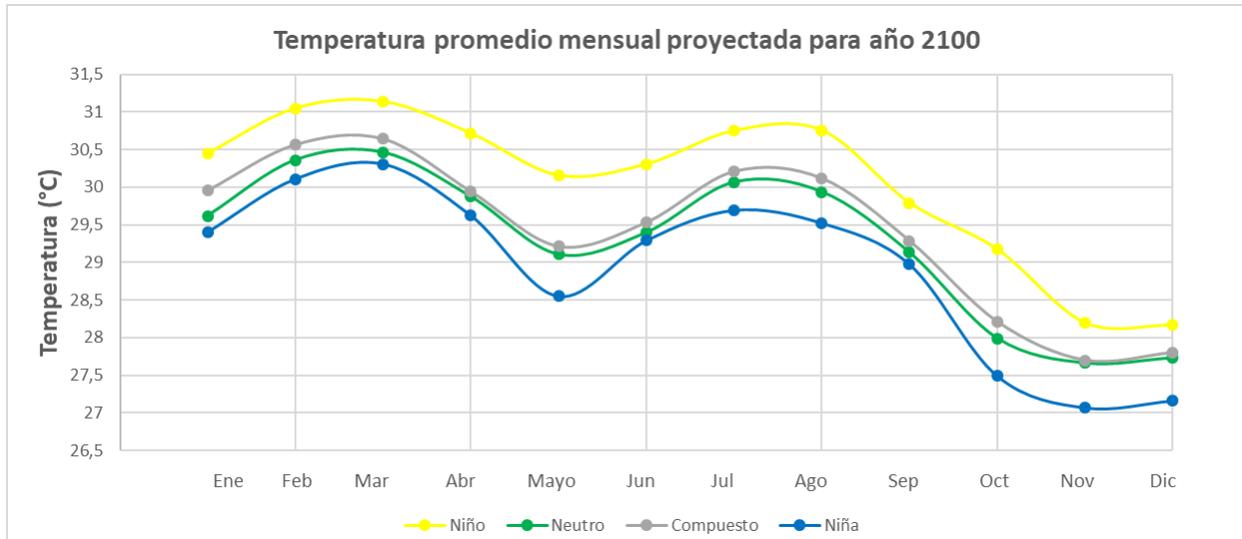


La presente gráfica presenta el promedio del incremento de la temperatura incluyendo el promedio de la temperatura base para cada escenario.

Gráfica 78. Promedio anual incremento de temperatura



Gráfica 79. Temperatura proyectada para los diferentes meses año 2100



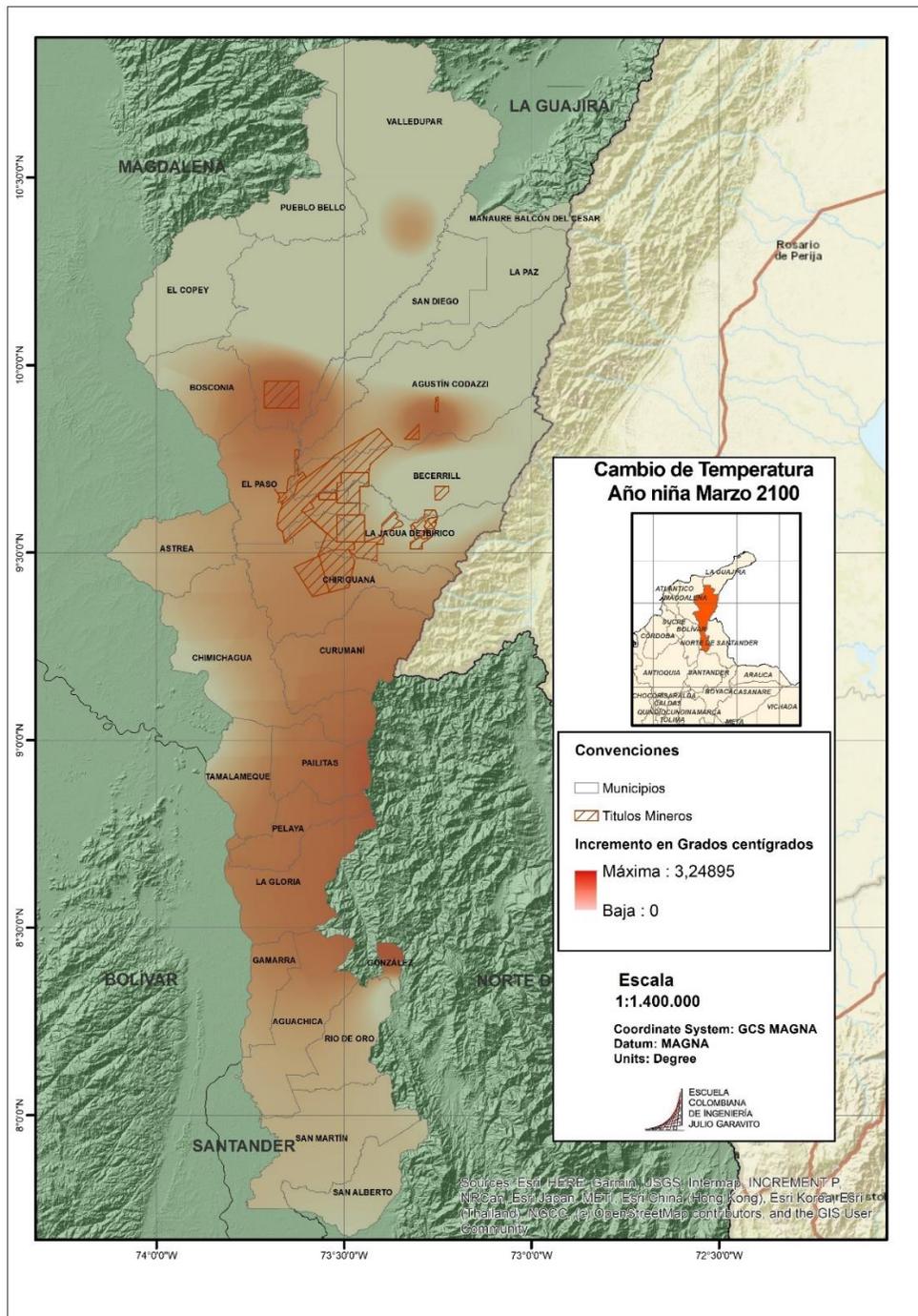
10.6 RESULTADOS DEL MODELO

Es importante mencionar que, para ejecutar la modelación, se tomó como base el último año según el escenario climatológico a analizar, dado que desde finales de los años 90's, se potencializó la extracción minera a cielo abierto en el departamento. La selección del año final fue 2100 para los cálculos que efectuaba el modelo, se estima que por políticas y acuerdos macro con relación a la mitigación del cambio climático, las prácticas de extracción minera y uso del carbón empezarán a decrecer entre 2030 y 2050.

En cuanto a los meses seleccionados para la modelación, se encontró que de acuerdo con los datos de temperatura históricos reportados por el IDEAM, marzo es el mes con mayor registro de temperatura, octubre registró temperaturas denominadas como “frescas” y enero, se caracteriza por ser un mes de transición por sus temperaturas medias. De acuerdo con lo previamente descrito, se seleccionarán estos 3 meses para efectuar el análisis.

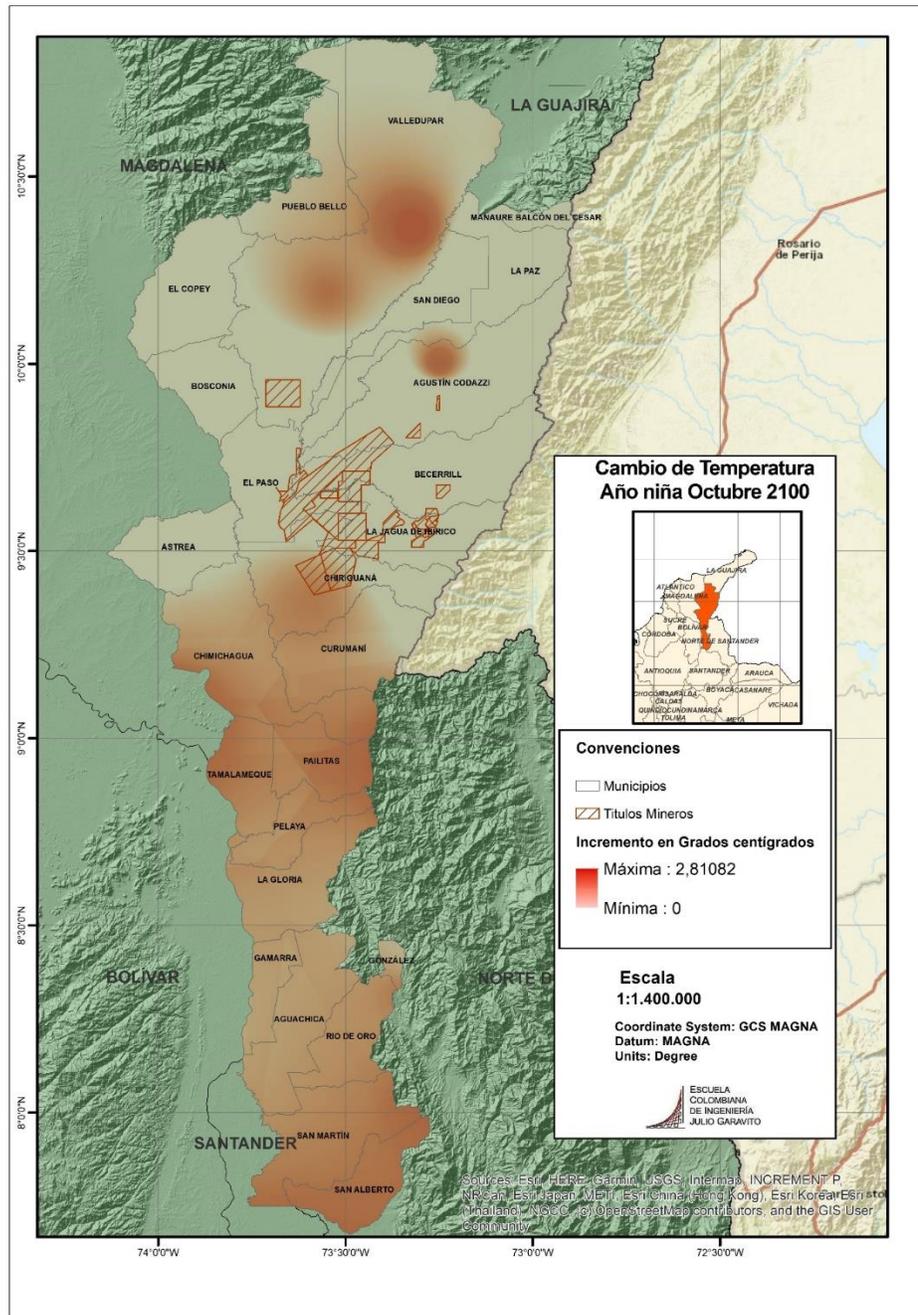
Mencionado lo anterior, los resultados se mencionan a continuación:

Gráfica 81. Gráfico Cambio de temperatura marzo para 2100 año niña



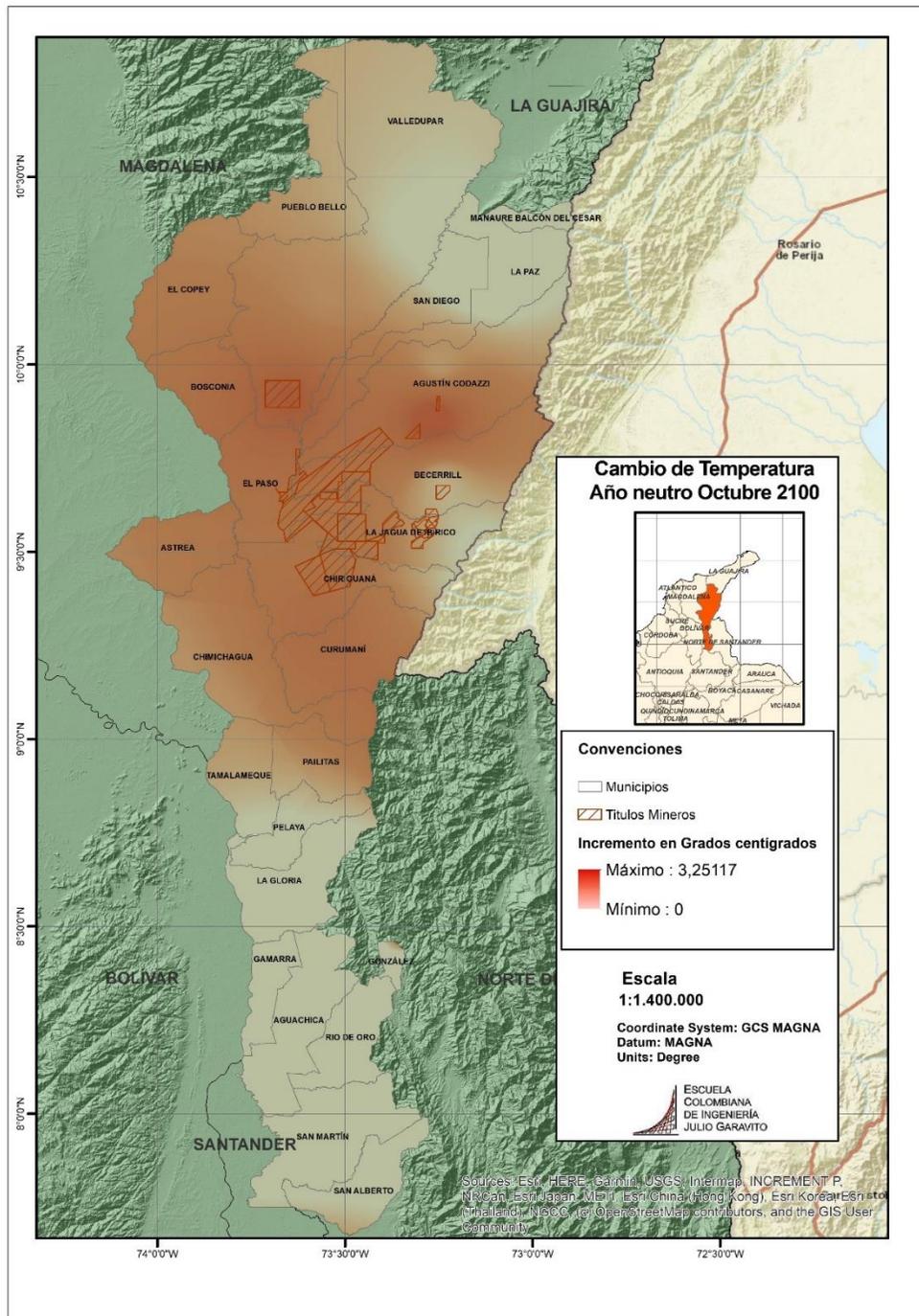
Fuente: Propia

Gráfica 82. Gráfico Cambio de temperatura octubre para 2100 año niña



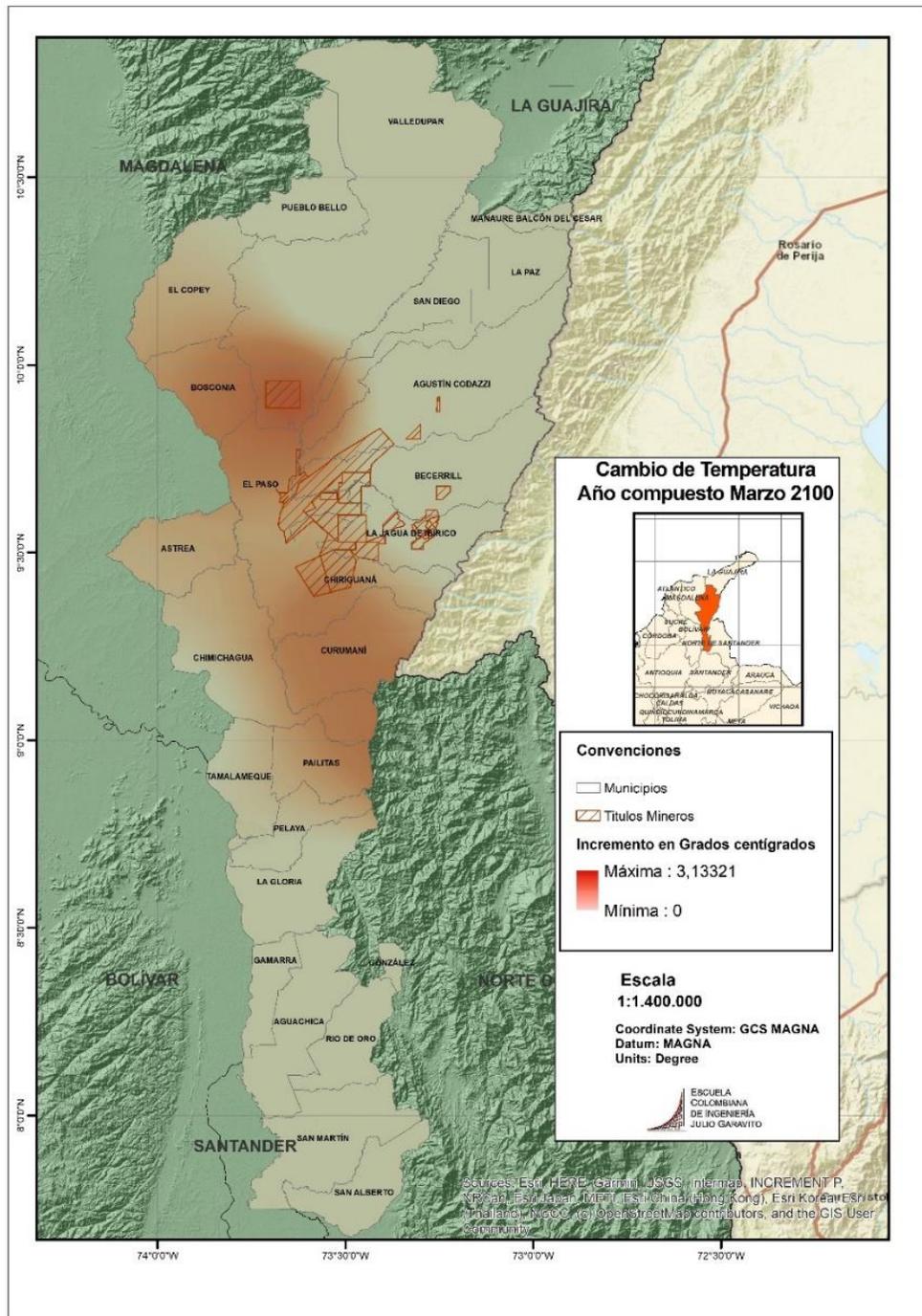
Fuente: Propia

Gráfica 85. Gráfico Cambio de temperatura octubre para 2100 año neutro



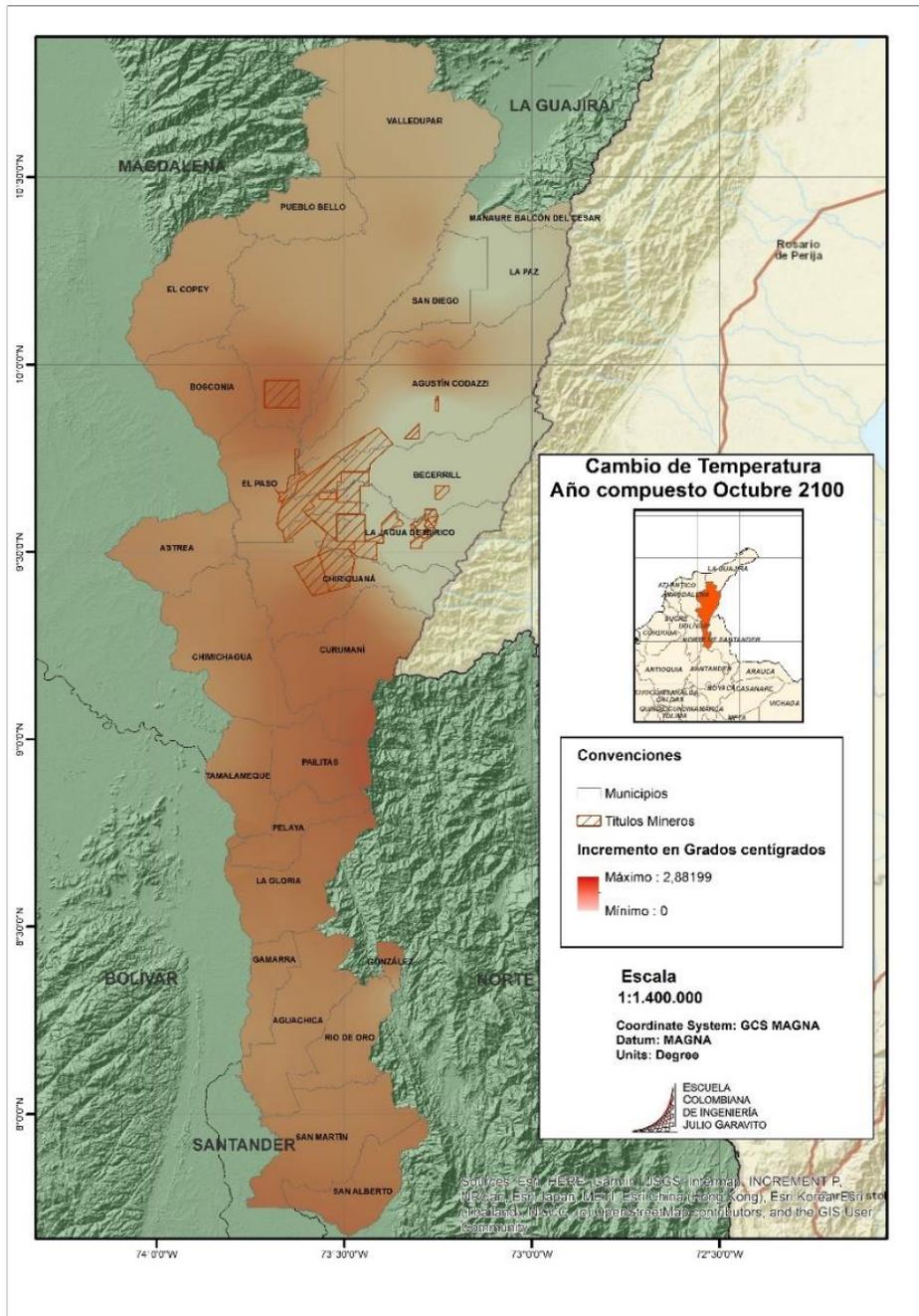
Fuente: Propia

Gráfica 87. Gráfico Cambio de temperatura marzo para 2100 año compuesto



Fuente: Propia

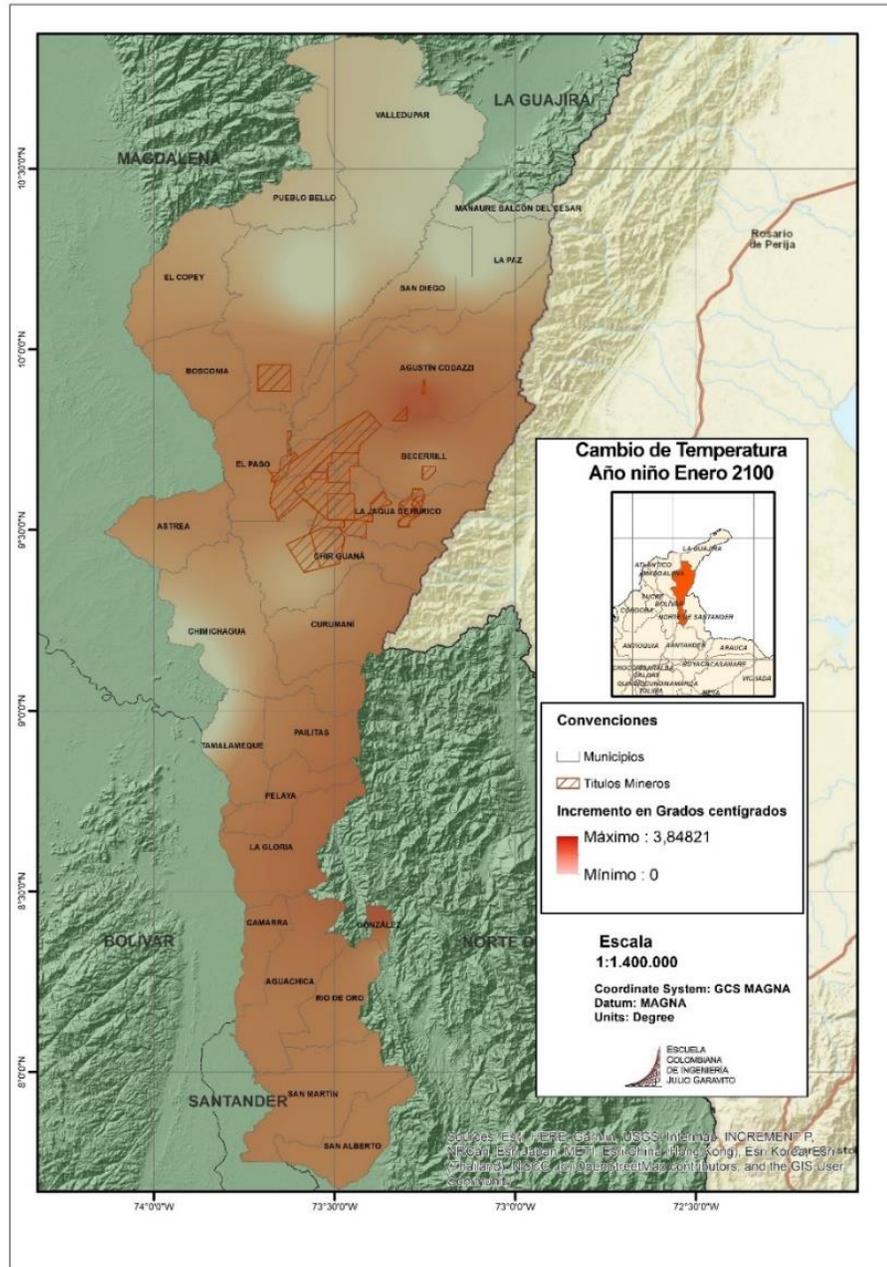
Gráfica 88. Gráfico Cambio de temperatura octubre para 2100 año compuesto



Fuente: Propia

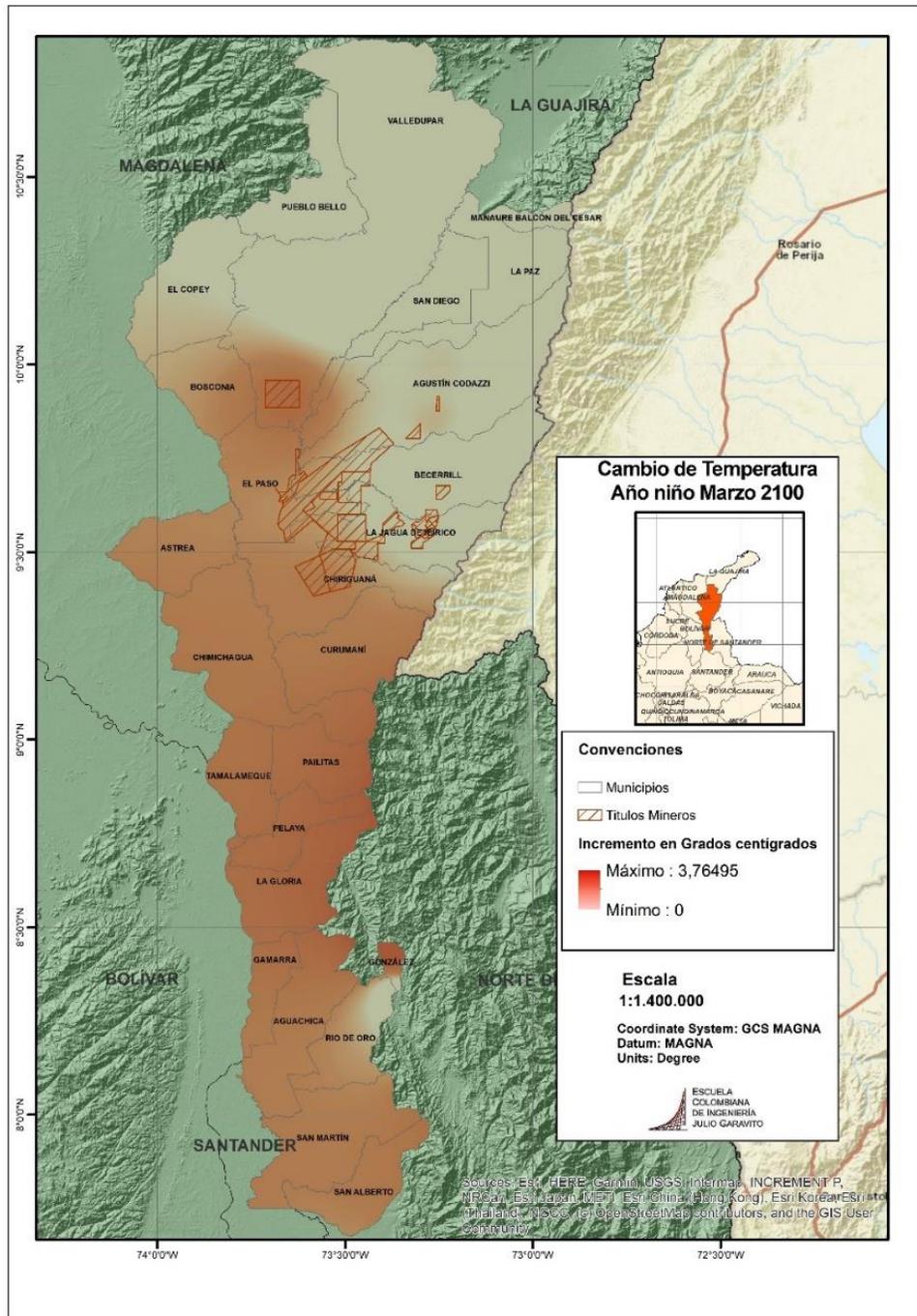
Año Niño

Gráfica 89. Gráfico Cambio de temperatura enero para 2100 año niño



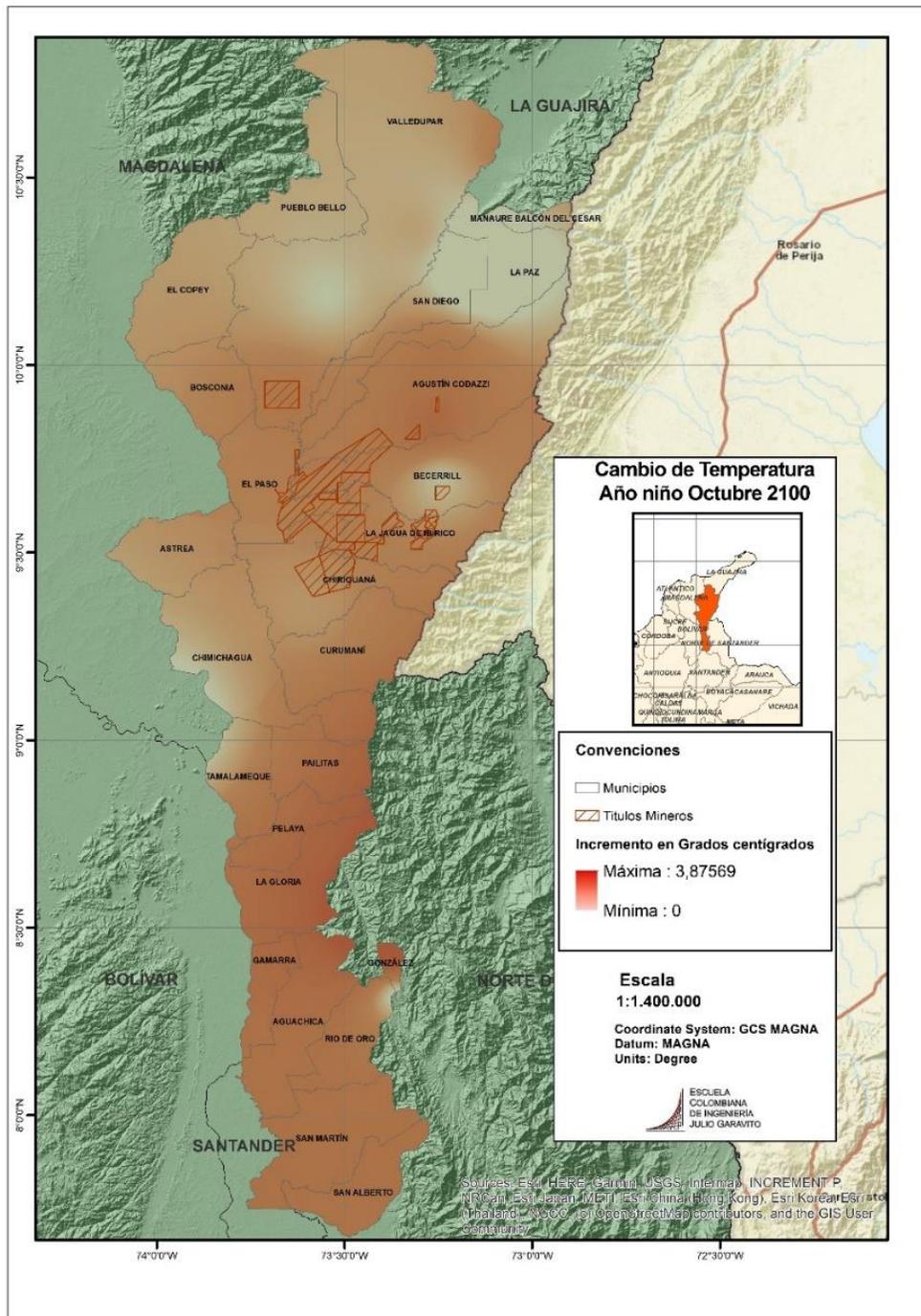
Fuente: Propia

Gráfica 90. Gráfico Cambio de temperatura marzo para 2100 año niño



Fuente: Propia

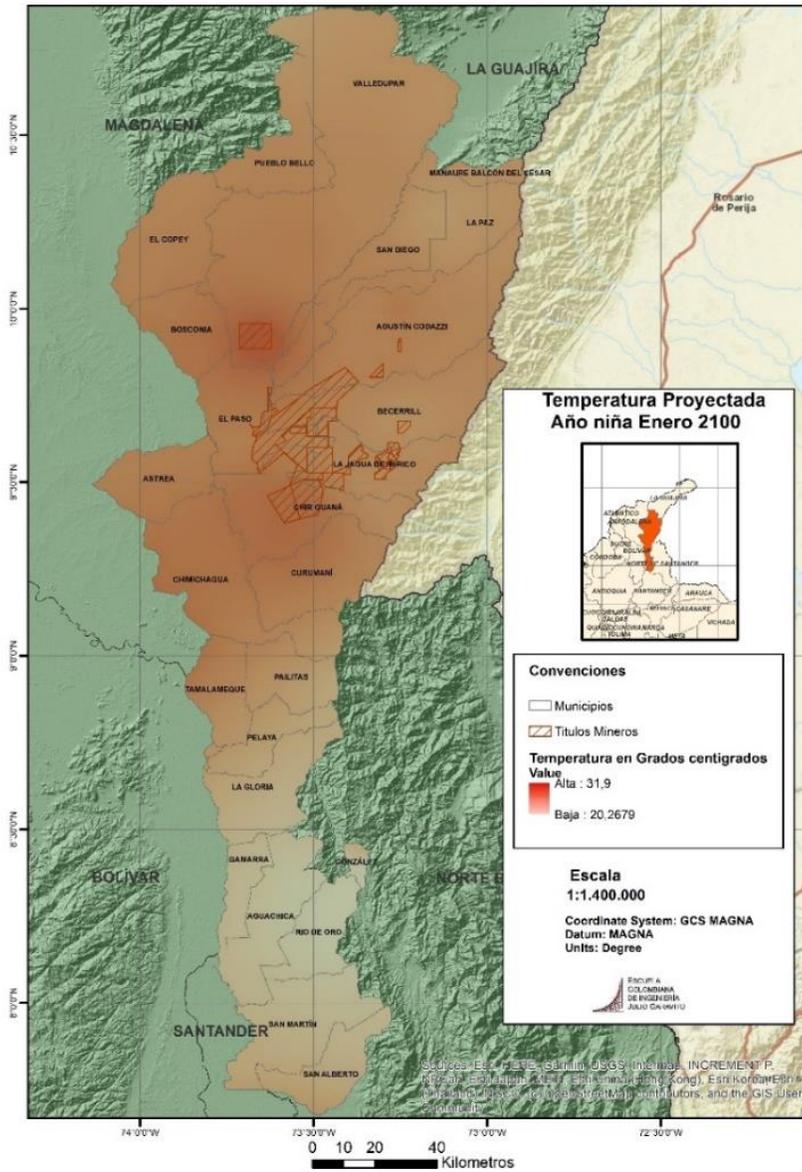
Gráfica 91. Gráfico Cambio de temperatura octubre para 2100 año niño



Fuente: Propia
Temperatura proyectada para año 2100 en diferentes escenarios

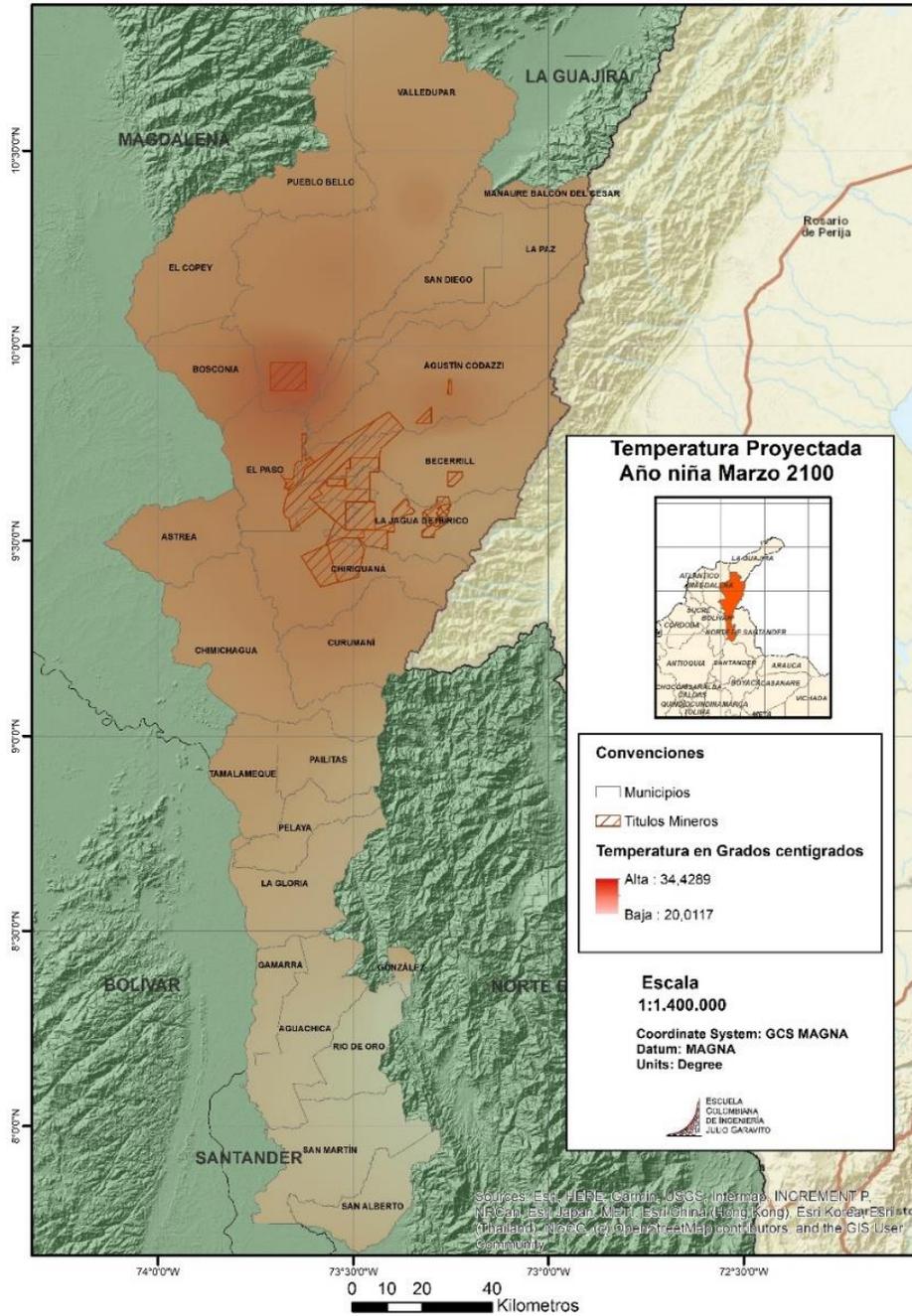
Año Niña

Gráfica 92. Gráfico de Temperatura proyectada enero para 2100 año niña



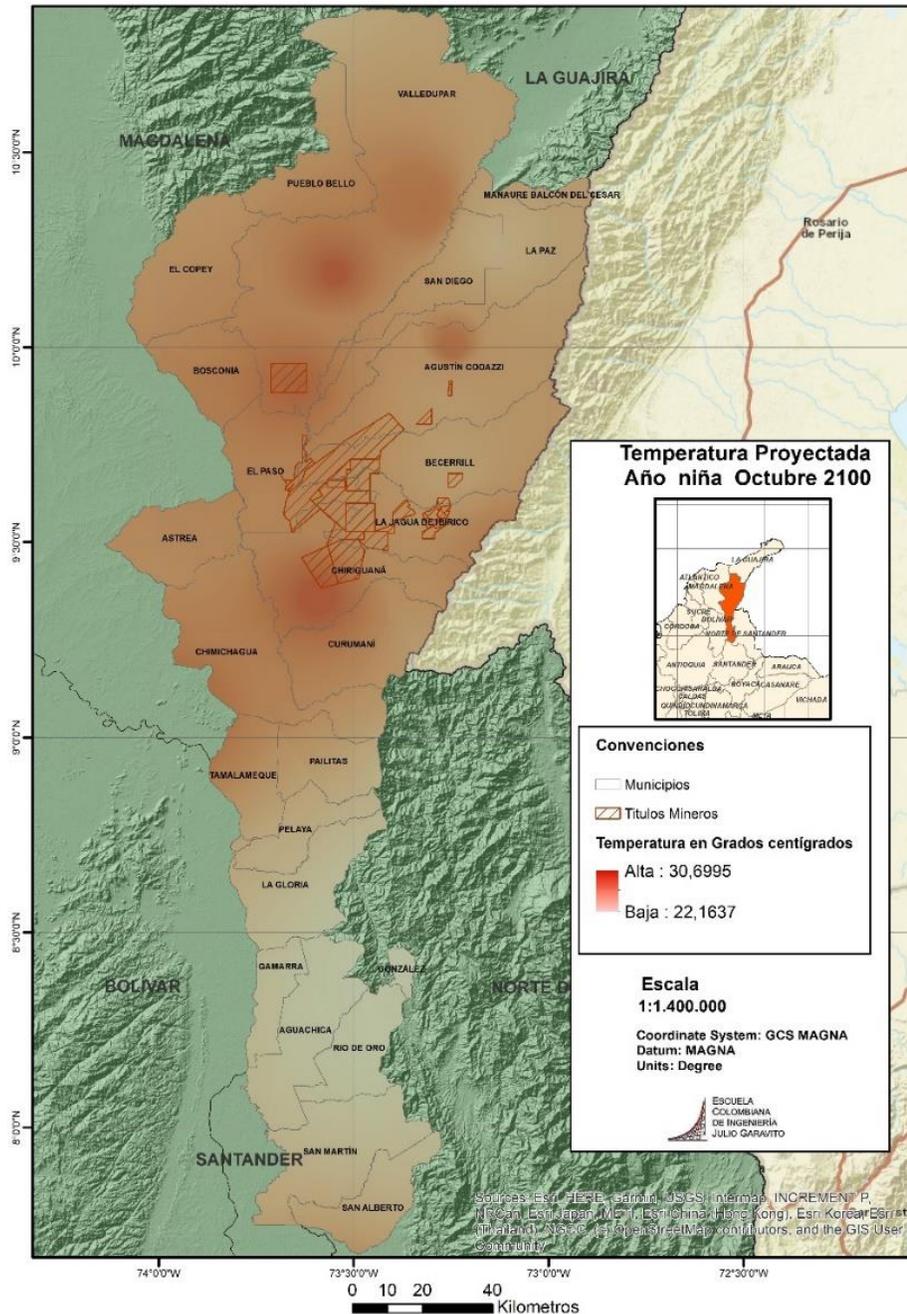
Fuente: Propia

Gráfica 93. Gráfico Temperatura proyectada marzo para 2100 año niña



Fuente: Propia

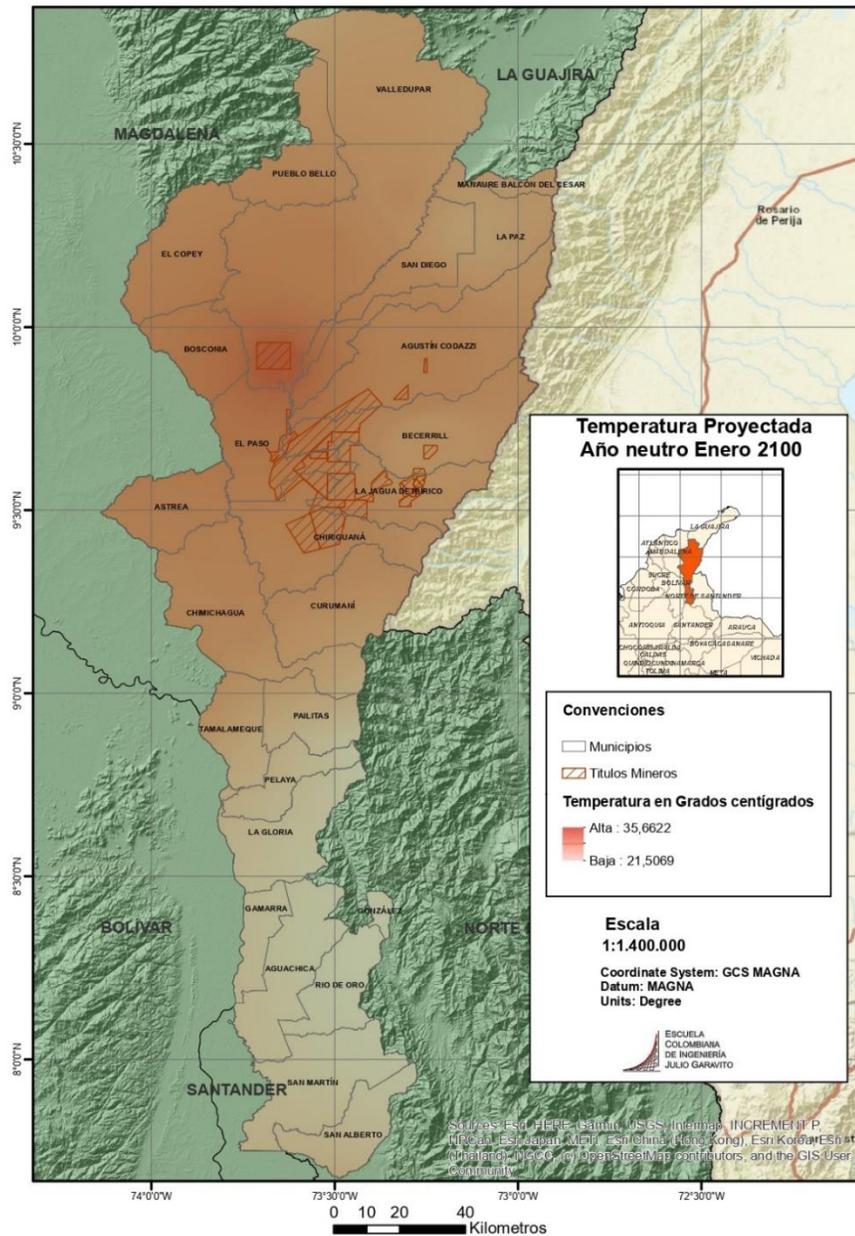
Gráfica 94. Gráfico Temperatura proyectada octubre para 2100 año niña



Fuente: Propia

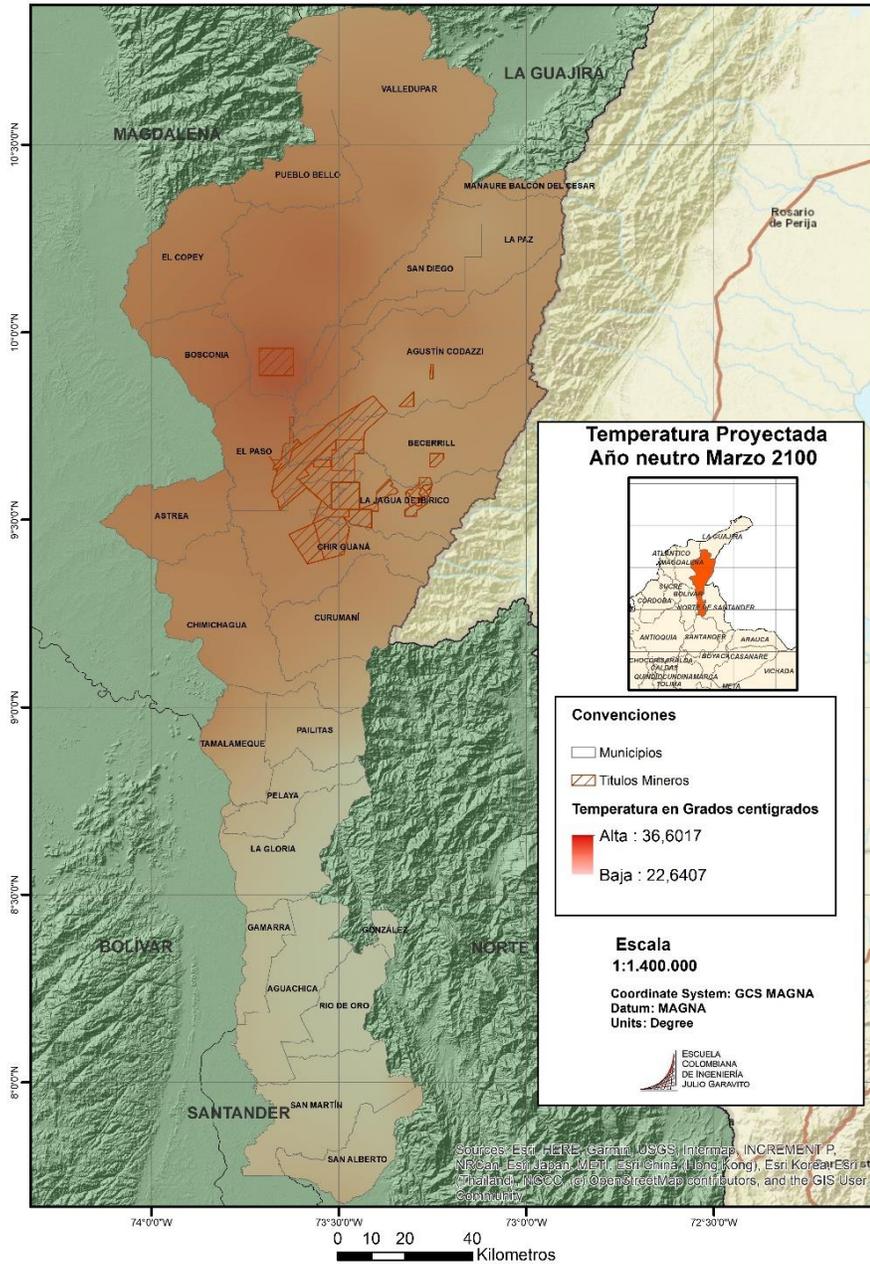
Año Neutro

Gráfica 95. Gráfico Temperatura proyectada enero para 2100 año neutro



Fuente: Propia

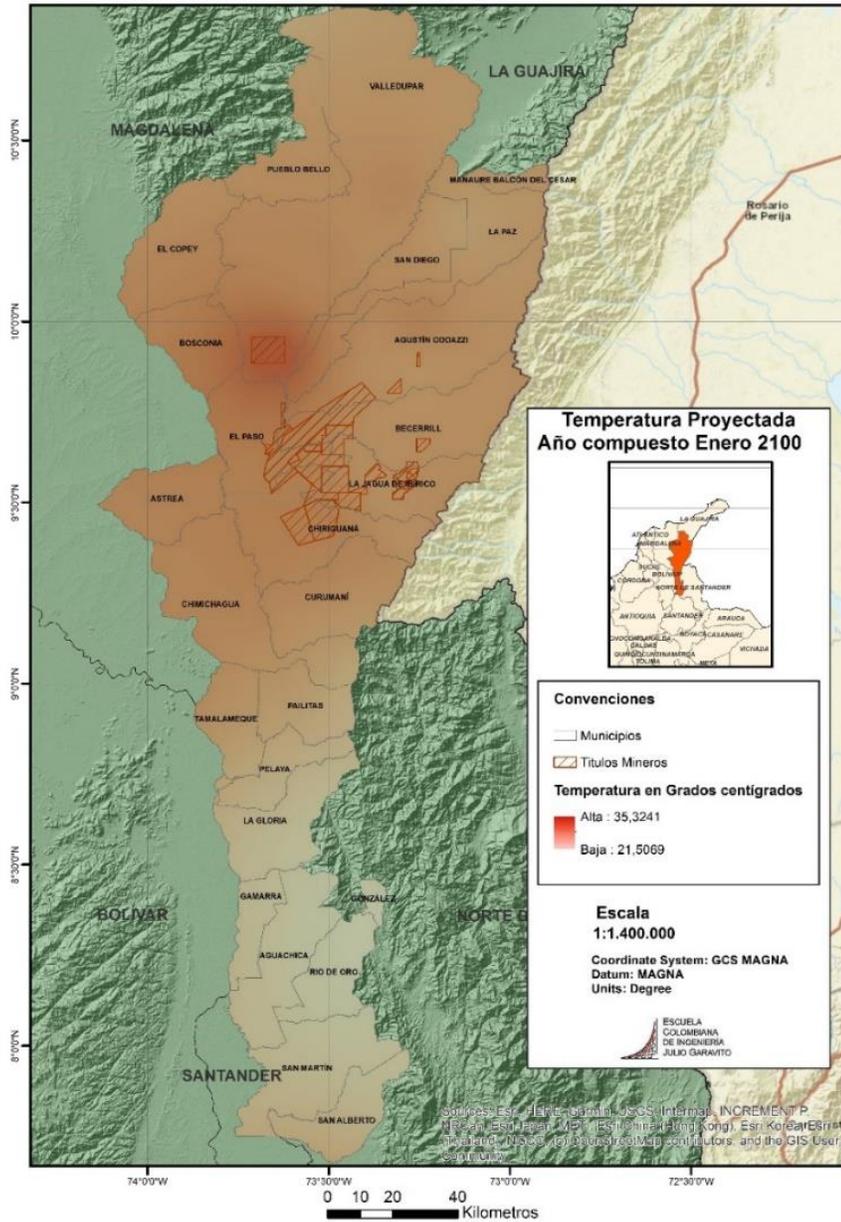
Gráfica 96. Gráfico Temperatura proyectada marzo para 2100 año neutro



Fuente: Propia

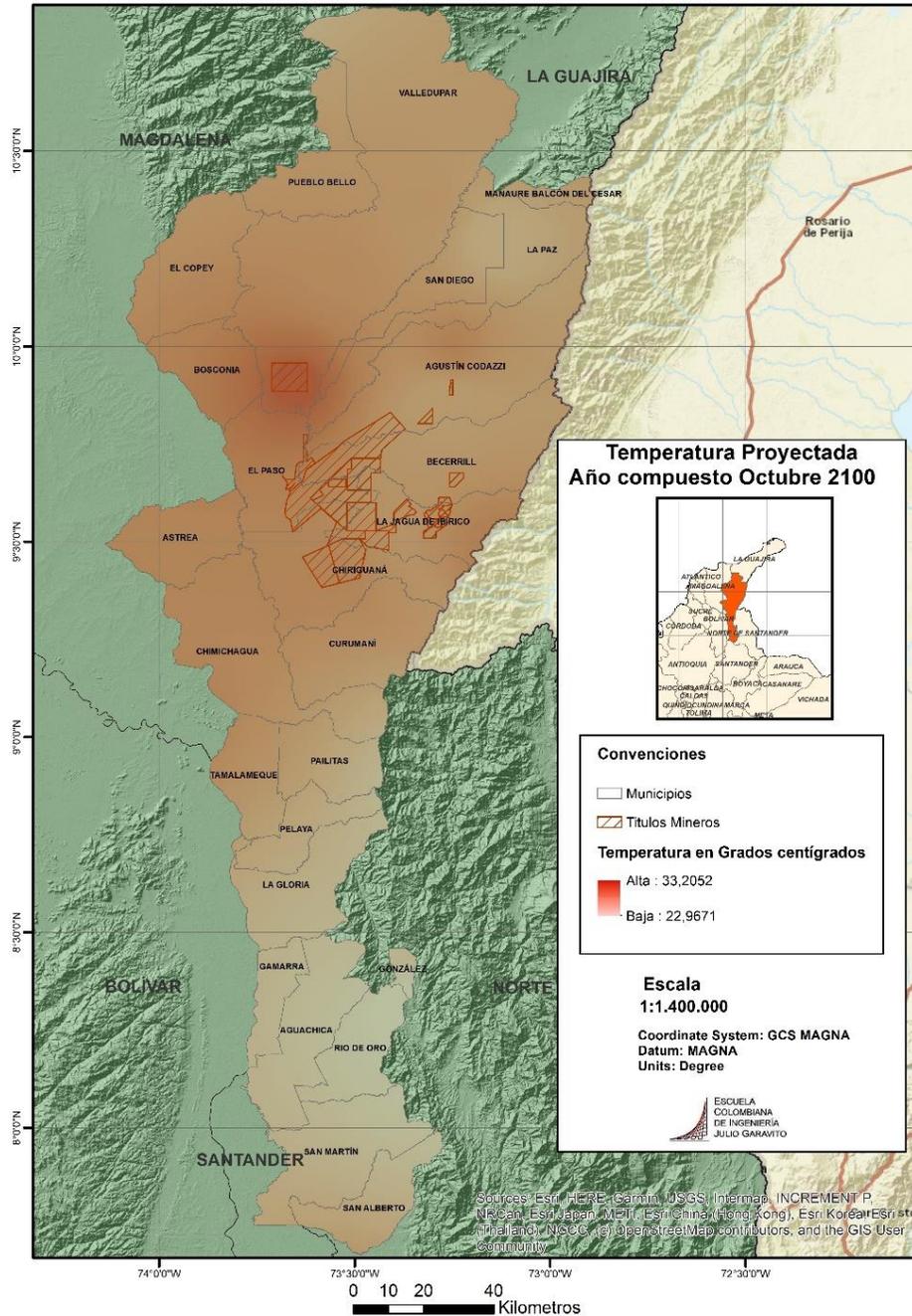
Año compuesto

Gráfica 98. Gráfico Temperatura proyectada enero para 2100 año compuesto



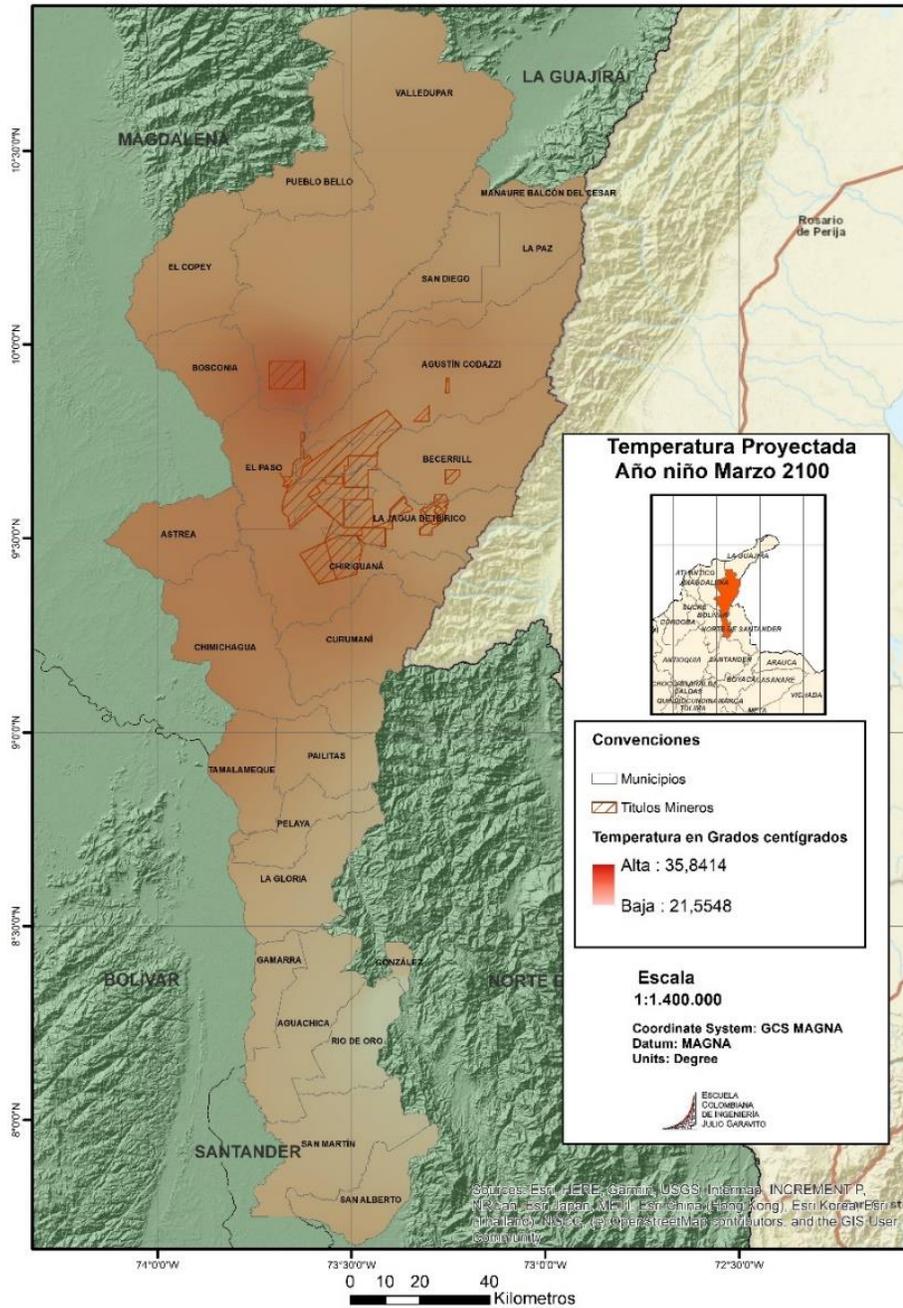
Fuente: Propia

Gráfica 100. Gráfico Temperatura proyectada octubre para 2100 año compuesto



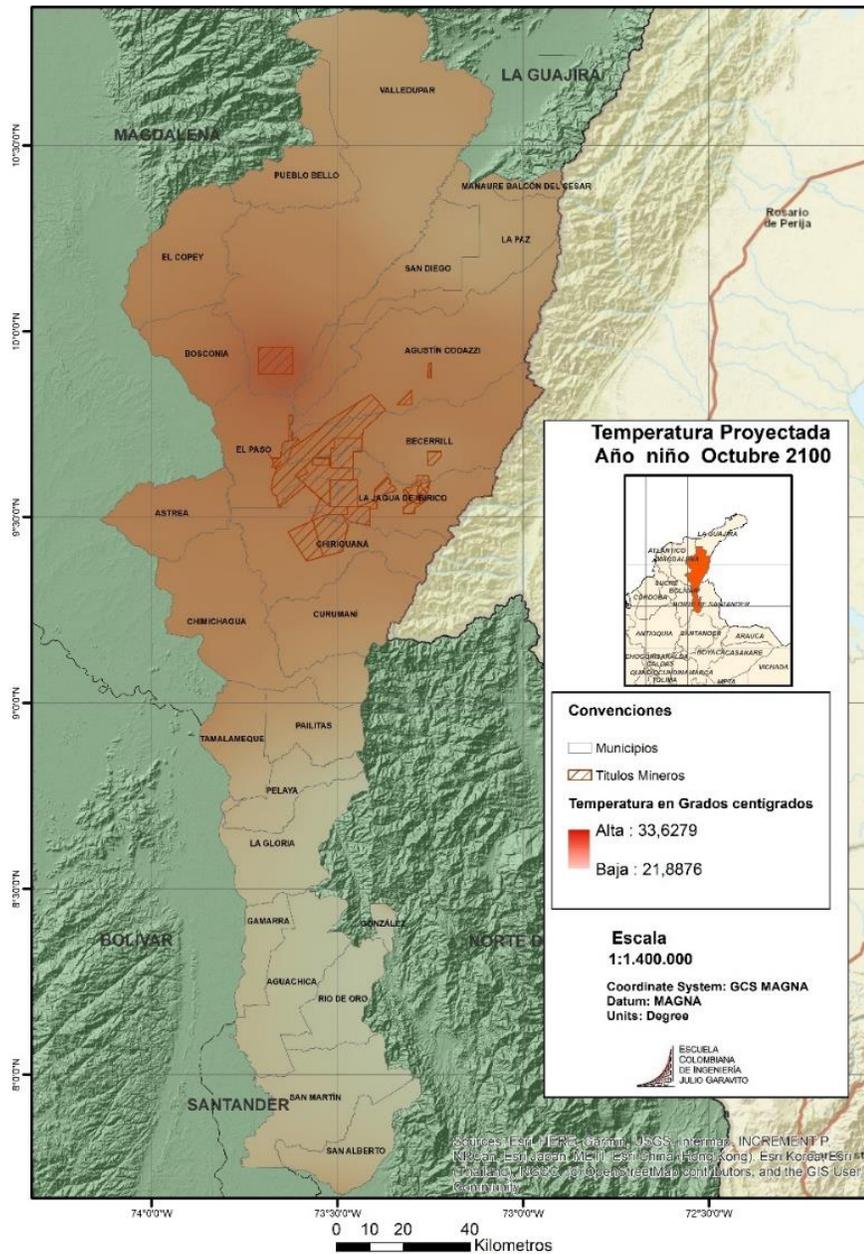
Fuente: Propia

Gráfica 102. Gráfico Temperatura proyectada marzo para 2100 año niño



Fuente: Propia

Gráfica 103. Gráfico Temperatura proyectada octubre para 2100 año niño



Fuente: Propia

10.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con relación al análisis efectuado se observó que, en términos generales, las zonas que presentaron mayor aumento de temperatura coinciden parcialmente con las zonas de explotación minera, lo cual es un factor relevante que permite determinar si el aumento de esta corresponde a fenómenos producidos por la explotación de carbón y de otro tipo de minerales.

Adicionalmente, es importante mencionar, en un alto porcentaje, las zonas aledañas a los títulos mineros de carbón son las regiones que presentan calentamiento crítico en la zona, y con la segmentación realizada entre los dos periodos analizados (1980-1999 y 2000-2016) se pueden encontrar que existen indicios que permiten suponer que se encuentra una relación entre los fenómenos de calentamiento zonal y la minería.

En caso de que esta proyección se cumpla, la región deberá enfrentarse a desafíos ambientales de gran importancia, incluyendo sequías y cambios en el uso del suelo, que adicionalmente impactarán directamente a la población, así como a los ecosistemas presentes en el área de estudio.

En cuanto a la simulación realizada sobre los años tipo niño, al igual que en el análisis realizado con los años neutros, se evidencia un aumento en la temperatura mayor en estos tipos de años que en años de tipo niña o compuesto.

Referente a los resultados en cuanto al aumento de temperatura en la zona norte del departamento, se pueden presentar dado que, los procesos exógenos, pueden ser determinantes en los cambios ambientales de una región. Es decir, la temperatura de esta zona del departamento puede verse afectada por procesos extractivos de regiones cercanas, un ejemplo específico es el departamento de La Guajira el cual es considerado como una fuente de alta explotación minera.

Entre los resultados se encuentra la correlación existente entre los datos obtenidos del modelo predictivo y los datos históricos con los que se realizaron proyecciones futuras hasta el año 2100.

Por último, es importante mencionar que, el modelo resulta ser una herramienta importante, que, de acuerdo con sus resultados, permite tomar decisiones importantes frente a la prevención del aumento de temperatura en la región y en el país, contribuyendo con el trabajo mundial que se está realizando para minorizar los impactos negativos a causa de esta problemática relacionada con el cambio climático. Un ejemplo claro, son los resultados obtenidos en cada simulación realizada, ya que se identificó que hay un aumento de la temperatura en la región, que podría terminar convirtiéndose en un fenómeno constante y evidente. Dichos resultados, son aportes que se podrán tener en cuenta como medidas de control a los procesos de extracción de minerales, mejorar los controles de operación y de emisión, teniendo en cuenta que los efectos ambientales pueden resultar irreversibles.

11. CONCLUSIONES

- Si bien no existe la total evidencia de que el aumento de la temperatura en el departamento del Cesar se deba principalmente a los procesos de minería relacionada con carbón, si existen algunos elementos que muestran una posible relación entre la minería y el cambio climático, ya que las zonas aledañas a los títulos mineros son las de mayor aumento en la temperatura, sin embargo no se puede afirmar que de manera concluyente que este fenómeno sea principalmente por consecuencia de la minería ya que existen fenómenos que pueden también contribuir al calentamiento zonal como el crecimiento demográfico, la producción industrial y la deforestación, entre otros.
- De acuerdo con los datos históricos utilizados para la generación de los modelos predictivos, se ha encontrado que la temperatura del departamento del Cesar muestra una tendencia hacia el aumento y que esta tendencia ha ido creciendo con el paso de los años.
- El aumento de la temperatura dentro del departamento del Cesar es un fenómeno que requiere atención y acción para la prevención y mitigación frente al cambio climático, así mismo, es un llamado de atención para establecer medidas de adaptación de manera que se logren disminuir los impactos negativos de tipo ambiental y social derivadas.
- Las tecnologías SIG, son herramientas fundamentales para la toma de decisiones de tipo ambiental, a partir de la asociación de datos históricos a datos geográficos. Sin embargo, para poder realizar análisis totalmente asertivos, es imperativo hacer una depuración de la información que permita tener datos de calidad, y así una visión más clara con referencia a la temática evaluada.
- Las carencias en cuanto a la construcción y disposición de información temática a nivel nacional no permiten la utilización efectiva de las tecnologías existentes para realizar modelos predictivos que permitan la toma de decisiones de tipo ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Luis Jaime. Producción colombiana de carbón baja a 82,2 millones de toneladas en 2019 [en línea] en REUTERS (4 de marzo de 2019). Disponible en:
<https://lta.reuters.com/articulo/colombia-mineria-idLTAKBN20R2UT>

AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL (EPA). Global Anthropogenic Emissions of Non-CO2 Greenhouse Gases: 1990–2020 [en línea]. EPA (2014). Disponible en:
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/2000ZL5G.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006+Thru+2010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C06thru10%5CTxt%5C00000000%5C2000ZL5G.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL>

------. Global Anthropogenic Emissions of Non-CO2 Greenhouse Gases (Emisiones Globales Antropogénicas de Gases de Efecto Invernadero Diferentes al CO2): 1990–2030 [en línea]. EPA (2014). <https://www.epa.gov/global-mitigation-non-co2-greenhouse-gases/global-non-co2-ghg-emissions-1990-2030>

AGENCIA NACIONAL MINERA (ANM). Hablando de minería en el Cesar [en línea]. ANM (17 de marzo de 2016). Disponible en:
[https://www.anm.gov.co/?q=hablando de minería en el cesar](https://www.anm.gov.co/?q=hablando+de+mineria+en+el+cesar)

------. Carbón: características generales [en línea]. ANM (2016). Disponible en:
<http://mineriaencolombia.anm.gov.co/images/Presentaciones/FICHA-MINERAL---CARBON-2018.pdf>

------. Explorando Oportunidades [en línea]. ANM. (2019). Disponible en:
http://mineriaencolombia.anm.gov.co/images/Presentaciones/cartilla_abril_2019.pdf

------. El Cesar produce el 64% del carbón del país [en línea]. ANM (23 de mayo 2019). Disponible en: <https://www.anm.gov.co/?q=el-cesar-produce-el-64-porciento-del-carbon-del-pais>

ARANGO, S., CUBILLOS, S. y MARTÍNEZ, G. Historia e Institucionalidad en la Minería Colombiana. [en línea]. ResearchGate. (2016). Disponible en:
https://www.researchgate.net/profile/Guillermo_Martinez_Medina/publication/305986954_HISTORIA_E_INSTITUCIONALIDAD_EN_LA_MINERIA_COLOMBIANA/links/57a877ba08ae0107eee49668/HISTORIA-E-INSTITUCIONALIDAD-EN-LA-MINERIA-COLOMBIANA.pdf

ARIAS, Jaime. (2015). Carbón y desarrollo en Colombia. ZERO Facultad de Finanzas, Gobierno y Relaciones Internacionales de la Universidad Externado de Colombia (13 de agosto de 2015). Disponible en: <https://zero.uexternado.edu.co/carbon-y-desarrollo-en-colombia/>

Ascencio, D., Lizarazo, R., Gómez, J y Bobadilla, A. El carbón de Colombia ¿Quién gana y quién pierde? Centro de Estudios para la justicia social (Tierra Digna) [en línea]. (2015). Disponible en: <https://tierradigna.org/pdfs/informe-carbon.pdf>

ÁVILA, Arturo. Diseño de un SIG para la ubicación óptima de una instalación minera [en línea]. Trabajo de grado Máster en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. España: Universidad de Oviedo, 2014. 52 p. Disponible en: https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/28185/TFM_Avila_DelCampo.pdf?sequence=3

BULLA-ORTEGA, Sandra Milena et al. La Actividad Carbonífera en Colombia: un análisis a partir de los instrumentos de ordenamiento territorial y planificación socioeconómica. En: Revista Opera [en línea]. Bogotá: Universidad Externado. junio de 2020, nro 26 2. Disponible en: https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/opera/article/view/6359/8871#content/contributor_referencia_1

BUZAI, Gustavo; BAXENDALE, Claudia. Análisis espacial con sistemas de información geográfica. Aportes de la geografía para la elaboración del diagnóstico en el ordenamiento territorial. Universidad Nacional de Luján. [en línea]. (2010). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/341297868_Analisis_espacial_con_Sistemas_de_Informacion_Geografica_Aportes_de_la_Geografia_para_la_elaboracion_del_diagnostico_en_el_Ordenamiento_Territorial

COSTA, C. La Adaptación al Cambio Climático en Colombia [en línea]. (2007). Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n26/n26a10.pdf>

CUESTA, M., JIMÉNEZ, M., RODRÍGUEZ, L., BALLESTEROS, D., MELÉNDEZ, M., MARTOS, E y GARCÍA, J Uso de la Geomorfología y el SIG para caracterizar el impacto de actividades mineras en zonas kársticas: el entorno de la cueva de Las Herrerías (Asturias, España) [en línea]. (2010). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/235978940_Uso_de_la_geomorfologia_y_el_SIG_para_caracterizar_el_impacto_de_actividades_mineras_en_zonas_karsticas_el_entorno_de_la_cueva_de_Las_Herrerias_Asturias_Espana

DEFENSORÍA DEL PUEBLO. La minería sin control: un enfoque desde la vulnerabilidad de los derechos humanos [en línea]. Defensoría del Pueblo. (2015). Disponible en: <https://www.defensoria.gov.co/public/pdf/InformedeMineria2016.pdf>

DELGADO, J. Propuesta metodológica para el desarrollo de SIG mineros en Colombia. Universidad de Manizales. [en línea]. (2011). Disponible en: revistasum.umanizales.edu.co > ojs > article > download

Forero, María Alejandra. La minería legal en Colombia como Fuente de Desarrollo Sostenible [en línea]. Artículo para optar al título de Abogada. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. (2017). Disponible en:

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14883/1/PROYECTO%20DE%20GRADO%20final.pdf>

Fundación Española para la Ciencia y Tecnología, Meteorología y Climatología [en línea].

FECTY. (2018). Disponible en: <https://cab.inta-csic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236.pdf>

Furest, M. (2016). Heliofanía o duración del brillo solar.

http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/le/cc_helio.htm

GAMARRA, J. La Economía del Cesar después del Algodón. [en línea]. Banco de la Republica. (2005). Disponible en: https://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-59.pdf

FAJARDO, Diana; et al. Concepto de temperatura y medición. [en línea]. (2018). Disponible en: https://www.academia.edu/37533046/CONCEPTO_DE_TEMPERATURA_Y_MEDICION%20Y%20MEDICION%20DE%20TEMPERATURA

GONZÁLEZ, Karen, PEDRAZA, Yolein. Sistema de información geográfica de lugares de explotación minera a cielo abierto cercanos a la ciudad de Tunja, Boyacá. [en línea]. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Bogotá: Universidad Santo Tomás. (2020).

Disponible en:

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30346/2020karengonzalez.pdf?sequence=1&isAllowed=y8>

GREEN PEACE. El lado oscuro del carbón. GreenPeace. [en línea]. (2018).

<https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/09/GP-El-lado-oscuro-del-carbono%20CC%28%20LR.pdf>

HABIB, S. Gran Minería: Colombia no sería la misma sin su carbón. Revista Semana. [en línea]. (2017). <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/carbon-la-base-de-todo-/articulo/la-importancia-del-carbon-en-colombia/535801>

HURTADO, E. Departamento del Cesar. Universidad del Rosario. [en línea]. (2015).

<https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/8681/1020763251-18.pdf?sequence=18>

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES.

IDEAM. [en línea]. (2010). Análisis de las Tendencias del Nivel del Mar a Nivel Local y su Relación con las Tendencias Mostradas por los Modelos Internacionales.

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/23877/TENDENCIAS+DEL+NIVEL+DEL+MAR.pdf/2fc812e5-d4e4-4628-ac61-a5b34aa500f1>

-----. IDEAM. [en línea]. (2011). Análisis del impacto del fenómeno La Niña 2010-2011 en la hidro climatología del país.

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418818/An%C3%A1lisis+Impacto+La+Ni%C3%B1a.pdf/640a4a18-4a2a-4a25-b7d5-b3768e0a768a>

-----; Universidad Nacional de Colombia. IDEAM [en línea]. (2018). La Variabilidad Climática y el Cambio Climático en Colombia).
<http://www.andi.com.co/Uploads/variabilidad.pdf>

INZUNZA, J. Humedad en la atmósfera. [en línea]. (2015).
http://nimbus.com.uy/weather/Cursos/Curso_2006/Textos%20complementarios/Meteorologia%20descriptiva_Inzunza/cap5_Inzunza_Humedad.pdf

MINISTERIO DE AMBIENTE Y GOBERNACIÓN DEL CESAR. Plan estratégico de gestión de cambio climático territorial del Cesar 2032. [en línea]. (2016).
<https://www.corpocesar.gov.co/files/PIGCCT%20CESAR%202032.pdf>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Política minera de Colombia. MinMinas [en línea] (18 de abril de 2016).
<https://www.minminas.gov.co/documents/10180/698204/Pol%C3%ADtica+Minera+de+Colombia+final.pdf/c7b3fcad-76da-41ca-8b11-2b82c0671320>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. La cadena del carbón en Colombia. MinMinas [en línea]. (2015). Disponible en: https://www.upme.gov.co/Docs/Cadena_carbon.pdf

MONTEALEGRE, J. Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [en línea]. (2007). Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Modelo+Institucional+El+Ni%C3%B1o++La+Ni%C3%B1a.pdf/232c8740-c6ee-4a73-a8f7-17e49c5edda0>

MONTOYA, E. La extracción de carbón en el centro del Cesar, Colombia: apuntes para la comprensión del conflicto ambiental. Universidad Nacional de Colombia [en línea]. (2018). Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/download/77836/69684>

MOREA, M., RODRÍGUEZ, J. Sistemas de información geográfica [en línea]. (2017). administracionelectronica.gob.es > dam > Ponencia_130

NORIEGA, R, FERNÁNDEZ, J. Utilidad de las herramientas SIG en la modelización hidrogeológica de minas subterráneas [en línea].
https://www.researchgate.net/publication/281646654_Utilidad_de_las_herramientas_SIG_en_la_modelizacion_hidrogeologica_de_minas_subterranas_Utility_of_GIS_tools_in_hydrogeological_modelling_of_underground_mines

OLAYA, V. Sistemas de información geográfica [en línea]. (2014).
http://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf

Pabón, J., Montealegre J. Los fenómenos del El Niño y de La Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Colección Jorge Álvarez Lleras. <https://accefyn-dspace.metabiblioteca.org/jspui/bitstream/001/113/1/Fenomeno%20del%20ni%C3%B1o%20y%20la%20ni%C3%B1a%20WEB.pdf>

PERDOMO, J., PÉREZ, A y MENDIETA, J. Estimación de la senda óptima de extracción para un recurso natural no renovable: caso de estudio para la actividad carbonífera a cielo abierto en el centro del departamento del Cesar, Colombia. [en línea]. Disponible en: https://economia.uniandes.edu.co/components/com_booklibrary/ebooks/dcede2010-09.pdf

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS. Cesar: análisis de conflictividad. PNUD [en línea]. (2015). https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:VCZcpMskO-oJ:https://www.undp.org/content/dam/undp/documents/projects/COL/00058220_Analisis%2520Cesar%2520Definitivo%2520PDF.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co

RAMÍREZ, P. Elementos de cartografía matemática y su aplicación en la elaboración de las cartas geográficas [en línea]. (2011). Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4517/451744670001.pdf>

RODRÍGUEZ, R. Calcular cotas en topografía [en línea]. (2017). <https://www.certalia.com/blog/calcular-cotas-en-topografia>

SÁENZ, N. Los sistemas de información geográfica (SIG) una herramienta poderosa para la toma de decisiones [en línea]. (2015). <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902930.pdf>

SALAZAR, E. Cálculo de la humedad relativa del ambiente. [en línea]. (2011). https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibVirtualData/publicaciones/rbaw/n4_1996/a12.pdf

SARRIA, F. A. SIG aplicados al análisis y cartografía de riesgos climáticos. España: Universidad de Murcia [en línea]. (2004). Disponible en: https://www.um.es/geograf/sigmur/cursos/SIG_clima.pdf

UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO; PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO COLOMBIA; NACIONES UNIDAS; GOBERNACIÓN DEL CESAR. Plan departamental de gestión del riesgo. UNGRD, PNUD [en línea] (2015). <http://cesar.gov.co/d/index.php/es/menvertpolpla/menvertpdgr>

VALORA ANALITIK. Producción de carbón de Colombia bajó en 2019; la de oro subió [en línea]. (04 de marzo de 2020). <https://www.valoraanalitik.com/2020/03/04/produccion-de-carbon-de-colombia-bajo-en-2019-la-de-oro-subio/>

ANEXOS

Estaciones climatológicas (Estaciones.zip)
Modelo de predicción de cambio climático (Modelo_cambio_climatico.tbx)
Datos climatológicos suministrados IDEAM (Datos_Crudos)
Información de brillo solar históricos ajustados y futuros proyectados (Brillo.xls)
Información de humedad históricos ajustados y futuros proyectados (Humedad.xls)
Información de rocío históricos ajustados y futuros proyectados (Rocio.xls)
Datos históricos de temperatura ajustados (Completo.xls)
Correlaciones lineales múltiples (Factores.xls)
Factores de predicción de temperatura (Factores.zip)
Proyecciones climáticas de variables de estudio (Proyecciones_Climatologicas.zip)
Temperatura histórica compilada (Temperatura_Historica.zip)
Clasificación tipo año (ONI.xls)
Longitud de serie y correlación lineal simple datos de temperatura (temperatura.xlsm)
Correlación lineal simple datos de brillo (brillo.xlsm)
Correlación lineal simple datos de humedad (humedad.xlsm)
Correlación lineal simple datos de rocío (rocío.xlsm)

Apéndice. Derecho de Petición. Solicitud de datos realizada ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

Bogotá 01/06/2020

Señores

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM

Calle 25 D No. 96 B – 70

Correo Electronico: atencionalciudadano@ideam.gov.co

La ciudad

Referencia: Derecho de petición solicitud de información

Juan Carlos Melo Luna, ciudadano colombiano, identificado con cédula de ciudadanía número 1.022.343.061 de Bogotá, obrando en nombre propio, obrando en nombre propio en ejercicio del Derecho de Petición consagrado en el artículo 23 de la Constitución Política de Colombia y en la Ley 1755 de 2015, sustento mi petición de acuerdo con los siguientes:

Hechos

1. Actualmente me encuentro realizando mi tesis de maestría en ingeniería civil con énfasis en medio ambiente cuya temática está enfocada en la Evaluación del cambio producido en la temperatura zonal del Departamento del Cesar debido a la explotación extensiva de minerales a cielo abierto.
2. Para el desarrollo del proyecto se requiere información relacionada con brillo solar, radiación solar, temperatura, evaporación, humedad relativa y tensión de vapor de esta zona.
3. El IDEAM es una institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental que genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilita la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general.
4. Dentro de sus funciones se encuentra:
 - 4.1. Realizar el levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país.
 - 4.2. 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.

- 4.3. 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.
- 4.4. 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.
- 4.5. Prestar el servicio de información en las áreas de su competencia a los usuarios que la requieran.
5. Intenté descargar la información mediante la plataforma del IDEAM (<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>), sin embargo, los datos no se encuentran disponibles. Es importante recalcar que, aunque la información es de libre acceso a partir de Geoportal del IDEAM, solo se encuentran disponibles los datos mínimos y máximos, más no se encuentran los datos medios con opción de descarga.
6. Por lo anterior, radiqué la solicitud No. 20209050038852 el día 11 de mayo en la que realicé la siguiente petición: *"Información media mensual de las estaciones del archivo adjunto con el fin de ser utilizada para temas académicos"*
7. La entidad mediante el radicado 20209050038852 del 18 de mayo dio respuesta a la solicitud con radicado No. 20209050038852, pero únicamente adjuntan la información de la temperatura y el brillo solar. De igual manera, sobre el total de estaciones solicitadas (58) solo adjuntaron información de 8.
8. Previamente el día 30 de abril había realizado una solicitud con radicado No. 20209050038312 en la que realice la siguiente petición:
- "(...) Le escribo el presente con el fin de solicitar su amable colaboración en cuanto a la gestión para el suministro de información climatológica del departamento del Cesar y sus alrededores (archivo adjunto).*
- De acuerdo con esto se requiere la información histórica existente (1950-2019) correspondiente a brillo solar, radiación solar, temperatura, evaporación, humedad relativa, tensión de vapor (valores medios mensuales), con el fin de ser utilizada para el desarrollo de mi tesis de maestría.*
- Es importante mencionar que se intentó descargar la información mediante la plataforma del IDEAM (<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>), sin embargo los datos no se encuentran disponibles, de igual manera se realizó la solicitud por el módulo de servicio a ciudadano con radicado No. 20209050038852 (...)"*
9. La entidad mediante el correo del 12 de mayo dio respuesta a la solicitud con radicado No. 20209050038312 del 30 de abril en la que amablemente adjuntan la información, sin embargo, esta información no se encuentra en un formato compatible con Excel.

Pretensiones

Por los motivos expuestos con anterioridad, en ejercicio de derecho de petición, solicito la siguiente información climatológica histórica del departamento del Cesar y sus alrededores:

1. Brillo solar en el departamento del Cesar y sus alrededores en el periodo de tiempo que va del año 1950 hasta el año 2019 en un formato compatible con excel o que permita su manejo como base de datos.
2. Radiación solar en el departamento del Cesar y sus alrededores en el periodo de tiempo que va del año 1950 hasta el año 2019 en un formato compatible con excel o que permita su manejo como base de datos.
3. Temperatura en el departamento del Cesar y sus alrededores en el periodo de tiempo que va del año 1950 hasta el año 2019 en un formato compatible con excel o que permita su manejo como base de datos.
4. Evaporación en el departamento del Cesar y sus alrededores en el periodo de tiempo que va del año 1950 hasta el año 2019 en un formato compatible con excel o que permita su manejo como base de datos.
5. Humedad relativa en el departamento del Cesar y sus alrededores en el periodo de tiempo que va del año 1950 hasta el año 2019 en un formato compatible con excel o que permita su manejo como base de datos.
6. Tensión de vapor en el departamento del Cesar y sus alrededores en el periodo de tiempo que va del año 1950 hasta el año 2019 en un formato compatible con excel o que permita su manejo como base de datos.
7. En caso de que exista un procedimiento especial o un costo asociado a la solicitud solicito que se me indique.
8. En caso de que no sea posible la entrega de la información indicar las razones de hecho y derecho.

Dichos datos solicitados se requieren con valores **medios mensuales**.

Para dar más claridad a mi requerimiento, adjunto el archivo con el fin de dar conocimiento concreto a la información requerida.

Fundamentos de derecho

La Ley 1712 de 2014 - Por medio de la cual se crea la Ley de Transparencia y del Derecho de Acceso a la Información Pública Nacional y se dictan otras disposiciones establece entre otros:

"(...) Art. 2 Principio de máxima publicidad para titular universal. Toda información en posesión, bajo control o custodia de un sujeto obligado es pública y no podrá ser reservada o limitada sino por disposición constitucional o legal, de conformidad con la presente ley.

(...) Principio de transparencia. Principio conforme al cual toda la información en poder de los sujetos obligados definidos en esta ley se presume pública, en consecuencia de lo cual dichos sujetos están en el deber de proporcionar y facilitar el acceso a la misma en los términos más amplios posibles y a través de los medios y procedimientos que al efecto establezca la ley, excluyendo solo aquello que esté sujeto a las excepciones constitucionales y legales y bajo el cumplimiento de los requisitos establecidos en esta ley.

(...) Principio de la calidad de la información. Toda la información de interés público que sea producida, gestionada y difundida por el sujeto obligado, deberá ser oportuna, objetiva, veraz, completa, reutilizable, procesable y estar disponible en formatos accesibles para los solicitantes e interesados en ella, teniendo en cuenta los procedimientos de gestión documental de la respectiva entidad.

(...) Artículo 4. Concepto del derecho. En ejercicio del derecho fundamental de acceso a la información, toda persona puede conocer sobre la existencia y acceder a la información pública en posesión o bajo control de los sujetos obligados. El acceso a la información solamente podrá ser restringido excepcionalmente. Las excepciones serán limitadas y proporcionales, deberán estar contempladas en la ley o en la Constitución y ser acordes con los principios de una sociedad democrática

El derecho de acceso a la información genera la obligación correlativa de divulgar proactivamente la información pública y responder de buena fe, de manera adecuada, veraz, oportuna y accesible a las solicitudes de acceso, lo que a su vez conlleva la obligación de producir o capturar la información pública. Para cumplir lo anterior los sujetos obligados deberán implementar procedimientos archivísticos que garanticen la disponibilidad en el tiempo de documentos electrónicos auténticos (...)"

Anexos

1. Base de datos relacionando la información requerida.

Notificaciones

Solicito ser notificado a la dirección cra 72b # 5b-80 apt. 211. Autorizo se remita la información al correo electrónico: civil.melo@gmail.com Cel. 3163348924

Respetuosamente,

Juan Carlos Melo Luna

