

# 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 COMPOENEN 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 MMTCO<sub>2</sub>E (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).

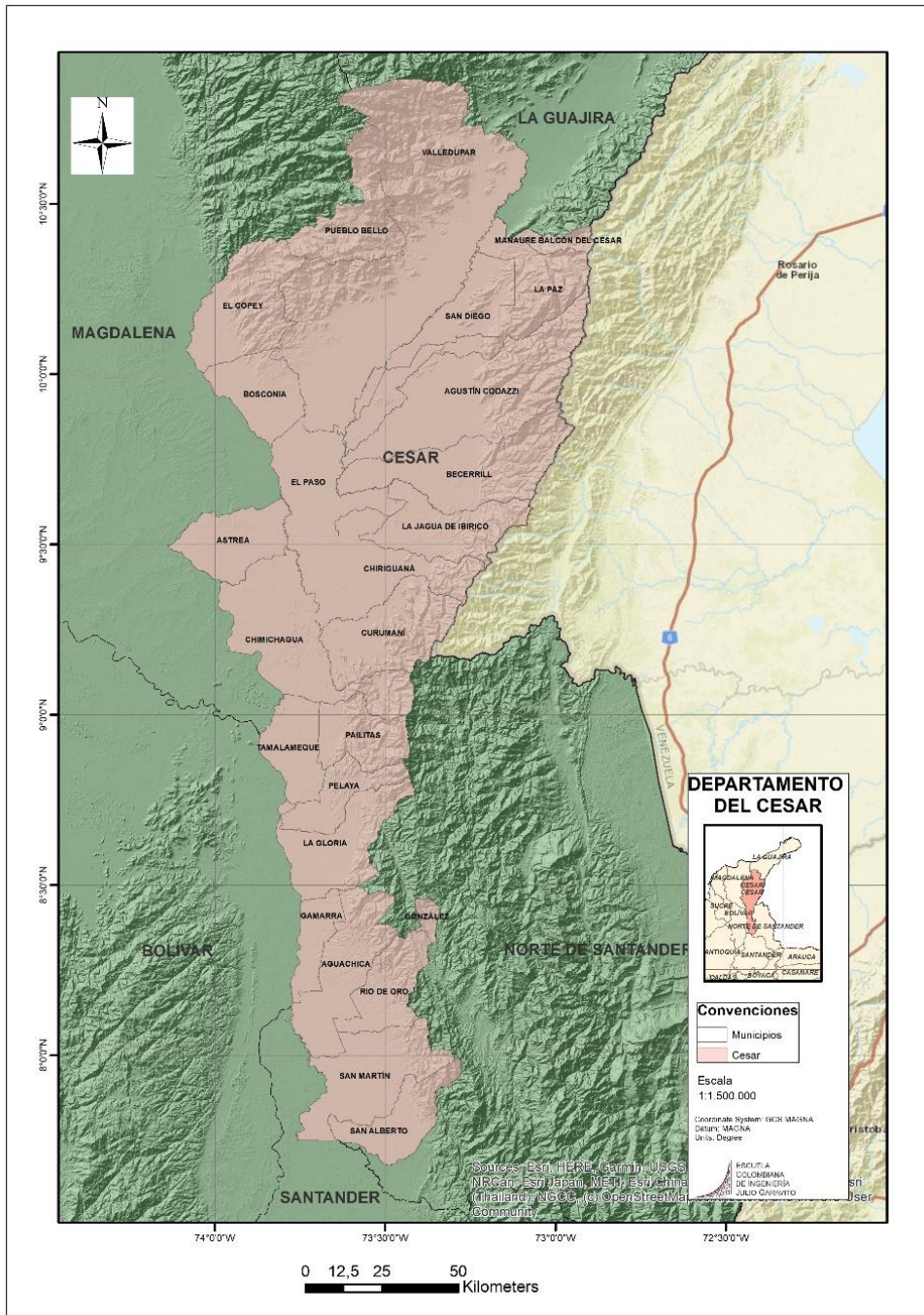
A través de la ley 685 del 2001 se produce un cambio sustantivo en el sector, donde el Estado Colombiano reguló y ejerció mecanismos de control de esta economía, generando un escenario muy atractivo para capitales extranjeros con bajas tasas en los impuestos y con nuevos yacimientos para ser explotados, 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 km<sup>2</sup>, 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

<b>Subregión</b>	<b>Municipios</b>
<b>Norte</b>	Valledupar (capital), Becerril, Agustín Codazzi, La Paz, Manaure, Pueblo Bello, San Diego, Valledupar.
<b>Noroccidental</b>	Astrea, Bosconia, El Copey y El Paso.
<b>Central</b>	Chimichagua, Chiriguaná, Curumaní, La Jagua de Ibérico, Pailitas y Tamalameque.
<b>Sur</b>	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 aldonera 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
<b>DRUMMOND</b>	DRUMMOND	La Loma	5.740	8.30	32.16
<b>C.I. PRODECO S.A.</b>	GLENCORE	Calenturitas	6.667	9.65	25.70
<b>DRUMMOND LTD.</b>	DRUMMOND	Proyecto Integrado El Descanso (Similoa, Rincón, Hondo y Cerrolargo Centro)	42.800	61.86	18.40
<b>Consorcio Minero Unido S.A.</b>	GLENCORE	Yerbabuena	438.5	0.63	9.20
<b>EMCARBON S.A.</b>	Colombian Natural Resources	El Hatillo	9.638	13.93	6.59
<b>Carbones de la Jagua</b>	GLENCORE	La Jagua	1.869	2.70	6.15
<b>Compañía Carbones del Cesar</b>	Colombian Natural Resources	La Francia	1.000	1.45	0.87
<b>NORCARBON S.S Área la Divisa</b>	Pacific Coal Resources LTD	Cerrolargo Norte	487	0.70	0.67
<b>Carbones del Tesoro S.A.</b>	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 ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$ ), 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. ANTECEDES 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

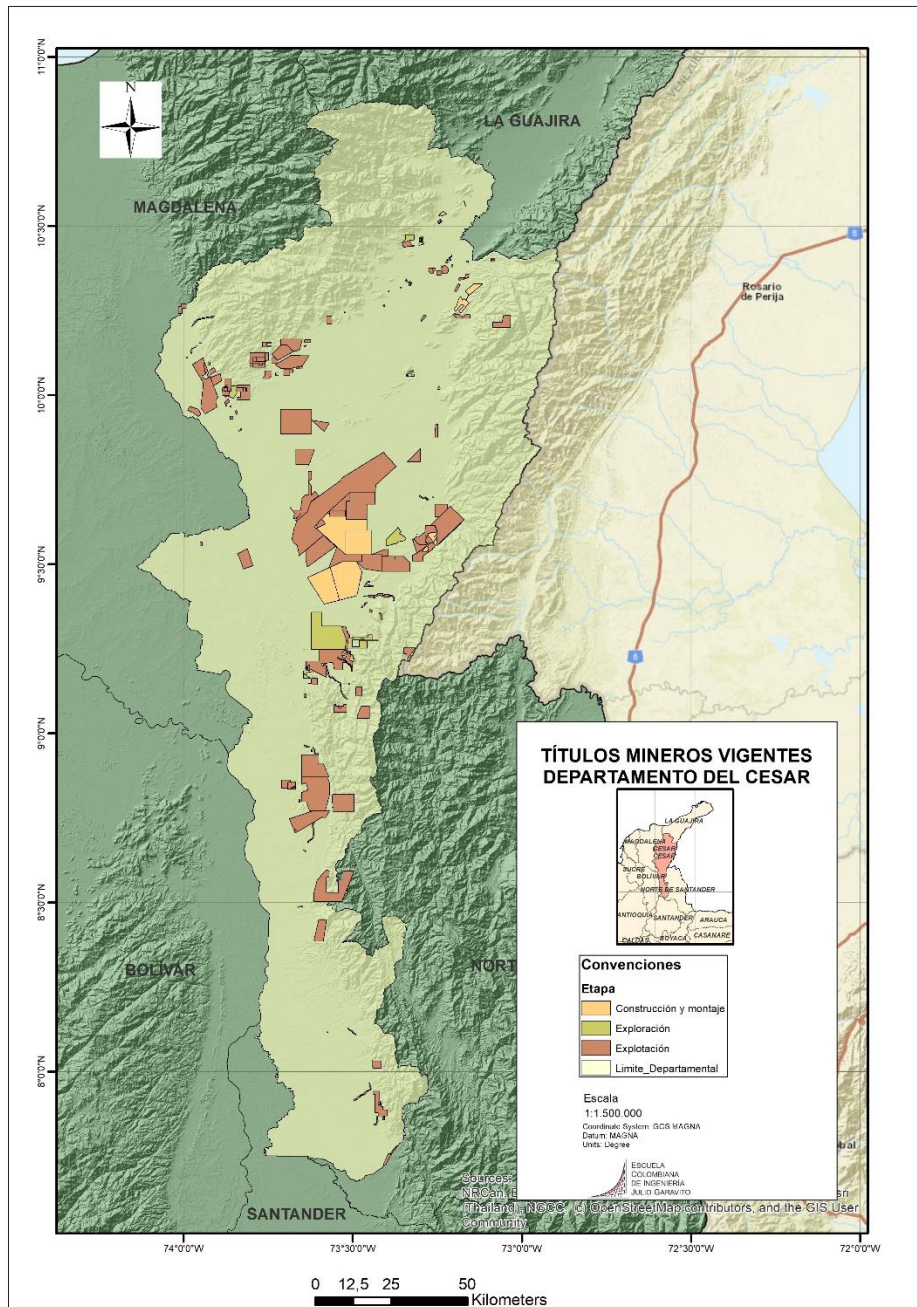
*Nota.* Este gráfico representa la metodología empleada en este estudio.

## 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  $22.925 \text{ km}^2$  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).



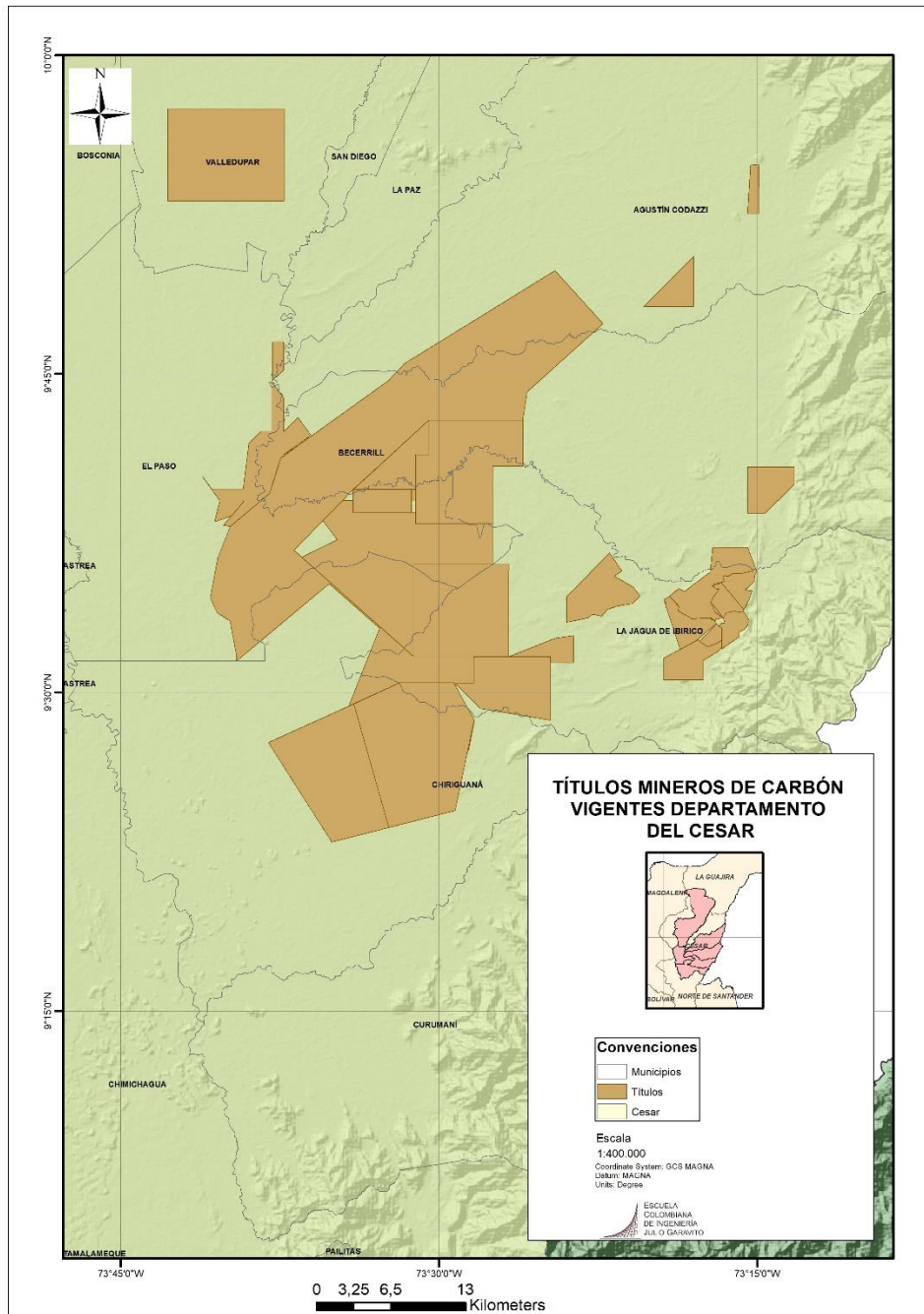
Gráfica 3. Títulos mineros vigentes departamento del Cesar



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.

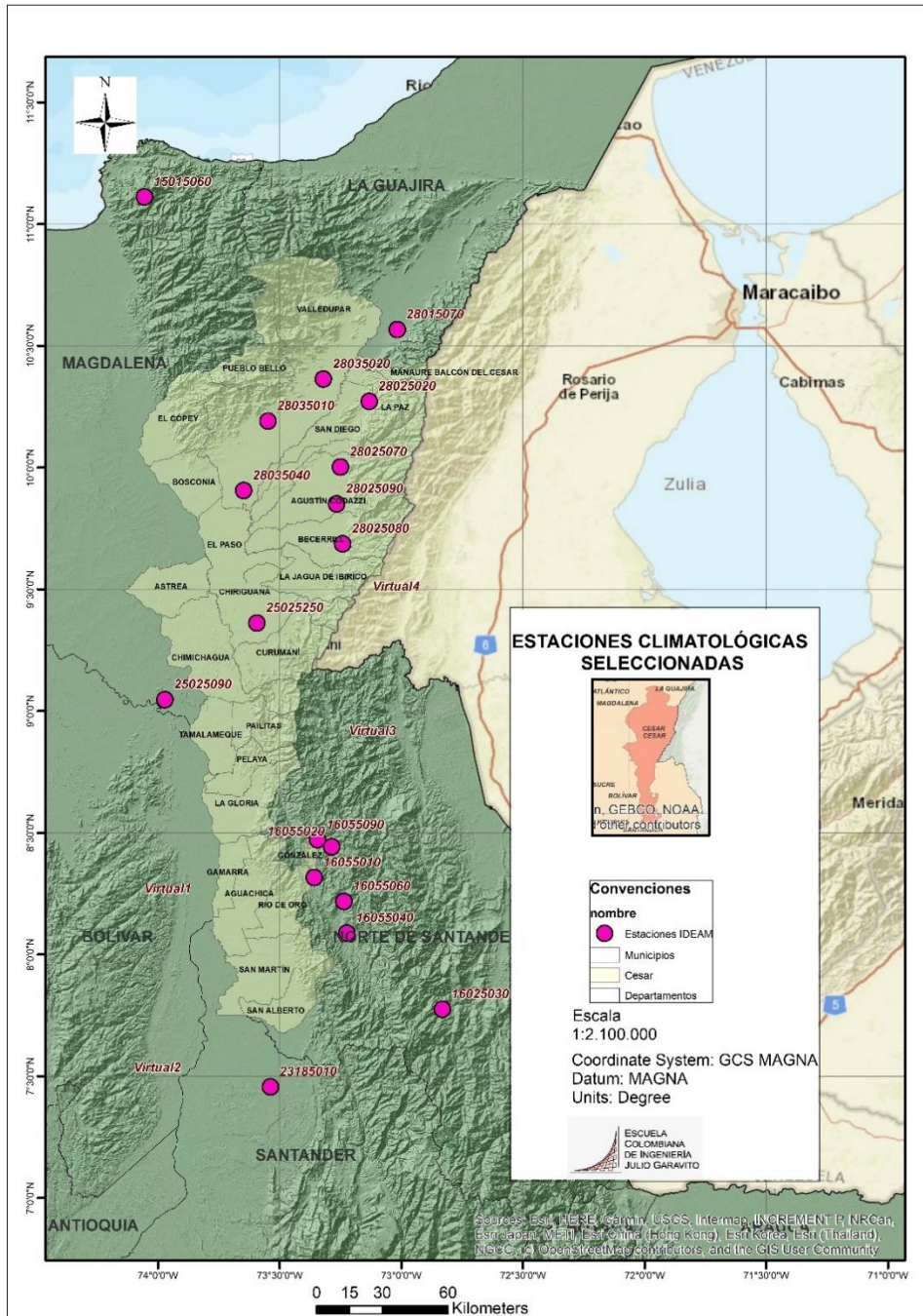
Igualmente ocurrió que, inicialmente se solicitó la información de 21 estaciones, pero solo 19 contaban con datos continuos, como se observa en la Tabla 3; los datos diarios de cada estación climatológica terrestre no fueron proporcionados por el IDEAM (ver anexo 2), por tal motivo esta investigación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

Tabla 3. Estaciones climatológicas del área de estudio

<b>Numero de Estación Terrestre Climatológica</b>	<b>Código de Identificación</b>	<b>Nombre de la Estación Terrestre Climatológica</b>	<b>Municipio de localización</b>	<b>Departamento de localización</b>
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.

Gráfica 5. Localización de las estaciones climatológicas del área de estudio



Fuente: Propia

Nota: El mapa representa la localización de las estaciones climatológicas del área de estudio.

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	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

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).

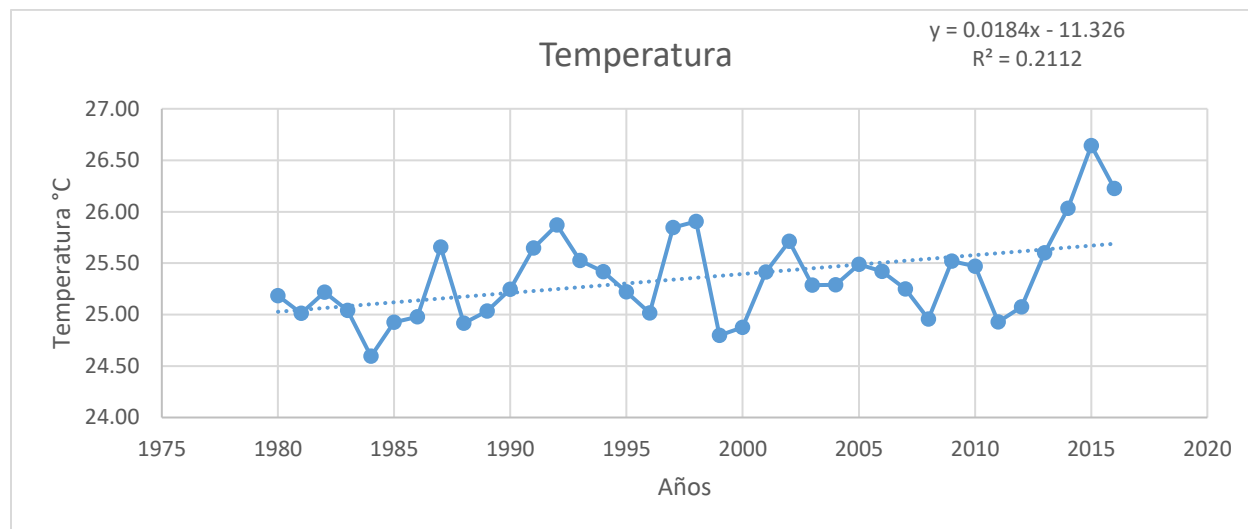
Tabla 5. Promedio de temperatura zonal multianual

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.

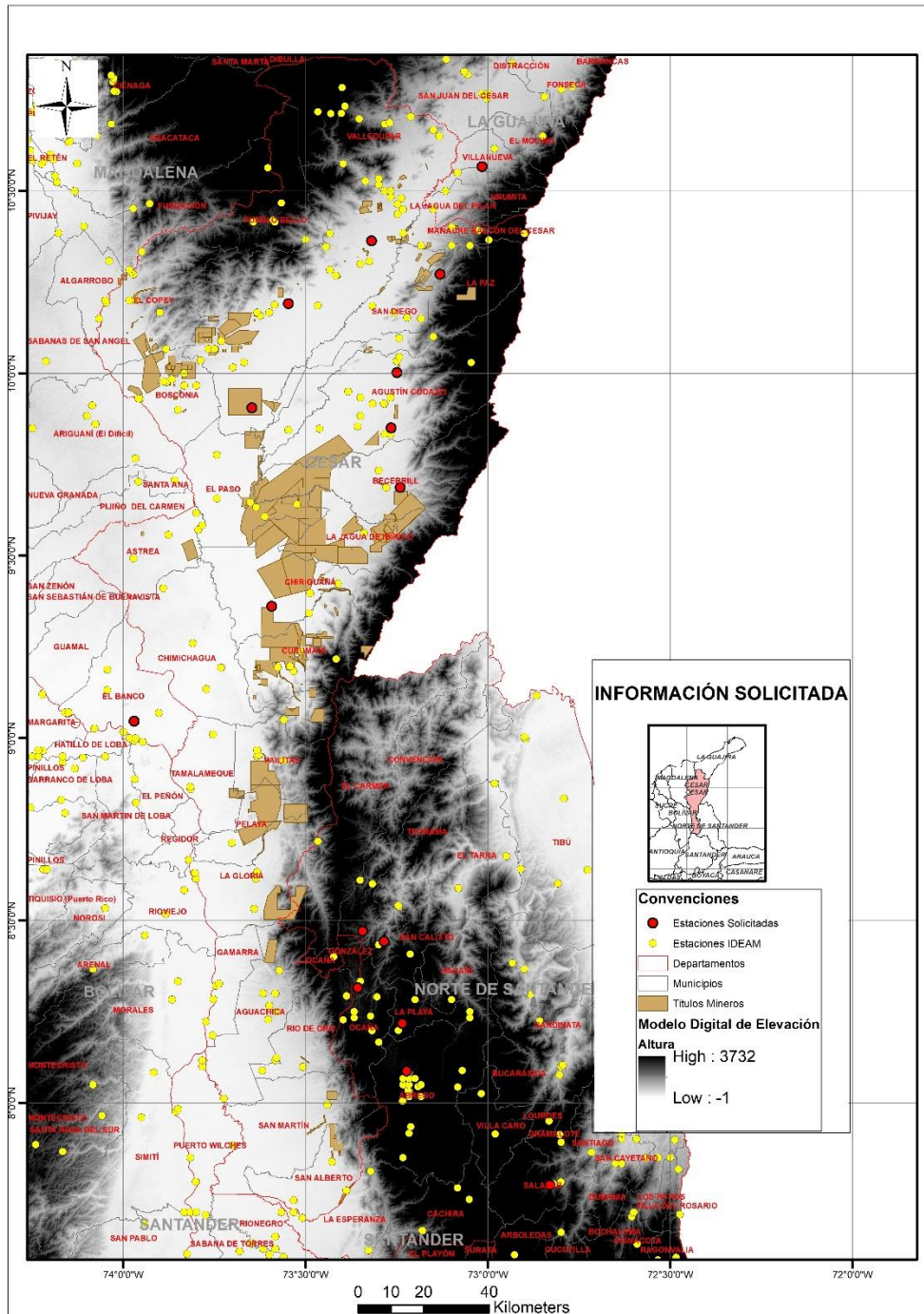
La información temática, estadística, geográfica y alfanumérica necesaria para el desarrollo de esta investigación se relaciona en la Tabla 6, las capas vectoriales requeridas se obtuvieron de los geo-portales de diferentes entidades públicas, en formato tipo Shapefile. Teniendo en cuenta la importancia 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

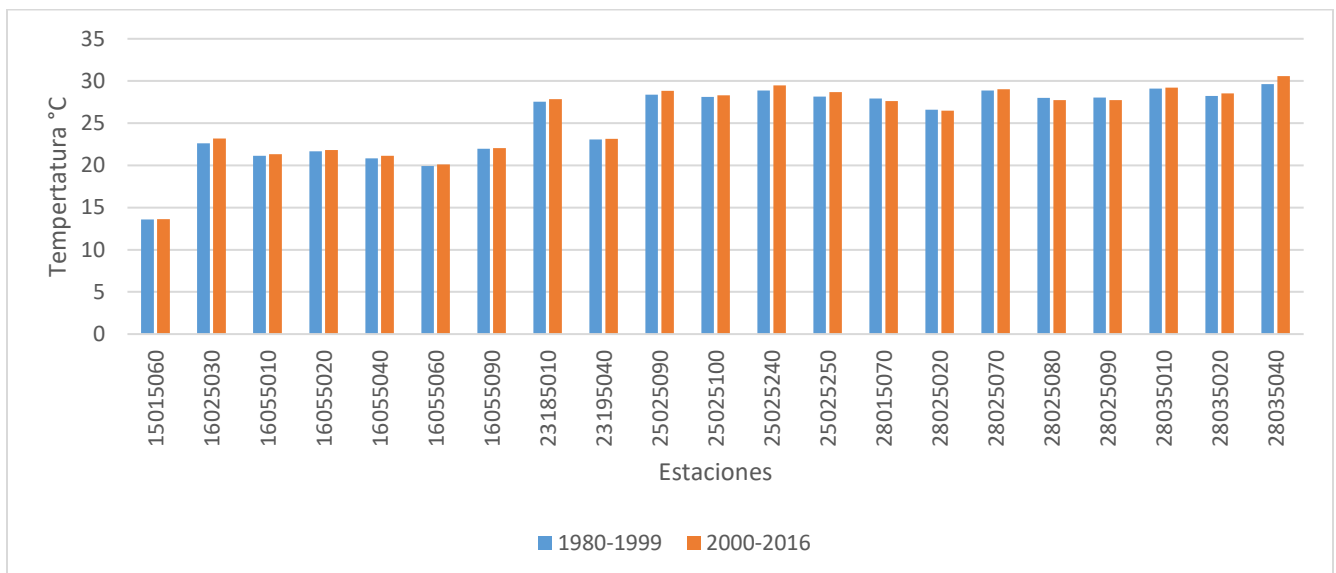
Año	15015060	16025030	16055010	16055020	16055040	16055060	16055090	23185010	23195040	25025090	25025100	25025240	25025250	28015070	28025020	28025070	28025080	28025090	28035010	28035020	28035040
1980	13,63	22,94		21,67	20,69			27,57	23,44	28,63		29,47		27,73	27,66	29,31	28,18		26,73	27,48	
1981	13,53	22,50		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.

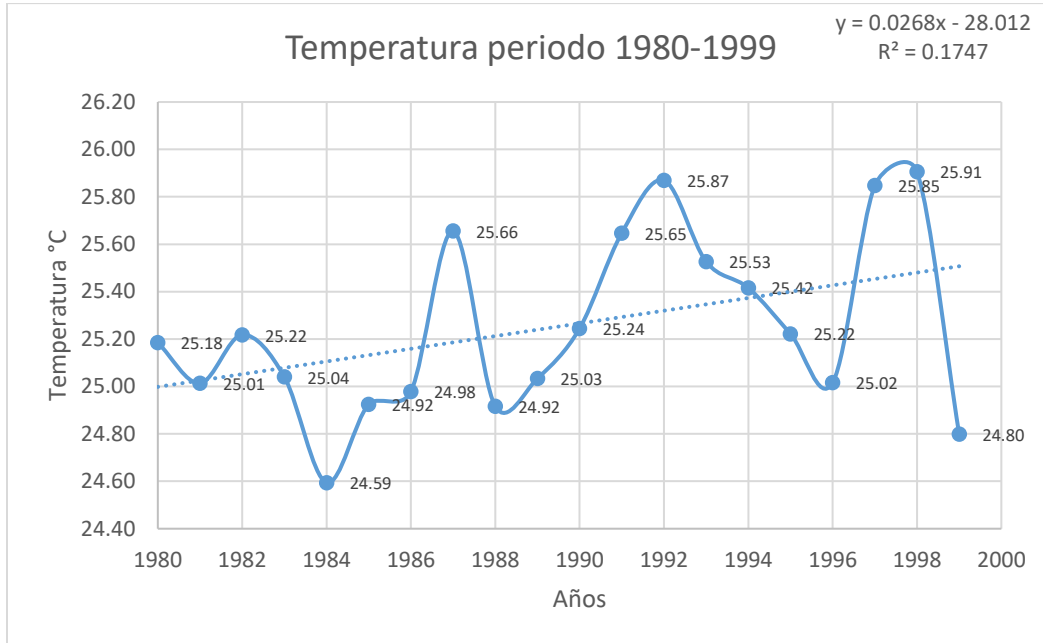
Gráfica 8. Promedios de temperatura



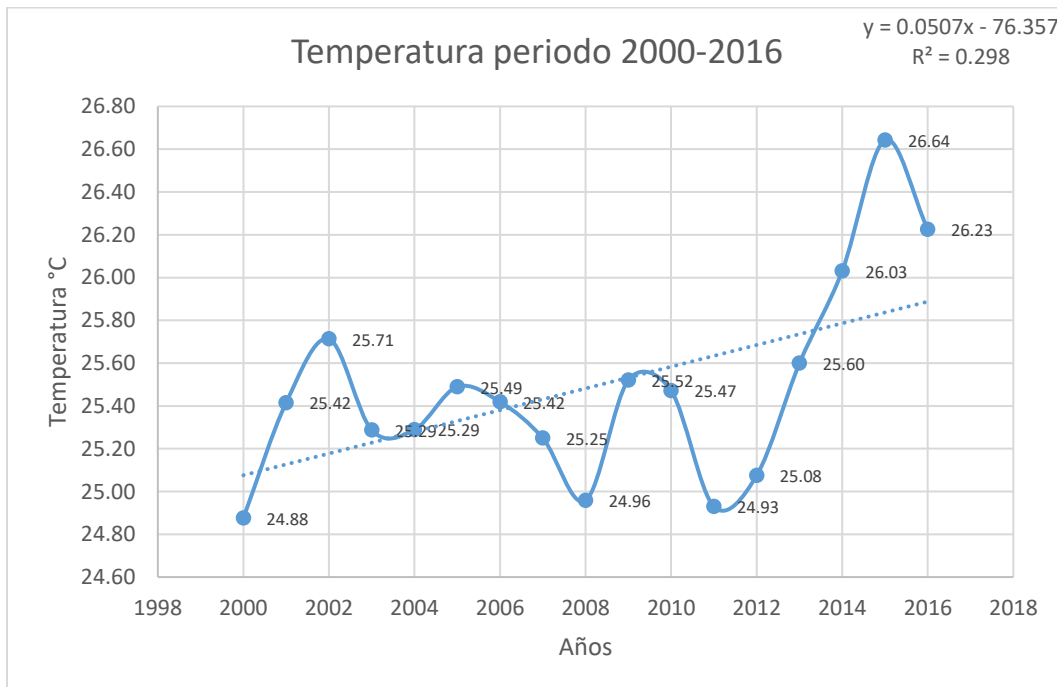
Como se observa en la gráfica anterior, en un gran número de estaciones se ha presentado aumento en la temperatura en el segundo periodo evaluado con respecto al primero.

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

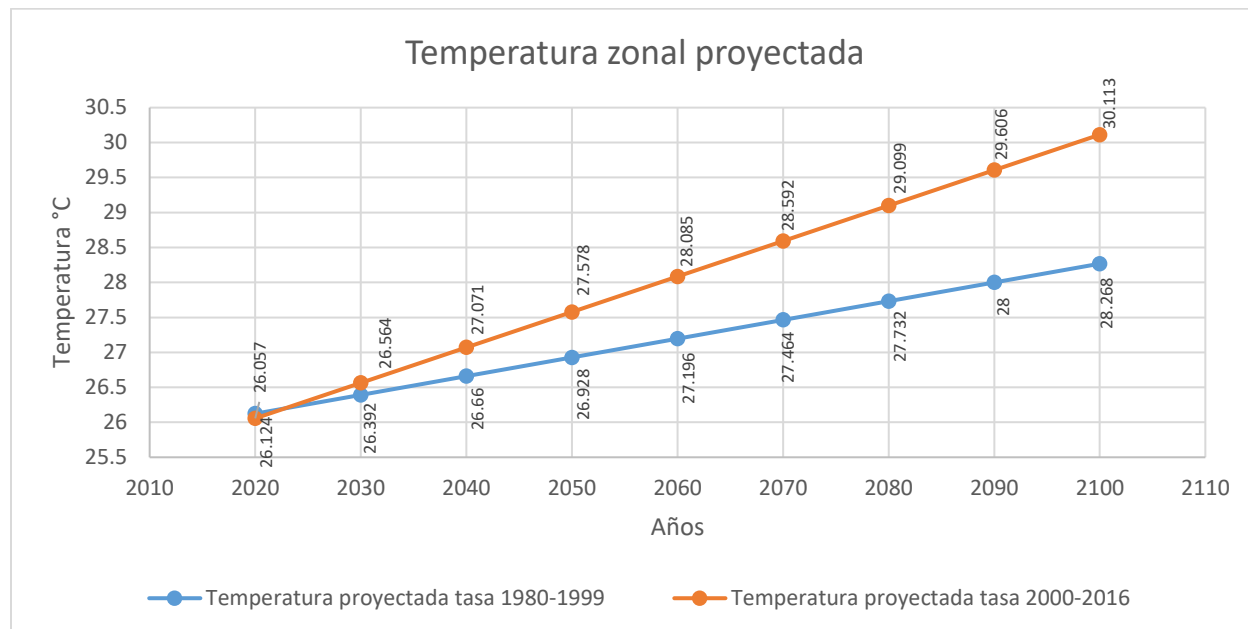
Tabla 9. Proyecciones de temperatura

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  $-0.5^{\circ}\text{C}$ .
- Parámetros estadísticos de temperatura “Niña” valores inferiores a  $-0.5^{\circ}\text{C}$ .
- 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  $-0.5^{\circ}\text{C}$ )

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

<b>Año con fenómeno “Niño”</b>	1982	1987	1991	1992	1997	1998	2002	2005	2009	2015
<b>Año con fenómeno “Niña”</b>	1984	1988	1996	1999	2000	2003	2007	2008	2011	
<b>Año “Neutro”</b>	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.

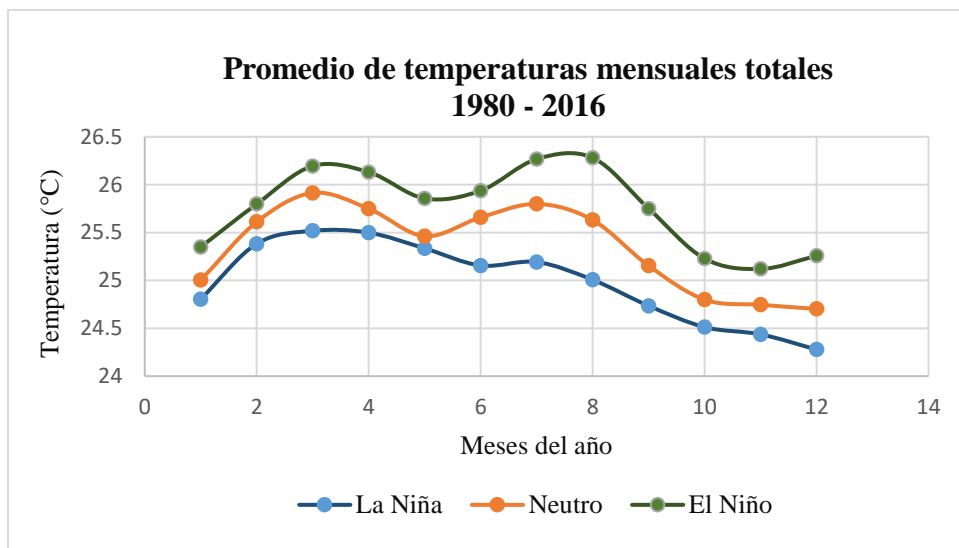
Tabla 11. Promedios totales mensuales de temperatura

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

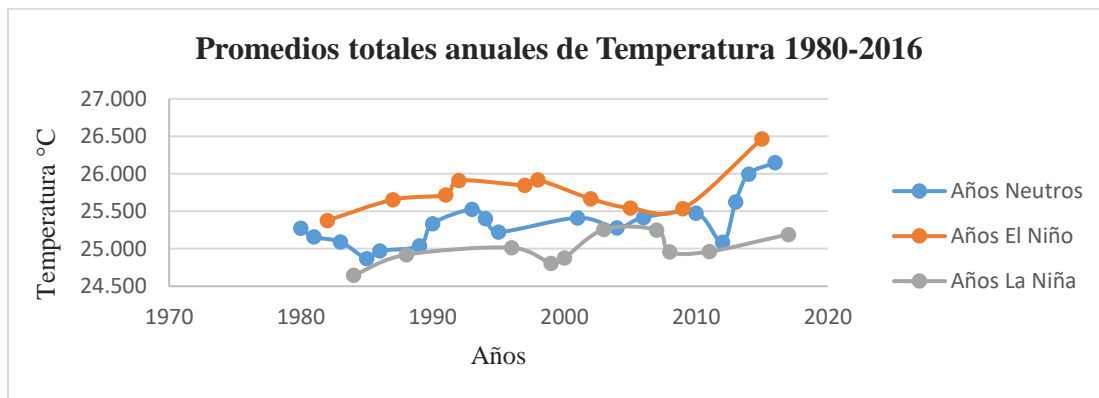
*Nota.* Esta tabla consiga los datos totales anuales de temperatura para los años Niño.

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	<b>-0,813</b>	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
<b>Valor Correlación</b>		-0,983	-0,809	<b>-0,789</b>	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
<b>Valor Correlación</b>		-0,987	-0,797	<b>-0,534</b>	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
<b>Valor Correlación</b>		-0,983	-0,806	<b>-0,471</b>	-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:

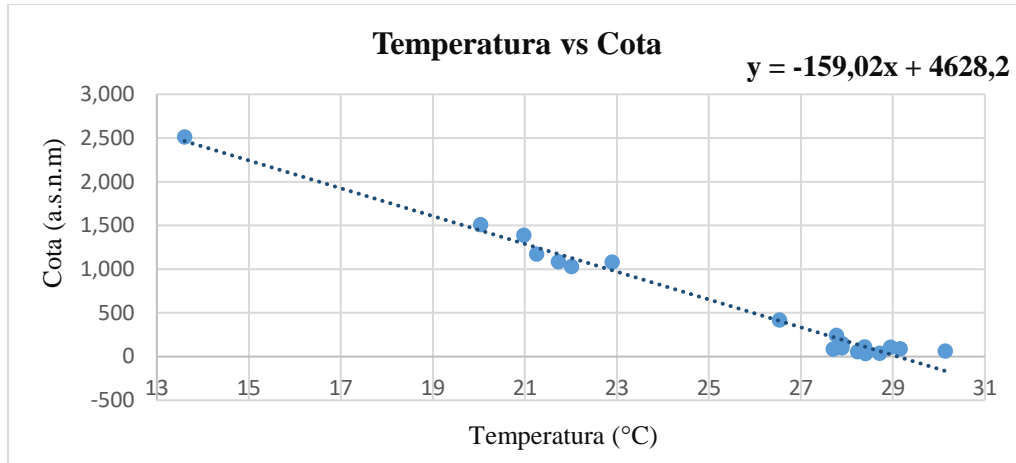
Se calculó el promedio anual de temperatura, temperatura punto de rocío, humedad relativa y brillo solar, además se incluyó la información de cota, latitud y longitud para cada una de las estaciones climatológicas terrestres, estos promedios se correlacionaron mediante el “coeficiente de correlación” 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
<b>Valor de Correlación</b>		<b>-0,991</b>	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).

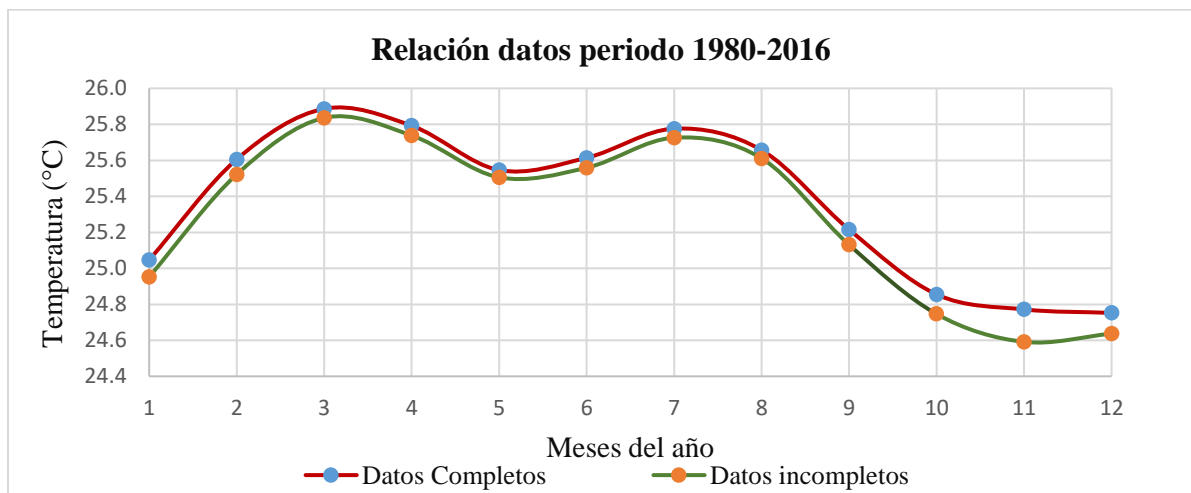


Tabla 20. Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura por estación

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

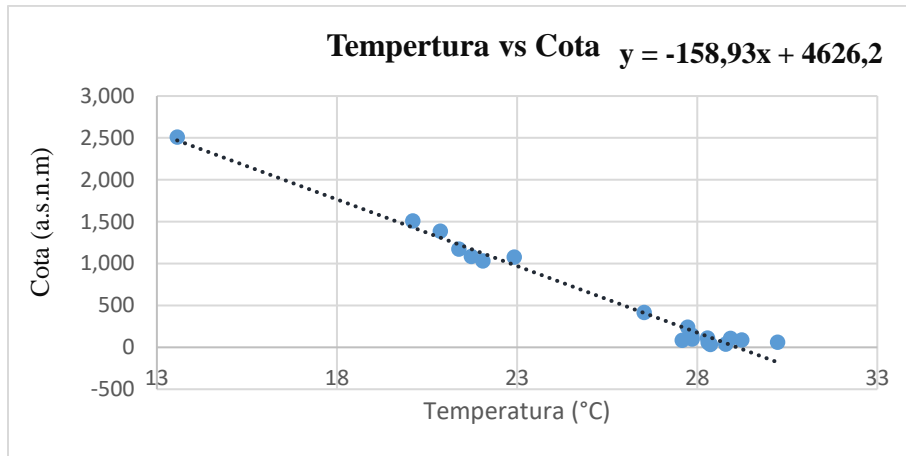
Para el caso de temperatura, la variable de mayor correlación fue la cota con un valor de -0.991 (correlación inversa o inversamente proporcional), es decir entre menor sea la cota mayor será la temperatura (ver Tabla 21).

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
<b>Valor de Correlación</b>		<b>-0,991</b>	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).

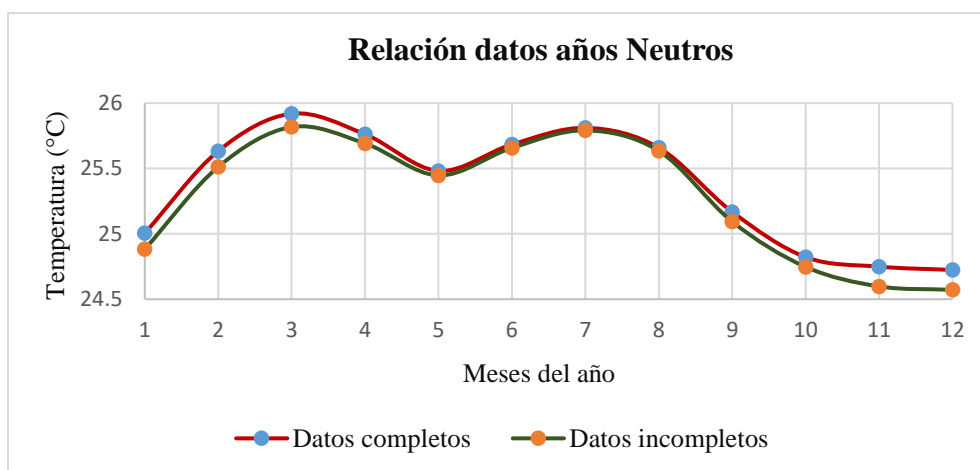
Tabla 22. Promedios totales anuales de temperatura por estación para los años Neutros

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

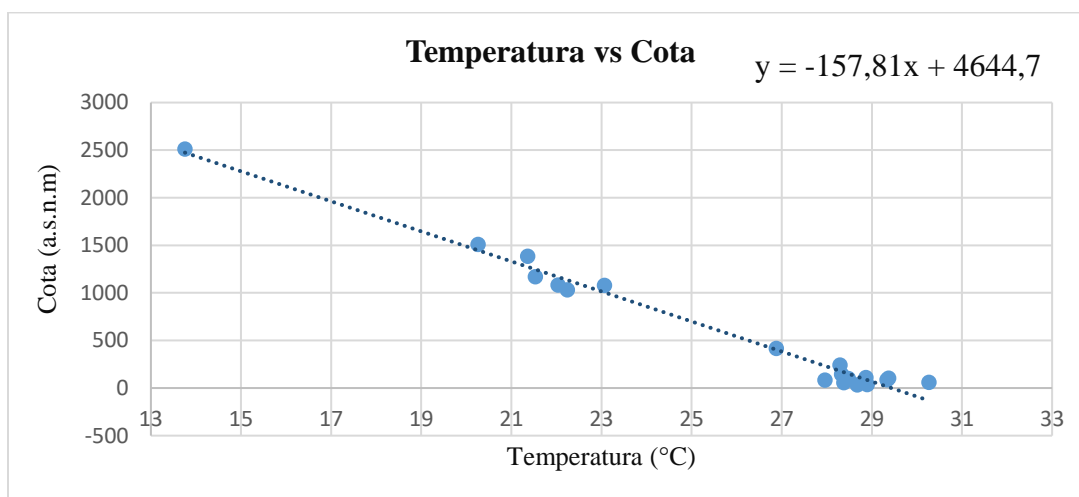
Tabla 23. Promedios totales anuales de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niño

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
<b>Valor de Correlación</b>		<b>-0,992</b>	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:

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

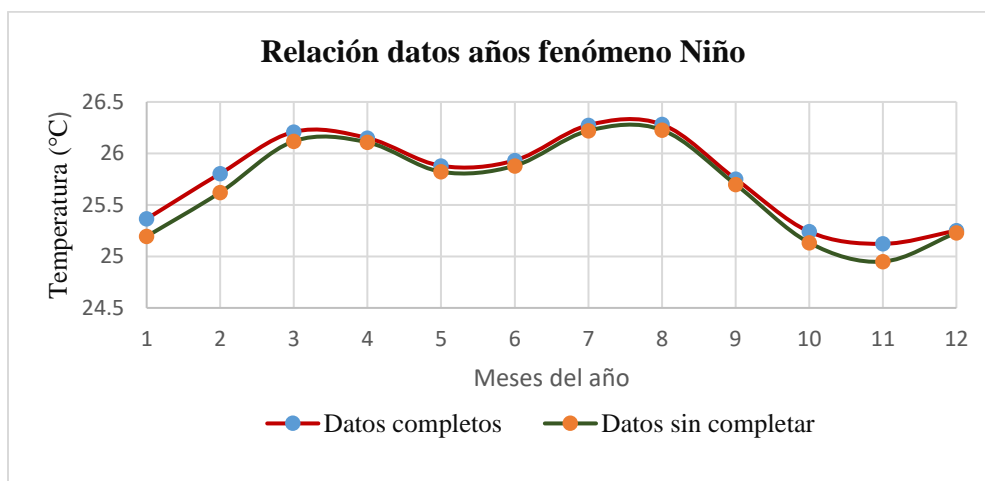
Adicionalmente, se realizó la verificación de información a través de una comparación de temperatura promedio total mensual de los años Niño con datos faltantes con relación a la temperatura promedio total aplicando la ecuación, se pudo constatar que la tendencia de la temperatura se mantuvo como se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

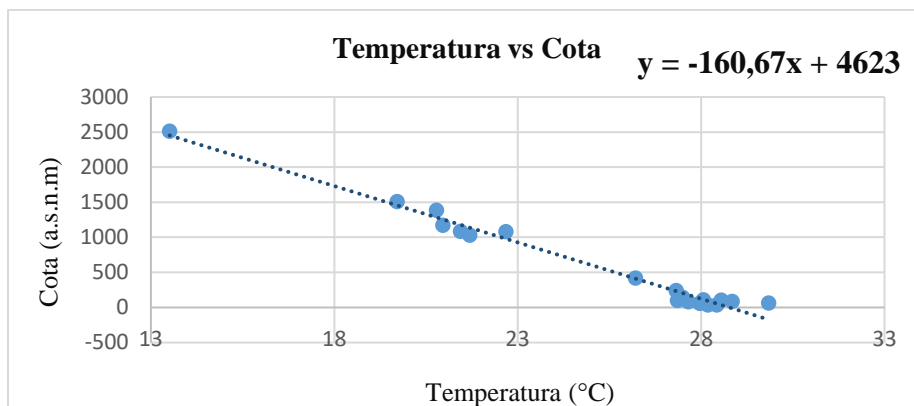
Para el caso de temperatura, la variable de mayor correlación fue la cota con un valor de -0.991 (correlación inversa o inversamente proporcional), es decir entre menor sea la cota mayor será la temperatura; se graficaron los datos de las dos variables y así obtener la ecuación (ver Tabla 25).

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
<b>Valor de Correlación</b>		<b>-0,991</b>	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).

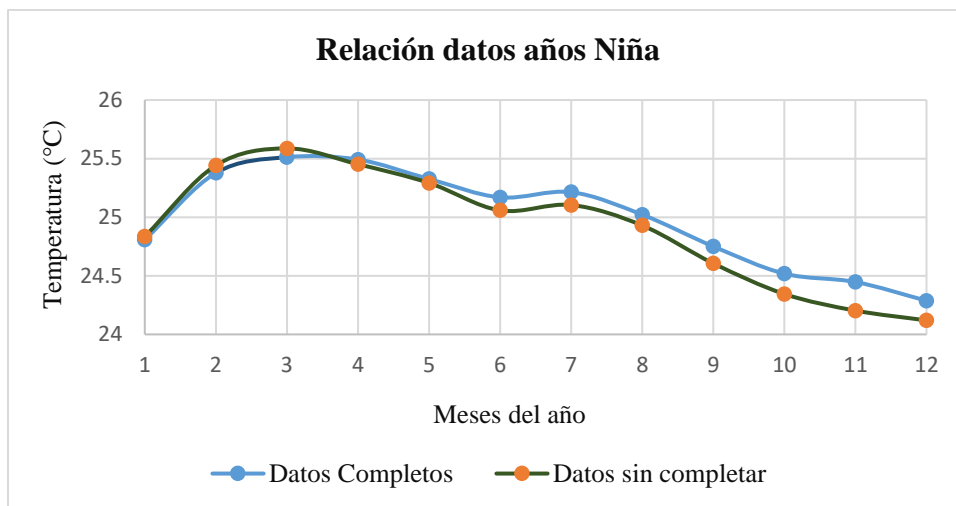
Tabla 26. Promedios totales anuales de temperatura por estación para los años Niña

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).

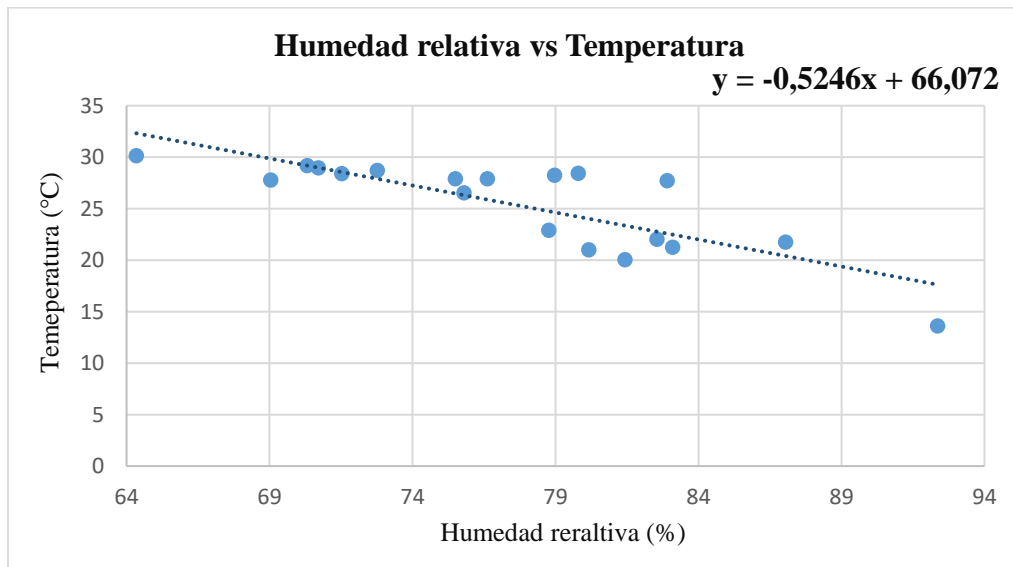
Tabla 27. Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio

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
<b>Valor de Correlación</b>		0,742	-0,373	-0,148	<b>-0,815</b>	-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:

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

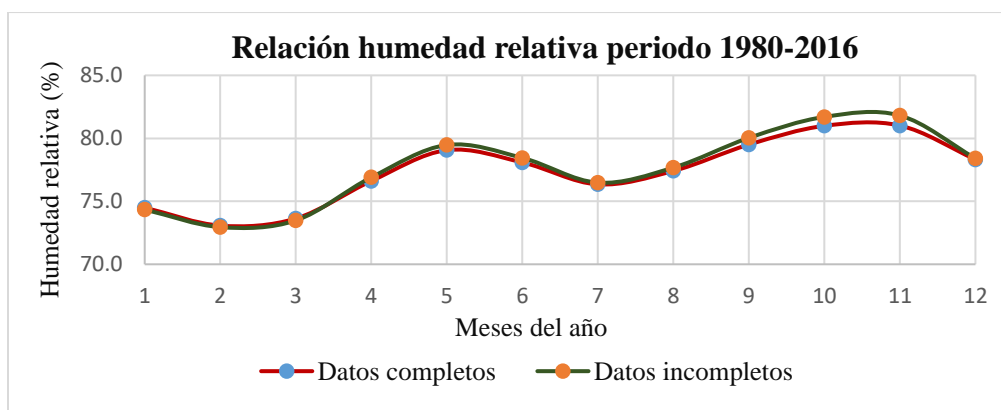
Adicionalmente se realizó la verificación de información, a través de una comparación de humedad relativa promedio total mensual del periodo comprendido entre 1980-2016 con datos faltantes en relación con humedad relativa promedio total mensual aplicando la ecuación, se pudo constatar que la tendencia 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

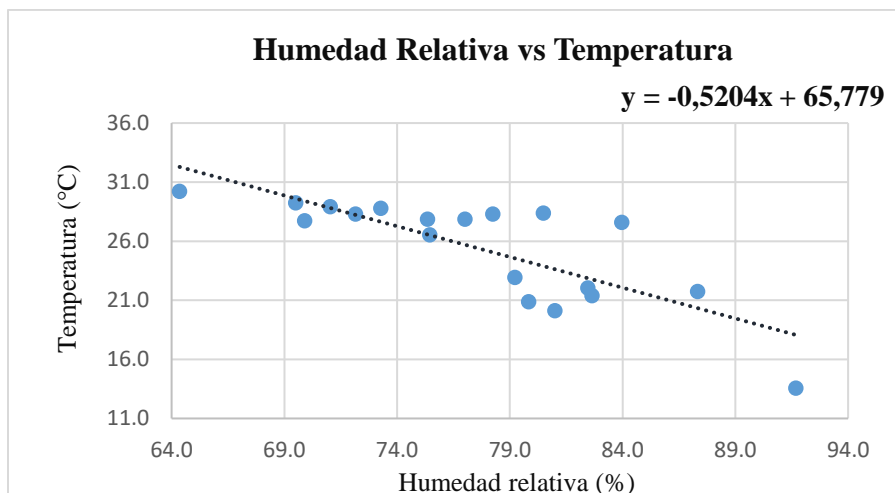
Para el caso de humedad relativa para los años Neutros, la que mejor se relacionó, fue la temperatura con un valor de -0,796 (ver Tabla 29).

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
<b>Valor de Correlación</b>		0,717	<b>-0,796</b>	-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.

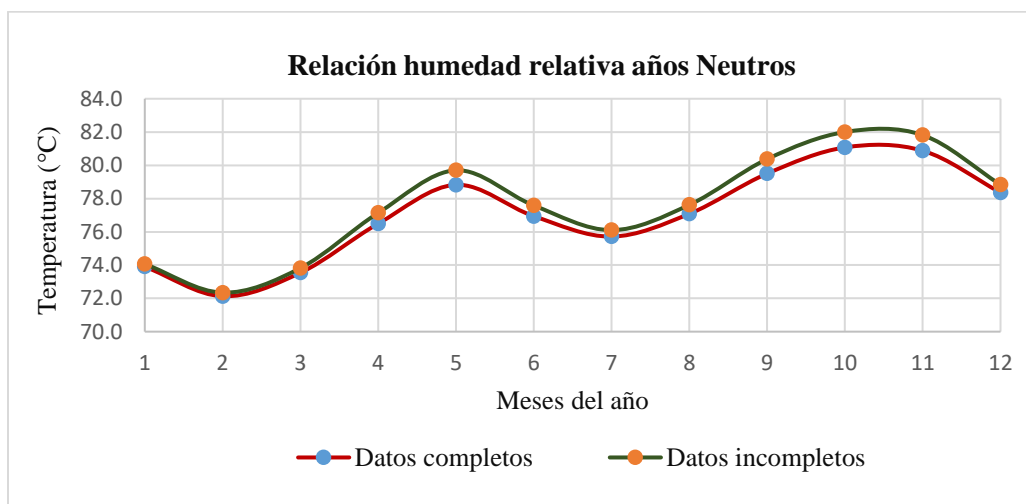
Tabla 30. Promedios totales mensuales de humedad relativa para los años Neutros

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 (%)
<b>Octubre</b>	81,074	82	-0,925	-0,011
<b>Noviembre</b>	80,876	81,815	-0,938	-0,011
<b>Diciembre</b>	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).

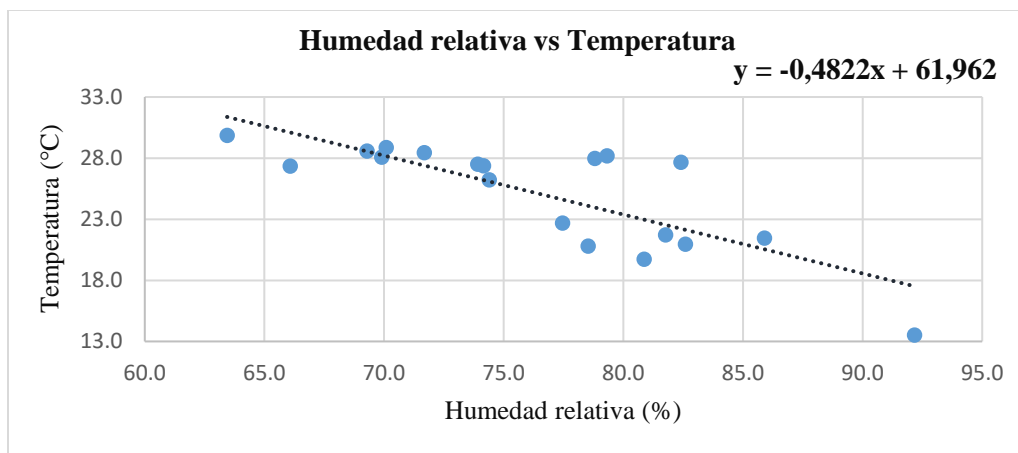
Tabla 31. Promedios totales anuales de humedad relativa por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niño

Estación Climatológica Terrestre	Humedad Relativa (%)	Temperatura (°C)	Cota (m.s.n.m)	Brillo Solar (HM)	Temperatura Rocío (°C)
<b>15015060</b>	92,173	13,511	2511	82,232	12,649
<b>16025030</b>	77,464	22,681	1078	144,031	18,835
<b>16055010</b>	82,591	20,957	1171	176,661	18,620
<b>16055020</b>	85,906	21,442	1083		19,260
<b>16055040</b>	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
<b>Valor de Correlación</b>		<b>-0,797</b>	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:

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

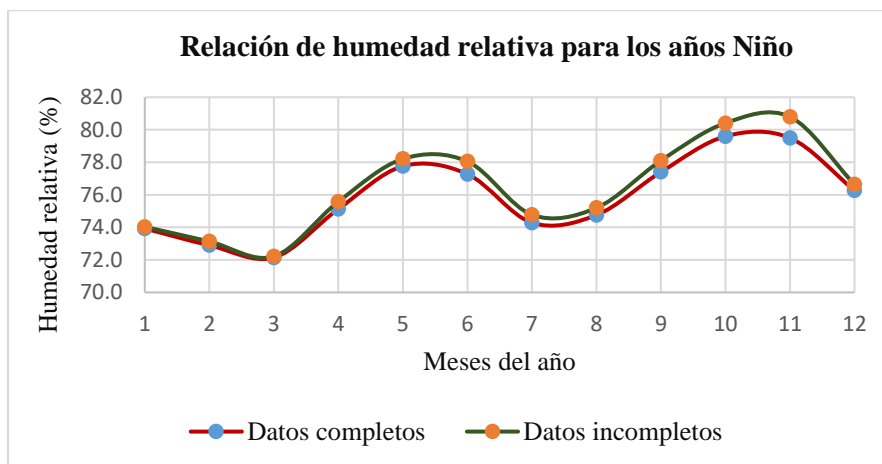
Adicionalmente se realizó la verificación de información, a través de una comparación de humedad relativa promedio total mensual de los años Niño con datos faltantes en relación con la humedad relativa promedio total mensual aplicando la ecuación, se pudo constatar que la tendencia del porcentaje de 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

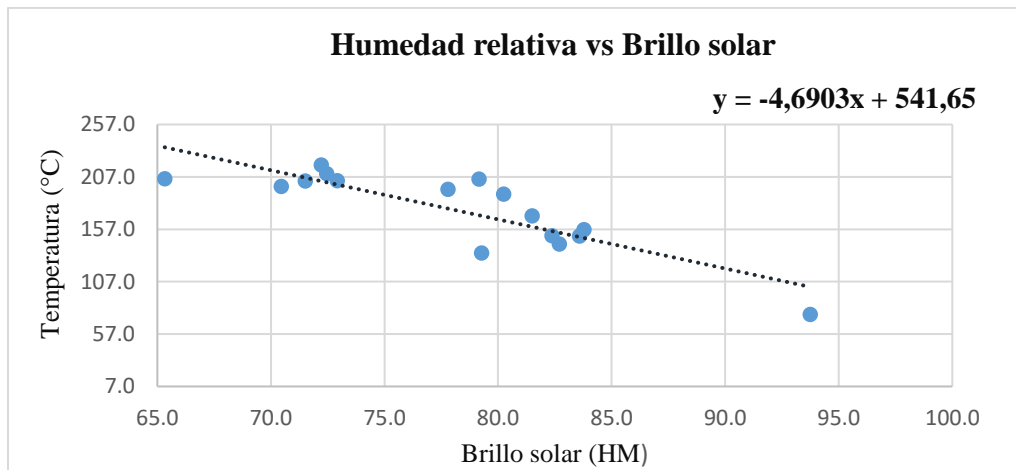
Para la variable de humedad relativa en los años Niña, se correlacionaron los valores totales anuales con dos variables, inicialmente brillo solar presentó una correlación de -0,855, (ver Tabla 33) pero al aplicar la ecuación los valores, sobrepasaban su rango debido a que algunos datos de esta variable, 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
<b>Valor de Correlación</b>		-0,844	0,780	<b>-0,855</b>	-0,547

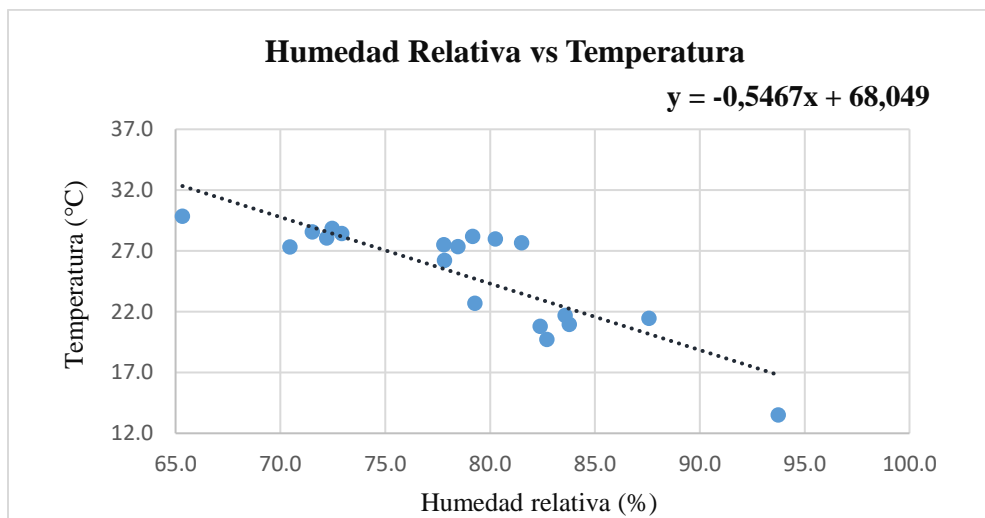
*Nota.* Esta tabla consiga los Promedios totales anuales de humedad relativa por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años Niña.

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:

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

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

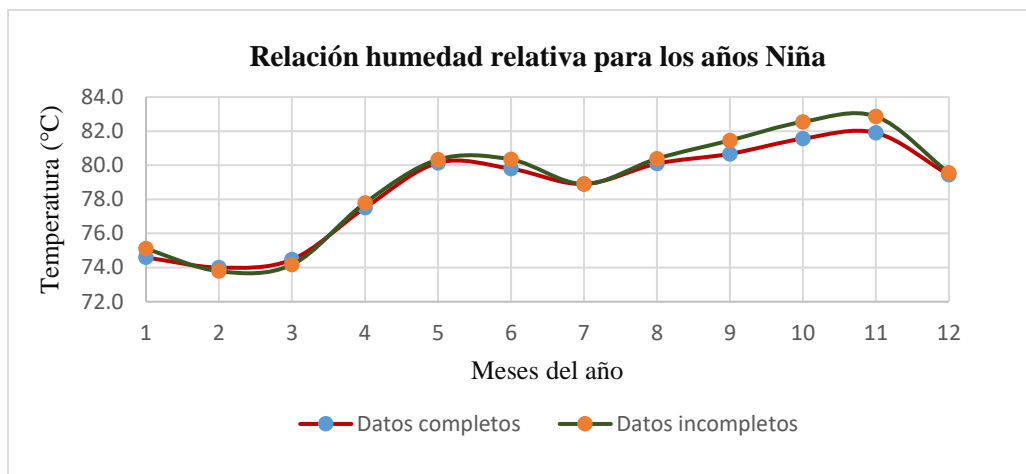
Adicionalmente se realizó la verificación de información, a través de una comparación de humedad relativa promedio total mensual de los años con influencia del fenómeno Niña con datos faltantes en relación con la humedad relativa promedio total mensual aplicando las ecuaciones, se pudo constatar que 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

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

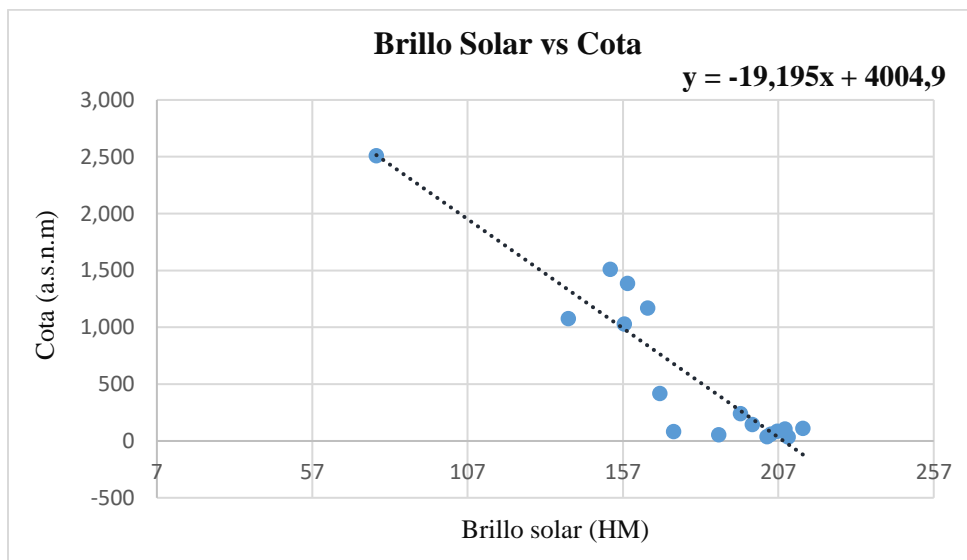
Tabla 35. Promedios totales anuales (1980-2016) de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio

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
<b>Valor de Correlación</b>		<b>-0,925</b>	0,140	0,015	0,871	-0,808	<b>0,931</b>

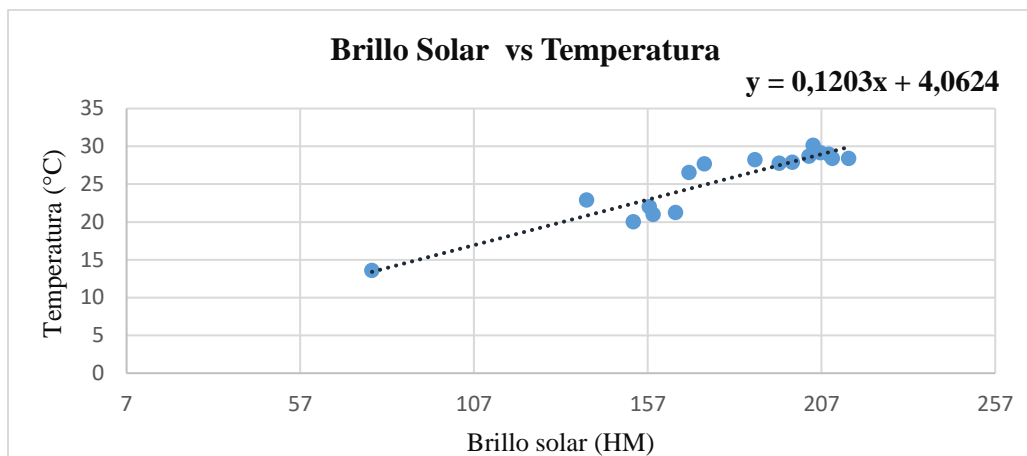
*Nota.* Esta tabla consiga promedios totales anuales (1980-2016) de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio.

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:

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

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

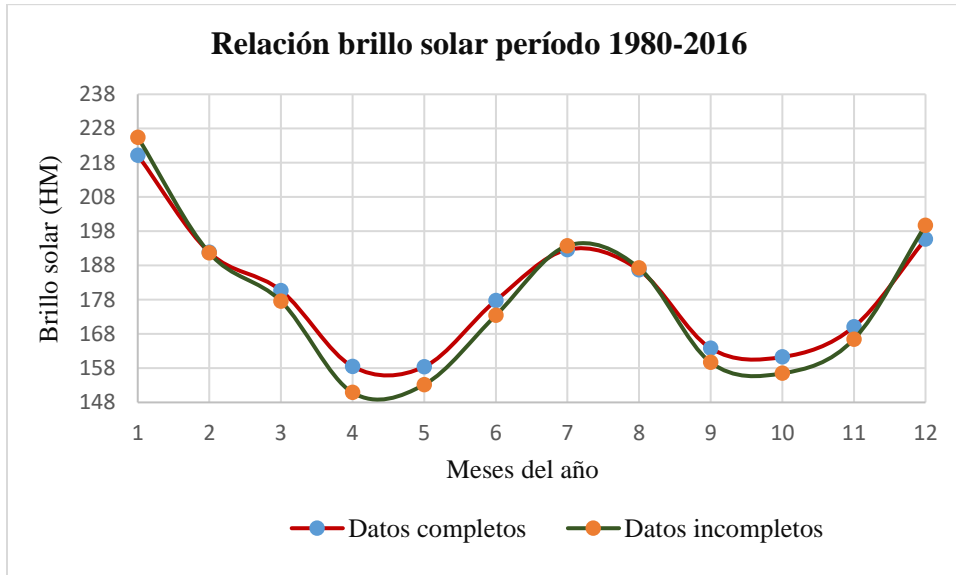
Adicionalmente, se realizó la verificación de información a través de una comparación de brillo solar promedio total mensual de los años entre 1980-2016, con datos faltantes con relación a brillo solar promedio total mensual, aplicando las ecuaciones, se pudo constatar que la tendencia de brillo solar 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

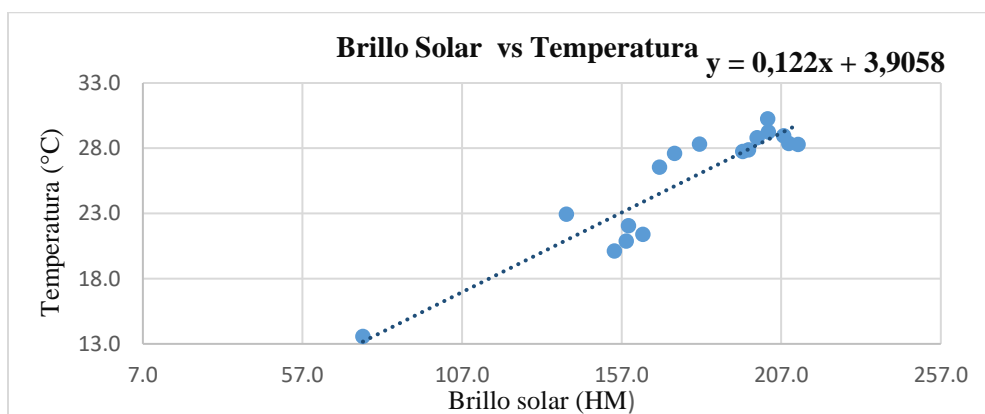
Para el caso de brillo solar de los años Neutros, se correlacionó con dos variables, la primera de ellas fue temperatura con un índice de 0,925 seguido de cota con un valor de -0,919 como se observa en la Tabla 36.

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
<b>Valor de Correlación</b>		<b>-0,919</b>	<b>0,926</b>	<b>-0,789</b>	<b>0,865</b>

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.

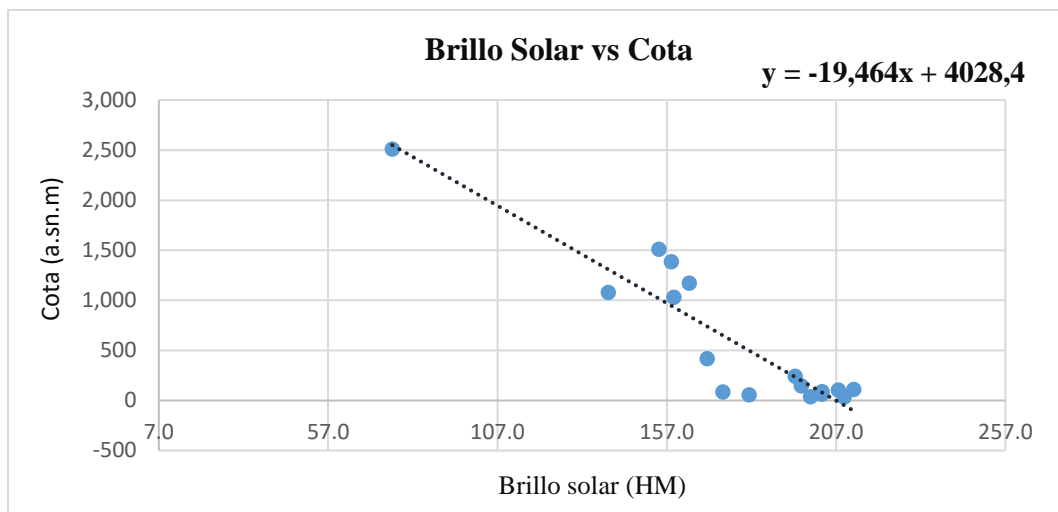
Gráfica 34. Correlación entre brillo solar y temperatura para los años Neutros



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.

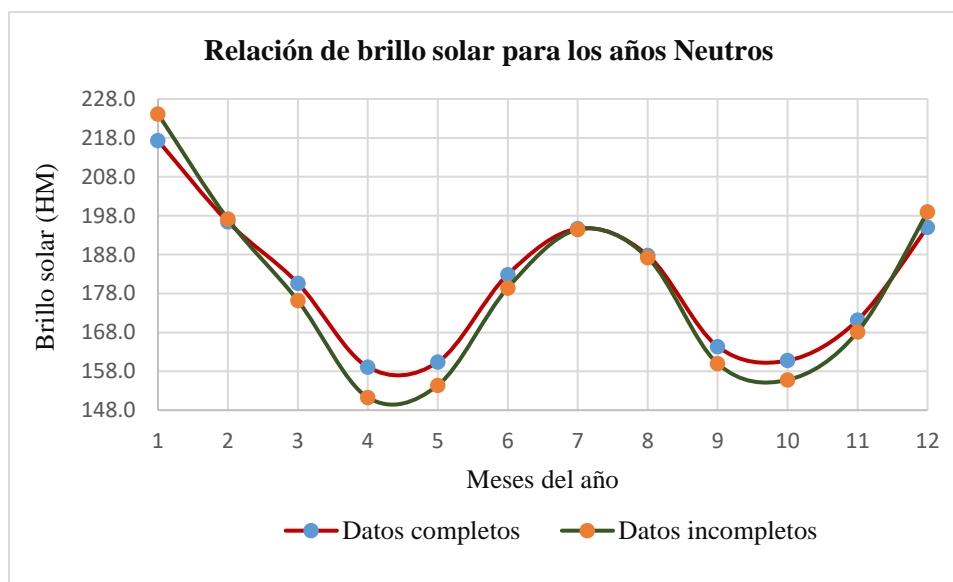
Tabla 38. Datos mensuales totales completos e incompletos de brillo solar para los años Neutros

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

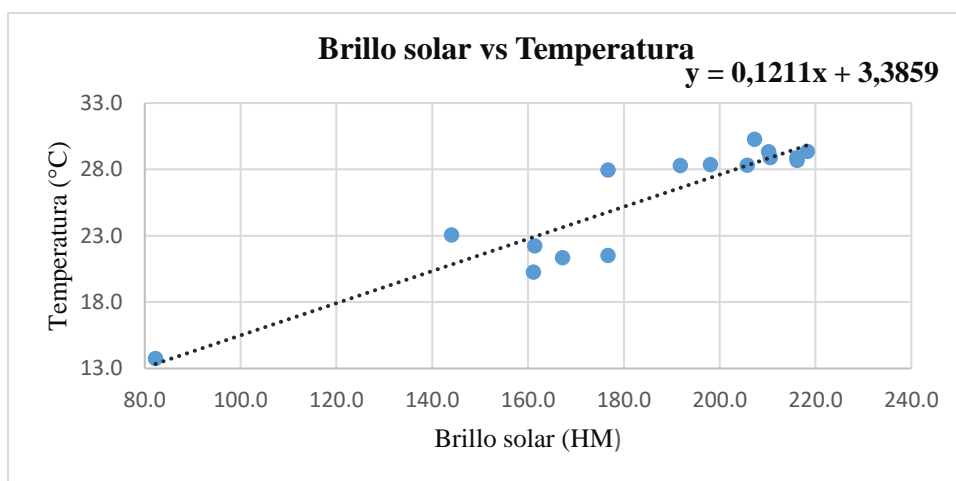
Tabla 39. Promedios totales anuales de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Niño

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

Estación Climatológica Terrestre	Brillo Solar (HM)	Temperatura (°C)	Cota (m.s.n.m)	Humedad Relativa (%)	Temperatura Rocío (°C)
16025030	144,031	23,065	1078	77,464	18,835
16055010	176,661	21,530	1171	82,591	18,620
16055040	167,177	21,364	1386	78,535	17,148
16055060	161,106	20,263	1509	80,877	16,827
16055090	161,379	22,240	1030	81,773	18,863
23185010	176,684	27,961	83	82,403	24,319
25025090	210,538	28,898	37	71,686	22,876
25025100	198,044	28,378	56	78,814	23,967
25025250	216,184	28,675	34	79,317	24,170
28015070	191,755	28,293	240	66,074	21,071
28025070	218,269	29,370	105	69,291	37,472
28025080	205,751	28,329	145	73,918	22,766
28035010	210,210	29,336	87	70,097	22,879
28035020	216,075	28,866	110	69,905	22,527
28035040	207,278	30,269	61	63,440	22,031
<b>Valor de Correlación</b>		<b>0,926</b>	<b>-0,918</b>	-0,763	0,720

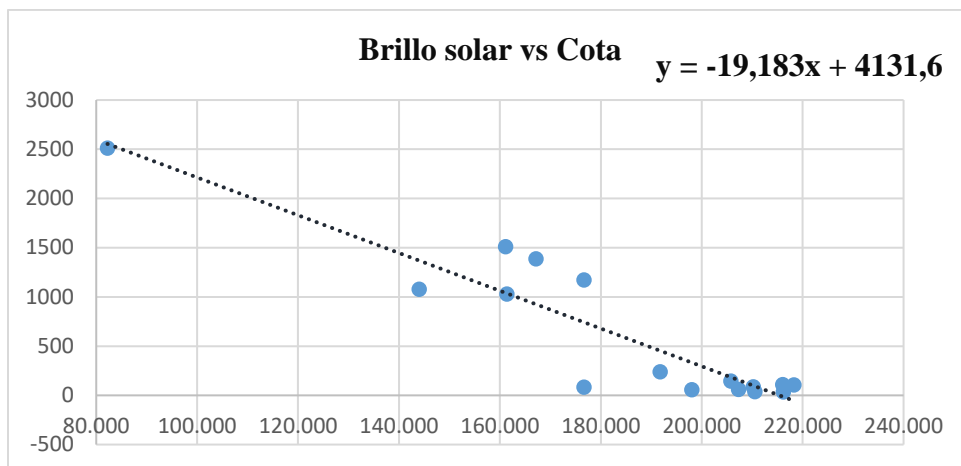
Nota. Esta tabla consiga los promedios totales anuales de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Niño.

Gráfica 37. Correlación entre brillo solar y temperatura para años Niño



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

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.

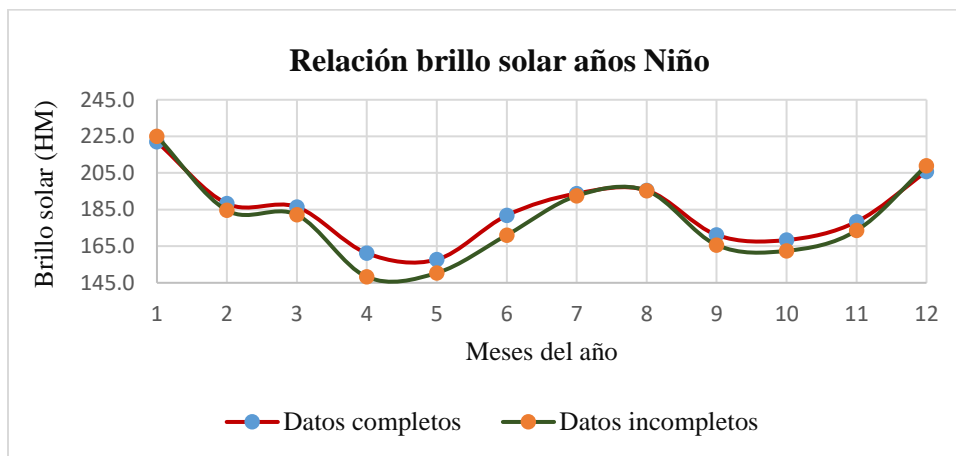
Tabla 40. Datos mensuales totales completos e incompletos de brillo solar para los años Niño

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.

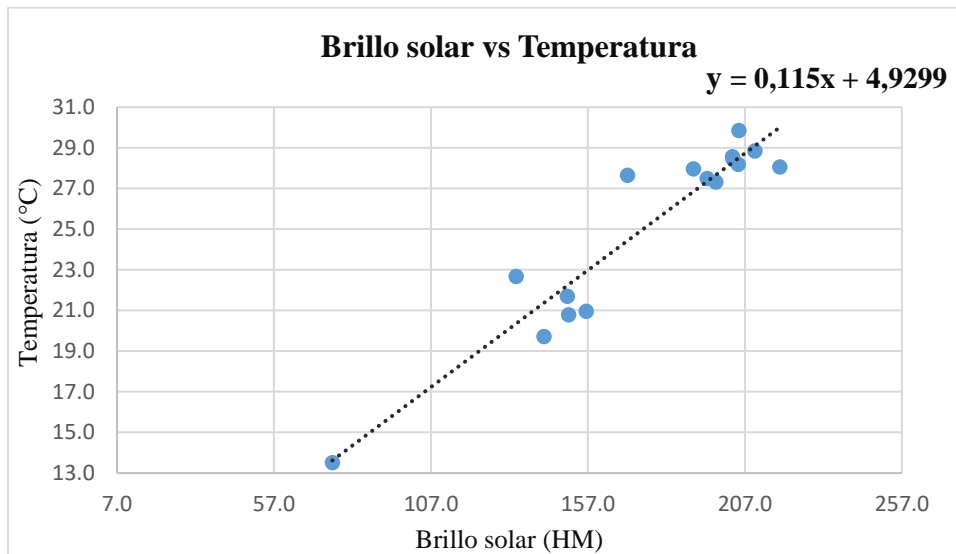
Tabla 41. Promedios totales anuales de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años con Niña

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
<b>Valor de Correlación</b>		<b>0,948</b>	-0,944	-0,855	0,610

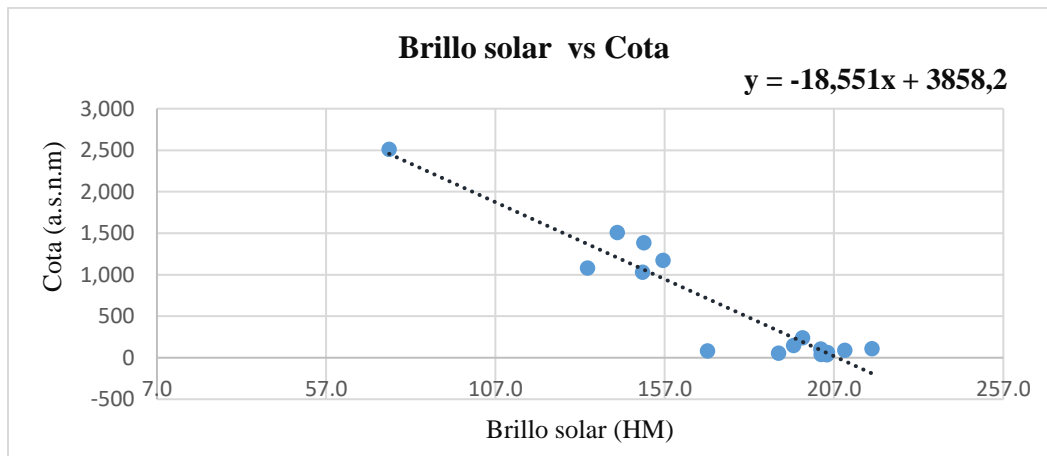
*Nota.* Esta tabla consiga los promedios totales anuales de brillo solar por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para los años con Niña.

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.

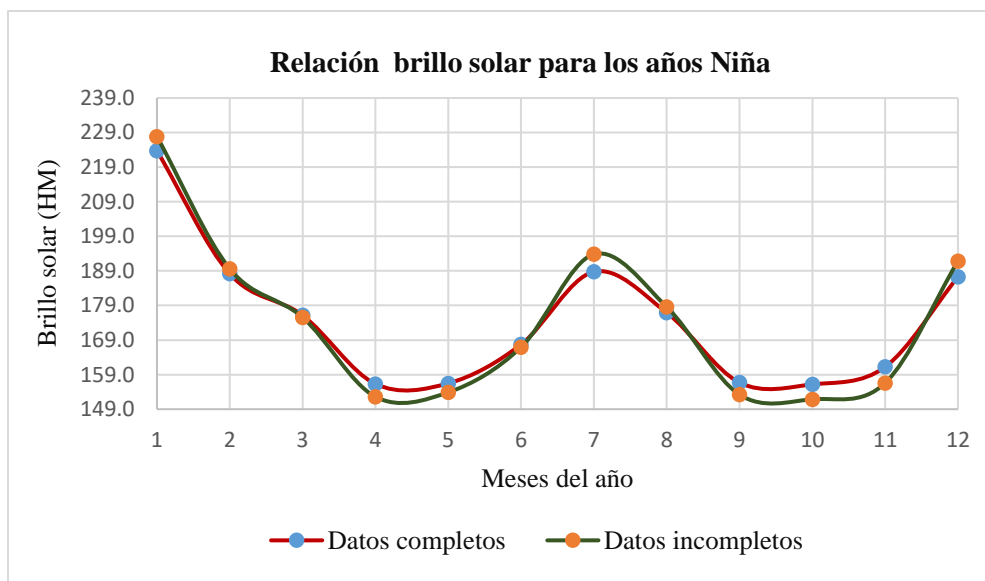
Tabla 42. Promedio total mensual de brillo solar para los años Niña

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

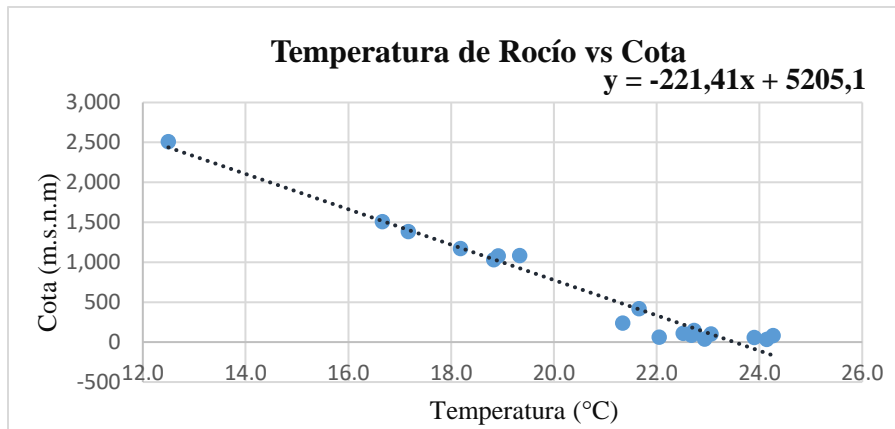


Tabla 43. Promedios totales anuales (1980-2016) de temperatura de rocío por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio

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
<b>Valor de Correlación</b>		<b>-0,982</b>	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:

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

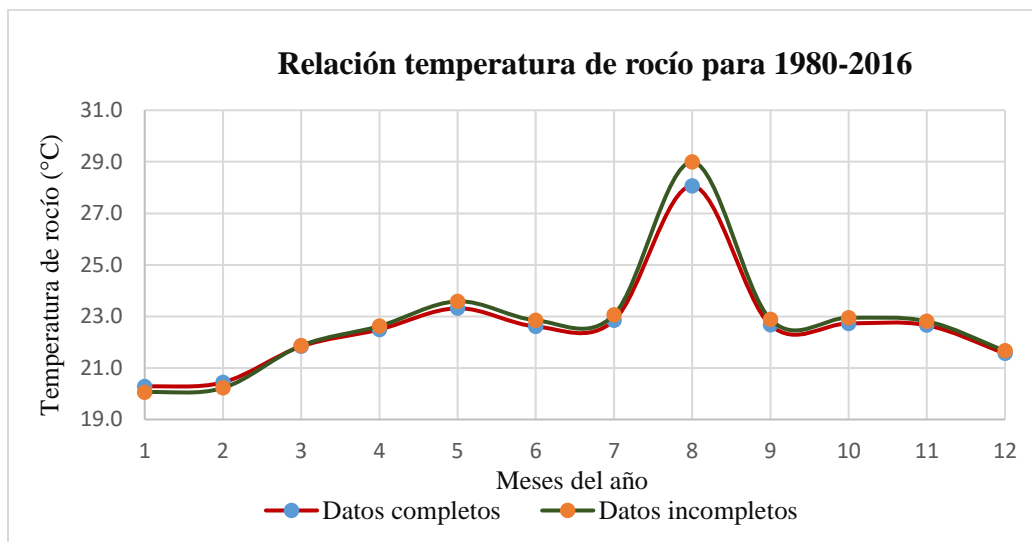
Adicionalmente se realizó la verificación de información, a través de una comparación de temperatura de rocío promedio total mensual del periodo 1980-2016 incluyendo datos faltantes en relación con la temperatura de rocío promedio total mensual donde aplicando la ecuación, se pudo constatar que la tendencia 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 (%)
<b>Enero</b>	20,274	20,055	0,219	1,079
<b>Febrero</b>	20,440	20,224	0,217	1,060
<b>Marzo</b>	21,837	21,867	-0,030	-0,137
<b>Abril</b>	22,492	22,623	-0,131	-0,581
<b>Mayo</b>	23,317	23,585	-0,267	-1,147
<b>Junio</b>	22,611	22,850	-0,239	-1,057
<b>Julio</b>	22,850	23,063	-0,214	-0,935
<b>Agosto</b>	28,061	28,990	-0,929	-3,310
<b>Septiembre</b>	22,668	22,884	-0,217	-0,956
<b>Octubre</b>	22,729	22,950	0,221	-0,971
<b>Noviembre</b>	22,656	22,812	-0,156	-0,690
<b>Diciembre</b>	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.

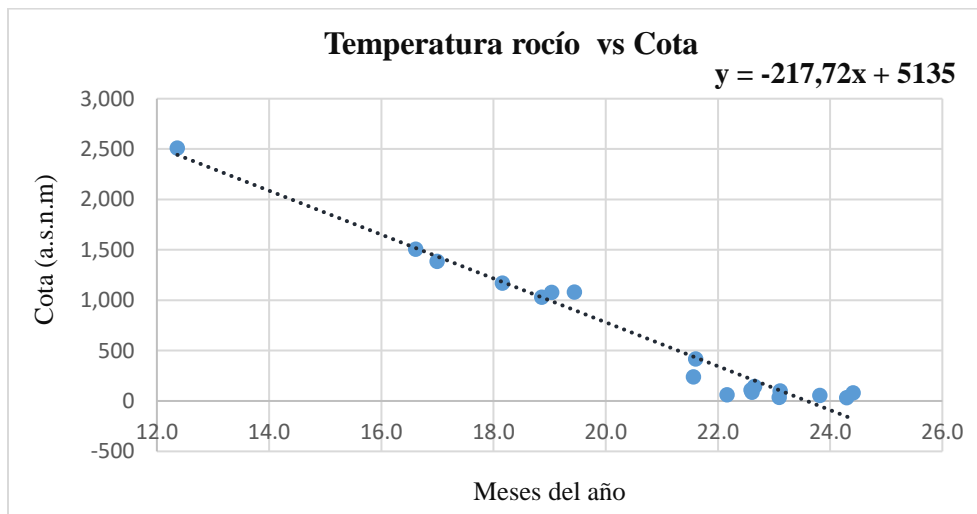
Tabla 45. Promedios totales anuales de temperatura de rocío por estación y su correlación entre temperatura y las demás variables de estudio para años Neutros

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
<b>Valor de Correlación</b>		<b>-0,982</b>	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:

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

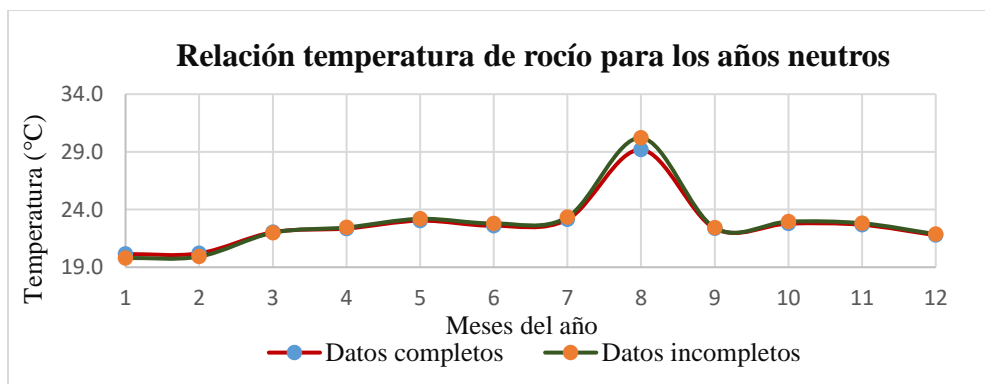
Adicional a esto, se realizó la verificación de información, a través de una comparación de temperatura de rocío promedio total mensual de los años Neutros, incluyendo datos faltantes en relación con la temperatura de rocío promedio total mensual aplicando la ecuación, se pudo constatar que la tendencia 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

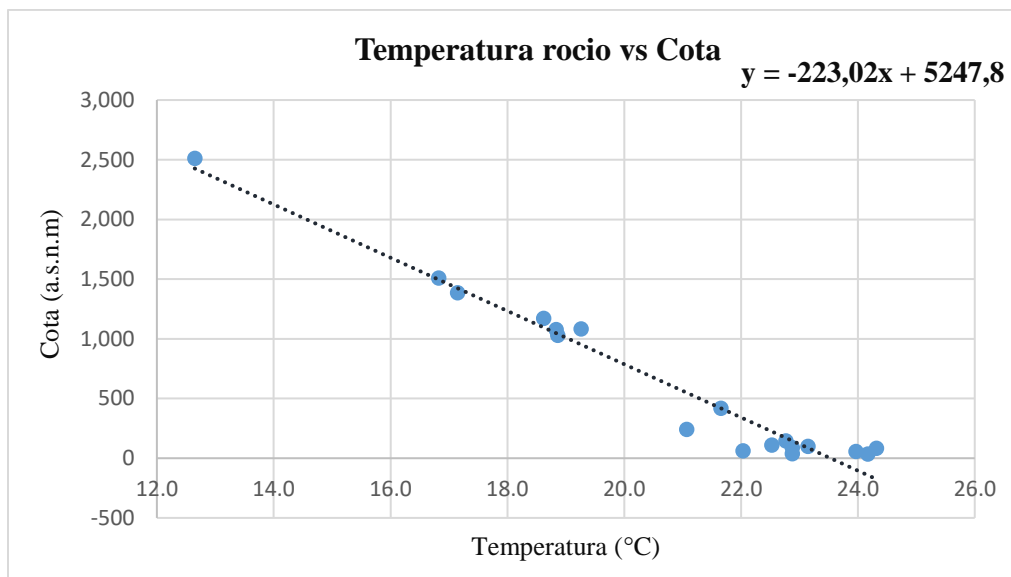
Para el caso de temperatura de rocío para los años Niño, la variable que mayor correlación presentó, fue la cota con un valor de -0,979 correlación inversamente proporcional como se observa en la Tabla 47.

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
<b>Valor de Correlación</b>		0,952	<b>-0,979</b>	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.

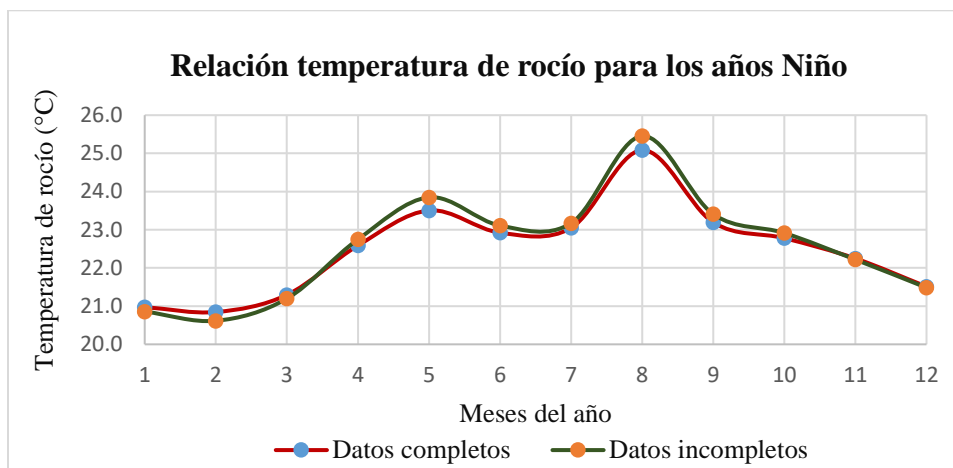
Tabla 48. Promedios totales mensuales de temperatura de rocío para los años Niño

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

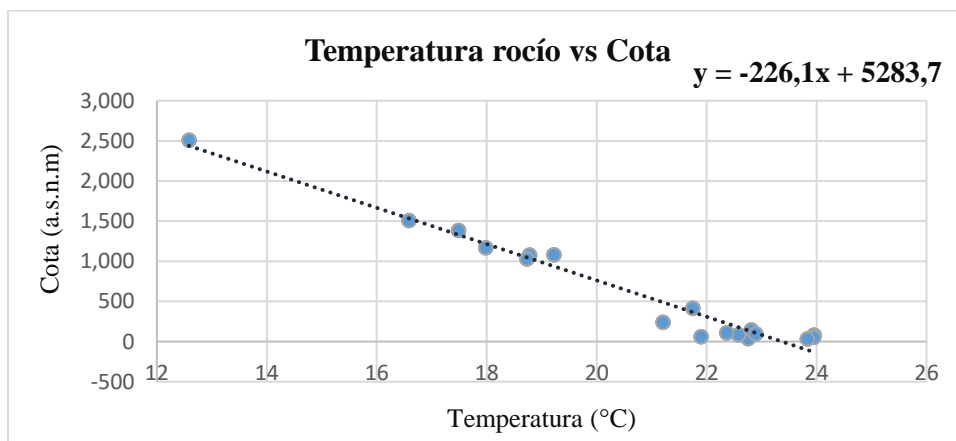
Estación Climatológica Terrestre	Temperatura de Rocío (°C)	Temperatura (°C)	Cota (m.s.n.m)	Brillo Solar (HM)	Humedad Relativa (%)
15015060	12,583	13,511	2511	75,586	93,748
16025030	18,780	22,681	1078	134,184	79,275
16055010	17,985	20,957	1171	156,455	83,781
16055020	19,223	21,442	1083		87,573
16055040	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
<b>Valor de Correlación</b>		0,959	<b>-0,982</b>	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:

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

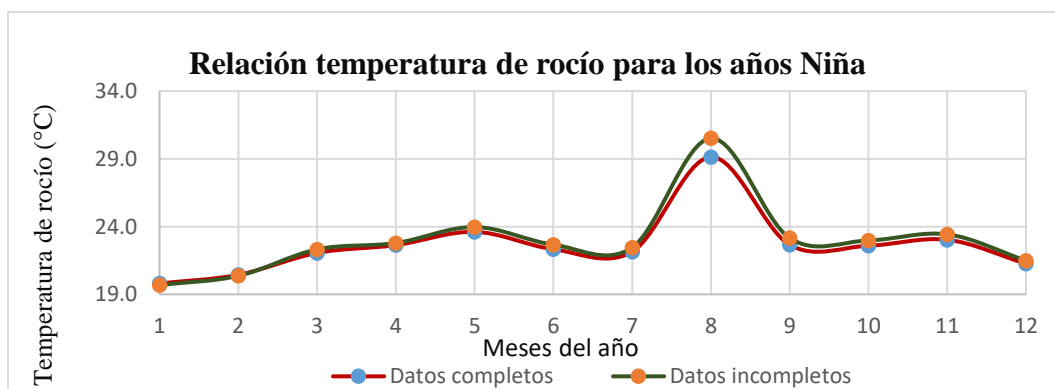
Adicionalmente se realizó la verificación de información, a través de una comparación de temperatura de rocío promedio total mensual de los años Niña incluyendo datos faltantes en relación con la temperatura de rocío promedio total mensual. Aplicando la ecuación, se pudo constatar que la tendencia de 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

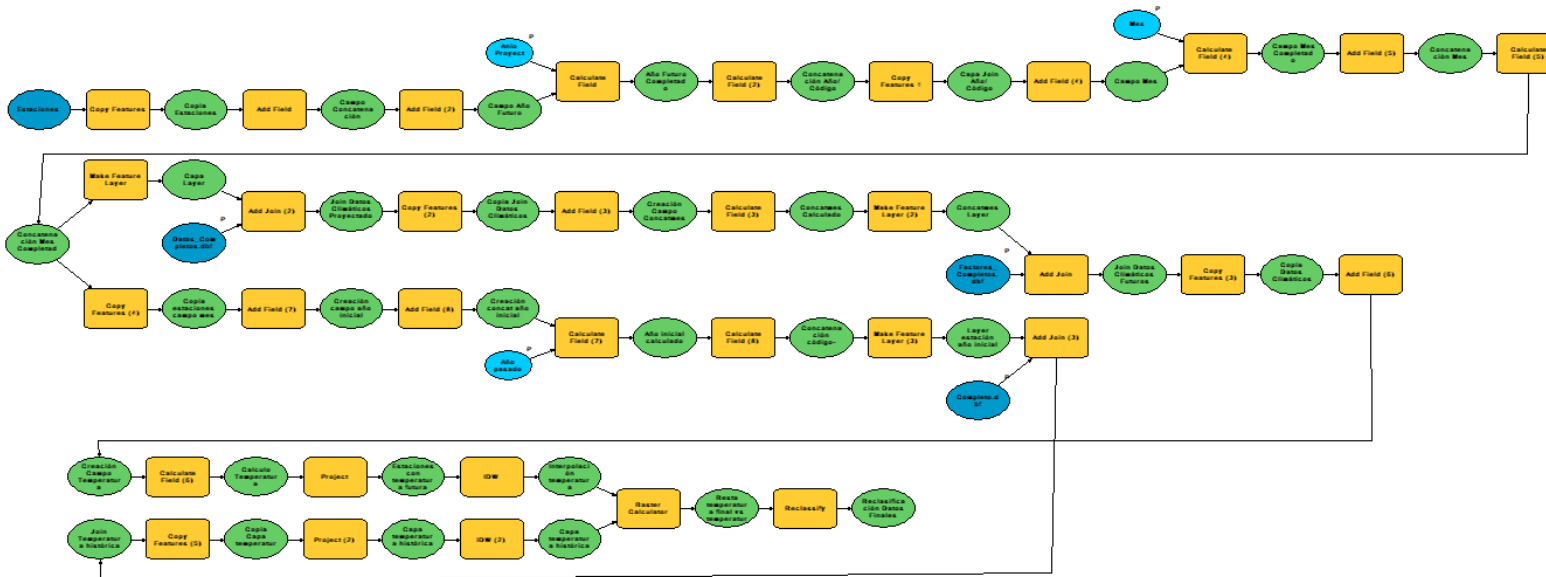
(1980-2016), estas tablas son el insumo para la generación del mapa histórico de temperatura (Ver anexo Temperatura\_Historica).

- 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

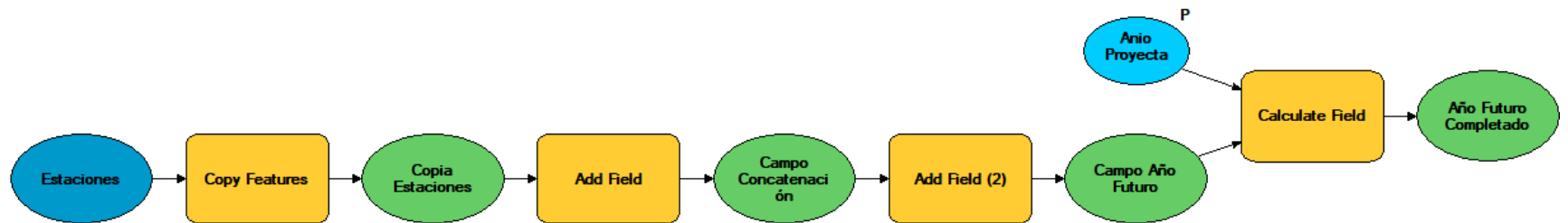


Fuente: Propia

## 10.4 SECCIONES DEL MODELO

### 10.4.1 Sección 1

Gráfica 52. Gráfico Sección 1 Modelo climatológico

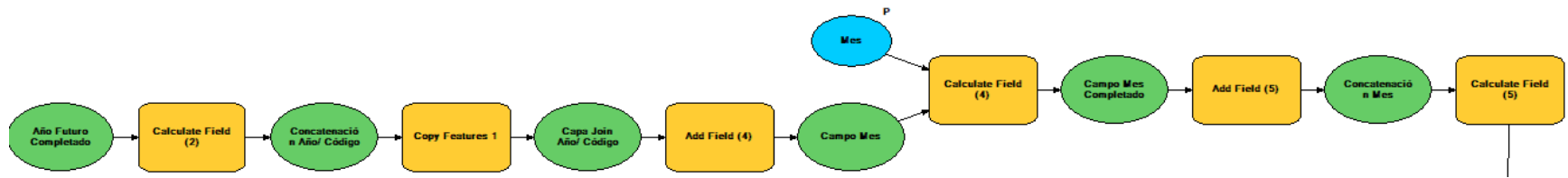


Fuente: Propia

- 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

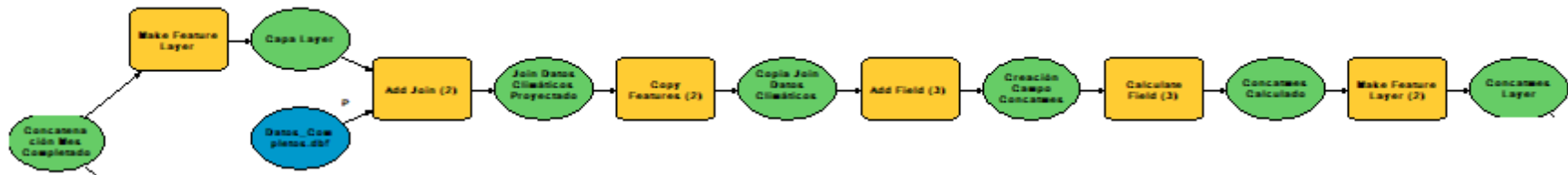


Fuente: Propia

- 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

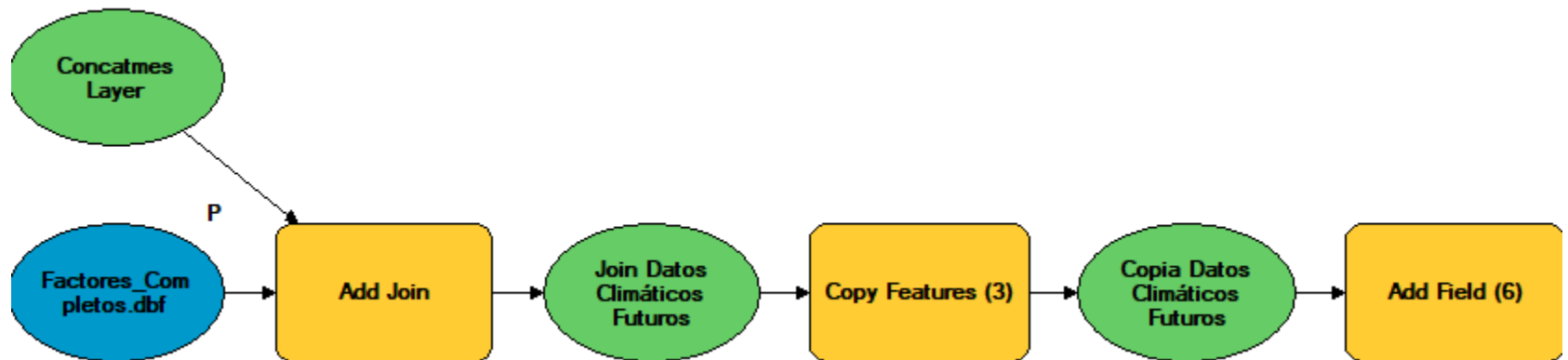


Fuente: Propia

- 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



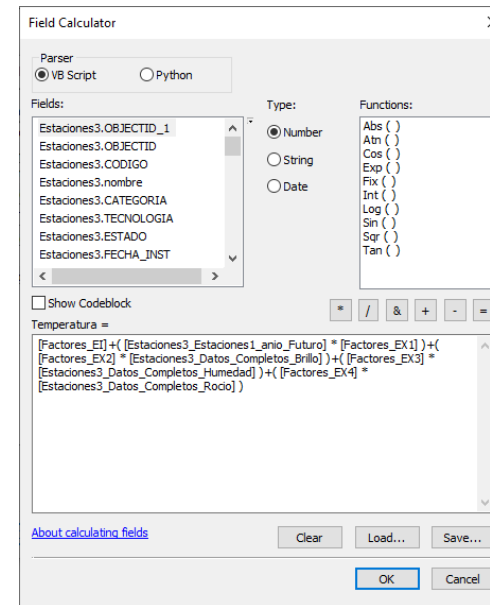
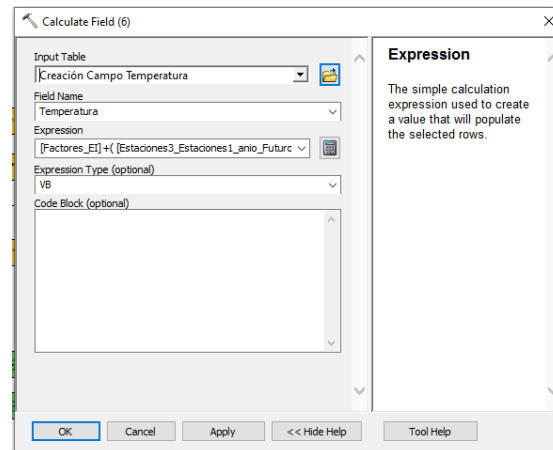
Fuente: Propia

- 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



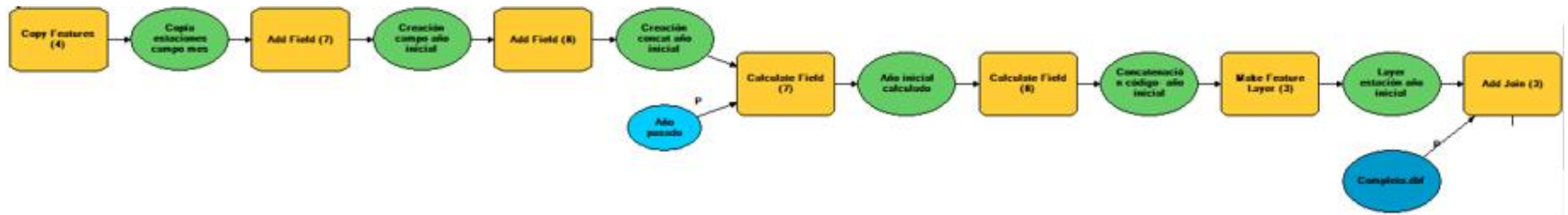
Fuente: Propia

- 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

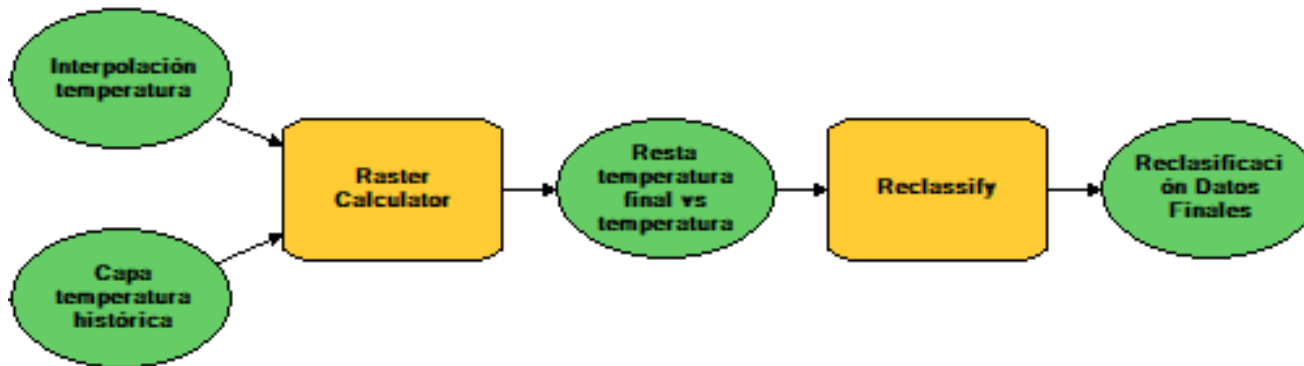


Fuente: Propia

- 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



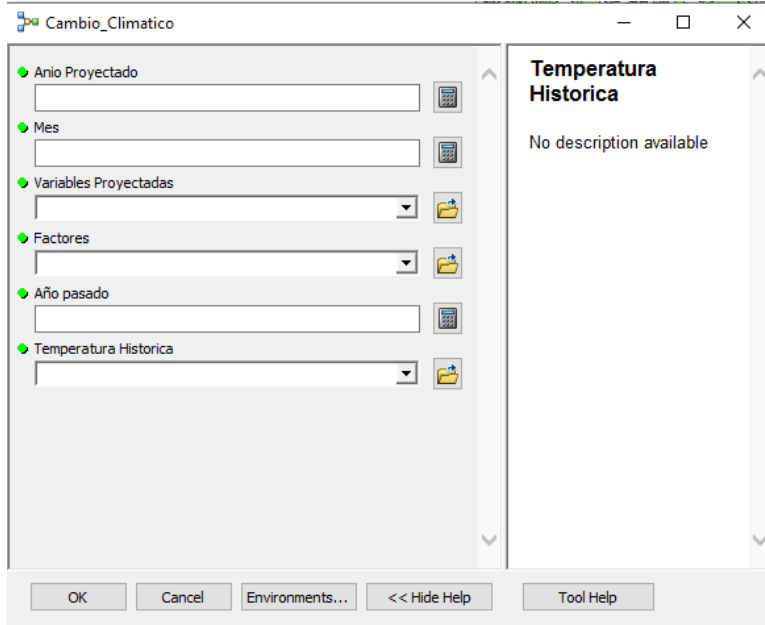
Fuente: Propia

*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

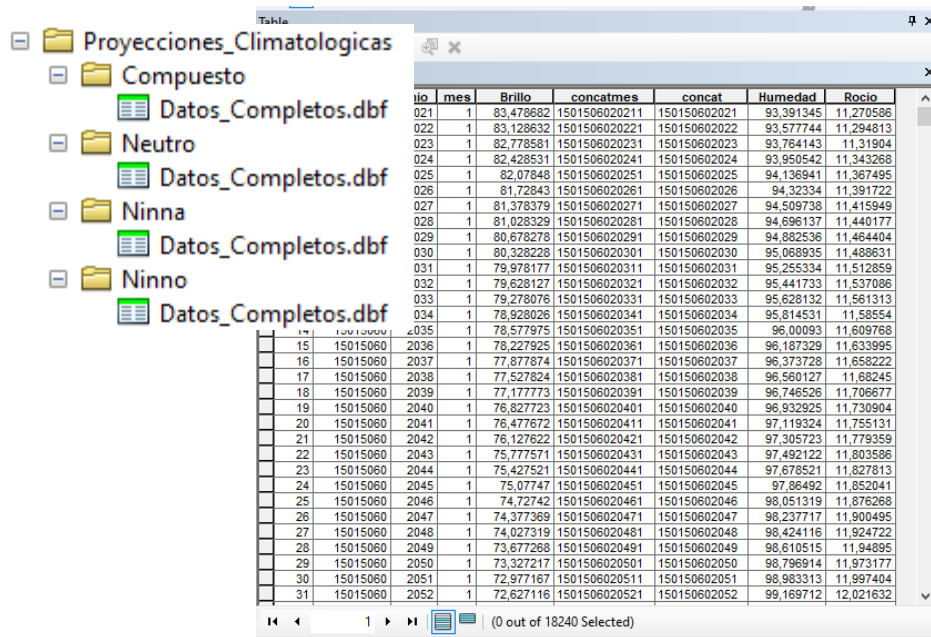


Fuente: Propia

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	Rocio
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

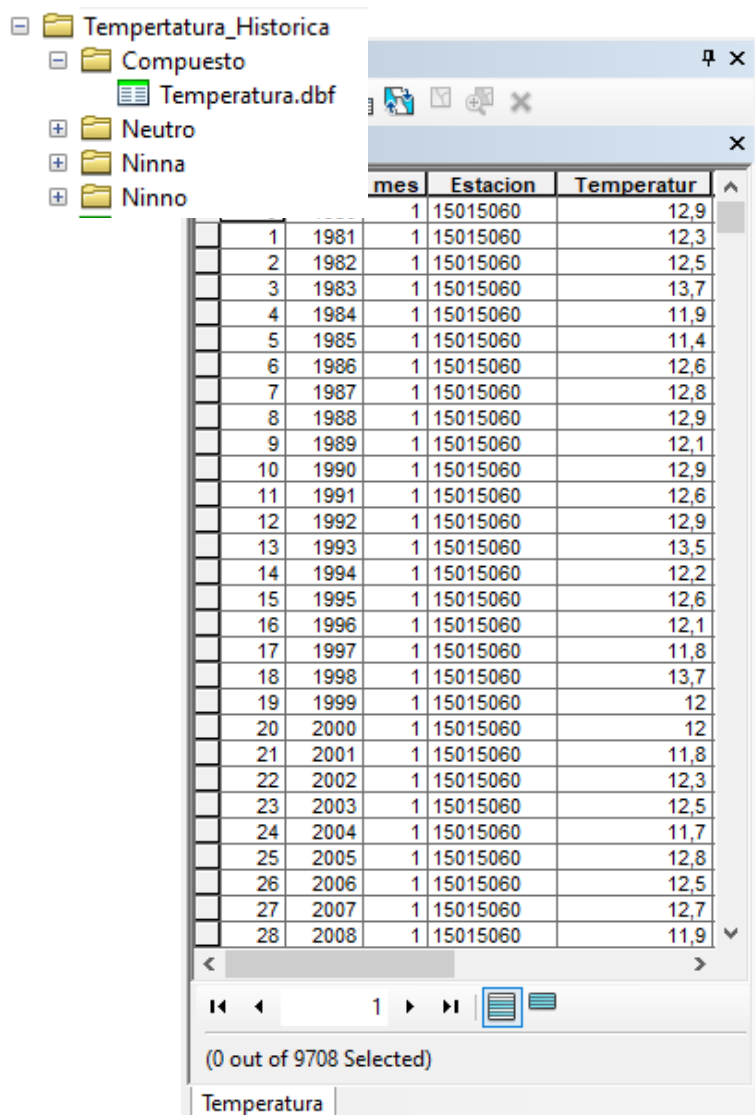
		EI	EX1	EX2	EX3	EX4	Estacion
1	1	21,09035	-0,002319	-0,000848	-0,161007	0,971832	15015060
1	1	11,53475	0,005025	-0,000054	-0,213357	0,958645	16025030
1	1	31,655184	-0,004424	-0,002287	-0,284586	1,267199	16055010
1	1	2,775112	0,008544	0	-0,190794	0,947925	16055020
1	1	-19,121458	0,019161	0,003908	-0,134936	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	15015060	12,3
2	15015060	12,5
3	15015060	13,7
4	15015060	11,9
5	15015060	11,4
6	15015060	12,6
7	15015060	12,8
8	15015060	12,9
9	15015060	12,1
10	15015060	12,9
11	15015060	12,6
12	15015060	12,9
13	15015060	13,5
14	15015060	12,2
15	15015060	12,6
16	15015060	12,1
17	15015060	11,8
18	15015060	13,7
19	15015060	12
20	15015060	12
21	15015060	11,8
22	15015060	12,3
23	15015060	12,5
24	15015060	11,7
25	15015060	12,8
26	15015060	12,5
27	15015060	12,7
28	15015060	11,9

Fuente: Propia

### 10.5.1 Resultados de proyección

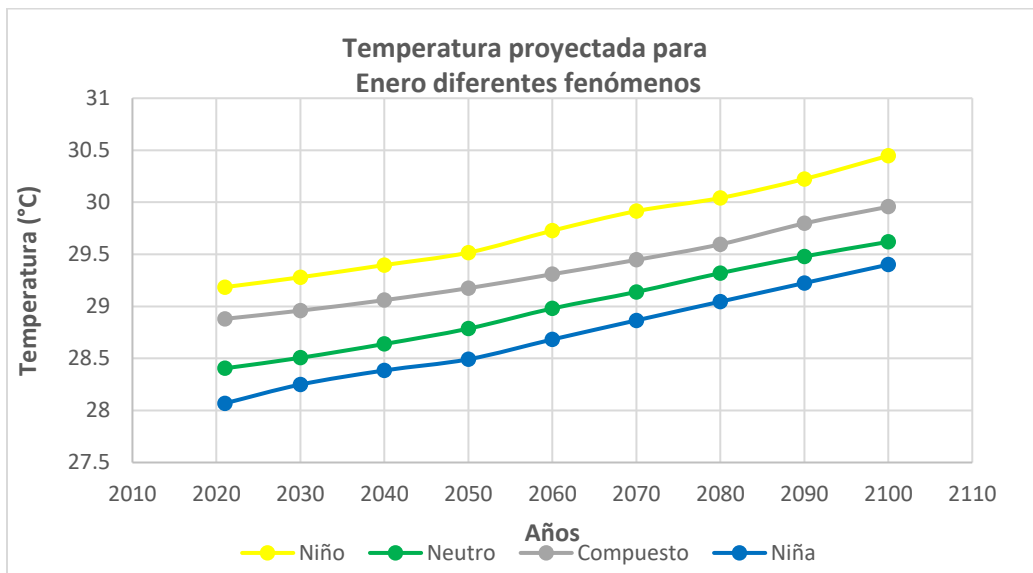
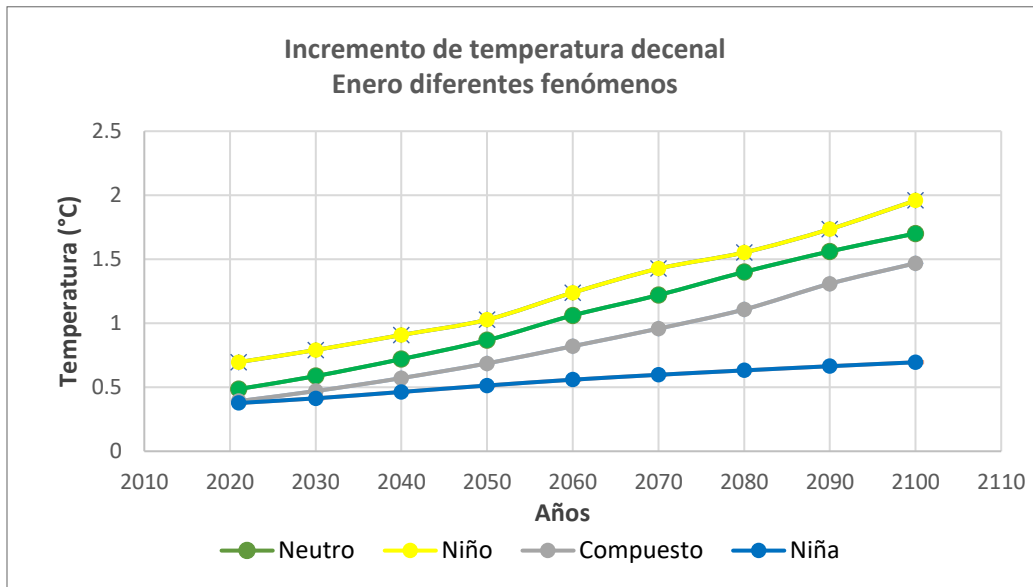
Al final de la ejecución del modelo se genera una capa con la variación de la temperatura entre el año de referencia y el año futuro definidos en el momento de la ejecución del modelo y la temperatura proyectada para el periodo seleccionado.

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:

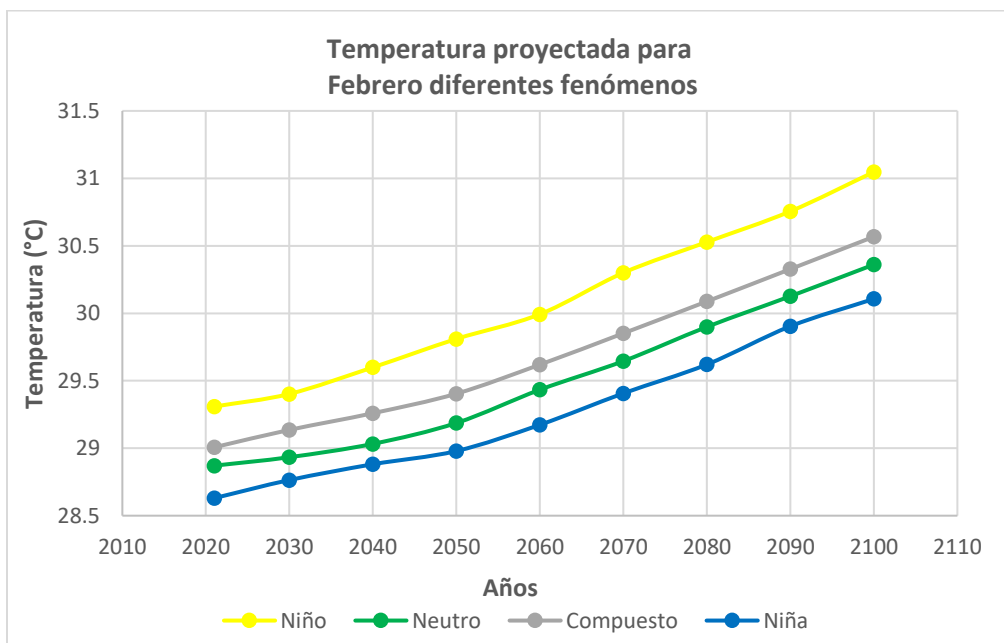
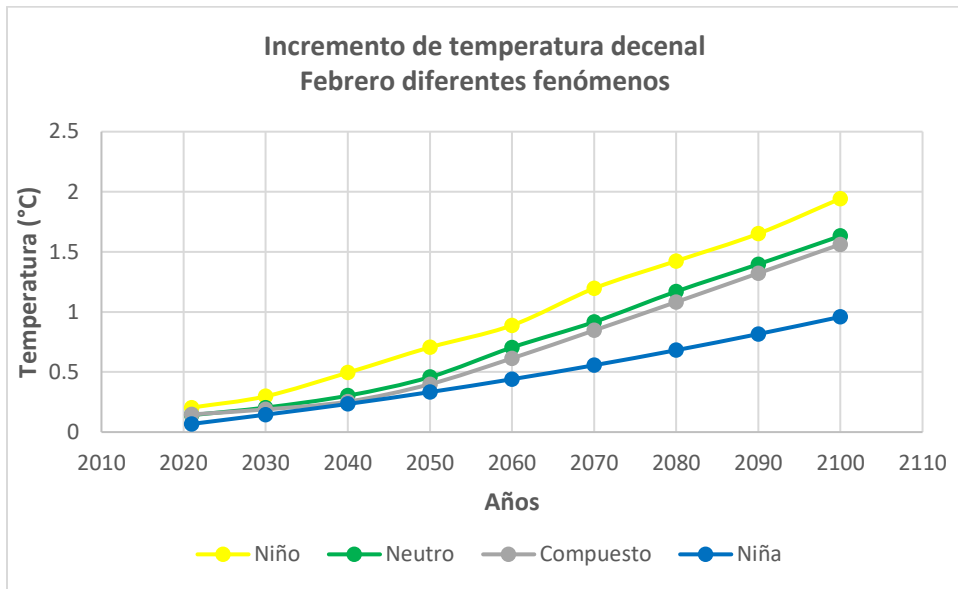


Gráfica 64. Incremento de temperatura previsto mes de enero



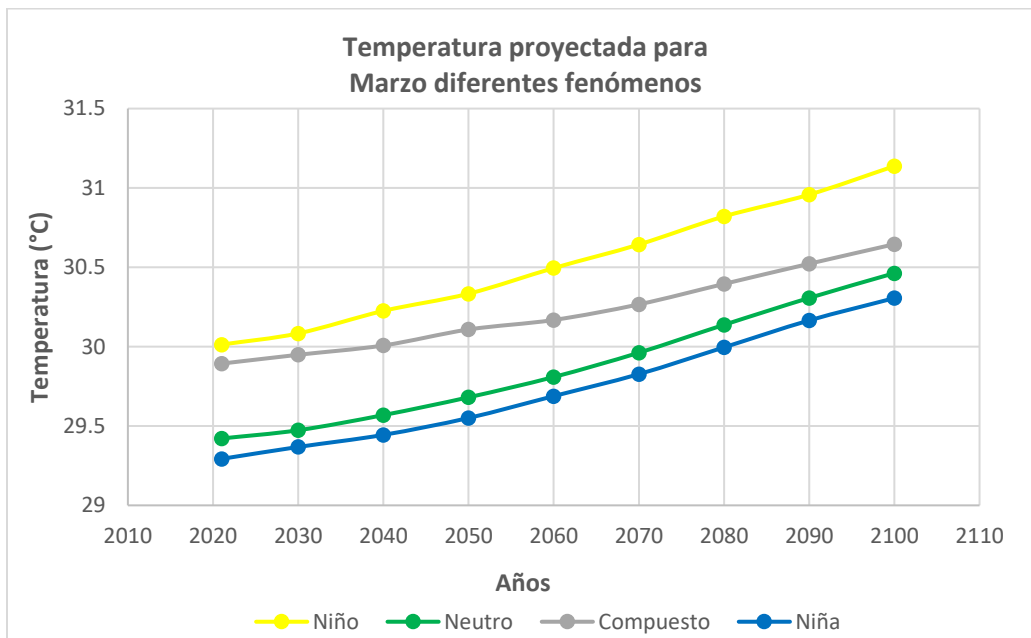
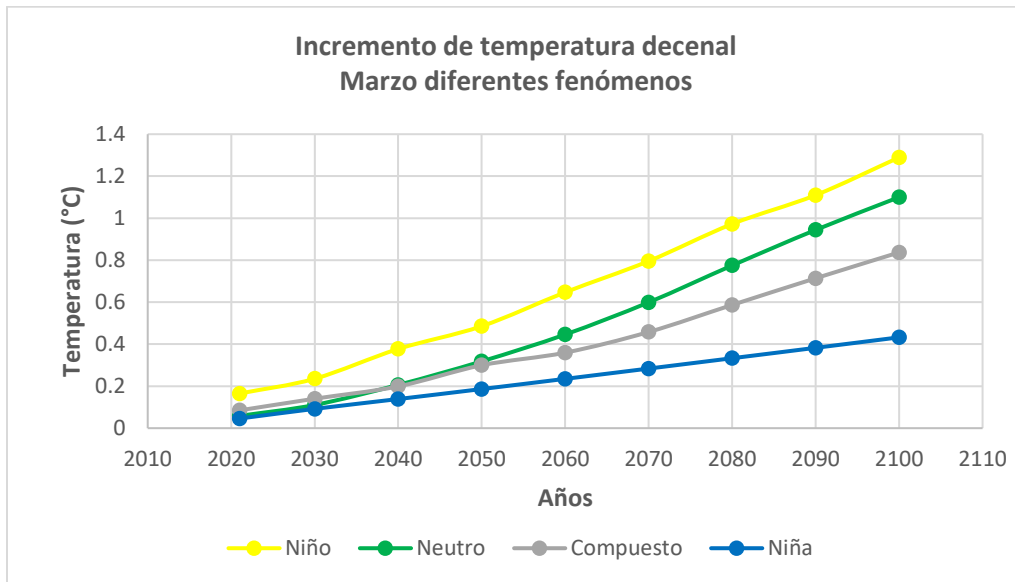
Para el mes de enero ocurre un comportamiento esperado en los diferentes escenarios, se estima una diferencia de casi medio grado para final de siglo entre un año neutro con un año compuesto.

Gráfica 65. Incremento de temperatura previsto mes de febrero



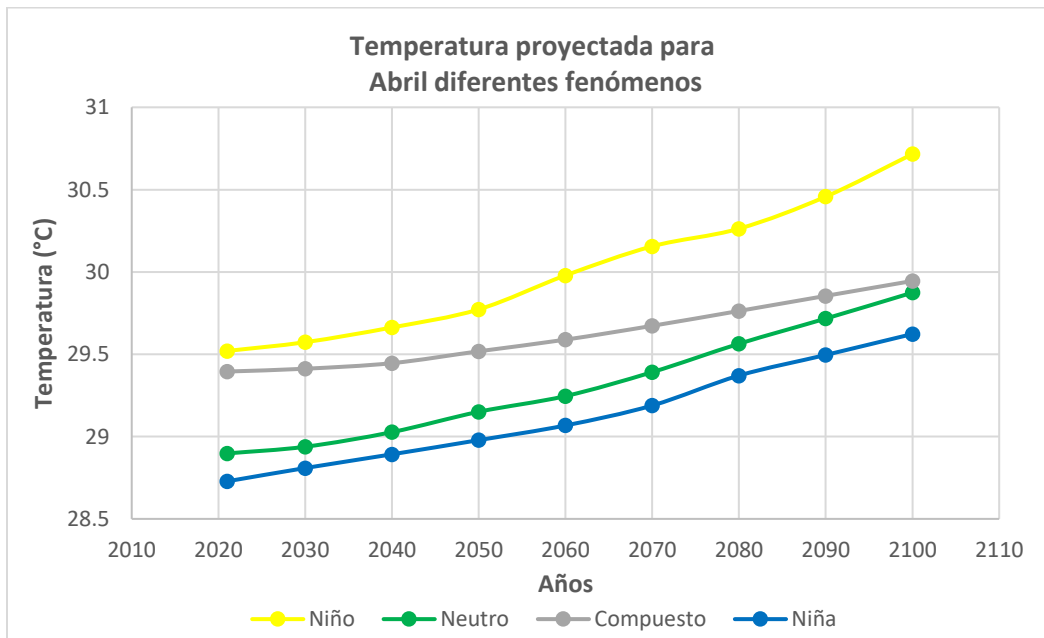
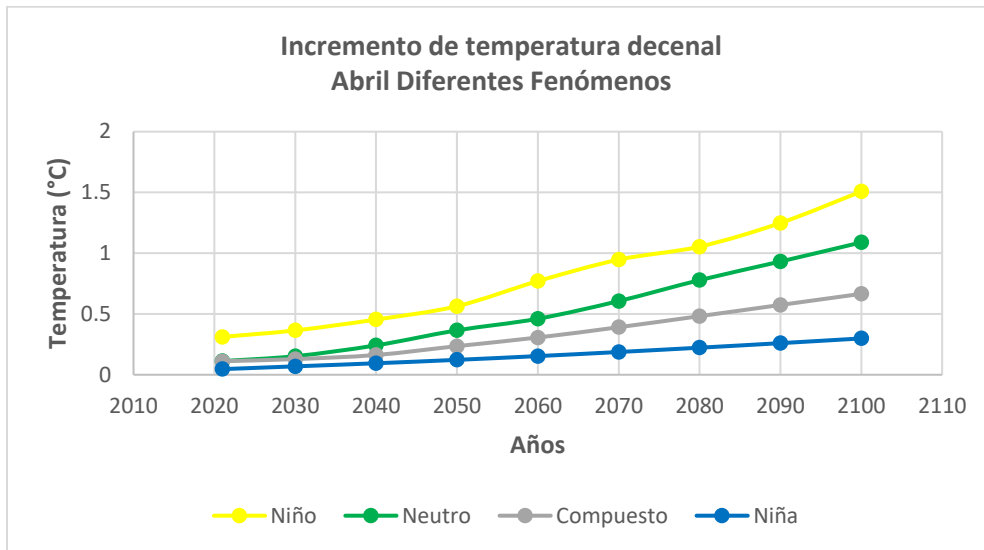
Para el mes de febrero ocurre un comportamiento esperado para casi todo el periodo 2030 – 2100, con una diferencia de 1.5°C entre los años niño y niña para el año 2100.

Gráfica 66. Incremento de temperatura prevista mes de marzo



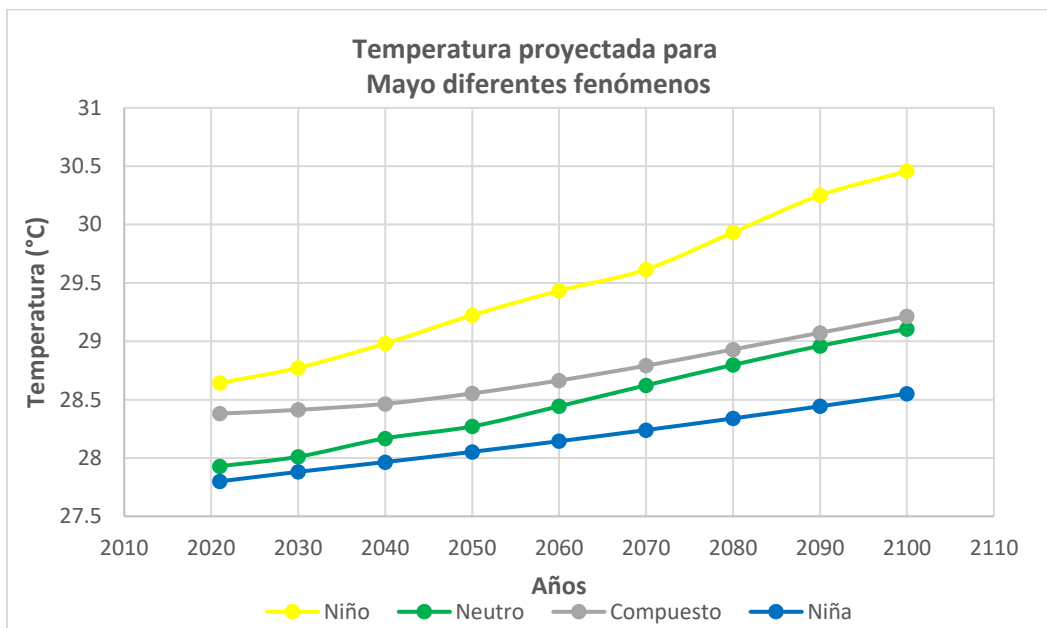
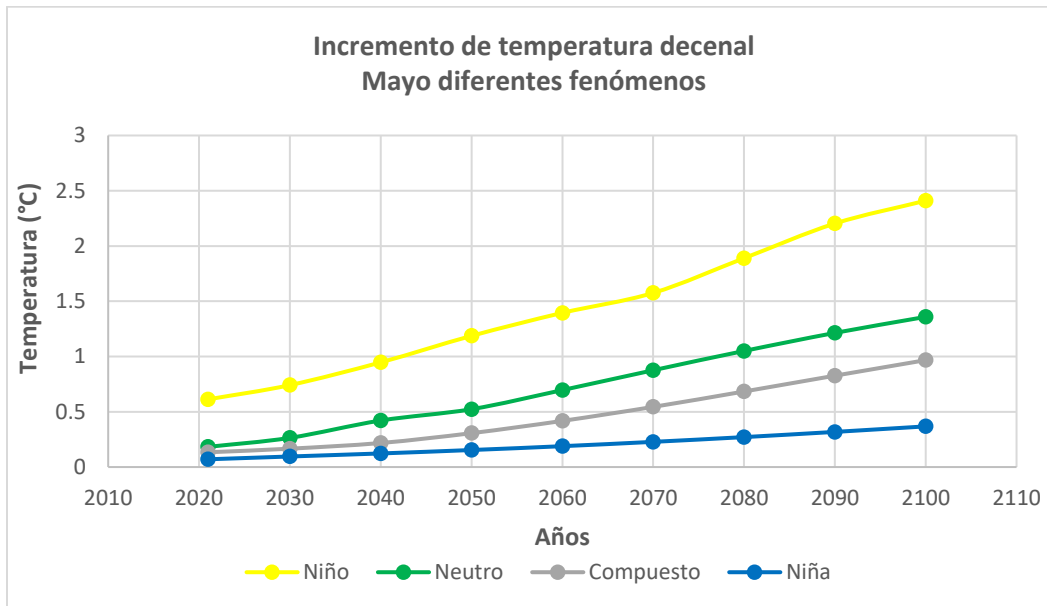
Para el periodo de marzo destaca el leve incremento que experimenta el escenario niña a través de los años.

Gráfica 67. Incremento de temperatura previsto mes de abril



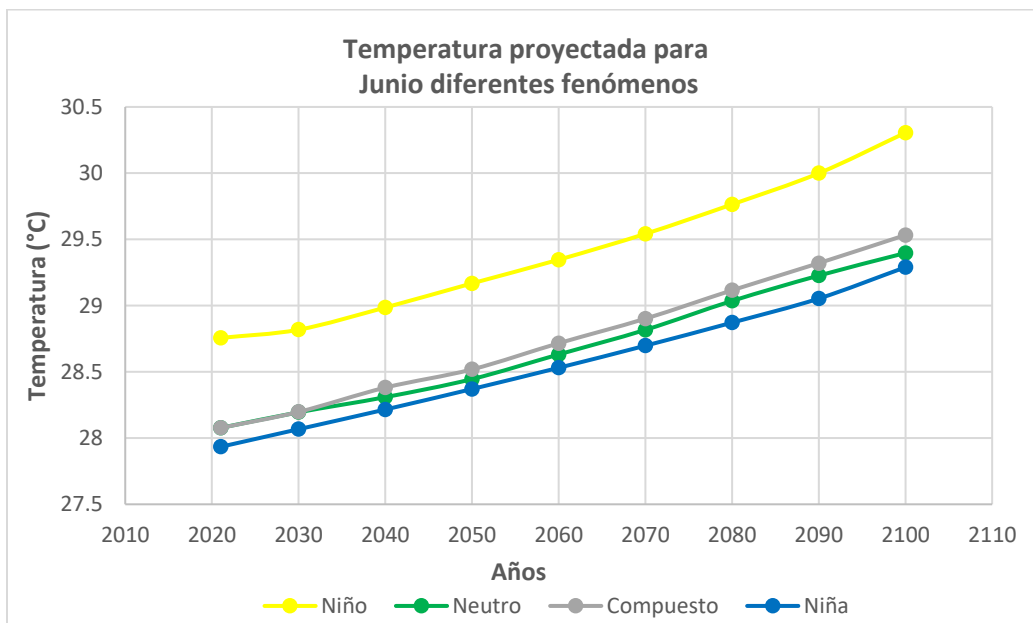
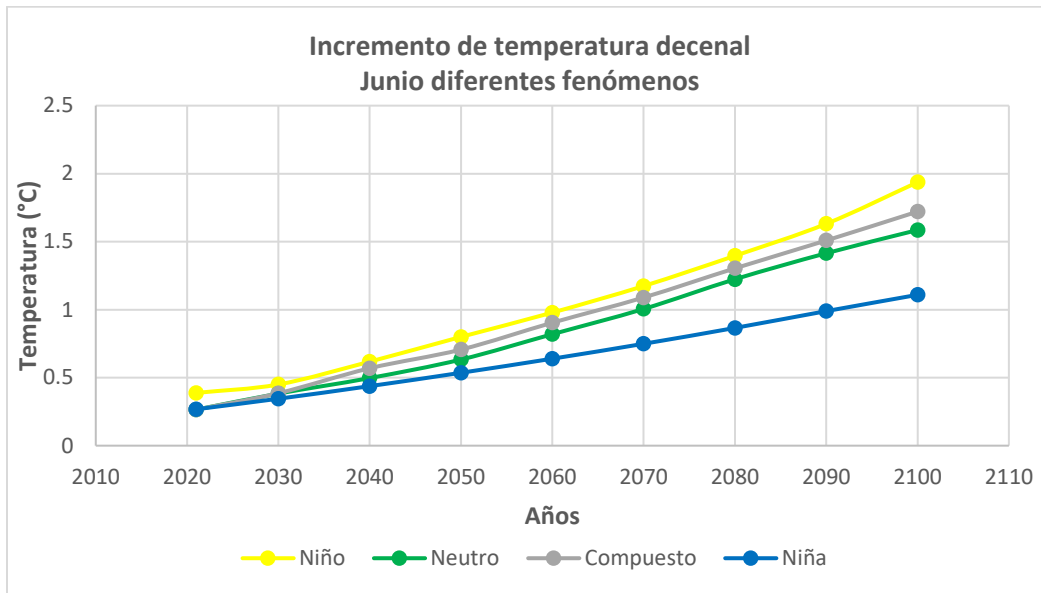
Para el periodo de abril se destaca la similitud entre el comportamiento del año neutro con el año niña, así como también la diferencia de más de un grado que mantienen estos dos escenarios con respecto al escenario niño, que permanece sin mucha variación en el tiempo.

Gráfica 68. Incremento de temperatura previsto mes de mayo



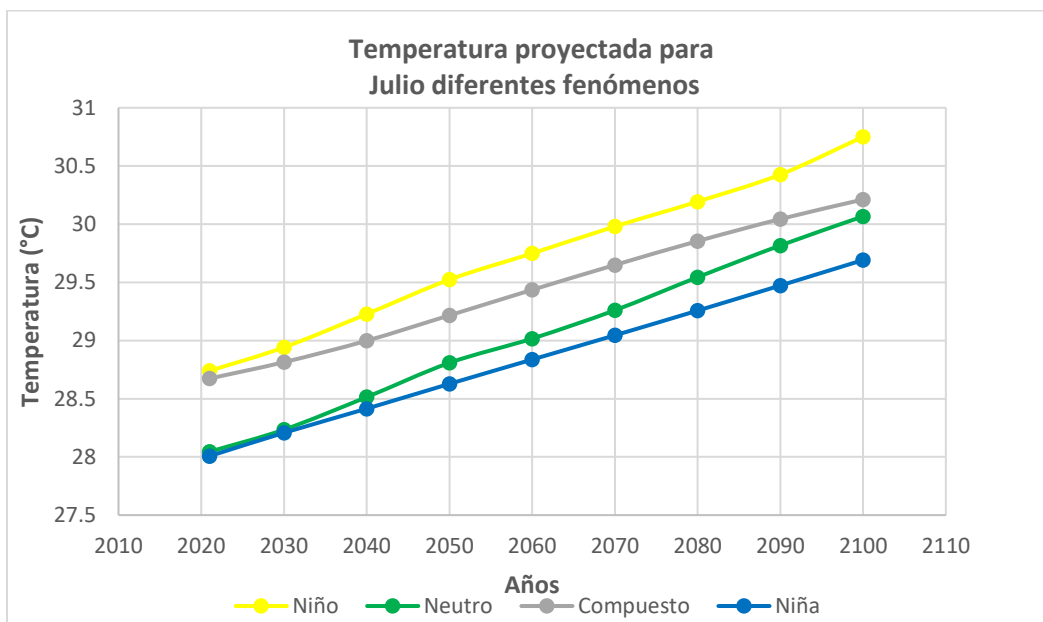
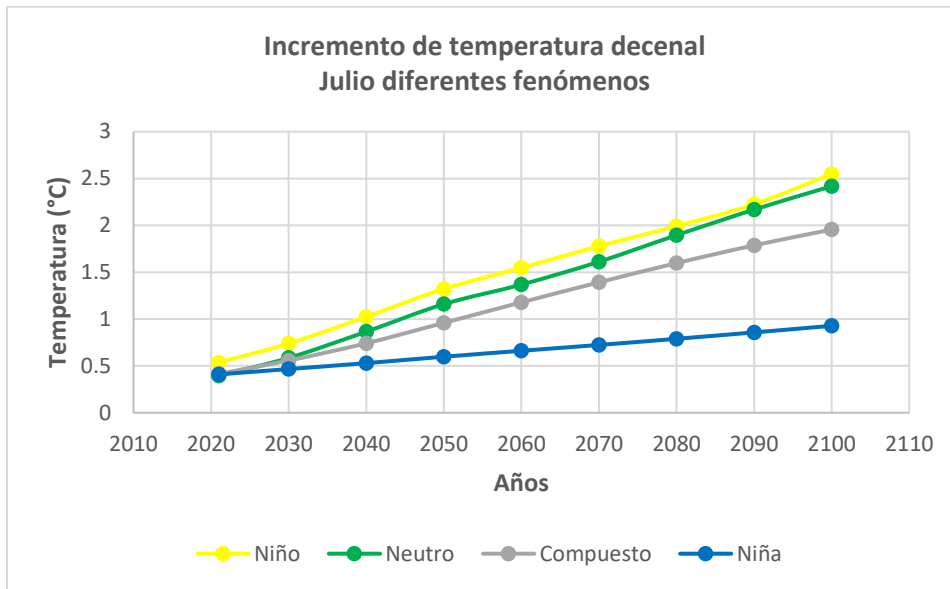
Para el mes de mayo se proyecta el comportamiento estándar en el cual el mayor incremento de temperatura ocurre en año niño seguido de año compuesto, año neutro y finalmente año niña.

Gráfica 69. Incremento de temperatura previsto mes de junio



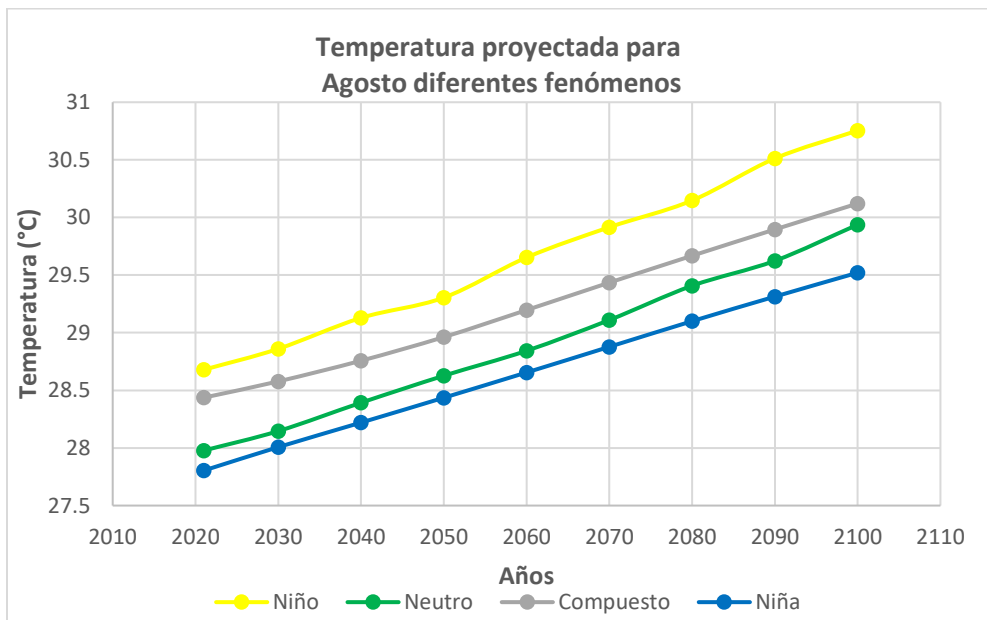
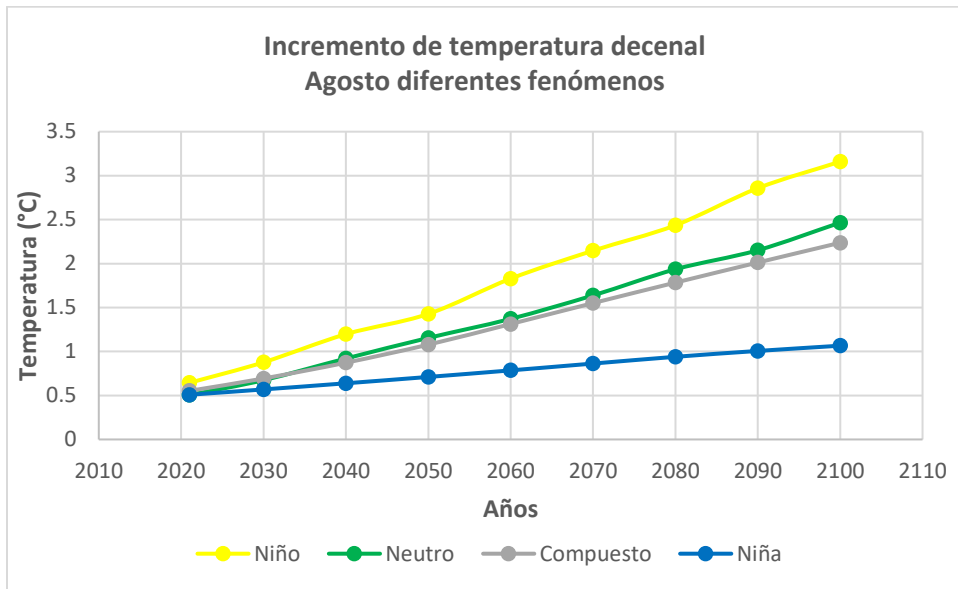
Para los meses de junio se ve una gran similitud en el comportamiento de los años compuesto, neutro y niña.

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.

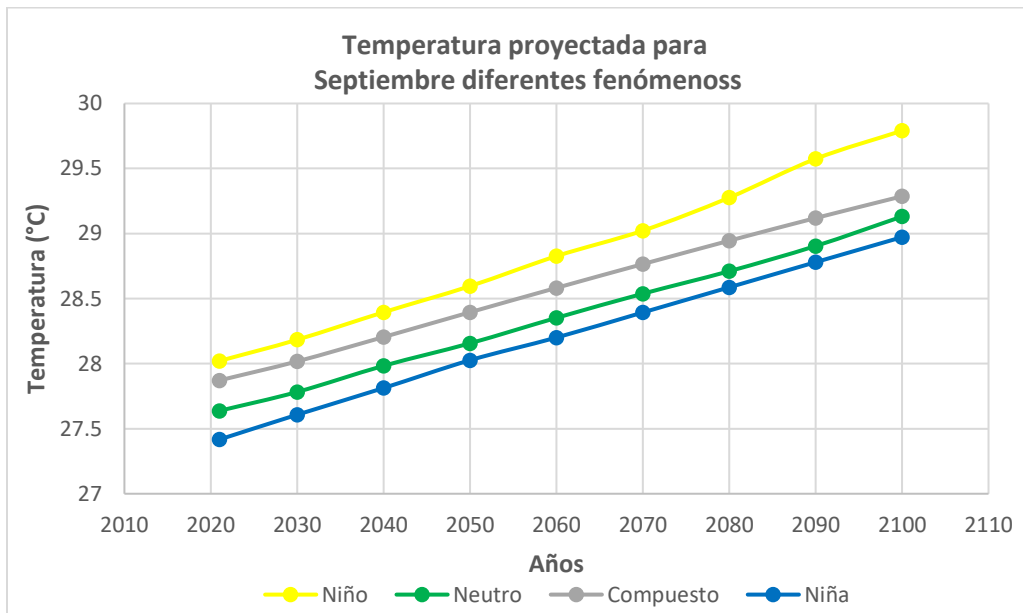
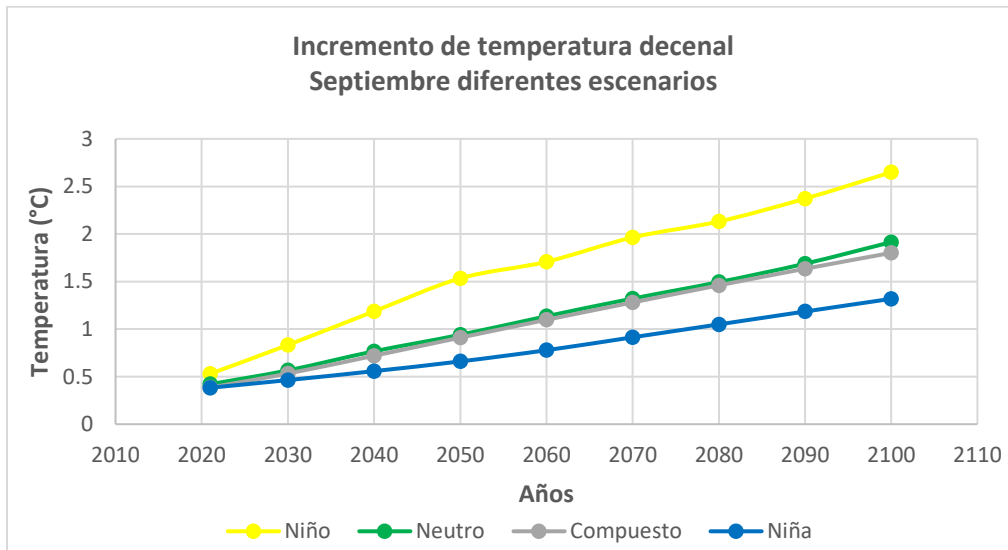
Gráfica 71. Incremento de temperatura previsto mes de agosto



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

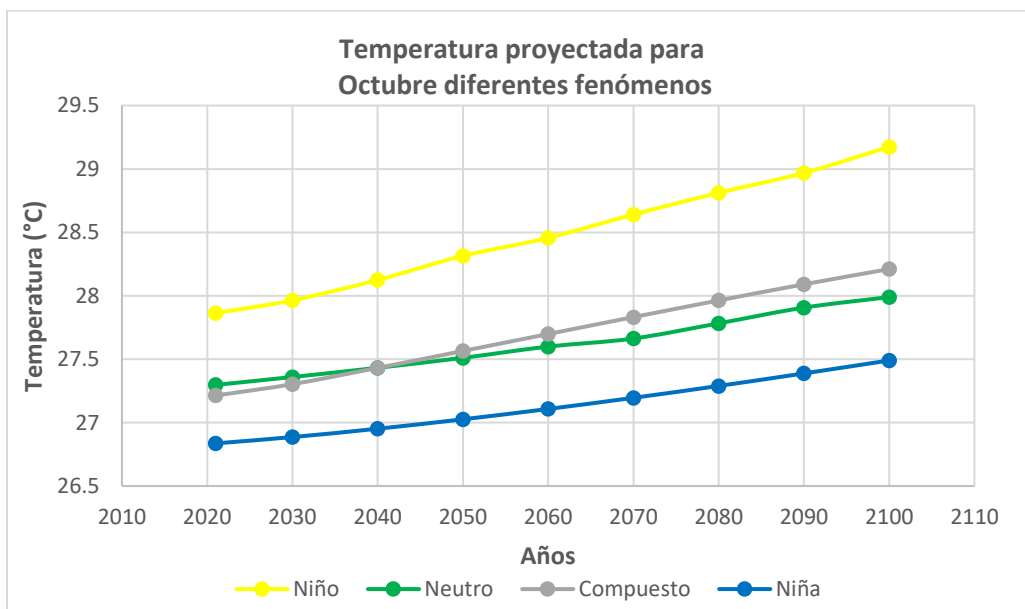
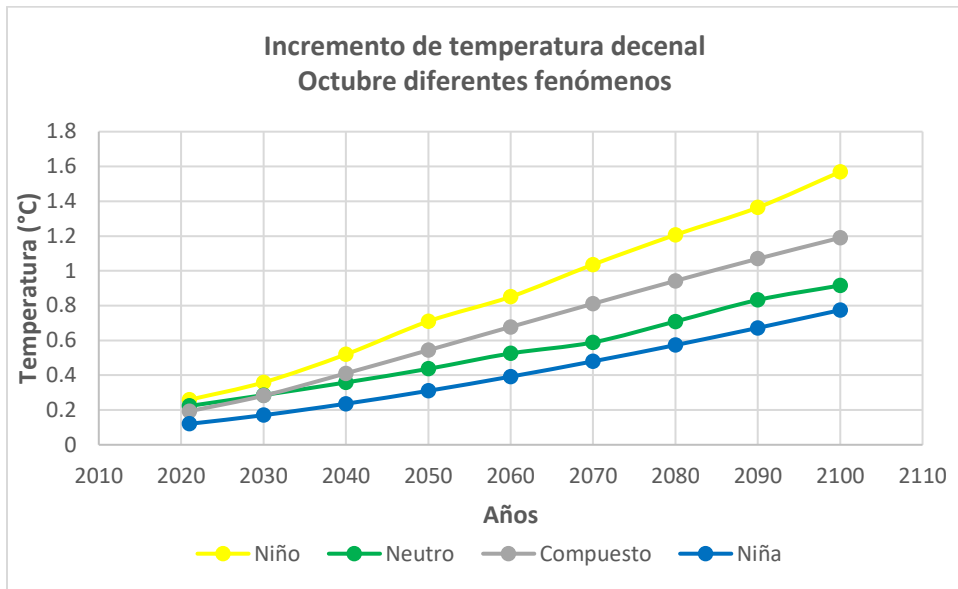


Gráfica 72. Incremento de temperatura prevista mes de septiembre



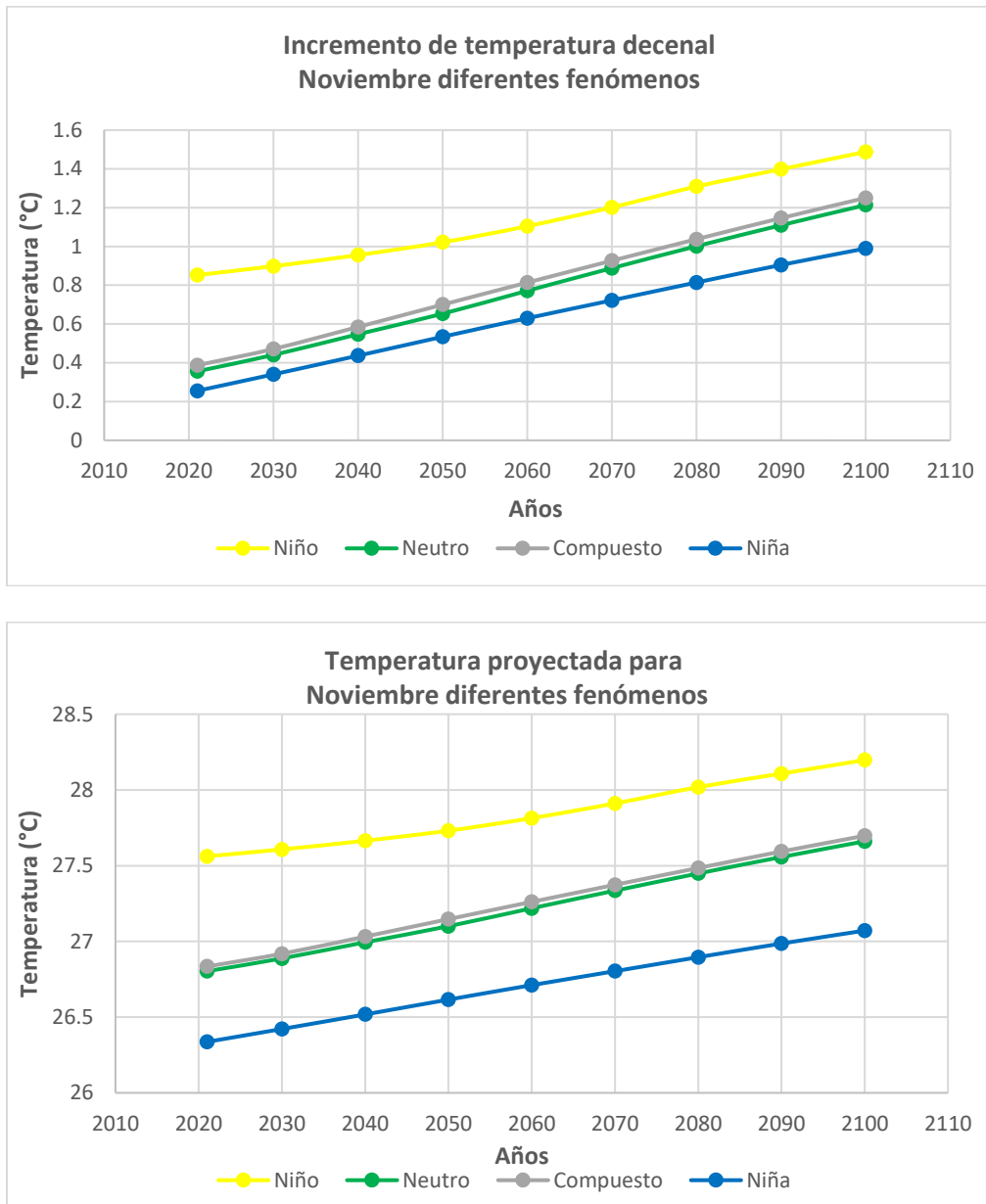
Para el mes de septiembre se prevé un aumento similar de los 4 fenómenos climatológicos.

Gráfica 73. Incremento de temperatura prevista mes de octubre



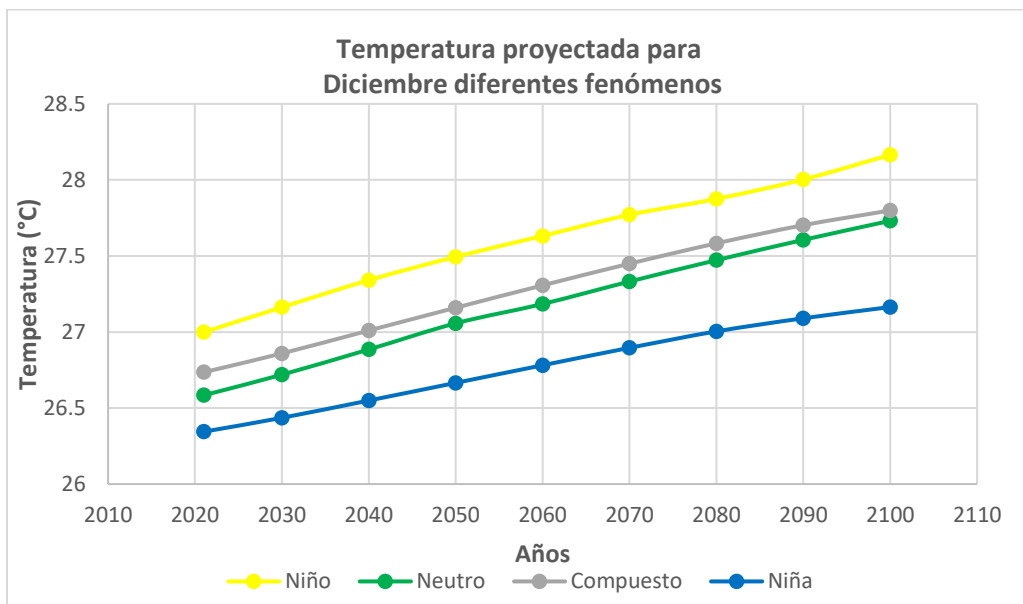
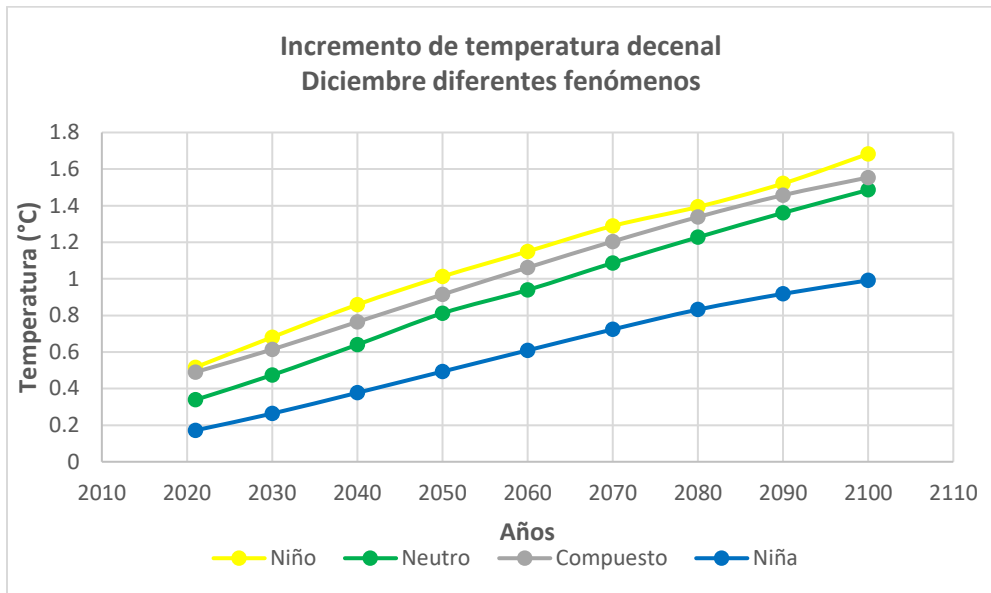
Para el mes de octubre se ve un comportamiento muy similar entre los años neutro y compuesto y una diferencia de alrededor de 1.5 °C para los años niño y niña.

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



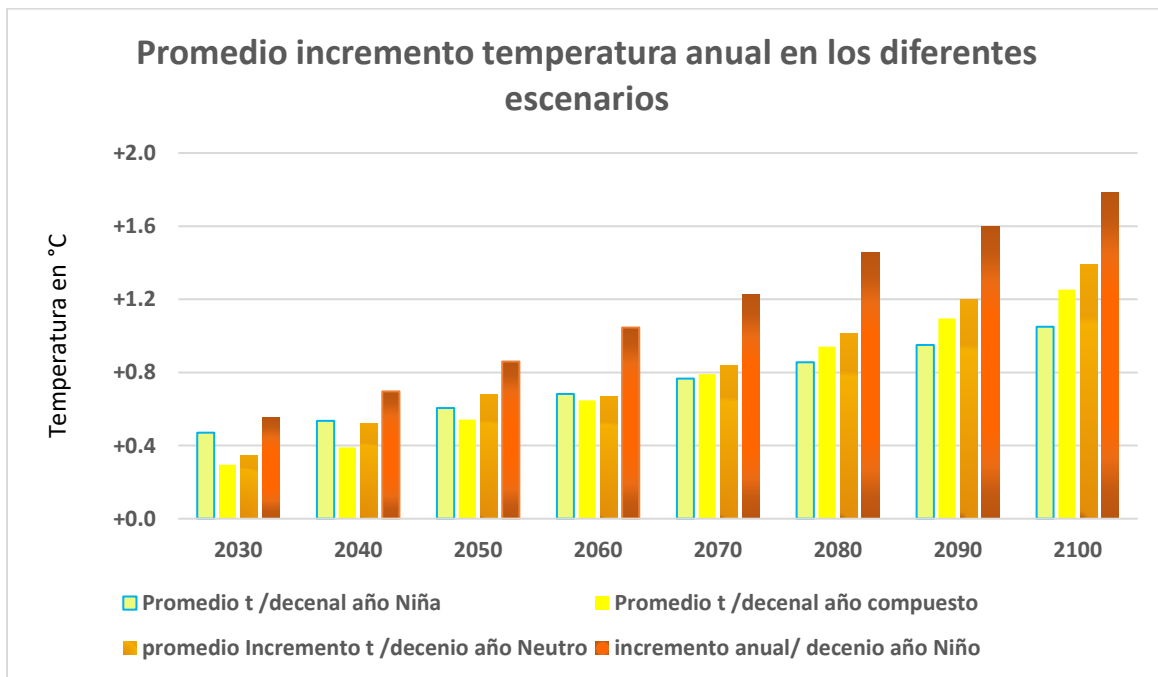
Para el mes de diciembre destaca un comportamiento muy similar entre los 4 fenómenos climatológicos.

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



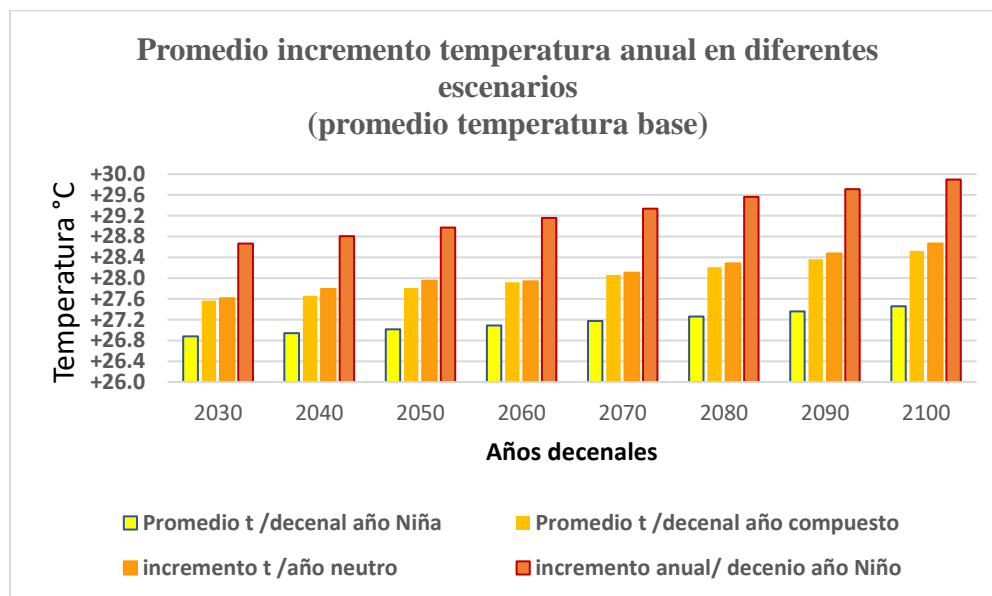
En la gráfica 76 se observa que a medida que se acerca al 2100 se acentúan más los cambios entre los diferentes regímenes (siendo el año niño el de mayor incremento y año niña el de menor incremento).

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

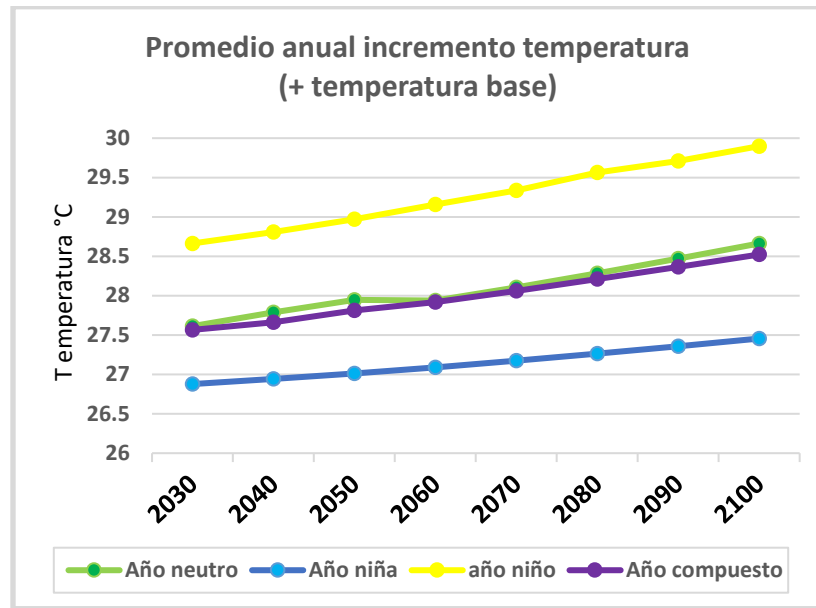
Temperatura base + promedio incremento anual				
Año	Promedio cambio Anual Año niño	Promedio Anual Año niña	Promedio cambio Anual Año neutro	Promedio cambio Anual Año compuesto
2030	28,663	26,878	27,614	27,566
2040	28,809	26,942	27,790	27,661
2050	28,972	27,012	27,948	27,811
2060	29,158	27,089	27,937	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

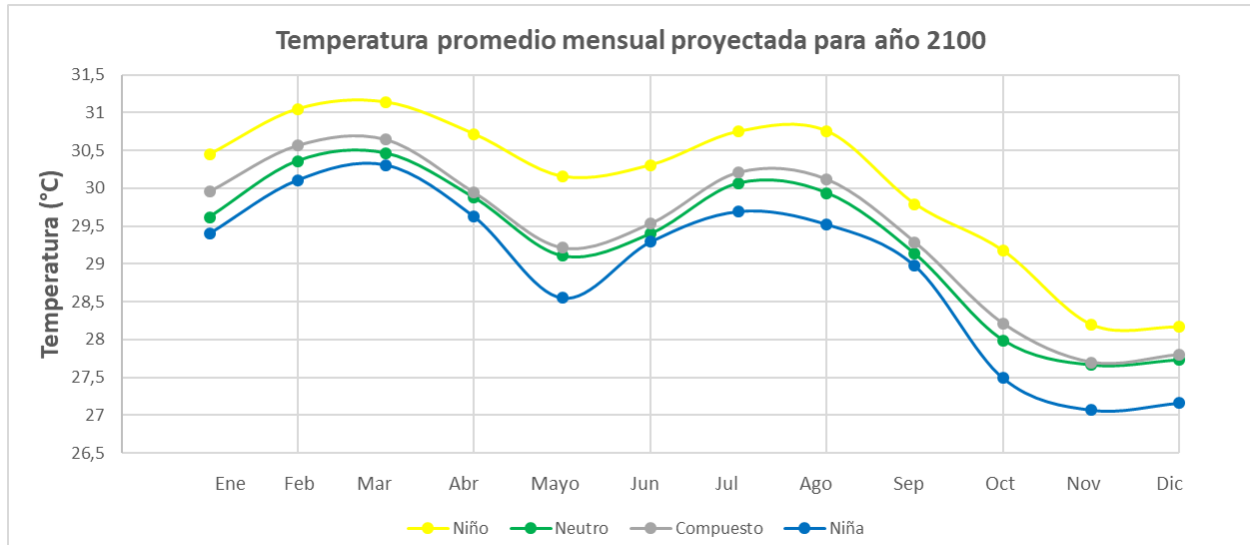


La presente gráfica presenta el promedio del incremento de la temperatura incluyendo el promedio de la temperatura base para cada escenario.

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.

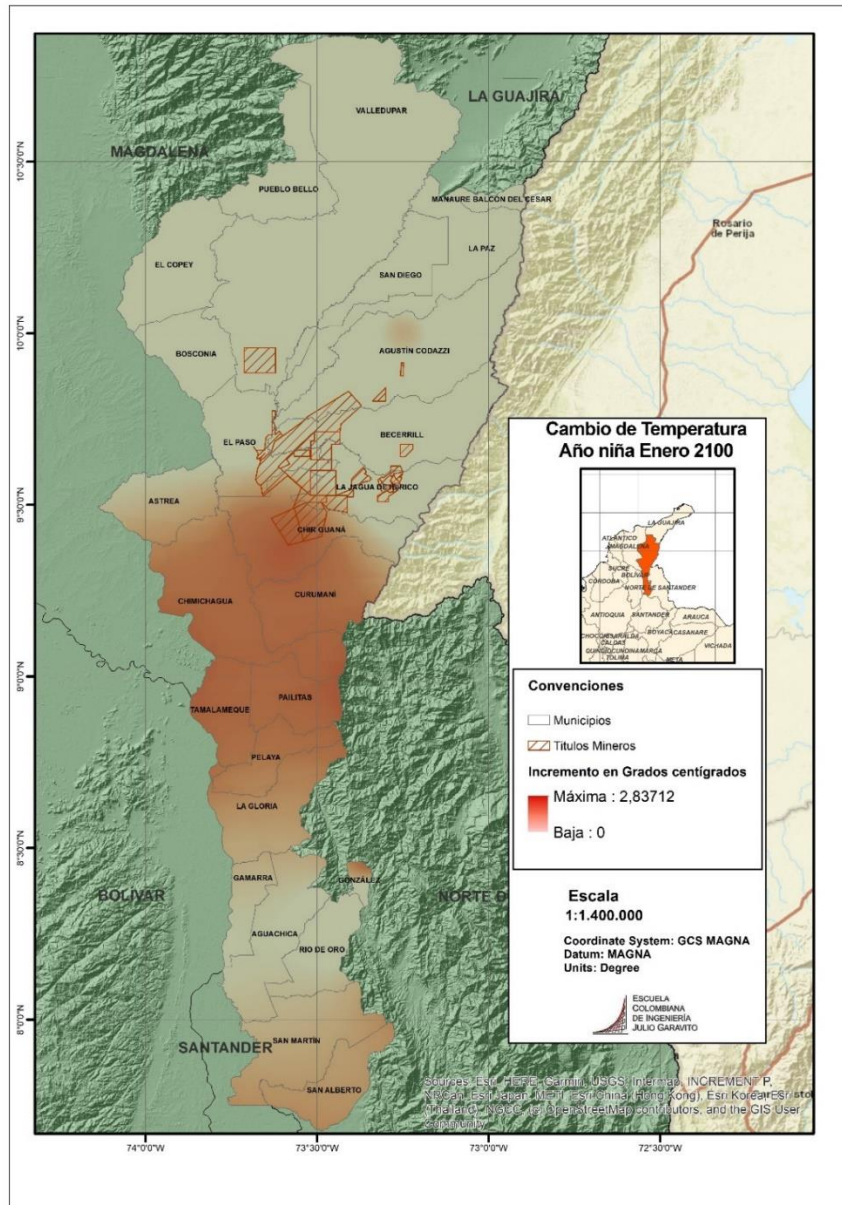
En cuanto a los meses seleccionados para la modelación, se encontró que de acuerdo con los datos de temperatura históricos reportados por el IDEAM, marzo es el mes con mayor registro de temperatura, octubre registró temperaturas denominadas como “frescas” y enero, se caracteriza por ser un mes de transición 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:



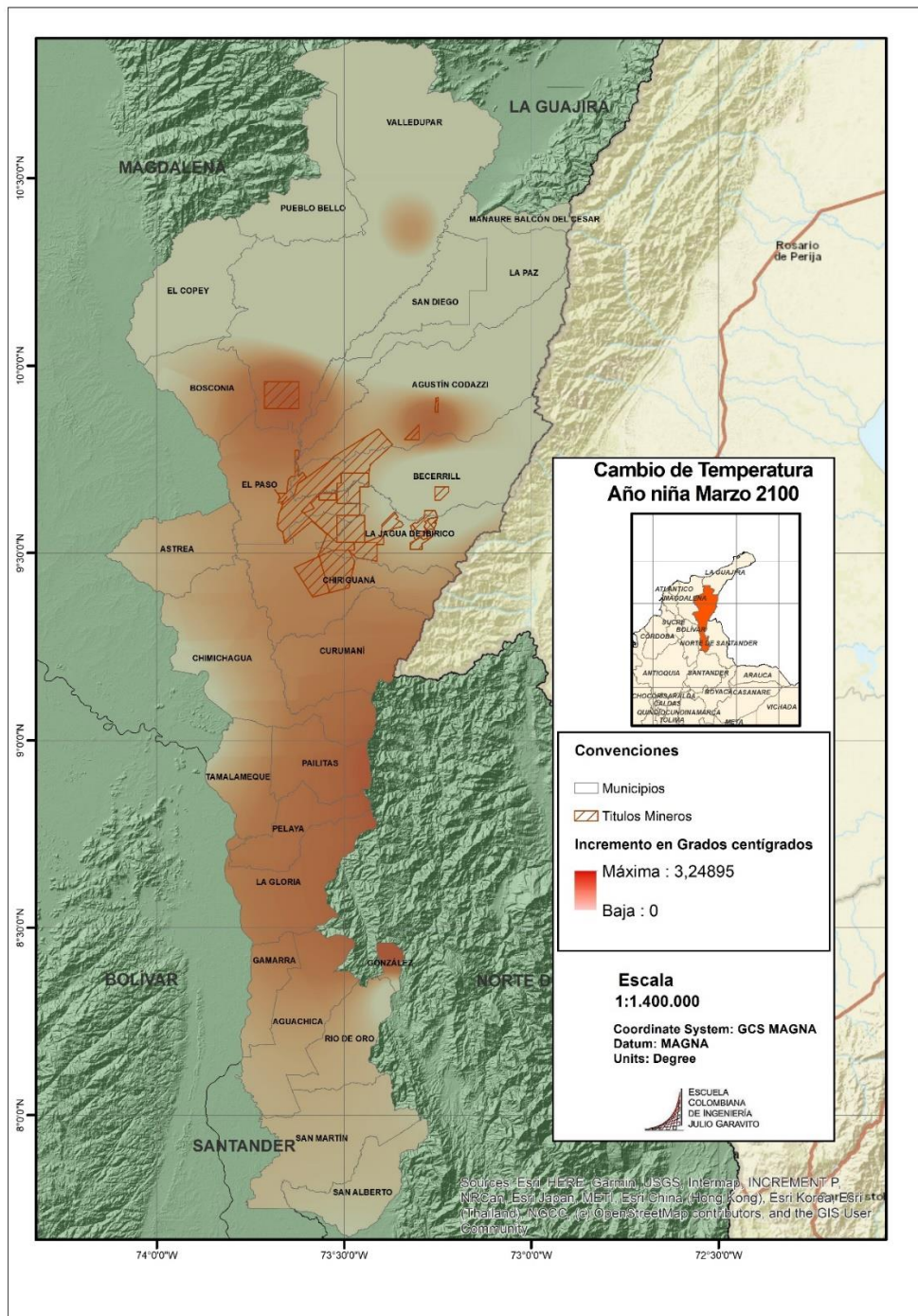
Cambio de temperatura para año 2100 en diferentes escenarios  
Año Niña

Gráfica 80. Gráfico Cambio de temperatura enero para 2100 año niña



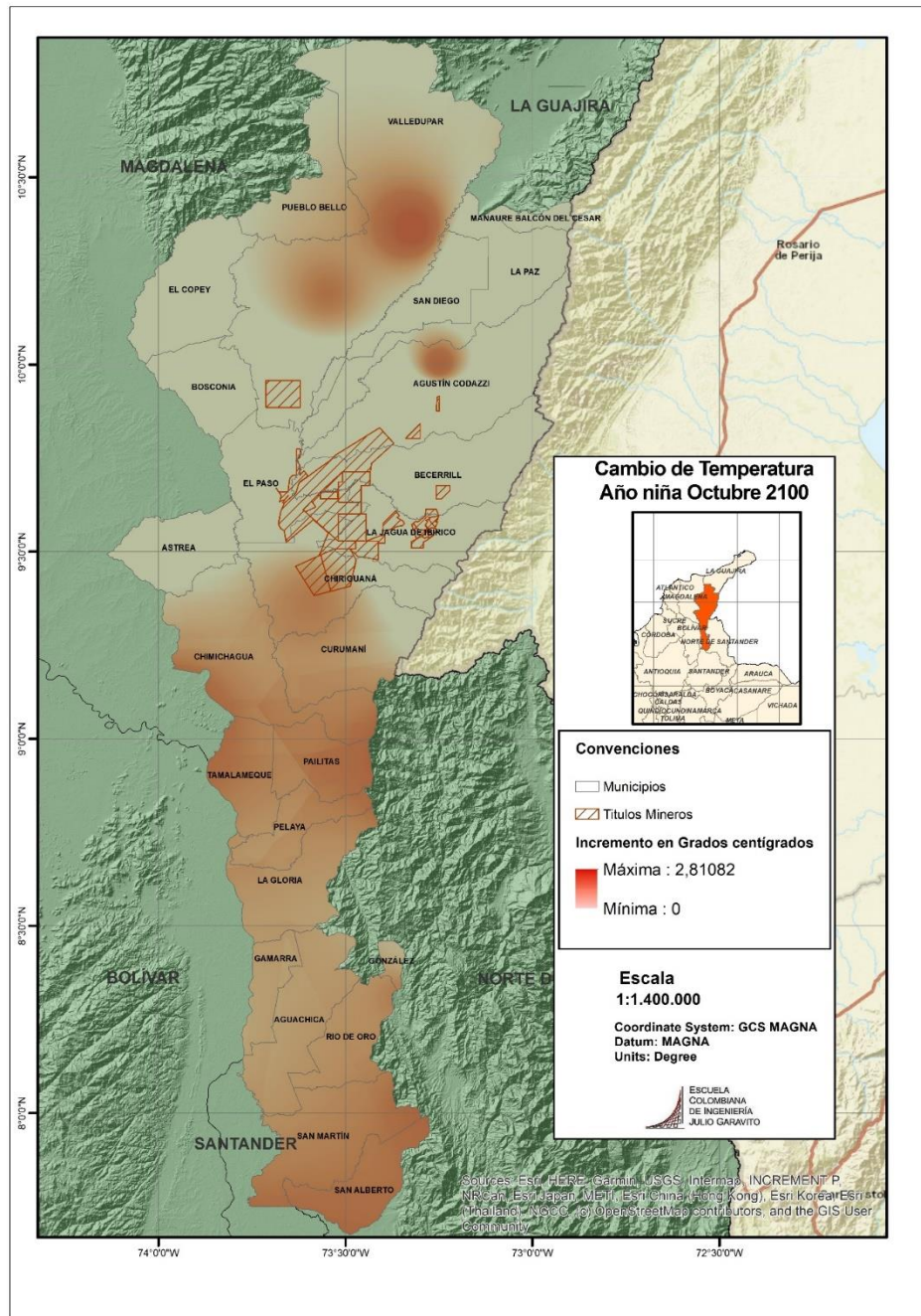
Fuente: Propia

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



Fuente: Propia

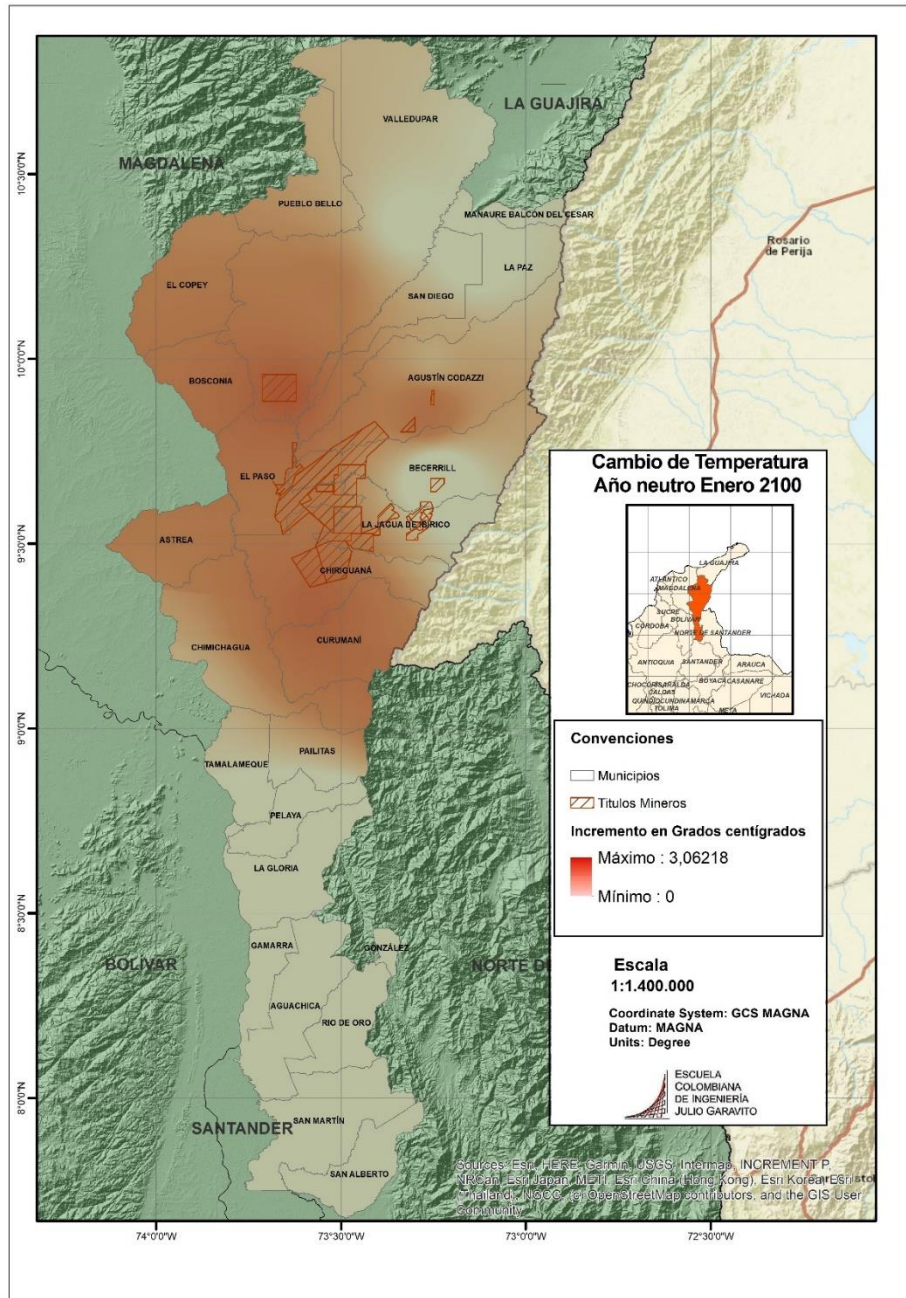
Gráfica 82. Gráfico Cambio de temperatura octubre para 2100 año niña



Fuente: Propia

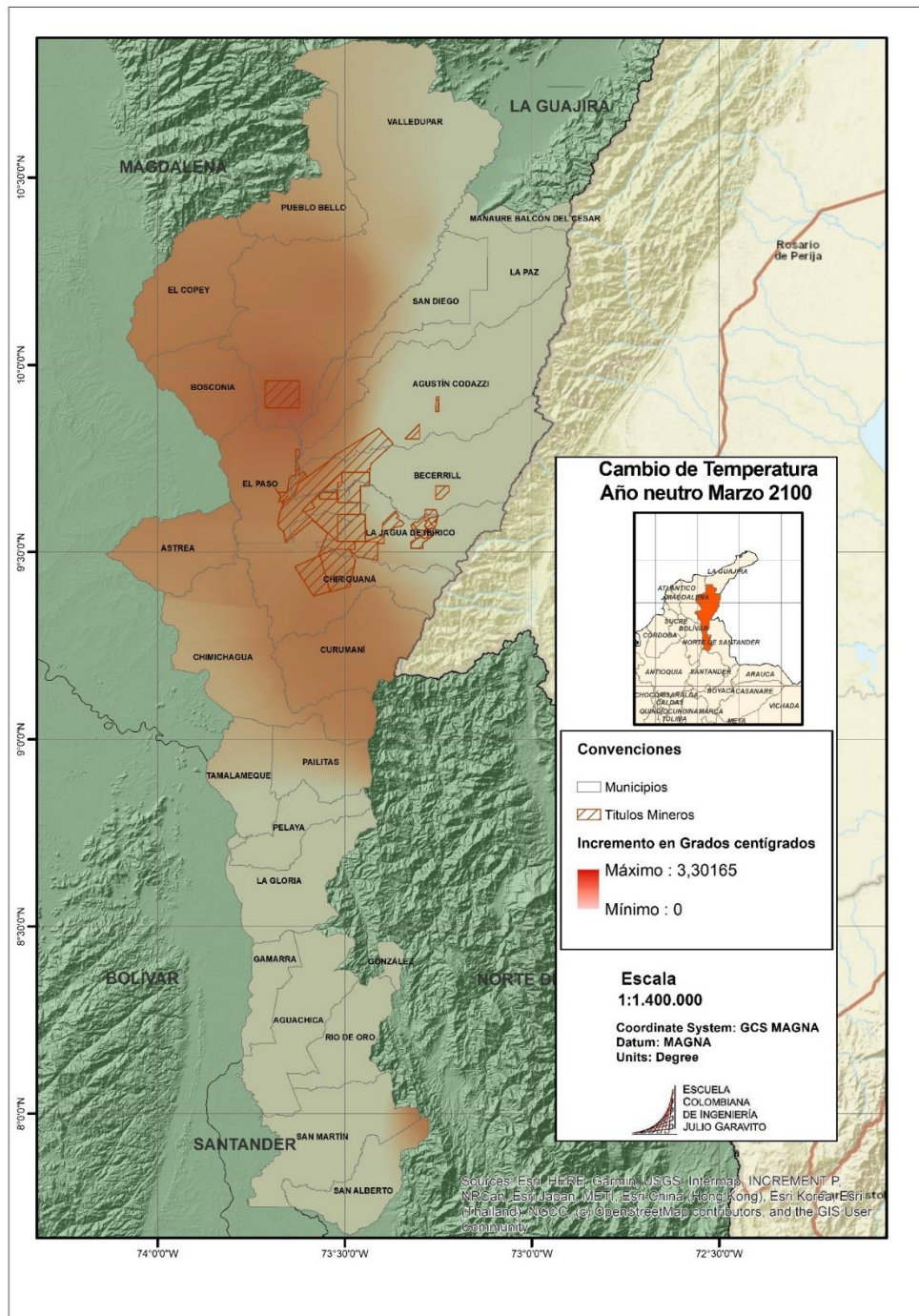
Año Neutro

Gráfica 83. Gráfico Cambio de temperatura enero para 2100 año neutro



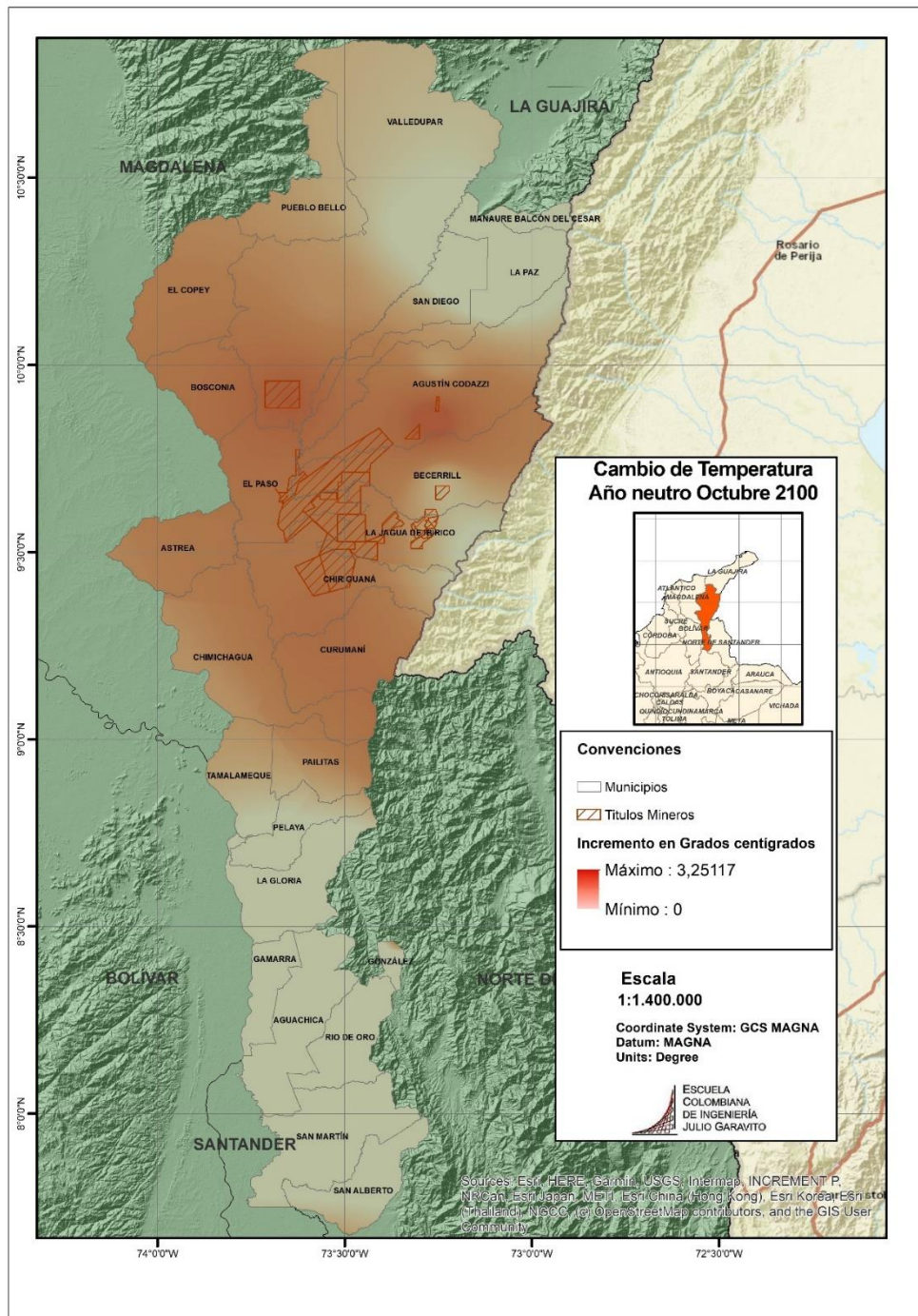
Fuente: Propia

Gráfica 84. Gráfico Cambio de temperatura marzo para 2100 año neutro



Fuente: Propia

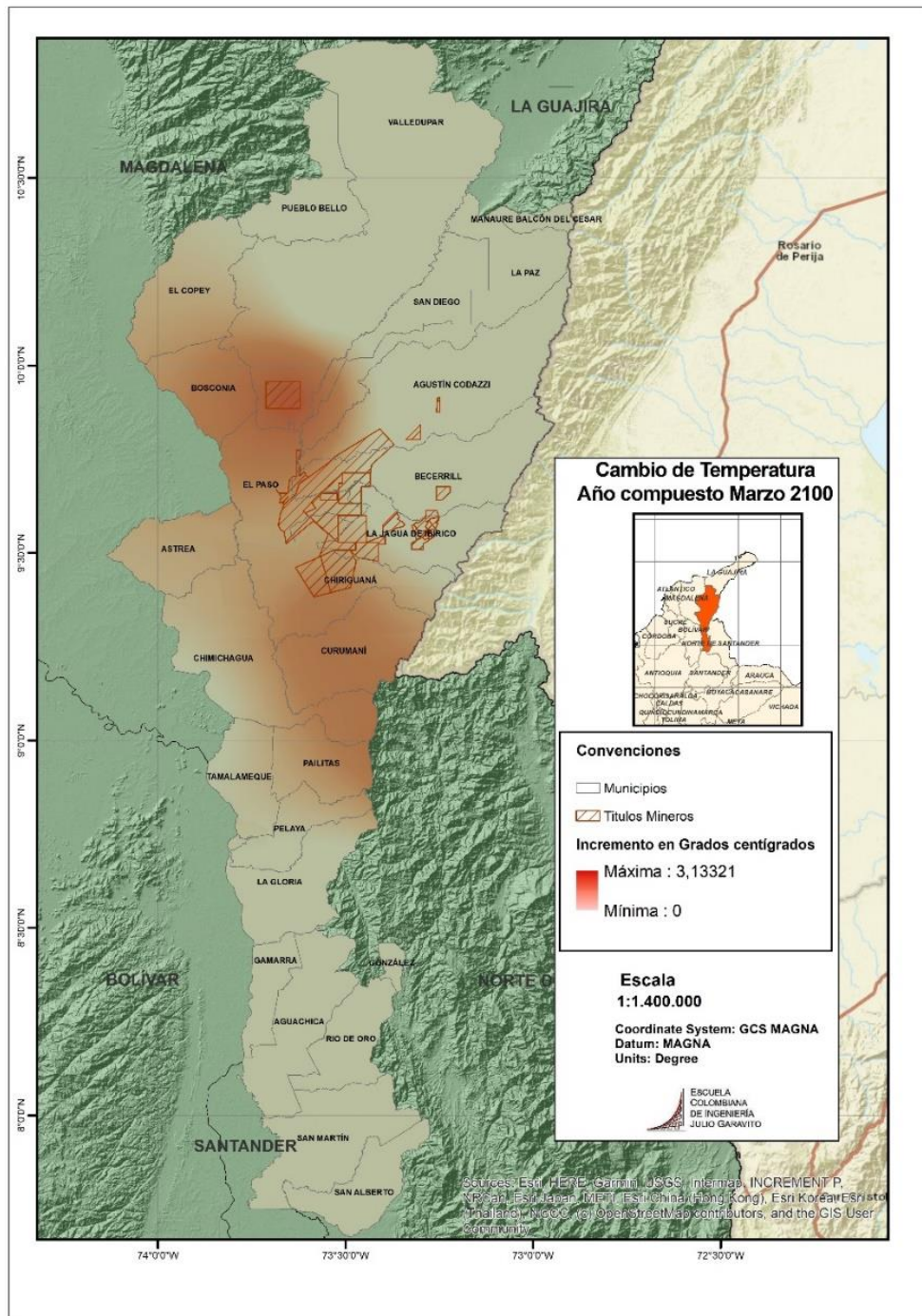
Gráfica 85. Gráfico Cambio de temperatura octubre para 2100 año neutro



Fuente: Propia



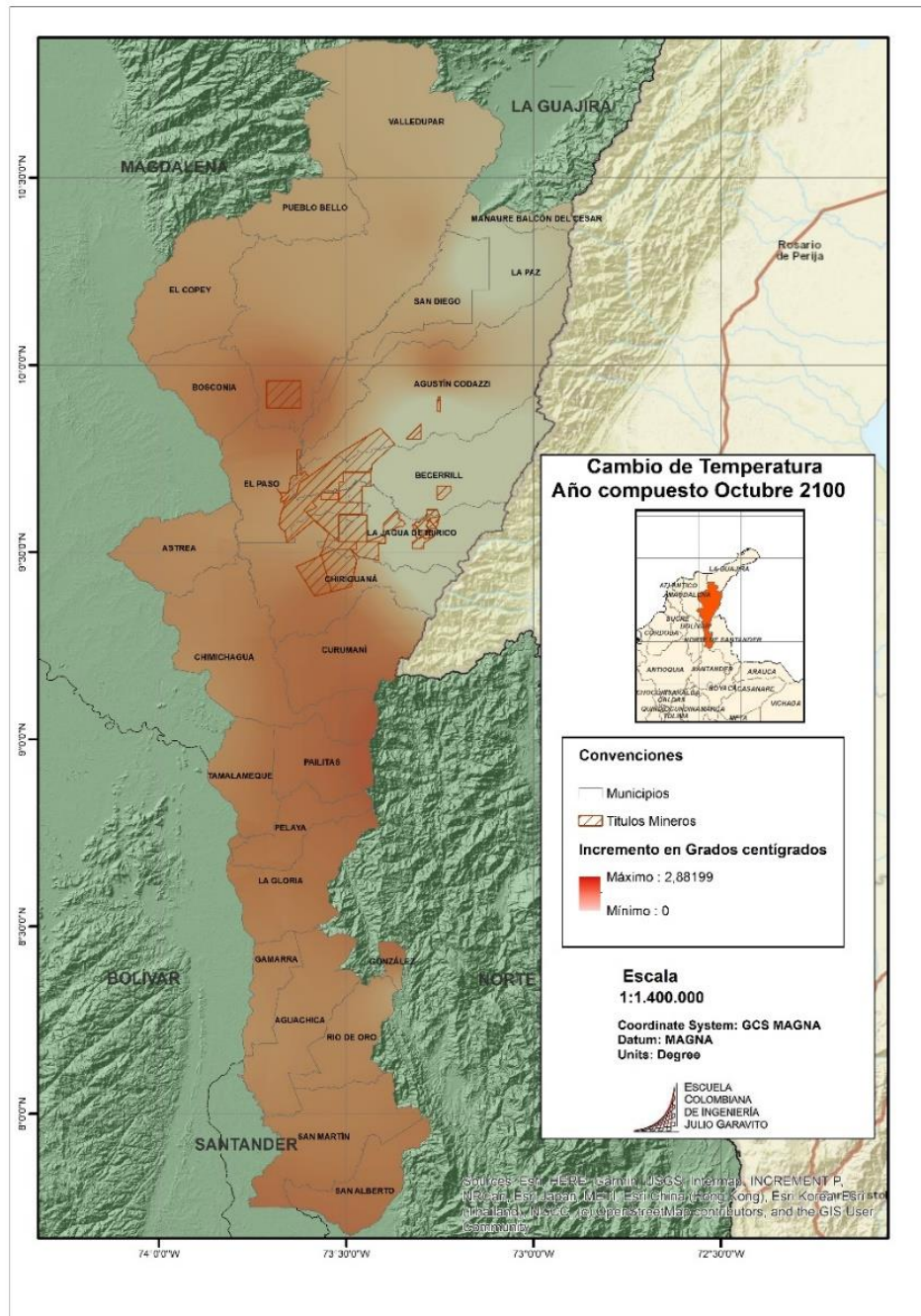
Gráfica 87. Gráfico Cambio de temperatura marzo para 2100 año compuesto



Fuente: Propia



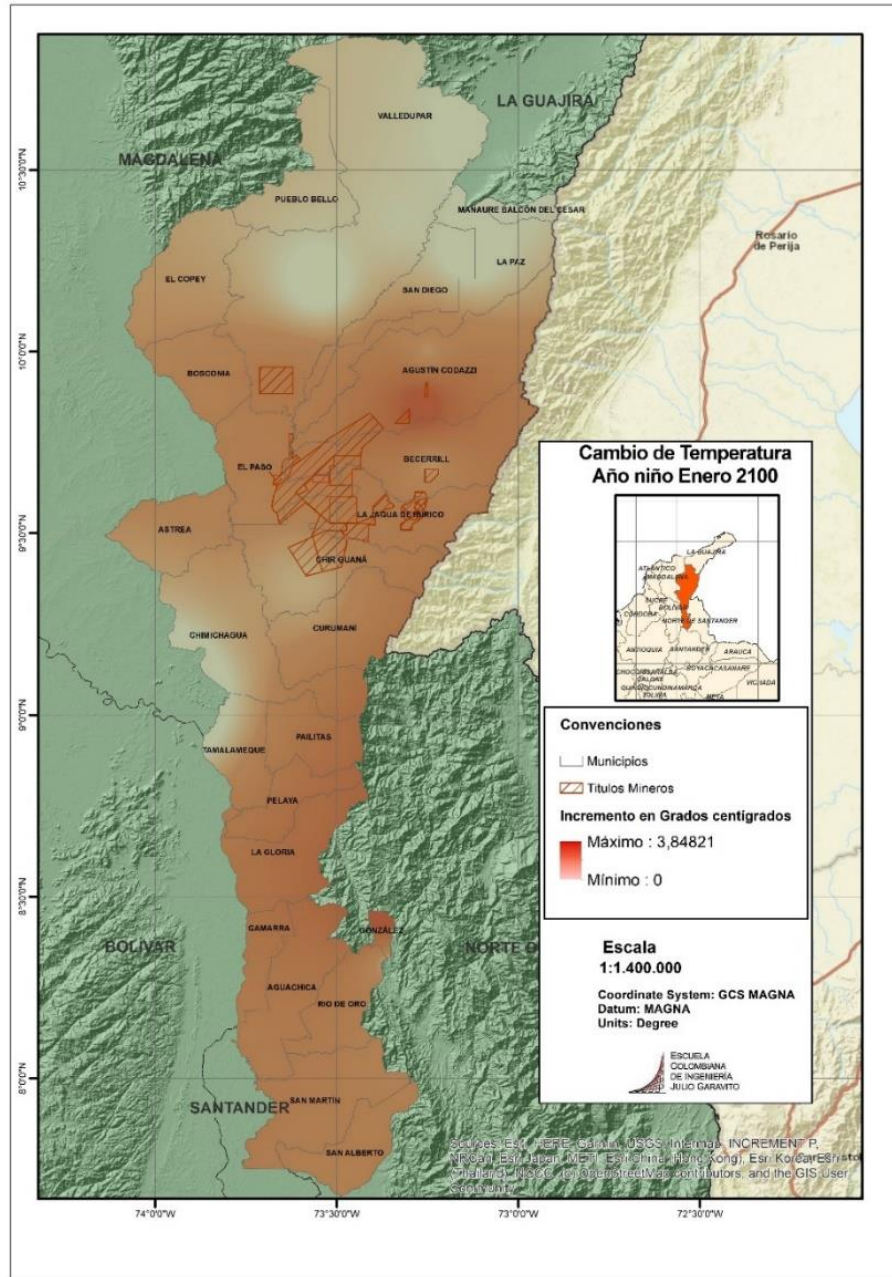
Gráfica 88. Gráfico Cambio de temperatura octubre para 2100 año compuesto



Fuente: Propia

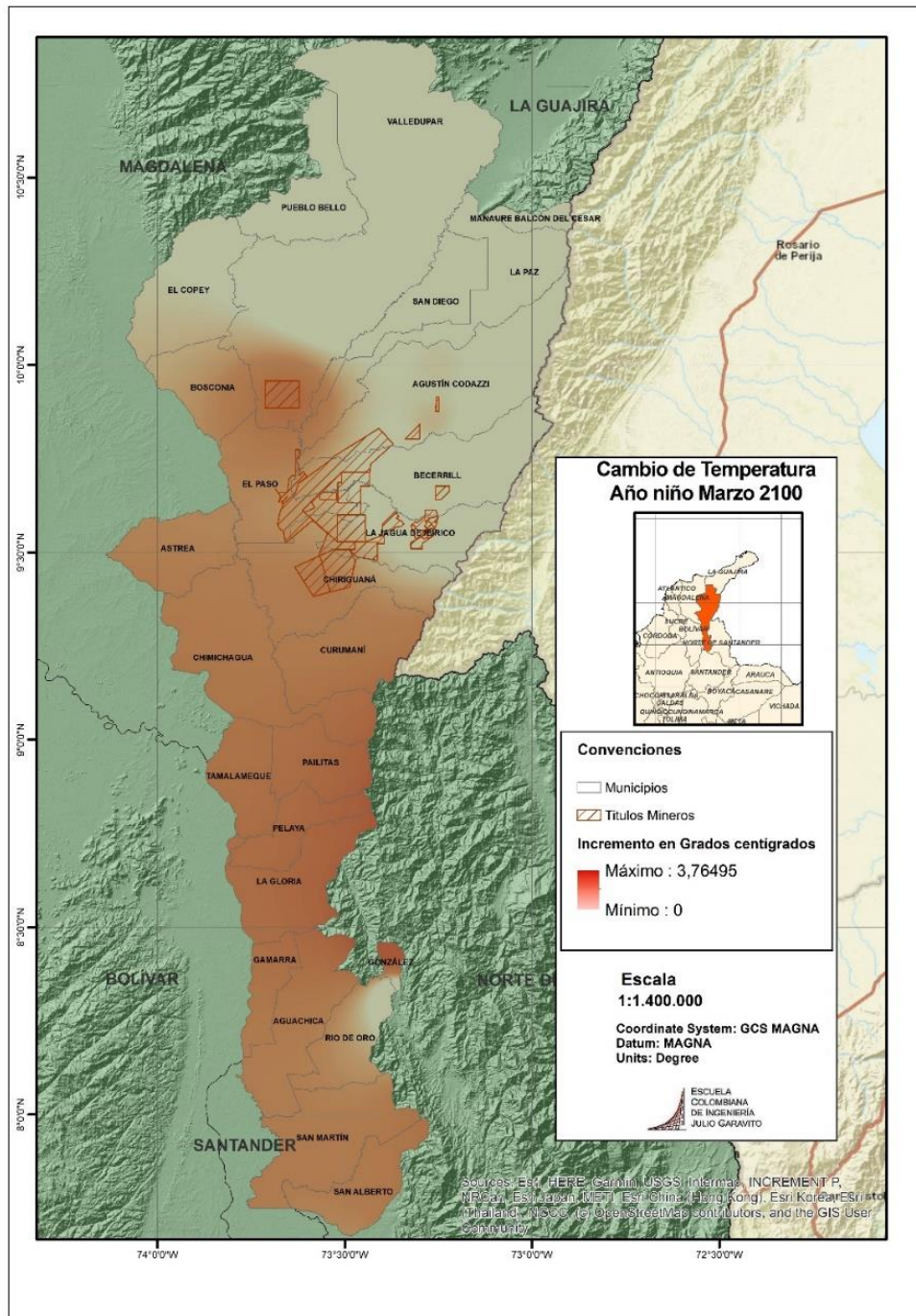
Año Niño

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



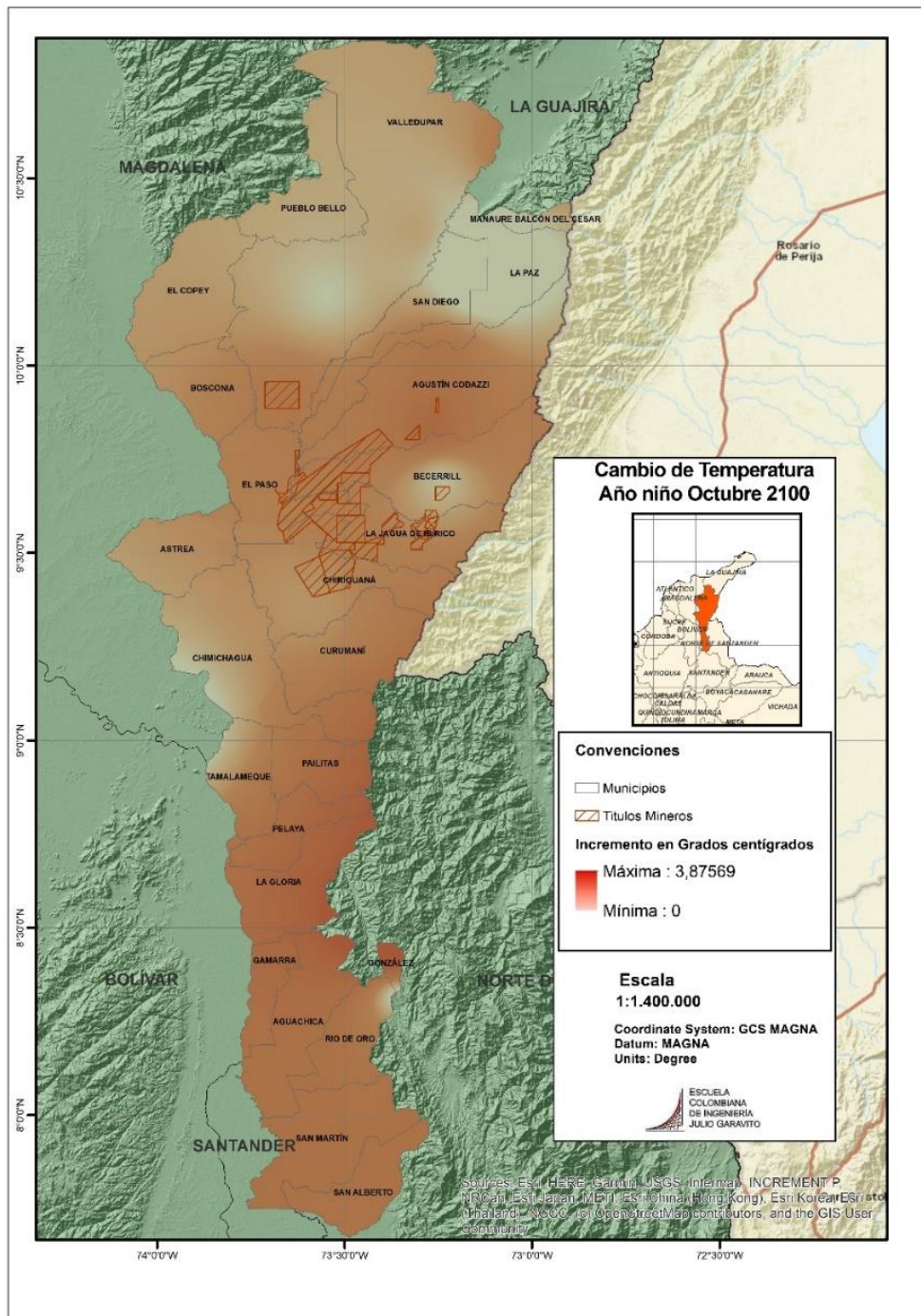
Fuente: Propia

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



Fuente: Propia

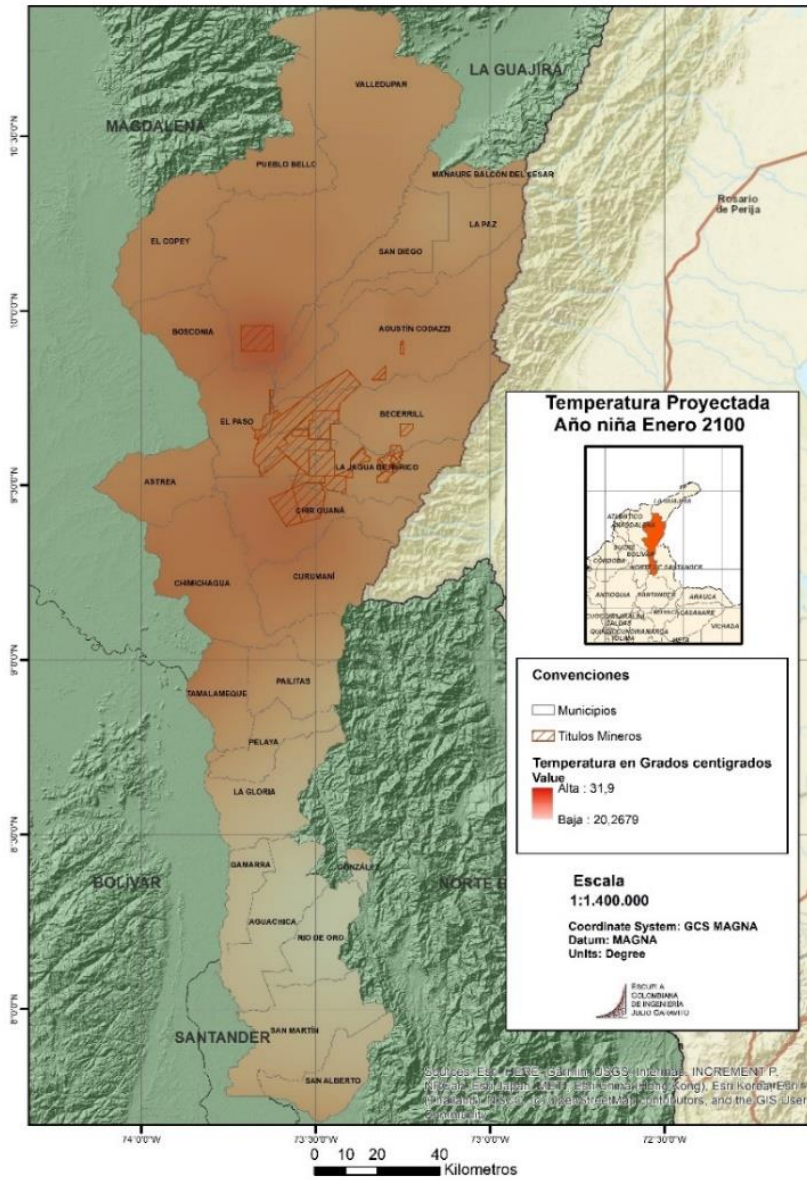
Gráfica 91. Gráfico Cambio de temperatura octubre para 2100 año niño



Fuente: Propia  
Temperatura proyectada para año 2100 en diferentes escenarios

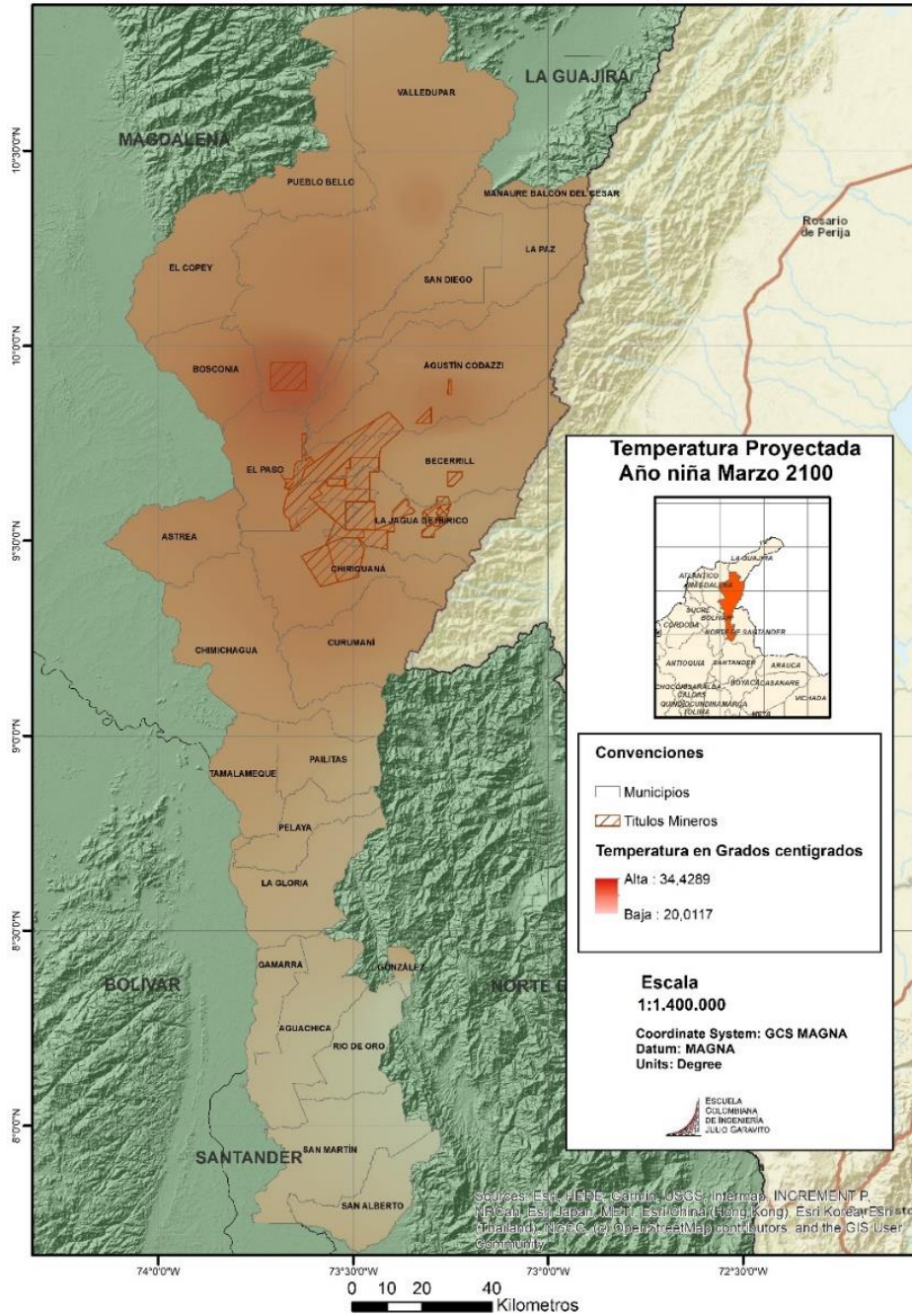
Año Niña

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



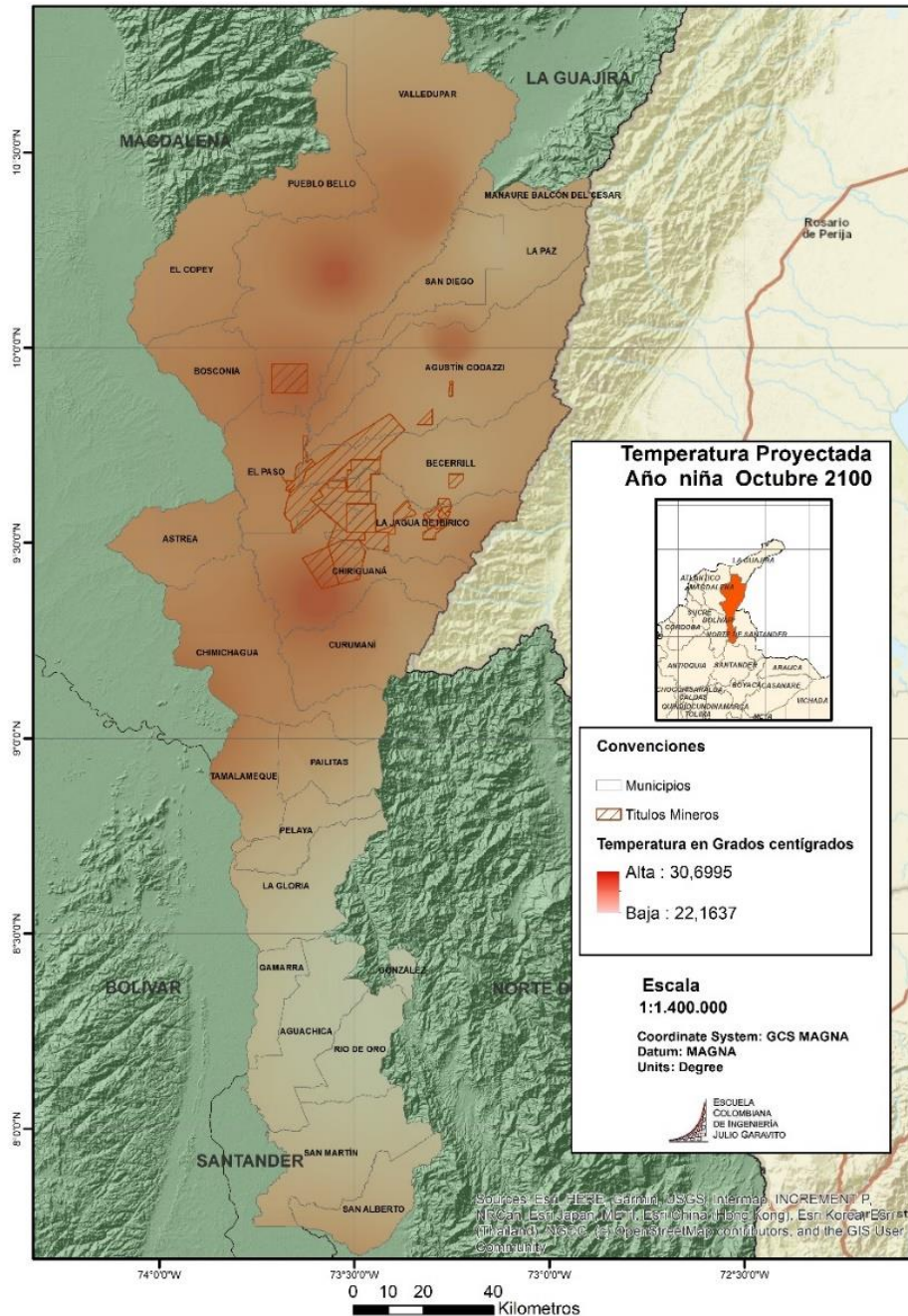
Fuente: Propia

Gráfica 93. Gráfico Temperatura proyectada marzo para 2100 año niña



Fuente: Propia

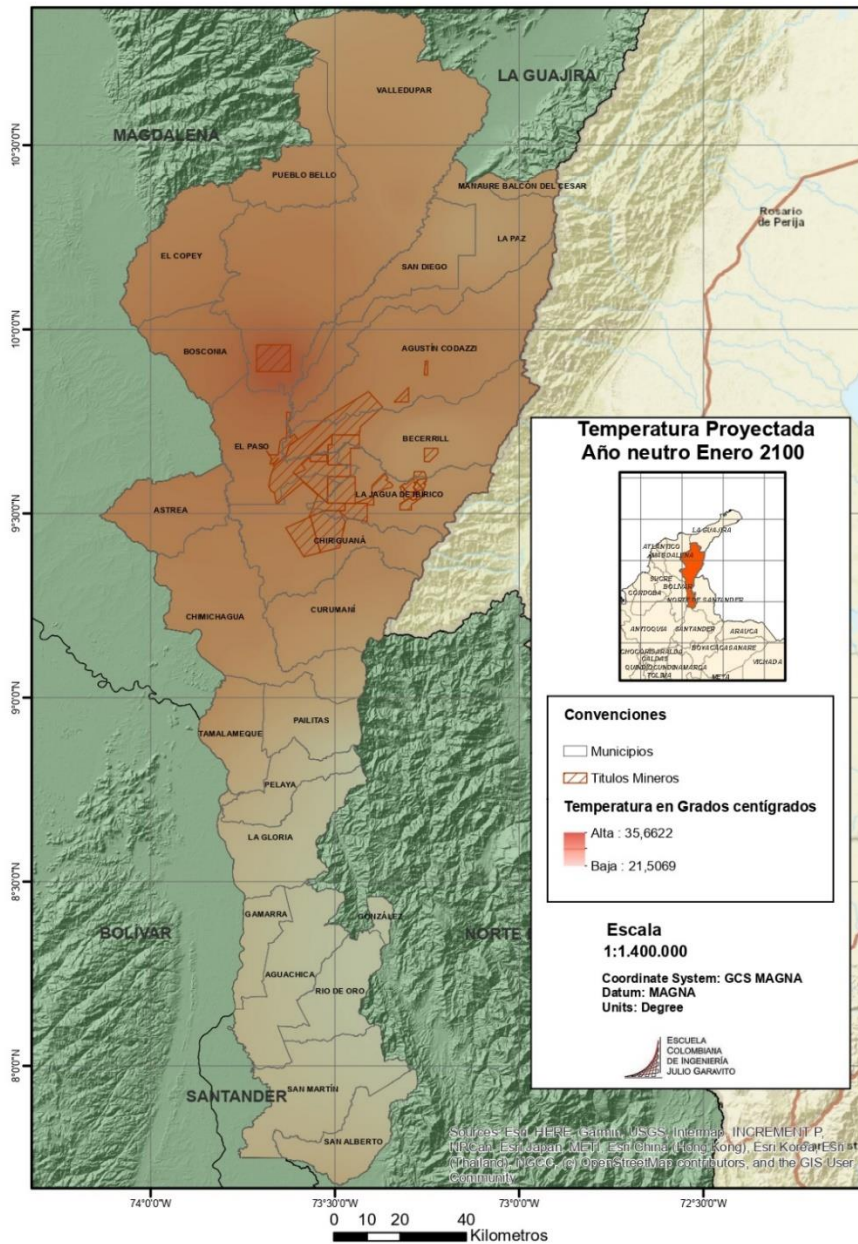
Gráfica 94. Gráfico Temperatura proyectada octubre para 2100 año niña



Fuente: Propia

Año Neutro

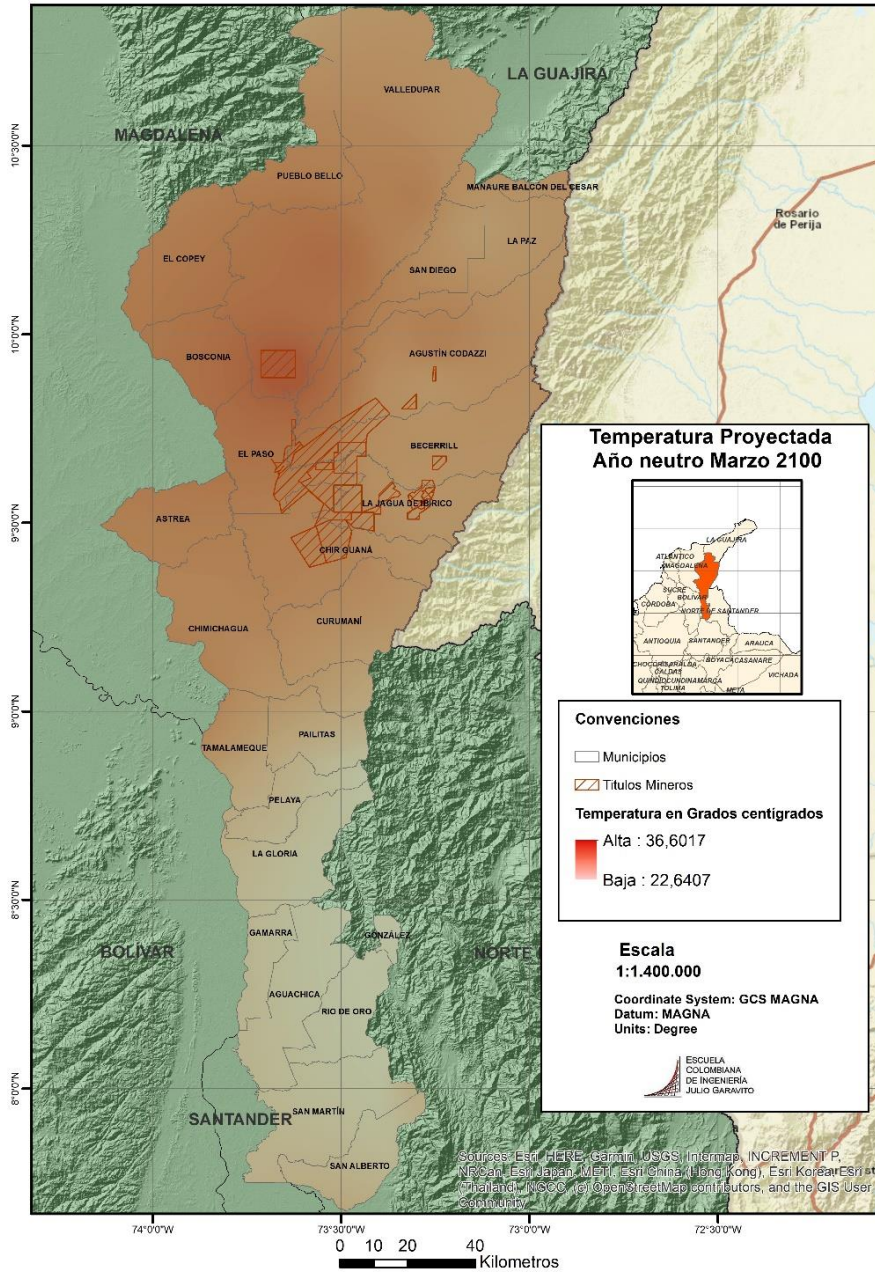
Gráfica 95. Gráfico Temperatura proyectada enero para 2100 año neutro



Fuente: Propia

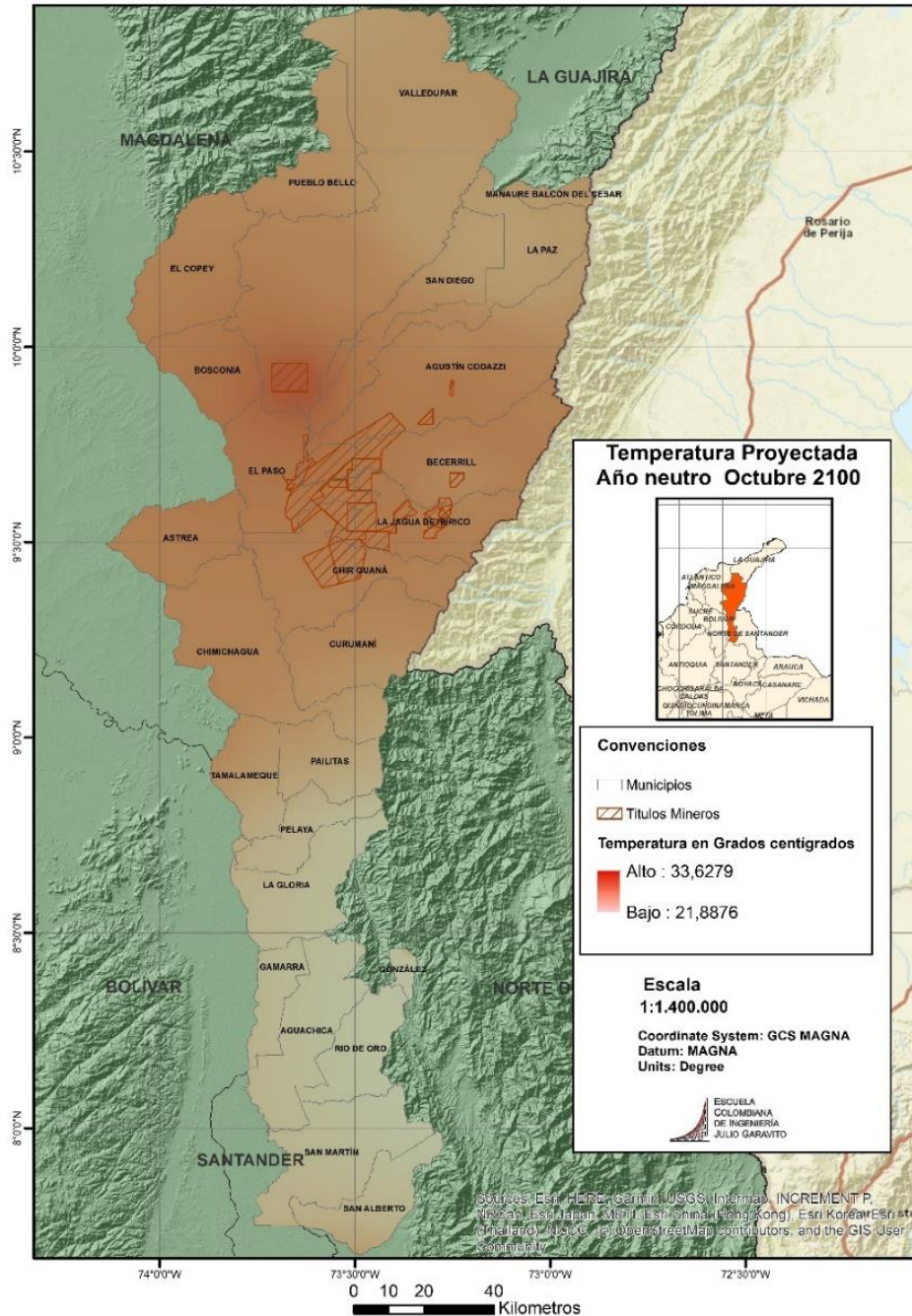


Gráfica 96. Gráfico Temperatura proyectada marzo para 2100 año neutro



Fuente: Propia

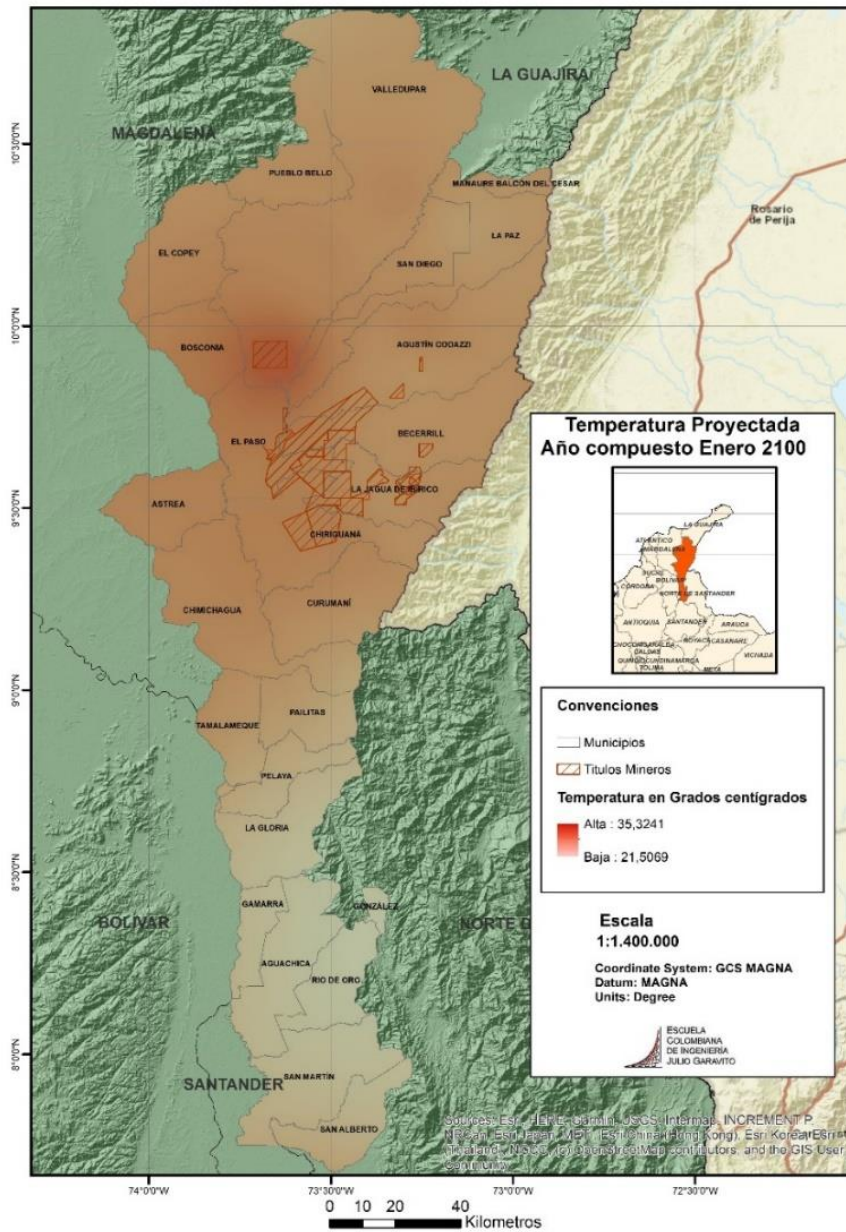
Gráfica 97. Gráfico Temperatura proyectada octubre para 2100 año neutro



Fuente: Propia

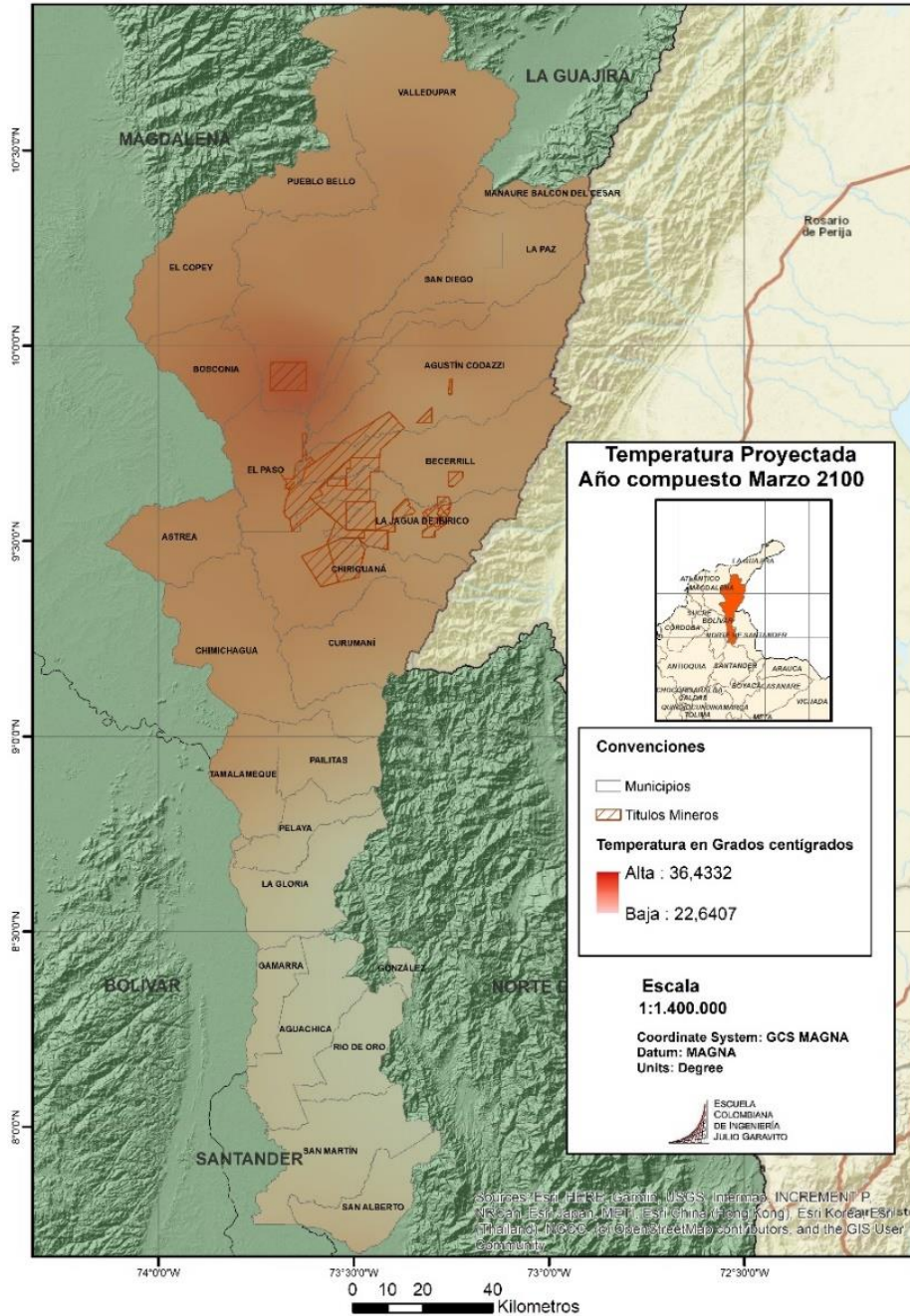
Año compuesto

Gráfica 98. Gráfico Temperatura proyectada enero para 2100 año compuesto



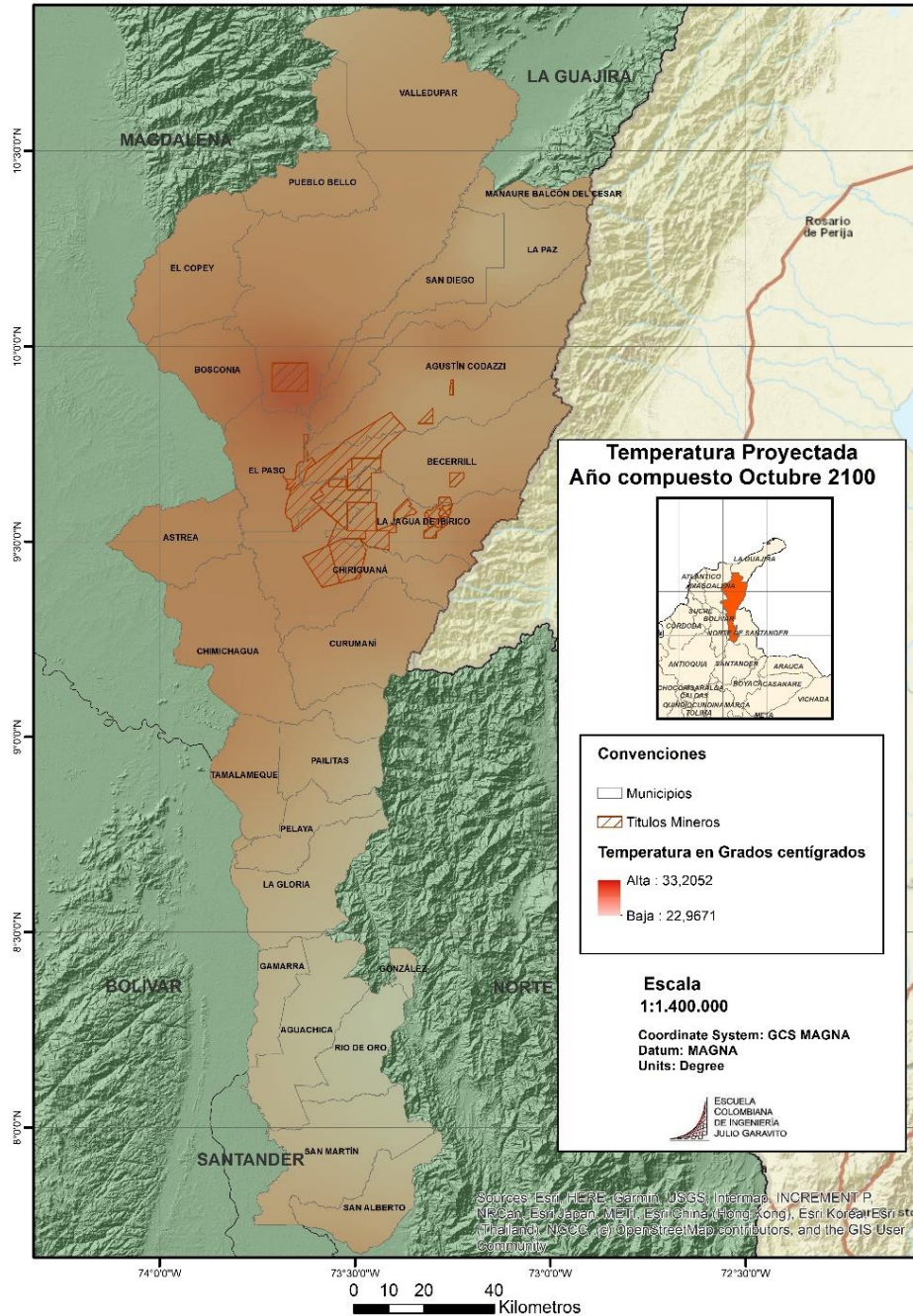
Fuente: Propia

Gráfica 99. Gráfico Temperatura proyectada marzo para 2100 año compuesto



Fuente: Propia

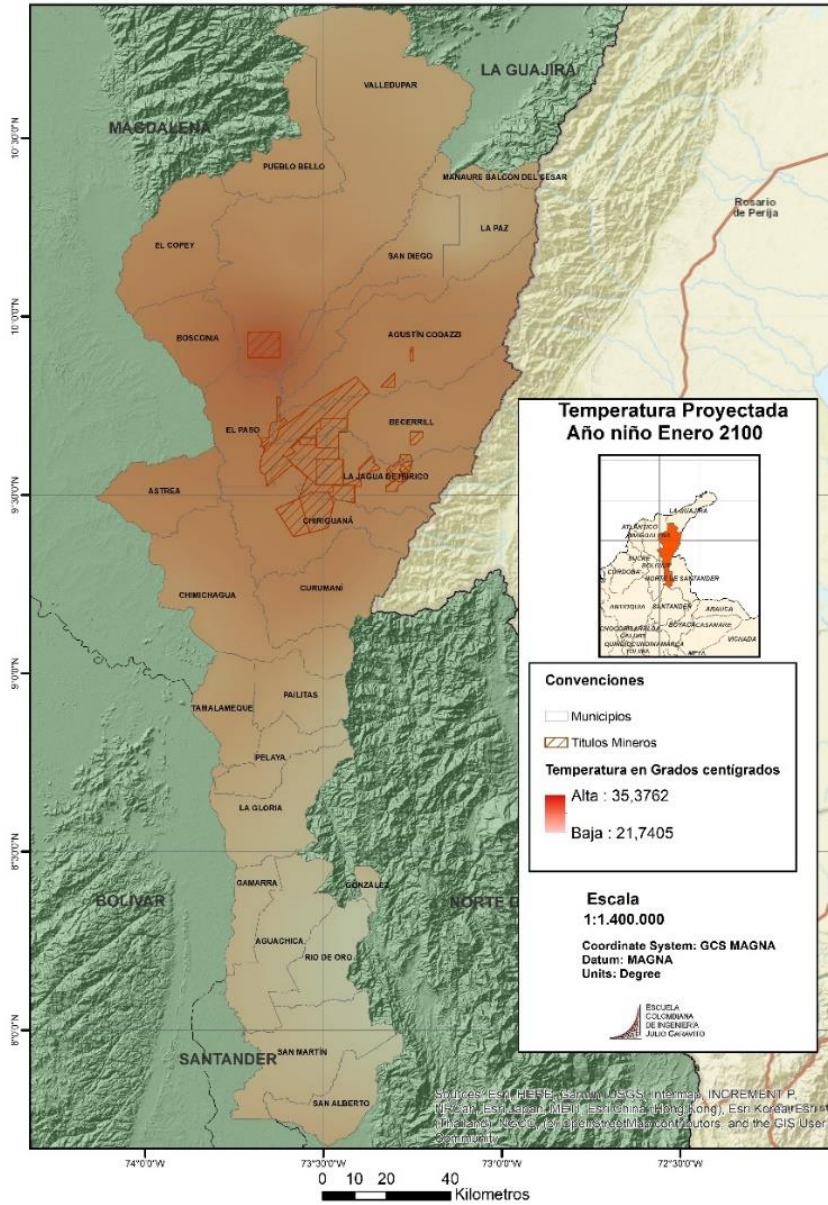
Gráfica 100. Gráfico Temperatura proyectada octubre para 2100 año compuesto



Fuente: Propia

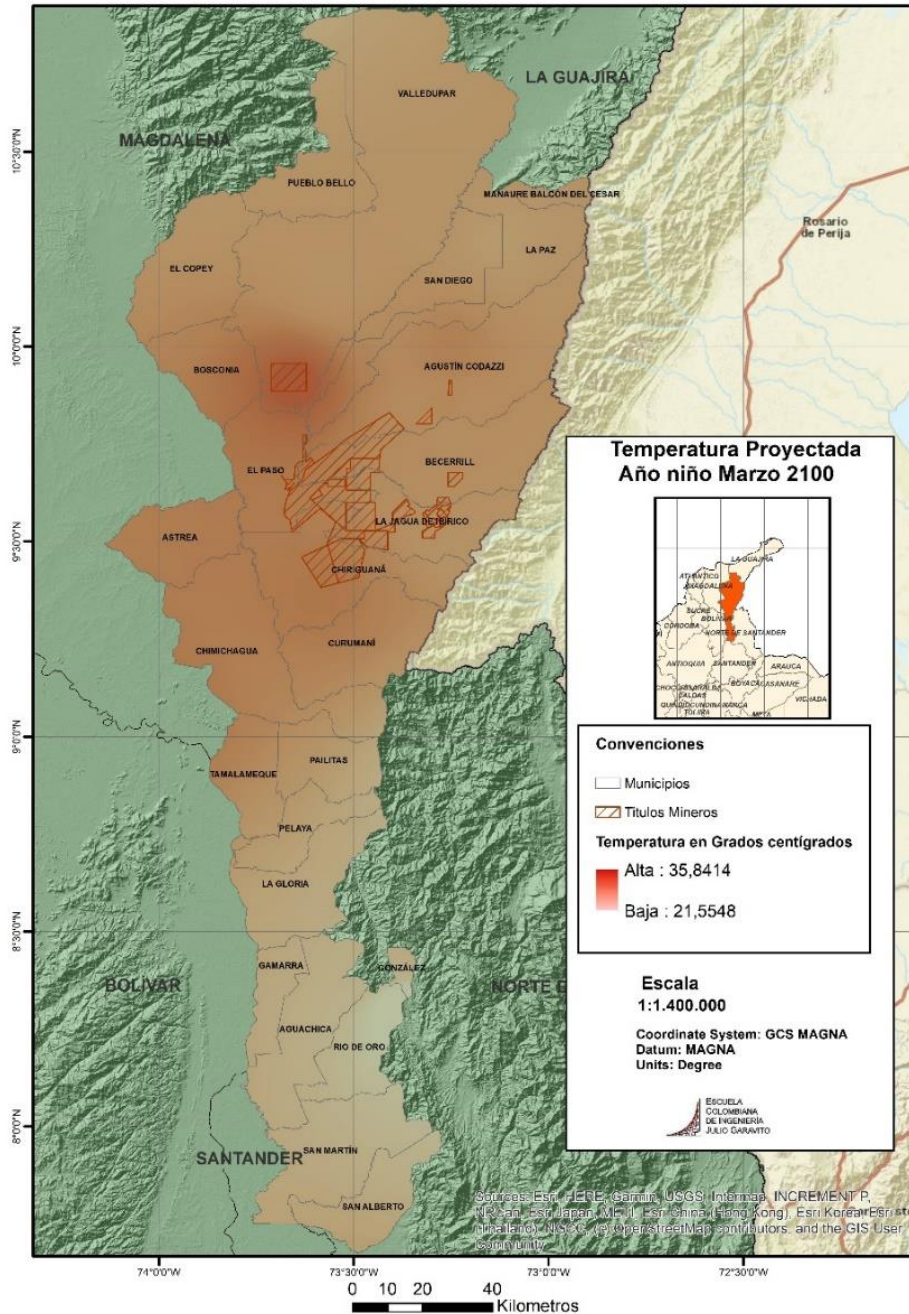
### Año Niño

Gráfica 101. Gráfico Temperatura proyectada enero para 2100 año niño



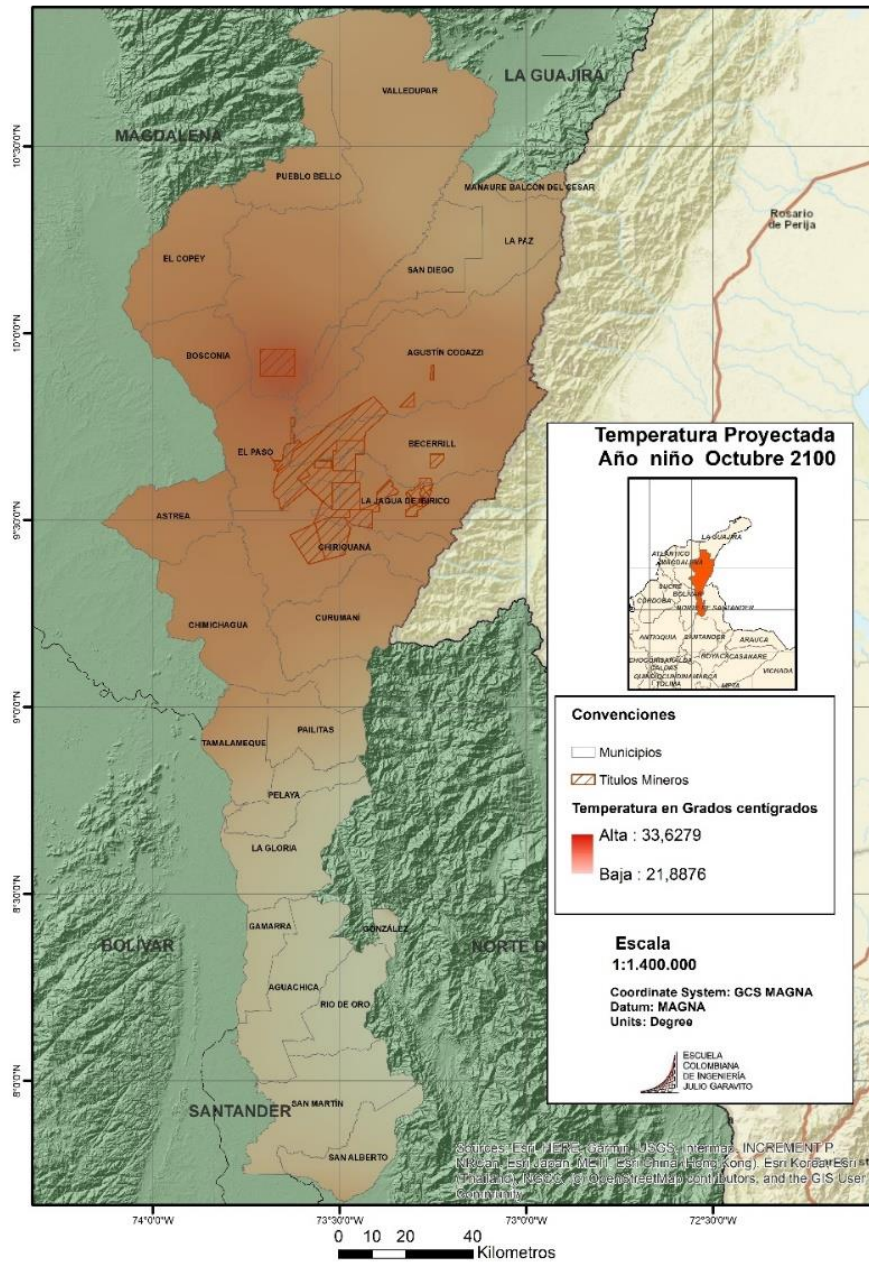
Fuente: Propia

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](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](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](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](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](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](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](http://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](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](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](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](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](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](http://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](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](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](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](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](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](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](mailto: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

