



## ESPECIALIZACION EN PREVENCIÓN, REDUCCION Y ATENCIÓN DE DESASTRES

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA ASOCIADO A LAS  
VARIABLES PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN EL PERIODO 1971 -  
2020 PARA EL MUNICIPIO DE SANTANDER DE QUILICHAO, CAUCA

JUAN DAVID PAZ MUÑOZ



Universidad<sup>®</sup>  
Católica  
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

Obra de Iglesia  
de la Congregación



Hermanas de la Caridad  
Dominicas de La Presentación  
de la Santísima Virgen

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA ASOCIADO A LOS PARAMETROS  
PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN EL PERIODO 1971 - 2020 PARA EL MUNICIPIO DE  
SANTANDER DE QUILICHAO, CAUCA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Especialista En  
Prevención, Reducción Y Atención De Desastres

Modalidad de grado:

Monografía

Nombre del asesor:

Juan Camilo Sánchez Gil <sup>1</sup> (con ORCID a pie de página)

Autor:

Juan David Paz Muñoz

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES

FACULTAD

ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES

MANIZALES, CALDAS

2023

---

1

2



**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

## **Dedicatoria**

A mi padre y a mi madre por tanto esfuerzo cada uno de estos años que me han acompañado y lo han dado todo por apoyarme, así que todo este trabajo es para ellos y su esfuerzo continuo, así mismo quiero dedicarlo a mi hermana y hermano porque gracias a ellos he superado los momentos más difíciles en mi vida. Amor eterno ellos.

## **Agradecimientos**

Gracias al profesor Juan Camilo Sánchez Gil por su orientación durante el proceso y a la Oficina de Gestión de Riesgo de Desastres del Municipio de Santander de Quilichao por la experiencia adquirida en los últimos cuatro años.

## Tabla de contenido

1.	Introducción .....	14
2.	Localización y caracterización .....	16
3.	Objetivos.....	21
3.1.	Objetivo General .....	21
3.2.	Objetivos específicos .....	21
4.	Antecedentes.....	22
5.	Marco teórico .....	26
5.1.	Marco referencial.....	26
5.2.	Marco conceptual .....	29
6.	Metodología.....	34
6.1.	Variaciones en la temperatura media anual y la precipitación total anual para el período 1971 - 2020. ....	36
6.2.	Comportamiento de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno ....	37
6.3.	Variaciones en los escenarios de cambio climático futuros propuestos por el IDEAM, asociados a los parámetros de temperatura y precipitación .....	39
6.4.	Acciones de adaptación frente al cambio climático y escenarios de riesgo asociados con relación a los parámetros de temperatura y precipitación .....	40
7.	Cuerpo del trabajo .....	42
7.1.	Variaciones en la temperatura media anual y la precipitación total anual para el período 1971 - 2020. ....	42

7.1.1.	Variaciones en la temperatura media anual para el periodo 1971 – 2020 ..	45
7.1.2.	Variaciones en la precipitación total anual para el periodo 1971 – 2020 ....	49
7.2.	Comportamiento de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno ....	59
7.3.	Variaciones en los escenarios de cambio climático futuros propuestos por el IDEAM, asociados a las variables de temperatura y precipitación .....	66
7.4.	Acciones de adaptación frente al cambio climático y escenarios de riesgo asociados con relación a las variables de temperatura y precipitación .....	72
8.	Análisis de resultados .....	87
8.1.	Variaciones en la temperatura media anual y la precipitación total anual para el período 1971 - 2020. ....	87
8.1.1.	Análisis de las variaciones en la temperatura media anual para el periodo 1971 – 2020	90
8.1.2.	Análisis de las variaciones en la precipitación total anual para el periodo 1971 – 2020	91
8.2.	Comportamiento de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno ....	94
8.3.	Variaciones en los escenarios de cambio climático futuros propuestos por el IDEAM, asociados a las variables de temperatura y precipitación .....	97
8.4.	Acciones de adaptación frente al cambio climático y escenarios de riesgo asociados con relación a las variables de temperatura y precipitación. ....	99
9.	Conclusiones .....	101
10.	Referencias bibliográficas .....	103

## Listado de figuras

Figura 1 Localización de Santander de Quilichao en Cauca.....	16
Figura 2 Clasificación climática departamento del cauca (caldas Lang) .....	19
Figura 3 Precipitación total anual departamento del Cauca .....	19
Figura 4 Distribución de las estaciones de estudio en el municipio.....	44
Figura 5 Gráfica de tendencia temperatura mínima media anual estación Japio .....	47
Figura 6 Gráfica de tendencia temperatura media del aire anual estación Japio .....	47
Figura 7 Gráfica de tendencia temperatura máxima media anual estación Japio .....	48
Figura 8 Gráfica de tendencia temperatura mínima media anual estación Lomitas .....	48
Figura 9 Gráfica de tendencia temperatura media del aire anual estación Lomitas .....	49
Figura 10 Gráfica de tendencia temperatura máxima media anual estación Lomitas.....	49
Figura 11 Gráfica precipitación total anual estación Amparo periodos 1971 -1995 y 1996 – 2020.....	53
Figura 12 Gráfica precipitación total anual estación Mondomo periodos 1971 -1995 y 1996 – 2020.....	54
Figura 13 Gráfica de tendencia de precipitación total anual estación Amparo periodo 1971 – 2020.....	55
Figura 14 Gráfica de tendencia de precipitación total anual estación Mondomo periodo 1971 – 2020.....	56
Figura 15 Gráfica de tendencia de precipitación total anual estación Japio periodo 1972 – 2021.....	58
Figura 16 Gráfica de tendencia de precipitación total anual estación Lomitas periodo 1976 – 2003.....	58
Figura 17 Gráfica de tendencia de precipitación total anual estación Mandiva periodo 1976 – 2003.....	59



Figura 18 Gráfica correlación entre precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Amparo .....	62
Figura 19 Gráfica correlación entre precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Mondomo .....	63
Figura 20 Gráfica correlación entre precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Japio .....	63
Figura 21 Gráfica correlación entre precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Lomitas .....	64
Figura 22 Gráfica correlación entre precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Mandiva .....	64
Figura 23 Gráfica de temperatura media anual y precipitación media anual para el periodo 2071-2100 en Colombia .....	67
Figura 24 Gráfica de escenarios de cambio climático para temperatura y precipitación para el periodo 2071-2100 en el departamento del Cauca .....	68
Figura 25 Gráfica escenarios de precipitación periodo 1976-2005 y 2071-2100 en el municipio de Santander de Quilichao .....	71
Figura 26 Gráfica escenarios de temperatura periodo 1976-2005 y 2071-2100 en el municipio de Santander de Quilichao .....	71
Figura 27 Gráfica diferencia de T y %PP entre el periodo 2071-2100 con respecto a 1976-2005 en el municipio de Santander de Quilichao .....	72
Figura 28 Gráfica ocurrencia, intensidad y duración del fenómeno El Niño – La Niña (1986 - 2020) .....	90

## Listado de tablas

Tabla 1 Metodología aplicada.....	34
Tabla 2 Estaciones con datos disponibles de temperatura .....	42
Tabla 3 Estaciones con datos disponibles de precipitación .....	42
Tabla 4 Datos característicos de las estaciones de estudio.....	43
Tabla 5 Datos parámetro de temperatura anual estación Japio 1971 - 2000 .....	45
Tabla 6 Datos parámetro de temperatura anual estación Lomitas 2004 – 2020 .....	46
Tabla 7 Precipitaciones totales mensuales (mm) estación Amparo periodo 1971 – 1995 .....	50
Tabla 8 Precipitaciones totales mensuales (mm) estación Mondomo periodo 1971 – 1995.....	50
Tabla 9 Precipitaciones totales mensuales (mm) estación Amparo periodo 1996 - 2020 .....	51
Tabla 10 Precipitaciones totales mensuales (mm) estación Mondomo periodo 1996 - 2020.....	52
Tabla 11 Precipitación total anual estaciones Amparo y Mondomo periodo 1971 – 2020 .....	54
Tabla 12 Precipitación total anual estación Japio periodo 1972 - 2001 y Estaciones Lomitas y Mandiva periodo 1976 – 2003.....	56
Tabla 13 Valores máximos anuales de estaciones con periodo de 30 años y cálculo de probabilidad .....	60
Tabla 14 Valores máximos anuales de estaciones con periodo de 28 años y cálculo de probabilidad .....	61
Tabla 15 Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno en las estaciones de estudio .....	66

Tabla 16 Escenarios de cambio climático para temperatura y precipitación para el periodo 2021-2100 en el departamento del Cauca.....	69
Tabla 17 Problemáticas/alternativas relacionadas al cambio climático en los documentos municipales.....	76
Tabla 18 Desarrollo de fenómenos del niño y la niña durante el periodo 1970 - 2020 ...	88
Tabla 19 Variaciones en las precipitaciones totales mensuales en la estación Amparo	91
Tabla 20 Variaciones en las precipitaciones totales mensuales en la estación Mondomo .....	92
Tabla 21 Clasificación de la precipitación según la intensidad.....	95

## Resumen

El presente estudio se plantea con el objetivo principal de realizar un análisis de la variabilidad climática, asociada a los parámetros precipitación y temperatura en el periodo 1971 - 2020 para el municipio de Santander de Quilichao, en el departamento del Cauca. El Análisis se realizó mediante el estudio de las variaciones en la temperatura media anual y la precipitación total anual en el municipio para el período 1971 - 2020, el estudio del comportamiento de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno, y el estudio de las variaciones para los parámetros definidos, objeto de estudio en los escenarios de cambio climático futuros propuestos por el IDEAM. De acuerdo a los resultados obtenidos, se propusieron acciones de adaptación frente al cambio climático y los escenarios de riesgo asociados, con relación a la variación de los parámetros de temperatura y precipitación en el municipio de Santander de Quilichao, Cauca.

Para el análisis de la variabilidad climática para el municipio de Santander de Quilichao, se plantea la descarga datos de la variable “*día pluviométrico convencional*” relacionada al parámetro de precipitaciones diarias y las variables de temperatura mínima media mensual, temperatura media del aire mensual y la temperatura máxima media mensual, medidas a través de estaciones hidrometeorológicas, usando como fuente de información la plataforma “*Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*” del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM durante el periodo 1971 – 2020. Adicional a esto el análisis a futuro se desarrolló con base a los escenarios de cambio climático emitidos por el IDEAM y las recomendaciones emitidas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático -IPCC.

## Abstract

This study was proposed with the main objective of carrying out an analysis of climatic variability, associated with the parameters of precipitation and temperature in the period 1971 - 2020 for the municipality of Santander de Quilichao, in the department of Cauca. The Analysis was carried out through the study of the variations in the average annual temperature and the total annual precipitation in the municipality for the period 1971 - 2020, the study of the behavior of precipitations for different return periods, and the study of the variations for the defined parameters, object of study in the future climate change scenarios proposed by IDEAM. According to the results obtained, adaptation actions against climate change and associated risk scenarios were proposed, in relation to the variation of temperature and precipitation parameters in the municipality of Santander de Quilichao, Cauca.

For the analysis of the climatic variability for the municipality of Santander de Quilichao, the download of data of the variable "*conventional pluviometric day*" related to the parameter of daily rainfall and the variables of monthly average minimum temperature, monthly average air temperature and the monthly average maximum temperature, measured through hydrometeorological stations, using as a source of information the platform "*Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*" of the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies - IDEAM during the period 1971 - 2020. In addition to this, the analysis in the future, it was developed based on the climate change scenarios issued by IDEAM and the recommendations issued by the Intergovernmental Group of Experts on Climate Change -IPCC.

## 1. Introducción

De acuerdo a las Naciones Unidas se plantea un aumento progresivo del cambio climático a nivel mundial, basado en un aumento de la temperatura global y, consigo, la intensificación de los fenómenos naturales, tanto en frecuencia como en la intensidad de los mismos, a causa del incremento en el ritmo en el cual se desarrolla el ciclo hidrológico.

De acuerdo al National Weather Service Climate Prediction Center y los informes de predicción climática publicados por el IDEAM el desarrollo de fenómenos como el niño y la niña tienen una incidencia notoria en el clima global. El fenómeno de la niña se ha presentando desde el año 2020 por 3 años consecutivos, lo que ha ocasionado condiciones de más lluvias a lo largo de este periodo. En el caso de Colombia se han presentado constantes alertas para la preparación ante las temporadas de lluvias, lo que ha acaecido en incrementos de fenómenos asociados como inundaciones, avenidas torrenciales, vendavales y deslizamientos.

Con relación a las condiciones climáticas del municipio de Santander de Quilichao y de acuerdo a la información dispuesta por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, la temperatura promedio mensual del municipio es de 23,5°C, según los registros de las estaciones climatológicas El Amparo, Lomitas y Mondomo, con un promedio máximo mensual de 25°C y un promedio mínimo mensual de 21,8°C. La distribución del régimen de lluvias predominante es bimodal, con un primer pico de lluvias durante los meses de febrero, marzo y abril, y el segundo durante los meses de septiembre, noviembre y octubre; el promedio anual de precipitación es de 1.362 mm, con un máximo anual de 3.435 mm y un mínimo anual de 279 mm.

De acuerdo al diagnóstico sobre agua potable y saneamiento integral rural, realizado como parte del proyecto ASIR-SABA (2015), el municipio de Santander de Quilichao se encuentra situado al norte del departamento del Cauca, tiene una extensión territorial de 518 km<sup>2</sup>, de los cuales 6.84 km<sup>2</sup> corresponden a zona urbana. El área geográfica del municipio de Santander de Quilichao está irrigada por un importante número de ríos, quebradas, caños,

zanjones y ciénagas. Se encuentra en la cuenca del río Cauca donde se identifican a su vez la subcuenca del río Ovejas, subcuenca río Teta, subcuenca río La Quebrada y subcuenca río Quinamayó, que a su vez se desprende de las microcuencas de los ríos Mondomo, Mazamorrero, Zanjón Cochinitos, Quilichao, Mandiva, Agua Clara y Páez.

A lo largo del territorio se encuentran 17 estaciones hidrometeorológicas, 9 de ellas con base de datos desde del año 1971 y de las cuales 3 de ellas se encuentran activas en la actualidad, distribuidas en sitios diferentes de territorio, a su vez sobre diferentes subcuencas hídricas.

Adicional a esto el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC, desde hace varios años han dado alertas para desarrollar alternativas de mitigación y adaptación frente al cambio climático y sus consecuencias a nivel mundial. En Colombia recientemente en el año 2022, desde la Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres, se emitieron directrices para los diferentes entes territoriales para iniciar la preparación frente a la nueva temporada de más lluvias, que afectó fuertemente el país.

A partir de esta situación se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la tendencia de los parámetros de precipitaciones y temperatura que determinan el clima para el municipio de Santander de Quilichao, Cauca?

## 2. Localización y caracterización

El municipio de Santander de Quilichao de acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal “Quilichao vive” (2020) presenta las siguientes características:

El municipio de Santander de Quilichao limita al norte con los municipios de Jamundí y Villa Rica, al sur con el municipio de Caldono, al occidente con el municipio de Buenos Aires, al oriente con los municipios de Caloto y Jámbalo. Su posición geográfica respecto al meridiano de Bogotá es de 3° 0' 38" Latitud Norte y 2° 23' 30" Latitud Oeste (pág. 47).

La extensión total del municipio de Santander de Quilichao es de 518 km<sup>2</sup>, de la cual la extensión del área urbana representa 8,58 km<sup>2</sup> y la extensión del área rural representa 509,42 km<sup>2</sup>. El municipio presenta una temperatura media de 26° C. En cuanto a la altitud, la cabecera municipal se encuentra a 1.071 metros sobre el nivel del mar. Tiene una distancia de referencia a Popayán de 82.3 km con un tiempo de recorrido de aproximadamente una hora cuarenta y dos minutos por vía nacional (pág. 47).

**Figura 1** Localización de Santander de Quilichao en Cauca



*Nota:* fuente Wikipedia/Santander de Quilichao (2023)

El área de biodiversidad y sistemas ecosistémicos del municipio de Santander de Quilichao, que hace parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) corresponde a



72.40 hectáreas, equivalentes al 0.14%. En cuanto a las áreas de bosque estable del municipio, esta cifra está en 1.644,96 hectáreas, equivalente a 0.12% del territorio municipal, sin embargo, se observa que el área deforestada en la entidad territorial corresponde a 6.69 hectáreas equivalente al 0.23% del municipio (pág. 158).

La microcuenca principal abastecedora es la Río Quilichao, es parte de la subcuenca del Río Quinamayó y se encuentra localizada al norte del Cauca, sobre el flanco occidental de la cordillera central, entre las elevaciones 960 y 2600 m.s.n.m. y las coordenadas 3° 4 03' y 3° 02' de latitud norte y 76° 15' y 76° 18' de longitud oeste. Nace en el Cerro Munchique – Los Tigres, ubicado en la Vereda Guayabal a 2500 m.s.n.m., y tiene un área aproximada de 2300 has. Presenta una longitud de cauce de 23 km, pendiente promedio de 8.4% hasta el área urbana, tiene un patrón de drenaje completo en la parte alta y en su zona de ladera, con alta densidad lo cual da una máxima potencialidad de producción hídrica (pág. 159).

Los principales conflictos presentes en la microcuenca se deben al manejo inapropiado del suelo. En la parte alta de la microcuenca se pueden observar fincas con monocultivos de maíz; la falta de rotación de cultivos genera el empobrecimiento de la tierra. En la parte media se presenta el manejo inadecuado de los vertimientos líquidos y de los residuos sólidos. En la zona media hacia abajo se evidencian grandes áreas descubiertas por ganadería extensiva, falta de protección de los bosques de galería, derivación temporal del recurso de agua (pág. 160).

La degradación del suelo consecuencia de acciones directas tales como la agrícola, forestal y ganadera, o acciones indirectas como la eliminación inadecuada de residuos, pueden generar entre todas las afectaciones posibles la erosión de la tierra, y de esta forma la reducción de la capacidad de conservación de la humedad de los suelos, lo que conlleva a la adición de sedimentos a la cuenca hídrica; así mismo, la deforestación evita la existencia de barreras naturales para la prevención de derrumbes, por lo que en épocas de lluvias se

producen derrumbes que conducen al cierre temporal del suministro de agua y crecientes (pág. 160).

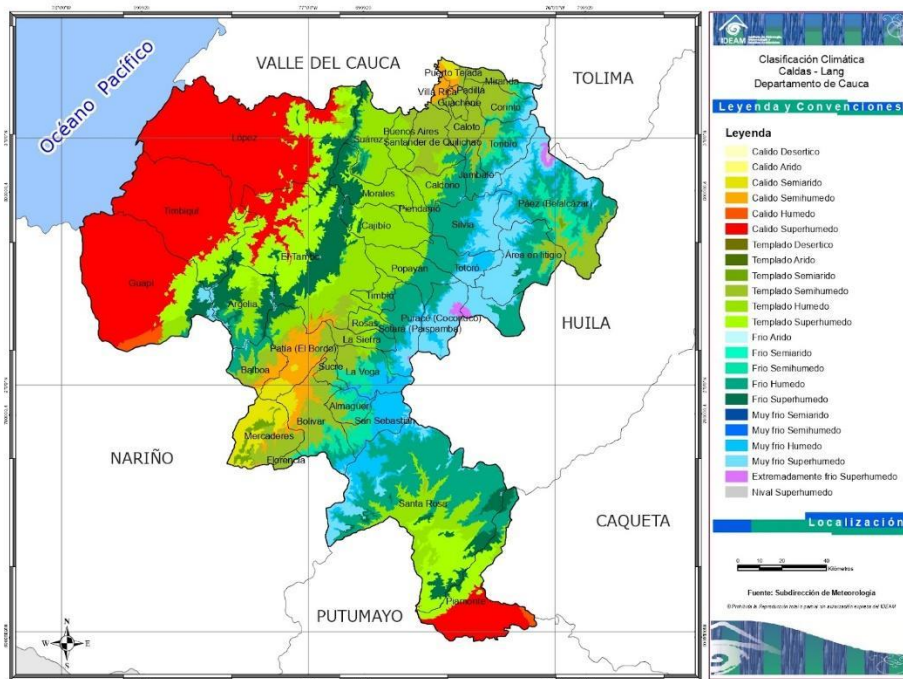
La microcuenca del Río Quilichao, en su parte alta, pertenece a la unidad fisiográfica de la Cordillera central, con unidad climática medio húmedo, Gran paisaje Relieve montañoso, fluvioerosional, paisaje montaña y subpaisaje ladera rectilíneas largas muy escarpadas; en general son suelos poco profundos, con textura al tacto desde franca-arenosa a franco-arcillosa y profundidad efectiva profunda y material parental volcánico. En su parte plana se presentan paisajes coluvios, colinas bajas disectadas y valle aluvial. En la parte del piedemonte presenta paisajes de terrazas, abanicos, colinas bajas e intermedias, con suelos derivados de depósitos coluvio-aluviales y cenizas volcánicas (pág. 161).

La microcuenca del Río Quilichao presenta diferentes pisos térmicos, los cuales definen tres unidades climáticas así: Tierra moderadamente cálida-húmeda, con una estación seca marcada (TMC/HG/M), (Aproximadamente 1927has), comprendida entre los 1.000 y los 1.400 m.s.n.m., con temperatura entre 20°C y 24°C y precipitaciones de 1.500 a 2.000 mm por año, que corresponde según Holdridge a Bosque Húmedo Premontano (bh-PM). Tierra templada muy húmeda, sin estación seca marcada (TT/MH/SES) (Aproximadamente 1.029 has), comprendida entre los 1.400 y 2.000 m.s.n.m., con temperaturas promedio de 16°C y precipitaciones de 1.800 a 2.000 mm por año, que corresponde, según Holdridge, a Bosque muy Húmedo Montano Bajo (bhmPM). Tierra Moderadamente fría, muy húmeda sin estación seca marcada (TMF/MH/ SES) (Aproximadamente 323 has), comprendida entre los 2.000 y 2.600 m.s.n.m., temperaturas de 12°C a 16°C y precipitaciones de 200 a 400 mm por año, que corresponde, según Holdridge, a Bosque muy Húmedo Montano Bajo (bhm-Mb) (pág. 162).

Los registros de la estación ubicada en la Hacienda Japio arrojan una temperatura mínima mensual de 15.8°C, variando entre los 8.2°C y los 18.4°C. Respecto a la temperatura media mínima mensual, oscila entre los 14°C y los 20°C, siendo el valor medio de 18.1°C. La temperatura media mensual es de 23.5°C, variando entre los 20.6°C y los 26.5 °C. Por su parte,

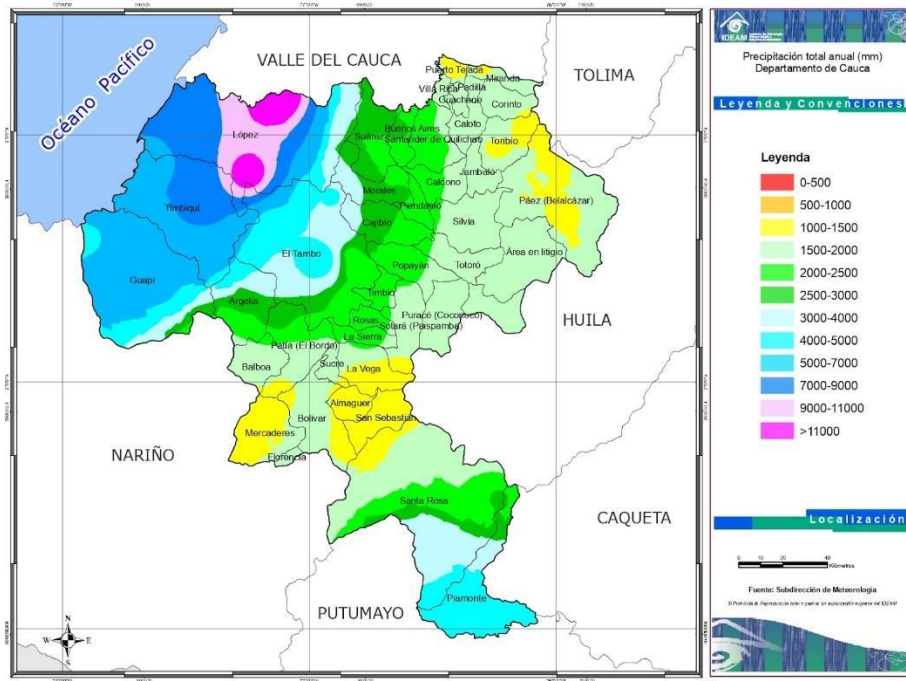
la temperatura media máxima mensual es de 29.2°C, presentando un valor máximo de 32.5°C y un mínimo de 25.5°C. Por último, la temperatura máxima mensual es de 31.8°C, obteniéndose un valor máximo de 38.2°C y un mínimo de 29.0°C. Respecto a la precipitación, el número de días de lluvia por año asciende a 146, siendo el valor de precipitación total de 1,776.4 mm. De forma mensual, el valor máximo de precipitación registrado fue de 554.0 mm. Los datos históricos de precipitaciones del presente documento fueron obtenidos a partir de los registros IDEAM actualizados para la estación de influencia en la zona (pág. 164).

**Figura 2** Clasificación climática departamento del cauca (caldas Lang)



Nota: fuente (IDEAM, 2023)

**Figura 3** Precipitación total anual departamento del Cauca



Nota: fuente (IDEAM, 2023)

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General**

Plantear acciones frente al cambio climático en el municipio de Santander de Quilichao, Cauca, mediante la evaluación de la variabilidad climática con base en los parámetros de temperatura y precipitación disponibles en la serie 1971 - 2020 y su incidencia sobre los escenarios de riesgo en el municipio.

#### **3.2. Objetivos específicos**

1. Analizar las variaciones en la temperatura media anual y la precipitación total anual, para el municipio de Santander de Quilichao, Cauca, durante el período 1971 - 2020.

2. Establecer el comportamiento de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno, para el municipio de Santander de Quilichao, Cauca.

3. Identificar las variaciones en los escenarios de cambio climático futuros propuestos por el IDEAM, asociados a los parámetros de temperatura y precipitación para el municipio de Santander de Quilichao, Cauca.

4. Proponer acciones de adaptación frente al cambio climático y los escenarios de riesgo asociados, con relación a la variación de los parámetros de temperatura y precipitación en el municipio de Santander de Quilichao, Cauca.

## 4. Antecedentes

### **Cambio Climático**

El cambio climático es un cambio significativo y duradero de los patrones locales o globales del clima a causa de una variación de la temperatura de la atmósfera. El municipio de Santander de Quilichao no ha sido ajeno a este fenómeno, según versiones de los habitantes, es notable el aumento de la temperatura en el municipio, lo que en repetidas ocasiones ha ocasionado pérdidas incalculables en cultivos, como ocurrió a finales de 2015 y principios del 2016, periodo en el que se presentó un cambio en el régimen de las lluvias, extendiéndose por más de seis meses el periodo de sequía (Quilichao vive 2020 - 2023, 2020, pág. 171).

Según estudios del IDEAM, históricamente el territorio nacional se ha visto afectado por lo que los científicos han denominado fenómeno del Niño, definido como un fenómeno de naturaleza marina y atmosférica, que consiste en un calentamiento anormal de las aguas superficiales en el pacífico tropical central y oriental, ocasionando una reducción de las precipitaciones. Dentro de los eventos ocurridos durante los últimos 25 años, destacan los ocurridos en los periodos 1972 -1973, 1982 -1983, 1986 -1987, 1991 -1992, 1994 -1995 entre otros. El municipio de Santander por su ubicación geográfica, no ha sido ajeno a las inclemencias de este fenómeno como ocurrió a mediados del año 2015 y principio del 2016, donde se registraron los meses con las temperaturas más altas en la historia del municipio, se registró además una disminución considerable en el caudal de los ríos y quebradas, se presentó un aumento considerable en la ocurrencia de incendios forestales, la proliferación de enfermedades transmitidas por vectores, pérdida de cultivos, entre otras, lo que incluso conllevó a determinar la calamidad pública en el municipio por los efectos ocasionados producto de la sequía (Quilichao vive 2020 - 2023, 2020, pág. 171).

### **Incendios Forestales**

De acuerdo al Plan Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres (2016) los incendios forestales en el municipio de Santander de Quilichao se presentan con mayor frecuencia en los

meses de julio, agosto, septiembre, en gran medida estos son ocasionados por las quemadas controladas que realizan los campesinos para la regeneración de los pastos, las prácticas agrícolas, y otros son causados por personas pirómanas, muchas veces estas situaciones dadas las condiciones climáticas y topográficas se extienden sin control por extensas áreas de terreno.

En el municipio de Santander de Quilichao a lo largo del tiempo se han venido presentando incendios forestales, sin embargo, en el año 2012 y 2015 tuvieron un comportamiento atípico incrementándose debido a la sequía que se presentó. En esa medida en el año 2012 se pudo identificar que se presentaron en los siguientes lugares: Carbonero, Pénjamo, el Llanito, La Samaria, Quita pereza, Vilachí, Bella Vista, Mandiva, Belén, alrededores del peaje Santander-Cali, La Agustina, San Antonio, Garrapatero, Canalón, Los Guabos, Santa-Rosa, La Chapa, Santa Inés, Parque Industrial, aldeaño ladrillera Meléndez, La Arrobleda, Lomitas, Cachimbal, Mondomo, Bello horizonte, Vereda la Toma y la vereda el Palmar, Villa del sur, además los municipios de Suarez, Timba, Pescador.

Y en el año 2015 los incendios forestales fue unos de los eventos con mayor recurrencia en el municipio, en gran medida estos se presentaron dadas las condiciones de sequía, influenciada por el fenómeno del niño, el cual se ha venido presentando y propiciando la ocurrencia de incendios forestales y de la disminución del recurso hídrico, generando emergencias que en algunos casos han llevado a que se declare calamidad pública.

### **Inundación y avenidas torrenciales**

De acuerdo al Plan Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres (2016) con los registros del CLOPAD - CMGRD, en el municipio de Santander de Quilichao, se han presentado un sin número de eventos relacionados con inundaciones, y avenidas torrenciales los cuales han causado daños y/o pérdidas parciales y totales en infraestructura de viviendas, pérdida de enseres, electrodomésticos, tanto en la zona rural como en la zona urbana,

registrándose antecedentes y principales afectaciones en eventos ocurridos durante los años 1983,1984, 1988,1993, 1997 1998, 1999, 2000, 2006, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2023.

En total se calcula que en el municipio de Santander de Quilichao se han visto afectadas un total de 140 viviendas, así mismo en enseres, electrodomésticos que han presentado daños y/o pérdidas representadas en \$ 560.000.000 aproximadamente.

En total se calcula que en el municipio de Santander de Quilichao se han visto afectadas un total de 15 equipamientos, de salud, educativos, producto de inundaciones, específicamente en las veredas Quinamayó, Mandiva, Lomitas Abajo, Mondomo entre otras, que han representado daños y/o pérdidas representadas por valor de \$ 1.200.000.000 aproximadamente.

En bienes de producción, se calcula se han perdido 300 hectáreas de cultivos de pan coger, árboles frutales, cultivos de arroz, lo que representa pérdidas por valor de \$2.500.000.000.000. Aproximadamente.

Pérdida de cobertura vegetal nativa, disminución de la oferta hídrica, migración y desaparición de especies endémicas, se estima que se pueden haber perdido 30 hectáreas de bosques, lo que representa pérdidas por valor de \$ 3.600.000.000 aproximadamente.

### **Movimientos en masa**

De acuerdo al Plan Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres (2016) la ocurrencia de este tipo de fenómenos presentan mayor incidencia en periodos de lluvias intensos y prolongados, entre los meses de octubre, noviembre, diciembre, marzo y abril, este tipo de fenómenos tienen mayor incidencia en la zona rural del municipio y se presentan por causas como: suelos con pendientes mayores del 45%, naturaleza de los terrenos (suelos residuales o saprolitos), saturación por infiltración de aguas, trazado de vías y movimientos sísmicos, y una de las causas más importantes es la actividad antrópica, principalmente la deforestación, construcción de pozos sépticos y vertimientos de aguas servidas sobre las laderas.



De acuerdo al Plan Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres (2016) los registros del CLOPAD - CMGRD, en el municipio de Santander de Quilichao, se han presentado un sin número de eventos relacionados con movimientos en masa, los cuales han causado daños y/o pérdidas parciales y totales en infraestructura de viviendas, pérdida de enseres, electrodomésticos, tanto en la zona rural como urbana, sin embargo, a nivel de la administración municipal no se cuenta con estos registros históricos organizados, de manera tal que permita una lectura clara por año.

## 5. Marco teórico

### 5.1. Marco referencial

El clima es conocido cómo las condiciones atmosféricas predominantes durante un periodo de tiempo relativamente largo, lo que permite realizar su estudio disminuyendo la influencia de fenómenos climáticos de temporalidad corta. El clima está determinado por factores radiactivos relacionados a la radiación solar y efecto invernadero, por la interacción entre los componentes del sistema Tierra y sus capas gaseosas. El clima de un lugar o región depende de cómo esté geográficamente ubicada, lo que define características puntuales del clima. El clima de La Tierra está controlado por la radiación solar que ingresa al planeta. Algunos gases componentes del aire como el dióxido de carbón y el vapor de agua interceptan los rayos solares reteniendo calor, fenómeno conocido como efecto invernadero (IDEAM - UNAL, 2018).

A través del tiempo el clima presenta ciclos o fluctuaciones de diversa duración. En diferentes años, los valores de las variables climatológicas como temperatura del aire, precipitación fluctúan por encima o por debajo de lo normal, la secuencia de estas oscilaciones alrededor de los valores normales, se conoce como variabilidad climática. Cuando las modificaciones de las condiciones predominantes se mantienen en el largo plazo (siglos, milenios, etc.) se le denomina cambio climático (IDEAM - UNAL, 2018).

En los últimos tres siglos se ha acentuado la actividad humana y se ha intensificado su efecto en el sistema climático. A través de la quema de combustibles fósiles para producción de energía y de la transformación de las características de la superficie terrestre está generando cambios en la composición de la atmósfera, proceso que altera el balance de radiación del sistema tierra-atmósfera. Debido al aumento de los gases de efecto invernadero está ocurriendo un calentamiento de la atmósfera global que se suma al calentamiento normal de la tierra (IDEAM - UNAL, 2018).

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el documento Contribución Nacionalmente Determinada – NDC (2020) establece acciones para la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), y la adaptación al cambio climático, así como el desarrollo y puesta en marcha de los medios de implementación necesarios, producto del compromiso definido y asumido por Colombia bajo el Acuerdo de París para hacer frente al cambio climático, expresa:

Asumiendo el cambio climático como una prioridad nacional, Colombia aprobó en 2017 la Política Nacional de Cambio Climático y en 2018 la Ley de Cambio Climático, las cuales establecen las directrices para la gestión del cambio climático en el país. Tanto la ley como la política buscan aprovechar sinergias y apalancar el marco regulatorio y los sistemas existentes, y estructuran el Sistema Nacional de Cambio Climático (SISCLIMA) como eje primario de institucionalización e internalización del cambio climático entre actores e instrumentos (pág. 3).

En los últimos años, los instrumentos de planificación de Colombia para la acción climática se han consolidado y puesto en marcha. Esto se ha visto reflejado en la incorporación del cambio climático en los instrumentos formales de planificación sectorial y territorial, a través de la formulación de los Planes Integrales de Gestión de Cambio Climático a nivel sectorial (PIGCCS) y territorial (PIGCCT) (pág. 3).

En los últimos años, el país ha avanzado en la realización de análisis de vulnerabilidad y riesgo por cambio climático, no sólo a escala nacional por unidades administrativas de departamentos y municipios, sino que también se ha enfocado en los servicios de sistemas socio ecológicos y en sectores productivos. Adicionalmente, a partir de la TCNCC y del informe AR5 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC, Colombia ha buscado profundizar el entendimiento de su vulnerabilidad y riesgo al cambio climático. lo que ha permitido la construcción de mapas de amenaza, vulnerabilidad, y riesgo (pág. 23).

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales IDEAM, La Unidad Nacional De Gestión De Riesgo De

Desastres UNGRD Y Parques Nacionales Naturales PNN en el documento Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2016) establecen Líneas de Acción Prioritarias para la Adaptación al Cambio Climático en Colombia, expresa:

Las actividades de monitoreo y los datos e información generados pueden aumentar su impacto positivo sobre propósitos de múltiples entidades ampliando la cobertura espacial de los datos para el robustecimiento de estudios locales, y mejorando el flujo de datos e información para beneficio de todos los usuarios. Para ello el Estado, en cabeza del SINA, ha formulado acciones de carácter intersectorial para la producción, acceso y uso de datos e información hidrológica, meteorológica y oceanográfica, de manera conjunta entre las entidades que operan estaciones de monitoreo de estas categorías de datos e información, bajo la coordinación del IDEAM como autoridad hidrológica y meteorológica y siguiendo la metodología elaborada por la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales -ICDE (pág. 46).

Las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales tienen la responsabilidad de gestionar la información meteorológica, hidrológica y oceanográfica en su jurisdicción. En este sentido, esta acción estratégica consiste en considerar que estas funciones deben empezar a informarse sobre la influencia del cambio climático sobre dichas variables y a generar análisis sobre cómo continuará comportándose en el futuro su entorno meteorológico, hidrológico y oceanográfico (pág. 47).

El IDEAM lidera la conformación del Centro de Modelación Nacional Hidráulica e Hidrológica, con el fin de fortalecer la capacidad de modelación del país, articular los esfuerzos de modelación hidráulica, hidrológica e hidrogeológica que se vienen realizando desde diferentes ámbitos y responder oportunamente a las demandas de información desde instancias nacionales, regionales y locales (pág. 47).

Actualmente el país cuenta con información a escala regional de escenarios de cambio climático y ha generado análisis de vulnerabilidad a nivel nacional, regional y local. Las comunicaciones nacionales son los reportes oficiales de vulnerabilidad del país, aunque estos

pueden no brindar información suficientemente detallada de nivel local. En este orden de ideas, los análisis existentes pueden mejorar, en algunos casos en la medida que incorporen información climática actualizada y haciéndolos extensivos a todo el territorio nacional. Además, deben consolidarse como insumos indispensables para informar los instrumentos de ordenamiento y desarrollo territorial en todo el país (pág. 49).

## 5.2. Marco conceptual

**Adaptación al cambio climático:** Es el proceso de ajuste a los efectos presentes y esperados del cambio climático. En ámbitos sociales de decisión corresponde al proceso de ajuste que busca atenuar los efectos perjudiciales y/o aprovechar las oportunidades beneficiosas presentes o esperadas del clima y sus efectos. En los socio-ecosistemas, el proceso de ajuste de la biodiversidad al clima actual y sus efectos puede ser intervenido por la sociedad con el propósito de facilitar el ajuste al clima esperado (Ley 1931, 2018).

**Análisis y evaluación del riesgo:** Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación (ley 1523, 2012).

**Cambio climático:** Variación del estado del clima, identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o

cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2017).

**Clima:** Se entiende las condiciones atmosféricas predominantes durante un período determinado sobre un lugar o una región. Ese período puede ser una semana, o de cinco-diez días, mes(es), años, siglos. Las condiciones predominantes generalmente se cuantifican con el promedio de temperatura del período, el acumulado de precipitación en el periodo o el número de fenómenos extremos ocurridos en el período (IDEAM - UNAL, 2018).

**Efecto invernadero:** Es el fenómeno natural por el cual la tierra retiene parte de la energía solar, permitiendo mantener una temperatura que posibilita el desarrollo natural de los seres vivos que la habitan (Ley 1931, 2018).

**Escenario de cambio climático:** Un escenario es una descripción estimable sobre cómo puede desarrollarse el futuro. Esta descripción está basada en un conjunto de variables y supuestos sobre fuerzas y relaciones de cambio claves, que pueden originar un convincente posible estado futuro sobre algo. Los escenarios son una de las principales herramientas de la investigación prospectiva, la cual permite prever con anticipación lo que ocurrirá si se presentan cada uno de los eventos modelados (nuevos escenarios de cambio climático, 2015).

**Fenómeno de El Niño:** Término usado originalmente para describir la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales más cálidas que lo normal en la región del Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia. Es una de las fases extremas dentro del ciclo conocido como El Niño, La Niña - Oscilación del Sur, que es la causa de la mayor señal de la variabilidad climática interanual, en la zona tropical (IDEAM - UNAL, 2018).

**Fenómeno de La Niña:** Se refiere a las condiciones frías extremas que recurrentemente, pero de manera irregular, se presentan en el sector central y oriental del Pacífico tropical (es el opuesto a las condiciones El Niño), durante por lo menos seis meses. Dicho enfriamiento de la superficie del mar cubre grandes extensiones de la superficie de este

océano y por su magnitud altera sensiblemente el clima en diferentes regiones del planeta (IDEAM - UNAL, 2018).

**Fenómeno meteorológico extremo:** Ocurrencia de un valor de una variable atmosférica que sale de lo “normal” (arriba o debajo), superando el límite máximo o mínimo cercano al máximo o al mínimo del rango de los valores observados de una variable. Dichos extremos tienen una manifestación de manera diferenciada y los más frecuentes son: olas de calor, heladas, lluvias torrenciales, y sequías. Otros son granizo, vendavales y tormentas eléctricas (World Meteorological Organization, 2012).

**Gases de efecto invernadero (GEI):** Son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, de origen natural o antropogénico, que absorben y emiten la energía solar reflejada por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>) los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>) (Ley 1931, 2018).

**Norma climática:** La norma climática es la valoración de las condiciones predominantes o patrones establecidos durante un período y cuantitativamente se representa con características estadísticas (promedio, varianza, frecuencia) de una serie continua de datos de observaciones o mediciones de una variable climatológica (temperatura, humedad, precipitación, etc.) para un periodo de por lo menos 30 años (IDEAM - UNAL, 2018).

**Riesgo asociado al cambio climático:** Potencial de consecuencias en que algo de valor está en peligro con un desenlace incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acaecimiento de sucesos o tendencias peligrosas multiplicada por los impactos en caso de que ocurran tales sucesos o tendencias. Los riesgos resultan de la interacción de la vulnerabilidad, la exposición y la amenaza. En la presente política, el término riesgo se utiliza principalmente en referencia a los riesgos

asociados a los impactos del cambio climático (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2017).

**Precipitación:** Cantidad total de agua, líquida o sólida, que alcanza la superficie de La Tierra (suelo en el continente, agua en el océano) durante un determinado período de tiempo y se expresa por la altura (en milímetros) de la lámina de agua que cubriría el suelo supuesto perfectamente horizontal y si no hubiese pérdidas por infiltración o por evaporación. Un milímetro de lluvia equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie (IDEAM - UNAL, 2018).

**Temperatura:** Es la medida de la energía cinética media (nivel de agitación) de las moléculas del aire alrededor del termómetro. Es un índice indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire que resulta del intercambio de calor entre la atmósfera y La Tierra (IDEAM - UNAL, 2018).

**Tiempo atmosférico:** Es el estado de la atmósfera en un momento dado. El tiempo atmosférico se expresa en el conjunto de fenómenos (nublado, soleado, lluvioso, calor, frío, viento o calma; o en situaciones atmosféricas extremas como helada, tormenta, vendaval, granizada, entre otros) que observamos en un instante determinado. El intervalo a que hace referencia el tiempo atmosférico es de minutos, horas hasta un par de días (IDEAM - UNAL, 2018).

**Variabilidad climática:** La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2017).



**Vulnerabilidad:** Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (Ley 1523, 2012).

## 6. Metodología

Tabla 1 Metodología aplicada

OBJETIVO	ACTIVIDADES	MÉTODO
<p>Analizar las variaciones en la temperatura media anual y la precipitación total anual para el municipio de Santander de Quilichao, Cauca para el período 1971 - 2020.</p>	<p>Consulta de información meteorológica oficial</p>	<p>Consulta a la plataforma de <i>Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos</i> – DHIME del IDEAM, búsqueda de las estaciones meteorológicas dentro de la jurisdicción del municipio de Santander de Quilichao, Cauca con datos disponibles para los parámetros de temperatura y precipitación.</p>
	<p>Obtención de datos hidrometeorológicos para las estaciones seleccionadas</p>	<p>Selección de las estaciones meteorológicas del IDEAM, con mayor cantidad posible de información en el periodo 1971 – 2020 para los parámetros temperatura y precipitación, definición las variables de estudio para cada uno de los parámetros, con base en la información disponible en la plataforma de <i>Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos</i> – DHIME, descarga de los datos para las variables seleccionadas, exportándose en un archivo en formato Excel.</p>
	<p>Tratamiento estadístico de datos en Excel para gestión de datos faltantes y tabulación</p>	<p>Revisión literaria para definir método más común, estimación de los datos faltantes, tabulación de los datos utilizando la función tabla dinámica del software Microsoft Excel, con el fin de organizar los datos en la temporalidad adecuada para su estudio.</p>
	<p>Análisis de variaciones en los datos en escala mensual anual de las series analizadas para los parámetros temperatura y precipitación</p>	<p>Selección de periodos de comparación independientes, Graficación tipo líneas y cálculo del porcentaje de aumento o disminución mensual.</p>
	<p>Análisis de tendencia anual de las series analizadas para los parámetros temperatura y precipitación</p>	<p>Graficación la tendencia de los datos anuales tanto de temperatura como de precipitaciones.</p>
<p>Establecer el comportamiento de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno para el municipio de Santander de Quilichao, Cauca.</p>	<p>Selección de las estaciones meteorológicas del IDEAM para análisis de los periodos de retorno</p>	<p>Selección de estaciones con al menos 30 años de datos históricos de precipitación de acuerdo a la disponibilidad de la información, selección de las series climatológicas más recientes de acuerdo a la disponibilidad de datos.</p>
	<p>Obtención de datos hidrometeorológicos para las estaciones seleccionadas</p>	<p>Descarga de los datos para las variables seleccionadas, exportándose en un archivo en formato Excel.</p>
	<p>Determinación de lluvias máximas anuales y organización de datos de mayor a menor</p>	<p>Determinación mediante el análisis estadístico de las lluvias anuales.</p>

	Representación gráfica y análisis estadístico para caracterización de la gráfica	Graficar en Excel y determinación de la ecuación característica de la curva y su coeficiente de correlación.
	Cálculo de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno	Sustitución de diferentes años sobre la fórmula resultante de la gráfica caracterizada.
	Análisis de las precipitaciones obtenidas para los diferentes periodos de retorno	Observar la dispersión de los resultados y la intensidad de las precipitaciones para los periodos de retorno evaluados.
Identificar las variaciones en los escenarios de cambio climático futuros propuestos por el IDEAM, asociados a las variables de temperatura y precipitación para el municipio de Santander de Quilichao, Cauca.	Consulta de los escenarios de riesgo futuros para el 2040 plantados por el IDEAM	Descarga del documento "Escenarios de CC documento nacional y departamental" del IDEAM.
	Lectura de gráficas y proyecciones del cambio climático para los escenarios futuros	Ubicación geográfica del municipio de Santander dentro de las gráficas del departamento del cauca.
	Análisis de las proyecciones del cambio climático para los escenarios futuros	Identificación de comportamiento e intensidad de las temperatura y precipitaciones para el municipio.
Proponer acciones de adaptación frente al cambio climático y los escenarios de riesgo asociados con relación a la variación de los parámetros de temperatura y precipitación en el municipio de Santander de Quilichao, Cauca.	Revisión de resultados y análisis obtenidos	Consolidado de los resultados y análisis obtenidos para el desarrollo de los objetivos 1, 2, 3 que permitiera enlazar los resultados con las acciones de adaptación frente al cambio climático con relación a los parámetros de temperatura y precipitación.
	Consulta del estado del arte de la relación entre las variables precipitación, periodos de retorno de lluvias máximas y temperatura y el cambio climático en el futuro.	Consulta bibliográfica
	Ejecución de un diagnóstico sobre las problemáticas existentes en el municipio frente al cambio climático en el municipio, de acuerdo al PMGRD y documentos afines	Identificación de las problemáticas y medidas frente al cambio climático en el PMGRD, PMD, Plan adaptación al cambio climático
	Proponer acciones de adaptación frente a la incidencia sobre los escenarios de riesgo asociados al cambio climático con relación a la variación de los parámetros de temperatura y precipitación	Proposición nuevas acciones con base en la bibliográfica existente en el tema.

### **6.1. Variaciones en la temperatura media anual y la precipitación total anual para el período 1971 - 2020.**

Para el desarrollo del objetivo 1, correspondiente al análisis de las variaciones en la temperatura media anual y la precipitación total anual, para el municipio de Santander de Quilichao, Cauca, durante el período 1971 – 2020. En primero lugar se realizó la consulta a la plataforma de *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos* – DHIME, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, una vez en la página se desarrolló la búsqueda de las estaciones meteorológicas dentro de la jurisdicción del municipio de Santander de Quilichao, Cauca, con datos disponibles para los parámetros de temperatura y precipitación.

Se seleccionaron las estaciones meteorológicas del IDEAM, teniendo como criterio de selección el que tuviesen la mayor cantidad posible de información recolectada en el periodo 1971 – 2020, tanto para el análisis de parámetro de temperatura y como para el análisis del parámetro de precipitación.

Una vez seleccionadas las estaciones a trabajar se definieron las variables de estudio para cada uno de los parámetros, con base en la información disponible en la plataforma de *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos* - DHIME. Para posteriormente realizar la descarga de los datos disponibles para las variables seleccionas, exportándose en un archivo en formato Excel, hasta el momento con valores faltantes que no fueron registrados por los equipos.

Con el fin de completar los datos faltantes se realizó una revisión literaria, encontrándose que unos de los métodos más comunes es el método de la regresión lineal, en el que se calculan inicialmente los coeficientes de correlación entre los datos de la estación con registro incompleto y cada una de las estaciones vecinas con un mejor registro de datos, para luego escoger las estaciones con mayor coeficiente de correlación. Luego, los datos faltantes

se estiman utilizando una ecuación de regresión lineal con la estación que tiene la correlación más alta. La correlación y la ecuación de la línea de regresión se obtienen utilizando el software Microsoft Excel (Caldera, Piyathisse, & Nandalal, 2016).

Después de realizar la determinación de los datos faltantes por el método de la regresión lineal, se realizó la tabulación de los datos utilizando la función tabla dinámica del software Microsoft Excel, con el fin de organizar los datos en la temporalidad adecuada para su estudio.

Para el caso del parámetro de temperatura los datos fueron reorganizados, obteniendo las variables medias a escala anual usando el cálculo por promedio. En el caso del parámetro de precipitación, estos datos fueron reorganizados de dos formas para el caso de estudio: en la primera de ellas se seleccionaron dos periodos de tiempo independientes, correspondientes a los periodos de 25 años 1971 – 1995 y 1996 – 2020, para los cuales cada uno de ellos fue organizado obteniendo la sumatoria de las precipitaciones totales mensuales, usando el cálculo por suma de las diferentes precipitaciones mensuales para cada año, seguidamente para evidenciar las variaciones por mes para ambos periodos, estos fueron graficados juntos a través de gráficos de líneas y calculado el porcentaje de aumento o disminución para facilitar su análisis; la segunda de ellas obteniendo las precipitaciones totales a escala anual usando el cálculo por suma de las diferentes precipitaciones mensuales o diarias. Finalmente, para evidenciar la tendencia de los datos anuales tanto de temperatura como de precipitaciones, estos fueron ilustrados a través de gráficos de líneas usados para mostrar tendencias en el tiempo, mediante la función línea de tendencia del software Microsoft Excel.

## **6.2. Comportamiento de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno**

Para el desarrollo del objetivo 2, correspondiente establecer el comportamiento de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno, para el municipio de Santander de Quilichao, Cauca. Partiendo de los datos estadísticos analizados en el desarrollo del objetivo

número 1, en primer lugar, se definieron las series climatológicas a analizar para las estaciones de estudio que contaran con al menos 30 años de datos históricos de precipitación, para lo cual fueron seleccionadas las series climatológicas más recientes de acuerdo a la disponibilidad de datos.

Con los datos de precipitación diaria obtenidos se realizó la tabulación y tratamiento estadístico en Excel, obteniendo inicialmente los datos máximos anuales de las series climáticas a través de la función "tabla dinámica", permitiendo evidenciar la cantidad máxima de precipitación diaria para cada uno de los años de los periodos analizados, en las diferentes estaciones. Datos que posteriormente fueron organizados de mayor a menor, para poder relacionarlos con la probabilidad y periodos de retorno calculados de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 1** *Cálculo de probabilidad para un periodo de n años*

$$P = \frac{m}{(n + 1)}$$

**Ecuación 2** *Cálculo de periodo de retorno para un periodo de n años*

$$PR = \frac{1}{P}$$

Donde:

P: probabilidad

m: orden dentro del periodo (n años)

n: número total de años del periodo

PR: período de retorno

Una vez obtenidos los datos de periodo de retorno para el conjunto de datos, se realizó posteriormente la representación gráfica de los valores obtenidos, en un plano cartesiano, situando los valores de periodo de retorno en el eje de abscisas posicionado horizontalmente y los valores de precipitaciones máximas en el eje de ordenadas posicionando verticalmente, obteniendo de esta forma y mediante el programa Excel, una gráfica de correlación entre

ambas variables, lo que permitió posteriormente la caracterización de la gráfica por medio de una línea tendencia. Seguidamente se determinó por medio de funciones del programa Excel, la ecuación de cada gráfico, con coeficiente de correlación más elevado para las estaciones respectivamente.

Finalmente, mediante el uso de las ecuaciones anteriores se realizó el cálculo de las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno correspondiente a 5, 10, 25, 50 y 100 años.

### **6.3. Variaciones en los escenarios de cambio climático futuros propuestos por el IDEAM, asociados a los parámetros de temperatura y precipitación**

Para el desarrollo del objetivo 3, correspondiente a la identificación de las variaciones en los escenarios de cambio climático futuros propuestos por el IDEAM, asociados a los parámetros de temperatura y precipitación, para el municipio de Santander de Quilichao, Cauca. Inicialmente se consultaron los diferentes escenarios de riesgo futuros asociados al cambio climático, planteados para Colombia durante el periodo comprendido entre 2011 y 2100, por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, por lo que se consultó como documento principal “Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100” ubicado en la base de datos del IDEAM.

En el documento se aborda que la temperatura y la precipitación son dos variables que marcan las tendencias de cambio climático inducidas, tanto por factores naturales como por los cambios que han generado las actividades humanas en el planeta. A través de este documento por primera vez presenta el panorama del comportamiento esperado del cambio climático para las cinco grandes regiones geográficas para cada uno de los departamentos del país, constituyéndose, sin lugar a dudas, en herramientas fundamentales para apoyar la toma de decisiones y la planificación de nuestros gobernadores y alcaldes (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2015).

Posteriormente se extrajeron las diferentes gráficas y demás análisis para el departamento del Cauca, ya que debido a la escala del estudios Nacional y regional, los diferentes estudios abordados en el documento presentan la información a nivel departamental.

Con el fin de analizar la información para el municipio de Santander de Quilichao, las diferentes gráficas a escala departamental fueron importadas al programa Google Earth y ubicadas espacialmente con la ayuda de un archivo shape con los límites del departamento del Cauca y después georreferenciados los límites del municipio de Santander de Quilichao, obteniendo de esta forma su ubicación dentro de los mapas descargados inicialmente y pudieron generar la lectura de resultados para el municipio.

#### **6.4. Acciones de adaptación frente al cambio climático y escenarios de riesgo asociados con relación a los parámetros de temperatura y precipitación**

Para el desarrollo del objetivo 4, correspondiente a proponer acciones de adaptación al cambio climático y escenarios de riesgo asociados con relación a la variación de los parámetros de temperatura y precipitación en el municipio de Santander de Quilichao, Cauca, con base en los resultados obtenidos en los objetivos anteriormente abordados. Para empezar, se realizó un consolidado de los resultados y análisis obtenidos para el desarrollo de los objetivos 1, 2, 3 que permitiera enlazar los resultados con las acciones de adaptación frente al cambio climático con relación a los parámetros de temperatura y precipitación.

Después se abordó una consulta del estado del arte de la relación entre las variables precipitación, periodos de retorno de lluvias máximas y temperatura y el cambio climático en el futuro.

Posteriormente se planteó la ejecución de un diagnóstico sobre las problemáticas existentes en el municipio frente al cambio climático en el municipio y las acciones de mitigación, adaptación y/o planificación, de acuerdo al Plan Municipal de Gestión de Riesgo de



Desastres - PMGRD y documentos institucionales afines con el fin de identificar las acciones definidas en los documentos de planeación del municipio frente al cambio climático.

Para terminar y con el fin de proponer acciones de adaptación frente al cambio climático y escenarios de riesgo asociados con relación a la variación de los parámetros de temperatura y precipitación en el municipio de Santander de Quilichao y de acuerdo a los resultados del diagnóstico anterior se propusieron nuevas acciones con base en la bibliográfica existente en el tema.

## 7. Cuerpo del trabajo

### 7.1. Variaciones en la temperatura media anual y la precipitación total anual para el período 1971 - 2020.

La siguiente tabla muestra las estaciones en jurisdicción del municipio de Santander de Quilichao consideradas para la realización del presente estudio.

**Tabla 2** Estaciones con datos disponibles de temperatura

Código	Nombre	Fecha Inicial	Fecha Final	Cantidad Datos
26025030	Japio [26025030]	1970-12-31	2001-12-01	376
26025110	Lomitas [26025110]	2002-05-01	2020-12-31	227

**Tabla 3** Estaciones con datos disponibles de precipitación

CODIGO	NOMBRE	FECHA INICIAL	FECHA FINAL	CANTIDAD DATOS
26020240	El Aguila [26020240]	1971-05-01	1986-12-31	5723
26020300	La Agustina [26020300]	1970-06-01	1976-01-31	2070
26020200	El Amparo [26020200]	1971-03-01	2023-03-01	18993
26020290	Camp Los Guavos [26020290]	1970-06-01	1986-12-31	6057
26020040	Inst Tecnico Nal [26020040]	1968-12-31	1998-12-31	10957
26020470	Japio [26020470]	2004-07-01	2023-03-10	6826
26025030	Japio [26025030]	1968-12-31	2004-06-30	12965
26020380	Lomitas [26020380]	1975-04-02	2004-10-31	10805
26025110	Lomitas [26025110]	2003-08-01	2023-03-10	7161
26020450	Mandiva [26020450]	1974-05-22	2011-03-31	13462
26020210	Mondomo [26020210]			0
26020250	Mondomo [26020250]	1971-03-01	2023-03-11	19003
26020330	San Julian [26020330]			0
26025040	San Julian Hda [26025040]	1968-12-31	1981-12-31	4748
26020280	Santander [26020280]			0
26020430	Santander [26020430]			0
26020140	Villa Rica [26020140]	1968-12-31	1987-07-31	6786

Una vez analizada la información disponible para los parámetros a analizar se seleccionaron las estaciones Japio [26025030] y Lomitas [26025110] para el análisis del parámetro de temperatura, debido a que son las únicas estaciones con datos disponibles de

temperatura y las estaciones el Amparo [26020200] y Mondomo [26020250] para el análisis del parámetro de precipitación debido a que disponen de un histórico de datos de precipitación de 50 años abarcando el total del periodo a analizar 1971 - 2020.

Adicional a esto para asegurar la representatividad del estudio del parámetro de precipitación se seleccionaron las estaciones Japio [26025030], Lomitas [26020380] y Mandiva [26020450] debido a presentar datos históricos de al menos 30 años, asegurando de esta forma una mayor cobertura del área del municipio en el estudio.

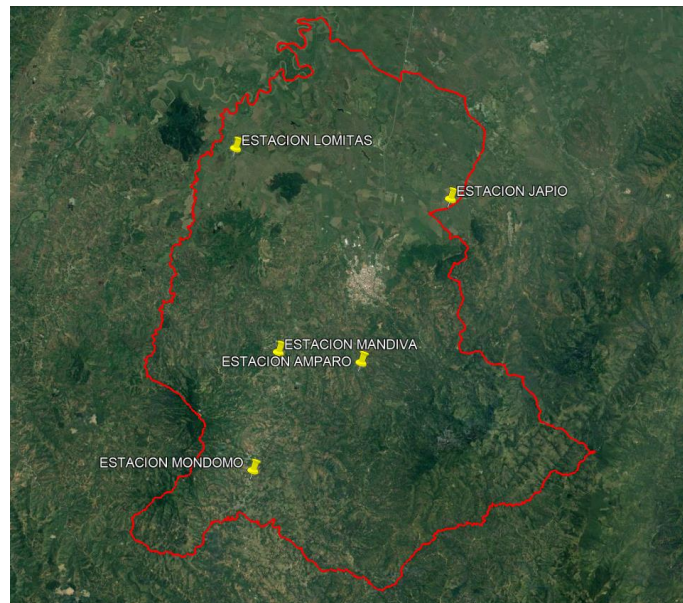
La siguiente tabla muestra los datos característicos de las estaciones seleccionadas consideradas para la realización del presente estudio.

**Tabla 4** Datos característicos de las estaciones de estudio

<b>Estación [Código]</b>	<b>Categoría</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Altura (msnm)</b>	<b>Parámetro Y Periodo (años)</b>
Amparo [26020200]	Pluviométrica	2.961166667, - 76.48919444	1197	Precipitación (1971 – 2020)
Mondomo [26020250]	Pluviométrica	2.903694444, - 76.54697222	1397	Precipitación (1971 – 2020)
Japio [26025030]	Climática ordinaria	3.048361111, - 76.44141667	1023	Precipitación (1972 – 2001) Temperatura (1971 – 2000)
Lomitas [26020380]	Pluviométrica	3.075388889, - 76.55625	981	Precipitación (1976 – 2003) Temperatura (2004 – 2020)
Mandiva [26020450]	Pluviométrica	2.966666667, - 76.53333333	1250	Precipitación (1976 – 2003)

La siguiente imagen muestra la ubicación de las estaciones seleccionadas consideradas para la realización del presente estudio.

**Figura 4** Distribución de las estaciones de estudio en el municipio



*Nota:* fuente propia realizada a través de Google Earth (2023)

Una vez seleccionadas las estaciones a trabajar se definieron las variables de estudio para cada uno de los parámetros, para el caso del estudio del parámetro de temperatura con base en la información disponible se definieron las variables de temperatura media del aire mensual, temperatura mínima media mensual y temperatura máxima media mensual; para el caso del parámetro de precipitación se definió la variable de día pluviométrico convencional.

Posteriormente se realizó la descarga de los datos para las variables seleccionadas, exportando se en un archivo en formato Excel, estos datos contienen la información mensual de las variables de temperatura media del aire, temperatura mínima media, temperatura máxima media e información diaria de las precipitaciones, hasta el momento con valores faltantes que no fueron registrados por los equipos.

Después de realizar la determinación de los datos faltantes por el método de la regresión lineal se realizó la tabulación de los datos utilizando la función tabla dinámica del software Microsoft Excel, con el fin de organizar los datos en la temporalidad adecuada para su estudio.

### 7.1.1. Variaciones en la temperatura media anual para el periodo 1971 – 2020

Para el análisis del parámetro de temperatura se seleccionaron las estaciones Japio [26025030] y Lomitas [26025110], únicas con un histórico de datos de temperatura y se definieron las variables de temperatura media del aire mensual, temperatura mínima media mensual y temperatura máxima media mensual.

Los datos finales posterior al tratamiento estadístico se presentan a continuación organizados en escala anual:

**Tabla 5** Datos parámetro de temperatura anual estación Japio 1971 - 2000

<b>Año</b>	<b>Temperatura Mínima Media (°C)</b>	<b>Temperatura Media del Aire (°C)</b>	<b>Temperatura Máxima Media (°C)</b>
1971	17,41	22,64	28,89
1972	17,56	22,89	29,79
1973	16,66	22,38	29,13
1974	17,73	22,29	28,47
1975	17,85	22,43	28,12
1976	18,15	22,70	29,16
1977	18,64	24,77	29,97
1978	19,15	26,01	31,44
1979	18,63	24,33	29,91
1980	18,25	23,59	29,74
1981	18,21	23,07	29,08
1982	18,31	23,24	29,09
1983	18,60	24,13	29,87
1984	17,95	22,62	28,16
1985	17,81	22,91	28,60
1986	18,14	23,22	28,68
1987	18,57	24,30	29,95
1988	18,40	23,99	29,67
1989	18,38	23,79	29,50
1990	18,60	23,93	29,49
1991	18,59	24,11	29,35
1992	18,65	24,19	29,49
1993	18,34	23,38	28,96
1994	18,56	23,42	29,21
1995	18,63	23,52	29,24
1996	18,32	23,10	28,65
1997	18,34	23,82	29,57

1998	18,75	24,10	29,57
1999	18,00	22,96	28,15
2000	17,95	23,05	28,29
PROMEDIO	18,24	23,50	29,24

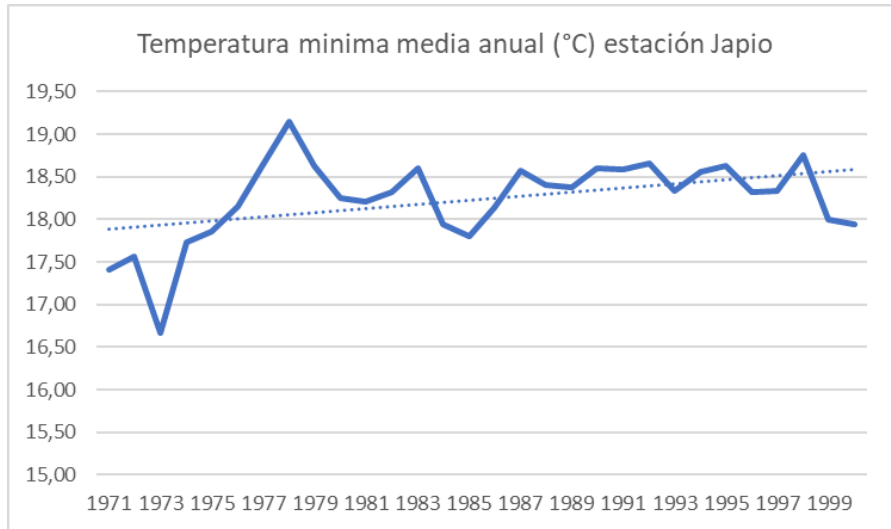
**Tabla 6** Datos parámetro de temperatura anual estación Lomitas 2004 – 2020

<b>Año</b>	<b>Temperatura Mínima Media (°C)</b>	<b>Temperatura Media del Aire (°C)</b>	<b>Temperatura Máxima Media (°C)</b>
2004	18,20	23,72	29,43
2005	17,86	23,85	29,89
2006	18,02	23,95	29,60
2007	17,96	23,72	29,43
2008	18,34	23,27	28,88
2009	18,63	24,04	29,73
2010	18,30	23,96	29,34
2011	18,03	23,75	29,21
2012	18,20	24,25	29,85
2013	18,16	24,44	30,01
2014	18,15	24,57	30,00
2015	18,31	24,83	30,09
2016	18,19	24,69	29,81
2017	18,11	24,79	29,95
2018	18,34	24,99	30,15
2019	18,33	25,00	30,35
2020	18,34	25,10	30,35
PROMEDIO	18,20	24,29	29,77

Finalmente, para evidenciar la tendencia de los datos, estos fueron graficados a través de gráficos de líneas usados para mostrar tendencias en el tiempo, mediante la función línea de tendencia.

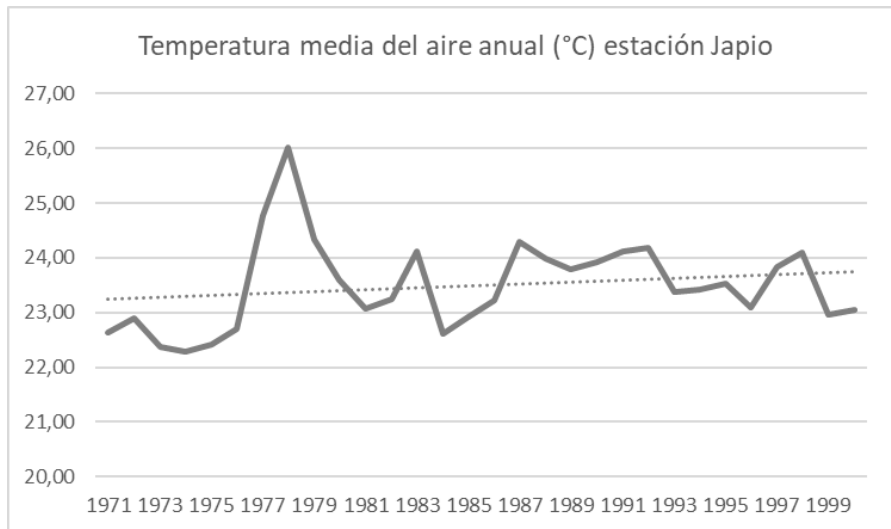
A continuación, se presentan las gráficas obtenidas para los datos de temperatura mínima media anual, temperatura media del aire anual y temperatura máxima media anual para la estación Japio.

**Figura 5** Gráfica de tendencia temperatura mínima media anual estación Japio



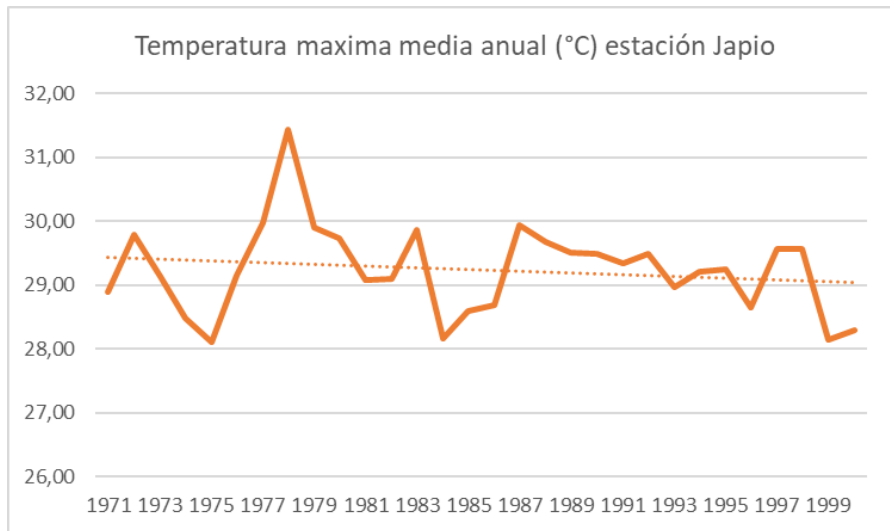
Nota: fuente propia realizada a través de Excel (2023)

**Figura 6** Gráfica de tendencia temperatura media del aire anual estación Japio



Nota: fuente propia realizada a través de Excel (2023)

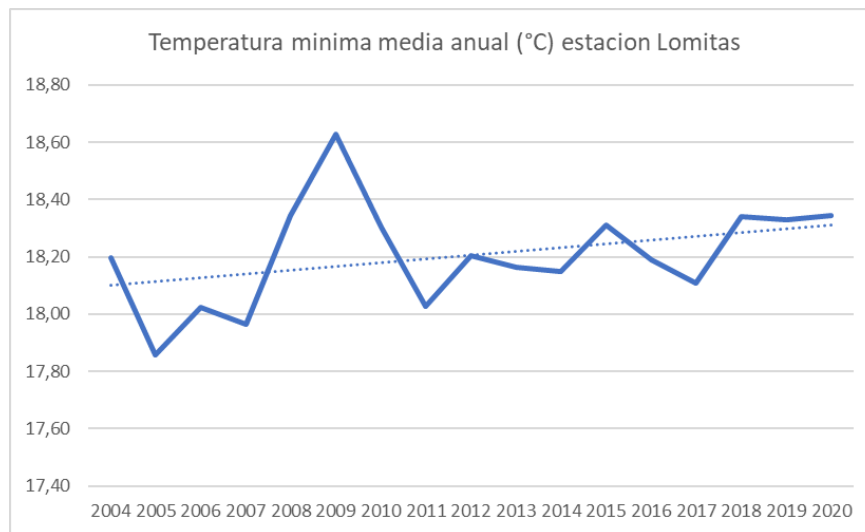
**Figura 7** Gráfica de tendencia temperatura máxima media anual estación Japio



*Nota:* fuente propia realizada a través de Excel (2023)

A continuación, se presentan las gráficas obtenidas para los datos de temperatura mínima media anual, temperatura media del aire anual y temperatura máxima media anual para la estación Lomitas.

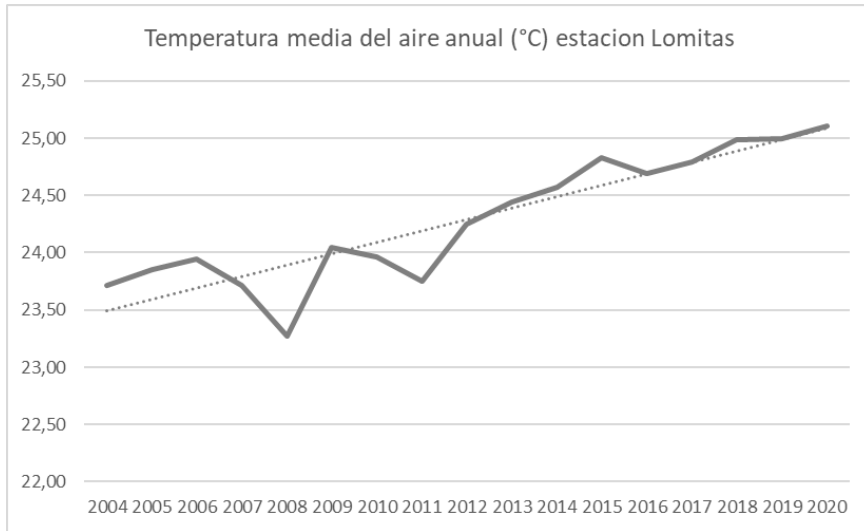
**Figura 8** Gráfica de tendencia temperatura mínima media anual estación Lomitas



*Nota:* fuente propia realizada a través de Excel (2023)

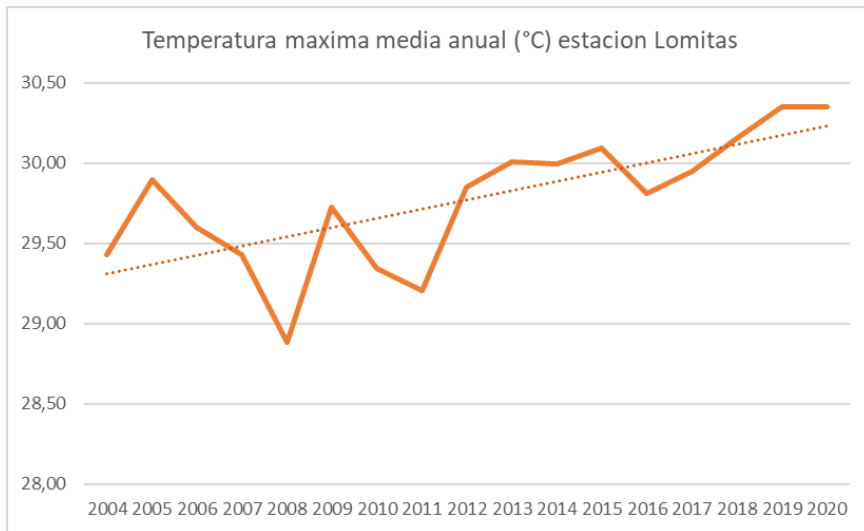


**Figura 9** Gráfica de tendencia temperatura media del aire anual estación Lomitas



Nota: fuente propia realizada a través de Excel (2023)

**Figura 10** Gráfica de tendencia temperatura máxima media anual estación Lomitas



Nota: fuente propia realizada a través de Excel (2023)

### 7.1.2. Variaciones en la precipitación total anual para el periodo 1971 – 2020

Para el análisis del parámetro de precipitación se seleccionaron las estaciones Amparo [26020200] y Mondomo [26020250] únicas con un histórico de datos durante el periodo a analizar y se definió la variable de día pluviométrico convencional.

Posterior al tratamiento estadístico para el primer caso de estudio en el que se seleccionaron dos periodos de tiempo independientes 1971 – 1995 y 1996 – 2020 para los cuales cada uno de ellos fue organizado obteniendo la sumatoria de las precipitaciones totales mensuales usando el cálculo por suma de las diferentes precipitaciones mensuales para cada año, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 7** *Precipitaciones totales mensuales (mm) estación Amparo periodo 1971 – 1995*

<b>AÑO</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1971	182,6	199,6	373	270	193,3	182	25	84	128,5	277	249	328
1972	134,1	230,5	379,1	150	316	95	54	135	68	369	548	124
1973	79	28	226	185	252	88	224	176	203	281	340	270
1974	203	299	279	165	72	75	91	31	272	346	426	76
1975	77	232	147	223	236	146	223	186	143	164	398	411
1976	66	206	150	235	167	58	24	99	172	215	336	117
1977	117,1	131,7	223,6	234,1	170,9	138,3	121,8	121,8	145,3	176,0	224,7	149,8
1978	112	47	219	300	247	78	90	50	154,7	180	289	409
1979	211	117	273	225	152	66	40	222	154	213	316	80
1980	123	225	62,5	120	162	42	36	86	81	234	192	203
1981	172	259	173	363	305	134	101	30	43	331	331	162
1982	281	205	340	403	287	48	64	6	114	514	253	222
1983	103	14	190	364	253	24	50	30	31	371	205	232
1984	351	415	246	186	369	79	128	157	225	397	234	133
1985	378	108	175	209	140	74	49	259	129	203	303	243
1986	192	366	160	237	156	85	23	79	149	378	115	62
1987	46	171	190	109	262	21	140	33	120	312	177	60
1988	129	173	33	364	168	86	120	99	238,2	282	583	144
1989	134	155	231	136	172	188	106	70	204	260	398	164
1990	171	221	344	143	137	9	34	81	55	304	162	184
1991	77	73	229	129	184	139	64	14	244	135	284	272
1992	56	150	73	141	179	86	3	86	127	150	193	236
1993	135	155	164	158	224	46	37	69	170	274	262	168
1994	303,5	171	138	309	220,8	104	96	96	123	237	357	186
1995	31	45	250	453	237	204	298	121	106	443	327	328
Total	3864,4	4396,9	5268,4	5811,1	5262,0	2295,3	2241,8	2420,8	3599,9	7046,0	7502,7	4963,8

**Tabla 8** *Precipitaciones totales mensuales (mm) estación Mondomo periodo 1971 – 1995*

<b>AÑO</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1971	170,3	179,8	446	136	177	100	13	172	116	304	227	114

1972	150	272	260	311	272,5	230,5	97	8	180	288	339	169
1973	107	82	318	381	306	238	192	294	323	361	583	335
1974	363	541	520	431,5	323	338	319	35,5	245	214	478	152
1975	115	433	105	159	287	83	190	157	175	238	288	409
1976	89	152	204	178	85	12	2	65	49	267	114	152
1977	14	68	242	272	129	67	24	24	82	140	252	84
1978	84	10	201	165	82	54	42	118,0	102	133	196	277
1979	120	71	324	376	254	51	32	225	209	224	184	34
1980	160	154	122	134	116	98	32	61	56	326	78,5	105
1981	44	176	193	250	284,4	122,1	131,5	57,8	22,2	131,8	460,4	158,5
1982	216,8	157,2	273,8	268,9	91	26,7	21,5	1,3	136,9	268,8	187,1	222,8
1983	59,2	79,3	281,4	288,4	202,3	68,6	17,4	86,5	27	238,4	156,8	267,9
1984	451,5	163,4	194,8	177,2	222,8	17,2	130,2	132,5	190,7	344,2	232	97,2
1985	329,2	59	119,4	125	222,3	65	128	209	166	156	327	92
1986	213	244	92	228	129	130	8	44	72	371,2	197	61
1987	71	32	226	125	261	8	87	37	155	299	151	106
1988	66	122	56,7	296,0	127	142,4	126	116,7	111	209	523,8	233
1989	179,9	202	190,2	140	184,7	98	65	100,3	87,6	251	236	140
1990	256	314,5	170,7	148,2	124,2	79,2	34	59	81	372	327	300
1991	67	97	311	111	206	131	54,5	17	86	142	204	302
1992	54	185	36	140	102	77	34	20	197	127	221	167
1993	267	232	142	282	246	20	42	39	62	214	323,2	37,7
1994	121,1	162,3	83,1	187,8	204,8	38	31	15	89	240,3	264	84
1995	48	19,9	220	183	137	94	138	95	67	195	273	91
Total	3816,1	4208,5	5332,1	5494,1	4776,1	2388,7	1991,1	2189,7	3087,4	6054,7	6822,8	4191,1

**Tabla 9** *Precipitaciones totales mensuales (mm) estación Amparo periodo 1996 - 2020*

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1996	252	379	318	206	272	192	30	86	34	179	145	373,4
1997	356	125	256	186	346	335	0	0	238	308	380	69
1998	153	190	398	205	165	32	20	284	262	205	243	124
1999	361	350	307,6	180	158	170	54	105	578	222	350	332
2000	220	319	341	419	303	80	91	41	212	227	214	204
2001	145,6	262,0	274,1	204,7	167,6	131,3	122,3	110,6	140,2	193,7	252,3	211,8
2002	175	30	141	152	28	86	58	98	171	142	142	102
2003	38	137	179	253	71	183	23	107	68	270	330	119
2004	271	58	107	231	199	29	75	14	84	253	249	274
2005	210	238	408,9	157	204	100	2	44	102	233	169	309
2006	315	162	272	338	79	113	52	30	101	155	224	324
2007	211	145	268	231	194	50	162	77	34	446	158	365
2008	172	230	196	144	208	181	80	175	173	272	283	127
2009	186	164	348	217	180	133	64	13	113	198	266	241

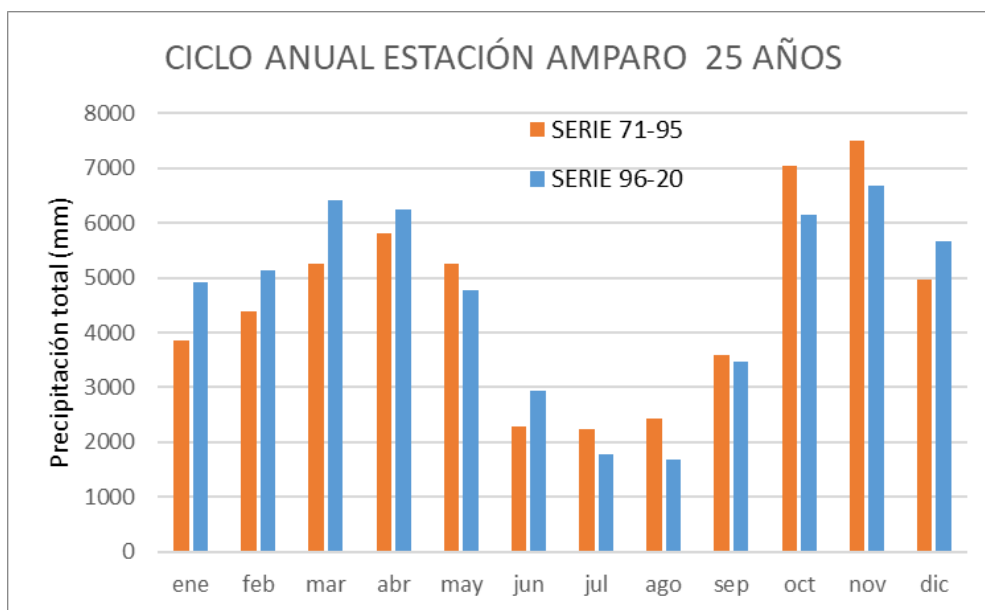
2010	54	133	224	326	214	197	269	58	135	323	405	276
2011	163	405	255	386	235	74	221	36	127	296	329	289
2012	338	189	240	306	82	153	10	21	36	239	164	115
2013	73	248	219	255	281	64	15	93	129	192	244	299
2014	238	223	148,5	224	124	24	21	30	65	213	363	244
2015	207	105	260	157	58	27	78	4	39	245	285	48
2016	117	188	115	340	155	68	24	8	180	370	200	288
2017	256	70	466	275	339	139	25	91	117	260	353	356
2018	142	375	177	128	150	57	69	14	69	276	393	46
2019	104	211	292	291	449	191	85	18	191	239	280	276
2020	162	199,5	210	432,2	114	122	131	130,6	81	196	250	263
Total	4919,6	5135,5	6421,2	6243,9	4775,6	2931,3	1781,3	1688,2	3479,2	6152,7	6671,3	5675,3

**Tabla 10** Precipitaciones totales mensuales (mm) estación Mondomo periodo 1996 - 2020

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1996	207	187	442	181	171	161	54	57	33	120	165	227
1997	303	63	287	215	102	85	20	0	137	149	243	44
1998	48	140	175	287	245	82	163	100	126	201	376	164
1999	623	554	282	273	148	115	37	118	346	245	408	312
2000	231	278	278	218	404	129	76	140	163	222	160	251
2001	75	347	350	209	122	52	25	0	71	178	311	233
2002	147	65	124	203	31	104	70	50	68	157	228	197
2003	115	98	138	157	60	81	28	75	150	317	208	121
2004	151	59	71	214	145	38	51	0	100	280	317	158
2005	111,9	260	346	86	120	33	30	35	102	225	193	285
2006	306,3	164	254,5	134	119	64	55	51	52	84	226	174
2007	167	186,8	178	290	199	84	98	10,0	0,8	37,6	250	375
2008	325	303	187	151	292	71	85	129	61,2	269,2	399	135
2009	254	148	229	218,4	145	61	50	38	119	152	182	162
2010	35	127	89	367	126	126	187	20	82	291,3	404	320
2011	194	179	158	197	71	223	233	3	28	256	392	282
2012	346	160	70	198	18	23	35	9	7	215	82	90
2013	82	151	81	92	407,3	85	119	262	50	219	266	219
2014	162	213	247	122	184	47	8	40	124	135	258	160
2015	75	122	219	160	18	42	23	8	20	222	145	0
2016	61	113	148	323	117	102	122	10	69	221	191	215
2017	227	40	457	97	268	195	35	35	43	110	268	268
2018	131	274	45	135	212	120	83	44	59	137	145	74
2019	94	143	192	138	286,0	27	10,2	1	147	152	183	293
2020	71	199	90	197	125	52	111	75	82	168	278	274
Total	4542,3	4573,8	5137,6	4862,4	4135,4	2202,0	1808,3	1310,1	2240,0	4763,2	6278,0	5033,0

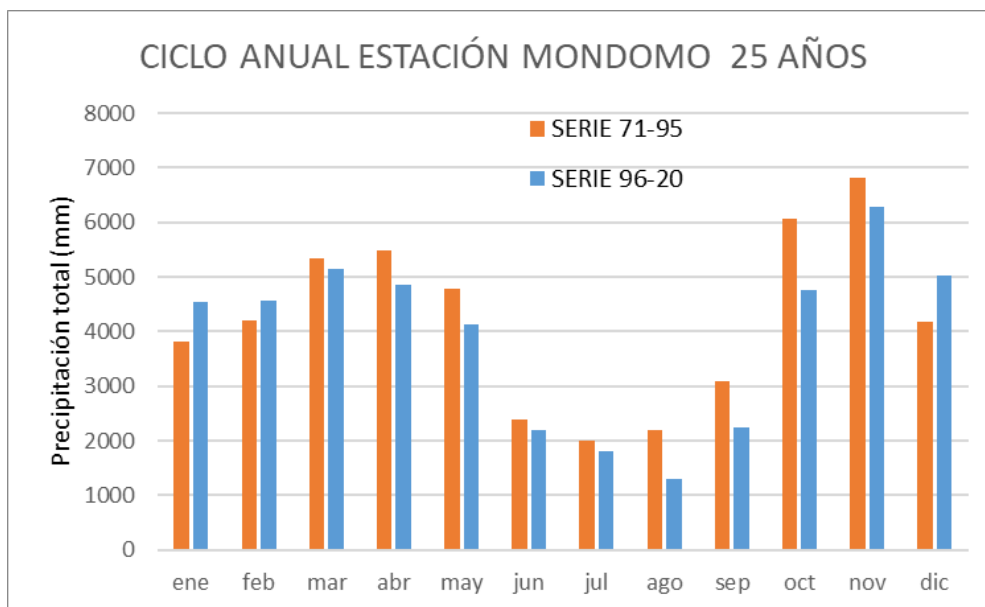
Seguidamente para evidenciar las variaciones por mes entre los periodos 1971 – 1995 y 1996 – 2020 estos fueron graficados juntos a través de gráficos de líneas y calculado el porcentaje de aumento o disminución para facilitar su análisis, como se muestra en las siguientes gráficas.

**Figura 11** Gráfica precipitación total anual estación Amparo periodos 1971 -1995 y 1996 – 2020



*Nota:* fuente propia realizada a través de Excel

**Figura 12** Gráfica precipitación total anual estación Mondomo periodos 1971 -1995 y 1996 – 2020



*Nota:* fuente propia realizada a través de Excel

Para el segundo caso de estudio se obtuvieron las precipitaciones totales a escala anual usando el cálculo por suma de las diferentes precipitaciones mensuales o diarias, obteniendo los siguientes resultados.

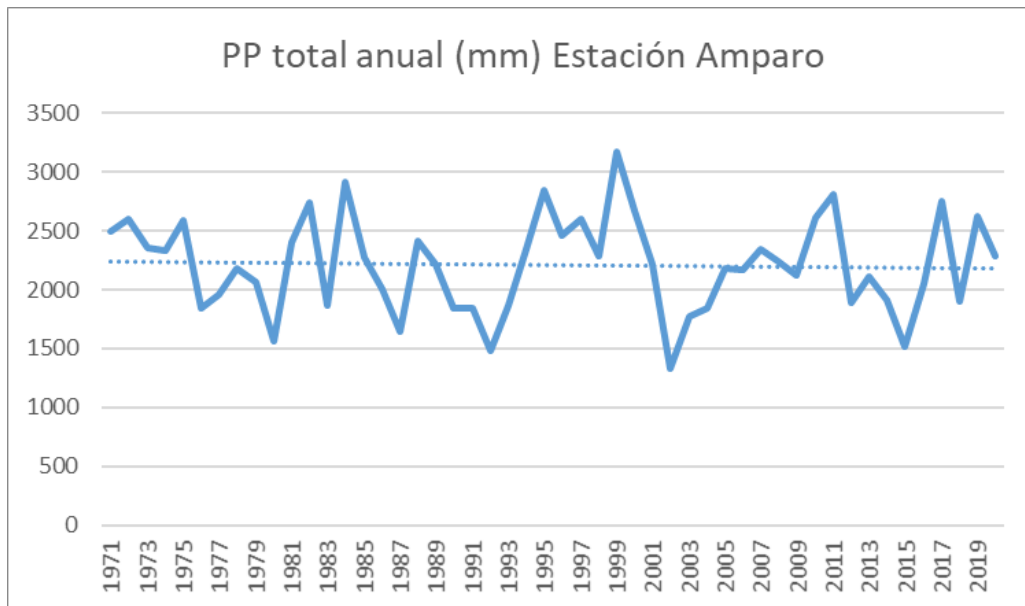
**Tabla 11** Precipitación total anual estaciones Amparo y Mondomo periodo 1971 – 2020

Año	E. amparo (mm)	E. Mondomo (mm)	Año	E. amparo (mm)	E. Mondomo (mm)
1971	2492,1	1805,0	1996	2466,4	2005,0
1972	2602,9	2577,0	1997	2599,0	1648,0
1973	2352,0	3520,0	1998	2281,0	2107,0
1974	2335,0	3960,0	1999	3167,6	3461,0
1975	2586,0	2639,0	2000	2671,0	2550,0
1976	1845,0	1369,0	2001	2216,8	1973,0
1977	1955,8	1398,0	2002	1325,0	1444,0
1978	2175,7	1464,1	2003	1778,0	1548,0
1979	2069,0	2104,0	2004	1844,0	1584,0
1980	1566,6	1442,5	2005	2176,9	1826,9
1981	2404,0	2031,7	2006	2165,0	1683,9
1982	2737,0	1872,8	2007	2341,0	1876,3
1983	1867,0	1773,3	2008	2241,0	2407,5
1984	2920,0	2353,7	2009	2123,0	1758,4
1985	2270,0	1997,9	2010	2614,0	2174,4

1986	2002,0	1789,3	2011	2816,0	2216,0
1987	1641,0	1558,0	2012	1893,0	1253,0
1988	2419,3	2129,8	2013	2112,0	2033,4
1989	2218,0	1874,9	2014	1917,6	1700,0
1990	1845,0	2266,0	2015	1513,0	1054,0
1991	1844,0	1728,5	2016	2053,0	1692,0
1992	1480,0	1360,0	2017	2747,0	2043,0
1993	1862,0	1907,0	2018	1896,0	1459,0
1994	2341,3	1520,5	2019	2627,0	1666,3
1995	2843,0	1560,9	2020	2291,4	1722,0

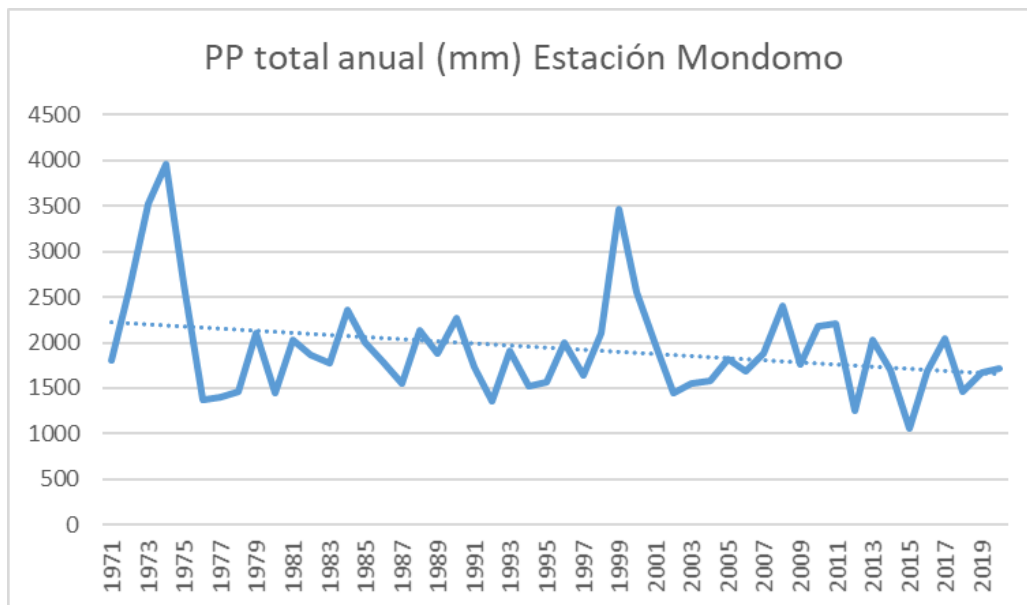
Seguidamente para evidenciar la tendencia de los datos, estos fueron graficados a través de gráficos de líneas usados para mostrar tendencias en el tiempo, mediante la función línea de tendencia.

**Figura 13** Gráfica de tendencia de precipitación total anual estación Amparo periodo 1971 – 2020



*Nota:* fuente propia realizada a través de Excel

**Figura 14** Gráfica de tendencia de precipitación total anual estación Mondomo periodo 1971 – 2020



*Nota:* fuente propia realizada a través de Excel

Adicional a esto para asegurar la representatividad del estudio del parámetro de precipitación se seleccionaron las estaciones Japio [26025030], Lomitas [26020380] y Mandiva [26020450] debido a presentar datos históricos de al menos 30 años.

Para el estudio de las estaciones adicionales solo se abordó el segundo caso de estudio en el que se obteniendo las precipitaciones totales a escala anual usando el cálculo por suma de las diferentes precipitaciones mensuales o diarias, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 12** Precipitación total anual estación Japio periodo 1972 - 2001 y Estaciones Lomitas y Mandiva periodo 1976 – 2003

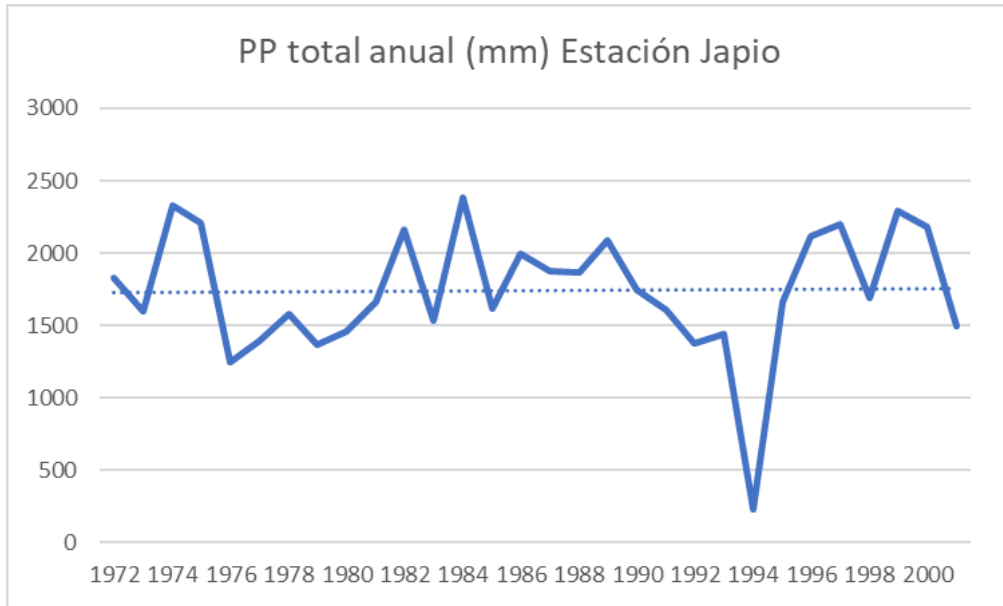
Año	E. Japio (mm)	Año	E. Lomitas (mm)	Año	E. Mandiva (mm)
1972	1831,8	1976	1866,1	1976	1866,6
1973	1597,8	1977	1859,9	1977	1772,3
1974	2327,2	1978	1607,0	1978	1703,0
1975	2207,7	1979	1986,2	1979	2355,0
1976	1248,3	1980	2038,9	1980	1561,0
1977	1397,6	1981	2651,0	1981	2307,0
1978	1582,2	1982	2925,5	1982	2263,0
1979	1367,4	1983	2347,0	1983	2074,0
1980	1457,3	1984	2751,0	1984	2804,0



1981	1662,6	1985	1530,0	1985	2278,0
1982	2162,8	1986	2070,0	1986	2033,0
1983	1535,9	1987	2023,0	1987	1574,0
1984	2385,0	1988	2567,0	1988	2290,0
1985	1618,4	1989	2748,0	1989	2013,0
1986	1998,5	1990	2837,0	1990	1848,0
1987	1877,4	1991	2420,0	1991	1548,0
1988	1870,9	1992	1508,0	1992	1321,0
1989	2086,4	1993	2220,0	1993	2302,0
1990	1746,7	1994	2199,5	1994	2277,0
1991	1609,3	1995	2412,9	1995	1863,0
1992	1372,6	1996	2196,2	1996	1943,0
1993	1441,4	1997	2032,0	1997	2146,0
1994	226,0	1998	2450,0	1998	1945,4
1995	1661,0	1999	2670,0	1999	2936,0
1996	2115,2	2000	2226,0	2000	2398,0
1997	2202,8	2001	1818,0	2001	1868,0
1998	1686,7	2002	1725,0	2002	1501,0
1999	2293,5	2003	2078,7	2003	2015,0
2000	2182,1				
2001	1492,1				

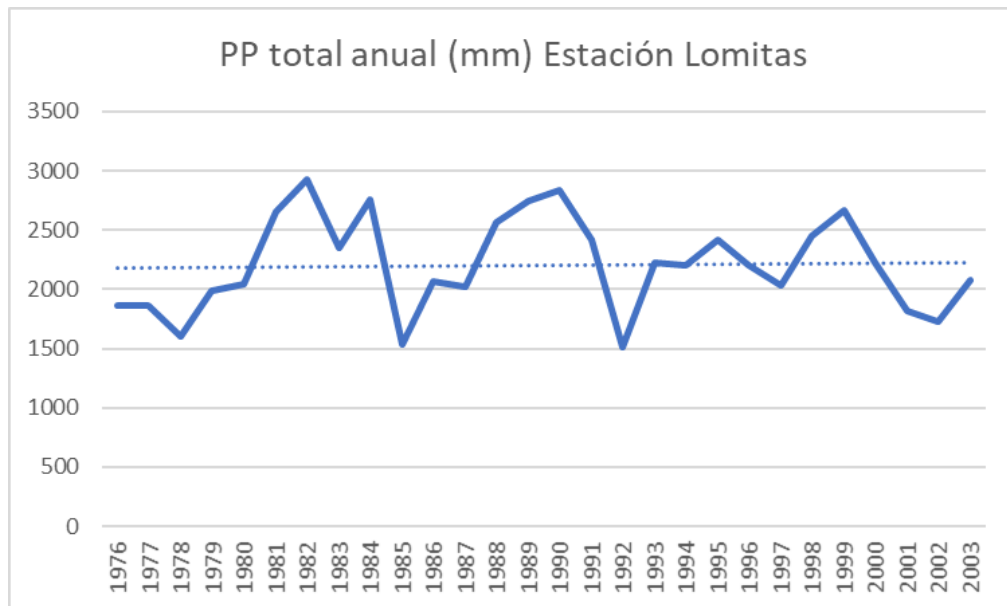
Seguidamente para evidenciar la tendencia de los datos, estos fueron graficados a través de gráficos de líneas usados para mostrar tendencias en el tiempo, mediante la función línea de tendencia.

**Figura 15** Gráfica de tendencia de precipitación total anual estación Japio periodo 1972 – 2021



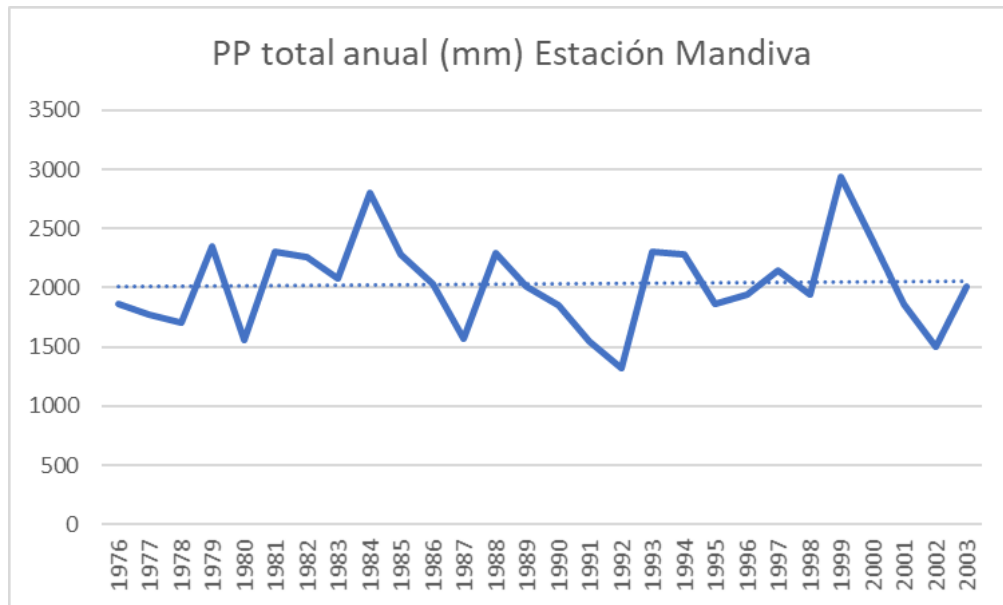
Nota: fuente propia realizada a través de Excel

**Figura 16** Gráfica de tendencia de precipitación total anual estación Lomitas periodo 1976 – 2003



Nota: fuente propia realizada a través de Excel

**Figura 17** Gráfica de tendencia de precipitación total anual estación Mandiva periodo 1976 – 2003



*Nota:* fuente propia realizada a través de Excel

## 7.2. Comportamiento de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno

Para el desarrollo del objetivo 2 fueron seleccionadas las series climatológicas más recientes correspondientes al periodo comprendido entre los años 1991 y 2020 (30 años) en el caso de las estaciones Amparo [26020200] y Mondomo [26020250], las series climatológicas correspondientes al periodo comprendido entre los años 1976 y 2003 (28 años) en el caso de las estaciones Lomitas [26020380] y Mandiva [26020450] y las series climatológicas correspondientes al periodo comprendido entre los años 1972 y 2001 (30 años) en el caso de la estación Japio [26025030], esto con el fin de analizar el mayor número de datos disponibles para las estaciones.

A continuación, se muestran las precipitaciones máximas anuales obtenidas organizadas de mayor a menor para cada año correspondiente, y los cálculos de la probabilidad y periodo de retorno obtenidos a partir de las ecuaciones planteadas.

**Tabla 13** Valores máximos anuales de estaciones con periodo de 30 años y cálculo de probabilidad

Orden	Estación Amparo		Estación Mondomo		Estación Japio		Probabilidad	Periodo retorno
	Años	PP máx. (mm)	Años	PP máx. (mm)	Años	PP máx. (mm)		
1	1999	140	1999	130	1974	120	0,0323	31,0000
2	1998	135	2010	125	1998	115	0,0645	15,5000
3	2000	125	2013	124	1985	112	0,0968	10,3333
4	1996	124	1998	115	1992	110	0,1290	7,7500
5	2011	120	2002	110	1989	95,2	0,1613	6,2000
6	2003	114	1992	95	1972	92,7	0,1935	5,1667
7	1992	110	2008	95	1978	92,7	0,2258	4,4286
8	2010	110	2001	90	2000	91	0,2581	3,8750
9	2006	105	2007	90	1991	84	0,2903	3,4444
10	1995	102	2009	90	1996	84	0,3226	3,1000
11	2004	101	2012	88	1987	83,6	0,3548	2,8182
12	2007	100	2004	85	1995	83	0,3871	2,5833
13	2009	100	2005	85	1999	82	0,4194	2,3846
14	2017	100	1996	84	1977	80	0,4516	2,2143
15	1997	99	2000	80	1984	79	0,4839	2,0667
16	2014	96	2011	80	1990	78,8	0,5161	1,9375
17	2012	90	2015	80	1997	75	0,5484	1,8235
18	2013	90	1993	77	1975	74,2	0,5806	1,7222
19	2016	90	2017	77	1982	71	0,6129	1,6316
20	2018	90	2006	75	1988	70,5	0,6452	1,5500
21	1994	86	2020	72	1973	70	0,6774	1,4762
22	2020	85	1994	70	1993	64	0,7097	1,4091
23	2019	83	1995	70	1983	63,8	0,7419	1,3478
24	2005	82	1997	70	1986	60,5	0,7742	1,2917
25	2002	80	2003	70	2001	60	0,8065	1,2400
26	1993	75	2019	70	1981	58	0,8387	1,1923
27	2015	75	2018	64	1980	57	0,8710	1,1481
28	1991	62	2016	62	1976	51,7	0,9032	1,1071
29	2008	60	1991	56	1979	48	0,9355	1,0690
30	2001	46	2014	50	1994	32	0,9677	1,0333

**Tabla 14** Valores máximos anuales de estaciones con periodo de 28 años y cálculo de probabilidad

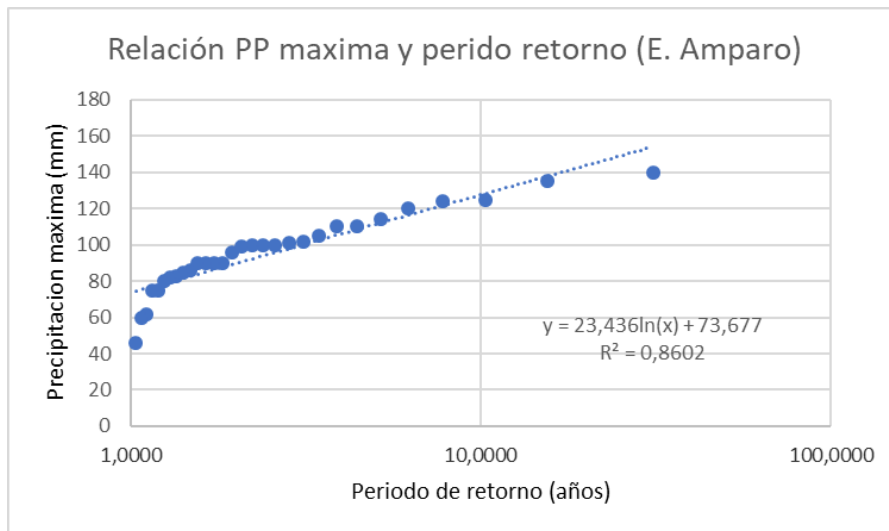
Orden	Estación Lomitas		Estación Mandiva		Probabilidad	Periodo retorno
	Años	PP máx. (mm)	Años	PP máx. (mm)		
1	1999	131	1977	140	0,0345	29,0000
2	1993	130	1981	137	0,0690	14,5000
3	1983	120	1983	129	0,1034	9,6667
4	1984	110	1993	111	0,1379	7,2500
5	1995	103	1976	105	0,1724	5,8000
6	1981	100	1992	103	0,2069	4,8333
7	1976	98	1980	102	0,2414	4,1429
8	1982	95	1995	101	0,2759	3,6250
9	1992	95	2003	101	0,3103	3,2222
10	1998	91	1988	100	0,3448	2,9000
11	1990	90	1989	100	0,3793	2,6364
12	1991	90	1997	100	0,4138	2,4167
13	1997	87	1998	96	0,4483	2,2308
14	1977	82	1999	96	0,4828	2,0714
15	2000	82	2001	96	0,5172	1,9333
16	1989	80	1984	95	0,5517	1,8125
17	1978	75	1979	92	0,5862	1,7059
18	1986	75	1994	91	0,6207	1,6111
19	1994	75	1987	87	0,6552	1,5263
20	1987	72	2000	86	0,6897	1,4500
21	1985	70	1985	83	0,7241	1,3810
22	1988	70	1990	83	0,7586	1,3182
23	1996	66	1978	80	0,7931	1,2609
24	1979	65	1986	80	0,8276	1,2083
25	2002	65	1996	72	0,8621	1,1600
26	2001	63	1982	70	0,8966	1,1154
27	2003	61	1991	60	0,9310	1,0741
28	1980	41,4	2002	58	0,9655	1,0357

Una vez obtenidos los datos de periodo de retorno para el conjunto de datos, se realiza posteriormente la representación gráfica de los valores obtenidos, en un plano cartesiano, situando los valores de periodo de retorno en el eje de abscisas posicionado horizontalmente y los valores de precipitaciones máximas en el eje de ordenadas posicionando verticalmente, obteniendo de esta forma y mediante el programa Excel una gráfica de correlación entre ambas

variables, lo que permitió posteriormente la caracterización de la gráfica por medio de una línea tendencia. Seguidamente se determinó por medio de funciones del programa Excel la ecuación de cada gráfico, con coeficiente de correlación más elevado para las estaciones respectivamente.

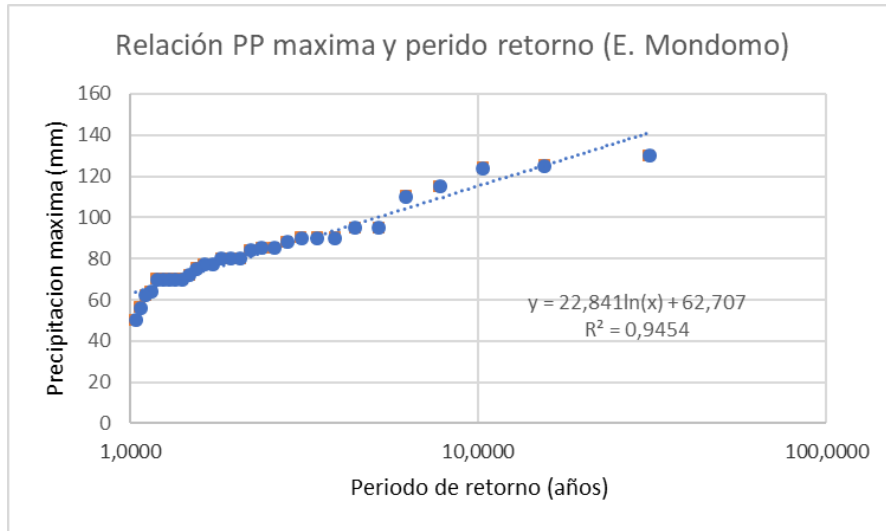
A continuación, se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos y la caracterización de las gráficas por medio de una línea tendencia, como se presenta a continuación para las estaciones meteorológicas utilizadas:

**Figura 18** Gráfica correlación entre precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Amparo



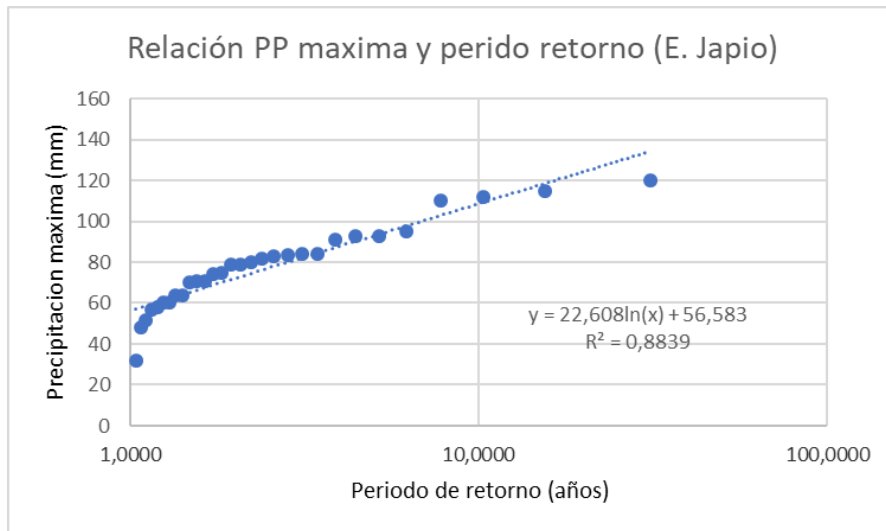
Nota: fuente propia realizada a través de Excel

**Figura 19** Gráfica correlación entre precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Mondomo



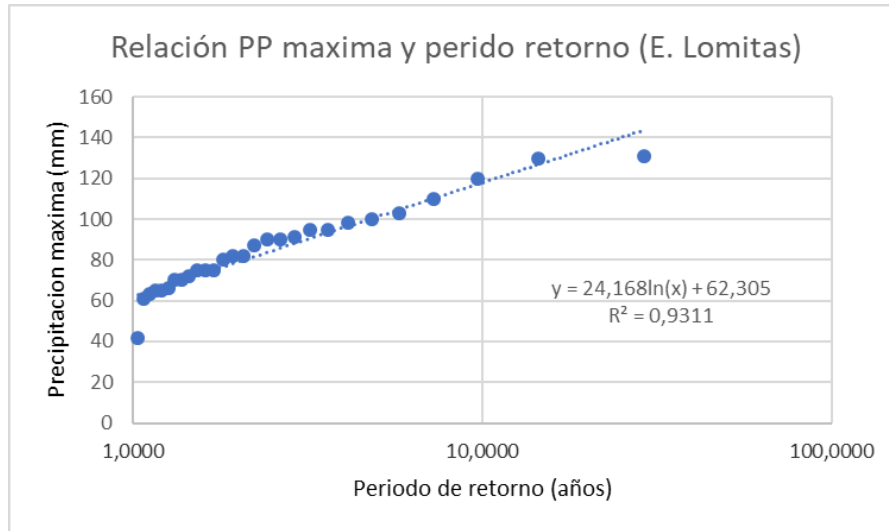
Nota: fuente propia realizada a través de Excel

**Figura 20** Gráfica correlación entre precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Japio



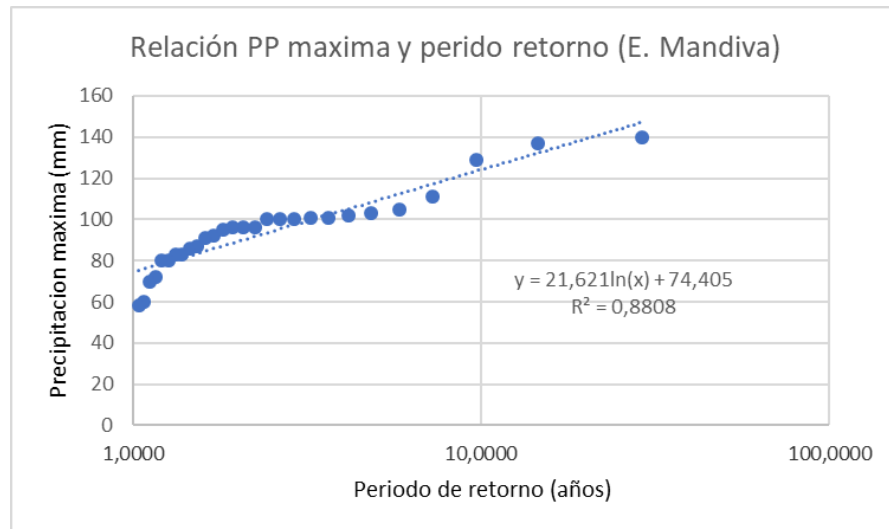
Nota: fuente propia realizada a través de Excel

**Figura 21** Gráfica correlación entre precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Lomitas



*Nota:* fuente propia realizada a través de Excel

**Figura 22** Gráfica correlación entre precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Mandiva



*Nota:* fuente propia realizada a través de Excel

De las gráficas obtenidas para las diferentes estaciones de estudio se pudo evidenciar que las líneas de tendencia que mejor representan el comportamiento de los datos presentan un patrón característico de una ecuación logarítmica. Seguidamente se determinó por medio de funciones del programa Excel la ecuación de cada gráfico, con coeficiente de correlación más



elevado para las estaciones respectivamente, los cuales se presentan en las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 3** *Ecuación de correlación de precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Amparo*

$$Y = 23,436 * \ln(X) + 73,677$$

$$R^2 = 0,8602$$

**Ecuación 4** *Ecuación de correlación de precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Mondomo*

$$Y = 22,841 * \ln(X) + 62,707$$

$$R^2 = 0,9454$$

**Ecuación 5** *Ecuación de correlación de precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Japio*

$$Y = 22,608 * \ln(X) + 56,583$$

$$R^2 = 0,8839$$

**Ecuación 6** *Ecuación de correlación de precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Lomitas*

$$Y = 24,168 * \ln(X) + 62,305$$

$$R^2 = 0,9311$$

**Ecuación 7** *Ecuación de correlación de precipitación máxima anual y periodo de retorno para la estación Mandiva*

$$Y = 21,621 * \ln(X) + 74,405$$

$$R^2 = 0,8808$$

Donde:

X= periodo de retorno a consultar

Y= precipitación máxima esperada

Para el análisis del comportamiento de las precipitaciones mediante el uso de las ecuaciones anteriores se realizó el cálculo de las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno correspondiente a 5, 10, 25, 50 y 100 años, dando como resultado los siguientes datos:

**Tabla 15** Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno en las estaciones de estudio

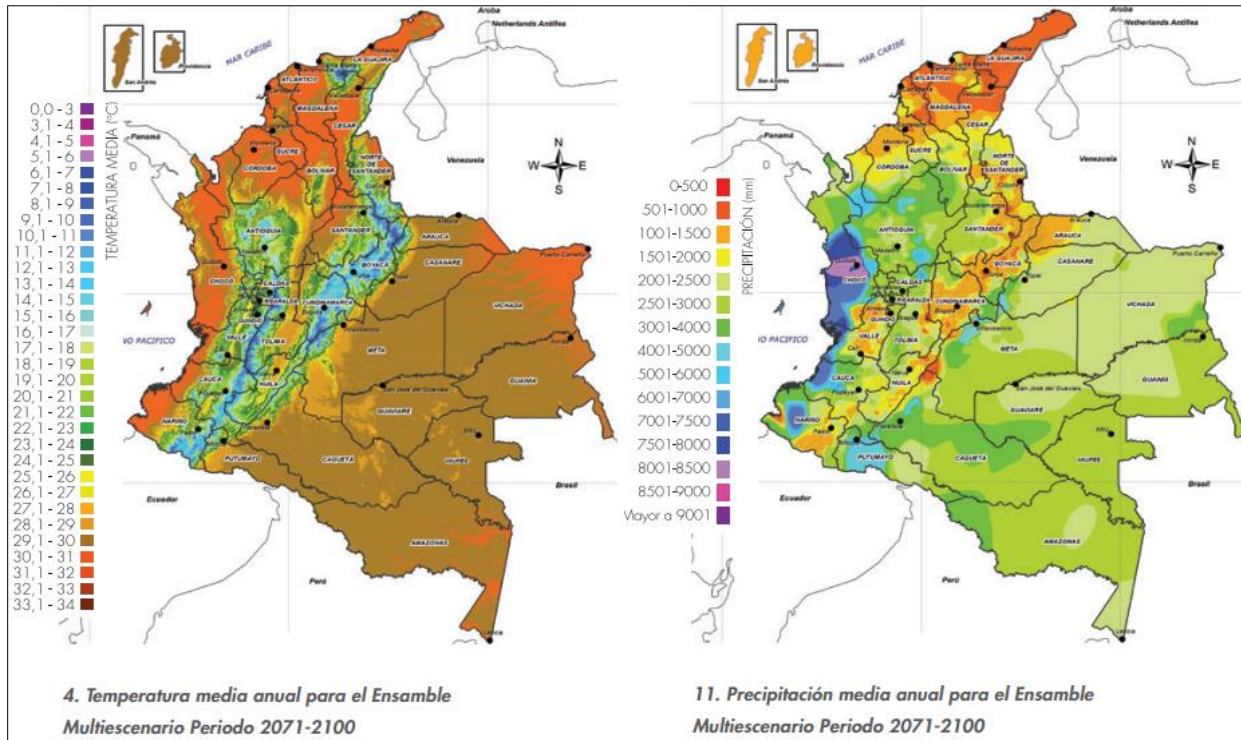
Periodo retorno (años)	Precipitación máxima esperada (mm)				
	E. Amparo	E. Mondomo	E. Japio	E. Lomitas	E. Mandiva
5	111,40	99,47	92,97	101,20	109,20
10	127,64	115,30	108,64	117,95	124,19
25	149,11	136,23	129,36	140,10	144,00
50	165,36	152,06	145,03	156,85	158,99
100	181,60	167,89	160,70	173,60	173,97

Con relación a los coeficientes de correlación para las estaciones Mondomo y Lomitas como se puede observar es superior a 0,93 representando una mayor confiabilidad de la ecuación resultado a diferencia de las estaciones Amparo, Japio y Mandiva para las cuales las ecuaciones presentan un coeficiente de correlación menor entre 0,86 y 0,89, lo cual puede ocasionar posibles errores en la estimación para estas estaciones.

### **7.3. Variaciones en los escenarios de cambio climático futuros propuestos por el IDEAM, asociados a las variables de temperatura y precipitación**

A continuación, se presentan la gráfica de temperatura media anual y la gráfica de precipitación media anual para el multi escenario 2071-2100, donde se presentan los valores esperados promedio para el período 2071 - 2100 para el total de extensión del territorio colombiano:

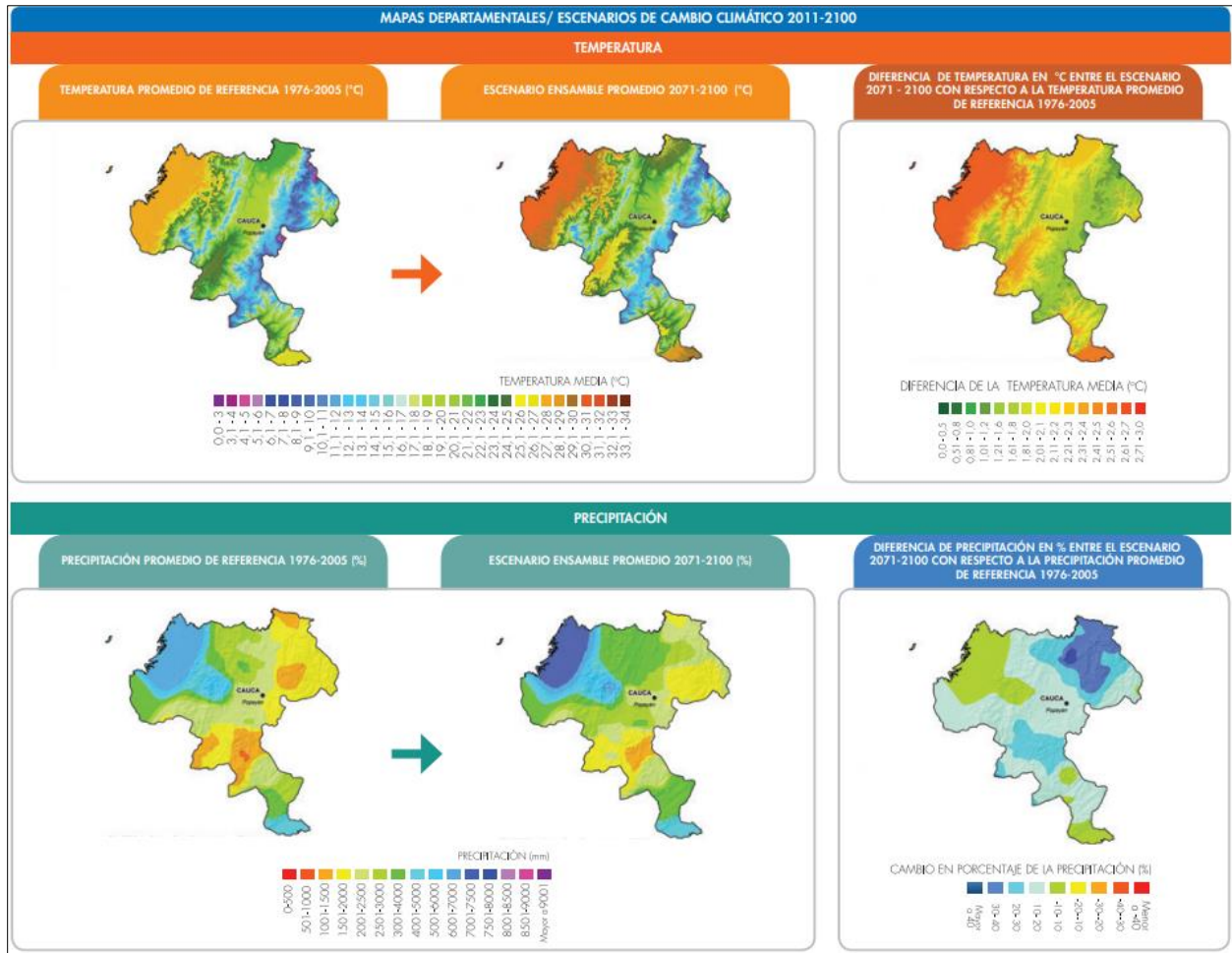
**Figura 23** Gráfica de temperatura media anual y precipitación media anual para el periodo 2071-2100 en Colombia



*Nota:* fuente Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia (IDEAM, 2015)











En las siguientes gráficas se muestran los datos obtenidos por el estudio para el departamento del Cauca, correspondiente al promedio de referencia para las variables de temperatura y precipitación durante el periodo 1976 - 2005 y los escenarios esperados para estas variables para el periodo 2071-2100. Adicionalmente se muestran las variaciones generales arrojadas por el estudio en cuanto a temperatura y precipitación para el departamento del Cauca, para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

**Figura 24** Gráfica de escenarios de cambio climático para temperatura y precipitación para el periodo 2071-2100 en el departamento del Cauca.



Nota: fuente Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia (IDEAM, 2015)

**Tabla 16** Escenarios de cambio climático para temperatura y precipitación para el periodo 20211-2100 en el departamento del Cauca.

TABLA POR PERIODOS / ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 2011-2100					
2011-2040		2041-2070			
Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)	Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)		
<b>0,7</b>	<b>16,18</b>	<b>1,4</b>	<b>17,15</b>		
Tabla convención Temperatura		2071-2100		Tabla convención Precipitación	
Cambio	Rango de Valores Temperatura	Cambio de Temperatura media °C	Cambio de Precipitación (%)	Cambio	%
 Bajo	0 - 0,5	<b>2,1</b>	<b>18,40</b>	 Déficit Severo	<-40%
 Bajo Medio	0,51 - 1			 Déficit	-39% y 11%
 Medio	1,1 - 1,5			 Normal	-10% y 10%
 Medio Alto	1,5 - 2			 Exceso	11% y 39%
 Alto	2,1 - 3,9			 Exceso Severo	>40%

*Nota:* fuente Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia (IDEAM, 2015)

De los resultados del estudio se puede evidenciar que, en general, para el departamento del Cauca, se espera en cuanto a la variable de temperatura, un aumento progresivo para los diferentes periodos analizados, con una tasa aproximada de 0,7 °C por cada 30 años, alcanzando un nivel de aumento bajo para el periodo 2011-2040, un nivel de aumento medio para el periodo 2041-2070 y un nivel de aumento alto para el periodo 2071-2100. Además de esto, se puede evidenciar que en cuanto a la variable de precipitación se observa de igual forma un aumento progresivo para los diferentes periodos analizados en la serie de tiempo 2011-2100 para este departamento, manteniéndose dentro del rango de precipitación de exceso con un aumento entre 11% y 39%.

Adicionalmente, de acuerdo al estudio realizado por el IDEAM sobre los escenarios de cambio climático para el 2011 se reúnen como resultados principales los siguientes:

**PRINCIPALES AUMENTOS DE TEMPERATURA:** los principales aumentos para el fin de siglo están dados según los escenarios modelados en 2,1°C para el departamento, en promedio. Particularmente el suroccidente podrá aumentar hasta en 2,6 °C en los municipios de López de Micay, Timbiquí y Guapi. De igual manera, el municipio de Piamonte podrá presentar un aumento de temperatura de hasta 2,5°C.

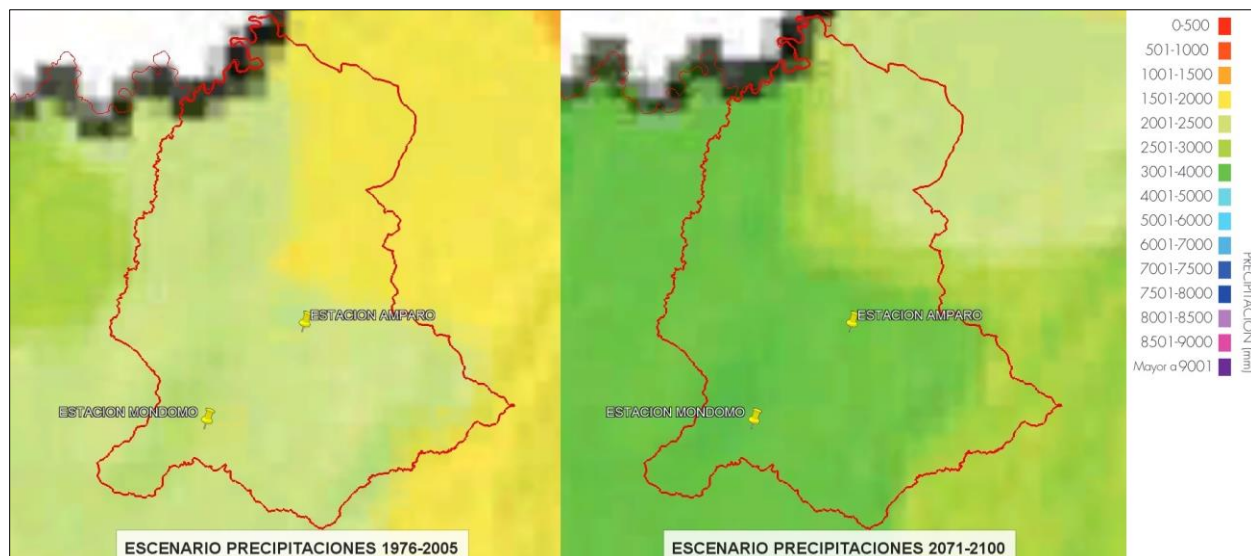
**PRINCIPALES AUMENTOS DE PRECIPITACIÓN:** En general para el Cauca podrá aumentar las precipitaciones hasta un 18,4% para fin de siglo. En particular, el nororiente del departamento podrá aumentar precipitaciones hasta en un 30% sobre los municipios de Padilla, Miranda, Corinto, Guachené, Caloto, Toribio, Jámalo, Caldono y Santander de Quilichao.

**PRINCIPALES DISMINUCIONES DE PRECIPITACIÓN:** En general, según los escenarios modelados para el Departamento, no se presentarán mayores disminuciones de precipitación.

**PRINCIPALES EFECTOS:** Los efectos en el Departamento pueden verse representados para el sector agrícola, en particular monocultivos extensivos, dados los aumentos graduales de temperatura para aquellos ubicados en los municipios de López de Micay, Timbiquí y Guapi. La biodiversidad y el servicio ecosistémico de provisión hídrica podrá verse afectado dada la interacción los aumentos de temperatura sobre el sistema montañoso. Los cultivos de pan coger podrían verse afectados dada la posibilidad de fuertes oleadas de calor, particularmente en las zonas bajas del Departamento.

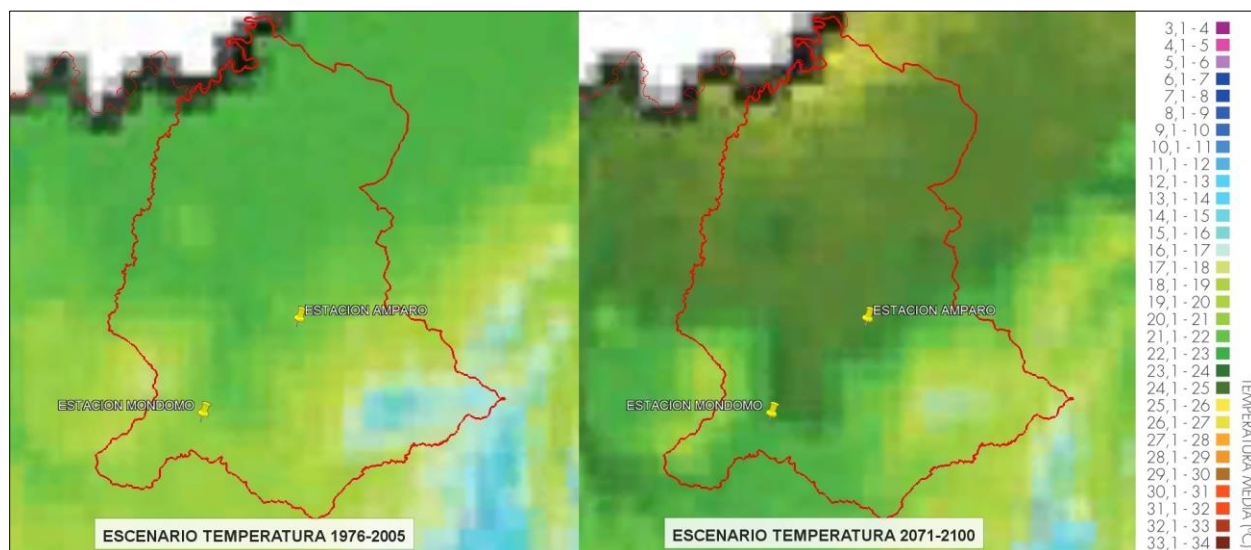
Para el municipio de Santander de Quilichao ubicado al norte del departamento del Cauca, se observa el siguiente comportamiento:

**Figura 25** Gráfica escenarios de precipitación periodo 1976-2005 y 2071-2100 en el municipio de Santander de Quilichao.



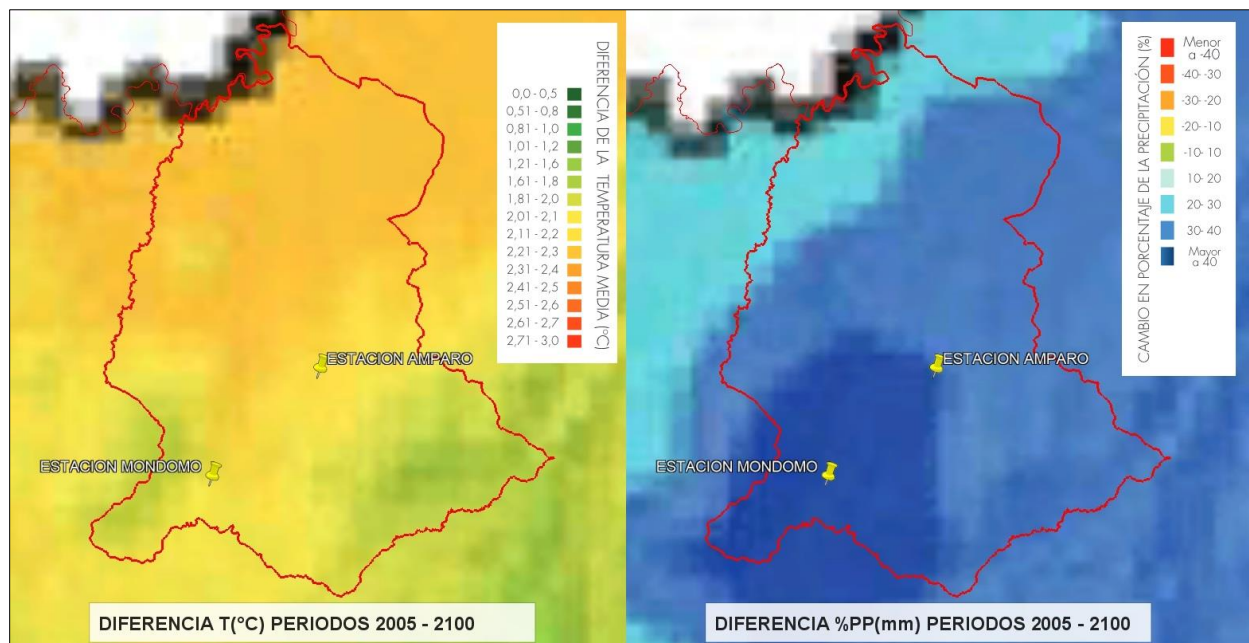
*Nota:* fuente propia, con base en Nuevos Escenarios Cambio Climático (IDEAM, 2015)

**Figura 26** Gráfica escenarios de temperatura periodo 1976-2005 y 2071-2100 en el municipio de Santander de Quilichao.



*Nota:* fuente propia, con base en Nuevos Escenarios Cambio Climático (IDEAM, 2015)

**Figura 27** Gráfica diferencia de T y %PP entre el periodo 2071-2100 con respecto a 1976-2005 en el municipio de Santander de Quilichao.



*Nota:* fuente propia, con base en Nuevos Escenarios Cambio Climático (IDEAM, 2015)

#### 7.4. Acciones de adaptación frente al cambio climático y escenarios de riesgo asociados con relación a las variables de temperatura y precipitación

Para el desarrollo del objetivo 4, correspondiente a proponer acciones de adaptación al cambio climático y escenarios de riesgo asociados con relación a la variación de los parámetros de temperatura y precipitación en el municipio de Santander de Quilichao, Cauca, con base en los resultados obtenidos en los objetivos anteriormente abordados.

De los resultados y análisis obtenidos para el desarrollo de los objetivos 1, 2, 3 se puede observar intensificación del periodo de sequía ubicado en los meses de junio y agosto por una disminución considerable de las lluvias y cambios considerables de aumento de precipitaciones en los meses de diciembre y enero siendo estos de menores precipitaciones o transición entre los periodos de lluvias. Además de esto, se presenta un aumento en las variables analizadas de los parámetros de temperatura y precipitaciones para la mayoría de las



estaciones durante el periodo 1971 – 2020, así como una tendencia de aumento para ambos parámetros durante el periodo 2011 – 2100, de acuerdo a los estudios de escenarios de cambio climático futuros propuestos por el IDEAM.

De igual forma al analizar los diferentes periodos de retorno se puede observar cómo a partir de un periodo de retorno de 5 años ya se pueden presentar precipitaciones totales diarias muy encima de la clasificación de una lluvia torrencial con base en a la tabla *Clasificación de la precipitación según la intensidad*, aumentándose la posibilidad de presentarse conforme se amplía el rango de periodo de retorno, razón por la cual las acciones de adaptación frente al cambio climático propuestas con relación a la variación de los parámetros de temperatura y precipitación deben encaminarse hacia un aumento de las mismas para el municipio de Santander de Quilichao.

Como principal resultado de la consulta del estado del arte de la relación entre los parámetros de precipitación y temperatura y el cambio climático en el futuro, se encontró que, existen modelos climáticos que estudian el comportamiento de las variables climáticas a lo largo del tiempo principalmente basándose principalmente en la temperatura y precipitación. De acuerdo al IPCC en su documento Summary For All (2021) del Sexto Informe de Evaluación los modelos climáticos son herramientas computacionales, que los científicos utilizan para comprender los cambios climáticos pasados, presentes y futuros. Son programas que simulan el clima de la Tierra, basados en leyes fundamentales de la física, la química y la biología de la atmósfera, el océano, el hielo y la tierra. Algunos modelos incluyen más procesos, complejidad y detalle que otros. Por lo tanto, puede haber variaciones entre los climas simulados con distintos modelos.

Con base en el libro Modelado y simulación de sistemas naturales de la universidad Jorge Tadeo Lozano, en su capítulo 1 relacionado al Modelado y Simulación de Sistemas Climáticos: Desde la escala global hasta los microclimas (Diaz, 2017), se aborda que el punto de partida para la abstracción matemática son los procesos físicos relacionados con la

transferencia de momentum, energía y masa. Estos intercambios suceden entre las partes del sistema y de ellos con el medio externo.

Valorar la condición actual significa reunir la información disponible de las variables asociadas al sistema, como lo son la radiación solar, temperatura, presión, viento, humedad y precipitación, radiación ultravioleta, dirección de los vientos, pluviometría. El ejercicio se realiza mediante la observación y la medición con estaciones meteorológicas; pueden incluirse tantas variables como el investigador considere apropiado o como la capacidad de cómputo y la disponibilidad de datos lo permitan (Díaz, 2017).

Para el modelado climático se establecen unas condiciones iniciales del sistema climático, se definen los parámetros de estudio y los rangos entre los cuales oscilan, necesarios para plantear el modelo. Posteriormente se plantea el conjunto de ecuaciones que permiten describir la evolución del sistema en el tiempo y/o en el espacio. Las expresiones matemáticas pueden ser funciones integrables y logarítmicas, de probabilidad o ecuaciones diferenciales (Díaz, 2017). De forma general los diferentes tipos de modelos pueden clasificarse de acuerdo con los procesos y estructuras del sistema climático de la siguiente forma:

Los Modelos del Sistema Climático Terrestre (MSCT): tienen como objetivo pronosticar el tiempo, predecir el clima o generar escenarios de cambio climático. El objeto de estudio es el sistema conformado por la atmósfera, los océanos, la superficie de la Tierra, los seres vivos y el hielo marino. Los MSCT contemplan una escala espacial tan grande como las mismas dimensiones del globo terráqueo y deben, por ello, ser capaces de simular fenómenos pertenecientes a la escala espacial planetaria y a la de predicción para un período amplio. Los MSCT consideran la Tierra como una esfera en rotación rodeada por una capa de agua que representa el océano, o por un fluido compuesto de gases y agua en sus tres fases que representa la atmósfera (Díaz, 2017).

Modelos atmosféricos: en la categoría de modelos atmosféricos se encuentran todos los modelos que representan procesos físicos que tienen lugar en la atmósfera. Pertenecen a este

grupo desde los modelos de calidad del aire, hasta los exclusivamente climáticos. Algunos modelos atmosféricos globales que se han utilizado en Colombia para hacer estudios y pronóstico del clima son el Global Forecast System (GFS) desarrollado por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), el ECHAM del Instituto Max Planck de Meteorología, el Community Climate Model (CCM3) del National Center of Atmospheric Research, entre otros. En cuanto a modelos atmosféricos regionales, se han implementado el Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) desarrollado por la Universidad de Colorado, el Providing Regional Climates for Impacts Studies (PRECIS) de la Met Office Hadley Centre de Reino Unido y el Weather Research and Forecasting Model (WRF) del National Centers for Environmental Prediction (Díaz, 2017).

Modelado y predicción climática con técnicas estadísticas: en meteorología y climatología los métodos estadísticos se emplean principalmente para la exploración de datos; sin embargo, hay técnicas estadísticas que ayudan también a crear modelos lineales de pronóstico que se basan en el análisis de la variabilidad y tendencias de las series de tiempo de las variables de estado del sistema (Díaz, 2017). El análisis con técnicas estadísticas permite realizar un análisis de tendencias que examina los cambios en las variables climáticas observando su dirección e intensidad, análisis de correlación que ayuda a establecer la conexión entre varios factores climáticos y su influencia mutua y análisis de series temporales que reconoce comportamientos y ciclos en las variables climatológicas, entre otros.

Uno de los principales métodos de modelado y predicción climática con técnicas estadísticas es el análisis de correlación canónica es una técnica estadística que se utiliza principalmente para el estudio de la relación entre grupos de variables. En meteorología y climatología se usa también para plantear modelos lineales de predicción de la variabilidad meteorológica de superficie en función de oscilaciones climáticas de gran escala como El Niño Oscilación Sur (ENSO), la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), o la Oscilación Cuasibienal (QBO) (Díaz, 2017).

En cuanto al diagnóstico sobre las problemáticas existentes en el municipio frente al cambio climático y las acciones de mitigación, adaptación y/o planificación, de acuerdo al Plan Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres - PMGRD y documentos institucionales afines, se encontró:

**Tabla 17** Problemáticas/alternativas relacionadas al cambio climático en los documentos municipales.

DOCUMENTO	PROBLEMÁTICAS/ALTERNATIVAS RELACIONADAS AL CAMBIO CLIMÁTICO
<p><b>Plan Básico de Ordenamiento Territorial (2002)</b></p>	<p>Regula los usos compatibles con los suelos y los usos restringidos y las condiciones de manejo</p> <p><b>ARTICULO 35: Definición suelo protección.</b> Se consideran áreas de suelos de protección todas aquellas áreas que ofertan o ofrecen un bien o producto natural, especialmente: el agua, biodiversidad, paisaje y/o bosque. Dentro de esta clase se encuentran las siguientes zonas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) ZONA DE CONSERVACION PAISAJISTICA PANORAMICA</li> <li>b) ZONA DE RECUPERACION NATURAL O INDUCIDA</li> <li>c) ZONA AGROFORESTAL</li> <li>d) ZONA FORESTAL</li> <li>e) ZONA DE MANEJO ESPECIAL</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zona de Manejo Especial de Microcuencas que surten Acueductos</li> <li>2. Zona de Manejo Especial de Río y Cuerpos de agua</li> <li>3. Zona de Manejo Especial de Acuíferos Promisorios</li> <li>4. Zona de Manejo Especial de Corredor Biológico del Río Cauca</li> <li>5. Zona de Manejo Especial de las Microcuencas del Río Pioya afluente del Río Mondomo</li> <li>6. Zonas de Interés Cultural y para la Recreación</li> <li>7. Zonas Agroindustrial y Manufacturera</li> <li>8. Zona de Industria Mixta</li> </ol> <p><b>Parágrafo Primero.</b> En cumplimiento del Decreto 1449 de 1997 Reglamentario del Código de los Recursos Naturales se deben mantener áreas forestales protectoras en los terrenos con pendientes superiores al 100% o 45° en una franja de 100 mt a la redonda medida a partir de la periferia de los nacimientos de agua y una franja de 30 mt de ancho, paralelas a las líneas de máxima marea, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos sean permanentes o no alrededor de los lagos o depósitos de agua.</p> <p><b>Parágrafo Segundo:</b> La Administración Municipal, los entes territoriales indígenas y las comunidades negras, deben continuar a corto y mediano plazo con la adquisición de las zonas de recuperación natural o inducida y destinarlos al uso de protección y conservación y como uso complementario puede ser forestal o de revegetalización inducida.</p> <p>REGLAMENTO GENERAL DE AGUAS</p>

	<p><b>Artículo 36:</b> DEFINICIÓN: El presente reglamento se define como las líneas de acción para las políticas, proyectos y acciones sobre el uso, la regulación, la optimización y la recuperación del recurso hídrico en el municipio.</p> <p><b>Artículo 49:</b> Todos los desarrollos de parcelaciones deberán cumplir con los siguientes requisitos:  1. Cumplir con todos los requisitos que, sobre sistemas de tratamiento de aguas, de distribución de agua, salubridad, protección de recursos naturales, construcción de vías y adecuación de zonas verdes que en normas complementarias se reglamenten por las entidades competentes.</p> <p><b>ARTICULO 97:</b> Para la protección, conservación y uso del agua dentro del Municipio, toda persona natural o jurídica, pública o privada, que utilice o pretenda utilizar los recursos hídricos disponibles dentro del municipio, además de cumplir todos los requerimientos de Ley, deberá solicitar el permiso respectivo de la autoridad ambiental competente y realizar una auto-declaración de la cantidad de recurso requerido y del uso destinado. La autoridad ambiental competente informará de ello a la población afectada.</p>
<p><b>Diagnóstico sobre agua potable y saneamiento integral rural</b>  (Proyecto ASIR - SABA, Municipio de Santander de Quilichao, 2015)</p>	<p><b>3.3.2 Suelo</b>  La deforestación y las quemas para extraer madera o para iniciar cultivos, ocasionan afectación del suelo. Esta pérdida de la vegetación ocasiona procesos erosivos que tienen como consecuencia la desertificación, la sequía y la migración de la fauna. Estos factores magnifican la afectación de grandes extensiones de tierras, infraestructura y comunidades por fenómenos naturales como inundaciones, movimientos en masa, incendios forestales y vendavales.</p> <p><b>3.3.3 Agua</b>  Las actividades de adecuación de suelos, como talas y quemas en la zona boscosa para destinarlas a la producción agrícola y ganadera, ha ocasionado la disminución de la cobertura vegetal, lo cual causa la disminución de caudales en las cuencas y microcuencas, afectando la cantidad del recurso hídrico disponible para abastecer los acueductos. Adicionalmente, la invasión de las franjas protectoras de los cauces de los ríos por las actividades agrícolas y ganaderas deja desprotegidas las márgenes de las fuentes, acentuando la acción de los procesos erosivos y la afectación por fenómenos naturales como inundaciones, avalanchas y deslizamientos.</p> <p><b>3.3.4 Flora</b>  El cambio de uso del suelo y su adaptación para las actividades productivas genera impactos negativos sobre la vegetación. Estas actividades antrópicas producen deforestación y pérdida de una parte importante de la flora nativa, además de fenómenos de erosión, lavado y arrastre. La deforestación no solamente disminuye la oferta natural de agua, sino que conduce al decrecimiento, y puede llevar al exterminio de diferentes especies vegetales. El manejo inadecuado de las actividades agrícolas y pecuarias causa importantes alteraciones en el ambiente.</p>

	<p><b>Conclusión:</b> La falta de medidas de protección ambiental y el cambio climático han afectado de manera directa y profunda aspectos tan importantes como la cantidad de agua y la infraestructura de los sistemas.</p>
<p><b>Plan local de adaptación al cambio climático (2016)</b></p>	<p><b>6.7 CARACTERIZACION DE LOS RECUROS AMBIENTALES</b></p> <p><b>FLORA:</b> El área boscosa del municipio de Santander de Quilichao se ha reducido considerablemente, trayendo como consecuencia la pérdida de la biodiversidad faunística, deterioro del paisaje, desprotección del suelo, disminución en los caudales y calidad de las fuentes de agua y aumento de amenazas como crecientes y derrumbes (POT Santander de Quilichao, 2000). pág 48</p> <p><b>ADAPTACIÓN DE COMUNIDADES</b> El municipio de Santander de Quilichao ha sido impactado negativamente por las variaciones del cambio climático, y su población no está preparada para confrontar los eventos adversos de la naturaleza; por tanto, se hace necesario identificar las amenazas a corto, mediano y largo plazo con el objeto de reducir su incidencia, si es posible, o, reducir la vulnerabilidad y la exposición de la comunidad. pág 54</p> <p><b>MARCO LOGICO</b> El acelerado ritmo de crecimiento de la población de Santander de Quilichao y el proceso de industrialización que ha sufrido su estructura económica, ha elevado considerablemente la presión en la demanda de recursos naturales, aumento en la generación de vertimientos, de residuos en el municipio y emisión de gases efecto invernadero, situación que coloca a Santander de Quilichao como un municipio insostenible urbanística y ambientalmente. pág. 56</p> <p><b>Eje Sistemas Productivos y Hogares</b></p> <p>La Minería a gran escala esta asociada a grandes impactos negativos irreversibles; ambientales, sociales y económicos, los cuales generan pérdida de suelo, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, contaminación del aire, pérdida de fauna y flora, conflictos por la tenencia de la tierra y otros conflictos sociales que destruyen en tejido social de una comunidad. pág 61</p> <p>Las actividades agrícolas y pecuarias implementadas sin involucrar prácticas sostenibles o de manejo ambiental también son generadoras de cambios en la biodiversidad y en algunos casos la pérdida de la misma, en este sector gran parte de los ecosistemas del municipio son vulnerables a los efectos de la aridización, cambio climático, erosión de suelos, la desertificación y a los cambios en el régimen hidrológico afectando la producción agropecuaria. pág 66</p> <p>Los hogares al igual que los sistemas productivos generan continuamente desechos orgánicos, inorgánicos, aguas residuales que conllevan a la emisión de gases efecto invernadero y favorecen los procesos de cambio climático en el planeta. pág 75</p>

**Problemática:** Emisión de gases efecto invernadero por los residuos sólidos generados de los sistemas productivos y hogares en el municipio de Santander de Quilichao

**Alternativas:** Clasificación, reutilización y reciclaje de residuos sólidos en las actividades cotidianas de los sistemas productivos y hogares del municipio.

### **Eje Estratégico Uso Energético**

Las actividades cotidianas y el estilo de vida humana con lleva al uso frecuente de fuentes energéticas líquidas, gaseosas, sólidas, eléctricas y en pocas cantidades por su oferta energías alternativas como solar, eólica, entre otras. Las emisiones generadas por la combustión o uso de energías incrementan significativamente la huella de carbono, favoreciendo a los procesos de cambio climático y al efecto invernadero.

**Problemática:** Emisión de gases efecto invernadero por el consumo de combustibles líquidos, sólidos, gaseosos y eléctricos en el municipio de Santander de Quilichao

**Alternativas:** Restauración ecológica en los predios de importancia ecológica del municipio, Proponer e implementar estufas de leña ecoeficientes para familias del sector rural

### **Ejes Estratégico Articulación Institucional**

El estado colombiano ha ofrecido a la institucionalidad pública que hacen sus veces de entidades territoriales, control ambiental, fuerza pública, entidades descentralizadas entre otras, herramientas constitucionales y jurídicas para ejercer el control y protección de los recursos existentes en los territorios de influencia; pero esta labor se ha visto limitada por la desarticulación de dichas instituciones lo que ha permitido la vulneración de los recursos naturales, generando insostenibilidad en los procesos de aprovechamiento y cadenas productivas.

**Problemática:** Desarticulación de los actores sociales, económicos e institucionales para el control, protección, conservación y manejo de los recursos naturales en el municipio de Santander de Quilichao

**Alternativa:** Conformación de la Mesa ambiental municipal y asignación de funciones.

- Realizar actividades de capacitación y transferencia de información y tecnologías a las entidades que tienen como función el control y vigilancia a los recursos naturales.
- Diseñar estrategias operativas de vigilancia y control que deben aplicarse al uso, aprovechamiento y movilización de los recursos naturales renovables y demás recursos naturales, o a las actividades contaminantes y degradantes de las aguas, el aire o el suelo.
- Analizar y proponer la aplicación de técnicas y estrategias orientadas a promover la prevención, conservación, manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales en el municipio

## **1.8. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ESCENARIO DE RIESGO ASOCIADO AL CAMBIO CLIMATICO**

### **1.8.1. Descripción de situaciones de desastre o emergencia- Antecedentes**

1. Fecha
2. Fenómeno(s) asociado con la situación
3. Factores de que favorecieron la ocurrencia del fenómeno
4. Actores involucrados en las causas del fenómeno
5. Daños y pérdidas presentadas
6. Factores que en este caso favorecieron la ocurrencia de los daños:
7. Crisis social ocurrida
8. Desempeño institucional en la respuesta
9. Impacto cultural derivado

### **1.8.2. Descripción del escenario de riesgo por cambio climático**

1. Condición de amenaza
  - 1.1. Descripción del fenómeno amenazante
  - 1.2. Identificación de causas del fenómeno amenazante
  - 1.3. Identificación de factores que favorecen la condición de amenaza
  - 1.4. Identificación de actores significativos en la condición de amenaza
2. Elementos expuestos y su vulnerabilidad
  - 2.1. Identificación general
  - 2.2. Población y vivienda
  - 2.3. Infraestructura y bienes económicos y de producción, públicos y privados
  - 2.4. Infraestructura de servicios sociales e institucionales
  - 2.5. Bienes ambientales
3. Daños y/o pérdidas que pueden presentarse
  - 3.1. Identificación de daños y/o pérdidas
  - 3.2. Identificación de la crisis social asociada con los daños y/o pérdidas estimados
  - 3.3. Identificación de la crisis institucional asociada con crisis social
4. Descripción de medidas e intervención antecedentes

### **1.8.3. Descripción del escenario de riesgo por cambio climático**

1. Análisis a futuro
2. Medidas de conocimiento del riesgo
  - 2.1. Estudios de análisis del riesgo
  - 2.2. Sistemas de monitoreo
  - 2.3. Medidas especiales para la comunicación del riesgo
3. Medidas de reducción del riesgo – intervención correctiva (riesgo actual)
  - 3.1. Medidas de reducción de la amenaza:
  - 3.2. Medidas de reducción de la vulnerabilidad
  - 3.3. Medidas de efecto conjunto sobre amenaza y vulnerabilidad
4. Medidas de reducción del riesgo - intervención prospectiva (riesgo futuro)
  - 4.1. Medidas de reducción de la amenaza
  - 4.2. Medidas de reducción de la vulnerabilidad
  - 4.3. Medidas de efecto conjunto sobre amenaza y vulnerabilidad.



	<p>5. Medidas de reducción del riesgo - protección financiera  6. Medidas para el manejo del desastre  6.1. Medidas de preparación para la respuesta  6.2. Medidas de preparación para la recuperación</p>
<p><b>Plan municipal de desarrollo Quilichao vive (2020)</b></p>	<p><b>Eje estratégico de Quilichao Vive con Sostenibilidad</b>  Programas:  - Mejoramiento del Agua para la Vida  - Manejo Integral de Residuos  - Protección de Fauna Doméstica y Silvestre  - Quilichao Adaptado al Cambio Climático  - Conocimiento del Riesgo  - Reducción del Riesgo  - Manejo del Riesgo</p> <p><b>Programa Quilichao Adaptado al Cambio Climático:</b>  - Plan de protección, mejoramiento y restauración ecológica de ecosistemas estratégicos.  - Protección y recuperación de los cerros tutelares del municipio.  - Implementar el programa de incentivos a la conservación para propietarios de áreas de interés ambiental.  - Comprar terrenos en zonas estratégicas para la conservación del recurso hídrico.  - Programas de reforestación y recuperación de fuentes hídricas principalmente las abastecedoras de acueductos.  - Implementación de la estrategia de hornillas ecoeficientes y bosques dendroenergéticos en la zona rural.  - Programas de Intervención en suelos degradados en fuentes abastecedoras en el municipio de Santander de Quilichao.  - Elaborar el inventario, diagnóstico fitosanitario y plan de manejo de silvicultura urbana del municipio.  - Ajustar e implementar el plan local de adaptación al cambio climático del municipio de Santander de Quilichao.  - Implementar el plan de manejo de silvicultura urbano municipal.  - Implementar acciones de educación ambiental en el municipio.  - Implementar el pago de la sobretasa ambiental predial -CRC.</p>

*Nota:* fuente propia, revisión documental.

De la revisión del *PBOT* del 2022 se encontró que pese a no definir estrategias orientadas a la mitigación o adaptación al cambio climático, define una reglamentación en cuanto al uso de los diferentes suelos de protección de acuerdo a sus características, regulando los usos compatibles, los usos restringidos y las condiciones de manejo. Reglamenta las franjas de protección en especial para los cauces hídricos, la adquisición por la administración municipal de las zonas de recuperación natural o inducida, define líneas de

acción para la gestión del recurso hídrico en el municipio y reglamenta lo referente a la conservación ambiental frente al desarrollo constructivo.

En cuanto al estudio *Diagnóstico sobre agua potable y saneamiento integral rural 2015* realizado a la cuenca hídrica del río Quilichao se pueden identificar las principales problemáticas de la cuenca en cuanto al uso del suelo, el recurso hídrico y la flora presentes y las consecuencias o problemáticas conexas presentes sobre estos recursos, entre ellos de pérdida de diferentes especies vegetales, inundaciones, movimientos en masa, avalanchas o crecientes súbitas, incendios forestales, vendavales así como fluctuaciones en la cantidad y calidad del agua.

Respecto al *Plan local de adaptación al cambio climático 2016* se observó que se centra en la caracterización de los recursos naturales y la poca adaptación de las comunidades y a partir de ello establece 3 ejes estratégicos enfocados a sistemas productivos y hogares, uso energético y articulación institucional, con una estrategia para cada uno de ellos relacionadas a Gestión integral de residuos sólidos, restauración ecológica, estufas ecoeficientes y conformación de la Mesa ambiental municipal.

En lo referente al *Plan Municipal de Gestión de Riesgo 2016* se encontró la caracterización general del escenario de riesgo asociado al cambio climático en el que se incorporan antecedentes de situaciones de desastre o emergencia relacionando fenómenos asociados, causas, actores involucrados, daños y pérdidas y respuesta institucional; incorpora a su vez el escenario de riesgo por cambio climático en el que incluye fenómenos amenazantes, causas, elementos expuestos y su vulnerabilidad, así como los daños y/o pérdidas que pueden presentarse; incorpora además un análisis a futuro e identificación de medidas de intervención para el conocimiento y reducción del riesgo y para el manejo del desastre.

En el plan de desarrollo municipal actual *Quilichao vive 2020 – 2023* se puede evidenciar que dentro de uno de los ejes estratégicos relacionado a la sostenibilidad ambiental,

se presenta un programa enfocado en el cambio climático con un total de 12 iniciativas que se centran en: la gestión de ecosistemas estratégicos, los incentivos a la conservación de áreas de interés ambiental, la adquisición de terrenos para la conservación del recurso hídrico, la reforestación de áreas abastecedoras, la implementación de hornillas ecoeficientes, la intervención en suelos degradados, el inventario y diagnóstico fitosanitario de especies vegetales, acciones de educación ambiental en el municipio, el pago de la sobretasa ambiental y en implementar el plan local de adaptación al cambio climático y el plan de manejo de silvicultura urbano municipal.

Adicional a esto se revisó el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2016), en el que, de acuerdo a su ubicación geográfica el municipio de Santander de Quilichao, se encuentra en el límite de la región pacífica y andina para el cual el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático presenta como diagnóstico el siguiente vínculo de impactos asociados al cambio climático en sectores de la siguiente forma:

**Agricultura:** Crecientes súbitas más frecuentes o de mayor magnitud, degradación de suelos, afectación de servicios ecosistémicos por transición altitudinal del clima, inundaciones más frecuentes o de mayor magnitud.

**Pecuario:** Crecientes más frecuentes o de mayor magnitud, déficit de agua, degradación de suelos.

**Pesquero Y Acuícola:** Temporadas secas más extremas, erosión y transporte de sedimentos.

**Transporte:** Crecientes más frecuentes o de mayor magnitud, degradación de suelos.

**Vivienda, Desarrollo Territorial, Agua Potable:** Crecientes más frecuentes o de mayor magnitud, afectación de servicios ecosistémicos por transición altitudinal del clima, déficit de agua.

**Energía:** Erosión y transporte de sedimentos, afectación de servicios ecosistémicos por transición altitudinal del clima.

**Comercio Y Turismo:** Crecientes más frecuentes o de mayor magnitud, degradación de suelos, afectación de servicios ecosistémicos por transición altitudinal del clima.

**Minero:** Erosión y transporte de sedimentos, degradación de suelos, Inundaciones más frecuentes o de mayor magnitud.

Como consolidado del objetivo de proponer acciones de adaptación frente al cambio climático y escenarios de riesgo asociados con relación a la variación de los parámetros de temperatura y precipitación en el municipio de Santander de Quilichao y de acuerdo a los resultados de la presenta investigación y del diagnóstico anterior se definen las acciones para abordar la problemática:

1. incorporar el desarrollo de medidas de adaptación basada en ecosistemas, en virtud de su bajo costo y la variedad de cobeneficios asociados, enfocadas principalmente a la degradación y desertificación de suelos, disponibilidad de agua, seguridad y soberanía alimentaria, y diversificación y masificación de fuentes sostenibles de energía; como principales problemáticas con base en lo revisado en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2016).

2. Implementar una red de estaciones hidrometeorológicas en el municipio con el fin de mejorar la capacidad de registro de variables climáticas, que permitan acceso a la información en tiempo real y el registro histórico de datos, pudiendo ser base para la implementación de un Sistema de Alertas Tempranas y evaluar las evidencias de cambio climático en el municipio.

3. Poner en marcha un programa de sensibilización continua sobre cambio climático dirigido a la comunidad urbana y rural, incluyendo a las diferentes instituciones educativas y juntas de acción comunal, a través, de diferentes estrategias como capacitaciones, infografías, noticias, videos. Que promuevan soluciones prácticas desde la comunidad, con el objetivo de generar una concientización frente al cambio climático.

4. Incorporar medidas y acciones de adaptación al cambio climático en la actualización del instrumento de ordenamiento territorial para el municipio, reforzando la protección del recurso hídrico y disminuyendo al máximo las afectaciones originadas por la expansión urbana, así como enfocar el uso del suelo, en la protección de las áreas más vulnerables. De igual forma reglamentar la incorporación de medidas y acciones de adaptación al cambio climático en las demás instituciones públicas y privadas con el fin de alcanzar una transformación en el territorio.

5. Poner en marcha acciones de adaptación en la zona rural como población más vulnerable debido en su mayoría a la falta de recursos y a la susceptibilidad de las practicas agropecuarias al cambio climático. De esta forma fortalecer las capacidades locales relacionadas a métodos agrícolas y de construcción resilientes, gestión del recurso hídrico, conservación y restauración de ecosistemas estratégicos, teniendo en cuenta a las comunidades en la toma de decisiones para que las acciones sean más efectivas y sostenibles en el tiempo.

6. Desarrollar una política pública municipal de gestión de riesgo de desastres que permita conseguir una sinergia entre las diferentes entes sociales e institucionales de carácter públicos y privados, hacia las acciones de conocimiento y reducción de riesgo y manejo de desastres, promoviendo soluciones íntegras de forma que se puedan articular los esfuerzos realizados.

7. Incorporación de tecnologías sostenibles para la eficiencia y eficacia en las practicas agropecuarias mejorando el uso de recursos y reduciendo el uso de contaminantes, de igual

forma incorporando tecnologías para la obtención y análisis de datos que permitan el monitoreo de fenómenos naturales amenazantes y el desarrollo de Sistemas de Alertas Tempranas para las comunidades.

8. Creación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas para el municipio que permita una planeación adecuada del manejo y buen uso de los recursos de las cuencas dentro del territorio en relación al suelo, aguas, flora y la fauna y a través de ello realizar una gestión integrada de fuentes abastecedoras; promoviendo el uso eficiente para consumo y actividades económicas, alternativas para el almacenamiento y reutilización y tratamiento adecuado del agua.

## 8. Análisis de resultados

### 8.1. Variaciones en la temperatura media anual y la precipitación total anual para el período 1971 - 2020.

Inicialmente se abordó el método de la proporcionalidad con el fin de completar los datos faltantes de las series de precipitaciones para las estaciones Amparo y Mondongo pero en vista de que las estaciones presentaban múltiples datos faltantes inclusive llegando a presentarse ausencia de datos por todo un año, a lo cual se definió que el método pudiera no tenerse los resultados esperados y una confiabilidad adecuada, por lo cual se abordó el método de la regresión lineal con ayuda del software Microsoft Excel para la gestión de los datos faltantes.

De acuerdo a los datos gestionados de precipitación faltantes a través del método de regresión lineal se pudo evidenciar que al observar los datos en escala diaria se presenta gran cantidad de datos diarios faltantes, que al momento de aplicar el método de regresión lineal quedan completamente diligenciados por medio de la ecuación de la línea de tendencia que correlaciona ambas estaciones, siendo este método más efectivo que aquellos que realizan la determinación de datos faltantes mensuales o mensuales anuales, donde el valor disponible puede estar representado solo por unos pocos días del mes.

Al momento de completar los datos faltantes en las series climatológicas el análisis independiente de periodos genera errores adicionales, en vista de que cada periodo puede presentar un comportamiento o tendencia individual diferente, que influye en mayor medida a la hora de llevar a cabo el proceso. Por lo que un buen estudio para completar los datos faltantes depende de la amplitud del rango de datos a analizar, de modo que entre más largo sea el periodo el estudio será más representativo. Dicho error puede verse disminuido al determinar los datos faltantes en un único periodo de datos más largo, que incluya los periodos

individuales a analizar, dando como resultado una muestra más acercada al comportamiento real.

Para el análisis comparativo de precipitaciones totales anuales inicialmente se definieron periodos de 30 años correspondientes a los períodos 1971- 2000 y 1991 -2020. Sin embargo, se encontró que la intercepción de los datos entre los periodos a analizar puede ocasionar posibles errores, ya que dentro de los datos interceptados entre ambos periodos puede haber meses con exceso o déficit de precipitaciones por el desarrollo de fenómenos como la niña y el niño, lo que puede ocasionar malinterpretaciones al momento de análisis, razón por la cual se definió trabajar con series de 25 años completamente independientes correspondientes a los períodos 1971 - 1995 y 1996 – 2020.

A continuación, con el fin de visualizar posibles influencias en los periodos de tiempo analizados se presenta un histórico de fenómenos del niño definido por períodos cálidos y la niña definido por periodos fríos basados en un umbral de +/- 0,5°C en la temperatura media del océano Pacífico disponible en la NOAA/ National Weather Service. Para fines históricos, los períodos por debajo y por encima de lo normal se colorean en azul (niña) y rojo (niño) cuando se alcanza el umbral durante un mínimo de 5 temporadas superpuestas consecutivas.

**Tabla 18** Desarrollo de fenómenos del niño y la niña durante el periodo 1970 - 2020

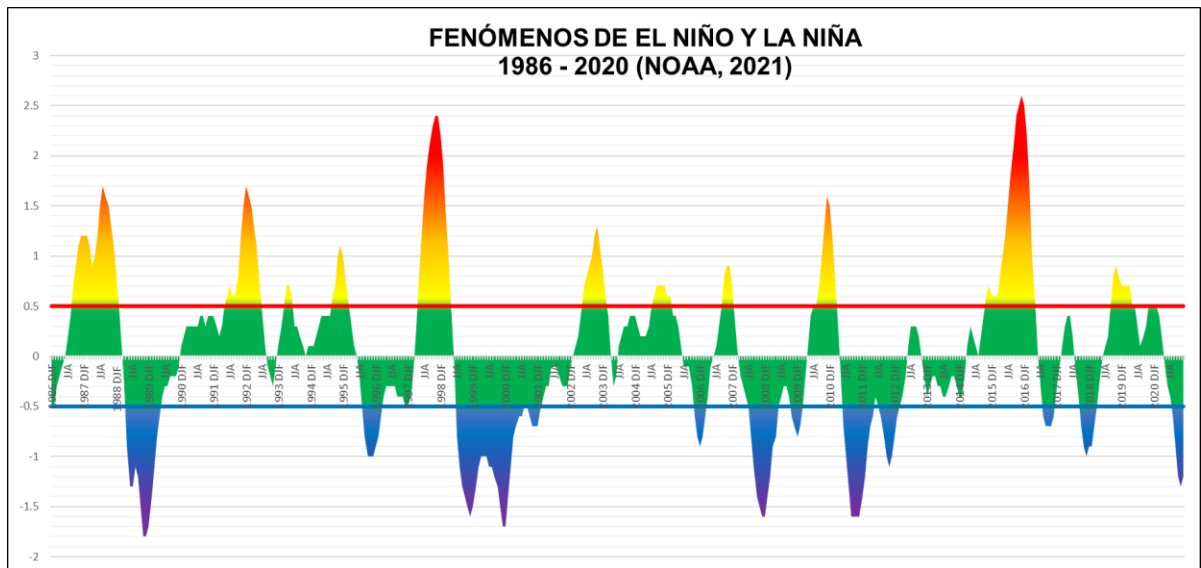
AÑO	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
1970	0.5	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.7	-0.9	-1.1
1971	-1.4	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1.0	-0.9
1972	-0.7	-0.4	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.1	2.1
1973	1.8	1.2	0.5	-0.1	-0.5	-0.9	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7	-1.9	-2.0
1974	-1.8	-1.6	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.6
1975	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.4	-1.6	-1.7
1976	-1.6	-1.2	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	0.8
1977	0.7	0.6	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.0
1979	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ



1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0
1981	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1
1982	0.0	0.1	0.2	0.5	0.7	0.7	0.8	1.1	1.6	2.0	2.2	2.2
1983	2.2	1.9	1.5	1.3	1.1	0.7	0.3	-0.1	-0.5	-0.8	-1.0	-0.9
1984	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-1.0	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
1986	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.2	1.1	0.9	1.0	1.2	1.5	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.9	-1.3	-1.3	-1.1	-1.2	-1.5	-1.8	-1.8
1989	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9
2007	0.7	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-1.3	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.5	-1.3	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3

2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2

**Figura 28** Gráfica ocurrencia, intensidad y duración del fenómeno El Niño – La Niña (1986 - 2020)



Fuente: (Muñoz, 2022)

### 8.1.1. **Análisis de las variaciones en la temperatura media anual para el periodo 1971 – 2020**

De los resultados obtenidos de las gráficas para la exploración de tendencias para las variables de temperatura mínima media anual, temperatura media del aire anual y temperatura máxima media anual, en el caso de las estaciones analizadas, una de ellas con un periodo de 30 años y otra con un periodo de 17 años, debido a la falta de disponibilidad de datos, se puede evidenciar cómo de forma general, la tendencia en las diferentes variables de temperatura para las estaciones Japio y Lomitas es marcada y caracterizada por un aumento.

Para el caso de la variable de temperatura máxima media anual de la estación Japio, para la cual se evidenció una disminución puede deberse a picos históricos de temperatura alta que no se han vuelto a presentar en la misma magnitud.

### **8.1.2. Análisis de las variaciones en la precipitación total anual para el periodo 1971 – 2020**

De manera general de las gráficas obtenidas del estudio de la normales climatológicas para las estaciones Amparo y Mondomo del municipio de Santander de Quilichao, se puede determinar que en el municipio la distribución de la precipitación obedece a un régimen de lluvias bimodal, que, de acuerdo a Guzmán D. y Ruíz, J. F. (2014) exponen ser un régimen caracterizado por registrar dos temporadas secas alternadas con dos lluviosas.

De acuerdo a lo observado el régimen bimodal presente en el municipio de Santander de Quilichao se caracteriza por tener dos temporadas secas de inicio y mitad de año comprendidas entre los meses enero - febrero y junio - agosto, siendo la primera temporada seca menos prolongada y la segunda temporada seca más deficitaria con relación a la primera. En cuanto a los dos periodos de lluvias ubicados en los meses de marzo - mayo y noviembre – diciembre, siendo ambas temporadas de lluvias igual de prolongadas y la segunda temporada de lluvias presentando una mayor intensidad con relación a la primera, con los meses de septiembre y diciembre transitorios entre el cambio de temporada.

**Tabla 19** Variaciones en las precipitaciones totales mensuales en la estación Amparo

Mes	Precipitaciones		Variación	Porcentaje
	1971 - 1995	1996 - 2020		
Enero	3864,4	4919,6	aumentó	27,31%
Febrero	4396,9	5135,5	aumentó	16,80%
Marzo	5268,4	6421,2	aumentó	21,88%
Abril	5811,1	6243,9	aumentó	7,45%
Mayo	5262,0	4775,6	disminuyó	-9,24%
Junio	2295,3	2931,3	aumentó	27,71%
Julio	2241,8	1781,3	disminuyó	-20,54%
Agosto	2420,8	1688,2	disminuyó	-30,26%

Septiembre	3599,9	3479,2	disminuyó	-3,35%
Octubre	7046,0	6152,7	disminuyó	-12,68%
Noviembre	7502,7	6671,3	disminuyó	-11,08%
Diciembre	4963,8	5675,3	aumentó	14,33%

**Tabla 20** Variaciones en las precipitaciones totales mensuales en la estación Mondomo

Mes	Precipitaciones (mm)		Variación	Porcentaje
	1971 - 1995	1996 - 2020		
Enero	3816,2	4542,3	aumentó	19,03%
Febrero	4208,5	4573,8	aumentó	8,68%
Marzo	5332,2	5137,6	disminuyó	-3,65%
Abril	5494,1	4862,4	disminuyó	-11,50%
Mayo	4776,1	4135,4	disminuyó	-13,41%
Junio	2388,8	2202,0	disminuyó	-7,82%
Julio	1991,1	1808,3	disminuyó	-9,18%
Agosto	2189,7	1310,1	disminuyó	-40,17%
Septiembre	3087,5	2240,0	disminuyó	-27,45%
Octubre	6054,8	4763,2	disminuyó	-21,33%
Noviembre	6822,9	6278,0	disminuyó	-7,99%
Diciembre	4191,1	5033,0	aumentó	20,09%

Para el análisis comparativo de precipitaciones totales anuales para las series climatológicas de 25 años correspondientes a los períodos 1971- 1995 y 1996 -2020 se encontró que para la primera temporada seca o de menos lluvias correspondiente a los meses de enero y febrero se conserva una misma tendencia para ambas estaciones correspondiente a un aumento principalmente en el mes de enero, caso contrario presentado para la primera temporada de lluvias correspondiente a los meses de marzo, abril y mayo donde no hay una misma tendencia para ambas estaciones, presentándose aumentos de precipitación para la estación Amparo y disminuciones para la estación Mondomo, a excepción del mes de mayo donde se encontraron comportamientos similares para ambas estaciones.

Para la segunda temporada de menores precipitaciones presentes en el año, correspondiente a los meses de junio, julio y agosto, en ambas estaciones se observó una tendencia de disminución de las precipitaciones, siendo esta más marcada en el mes de

agosto, donde usualmente se suelen presentar las sequías más fuertes, con una reducción del 30% y 40% cercana a los 1000 mm de precipitación para ambas estaciones, a excepción del mes de junio donde se encontraron comportamientos opuestos. Además, se observó para la estación Mondomo cambios significativos en el mes de septiembre, mes transitorio entre el cambio de temporada. Caso similar se presentó para la segunda temporada de lluvias correspondiente a los meses de octubre y noviembre, donde se observó una tendencia de disminución considerable para ambas estaciones de hasta del 20%, alcanzando una reducción entre los 500 mm y los 1200 mm de precipitación, finalizando con el mes de diciembre caracterizado por un aumento de hasta del 20%.

En cuanto a los resultados obtenidos de las gráficas para la exploración de tendencias para las precipitaciones totales anuales, en el caso de las estaciones analizadas con un periodo tiempo más largo, se puede evidenciar cómo de forma general la tendencia en las precipitaciones para la estación Amparo tiende a ser más constante y presenta un aumento leve, caso contrario para la estación Mondomo, para la cual se evidenció una tendencia en las precipitaciones más marcada y caracterizada por una disminución en las precipitaciones. Para el caso de las estaciones adicionales por considerar un análisis con un periodo de tiempo más corto de alrededor de 30 años, se evidenció un comportamiento similar estable, orientado hacia un leve aumento de las precipitaciones.

Las tendencias en las precipitaciones de acuerdo al IPCC en varias de sus publicaciones expresan un cambio en el clima, tanto hacia condiciones más húmedas con incremento de precipitaciones, como hacía condiciones menos húmedas con una disminución de las precipitaciones. Cabe aclarar que, para el método de análisis estadístico empleado en este estudio, correspondiente al análisis de tendencias a partir de datos históricos de precipitaciones diarios, no se toma en cuenta factores relacionados a otras variables como el incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero, aumento de temperatura,

reducción del área de sumideros de carbono y demás que se puedan considerar en escenarios futuros.

En consecuencia, con el cambio climático se ha obtenido como resultado variaciones en los parámetros de temperatura y precipitación, siendo estas marcadas por una tendencia de aumento en las temperaturas para todos los casos de análisis y un aumento en las precipitaciones para la mayoría de los casos de análisis de precipitaciones de acuerdo a los resultados obtenidos. De esta forma se ha observado la intensificación de periodos de sequías como la provista para el mes de agosto, mes para el cual se encontró la mayor variación con disminución del 40%, intensificando esta segunda temporada de verano anual, así como la intensificación de periodos de sequías como la provista para el mes de agosto, de igual forma presentándose un aumento considerable para los meses de diciembre y enero, siendo estos transitorios y de la temporada de menores precipitaciones respectivamente.

## **8.2. Comportamiento de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno**

De los diferentes resultados obtenidos en la determinación de periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años para las estaciones Amparo, Mondomo, Japio, Lomitas y Mandiva consignados en la tabla de “*precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno en las estaciones de estudio*”, se puede evidenciar una diferencia marcada en la magnitud de las precipitaciones entre las estaciones estudiadas ya que como se muestra en los mapas de clasificación climática Departamento del Cauca (caldas Lang) y de precipitación total anual departamento del Cauca, las estaciones se encuentran en las mismas categorías o rangos definidos para el clima y precipitación, a excepción de la estación Japio que se encuentra en un rango de precipitación menor. Sin embargo, las diferentes estaciones meteorológicas difieren en su ubicación geográfica, altura sobre el nivel del mar, lo que ocasiona que se presenten estas variaciones.

Se observa como para la estación Amparo las precipitaciones máximas para los periodos de retorno estudiados son mayores con relación a las demás estaciones, lo que nos permite inferir que para la zona en la que se ubica a estación Amparo, las precipitaciones pueden alcanzar mayor intensidad de forma posiblemente más recurrente, presentando, de acuerdo a esto, valores máximos anuales más elevados, como se evidencia en la tabla de valores máximos anuales para las estaciones.

Se observa cómo para el periodo de estudio de 30 años en cada una de las estaciones, el máximo de precipitaciones se acerca a los valores obtenidos para un periodo de retorno de 25 años, de acuerdo a los valores obtenidos, por lo cual el cálculo del periodo de retorno por medio de la ecuación obtenida no se aleja de las precipitaciones máximas presentadas para el período analizado.

Para los periodos de retorno de 50 y 100 años se observa cómo las precipitaciones máximas corresponden a valores de precipitación muy por encima de los presentados para el periodo de estudio. Sin embargo, cabe resaltar que estos son valores de acumulado diario y no representan una tasa de precipitación relacionada con la precipitación durante un periodo de tiempo, la cual suele clasificarse de acuerdo a su intensidad por ahora de la siguiente manera:

**Tabla 21** *Clasificación de la precipitación según la intensidad*

<b>Clase</b>	<b>Intensidad media en una hora (mm/h)</b>
Débiles	$\leq 2$
Moderadas	$> 2 \text{ y } \leq 1$
Fuertes	$>15 \text{ y } \leq 30$
Muy fuertes	$> 30 \text{ y } \leq 60$
Torrenciales	$>60$

Fuente: (AEMET, s.f.)

Con base en esto es importante mencionar que las precipitaciones obtenidas de los diferentes periodos de retorno, expresan la lluvia máxima acumulada que se puede llegar a alcanzar en un día, sin tener en cuenta la intensidad de las precipitaciones que se puedan

presentar. Por lo que es posible que la cantidad de precipitaciones se manifieste con eventos de poca intensidad con mayor duración o evento de alta intensidad con poca duración.

Además, que las variaciones de las precipitaciones máximas obtenidas para los diferentes periodos de retorno pueden deber sus diferencias a la tendencia de las precipitaciones para cada una de las estaciones ya que algunas presentan tendencias más marcadas que otras y caracterizadas por una variación diferente en las precipitaciones; de igual forma dichos resultados pueden verse alterados por los coeficientes de correlación de  $R^2$  de las ecuaciones utilizadas para las diferentes estaciones.

En el estudio realizado por L. V. , Alexander; X., Zhang; T. C. llamado Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation (2006), muestra como los eventos de precipitación más extremos en un año han ido en aumento alrededor de todo el mundo, presentándose aumentos significativos de hasta 2 días por década, en el número de días en un año con fuertes precipitaciones en el centro-sur de los Estados Unidos y partes de América del Sur.

La estimación de las precipitaciones para un determinado periodo de retorno permite tener una estimación para los municipios de las precipitaciones máximas que se puede presentar durante un periodo de tiempo dado y así definir diseños y cálculos estructurales para el caso de obras de ingeniería, predecir posibles inundaciones, prepararse ante escenarios de riesgo por fenómenos hidrometeorológicos y las amenazas conexas que estos pueden presentar, o en el caso del estudio de periodos de menos precipitaciones, determinar posibles periodos de sequía, así mismo establecer medidas de adaptación en actividades de alta demanda del recurso hídrico como el sector agropecuario, energético y doméstico (L. V. , X., & T. C., 2006).



### **8.3. Variaciones en los escenarios de cambio climático futuros propuestos por el IDEAM, asociados a las variables de temperatura y precipitación**

De las gráficas de escenarios de precipitación y temperatura para el periodo 1976 – 2005 correspondiente al valor promedio de referencia, se puede evidenciar que para la variable de precipitaciones, de forma general para el municipio de Santander de Quilichao, la mayoría del territorio se encuentra en el rango 2001 - 2500 mm totales anuales, a excepción de la zona noroccidental que se encuentra en el rango 1501 - 2000 mm totales anuales, para el caso puntual de las estaciones Amparo, Mondomo, Mandiva y la estación Lomitas se tiene un valor en el rango 2001 - 2500 mm totales anuales y para el caso de la estación Japio se tiene un valor en el rango 1501 - 2000 mm totales anuales. Por otra parte, para la variable de temperatura para el periodo 1976 - 2005 correspondiente al valor promedio de referencia, se puede evidenciar que el valor para las estaciones Amparo y Mandiva se encuentra en el rango 21,1 - 22 °C, la estación Mondomo se encuentra en el rango 19,1 - 20°C y las estaciones Japio y Lomitas se encuentran en el rango 22,1 - 23°C.

Para el periodo 2071 - 2100 correspondiente al escenario futuro planteado, se puede evidenciar que para la variable de precipitación de forma general para el municipio de Santander de Quilichao la mayoría del territorio se encuentra en el rango 3001 - 4000 mm totales anuales, a excepción de la zona noroccidental y suroccidental que se encuentra en el rango 2501 - 3000 mm totales anuales. Para el caso puntual de las estaciones Amparo, Mondomo, Mandiva y la estación Lomitas, se tiene un valor en el rango 3001 - 4000 mm totales anuales y para el caso de la estación Japio se tiene un valor en el rango 2001 - 2500 mm totales anuales. Para la variable de temperatura, para el periodo 2071 - 2100, se puede evidenciar que el valor para las estaciones Amparo, Mandiva y Japio se encuentran en el rango 23,1 - 24 °C, la estación Mondomo se encuentra en el rango 21,1-22°C y la estación Lomitas se encuentra en el rango 25,1 - 26 °C

De los resultados del estudio se puede evidenciar consecuente con la gráfica de diferencia de Temperatura y porcentaje de precipitación entre los periodos 2071 - 2100 y 1976 - 2005, que en el caso puntual para el municipio de Santander de Quilichao se espera en cuanto a la variable de temperatura un aumento de alrededor de 2,2 °C de acuerdo a las gráficas anteriores para el escenario 2071 - 2100. Además de esto se puede evidenciar que en cuanto a la variable de precipitación se observa de igual forma un aumento considerable de hasta alrededor de 40% en las precipitaciones totales anuales.

En cuanto a los resultados del objetivo número 1 relacionado a las tendencias de los parámetros de temperatura y precipitaciones, se observa que se obtuvo un resultado acorde con los escenarios de cambio climático futuros propuestos por el IDEAM. Para el caso de la variable de temperatura se evidenció una tendencia de aumento para las diferentes estaciones meteorológicas estudiadas y con relación a la variable temperatura para las estaciones Mandiva, Lomitas y Japio se encontró de igual forma un aumento en las precipitaciones, a diferencia de las estaciones Mondomo y Amparo para las cuales se encontró una tendencia de disminución.

Cabe resaltar que el método de análisis estadístico de tendencias a partir de datos de temperatura promedio anual y precipitación total anual, no toma en cuenta factores predictivos relacionados a otras variables como el incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero, aumento de temperatura y demás que se puedan considerar en escenarios futuros, como es el caso de la metodología usada para el desarrollo de los escenarios de cambio climático futuros propuestos por el IDEAM.

Frente a los efectos planteados como resultado de los escenarios de cambio climático futuros relacionados al aumento de las precipitaciones pronosticado, se prevé que puedan incrementarse tanto en frecuencia como en intensidad los fenómenos asociados como inundaciones, vendavales, avenidas torrenciales, erosión hídrica en cauces y terrenos, remociones en masa y posibles granizadas. De igual forma pese a que no se plantean mayores

disminuciones de precipitación, el aumento marcado de la temperatura durante temporadas de menores precipitaciones puede ocasionar fenómenos de sequías bastante intensos, influenciados también por el posible desarrollo de fenómenos del niño también de características más intensa, traduciéndose en escenarios críticos para la biodiversidad, el abastecimiento de agua, actividades económicas relacionadas al sector agropecuario y aumento de condiciones de desastres asociados a incendio forestales, olas de calor y mortandad de animales.

#### **8.4. Acciones de adaptación frente al cambio climático y escenarios de riesgo asociados con relación a las variables de temperatura y precipitación.**

De acuerdo al consolidado de los resultados y análisis obtenidos para el desarrollo de los objetivos 1, 2, 3 se espera que el comportamiento de los parámetros de temperatura y precipitación continúe obedeciendo a un aumento, siendo este para el caso de las precipitaciones de forma estacional, presentándose tanto mayor intensidad y frecuencias de eventos de fuertes precipitaciones, como la intensificación de los periodos de sequía influenciados en gran medida por el aumento de las temperaturas, influyendo de esta forma sobre los fenómenos naturales o amenazas conexas como pérdida de diferentes especies vegetales, inundaciones, movimientos en masa, avalanchas o crecientes súbitas, sequías, incendios forestales, vendavales.

De la evaluación del estado del arte de la relación entre las variables precipitación, periodos de retorno de lluvias máximas y temperatura y el cambio climático en el futuro, se pudo observar cómo los métodos estadísticos permiten la exploración de datos de las variables climatológicas estableciendo sus tendencias o correlacionando estas con otras variables de estudio entre sí, para definir o estimar su comportamiento. Sin embargo, al definir su comportamiento durante un periodo de tiempo, permiten tener una idea de su comportamiento en el futuro bajo unas condiciones similares a las presentadas durante el período ya analizado,

sin tener en cuenta nuevas variables en el sistema como es el caso de cambios en el comportamiento de los gases de efecto invernadero sobre la atmósfera el cual es el factor principal del cambio climático.

En lo referente al diagnóstico de las problemáticas existentes en el municipio frente al cambio climático de acuerdo a los documentos institucionales se revisados se encontró que en su mayoría corresponden al aumento y disminución de las precipitaciones, principalmente durante las temporadas de invierno y verano correspondientemente, esto debido a la intensificación de estas temporadas climáticas.

En cuanto al aumento de precipitaciones, se relacionan fenómenos por inundaciones más frecuentes o de mayor magnitud, procesos erosivos y transporte de sedimentos, movimientos en masa, avalanchas o crecientes súbitas más frecuentes o de mayor magnitud; referente a la disminución de precipitaciones, se relacionan problemáticas de temporadas secas más extremas, disminución de caudales y calidad de las fuentes de agua en las cuencas y microcuencas, reducida cantidad del recurso hídrico disponible para abastecer los acueductos, incendios forestales y vendavales, disminución de la cobertura vegetal. Además, problemáticas relacionadas al uso inadecuado del suelo, degradación de suelos, deforestación y quemas en la zona boscosa, para destinarlas a la producción agrícola y ganadera, la invasión de las franjas protectoras de los cauces de los ríos, falta de medidas de protección ambiental, la pérdida de la biodiversidad faunística, deterioro del paisaje, minería a gran escala, actividades agrícolas y pecuarias, desechos, aguas residuales y afectación de servicios ecosistémicos por transición altitudinal del clima.

## 9. Conclusiones

1. Del análisis realizado del comportamiento de las lluvias a lo largo de las series 1971-1995, y 1996-2020 se puede evidenciar que las variaciones para las variables temperatura mínima media anual, temperatura media anual y temperatura máxima media anual, así como la precipitación total anual se caracterizan principalmente por un aumento. Además, se evidenció que la variable precipitación total mensual anual para el periodo analizado, presenta sus principales variaciones en los meses de junio y agosto, caracterizado por una disminución considerable, y, en los meses de diciembre y enero caracterizado por un aumento.

2. Del estudio de los diferentes periodos de retorno para las estaciones estudiadas se puede evidenciar que puede llegar a presentar lluvias por encima de los 90mm diarios totales con una periodicidad de 5 años y lluvias por encima de 160mm diarios totales con una periodicidad de 100 años. Las estaciones Japio y Amparo presentan la condición de torrencialidad más baja y más alta respectivamente. Los valores evidenciados en el análisis del comportamiento de los periodos de retorno basan su importancia en poder ayudar a definir diseños y cálculos estructurales de obras hidráulicas, predicción de inundaciones y demás amenazas conexas.

3. De la revisión realizada del documento “Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100” propuesto por el IDEAM se puede evidenciar que las variaciones para los parámetros de temperatura y precipitación en los escenarios de cambio climático futuros se caracterizan por un aumento de alrededor de 2,2 °C y de hasta 40% respectivamente, ocasionando efectos relacionados al posible incremento tanto en frecuencia como en intensidad de fenómenos asociados como inundaciones, vendavales, avenidas torrenciales, erosión hídrica en cauces y terrenos, remociones en masa y posibles granizadas, de igual forma ocasionando un aumento en la intensidad en los periodos de sequias influenciados por el aumento de temperatura durante periodos de verano.

4. De las acciones propuestas de adaptación frente al cambio climático y los escenarios de riesgo asociados, con relación a la variación de los parámetros de temperatura y precipitación, se logró evidenciar cómo las diferentes problemáticas abordadas en los documentos base del diagnóstico realizado, están asociadas a variaciones que puedan presentarse en estos parámetros y a los fenómenos naturales que se derivan del comportamiento de estos parámetros. Dicha relación se debe, a su vez, a las diferentes sinergias características de los ecosistemas por lo que es necesario que las recomendaciones realizadas se realicen bajo la misma dinámica y puedan ser realizadas en conjunto para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad en las comunidades.

## 10. Referencias bibliográficas

- AEMET. (s.f.). Recuperado el 15 de abril de 2023, de Agencia Estatal de Meteorología de España: [aemet.es/es/portada](http://aemet.es/es/portada)
- Caldera, H., Piyathisse, V., & Nandalal, K. (2016). *A Comparison of Methods of Estimating Missing Daily Rainfall Data*. doi:10.4038/engineer.v49i4.7232
- Congreso de Colombia. (2012, 24 de abril). *Ley 1523*. Recuperado el 5 de mayo de 2023, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>
- Congreso de Colombia. (2018, 27 de julio). *Ley 1931*. Recuperado el 13 de mayo de 2023, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87765>
- Díaz, D. (2017). *Modelado y simulación de sistemas naturales*. U Tadeo. Recuperado el 7 de mayo de 2023, de [https://www.researchgate.net/publication/318163154\\_Modelado\\_y\\_Simulacion\\_de\\_Sistemas\\_Climaticos\\_Desde\\_la\\_escalaglobal\\_hasta\\_los\\_microclimas](https://www.researchgate.net/publication/318163154_Modelado_y_Simulacion_de_Sistemas_Climaticos_Desde_la_escalaglobal_hasta_los_microclimas)
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático - IPCC. (2021). *Climate change 2021: summary for all* (Vol. IPCC AR6 WG1). Recuperado el 7 de mayo de 2023, de [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SummaryForAll\\_Spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGI_SummaryForAll_Spanish.pdf)
- Guzmán, D., Ruíz, J., & Cadena, M. (2014). *Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales (ACP)*. Recuperado el 10 de mayo de 2023, de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21141/Regionalizacion+de+la+Precipitacion+Media+Mensual/1239c8b3-299d-4099-bf52-55a414557119>
- IDEAM - UNAL. (2018). *Variabilidad Climática y Cambio en Colombia*. Bogotá DC. Recuperado el 28 de abril de 2023, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>

- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA. (2015). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional - Regional*. Recuperado el 14 de 04 de 2023, de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022965/documento\\_nacional\\_regional.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022965/documento_nacional_regional.pdf)
- L. V. , A., X., Z., & T. C., P. (2006). *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation*. doi:10.1029/2005JD006290
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Plan Nacional de Adaptacion al Cambio Climatico*. Recuperado el 2 de mayo de 2023, de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/PNACC%202016%20linea%20accion%20prioritarias.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. (2017). *Politica Nacional de Cambio Climatico*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/9.-Politica-Nacional-de-Cambio-Climatico.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia* (Vol. actualización 2020). Obtenido de [https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/05/NDC\\_Libro\\_final\\_digital-1.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/05/NDC_Libro_final_digital-1.pdf)
- Municipio de Santander de Quilichao. (2002). *Plan Basico de Ordenamiento Territorial*.
- Municipio de Santander de Quilichao. (2016). *Plan local de adaptación al cambio climático*.
- Municipio de Santander de Quilichao. (2016). *Plan Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres*.
- Muñoz, D. A. (2022). *Notas de seminario de énfasis, disertación doctoral en ciencias ambientales, Universidad del Valle*.
- Proyecto ASIR - SABA, Municipio de Santander de Quilichao. (2015). *Diagnóstico sobre agua potable y saneamiento integral rural*.



Quilichao vive 2020 - 2023. (2020). *Plan de desarrollo Santander de Quilchao*.

World Meteorological Organization. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*. Recuperado el 10 de mayo de 2023, de [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=8209](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=8209)



Universidad<sup>®</sup>  
Católica  
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*Obra de Iglesia  
de la Congregación*



Hermanas de la Caridad  
*Dominicas de La Presentación*  
de la Santísima Virgen

*Universidad Católica de Manizales*  
Carrera 23 # 60-63 Av. Santander / Manizales - Colombia  
PBX (6)8 93 30 50 - [www.ucm.edu.co](http://www.ucm.edu.co)