

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**



**“INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRECIPITACIÓN Y  
TEMPERATURA DE LA CUENCA DEL RIO CAJAMARQUINO”**

**TESIS:**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO HIDRÁULICO**

PRESENTADO POR:

**Bach. MICHEL HUBER CUEVA PORTAL**

ASESOR:

**Dr. Ing. LUIS VÁSQUEZ RAMIREZ.**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2024**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador: MICHEL HUBER CUEVA PORTAL**  
**DNI: 70015521**  
**Escuela Profesional: INGENIERÍA HIDRÁULICA**
- Asesor: LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ**  
**Facultad: INGENIERÍA**
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación: "INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DE LA CUENCA DEL RÍO CAJAMARQUINO"**
- Fecha de evaluación: 07/11/2024**
- Software antiplagio:**       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud: 18%**
- Código Documento: oid: 3117:402920641**
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO    PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 07/11/2024

 <hr/> <p><b>FIRMA DEL ASESOR</b> <b>Nombres y Apellidos</b> <b>LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ</b> <b>DNI: 26693344</b></p>	 <p>Firmado digitalmente por: BAZAN DÍAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 07/11/2024 23:53:18-0500</p> <hr/> <p><b>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</b></p>
---	--

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

## **AGRADECIMIENTO**

Al Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez, por su apoyo y orientación para la realización de la presente tesis.

A todo mi equipo de trabajo de Escuela Peruana del Agua e Hidroclíc que siempre tuvieron la predisposición para brindarme toda su ayuda de manera directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

A todos ellos, mi eterna gratitud.

## **DEDICATORIA**

A mi padre que desde el cielo me ilumina para transformar el agua en confianza.

A Violeta, Segundo, Raúl, Yolanda, Damaris y toda mi familia, por estar a mi lado y brindarme sus consejos en los momentos más difíciles, por su apoyo, paciencia y comprensión en todo este largo camino de vida estudiantil.

¡Gracias a ustedes!

**Michel Huber Cueva Portal**



# ÍNDICE

	<b>página</b>
<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.1. CONTEXTUALIZACIÓN .....	2
1.1.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.2.1. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA.....	2
1.2.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA PRÁCTICA .....	3
1.2.3. JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL.....	3
1.2.4. JUSTIFICACIÓN PERSONAL .....	3
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1. General.....	4
1.4.2. Específicos .....	4
<b>CAPITULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	5
2.2. BASES TEÓRICAS .....	6
2.2.1. CLIMA .....	6
2.2.2. TIEMPO.....	6
2.2.3. IPCC .....	6
2.2.4. Proyecto de Comparación de Modelos Acoplados (CMIP).....	6
2.2.5. Reportes de Evaluación.....	7
2.2.6. Sexto Reporte de Evaluación (AR6) .....	8
2.2.7. CMP5 vs CMIP6 .....	8
2.2.8. Modelos CMIP6.....	9
2.2.9. Los Modelos de Circulación Global - GCM.....	12
2.2.10. Limitaciones de los GCM .....	13
2.2.11. Downscaling .....	13
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	15
2.3.1. Agua superficial.....	15
2.3.2. Cambio climático.....	15
2.3.3. Cuenca.....	15
2.3.4. Cuenca hidrográfica.....	15
2.3.5. Cuenca hidrológica .....	15
2.3.6. Escenario climático .....	15
2.3.7. Modelos climático regional.....	16
2.3.8. Modelos de circulación general de la atmosfera.....	16
2.3.9. Precipitación .....	16
2.3.10. Predicción climática .....	16
2.3.11. Proyección climática .....	16
2.3.12. Sensibilidad climática.....	16
2.3.13. Temperatura .....	17
2.3.14. Variabilidad climática .....	17
<b>CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
3.1. CARTOGRAFÍA .....	18
3.1.1. Ubicación política.....	18
3.1.2. Modelo Digital de Elevación .....	19
3.1.3. Esquema fluvial .....	20
3.2. DATA CLIMÁTICA HISTÓRICA.....	22
3.2.1. Información disponible .....	22

3.2.2.	Estaciones climáticas.....	23
3.2.1.	Series de temperatura histórica.....	24
3.2.2.	Series de precipitación histórica.....	25
3.3.	DATA CLIMÁTICA FUTURA.....	26
3.3.1.	WorldClim.....	26
3.3.2.	Atlas Interactivo del IPCC.....	26
3.3.3.	Climate Data Store - Copernicus.....	27
<b>CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>28</b>
4.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA.....	28
4.1.1.	Caracterización morfológica.....	28
4.1.2.	Cobertura vegetal.....	29
4.1.1.	Red hídrica.....	29
4.2.	VARIABILIDAD CLIMÁTICA HISTÓRICA.....	31
4.2.1.	Completación de datos.....	31
4.2.1.	Variación de la temperatura mensual.....	33
4.2.2.	Variación de la precipitación mensual.....	34
4.3.	PROYECCIONES CLIMÁTICAS.....	36
4.3.1.	Temperatura máxima futura.....	36
4.3.1.	Temperatura mínima futura.....	39
4.3.1.	Precipitación anual futura.....	42
4.3.2.	Impacto futuro del cambio climático.....	45
<b>CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>50</b>
5.1.	CONCLUSIONES.....	50
5.2.	RECOMENDACIONES.....	51
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>52</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	página
<b>Figura 1:</b> Línea de tiempo de los reportes de evaluación del IPCC.....	7
<b>Figura 2:</b> Precipitación observada (a), CMIP5 (b) y CMIP6 (c).....	9
<b>Figura 3:</b> Esquema para el modelado atmosférico global.....	12
<b>Figura 4:</b> Modelos climáticos en el mundo.....	13
<b>Figura 5:</b> Reducción de escala de 55 x 55 km (izquierda) a 2 x 2 km (derecha).....	14
<b>Figura 6:</b> Ubicación política.....	18
<b>Figura 7:</b> Gradiente altitudinal de la cuenca.....	19
<b>Figura 8:</b> Esquema hidráulico.....	20
<b>Figura 9:</b> Confluencia del río Mashcón y Chonta.....	20
<b>Figura 10:</b> Dique río Grande.....	21
<b>Figura 11:</b> Planta de Tratamiento de Agua Potable El Ronquillo.....	21
<b>Figura 12:</b> Plataforma de SENAMHI.....	22
<b>Figura 13:</b> Plataforma de SENAMHI.....	22
<b>Figura 14:</b> Ubicación de estaciones climática.....	23
<b>Figura 15:</b> Serie de temperatura de las estaciones de la cuenca Cajamarquino.....	24
<b>Figura 16:</b> Serie de precipitación a escala diaria.....	25
<b>Figura 17:</b> Archivos geotiff de modelos GSM y SSP.....	26
<b>Figura 18:</b> Información de la región Noroeste de América del Sur.....	26
<b>Figura 19:</b> Interfaz gráfica del portal CDS Copernicus.....	27
<b>Figura 20:</b> Mapa de cobertura vegetal.....	29
<b>Figura 21:</b> Red Hídrica de la cuenca del río Cajamarquino.....	30
<b>Figura 22:</b> Serie de precipitación.....	32
<b>Figura 23:</b> Variación de la temperatura máxima y mínima de las estaciones.....	33
<b>Figura 24:</b> Variación de la precipitación mensual multianual.....	34
<b>Figura 25:</b> Régimen de precipitación de las estaciones.....	35
<b>Figura 26:</b> Variación de la T <sub>máx</sub> futura – Delta Change.....	36
<b>Figura 27:</b> Régimen de la T <sub>máx</sub> futura – Delta Change.....	36
<b>Figura 28:</b> Variación de la T <sub>máx</sub> futura – Linear Scaling.....	37
<b>Figura 29:</b> Régimen de la T <sub>máx</sub> futura – Linear Scaling.....	37
<b>Figura 30:</b> Variación de la T <sub>máx</sub> futura – Distribution Mapping.....	38
<b>Figura 31:</b> Régimen de la T <sub>máx</sub> futura – Distribution Mapping.....	38
<b>Figura 32:</b> Variación de la T <sub>mín</sub> futura – Delta Change.....	39
<b>Figura 33:</b> Régimen de la T <sub>mín</sub> futura – Delta Change.....	39
<b>Figura 34:</b> Variación de la T <sub>mín</sub> futura – Linear Scaling.....	40
<b>Figura 35:</b> Régimen de la T <sub>mín</sub> futura – Linear Scaling.....	40
<b>Figura 36:</b> Variación de la T <sub>mín</sub> futura – Distribution Mapping.....	41
<b>Figura 37:</b> Régimen de la T <sub>mín</sub> futura – Distribution Mapping.....	41
<b>Figura 38:</b> Variación de la precipitación futura – Delta Change.....	42
<b>Figura 39:</b> Régimen de la precipitación futura – Delta Change.....	42
<b>Figura 40:</b> Variación de la precipitación futura – Linear Scaling.....	43
<b>Figura 41:</b> Régimen de la precipitación futura – Linear Scaling.....	43
<b>Figura 42:</b> Variación de la precipitación futura – Distribution Mapping.....	44
<b>Figura 43:</b> Régimen de la precipitación futura – Distribution Mapping.....	44
<b>Figura 44:</b> Cambios proyectados en T <sub>máx</sub> para diferentes SSP – Delta Change.....	45
<b>Figura 45:</b> Cambios proyectados en T <sub>máx</sub> para diferentes SSP – Linear Scaling.....	45
<b>Figura 46:</b> Cambios proyectados en T <sub>máx</sub> para diferentes SSP – Distribution Mapping.....	46
<b>Figura 47:</b> Cambios proyectados en T <sub>mín</sub> para diferentes SSP – Delta Change.....	46
<b>Figura 48:</b> Cambios proyectados en T <sub>mín</sub> para diferentes SSP – Linear Scaling.....	47

<b>Figura 49:</b> Cambios proyectados en Tmín para diferentes SSP – Distribution Mapping.....	47
<b>Figura 50:</b> Cambios proyectados en la precipitación – Distribution Mapping .....	48
<b>Figura 51:</b> Cambios proyectados en la precipitación – Linear Scaling .....	48
<b>Figura 52:</b> Cambios proyectados en la precipitación – Distribution Mapping .....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>página</b>
<b>Tabla 1:</b> Analogías entre CMIP5 y CMIP6 .....	8
<b>Tabla 2:</b> Modelos CMIP 6 .....	10
<b>Tabla 3:</b> Ubicación geográfica .....	18
<b>Tabla 4:</b> Características de las estaciones climáticas .....	23
<b>Tabla 5:</b> Análisis de la geometría de la cuenca del río Cajamarquino .....	28
<b>Tabla 6:</b> Características de la red de drenaje.....	28
<b>Tabla 7:</b> Análisis de la textura de drenaje .....	28
<b>Tabla 8:</b> Características de los principales ríos y quebradas .....	30
<b>Tabla 9:</b> Variación mensual multianual de la precipitación .....	34

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar la variación de la precipitación y temperatura a nivel mensual y estacional en la cuenca río Cajamarquino a partir del análisis de proyecciones de cambio climático hacia el futuro cercano (2022-2050). La cuenca del río Cajamarquino tiene un área 2113 km<sup>2</sup>, varía desde la cota 2020 msnm a 4240 msnm (desnivel de 2220 m). El cauce principal tiene una longitud de 67.6 km con una pendiente de 0.68%. Para el análisis se ha considerado 17 estaciones climáticas (variables de temperatura y precipitación) periodo 1985 – 2022. Se obtuvieron los siguientes resultados, la precipitación acumulada mensual multianual (media) es de 866 mm y la temperatura media máxima es 20°C y la temperatura media mínima es 8.4°C. La estacionalidad de las series analizadas para verano la precipitación es 353 mm, la temperatura promedio máxima 21.4°C y la temperatura promedio mínima es 9.6°C, en la estación de otoño la precipitación es 283.8, la temperatura promedio máxima 21°C y la temperatura promedio mínima es 8.1°C, en la estación de invierno la precipitación es 33.4mm, la temperatura promedio máxima 20°C y la temperatura promedio mínima es 6.8°C y en la estación de primavera la precipitación es 201.1mm, la temperatura promedio máxima 21.1°C y la temperatura promedio mínima es 8.7°C. Con base al análisis de los escenarios climáticos de cambio climático se ha utilizado 38 Modelos de Circulación Global (GSM) según codificación de la World Climatic Research Program (WCRP, de lo cual el más pesimista es el MIROC6 que presenta un incremento de precipitación de 11.2% en el año 2050. En el escenario RPC 2.6, la precipitación muestra una disminución de 1.83% (década de 2050) y 2.30% (década 2080). Para el escenario 8.5 se proyecta que la precipitación disminuya 2.32% en el 2050 y 3.36% en la década de 2080. Se recomienda implementar planes de Gestión Integrada de Recursos Hídricos debido a que la cuenca del río Cajamarquino muestra claramente tendencias de incremento de temperatura máxima y mínima como respuesta al aumento de las concentraciones de efecto invernadero (GEI).

**Palabras clave:** cambio climático, clima, tiempo, modelo de circulación global, variabilidad climática

## ABSTRACT

The objective of this research is to determine the monthly and seasonal variation of precipitation and temperature in the Cajamarquino river basin based on the analysis of climate change projections for the near future (2022-2050). The Cajamarquino river basin has an area of 2113 km<sup>2</sup>, ranging from elevation 2020 masl to 4240 masl (a difference in elevation of 2220 m). The main channel has a length of 67.6 km with a slope of 0.68%. 17 climatic stations (temperature and precipitation variables) have been considered for the analysis, from 1985 to 2022. The following results were obtained: the multiannual monthly accumulated precipitation (average) is 866 mm and the average maximum temperature is 20°C and the average minimum temperature is 8.4°C. The seasonality of the analyzed series for summer the precipitation is 353 mm, the maximum average temperature 21.4°C and the minimum average temperature is 9.6°C, in the autumn season the precipitation is 283.8, the maximum average temperature 21°C and the minimum average temperature is 8.1°C, in the winter season the precipitation is 33.4mm, the average maximum temperature is 20°C and the average minimum temperature is 6.8°C and in the spring season the precipitation is 201.1mm, the average maximum temperature is 21.1°C and the average minimum temperature is 8.7°C. Based on the analysis of climate change climate scenarios, 38 Global Circulation Models (GSM) have been used according to the codification of the World Climatic Research Program (WCRP), of which the most pessimistic is MIROC6 which presents a precipitation increase of 11.2% in the year 2050. In the RPC 2.6 scenario, precipitation shows a decrease of 1.83% (2050s) and 2.30% (2080s). For scenario 8.5, precipitation is projected to decrease 2.32% in the 2050s and 3.36% in the 2080s. It is recommended that Integrated Water Resources Management plans be implemented because the Cajamarquino river basin clearly shows trends of increasing maximum and minimum temperatures in response to the increase in greenhouse gas (GHG) concentrations.

**Key words:** climate change, climate, weather, global circulation model, climate variability

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se refiere a las alteraciones significativas y duraderas en los patrones climáticos globales, particularmente aquellas asociadas con el aumento de la temperatura media de la tierra debido a la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Históricamente, la Tierra ha experimentado fluctuaciones climáticas debido a factores naturales como las variaciones en la órbita terrestre, las erupciones volcánicas y los cambios en la actividad solar. Estos eventos han provocado cambios en los patrones de precipitación y temperatura, afectando a los ecosistemas y a la vida humana. Sin embargo, el cambio climático contemporáneo, caracterizado por un aumento sostenido de las temperaturas globales, está ocurriendo a una velocidad mucho mayor que en el pasado, lo que plantea serios desafíos para las sociedades y los ecosistemas.

El Perú, es un país donde sus sectores productivos como la ganadería, energía, agricultura, pesca, minería e hidrocarburos, turismo, infraestructura y salud, son afectadas por los cambios en la atmósfera y el océano (CEPAL 2014).

El impacto del cambio climático es un fenómeno con un alto grado de incertidumbre, es por ello por lo que desde el 2010, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) actualiza de forma periódica los escenarios de cambio climático con metodologías robustas como: corrección de modelos y reducción de escala dinámica y estadística (SENAMHI 2021)

Por este motivo, la tesis titulada “Influencia del cambio climático en la precipitación y temperatura de la cuenca río cajamarquino” propone evaluar los efectos del cambio climático en estas variables climáticas en el futuro cercano, específicamente entre los años 2023-2050. Este período es particularmente relevante para la planificación y toma de decisiones a mediano plazo, ya que permite anticipar y prepararse para posibles cambios. Además, las proyecciones para este intervalo son más confiables que aquellas hacia finales de siglo (2051-2099). Si bien el análisis de las tendencias históricas es crucial para entender cómo el clima ha cambiado en el pasado, este enfoque por sí solo no proporciona información suficiente para anticipar futuros escenarios climáticos.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1.1. CONTEXTUALIZACIÓN**

El cambio climático está generando alteraciones significativas en los patrones climáticos a nivel global, afectando especialmente regiones vulnerables como la cuenca del río Cajamarquino. Esta cuenca es crucial para el desarrollo socioeconómico y ambiental de la región, ya que sustenta actividades agrícolas y el abastecimiento de agua para las comunidades locales. Los cambios en las variables climáticas, como la precipitación y la temperatura, tienen el potencial de impactar negativamente la disponibilidad y la gestión de los recursos hídricos, lo cual podría generar consecuencias críticas para la sostenibilidad ambiental y disponibilidad de recursos hídricos.

### **1.1.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Actualmente no se tiene precisión en cuánto ha incrementado o disminuido el valor de la precipitación y temperatura en la cuenca del río Cajamarquino, con relación a los valores promedio de las últimas décadas; tampoco se ha realizado proyecciones del clima futuro (escenarios climáticos), sin esta información es casi imposible evaluar los impactos del cambio climático en el comportamiento de los sistemas medioambientales. En este contexto, surge la necesidad de realizar un análisis detallado de las proyecciones climáticas específicas para la cuenca del río Cajamarquino, con el fin de entender cómo las variaciones mensuales y estacionales de la precipitación y temperatura podrían evolucionar en el futuro cercano (2023-2050).

¿Cómo está influyendo el cambio climático en los patrones de precipitación y temperatura de la cuenca del río Cajamarquino, y cuáles son las posibles implicaciones de estas variaciones para los recursos hídricos y las actividades socioeconómicas de la región en el período 2023-2050?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA**

Desde una perspectiva científica, este estudio es fundamental para ampliar el conocimiento sobre cómo el cambio climático está afectando las condiciones meteorológicas de una región específica y vulnerable como la cuenca del río Cajamarquino. Dado que existen vacíos en la comprensión precisa de las tendencias de precipitación y temperatura en esta cuenca, la investigación proporcionará datos valiosos y análisis detallados que contribuirán a la literatura científica en el campo del cambio climático y la hidrología. Además, se utilizarán modelos y



escenarios climáticos que permitirán entender mejor las posibles transformaciones futuras, enriqueciendo la base de datos científica regional y global.

### **1.2.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA PRÁCTICA**

Desde un punto de vista técnico y práctico, la investigación empleará metodologías avanzadas de modelado climático para realizar proyecciones precisas de la precipitación y la temperatura. Esto incluye el uso de modelos numéricos y técnicas estadísticas que asegurarán la precisión y la confiabilidad de los resultados, proporcionando información sólida para la planificación y gestión eficiente de los recursos hídricos de la cuenca. Estos enfoques técnicos son esenciales para que las decisiones se basen en datos y análisis científicos confiables

### **1.2.3. JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL**

Institucionalmente, esta investigación es relevante porque proporciona información clave para los organismos gubernamentales, las autoridades regionales y las entidades de gestión de recursos naturales. Los resultados podrán ser utilizados por instituciones encargadas de diseñar políticas públicas relacionadas con la gestión del agua y el desarrollo sostenible. Asimismo, el estudio fortalecerá la capacidad institucional para enfrentar los desafíos que plantea el cambio climático, facilitando la toma de decisiones informadas y la planificación estratégica a nivel regional.

### **1.2.4. JUSTIFICACIÓN PERSONAL**

A nivel personal, esta investigación representa un compromiso con la protección del medio ambiente y la búsqueda de soluciones sostenibles para enfrentar los impactos del cambio climático. Llevar a cabo este estudio no solo contribuirá a mi desarrollo académico y profesional, sino que también me permitirá aportar de manera tangible al bienestar de las comunidades locales y a la preservación de los recursos naturales de la cuenca del río Cajamarquino.

## **1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

La precipitación y temperatura de la cuenca del río Cajamarquino tendrá un impacto significativo por efecto del cambio climático, el cual puede ser estimado utilizando modelos y proyecciones climáticos.

### **1.3.1. VARIABLE**

Cambio climático

### **1.3.2. DIMENSIÓN**

Temperatura y precipitación

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. General**

Estimar la influencia del cambio climático en la precipitación y temperatura de la cuenca del río Cajamarquino mediante el uso de proyecciones climáticas en el futuro cercano (2023-2050).

### **1.4.2. Específicos**

- Recopilar, procesar, caracterizar y producir un conjunto de datos espaciales de la cuenca para el análisis de cambio climático.
- Analizar la variabilidad histórica de la precipitación y temperatura en la cuenca del río Cajamarquino con información de SENAMHI.
- Aplicar modelos climáticos con diferentes técnicas de downscaling estadístico (Delta Change, Scaling y Distributions Mapping) para generar proyecciones de precipitación y temperatura.
- Cuantificar los cambios proyectados en la precipitación y temperatura bajo diferentes escenarios de cambio climático para el futuro cercano (2023-2050).

## CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

(Ho et al. 2022) en su investigación titulada “Projecting changes in flood evento runoff coefficients under climate change” tuvieron como objetivo cuantificar el cambio en los coeficientes de escorrentía de inundaciones resultantes del cambio climático en todo Australia. La metodología ha consistido en determinar los cambios en el volumen total de inundación en relación con el volumen total de precipitación dentro de un evento para estimar el coeficiente de escorrentía del evento de inundación. Se utilizaron datos de precipitación máxima anual de 467 cuencas en Australia y 04 modelos de circulación global (GCM) con corrección del sesgo usando 04 metodologías diferentes. Como resultado de esta investigación se obtuvo tendencias estadísticamente significativas hasta de 0.13/década.

Según (Llactayo, 2024) el aumento de temperatura podría conducir a reducciones significativas en la precipitación en fase sólida (incluye nieve, granizo). Para comprender este impacto se utilizaron datos de un disdrómetro y estación meteorológica instalada a 4709 msnm. Los resultados indican que el aumento de temperatura (+1.2°C) ocurrirá en el 2050 de acuerdo con el escenario SSP2-4.5 mientras que para el escenario SSP5-8.5 el incremento (+1.5°C) será en el 2040 (escenario más severo).

(Potter, 2023) en su investigación “A future of extreme precipitation and droughts in the Peruvian Andes” analizaron 02 regiones de Perú (cuenca del río Santa y cuenca Vilcanota-Urubamba) que actualmente experimentan pérdida de masa glaciar. Para ello utilizaron un conjunto de 30 modelos climáticos globales y realizaron el análisis para el escenario RCP4.5 y RCP 8.5 (severo). Los resultados revelan que para finales del siglo 21 el incremento de precipitación en las 02 regiones será de 12%, mientras que la temperatura aumentará en 3.6°C y 4.1°C.

En el marco del Programa de Adaptación al Cambio Climático – PACC se ha realizado el estudio de variabilidad climática y escenarios de cambio climático 2030 y 2050 para las Regiones Cusco, Apurímac y las microcuencas de Santo Tomás y Challhuahuacho (SENAMHI, 2013).

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. CLIMA**

El clima es la descripción estadística del tiempo meteorológico en términos de los promedios y la variabilidad de las magnitudes relevantes durante un periodo que va desde meses hasta miles o millones de años. El periodo clásico de referencia es de 30 años, según lo define la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Estas magnitudes incluyen variables como la temperatura, la precipitación y el viento.

### **2.2.2. TIEMPO**

El tiempo se refiere al estado de la atmósfera en un lugar y momento específico, caracterizado por variables como la temperatura, la humedad, el viento y las precipitaciones. Estas condiciones pueden cambiar rápidamente y ser descritas a través de observaciones o predicciones a corto plazo.

### **2.2.3. IPCC**

Es el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (conocido por sus siglas en inglés como IPCC), es una entidad científica creada en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

### **2.2.4. Proyecto de Comparación de Modelos Acoplados (CMIP)**

Es un proyecto que provee una plataforma bajo el auspicio del Programa Mundial de Investigaciones del Clima (World Climate Research Programme - WCRP) que permite hacer comparaciones de Modelos de Circulación General desarrollados por diferentes institutos de investigación en el planeta, estos resultados se publicaron en el Quinto Informe del IPCC entre 2013 y 2014 (<https://pcmdi.llnl.gov/mips/cmip5/>).

Actualmente ya está disponible Sexto Informe del IPCC 6 (<https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip6/>) y las mejoras con respecto al CMIP5 son:

- Representación de la capa límite estable y de las nubes que se generan en la capa límite.
- Parametrización de la convección no profundidad (shallow convection).
- Parametrización de ondas de gravedad.
- Procesos de interacción entre la superficie de océano y la capa límite.
- Algunos modelos tienen elementos de vegetación dinámica, intercambio de CO<sub>2</sub> entre atmósfera y el continente

- Procesos de hielo marino y como afecta la salinidad y el albedo.

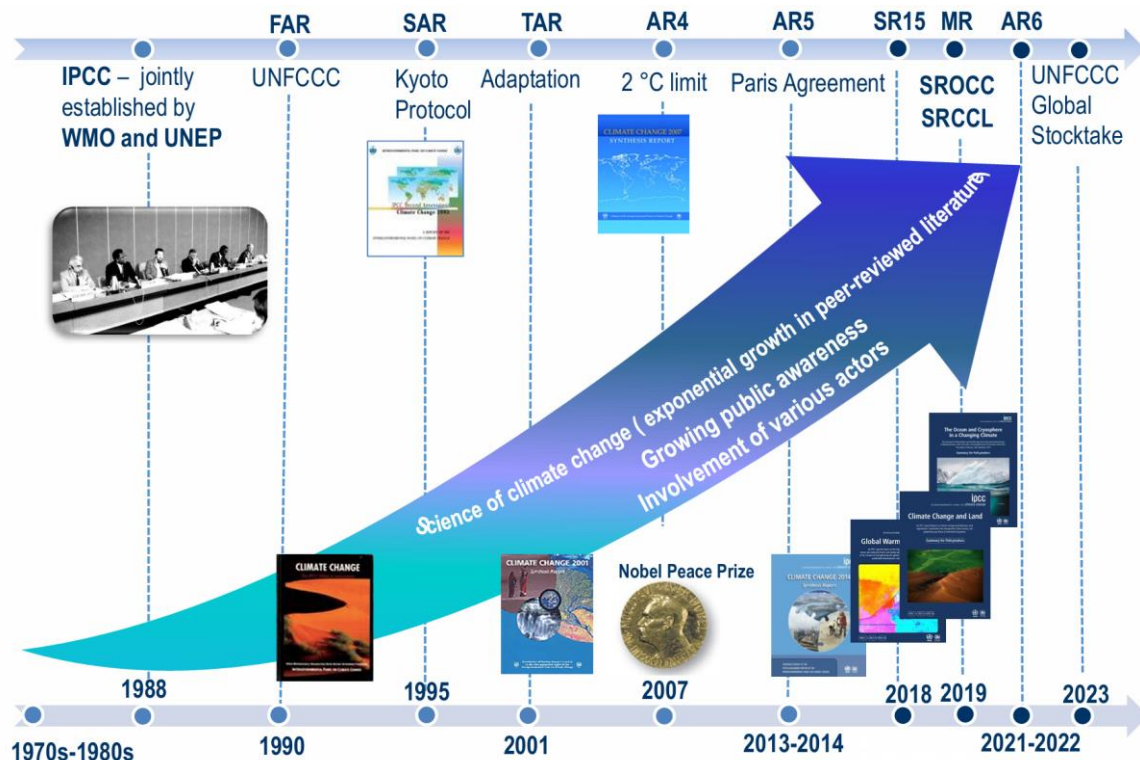
Sin embargo, aún persisten dificultades en los modelos CMIP6:

- Parametrización de nubes y procesos de convección profunda
- Sesgos en la representación de la temperatura superficial del mar en los trópicos (Tropical SST), gradiente de temperatura Este-Oeste, exceso de precipitación (Sur del Ecuador).
- Sesgos en los vientos superficiales y posición de la Zona de Convergencia Intertropical (double ITCZ bias).

### 2.2.5. Reportes de Evaluación

El IPCC ha preparado informes de evaluación sobre el conocimiento científico-técnico de cambio climático, también se han preparado informes especiales sobre un tema específico e informes técnicos, que brindan pautas prácticas para la preparación de inventario de gases de efecto invernadero (GEI), toda esta documentación está disponible para responsables políticos y público en general. En la Figura 1 se presenta un esquema de evolución de los informes/reportes de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC).

**Figura 1:** Línea de tiempo de los reportes de evaluación del IPCC



Fuente: (Krakovska, 2020), p.3

### 2.2.6. Sexto Reporte de Evaluación (AR6)

El Sexto informe de Evaluación del IPCC proporciona una actualización del conocimiento sobre los aspectos científicos, técnicos, socioeconómicos del cambio climático. Este trabajo está compuesto por 3 informes elaborado por 3 grupos de trabajos, los cuales son:

- Informe Grupo I: Bases de ciencia física
- Informe Grupo II: Impactos, adaptación y vulnerabilidad
- Informe Grupo III: La mitigación del cambio climático.

También se añade 01 documento de síntesis y 03 informes especiales sobre:

- Impactos de un calentamiento global de 1.5°C y las sondas de emisión
- Cambio climático y degradación de la tierra
- Océanos y criosfera.

### 2.2.7. CMP5 vs CMIP6

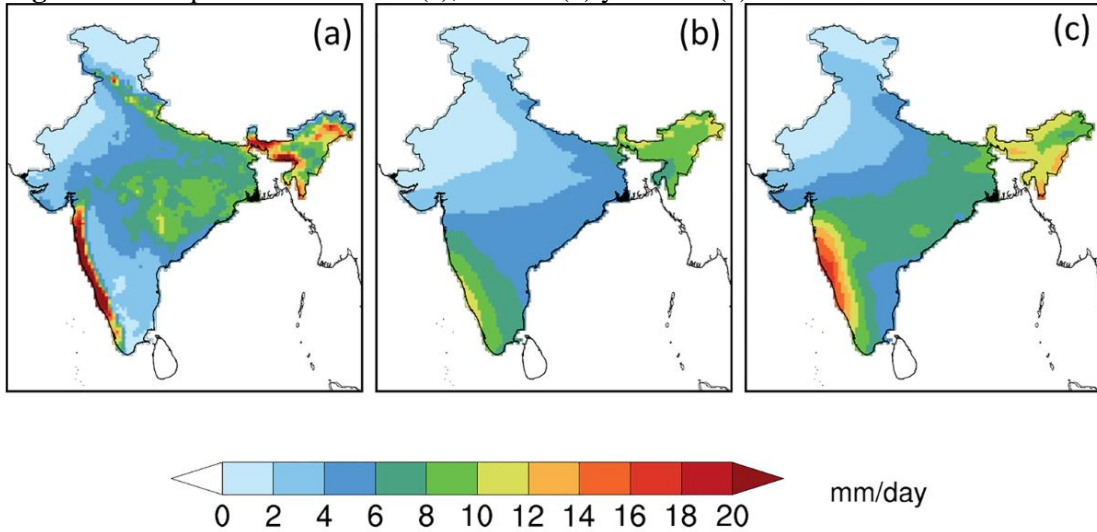
La diferencia principal entre CMIP5 y CMIP6 es la del escenario futuro. Las proyecciones de CMIP5 están disponibles sobre la base del 2100 considerando valores de forzamiento radiativo a través de vías de Representativas de Concentración (Representative Concentration Pathways - RCP) para 04 Gases de Efecto Invernadero (GEI). Por el contrario, CMIP6 utiliza las socioeconómicas (Shared Socioeconomic Pathways - SSP), es decir considera futuros escenarios más realistas. Otras comparaciones se pueden consultar en: <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained/>

**Tabla 1:** Analogías entre CMIP5 y CMIP6

N°	CMIP5	CMIP6
1	RCP 2.6	SSP1-2.6
2	RCP 4.5	SSP2-4.5
3	RCP 6.0	SSP4-6.0
4	RCP 8.5	SSP5-8.5

En la Figura 2 se presenta la comparación de la precipitación monzónica media (mm/día) cuantificada por los modelos CMIP5 y CMIP6, con respecto a la precipitación observada para el periodo 1951-2005 en la India.

**Figura 2:** Precipitación observada (a), CMIP5 (b) y CMIP6 (c)



Fuente: (Gusain et al., 2020), p.3

### 2.2.8. Modelos CMIP6

Los modelos del CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) son una serie de modelos climáticos globales desarrollados por la comunidad científica global para estudiar el cambio climático. Los escenarios más utilizados son SSP1-1.9, SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Los resultados de los modelos CMIP6 permiten la simulación de eventos climáticos extremos, es decir, permite simular y proyectar eventos como olas de calor, inundaciones y sequías. También permite explorar cómo la urbanización, el crecimiento económico y la política climática influyen en el cambio climático.

En la Tabla 2 se presenta los 38 GCM con sus instituciones y países respectivos, según la codificación del World Climatic Research Program (WCRP).

**Tabla 2:** Modelos CMIP 6

N°	Modelo CMIP6	Institución	Resolución (°)	Resolución (km)	Referencia
1	ACCESS-CM2	Australian Community Climate and Earth System Simulator	1.87°x1.25°	250	Dix et al. (2019)
2	ACCES-ESM1-5		1.87°x1.25°	250	Zichn et al. (2019)
3	AWI-CM-1-1-MR	Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research	0.93°x0.93°	100	Semmler et al. (2018)
4	BCC-CSM2-MR	Beijin Climate Center, Climate System Model	1.12°x1.12°	100	Wu et al. (2019)
5	BCC-ESM1	BBC, MCA. Beijing Climate Center Climate System Model	2.79°x2.814°	250	Zhang et al. (2018)
6	CAMS-CSM1-0	China Meteorologic Administration	1.12°x1.12°	100	Rong et al. (2019)
7	CanESM5	Canadian Center for Climate Modeling and Analysis	2.79°x2.81°	500	Swart et al. (2019)
8	CESM2	NSF-DOE-NCAR, National Science Foundation federally funded research and development center, National Center for Atmospheric Research	1.25°x0.92°	100	Danabasoglu (2019)
9	CESM2-FV2		2.5°x1.89°	250	
10	CESM2-WACCM		1.25°x0.92°	100	
11	CESM2-WACCM-FV2		2.5°x1.89°	250	
12	CIESM	Department of Earth Systems Science, Tsinghua University	2.5°x1.89°	100	Huang (2019)
13	E3SM-1-0	Earth System Grid Federation	1°x1°	100	Bader et al. (2019)
14	E3SM-1-1	Department of Energy, Lawrence Livermore National Laboratory	1°x1°	100	Bader et al. (2019)
15	EC-Earth 3	EC-Earth Consortium	0.7°x0.7°	100	EC-Earth (2019)
16	EC-Earth 3-Veg	EC-Earth Consortium	0.7°x0.7°	100	EC-Earth (2019)
17	FGOALS-f3-L	LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences	1.25°x1°	100	YU (2019)
18	FGOALS-g3		2°x2°	250	Li (2019)
19	FIO-ESM-2-0	FIO-SOA First Institute of Oceanography State Oceanic Administration	1.25°x0.94°	100	Song et al. (2019)



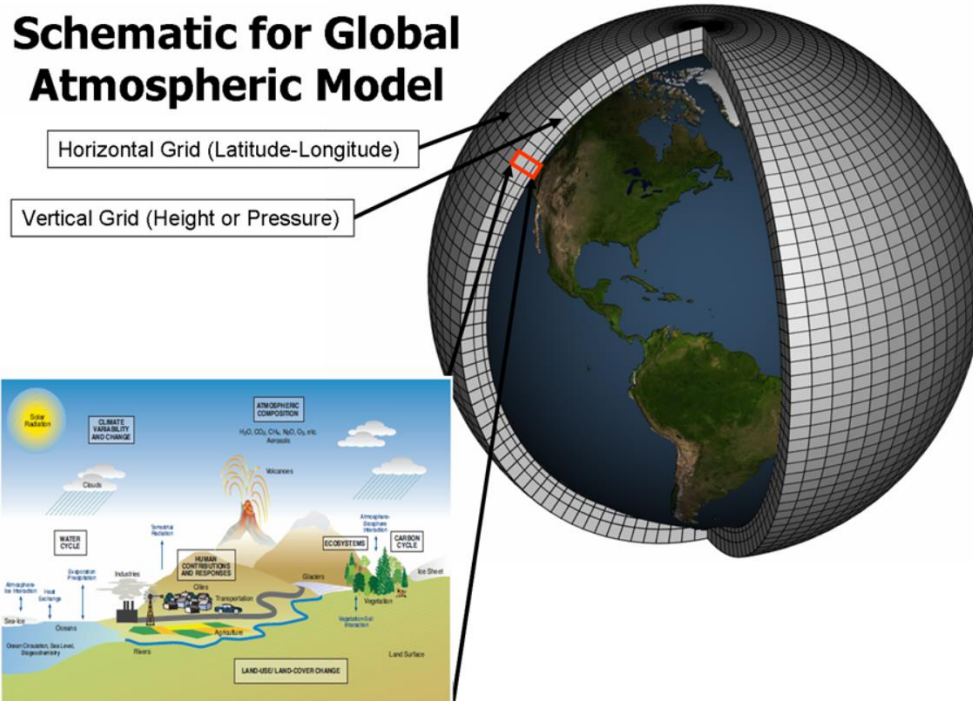
N°	Modelo CMIP6	Institución	Resolución (°)	Resolución (km)	Referencia
20	GFDL-ESM4	NOOAA-GFDL, National Oceanic and Atmospheric Administration, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	1.25°x1°	100	Krasting et al. (2018)
21	GISS-E2-1-G	NASA-GISS. National Aeronautics and Space Administration. Goddard Institute for Space Studies	2.5°x2.0°	250	(NASA/GISS) (2018)
22	GISS-E2-1-G-CC				
23	GISS-E2-1-H				
24	INM-CM4-8	INM. Russian Institute for Numerical Mathematics Climate Model	2.0°x1.5°	100	Volodin et al. (2019)
25	INM-CM5-0				
26	IPSL-CM6A-LR	Institut Pierre-Simon Laplace	2.5°x1.27°	250	Boucher et al. (2018)
27	KACE-1-0-G	National Institute of Meteorological Science	1.88°x1.3°	250	Byun et al. (2019)
28	MCM-UA-1-0	The University of Arizona	3.75°x2.23°	250	Stouffer (2019)
29	MIROC6	JAMSTEC. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology.	1.40°x1.4°	250	Tatebe & Watanabe (2018)
30	MPI-ESM-1-2-HAM	MPI Max Planck Institute	1.88°x1.88°	250	Neubauner et al. (2019)
31	MPI-ESM1-2-HR		0.94°x0.94°	100	Jungclaus et al. (2019)
32	MPI-ESM1-2-LR		1.88°x1.88°	250	Wieners et al. (2019)
33	MRI-ESM2-0	Meteorological Research Institute	1.13°x1.12°	100	Yukimoto et al. (2019)
34	NESM3	Earth System Grid Federation	1.87°x1.25°	250	Cao & Wang (2019)
35	NorCPM1	EarthClim	2.5°x1.89°	250	Bentsen et al. (2019)
36	NorESM2-LM	NCC Norwegian Climate Centre	2.5°x1.89°	250	Seland et al. (2019)
37	NorESM2-MM		1.25°x0.94°	100	Bentsen et al. (2019)
38	SAM0-UNICON	Global Climate Simulated by the Seoul National University Atmosphere Model Version 0	1.25°x0.94°	100	Park & Shin (2019)

### 2.2.9. Los Modelos de Circulación Global - GCM

Los Modelos de Circulación Global (Global Circulation Model – GCM) son modelos matemáticos que intentan simular el sistema climático de la tierra, es decir se pueden utilizar para el pronóstico del tiempo, la comprensión del clima y la predicción del cambio climático.

Los GCM son sistemas de ecuaciones diferenciales basadas en las leyes básicas de la física, el movimiento de los fluidos y la química. Para simular un modelo, los científicos dividen el planeta en una cuadrícula tridimensional, aplican las ecuaciones, calculan los vientos, la transferencia de calor, la radiación, la humedad relativa y la hidrología superficial dentro de cada celda y evalúan las interacciones con los puntos vecinos, tal como se indica en la Figura 3

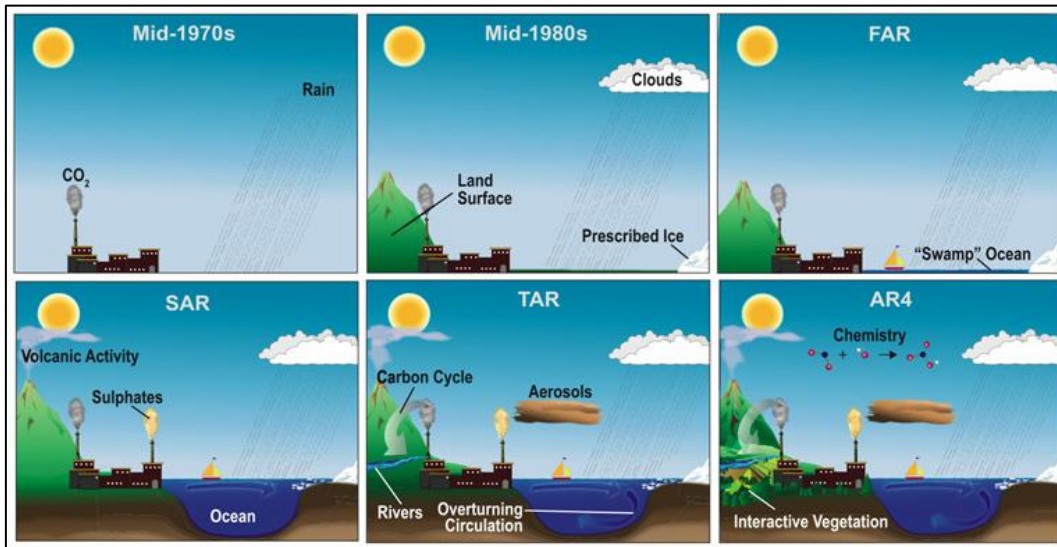
Figura 3: Esquema para el modelado atmosférico global



Fuente: (Keith, 2014), p.2

En la Figura 4 se muestra la incorporación de los modelos climáticos a los modelos globales a lo largo de las décadas, desde mediados de 1970, pasando por FAR (1990, resolución 500km), SAR (1995, resolución 250km), TAR (2001, resolución 180km), AR4 (2007, resolución 110 km) hasta el Sexto Informe de Evaluación (AR6) del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), publicado en 2021

**Figura 4:** Modelos climáticos en el mundo



Fuente: (IPCC, 2007), p.99

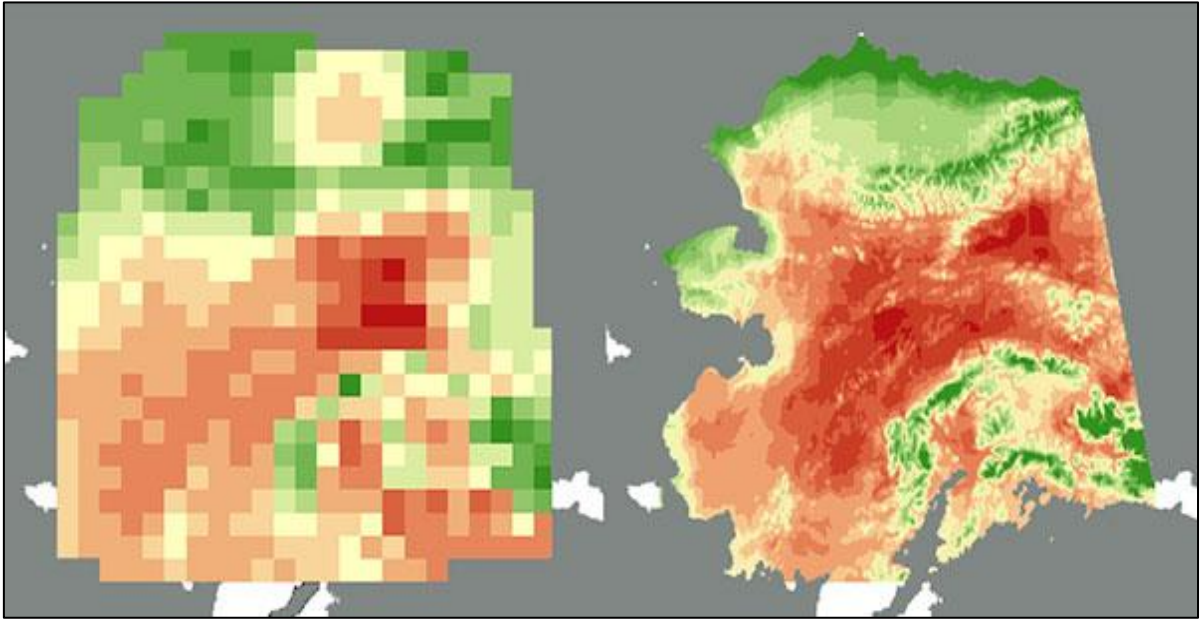
### 2.2.10. Limitaciones de los GCM

- Algunos de los problemas que presentan los GSM son: Errores sistemáticos o sesgos, Baja resolución (> 50 km), conocimiento incompleto del sistema climático, altas desviaciones con respecto a los datos observados.
- Es necesario realizar corrección de sesgos, proveer datos de alta resolución y contextualizados, evaluar downscaling por métodos estadísticos o dinámicos.

### 2.2.11. Downscaling

La reducción de escala de los modelos de cambio climático (Downscaling) es el procedimiento de usar los GCM (gran escala) para hacer predicciones climáticas a escalas temporales y espaciales más finas (escalas locales).

**Figura 5:** Reducción de escala de 55 x 55 km (izquierda) a 2 x 2 km (derecha)



Fuente: (Sfraga, 2009), p.5.

## **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **2.3.1. Agua superficial**

Es la que proviene de la precipitación y circula sobre o debajo de la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (Gámez, 2009).

### **2.3.2. Cambio climático**

Variación del estado del clima identificable (i.e. mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos (IPCC, 2022).

### **2.3.3. Cuenca**

Unidades territoriales de drenaje, donde todas las aguas fluyen hacia un mismo río que actúa como un dren colector común denominado río principal, el cual fluye hacia su evacuación final por la única desembocadura, que es otro río, lago u océano. No son solo espacios físicos, sino también espacios sociales donde coexisten actividades comerciales, productivas, políticas, culturales y hasta religiosas. Son los que constituyen el ámbito territorial básico para la planificación de la gestión del agua (Mejía, 2006)

Es la zona del terreno en la que el agua, los sedimentos y los materiales disueltos drenan hacia un punto común de salida, existen cuenca endorreicas y exorreicas(Gámez 2009)

### **2.3.4. Cuenca hidrográfica**

Unidad natural definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio dato, es decir son unidades morfológicas superficiales. Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior (Gámez, 2009)

### **2.3.5. Cuenca hidrológica**

Son unidades morfológicas integrales y además de incluir todo el concepto de cuenca hidrográfica, abarcan en su contenido, toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo (Gámez, 2009).

### **2.3.6. Escenario climático**

Según (IPCC 2022) es la representación simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas internamente coherentes definido explícitamente para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropógeno.

### **2.3.7. Modelos climático regional**

Modelo climático de mayor resolución sobre una zona limitada. Estos modelos se utilizan para reducir la escala de los resultados globales a dominios de regiones específicos (IPCC, 2022).

### **2.3.8. Modelos de circulación general de la atmosfera**

Es la representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, interacciones y sus procesos; y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas (IPCC, 2022). Los modelos de circulación general atmósfera – océano (MCGAO) son una herramienta útil en el estudio de los patrones y evolución de las condiciones atmosféricas.

### **2.3.9. Precipitación**

Es una variable hidrológica que se manifiesta más claramente en su carácter aleatorio, variando drásticamente en el tiempo (variación temporal) y en el espacio (variación espacial) (Mejía, 2006)

También se define como la caída del agua en estado líquido (lluvia) o sólido (nieve y granizo) hacia la superficie terrestre. Es un fenómeno que sucede como producto de la condensación del vapor de agua (Gámez, 2009).

### **2.3.10. Predicción climática**

Llamado también pronóstico climático y es una estimación de la evolución real del clima en el futuro, puede ser escalas de tiempo estacionales, interanuales o decenales (IPCC, 2022).

### **2.3.11. Proyección climática**

Es la respuesta simulada del sistema climático a un escenario de emisiones o concentraciones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles (AEMET y OECC 2021). Las proyecciones climáticas se distinguen de las predicciones por su dependencia del escenario de emisiones, concentraciones o forzamiento radiactivo utilizado.

### **2.3.12. Sensibilidad climática**

Es la respuesta de la temperatura superficial a nivel global ante una duplicación de la concentración del dióxido de carbono que se evalúa a partir de los resultados de modelos, reconstrucciones paleo climáticas u observaciones(IPCC, 2022).

### **2.3.13. Temperatura**

Es una variable hidrológica que es determinante para los estudios de evaporación. El efecto de los diversos procesos de intercambio de calor en el sistema Tierra-Atmosfera conduce a una distribución de temperatura según la dirección vertical, o sea, un decremento de la temperatura con la altitud de  $6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$  en la troposfera y condiciones isotérmicas en la estratosfera. La tasa de variación de la temperatura con la altitud es denominada gradiente vertical de temperatura (Mejía, 2006)

### **2.3.14. Variabilidad climática**

Variaciones en la media y otros estadísticos (desviación estándar, ocurrencia de extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales, se produce por procesos internos naturales o por variaciones en los forzamientos externos naturales o antropogénicos.(AEMET y OECC, 2021).



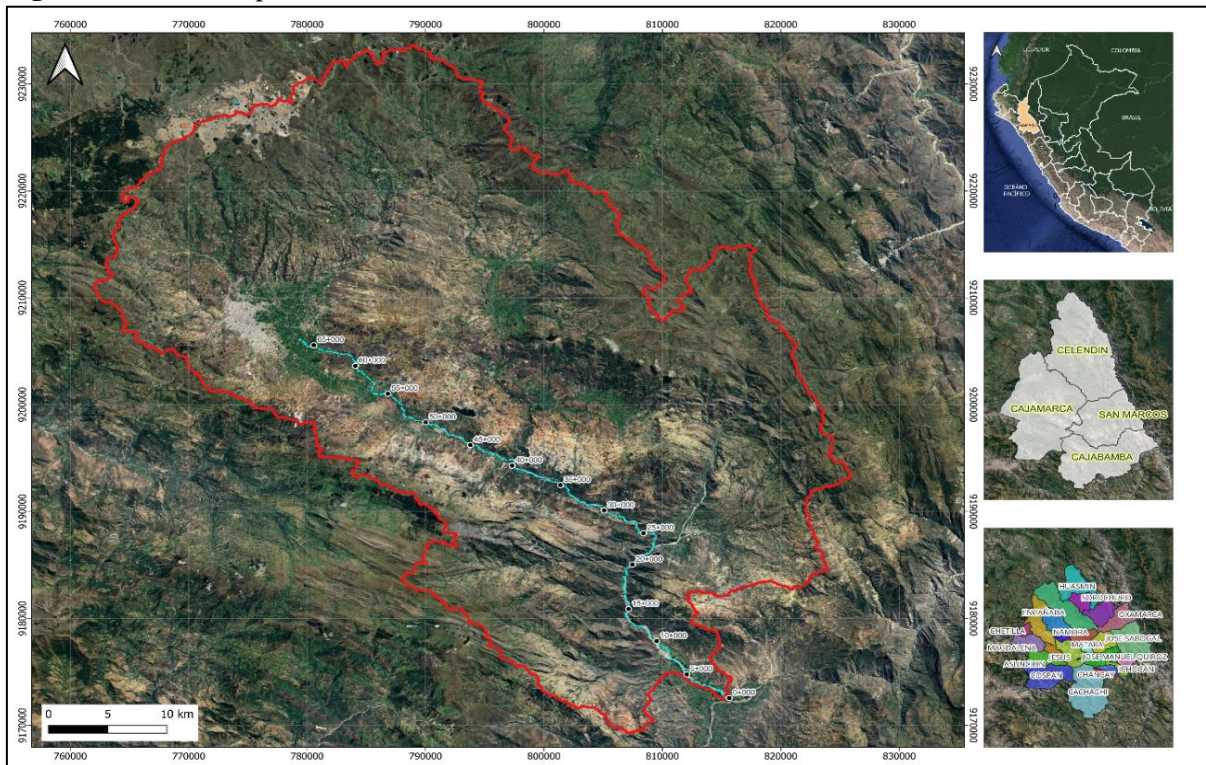
## CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. CARTOGRAFÍA

#### 3.1.1. Ubicación política

En la Figura 6 se muestra que la cuenca del río Cajamarquino se encuentra ubicada en el departamento de Cajamarca, enmarcándose en las provincias de Celendín, Cajamarca, Cajabamba y San Marcos.

**Figura 6:** Ubicación política



La cuenca del río Cajamarquino comprende un área total de 2113 km<sup>2</sup> y pertenece a la vertiente del Atlántico, se forma por la unión de los ríos Mashcón y río Chonta. En la Tabla 3 se presenta las coordenadas geográficas de la cuenca del río Cajamarquino.

**Tabla 3:** Ubicación geográfica

Sistema	Datum	Componentes	Valor	
			Mínimo	Máximo
Coordenadas Geográficas	Horizontal WGS 1984	Longitud Oeste	-78°2'49"	-78°37'44"
		Latitud Sur	-7°30'32"	-6°55'26"
Coordenadas UTMS Zona 17S	Horizontal WGS 1984	Metros Este	761955	825930
		Metros Norte	9169259	9233634
Altitud	Vertical Nivel Medio del Mar	msnm	2020	4240

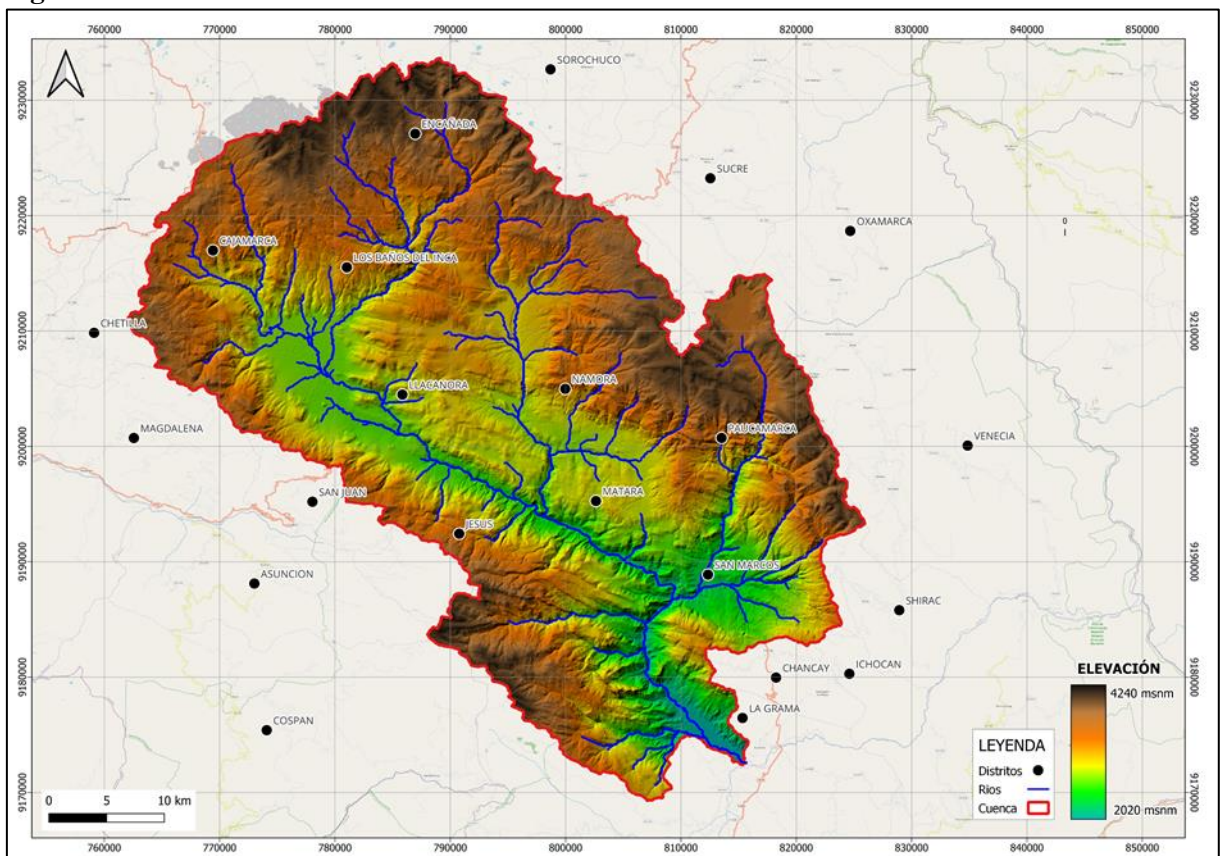


### 3.1.2. Modelo Digital de Elevación

Para la delimitación de la cuenca se ha utilizado un DEM de resolución de 12.5mx 12.5m. El satélite ALOS (Advanced Land Observation Satellite) fue lanzado por la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial y colecto imágenes de radar de todo el planeta a través de su sensor PALSAR (Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar); otros sensores son el PRISM para imágenes pancromáticas y el radiómetro AVNIR. Para descargar la información debemos acceder al Portal Vertex de la NASA (<https://search.asf.alaska.edu/>)

La cuenca del río Cajamarquino tiene un gradiente altitudinal de 2220m, tal como se puede ver en la Figura 7.

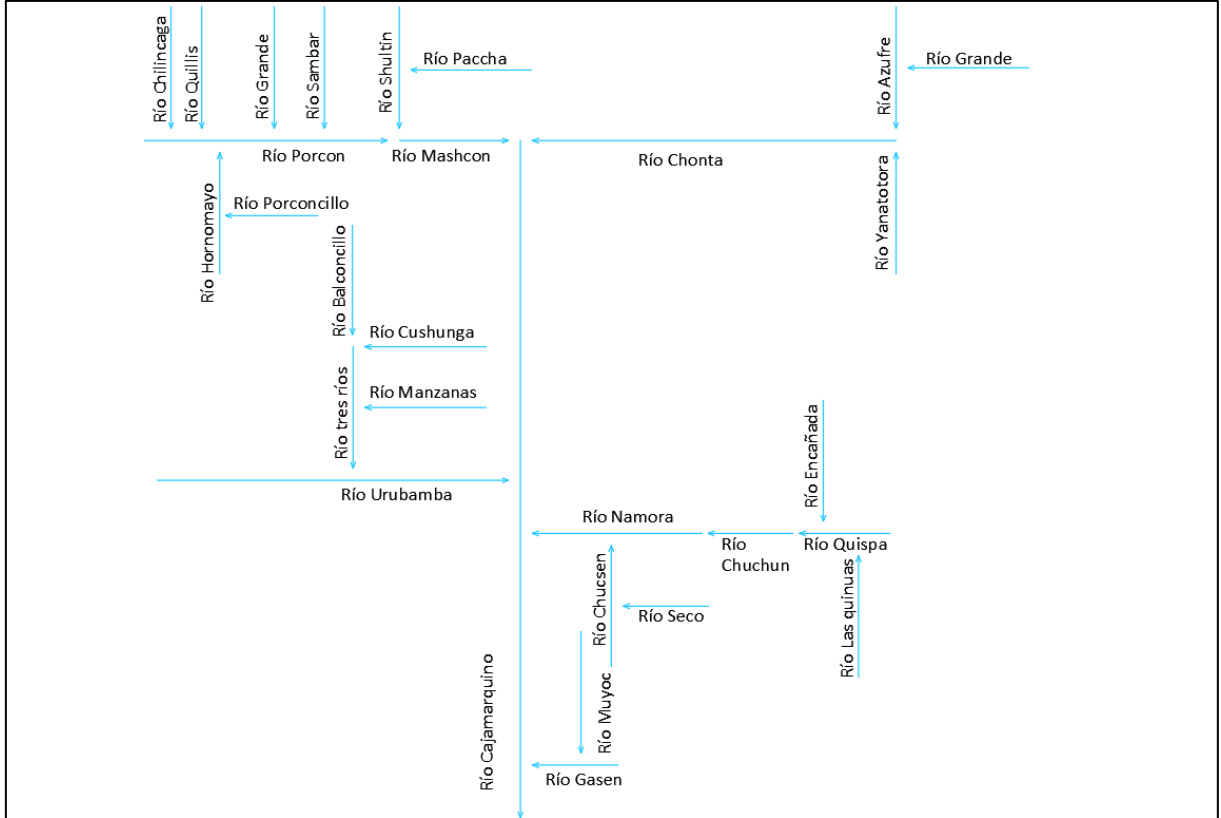
**Figura 7:** Gradiente altitudinal de la cuenca



### 3.1.3. Esquema fluvial

A partir del Modelo Digital de Terreno y la visita de campo se ha realizado el esquema hidráulico de los principales ríos.

**Figura 8:** Esquema hidráulico



**Figura 9:** Confluencia del río Mashcón y Chonta





**Figura 10:** Dique río Grande



**Figura 11:** Planta de Tratamiento de Agua Potable El Ronquillo



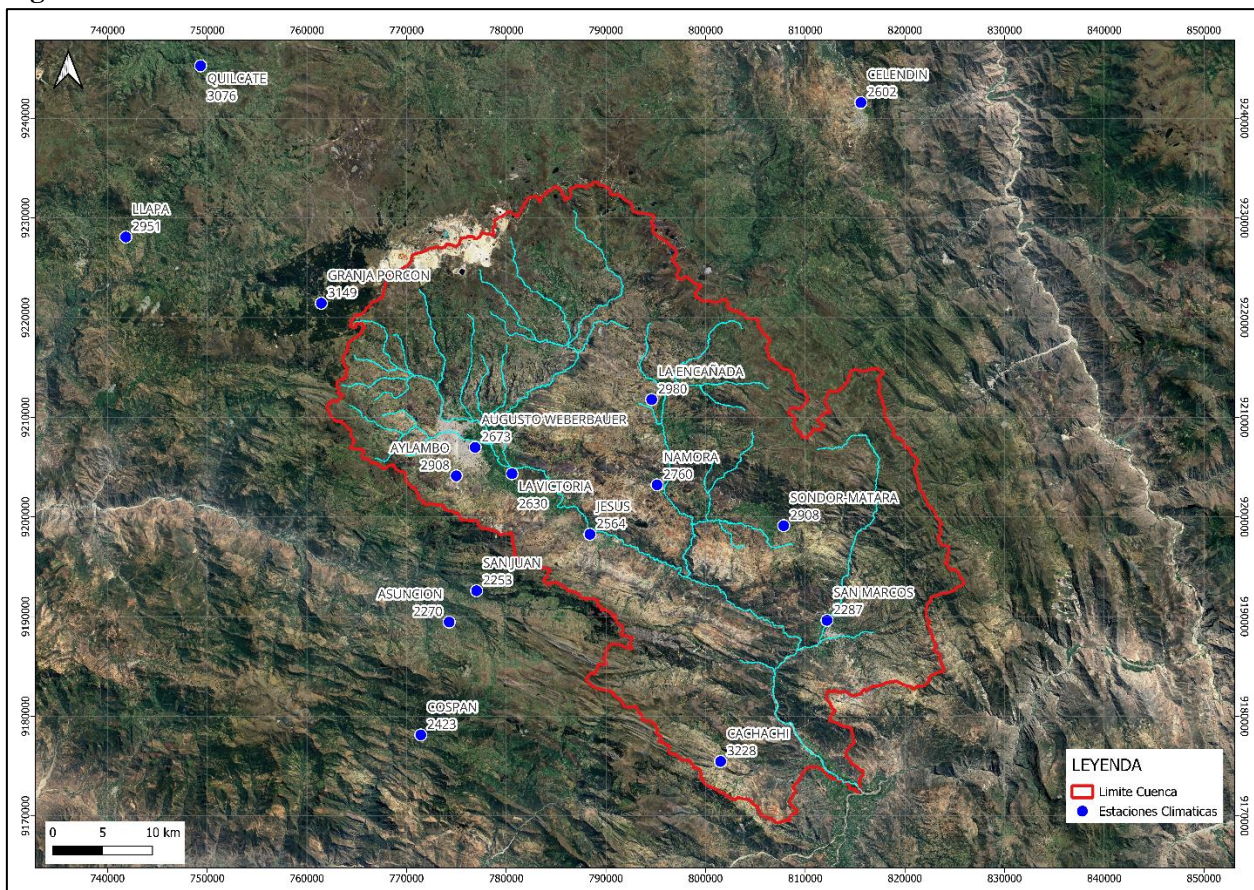




### 3.2.2. Estaciones climáticas

En la etapa de análisis exploratorio de datos, se han identificado 16 estaciones, 09 dentro y 07 fuera de la cuenca del río Cajamarquino, que son administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI.

**Figura 14:** Ubicación de estaciones climática



**Tabla 4:** Características de las estaciones climáticas

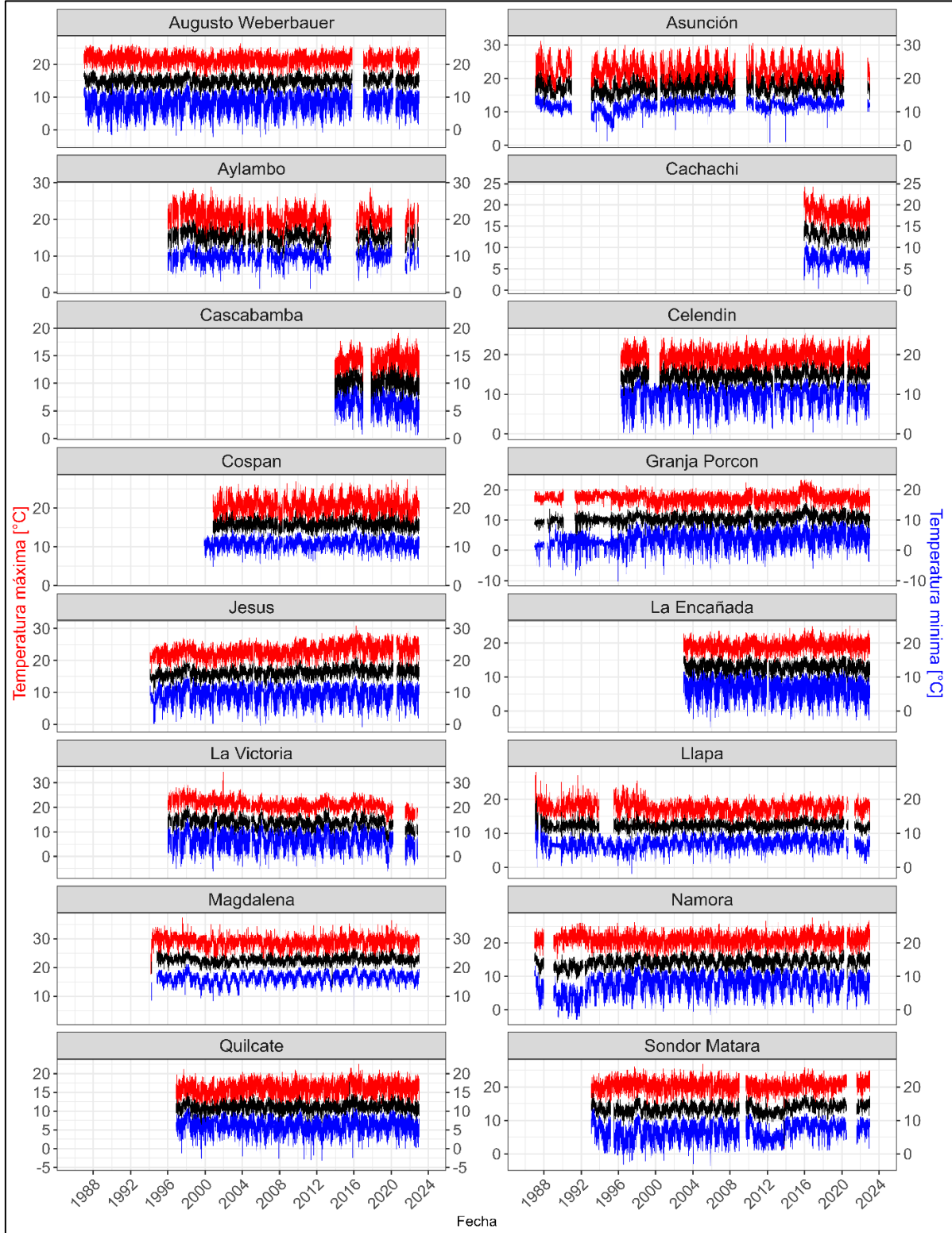
N°	Nombre	Altitud	Latitud (°)	Longitud (°)
1	ASUNCION	2270	-7.33	-78.52
2	AUGUSTO WEBERBAUER	2673	-7.17	-78.49
3	AYLAMBO	2908	-7.19	-78.51
4	CACHACHI	3228	-7.45	-78.27
5	CELENDIN	2602	-6.85	-78.14
6	COSPAN	2423	-7.43	-78.54
7	GRANJA PORCON	3149	-7.04	-78.63
8	JESUS	2564	-7.25	-78.39
9	LA ENCAÑADA	2980	-7.12	-78.33
10	LA VICTORIA	2630	-7.19	-78.46
11	LLAPA	2951	-6.98	-78.81
12	NAMORA	2760	-7.20	-78.33
13	QUILCATE	3076	-6.82	-78.74
14	SAN JUAN	2253	-7.30	-78.49
15	SAN MARCOS	2287	-7.32	-78.17
16	SONDOR-MATARA	2908	-7.24	-78.21



### 3.2.1. Series de temperatura histórica

En la Figura 15 se presenta la serie temporal de temperatura máxima (rojo), promedio (negro) y mínima (azul) del aire a nivel diario de las estaciones de la cuenca del río Cajamarquino.

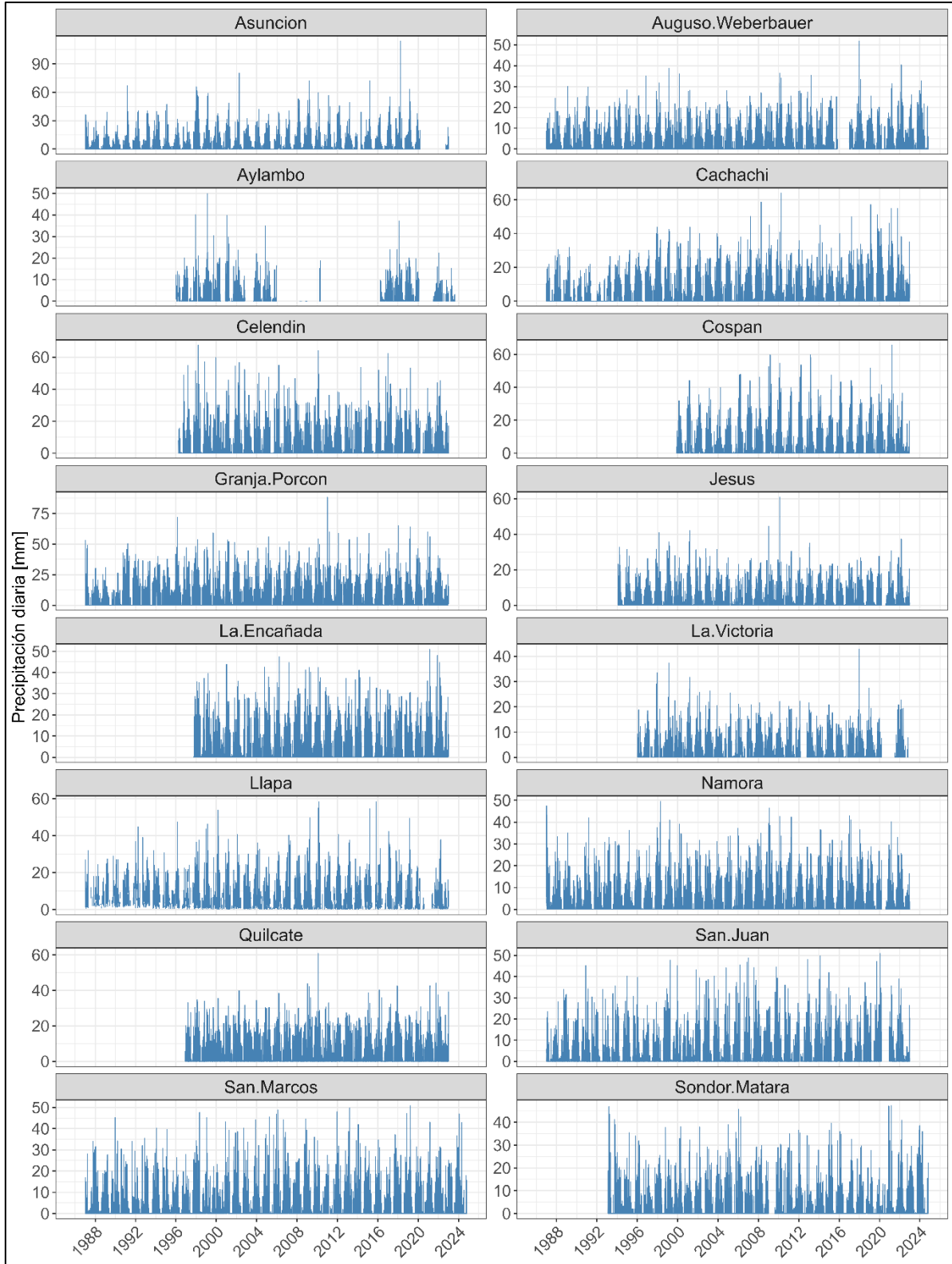
**Figura 15:** Serie de temperatura de las estaciones de la cuenca Cajamarquino



### 3.2.2. Series de precipitación histórica

En la Figura 16 se presenta la serie temporal de precipitación a nivel diario de las estaciones climática de la cuenca del río cajamarquino para el periodo comprendido entre 1985-2024.

**Figura 16:** Serie de precipitación a escala diaria



### 3.3. DATA CLIMÁTICA FUTURA

#### 3.3.1. WorldClim

Worldclim es una base de datos meteorológicos y climáticos globales de alta resolución espacial. Están disponibles para el público en general, en diferentes resoluciones espaciales ([https://worldclim.org/data/cmip6/cmip6\\_clim30s.html](https://worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim30s.html))

**Figura 17:** Archivos geotiff de modelos GSM y SSP

The screenshot shows the WorldClim website interface. At the top left is the WorldClim logo, and at the top right is a 'Home' link. Below the logo, there are two rows of model names and their associated variables (tn, tx, pr, bc). A dropdown menu is open, showing options for 'Historical climate data', 'Historical monthly weather data', and 'Future climate data'. Below this, there is a section for '2081-2100' with a table of GCMs and their scenarios.

MRI-ESM2-0	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
UKESM1-0-LL	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc

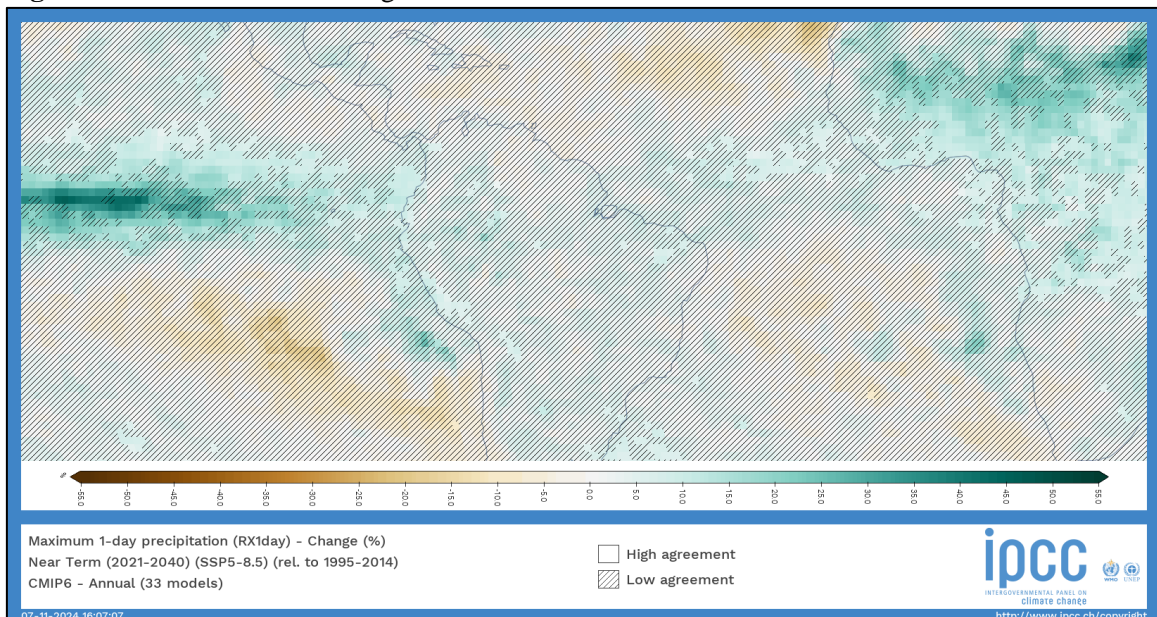
**2081-2100**

GCM	ssp126	ssp245	ssp370	ssp585
ACCESS-CM2	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
ACCESS-ESM1-5	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
BCC-CSM2-MR	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CanESM5	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CanESM5-CanOE	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CMCC-ESM2	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CNRM-CM6-1	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CNRM-CM6-1-HR	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CNRM-ESM2-1	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc

#### 3.3.2. Atlas Interactivo del IPCC

Es una herramienta novedosa para análisis espaciales y temporales de la información sobre cambio climático observada y proyectada que sustenta la contribución del grupo de trabajo I al Sexto Informe de Evaluación (AR6). El conjunto de datos, variables, escenario y estaciones está disponible en: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

**Figura 18:** Información de la región Noroeste de América del Sur

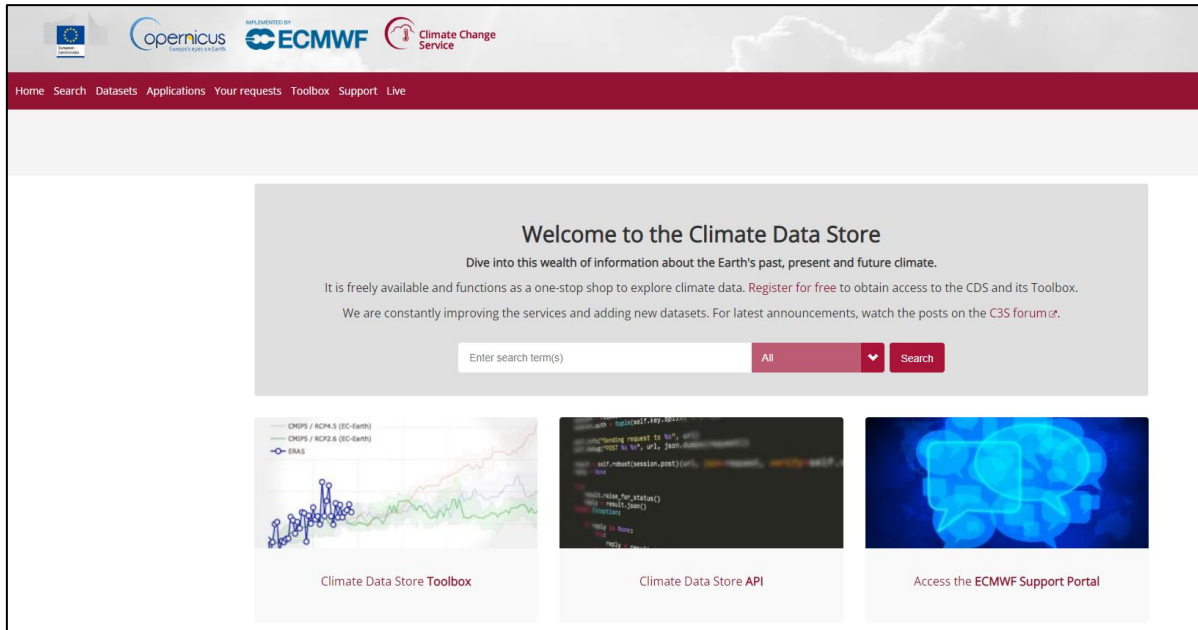




### 3.3.3. Climate Data Store - Copernicus

El Climate Data Store (CDS), es el almacén de datos climáticos. Este servicio online es gratuito y permite a los usuarios acceder a una gran cantidad de información sobre el clima pasado, presente y futuro: <https://cds.climate.copernicus.eu/#!/home>

**Figura 19:** Interfaz gráfica del portal CDS Copernicus



## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

#### 4.1.1. Caracterización morfométrica

La cuenca tiene un área de 2113 km<sup>2</sup>, un perímetro de 296 km, una longitud axial de 70km, factor de forma de 0.43, relación de factor de forma de 2.32, coeficiente de compacidad de 1.81, relación de aptitud de 4.39 e índice de elongación de 0.74. Otras características geométricas adimensionales de la cuenca se presentan en la Tabla 5

**Tabla 5:** Análisis de la geometría de la cuenca del río Cajamarquino

Relación de textura (T)	Índice de circularidad (Rc)	Relación longitud-área (Lar)	Lemniscate's (k)	Perimetro Relativo (Pr)	Textura de drenaje (Dt)
1.91	89.53	138.39	2.32	7.12	0.61

Según la clasificación de Arthur Strahler, la red de drenaje tiene 180 corrientes y es de orden 3. La longitud total de corrientes es 1168 km y la relación de bifurcación media es 15.2. Otros parámetros de la red de drenaje se presentan en la Tabla 6

**Tabla 6:** Características de la red de drenaje

Orden de corrientes	Número de corrientes (Nu)	Long corrientes (Lu) (km)	Longitud media de la corriente (km) (Lsm)	Relación de long de corrientes (Lur)	Relación de bifurcacion (Rb)	Coheficiente Rho (ρ)
1	155	865.15	5.58			
2	24	235.31	9.80	0.27	6.46	0.04
3	1	67.61	67.61	0.29	24	0.01

De acuerdo con el análisis de aspectos del relieve de la cuenca se tiene que la cota máxima de la cuenca es 4241 msnm y la mínima es 2023 msnm, el desnivel es de 2218m y la relación de alivio es 31.6.

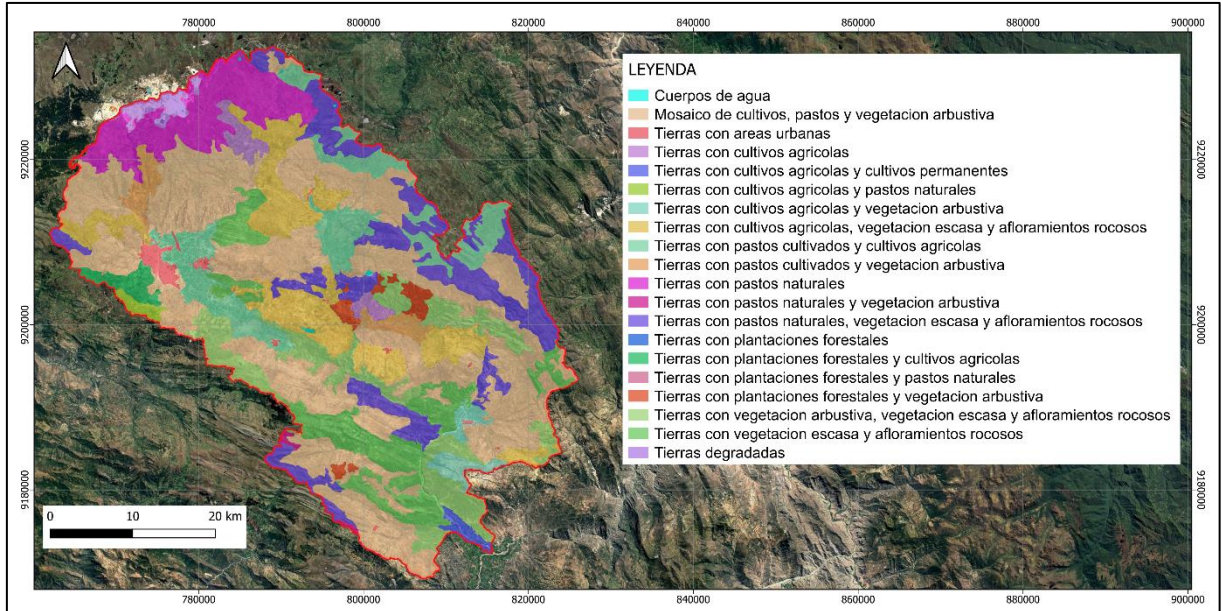
**Tabla 7:** Análisis de la textura de drenaje

Densidad de drenaje (Dd)	Frecuencia de flujo (Fs)	Constante de mantenimiento del canal	Intensidad de Drenaje (Di)	Número de infiltración (si)	Long de Flujo terrestre (Lo)
0.55	0.09	1.81	0.15	0.05	1.81

#### 4.1.2. Cobertura vegetal

De acuerdo con el análisis del mapa de cobertura vegetal se ha identificado que los impactos en la cobertura vegetal no se detienen en la cabecera de cuenca debido a la presencia de minería

**Figura 20:** Mapa de cobertura vegetal



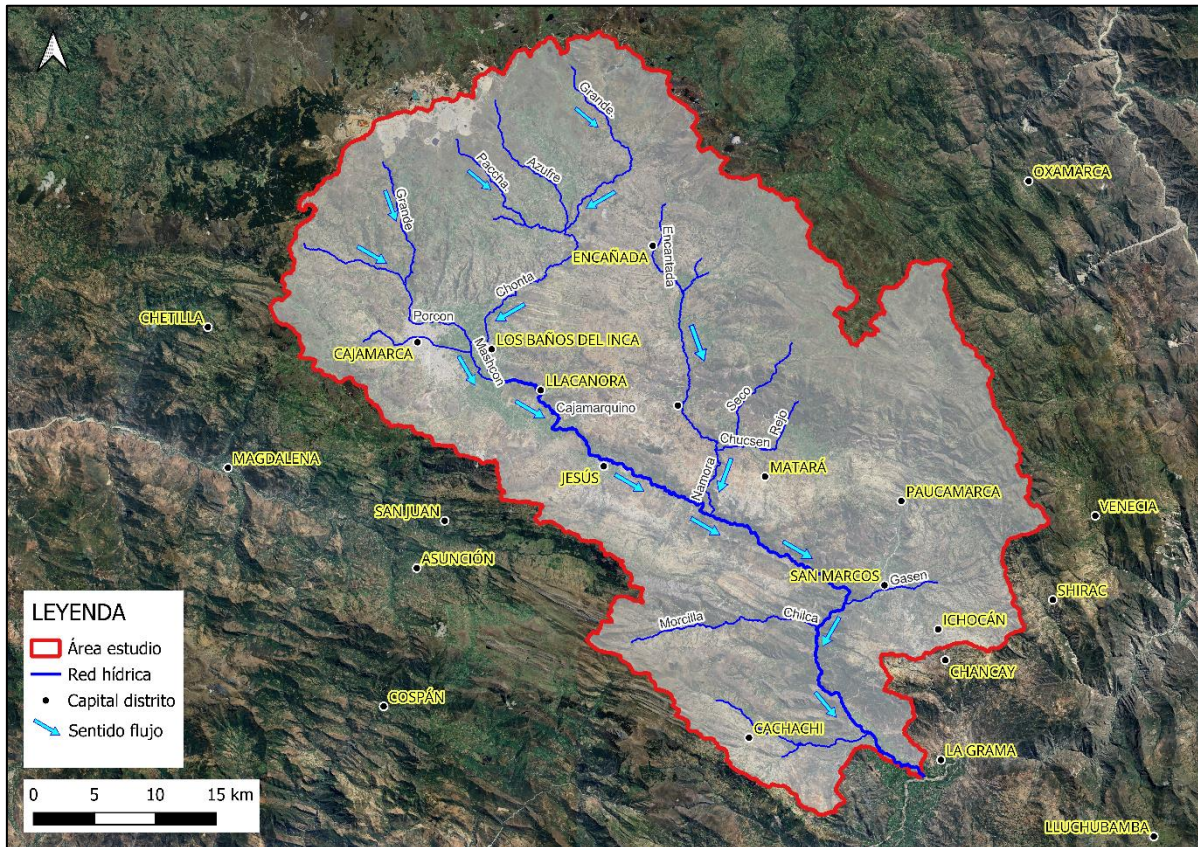
En la cuenca del río Cajamarquino lo que predomina es el tipo de suelo de cultivos, pastos y vegetación arbustiva que ocupa un 35.7%, otro tipo de uso predominante es pastos naturales y cultivos agrícolas con 10.9% y 10.7 % respectivamente.

#### 4.1.1. Red hídrica

El río Cajamarquino nace en el sector Huayrapongo (aguas abajo del Distrito de Baños del Inca) por la unión del río Chonta con el río Mashcon. Tiene una longitud de 67.6 km y pendiente media de 0.68%, es uno de los principales tributarios (junto al río Condebamba) del río Crisnejas.



**Figura 21:** Red Hídrica de la cuenca del río Cajamarquino



El río Cajamarquino tiene una longitud de 67.6 km y una pendiente de 0.68%, las longitudes y pendientes de otros ríos y quebradas se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 8:** Características de los principales ríos y quebradas

Nº	Nombre	Tipo	Longitud (km)	Pendiente (%)
1	Azufre	Río	16.54	2.81
2	Cajamarquino	Río	67.61	0.68
3	Chilca	Río	3.98	5.27
4	Chonta	Río	18.05	0.85
5	Chuchun	Río	3.87	1.09
6	Chucsen	Río	6.76	1.17
7	Encantada	Río	10.95	1.18
8	Gasen	Río	8.93	2.54
9	Grande	Río	12.82	3.15
10	Grande.	Río	20.96	4.28
11	La Quispa	Río	6.89	1.37
12	Mashcon	Río	6.1	1.11
13	Namora	Río	18.48	2.18
14	Paccha.	Río	15.28	3.57
15	Porcón	Río	18.81	3.35

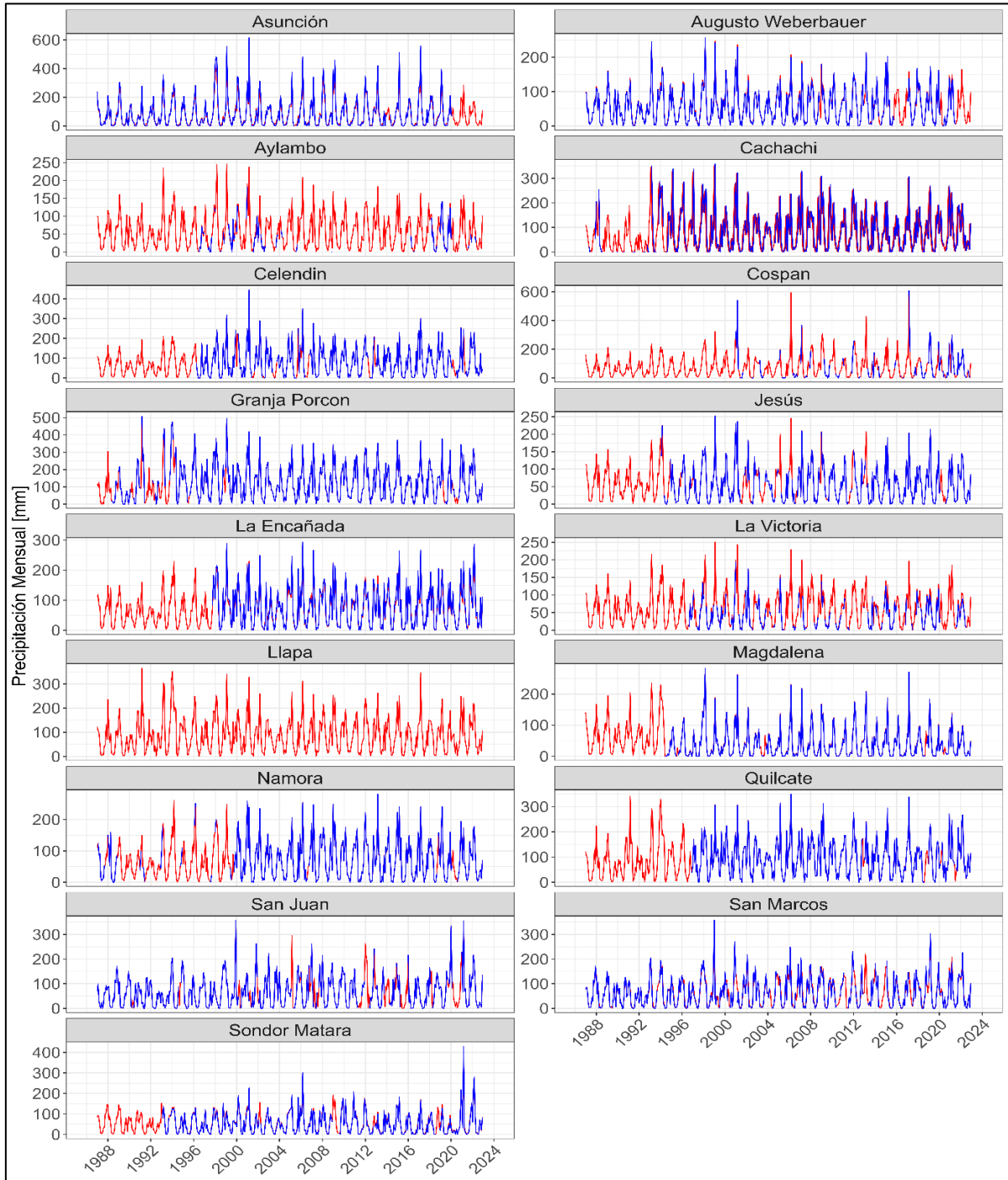
N°	Nombre	Tipo	Longitud (km)	Pendiente (%)
16	Quinuario	Río	3.03	1.66
17	San Lucas	Río	7.02	0.91
18	El Molino	Río	12.47	3.54
19	Tres Ríos	Río	3.97	3.82
20	Cachachi	Quebrada	16.7	3.85
21	Huayan Marca	Quebrada	3.5	5.71
22	Morcilla	Quebrada	11.85	3.76
23	Rejo	Quebrada	4.7	5.08
24	Rosamayo	Quebrada	1.34	0.77
25	Rosas Mayo	Quebrada	2.31	11.12

## 4.2. VARIABILIDAD CLIMÁTICA HISTÓRICA

### 4.2.1. Completación de datos

Hubo algunos valores faltantes en la temperatura máxima, mínima y precipitación, particularmente en la estación Aylambo que se ubica en el perímetro de la ciudad. Hay varios métodos estadísticos disponibles para abordar el problema de los valores faltantes, por ejemplo, la regresión multivariante, interpolación. En este estudio, se ha utilizado el método de interpolación IDW implementado en el lenguaje de programación RStudio mediante el paquete “svMisc” En la Figura 16 se presenta la serie temporal de precipitación diaria de las estaciones de la zona de interés.

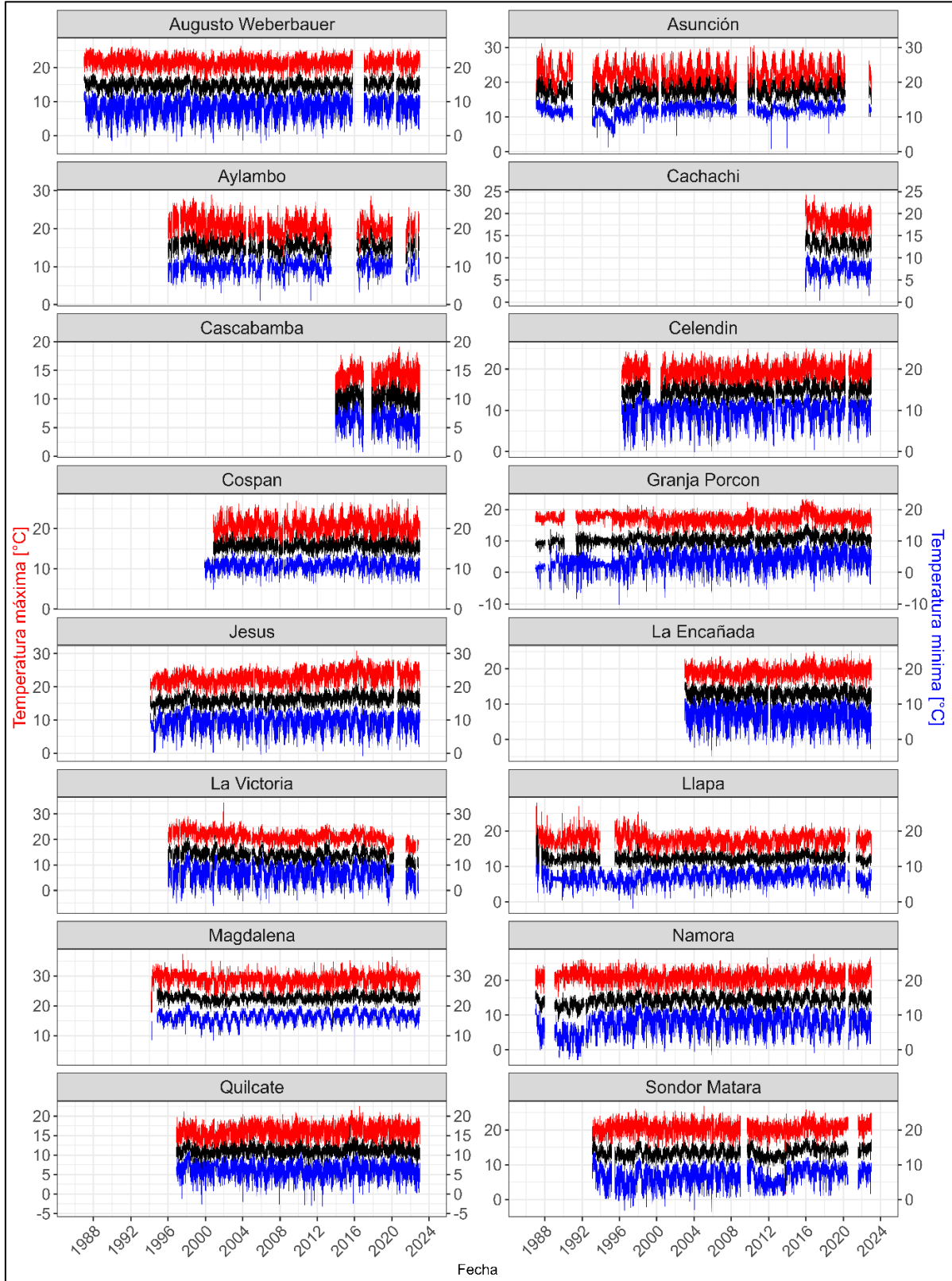
**Figura 22:** Serie de precipitación mensual completada



### 4.2.1. Variación de la temperatura mensual

En la **Figura 23** se presenta la variación de la temperatura máxima (líneas rojas), mínima (líneas azules) y promedio mensual (líneas negras).

**Figura 23:** Variación de la temperatura máxima y mínima de las estaciones





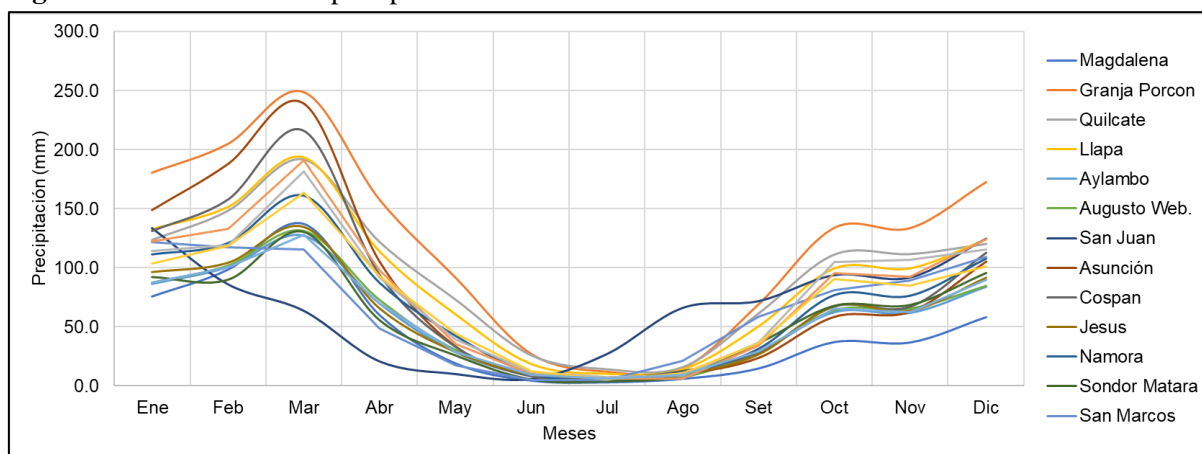
#### 4.2.2. Variación de la precipitación mensual

En la Tabla 3 y Figura 24 se presenta la variación mensual multianual de la precipitación en cada una de las estaciones. El mes de mayor precipitación es marzo y la época seca está comprendida entre junio y agosto.

**Tabla 9:** Variación mensual multianual de la precipitación

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Magdalena	76.0	98.6	137.4	60.3	19.4	4.7	3.3	6.2	15.0	37.4	37.1	58.5
Granja Porcón	180.4	204.6	248.5	157.6	91.7	27.1	12.0	15.0	69.1	133.8	133.5	172.5
Quilcate	123.7	148.4	191.9	122.1	73.3	26.0	14.2	16.0	61.5	111.4	111.8	120.4
Llapa	132.8	151.6	193.8	114.0	60.8	18.6	10.3	14.1	50.6	99.6	99.7	124.2
Aylambo	86.3	100.3	127.1	69.6	28.5	9.0	6.1	7.9	28.6	62.4	61.7	83.9
Augusto Weberbauer	87.1	101.5	131.0	72.6	30.2	9.3	5.9	7.1	28.6	63.7	65.2	84.4
San Juan	133.9	86.3	63.8	20.8	10.1	5.8	27.1	66.2	72.0	94.0	92.1	125.0
Asunción	148.8	187.7	239.2	105.3	33.3	8.5	5.9	9.8	23.5	58.3	62.6	105.1
Cospan	131.2	157.8	216.1	94.4	33.4	8.3	6.7	12.9	28.8	67.4	67.3	112.9
Jesus	96.5	104.3	134.9	65.7	28.8	9.8	5.5	10.1	26.7	67.8	63.6	91.7
Namora	111.5	121.0	161.3	87.5	42.5	10.5	5.1	10.3	31.5	77.1	76.5	108.0
Sondor Matara	92.1	89.7	130.3	55.5	25.6	5.2	3.6	8.8	36.1	67.7	68.4	95.5
San Marcos	121.7	117.3	115.7	48.9	17.5	4.9	4.7	21.4	58.8	80.9	89.4	109.4
Cachachi	122.1	132.7	191.0	98.2	35.7	10.1	5.9	6.4	34.1	95.4	92.1	124.3
Celendin	114.3	119.0	181.5	92.0	39.4	12.0	7.3	8.9	36.5	104.9	106.6	115.6
La Encañada	103.6	118.9	163.4	93.0	44.1	12.4	5.5	10.3	36.2	90.6	85.0	101.1
La Victoria	87.4	100.6	128.1	69.6	28.5	9.1	6.3	9.2	29.1	65.2	62.2	89.6

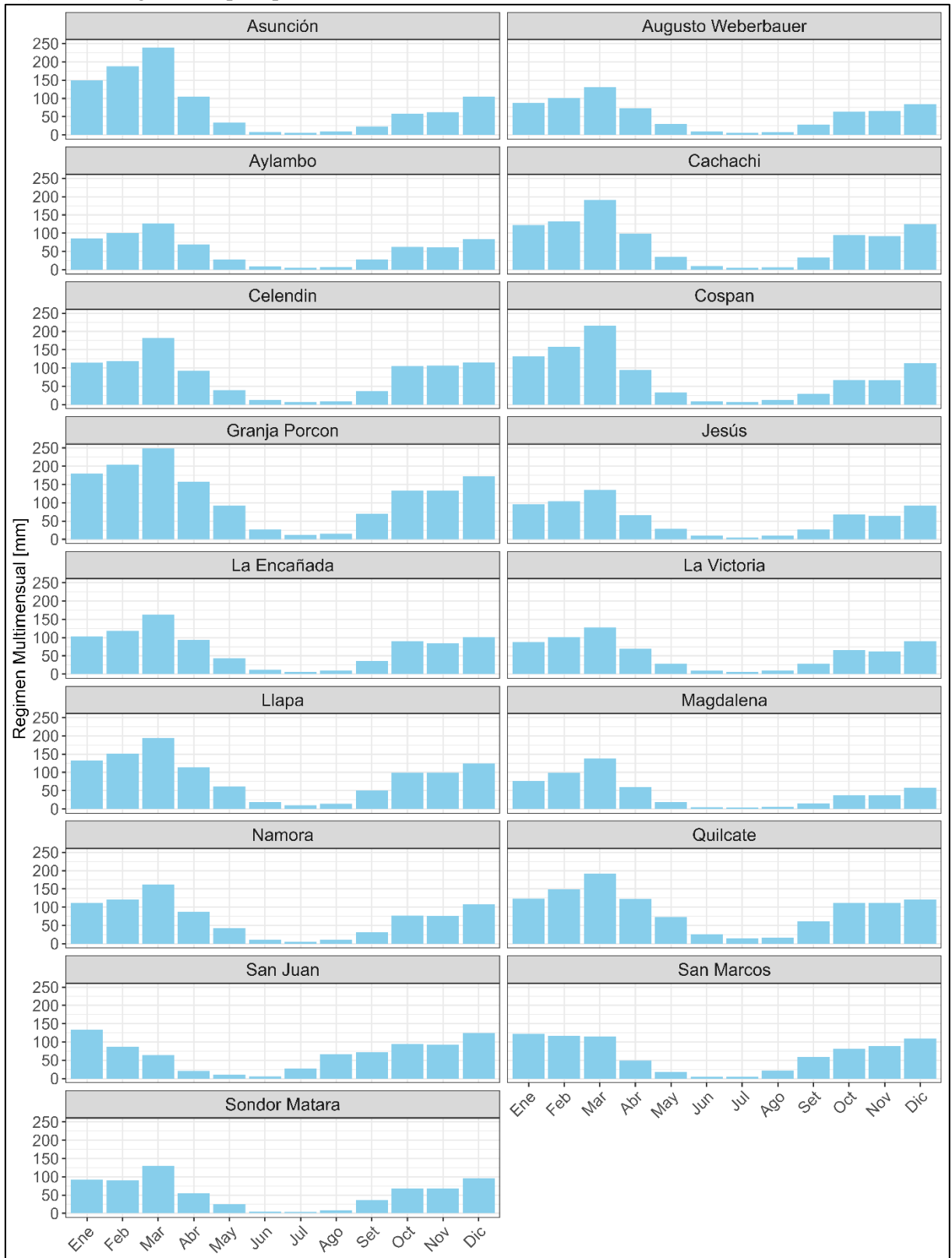
**Figura 24:** Variación de la precipitación mensual multianual





En la Figura 25 se presenta el régimen de precipitación de cada estación de la cuenca Crisnejas.

**Figura 25:** Régimen de precipitación de las estaciones

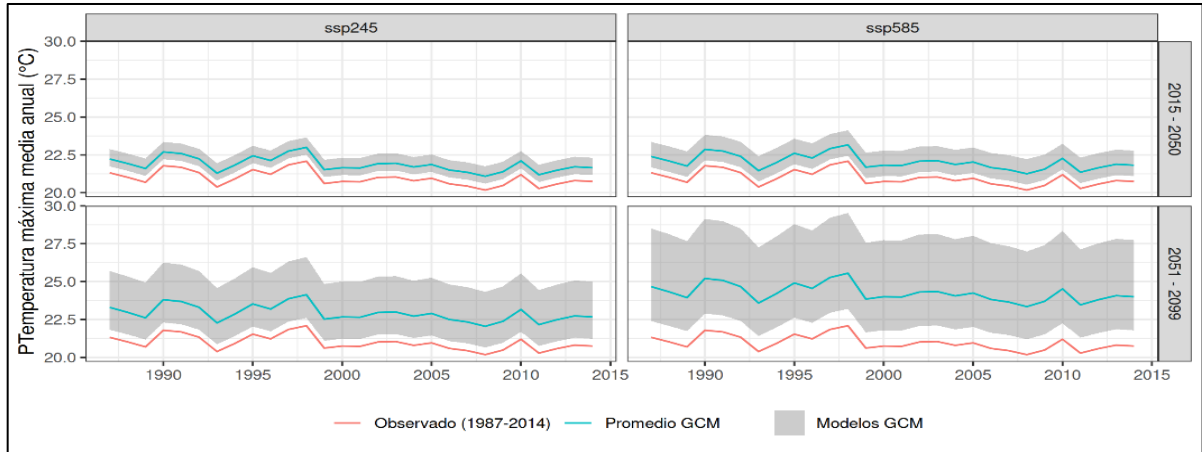


### 4.3. PROYECCIONES CLIMÁTICAS

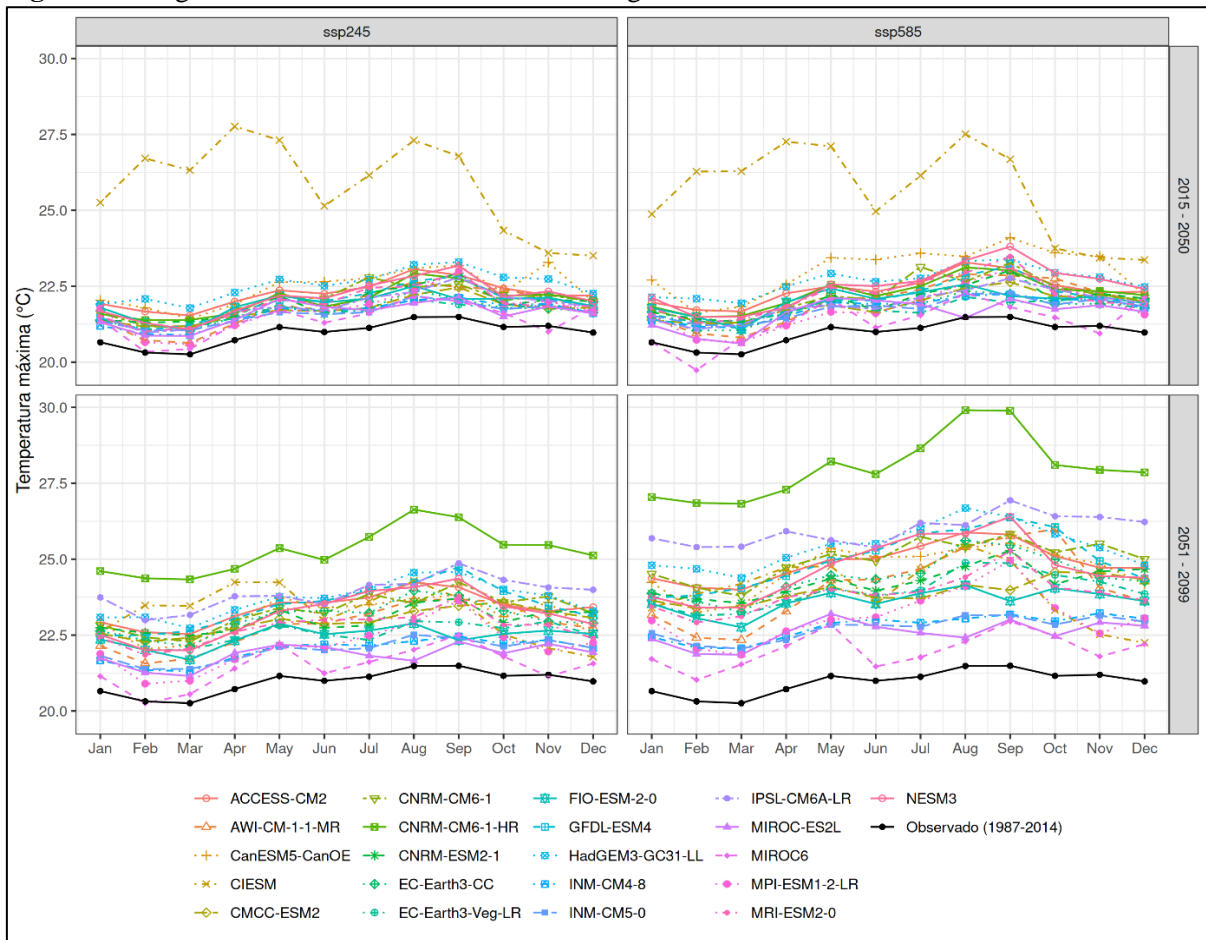
#### 4.3.1. Temperatura máxima futura

En las siguientes figuras se muestra la temperatura máxima futura, el análisis se ha realizado para todos los modelos climáticos del escenario SSP 4.5 y SSP 8.5 disponibles hasta la fecha.

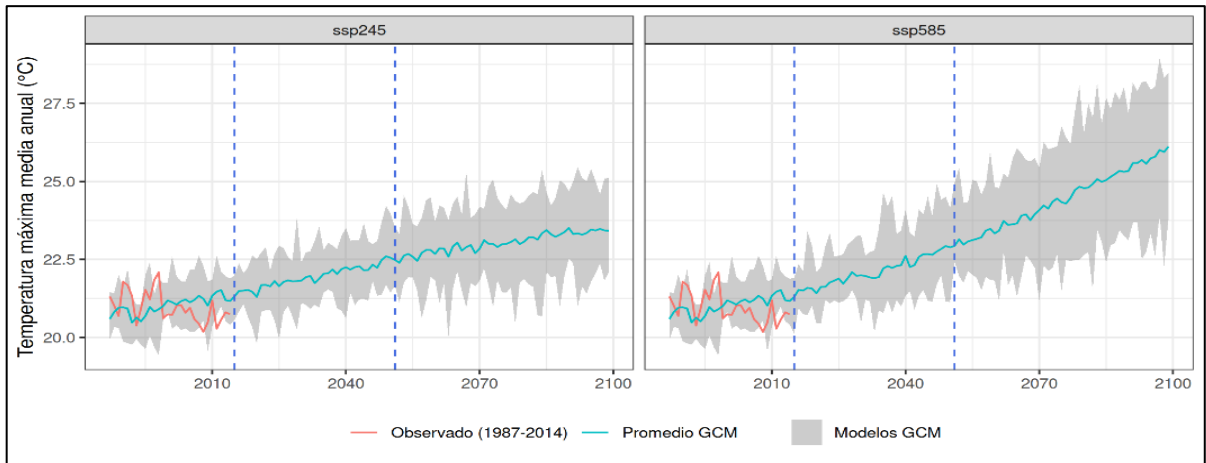
**Figura 26:** Variación de la T<sub>máx</sub> futura – Delta Change



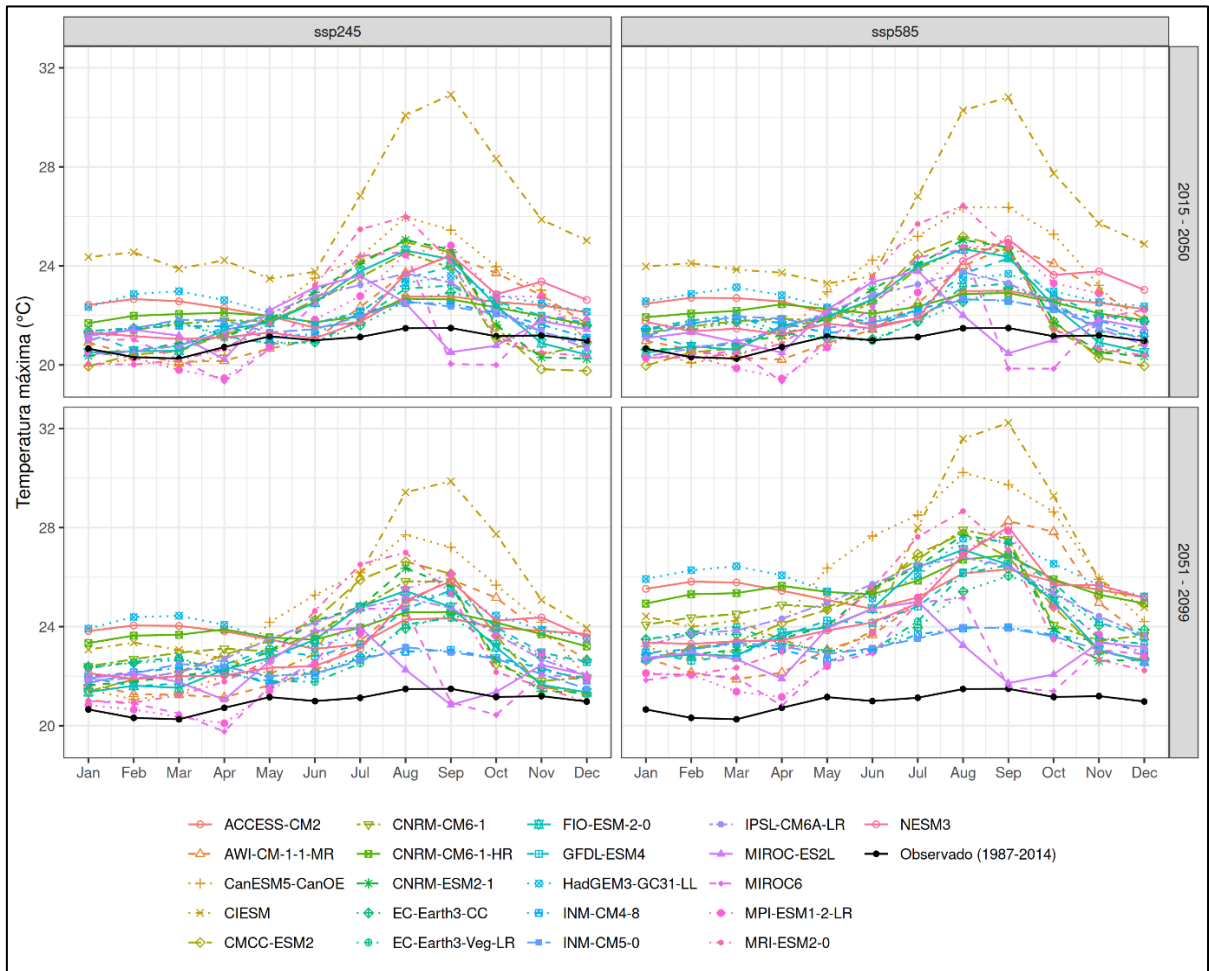
**Figura 27:** Régimen de la T<sub>máx</sub> futura – Delta Change



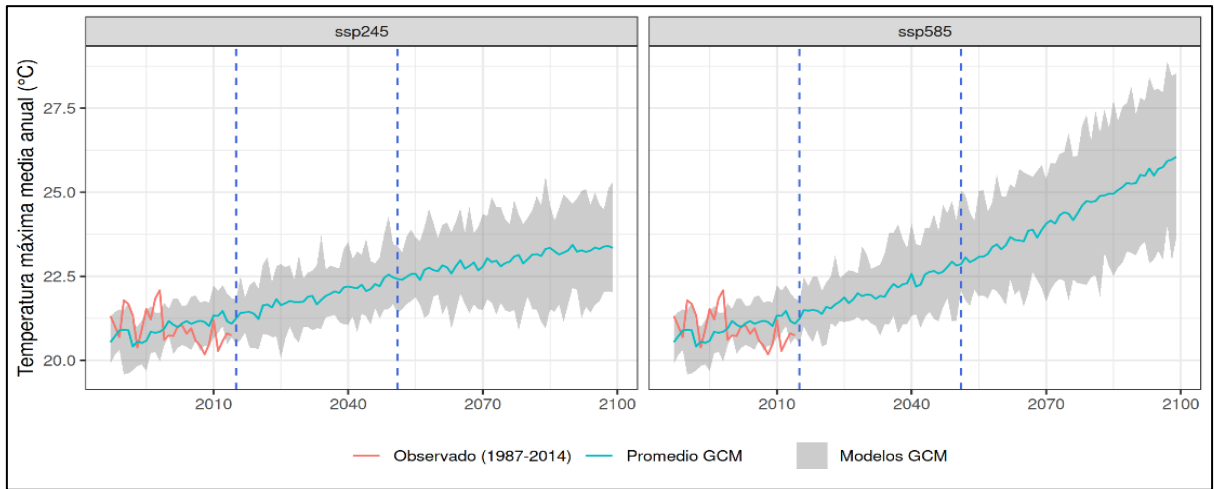
**Figura 28:** Variación de la Tmáx futura – Linear Scaling



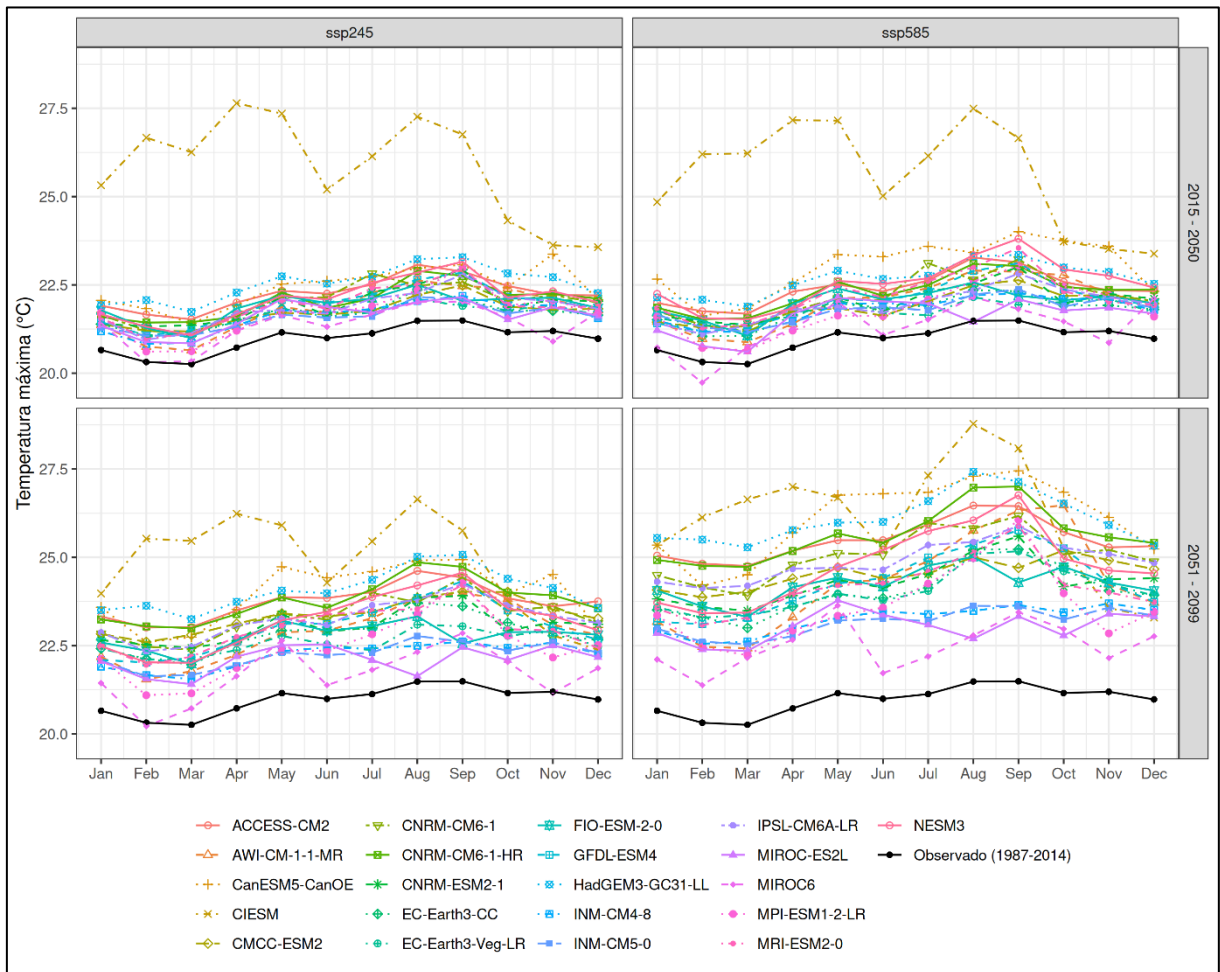
**Figura 29:** Régimen de la Tmáx futura – Linear Scaling



**Figura 30:** Variación de la Tmáx futura – Distribution Mapping



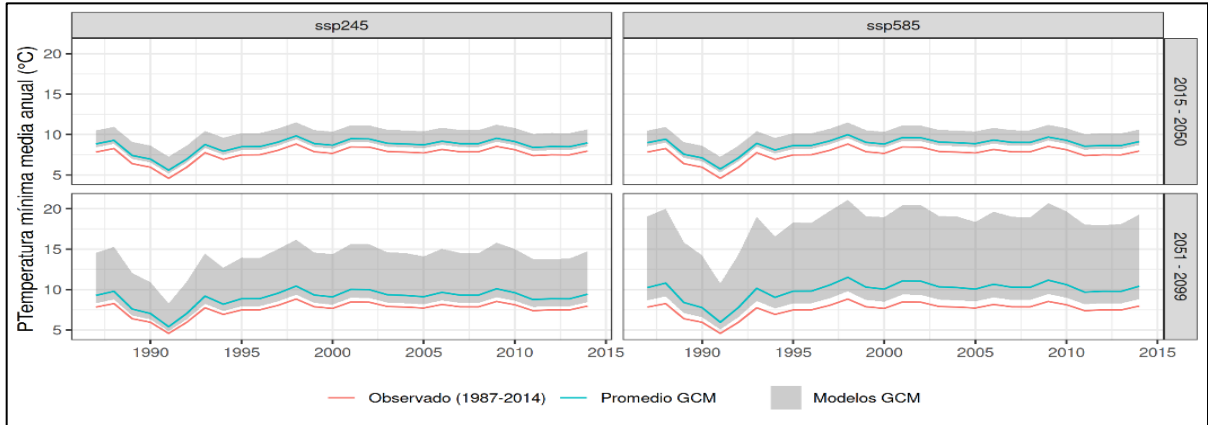
**Figura 31:** Régimen de la Tmáx futura – Distribution Mapping



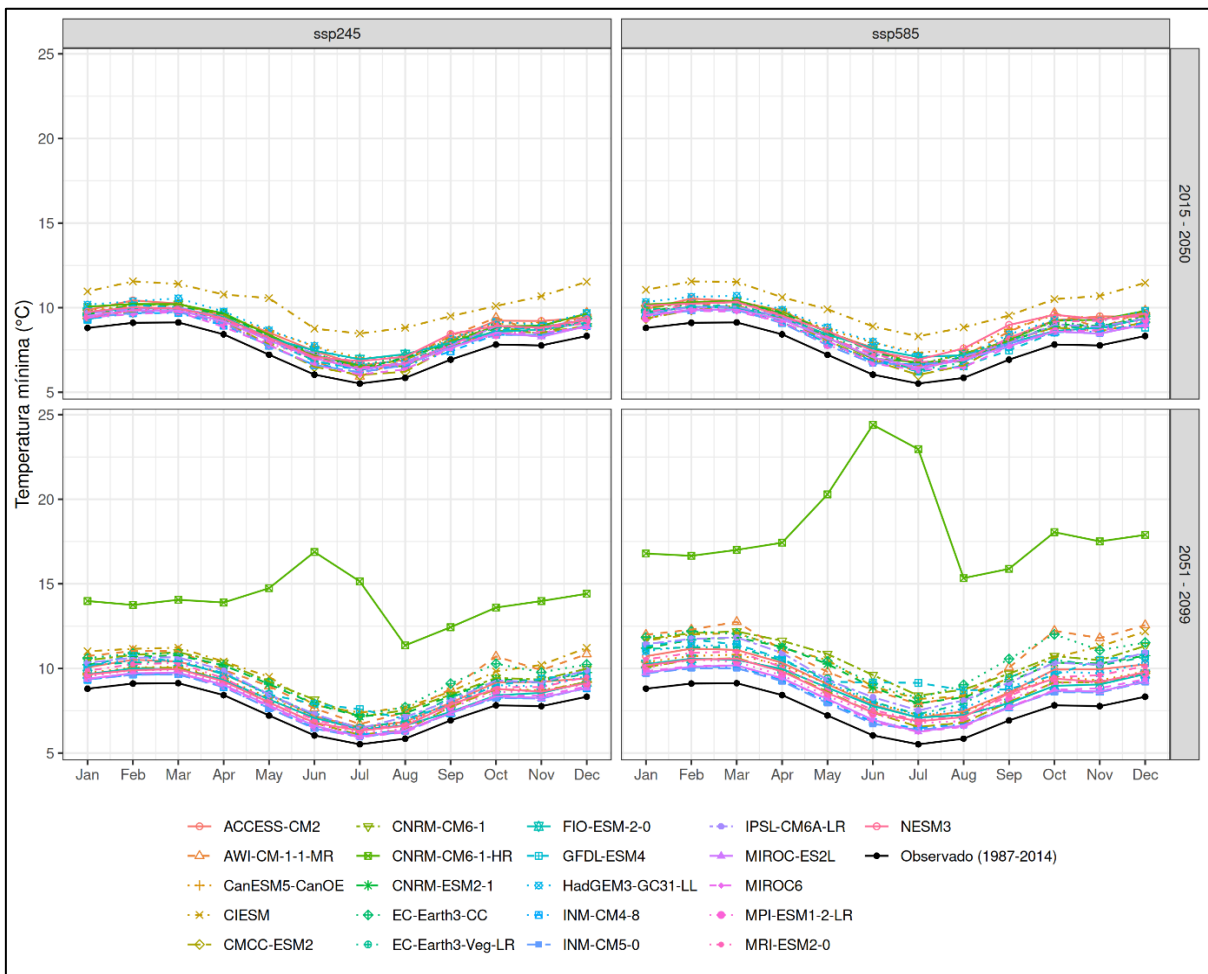
### 4.3.1. Temperatura mínima futura

En las siguientes figuras se muestra la temperatura mínima futura, el análisis se ha realizado para todos los modelos climáticos del escenario SSP 4.5 y SSP 8.5 disponibles hasta la fecha.

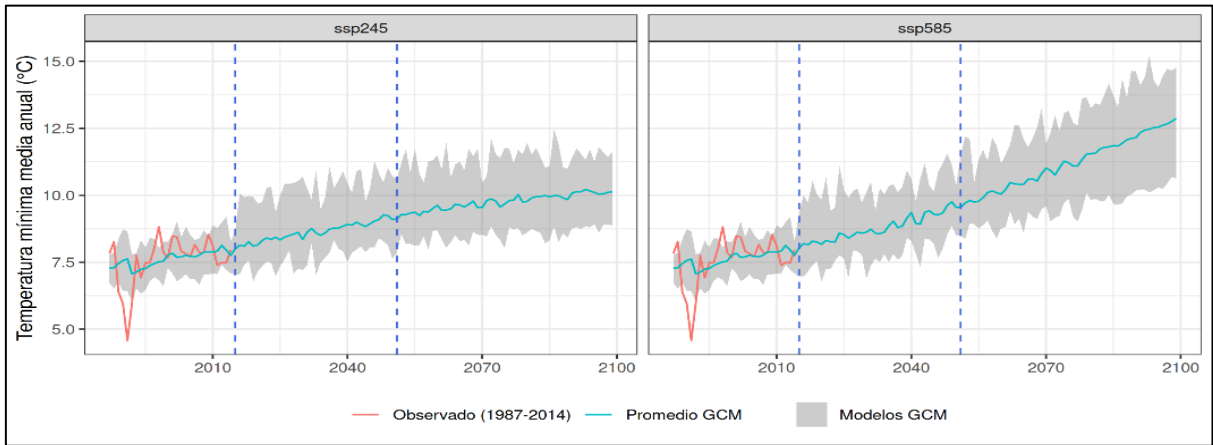
**Figura 32:** Variación de la Tmín futura – Delta Change



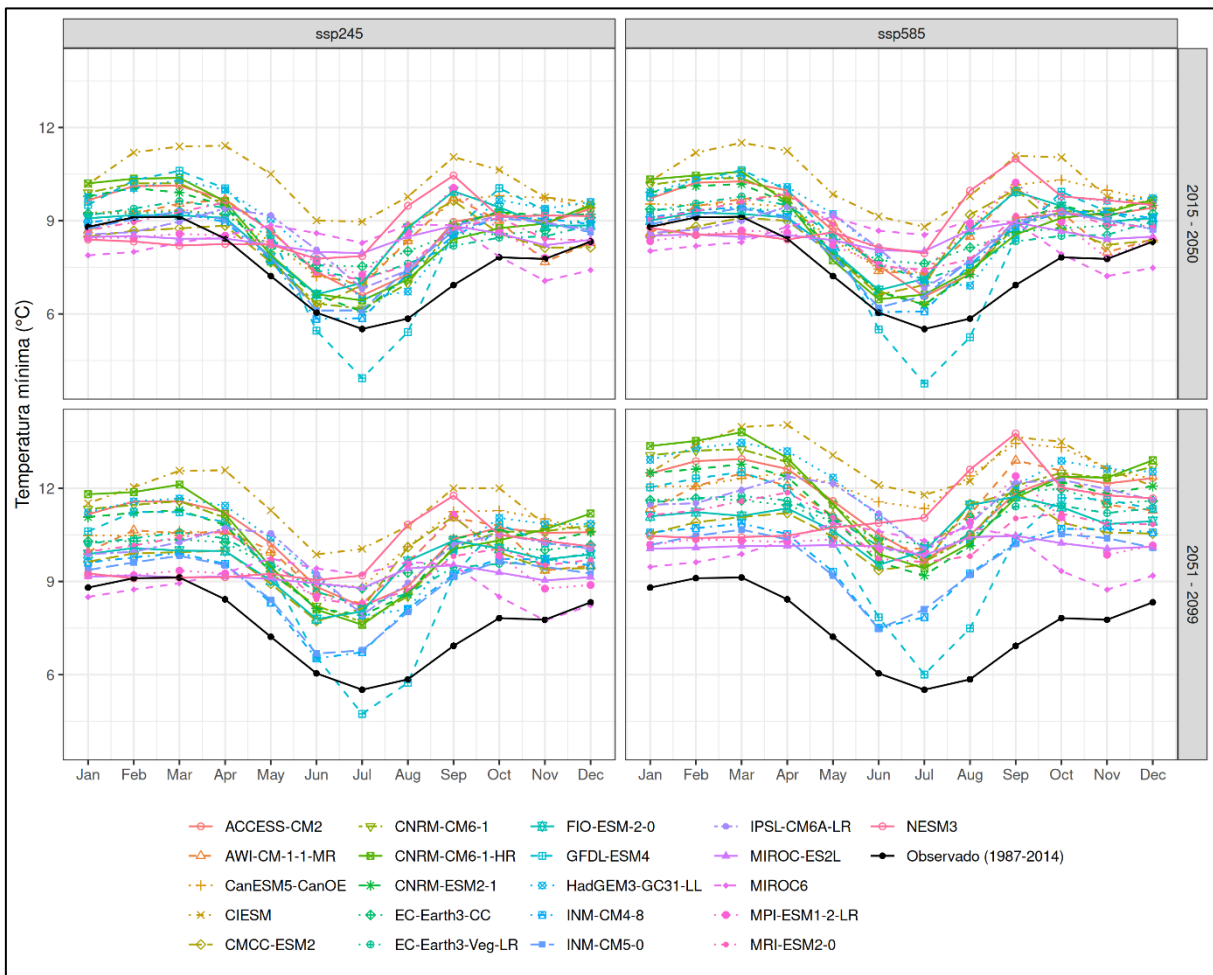
**Figura 33:** Régimen de la Tmín futura – Delta Change



**Figura 34:** Variación de la Tmín futura – Linear Scaling

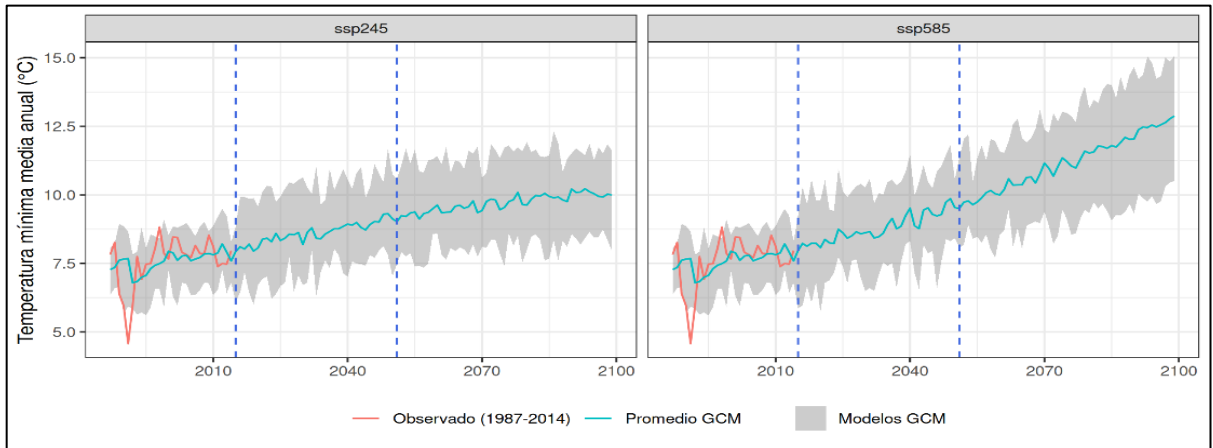


**Figura 35:** Régimen de la Tmín futura – Linear Scaling

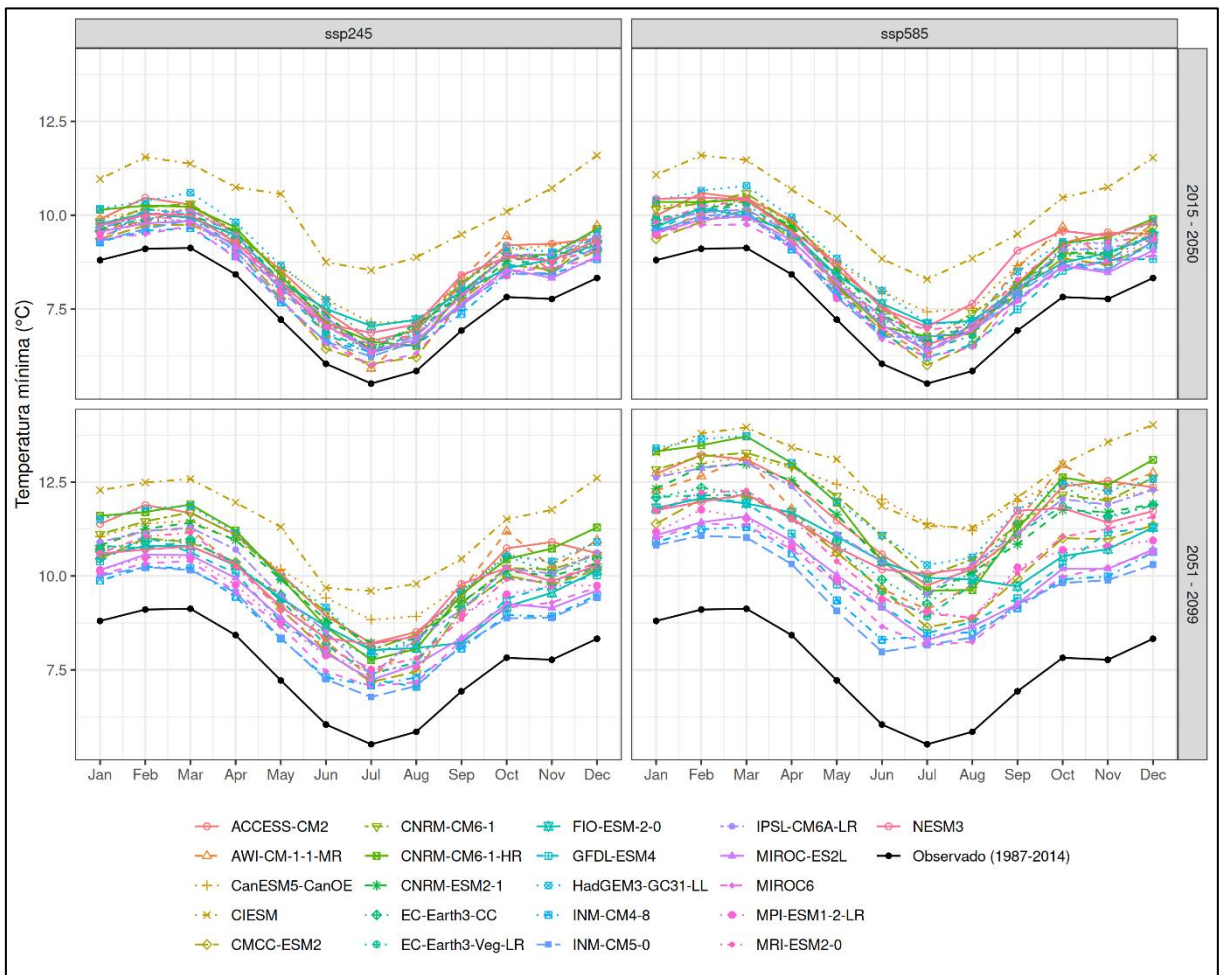




**Figura 36:** Variación de la Tmín futura – Distribution Mapping



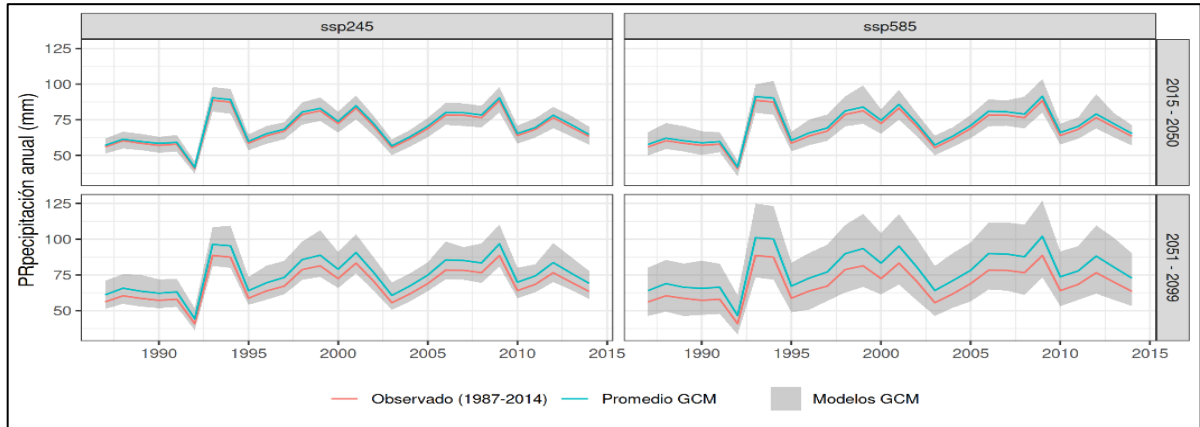
**Figura 37:** Régimen de la Tmín futura – Distribution Mapping



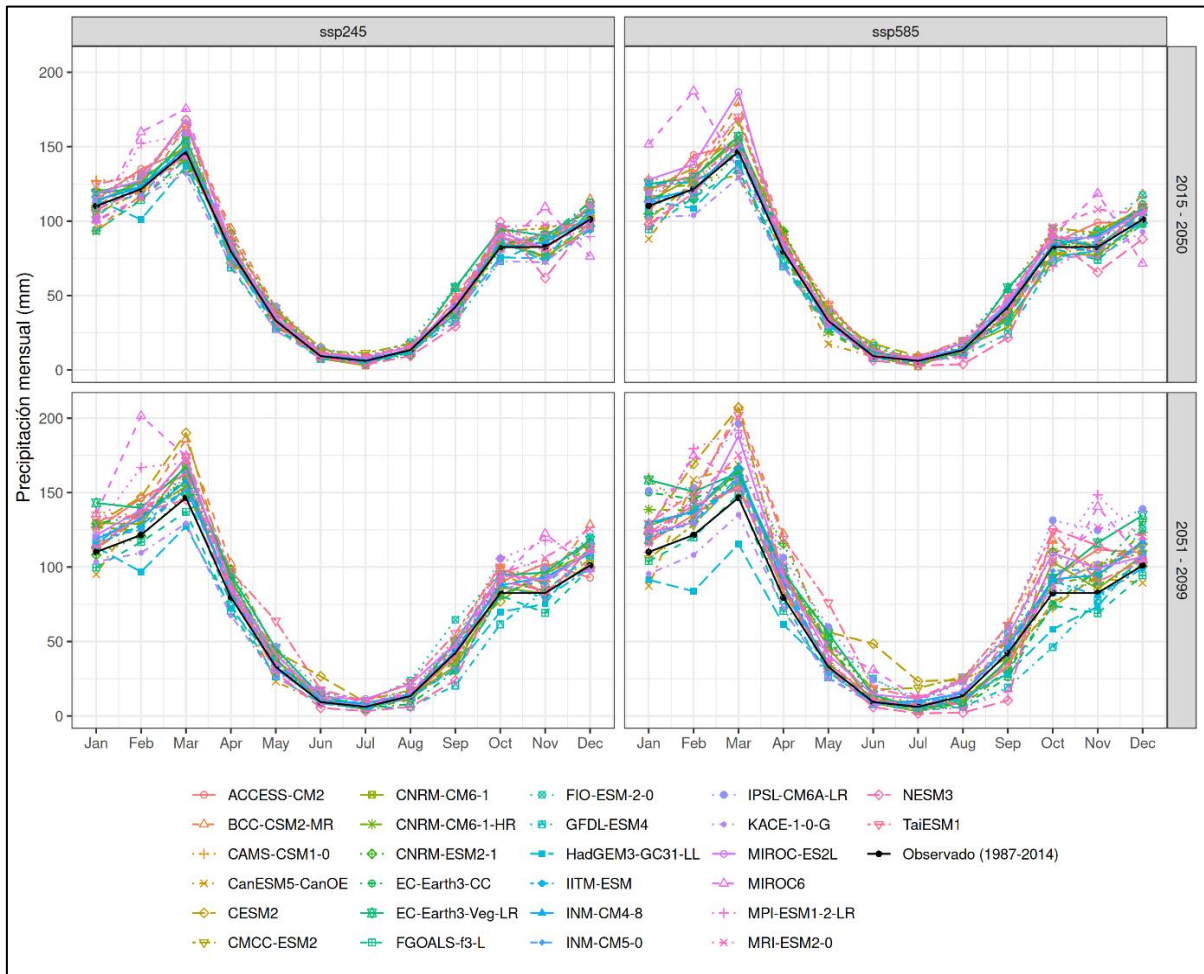
### 4.3.1. Precipitación anual futura

En las siguientes figuras se muestra la precipitación futura, el análisis se ha realizado para todos los modelos climáticos del escenario SSP 4.5 y SSP 8.5 disponibles hasta la fecha.

**Figura 38:** Variación de la precipitación futura – Delta Change

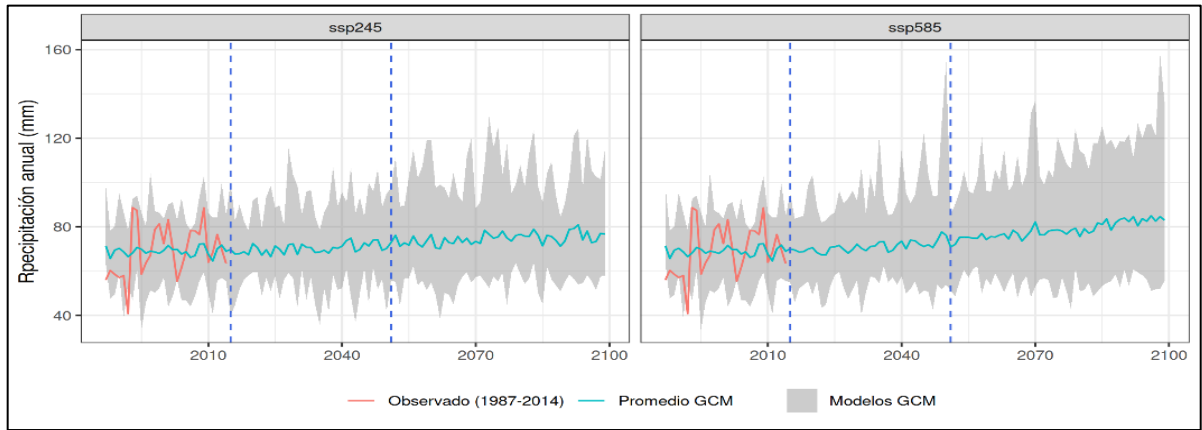


**Figura 39:** Régimen de la precipitación futura – Delta Change

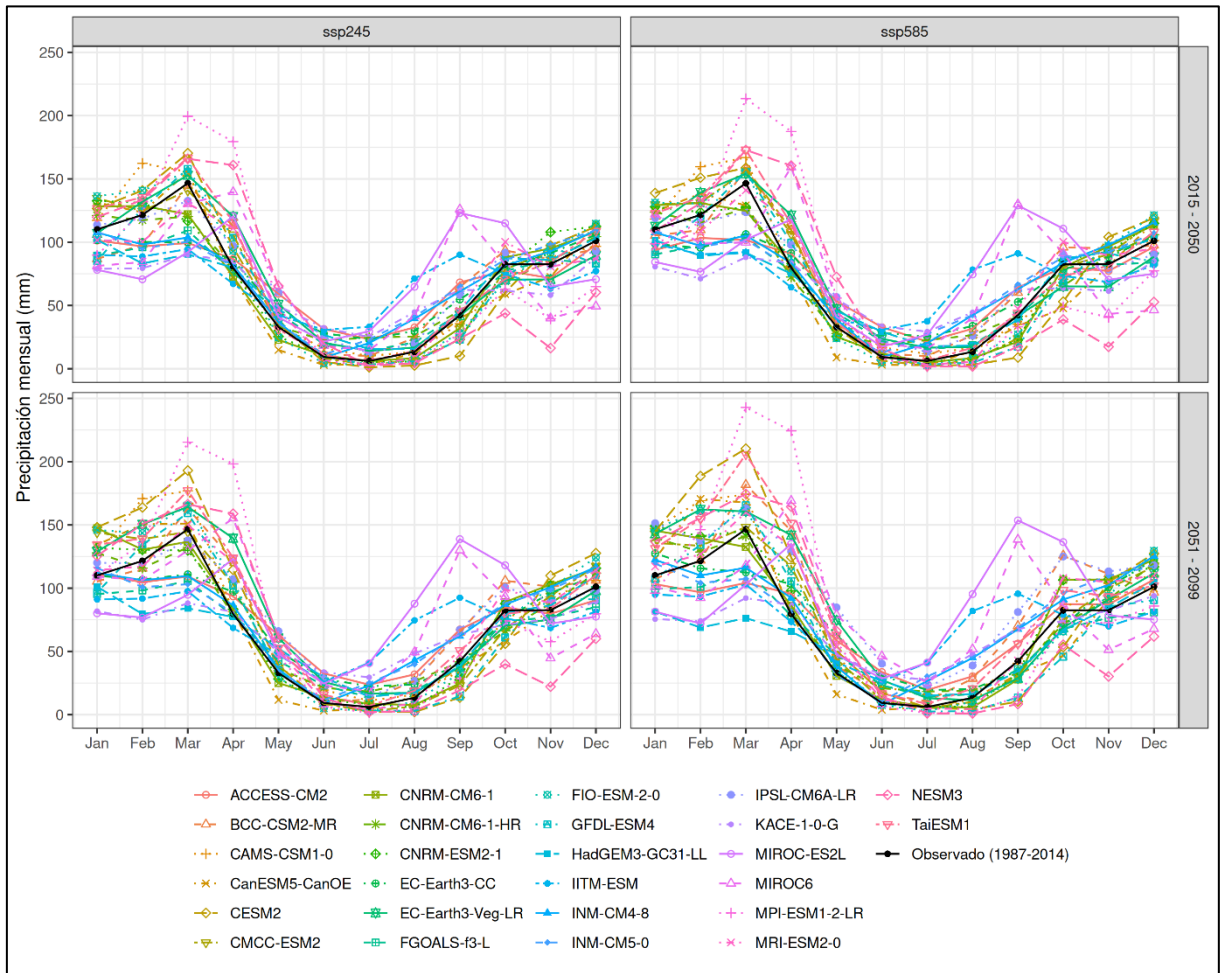




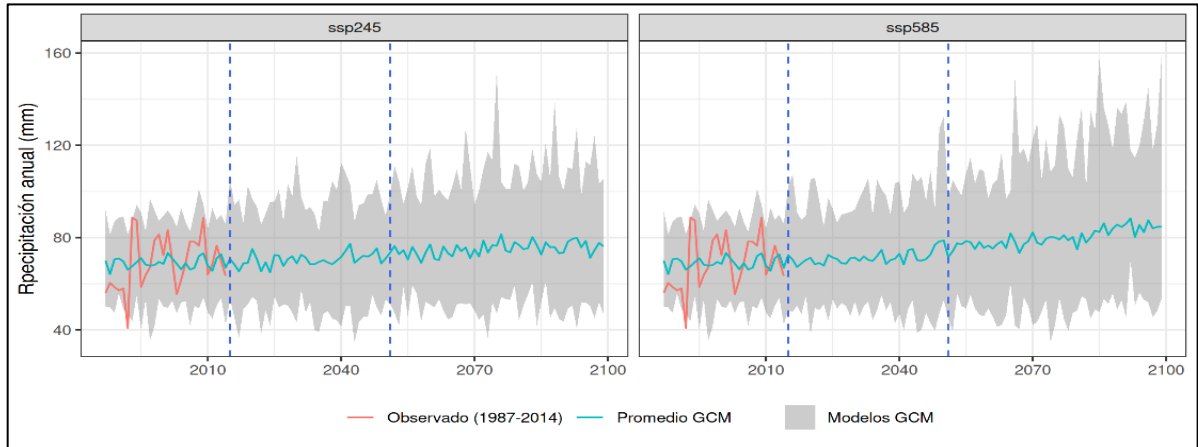
**Figura 40:** Variación de la precipitación futura – Linear Scaling



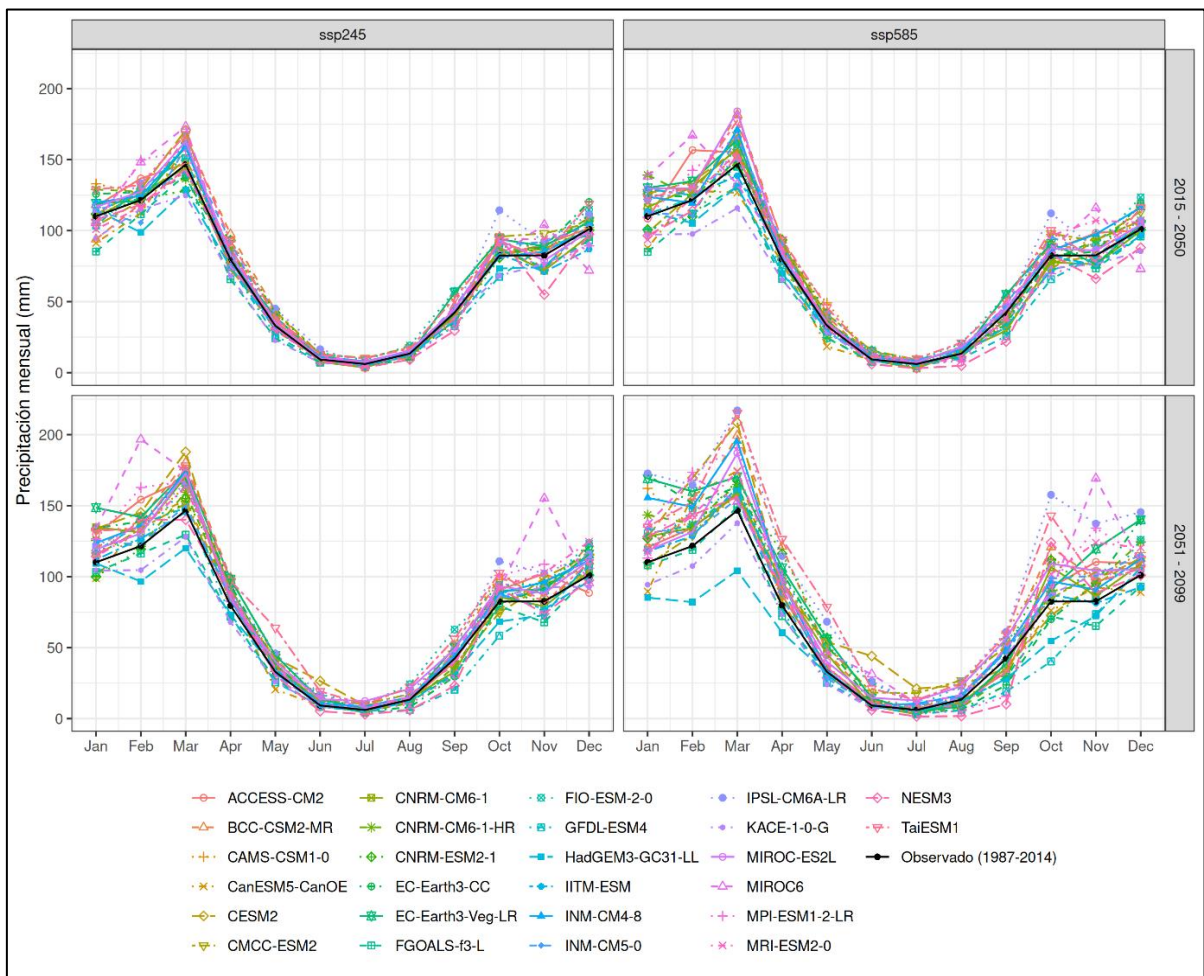
**Figura 41:** Régimen de la precipitación futura – Linear Scaling



**Figura 42:** Variación de la precipitación futura – Distribution Mapping



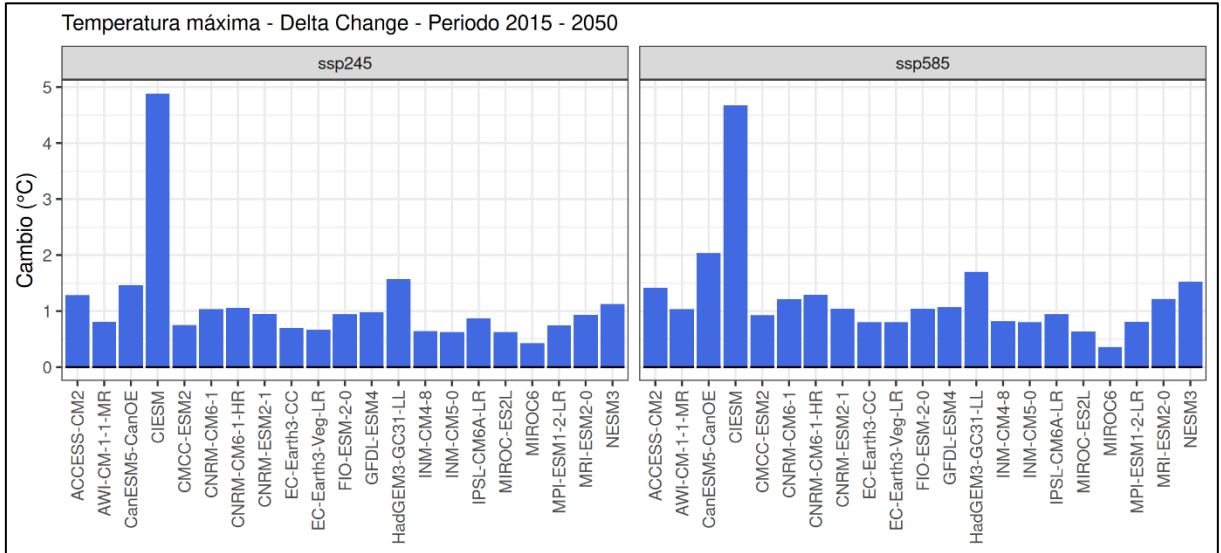
**Figura 43:** Régimen de la precipitación futura – Distribution Mapping



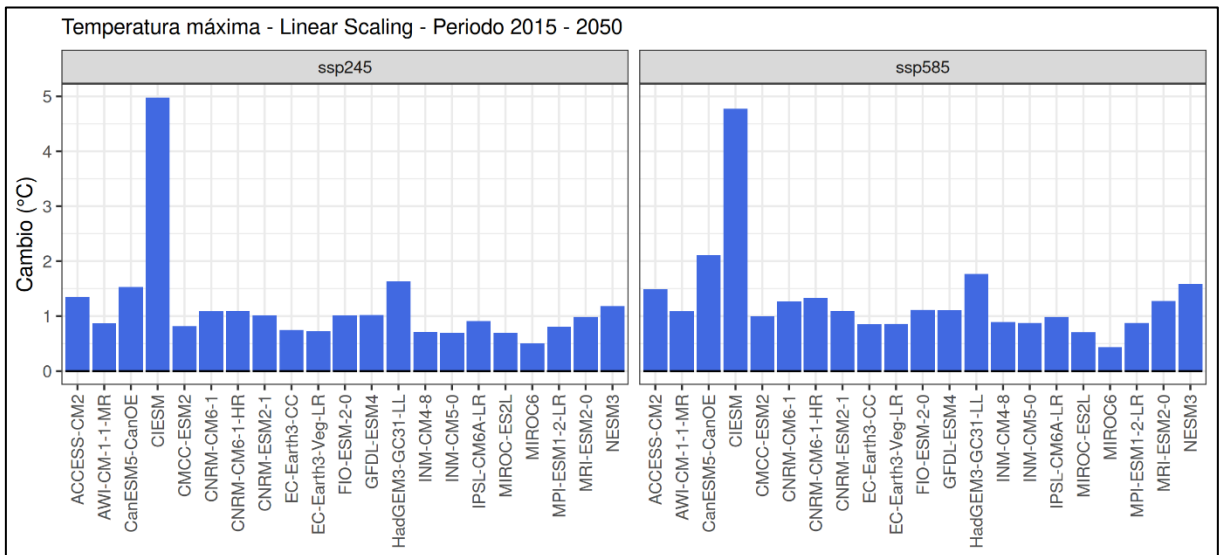
### 4.3.2. Impacto futuro del cambio climático

La cuenca del río Cajamarquino muestra claramente tendencias de incremento tanto en la temperatura máxima (T<sub>máx</sub>) y temperatura mínima (T<sub>min</sub>) en respuesta al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) para el periodo 2015 – 2050.

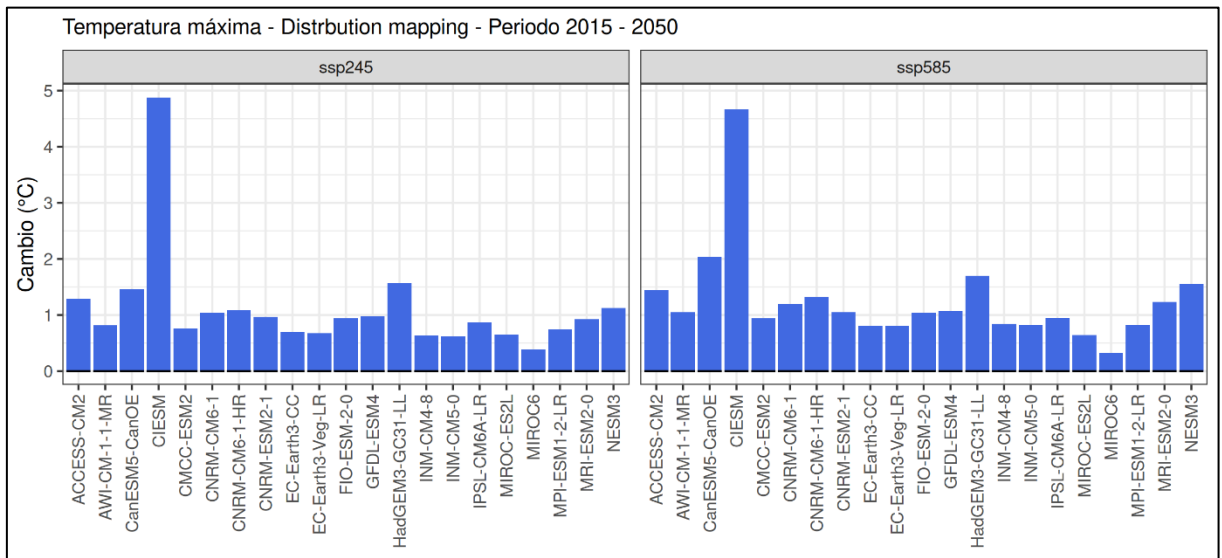
**Figura 44:** Cambios proyectados en T<sub>máx</sub> para diferentes SSP – Delta Change



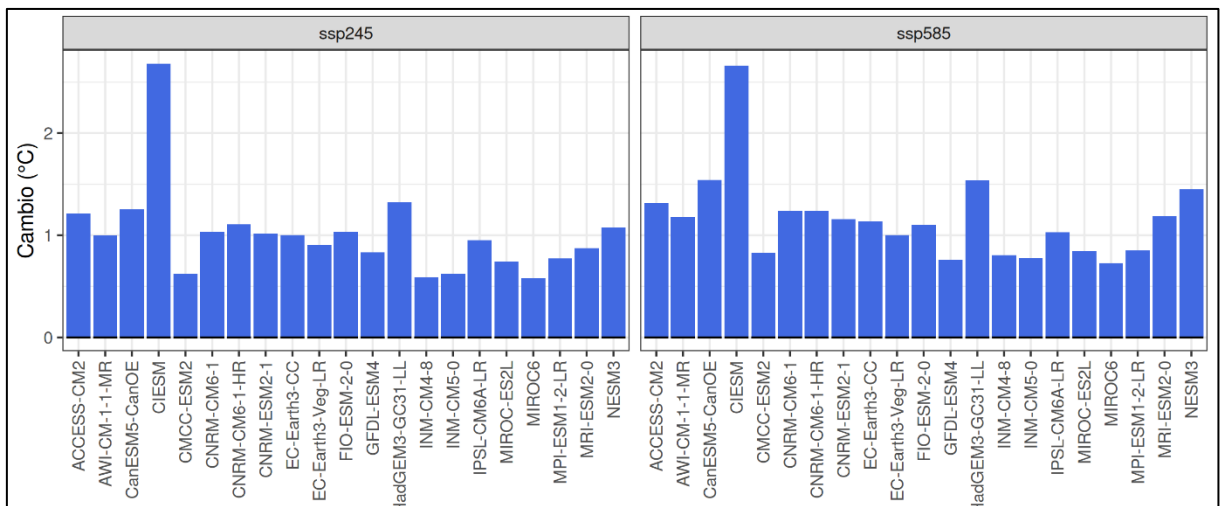
**Figura 45:** Cambios proyectados en T<sub>máx</sub> para diferentes SSP – Linear Scaling



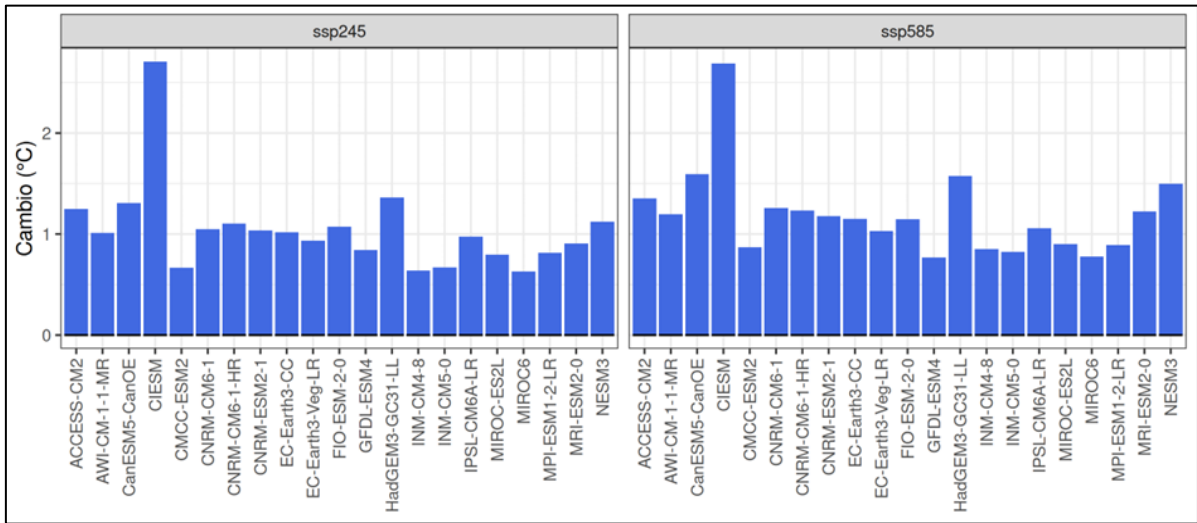
**Figura 46:** Cambios proyectados en Tmáx para diferentes SSP – Distribution Mapping



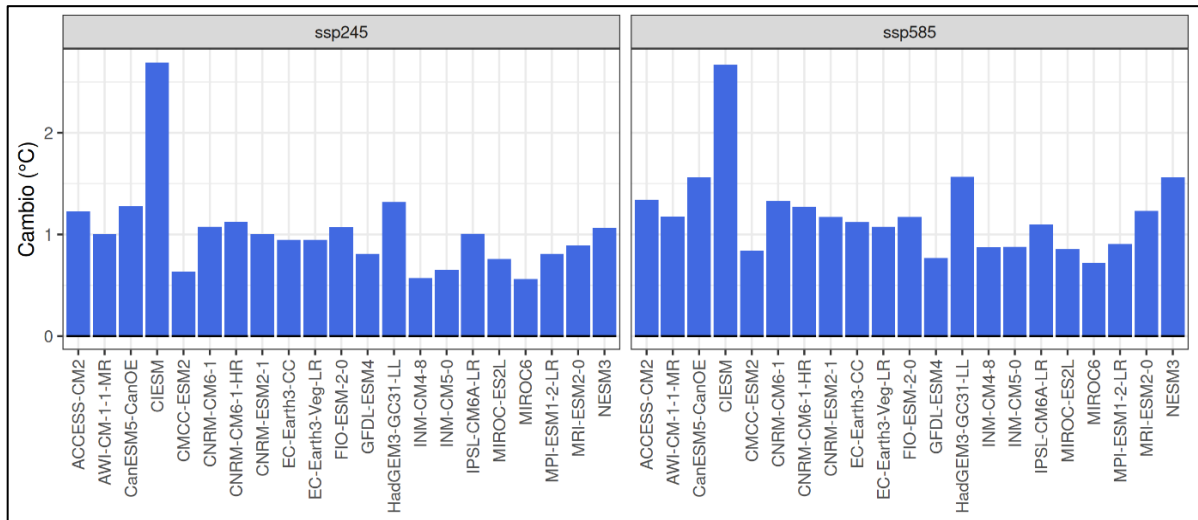
**Figura 47:** Cambios proyectados en Tmín para diferentes SSP – Delta Change



**Figura 48:** Cambios proyectados en T<sub>min</sub> para diferentes SSP – Linear Scaling

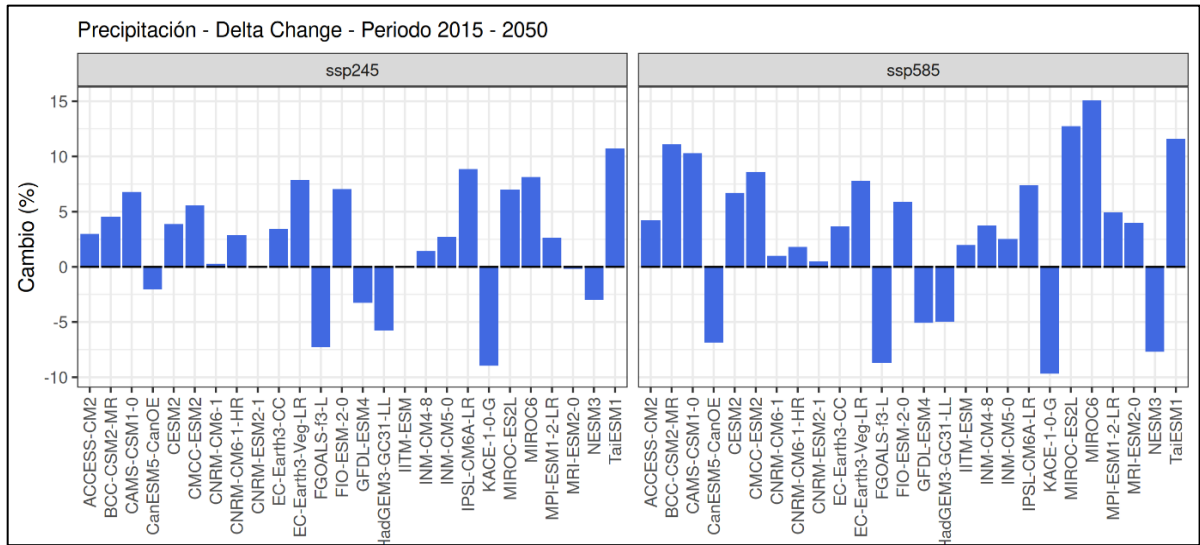


**Figura 49:** Cambios proyectados en T<sub>mín</sub> para diferentes SSP – Distribution Mapping

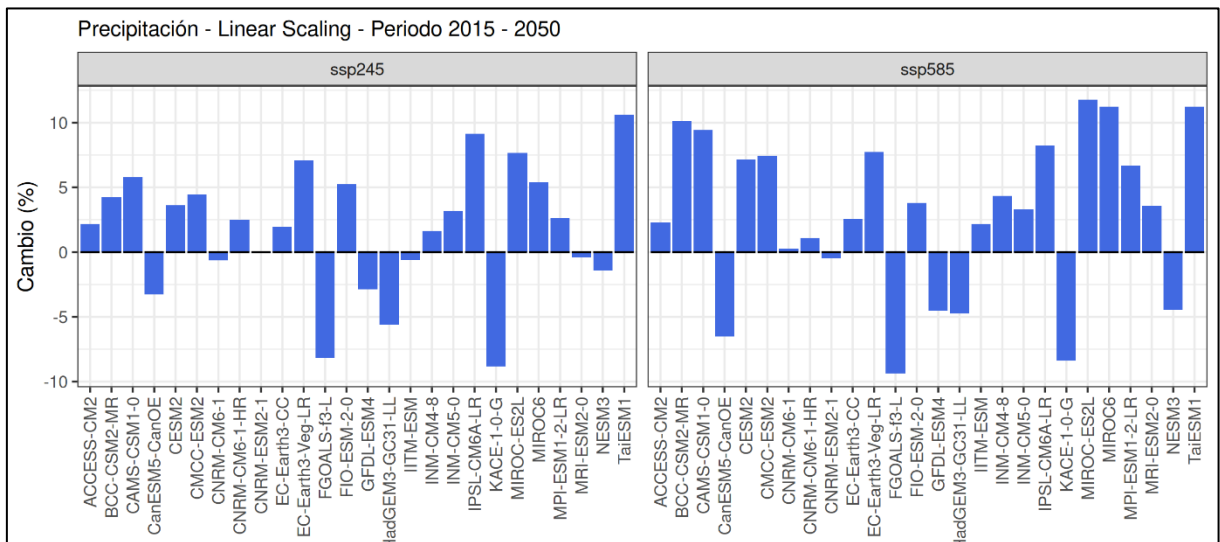


La cuenca del río Cajamarquino muestra claramente tendencias de incremento de la precipitación en respuesta al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) para el periodo 2015 – 2050.

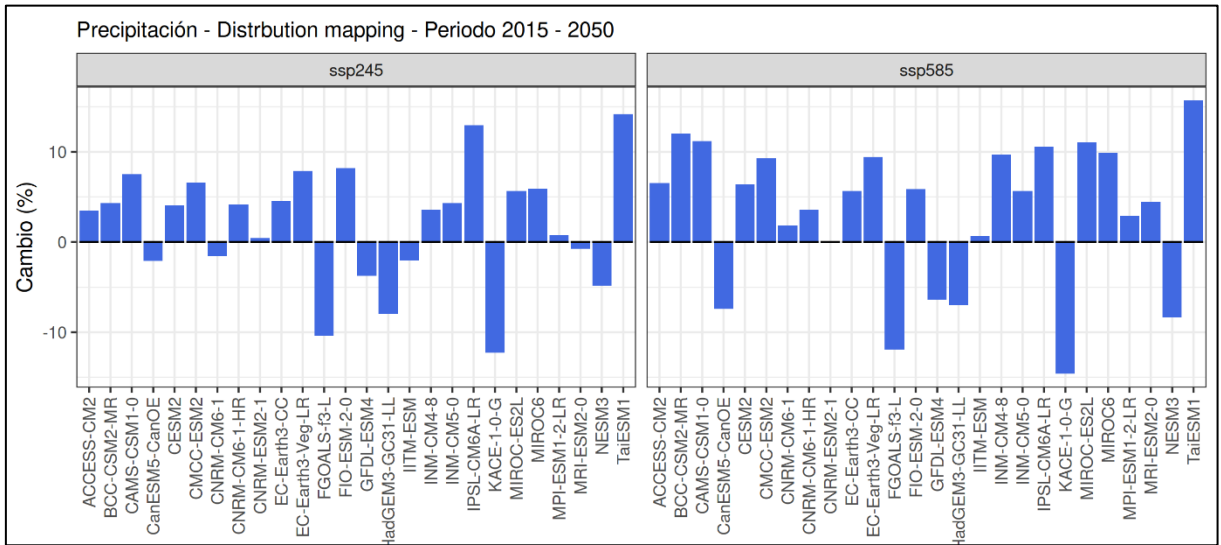
**Figura 50:** Cambios proyectados en la precipitación – Distribution Mapping



**Figura 51:** Cambios proyectados en la precipitación – Linear Scaling



**Figura 52:** Cambios proyectados en la precipitación – Distribution Mapping



## CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Para el estudio se ha considerado 16 estaciones climáticas (variables de temperatura y precipitación) con una longitud de registro de 37 años (1985 – 2022).
- La precipitación acumulada mensual multianual (media) es de 866 mm y la temperatura media máxima es 21°C y la temperatura media mínima es 8.4°C.
- Durante el verano, se registran las mayores precipitaciones (353 mm), con temperaturas promedio bastante agradables, alcanzando una máxima de 21.4 °C y una mínima de 9.6 °C. En otoño, la precipitación disminuye a 283.8 mm, manteniendo temperaturas similares con una máxima de 21 °C y una mínima más fresca de 8.1 °C. El invierno es la estación más seca, con solo 33.4 mm de precipitación y temperaturas más frías, con una máxima de 20 °C y una mínima de 6.8 °C. Finalmente, en primavera, las precipitaciones aumentan a 201.1 mm y las temperaturas suben levemente, con una máxima de 21.1 °C y una mínima de 8.7 °C.
- Para el análisis de la precipitación futura se ha utilizado 26 Modelos de Circulación Global (GSM) según codificación de la World Climatic Research Program (WCRP).
- El modelo climático más pesimista es el KACE-1-0-G que presenta una disminución de precipitación de 13.5% en el año 2050.
- La cuenca del río Cajamarquino muestra claramente tendencias de incremento de temperatura máxima y mínima como respuesta al aumento de las concentraciones de efecto invernadero (GEI).
- En el escenario SSP2-4.5, la precipitación muestra un incremento de 2.16% al 2050, para el escenario SSP5-8.5 se proyecta que la precipitación incremente en 3.18% en el 2050 de acuerdo con el método de Delta Change.
- Según el método de Linear Scaling en el escenario SSP2-4.5, la precipitación muestra un incremento de 1.75 % al 2050, para el escenario SSP5-8.5 se proyecta que la precipitación incremente en 2.92% en el 2050.
- El método de Distribution Mapping indica que en el escenario SSP2-4.5, la precipitación muestra un incremento de 2.03 % al 2050 y el escenario SSP5-8.5 se proyecta que la precipitación incremente en 3.33% en el 2050.



## 5.2. RECOMENDACIONES

- Implementar políticas de gestión sostenible del agua, como sistemas de cosecha de agua de lluvia y almacenamiento eficiente, para enfrentar los cambios proyectados en los patrones de precipitación.
- Desarrollar infraestructura resistente al clima que pueda soportar eventos extremos, como inundaciones, especialmente en áreas vulnerables de la cuenca.
- Fortalecer los sistemas de monitoreo meteorológico y la modelación climática en la región para obtener datos precisos y mejorar las proyecciones futuras, permitiendo una toma de decisiones informada.
- Fomentar prácticas agrícolas adaptativas que incluyan cultivos resistentes al calor y a la variabilidad de las lluvias, así como promover la diversificación de cultivos para reducir el riesgo de pérdidas.
- Implementar programas de conservación y restauración de los ecosistemas que actúan como reguladores naturales del clima, como bosques y humedales, para mejorar la resiliencia de la cuenca ante el cambio climático.
- Desarrollar campañas de educación y sensibilización sobre el cambio climático y sus impactos locales para involucrar a las comunidades en la adopción de medidas adaptativas y sostenibles.
- Incorporar el análisis de riesgos climáticos en la planificación territorial y el desarrollo urbano, priorizando áreas críticas que puedan verse afectadas por las alteraciones climáticas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### BIBLIOGRAFÍA

**AEMET y OECC**, 2021. *Cambio Climático: Bases Físicas. Guía Resumida del Sexto Informe de Evaluación del IPCC. Grupo de Trabajo I*. 1.<sup>a</sup> ed. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 120 pp.

**ANA**, 2015. *Evaluación de recursos hídricos en la cuenca de Crisnejas*. 2.<sup>a</sup> ed. Lima: Autoridad Nacional del Agua. 85 pp.

**GÁMEZ**, 2009. *Texto básico de Hidrología*. 1.<sup>a</sup> ed. Managua, Nicaragua: Editorial Universitaria. 350 pp. ISBN 9789992410097.

**GUSAIN, A., GHOSH, S. y KARMAKAR, S.**, 2020. Added value of CMIP6 over CMIP5 models in simulating Indian summer monsoon rainfall. *Atmospheric Research*, vol. 232. 25 pp. ISSN 01698095. DOI 10.1016/j.atmosres.2019.104680.

**HO, M., NATHAN, R., WASKO, C., VOGEL, E. y SHARMA, A.**, 2022. Projecting changes in flood event runoff coefficients under climate change. *Journal of Hydrology*, vol. 615, pp. 128689. 18 pp. ISSN 00221694. DOI 10.1016/j.jhydrol.2022.128689.

**IPCC**, 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 1.<sup>a</sup> ed. UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press. 3,675 pp.

**MEJÍA**, 2006. *Hidrología Aplicada*. 3.<sup>a</sup> ed. Lima: Fondo Editorial Universidad Nacional. 400 pp.

**SHRESTHA, S., IMBULANA, N., PIMAN, T., CHONWATTANA, S., NINSAWAT, S. y BABUR, M.**, 2020. Multimodelling approach to the assessment of climate change impacts on hydrology and river morphology in the Chindwin River Basin, Myanmar. *Catena*, vol. 188. 15 pp. ISSN 03418162. DOI 10.1016/j.catena.2020.104464.

### LINKOGRAFÍA

**CEPAL**, 2014. *La economía del cambio climático en el Perú* [en línea]. 1.<sup>a</sup> ed. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 250 pp. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12542/1470>.

**SENAMHI**, 2021. *Escenarios Climáticos al 2050 en el Perú* [en línea]. 1.<sup>a</sup> ed. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. 98 pp. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12542/1470>.