UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

“Impacto del cambio climático en la escorrentía superficial en la Cuenca del Río Chacco”.

PRESENTADO POR:

Bach. Jilber Melanio FLORES RAMOS

ASESOR

Mg. Ing. Edward LEÓN PALACIOS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

AYACUCHO - PERÚ

2023

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es evaluar el impacto del cambio climático sobre la escorrentía superficial en la cuenca del rio Chacco. Los impactos del cambio climático aumentan la frecuencia y la intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos como aumento de temperatura, sequias e inundaciones. De acuerdo a los reportes del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) estima que los recursos hídricos serán los más afectados.

Por este motivo la investigación de la tesis es evaluar cómo afecta el cambio climático en sus variables de precipitación y temperatura en sus escenarios futuros tomando el CMIP6 del sexto informe AR6 en sus fases de trayectorias socioeconómicas compartidas SSP245 y SSP585, para ello se planteó una metodología de tres procesos: 1) Análisis Climático; 2) Modelamiento Hidrológico Semidistribuido; 3) Evaluación de la escorrentía superficial mediante flujo de caudal bajo escenarios futuros de cambio climático. El primer proceso consiste en tomar 10 modelos climáticos globales y realizar una corrección por BIAS con los datos observados PISCO del periodo 1981-2014 y se realiza un escalamiento estadístico de mapeo de cuantiles para el periodo futuro de 2020 a 2100 de las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima. El segundo proceso se realizó un modelamiento hidrológico semidistribuido SWAT para calibrar y validar los parámetros del modelo se tomó los datos de aforo del periodo 1995 hasta 2001. El tercer proceso se simulo el modelo hidrológico semidistribuido SWAT calibrado y validado tomando datos futuros de precipitación, temperatura máxima y mínima para obtener el flujo de caudal futuros.

Los resultados se encontró teniendo en cuenta las variables independientes de precipitación y temperatura tomando como tiempo de medida la media mensual para determinar la escorrentía superficial mediante flujo de caudal, tomando las trayectorias socioeconómicas compartidas en sus

versiones de SSP245 y SSP585 se muestra la tendencia a incrementarse en sus proyecciones futuras debido al cambio climático en el SSP245 en sus tres clasificaciones de FC (2020-2039) se incrementa en 1.13%, en FM (2040-2069) en 27.90% y FL (2070-2100) en 59.44% tomando como comparación los datos observados de PISCO en el periodo (1981-2014).

En el SSP585 en sus tres clasificaciones de FC (2020-2039) se incrementa en 3.85%, en FM (2040-2069) en 47.95% y FL (2070-2100) en 143.74% tomando como comparación los datos observados de PISCO en el periodo (1981-2014).

Para la tercera variable de nivel de nieve se aplicó el Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve (NDSI) para las imágenes satelitales del periodo de 1995 hasta 2001 donde se aprecia que en toda la delimitación de la cuenca de investigación no existe nieve o cumbres de cordillera con glaciares para ver su impacto del cambio climático con escenarios futuros. Por lo tanto, se concluye que no existe nivel de nieve en la cuenca de investigación

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the impact of climate change on surface runoff in the Chacco river basin. The impacts of climate change increase the frequency and intensity of extreme weather events such as increased temperatures, droughts and floods. According to reports from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), it estimates that water resources will be the most affected.

For this reason, the research of the thesis is to evaluate how climate change affects its precipitation and temperature variables in its future scenarios, taking the CMIP6 of the sixth AR6 report in its phases of shared socioeconomic trajectories SSP245 and SSP585, for which a methodology was proposed. of three processes: 1) Climate Analysis; 2) Semi-distributed Hydrological Modeling; 3) Evaluation of surface runoff by flow flow under future climate change scenarios. The first process consists of taking 10 global climate models and performing a BIAS correction with the observed PISCO data from the period 1981-2014 and a statistical scaling of quantile mapping is performed for the future period from 2020 to 2100 of the precipitation variables, maximum temperature and minimum temperature. The second process was a SWAT semi-distributed hydrological modeling to calibrate and validate the model parameters, gauging data was taken from the period 1995 to 2001. The third process simulated the calibrated and validated SWAT semi-distributed hydrological model taking future data on precipitation, temperature maximum and minimum to obtain future flow rates.

The results were found taking into account the independent variables of precipitation and temperature, taking the monthly average as the measurement time to determine the surface runoff by means of flow, taking the socioeconomic trajectories shared in their versions of SSP245 and SSP585, the tendency to increase is shown. in its future projections due to climate change in the

SSP245 in its three classifications of FC (2020-2039) increases by 1.13%, in FM (2040-2069) by 27.90% and FL (2070-2100) by 59.44% taking as comparison of the observed data from PISCO in the period (1981-2014).

In the SSP585 in its three classifications of FC (2020-2039) it increases by 3.85%, in FM (2040-2069) by 47.95% and FL (2070-2100) by 143.74% taking as a comparison the data observed from PISCO in the period (1981-2014).

For the third variable of snow level, the Normalized Snow Differentiation Index (NDSI) was applied to the satellite images of the period from 1995 to 2001, where it can be seen that in the entire delimitation of the research basin there is no snow or mountain peaks. with glaciers to see their impact of climate change with future scenarios. Therefore, it is concluded that there is no level of snow in the research basin.

INTRODUCCION

La región del altiplano andino del Perú no es inmune a los problemas del cambio climático, como lo demuestran las lluvias erráticas, la sequía, el clima frío, las inundaciones y los cambios en la composición de la comunidad vegetal (Oscanoa, 2016). Por lo tanto, es necesario evaluar el impacto del cambio climático en la escorrentía superficial en las proyecciones futuras. (ANA, 2014).

Como informa regularmente el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), informa sobre el estado actual del cambio climático y sus proyecciones futuras; proporciona herramientas de investigación como la serie CMIP6 de modelos climáticos globales. En este estudio, la disponibilidad del modelo climático global CMIP6 se utiliza para estudiar y evaluar el cambio climático a largo plazo bajo diferentes escenarios futuros con trayectorias socioeconómicas comunes SSP245 y SSP585, que son pesimistas y optimistas. Este estudio evalúa el impacto del cambio climático en la escorrentía superficial en el período 2020 a 2100 (CMIP, 2023), (CMIP, 2023)

Se realizó una investigación de la cuenca de estudio utilizando el modelo de Lutz Scholtz, es un modelo hidrológico combinado porque cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance Hídrico – Modelo Determinístico). Y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso Markoviano – Modelo Estocástico), (Najarro, 2015) realizo los parámetros del modelo Lutz Scholtz para la generación de caudales mensuales medios específicos en la cuenca del rio Chacco.

El modelo escogido para la investigación es la “Soil and Water Assessment Tool” (SWAT), utilizada por la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) como herramienta de planificación de los usos del suelo y de amplio sector de investigadores de todo el mundo,

porque es el programa de modelización ambiental más exhaustivo y con base teórica ampliamente explicada.

El cambio climático se define como la variación del estado del clima, y que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios; es así que distintos sectores buscan respuestas sobre el comportamiento del clima futuro y cómo esta los puede afectar; motivados por la búsqueda de dichas respuestas, se crearon diversas instituciones a nivel mundial, siendo el más importante el panel intergubernamental del cambio climático (IPCC), quienes en su último reporte (AR6) estiman que los impactos más significativos para América Latina es sobre los ríos y lagos, los mismo que están directamente relacionados con la oferta hídrica (IPCC, 2023).

En simples palabras, para la evaluación del cambio climático y su interés en el efecto hidrológico, los GCM permiten obtener la precipitación y temperatura futura, y con el uso de un modelo hidrológico se obtiene el caudal futuro en la cuenca de interés, es allí donde se puede evaluar su comportamiento futuro (CMIP, 2023).

DEDICATORIA

A dios, fuente de fe, esperanza y todo cuantas bendiciones

y paz, por todo lo que me ha dado en mi vida

Al amor de mi vida, Maria Carla Ore Cuba, por

Apoyarme en todo

Agradecimientos

- Agradezco a mi familia, especialmente a mi madre, por sus valiosos consejos. También quiero expresar mi agradecimiento a mi pareja, quienes me brindaron un apoyo incondicional en todo momento.
- Asimismo, deseo destacar la importancia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma mater y orgullo de la región de Ayacucho, donde recibí una sólida formación académica.
- Quiero reconocer a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, quienes transmitieron conocimientos de manera determinante, contribuyendo significativamente a mi desarrollo profesional.
- Además, agradezco una vez más a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por su valioso aporte en mi formación académica y profesional.
- Por último, quiero expresar mi profunda gratitud al Ing. Edward León Palacios por su apoyo constante e incondicional en la realización de este trabajo.

INDICE

1. Capítulo I Planteamiento del Problema 1
1.1. Descripción del Problema 1
1.1.1. Descripción de la realidad problemática mundial 1
1.1.2. Descripción de la realidad problemática nacional 1
1.1.3. Descripción de la realidad problemática regional 2
1.2. Delimitación del problema 2
1.2.1. Espacial (geográfica) 2
1.2.2. Temporal 3
1.2.3. Temática y unidad de análisis 3
1.3. Formulación del problema 3
1.3.1. Problema general 3
1.3.2. Problemas específicos 3
1.4. Justificación e importancia 4
1.5. Limitaciones de la investigación 4
1.6. Objetivos 4
1.6.1. Objetivo general 4
1.6.2. Objetivos específicos 4
2. Capítulo II 5
2.1. Antecedentes 5
2.1.1. Investigaciones internacionales 5
2.1.2. Investigaciones nacionales 7
2.2. Bases teóricas 10
2.2.1. Cambio climático 10
2.2.1.1. IPCC 11
2.2.1.2. Sexto reporte (AR6) 11
2.2.1.3. Balance energético de la tierra 12
2.2.1.4. Impactos del cambio climático 13
2.2.1.5. Modelos climáticos globales (GCM) 13
2.2.1.6. Modelos climáticos regionales (RCM) 14
2.2.1.7. Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6) 15

2.2.1.8. Escalamiento espacial (Downscaling) 17
2.2.1.9. Escalamiento estadístico 17
2.2.1.10. Mapeo de cuantiles (QM) 18
2.2.2. Temperatura 19
2.2.3. Precipitación 19
2.2.4. Niveles de nieve 20
2.2.4.1. Glaciar 20
2.2.4.2. Glaciares tropicales 21
2.2.4.3. Teledetección en Nieve 22
2.2.4.4. Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve (NDSI) 23
2.2.5. Escorrentía Superficial 23
2.3. Marco conceptual 25
2.3.1. Cuenca hidrográfica 25
2.3.2. Modelos climáticos 25
2.3.3. PISCO 25
2.3.4. El modelo SWAT 26
2.3.5. SWAT Calibration and Uncertainty Programs (SWAT-CUP) 28
2.3.6. Sistema de Información Geográfica – SIG 29
2.4. Marco Legal 29
2.4.1. Ley de Creación, Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) 29
3. Capítulo III Método de Investigación 31
3.1. Enfoque 31
3.2. Alcance (exploratorio, descriptivo, correlacional, explicativo) 31
3.3. Diseño de investigación (tipos: experimental y/o no experimental) 31
3.4. Población y muestra 32
3.5. Hipótesis 32
3.5.1. Hipótesis general 32
3.5.2. Hipótesis específicas 32
3.6. Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional 32
3.6.1. Operacionalización de variables 32

3.6.2. Variables 33
3.7. Técnicas e instrumentos 33
3.7.1. Técnicas 33
3.7.2. Instrumentos 35
3.8. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información 36
3.8.1. Descriptiva 36
3.8.2. Inferencial 36
3.8.3. Software y paquete estadístico 36
3.9. Desarrollo del trabajo de tesis 36
3.9.1. Información básica del área de estudio 37
3.9.1.1. Punto de aforo 37
3.9.1.2. Ubicación política 37
3.9.1.3. Ubicación geográfica 38
3.9.1.4. Autoridad Nacional del Agua (ANA) 38
3.9.1.5. Red Hídrica 39
3.9.1.6. Sistematización de la información requerida 39
3.9.2. Metodología 47
3.9.2.1. Primera etapa: Análisis Climático 47
3.9.2.2. Segunda etapa: Modelo hidrológico 48
3.9.2.3. Tercera etapa: Evaluación de escorrentía superficial observado y futuro 50
3.9.3. Selección de modelos climáticos globales (GCM) 50
3.9.4. Escalamiento estadístico 53
3.9.5. Modelamiento hidrológico 55
3.9.5.1. Variables de entrada 55
3.9.5.2. Periodos de referencia 56
..... 57
3.9.5.3. Calibración y validación del modelo 57
3.9.6. Tendencias climáticas futuras 60
3.9.6.1. Tendencia futura de la precipitación media mensual 60
3.9.6.2. Tendencia futura de la temperatura máxima media mensual 66
3.9.6.3. Tendencia futura de la temperatura mínima media mensual 72

4. Capítulo IV Resultados 79
4.1. Contrastación de hipótesis 79
4.2. Análisis e interpretación 83
5. Capítulo V 85
5.1. Conclusiones 85
5.2. Recomendaciones 85
5.3. Trabajos futuros 86
6. Referencias 87
7. ANEXO 99
7.1. ANEXO 01 Códigos en lenguaje de programación python para descargar imágenes LandSat 5 para el periodo de 1995 hasta 2001 99
7.2. ANEXO 2 codisgo de lenguaje de progrmacion R para procesar las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima mediante el escalamiento estadístico de mapeo de cuantiles y generar los escenarios futuros climáticos de la CMIP6 103
7.3. ANEXO 03 Escalamiento estadístico de la variable de precipitación aplicando el mapeo de cuantiles de los modelos climáticos globales utilizados en la investigación 110
7.4. ANEXO 04 datos de precipitacion promedio mensuales extraida de PISCO para las 8 estaciones virtuales tomados en la cuenca de estudio 115

Índice de tablas

Tabla 1: métodos de corrección de sesgo para precipitación y temperatura..... 18

Tabla 2: Operacionalización de variables identificadas..... 33

Tabla 3: Variables de la investigación..... 33

Tabla 4: Coordenadas del punto de aforo según la proyección WGS-1984-UTM-18S 37

Tabla 5: Cuadrantes de la carta Geográfica Nacional ubicadas la cuenca del rio Chacco 38

Tabla 6: La cuenca del rio Chacco según la Unidad Hidrográfica 39

Tabla 7: Obtención de imagen satelital..... 42

Tabla 8: Tabla de 4 tipos de usos de suelo aplicado a la cuenca de investigación 44

Tabla 9: Tabla de clases de suelo de acuerdo a la clasificación FAO 45

Tabla 10: Modelos Climáticos utilizados en la investigación 51

Tabla 11: Tabla de sesgo y correlación (R2) entre los modelos seleccionados y datos PISCO para la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima. 53

Tabla 12: Periodos de referencia y cantidad de información usada en el modelo SWAT..... 56

Tabla 13: Tabla de caudal aforado en el puente Chacco 58

Tabla 14: Tabla de calibración y validación tomando en cuenta 4 tipos de usos de suelo..... 59

Tabla 15: Tabla de parámetros ajustados de la calibración del modelo hidrológico SWAT..... 59

Tabla 16: Tabla de comportamiento de la precipitación media mensual de los 10 GCM y los datos observados SSP245 64

Tabla 17: Tabla de comportamiento de la precipitación media mensual de los 10 GCM y los datos observados SSP585 65

Tabla 18: Tabla de comportamiento de la temperatura máxima media mensual de los 10 GCM y los datos observados SSP245..... 70

Tabla 19: Tabla de comportamiento de la temperatura máxima media mensual de los 10 GCM y los datos observados SSP585 71

Tabla 20: Tabla de comportamiento de la temperatura mínima media mensual de los 10 GCM y los datos observados SSP245 76

Tabla 21: Tabla de comportamiento de la temperatura mínima media mensual de los 10 GCM y los datos observados SSP585 77

Tabla 22: Tabla de comparación de la escorrentía superficial entre observado y los escenarios futuros de cambio climático SSP245 79

Tabla 23: Tabla de comparación de la escorrentía superficial entre observado y los escenarios futuros de cambio climático SSP585 80

Índice de figuras

Figura 1: Balance energético de la Tierra. Adviértase que los flujos de energía están indicados en vatios por metro cuadrado (NUCLEOS, 2014)..... 12

Figura 2: Componentes de los modelos climáticos globales (ICAM, 2023) 14

Figura 3: Dominios de las simulaciones RegCM4 (a) CORDEX-SA, (b) REGIONAL-Chile. (c) Regiones de análisis (7 macrozonas) (CR, 2018) 15

Figura 4: Proyecciones de (a) temperatura y (b) precipitación global para el siglo XXI, bajo escenarios del proyecto CMIP6. Adaptado de Tebaldi et al. (2021). 17

Figura 5: Distribución global de los glaciares tropicales y delimitación de los trópicos desde el punto de vista glaciológico 21

Figura 6: Adaptación del atlas Perú, sectores de las Cordilleras del Perú..... 22

Figura 7: Representación sobre el funcionamiento del software SWAT sobre una unidad de respuesta hidrológica (HRU). Fuente: Documentación teórica SWAT 2009. 27

Figura 8: Mapa de Ubicación y Localización de la cuenca del rio Chacco..... 38

Figura 9: Variación altitudinal de la cuenca del rio Chacco..... 40

Figura 10: Uso de suelo clasificación MINAM 2015..... 41

Figura 11: Uso de suelo clasificación NDVI 1995 41

Figura 12: Imagen satelital 1995 descargado y procesado 42

Figura 13: Uso de suelo clasificación imagen satelital 1995-A..... 43

Figura 14: Uso de suelo clasificación imagen satelital 1995-B..... 43

Figura 15: Mapa de clasificación de suelos FAO en la cuenca de estudio..... 45

Figura 16: Mapa de pendientes de la cuenca del río..... 46

Figura 17: Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas en la región de Ayacucho 47

Figura 18: Esquema metodológico para el análisis climático 48

Figura 19: Esquema hidrológico para el modelo hidrológico SWAT 49

Figura 20: Esquema metodológico para la generación de caudales futuros 49

Figura 21: Esquema metodológico para la evaluación de las variables 50

Figura 22: Grafico de 8 puntos virtuales tomados para el modelo SWAT 52

Figura 23: Grafico de sesgo y correlación (R2) entre los modelos seleccionados y datos PISCO para la precipitación 52

Figura 24: Grafico de Mapeo de cuantiles para escalamiento de precipitación SSP245 54

Figura 25: Grafico de Mapeo de quantiles para escalamiento de temperatura máxima SSP245 . 54

Figura 26: Mapeo de cuantiles para escalamiento de temperatura mínima SSP245 55

Figura 27: Variable de precipitación usado en el modelo hidrológico SWAT 55

Figura 28: Variable de temperatura usado en el modelo hidrológico SWAT 56

Figura 29: Clasificación en HRU en modelo hidrológico semidistribuido SWAT 57

Figura 30: Grafico de aforo de caudal en el puente Chacco 58

Figura 31: Grafico de precipitación escalada SSP245 FC (2020-2039) 61

Figura 32: Grafico de precipitación escalada SSP245 FM (2040-2069) 61

Figura 33: Grafico de precipitación escalada SSP245 FC (2070-2100) 62

Figura 34: Grafico de precipitación escalada SSP585 FC (2020-2039) 62

Figura 35: Grafico de precipitación escalada SSP585 FC (2040-2069) 63

Figura 36: Grafico de precipitación escalada SSP585 FC (2070-2100) 63

Figura 37: Grafico de comportamiento de precipitación SSP245 media mensual 64

Figura 38: Grafico de comportamiento de precipitación SSP585 media mensual 65

Figura 39: Grafico de temperatura máxima escalada SSP245 FC (2020-2039) 67

Figura 40: Grafico de temperatura máxima escalada SSP245 FC (2040-2069) 67

Figura 41: Grafico de temperatura máxima escalada SSP245 FC (2070-2100) 68

Figura 42: Grafico de temperatura máxima escalada SSP585 FC (2020-2039) 68

Figura 43: Grafico de temperatura máxima escalada SSP585 FC (2040-2069) 69

Figura 44: Grafico de temperatura máxima escalada SSP585 FC (2070-2100) 69

Figura 45: Grafico de comportamiento de temperatura máxima SSP245 media mensuak 70

Figura 46. Gráfico de comportamiento de temperatura máxima SSP585 promedio en un año 71

Figura 47: Grafico de temperatura mínima escalada SSP245 FC (2020-2039) 73

Figura 48: Grafico de temperatura mínima escalada SSP245 FC (2040-2069) 73

Figura 49: Grafico de temperatura mínima escalada SSP245 FC (2070-2100) 74

Figura 50: Grafico de temperatura mínima escalada SSP585 FC (2020-2039) 74

Figura 51: Grafico de temperatura mínima escalada SSP585 FC (2040-2069) 75

Figura 52: Grafico de temperatura mínima escalada SSP245 FC (2070-2100) 75

Figura 53: Gráfico de comportamiento de temperatura mínima SSP245 promedio en un año 76

Figura 54: Gráfico de comportamiento de temperatura mínima SSP585 promedio en un año 77

Figura 55: Grafico del comportamiento del caudal de la escorrentía superficial en el escenario SSP245 promedio anual 80

Figura 56: Grafico del comportamiento del caudal de la escorrentía superficial en el escenario SSP585 promedio anual 81

Figura 57: Grafico de la cuenca de investigación aplicando el Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve (NDSI) para la imagen satelital del año 1995 83

Figura 58: Datos de precipitación promedio mensuales extraida de PISCO para los 8 estaciones virtuales tomados en la cuenca de estudio 124

GLOSARIO

Precipitación. Fenómeno atmosférico que consiste en el aporte de agua a la tierra en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo (NTE OS060, 2017).

Temperatura. La temperatura es un indicador que muestra el aumento o disminución de la energía térmica del aire como resultado del intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra.

Cambio climático. Se define cambio climático como la modificación global del clima de la Tierra. Esta alteración puede ser causada tanto por factores naturales como por la actividad humana, y afecta a diversos parámetros climáticos como la temperatura, las precipitaciones, la nubosidad, entre otros, en diferentes escalas de tiempo.

Nieve. La nieve se caracteriza como una forma de precipitación en estado sólido. Consiste en pequeños cristales de hielo con temperaturas por debajo de los 0 °C. Estos cristales se forman en la atmósfera a través de la congelación de gotas de agua y, al colisionar, se unen para formar los copos de nieve.

Glaciar. Los glaciares son grandes masas de hielo que se acumulan en áreas elevadas, por encima de la línea de nieve permanente, o en regiones polares, y que se desplazan lentamente hacia áreas más bajas, como si fueran ríos de hielo.

Escorrentía superficial. Se refiere al agua proveniente de la lluvia que fluye sobre la superficie y se concentra en los cauces. El escurrimiento superficial sigue las características topográficas, geológicas, climáticas y vegetativas de la cuenca en la que se encuentra.

Acrónimos

ANA : Autoridad Nacional del Agua

AR6 IPCC : El Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas

CCMIP : Proyecto de inter-comparación de modelos de clima acoplados

FAO : Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

GCM : Modelo Circulación General (Modelo Climático Global)

GIS : Sistema de Información Geográfica

IPCC : Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o Panel Intergubernamental del Cambio Climático

NDSI **:** Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve

PISCO : (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations)

RCP : trayectoria de concentración representativa

SENAMHI : Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

SSP : trayectorias socioeconómicas compartidas

SWAT : Herramienta para la Evaluación del Suelo y Agua para una Cuenca Hidrográfica

Capítulo I

Planteamiento del Problema

1.1. Descripción del Problema

1.1.1. Descripción de la realidad problemática mundial

El cambio climático es uno de los mayores problemas ambientales, donde las emisiones de gases de efecto invernadero han afectado el clima desde la época preindustrial, tales como: aumento de la temperatura global, reducción de la masa de hielo, cambios en las precipitaciones y aumento de la frecuencia del cambio climático. evento extremo (IPCC, 2014a).

El cambio climático produce cambios climáticos que afectan las condiciones hidrológicas y tienen diversos impactos en los sistemas de recursos hídricos globales. Los impactos son propios para cada región del mundo, el cual está sujeto al comportamiento futuro de las variables climáticas de interés hidrológico como la precipitación y temperatura, y para conocer dicho comportamiento futuro se usa una serie de modelos avanzados de interacción Océano-Atmosfera denominados: modelos climáticos globales (GCM, por sus siglas en inglés). Actualmente los GCM se trabaja bajo unos escenarios de trayectorias de concentración de gases de efecto invernadero (RCP, por sus siglas en inglés).

1.1.2. Descripción de la realidad problemática nacional

En el Perú ya se viene observando una serie de cambios en el comportamiento natural del clima y en los caudales de los ríos, además se ha identificado ciudades con desbalance hídrico. Durante la última década, Perú ha demostrado ser vulnerable al cambio climático severo, como lo demuestran principalmente las pérdidas económicas. En este contexto, estos eventos pueden agudizarse aún más si intervienen otros mecanismos que afectan negativamente el crecimiento económico; por ejemplo, la pérdida de los recursos hídricos disponibles debido al aumento de la temperatura del mar, la pérdida de la agricultura primaria y las diferencias en las temporadas

de crecimiento y los efectos directos de la alta humedad o la sequía, la pérdida de biodiversidad y/o los efectos negativos en la salud humana (ANA, 2014).

1.1.3. Descripción de la realidad problemática regional

Recientemente, en la región Ayacucho se ha observados que el comportamiento hidrológico de la región pareciera estar cambiando debido a las condiciones de clima cambiante presentes en el planeta. El incremento en la frecuencia de ocurrencia de inundaciones y de sequías, de mayor intensidad o severidad, es solamente uno de los cambios que pareciera estar sufriendo la región y que está afectando directamente los planes de gestión en la región; por este motivo se hace necesaria una evaluación de la disponibilidad hídrica en las cuencas afectadas bajo escenarios de cambio climático (CENEPRED, 2014).

La presente investigación consiste en evaluar los patrones climáticos de temperatura, precipitación y nivel de hielo el impacto sobre la escorrentía superficial mediante un modelo hidrológico semidistribuido para el periodo 2015 – 2100 bajo el escenario de cambio climático SSP5-8.5 y SSP2-4.5 del proyecto CMIP6.

La agricultura en la región de Ayacucho será la más afectada por el cambio climático, y se espera que cultivos como frijoles, guisantes y maíz feculento disminuyan significativamente para 2050, según un estudio publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Las Naciones Unidas. Agricultura (FAO).

1.2. Delimitación del problema

1.2.1. Espacial (geográfica)

La cuenca del río Chacco se encuentra en la región de Ayacucho y tiene un rango de elevación de aproximadamente 2.350 metros. Hasta los 4.200 metros sobre el nivel del mar, delimitada por toda la superficie que desemboca en el punto de medición elegido en el puente Río Chacco, con una superficie total de 1.096,81 km².

1.2.2. Temporal

Debido a la drástica variación global del clima que se viene expresando en forma de cambios en la temperatura, precipitación y nivel de nieve en las últimas décadas, se cuenta con datos mensuales de aforo de caudal en el puente Chacco en el periodo del año 1995 hasta el año 2001 que nos ayuda a calibrar la escorrentía superficial con el modelo hidrológico semidistribuido SWAT, tomamos una proyección de cambio climático periodo 2015-2100.

1.2.3. Temática y unidad de análisis

La temática de la investigación es de que manera impacta el cambio climático realizado mediante el modelo de circulación general CMIP6 en sus parámetros como temperatura, precipitación y nivel de nieve bajo sus diferentes escenarios SSP y su cálculo en modelamiento hidrológico semidistribuido en la escorrentía superficial bajo escenarios futuros de cambio climático de la cuenca del rio Chacco tomando como punto de aforo el puente Chacco.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo impacta el cambio climático en el escurrimiento superficial en la cuenca del rio Chacco?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cómo incide la temperatura periodo 2020-2100 en la escorrentía superficial en la cuenca del rio Chacco?
- ¿Cómo incide la precipitación periodo 2020-2100 en la escorrentía superficial en la cuenca del rio Chacco?
- ¿Cómo incide el nivel de nieve periodo 2020-2100 en la escorrentía superficial en la cuenca del rio Chacco?

1.4. Justificación e importancia

El presente trabajo tiene una relevancia fundamental en el progreso social y económico de la región, puesto que posibilitaría a los diferentes niveles de gobierno, tanto locales como regionales y nacionales, así como a entidades públicas y privadas, adoptar las medidas de prevención adecuadas para evitar desastres naturales, pérdidas económicas y, sobre todo, salvaguardar la vida humana.

La escorrentía superficial como flujo de caudal futuros calculados teniendo los variables futuros de precipitación y temperatura ayudaran a las entidades de gestión de riesgo de desastre a mitigar y adaptarse al cambio climático.

1.5. Limitaciones de la investigación

Limitación de datos de aforo del Puente de rio Chacco porque solo se cuenta de 7 años para realizar la calibración y validación mediante el modelo hidrológico semidistribuido SWAT.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Evaluar el impacto del cambio climático en el escurrimiento superficial de la cuenca del rio Chacco.

1.6.2. Objetivos específicos

- Evaluar la incidencia de la temperatura periodo 2020-2100 en la escorrentía superficial en la cuenca del rio Chacco.
- Evaluar la incidencia de la precipitación periodo 2020-2100 en la escorrentía superficial en la cuenca del rio Chacco.
- Evaluar la incidencia del nivel de nieve periodo 2020-2100 en la escorrentía superficial en la cuenca del rio Chacco.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes

2.1.1. Investigaciones internacionales

(Mejía, 2022) La Universidad de Chile llevó a cabo un estudio de tesis titulado "Análisis de la Variación Temporal de la Disponibilidad de Agua en las Cuencas de Punta Arenas y Vertientes del Atlántico en Diferentes Escenarios de Cambio Climático (2021-2050)". El objetivo principal de este trabajo es examinar los cambios en la oferta y demanda de agua a lo largo del tiempo bajo diferentes escenarios y modelos de cambio climático para el período comprendido entre 2021 y 2050. Para lograr esto, se utilizó una metodología que combina un modelo hidrológico superficial y un modelo subterráneo, empleando dos modelos de circulación general (GCM) en los escenarios de emisiones RCP 8.5 y RCP 6.0. Los resultados obtenidos incluyen proyecciones de precipitación y temperatura basadas en el proyecto CMIP5. El resultado estima que la precipitación aumentaría un 2.5 y un 8.5%, las temperaturas medias aumentarían de 1.2 a 1.6 °C, en cuanto a la disponibilidad hídrica se incrementaría un 0.7 y el 7.8 % promedio anual.

(Ramirez, 2020) La Universidad de Chile realizó una investigación de tesis llamada "Análisis de Sensibilidad Hídrica ante Proyecciones de Cambio Climático en 25 Cuencas Chilenas en Régimen Natural". El objetivo principal fue comprender los cambios en los caudales promedio en periodos futuros para desarrollar Curvas de Variación Estacional y Duración, facilitando la gestión y toma de decisiones en la asignación de Derechos de Agua. Además, se estimaron las variaciones en los caudales máximos para prevenir inundaciones y diseñar infraestructuras hidráulicas adecuadas. Se utilizaron datos de precipitación y temperatura de tres Modelos Globales de Circulación y se calcularon promedios para el período

histórico (1975-2015). De las 25 cuencas estudiadas, tres presentaron un error absoluto menor al 10% durante todo el año y cuatro tuvieron un error menor al 5% en invierno. Además, cuatro cuencas tuvieron un error menor al 10% en la temporada de deshielo. Estos resultados son valiosos para la gestión y planificación de los recursos hídricos en las cuencas estudiadas.

(Espinosa Ballén, 2019) Universidad Nacional de Colombia, realizó un trabajo de tesis de Magister en Ingeniería – Recursos Hidráulicos titulado" Impacto Del Cambio Climático Y De Los Cambios Del Uso Del Suelo En Los Caudales De La Cuenca Del Río Frío" El propósito de este estudio consistió en evaluar el impacto del cambio climático y la transformación de los usos del suelo en la cuenca del río Frío, ubicada en la parte alta de la cuenca del río Bogotá. Se llevaron a cabo estimaciones de los caudales en la estación Puente La Virginia hasta el año 2030. Para lograrlo, se utilizaron escenarios de cambio climático y proyecciones de usos del suelo, aplicando el modelo hidrológico SWAT a través de la plataforma ArcSWAT y un modelo de autómata celular utilizando la herramienta MOLUSCE de QGIS. Este enfoque permitió analizar de manera integral los posibles efectos en el sistema hídrico de la cuenca, considerando tanto las variaciones climáticas como las modificaciones en el uso del suelo.

(Gonzalez, 2022) Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, realizó un trabajo de tesis titulado" Modelación Hidrológica Y Flujo De Sedimentos Afluentes Al Embalse El Yeso Mediante Modelo Swat" El objetivo principal, se enfoca en estimar el caudal de sedimentos que fluye hacia el Embalse El Yeso mediante la calibración, validación y extrapolación de parámetros obtenidos a partir de un modelo hidrológico desarrollado en una cuenca delimitada por la estación Río Maipo en El Manzano, la cual incluye dicho embalse. Las actividades principales realizadas comprendieron la recopilación de información sobre el uso y manejo del software SWAT, la creación de un registro de estaciones con datos pluviométricos, meteorológicos y sedimentométricos en el área de estudio, a través de la búsqueda en las plataformas de la Dirección General de Aguas (DGA) y del Centro de Ciencias

del Clima y Resiliencia (CR2). De esta manera, se logró obtener una base de datos de entrada para el modelo.

(Gallo & Iza, 2018) La Universidad Técnica de Cotopaxi, en Ecuador, llevó a cabo un estudio de tesis titulado "Modelamiento con SWAT y GR2M para la Subcuenca del Río Guayllabamba". El aumento de la población y la expansión urbana están ejerciendo presión sobre los recursos hídricos en la subcuenca del Río Guayllabamba (SRG). En la actualidad, la demanda de este recurso ha aumentado, afectando las fuentes de agua superficial, subterránea, las zonas de recarga y el cauce del río. Por esta razón, se realizó un modelamiento hidrológico en la SRG con el objetivo de entender el comportamiento del caudal en la zona. En este estudio, se compararon dos modelos hidrológicos: SWAT (semi-distribuido) y GR2M (agregado), utilizando un periodo de 22 años (1983-2004) para la calibración y 9 años (2005-2013) para la validación. Estos modelos fueron evaluados mediante los índices de Nash-Sutcliffe y el coeficiente de determinación (R2). Se consideraron los datos de precipitación y temperatura de 19 estaciones meteorológicas y una estación hidrológica

2.1.2. Investigaciones nacionales

(Bruno, 2023), La Universidad Nacional Agraria de La Molina realizó una tesis doctoral titulada "Análisis de fuentes de incertidumbre en el modelo climático Cmip6 para la temperatura climática de América del Sur, y realmente necesita métodos robustos de pronóstico climático que tengan en cuenta los modelos climáticos y ayudar a las organizaciones a hacer planes para medidas preventivas utilizó modelos climáticos representativos de la sexta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6) con una resolución espacial de 100 km, datos mensuales, período de referencia 1981-2010 y trayectorias socioeconómicas conjuntas SSP2 -4.5 y SSP5-8.5 para el periodo 2015– para el año 2100. Utilizando la región geográfica de América del Sur como área de estudio, se consideró el siguiente enfoque, teniendo en cuenta la ubicación y la fuerza del núcleo del sistema meteorológico en la parte

física; anticiclones en el Pacífico Sur Oriental (APSO), Alta Bolivia (AB) y Baja Amazonía (BA). La incertidumbre en el modelo continúa aumentando hasta 2100, y la temperatura media estacional del aire muestra que hasta 2050 domina la variabilidad interna, ya que la incertidumbre del escenario tiene un impacto regional, continúa aumentando hasta 2100, en contraste con la incertidumbre del modelo It. aumentará hasta 2050 y luego disminuirá.

(Rodas, 2022) La Universidad Nacional de Ingeniería realizó un trabajo de disertación titulado "Evaluación del Cambio Climático y su Impacto en la Disponibilidad Futura de Agua en la Cuenca Capulín-Tacna". Este estudio evalúa el impacto del cambio climático en la disponibilidad futura de agua en la cuenca de Caprina, la cuenca del río Caprina en la región de Tacna. El impacto del cambio climático ha aumentado en los últimos años y, según un informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), se espera que los recursos hídricos en América Latina sean los más afectados. Esto convierte al Perú en un país extremadamente vulnerable en este sentido, sin mencionar la mala distribución de la población en las ciudades costeras y la distribución espacial de los recursos hídricos, lo que determina cambios futuros en el caudal superficial del río Caprina. Para ello se propone un método, que consta principalmente de tres procesos: 1. análisis climático, 2. modelado hidrológico, 3. Evaluación de futuros cambios de tráfico. De febrero a agosto, la oferta de agua disminuyó a 38,8% (RCP4,5) y 41,3% (RCP8,5), mientras que de septiembre a enero la oferta de agua aumentó a 91,5% (RCP4,5) y a 79,2% (RCP8,5).

(Cabezas, 2022) La Pontificia Universidad Católica del Perú realizó un trabajo de tesis titulado "Evaluación de la Erosión de Suelos en la Cuenca del Río Jequetepec bajo Escenarios de Cambio Climático". Las predicciones del estudio sobre la cobertura vegetal y las tasas de sedimentación del uso de la tierra para los embalses son más similares de lo esperado bajo los supuestos en cada uno de los escenarios de cobertura propuestos, así como bajo los escenarios

de cambio climático. Por lo tanto, el modelo SWAT estima que los cambios propuestos no afectarán significativamente la reducción de la capacidad del embalse.

(Jiménez, 2021) La Universidad Nacional Agraria de La Molina realizó un trabajo de tesis titulado “Simulación a escala diaria para efectos de la variabilidad hidrológica de la cuenca del río Tambo”. Este estudio presenta una simulación hidrológica diaria de la cuenca del río Tambo en el sur de Perú para comprender la disponibilidad de agua en diferentes partes de la cuenca y analizar los cambios en sus aspectos hidrológicos y climáticos durante cuarenta años. Para ello, utilizamos el modelo hidrológico SWAT como herramienta que depende de datos como tipos de suelo, cobertura vegetal, modelos digitales de elevación y, por supuesto, datos climáticos. El modelo fue calibrado y validado mediante estadísticos de Nash, PBIAS, RSR y R2, arrojando valores de “bueno” y “satisfactorio” en la escala diaria y valores de “muy bueno” y “bueno” en la escala mensual. Utilizando el modelo, se simularon caudales en 55 subcuencas definidas, se seleccionaron tres subcuencas en las regiones alta, media y baja para analizar la disponibilidad de agua en cada subcuenca. Desde el punto de vista del balance hídrico global de la cuenca, los valores más altos de precipitación, evaporación, caudal base y escorrentía superficial se dieron en la región alta y decrecieron a medida que decrecían. En cuanto a los caudales, se compararon los eventos más extremos a lo largo de varias décadas y se realizó un análisis de robustez.

(Salas, 2019) La Pontificia Universidad Católica del Perú realizó un trabajo de tesis titulado “Evaluación de Carga de Sedimentos en la Cuenca del Río Pitumaca Utilizando el Modelo Swat”. El sector agropecuario representa alrededor del 7% del PIB de nuestro país, y la mayor parte se concentra en la costa del Perú. En cambio, en sierras y selvas el sector crece y se desarrolla menos. Sin embargo, en el distrito de Pitumaca, como en muchas otras comunidades del interior del Perú, las principales actividades económicas son la agricultura, la ganadería y la silvicultura. Entre estas industrias, aproximadamente el 70% de los EAP están

empleados en todo el distrito de Pitumaca. Para apoyar la economía local, las cuencas cultivan una variedad de cultivos, pastos, bosques y ganado en 736 kilómetros cuadrados. Calcule la pérdida de suelo por hectárea y por año utilizando el juego de herramientas SWAT para crear un modelo hidrológico que pueda identificar y medir el alcance de la erosión de la cuenca. Se consigue un buen rendimiento en las simulaciones calibrando y validando el modelo mediante la herramienta SWAT-Cup y calculando la eficiencia del modelo. Los datos climáticos e hidrológicos deben registrarse para completar el modelo, y las redes neuronales con productos PISCO se utilizan para completar los datos climáticos que faltan. Luego se interpolaron los valores para obtener estaciones simuladas en la cuenca, y se detalló la base de datos climáticos utilizando Microsoft Access para su uso en modelos hidrológicos. Además, se requieren imágenes satelitales y el uso de algunos sistemas de información geográfica (SIG). El DEM se obtuvo del sitio web de USGS y utilizó el programa QGIS.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cambio climático

Es un cambio en el estado del clima que puede identificarse mediante mediciones de parámetros climáticos en un largo periodo y mediante pruebas estadísticas produce cambios en el promedio y se nota la variabilidad de sus propiedades y persiste durante un periodo prolongado, generalmente mayor a décadas de años. El cambio climático se debe a procesos naturales internos o forzamientos externos, como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra. (IPCC, 2023).

El cambio climático puede llevar a cambios en los patrones climáticos, como el alargamiento o acortamiento de las estaciones, la variabilidad en la distribución temporal de las precipitaciones y otros fenómenos extremos. Estos cambios pueden tener impactos

significativos en la escorrentía del río, ya sea en términos de cantidad, temporalidad o variabilidad.

El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo en los patrones climáticos de la Tierra, incluyendo temperaturas promedio más altas, cambios en los patrones de precipitación, aumento del nivel del mar y eventos climáticos extremos. Estos cambios son atribuidos en gran medida a las actividades humanas, especialmente la emisión de gases de efecto invernadero que atrapan el calor en la atmósfera y alteran el equilibrio climático natural.

2.2.1.1. IPCC

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) es una organización internacional responsable de evaluar el conocimiento científico sobre el cambio climático. Fue establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) para proporcionar a los formuladores de políticas evaluaciones periódicas de la base científica del cambio climático, sus impactos y riesgos futuros, así como las opciones de respuesta existentes. Adaptarse a ella y reducir su impacto (IPCC, 2023).

2.2.1.2. Sexto reporte (AR6)

La síntesis del Sexto Informe de Evaluación fue completada por el IPCC en su 58ª reunión en Interlaken, Suiza, 13-19 marzo de 2023. Reconoce la interdependencia del clima, los ecosistemas, la biodiversidad y las sociedades humanas. El valor de los diversas formas de conocimiento y los estrechos vínculos entre la adaptación y mitigación del cambio climático. La salud de los ecosistemas, el bienestar humano y el desarrollo sostenible. Sobre la base de múltiples marcos analíticos, incluidos las ciencias físicas y sociales, este informe identifica oportunidades para la acción transformadora que son efectivas, factibles, justas y equitativas utilizando conceptos de transiciones de sistemas y vías de desarrollo resilientes. Se utilizan

diferentes esquemas de clasificación regional para los aspectos físicos, sociales y económicas. (IPCC, 2023b).

2.2.1.3. Balance energético de la tierra

Para el equilibrio energético entre la energía recibida por el sistema atmosfera-océano-tierra que proviene del sol y la emisión de radiación infrarroja de la tierra permiten mantener estable el sistema climático, porque si la radiación que entra fuese mayor que la saliente provocaría un calentamiento y de manera inversa un enfriamiento. Cualquier perturbación en el balance de radiación provocado por causas naturales o humanas ocasionaría un forzamiento radioactivo que desencadenaría en el cambio climático (NUCLEOS, 2014).

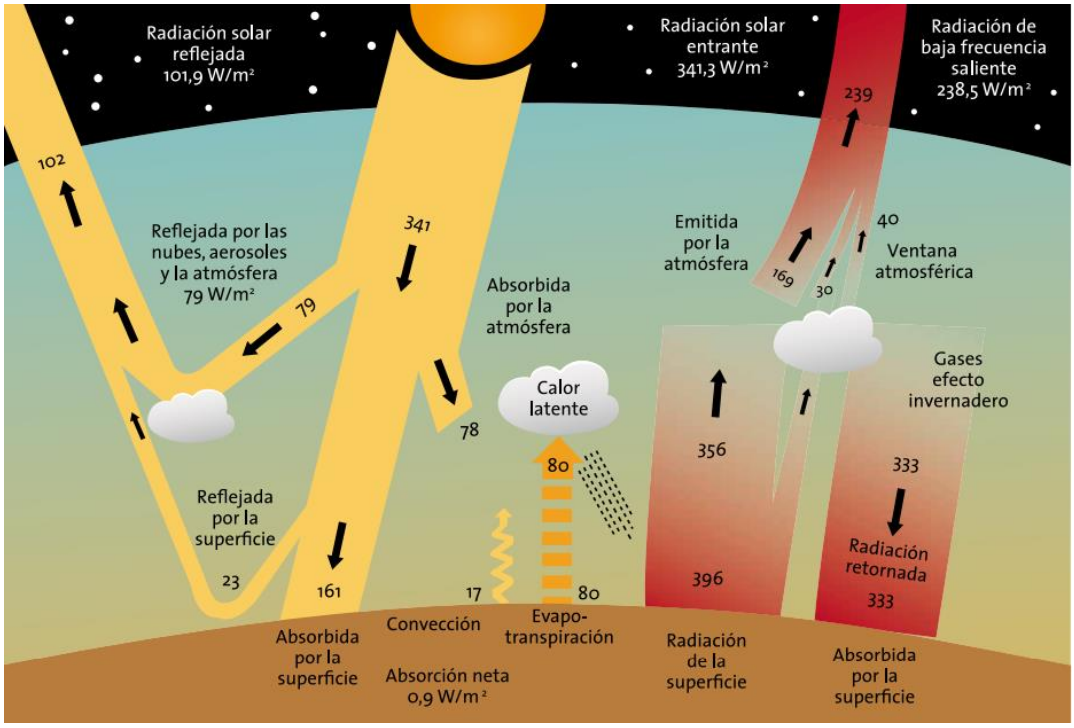


Figura 1: Balance energético de la Tierra. Adviértase que los flujos de energía están indicados en vatios por metro cuadrado (NUCLEOS, 2014)

La Tierra está rodeada por una atmósfera que provoca diversos fenómenos, como la interacción de algunos de los gases que componen la atmósfera, con la radiación externa (efecto invernadero), y la redistribución de energía provocada por el movimiento del aire (viento). Más

del 70% de la superficie de la Tierra está cubierta por agua (océano), y las corrientes oceánicas también ayudan a redistribuir la energía.

2.2.1.4. Impactos del cambio climático

Los impactos del cambio climático son diversos, que no restringen las fronteras, son inminentemente transversales y a escala planetaria por que afectan a todos, y que no solo afectara a la población actual sino también a las futuras generaciones (IPCC, 2014a).

2.2.1.5. Modelos climáticos globales (GCM)

Un modelo climático global, también llamado modelo de circulación atmosférica, es un modelo matemático de la circulación de la atmósfera o de los océanos planetarios basado en las ecuaciones de Navier-Stokes en una esfera giratoria, utilizando términos termodinámicos para varias fuentes de energía. (radiación, calor latente). Estas ecuaciones son la base de modelos complejos en programas informáticos que a menudo se utilizan para simular condiciones en la atmósfera y los océanos de la Tierra (ICAM, 2023).

Los modelos climáticos globales resuelven las ecuaciones de las leyes y principios de la física que gobiernan los procesos en cada componente del sistema climático y el intercambio de energía y masa entre ellos.

Se requiere la utilización de supercomputadoras por la gran cantidad de ecuaciones que resuelve para realizar escenarios futuros.

El acceso a la información es de libre descarga, para esta investigación se usó el siguiente enlace desde el portal de COPERNICUS: https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cmip6?tab=overview

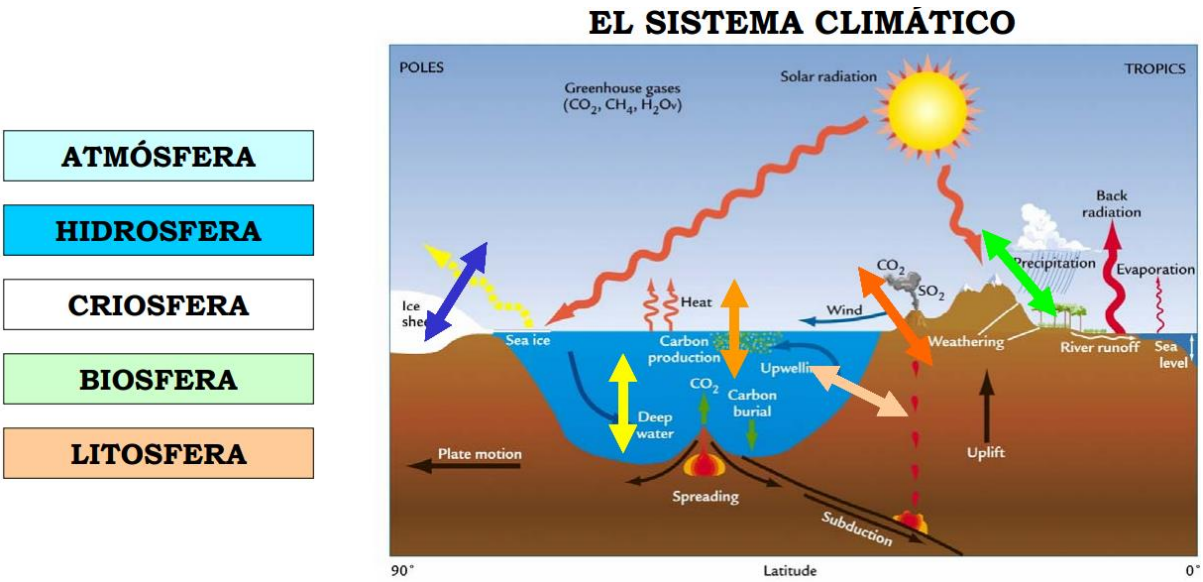


Figura 2: Componentes de los modelos climáticos globales (ICAM, 2023)

La comunidad científica utiliza los diferentes tipos de modelos climáticos globales para cuantificar diferentes aspectos del cambio climático como:

- Modelos que predicen la cantidad de gases de efecto invernadero que producirá el ser humano.
- Los modelos del sistema terrestre predicen cómo responderá el sistema climático de la Tierra a estas emisiones.
- Los modelos de impacto predicen cómo el cambio climático inducido afectará a las personas.

2.2.1.6. Modelos climáticos regionales (RCM)

Los modelos climáticos regionales cubren partes limitadas de la Tierra y están coordinados internacionalmente por el Experimento de reducción de escala del modelo climático regional coordinado (CORDEX), parte del Programa Mundial de Investigación del Clima (WCRP). inglés), cuyo objetivo principal es comprender mejor los fenómenos climáticos regionales y locales relevantes, su variabilidad y cambios debido a la reducción de escala (CR, 2018).

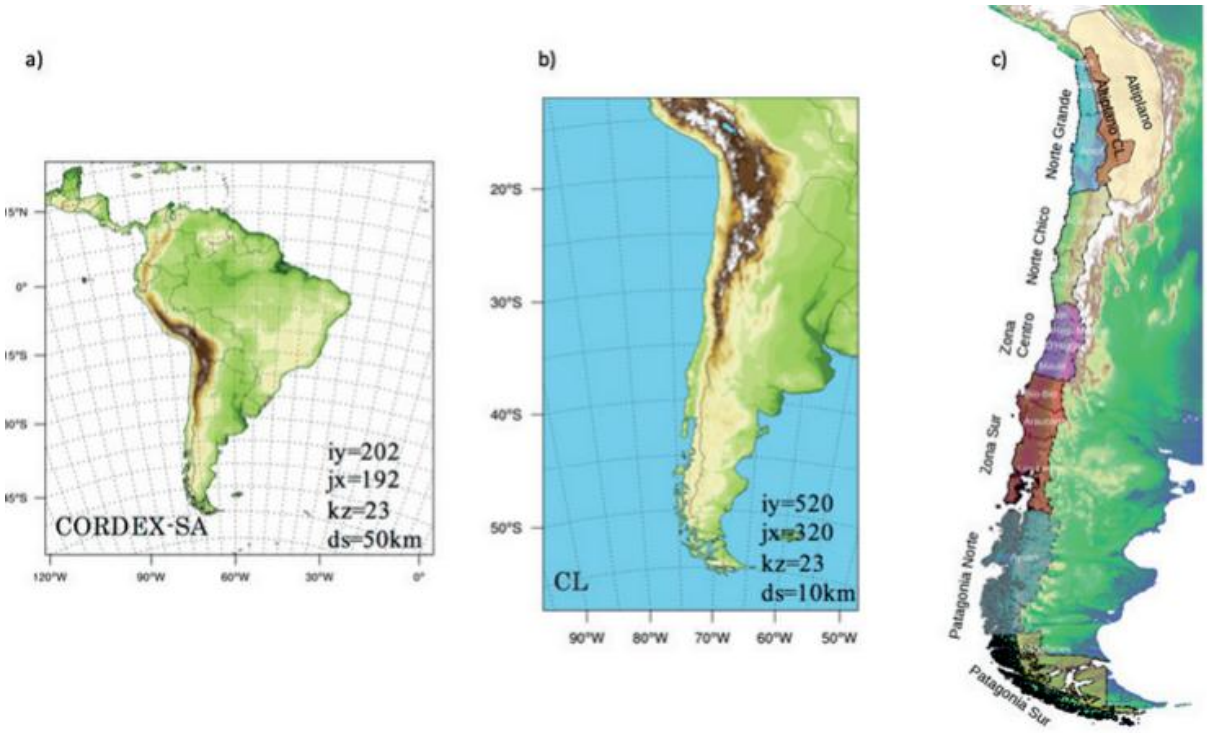


Figura 3: Dominios de las simulaciones RegCM4 (a) CORDEX-SA, (b) REGIONAL-Chile. (c) Regiones de análisis (7 macrozonas) (CR, 2018)

La limitación de los modelos climáticos globales es la resolución grande lo que provoca una gran incertidumbre en la predicción de las variables climáticas sea de gran consideración, ante esta situación surgen los modelos climáticos regionales que tienen una resolución menor y conlleva una precisión en la predicción de las variables climáticas sea más fina.

2.2.1.7. Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6)

El Proyecto de intercomparación de modelos acoplados, que empezó en 1995 bajo los auspicios del Programa Mundial de Investigación del Clima (WCRP), ahora se encuentra en su sexta fase (CMIP6), donde en el año 2022 se presentó el sexto informe de evaluación del IPCC (AR6) el cual presenta con nuevos modelos climáticos distintos.

El período histórico de los modelos CMIP6 comprenden de los años 1850 hasta 2014 y los escenarios llamado también rutas socioeconómicas compartidas (SSP) comprenden los años 2015 hasta 2100, donde el período futuro empieza desde el 2015 en todos los modelos climáticos (CMIP, 2023)

´presenta mayor sensibilidad contribuye a las proyecciones de un mayor calentamiento en este siglo, alrededor de 0,4 °C a 0,9 °C más cálido que escenarios similares en CMIP5, estas proyecciones de calentamiento pueden cambiar a medida que exista más modelos disponibles. En el período previo al IPCC AR6, la comunidad de modelos energéticos ha desarrollado un nuevo conjunto de escenarios de emisiones impulsados por diferentes supuestos socioeconómicos. Estas son las "Rutas Socioeconómicas Compartidas" (SSP) para CMIP6. El IPCC AR5 presentó cuatro vías de concentración representativas (RCP) que examinaron diferentes posibles emisiones futuras de gases de efecto invernadero. Estos escenarios (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5) tienen nuevas versiones en CMIP6, estos escenarios actualizados se denominan SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP4-6.0 y SSP5-8.5.

SSP585: Con un forzamiento radiactivo adicional de 8,5 W/m² para el año 2100, este escenario representa el límite superior del rango de escenarios descritos en la literatura. Puede entenderse como una actualización del escenario RCP8.5 de la CMIP5, ahora combinado con razones socioeconómicas.

SSP370: Con 7 W/m² para el año 2100, este escenario se encuentra en la parte media-alta de la gama completa de escenarios. Se introdujo recientemente después de los escenarios RCP, cerrando la brecha entre RCP6.0 y RCP8.5.

SSP245: Como actualización del escenario RCP4.5, SSP245 con un forzamiento radiactivo adicional de 4,5 W/m² para el año 2100 representa la trayectoria media de futuras emisiones de gases de efecto invernadero. Este escenario asume que se están tomando medidas de protección climática.

SSP126: Este escenario con 2,6 W/m² para el año 2100 es una reedición del escenario optimista RCP2.6 y fue diseñado con el objetivo de simular un desarrollo compatible con la meta de 2°C. Este escenario también asume que se están tomando medidas de protección climática.

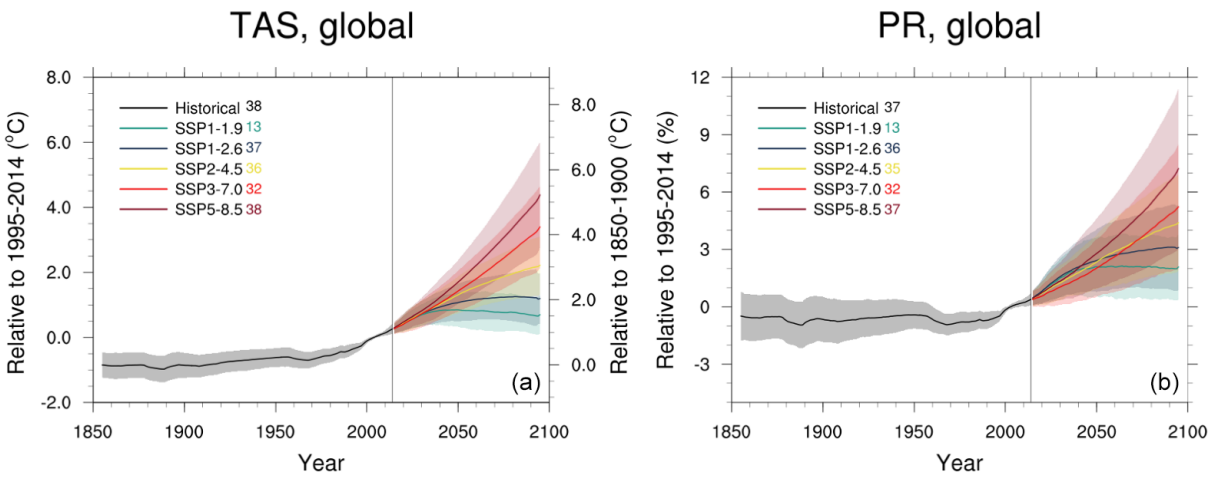


Figura 4: Proyecciones de (a) temperatura y (b) precipitación global para el siglo XXI, bajo escenarios del proyecto CMIP6. Adaptado de Tebaldi et al. (2021).

2.2.1.8. Escalamiento espacial (Downscaling)

La necesidad de refinar la información de los modelos climáticos globales se han desarrollado diversos métodos este proceso se llama escalamiento o downscaling y su principal objetivo es llevar a series de tiempo descritas en el modelo a una escala que sirva en la modelación de cuencas hidrográficas o en estaciones.

Se tiene 2 tipos de escalamiento que son dinámico y estadístico. El escalamiento dinámico se basa en la construcción de modelos climáticos regionales, tienen la ventaja de modelar de forma completa la forma dinámica de la atmosfera esto conlleva a un costo computacional elevado a la utilización de supercomputadoras. El escalamiento estadístico permite adecuar la información de los modelos climáticos globales utilizando como base a datos observados de estaciones hidrometeorológicas ajustando completamente las distribuciones estadísticas, resulta una implementación mucha más sencilla y practica que el escalamiento dinámico.

Para esta investigación se usará el escalamiento estadístico.

2.2.1.9. Escalamiento estadístico

Consiste en realizar dos pasos: el primero es encontrar una relación estadística entre la variable climática observada y la simulada por los modelos climáticos globales, debe realizarse la

relación entre ellos se debe realizar en el mismo periodo de tiempo; el segundo paso es aplicar la relación encontrada a los valores simulados (Cannon, et al 2015). Para el estudio sobre recurso hídrico, las variables de interés dadas por los modelos climáticos globales son la precipitación y temperatura.

Tabla 1: métodos de corrección de sesgo para precipitación y temperatura

Corrección de sesgo para precipitación	Corrección de sesgo para temperatura
*Escalamiento Lineal (LS)	*Escalamiento Lineal (LS)
*Escalamiento de intensidad local (LOCI)	*Escalamiento de la varianza (VARI)
*Trasformación de potencia (PT)	*Mapeo de distribución para temperatura usando la función de distribución gaussiana (DM)
*Mapeo de distribución para precipitación usando la función de distribución gamma (DM)	
*Mapeo de cuantiles (QM)	

Fuente: (Fang, et al 2015)

2.2.1.10. Mapeo de cuantiles (QM)

Es un método de corrección de sesgo no paramétrico y es aplicable para todas las posibles distribuciones estadísticas, utiliza la función de probabilidad completa que garantiza que los valores extremos estén representados en forma adecuada.

Los algoritmos de corrección de sesgos de mapeo de cuantiles se usan comúnmente para corregir los sesgos de distribución sistemáticos en los resultados de precipitación de los modelos climáticos globales, son muy efectivos para eliminar los sesgos históricos en relación con las observaciones también puede corromper artificialmente las tendencias futuras proyectadas por el modelo.

Para la precipitación l ajuste usando mapeo de cuantiles puede expresarse en términos del CDF empírico (ecdf) y su inverso (ecdf-1) como muestra la ecuación (1)

$$P_{cor,m} = ecdf_{obs,m}^{-1}\left(ecdf_{sim}\left(P_{sim,m}\right)\right) \quad (1)$$

La corrección por sesgo se define como el proceso de escalar las salidas de los modelos climáticos tomando en cuenta los errores sistemáticos de estos, de modo que se mejore el ajuste de estos a las observaciones históricas (Gudmundsson, 2016).

2.2.2. Temperatura

La temperatura es un factor importante del ciclo hidrológico pues interviene en todas sus etapas. Interviene como parámetro en las fórmulas para calcular la evaporación y en la fórmulas de evapotranspiración de las plantas (Chereque, 1989).

La distribución de la temperatura en la atmosfera es básica porque está presente en todo el ciclo hidrológico del agua. La temperatura de la atmosfera es función del balance térmico entre radiación solar, radiación de la propia superficie de la tierra y capacidad de acumulación térmica de la atmosfera y de la superficie terrestre, todo ello afectado de los movimientos del aire e incluso de las corrientes marinas (Martinez, 2005).

El cambio climático se caracteriza por un aumento de la temperatura global. En el contexto de la escorrentía del río, el aumento de la temperatura puede tener efectos directos en la cantidad de agua disponible, ya que puede acelerar la evaporación y reducir la disponibilidad de agua en la cuenca hidrográfica.

2.2.3. Precipitación

La precipitación incluye a todo tipo de agua que cae o se deposita sobre la superficie terrestre ya sea en forma de liquida o sólida. La formación de la precipitación impone la existencia de condensación dentro de la atmosfera debido al enfriamiento de ella. En los componentes de la condensación destacan moléculas o núcleos de condensación como el polvo, las moléculas de cloruro sódico así como productos de la combustión del azufre y compuestos nitrosos (Martinez, 2005).

Desde el punto de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua en la superficie terrestre, sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control de agua (Villon, 2002).

El cambio climático también puede afectar los patrones de precipitación. En algunas regiones, se prevé que haya un aumento en la frecuencia e intensidad de las lluvias, lo que puede aumentar la escorrentía del río. Sin embargo, en otras regiones, puede haber una disminución de la precipitación, lo que podría reducir la escorrentía.

2.2.4. Niveles de nieve

La precipitación a niveles de temperatura muy bajos (entre -40° y ± 10°C) se produce en forma de copos de nieve, estos copos de nieve se acumulan y densifican sobre suelos a temperaturas inferiores a 0°C formando los hielos. Si estos persisten a lo largo del tiempo constituyen los hielos eternos (Chavez, 1994).

En el Perú en contraste con países de otras latitudes las nieves y hielos son fenómenos propios de las grandes altitudes, es decir, ocurren en algunas cumbres de la cordillera andina. Aunque las nevadas se presentan por encima de los 4000 m.s.n.m., los hielos y entre ellos los eternos, se hallan por encima de los 5000 m.s.n.m., a tales altitudes la isoterma 0°C (o temperaturas menores) se mantiene persistentemente de tal manera que la temperatura del suelo condición necesaria para la formación, densificación y persistencia de los hielos (Chavez, 1994).

El cambio climático también puede influir en los niveles de nieve en las áreas montañosas. Si hay un aumento de la temperatura, puede haber un derretimiento más rápido de la nieve, lo que puede incrementar la escorrentía del río durante las estaciones de deshielo. Esto puede tener implicaciones en la disponibilidad de agua en períodos posteriores.

2.2.4.1. Glaciar

Los glaciares son capas gruesas de helo que se origina en la superficie terrestre por acumulación, compactación y recristalización de la nieve, mostrando evidencia de flujo en el

pasado y en la actualidad. Su existencia es posible cuando la precipitación anual de nieve supera la evaporación en la estación de verano, por lo que la mayoría de glaciares existen cerca de los polos de la tierra, aunque existen en algunas zonas de montaña. Se llama glaciación al proceso de crecimiento y establecimiento del glaciar. En el mundo los glaciares son variados y se clasifican según su forma (de valle, de nicho, de campo de hielo, etc.), régimen climático (tropical, temperado o polar) o condiciones térmicas (base fría, base caliente o politermal).

La tierra está cubierta un 10 por ciento por glaciares, pero en tiempos geológicos llego a cubrir el 30 por ciento. Los glaciares del mundo acumulan más del 75 por ciento de agua dulce del mundo.

2.2.4.2. Glaciares tropicales

Los glaciares tropicales se pueden definir cuando en los trópicos de la tierra de forma general como la región donde la dinámica de circulación atmosférica y de las condiciones energéticas presentan una homogeneidad termal, en la cual la variación térmica anual es menor que la variación diurna de temperatura (Kaser & Osmaston, 2002).

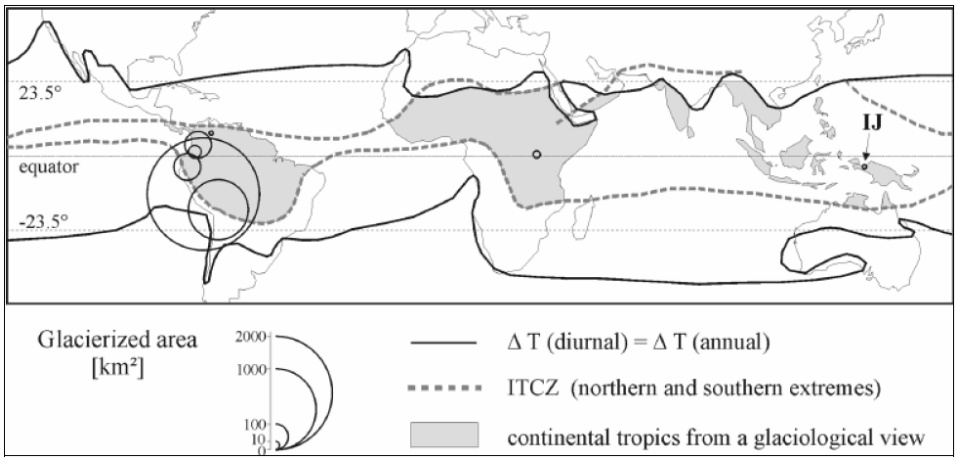


Figura 5: Distribución global de los glaciares tropicales y delimitación de los trópicos desde el punto de vista glaciológico
Fuente: (Kaser & Osmaston, 2002)

En el Perú la cordillera de los andes se ubica en el círculo del fuego del pacifico se encuentran tres sectores, limitada por 2 nudos importantes que son el nudo de Vilcanota ubicado al sur de

los sectores II y III y el nudo de Pasco localizado entre el sector I y II como se muestra en la figura

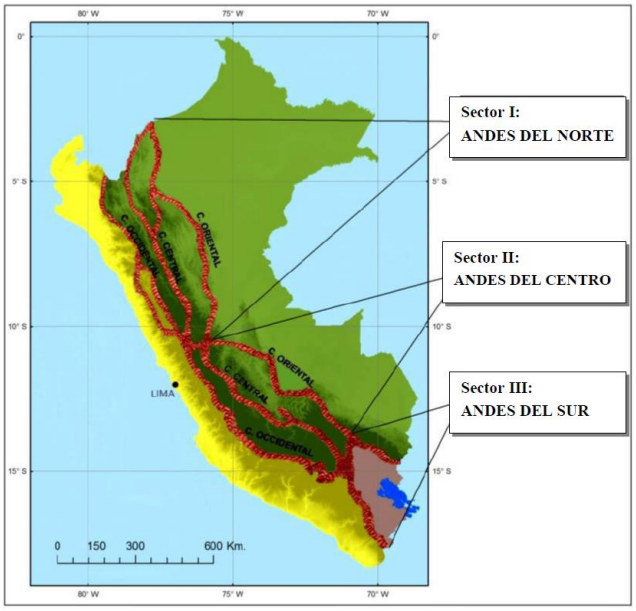


Figura 6: Adaptación del atlas Perú, sectores de las Cordilleras del Perú
Fuente: Atlas del Perú

De acuerdo a los estudios las áreas glaciales del Perú se encuentran en 20 cadenas de montañas distintas (Cordillera), que se extienden desde el centro del Perú norte hasta su frontera sur, incluyendo dos grandes sistemas de glaciar. El área total cubierta de hielo de Perú se estimaba en los anos 70s en unos 2.200 kilómetros cuadrados.

2.2.4.3. Teledetección en Nieve

Los glaciares pueden ser monitoreados por la teledetección con el método de restitución aerofotogrametría utilizando las imágenes satelitales (ALOS, SPOT, ASTER, etc.) que permite estimar el cambio de superficie, existe un inconveniente por el uso de las imágenes satelitales porque la resolución vertical es baja que limita la capacidad de determinar los volúmenes de nieve (Diego, 2008).

la Autoridad Nacional del Agua en 2014 la unidad de glaciología y recursos hídricos realizo la actualización del inventario de glaciares que realizo utilizando técnicas de teledetección y el manejo de sistemas de información geográfica (GIS). Para el estudio se usó las imágenes

satelitales de Spot 5, Aster, Liss III y LandSat de media resolución y modelos de elevación digital (DEM) aplicando el algoritmo Normalized Difference Snow Index (NDSI) además de análisis multi-temporales para la diferenciación de glaciares y nieve temporal. El estudio concluyo que las últimas cuatro décadas se obtuvieron pérdidas de 42.64% de superficie de nevado glaciar (ANA, 2014).

2.2.4.4. Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve (NDSI)

El índice NDSI es una medida de la magnitud relativa de la diferencia de reflectancia entre el rango visible del espectro (verde) y el infrarrojo de onda corta (SWIR). La nieve no sólo es muy reflectante en las partes visibles del espectro electromagnético sino también muy absorbente en el infrarrojo cercano (NIR) o en la parte infrarroja de onda corta del espectro mientras que la mayor parte de la reflectancia de las nubes sigue siendo alta en las mismas partes del espectro, lo que permite una buena separación de la mayoría de las nubes y la nieve (Diego, 2008).

Para imágenes satelitales LandSat 5TM y 7TM se tiene en la ecuación (2):

$$NDSI = \frac{(B_2 - B_5)}{(B_2 + B_5)} \quad (2)$$

Donde:

B_2: Banda 2 (Banda Verde)

B_5: Banda 5 (Banda Infrarroja de Onda Corta)

2.2.5. Escorrentía Superficial

La escorrentía superficial es el agua procedente de la precipitación que circula por la superficie y se concentra en los cauces. Es función de las características topográficas, geológicas, climáticas y de vegetación de la cuenca y está íntimamente ligada entre aguas superficiales y aguas subterráneas. La escorrentía es el resto de precipitación que queda en la superficie después de restar los fenómenos de evaporación y evapotranspiración, almacenamiento, así

como percolación a capas inferiores. Por ello el estudio de la escorrentía es complejo y debe recurrir a abstracciones y simplificaciones así como al análisis de multitud de datos reales y estudios estadísticos (Martinez, 2005).

El agua superficial es la que se encuentra en la superficie terrestre que puede estar almacenada o en movimiento. La escorrentía superficial es la parte de la precipitación que se dirige en forma de flujo superficial pendiente abajo en un terreno, normalmente hacia cuerpos de agua como canales, ríos, lagos u océanos (Muñoz & Ritter, 2005).

La escorrentía superficial comprende el exceso de precipitación que ocurre después de una lluvia intensa y se mueve libremente por la superficie del terreno, la escorrentía de una corriente de agua puede ser alimentada tanto por exceso de precipitación como por las aguas subterráneas (Monsalve, 1999).

La "escorrentía superficial" es el agua procedente de la lluvia, deshielo o riego que fluye sobre la superficie del terreno y no se infiltra en el suelo. Esta agua se desplaza hacia puntos más bajos debido a la gravedad y puede terminar en cuerpos de agua naturales como ríos, lagos y océanos.

La escorrentía superficial es un componente crucial del ciclo del agua y juega un papel significativo en la redistribución del agua en la Tierra. Dependiendo del tipo de suelo, la vegetación, la pendiente y las condiciones climáticas, la cantidad de agua que se convierte en escorrentía superficial puede variar considerablemente.

En el contexto del "impacto del cambio climático en la escorrentía del río", los cambios en los patrones climáticos pueden tener un efecto directo sobre la cantidad y la calidad de la escorrentía superficial. Por ejemplo, si un área experimenta menos precipitaciones debido al cambio climático, se puede esperar una disminución de la escorrentía superficial hacia los ríos. Por otro lado, un aumento en la frecuencia de eventos de lluvias intensas podría aumentar la

escorrentía superficial, lo que puede provocar inundaciones y aumentar la erosión del suelo y la cantidad de sedimentos y contaminantes que se transportan a los ríos.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es el área de terreno en el cual todo flujo de agua drena hacia un punto en común (Villon, 2002). Cabe resaltar que una cuenca está conformada por subcuencas, microcuencas y quebradas, los cuales se relacionan de la siguiente manera: varias quebradas drenan hacia el cauce principal de una microcuenca; varias microcuencas, a una subcuenca; y varias subcuencas drenan al cauce principal a la cuenca. La delimitación de una cuenca se realiza mediante el trazado del parteaguas, en el cual se asume que toda precipitación que cae dentro del territorio delimitado escurre hacia un punto de salida en común (Villón Béjar, 2020).

2.3.2. Modelos climáticos

Los modelos climáticos son herramientas para evaluar la respuesta del sistema climático ante el cambio climático, estos se basan en procesos físicos para simular la transferencia de energía y materiales a través del sistema climático; se hace uso de ecuaciones matemáticas para caracterizar cómo la energía y la materia interactúan en diferentes partes del océano, la atmosfera y la tierra (IPCC, 2014a).

2.3.3. PISCO

La base de datos PISCO, generada por SENAMHI, que significa Peruvian Interpolated Data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations por sus siglas en inglés.

Con la necesidad de obtener información espacial procesada y validada, a partir del año 2013 el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú), a través de su Dirección de Hidrología – DHI, viene investigando en la calidad de los productos satelitales y realizado la validación de las estaciones terrenas, con el fin de obtener resultados óptimos para

algunas zonas del país. Sin embargo, debido a la poca o nula cantidad de estaciones meteorológicas en zonas puntuales también se han encontrado resultados adversos.

En 2014, Perú obtuvo la primera base de datos espacial de precipitación a paso de tiempo mensual, a una resolución de 0.05° (~ 5 km). La serie de análisis inició en enero de 1981 y continúa actualmente, los datos forman parte de la base de datos PISCO. El producto es PISCO de precipitación (PISCOp) diaria y mensual. Para la construcción se utilizó la base de datos global del proyecto CHIRPS (Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station Data) (Senamhi, 2017).

2.3.4. El modelo SWAT

La siguiente descripción se basa en la documentación teórica del modelo SWAT reportada por (Neitsch, et al, 2005).

SWAT son las siglas para Herramienta para la Evaluación del Suelo y Agua (Soil and Water Assessment Tool) es una herramienta desarrollada por el Dr. Jeff Arnold para el Servicio de Investigación Agrícola (ARS) del USDA. El modelo está desarrollado pensando en el uso para la evaluación de suelo y agua a escala de cuenca hidrográfica, con el fin de poder predecir el impacto que generan las prácticas humanas sobre los suelos, el agua, los sedimentos y los químicos que son utilizados en la agricultura, los cuales a menudo están presentes en cuencas grandes y complejas, con diferentes tipos y usos de suelo, bajo largos periodos de estudio.

Dentro de las principales características de modelo, se puede señalar que:

- Tiene una base física. SWAT requiere información específica sobre el clima, las propiedades del suelo, la topografía, la vegetación y los usos que se da a los suelos dentro de la cuenca.
- Utiliza insumos fácilmente disponibles. Aunque SWAT puede utilizarse para estudiar procesos más especializados, como el transporte de bacterias, los datos mínimos

requeridos para realizar una simulación se encuentran frecuentemente disponibles por medio de los organismos gubernamentales.

- Es eficiente desde el punto de vista computacional. La simulación de cuencas muy grandes o de una estrategia de gestión puede realizarse sin una inversión excesiva de tiempo.
- SWAT es un modelo de tiempo continuo, es decir, un modelo de rendimiento a largo plazo. Desde este punto de vista, el modelo no está diseñado para simular, por ejemplo, el trazado detallado de inundaciones producidas por un evento en particular.

El conjunto de datos entregado al programa es utilizado para la confección de unidades de respuesta hidrológica, que representan sectores de la cuenca que poseen similares características de uso de suelo, tipo de suelo y rangos de pendiente, la cual puede ser establecida por el usuario. A continuación, en la Figura N° 1 se presenta un esquema de los procesos involucrados en el ciclo hidrológico que se lleva a cabo sobre cada HRU presente en la cuenca de estudio.

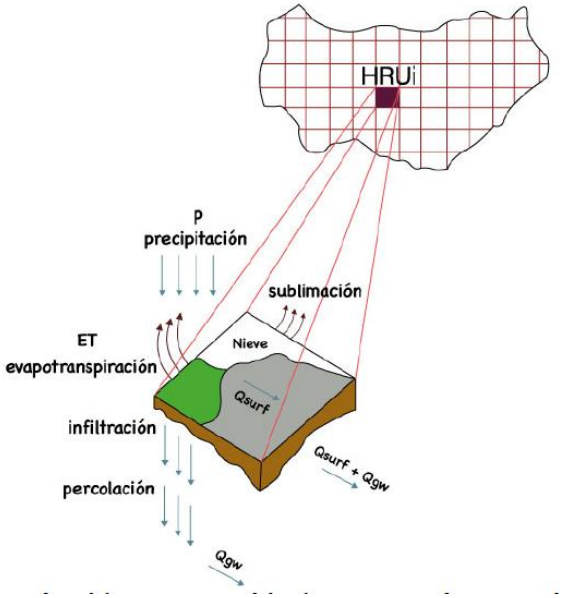


Figura 7: Representación sobre el funcionamiento del software SWAT sobre una unidad de respuesta hidrológica (HRU). Fuente: Documentación teórica SWAT 2009.

El modelo delimita la cuenca a partir de los datos de altitud para luego ser dividida en subcuencas. En una etapa siguiente, se crean los HRU según la información descrita, con lo cual el modelo comienza a reflejar diferencias en evapotranspiración y otras condiciones hidrológicas para diferentes coberturas del terreno, cultivos y suelos, calculándose la escorrentía para cada HRU, las cuales se suman finalmente para establecer las escorrentías totales en la subcuenca e incrementar la precisión del balance del agua (Neitsch et al 2005).

2.3.5. SWAT Calibration and Uncertainty Programs (SWAT-CUP)

Una vez configurado y ejecutado el modelo en SWAT, se apreciará que muchos de los datos de salida del modelo, p.ej. caudal líquido y/o carga de sedimentos, no necesariamente coinciden con el registro histórico con el cual se cuenta. Ello se debe a que muchos de los parámetros que afectan a las salidas del modelo tienen los valores que por defecto SWAT asigna, pero que, para una determinada zona de estudio, no necesariamente son los más adecuados. Debido a ello, se desarrolló SWAT-CUP, el cual permite, iterativamente, modificar los valores de ciertos parámetros seleccionados por el usuario, de modo que, en cada simulación del modelo, se constate que tanto impacto tuvo la combinación de estos parámetros sobre la salida que se está analizando (Abbaspour, 2022). A continuación, brevemente se detalla cómo trabaja SWAT-CUP:

- Primero, se seleccionan los parámetros de interés que afectan directamente en la variable de interés, p.ej. el número de curva (CN) para la calibración de caudales. Esta serie de parámetros variarán sobre rangos definidos por el usuario, durante un número de simulaciones, igualmente definido por este.
- Tras finalizar con el número de simulaciones definidas, el programa procede a calcular los índices estadísticos de cada una de las simulaciones respecto a las observaciones, dando como resultado la combinación de valores de los parámetros seleccionados que mejor desempeño tuvieron. Para ello, SWAT-CUP permite al usuario seleccionar cual

será el índice estadístico que se tomará como criterio para seleccionar la mejor simulación. En general, se emplea el Nash-Scutfille Eficiency (NSE) como índice estadístico para cuantificar el desempeño de cada simulación.

- En el caso que la mejor simulación obtenida presente índices estadísticos fuera de los rangos que la literatura especializada recomienda, SWAT-CUP sugiere al usuario nuevos rangos para cada uno de los parámetros seleccionados en el paso i, en función de las combinaciones que mostraron un mejor desempeño al simular de la variable observada.
- Finalmente, una vez que los nuevos valores de los parámetros seleccionados permitan replicar adecuadamente la variable observada, se detiene el proceso de calibración y se pasa a validar si a través de la combinación de parámetros elegidos es posible replicar correctamente la variable observada.

2.3.6. Sistema de Información Geográfica – SIG

Los Sistemas de Información Geográfica que en siglas se denomina SIG es una herramienta indispensable para el tratamiento de datos espaciales que nos permitirá analizarlos y representarlos de múltiples maneras, la información de datos espaciales podemos almacenarlo, realizar análisis, manipular y la creación de mapas. De esta manera tener un eficiente manejo de datos espaciales que contienen un enorme rango y cantidad de información para un rápido acceso. (Ali, y otros, 2017).

2.4. Marco Legal

2.4.1. Ley de Creación, Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD)

El Decreto Supremo Nº 048-2011-PCM, que aprueba el Reglamento de la Ley Nº 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) como sistema

interinstitucional, sinérgico, descentralizado, transversal y participativo, con la finalidad de identificar y reducir los riesgos asociados a peligros o minimizar sus efectos, así como evitar la generación de nuevos riesgos, y preparación y atención ante situaciones de desastre mediante el establecimiento de principios, lineamientos de política, componentes, procesos e instrumentos de la Gestión del Riesgo de Desastres. (DECRETO SUPREMO Nº 048-2011-PCM, 2011).

Capítulo III

Método de Investigación

3.1. Enfoque

La presente investigación tiene enfoque cuantitativo:

- Según la intervención del investigador, observacional.
- Según la planificación de las mediciones, retrospectivo y prospectiva.
- Según el número de mediciones de la variable de estudio, Longitudinal.
- Según el número de variables analíticas, Analítico.

El problema de investigación ¿Cómo impacta el cambio climático en el escurrimiento superficial en la cuenca del rio Chacco? Considerando los antecedentes de la unidad de análisis, bases teóricas, marco conceptual y la metodología de investigación. Sigue un proceso rígido, secuencial probatorio sin saltar ningún periodo orientándose a la comprobación numérica. La secuencia del trabajo de investigación es recolección de datos que consiste en descargar los datos crudos históricos y futuros de 10 modelos climáticos globales para luego realizar un escalamiento estadístico mapeo cuantil para las variables de precipitación y temperatura. Después mediante el modelo hidrológico semidistribuido SWAT calibrar y validar los parámetros para luego modelar la escorrentía superficial para los escenarios futuros de los modelos climáticos globales. La investigación evalúa el impacto de la escorrentía superficial como caudal en el punto de aforo de puente Chacco.

3.2. Alcance (exploratorio, descriptivo, correlacional, explicativo)

La investigación es explicativa por que establece relaciones de causa y efecto que permiten hacer generalizaciones a realidades similares.

3.3. Diseño de investigación (tipos: experimental y/o no experimental)

La estrategia para el proceso de la investigación se basará en un diseño no experimental longitudinal. La elección de este tipo de diseño se fundamenta en la propia esencia del método

para evaluar los impactos del cambio climático en la escorrentía de la cuenca del rio Chacco, ya que la dimensión temporal en que se recolectan los datos es longitudinal y principalmente porque se calibra de datos tomados para los parámetros del modelo hidrológico semidistribuido SWAT para luego determinar la escorrentía de datos de escenarios climáticos CMIP6 futuros.

3.4. Población y muestra

La población estará conformada por 1110.63 Km2 de la cuenca del río Chacco se encuentra ubicado en la Región Ayacucho, altitudinalmente abarca desde los aproximadamente 2350 m.s.n.m. hasta los 4200 m.s.n.m.

3.5. Hipótesis

3.5.1. Hipótesis general

El impacto del cambio climático incrementa el escurrimiento superficial en la cuenca del rio Chacco.

3.5.2. Hipótesis específicas

- La temperatura periodo 2020-2100 incide significativamente en la escorrentía superficial en la cuenca del rio Chacco.
- La precipitación periodo 2020-2100 incide significativamente en la escorrentía superficial en la cuenca del rio Chacco.
- El nivel de nieve periodo 2020-2100 incide significativamente en la escorrentía superficial en la cuenca del rio Chacco.

3.6. Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional

3.6.1. Operacionalización de variables

Tabla 2: Operacionalización de variables identificadas

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSION
CAMBIO CLIMATICO	Precipitación
	Temperatura
	Nivel de nieve
VARIABLE DEPENDIENTE	**DIMENSION**
ESCORRENTIA SUPERFICIAL	Caudal

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Variables

Las variables identificadas para la presente investigación

Tabla 3: Variables de la investigación

VARIABLES
Directas (Independientes)
a) Precipitación (X)
b) Temperatura (X)
c) Nivel de nieve (X)
Indirectas (Dependientes)
a) Escorrentía Superficial (Y)

Fuente: Elaboración propia

3.7. Técnicas e instrumentos

Dadas las variables que son cruzadas en fórmulas de las subhipotesis, en esta investigación para obtener todos los datos de sus dominios necesarios para contrastarlos, se recurrió a la técnica de análisis documental, que consistió en revisar los documentos técnicos como:

3.7.1. Técnicas

Conjunto de reglas y procedimientos que permiten al investigador establecer la relación con el objeto o sujeto de la investigación.

El **análisis documental** es la operación que consiste en seleccionar las ideas informativamente relevantes de un documento a fin de expresar su contenido sin ambigüedades para recuperar la información en él contenida.

- Manual de usuario del programa de simulación hidrológica SWAT.
- Manual de usuario del Programa de calibración de simulación hidrológica SWA-CUP.
- Manual de escalamiento estadístico de mapeo de cuantiles.
- Tesis con título “Análisis De La Variación Temporal De La Oferta Hídrica En Las Cuencas De Punta Arenas Y Vertientes Del Atlántico Bajo Distintos Escenarios De Cambio Climático (2021-2050” presentado por Patricia Valentino Mejía, en el cual analiza la variación temporal de la oferta y cobertura de demanda bajo distintos escenarios y modelos de cambio climático en el periodo 2021-2050.
- Tesis con título “Análisis De Sensibilidad Hídrica Ante Proyecciones De Cambio climático En 25 Cuencas Chilenas En Régimen Natural. Estudio De Caudales Medios Y Crecidas” presentado por Felipe Ignacio Ramírez en la cual busca tener una noción de cuánto cambiaran los caudales medios en periodos futuros para construir Curvas de Variación Estacional y Curvas de Duración, para facilitar la gestión y la decisión.
- Tesis con título “Análisis De Fuentes De Incertidumbre En Los Modelos Climáticos Cmip6 Para Las Proyecciones Climáticas De Temperatura Y Precipitación En Sudamérica” presentado por Jhonatan Edwin Bruno en la cual busca el estudio que ante la realidad del cambio climático se requiere de rigurosos métodos en las predicciones del clima realiza un cálculo de incertidumbre de modelos climáticos que ayudan a realizar planes a las entidades medidas de prevención.
- Tesis con título “Evaluación Del Cambio Climático Y Su Efecto En La Disponibilidad Hídrica Futura De La Cuenca Caplina – Tacna” presentado por Froilan Rodas en la cual

busca el estudio evalúa los efectos del cambio climático en la disponibilidad hídrica futura de la cuenca del río Caplina en la región Tacna.

- Tesis con título “Evaluación De La Erosión Del Suelo En La Cuenca Del Río Jequetepeque Bajo Escenarios De Cambio Climático” presentado por Oscar Matheus Cabezas en la cual busca el estudio realiza las proyecciones en la tasa de sedimentación del reservorio para los escenarios de cobertura vegetal y usos de suelo, así como para los escenarios de cambio climático.

3.7.2. Instrumentos

Registro (Mapa de elevación digital del relieve del terreno, registro de aforo, Mapa de cobertura de la región de Ayacucho, Mapa de suelos del Perú según la FAO y registro de precipitación y temperatura mediante PISCO)

Mecanismos que usa el investigador para recolectar y registrar la información.

. Para la generación y procesamiento de imágenes satelitales LandSat un script en el lenguaje de programación Python.

. El Sistema de información geográfica (SIG) para obtener los parámetros de la cuenca del rio Chacco y adecuarlos para el modelo hidrológico semidistribuido SWAT.

. El software La Herramienta de Evaluación del Suelo y Agua (SWAT), es un modelo hidrológico que se puede aplicar a escala de cuencas. Es un modelo de tiempo continuo que opera en intervalos de tiempo diario para simular la escorrentía.

. El software SWAT-CUP tiene numerosos parámetros de calibración que lo hacen complejo, siendo usual afrontar la tarea de determinar cuáles parámetros calibrar para obtener que la respuesta del modelo se asemeje a los datos observados, representando así las condiciones reales de la cuenca lo más cerca posible se realizó el análisis de sensibilidad de los parámetros.

. Para la generación de escenarios futuros del cambio climático mediante escalamiento estadístico se puede realizar usando un script en el lenguaje de programación R y que exporte

los datos proyectados de precipitación y temperatura, El método de escalamiento estadístico sería principalmente mapeo de cuantiles. Se sugiere validar el escalamiento estadístico, para ello se puede tomar un periodo de tiempo dentro del rango de 1981-2016 (para CMIP6). Dicha validación puede incluir el cálculo de correlaciones y de errores medios (RMSE)

3.8. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

3.8.1. Descriptiva

Para el procesamiento de los datos obtenidos se emplearán cuadros y gráficos de frecuencia, así como también las medidas de tendencia central y de dispersión, permitiendo el análisis de los datos obtenidos.

3.8.2. Inferencial

Es la que se ocupa de obtener conclusiones sobre las poblaciones a partir de la información recogida en los cálculos de simulación.

3.8.3. Software y paquete estadístico

Para procesar los datos del trabajo de investigación se usará los softwares como: Microsoft Excel, QGIS, ArcGIS, Lenguaje de programación R, Lenguaje de programación Python, Programa de modelación hidrológica semidistribuida SWAT y el programa SWAT-CUP.

3.9. Desarrollo del trabajo de tesis

En este capítulo se explicará el trabajo de investigación es recolección de datos que consiste en descargar los datos crudos históricos y futuros de 10 modelos climáticos globales para luego realizar un escalamiento estadístico mapeo cuantil para las variables de precipitación y temperatura. Después mediante el modelo hidrológico semidistribuido SWAT calibrar y validar los parámetros para luego modelar la escorrentía superficial para los escenarios futuros de los modelos climáticos globales. La investigación evalúa el impacto de la escorrentía superficial como caudal en el punto de aforo de puente Chacco.

3.9.1. Información básica del área de estudio

La cuenca del rio Chacco se encuentra ubicado en la región de Ayacucho, altitudinalmente se encuentra entre los 2455 m.s.n.m. hasta los 4450 m.s.n.m., cuya área es 1110.63 km2.

3.9.1.1. Punto de aforo

El punto tomado como aforo es el puente Chacco como punto de interés de delimitación de la cuenca del rio Chacco, como cuenca de investigación con la finalidad de determinar la escorrentía superficial en flujo de caudal.

Tabla 4: Coordenadas del punto de aforo según la proyección WGS-1984-UTM-18S

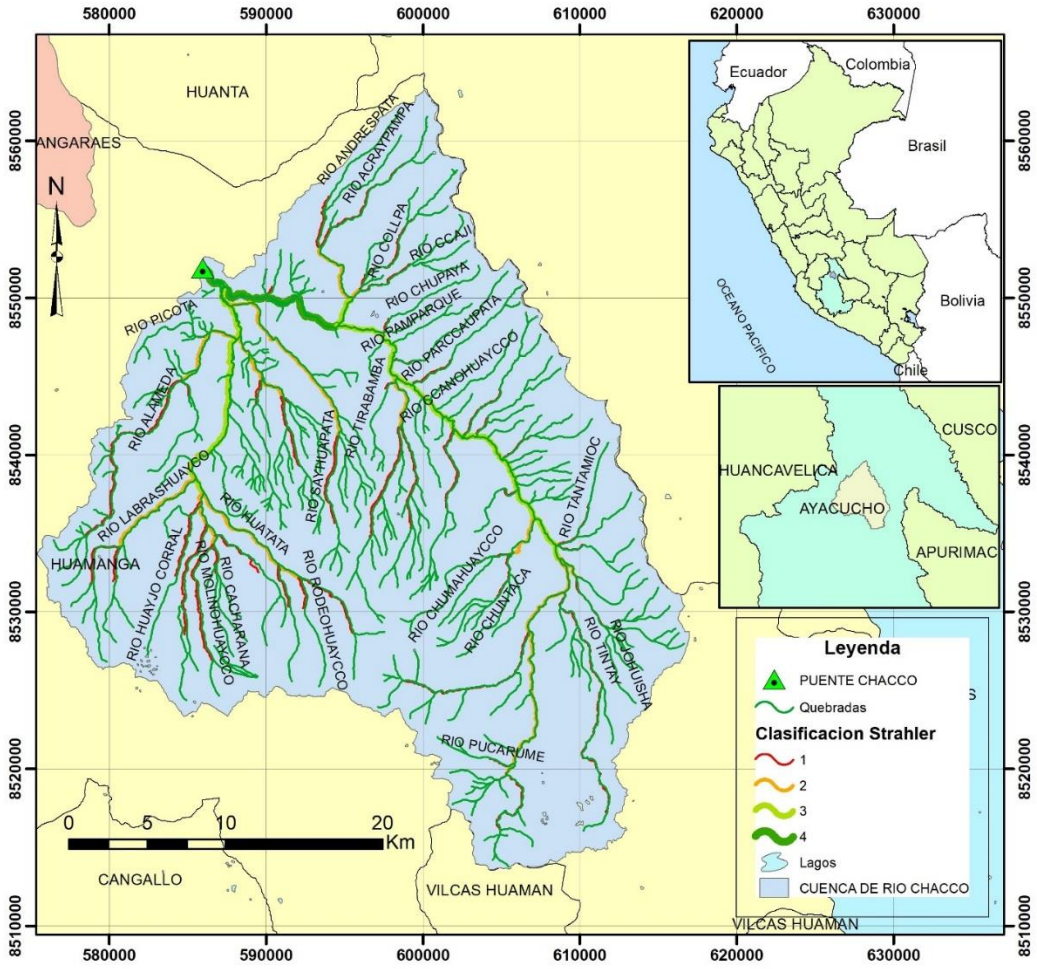
Punto de aforo	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m.s.n.m.)
Puente Chacco	585964	8551906	2455

Fuente: Elaboración propia

3.9.1.2. Ubicación política

Políticamente la cuenca del rio Chacco se encuentra ubicado en el Perú, región Ayacucho, abarca parte de la provincia de Huamanga.

Figura 8: Mapa de Ubicación y Localización de la cuenca del rio Chacco



Fuente: Elaboración propia

3.9.1.3. Ubicación geográfica

Geográficamente la cuenca del rio Chacco de acuerdo a la carta geográfica nacional, la cuenca de estudio se encuentra ubicada por los cuadrantes de Huanta, Ayacucho y San Miguel.

Tabla 5: Cuadrantes de la carta Geográfica Nacional ubicadas la cuenca del rio Chacco

Código	Nombre
26-ñ	Huanta
27-ñ	Ayacucho
27-o	San Miguel

Fuente: Elaboración propia

3.9.1.4. Autoridad Nacional del Agua (ANA)

De acuerdo a la Autoridad Nacional del Agua el Perú se encuentra dividido en Unidades Hidrográficas (UH) y autoridades Administrativas del Agua (AAA), que designan Autoridades

Locales del Agua (ALA) como gestores del aprovechamiento hídrico, de acuerdo a la Autoridad Nacional del Agua la cuenca de estudio se encuentra ubicado:

Tabla 6: La cuenca del rio Chacco según la Unidad Hidrográfica

Cuenca de estudio	Según Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Según Autoridad Administrativa del Agua (AAA)
Cuenca del rio Chacco	Unidad Hidrográfica de la Cuenca Mantaro	Autoridad Administrativa Mantaro

Fuente: Elaboración propia

3.9.1.5. Red Hídrica

Según el punto de aforo el puente Chacco la red hídrica de la cuenca del rio Chacco se tiene la existencia de dos vertientes:

- La cuenca formada por el rio Yucaes, esta red hídrica esta alimentado desde el rio Ventanillaqoc, Tintay, Canalqasa, Chumahuaqo y Huaqrasimi.
- La cuenca formada por el rio Huatatas, Molinohuayqo y Huaqo Corral.

3.9.1.6. Sistematización de la información requerida

i. Modelo de elevación digital

El modelo digital de elevación (DEM), es utilizado para delimitar las subcuencas y la distribución de la red hídrica del área de estudio en la interfaz del ArcSWAT. Se utilizó imágenes del sensor *ASTER Global Digital Elevation Model* v2.01 (ASTER GDEM) a una resolución espacial de 30 metros. El sistema de coordenadas para la elaboración DEM es el: "*Projected Coordinate Systems* UTM WGS 1984 UTM *Zone* 18S".

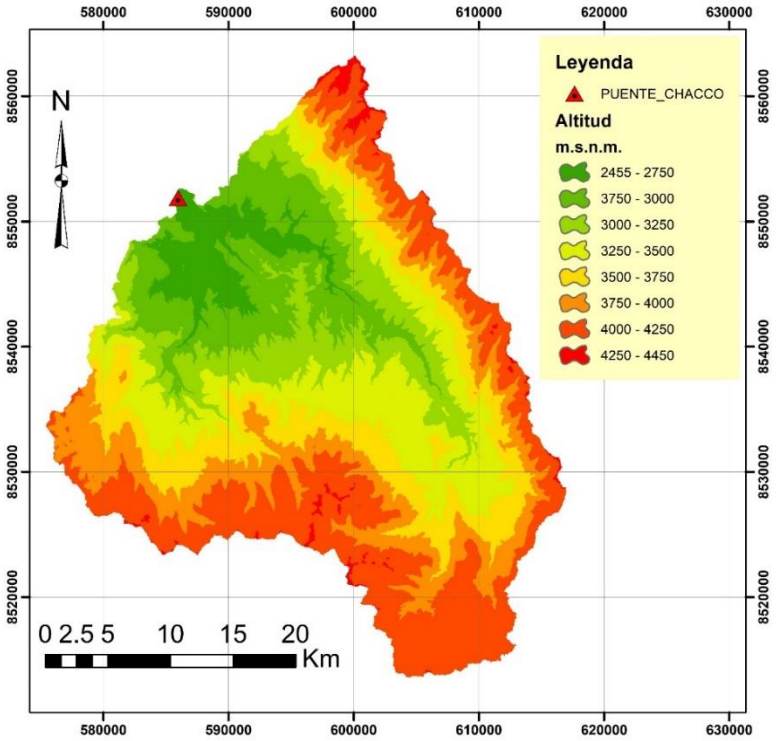


Figura 9: Variación altitudinal de la cuenca del rio Chacco
Fuente: Elaboración propia

ii. Capacidad de uso mayor

La información del Mapa de Capacidad de Uso Mayor elaborado, fue actualizado con información del MINAM, 2015; en la Figura 10 se detalla cada una de las clases predominantes en la cuenca del río Piura y su distribución respectiva; teniendo en cuenta las clasificaciones recomendadas por el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor según el Decreto Supremo D.S. N°017-2009-AG.

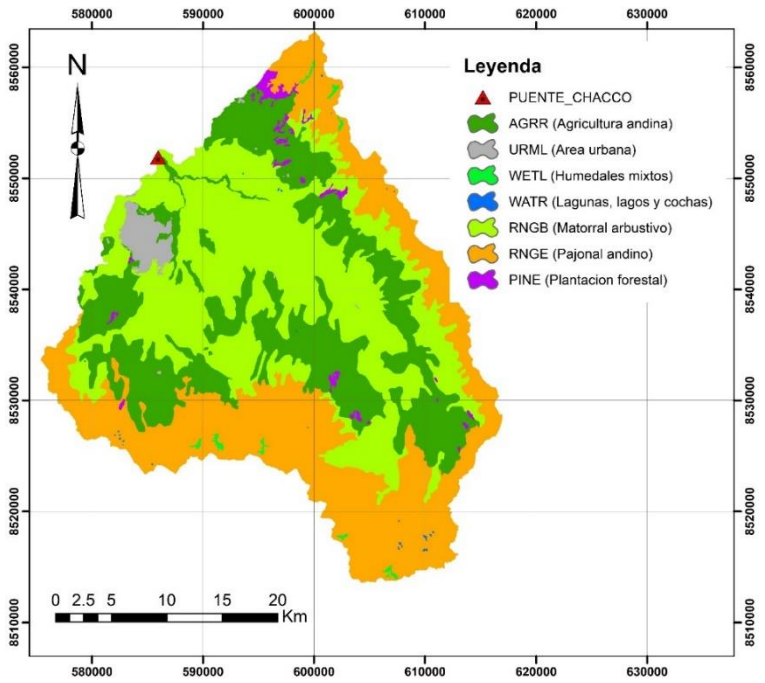


Figura 10: Uso de suelo clasificación MINAM 2015
Fuente: Elaboración propia

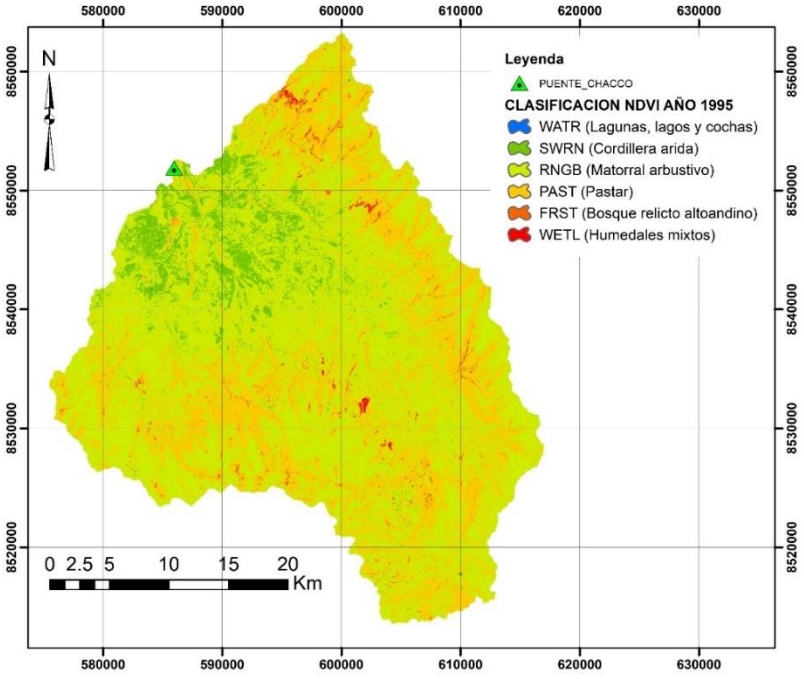


Figura 11: Uso de suelo clasificación NDVI 1995
Fuente: Elaboración propia

Para el uso de clasificacion de suelo NDVI 1995, se elaboro despues de descargar y procesar la imagen satelital LandSat de la zona de la cuenca en el año 1995.

Tabla 7: Obtención de imagen satelital

Año	Tipo LandSat	Path	Row	Nubosidad	Fecha de adquisición	Colección de Landsat	Formato de Salida
1995	L5MT	5	69	4	Jun_01	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR	GeoTiff
1996	L5MT	5	69	4	May_18	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR	GeoTiff
1997	L5MT	5	69	8	Jun_06	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR	GeoTiff
1998	L5MT	5	69	16	Dic_02	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR	GeoTiff
1999	L5MT	5	69	2	Jul_30	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR	GeoTiff
2000	L5MT	5	69	11	Jun_14	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR	GeoTiff
2001	L5MT	5	69	19	Ago_04	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR	GeoTiff

Fuente: Elaboración propia

Los datos aforados en el puente Chacco comprenden el periodo de 1995 hasta 2001, y se descarga y procesa las imágenes satelitales LandSat como muestra la Tabla 7.

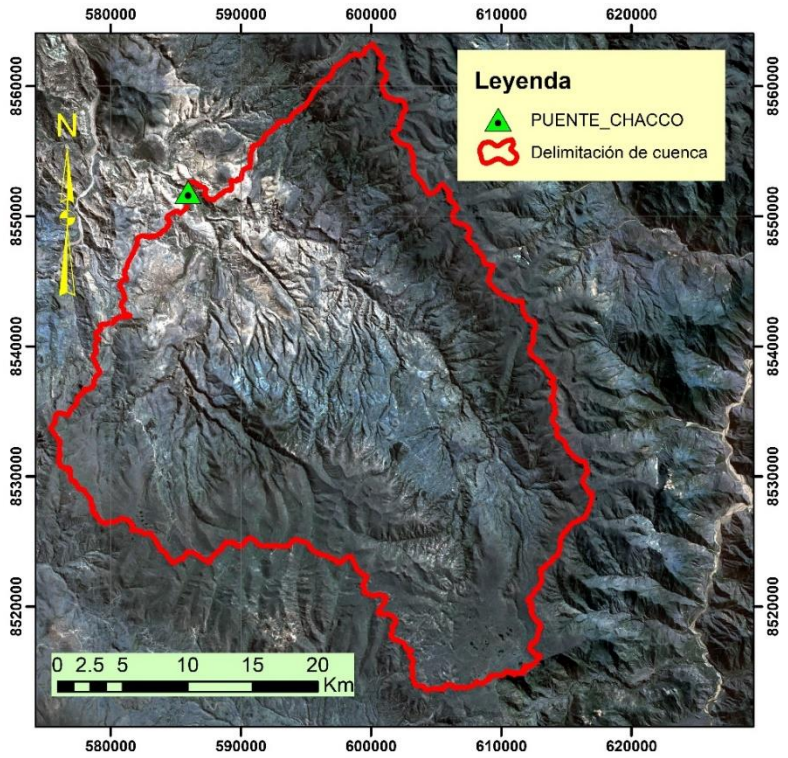


Figura 12: Imagen satelital 1995 descargado y procesado
Fuente: Elaboración propia

La imagen satelita LandSat del año 1995 se clasifico en dos tipos A y B, para observar en el modelo hidrologico semidistribuido SWAT y luego calibrar y validad el modelo.

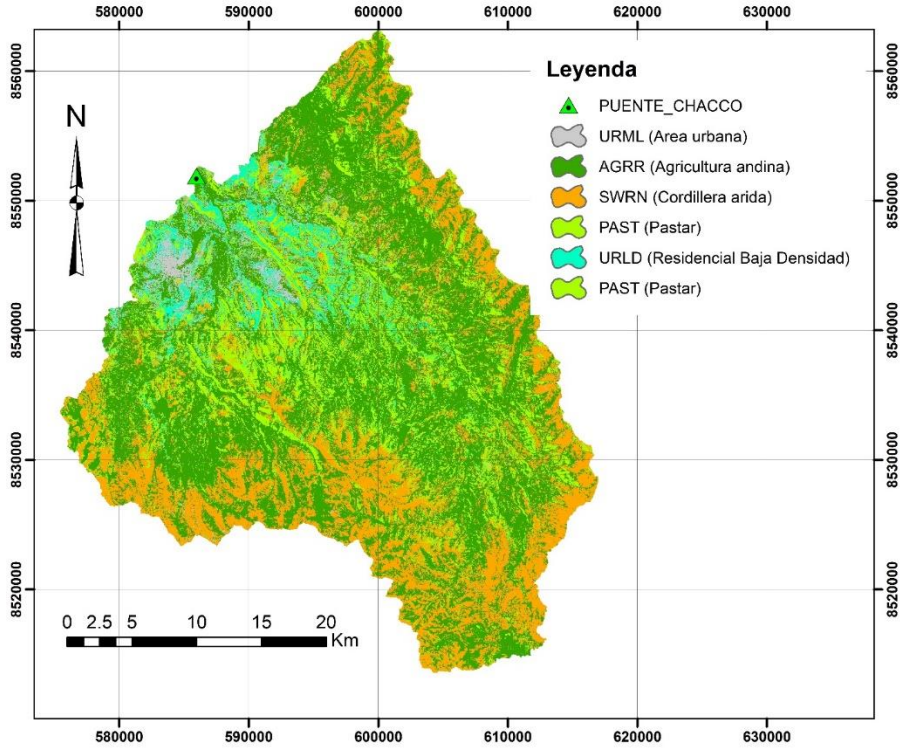


Figura 13: Uso de suelo clasificación imagen satelital 1995-A
Fuente: Elaboración propia

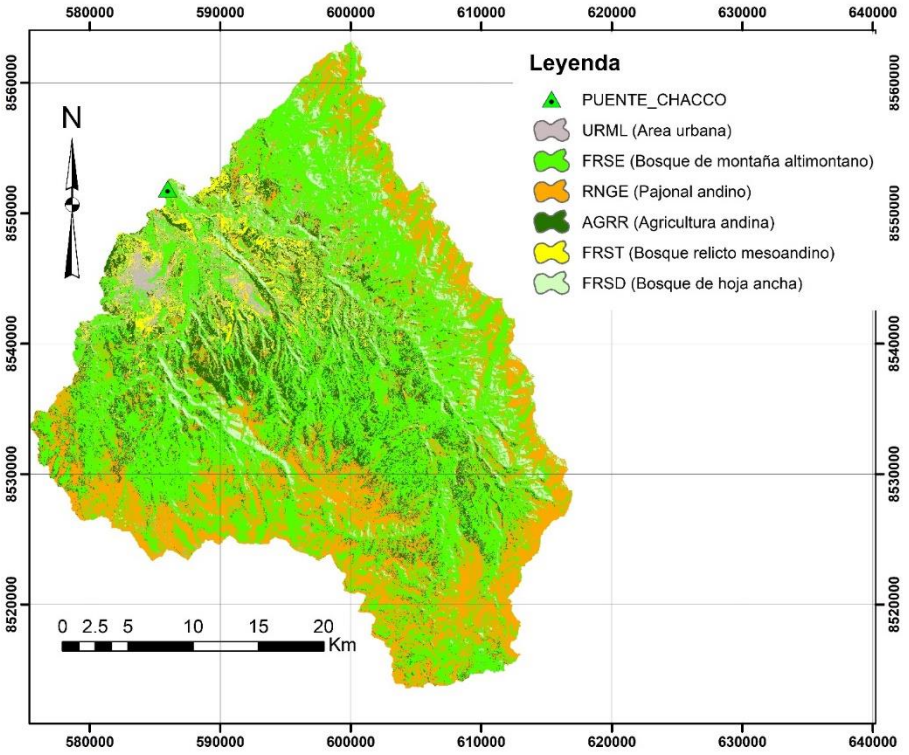


Figura 14: Uso de suelo clasificación imagen satelital 1995-B
Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Tabla de 4 tipos de usos de suelo aplicado a la cuenca de investigación

Unidades	COBERTURA VEGETAL	Código de uso de suelo en SWAT
	Uso de suelo clasificación MINAM 2015	
1	Agricultura andina	AGRR
2	Área urbana	URML
3	Humedales mixtos	WETL
4	Lagunas, lagos o cochas	WATR
5	Matorral arbustivo	RNGB
6	Pajonal andino	RNGE
7	Plantación Forestal	PINE
	Uso de suelo clasificación NDVI 1995	
1	Lagunas, lagos o cochas	WATR
2	Cordillera árida	SWRN
3	Matorral arbustivo	RNGB
4	Pastar	PAST
5	Bosque relicto altoandino	FRST
6	Humedales mixtos	WETL
	Uso de suelo clasificación imagen satelital 1995-A	
1	Área urbana	URML
2	Agricultura andina	AGRR
3	Cordillera árida	SWRN
4	Pastar	PAST
5	Residencial baja densidad	URLD
	Uso de suelo clasificación imagen satelital 1995-B	
1	Área urbana	URML
2	Bosque de montaña altimontano	FRSE
3	Pajonal andino	RNGE
4	Agricultura andina	AGRR
5	Bosque relicto altoandino	FRST
6	Bosque de hoja ancha	FRSD

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 8 se observa las 4 clasificaciones de uso de suelo con su respectivo codigo de uso de suelo tomado por el modelo hidrologico semidistribuido SWAT.

iii. Clasificación de suelos

La información de suelos, obtenida de la clasificación realizada por la FAO

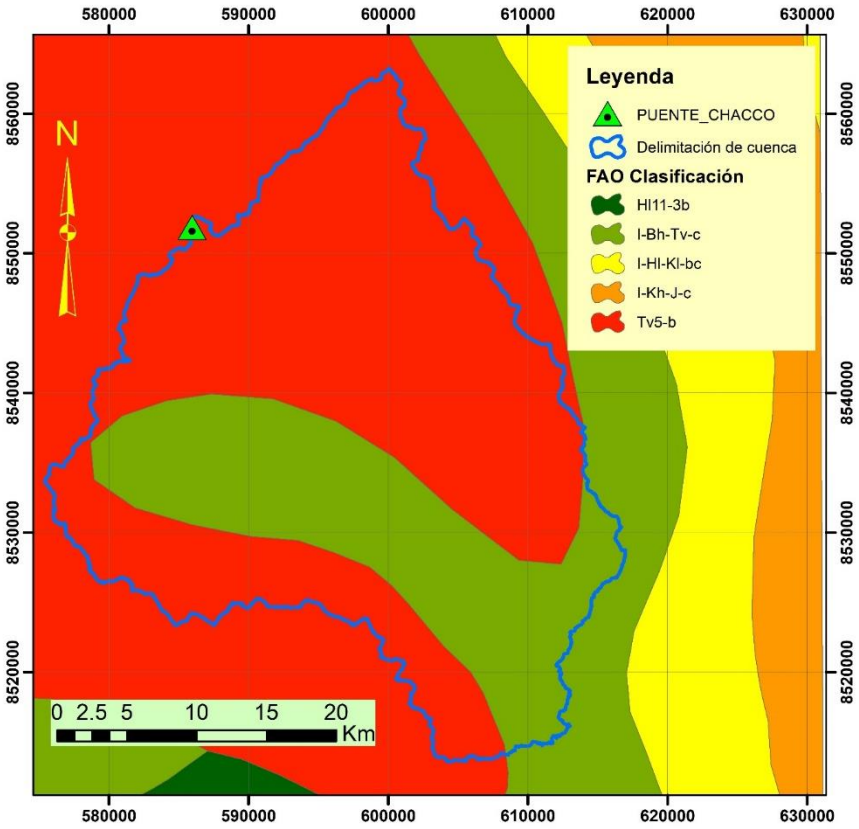


Figura 15: Mapa de clasificación de suelos FAO en la cuenca de estudio
Fuente: Elaboración propia

Para la clasificación de suelos, SWAT requiere de un raster que esté vinculado a una base de datos del cual, según su clasificación, se puedan obtener una lista de propiedades necesarias, se optó por emplear el mapa taxonómico global de la FAO, así como su base de datos. La clasificación obtenida se muestra en la Figura 15 (FAO, 1971).

Tabla 9: Tabla de clases de suelo de acuerdo a la clasificación FAO

Suelo FAO	Vegetación	Litología
Tv5-b	Bosque montano húmedo y bosque seco, monte xerofítico en los valles	Cenizas y lavas cuaternarias
I-Kh-J-c	Bosque seco y monte xerofítico de los valles interandinos	Aluvión, cenizas cuaternarias, rocas ígneas, rocas clásticas y calcáreas pérmicas y mesozoicas

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9 se observa el nombre y la litología de la clasificación realizada por la FAO a nivel mundial.

iv. Clasificación de pendientes

La clasificación de pendientes se elaboró a partir del modelo de elevación ASTER de resolución de pixel cada 30 m. se clasifico las pendientes en 4 clases para apreciar las ondulaciones propias de los terrenos como se muestra en la Figura 16.

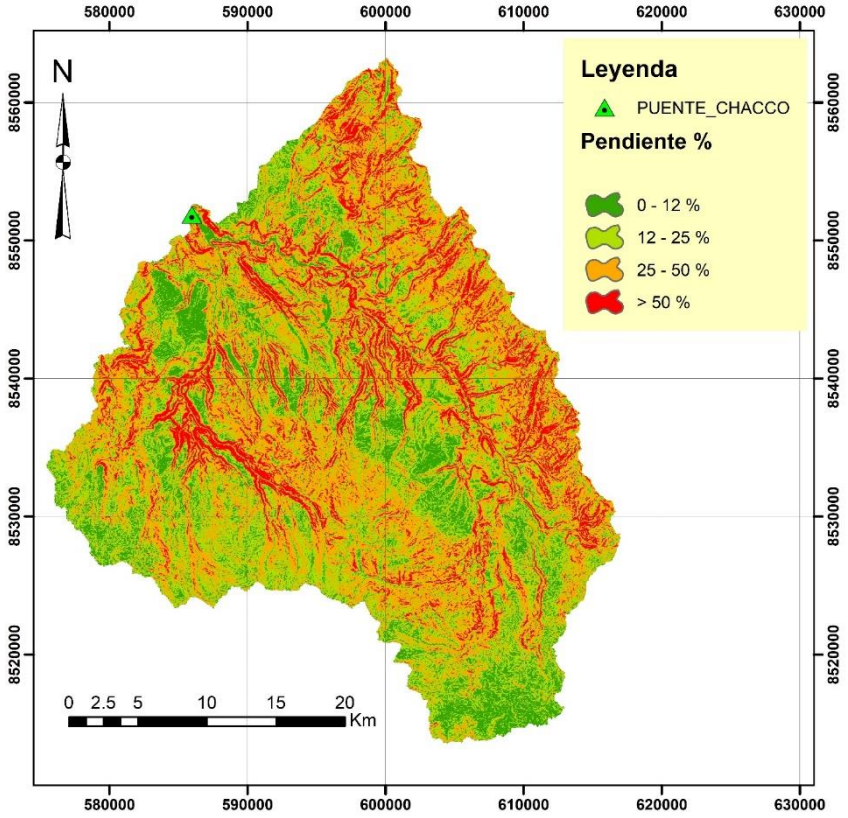


Figura 16: Mapa de pendientes de la cuenca del río
Fuente: Elaboración propia

v. Datos meteorológicos e hidrológicos

Los datos meteorológicos necesarios que el modelo requiere a escala diaria (precipitación, temperaturas máximas y mínimas) fueron obtenidos mediante PISCO, porque en la cuenca en estudio no se encuentra ninguna estación oficial de la SENAMHI como se aprecia en la Figura 17.

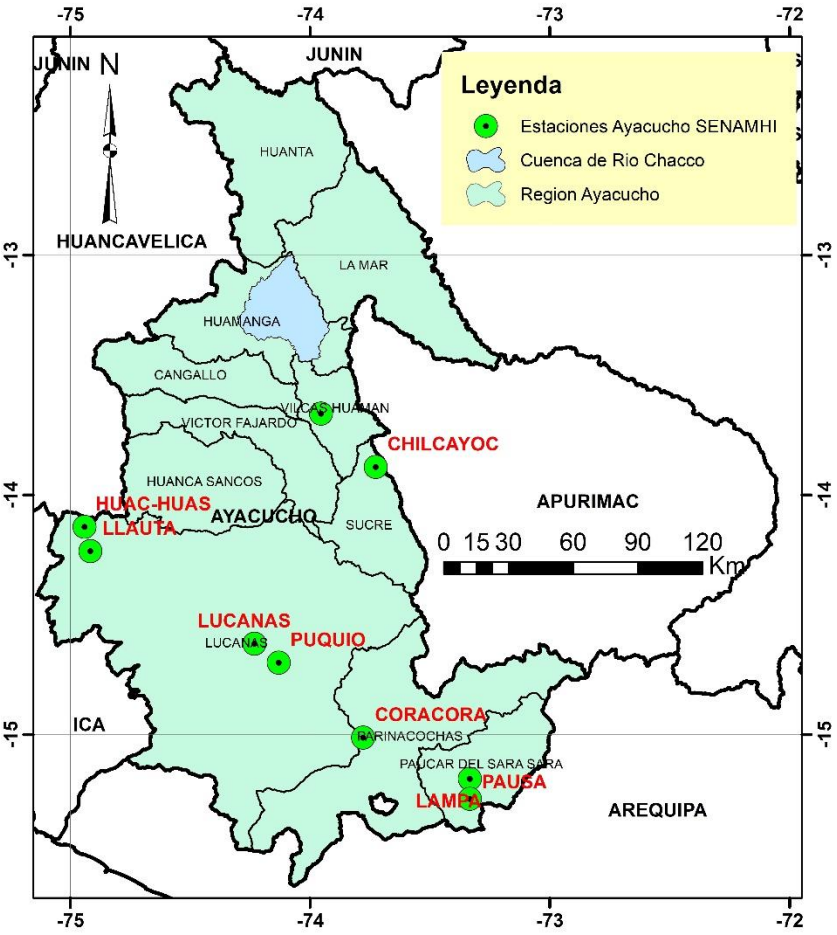


Figura 17: Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas en la región de Ayacucho
Fuente: Elaboración propia

3.9.2. Metodología

Para lograr el objetivo de la presente investigación se plantea un esquema que consiste en 3 etapas:

3.9.2.1. Primera etapa: Análisis Climático

Consiste en obtener los datos de precipitación y temperatura futura para la cuenca del rio Chacco, mediante los siguientes pasos:

- Descargar los datos de precipitación y temperatura media entre los años 1981 hasta 2100 de los modelos climáticos globales (GCM), se realiza la descarga mediante la página web https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cmip6?tab=overview del modelo CMIP6, tomando dos escenarios de trayectorias

Socioeconómicamente compartidas (SSP) que son el SSP245 Y SSP585, ya que la primera es la trayectoria más probable de emisión y la segunda es la más crítica.

- Seleccionar los modelos climáticos globales más adecuados para la cuenca en estudio, se realiza un análisis en el periodo histórico (1981-2016) que consiste en comparar la información de los modelos climáticos globales y los registros históricos, se usara el parámetro de medición de sesgo Bias y el coeficiente de correlación.
- Seleccionar los modelos climáticos globales (GCM) para realizar un escalamiento estadístico se usará el mapeo de cuantiles (Quantile Mapping) con el fin de obtener valores más representativos para la cuenca de estudio. De esta manera se obtiene los datos de precipitación y temperatura futura para la cuenca de estudio.

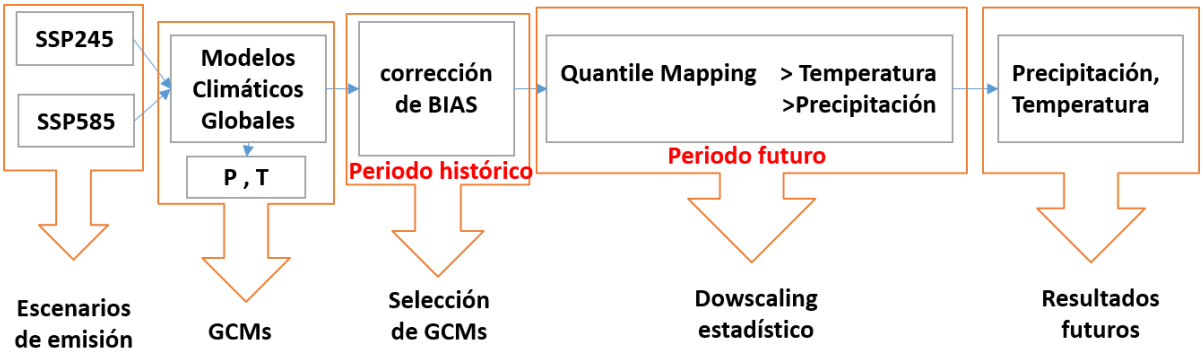


Figura 18: Esquema metodológico para el análisis climático
Fuente: Elaboración propia

Las herramientas empleadas para realizar este análisis se usaron el MS Excel y el lenguaje de programación R.

3.9.2.2. Segunda etapa: Modelo hidrológico

En esta etapa se calibra y valida el modelo hidrológico semidistribuido SWAT, con la finalidad de determinar la escorrentía superficial mediante los caudales futuros en el punto de aforo de la cuenca de estudio:

- Se calibro y valido el modelo hidrológico semidistribuido a paso mensual en SWAT en el periodo histórico comprendido entre 1995 al 2001, para ello se usó el criterio de R2,

con el cual se encontraron los parámetros más óptimos del modelo hidrológico semidistribuido SWAT que son capaces de representar el comportamiento hidrológico de la cuenca de estudio. La herramienta de modelo hidrológico se utilizó el SWAT ya que es un modelo semidistribuido de gran aceptación en el mundo y que da buenos resultados.

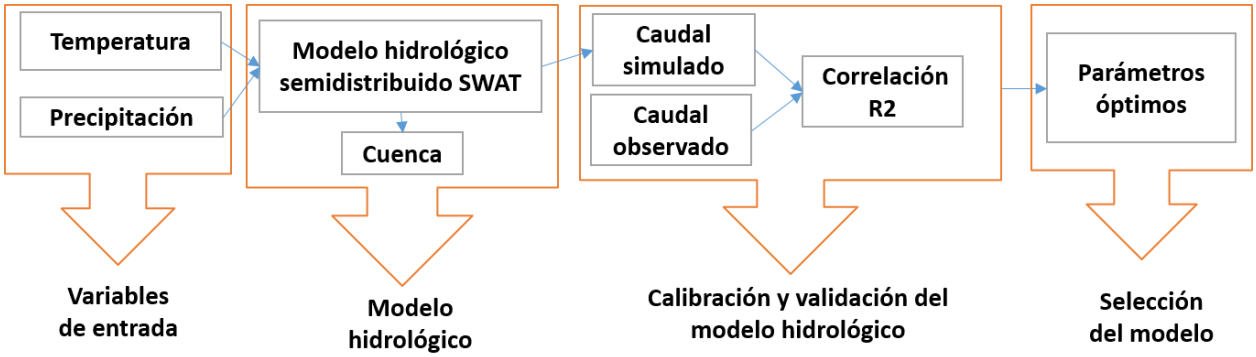


Figura 19: Esquema hidrológico para el modelo hidrológico SWAT

Fuente: Elaboración propia

- Ya teniendo el modelo hidrológico semidistribuido SWAT con los parámetros óptimos, ahora se simula con los datos de precipitación y temperatura futuros para determinar la escorrentía superficial mediante el flujo de caudal en el punto de aforo de la cuenca de estudio escorrentía superficial mediante el flujo de caudal en el punto de aforo de la cuenca de estudio

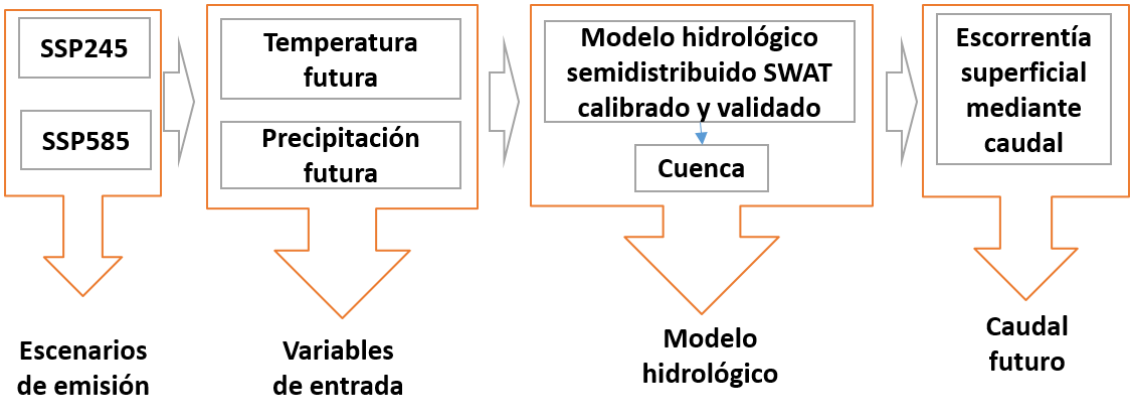


Figura 20: Esquema metodológico para la generación de caudales futuros

Fuente: Elaboración propia

3.9.2.3. Tercera etapa: Evaluación de escorrentía superficial observado y futuro

En esta etapa se realiza la evaluación del impacto del cambio climático mediante la comparación mensual promedio de las variables de temperatura y precipitación observadas y futuras.

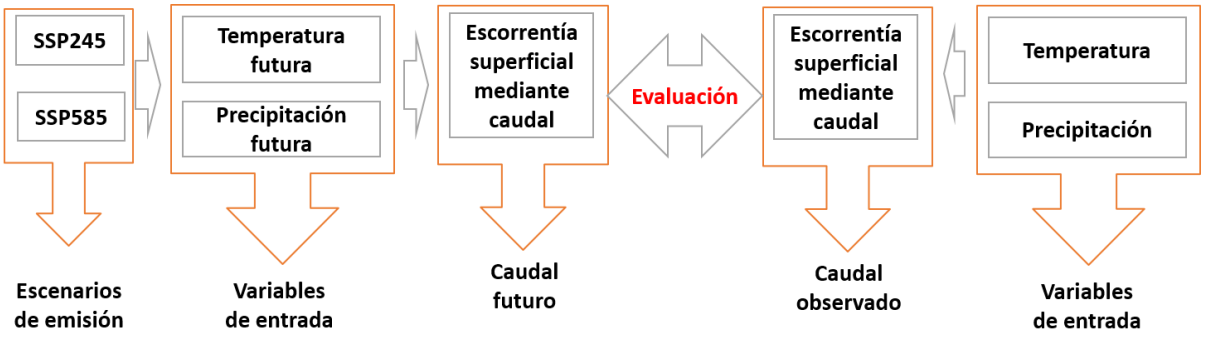


Figura 21: Esquema metodológico para la evaluación de las variables
Fuente: Elaboración propia

3.9.3. Selección de modelos climáticos globales (GCM)

Los modelos climáticos globales analizados para la presente investigación fueron 10 modelos como muestra la Tabla 10, y para la selección de los modelos se usó la plataforma COPERNICUS cuyo página web es: https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cmip6?tab=overview, se realizó que los modelos tengan los parámetros de precipitación, temperatura máxima y mínima tanto histórica como escenarios futuros SSP de la CMIP6 y el rango de tiempo diario,

Para los datos históricos se descargó desde el periodo de 1970 hasta 2014, para los escenarios futuros de SSP245 Y SSP585 se tomó el periodo de 2020 hasta 2100.

Tabla 10: Modelos Climáticos utilizados en la investigación

ID	Modelo climático global (CMIP6)	Resolución Espacial lat°xlon°	Centro de Modelamiento
1	ACCESS-CM2	1.875x1.25	Australian Community Climate and Earth System Simulator (ACCESS) (Australia)
2	CanESM5	2.8x2.8	The Canadian Earth System Model (Canada)
3	INM-CM4-8	2°x1.5°	Institute for Numerical Mathematics, Russian Academy of Science - Rusia
4	MPI-ESM1-2-LR	1.9x1.9	Max Planck Institute Earth System Model (MPI-ESM1.2) (Germany)
5	NorESM2-MM	2.5°x1.894737°	Norwegian Climate Centre (NCC) (Noruega)
6	CMCC-ESM2	0.9x1.25	The Euro-Mediterranean Centre on Climate Change (CMCC) Foundation (Italy)
7	CNRM-CM6-1	1.4x1.4	Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) (France)
8	EC-Earth3-CC	0.7x0.7	European consortium of national meteorological services and research institutes (Europe)
9	MRI-ESM2-0	1.1x1.1	Meteorological Research Institute of the Japan Meteorological Agency (MRI)
10	NESM3	1.9x1.9	Nanjing University of Information Science and Technology (NUIST), Nanjing, China

Fuente: Elaboración propia

Se realiza los sesgos mediante Bias y una correlación (R2) de los 10 modelos climáticos globales y los datos proporcionados por PISCO en el periodo de 1981 hasta 2014 como se muestra en la Figura 23.

La descarga de cada modelo climático global se realiza en 8 puntos virtuales que son necesarios para ingresar al modelo hidrológico semidistribuido SWAT como se muestra en la Figura 22.

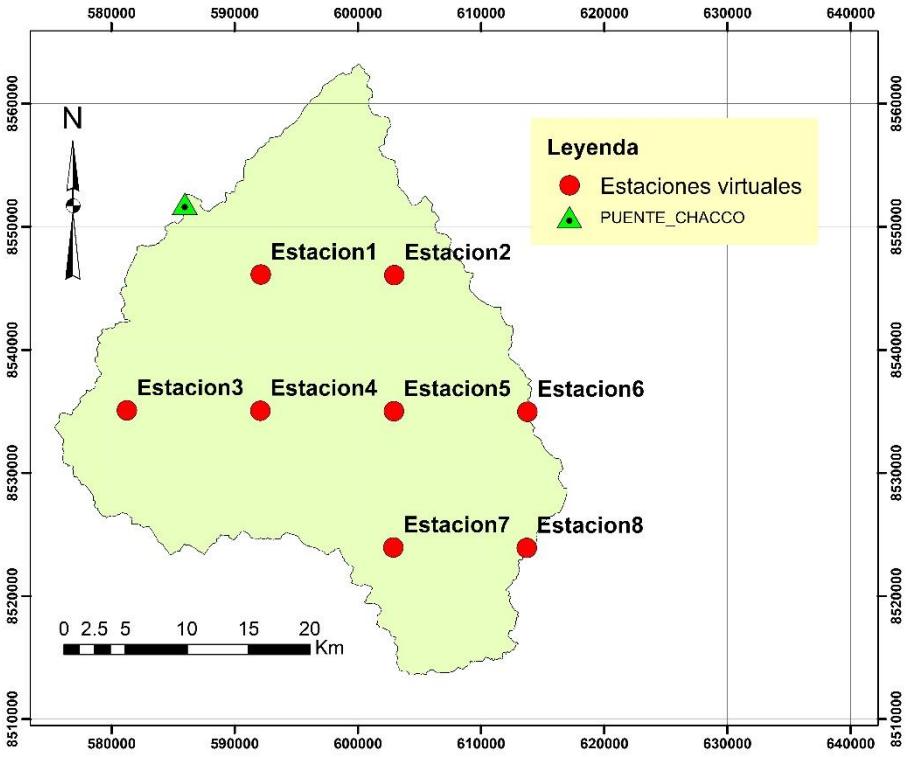


Figura 22: Grafico de 8 puntos virtuales tomados para el modelo SWAT
Fuente: Elaboración propia

En el anexo 04 se aprecia los datos de precipitación promedio mensual extraídos de PISCO para las 8 estaciones virtuales en la cuenca de estudio.

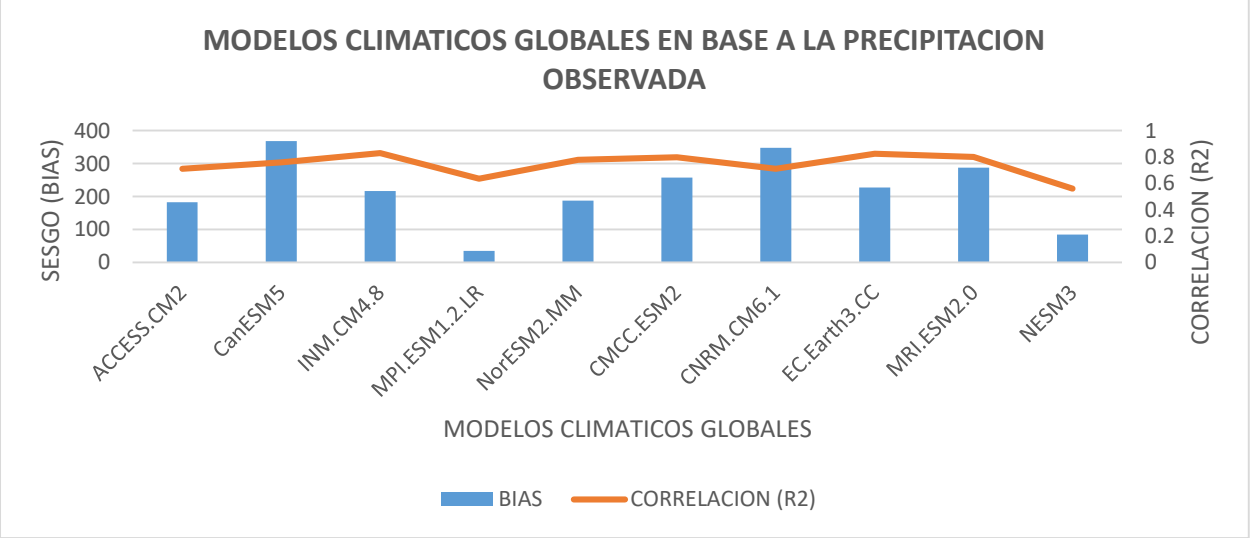


Figura 23: Grafico de sesgo y correlación (R2) entre los modelos seleccionados y datos PISCO para la precipitación
Fuente: Elaboración propia

Se realizó los sesgos mediante Bias y una correlación (R2) de los 10 modelos y los datos PISCO para la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11: Tabla de sesgo y correlación (R2) entre los modelos seleccionados y datos PISCO para la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima.

N°	MODELO CLIMATICO GLOBAL (GCM)	PRECIPITACION		TEMPERATURA MAXIMA		TEMPERATURA MINIMA	
		(R2)	BIAS	(R2)	BIAS	(R2)	BIAS
1	ACCESS.CM2	0.710	182.742	0.150	-9.966	0.834	-2.396
2	CanESM5	0.759	367.765	0.240	-9.782	0.860	-1.657
3	INM.CM4.8	0.830	216.512	0.318	-4.255	0.912	3.065
4	MPI.ESM1.2.LR	0.636	35.040	0.186	-4.321	0.712	0.790
5	NorESM2.MM	0.780	187.199	0.383	-8.663	0.861	-0.436
6	CMCC.ESM2	0.797	257.167	0.139	-9.902	0.883	-2.811
7	CNRM.CM6.1	0.709	347.651	0.239	-15.258	0.808	-9.399
8	EC.Earth3.CC	0.824	227.636	0.382	-8.511	0.861	-3.307
9	MRI.ESM2.0	0.799	287.848	0.135	-10.661	0.850	-2.954
10	NESM3	0.560	84.403	0.262	-8.637	0.525	4.158

Fuente: Elaboración propia

3.9.4. Escalamiento estadístico

Los 10 modelos climáticos globales de acuerdo a la metodología esquematizada se realiza el escalamiento estadístico para la variable de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima su usa el método de mapeo de cuantiles se utiliza código en el lenguaje de programación en R por la gran cantidad de datos diarios a procesar.

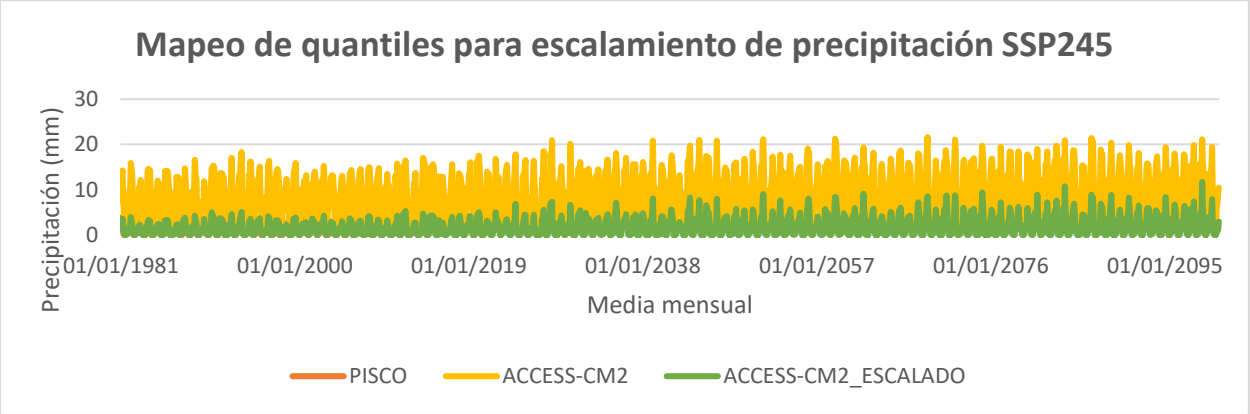


Figura 24: Grafico de Mapeo de cuantiles para escalamiento de precipitación SSP245

Fuente: Elaboración propia

Los algoritmos de corrección de sesgos por mapeo de cuantiles corrige los sesgos de distribución sistemáticos son efectivos para eliminar los sesgos históricos en relación con las observadas y ayuda en las tendencias futuras, se realiza el escalamiento mediante mapeo de cuantiles del modelo climático global de ACCESS-CM2 como muestran las Figura 24, Figura 25 y Figura 26.

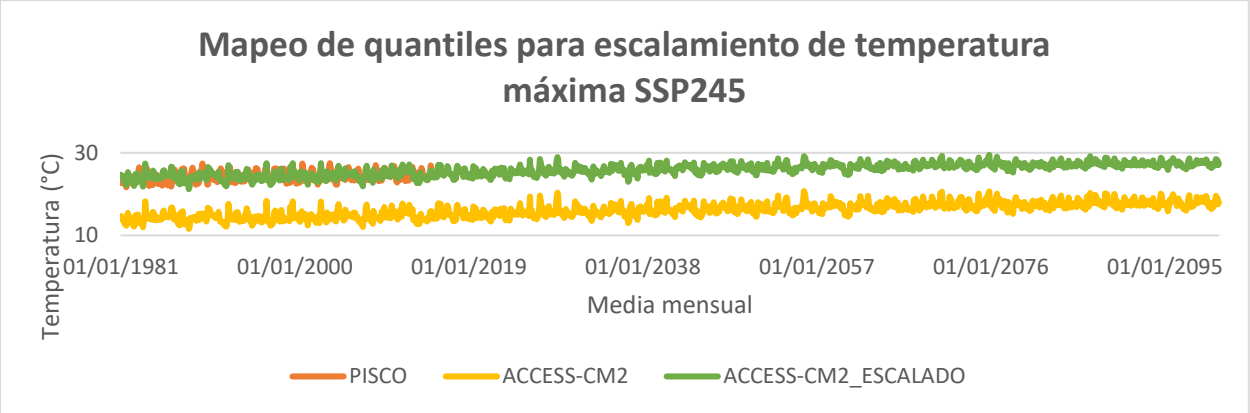


Figura 25: Grafico de Mapeo de quantiles para escalamiento de temperatura máxima SSP245

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el escalamiento estadístico mapeo de cuantiles trata de linealizar los extremos de los datos crudos de los modelos climáticos globales.

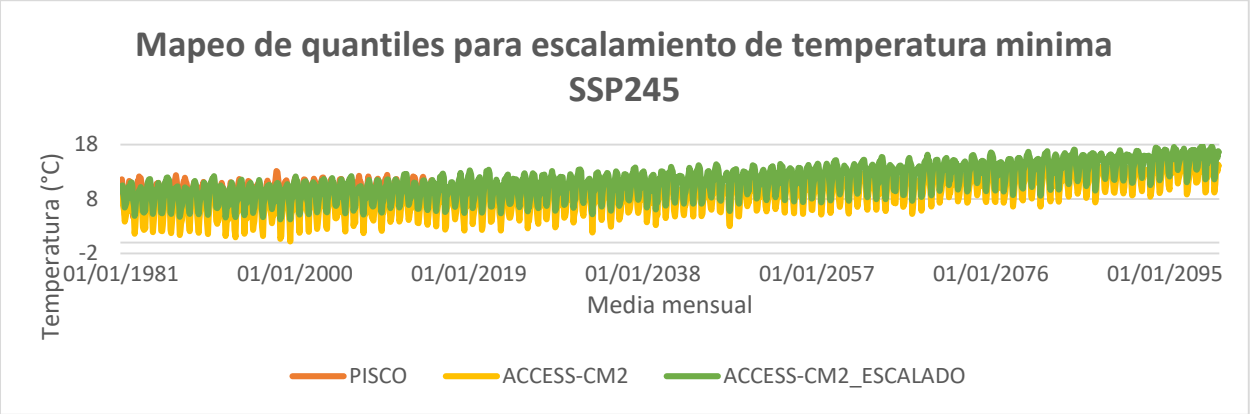


Figura 26: Mapeo de cuantiles para escalamiento de temperatura mínima SSP245
Fuente: Elaboración propia

3.9.5. Modelamiento hidrológico

3.9.5.1. Variables de entrada

Las variables de entrada para el modelo hidrológico semidistribuido SWAT son la precipitación, temperatura máxima y mínima como disponemos de datos aforados en el puente Chacco del periodo de 1995 hasta 2001, este rango nos sirve para calibrar y validar el modelo hidrológico SWAT, se muestra las variables de precipitación, temperatura máxima y mínima de PISCO para la cuenca de investigación.

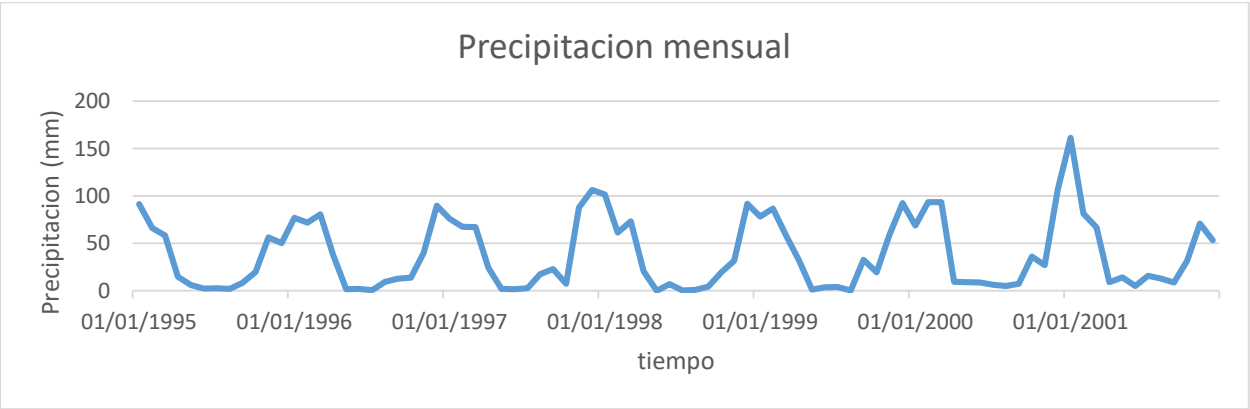


Figura 27: Variable de precipitación usado en el modelo hidrológico SWAT
Fuente: Elaboración propia

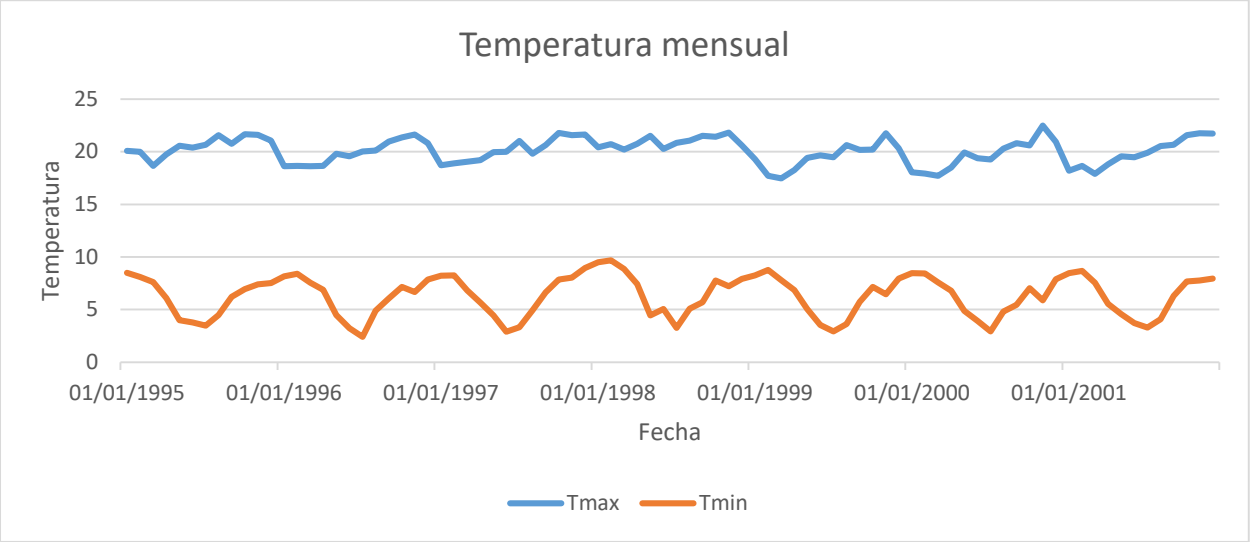


Figura 28: Variable de temperatura usado en el modelo hidrológico SWAT
Fuente: Elaboración propia

3.9.5.2. Periodos de referencia

El modelo hidrológico semidistribuido SWAT tiene 3 periodos, el primero se refiere al periodo de calentamiento en la cual se ingresan unos valores iniciales que son necesarios para que el modelo optimice el número de iteraciones. El segundo periodo corresponde a la calibración donde los valores de observados y simulados se optimiza de acuerdo al criterio de sensibilidad de R2. El tercer periodo corresponde a la validación que consiste en una comparación entre el caudal observado y caudal simulado validando su eficiencia usando el criterio de R2.

Tabla 12: Periodos de referencia y cantidad de información usada en el modelo SWAT

Periodo	De	Hasta	Meses
Calentamiento	1/1/1992	1/12/1994	36
Calibración	1/1/1995	1/12/1998	48
Validación	1/1/1999	1/12/2001	36
		Total	**120**

Fuente: Elaboración propia

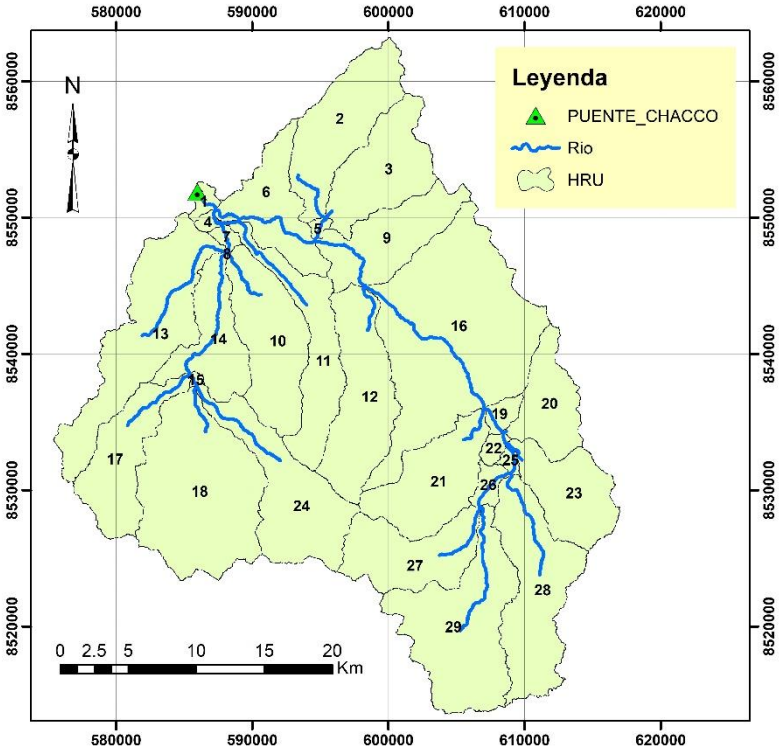


Figura 29: Clasificación en HRU en modelo hidrológico semidistribuido SWAT
Fuente: Elaboración propia

Luego de ingresar los datos requeridos por el modelo hidrológico semidistribuido SWAT se procesa de acuerdo a la discretizacion asumida en 29 unidades de respuesta hidrológica HRU tomando en cuenta las corrientes de red de corrientes de acuerdo a la carta nacional del peru.

3.9.5.3. Calibración y validación del modelo

Para la calibración y validación del modelo hidrológico semidistribuido SWAT se tomó 4 alternativas de uso de suelo como se muestra en la tabla 13, después de la evaluación de los resultados de calibración se toma el uso de suelo de clasificación de MINAM que tiene un resultado más consistente tomando en cuenta que en el rango de los datos de caudal observados que comprende desde 1995 hasta 2001 se produce en los años 1997 y 1998 el fenómeno del niño que distorsiona los parámetros de precipitación y temperatura causándole eventos extremos.

Tabla 13: Tabla de caudal aforado en el puente Chacco

Mes	Caudal aforado en el puente Chacco (m3/s)						
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
ENERO	10.35	6.92	13.79	10.37	6.56	10.36	6.04
FEBRERO	15.65	18.8	12.5	15.06	22.5	43.74	4.96
MARZO	17.5	14.6	20.39	18.06	26.76	28.64	8.75
ABRIL	6.24	9.92	2.56	5.38	7.65	7.37	8.32
MAYO	1.99	2	1.97	1.64	2.57	3.72	2.38
JUNIO	1.41	1.03	1.8	1.3	1.61	2.28	0.93
JULIO	1.59	1.23	1.94	1.13	1.47	1.87	0.9
AGOSTO	1.78	1.13	2.44	1	1.09	1.23	0.48
SETIEMBRE	2.03	1.16	2.91	0.82	1.2	0.93	0.38
OCTUBRE	0.8	1.44	2.46	1.16	1.21	2.23	2.54
NOVIEMBRE	1.47	0.93	3.9	1.01	1.85	0.68	2.34
DICIEMBRE	1.58	3.29	3.93	2.13	2.57	2.14	2.53
promedio anual	**5.20**	**5.20**	**5.88**	**4.92**	**6.42**	**8.77**	**3.38**

Fuente: (Najarro, 2015)

En la Tabla 13 se observa que el promedio anual de los años de aforo del caudal no muestra una regularidad lo que evidencia el impacto del fenómeno del niño. Los datos de aforo fueron registrados por el Proyecto Especial “Rio Cachi” la Dirección de Obras y Estudios, Unidad de Hidrología (Najarro, 2015).

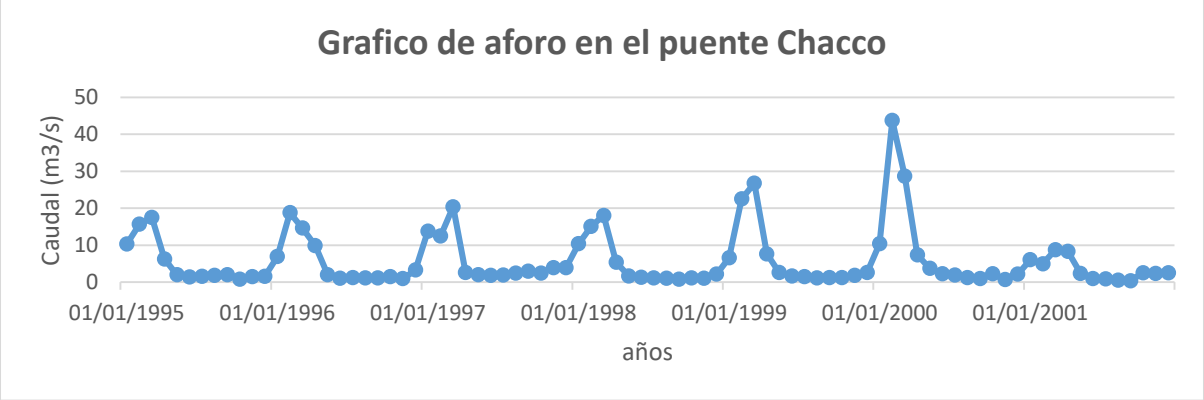


Figura 30: Grafico de aforo de caudal en el puente Chacco
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 30 se aprecia la no regularidad del aforo mensual en puente Chacco. Se presenta una irregularidad de picos en el año 2000 y 2001, muchos especialistas sostienen el impacto del fenómeno del niño en el peru de 1997-1998 que genera variaciones extremas climáticas en las variables de precipitación y temperatura.

Tabla 14: Tabla de calibración y validación tomando en cuenta 4 tipos de usos de suelo

Periodo	Media observada (m3/s)	Media simulada (m3/s)	Rendimiento del Modelo			
			NSE	R2	PBIAS	RSR
USO DE SUELO CLASIFICACION MINAM						
Calibración	5.3	4.21	0.4	0.47	-20.6	0.77
Validación	6.19	5.1	0.11	0.22	-17.5	0.93
USO DE SUELO CLASIFICACION NDVI						
Calibración	5.3	2.96	0.31	0.47	-44.1	0.82
Validación	6.19	3.8	0.09	0.19	-38.5	0.94
USO DE SUELO CLASIFICACION IMAGEN SATELITAL 1995-A						
Calibración	5.3	4.21	0.41	0.47	-20.6	0.76
Validación	6.19	5.07	0.12	0.22	-18.1	0.93
USO DE SUELO CLASIFICACION IMAGEN SATELITAL 1995-B						
Calibración	5.3	2.45	0.2	0.47	-53.9	0.88
Validación	6.19	3.11	0.11	0.22	-17.5	0.93

Fuente: Elaboración propia

Para la calibración se usó el programa de SWAT-CUP que es un programa de libre acceso que dispone de las propiedades para calibrar ajustando los parámetros del modelo hidrológico SWAT, después de muchas iteraciones se logra los 9 parámetros ajustados tomando en cuenta las 4 clasificaciones de uso de suelo para el modelo hidrológico semidistribuido SWAT como muestra la tabla 15.

Tabla 15: Tabla de parámetros ajustados de la calibración del modelo hidrológico SWAT

PARAMETRO	DEFINICIONES Y UNIDADES	VALOR INICIAL	VALOR AJUSTADO
r__CN2.mgt	Número de curva inicial para la condición de humedad II (s/u)	1	-0.235
v__ALPHA_BF.gw	Factor "alpha" del flujo base	0.048	0.001
v__GW_DELAY.gw	Tiempo de retardo del flujo subterráneo (días)	31	500
v__GWQMN.gw	Umbral de profundidad de agua en el acuífero superficial para que ocurra flujo de retorno (mm)	1000	0
v__GW_REVAP.gw	Coeficiente de revaporización del agua subterránea (días)	0.02	0.02
v__ESCO.hru	Factor de compensación para la evaporación del suelo (s/u)	0.95	1
v__CH_N2.rte	Coeficiente de rugosidad de Manning para el canal (s/u)	0.014	0.4

v__CH_K2.rte	Conductividad hidráulica del canal principal (mm/hr)	0	0.0025
v__ALPHA_BNK.rte	Factor alfa de flujo base para almacenamiento en banco (días)	0	1

Fuente: Elaboración propia

3.9.6. Tendencias climáticas futuras

La proyección de las variables diarias de precipitación y temperatura se realizó para dos escenarios Trayectorias Socioeconómicamente Compartidas SSP245 y SSP585, dichas proyecciones considerando promedios mensuales desde el periodo de 2020 hasta 2100 y realizando una modelación hidrológica en SWAT para ver la incidencia sobre la escorrentía superficial como caudal en el punto de aforo de la cuenca de estudio.

3.9.6.1. Tendencia futura de la precipitación media mensual

Para los escenarios futuros de la variable de precipitación del periodo 2020 hasta 2100, lo clasificamos en 3 periodos que son FC (2020-2039) que significa futuro corto, FM (2040-2069) que significa futuro mediano y FL (2070-2100) que significa futuro largo. Lo realizamos para los escenarios de trayectorias socioeconómicas compartidas SSP tomados para la presente investigación que son SSP245 Y SSP585 y realizamos el escalamiento de mapeo de cuantiles en intervalo de tiempo de media mensual como muestran las figuras.

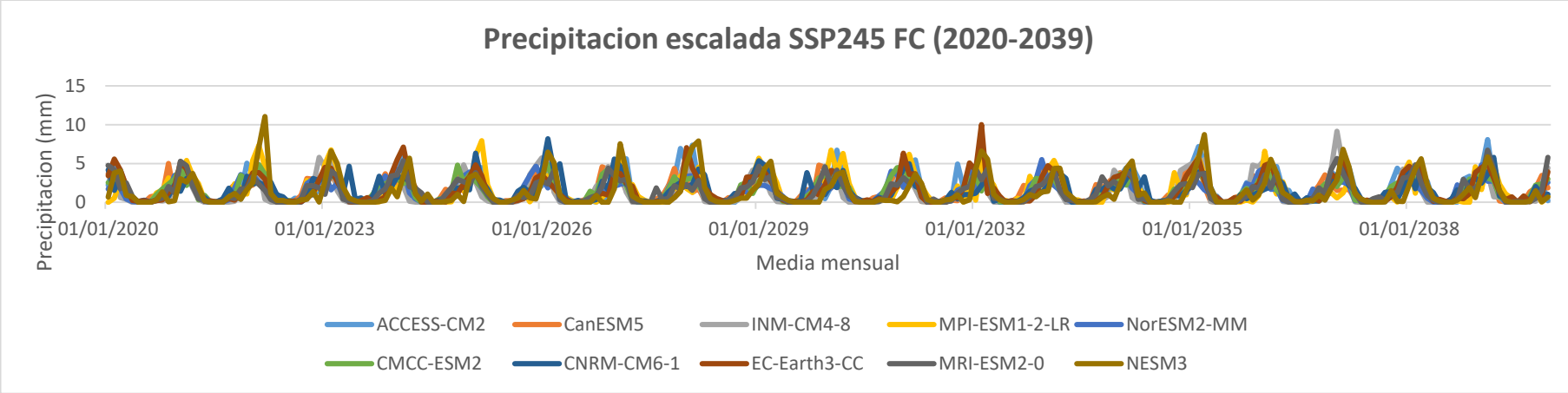


Figura 31: Grafico de precipitación escalada SSP245 FC (2020-2039)
Fuente: Elaboración propia

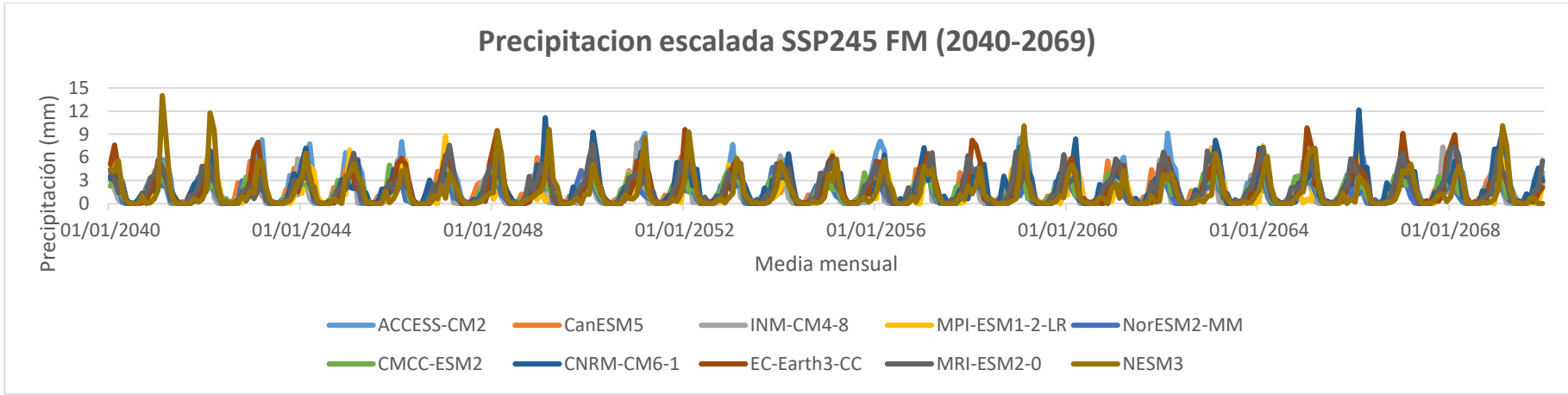


Figura 32: Grafico de precipitación escalada SSP245 FM (2040-2069)
Fuente: Elaboración propia

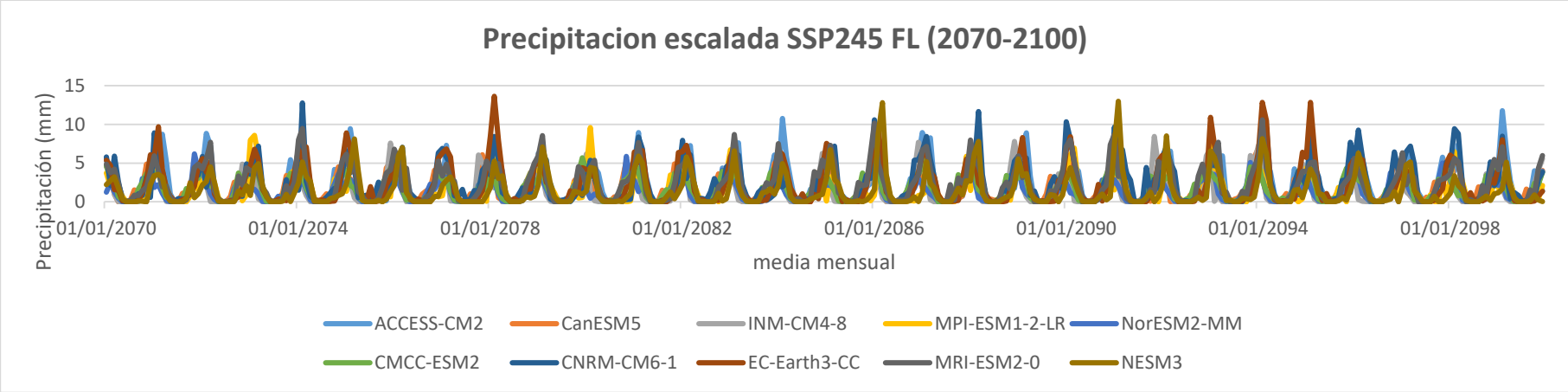


Figura 33: Grafico de precipitación escalada SSP245 FC (2070-2100)
Fuente: Elaboración propia

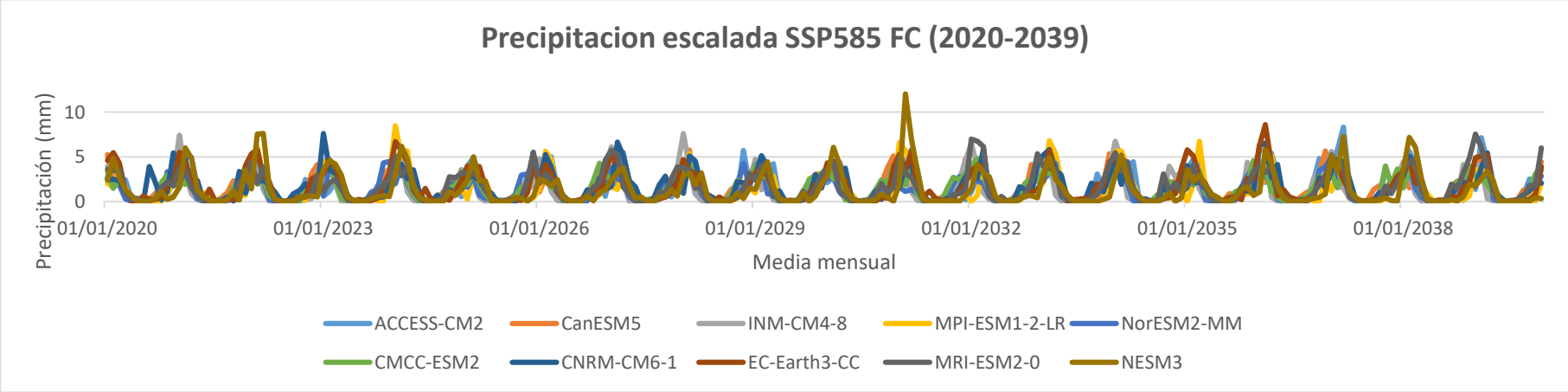


Figura 34: Grafico de precipitación escalada SSP585 FC (2020-2039)
Fuente: Elaboración propia

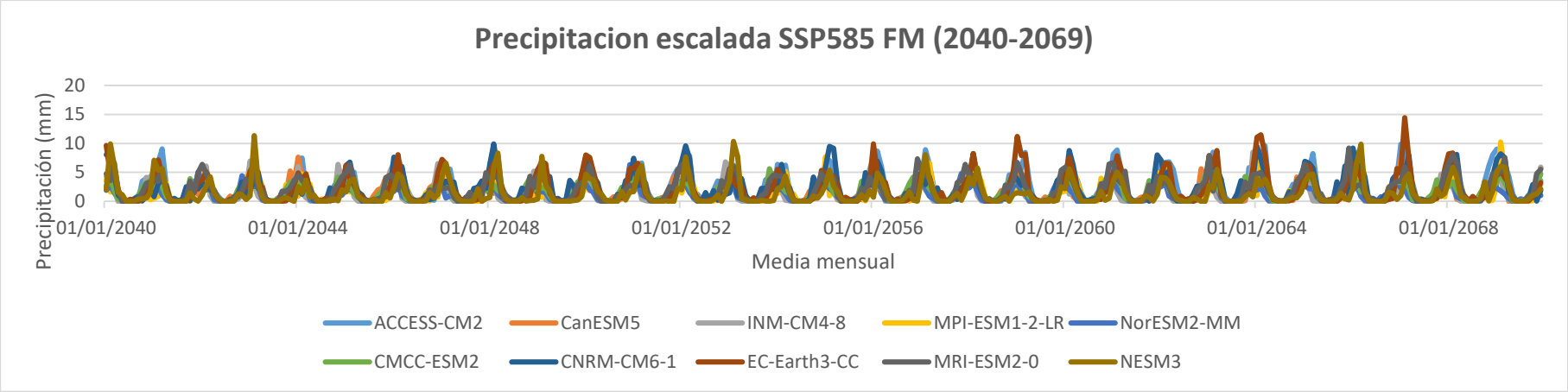


Figura 35: Grafico de precipitación escalada SSP585 FC (2040-2069)
Fuente: Elaboración propia

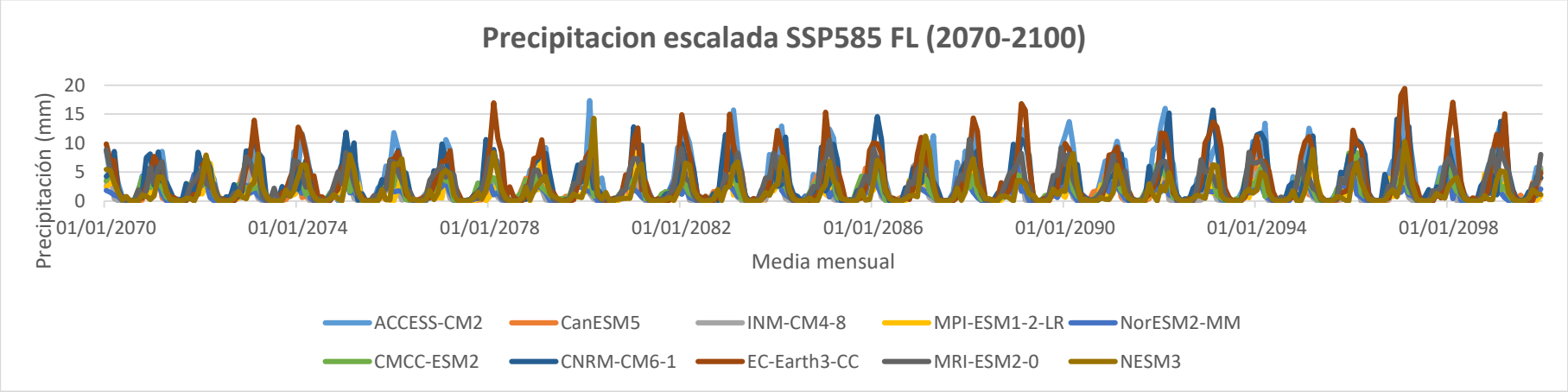
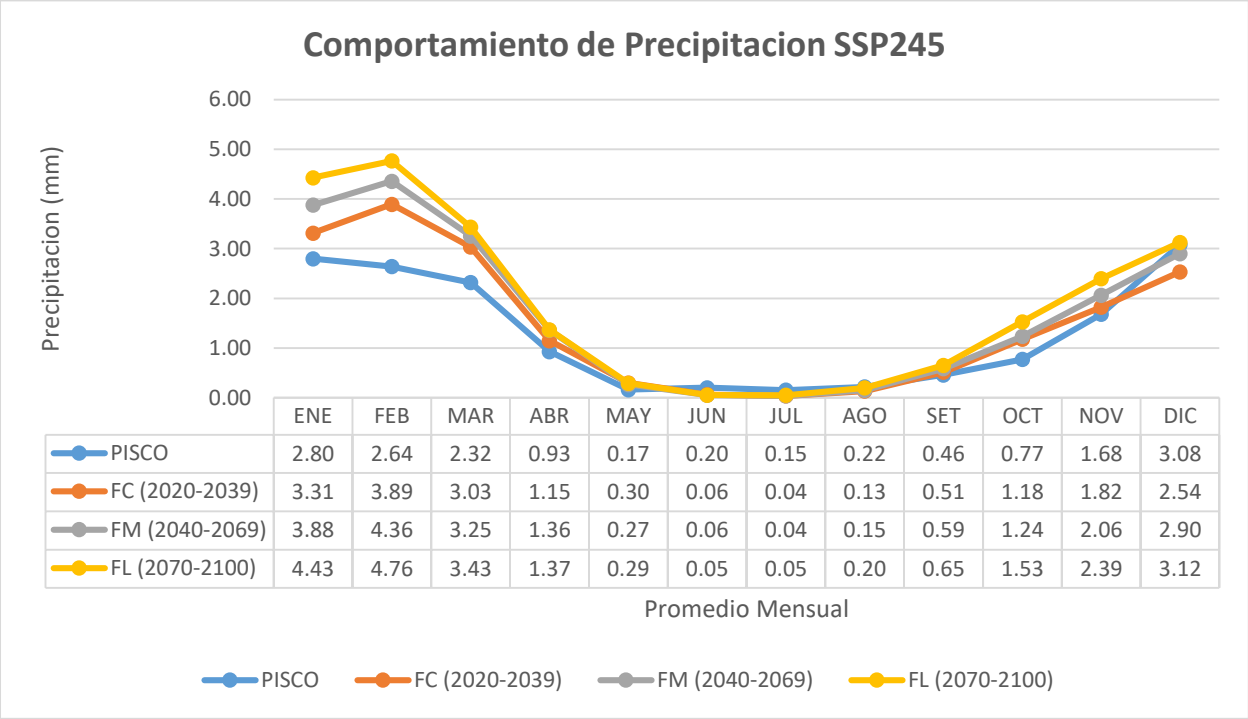


Figura 36: Grafico de precipitación escalada SSP585 FC (2070-2100)
Fuente: Elaboración propia

Realizamos un promedio en un año de la variable de precipitación hacemos un promedio de los 10 modelos climáticos globales, se observa que la tendencia de FC (2020-2039) es menor a FM (2040-2069) a su vez es menor a FL (2070-2100) tanto en los escenarios futuros de SSP245 y SSP585 como muestra la figura 33 y 34.



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
PISCO	2.80	2.64	2.32	0.93	0.17	0.20	0.15	0.22	0.46	0.77	1.68	3.08
FC (2020-2039)	3.31	3.89	3.03	1.15	0.30	0.06	0.04	0.13	0.51	1.18	1.82	2.54
FM (2040-2069)	3.88	4.36	3.25	1.36	0.27	0.06	0.04	0.15	0.59	1.24	2.06	2.90
FL (2070-2100)	4.43	4.76	3.43	1.37	0.29	0.05	0.05	0.20	0.65	1.53	2.39	3.12

Figura 37: Grafico de comportamiento de precipitación SSP245 media mensual
Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Tabla de comportamiento de la precipitación media mensual de los 10 GCM y los datos observados SSP245

MES	OBS(1981-2014)	FC (2020-2039)	FM (2040-2069)	FL (2070-2100)
ENE	2.80	3.31	3.88	4.43
FEB	2.64	3.89	4.36	4.76
MAR	2.32	3.03	3.25	3.43
ABR	0.93	1.15	1.36	1.37
MAY	0.17	0.30	0.27	0.29
JUN	0.20	0.06	0.06	0.05
JUL	0.15	0.04	0.04	0.05
AGO	0.22	0.13	0.15	0.20
SET	0.46	0.51	0.59	0.65
OCT	0.77	1.18	1.24	1.53
NOV	1.68	1.82	2.06	2.39
DIC	3.08	2.54	2.90	3.12
PROMEDIO (mm)	**1.28**	**1.50**	**1.68**	**1.86**
(mm) Incremento	**1.28**	**0.21**	**0.39**	**0.57**

(%) Incremento	**100.00%**	**116.54%**	**130.72%**	**144.61%**

Fuente: Elaboración propia

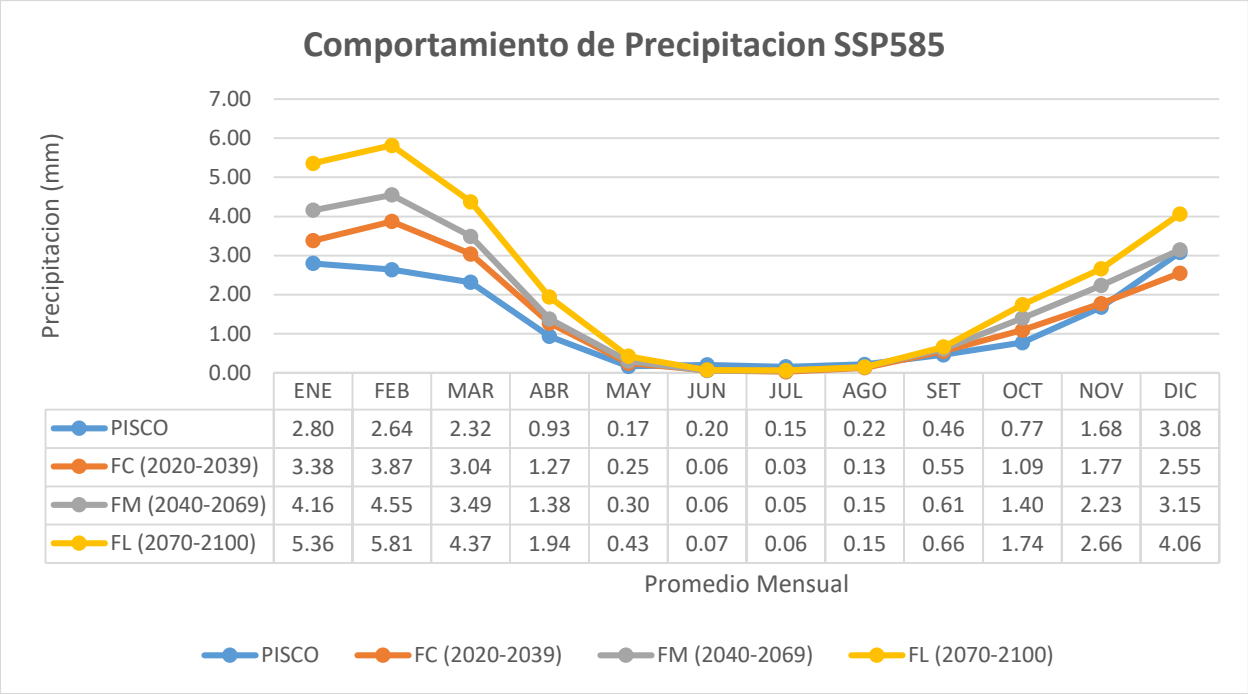


Figura 38: Grafico de comportamiento de precipitación SSP585 media mensual
Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Tabla de comportamiento de la precipitación media mensual de los 10 GCM y los datos observados SSP585

MES	OBS(1981-2014)	FC (2020-2039)	FM (2040-2069)	FL (2070-2100)
ENE	2.80	3.38	4.16	5.36
FEB	2.64	3.87	4.55	5.81
MAR	2.32	3.04	3.49	4.37
ABR	0.93	1.27	1.38	1.94
MAY	0.17	0.25	0.30	0.43
JUN	0.20	0.06	0.06	0.07
JUL	0.15	0.03	0.05	0.06
AGO	0.22	0.13	0.15	0.15
SET	0.46	0.55	0.61	0.66
OCT	0.77	1.09	1.40	1.74
NOV	1.68	1.77	2.23	2.66
DIC	3.08	2.55	3.15	4.06
PROMEDIO (mm)	**1.28**	**1.50**	**1.79**	**2.28**
(mm) Incremento	**1.28**	**0.21**	**0.51**	**0.99**
(%) Incremento	**100.00%**	**116.73%**	**139.65%**	**177.23%**

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la variable de precipitación media mensual tomando las trayectorias socioeconómicas compartidas en sus versiones de SSP245 y SSP585 se muestra la tendencia a incrementarse en sus proyecciones futuras debido al cambio climático en el SSP245 en sus tres clasificaciones de FC (2020-2039) se incrementa en 16.54%, en FM (2040-2069) en 30.72% y FL (2070-2100) en 44.61% tomando como comparación los datos observados de PISCO en el periodo (1981-2014).

En el SSP585 en sus tres clasificaciones de FC (2020-2039) se incrementa en 16.73%, en FM (2040-2069) en 39.65% y FL (2070-2100) en 77.23% tomando como comparación los datos observados de PISCO en el periodo (1981-2014).

3.9.6.2. Tendencia futura de la temperatura máxima media mensual

Para los escenarios futuros de la variable de temperatura máxima del periodo 2020 hasta 2100, lo clasificamos en 3 periodos que son FC (2020-2039) que significa futuro corto, FM (2040-2069) que significa futuro mediano y FL (2070-2100) que significa futuro largo. Lo realizamos para los escenarios tomados para la presente investigación que son SSP245 Y SSP585 y realizamos el escalamiento de mapeo de cuantiles como muestran las figuras.

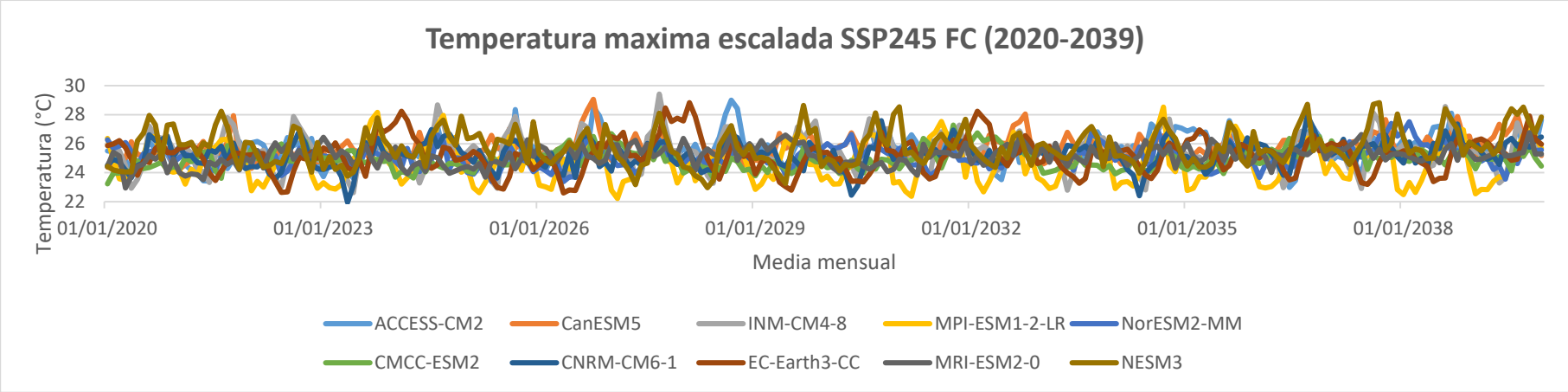


Figura 39: Grafico de temperatura máxima escalada SSP245 FC (2020-2039)
Fuente: Elaboración propia

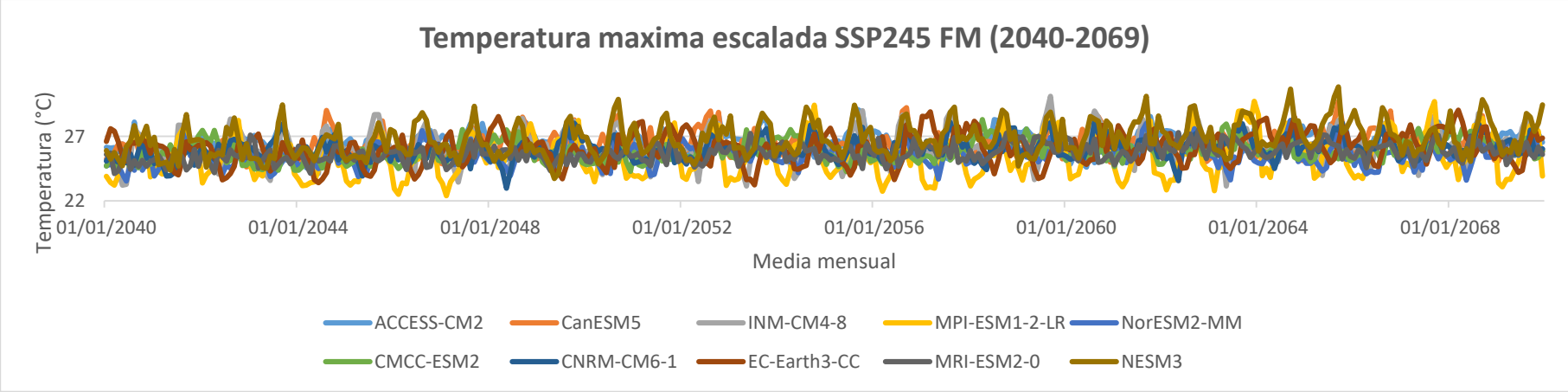


Figura 40: Grafico de temperatura máxima escalada SSP245 FC (2040-2069)
Fuente: Elaboración propia

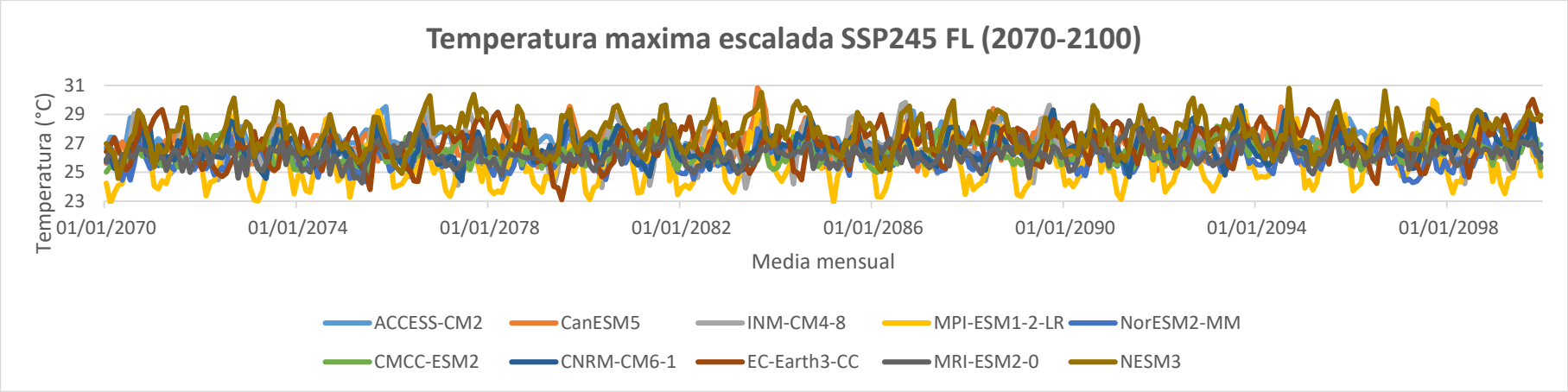


Figura 41: Grafico de temperatura máxima escalada SSP245 FC (2070-2100)
Fuente: Elaboración propia

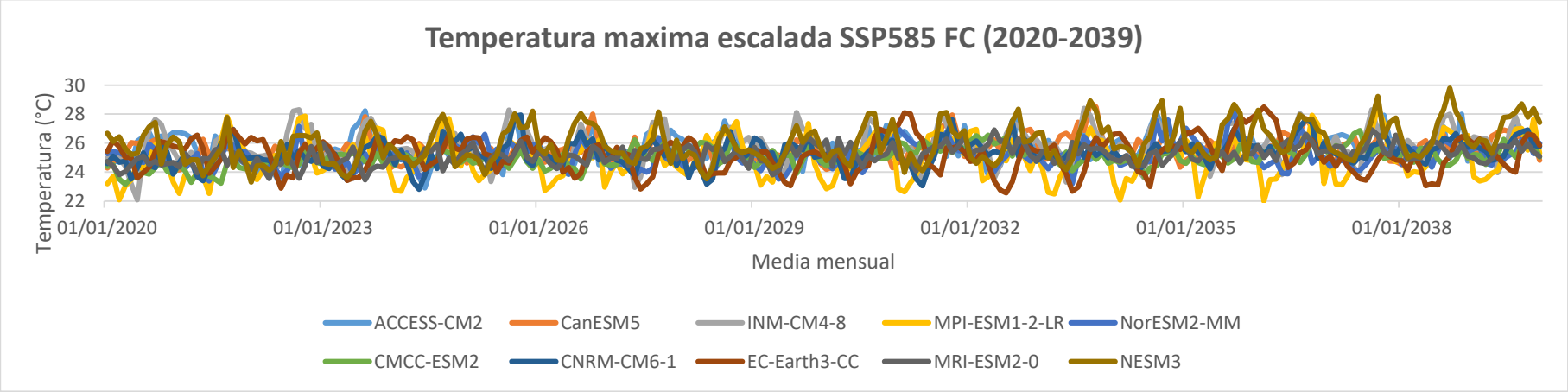


Figura 42: Grafico de temperatura máxima escalada SSP585 FC (2020-2039)
Fuente: Elaboración propia

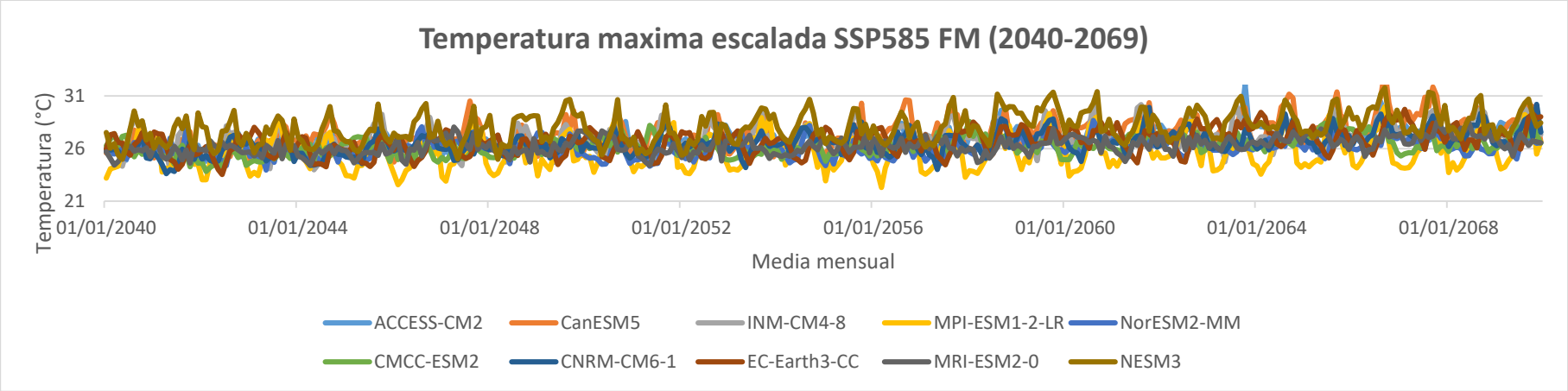


Figura 43: Grafico de temperatura máxima escalada SSP585 FC (2040-2069)
Fuente: Elaboración propia

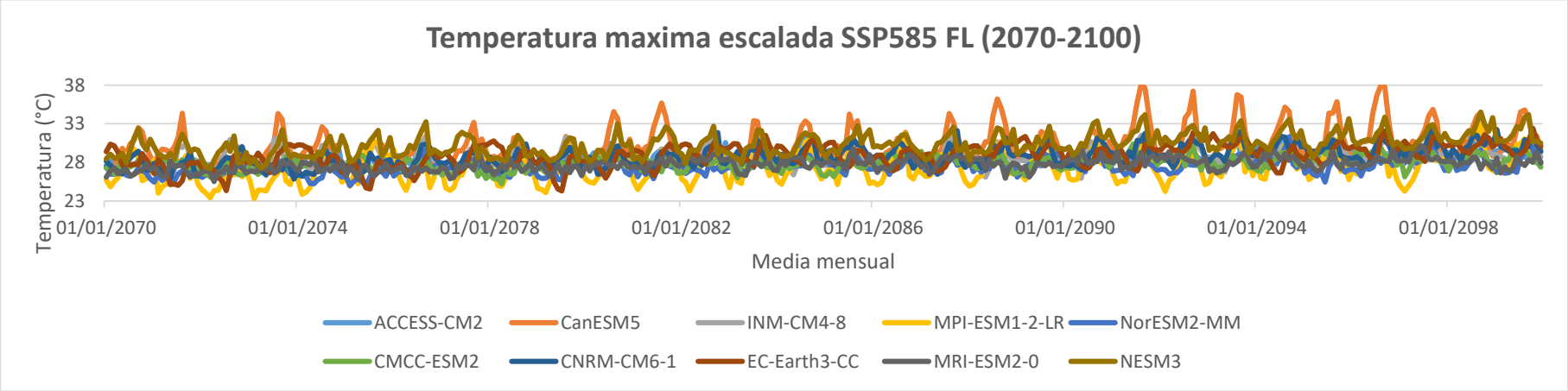
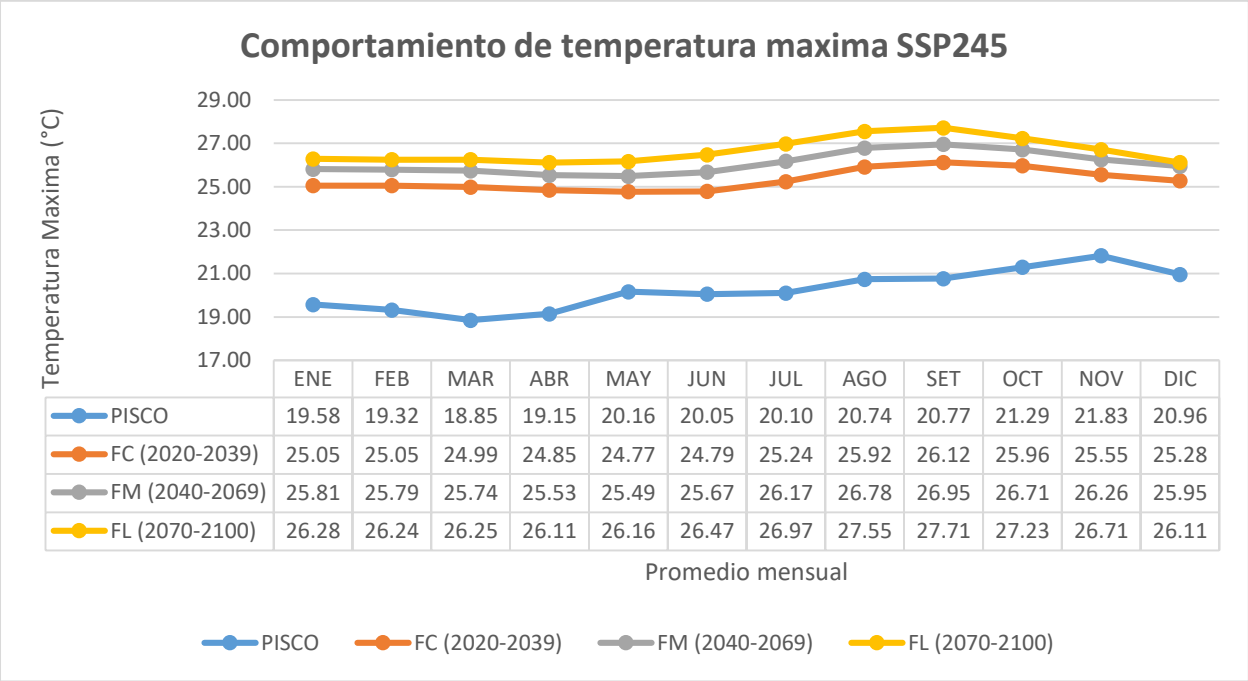


Figura 44: Grafico de temperatura máxima escalada SSP585 FC (2070-2100)
Fuente: Elaboración propia

Realizamos un promedio en un año de la variable de temperatura máxima, se observa que la tendencia de FC (2020-2039) es menor a FM (2040-2069) a su vez es menor a FL (2070-2100) tanto en los escenarios futuros de SSP245 y SSP585 como muestra la figura 33 y 34.



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
PISCO	19.58	19.32	18.85	19.15	20.16	20.05	20.10	20.74	20.77	21.29	21.83	20.96
FC (2020-2039)	25.05	25.05	24.99	24.85	24.77	24.79	25.24	25.92	26.12	25.96	25.55	25.28
FM (2040-2069)	25.81	25.79	25.74	25.53	25.49	25.67	26.17	26.78	26.95	26.71	26.26	25.95
FL (2070-2100)	26.28	26.24	26.25	26.11	26.16	26.47	26.97	27.55	27.71	27.23	26.71	26.11

Figura 45: Grafico de comportamiento de temperatura máxima SSP245 media mensuak
Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Tabla de comportamiento de la temperatura máxima media mensual de los 10 GCM y los datos observados SSP245

MES	OBS(1981-2014)	FC (2020-2039)	FM (2040-2069)	FL (2070-2100)
ENE	19.58	25.05	25.81	26.28
FEB	19.32	25.05	25.79	26.24
MAR	18.85	24.99	25.74	26.25
ABR	19.15	24.85	25.53	26.11
MAY	20.16	24.77	25.49	26.16
JUN	20.05	24.79	25.67	26.47
JUL	20.10	25.24	26.17	26.97
AGO	20.74	25.92	26.78	27.55
SET	20.77	26.12	26.95	27.71
OCT	21.29	25.96	26.71	27.23
NOV	21.83	25.55	26.26	26.71
DIC	20.96	25.28	25.95	26.11
PROMEDIO (°C)	**20.23**	**25.30**	**26.07**	**26.65**
(°C) Incremento	**20.23**	**5.06**	**5.84**	**6.42**

(%) Incremento	**100.00%**	**125.03%**	**128.85%**	**131.72%**

Fuente: Elaboración propia

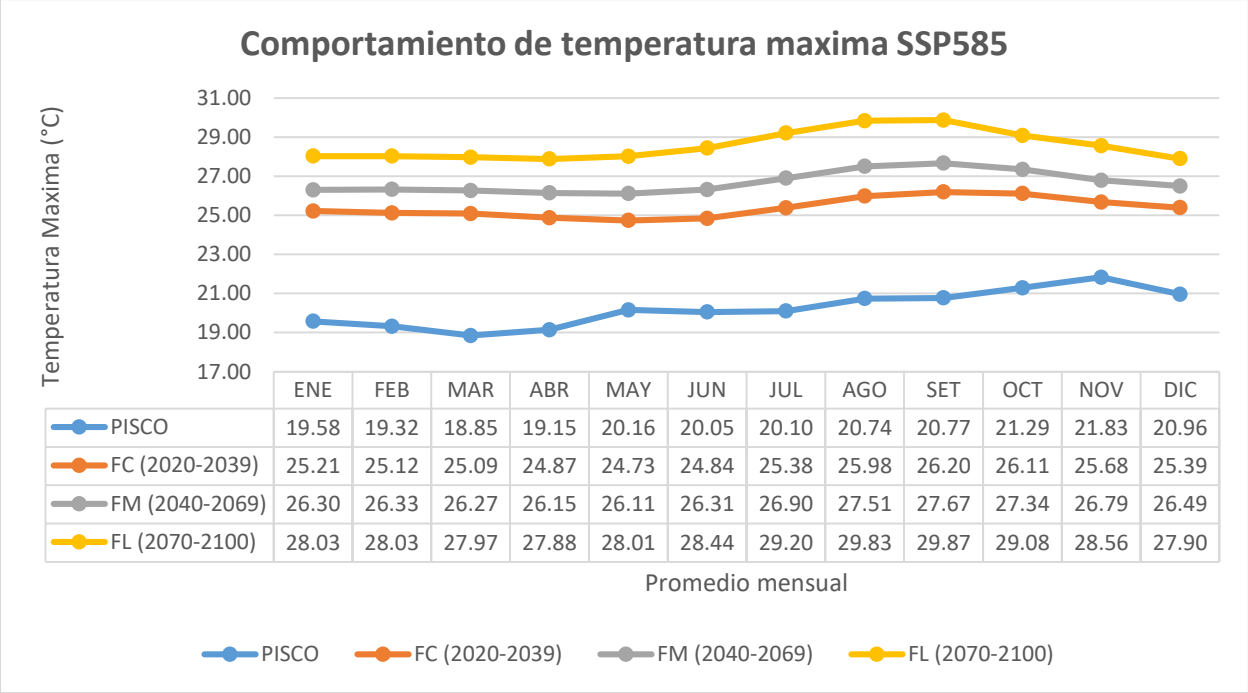


Figura 46. Gráfico de comportamiento de temperatura máxima SSP585 promedio en un año

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Tabla de comportamiento de la temperatura máxima media mensual de los 10 GCM y los datos observados SSP585

MES	OBS(1981-2014)	FC (2020-2039)	FM (2040-2069)	FL (2070-2100)
ENE	19.58	25.21	26.30	28.03
FEB	19.32	25.12	26.33	28.03
MAR	18.85	25.09	26.27	27.97
ABR	19.15	24.87	26.15	27.88
MAY	20.16	24.73	26.11	28.01
JUN	20.05	24.84	26.31	28.44
JUL	20.10	25.38	26.90	29.20
AGO	20.74	25.98	27.51	29.83
SET	20.77	26.20	27.67	29.87
OCT	21.29	26.11	27.34	29.08
NOV	21.83	25.68	26.79	28.56
DIC	20.96	25.39	26.49	27.90
PROMEDIO (°C)	**20.23**	**25.38**	**26.68**	**28.57**
(°C) Incremento	**20.23**	**5.15**	**6.45**	**8.33**

(%) Incremento	**100.00%**	**125.46%**	**131.86%**	**141.19%**

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la variable de temperatura máxima media mensual tomando las trayectorias socioeconómicas compartidas en sus versiones de SSP245 y SSP585 se muestra la tendencia a incrementarse en sus proyecciones futuras debido al cambio climático en el SSP245 en sus tres clasificaciones de FC (2020-2039) se incrementa en 25.03%, en FM (2040-2069) en 28.85% y FL (2070-2100) en 31.72% tomando como comparación los datos observados de PISCO en el periodo (1981-2014).

En el SSP585 en sus tres clasificaciones de FC (2020-2039) se incrementa en 25.46%, en FM (2040-2069) en 31.86% y FL (2070-2100) en 41.19% tomando como comparación los datos observados de PISCO en el periodo (1981-2014).

3.9.6.3. Tendencia futura de la temperatura mínima media mensual

Para los escenarios futuros de la variable de temperatura mínima del periodo 2020 hasta 2100, lo clasificamos en 3 periodos que son FC (2020-2039) que significa futuro corto, FM (2040-2069) que significa futuro mediano y FL (2070-2100) que significa futuro largo. Lo realizamos para los escenarios tomados para la presente investigación que son SSP245 y SSP585 y realizamos el escalamiento de mapeo de cuantiles como muestran las figuras

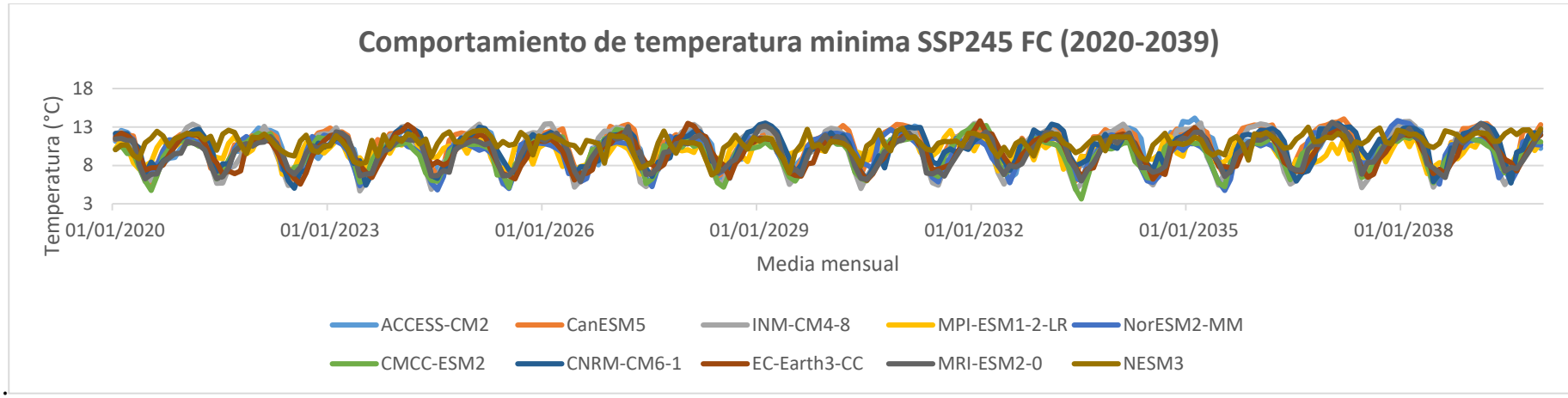


Figura 47: Grafico de temperatura mínima escalada SSP245 FC (2020-2039)
Fuente: Elaboración propia

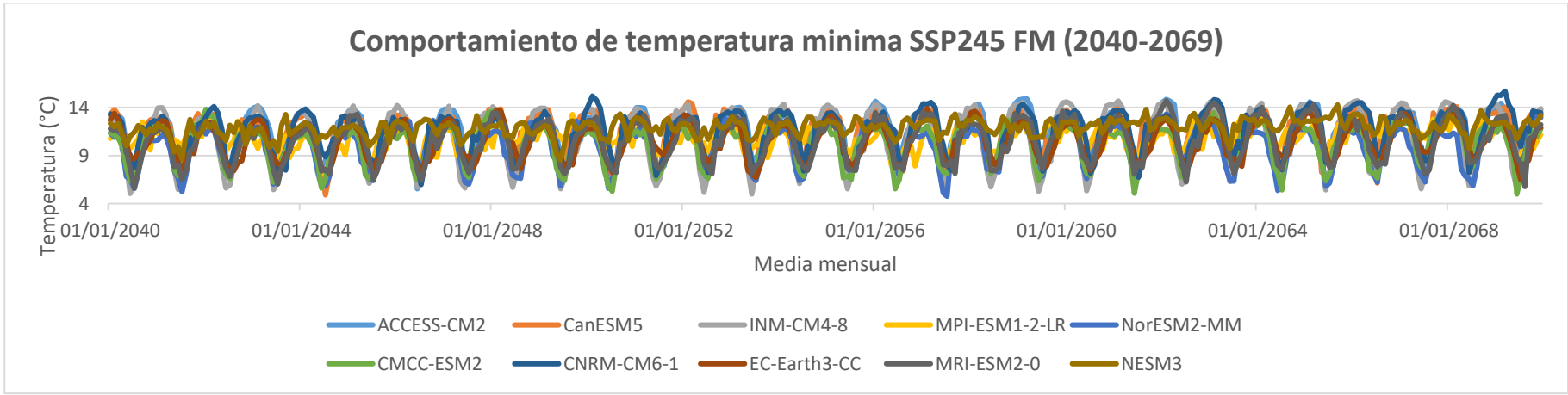


Figura 48: Grafico de temperatura mínima escalada SSP245 FC (2040-2069)
Fuente: Elaboración propia

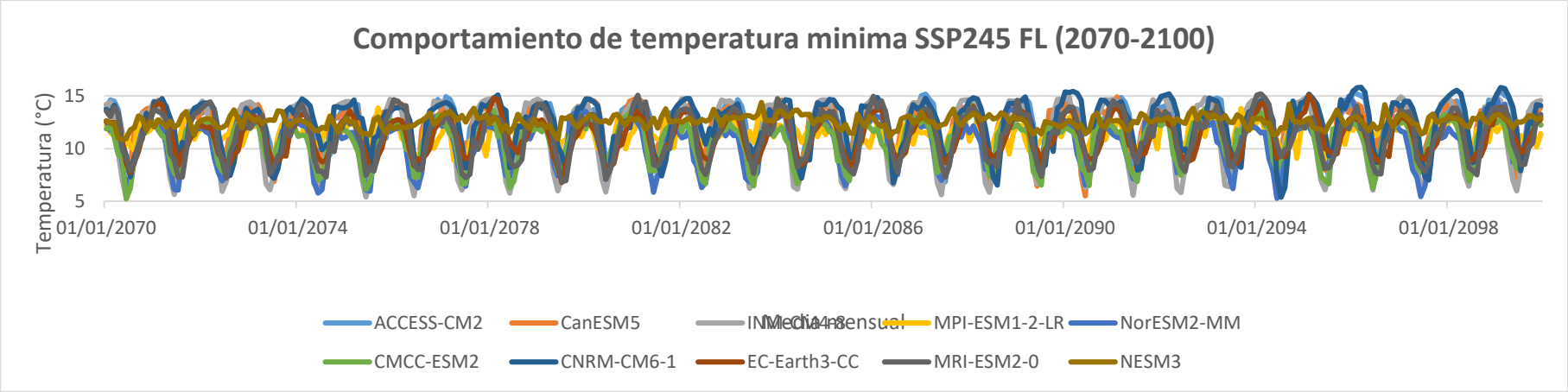


Figura 49: Grafico de temperatura mínima escalada SSP245 FC (2070-2100)
Fuente: Elaboración propia

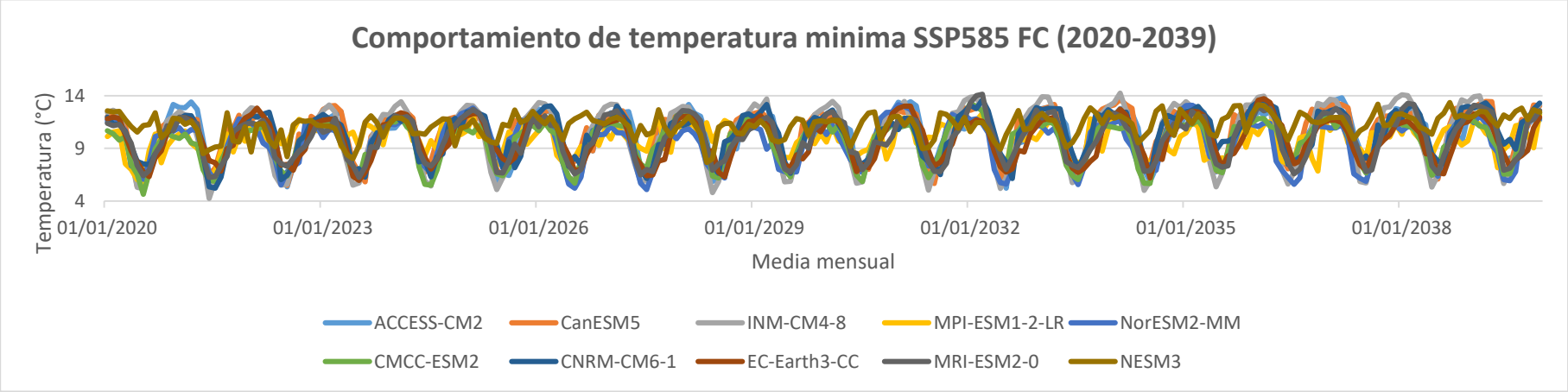


Figura 50: Grafico de temperatura mínima escalada SSP585 FC (2020-2039)
Fuente: Elaboración propia

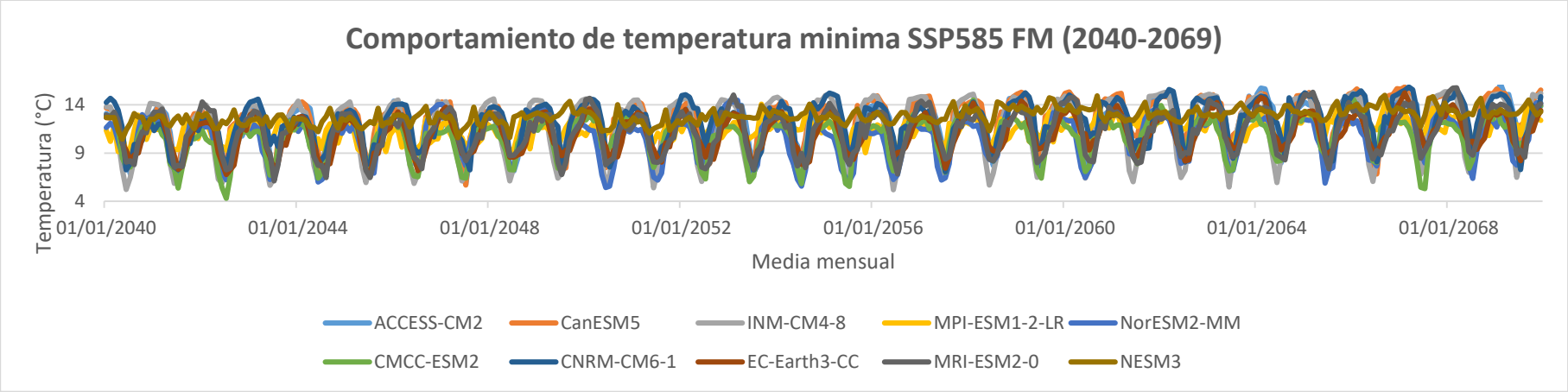


Figura 51: Grafico de temperatura mínima escalada SSP585 FC (2040-2069)
Fuente: Elaboración propia

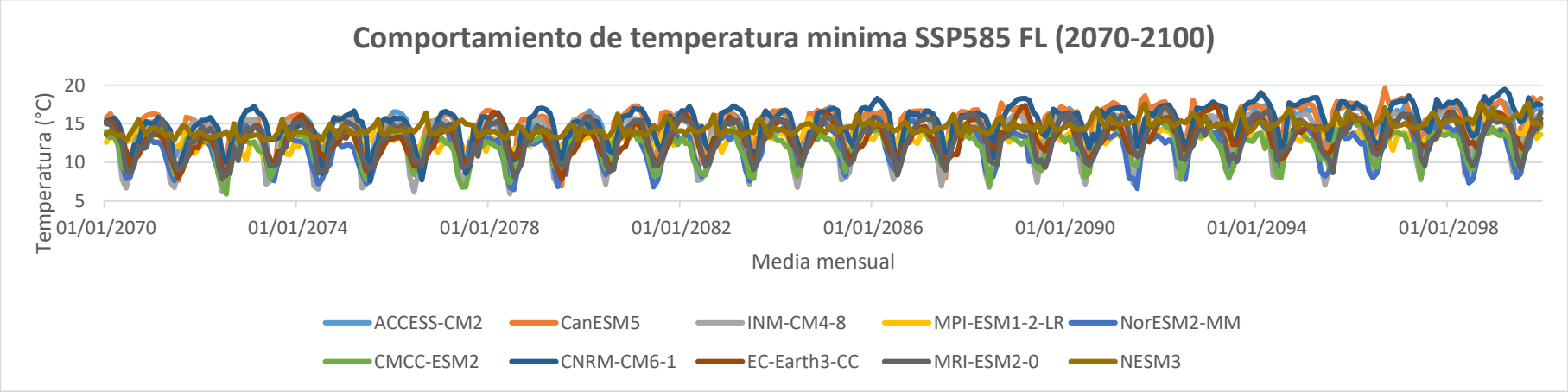
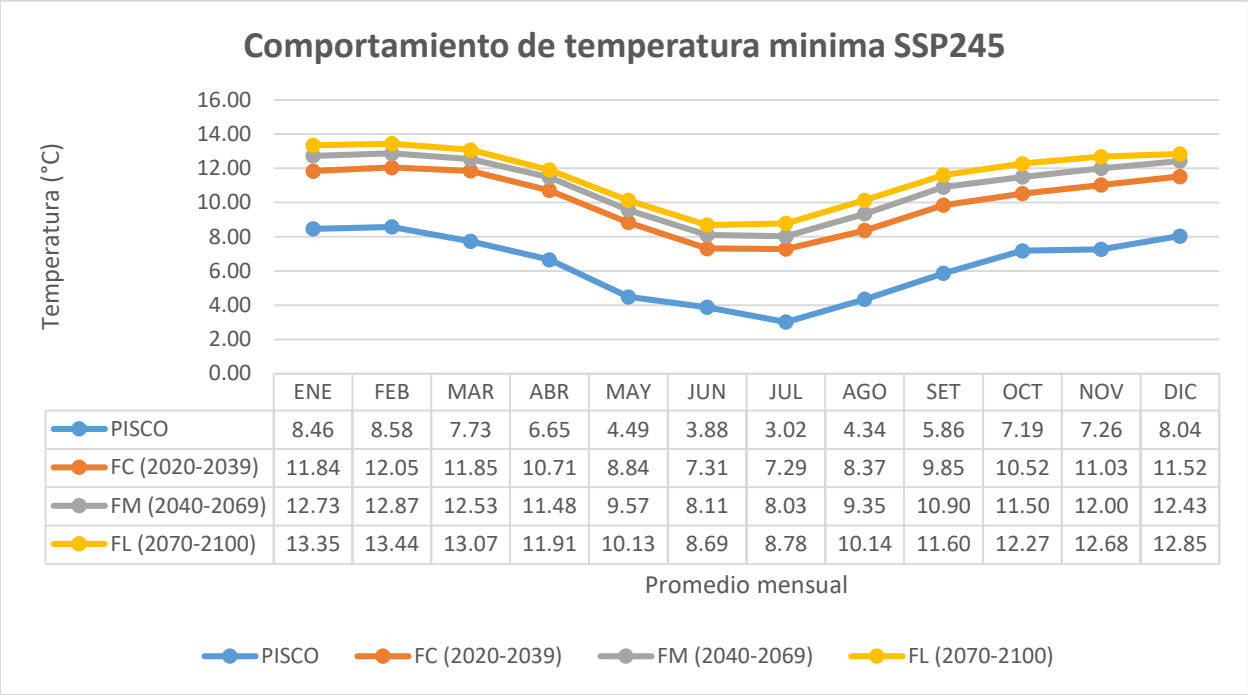


Figura 52: Grafico de temperatura mínima escalada SSP245 FC (2070-2100)
Fuente: Elaboración propia

Realizamos un promedio en un año de la variable de temperatura mínima, se observa que la tendencia de FC (2020-2039) es menor a FM (2040-2069) a su vez es menor a FL (2070-2100) tanto en los escenarios futuros de SSP245 y SSP585 como muestra la figura 33 y 34.



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
PISCO	8.46	8.58	7.73	6.65	4.49	3.88	3.02	4.34	5.86	7.19	7.26	8.04
FC (2020-2039)	11.84	12.05	11.85	10.71	8.84	7.31	7.29	8.37	9.85	10.52	11.03	11.52
FM (2040-2069)	12.73	12.87	12.53	11.48	9.57	8.11	8.03	9.35	10.90	11.50	12.00	12.43
FL (2070-2100)	13.35	13.44	13.07	11.91	10.13	8.69	8.78	10.14	11.60	12.27	12.68	12.85

Figura 53: Gráfico de comportamiento de temperatura mínima SSP245 promedio en un año
Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Tabla de comportamiento de la temperatura mínima media mensual de los 10 GCM y los datos observados SSP245

MES	OBS(1981-2014)	FC (2020-2039)	FM (2040-2069)	FL (2070-2100)
ENE	8.46	11.84	12.73	13.35
FEB	8.58	12.05	12.87	13.44
MAR	7.73	11.85	12.53	13.07
ABR	6.65	10.71	11.48	11.91
MAY	4.49	8.84	9.57	10.13
JUN	3.88	7.31	8.11	8.69
JUL	3.02	7.29	8.03	8.78
AGO	4.34	8.37	9.35	10.14
SET	5.86	9.85	10.90	11.60
OCT	7.19	10.52	11.50	12.27
NOV	7.26	11.03	12.00	12.68
DIC	8.04	11.52	12.43	12.85
PROMEDIO (°C)	**6.29**	**10.10**	**10.96**	**11.58**

(°C) Incremento	**6.29**	**3.81**	**4.67**	**5.28**
(%) Incremento	**100.00%**	**160.48%**	**174.15%**	**183.98%**

Fuente: Elaboración propia

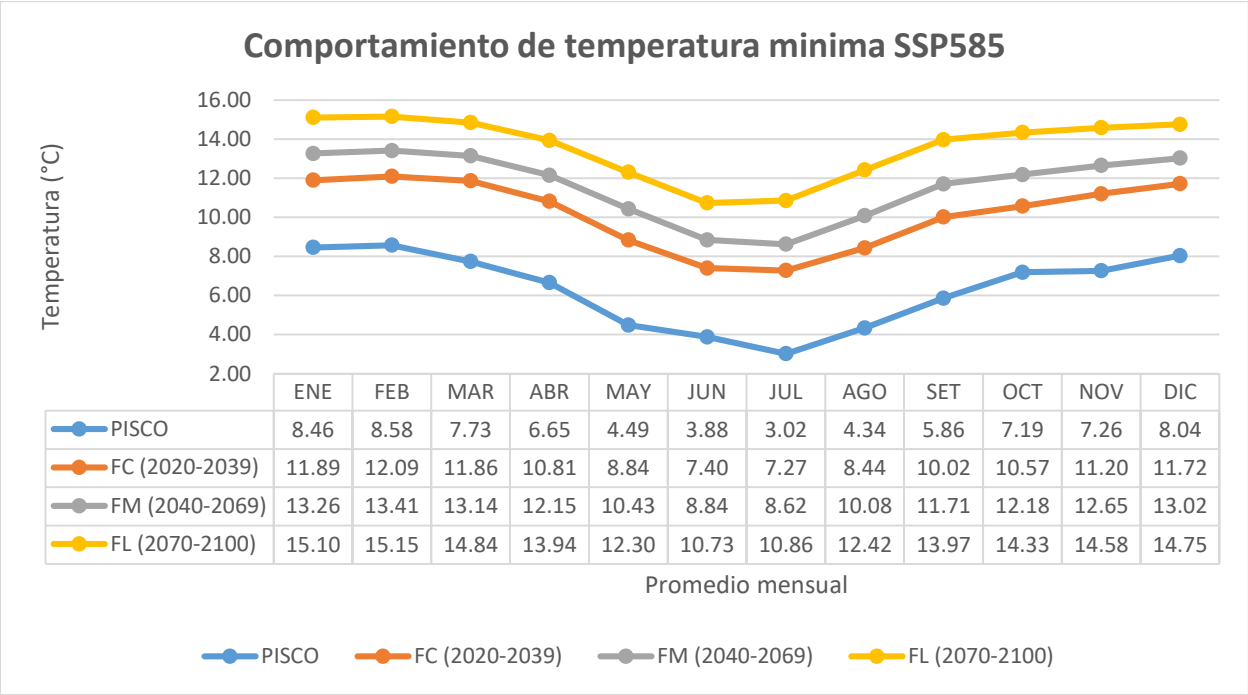


Figura 54: Gráfico de comportamiento de temperatura mínima SSP585 promedio en un año
Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Tabla de comportamiento de la temperatura mínima media mensual de los 10 GCM y los datos observados SSP585

MES	OBS(1981-2014)	FC (2020-2039)	FM (2040-2069)	FL (2070-2100)
ENE	8.46	11.89	13.26	15.10
FEB	8.58	12.09	13.41	15.15
MAR	7.73	11.86	13.14	14.84
ABR	6.65	10.81	12.15	13.94
MAY	4.49	8.84	10.43	12.30
JUN	3.88	7.40	8.84	10.73
JUL	3.02	7.27	8.62	10.86
AGO	4.34	8.44	10.08	12.42
SET	5.86	10.02	11.71	13.97
OCT	7.19	10.57	12.18	14.33
NOV	7.26	11.20	12.65	14.58
DIC	8.04	11.72	13.02	14.75
PROMEDIO (°C)	**6.29**	**10.18**	**11.63**	**13.58**

(°C) Incremento	**6.29**	**3.88**	**5.33**	**7.29**
(%) Incremento	**100.00%**	**161.72%**	**184.77%**	**215.87%**

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la variable de temperatura mínima media mensual tomando las trayectorias socioeconómicas compartidas en sus versiones de SSP245 y SSP585 se muestra la tendencia a incrementarse en sus proyecciones futuras debido al cambio climático en el SSP245 en sus tres clasificaciones de FC (2020-2039) se incrementa en 60.48%, en FM (2040-2069) en 74.15% y FL (2070-2100) en 83.98% tomando como comparación los datos observados de PISCO en el periodo (1981-2014).

En el SSP585 en sus tres clasificaciones de FC (2020-2039) se incrementa en 61.72%, en FM (2040-2069) en 84.77% y FL (2070-2100) en 115.87% tomando como comparación los datos observados de PISCO en el periodo (1981-2014).

Capítulo IV

Resultados

4.1. Contrastación de hipótesis

El impacto del cambio climático en las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima sobre la escorrentía superficial tomando como punto de aforo el puente Chacco, utilizando 10 modelos climáticos globales y escalando mediante mapeo de cuantiles, utilizando el modelo hidrológico semidistribuido SWAT para calibrar y validar en el periodo de 1995 hasta 2001 que se dispone de datos de aforo. Teniendo los parámetros del modelo hidrológico semidistribuido SWAT.

a) Por lo tanto, la subhipotesis la temperatura periodo 2020-2100 incide significativamente en la escorrentía superficial en la cuenca del rio Chacco.
b) Por lo tanto, la subhipotesis la precipitación periodo 2020-2100 incide significativamente en la escorrentía superficial en la cuenca del rio Chacco.

Las subhipotesis de las variables de temperatura y precipitación si incide significativamente en incrementar la escorrentía superficial en la cuenca del rio chacco tomando como punto de aforo el puente Chacco, se incrementa en los periodos FC (2020-2039), FM (2040-2069) y FL (2070-2100). En el periodo FL (2070-2100) se muestra eventos extremos de precipitación en el periodo de diciembre a marzo, pero desde abril hasta setiembre los cambios no son significativos.

Tabla 22: Tabla de comparación de la escorrentía superficial entre observado y los escenarios futuros de cambio climático SSP245

MES	OBS (1995-2001)	FC (2020-2039)	FM (2040-2069)	FL (2070-2100)
ENE	9.20	13.78	18.57	23.80
FEB	19.03	18.50	23.16	28.74
MAR	19.24	12.87	15.60	18.32
ABR	6.78	3.32	4.81	5.36

MAY	2.32	0.72	0.61	0.72
JUN	1.48	0.20	0.08	0.13
JUL	1.45	0.04	0.04	0.10
AGO	1.31	0.17	0.22	0.37
SET	1.35	0.76	1.17	1.61
OCT	1.69	2.92	3.15	4.86
NOV	1.74	6.02	7.52	9.97
DIC	2.60	9.68	12.27	14.73
PROMEDIO	**5.68**	**5.75**	**7.27**	**9.06**
(%)	**100.00%**	**101.13%**	**127.90%**	**159.44%**

Fuente: Elaboración propia

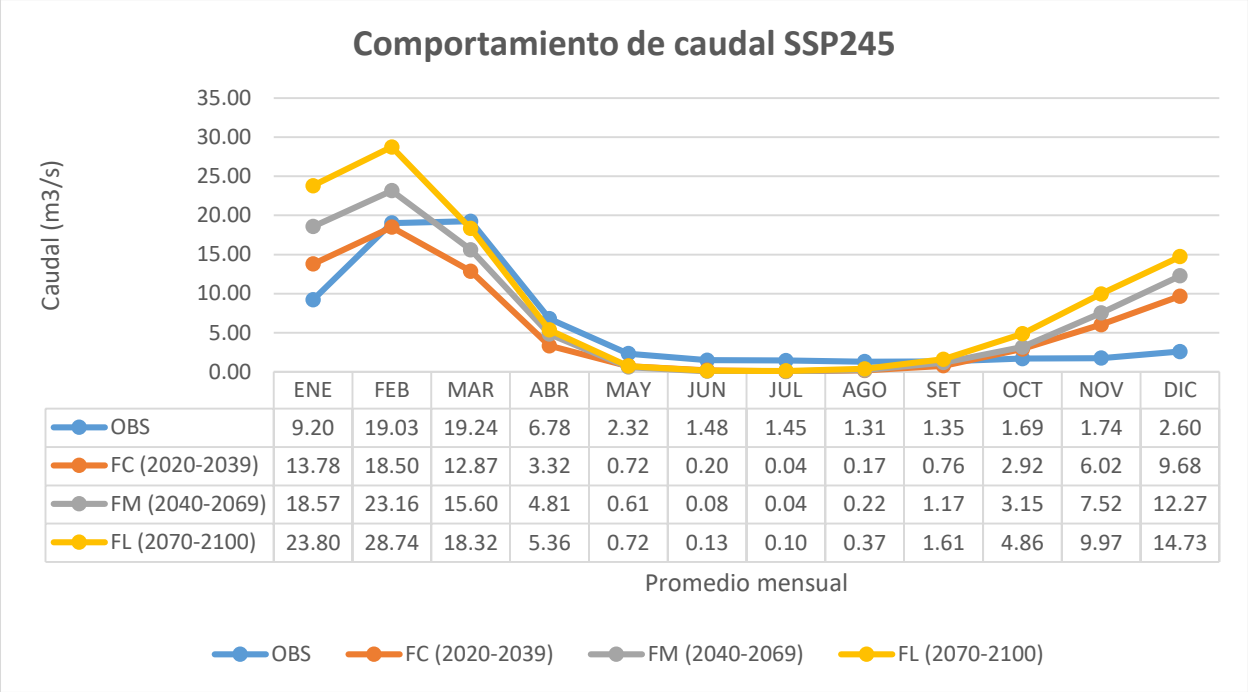


Figura 55: Grafico del comportamiento del caudal de la escorrentía superficial en el escenario SSP245 promedio anual
Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Tabla de comparación de la escorrentía superficial entre observado y los escenarios futuros de cambio climático SSP585

MES	OBS (1995-2001)	FC (2020-2039)	FM (2040-2069)	FL (2070-2100)
ENE	9.20	14.99	21.79	35.62
FEB	19.03	18.97	25.84	41.65
MAR	19.24	13.31	18.20	28.60

ABR	6.78	3.93	5.06	10.24
MAY	2.32	0.36	0.68	1.55
JUN	1.48	0.19	0.10	0.38
JUL	1.45	0.04	0.07	0.30
AGO	1.31	0.23	0.20	0.46
SET	1.35	0.94	1.31	2.14
OCT	1.69	2.57	4.22	7.04
NOV	1.74	5.67	9.07	13.58
DIC	2.60	9.61	14.33	24.63
PROMEDIO	**5.68**	**5.90**	**8.41**	**13.85**
(%)	**100.00%**	**103.85%**	**147.95%**	**243.74%**

Fuente: Elaboración propia

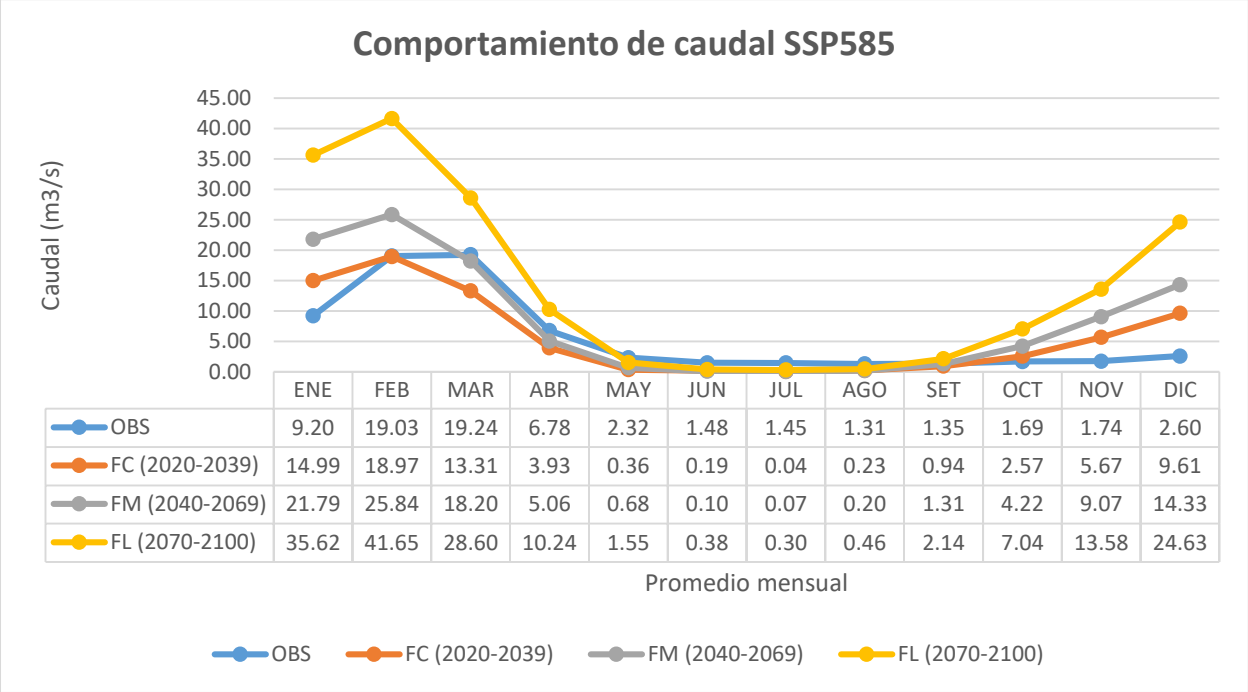


Figura 56: Grafico del comportamiento del caudal de la escorrentía superficial en el escenario SSP585 promedio anual
Fuente: Elaboración propia

Se observa que la variable dependiente de la escorrentía superficial mediante flujo de caudal teniendo en cuenta las variables independientes de precipitación y temperatura tomando como tiempo de medida la media mensual, que nos ayuda apreciar mediante gráficos las variaciones tomando las trayectorias socioeconómicas compartidas en sus versiones de SSP245 y SSP585

se muestra la tendencia a incrementarse en sus proyecciones futuras debido al cambio climático en el SSP245 en sus tres clasificaciones de FC (2020-2039) se incrementa en 1.13%, en FM (2040-2069) en 27.90% y FL (2070-2100) en 59.44% tomando como comparación los datos observados de PISCO en el periodo (1981-2014).

En el SSP585 en sus tres clasificaciones de FC (2020-2039) se incrementa en 3.85%, en FM (2040-2069) en 47.95% y FL (2070-2100) en 143.74% tomando como comparación los datos observados de PISCO en el periodo (1981-2014).

Se aprecia un incremento de caudal considerable en la trayectoria socioeconómica compartida de SSP585 que el periodo FL (2070-2100) que son necesarias planes de mitigación y adaptación al cambio climático.

c) Por lo tanto, la subhipotesis El nivel de nieve periodo 2015-2100 incide significativamente en la escorrentía superficial en la cuenca del rio Chacco.

Con respecta con la subhipotesis (c) se aplicó el Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve (NDSI) para las imágenes satelitales del periodo de 1995 hasta 2001 donde se aprecia que en toda la delimitación de la cuenca de investigación no existe nieve o cumbres de cordillera con glaciares para ver su impacto del cambio climático con escenarios futuros. Por lo tanto, se concluye que no existe nivel de nieve en la cuenca de investigación.

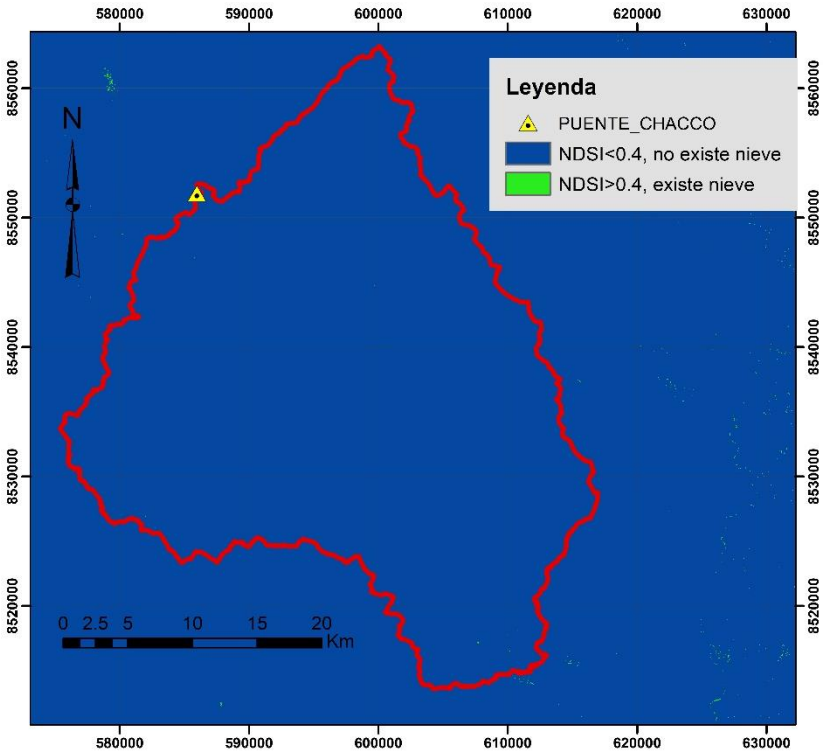


Figura 57: Grafico de la cuenca de investigación aplicando el Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve (NDSI) para la imagen satelital del año 1995
Fuente: Elaboración propia

4.2. Análisis e interpretación

- Un avance importante de esta evaluación de las proyecciones del cambio climático, lo constituye el gran número de simulaciones disponibles de una variedad más amplia de modelos climáticos globales. Conjuntamente con la información adicional obtenida por observación, proporcionan una base cuantitativa para la estimación de las probabilidades de muchos aspectos del cambio climático futuro.
- Para estar preparados para el futuro, debemos comprender cómo seguirá cambiando el clima. Nuestro futuro no está escrito en piedra: dependerá de muchas decisiones que tomemos ahora y en los próximos años. Como vemos en los resultados como las variables de precipitación y temperatura en las proyecciones con el cambio climático en sus fases de trayectorias socioeconómicas compartidas SSP, en la investigación se tomó en cuenta la SSP245 que es una proyección media y la SSP585 que es una

proyección futura severa impactan sobre la escorrentía superficial como flujo de caudal en el puente de Chacco como punto de aforo para delimitar la cuenca de estudio se incrementa en las clasificaciones de FC (2020-2039), FM (2040-2039) y FL (2070-2100).

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- El resultado de la constatación de la subhipótesis a) y b) se concluye que para los escenarios futuros de los datos CMIP6 de los 10 modelos climáticos globales tomando SSP245 Y SSP585 que clasificamos en FC (2020-2039), FM (2040-2069) Y FL (2070-2100) se incrementan las variables de precipitación y temperatura y su impacto en la escorrentía superficial mediante el modelo hidrológico semidistribuido SWAT.
- Con respecto con la subhipotesis (c) se aplicó el Índice Normalizado de Diferenciación de Nieve (NDSI) para las imágenes satelitales del periodo de 1995 hasta 2001 donde no existe nieve o cumbres de cordillera con glaciares para ver su impacto del cambio climático con escenarios futuros. Por lo tanto, se concluye que no existe nivel de nieve en la cuenca de investigación.

5.2. Recomendaciones

- Para validar y calibrar un modelo hidrológico se debe contar con más de 10 años de datos de aforo y el periodo no se dé un fenómeno del niño.
- El uso de programas para el manejo de una gran cantidad de datos, como el caso de los modelos climáticos globales que se descarga en formato raster, se recomienda el uso de lenguaje de programación R porque resultan efectivo para el manejo y procesamiento de gran cantidad de datos.
- Los modelos climáticos globales no todos son representativos para la zona de investigación por eso es necesario realizar una correlación con los datos históricos oficiales.

- Se recomienda hacer uso de las técnicas de escalamiento estadístico para corregir los sesgos en la predicción de datos, pero sin embargo se observa que al aplicar el escalamiento elimina algunos eventos extremos que identifica los modelos climáticos globales, por lo que se hace necesario usar otro tratamiento de corrección de sesgos en los eventos extremos (fenómeno del niño, sequías, inundaciones, etc.).
- Se recomienda seguir investigando en esta nueva rama de la ciencia e ingeniería, ya que el cambio climático se encuentra en apogeo y sus impactos son más palpables con diversas intensidades en muchas regiones en el planeta. Estos estudios ayudaran en la mitigación y adaptación frente al cambio climático.

5.3. Trabajos futuros

- Evaluar el impacto de la sequía bajo escenarios de cambio climático.
- Cambio de uso de suelo y su efecto en el escurrimiento bajo escenarios de cambio climático.
- Evaluar el impacto de la erosión hídrica bajo escenarios de cambio climático.

Referencias

Abbaspour, K. C. (2022). *User manual for SWATCUP-2019 / SWATCUP Premium / SWATplusCUP Calibration and Uncertainty Analysis Programs.* Obtenido de www.2w2e.com

Ali, M., Atluri, V., Banerjee, S., Bedard, Y., Chawla, S., Chow, C., & Fonseca, F. (2017). *Encyclopedia of GIS.* (Second Edit ed.). Cham, Switzerland: Springer International Publishing. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-23519-6

ANA. (2014). *Inventario nacional de glaciares y lagunas. Perú. Huaraz.* Obtenido de http://www.ana.gob.pe/media/982508/glaciares.pdf

Arbuet Moraes, M. A. (2009). *Efectos hidrológicos del cambio de uso del suelo en el Litoral Argentino. Estudio de caso: cuenca del Aº Feliciano (Provincia de Entre Ríos).* [Tesis de Maestria en Recursos Hidricos Universidad Nacional del Litoral]: Repositorio de la Universidad Nacional del Litoral.

Arnoldus, H. (1980). *An Approximation of the Rainfall Factor in the Universal Soil Loss équation.* New York: In: De Boodt, M. and Gabriels, D., Eds., Assessment of Erosion, John Wiley and Sons, 127-132.

Bruno, J. E. (2023). *ANÁLISIS DE FUENTES DE INCERTIDUMBRE EN LOS MODELOS CLIMÁTICOS CMIP6 PARA LAS PROYECCIONES CLIMÁTICAS.* [Tesis de Ingeniero Meteorologo, Universidad Nacional Agraria La Molina]: Repositorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Burns, I. S., Scott, S., Levick, L., Hernandez, M., Goodrich, D., Semmens, D. J., & Kepner, W. (2004). *Automated Geospatial Watershed Assessment (AGWA).* Tucson, Arizona, USA: A GIS based Hydrologic Modeling Tool. Documentation and User Manual. Versión 1.2.4, http://www.tucson.ars.ag.gov/agwa/manual/AGWA [citado en Noviembre del 2007].

Cabezas, O. (2022). *EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO JEQUETEPEQUE BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.* [Tesis de Ingenieria Civil, Pontificia Universidad Catolica del Peru]: Repositorio de la Pontificia Universidad Catolica del Peru.

Cabrejos Valdivia, M. N. (2016). *MODELAMIENTO GEOESPACIAL EN LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO, VULNERABILIDAD Y DE LA CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RIO ATUEN – AMAZONAS.* [Tesis para optar el Titulo de Ingeniero Agricola de la Universidad Nacional Agraria La Molina.]: Repositorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Cannon, A., Sobie, S., & Murdock, T. (2015). *Bias Correction of GCM Precipitation by Quantile Mapping: How Well Do Methods Preserve Changes in Quantiles and Extremes?* JOURNAL OF CLIMATE, vol 28. doi:10.1175/JCLI-D-14-00754.1

CENEPRED, C. N. (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión.* Lima - Perú: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

Chavez, R. (1994). *HIDROLOGIA PARA INGENIEROS.* Lima: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FONDO EDITORIAL.

Chereque, W. (1989). *HIDROLOGIA para estudiantes de ingenieria civil.* Lima: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU.

Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero Gutiérrez, A., González, J., Reynero, M., Diez, A., & Bergesio, L. (2012). *Erosión Hidrica: Principios y técnicas de manejo.* Rio Cuarto: UniRio Editora.

Climateprediction.net. (2019). *Regional climate models.* climateprediction.net. Obtenido de https://www.climateprediction.net/climate-science/climate-modelling/regional-models/

CMIP. (2023). *CMIP Phase 6 (CMIP6).* Obtenido de https://wcrp-cmip.org/cmip-phase-6-cmip6/

Condori Apaza, V. (2018). *Perdida del suelo por erosion hídrica en la comunidad de San Francisco de Chañajari Moho - Puno.* [Tesis de Doctorado Universidad Nacional del Altiplano]: Repositorio de la Universidad Nacional del Altiplano.

CR. (2018). *SIMULACIONES CLIMÁTICAS REGIONALES.* Santiago, Chile: Proyecto "Simulaciones climáticas regionales y marco de evaluación de la vulnerabilidad". Obtenido de https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/05/Simulaciones-climaticas-regionales-2018.pdf

DECRETO SUPREMO Nº 048-2011-PCM. (2011). *Ley Nº 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD).* doi:https://ww3.vivienda.gob.pe/grd/normas/9.%20DS%20N%C2%B0%20048-2011-PCM.pdf

Diego, J. (2008). *Cambio climático, adaptación y retroceso de glaciares. Revista Virtual Redesma.* Red de desarrollo sostenible y medio ambiente. Marthadina Mendizabel. Octubre 2008 Vol. 2(3).

Dioses Tapia, J. M., & Pérez Gómez, C. M. (2018). *Estimación de la Erosion Hidrica Mediante la Aplicacion de la Metodologia RUSLE en la Cuenca del Río Piura.* [Tesis para obtener el titulo de Ingeniero Geógrafo]: Repositorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Dirven , B. B., Pérez, R., Cáceres, R. J., Tito, A. T., Gómez , R. K., & Ticona, A. (2018). *El desarrollo rural establecido en las áreas Vulnerables.* Lima: Colección Racso.

Echevarría Chuchampi, C. (2012). *Modelo HEC-HMS Para la Calibración y Validación de Hidrogramas de Caudales en la Cuenca Urbana de Ayacucho.* [tesis para obtener el titulo de Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga]: Repositorio de la Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.

Echevarría Chuquichampi, C. (2012). *Modelo HEC-HMS Para Calibración y Vlidación de Hidrogramas de Caudales en la Cuenca Urbana de Ayacucho.* [Tesis de Grado para optar el Titulo de Ingenieria Civil de la Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga]: Repositorio de la Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.

Elwell, H. (1978). *Modelling soil losses in Southern Africa.* Journal of Agricultural Engineering Research, 23(2), 117-127.

ENES. (2019). *CMIP5 & AR5 - ENES (European Network for Earth Sistem Modelling).* Obtenido de https://portal.enes.org/data/enes-model-data/cmip5/datastructure

Español. (2009). *Balance energético de la Tierra:.* Obtenido de Web Lea Español. http://spanish.peopledaily.com.cn/32001/99056/99094/6834116.html

Espinosa Ballén, J. A. (2019). *Impacto del cambio climático y de los cambios del uso del suelo en los caudales de la cuenca del río Frío.* [Tesis de Magister en Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia]: Repositorio de Universidad Nacional de Colombia.

Fang, G., Yang, J., Chen, Y., & Zammit, C. (2015). *Comparing bias correction methods in downscaling meteorological variables for a hydrologic impact study in an arid area in China.* Hydrology and Earth System Sciences, 19(6), 2547–2559. doi:https://doi.org/10.5194/hess-19-2547-2015

FAO, O. d. (1971). *Mapa mundial de suelos tomo IV.* Paris: FAO/Unesco.

Fortuño Ibánez, J. (2014). *ESTUDIO DE LA EROSIÓN EN CUENCAS NATURALES MEDIANTE KINEROS 2*. [Tesina de Especialidad de la Universitat Politècnica de Catalunya]: Repositorio de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Gallo, K. E., & Iza, B. A. (2018). *MODELAMIENTO CON SWAT Y GR2M PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA.* [Tesis de Ingeniero en Medio Ambiente, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga – Ecuador]: Repositorio de UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.

Gonzalez, M. J. (2022). *MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y FLUJO DE SEDIMENTOS AFLUENTES AL EMBALSE EL YESO MEDIANTE MODELO SWAT.* [Tesis de para optar al titulo de Ingeniero Civil, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA, VALPARAISO – CHILE]: Repositorio de UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA.

Gudmundsson, L. (2016). *Statistical Transformations for Post-Processing Climate Model Output.* doi:https://doi.org/10.5194/hess-16-3383

ICAM. (2023). *Modelos climaticos globales y regionales.* Instituto de ciencias ambientales de castilla- La mancha. Obtenido de https://www2.aemet.es/web/sup/ciencia/divulga/escen_curso/pdf/Castro.pdf

IPCC. (2013). *Ficha informativa del IPCC: ¿Qué es el IPCC?* Secretaría del IPCC. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS_what_ipcc_es.pdf

IPCC. (2014a). *Anexo II: Glosario. Cambio Climático 2014: Informe de Síntesis. Contribución de Los Grupos de Trabajo I, II y III Al Quinto Informe de Evaluación Del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre El Cambio Climático.* 7137, 127–141. doi:https://doi.org/10.1038/446727a

IPCC. (2023). *Anexo I: INFORME DE SINTESIS DEL SEXTO INFORME DE EVALUACION DEL INFORME DE EVALUACION DEL GRUPO*

INTERGOBURNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO IPCC(AR6). 2030 Agenda para el Desarrollo Sostenible. Obtenido de https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_Annex-I.pdf

IPCC. (2023). *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).* Obtenido de https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml

IPCC. (2023b). *INFORME DE SINTESIS DEL SEXTO INFORME DE EVALUACION DEL IPCC (AR6).* IPCC AR6 SYR. Obtenido de https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf

Jiménez, A. J. (2021). *SIMULACIÓN A ESCALA DIARIA CON FINES DE EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD HIDROLÓGICA EN LA CUENCA DEL RÍO TAMBO.* [Tesis de Ingeniero Agrícola , Universidad Nacional Agraria]: Repositorio de Universidad Nacional Agraria.

Kabo-bah, A., WaterHut, Nkrumah, P., & Murava, R. (s.f.). *Evaluation of NDVI Using SPOT-5 Satellite Data for Northern Ghana.* Environmental Management and Sustainable Development. 2013, Vol. 2, No. 1.

Kaser, G., & Osmaston, H. (2002). *Tropical glaciers.* Cambridge University.

Kirkby, M., & Morgan, R. P. (1984). *Erosion de suelos.* Editorial limusa.

LAL, R. (1988). *Edorability and erosivity. Soil Erosion and Research Methods.* (Ed. R. Lal). Ankeny: Soil and Water Conservation Society. 141-160 pp.

Leon Pelaez, J. D. (1997). *Aproximacion Conceptual a la Erosion.* Medellin Colombia: Departamento de Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellin.

León Peláez, J. D. (2001). *Estudio y Control de la Erosion Hídrica.* Medellin Colombia: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellin.

Lopez Parco, J. A. (2017). *Erosión Hídrica En La Unidad Hidrográfica Del Río Ambato, En Un Escenario De Cambio Climático, Mediante El Modelo.* Repositorio de la Universidad Nacional del Chimborazo - Ecuador: [Tesis de Grado de la Universidad Nacional del Chimborazo].

Martinez, E. (2005). *HIDROLOGIA PRACTICA.* Madrid: COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS Servicio de publicaciones - Coleccion Escuelas.

McCool, D., Brown, L., Foster, G., Mutchler, C., & Meyer, L. (1987). *Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation.* Transactions of the ASAE, 30(5), 1387-1396.

McCool, D., Foster, G., Mutchler, C., & Meyer, L. (1989). *Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation.* Transactions of the ASAE, 32(5), 1571-1576.

Mejía, P. (2022). *ANALISIS DE LA VARIACION TEMPORAL DE LA OFERTA HIDRICA EN LAS CUENCAS DE PUNTA ARENAS Y VERTIENTES DEL ATLANTICO BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO (2021-2050).* [Tesis de Ingenieria Civil, Universidad de Chile]: Repositorio de Universidad de Chile.

MILLER, S. N., & Et. Al. (2002). *Gis-Based Hydrologic Modeling: The Automated Geospatial Watershed Assessment Tool.* U. S. D. A. – ARS Southwesr Watershed Research. pp. 2 - 11.

Monsalve, G. (1999). *HIDROLOGIA EN LA INGENIERIA.* Mexico D.F.: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V.

Montes-León, M. A., Uribe-Alcántara, E. M., & García-Celis, E. (2011). *Mapa Nacional de Erosión Potencial.* Morelos, México: Tecnología y Ciencias del Agua, vol. II, núm. 1, enero-marzo, 2011, pp. 5-17. doi:https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531972001.pdf

Moore, I., & Wilson, J. (1992). *Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation.* Journal of soil and water conservation, 47(5), 423-428.

Morgan RPC. (2005). *Soil Erosion and Conservation.* Malden USA.: (Blackwell Publishing - National Soil Resources Institute y C. University, Eds.) (Third edit).

Morgan, R., Morgan, D., & HJ., F. (1999). *predictive model for the assessment of soil erosion risk.* Can J Remote Sens 25(4):367–380.

Muñoz, R., & Ritter, A. (2005). *HIDROLOGIA AGROFORESTAL.* DIRECCION GENERAL DE UNIVERSIDADES E INVESTIGACION DEL GOBIERNO DE CANARIAS EDICIONES MUNDI-PRENSA.

Najarro, D. (2015). *CALIBRACION DEL MODELO LUTZ SCHOLTZ Y GENERACION DE CAUDALES EXTENDIDOS APLICADO A LA CUENCA DEL RIO CHACCO.*

Neitsch, S., Arnold, J., Kiniry, J., & Williams, J. (2009). *Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation Version (2009).* Temple, Texas: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station.

NTE OS060. (2017). *PROPUESTA DE NORMA OS.060.* COMITÉ TÉCNICO NORMA OS.060 DRENAJE PLUVIAL URBANO. Obtenido de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1085680/ProtectoNormaTecnicaEdificacionesOS060DrenajePluvialUrbano.pdf

NUCLEOS. (2014). *NUCLEOS Revista cientifica.* UNNOBA. Obtenido de https://sitio.unnoba.edu.ar/wp-content/uploads/2015/12/1-Noviembre-2014.pdf

Oscanoa, L. L. (2016). *INFLUENCIA DE LAS PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y MEJORA DE LA FUNCIÓN HIDROLÓGICA DE PRADERAS NATURALES ALTOANDINAS.*

Páez, M., & Pla, I. (1985). *Erodabilidad relativa e indices de erodabilidad en suelos agricolas de Venezuela.* Trabajo presentado en la IV Conferencia Internacional sobre Conservación de Suelos. Maracay, Venezuela. Noviembre, 1985.

Patil, R., & Sharma, S. (s.f.). *Remote Sensing and GIS based modeling of crop/cover management factor (C) of USLE in Shakker river watershed.* International Conference on Chemical, Agricultural and Medical Sciences (CAMS-2013) Dec. 29-30, 2013 Kuala Lumpur (Malaysia).

Ramirez, F. (2020). *ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD HÍDRICA ANTE PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMATICO EN 25 CUENCAS CHILENAS EN RÉGIMEN NATURAL. ESTUDIO DE CAUDALES MEDIOS Y CRECIDAS.* [Tesis de Ingenieria Civil, Universidad de Chile]: repositorio de la Universidad de Chile.

Real Academia de Ingenieria. (2021). *Real Academia de Ingenieria*. Obtenido de http://diccionario.raing.es/es/lema/cuenca-urbana

Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., & Yoder, D. (1997). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE).* Handbook, 703 US Department of Agricukture: Washington (DC).

Rodas, F. (2022). *EVALUACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU EFECTO EN LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA FUTURA DE LA CUENCA CAPLINA – TACNA.* [Tesis de Ingenieria Civil, Universidad Nacional de Ingenieria]: Repositorio de la Universidad Nacional de Ingenieria.

Salas, M. K. (2019). *ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RIO PITUMARCA MEDIANTE EL USO DEL MODELO SWAT.* [Tesis de Título Profesional de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica Del Perú]: Repositorio de Pontificia Universidad Católica Del Perú.

Salazar Yánez, N. A. (2016). *Restauración Hidrológico-Forestal En Una Cuenca Hidrográfica. Caso De Estudio: Cuenca Del Estero Potrerillos (Provincia De Guayas).* [Tesis de Master Escuela Politecnica Nacional Quito-Ecuador]: Repositorio de Escuela Politecnica Nacional.

Savater, R. P. (2005). *La ira es una reacción humana.* Lima: Racsus. Obtenido de https://www.goratools.com/post/2016/12/07/filosof%C3%ADa-del-dise%C3%B1o-sismorre-sistente

SEMMENS, D., GOODRICH, D. C., UNKRICH, C. L., SMITH, R. E., WOOLHISER, D. A., & N, M. S. (2008). *KINEROS2 and the AGWA Modeling Framework.* USDA Las Vegas, NV. USDA Tucson, AZ. Univ. Of Wyoming, Laramie, WY. pp. 1 -4 and 6 – 10.

Senamhi. (2017). *Uso del Producto Grillado PISCO de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico.* Nota Tecnica 001, SENAMHI-DHI-2017. Obtenido de https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-8.pdf

Smith, R., Smettem, K., BROADBRIDGE, P., & WOOLHISTER, D. (2002). *Infiltration Theory for Hydrologic Applications.* A.G.U. Books Board. pp. 173 - 174.

Subramanya K. (2008). *Engineering Hydrology.* New Delhi: Tata McGraw·Hill.

Tebaldi, C. D.-F. (2021). *Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) of CMIP6.* Earth Syst. Dynam., 12, 253–293,. doi:https://doi.org/10.5194/esd-12-253-2021, 2021

Teutschbein, C., & Seibert, J. (2010). *Regional climate models for hydrological impact studies at the catchment scale: A review of recent modeling strategies.* In Geography Compass (Vol. 4, Issue 7, pp. 834–860). doi:https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00357.x

Tovar, G. L. (1986). *El asentamiento y la segregación de los Blancos y Mestizos.* Bogotá: Cengage.

Uribe, N. (2005). *SWAT (Conceptos Basicos y guia rapida para el usuario).* Version SWAT 2005.

Villón Béjar, M. G. (2020). *Hidrología.* (Centro de Desarrollo de Material Bibliográfico, Ed.; 2da ed., Vol. 1). Ediciones Villón.

Villon, M. (2002). *HIDROLOGIA.* Lima: Segunda Edicion: Editorial Villon.

Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook, (37).* doi:https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF

Woolhiser, D. A., Smith, R., & Goodrich, D. (1990). *KINEROS: A Kinematic Runoff and.* Tucson, Arizona, USA: U S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service.

Zambrano Nájera, J. (2015). *Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG.* [Tesis de Doctorado, Universitat Politecnica de Catalunya]: Repositorio de Universitat Politecnica de Catalunya.

ZAMBRANO, J. D. (2013). *Modelación de la Hidrología y Sedimentología en pequeñas cuencas a escala de eventos. Descripción del modelo de Simulación KINEROS2 + AGWA.* Documento Interno. UPC - ETSECCPB. 48 pp.

ZAMBRANO, J. D., & M., G. (2014). *Modelling of Erosion and Sediment Transport in small Urban Areas using a single event, Physical Model.* Universidad de Colombia, Flumen Institute. 13th International Conference on Urban Drainage (ICUD). September 2014, Borneo Convention Centre Kunching, Sarawak, Malaysia.

Zuaso, V., Tejero, I., Martinez, J., & Fernandez, J. (2011). *Soil erosion: causes, processes and effects.* In: Fourier, A. (Ed), Soil Erosion Causes, Processes and Effects. Nova Science Publishers, Inc.

ANEXO

7.1. ANEXO 01 Códigos en lenguaje de programación python para descargar imágenes LandSat 5 para el periodo de 1995 hasta 2001

```
# Importar paquete GEE
import ee
ee.Authenticate()
ee.Initialize()
```

Filtro zona estudio SHP con geoPandas

```
import os
import glob
ruta_archivos = r"D:\DATOS_CHACCO"
os.chdir(ruta_archivos) # Cambiar ruta trabajo
os.getcwd() # Consultar ruta trabajo
import geopandas as gpd
# cargar un shp
zona = gpd.read_file("AREA_GEO.shp")
zona
# Crear un featureCollecion mediante GeoJSON
ee_zona = ee.FeatureCollection(zona.__geo_interface__)
type(ee_zona)
```

Coleccion de Landsat 5 TM RS

```
L5_RS = ee.ImageCollection("LANDSAT/LT05/C01/T1_SR")\
        .filterDate('1995-01-01','1995-12-31')\
        .filterMetadata('CLOUD_COVER','less_than',20)\
        .filterBounds(ee_zona)
# Conteo de imagenes
count = L5_RS.size().getInfo()
print("Cantidad de imagenes L5_RS:", count)
type(count)
# Imprimir la lista de ID Imagenes
ID_L5 = L5_RS.reduceColumns(ee.Reducer.toList(),["system:index"]).get("list").getInfo()
print(ID_L5)
type(ID_L5)
# Crear una funcion para determinar la fecha de las imagenes ID
def list_coll(coll):
   def func_ejv(im):
      return ee.String(ee.Image(im).date().format('YYYY/MM/dd')).slice(0)
   return coll.toList(coll.size(), 0).map(func_ejv)
fecha = list_coll(L5_RS).getInfo()
print(fecha)
type(fecha)
# Imprimir la lista Porcentaje Nubosidad
porcentaje_nube =
L5_RS.reduceColumns(ee.Reducer.toList(),["CLOUD_COVER"]).get("list").getInfo()
print(porcentaje_nube)
# Imprimir la lista Path y Row
```

```
WRS_PATH =
L5_RS.reduceColumns(ee.Reducer.toList(),["WRS_PATH"]).get("list").getInfo()
WRS_ROW =
L5_RS.reduceColumns(ee.Reducer.toList(),["WRS_ROW"]).get("list").getInfo()
print(WRS_PATH)
print(WRS_ROW)
# Crear un diccionario con las listas
dic = {"ID": ID_L5, "Fecha": fecha,"Porcentaje Nube": porcentaje_nube,"PATH":
WRS_PATH,"ROW":WRS_ROW}
import pandas as pd
# Crear un DataFrame mediante el diccionario
df1 = pd.DataFrame(data = dic)
print(df1)
print("Tipo de clase: ", type(df1))
```

Exportar tabla ID, Fecha, Porcentaje Nubosidad

```
import os
ruta_archivos = r"D:\DATOS_CHACCO\RESULTADO"
os.chdir(ruta_archivos) # Cambiar ruta trabajo
os.getcwd() # Consultar ruta trabajo
df1.to_csv("file_name1995d.csv") # relative position
```

Seleccion imagen Landsat 5

```
# Importar imagen Landsat 5 RS
image = ee.Image("LANDSAT/LT05/C01/T1_SR" + "/" + ID_L5[1])
# Nombre de las bandas
print(image.bandNames().getInfo())
```

Seleccionar Bandas

```
# Crear nombre por bandas
bandas_RS = ["B1","B2","B3","B4","B5","B7"]
bandas_TB = ["B6"]
# Seleccionar imagenes por bandas
img_L5_RS = image.select(bandas_RS)
img_L5_TB = image.select(bandas_TB)
# Nombre de las bandas
print("Banda RS:",img_L5_RS.bandNames().getInfo())
print("Banda TB:",img_L5_TB.bandNames().getInfo())
```

Verificar proyeccion

```
# Consultar Proyeccion
print("Proyeccion RS:",img_L5_RS.projection().getInfo())
print("Proyeccion TB:",img_L5_TB.projection().getInfo())
```

Metadato landsat

```
# Nombres del Metadato
img_L5_RS.propertyNames().getInfo()
# Extraer valor metadato distancia del sol a tierra
d = img_L5_RS.get("EARTH_SUN_DISTANCE").getInfo()
d
# Extraer angulo zenital solar
SOLAR_ZENITH_ANGLE = img_L5_RS.get("SOLAR_ZENITH_ANGLE").getInfo()
SOLAR_ZENITH_ANGLE
import math
```

```
# Determinacion angulo elevacion solar radianes
SUN_ELEVATION = 90 - SOLAR_ZENITH_ANGLE
SUN_ELEVATION_R = SUN_ELEVATION*math.pi/180
print("Elevacion solar radianes:", SUN_ELEVATION_R)
```

Visualizar Landsat

```
# Simbologia estala 0 - 10000
viz_RS = {
   'bands': ['B5', 'B4', 'B3'],
   'min': 250,
   'max': 7000,
   'gamma': 1.90
}
# Importar geemap
import geemap
Map = geemap.Map(basemap='SATELLITE')
# Convertir en Geometria
geometria = ee_zona.geometry()
Map.centerObject(geometria, 8)
# Visualizar ESCALADO 0 - 10000
Map.addLayer(img_L5_RS, viz_RS, name = "Landsat5 RS")
Map
```

Factor de escala Reflectancia Superficie

```
# Escalar la imagen Landsat 5 RS 0 - 1
img_L5_RS_Es = img_L5_RS.multiply(0.0001)
# Simbologia escalado 0 - 1
viz_es = {
   'bands': ['B5', 'B4', 'B3'],
   'min': 0.1,
   'max': 0.6,
   'gamma': 1.6
}
# Visualizar ESCALADO 0 - 1
Map.addLayer(img_L5_RS_Es, viz_es,name = "Landsat5 RS Escalado")
Map
```

Factor de escala Temperatura Brillo

```
# Escalar la imagen Landsat 5 TB convertir Kelvin a Celsius
img_L5_TB_es = img_L5_TB.subtract(273.15).multiply(0.01)
# Crear su simbologia TB
viz_tb = {
   'palette': ['040274', '040281', '0502a3', '0502b8', '0502ce', '0502e6',
              '0602ff', '235cb1', '307ef3', '269db1', '30c8e2', '32d3ef',
              '3be285', '3ff38f', '86e26f', '3ae237', 'b5e22e', 'd6e21f',
              'fff705', 'ffd611', 'ffb613', 'ff8b13', 'ff6e08', 'ff500d',
              'ff0000', 'de0101', 'c21301', 'a71001', '911003'],
   'min': 25,
   'max': 28
}
# Visualizacion temperatura brillo
Map.addLayer(img_L5_TB_es, viz_tb,name = "TB B6 Celsius")
```

Map

Reproyectar y recortar segun zona

```
# Reproyectar segun zona de estudio
img_L5_TB_es = img_L5_TB_es.reproject(crs="EPSG:32719", scale=30)
img_L5_RS_Es = img_L5_RS_Es.reproject(crs="EPSG:32719", scale=30)
# Recortar RS y TB
img_L5_TB_es_clip = img_L5_TB_es.clip(ee_zona)
img_L5_RS_Es_clip = img_L5_RS_Es.clip(ee_zona)
# Consultar Proyeccion
print("Proyeccion TB:",img_L5_TB_es_clip.projection().getInfo())
print("Proyeccion RS:",img_L5_RS_Es_clip.projection().getInfo())
img_L5_RS_Es_clip.bandNames().getInfo()
# Visualizacion TB y RS
Map.addLayer(img_L5_TB_es_clip, viz_tb,name = "TB B6 clip")
Map.addLayer(img_L5_RS_Es_clip, viz_es,name = "L5 RS clip")
Map
```

Exportar Imagen calibrado

```
os.getcwd()
ruta_archivos = r"D:\DATOS_CHACCO\RESULTADO"
os.chdir(ruta_archivos) # Cambiar ruta trabajo
os.getcwd() # Consultar ruta trabajo
# Exportar imagen Temperatura de brillo B6
geemap.ee_export_image(img_L5_TB_es_clip, filename="L5_TB_es_clip1995.tif",
scale=30, region=geometria, file_per_band = False)
# Exportar imagen Reflectancia superficie B543
geemap.ee_export_image(img_L5_RS_Es_clip.select(["B5","B4","B3"]),
filename="L5_RS_Es_clip.tif", scale=30, region=geometria, file_per_band=False)
# Exportar imagen Reflectancia superficie B543 Bandas separadas
geemap.ee_export_image(img_L5_RS_Es_clip.select(["B5","B4","B3"]),
filename="L5_RS_Es_clip_B.tif", scale=30, region=geometria, file_per_band=True)
# Exportar en google drive
geemap.ee_export_image_to_drive(img_L5_RS_Es_clip,
description='L5_RS_Es_clip1995d', folder = 'GEE_Python', region=geometria, scale = 30)
```

7.2. ANEXO 2 codisgo de lenguaje de progrmacion R para procesar las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima mediante el escalamiento estadístico de mapeo de cuantiles y generar los escenarios futuros climáticos de la CMIP6

```
library(sp)
library(raster)
library(MetBrewer)
library(xlsx)
library(ncdf4)
rm(list=ls())
setwd('D:/PROYECTO_TESIS')
ar<-read.table(file='Lista_estac_prec.txt',sep=',')
namest<-ar$V1[2:length(ar$V2)]
lat<-as.numeric(ar$V2[2:length(ar$V2)])
lon<-as.numeric(ar$V3[2:length(ar$V3)])


#---------------------------------------------------------
#----------------------PRECIP -----------------------------
#---------------------------------------------------------

for (est in 1:8){
  print(paste0('ESTACION ',est))

  ### PISCO
  file<-"D:/PROYECTO_TESIS/TESIS/PISCO/PrecipDiar.nc"
  long_lat<-data.frame(XX=lon[est],YY=lat[est])
  sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY
  img <- brick(file, varname="Prec")
  data_pis <- raster::extract(img, long_lat,method="simple")
  data_pis<-data_pis[1,]
  date_pis<-seq(as.Date("1981-01-01"),as.Date("2016-12-31"),by="day")
  df.pisco<-data.frame(date=date_pis,dato=data_pis)
  write.table(df.pisco,paste0("Datos_diario_pisco_prec_",namest[est],".csv"),row.names =
FALSE)

  ### GCM
  data_bc<-list()
  date_bc<-list()

  modname<-c("ACCESS-CM2","CanESM5","INM-CM4-8","MPI-ESM1-2-
LR","NorESM2-MM")
  print('prec')
```

```
  for (mds in 1:5){
    print(mds)

    ## Historical
    filemod<-Sys.glob(file.path(paste0("D:/PROYECTO_TESIS/CMIP6/",modname[mds]),
"pr_day_*_historical_19*"))
    #if(mds==3){lon.obs=lon.obs}
    long_lat<-data.frame(XX=360+lon[est],YY=lat[est])
    sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY
    img <- brick(filemod, varname="pr")
    date_mod<-as.POSIXlt(img@z$Date)
    raster::projection(long_lat) <- raster::projection(img)
    data_mod <- raster::extract(img, long_lat,method="simple")
    data_mod <- data_mod*60*60*24
    colnames(data_mod) <- NULL
    data_mod<-as.matrix(data_mod)
    data_mod<-data_mod[1,]
    mo <- strftime(date_mod, "%m")
    yr <- strftime(date_mod, "%Y")
    data_mod_m<-data.frame(mo, yr, data_mod)
    #dd <- data.frame(mo, yr, data_mod)
    #data_mod_m <- aggregate(data_mod ~ mo + yr, dd, FUN = sum)
    colnames(data_mod_m)<-c("mo","yr","data_ssp85")

    ## SSP245
    filemod<-Sys.glob(file.path(paste0("D:/PROYECTO_TESIS/CMIP6/",modname[mds]),
"pr_day_*_ssp245_20*"))
    img <- brick(filemod, varname="pr")
    date_ssp85<-as.POSIXlt(img@z$Date)
    raster::projection(long_lat) <- raster::projection(img)
    data_ssp85 <- raster::extract(img, long_lat,method="simple")
    data_ssp85 <- data_ssp85*60*60*24
    colnames(data_ssp85) <- NULL
    data_ssp85<-data_ssp85[1,]
    mo <- strftime(date_ssp85, "%m")
    yr <- strftime(date_ssp85, "%Y")
    data_ssp85_m<-data.frame(mo, yr, data_ssp85)
    #dd <- data.frame(mo, yr, data_ssp85)
    #data_ssp85_m <- aggregate(data_ssp85 ~ mo + yr, dd, FUN = sum)

    data_ssp85_m<-rbind(data_mod_m,data_ssp85_m)
    date_ssp85<-c(date_mod,date_ssp85)
    date_ssp85<-as.Date(date_ssp85)
    date_bc[[mds]]<-date_ssp85
    #date_ssp85<-seq(as.Date("1970-01-01"),as.Date("2100-12-01"),by="day")
    date_cal<-seq(as.Date("1981-01-01"),as.Date("2016-12-01"),by="day")


    ################### BIAS CORRECTION ###################
```

```
    o<-list();p<-list();s<-list();
    o[[1]]<-data_pis[date_pis %in% date_cal]
    p[[1]]<-data_ssp85_m$data_ssp85[date_ssp85 %in% date_cal]
    s[[1]]<-data_ssp85_m$data_ssp85


    data_bc[[mds]]<-as.vector(downscaleR:::biasCorrection1D(o=o,p=p,s=s,
                                            method="eqm",
                                            pr.threshold=0.1,
                                            n.quantiles = NULL,
                                            extrapolation = "constant",
                                            precip=TRUE))

    df<-data.frame(fechas=date_bc[[mds]],modelo=data_bc[[mds]])
    write.xlsx(df,
paste0("D:/PROYECTO_TESIS/DatosDiario/SSP245/prec_",namest[est],".xls"), sheetName
= modname[mds], col.names = TRUE, append = TRUE)
  }



  #-------------------------------------------------------
  #---------------------- TMAX ----------------------------
  #-------------------------------------------------------


  ### PISCO
  rm(img)
  file<-"D:/PROYECTO_TESIS/TESIS/PISCO/PISCOdtx_v1.1.nc"
  long_lat<-data.frame(XX=lon[est],YY=lat[est])
  sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY
  img <- brick(file, varname="tmax")
  data_pis <- raster::extract(img, long_lat,method="simple")
  data_pis<-data_pis[1,]
  date_pis<-seq(as.Date("1981-01-01"),as.Date("2016-12-31"),by="day")
  df.pisco<-data.frame(date=date_pis,dato=data_pis)
  write.table(df.pisco,paste0("Datos_diario_pisco_tmax_",namest[est],".csv"),row.names =
FALSE)

  ### GCM
  data_bc<-list()
  date_bc<-list()

  #modname<-c("ACCESS-ESM1-5","MPI-ESM1-2-HR","HadGEM3-GC31-
MM","NorESM2-LM","INM-CM4-8")
  print('tmax')

  for (mds in 1:5){
    print(mds)
    ## Historical
```

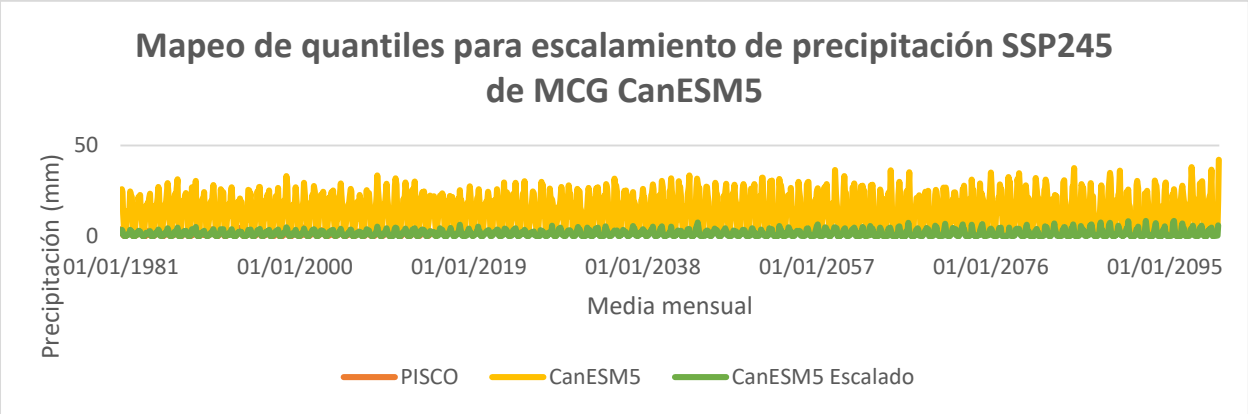
```
   filemod<-Sys.glob(file.path(paste0("D:/PROYECTO_TESIS/CMIP6/",modname[mds]),
"tasmax_day_*_historical_19*"))
   #if(mds==3){lon.obs=lon.obs}
   long_lat<-data.frame(XX=360+lon[est],YY=lat[est])
   sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY
   img <- brick(filemod, varname="tasmax")
   date_mod<-as.POSIXlt(img@z$Date)
   raster::projection(long_lat) <- raster::projection(img)
   data_mod <- raster::extract(img, long_lat,method="simple")
   data_mod <- data_mod-273.5
   colnames(data_mod) <- NULL
   data_mod<-as.matrix(data_mod)
   data_mod<-data_mod[1,]
   mo <- strftime(date_mod, "%m")
   yr <- strftime(date_mod, "%Y")
   data_mod_m<-data.frame(mo, yr, data_mod)
   #dd <- data.frame(mo, yr, data_mod)
   #data_mod_m <- aggregate(data_mod ~ mo + yr, dd, FUN = sum)
   colnames(data_mod_m)<-c("mo","yr","data_ssp85")

   ## SSP24.5
   filemod<-Sys.glob(file.path(paste0("D:/PROYECTO_TESIS/CMIP6/",modname[mds]),
"tasmax_day_*_ssp245_20*"))
   img <- brick(filemod, varname="tasmax")
   date_ssp85<-as.POSIXlt(img@z$Date)
   raster::projection(long_lat) <- raster::projection(img)
   data_ssp85 <- raster::extract(img, long_lat,method="simple")
   data_ssp85 <- data_ssp85-273.5
   colnames(data_ssp85) <- NULL
   data_ssp85<-data_ssp85[1,]
   mo <- strftime(date_ssp85, "%m")
   yr <- strftime(date_ssp85, "%Y")
   data_ssp85_m<-data.frame(mo, yr, data_ssp85)
   #dd <- data.frame(mo, yr, data_ssp85)
   #data_ssp85_m <- aggregate(data_ssp85 ~ mo + yr, dd, FUN = mean)

   data_ssp85_m<-rbind(data_mod_m,data_ssp85_m)
   date_ssp85<-c(date_mod,date_ssp85)
   date_ssp85<-as.Date(date_ssp85)
   date_bc[[mds]]<-date_ssp85
   #date_ssp85<-seq(as.Date("1970-01-01"),as.Date("2100-12-01"),by="day")
   date_cal<-seq(as.Date("1981-01-01"),as.Date("2016-12-31"),by="day")

   ################### BIAS CORRECTION ###################

   o<-list();p<-list();s<-list();
   o[[1]]<-data_pis[date_pis %in% date_cal]
   p[[1]]<-data_ssp85_m$data_ssp85[date_ssp85 %in% date_cal]
   s[[1]]<-data_ssp85_m$data_ssp85
```

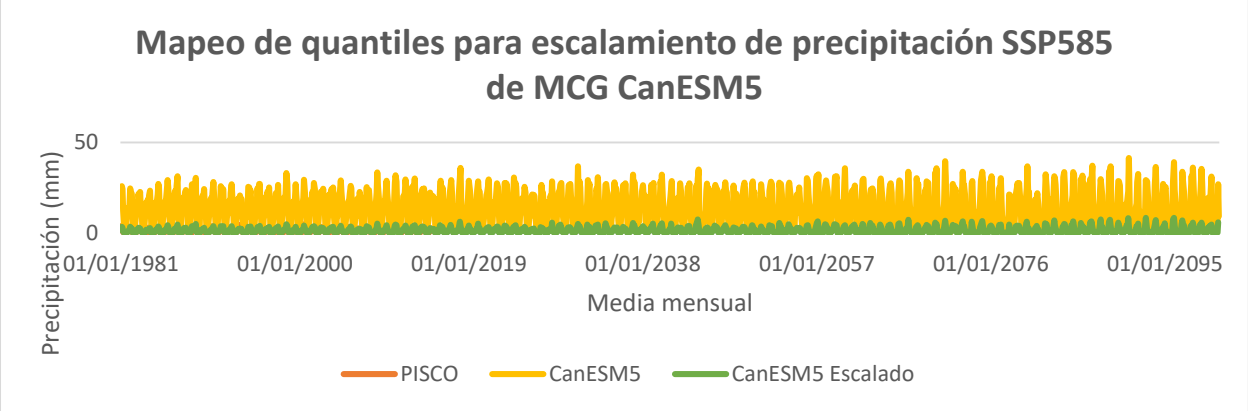
```
    data_bc[[mds]]<-as.vector(downscaleR:::biasCorrection1D(o=o,p=p,s=s,
                                                            method="eqm",
                                                            pr.threshold=0.1,
                                                            n.quantiles = NULL,
                                                            extrapolation = "constant",
                                                            precip=FALSE))

    df<-data.frame(fechas=date_bc[[mds]],modelo=data_bc[[mds]])
    write.xlsx(df,
paste0("D:/PROYECTO_TESIS/DatosDiario/SSP245/tmax_",namest[est],".xls"), sheetName
= modname[mds], col.names = TRUE, append = TRUE)

  }


  #---------------------------------------------------------
  #---------------------- TMIN -----------------------------
  #---------------------------------------------------------


  ### PISCO
  rm(img)
  file<-"D:/PROYECTO_TESIS/TESIS/PISCO/PISCOdtn_v1.1.nc"
  long_lat<-data.frame(XX=lon[est],YY=lat[est])
  sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY
  img <- brick(file, varname="tmin")
  data_pis <- raster::extract(img, long_lat,method="simple")
  data_pis<-data_pis[1,]
  date_pis<-seq(as.Date("1981-01-01"),as.Date("2016-12-31"),by="day")
  df.pisco<-data.frame(date=date_pis,dato=data_pis)
  write.table(df.pisco,paste0("Datos_diario_pisco_tmin_",namest[est],".csv"),row.names =
FALSE)

  ### GCM
  data_bc<-list()
  date_bc<-list()

  #modname<-c("ACCESS-ESM1-5","MPI-ESM1-2-HR","HadGEM3-GC31-
MM","NorESM2-LM","INM-CM4-8")
  print('tmin')

  for (mds in 1:5){
    print(mds)
    ## Historical
    filemod<-Sys.glob(file.path(paste0("D:/PROYECTO_TESIS/CMIP6/",modname[mds]),
"tasmin_day_*_historical_19*"))
    #if(mds==3){lon.obs=lon.obs}
    long_lat<-data.frame(XX=360+lon[est],YY=lat[est])
    sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY
```

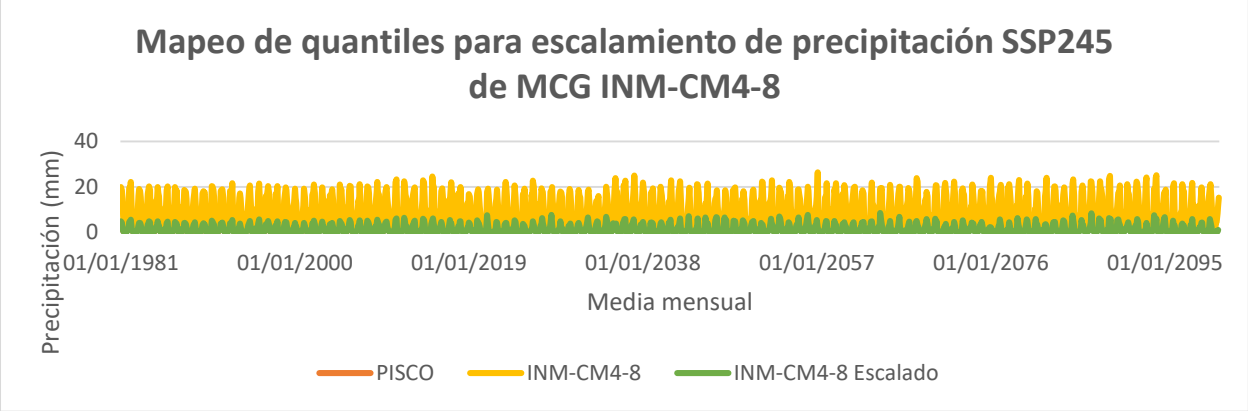
```
    img <- brick(filemod, varname="tasmin")
    date_mod<-as.POSIXlt(img@z$Date)
    raster::projection(long_lat) <- raster::projection(img)
    data_mod <- raster::extract(img, long_lat,method="simple")
    data_mod <- data_mod-273.5
    colnames(data_mod) <- NULL
    data_mod<-as.matrix(data_mod)
    data_mod<-data_mod[1,]
    mo <- strftime(date_mod, "%m")
    yr <- strftime(date_mod, "%Y")
    data_mod_m<-data.frame(mo, yr, data_mod)
    #dd <- data.frame(mo, yr, data_mod)
    #data_mod_m <- aggregate(data_mod ~ mo + yr, dd, FUN = sum)
    colnames(data_mod_m)<-c("mo","yr","data_ssp85")

    ## SSP24.5
    filemod<-Sys.glob(file.path(paste0("D:/PROYECTO_TESIS/CMIP6/",modname[mds]),
"tasmin_day_*_ssp245_20*"))
    img <- brick(filemod, varname="tasmin")
    date_ssp85<-as.POSIXlt(img@z$Date)
    raster::projection(long_lat) <- raster::projection(img)
    data_ssp85 <- raster::extract(img, long_lat,method="simple")
    data_ssp85 <- data_ssp85-273.5
    colnames(data_ssp85) <- NULL
    data_ssp85<-data_ssp85[1,]
    mo <- strftime(date_ssp85, "%m")
    yr <- strftime(date_ssp85, "%Y")
    data_ssp85_m<-data.frame(mo, yr, data_ssp85)
    #dd <- data.frame(mo, yr, data_ssp85)
    #data_ssp85_m <- aggregate(data_ssp85 ~ mo + yr, dd, FUN = mean)

    data_ssp85_m<-rbind(data_mod_m,data_ssp85_m)
    date_ssp85<-c(date_mod,date_ssp85)
    date_ssp85<-as.Date(date_ssp85)
    date_bc[[mds]]<-date_ssp85
    #date_ssp85<-seq(as.Date("1970-01-01"),as.Date("2100-12-01"),by="day")
    date_cal<-seq(as.Date("1981-01-01"),as.Date("2016-12-31"),by="day")

    ################### BIAS CORRECTION ###################

    o<-list();p<-list();s<-list();
    o[[1]]<-data_pis[date_pis %in% date_cal]
    p[[1]]<-data_ssp85_m$data_ssp85[date_ssp85 %in% date_cal]
    s[[1]]<-data_ssp85_m$data_ssp85


    data_bc[[mds]]<-as.vector(downscaleR:::biasCorrection1D(o=o,p=p,s=s,
                                          method="eqm",
                                          pr.threshold=0.1,
                                          n.quantiles = NULL,
```

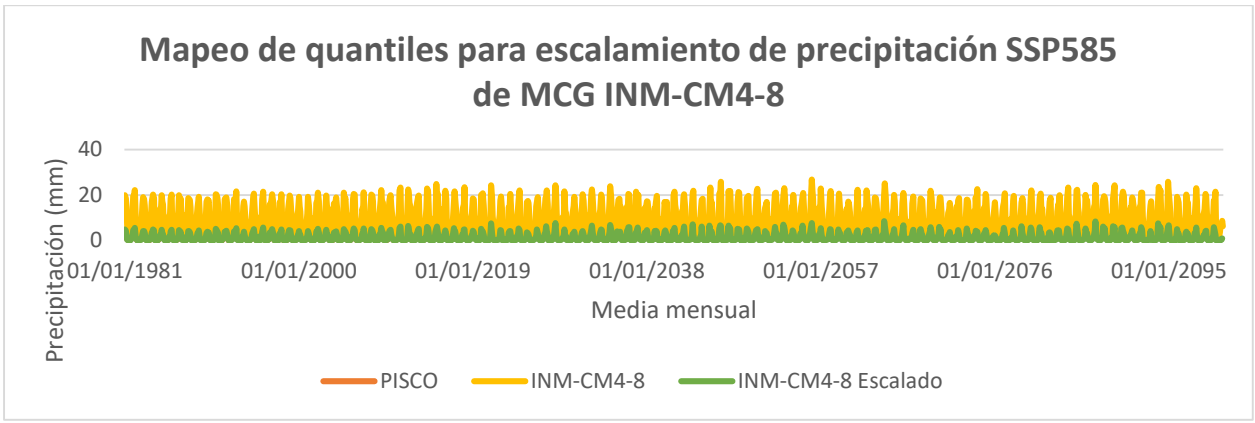
```
                                        extrapolation = "constant",
                                        precip=FALSE))

    df<-data.frame(fechas=date_bc[[mds]],modelo=data_bc[[mds]])
    write.xlsx(df,
paste0("D:/PROYECTO_TESIS/DatosDiario/SSP245/tmin_",namest[est],".xls"), sheetName
= modname[mds], col.names = TRUE, append = TRUE)

  }


}
```

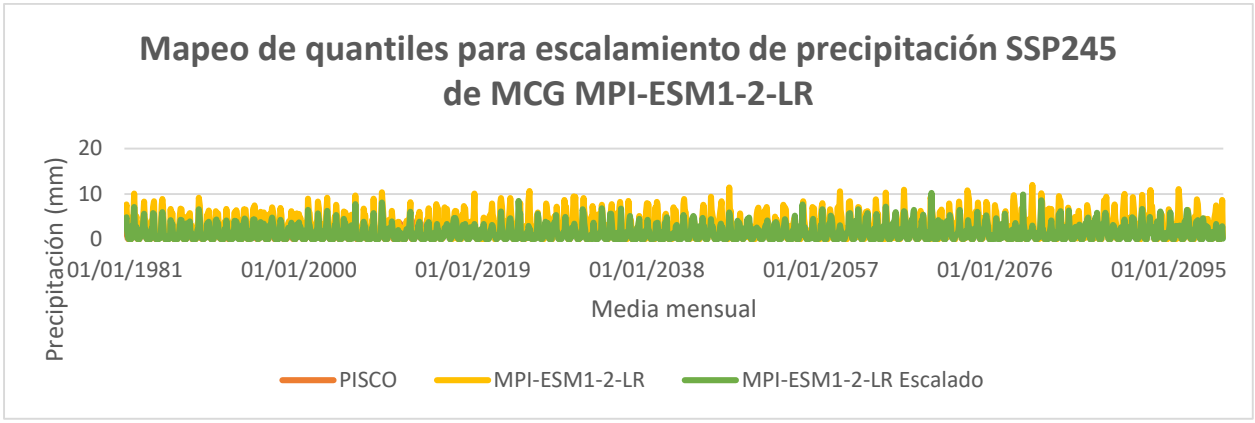
7.3. ANEXO 03 Escalamiento estadístico de la variable de precipitación aplicando el mapeo de cuantiles de los modelos climáticos globales utilizados en la investigación

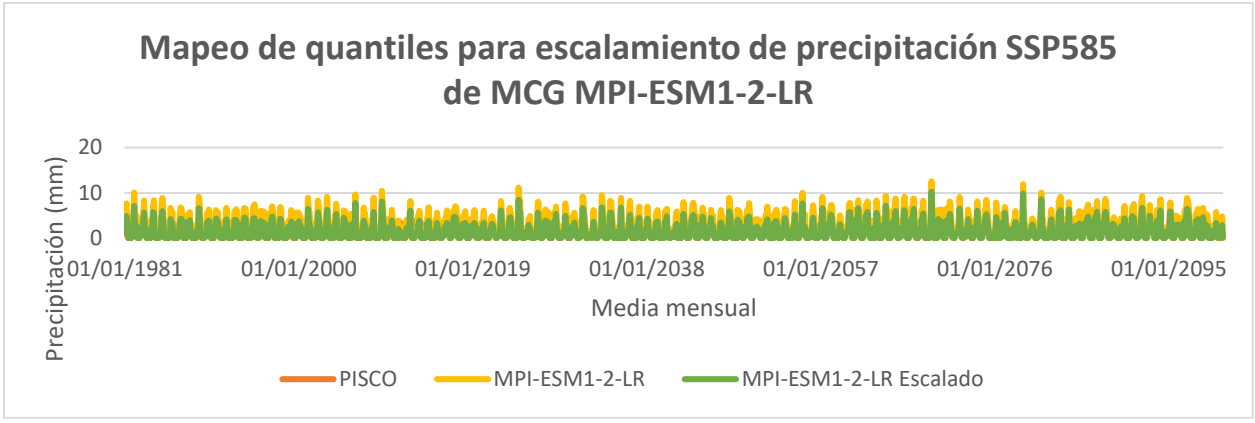


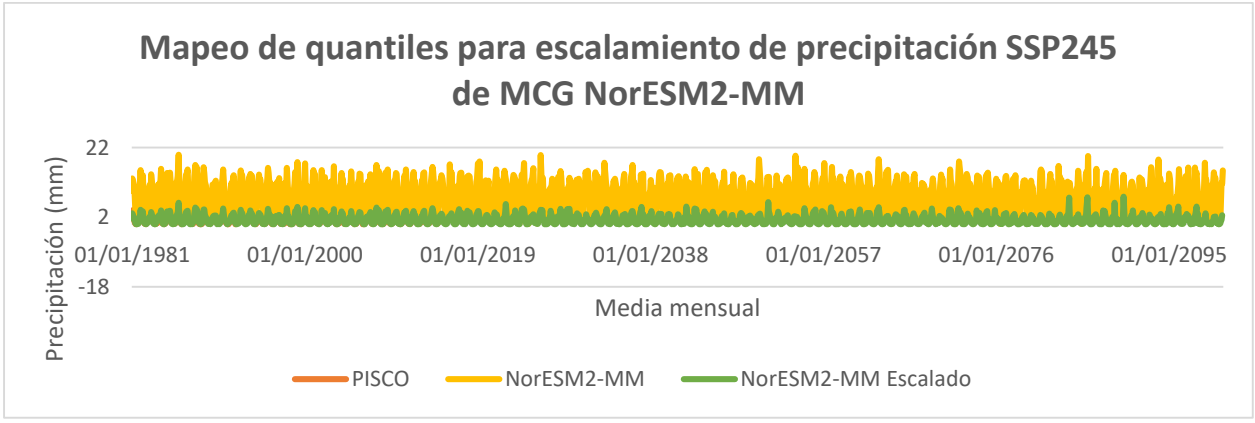


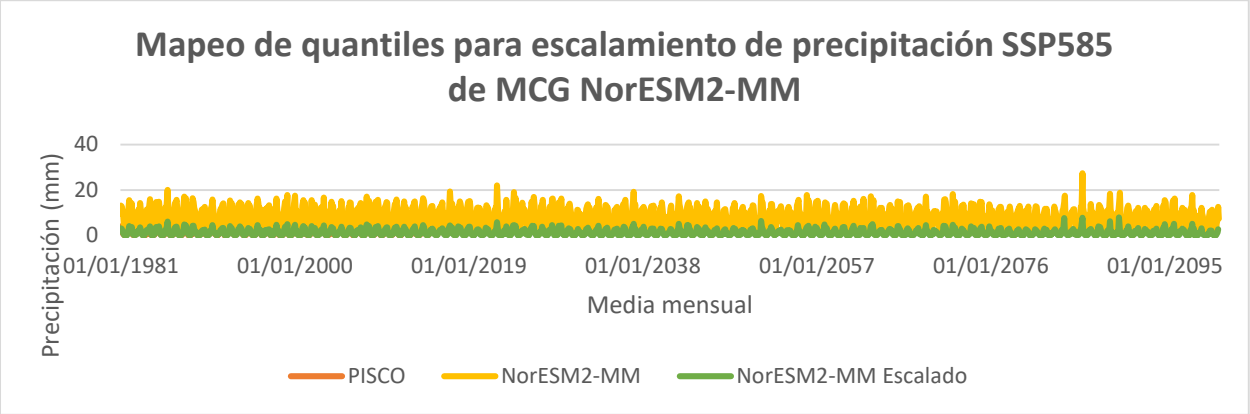


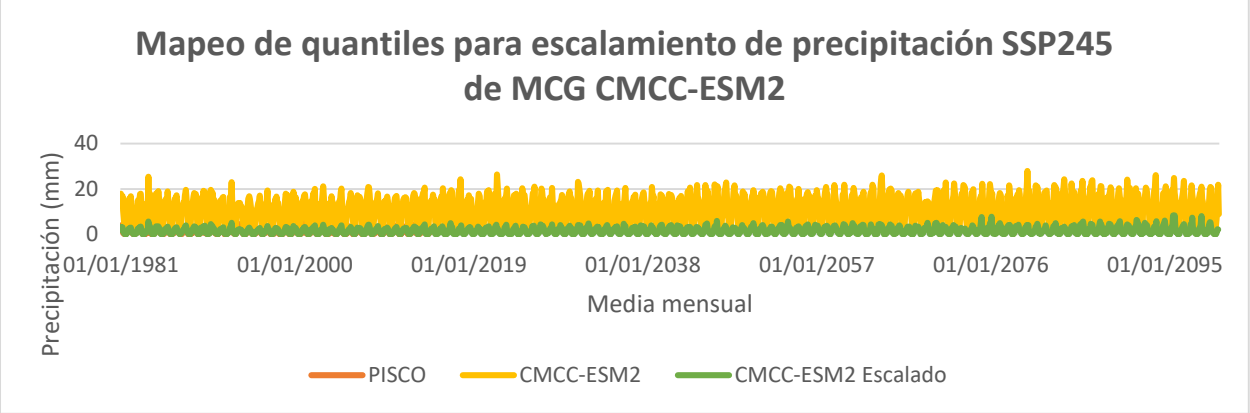

Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP585 de MCG INM-CM4-8
Precipitación (mm)
40
20
0
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
INM-CM4-8
INM-CM4-8 Escalado

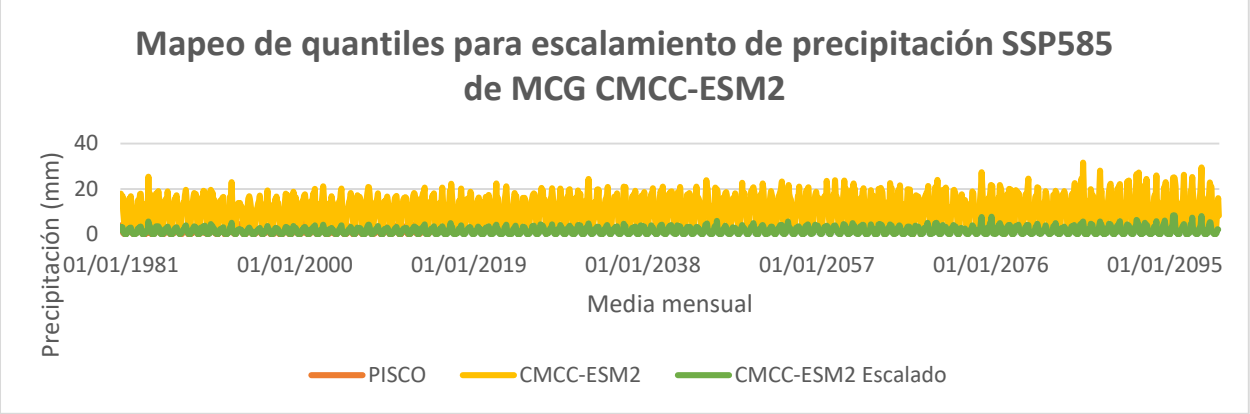

Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP245 de MCG MPI-ESM1-2-LR
Precipitación (mm)
20
10
0
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
MPI-ESM1-2-LR
MPI-ESM1-2-LR Escalado

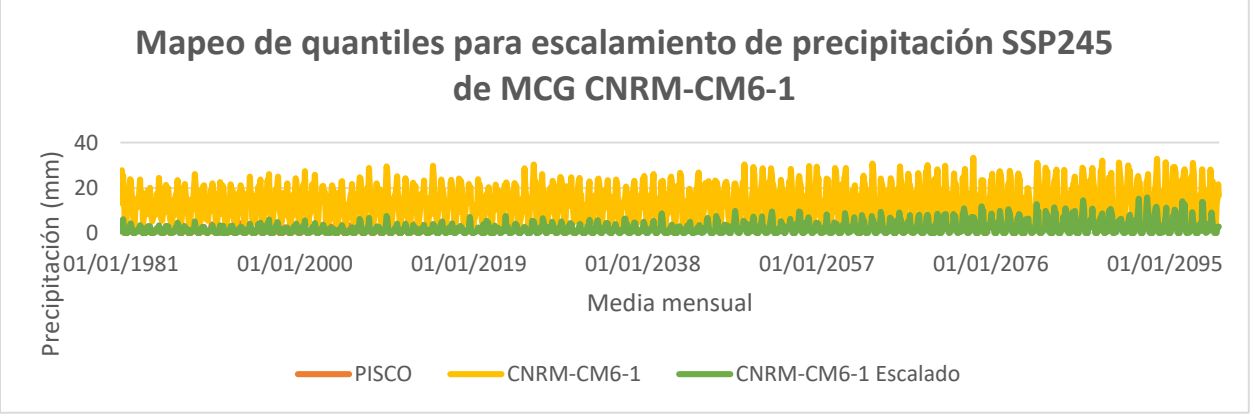

Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP585 de MCG MPI-ESM1-2-LR
Precipitación (mm)
20
10
0
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
MPI-ESM1-2-LR
MPI-ESM1-2-LR Escalado

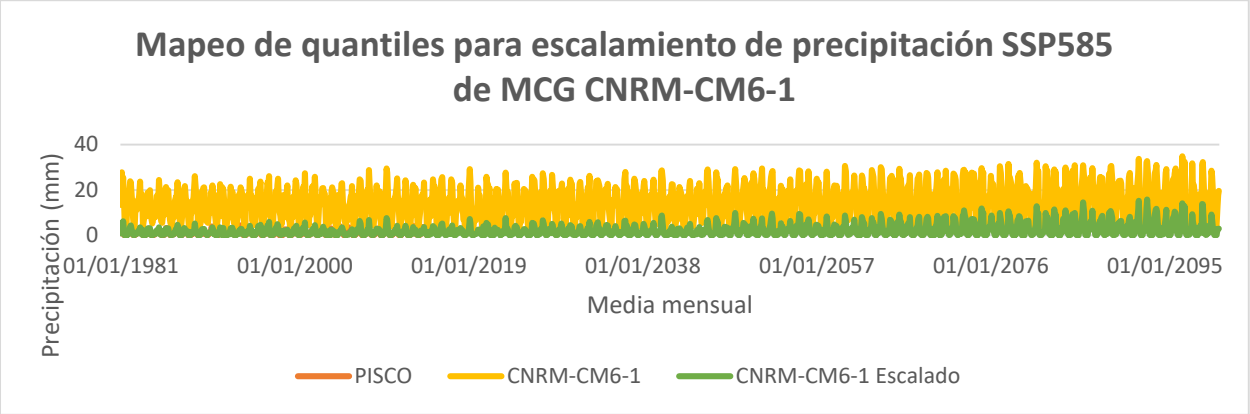

Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP245 de MCG NorESM2-MM
Precipitación (mm)
22
2
-18
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
NorESM2-MM
NorESM2-MM Escalado

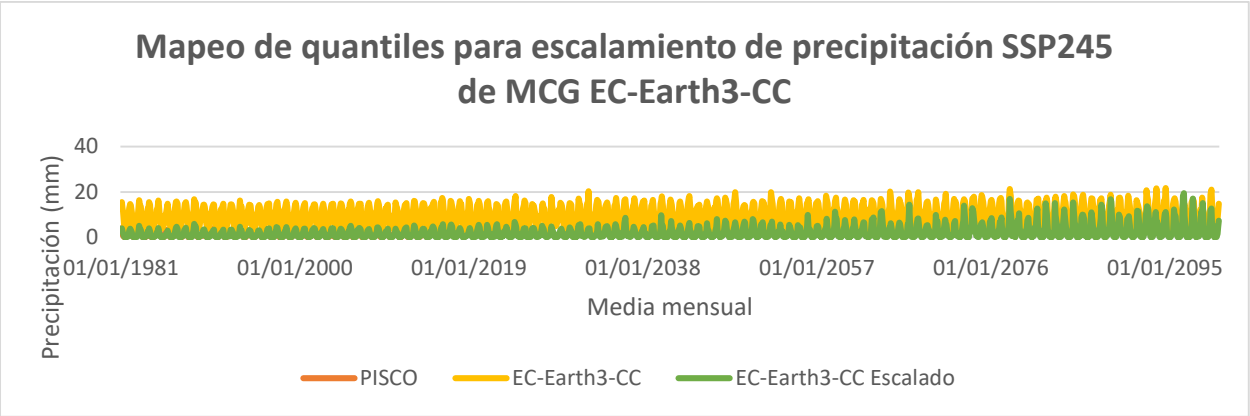

Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP585 de MCG NorESM2-MM
Precipitación (mm)
40
20
0
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
NorESM2-MM
NorESM2-MM Escalado

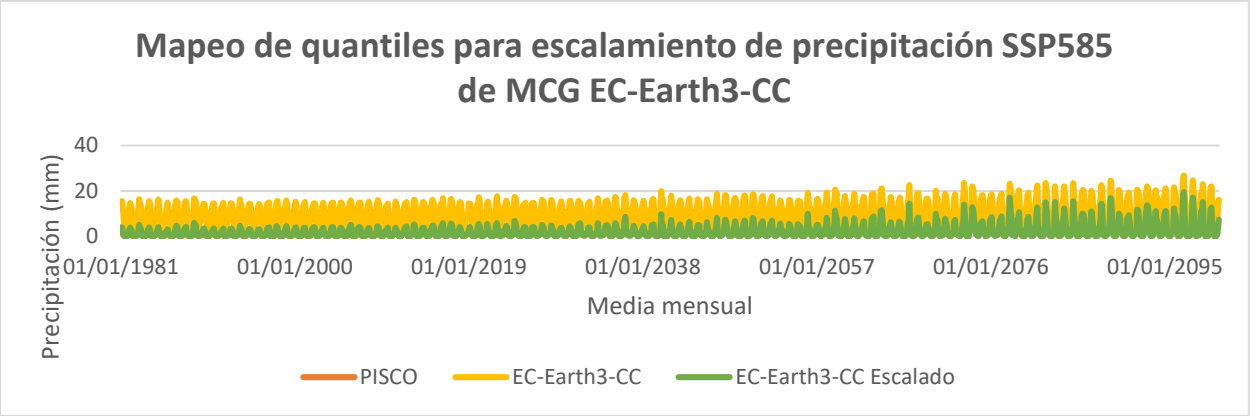

Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP245 de MCG CMCC-ESM2
Precipitación (mm)
40
20
0
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
CMCC-ESM2
CMCC-ESM2 Escalado

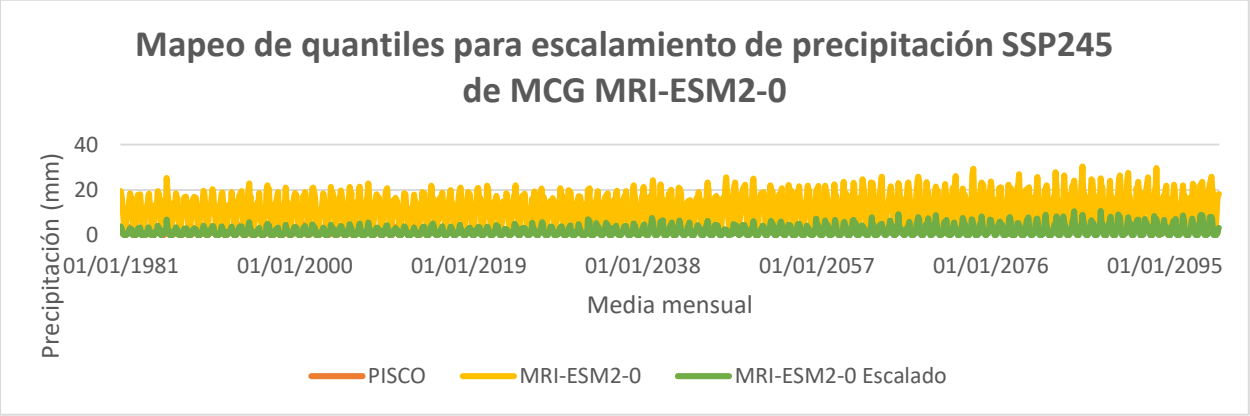

Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP585 de MCG CMCC-ESM2
Precipitación (mm)
40
20
0
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
CMCC-ESM2
CMCC-ESM2 Escalado

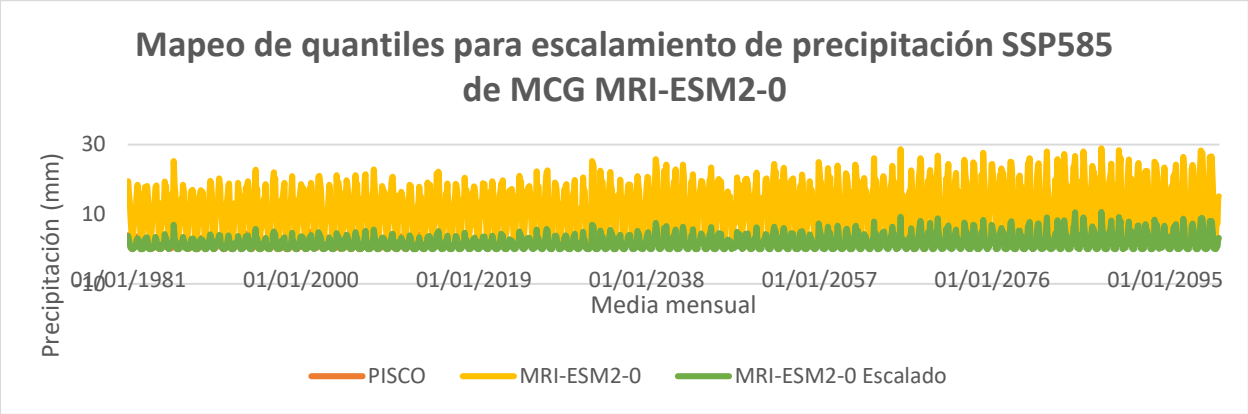

Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP245 de MCG CNRM-CM6-1
Precipitación (mm)
40
20
0
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
CNRM-CM6-1
CNRM-CM6-1 Escalado

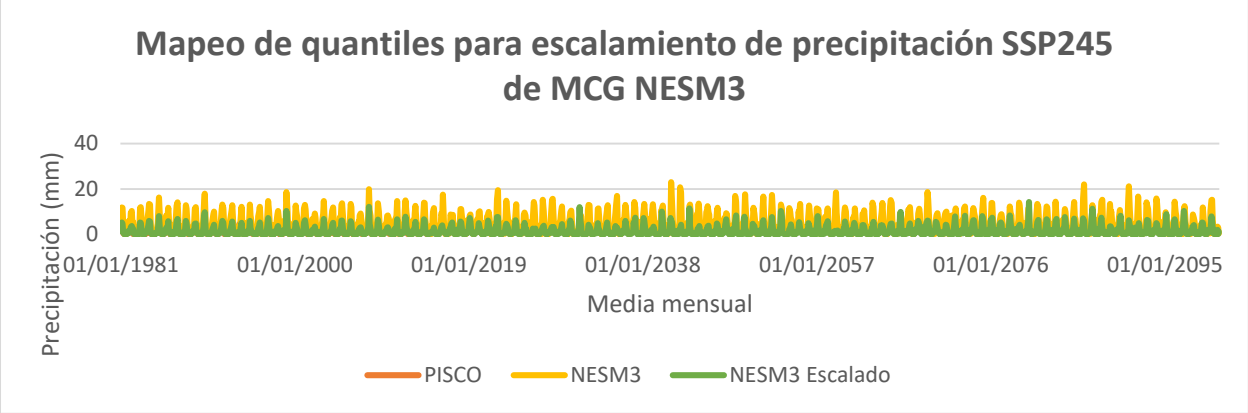

Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP585 de MCG CNRM-CM6-1
Precipitación (mm)
40
20
0
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
CNRM-CM6-1
CNRM-CM6-1 Escalado

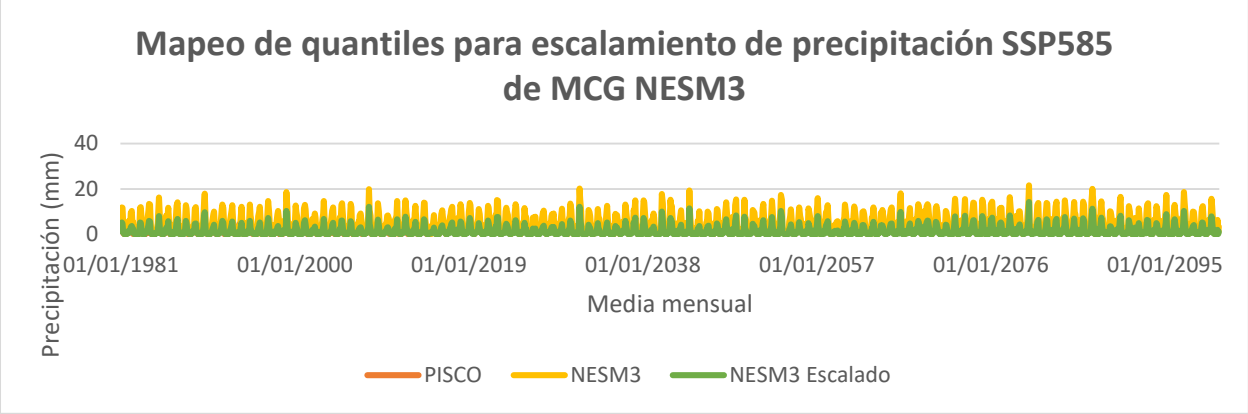

Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP245 de MCG EC-Earth3-CC
Precipitación (mm)
40
20
0
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
EC-Earth3-CC
EC-Earth3-CC Escalado


Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP585 de MCG EC-Earth3-CC
Precipitación (mm)
40
20
0
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
EC-Earth3-CC
EC-Earth3-CC Escalado


Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP245 de MCG MRI-ESM2-0
Precipitación (mm)
40
20
0
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
MRI-ESM2-0
MRI-ESM2-0 Escalado


Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP585 de MCG MRI-ESM2-0
Precipitación (mm)
30
10
-10
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
MRI-ESM2-0
MRI-ESM2-0 Escalado


Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP245 de MCG NESM3
Precipitación (mm)
40
20
0
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
NESM3
NESM3 Escalado


Mapeo de quantiles para escalamiento de precipitación SSP585 de MCG NESM3
Precipitación (mm)
40
20
0
01/01/1981
01/01/2000
01/01/2019
01/01/2038
01/01/2057
01/01/2076
01/01/2095
Media mensual
PISCO
NESM3
NESM3 Escalado

7.4. ANEXO 04 datos de precipitacion promedio mensuales extraida de PISCO para las 8 estaciones virtuales tomados en la cuenca de estudio

FECHA_m	Estacion1	Estacion2	Estacion3	Estacion4	Estacion5	Estacion6	Estacion7	Estacion8
1981-01	3.343251	2.54041	2.446245	2.871939	2.571658	2.504403	2.148796	2.38987
1981-02	5.885651	3.991655	5.97943	5.775741	5.040332	4.106212	5.121396	4.847982
1981-03	1.560733	1.408349	1.194871	1.131176	1.234924	1.431016	1.442473	1.786182
1981-04	0.657782	0.676392	0.537814	0.654836	0.718653	0.64479	0.648875	0.584016
1981-05	0.063693	0.069602	0.035318	0.036244	0.03643	0.039009	0.032032	0.02018
1981-06	0.188278	0.123054	0.109299	0.17201	0.158667	0.067738	0.106248	0.069082
1981-07	0.004842	0	0.017541	0.017965	0.013667	0.007629	0.013528	0.020351
1981-08	0.677754	0.442453	0.609551	0.632491	0.426212	0.364795	0.427304	0.42902
1981-09	0.58485	0.474715	0.289352	0.369716	0.351348	0.305446	0.295145	0.303478
1981-10	1.391408	1.065351	1.044678	1.01192	0.959256	0.828641	0.621459	0.615027
1981-11	2.706525	2.041946	1.983273	2.494683	2.483039	2.20483	2.216552	2.23307
1981-12	2.398108	2.542065	2.207957	2.394283	2.650374	3.173041	2.181002	2.817173
1982-01	3.331659	2.402877	2.509522	3.0645	2.791045	2.719751	2.5325	2.761834
1982-02	5.157027	3.741854	4.989649	5.016863	4.459872	4.009865	4.41217	4.17956
1982-03	1.044277	0.825186	0.954566	0.824203	0.81334	0.897311	0.953848	1.191567
1982-04	0.982424	0.896687	0.755111	0.911007	0.965384	0.845263	0.884306	0.75654
1982-05	0.07035	0.143098	0.100875	0.124462	0.134752	0.147855	0.142178	0.125241
1982-06	0.091547	0.11827	0.096788	0.179775	0.228052	0.133029	0.211189	0.151207
1982-07	0.015287	0.003608	0.039978	0.029672	0.012754	0.010698	0.014218	0.014482
1982-08	0.489011	0.294262	0.455065	0.384476	0.252503	0.226795	0.236827	0.266916
1982-09	0.650254	0.535548	0.330325	0.451384	0.451425	0.411362	0.399125	0.431763
1982-10	0.980556	0.716712	0.765819	0.728984	0.652879	0.51853	0.447206	0.415536
1982-11	2.516257	2.055976	2.065729	2.575798	2.70173	2.465402	2.594174	2.54983
1982-12	1.532689	1.634379	1.313804	1.522211	1.696867	2.078586	1.49231	1.888803
1983-01	3.988588	2.99272	2.899477	3.491879	3.163587	3.178796	2.7165	3.261266
1983-02	1.797428	1.395043	1.838684	1.797271	1.769943	1.620719	1.717662	1.673241
1983-03	2.341973	1.808658	2.234073	2.054576	2.035926	2.168783	2.839794	3.313725
1983-04	0.982384	1.018645	0.795184	0.900146	1.039463	0.946162	0.928228	0.87136
1983-05	0.300882	0.299821	0.209279	0.214392	0.218595	0.212386	0.224374	0.179555
1983-06	0.140598	0.142576	0.153784	0.285361	0.235006	0.110424	0.190199	0.096959
1983-07	0.026592	0.014149	0.042503	0.033156	0.025979	0.023445	0.032437	0.031746
1983-08	0.006638	0.019072	0.018778	0.016354	0.017786	0.018729	0.015257	0.017986
1983-09	1.000414	0.745799	0.59416	0.737954	0.657572	0.551145	0.708654	0.641299
1983-10	0.389428	0.285029	0.372736	0.34406	0.300273	0.237399	0.263048	0.219946
1983-11	0.691591	0.588409	0.593529	0.755809	0.831243	0.799316	0.78029	0.859761
1983-12	1.621486	2.066405	1.568251	2.019965	2.55634	3.452087	2.464451	3.336761
1984-01	3.897772	2.889106	3.012417	3.627757	3.191301	3.266287	2.964987	3.34945
1984-02	4.008946	3.071647	4.342899	4.144724	3.570557	2.769339	3.369484	2.848158
1984-03	0.906077	0.687534	1.164972	0.998983	0.930705	0.826946	1.472897	1.473153
1984-04	0.44205	0.455889	0.434465	0.523817	0.574932	0.477115	0.64825	0.558049
1984-05	0.135333	0.146764	0.088583	0.092968	0.10703	0.114485	0.099142	0.080112

1984-06	0.705252	0.487189	0.484135	0.746711	0.647327	0.295573	0.535449	0.296802
1984-07	0.009673	0.008864	0.01218	0.017414	0.024323	0.021808	0.024815	0.023722
1984-08	0.351685	0.207011	0.237291	0.230162	0.164962	0.121707	0.157135	0.148416
1984-09	0.243705	0.215572	0.123085	0.205761	0.229826	0.245716	0.246762	0.294555
1984-10	1.063469	0.715441	1.106285	0.92928	0.720746	0.547594	0.61639	0.494036
1984-11	2.13595	1.306897	2.111179	2.112668	1.541379	1.056463	1.490469	1.081256
1984-12	1.611459	1.472723	1.782165	1.742295	1.731515	1.768244	1.804641	1.863442
1985-01	2.042073	1.637896	1.43157	1.885998	1.83133	1.895483	1.588563	1.798892
1985-02	2.757595	2.161912	2.86559	2.687511	2.451946	2.036732	2.287528	2.128951
1985-03	2.791925	2.230285	2.214357	2.267855	2.473969	2.403225	3.056702	3.306066
1985-04	1.823688	1.799705	1.378943	1.733305	1.986	1.704705	1.911865	1.642597
1985-05	0.308149	0.336976	0.239544	0.252149	0.28833	0.366815	0.267007	0.263261
1985-06	0.504389	0.350752	0.381122	0.519804	0.414652	0.226843	0.324586	0.203496
1985-07	0.204506	0.121004	0.224576	0.172838	0.129702	0.108397	0.112686	0.103663
1985-08	0.037649	0.028685	0.034363	0.045805	0.036584	0.032822	0.049766	0.060084
1985-09	1.031132	0.768657	0.625277	0.773783	0.68269	0.581124	0.589101	0.594879
1985-10	0.299842	0.260276	0.271749	0.291601	0.301816	0.303281	0.250495	0.276041
1985-11	0.995915	0.897325	0.731974	1.000769	1.117003	1.213325	0.966261	1.134141
1985-12	3.019026	3.146995	3.053867	3.444106	3.73758	4.417963	3.547721	4.354802
1986-01	3.835545	2.573964	3.019664	3.447173	2.874387	2.866919	2.78624	2.912043
1986-02	4.04338	2.876818	3.554113	3.560666	3.186157	2.667902	2.714398	2.624283
1986-03	3.3771	2.719781	3.412759	3.11833	3.147062	3.330784	4.356334	4.877413
1986-04	1.795798	1.695573	1.308723	1.492593	1.710695	1.468168	1.539402	1.421931
1986-05	0.300542	0.290472	0.165501	0.191431	0.206842	0.202079	0.192226	0.159109
1986-06	0.003026	0.0034	0.003452	0.006963	0.00763	0.003441	0.006944	0.003961
1986-07	0.317738	0.171292	0.381041	0.252426	0.181238	0.137935	0.148884	0.113995
1986-08	0.62857	0.422784	0.49792	0.494978	0.379316	0.33512	0.344811	0.37791
1986-09	1.023937	0.903613	0.431528	0.664747	0.75951	0.828254	0.62262	0.792604
1986-10	0.636852	0.455397	0.537791	0.525522	0.464495	0.403832	0.370466	0.358331
1986-11	1.253518	1.040952	1.136638	1.347136	1.332137	1.215946	1.271386	1.31904
1986-12	2.975051	3.024243	2.663816	3.011723	3.239287	3.749206	2.69156	3.310824
1987-01	3.136393	2.34492	2.535486	2.937252	2.521271	2.478386	2.432874	2.662919
1987-02	1.624622	1.483092	1.550025	1.658436	1.752833	1.70954	1.744648	1.876393
1987-03	1.498724	1.255461	1.33182	1.387581	1.426187	1.47695	1.97212	2.225872
1987-04	1.067447	1.06506	0.624389	0.843513	1.007818	1.016981	0.836048	0.880982
1987-05	0.558729	0.524936	0.318754	0.362857	0.39445	0.449784	0.343705	0.306592
1987-06	0.305107	0.184937	0.225652	0.317647	0.266544	0.125598	0.215481	0.113813
1987-07	0.140895	0.103297	0.191479	0.160662	0.136067	0.133091	0.143697	0.143857
1987-08	0.06344	0.065446	0.1114	0.095266	0.070664	0.059249	0.066463	0.064276
1987-09	0.046766	0.057123	0.021714	0.052755	0.075841	0.09467	0.101196	0.142799
1987-10	0.884229	0.696151	0.670527	0.665933	0.632363	0.558119	0.440311	0.422784
1987-11	2.371982	1.780772	1.879204	2.179418	2.102815	1.970036	1.822776	1.874478
1987-12	1.73209	1.918133	1.442411	1.726623	2.075639	2.61939	1.807869	2.42093
1988-01	3.535381	2.543638	2.787236	3.27963	2.845873	2.775357	2.699025	3.075213
1988-02	3.009467	2.122175	2.783729	2.826304	2.474955	1.869333	2.384941	2.016287
1988-03	3.085993	2.278323	2.758245	2.577601	2.47147	2.460548	3.232784	3.621926

1988-04	0.945002	0.976453	0.630793	0.800068	0.96984	0.913056	0.787797	0.762196
1988-05	0.082915	0.133055	0.075803	0.082109	0.112155	0.156264	0.144163	0.144966
1988-06	0.010027	0.008527	0.010121	0.013916	0.013298	0.005998	0.010871	0.00632
1988-07	0.002042	0	0.004406	0.002707	0.001087	0.004657	0.004275	0.007294
1988-08	0.020141	0.013372	0.014439	0.020455	0.016654	0.016707	0.026512	0.0346
1988-09	0.057781	0.079035	0.029472	0.061337	0.085799	0.107864	0.107502	0.148167
1988-10	1.178316	0.876135	0.858565	0.915954	0.891431	0.750903	0.65077	0.637233
1988-11	0.895166	0.590867	0.681436	0.83294	0.778639	0.619882	0.783152	0.723771
1988-12	2.477305	2.133875	2.614866	2.527426	2.28324	2.253406	2.170958	2.289753
1989-01	4.55734	3.208792	3.475155	4.122193	3.411792	3.111425	3.182848	3.319597
1989-02	2.664496	2.04197	2.723544	2.650087	2.462124	2.20337	2.276571	2.12462
1989-03	3.958369	2.843511	3.578139	3.249296	3.092708	2.855648	3.993183	4.033333
1989-04	1.031884	0.932281	0.88223	0.929909	1.006401	0.790561	0.964859	0.779607
1989-05	0.209663	0.222468	0.173743	0.171316	0.177862	0.193396	0.185204	0.156702
1989-06	0.391901	0.255052	0.273732	0.394834	0.344545	0.176083	0.26917	0.16725
1989-07	0.042562	0.023098	0.061726	0.057735	0.048957	0.052705	0.062672	0.076895
1989-08	0.363937	0.244368	0.285142	0.27797	0.213349	0.176646	0.18944	0.188341
1989-09	0.509911	0.425337	0.273708	0.390244	0.411956	0.393565	0.402528	0.447857
1989-10	1.079937	0.877301	0.958256	0.969127	0.913493	0.84119	0.721263	0.719301
1989-11	1.49603	1.241391	1.130904	1.426799	1.496446	1.398203	1.33002	1.352577
1989-12	1.012154	1.213435	0.800624	1.043713	1.300531	1.770474	1.183143	1.662767
1990-01	2.911116	2.026413	2.154723	2.527316	2.199647	2.255877	2.021975	2.264887
1990-02	0.784062	0.729454	0.737437	0.819243	0.863004	0.837243	0.851889	0.884967
1990-03	1.523658	1.337411	1.538177	1.519325	1.612822	1.729278	2.406694	2.74857
1990-04	0.667802	0.70874	0.386277	0.522921	0.664992	0.649444	0.618413	0.611731
1990-05	0.254846	0.251952	0.211986	0.196578	0.202248	0.221663	0.214779	0.172804
1990-06	1.432393	0.850204	0.843762	1.081701	0.851011	0.437625	0.602975	0.405165
1990-07	0.082085	0.045001	0.1198	0.079449	0.057343	0.045946	0.058422	0.049659
1990-08	0.55992	0.333045	0.433249	0.443895	0.304659	0.232871	0.238943	0.262877
1990-09	0.919257	0.819783	0.485985	0.693677	0.749251	0.742328	0.757131	0.839013
1990-10	1.398546	1.15576	1.202054	1.237934	1.189874	1.07977	0.913444	0.905924
1990-11	2.315001	1.883655	2.170027	2.405075	2.322143	2.204574	2.316361	2.339855
1990-12	3.988727	3.901485	3.311522	3.662267	3.722081	3.997847	2.926165	3.408513
1991-01	2.702408	2.084022	1.962885	2.470043	2.314724	2.415816	2.101066	2.450492
1991-02	2.075496	1.556442	2.007147	2.025194	1.879646	1.550771	1.840367	1.678464
1991-03	2.126886	1.628712	1.978871	1.76166	1.708904	1.753131	2.433099	2.736263
1991-04	0.566699	0.609234	0.463969	0.576023	0.68235	0.616128	0.67661	0.615362
1991-05	0.276572	0.271632	0.230393	0.196071	0.183564	0.210675	0.185409	0.147551
1991-06	0.423927	0.22043	0.27929	0.371314	0.294871	0.130914	0.22649	0.138228
1991-07	0.012056	0.011176	0.07239	0.029764	0.024531	0.018907	0.033239	0.02805
1991-08	0.00809	0.010156	0.011399	0.014524	0.012798	0.014186	0.017732	0.020215
1991-09	0.420691	0.36642	0.233506	0.316357	0.331069	0.34215	0.319934	0.368238
1991-10	1.296225	0.919946	1.170152	1.13115	0.992179	0.848531	0.793189	0.734225
1991-11	1.894279	1.511227	1.526973	1.808262	1.868425	1.750087	1.725876	1.747105
1991-12	1.378155	1.50137	1.250086	1.471722	1.637246	1.937025	1.470458	1.818787
1992-01	1.608372	1.198167	1.07013	1.413023	1.334759	1.305305	1.194364	1.326725

1992-02	1.513111	1.224934	1.313575	1.381955	1.426346	1.257689	1.30542	1.272208
1992-03	1.200082	1.020618	0.912519	0.941178	1.055923	1.178018	1.364519	1.640152
1992-04	0.845	0.882447	0.506661	0.76953	0.964793	0.841749	0.821111	0.740709
1992-05	0.002719	0.015826	0	0.001002	0.010906	0.025802	0.018998	0.020958
1992-06	0.427866	0.263684	0.253273	0.406512	0.351883	0.1609	0.274783	0.182987
1992-07	0.24077	0.146298	0.251338	0.20557	0.160536	0.125956	0.148402	0.126793
1992-08	0.706575	0.516403	0.408476	0.515979	0.461385	0.428316	0.398797	0.481305
1992-09	0.370579	0.394951	0.155477	0.268812	0.342035	0.36987	0.313161	0.397962
1992-10	1.214133	0.869147	0.986459	0.974501	0.845285	0.802144	0.654963	0.671792
1992-11	1.047942	1.006516	0.818971	1.145189	1.42035	1.565551	1.365783	1.690868
1992-12	1.851017	2.154282	1.659562	1.970856	2.342381	3.112544	2.067002	2.97043
1993-01	2.990678	2.390657	2.315146	2.848697	2.624329	2.654643	2.728609	3.084736
1993-02	2.961841	2.293412	2.750872	2.752844	2.563776	2.215815	2.309219	2.165792
1993-03	2.092674	1.703295	2.308117	2.075427	2.115845	2.310186	3.135056	3.656308
1993-04	1.635474	1.724509	1.168816	1.471362	1.689148	1.524322	1.557465	1.447924
1993-05	0.295977	0.293193	0.255134	0.257805	0.260821	0.30099	0.246303	0.228774
1993-06	0.418431	0.280621	0.291077	0.439536	0.400859	0.211079	0.336393	0.22062
1993-07	0.15298	0.131205	0.281131	0.231856	0.206035	0.186412	0.237692	0.230268
1993-08	0.338343	0.298014	0.236487	0.26785	0.242047	0.258959	0.228354	0.272764
1993-09	1.043873	0.834876	0.487123	0.75932	0.824894	0.828937	0.767266	0.912339
1993-10	1.643356	1.251275	1.40409	1.35374	1.218392	1.106791	0.943731	0.936223
1993-11	2.864401	2.277667	2.330864	2.689044	2.641912	2.632231	2.565132	2.725796
1993-12	4.038382	4.506145	3.900901	4.328476	5.109376	6.65322	4.579346	6.118106
1994-01	3.844207	2.862535	2.865989	3.444507	3.15188	3.169566	3.142973	3.481372
1994-02	2.069558	1.6606	2.096306	1.979828	1.942948	1.668065	2.053658	1.81897
1994-03	2.892731	2.322762	2.764376	2.508561	2.570166	2.426446	3.320107	3.442202
1994-04	0.888963	1.020413	0.605217	0.846468	1.074401	1.023972	1.024349	0.97798
1994-05	0.119721	0.12635	0.09202	0.083751	0.089203	0.095002	0.094895	0.083641
1994-06	0.132422	0.122967	0.099916	0.198066	0.201907	0.102745	0.214928	0.139331
1994-07	0.036139	0.027456	0.039406	0.044633	0.050512	0.034673	0.059622	0.036956
1994-08	0.012286	0.005055	0.008105	0.007125	0.002142	0.000588	0.000243	0.001283
1994-09	0.358424	0.268397	0.191703	0.257317	0.245551	0.220395	0.226604	0.251053
1994-10	0.570505	0.518375	0.550441	0.55497	0.559211	0.546373	0.445879	0.472618
1994-11	1.306361	1.084808	0.94588	1.084318	1.099134	1.137627	0.961818	1.004091
1994-12	2.614749	2.672147	2.402136	2.742676	2.945331	3.550699	2.669104	3.434161
1995-01	3.775558	2.768407	2.686928	3.308551	2.964629	2.843418	2.470242	2.82785
1995-02	2.980232	2.167992	2.805491	2.700594	2.357875	1.863302	2.142511	1.912372
1995-03	1.791948	1.691657	1.434799	1.563808	1.778602	1.95053	2.221502	2.651703
1995-04	0.433122	0.49112	0.36991	0.432066	0.56165	0.580474	0.521322	0.529833
1995-05	0.24708	0.218352	0.181435	0.173254	0.16777	0.197985	0.173888	0.151266
1995-06	0.124441	0.071601	0.055427	0.106671	0.096327	0.039246	0.074917	0.04257
1995-07	0.077632	0.056986	0.101557	0.086912	0.075736	0.07176	0.085607	0.08588
1995-08	0.088396	0.060774	0.058053	0.079009	0.063764	0.04514	0.051948	0.056473
1995-09	0.293088	0.26671	0.167234	0.244474	0.267263	0.288298	0.298206	0.368436
1995-10	0.761924	0.53428	0.798216	0.73876	0.648245	0.513945	0.581091	0.510992
1995-11	1.818155	1.538603	1.650795	1.949211	2.011473	1.86473	2.060801	2.088551

1995-12	1.155203	1.409063	1.183215	1.376959	1.679323	2.236831	1.642504	2.251475
1996-01	2.583601	2.025335	2.212954	2.720994	2.521572	2.436791	2.521474	2.802115
1996-02	2.817541	1.887325	3.062122	2.876801	2.396093	1.914236	2.527683	2.315239
1996-03	2.778123	2.115352	2.463436	2.320449	2.326807	2.313894	2.982258	3.482309
1996-04	1.316156	1.368975	0.742584	1.180027	1.528339	1.23314	1.453885	1.248207
1996-05	0.05517	0.076253	0.03234	0.036743	0.049855	0.07261	0.047343	0.048166
1996-06	0.064315	0.075754	0.018297	0.038957	0.048256	0.025404	0.04054	0.029346
1996-07	0.000996	0.001499	0.007988	0.007995	0.011425	0.018141	0.039831	0.040118
1996-08	0.447673	0.276086	0.324368	0.342713	0.251441	0.233127	0.238484	0.260923
1996-09	0.511302	0.465914	0.245628	0.396068	0.455498	0.485648	0.378597	0.44861
1996-10	0.594463	0.501854	0.430472	0.462277	0.462375	0.433699	0.321266	0.332459
1996-11	1.462336	1.183852	1.127367	1.455608	1.494114	1.26646	1.381248	1.322523
1996-12	2.344928	2.662811	2.224091	2.65256	3.097609	3.685652	2.938615	3.603963
1997-01	3.13172	2.217179	2.189835	2.685426	2.408873	2.316821	2.197978	2.439894
1997-02	2.597222	2.149164	2.420115	2.546552	2.547052	2.363207	2.327763	2.34869
1997-03	1.927023	1.843152	1.701463	1.743519	2.030943	2.388724	2.519694	3.150679
1997-04	0.752989	0.812304	0.608997	0.780374	0.897843	0.873167	0.905625	0.822997
1997-05	0.051763	0.066198	0.04806	0.047888	0.057473	0.076507	0.073111	0.067963
1997-06	0.017835	0.021632	0.017343	0.032955	0.037272	0.020051	0.026735	0.017293
1997-07	0.062696	0.04645	0.09658	0.087848	0.080498	0.084268	0.108788	0.127609
1997-08	0.682519	0.503613	0.533151	0.61892	0.48823	0.465245	0.56835	0.673887
1997-09	0.986356	0.800448	0.541686	0.740782	0.760715	0.722631	0.729659	0.818766
1997-10	0.175429	0.19905	0.227264	0.226107	0.256386	0.261079	0.255994	0.266121
1997-11	3.135498	2.485128	2.509695	3.193806	3.248116	2.803054	3.021486	3.055114
1997-12	2.80569	2.964406	3.079219	3.247594	3.480059	4.165209	3.357524	4.363339
1998-01	3.826011	2.774918	3.01214	3.59732	3.201845	3.248151	3.041529	3.48828
1998-02	2.520097	1.885421	2.535004	2.472239	2.225235	1.938961	2.055551	1.925851
1998-03	2.142479	1.720215	2.289459	2.098499	2.087938	2.228713	2.89047	3.447433
1998-04	0.611022	0.686319	0.491716	0.633734	0.777713	0.709422	0.800678	0.733623
1998-05	0	0	0	0	0	0	0	0
1998-06	0.22607	0.205319	0.176319	0.271117	0.284752	0.17629	0.309638	0.223749
1998-07	2.90E-05	0	0.001281	0.00092	0.000684	0.000658	0.002018	0.002136
1998-08	0.05466	0.031877	0.039987	0.041263	0.026202	0.023467	0.023066	0.028264
1998-09	0.136271	0.128288	0.089061	0.124912	0.140767	0.162453	0.156835	0.196094
1998-10	0.84161	0.6938	0.57744	0.653033	0.633559	0.602498	0.492587	0.557617
1998-11	0.865869	0.889686	0.82145	1.014618	1.119886	1.200229	1.167483	1.326504
1998-12	2.403466	2.704922	2.324076	2.723856	3.129697	3.943454	2.802263	3.700708
1999-01	3.331367	2.481467	2.131619	2.795789	2.565187	2.566546	2.003197	2.301675
1999-02	3.12343	2.466063	3.587455	3.407158	3.11122	2.796547	3.24937	3.084049
1999-03	1.719394	1.417307	1.79177	1.598164	1.644455	1.692884	2.447158	2.781634
1999-04	0.956841	1.025673	0.868674	1.055431	1.212216	1.080762	1.28636	1.175997
1999-05	0.025229	0.048892	0.028187	0.030731	0.04305	0.066724	0.059717	0.06301
1999-06	0.119882	0.090002	0.087687	0.151272	0.170681	0.110963	0.154265	0.119939
1999-07	0.087295	0.0799	0.133519	0.124608	0.125359	0.13853	0.167035	0.190227
1999-08	0.002137	0.001153	0.001061	0.002409	0.000638	0.000412	0.000773	0.003937
1999-09	1.246374	1.228548	0.59403	0.917111	1.123748	1.157841	1.101742	1.370855

1999-10	0.650455	0.549512	0.715579	0.67052	0.618821	0.588353	0.624898	0.619616
1999-11	2.384205	1.782689	1.6117	2.143731	2.175235	1.89051	1.850129	1.867116
1999-12	2.21226	2.589328	2.085745	2.586154	3.111966	4.031049	3.071146	4.15075
2000-01	2.848694	2.252334	2.108842	2.481173	2.195381	2.180818	1.792776	1.922684
2000-02	4.143237	2.760786	4.107307	3.772755	3.195684	2.558785	2.820941	2.437439
2000-03	3.844694	2.873863	2.918584	2.771512	2.692429	2.638755	3.050053	3.34912
2000-04	0.405966	0.481697	0.228672	0.27898	0.353559	0.349728	0.226625	0.212476
2000-05	0.377205	0.362482	0.258979	0.271954	0.279608	0.296566	0.281017	0.235356
2000-06	0.361375	0.30124	0.213138	0.366173	0.383628	0.248505	0.260453	0.191768
2000-07	0.281819	0.168739	0.282633	0.231376	0.182523	0.162119	0.162852	0.168862
2000-08	0.237171	0.171295	0.150486	0.162659	0.140134	0.14112	0.119804	0.162462
2000-09	0.246109	0.260767	0.151641	0.228238	0.257182	0.265201	0.264783	0.307891
2000-10	1.327594	1.045505	1.332714	1.28126	1.182406	1.066076	1.032437	1.033487
2000-11	0.860389	0.756689	0.74329	0.921531	1.006896	0.963564	0.966599	0.991329
2000-12	3.206824	3.224018	3.091184	3.33217	3.572414	4.049372	3.234762	3.905648
2001-01	7.333967	4.938294	5.045067	6.083553	5.102315	4.551386	4.228141	4.351965
2001-02	4.127008	2.909055	3.485987	3.43468	2.892531	2.218912	2.280265	1.94134
2001-03	2.464516	1.871776	2.255605	1.993888	1.884812	1.882407	2.341367	2.564266
2001-04	0.461778	0.408374	0.29779	0.305803	0.310124	0.271841	0.195022	0.170139
2001-05	0.574896	0.613683	0.332019	0.384493	0.443029	0.522117	0.406148	0.390052
2001-06	0.245932	0.167834	0.126573	0.212219	0.205094	0.132883	0.138917	0.109985
2001-07	0.58588	0.370358	0.645027	0.593704	0.479565	0.444192	0.470935	0.481895
2001-08	0.542215	0.421735	0.352167	0.411892	0.37168	0.365292	0.347717	0.434395
2001-09	0.27101	0.291295	0.153447	0.241417	0.298659	0.329926	0.316797	0.379746
2001-10	1.393049	1.093308	1.045688	1.115598	1.049722	0.927319	0.789784	0.775804
2001-11	2.655193	2.058541	2.212461	2.606489	2.586056	2.283129	2.305488	2.204463
2001-12	1.372325	1.670863	1.082	1.364275	1.773358	2.510591	1.568404	2.377262
2002-01	2.448959	1.718852	1.689479	2.063601	1.808882	1.757867	1.580629	1.751468
2002-02	3.547159	2.867917	3.438877	3.516677	3.460499	3.184874	3.441945	3.375386
2002-03	4.600988	3.34476	3.829423	3.736064	3.658943	3.509171	4.447012	4.943743
2002-04	1.069737	1.176374	0.811295	1.084182	1.319248	1.195354	1.300585	1.1421
2002-05	0.296973	0.304245	0.223625	0.215218	0.233159	0.276283	0.230465	0.214433
2002-06	0.140807	0.101636	0.103644	0.159128	0.150417	0.089693	0.114899	0.072733
2002-07	0.809147	0.666569	0.891251	1.004788	1.015117	1.050525	1.277351	1.438432
2002-08	0.446917	0.299282	0.27091	0.310862	0.254449	0.226915	0.196841	0.228862
2002-09	0.974236	0.937425	0.41716	0.690545	0.832757	0.920561	0.796556	0.997042
2002-10	0.976494	0.769302	0.956204	0.938911	0.843402	0.762655	0.757445	0.742987
2002-11	2.136775	1.791637	1.761852	2.198229	2.28447	2.091372	2.052192	2.052752
2002-12	3.166852	3.360675	2.892484	3.45334	3.872518	4.484953	3.540592	4.348712
2003-01	1.959301	1.623754	1.595922	2.010253	1.936004	2.040552	1.921586	2.219032
2003-02	4.154073	3.124085	3.915478	3.884403	3.566238	3.018879	3.226927	3.003125
2003-03	3.053697	2.482832	2.827296	2.672754	2.74535	2.807582	3.683767	4.023567
2003-04	1.900689	1.63302	1.026251	1.341626	1.509604	1.210024	1.193957	1.023767
2003-05	0.134017	0.140576	0.100745	0.103304	0.109004	0.121726	0.106212	0.089744
2003-06	0.101117	0.07445	0.054717	0.103796	0.107176	0.06579	0.062514	0.042522
2003-07	0.002799	0.002898	0.023377	0.015115	0.013285	0.018001	0.023885	0.027289

2003-08	0.665626	0.479624	0.47802	0.573143	0.49366	0.460321	0.463426	0.564214
2003-09	0.61334	0.551385	0.261938	0.427817	0.50285	0.526074	0.450669	0.574721
2003-10	0.281066	0.272735	0.274249	0.295382	0.312295	0.315581	0.281125	0.298152
2003-11	1.10884	0.937396	0.759449	1.041387	1.157166	1.122745	1.075398	1.168497
2003-12	2.77625	3.127016	2.831382	3.225325	3.711649	4.742336	3.536296	4.732461
2004-01	2.975067	2.294712	1.856834	2.436032	2.321108	2.420453	1.987979	2.342098
2004-02	2.240117	1.711837	2.322516	2.242694	2.076087	1.786551	2.088323	1.971139
2004-03	1.831499	1.589623	1.584014	1.549661	1.652416	1.770129	2.187055	2.536401
2004-04	0.462024	0.560969	0.377599	0.517766	0.684225	0.688826	0.705992	0.704173
2004-05	0.095972	0.107405	0.052895	0.056546	0.065745	0.080827	0.052492	0.047153
2004-06	0.537453	0.442724	0.408283	0.61889	0.650583	0.429331	0.520703	0.410269
2004-07	0.4044	0.311022	0.53895	0.516355	0.47215	0.496688	0.588332	0.636514
2004-08	0.349412	0.281387	0.230868	0.285108	0.261284	0.256849	0.257052	0.323773
2004-09	0.957064	0.887779	0.498178	0.764406	0.847885	0.857211	0.799595	0.970936
2004-10	1.128034	0.894357	0.781	0.892005	0.869804	0.791512	0.662692	0.6536
2004-11	1.838127	1.431262	1.50433	1.805697	1.76615	1.650326	1.595237	1.637544
2004-12	4.181653	4.101097	4.061099	4.58455	4.885354	5.670771	4.744358	5.934642
2005-01	2.004525	1.56394	1.51868	1.891104	1.76771	1.816041	1.666277	1.908587
2005-02	1.88835	1.468669	1.854467	1.835081	1.695399	1.43111	1.591196	1.448555
2005-03	1.827739	1.697807	1.748214	1.762413	1.936278	2.150653	2.660319	3.269992
2005-04	0.595745	0.631956	0.441008	0.558434	0.692267	0.618132	0.657773	0.598346
2005-05	0.153493	0.158398	0.10134	0.113979	0.127683	0.145537	0.134912	0.12161
2005-06	0.003222	0.003298	0.003628	0.008576	0.009718	0.004376	0.007663	0.003187
2005-07	0.092749	0.072173	0.122774	0.109623	0.101754	0.106806	0.120073	0.132094
2005-08	0.039278	0.038074	0.034166	0.046395	0.046886	0.056776	0.061762	0.090635
2005-09	0.264136	0.27532	0.17067	0.27268	0.340395	0.380281	0.434783	0.557102
2005-10	1.37415	1.057903	1.004733	1.097978	1.065	1.010167	0.830727	0.888745
2005-11	1.088124	0.896984	0.776258	1.009858	1.073212	1.054559	0.992211	1.04543
2005-12	3.182057	3.448057	3.01409	3.568695	4.079259	5.056498	3.786181	4.945504
2006-01	3.914326	3.043187	3.083761	3.846133	3.59393	3.676314	3.55481	4.0878
2006-02	2.463659	2.087743	2.387954	2.444103	2.41031	2.188197	2.269552	2.180895
2006-03	3.056868	2.463274	2.733089	2.648765	2.694714	2.814821	3.729518	4.337342
2006-04	1.188765	1.168168	0.857565	1.081322	1.184674	1.04963	1.160269	1.033241
2006-05	0	0	0	0	0	0	0	0
2006-06	0.288867	0.228034	0.226047	0.349845	0.344566	0.220227	0.326194	0.222652
2006-07	0.001298	0	0.007739	0.005359	0.004367	0.004913	0.008001	0.012089
2006-08	0.453639	0.291204	0.394704	0.39837	0.30738	0.272472	0.325388	0.36738
2006-09	0.540487	0.425336	0.278985	0.41118	0.411622	0.385819	0.400749	0.434845
2006-10	1.248906	0.973335	0.940522	1.024374	0.973109	0.878313	0.793125	0.776387
2006-11	3.410345	2.625337	2.91607	3.49775	3.401916	3.123758	3.358437	3.346737
2006-12	2.536048	2.67172	2.496386	2.814029	3.05039	3.569071	2.849548	3.492159
2007-01	2.252393	1.903663	1.74669	2.187405	2.225663	2.413603	2.130841	2.529365
2007-02	1.866301	1.432293	1.766681	1.795153	1.68259	1.466117	1.613527	1.522255
2007-03	3.122169	2.51698	3.160116	2.850208	2.829251	2.979655	3.955402	4.37727
2007-04	1.169276	1.160156	0.831536	1.09066	1.309375	1.142145	1.267417	1.14043
2007-05	0.132538	0.174922	0.097762	0.107326	0.129121	0.160943	0.12477	0.11588

2007-06	0.031022	0.020622	0.021455	0.047389	0.041222	0.016105	0.026577	0.011456
2007-07	0.098165	0.068223	0.125982	0.11777	0.101769	0.092975	0.111632	0.108488
2007-08	0.221771	0.166733	0.13204	0.162974	0.1448	0.143978	0.130945	0.164374
2007-09	0.453226	0.379749	0.235059	0.337942	0.371848	0.370731	0.368056	0.439745
2007-10	1.259143	1.037838	0.845456	0.967886	1.008791	0.961857	0.739965	0.784326
2007-11	1.830025	1.432327	1.487218	1.854677	1.87543	1.749908	1.834071	1.89602
2007-12	2.802947	3.092221	2.696595	3.14701	3.592275	4.635482	3.472144	4.675984
2008-01	3.534836	2.868924	2.905303	3.557872	3.326002	3.429603	3.21695	3.607609
2008-02	2.357939	1.978983	2.477542	2.454191	2.396652	2.110918	2.349961	2.219051
2008-03	1.500463	1.285996	1.451763	1.502042	1.587392	1.689534	2.2239	2.571642
2008-04	0.290136	0.360788	0.240918	0.317789	0.42209	0.428712	0.418999	0.406539
2008-05	0.274089	0.267793	0.144124	0.165493	0.179163	0.188568	0.14616	0.126362
2008-06	0.282862	0.205671	0.236169	0.37357	0.344198	0.200758	0.327998	0.219938
2008-07	0.005253	0.003394	0.016047	0.012165	0.010779	0.012359	0.01414	0.015685
2008-08	0.040631	0.039124	0.033991	0.039763	0.035608	0.040634	0.034998	0.049615
2008-09	0.237421	0.192734	0.100877	0.149678	0.159566	0.150381	0.118986	0.135283
2008-10	0.63152	0.547874	0.521366	0.573974	0.593657	0.575758	0.496756	0.53038
2008-11	1.222351	1.005869	1.012788	1.239297	1.284283	1.223142	1.225569	1.283483
2008-12	2.626817	2.936178	2.535252	3.09066	3.520951	4.245975	3.383841	4.240793
2009-01	3.296718	2.496236	2.564609	3.109082	2.838398	2.811878	2.641542	2.954274
2009-02	3.682552	2.863334	3.621421	3.485476	3.201357	2.904644	2.971429	2.865842
2009-03	1.066286	0.962982	1.020206	0.951193	1.02904	1.20422	1.552517	1.910198
2009-04	1.455077	1.536239	1.035052	1.334791	1.576268	1.423189	1.462219	1.368595
2009-05	0.158128	0.130862	0.08745	0.087326	0.092159	0.104806	0.08704	0.079116
2009-06	0.081271	0.053158	0.05979	0.094588	0.085012	0.041078	0.060883	0.030785
2009-07	0.166155	0.138149	0.274643	0.253442	0.237523	0.237926	0.369939	0.380366
2009-08	0.186559	0.125008	0.109148	0.118882	0.093941	0.086557	0.070154	0.085643
2009-09	0.375916	0.316846	0.152979	0.226076	0.236994	0.22739	0.181263	0.204757
2009-10	1.173276	0.861818	1.053707	1.04898	0.94391	0.851964	0.79482	0.784361
2009-11	2.804628	2.292128	2.492464	3.000955	3.016836	2.764695	3.049901	3.042104
2009-12	3.276665	3.164903	3.132077	3.622505	3.796924	4.311669	3.711931	4.577543
2010-01	4.170508	3.112806	3.124398	3.877286	3.520541	3.587045	3.362235	3.814124
2010-02	2.699431	2.09997	2.564012	2.636169	2.429576	2.100181	2.366103	2.238247
2010-03	1.81828	1.563764	1.690519	1.630512	1.669712	1.790865	2.141817	2.464622
2010-04	0.729771	0.844105	0.57412	0.72619	0.904874	0.880536	0.925005	0.882919
2010-05	0.014748	0.040098	0.019685	0.027563	0.051172	0.090782	0.086458	0.104243
2010-06	0.059362	0.05321	0.05114	0.08694	0.099283	0.056057	0.078307	0.048555
2010-07	0.001788	0	0.005448	0.003548	0.003416	0.004832	0.006289	0.007545
2010-08	0.232699	0.13927	0.119141	0.152929	0.109949	0.085774	0.060098	0.066587
2010-09	0.352387	0.319509	0.162516	0.266541	0.300633	0.309648	0.288326	0.33793
2010-10	1.323305	1.059526	0.918846	1.016927	1.001635	0.942774	0.765002	0.775976
2010-11	1.069721	0.957233	0.800217	1.002463	1.117805	1.171125	0.990524	1.130372
2010-12	3.388513	3.776882	3.046746	3.607291	4.200842	5.258364	3.820557	5.012518
2011-01	4.831865	3.533336	4.025031	4.620173	4.033093	3.926619	3.859839	4.224698
2011-02	4.460642	3.396563	4.400022	4.352888	4.057588	3.608643	3.935984	3.832547
2011-03	2.574921	2.01155	2.312668	2.220668	2.240462	2.347276	3.203347	3.604908

2011-04	1.350254	1.473948	1.042719	1.357017	1.683917	1.510582	1.707475	1.512572
2011-05	0.244043	0.250052	0.157131	0.171673	0.18521	0.218289	0.169133	0.148787
2011-06	0.019275	0.023237	0.020484	0.040517	0.047698	0.032387	0.039565	0.026901
2011-07	0.070656	0.069212	0.118185	0.114539	0.124004	0.157996	0.185816	0.23561
2011-08	0.033767	0.026591	0.021147	0.020598	0.014827	0.018478	0.006256	0.016685
2011-09	0.561268	0.53852	0.319728	0.495633	0.575936	0.603494	0.630186	0.76488
2011-10	0.996118	0.785035	0.666009	0.747235	0.734027	0.678551	0.542124	0.560769
2011-11	2.988196	2.270418	2.185448	2.723783	2.703497	2.400547	2.326729	2.278884
2011-12	3.399776	3.417669	3.063069	3.51647	3.804775	4.545855	3.412005	4.338394
2012-01	3.172012	2.658624	2.18795	2.926414	2.948703	3.084976	2.712073	3.182265
2012-02	4.087183	3.377065	4.217692	4.191247	4.093879	3.854038	4.150363	4.208196
2012-03	2.417044	1.968947	2.350841	2.246033	2.325229	2.390131	3.249102	3.596515
2012-04	2.118469	2.058745	1.374569	1.838892	2.10952	1.685875	1.93819	1.553794
2012-05	0.124249	0.127356	0.068681	0.071115	0.078028	0.094911	0.055861	0.049979
2012-06	0.401286	0.292684	0.279635	0.43859	0.448797	0.301773	0.438736	0.319545
2012-07	0.212858	0.13755	0.238952	0.214807	0.177803	0.159073	0.185196	0.185631
2012-08	0.066098	0.06052	0.037361	0.054885	0.053259	0.057316	0.045915	0.063597
2012-09	0.977405	0.877226	0.355565	0.631926	0.755992	0.809719	0.675111	0.880493
2012-10	0.827992	0.600257	0.721147	0.706207	0.624029	0.550641	0.500008	0.480728
2012-11	2.12138	1.609491	1.397001	1.747973	1.775273	1.566165	1.372876	1.405854
2012-12	4.027727	4.232258	3.982125	4.465202	4.986021	6.104283	4.849262	6.174826
2013-01	3.734794	2.706315	2.779495	3.323259	2.952088	2.843724	2.691199	3.017746
2013-02	3.007475	2.289145	3.032851	2.940848	2.671519	2.303267	2.509556	2.427703
2013-03	2.848795	2.321113	2.559439	2.440991	2.538843	2.70135	3.32859	3.877176
2013-04	0.379535	0.434298	0.238096	0.334756	0.435139	0.406822	0.394438	0.377539
2013-05	0.279669	0.340499	0.242097	0.231522	0.277696	0.331564	0.310363	0.289686
2013-06	0.370156	0.312992	0.226274	0.383946	0.419305	0.265354	0.346957	0.270437
2013-07	0.162739	0.112066	0.204607	0.183586	0.1592	0.155268	0.186476	0.202372
2013-08	0.974782	0.719118	0.585952	0.721692	0.648529	0.644277	0.595676	0.777516
2013-09	0.222633	0.21462	0.112105	0.168555	0.193149	0.2081	0.191213	0.236744
2013-10	1.961846	1.318242	1.566427	1.531578	1.295409	1.019797	0.948866	0.839192
2013-11	1.986676	1.600739	1.562898	1.885092	1.939503	1.796378	1.718701	1.768866
2013-12	3.308959	3.656781	3.085638	3.552596	4.110862	5.172273	3.903718	5.143322
2014-01	4.739862	3.482074	3.623715	4.302331	3.731126	3.606948	3.395109	3.743468
2014-02	2.2513	1.793151	2.229209	2.158381	2.051745	1.80014	1.964441	1.847647
2014-03	2.800541	2.293237	2.752814	2.533372	2.663178	2.755372	3.633086	4.13201
2014-04	0.847067	0.898308	0.669355	0.817033	0.966544	0.932692	0.888387	0.858412
2014-05	0.281364	0.294436	0.197495	0.202557	0.217728	0.257424	0.215908	0.211935
2014-06	0.069902	0.046898	0.035902	0.072883	0.063621	0.017179	0.046884	0.019449
2014-07	0.142551	0.11717	0.210456	0.200676	0.198054	0.208961	0.288637	0.334174
2014-08	0.150072	0.115786	0.09838	0.108341	0.090247	0.088062	0.072756	0.095776
2014-09	1.307571	1.057632	0.858284	1.115284	1.067928	1.053356	1.122616	1.234914
2014-10	1.44478	1.073048	0.998239	1.07969	1.023212	0.894115	0.789355	0.769957
2014-11	1.327527	1.084614	1.135634	1.388066	1.408263	1.282897	1.326063	1.338555
2014-12	2.208432	2.589569	1.859779	2.304261	2.839344	3.843896	2.635573	3.852912
2015-01	4.413266	3.269382	3.130312	3.86722	3.479802	3.399968	3.111983	3.436209

2015-02	3.27337	2.554987	3.122373	3.001945	2.816493	2.485399	2.508428	2.402318
2015-03	2.704064	2.203936	2.793804	2.392293	2.429844	2.623356	3.162822	3.706047
2015-04	1.037011	1.155313	0.742195	0.972333	1.214935	1.127955	1.116824	1.05806
2015-05	0.552658	0.489259	0.335448	0.355388	0.354122	0.375028	0.319336	0.281518
2015-06	0.498421	0.322111	0.251589	0.420729	0.393558	0.181514	0.250828	0.152461
2015-07	0.338322	0.239181	0.364166	0.40302	0.358731	0.332188	0.423187	0.436151
2015-08	0.548664	0.461805	0.354058	0.444559	0.422577	0.439513	0.400844	0.5423
2015-09	0.312772	0.272012	0.133888	0.20211	0.226815	0.228011	0.186029	0.227384
2015-10	0.957609	0.707298	0.768851	0.776208	0.707737	0.600263	0.536944	0.522909
2015-11	1.698878	1.561969	1.262624	1.624662	1.810499	1.8096	1.615253	1.729248
2015-12	3.85194	4.1733	3.491384	4.054506	4.723499	6.034174	4.311701	5.890457
2016-01	1.674934	1.229155	1.12912	1.434119	1.304719	1.291194	1.117539	1.26725
2016-02	3.76737	2.908203	3.453195	3.493968	3.310817	2.914637	3.063456	2.87888
2016-03	1.836637	1.477836	1.694406	1.523383	1.522141	1.593774	1.892615	2.140579
2016-04	1.073297	1.128432	0.863011	1.040587	1.23511	1.131065	1.173533	1.079507
2016-05	0.1046	0.108165	0.078159	0.084933	0.090753	0.103036	0.107328	0.093944
2016-06	0.128079	0.100427	0.092995	0.172627	0.179908	0.099631	0.179783	0.126188
2016-07	0.18533	0.162931	0.215469	0.215562	0.222057	0.254705	0.254908	0.324717
2016-08	0.032544	0.031349	0.03355	0.042234	0.03911	0.046599	0.048	0.07355
2016-09	0.422185	0.406293	0.174903	0.292333	0.342767	0.360196	0.30887	0.379333
2016-10	0.925663	0.787232	0.719815	0.7565	0.760878	0.734258	0.593793	0.621114
2016-11	1.292915	1.056943	0.952274	1.203644	1.273391	1.19614	1.117334	1.19862
2016-12	2.425153	2.698654	2.271353	2.587731	3.016922	3.822313	2.765736	3.675398

Figura 58: Datos de precipitación promedio mensuales extraida de PISCO para los 8 estaciones virtuales tomados en la cuenca de estudio

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 058-2023-FIMGC

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 311-2023-FIMGC-D**, siendo los quince días del mes de agosto del 2023, a horas 9:30 am.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditórium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES,** Jurado el **MSc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO,** Jurado el **MSc. Ing. Alex Sander IRCAÑAUPA HUAMANÍ,** Jurado - Asesor el **Mg. Ing. Edward LEON PALACIOS** y secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR,** con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada titulado: **"IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL EN LA CUENCA DEL RIO CHACCO",** presentado por el/la Sr./Srta., **JILBER MELANIO FLORES RAMOS,** Bachiller en **Ciencias de la Ingeniería Civil.**

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **17 (diecisiete).**

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS GEOLOGÍA Y CIVIL
Dr. Efraín Elías Porras Flores
DECANO

Firmado digitalmente por Dr. Ing. Efrain Elias Porras Flores
Fecha: 2023.08.21 10:25:55 -05'00'

Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES
Presidente

MSc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÙ PRADO
Jurado

Mg. Ing. Edward LEON PALACIOS
Jurado Asesor

MSc. Ing. Alex Sander IRCAÑAUPA HUAMANÍ
Jurado

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Secretario del Proceso
Departamento Académico de Matemática y Física

C.c.:
Bach. JILBER MELANIO FLORES RAMOS
Jurados (4)
Archivo

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 054-2023-FIMGC

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 288-2023-FIMGC- UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres	:	Flores Ramos, Jilber Melanio
Escuela Profesional	:	INGENIERÍA CIVIL
Título de la Tesis	:	"IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL EN LA CUENCA DEL RIO CHACCO"
Evaluación de la Originalidad	:	4 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega	:	2145891295

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 14 de agosto del 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Departamento Académicos de Matemática y Física

Con depósito para Sustentación y Tramites
Cc. Archivo.

“IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL EN LA CUENCA DEL RIO CHACCO"

por Jilber Melanio Flores Ramos

Fecha de entrega: 14-ago-2023 03:28p.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2145891295
Nombre del archivo: UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_SAN_CRIST_BAL_DE_HUAMANG._1_1.docx (7.83M)
Total de palabras: 26815
Total de caracteres: 166341

“IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL EN LA CUENCA DEL RIO CHACCO"

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%	5%	2%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.usm.cl Fuente de Internet	1%
4	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1%
5	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	<1%

9	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 30 words
Excluir bibliografía	Activo		