

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

“Predicción de la precipitación a consecuencia del cambio climático usando modelos climáticos globales, Ayacucho 2024”

Para optar el título profesional de:

INGENIERA AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. Jillary Lucero DE LA CRUZ ORELLANA

ASESOR:

Mtro. Richard Alex OSCCO PECEROS

AYACUCHO - PERÚ

2024

DEDICATORIA

A Dios, mis padres y hermanos gracias por ser mi ejemplo de amor, esfuerzo y dedicación. Cada sacrificio, cada consejo y cada gesto de apoyo me ha formado y dado fuerza.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a mi alma mater, la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, en la que logré formarme profesionalmente con apoyo incondicional de mis docentes.

Asimismo, a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por pertenecer a ello y formarme profesionalmente durante mi vida universitaria.

Finalmente quiero agradecer al Mtro. Richard Alex Oscoco Peceros, por la orientación y paciencia en esta elaboración de tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I	5
1. MARCO TEÓRICO	5
1.1. Antecedentes	5
1.1.1. Antecedentes internacionales	5
1.1.2. Antecedentes nacionales.....	7
1.2. Bases teóricas.....	9
1.2.1. Ciclo hidrológico.....	9
1.2.2. Proyecciones de cambio climático	10
1.2.3. Precipitación.....	10
1.2.4. Análisis de saltos y tendencias	11
1.2.5. Método de regresión lineal para completacion de datos	19
1.2.6. Modelos de Circulación General (MCG)	19
1.2.7. Downscaling – Método de Bias Correction	20
1.2.8. Linear Scaling (LS)	21
1.3. Definición de términos.....	22

1.3.1. Precipitación.....	22
1.3.2. Modelo climático global (MCG).....	22
CAPITULO II.....	23
2. METODOLOGÍA.....	23
2.1. Ubicación.....	23
2.1.1. Ubicación del área de estudio.....	23
2.1.2. Ubicación geográfica.....	23
2.1.3. Ubicación política.....	23
2.2. Materiales y equipos.....	24
2.2.1. Datos de precipitación.....	24
2.2.2. Ráster de Modelos Climáticos Globales.....	25
2.3. Equipos.....	25
2.4. Metodología.....	26
2.4.1. Secuencia recomendada para la obtención de precipitaciones al año 2100.....	26
2.4.2. Recolección de información de precipitación diaria.....	26
2.4.3. Completación de datos de precipitación diaria.....	34
2.4.4. Análisis de consistencia y homogeneidad de datos.....	39
2.4.5. Corrección de datos de precipitación.....	42
2.4.6. Descarga de precipitación de modelos climáticos globales.....	44
2.4.7. Downscaling y elección de modelo climático global para proyección futura.....	44
2.4.8. Proyecciones futuras de precipitación ACCESS1.0.....	47
2.4.9. Comparación entre normales climáticas de precipitación observadas y en condiciones de escenario de cambio climático.....	55

CAPITULO III.....	72
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
3.1.1. Homogeneidad y completación de datos de precipitación en las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la provincia de Huamanga.	72
3.1.2. Análisis de tendencia de la precipitación.	72
3.1.3. Downscaling de precipitación de modelos climáticos globales. .	75
3.1.4. Modelo climático global con mejor ajuste estadístico para predicción de precipitación con incidencia de cambio climático.	86
3.1.5. Predicciones de precipitación con incidencia de cambio climático en la Provincia de Huamanga.	88
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES.....	97
REFERENCIAS.....	98
LISTA DE ACRÓNIMOS	103
ANEXOS	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Métodos Bias Correction para simulación de precipitación y temperatura ...</i>	21
Tabla 2	<i>Estaciones meteorológicas enmarcadas en la Provincia de Huamanga.....</i>	27
Tabla 3	<i>Coefficiente de correlación entre estaciones meteorológicas</i>	36
Tabla 4	<i>Orden de correlación entre estaciones meteorológicas</i>	36
Tabla 5	<i>Coefficiente lineal entre estaciones meteorológicas.....</i>	37
Tabla 6	<i>Resumen de periodos de cada estación</i>	39
Tabla 7	<i>Test de petit para la validación de la estación de referencia</i>	40
Tabla 8	<i>Análisis de consistencia de las estaciones</i>	40
Tabla 9	<i>Análisis de consistencia – Prueba T (media) y F (desviación estándar).....</i>	41
Tabla 10	<i>Análisis de consistencia datos corregidos – Prueba T (media) y F (desviación estándar).....</i>	42
Tabla 11	<i>Modelos climáticos globales CMIP5 utilizadas en la investigación</i>	44
Tabla 12	<i>Downscaling de la precipitación RCP 4.5 – Estación Allpachaca</i>	46
Tabla 13	<i>Variación de la precipitación – Estación Allpachaca</i>	56
Tabla 14	<i>Variación de la precipitación – Estación Chiara.....</i>	57
Tabla 15	<i>Variación de la precipitación – Estación Choccoro</i>	58
Tabla 16	<i>Variación de la precipitación – Estación Cuchoquesera</i>	60
Tabla 17	<i>Variación de la precipitación – Estación Huamanga</i>	61
Tabla 18	<i>Variación de la precipitación – Estación Pucaloma</i>	62
Tabla 19	<i>Variación de la precipitación – Estación Sachabamba.....</i>	64
Tabla 20	<i>Variación de la precipitación – Estación Tambillo.....</i>	65
Tabla 21	<i>Análisis de consistencia datos corregidos – Prueba T (media) y F (desviación estándar).....</i>	73
Tabla 22	<i>Criterios de rendimiento de modelos hidrológicos.....</i>	87

Tabla 23	<i>Proyección y variación de la precipitación – Estación Allpachaca.....</i>	88
Tabla 24	<i>Predicción y variación de la precipitación – Estación Chiara</i>	89
Tabla 25	<i>Predicción y variación de la precipitación – Estación Choccoro.....</i>	90
Tabla 26	<i>Predicción y variación de la precipitación – Estación Cuchoquesera</i>	90
Tabla 27	<i>Predicción y variación de la precipitación – Estación Huamanga.....</i>	91
Tabla 28	<i>predicción y variación de la precipitación – Estación Pucaloma.....</i>	92
Tabla 29	<i>predicción y variación de la precipitación – Estación Sachabamba</i>	92
Tabla 30	<i>Predicción y variación de la precipitación – Estación Tambillo</i>	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico global	12
Figura 2	Ubicación geográfica.....	24
Figura 3	Flujograma para obtener precipitaciones al año 2100.....	26
Figura 4	Ubicación de las estaciones meteorológicas	28
Figura 5	Estación meteorológica Chiara.....	29
Figura 6	Estación meteorológica Huamanga	29
Figura 7	Ubicación de las estaciones meteorológicas	30
Figura 8	Precipitación diaria registrada (mm) estación Allpachaca periodo 1992 - 2018	30
Figura 9	Precipitación diaria registrada (mm) estación Chiara periodo 1992 - 2018...	31
Figura 10	Precipitación diaria registrada (mm) estación Choccoro periodo 2000 - 2018	31
Figura 11	Precipitación diaria registrada (mm) estación Cuchoquesera periodo 1992 - 2018	32
Figura 12	Precipitación diaria registrada (mm) estación Huamanga periodo 1995 - 2017	32
Figura 13	Precipitación diaria registrada (mm) estación Alpachaca periodo 1995 - 2018	33
Figura 14	Precipitación diaria registrada (mm) estación Sachabamba periodo 1995 - 2018	33
Figura 15	Precipitación diaria registrada (mm) estación Tambillo periodo 1992 - 2018	34
Figura 16	Flujograma de análisis de consistencia	35
Figura 17	Estaciones meteorológicas completadas	38

Figura 18 Estaciones meteorológicas de precipitaciones corregidas.....	43
Figura 19 Software CMhyd para realizar Downscaling	45
Figura 20 Downscaling de la precipitación RCP 4.5 – Estación Allpachaca.....	46
Figura 21 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Allpachaca (2006 – 2100).....	47
Figura 22 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Chiara (2006 – 2100).....	48
Figura 23 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Choccoro (2006 – 2100).....	48
Figura 24 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Cuchoquesera (2006 – 2100).....	49
Figura 25 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Huamanga (2006 – 2100).....	49
Figura 26 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Pucaloma (2006 – 2100).....	50
Figura 27 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Sachabamba (2006 – 2100).....	50
Figura 28 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Tambillo (2006 – 2100).....	51
Figura 29 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Allpachaca (2006 – 2100).....	51
Figura 30 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Chiara (2006 – 2100).....	52
Figura 31 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Choccoro (2006 – 2100).....	52

Figura 32 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Cuchoquesera (2006 – 2100).....	53
Figura 33 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Huamanga (2006 – 2100).....	53
Figura 34 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Pucaloma (2006 – 2100).....	54
Figura 35 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Sachabamba (2006 – 2100).....	54
Figura 36 Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Tambillo (2006 – 2100).....	55
Figura 37 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Allpachaca	56
Figura 38 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Allpachaca	56
Figura 39 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Chiara.....	57
Figura 40 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Chiara.....	58
Figura 41 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Choccoro.....	59
Figura 42 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Choccoro.....	59
Figura 43 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Cuchoquesera.....	60

Figura 44 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Cuchoquesera.....	60
Figura 45 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Huamanga	61
Figura 46 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Huamanga	62
Figura 47 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Huamanga	63
Figura 48 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Huamanga	63
Figura 49 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Sachabamba	64
Figura 50 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Sachabamba	64
Figura 51 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Tambillo.....	65
Figura 52 Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Tambillo.....	66
Figura 53 Precipitaciones 1992 – 2009 (lluvioso – seco).....	67
Figura 54 RCP 4.5 2010 – 2039 (lluvioso – seco).....	68
Figura 55 RCP 8.5 2010 – 2039 (lluvioso – seco).....	68
Figura 56 RCP 4.5 2040 – 2069 (lluvioso – seco).....	69
Figura 57 RCP 8.5 2040 – 2069 (lluvioso – seco).....	69
Figura 58 RCP 4.5 2070 – 2099 (lluvioso – seco).....	71
Figura 59 RCP 8.5 2070 – 2099 (lluvioso – seco).....	71

Figura 60	Estaciones meteorológicas de precipitaciones corregidas.....	74
Figura 61	Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Allpachaca (2006 – 2100).	77
Figura 62	Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Chiara (2006 – 2100).....	77
Figura 63	Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Choccoro (2006 – 2100)...	78
Figura 64	Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Cuchoquesera (2006 – 2100)	79
Figura 65	Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Huamanga (2006 – 2100).	79
Figura 66	Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Pucaloma (2006 – 2100)...	80
Figura 67	Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Sachabamba (2006 – 2100)	80
Figura 68	Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Tambillo (2006 – 2100)....	81
Figura 69	Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Allpachaca (2006 – 2100).	81
Figura 70	Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Chiara (2006 – 2100).....	82
Figura 71	Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Choccoro (2006 – 2100)...	82
Figura 72	Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Cuchoquesera (2006 – 2100)	83
Figura 73	Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Huamanga (2006 – 2100).	84
Figura 74	Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Pucaloma (2006 – 2100)...	84
Figura 75	Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Sachabamba (2006 – 2100)	85
Figura 76	Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Tambillo (2006 – 2100)....	85

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo proyectar la precipitación en la provincia de Huamanga, bajo escenarios de cambio climático, utilizando Modelos Climáticos Globales (MCG) del CMIP5. Se emplearon datos históricos de las estaciones meteorológicas Allpachaca, Chiara, Choccoro, Cuchoquesera, Huamanga, Pucaloma, Sachabamba y Tambillo, con registro histórico del sistema hidráulico Cachi (periodo de 1992-2024), completando las series de precipitación diaria y corrigiendo inconsistencias mediante pruebas estadísticas (T y F). Para generar las proyecciones bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, se aplicó el método Linear Scaling como técnica de downscaling estadístico, se evaluaron cinco modelos climáticos globales (CanESM2, ACCESS1.0, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR, MPI-ESM-MR), siendo ACCESS1.0 el más adecuado por su mejor ajuste estadístico ($R^2 = 0.92$, Nash = 0.356 y Pbias = -0.473 para RCP 4.5; $R^2 = 0.931$, Nash = 0.925 y Pbias = -3.6 para RCP 8.5 en la estación Allpachaca), luego se realizaron proyecciones de precipitación para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 hasta el año 2100. Los resultados muestran una variación máxima en el mes de setiembre en periodo 2070 – 2099, bajo RCP 8.5 en la estación Huamanga de 319.58%, bajo RCP 4.5 en la estación Chiara de 431.51%, la variación mínima en el periodo 2010 – 2039 bajo RCP 8.5 en el mes de abril en la estación Pucaloma es de -75.43% y bajo RCP 4.5 en la estación Sachabamba en el mes de mayo es de -87.15%; llegando a la conclusión que la mayor concentración de lluvias es en setiembre y octubre y reducciones marcadas en marzo y abril, lo que podría afectar la disponibilidad de agua para la siembra y aumentar riesgo de lluvias intensas durante la cosecha, evidenciando un régimen climático extremo e inestable.

Palabras clave: Cambio climático, precipitación, downscaling estadístico, Modelos Climáticos Globales, Huamanga.

ABSTRACT

The objective of the research was to project precipitation in the province of Huamanga under climate change scenarios using CMIP5 Global Climate Models (GCMs). Historical data from the Allpachaca, Chiara, Choccoro, Cuchoquesera, Huamanga, Pucaloma, Sachabamba, and Tambillo weather stations were used, with historical records from the Cachi hydraulic system (1992-2024 period), completing the daily precipitation series and correcting inconsistencies using statistical tests (T and F). To generate projections under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios, the Linear Scaling method was applied as a statistical downscaling technique, and five global climate models were evaluated (CanESM2, ACCESS1.0, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR, MPI-ESM-MR) were evaluated, with ACCESS1.0 being the most suitable due to its better statistical fit ($R^2 = 0.92$, Nash = 0.356, and Pbias = -0.473 for RCP 4.5; $R^2 = 0.931$, Nash = 0.925, and Pbias = -3.6 for RCP 8.5 at the Allpachaca station). Precipitation projections were then made for the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios up to the year 2100. The results show a maximum variation in September in the period 2070–2099, under RCP 8.5 at the Huamanga station of 319.58%, under RCP 4.5 at the Chiara station of 431.51%, the minimum variation in the period 2010–2039 under RCP 8.5 in April at the Pucaloma station is -75.43%, and under RCP 4.5 at the Sachabamba station in May is -87.15%; leading to the conclusion that the highest concentration of rainfall occurs in September and October, with marked reductions in March and April, which could affect the availability of water for planting and increase the risk of heavy rainfall during the harvest, evidencing an extreme and unstable climate regime.

Keywords: Climate change, precipitation, statistical downscaling, global climate models, Huamanga.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI, afectando de forma significativa los patrones de precipitación a nivel global y regional. Estos cambios tienen implicancias directas en la disponibilidad de recursos hídricos, especialmente en regiones andinas como la provincia de Huamanga, donde la variabilidad climática es alta y las actividades agrícolas dependen en gran medida de la lluvia estacional (Rivera-Hernández et al., 2017). En este contexto, el estudio de proyección de las precipitaciones bajo escenarios de cambio climático se convierte en una herramienta indispensable para la gestión hídrica sostenible, la planificación territorial y la seguridad alimentaria.

La presente investigación tiene como objetivo principal proyectar la precipitación en la provincia de Huamanga utilizando Modelos Climáticos Globales (MCG) del CMIP5, bajo los escenarios de concentración representativa RCP 4.5 (intermedio) y RCP 8.5 (alto). Para ello, se abordó un enfoque metodológico riguroso que incluyó la homogeneización, completación, corrección y validación de series de precipitación diaria de ocho estaciones meteorológicas administradas por el sistema hidráulico Cachi, de periodo de registro de precipitación de 1992–2024.

En primer lugar, se aplicaron técnicas de regresión lineal múltiple para completar series con datos faltantes, utilizando estaciones altamente correlacionadas. Posteriormente, se evaluó la consistencia estadística mediante las pruebas de T (media) y F (varianza), seleccionando como estación de referencia a Allpachaca, que cumplió con los criterios de homogeneidad según el test de Pettitt. Luego, se implementó la corrección de datos empleando el software RStudio, asegurando la validez estadística de las series.

En la segunda etapa, se procedió a realizar el downscaling estadístico de cinco modelos climáticos globales (ACCESS1.0, CanESM2, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR y

MPI-ESM-MR), utilizando el método de Linear Scaling (LS) con el software CMhyd (Fang et al., 2015). El modelo ACCESS1.0 resultó ser el más representativo para todas las estaciones, por lo que fue seleccionado para la proyección climática a futuro.

Finalmente, se desarrollaron predicciones de precipitación diaria para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 hasta el año 2100. Los resultados evidencian una tendencia preocupante: incrementos de precipitación durante los meses tradicionalmente secos (como junio, julio y agosto), con aumentos de hasta el 160% bajo RCP 8.5, y disminuciones significativas durante los meses lluviosos (enero a marzo), en algunos casos superiores al 70%. Esta alteración en el patrón estacional implica una mayor concentración de eventos extremos, como lluvias intensas en corto tiempo o sequías prolongadas, lo cual genera riesgos adicionales para los sistemas agrícolas y de abastecimiento de agua.

Estos hallazgos contribuyen de manera significativa a la comprensión del comportamiento futuro de la precipitación en la provincia de Huamanga y constituyen una base técnica relevante para orientar políticas de adaptación al cambio climático. La metodología aplicada demuestra que el uso combinado de validación estadística local y modelos climáticos globales ajustados permite generar proyecciones más realistas y útiles para la toma de decisiones.

Objetivo general

Predecir la precipitación a consecuencia del cambio climático usando Modelos Climáticos Globales, Ayacucho 2024.

Objetivos específicos

1. Realizar la homogeneidad y completación de las precipitaciones ubicadas en las estaciones meteorológicas de la Provincia de Huamanga.
2. Determinar el Downscaling de la precipitación de los Modelos Climáticos Globales en la Provincia de Huamanga.

3. Ajustar el Modelo Climático Global con mejor desempeño métrico para la predicción de precipitación con incidencia de cambio climático.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. *Antecedentes internacionales*

Cruz (2021), en su investigación “Estrategias para la seguridad hídrica ante los cambios de precipitación por efectos del cambio climático” su objetivo fue analizar el impacto del cambio climático en los patrones de precipitación en la región de Las Ánimas; cuya metodología de investigación es tipo cuantitativa, longitudinal-retrospectiva, no experimental y explicativa. Se analizaron datos de precipitación de los años 2015, 2016 y 2017, identificando estos años como críticos. Se utilizaron modelos globales de circulación, específicamente MPI ECHAM 5 y HadGEN1, y se consideraron escenarios A2 y B2 para proyectar cambios en la precipitación para los años 2030 y 2050; llegando a la conclusión que habrá un aumento en la precipitación total, los periodos de lluvia serán más cortos, lo que representa un desafío significativo para la agricultura y la seguridad hídrica en Las Ánimas. Esta variabilidad puede intensificar problemas de sequía y afectar la producción de alimentos, especialmente en áreas marginadas.

Medina et al. (2022), en su investigación “Evaluación de la incertidumbre asociada a las proyecciones de precipitación considerando el cambio climático en la cuenca del río turbio de guanajuato” su objetivo fue evaluar la incertidumbre en las proyecciones de precipitaciones asociadas al cambio climático, utilizando el método de Monte Carlo y comparando las proyecciones de modelos de circulación general con técnicas de downscaling mediante redes neuronales artificiales (RNA); para obtener las proyecciones de precipitación utilizaron modelos de circulación general, para mejorar la resolución se utilizó un downscaling y para mejorar la incertidumbre implemento el método de Montecarlo para posterior generación de diferentes escenarios climáticos; llegando a la conclusión que el uso

de RNA para downscaling reduce significativamente la incertidumbre y que hay un sesgo en los resultados de las estimaciones, esto significa la necesidad de continuar refinando técnicas de modelado para mejorar la precisión de las proyecciones climáticas.

Wang et al. (2021), en su investigación “Historical and future climates over the upper and middle reaches of the Yellow River Basin simulated by a regional climate model in CORDEX” su objetivo fue investigar los cambios futuros en el clima medio y extremo en la cuenca del río Amarillo (YRB) para diferentes horizontes temporales (corto, mediano y largo plazo) y evaluarlos en comparación con un período de referencia utilizando modelos climáticos globales; cuya metodología se utilizan las últimas simulaciones del modelo regional REMO, impulsadas por tres modelos climáticos globales (GCM), considerando escenarios de forzamiento históricos y futuros (RCP 2.6 y 8.5), se analizan cambios en el clima para tres horizontes temporales: 2021-2040 (corto plazo), 2041-2060 (mediano plazo) y 2081-2100 (largo plazo), en comparación con el período de referencia de 1986-2005; llegando a la conclusión que se proyecta un aumento del 34% en la precipitación invernal a largo plazo bajo RCP 8.5, con una mayor variabilidad interanual, lo que sugiere eventos climáticos extremos más frecuentes.

Yoon et al. (2023), en su investigación “Changes in the Urban Hydrological Cycle of the Future Using Low-Impact Development Based on Shared Socioeconomic Pathway Scenarios” su objetivo fue analizar los impactos de los nuevos escenarios de trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) en la eficiencia de la precipitación-escorrentía y la variación hidrológica; cuya metodología fue que utilizaron los escenarios SSP en combinación con los RCP 4.5 y RCP 8.5 para evaluar la variabilidad en la precipitación media mensual entre diferentes modelos climáticos globales (GCM) y e realizan proyecciones del ciclo hidrológico urbano para los próximos 30 años; llegando a la conclusión que las proyecciones bajo RCP 4.5 y RCP 8.5 muestran un aumento en la

precipitación del 4.8% y 12.3%, respectivamente. Con los escenarios SSP, se prevén incrementos aún mayores del 13.9% y 20.6%.

Martínez (2022), en su investigación “Efecto del cambio climático sobre la cuenca alta del río Pasto, departamento de Nariño, Colombia” su objetivo fue evaluar el efecto del cambio climático sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca alta del río Pasto para el año 2050, analizando la disponibilidad de agua para consumo humano en el municipio de Pasto; cuya metodología fue incorporar proyecciones climáticas futuras del Modelo de Circulación General HadGEM2-ES, aplicando una reducción de escala mediante el método estadístico de MarkSim para posterior estimar la disponibilidad hídrica; llegando a la conclusión que en las proyecciones para 2050, la cuenca se enfrenta a una severa escasez de agua. Se anticipa que la disponibilidad de agua dulce renovable per cápita anual se reducirá en un 49.57%.

1.1.2. Antecedentes nacionales

Díaz et al. (2022), en su investigación titulada “Proyección de los impactos del cambio climático en el caudal de la cuenca del río Lurín-Perú, bajo escenarios del CMIP5-RCP” su objetivo fue evaluar el impacto del cambio climático en la cuenca del río Lurín, una cuenca costera representativa de la vertiente del océano Pacífico en Perú, para fines del siglo XXI, con un enfoque en las proyecciones de precipitación, temperatura y sus efectos en el caudal hídrico; cuya metodología fue utilizar el downscaling estadístico de proyecciones de seis modelos climáticos globales (MCG) del CMIP5, aplicando tres trayectorias de concentración representativas (RCP 2.6, 4.5 y 8.5) que representan diferentes niveles de emisión de gases de efecto invernadero, para luego ingresar a modelo hidrológico distribuido; llegando a la conclusión que la precipitación disminuya en la zona alta de la cuenca, mientras que en las zonas media y baja se proyecta un aumento significativo,

alcanzando valores de 95 a 221 mm en la zona baja en comparación con los 17 mm de referencia.

Aucahuasi-Almidon y Segura-Ttito (2022), en su investigación titulada “Análisis de la tendencia a largo plazo de la precipitación y la temperatura del aire en la ciudad de Puerto Maldonado, Amazonía peruana” su objetivo fue evaluar el comportamiento y las tendencias de temperatura y precipitación en la ciudad de Puerto Maldonado, a lo largo del periodo de 1970 a 2017; cuya metodología fue utilizar series de datos de temperatura media (T_{mean}), temperatura máxima (T_{max}), temperatura mínima (T_{min}) y precipitación de la estación meteorológica de Puerto Maldonado, donde se aplicó análisis de regresión lineal para determinar las tendencias climáticas en las variables de temperatura y precipitación; llegando a la conclusión que la precipitación anual observada no presentó incremento significativo durante el periodo de 1970 a 2017, y no se detectaron tendencias en las series de precipitación en cambio en la temperatura se encontró un incremento significativo en la temperatura media de 2.40°C y en la temperatura máxima de 2.34°C .

Arrieta y Mayta (2021), en su investigación titulada “Efecto del cambio climático sobre el rendimiento agrícola de los principales productos en la región Puno: periodo 1964-2019” su objetivo fue determinar el efecto del cambio climático en el rendimiento de los principales cultivos del altiplano de Puno, Perú, durante el periodo 1964-2019; cuya metodología fue emplear datos de series de tiempo sobre temperaturas y precipitaciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y datos de rendimiento de cultivos del Ministerio de Agricultura y Riego; llegando a la conclusión del aumento marginal en las precipitaciones durante la temporada de lluvias podría incrementar los ingresos agrícolas netos, aunque los efectos son negativos en términos cuadrados.

Laura et al. (2016), en su investigación titulada “Cambios proyectados de los recursos hídricos bajo escenarios de emisiones RCP4.5 y 8.5 de modelos climáticos globales

del CMIP5 en el Altiplano Peruano” su objetivo principal fue evaluar los cambios en la disponibilidad del recurso hídrico en el altiplano peruano bajo escenarios de emisiones de Modelos Climáticos Globales (MCG) del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 5 (CMIP5); para ello se utilizó datos de precipitación como referencia la climatología de 1971 a 2000 y sus proyecciones para el horizonte 2071 a 2100, se realizaron las mediciones mediante las métricas de Nash y Sutcliffe, donde los modelos climáticos globales usados son el Simulador del Sistema Terrestre y el Clima de la Comunidad Australiana versiones 1.0 y 1.3 (ACCESS1.0 y 1.3) y el Modelo para la Investigación Interdisciplinaria sobre el Clima versión 5 (MIROC5); llegando a la conclusión que para los MCG (RCP4.5 y RCP8.5) a finales del siglo XXI, se proyecta un ligero incremento de la precipitación anual en la cuenca Ramis y también se proyecta una disminución de la precipitación en la cuenca Ilave.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Ciclo hidrológico

Los fenómenos hidrológicos son tan complejos que es imposible comprenderla por completo. Sin embargo, si no tiene un conocimiento completo, puede expresarlo de forma simplificada mediante el concepto de sistemas. Un sistema es una colección de partes unidas entre sí para formar un todo (Chow et al., 1994).

El ciclo del agua, también conocido como ciclo hidrológico, es un proceso natural que describe el movimiento continuo del agua en la Tierra, incluyendo su evaporación, condensación, precipitación y escorrentía. Este ciclo es fundamental para la sostenibilidad de los ecosistemas y la disponibilidad de recursos hídricos, y se ve afectado por el cambio climático, lo que tiene implicaciones significativas para la gestión del agua en diversas regiones.

Por tanto, el ciclo del agua puede considerarse como un sistema dividido en tres subsistemas al mismo tiempo. a) Sistemas de agua atmosférica que incluyen procesos de precipitación, evaporación, confinamiento y vapores de escape. b) Escorrentías superficiales, escorrentías superficiales, aguas subsuperficial y subterránea, y escorrentía hacia ríos y océanos c) Sistemas de aguas subterráneas, incluidos procesos de infiltración, recarga de aguas subterráneas, escorrentía de aguas subterráneas y flujo de aguas (Chow et al., 1994).

1.2.2. Proyecciones de cambio climático

Las proyecciones de cambio climático son estimaciones sobre cómo se espera que cambien las condiciones climáticas en el futuro, basadas en modelos climáticos y en diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. Estas proyecciones son fundamentales para entender las posibles repercusiones del cambio climático y planificar estrategias de adaptación y mitigación (Quispe, 2015) .

1.2.3. Precipitación

Es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo que puede ser en forma de, lluvias, granizos, garúas, nevada. Desde el punto de vista de ingeniería hidráulica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre (Villón Béjar, 2011a).

1.2.3.1. Tipos de precipitación

Precipitación de convección. En tiempo caluroso, se produce una evaporación a partir de la superficie del agua, formando grandes masas de vapor de agua que, por estar más caliente, se elevan sufriendo un enfriamiento de acuerdo a la diabática seca o humedad. Las masas de vapor se acumulan en los puntos llamados células de convección (Villón Béjar, 2011a).

Precipitación orográfica. Se produce cuando el vapor de agua que se forma sobre la superficie de agua es empujado por el viento hacia las montañas, las nubes siguen por las laderas de las montañas y ascienden a grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación (Villón Béjar, 2011a).

Precipitación ciclónica. Se produce cuando hay un encuentro de dos masas de aire, con diferentes temperatura y humedad, las nubes más calientes son violentamente empujadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación y precipitación (Villón Béjar, 2011a).

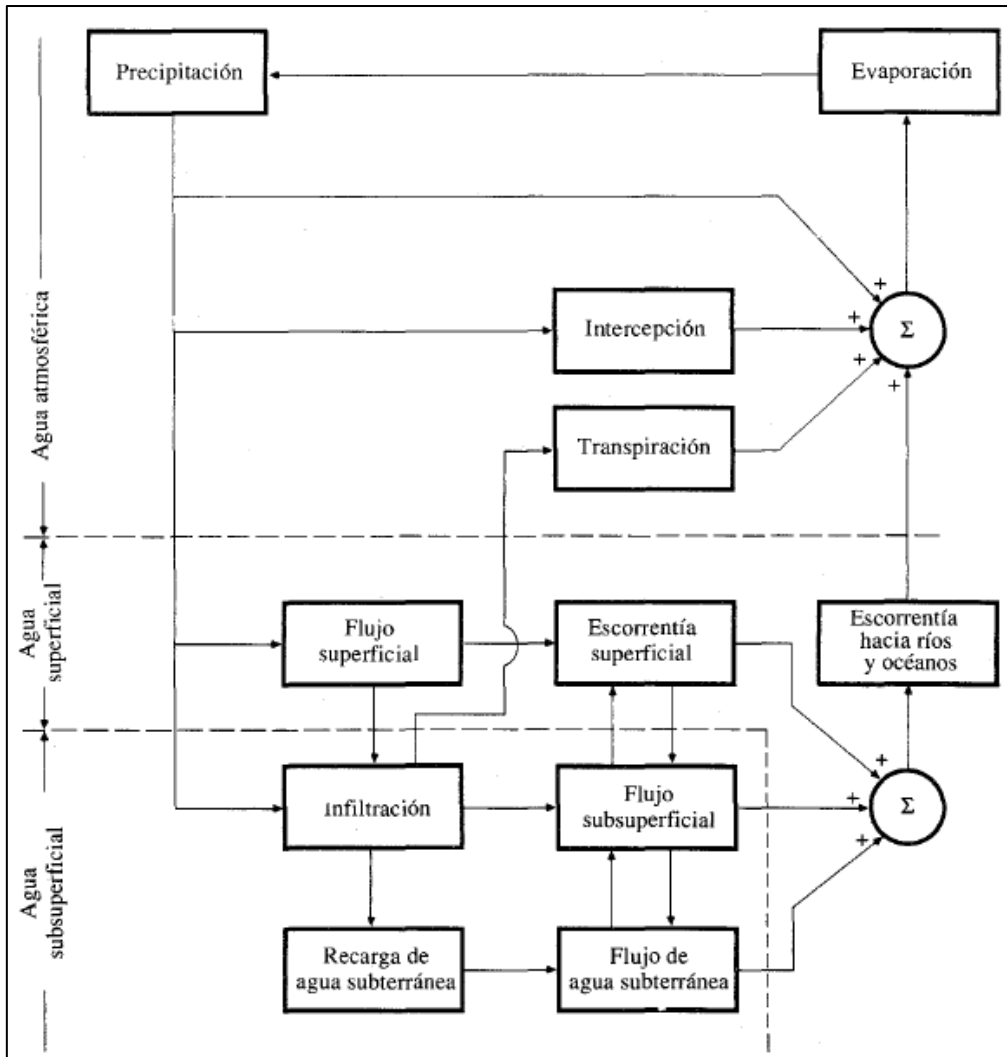
1.2.4. Análisis de saltos y tendencias

Consistencia en la media

El análisis estadístico consiste en utilizar una prueba t (prueba de hipótesis) para comprobar si las medias de las submuestras (\bar{X}_1 , \bar{X}_2) son estadísticamente iguales o diferentes con un 95% de probabilidad o un 5% de nivel de significancia (Villón Béjar, 2011a).

Figura 1

Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico global



Fuente: Chow et al., (1994)

En la figura 1, se aprecia el ciclo hidrológico de como la precipitación en forma de agua circula por la atmosfera, superficie y subsuperficie terrestre, donde gran parte del agua forma parte del flujo superficial, flujo subsuperficial y la otra forma parte del flujo subterráneo producto de la infiltración (recarga de agua subterránea).

Cálculo de la media y de la desviación estándar para las submuestras:

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} X_i ; S_1(X) = \left[\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{X}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} X_j ; S_2(X) = \left[\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (X_j - \bar{X}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Donde:

X_i = valores de la serie del periodo 1

X_j = valores de la serie del periodo 2

\bar{X}_1, \bar{X}_2 = media de los periodos 1 y 2 respectivamente

$S_1(x), S_2(x)$ = desviación estándar de los periodos 1 y 2 respectivamente

n = tamaño de la muestra

n_1, n_2 = tamaño de la submuestra

$n = n_1 + n_2$

a) Cálculo del t calculado (t_c):

$$t_c = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{d}}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Donde:

$\mu_1 - \mu_2 = 0$ (por hipótesis, la hipótesis es que las medias son iguales)

quedando:

$$t_c = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{S_{\bar{d}}}$$

Además:

$$S_{\bar{d}} = S_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Eq. 5})$$

Siendo:

$S_{\bar{d}}$ = desviación de las diferencias de los promedios

S_p = desviación estándar ponderada

b) Cálculo del t tabular (t_t)

El valor crítico de t se obtiene de la tabla t de Student, con una probabilidad al 95 %, o con un nivel de significancia del 5%, es decir con $\alpha/2 = 0.025$ y con grados de libertad $v = n_1 + n_2 - 2$.

c) Comparación del t_c con el t_t

- Si $|t_c| \leq t_t(95\%) \rightarrow \bar{X}_1 = \bar{X}_2$ (estadísticamente)

En este caso, siendo las medias $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$ estadísticamente, no se debe de realizar el proceso de corrección.

- Si $|t_c| > t_t(95\%) \rightarrow \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$ (estadísticamente)

En este caso, siendo las medias $\bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$ estadísticamente, se debe corregir la información.

Consistencia en la desviación estándar

El análisis estadístico implica el uso de una prueba F para probar si los valores de desviación estándar de las submuestras son estadísticamente iguales o diferentes con un 95% de probabilidad o un nivel de significancia del 5% (Villón Béjar, 2011b).

a) Cálculo de las varianzas de ambos periodos:

$$S_1^2(X) = \left(\frac{1}{n_1 - 1}\right) \sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{X}_1)^2 \text{ (Eq. 6)}$$

$$S_2^2(X) = \left(\frac{1}{n_2 - 1}\right) \sum_{j=1}^{n_2} (X_j - \bar{X}_2)^2 \text{ (Eq. 8)}$$

b) Cálculo de F calculado (F_c)

$$F_c = \frac{S_1^2(X)}{S_2^2(X)}, \text{ si } S_1^2(X) > S_2^2(X) \text{ (Eq. 9)}$$

$$F_c = \frac{S_2^2(X)}{S_1^2(X)}, \text{ si } S_2^2(X) > S_1^2(X) \text{ (Eq. 10)}$$

c) Cálculo de F tabular

El valor crítico de F, se obtiene de las tablas F para una probabilidad del 95 %, es decir, con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y grados de libertad.

$$\text{G.L.N} = n_1 - 1, \text{ si } S_1^2(X) > S_2^2(X) \text{ (Eq. 11)}$$

$$\text{G.L.D} = n_2 - 1$$

$$\text{G.L.N} = n_2 - 1, \text{ si } S_2^2(X) > S_1^2(X)$$

$$\text{G.L.D} = n_1 - 1$$

Donde:

G.L.N = grados de libertad del numerador

G.L.D = grados de libertad del denominador

d) Comparación del F_c con el F_t

- Si $F_c \leq F_t(95\%) \rightarrow S_1(X) = S_2(X)$ (estadísticamente)
- Si $F_c > F_t(95\%) \rightarrow S_1(X) \neq S_2(X)$ (estadísticamente), por lo que se debe corregir.

Tendencia en la media

Antes de realizar el análisis de tendencias, se realiza el análisis de saltos y con la serie libre de saltos, se procede a analizar las tendencias en la media y en la desviación estándar (Villón Béjar, 2011b)

La tendencia en la media T_m , puede ser expresada en forma general por la ecuación polinomial:

$$T_m = A_m + B_m t + C_m t^2 + D_m t^3 \text{ (Eq. 12)}$$

Y en forma particular por la ecuación de regresión lineal simple:

$$T_m = A_m + B_m t \text{ (Eq. 13)}$$

Donde:

t = tiempo en años, tomando como la variable independiente la tendencia.

t = 1, 2, 3, ..., n

T_m = tendencia en la media, para este caso:

$T_m = X'_{(t)}$ valor corregido de saltos, es decir, datos a usarse para el cálculo de los parámetros.

$A_m, B_m, C_m, D_m, \dots$ = coeficiente de los polinomios de regresión, que deben ser estimados con los datos.

Los parámetros de regresión de estas ecuaciones pueden ser estimadas mediante método de regresión lineal múltiple.

a) Cálculo de los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple.

$$A_m = \bar{T}_m - \bar{t} * B_m$$

$$B_m = R \frac{S_{Tm}}{S_t}$$

$$R = \frac{\overline{t * T_m} - \bar{t} * \bar{T}_m}{S_t * S_{Tm}}$$

Donde:

$$\bar{T}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{mi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X'_{(t)i} \text{ (Eq. 14)}$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \text{ (Eq. 15)}$$

$$\overline{t * T_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i * T_{mi} \text{ (Eq. 16)}$$

$$S_{Tm} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (T_{mi} - \bar{T}_m)^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \text{ (Eq. 17)}$$

$$S_t = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \text{ (Eq. 18)}$$

Además:

\bar{T}_m = promedio de las tendencias T_m , o promedio de los datos corregidos de saltos $X'_{(t)}$

\bar{t} = promedio del tiempo t

S_{T_m} = desviación estándar de la tendencia de la media T_m

S_t = desviación estándar del tiempo t

b) Evaluación de la tendencia T_m

Para averiguar si la tendencia es significativa, se analiza el coeficiente de regresión B_m o también el coeficiente de correlación R .

El análisis de R según estadístico t , es como sigue:

1. Cálculo de t_c

$$t_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \text{ (Eq. 19)}$$

Donde:

T_c = valor estadístico t calculado

n = número total de datos

R = coeficiente de correlación

2. Cálculo de t_t

El valor crítico de t , se obtiene de la tabla de t de Student, con 95% de probabilidad o con un nivel de significancia del 5%, es decir:

$$\frac{\alpha}{2} = 0.025$$

$$G.L. = n - 2$$

3. Comparación de t_c con el t_t

- Si $|t_c| \leq t_t$ (95%) $\rightarrow R$ no es significativo

En este caso, la tendencia no es significativa y no hay que corregir.

- Si $|t_c| > t_t$ (95%) $\rightarrow R$ si es significativo

En este caso, la tendencia es significativa y hay necesidad de corregir la información de tendencia de la media.

Tendencia en la desviación estándar

La tendencia en la desviación estándar, solo se presenta en datos semanales o mensuales, por lo que cuando se trabaja con datos anuales, no hay necesidad de trabajar con tendencia en la desviación estándar.

La tendencia en la desviación estándar T_s , se expresa en forma general por la ecuación polinomial:

$$T_s = A_s + B_s t + C_s t^2 + D_s t^3$$

Y en forma particular por la ecuación de regresión lineal simple:

$$T_s = A_s + B_s t$$

Donde:

T_s = tendencia en la desviación estándar

$T_s = Y_t$ valor corregido de tendencia en la media, es decir datos a usarse para el cálculo de los parámetros.

t = tiempo en años

t = 1, 2, 3, ..., n

$A_s, B_s, C_s, D_s, \dots$ = coeficiente de los polinomios de regresión, que deben ser estimados con los datos.

Para calcular y probar si la tendencia en la desviación estándar es significativa, se sigue el siguiente proceso:

- a) La información ya sin tendencia en la media Y_t , se divide en periodos de datos anuales.
- b) Se calcula las desviaciones estándar para cada periodo de toda la información:

$$S_p = \left[\frac{1}{11} \sum_{p=1}^{12} (Y_p - \bar{Y}_p)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Eq. 20})$$

Donde:

S_p = desviación estándar del año p, es decir de los datos mensuales del año p.

Y_p = serie sin tendencia en la media.

\bar{Y}_p = promedio de los datos mensuales del año p

$p = 1, 2, 3, \dots, 12$

- c) Se calculan los parámetros a partir de las desviaciones estándares anuales y el tiempo t (años), de la misma manera que la tendencia en la media.
- d) Se realiza la evaluación de Ts siguiendo el mismo proceso para Tm.

1.2.5. Método de regresión lineal para completación de datos

Posiblemente el modelo más común usado en hidrología está basado en la regresión lineal entre dos variables. El objetivo de este análisis es establecer una relación lineal entre variable independiente “X” y la variable dependiente “Y”, el modelo de regresión es $Y = \alpha + \beta X$, en este modelo α y β representan valores reales (Mejía Marcacuzco, 2006).

La manera más fácil de calcular la regresión lineal es mediante el Excel, teniendo datos de X y Y, e ingresando los comandos “INTERSECCION.EJE”, “PENDIENTE” y “COEF.DE.CORREL”

1.2.6. Modelos de Circulación General (MCG)

Los Modelos de Circulación General (MCG), también son conocidos como modelos climáticos, representa numéricamente el sistema climático en función de las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes. Dependiendo de cada componente o conjunto de ellos, es posible definir jerarquías para representar modelos de diversos grados de complejidad, con aspectos como el número de dimensiones espaciales, el grado de procesos físicos, químicos o biológicos identificados; o el grado de utilización de

parametrizaciones empíricas. Los MCG Atmósfera – Océano (MCGAO) acoplados proporciona la representación más completa del sistema climático disponible. GCM se utiliza como herramienta de investigación para la investigación y simulación climática y con fines operativos: pronósticos climáticos mensuales, estacionales y anuales (IPCC, 2013).

CGM intenta simular el sistema climático de la Tierra. Se ubican en la parte superior de la jerarquía del modelo climático, vinculando la atmósfera, los océanos y la Tierra para predecir cambios que podrían cambiar con el tiempo. Las fórmulas que componen el GCM se pueden analizar por separado para las tres partes principales que componen el modelo.

- La dinámica del sistema climático explica el movimiento a gran escala de masas de aire y el transporte de energía e impulso.
- Física de sistemas climáticos como la transmisión de radiación atmosférica, termodinámica y evaporación.
- Otros factores como interacciones océano-atmósfera, parámetros topográficos y vegetación.

Debido a la escala global del MGC, tiene baja resolución y no es adecuado para la investigación o la investigación en un área en particular y/o específica. En este sentido, necesitamos utilizar modelos regionales que puedan producir resoluciones más altas y determinar mejor el clima de la región. El proceso de adquisición de este modelo regional se denomina regionalización o Downscaling (PROCLIM, 2005).

1.2.7. Downscaling – Método de Bias Correction

Las resoluciones globales sobre proyecciones climáticas desarrollados en el modelo global para escenarios futuros se limitan a una extensión de aproximadamente 200 km. Como resultado, no tienen la resolución espacial necesaria para estudiar el cambio climático y sus impactos. La metodología minimiza los sesgos en los cambios de la variabilidad de las

variables, últimas investigaciones recomiendan esta metodología para estudios de cambio climático (Vogel et al., 2023).

Tabla 1

Métodos Bias Correction para simulación de precipitación y temperatura

Bias Correction para precipitacion	Bias Correction para temperatura
Linear scaling (LS)	Linear scaling (LS)
Local intensity scaling (LOCI)	Variance scaling (VARI)
Power transformation (PT)	Distribution mapping for temperature using Gaussian distribution (DM)
Distribution mapping for precipitation using gamma distribution (DM)	
Quantile mapping (QM)	

Fuente: Fang et al. (2015)

En la tabla 1, se enumera los métodos de Downscaling – método de Bias Correction, de acuerdo a las investigaciones a nivel internacional, mencionan que el método con mejor comportamiento entre observado y estimado (downscaling) es el de Liner scaling (LS), por tal razón en esta investigación se realizara la corrección de las precipitaciones y temperaturas de modelos climáticos globales con Linear Scaling (LS).

1.2.8. Linear Scaling (LS)

El método LS pretende igualar perfectamente la media mensual de valores corregidos con los observados. Opera con valores de corrección mensuales basados en las diferencias entre los datos observados y los datos sin procesar. Este metodo es adecuado para corregir sesgo de la precipitación y la Temperatura (Fang et al., 2015).

$$P_{cor,m,d} = P_{raw,m,d} \times \frac{\mu(P_{obs,m})}{\mu(P_{raw,m})} \text{ (Eq. 20)}$$

$$T_{cor,m,d} = T_{raw,m,d} + \mu(T_{obs,m}) - \mu(T_{raw,m}) \text{ (Eq. 21)}$$

Donde:

$P_{cor,m,d}$ y $T_{cor,m,d}$, son precipitaciones y temperaturas corregidas en el día del mes.

$P_{raw,m,d}$ y $T_{raw,m,d}$, son las precipitaciones y temperaturas brutas en el día del mes.

$P_{obs,m}$ y $T_{obs,m}$, representa el valor medio de la precipitacion y la temperatura en el mes.

1.3. Definición de términos

1.3.1. Precipitación

La precipitación se define como cualquier forma de humedad que llega a la superficie desde las nubes. Según esta definición, la lluvia, el granizo, el granizo y las nevadas son formas diferentes de la misma precipitación (Chereque, 1986).

1.3.2. Modelo climático global (MCG)

Es una herramienta fundamental en la investigación climática que permite simular y predecir cómo el clima mundial puede evolucionar en el futuro. Estos modelos son esenciales para comprender los posibles impactos del cambio climático en diferentes regiones y a escala global. Los MCG integran datos de la atmósfera, océanos y superficie terrestre en un sistema acoplado para representar la complejidad de las interacciones climáticas (Mena et al., 2020).

CAPITULO II

2. METODOLOGÍA

2.1.Ubicación

2.1.1. *Ubicación del área de estudio*

La provincia de Huamanga se encuentra dentro del departamento de Ayacucho y presenta la siguiente ubicación geográfica y política.

2.1.2. *Ubicación geográfica*

El Centroides de la provincia de Huamanga tiene la siguiente ubicación geográfica:

Coordenadas UTM (WGS 84) zona 18L es:

Este: 584662.56

Norte: 8532283.18

Cota: 3487.99 msnm

2.1.3. *Ubicación política*

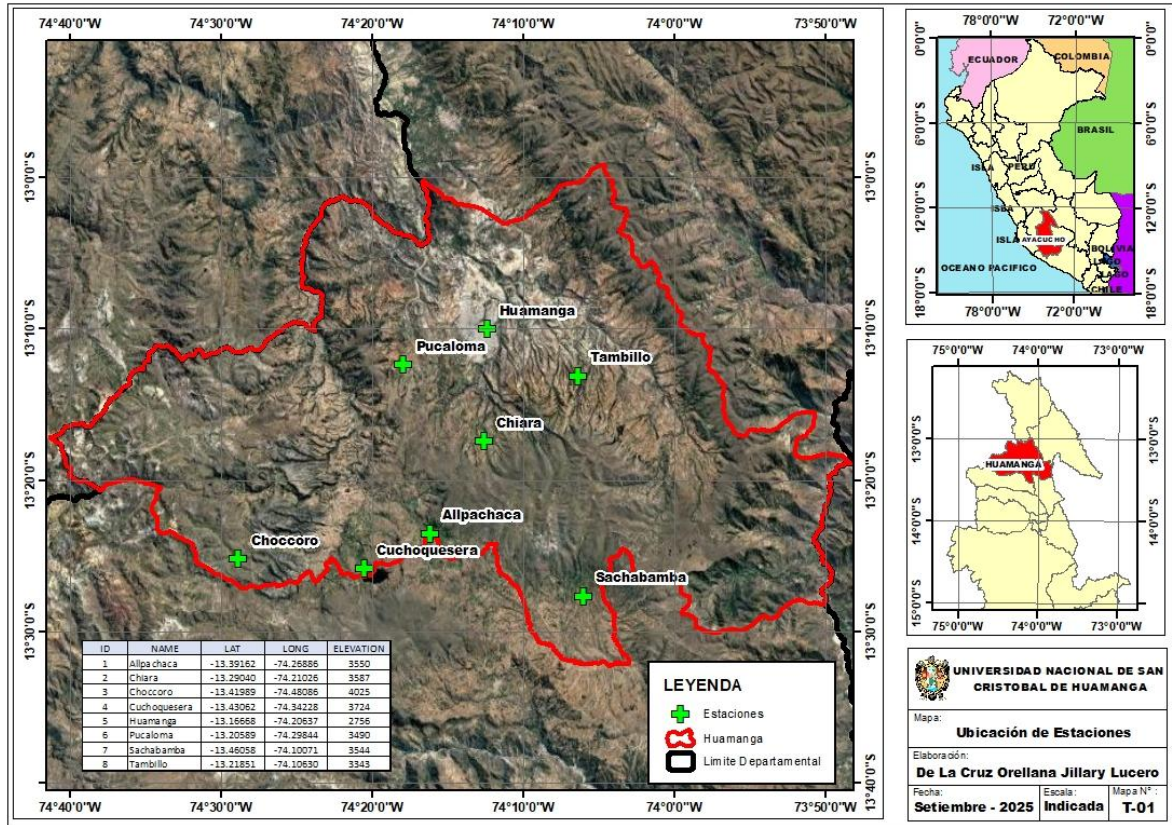
Políticamente el área de estudio se encuentra ubicado en:

Departamento: Ayacucho

Provincia: Huamanga

Figura 2

Ubicación geográfica



Fuente: Elaboración propia

En la figura 2, se aprecia el limite de la provincia de Huamanga, dentro de la provincia se ha georreferenciado las ocho estaciones meteorológicas consideradas en la investigación: Allapachaca, Chiara, Choccoro, Cuchoquesera, Huamanga, Pucaloma, Sachabamba y Tambillo.

2.2. Materiales y equipos

2.2.1. Datos de precipitación

La Oficina de operación y mantenimiento hidráulico (OPEMAN), es quien registra las variables climáticas (precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad, etc) de todas las estaciones enmarcadas dentro del sistema hidráulico Cachi.

Para el presente trabajo de investigación se ha solicitado registro de precipitaciones diarias de 8 estaciones meteorológicas que están dentro de la provincia de Huamanga: Allapachaca, Chiara, Choccoro, Cuchoquesera, Huamanga, Pucaloma, Sachabamba y Tambillo (Ver Figura 2). Se descartaron otras estaciones por no tener registro histórico adecuado.

2.2.2. Ráster de Modelos Climáticos Globales

Los Ráster de modelos climáticos globales son cuadrículas de datos climáticos, donde cada celda o pixel contiene información de variable climática de precipitación, estos ráster son utilizados en investigaciones de cambio climático y poder realizar proyecciones climáticas futuras. Para la investigación se utilizó el CMIP5 (RCP 4.5 y RCP 8.5)

Los modelos climáticos para realizar proyecciones climáticas utilizadas en la investigación son:

- CanESM2
- ACCESS1.0
- GFDL-ESM2S
- IPSL-CM5A-MR
- MPI-ESM-MR

Estos modelos climáticos globales fueron descargados del siguiente enlace:
<https://esgf-node.llnl.gov/search/esgf-llnl/>

2.3. Equipos

Para del desarrollo de la investigación se utilizó los siguientes equipos como herramienta:

- Hardware: Laptop
- Software: Rstudio, Office 2018, ArcGis
- Materiales de escritorio

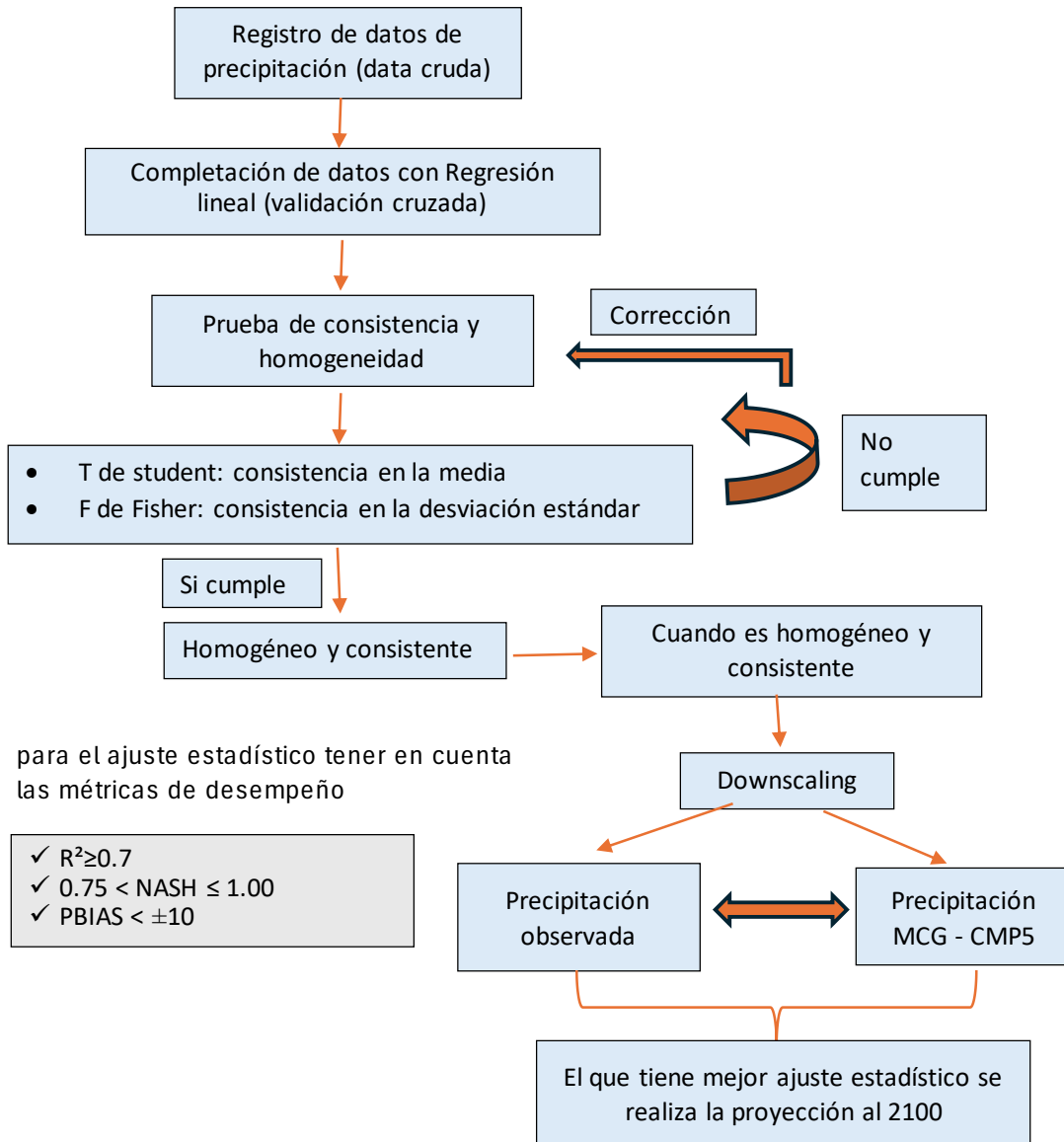
2.4. Metodología

2.4.1. Secuencia recomendada para la obtención de precipitaciones al año 2100

La secuencia recomendada es como se detalla en la siguiente figura.

Figura 3

Flujograma para obtener precipitaciones al año 2100



Fuente: Elaboración propia

2.4.2. Recolección de información de precipitación diaria

Para la presente investigación se ha solicitado datos de precipitación de estaciones meteorológicas al OPEMAN, de las cuales se han elegido 8 estaciones con registro histórico

casi completo, no se ha considerado estaciones que tienen gran cantidad de datos incompletos.

Tabla 2

Estaciones meteorológicas enmarcadas en la Provincia de Huamanga

ID	Estación	Latitud	Longitud	Elevación
1	Allpachaca	-13.39162	-74.26886	3550
2	Chiara	-13.29040	-74.21026	3587
3	Choccoro	-13.41989	-74.48086	4025
4	Cuchoquesera	-13.43062	-74.34228	3724
5	Huamanga	-13.16668	-74.20637	2756
6	Pucaloma	-13.20589	-74.29844	3490
7	Sachabamba	-13.46058	-74.10071	3544
8	Tambillo	-13.21851	-74.10630	3343

Fuente: Elaboración propia

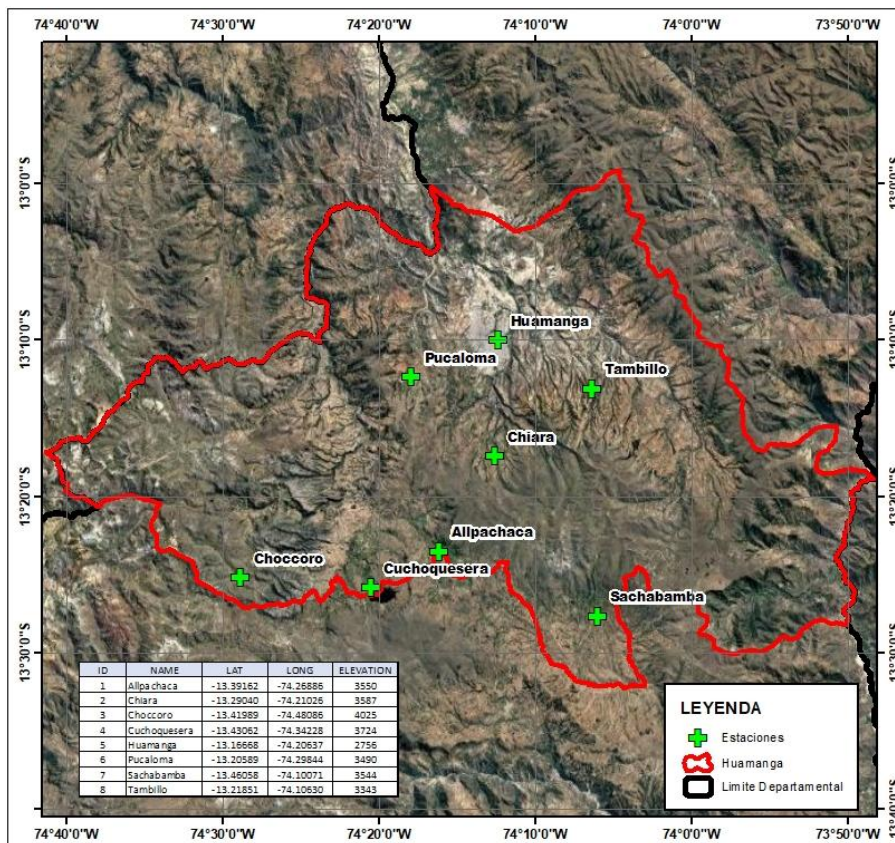
En la tabla 2, se indica la ubicación geográfica en latitud y longitud de las 8 estaciones meteorológicas enmarcadas en la provincia de Huamanga, también se describe la altitud.

El registro diario de las precipitaciones diarias se encuentra en el Anexo 1, a continuación, se muestra los histogramas de las estaciones utilizadas en la investigación.

Se ha realizado la visita a campo a algunas estaciones meteorológicas dentro de la jurisdicción de la provincia de Huamanga.

Figura 4

Ubicación de las estaciones meteorológicas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4, se georreferenció la ubicación geográfica en latitud, longitud y altitud de las 8 estaciones meteorológicas de acuerdo a la tabla 2.

Figura 5

Estación meteorológica Chiara



Fuente: Elaboración propia

En la figura 5, se aprecia la visita a la estación meteorológica Chiara el día 11 de octubre del 2025 a las 10:08:27.

Figura 6

Estación meteorológica Huamanga



Fuente: Elaboración propia

En la figura 6, se aprecia la visita a la estación meteorológica Huamanga el día 09 de octubre del 2025 a las 06:46:59.

Figura 7

Ubicación de las estaciones meteorológicas

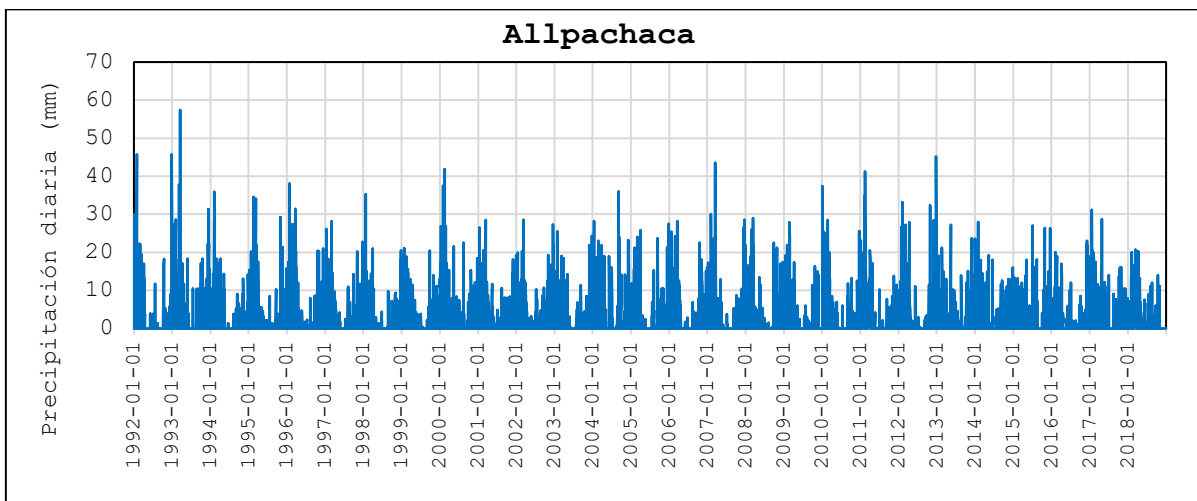


Fuente: Elaboración propia

En la figura 7, se aprecia la visita a la estación meteorológica Pucaloma el día 18 de octubre del 2025 a las 09:27:26.

Figura 8

Precipitación diaria registrada (mm) estación Allpachaca periodo 1992 - 2018

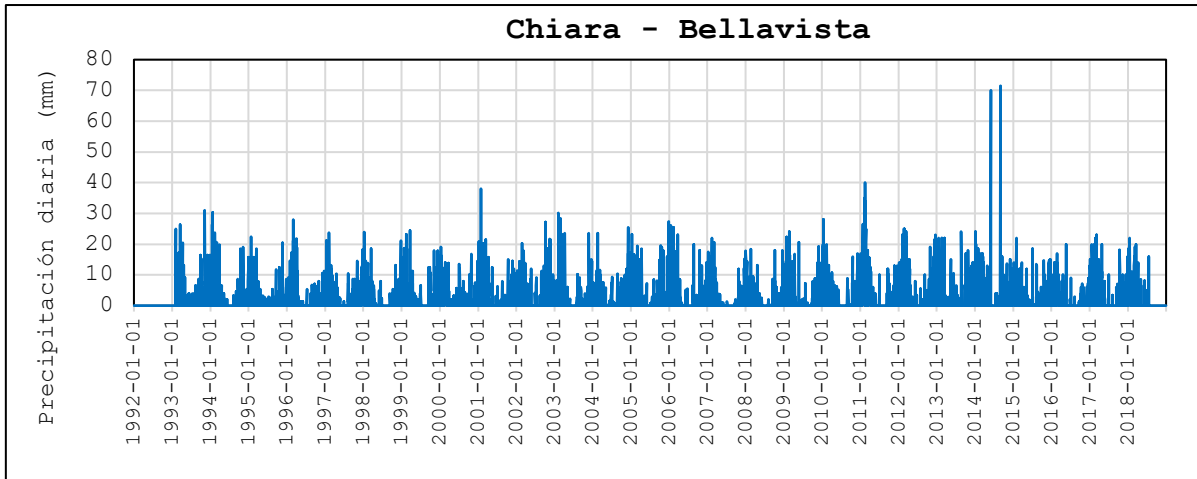


Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 8, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Allpachaca (1992 – 2018), donde se aprecia pequeños saltos en el año 1993 y 2013.

Figura 9

Precipitación diaria registrada (mm) estación Chiara periodo 1992 - 2018

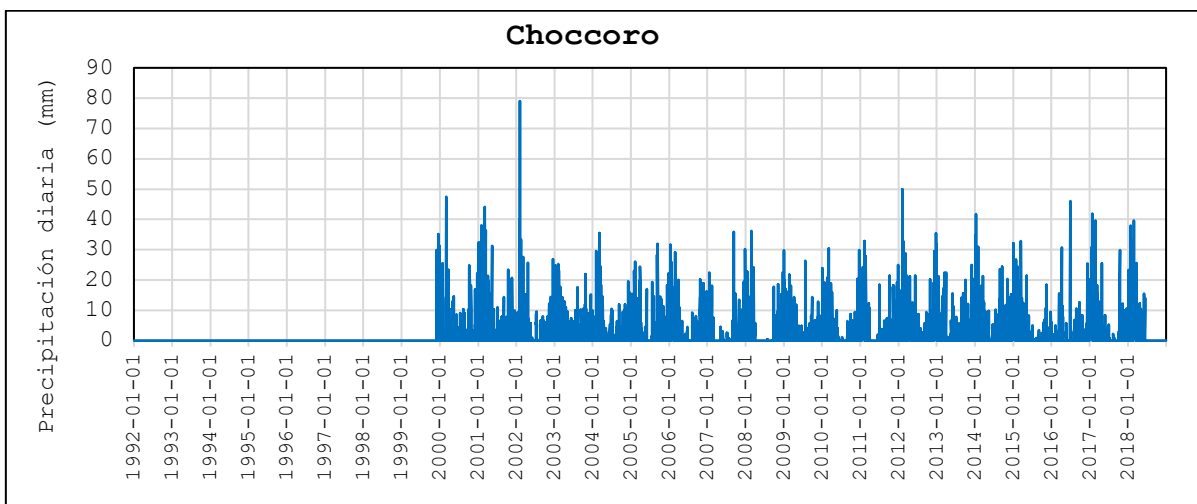


Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 9, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Chiara - Bellavista (1992 – 2018), donde se aprecia un salto en el año 2014.

Figura 10

Precipitación diaria registrada (mm) estación Choccoro periodo 2000 - 2018

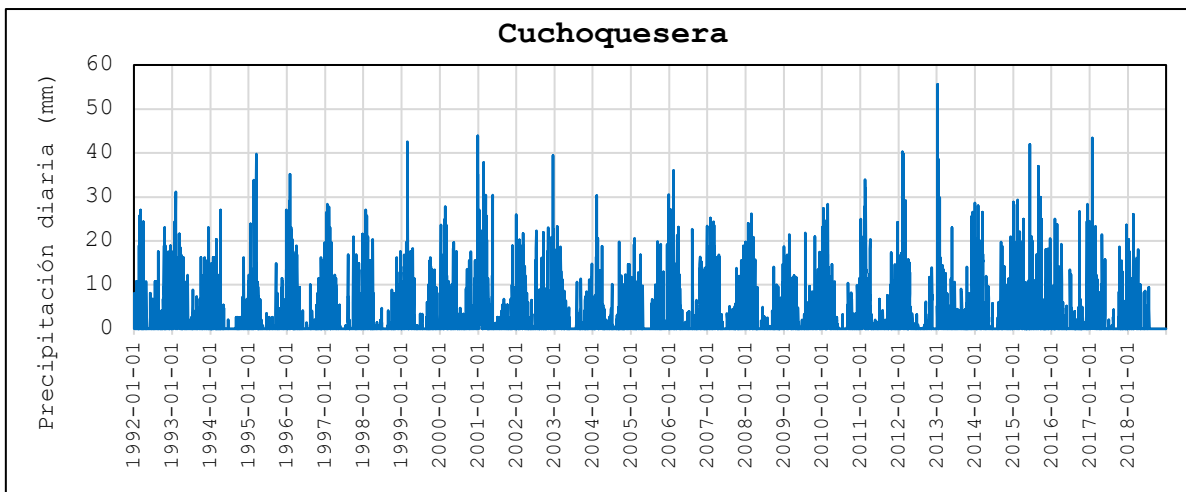


Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 10, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Choccoro (2000 – 2018), donde se aprecia un salto en el año 2002.

Figura 11

Precipitación diaria registrada (mm) estación Cuchoquesera periodo 1992 - 2018

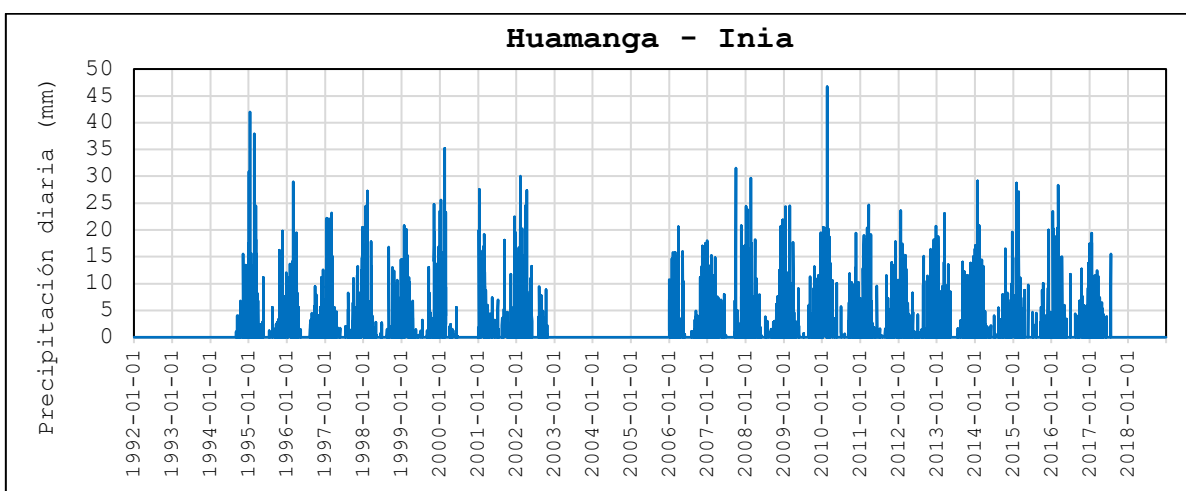


Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 11, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Cuchoquesera (1992 – 2018), donde se aprecia un salto en el año 2013.

Figura 12

Precipitación diaria registrada (mm) estación Huamanga periodo 1995 - 2017

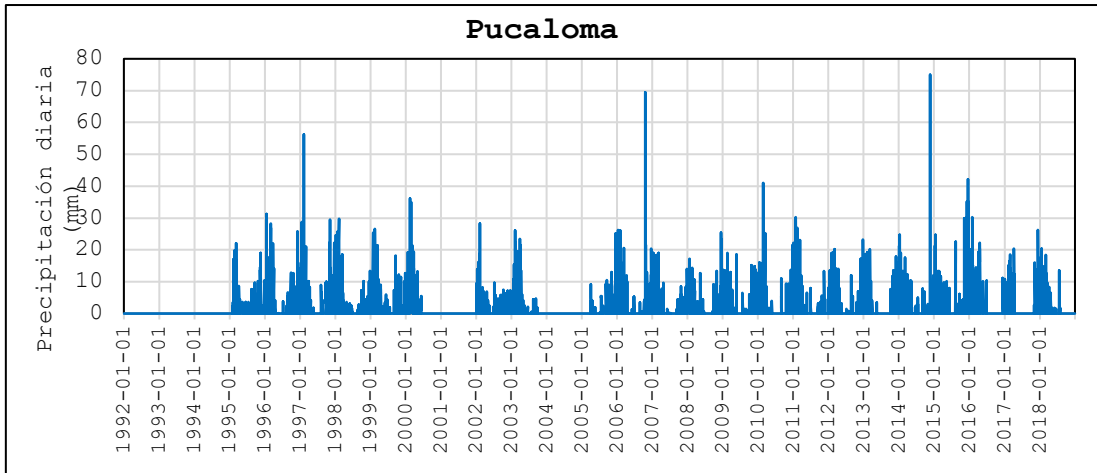


Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 12, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Huamanga (1995 – 2017), donde se aprecia saltos en el año 2010 y 1995. Se observa también que no tiene data completa

Figura 13

Precipitación diaria registrada (mm) estación Alpachaca periodo 1995 - 2018

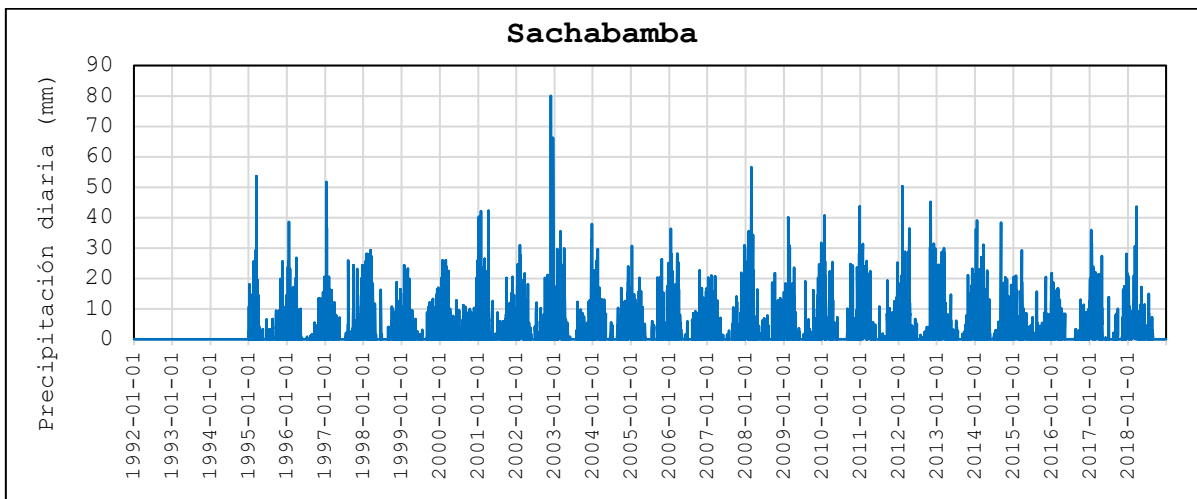


Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 13, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Pucaloma (1995 – 2018), donde se aprecia saltos en el año 2007 y 2015. Se aprecia registro de datos incompletos en 2001 y 2004.

Figura 14

Precipitación diaria registrada (mm) estación Sachabamba periodo 1995 - 2018

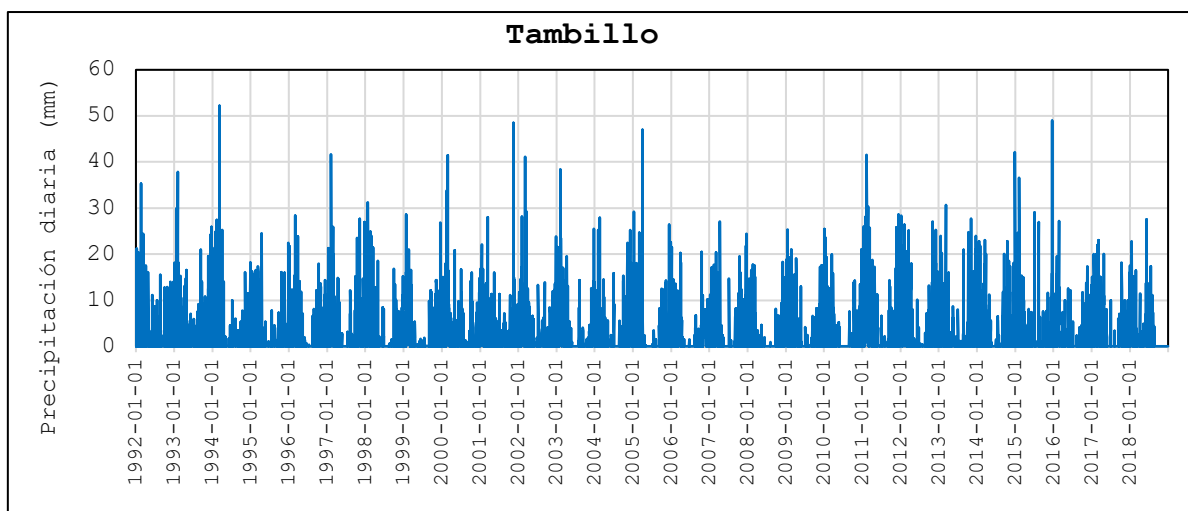


Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 14, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Sachabamba (1995 – 2018), donde se aprecia saltos en el año 2003.

Figura 15

Precipitación diaria registrada (mm) estación Tambillo periodo 1992 - 2018



Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 15, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Tambillo (1992 – 2018), donde no se aprecia saltos en la precipitación.

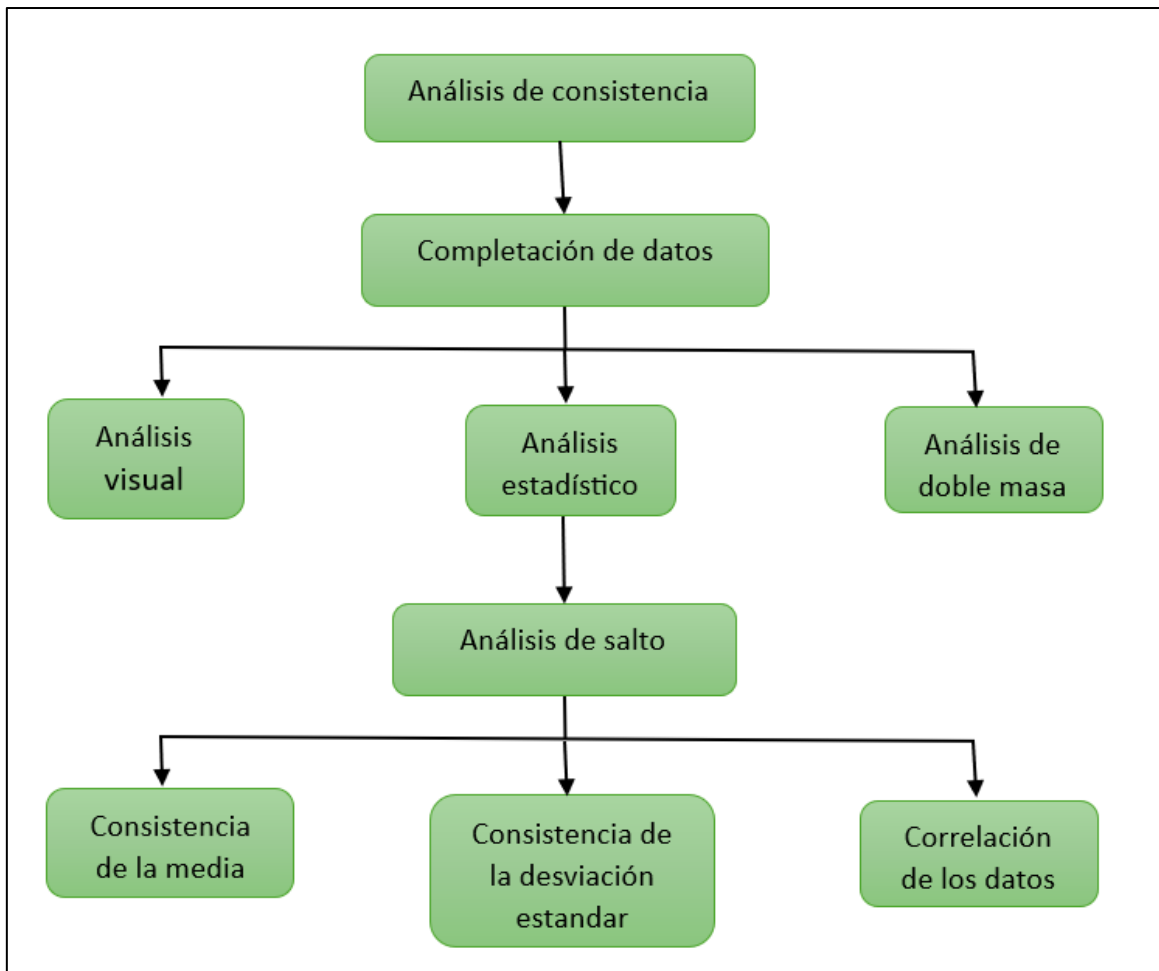
2.4.3. Completación de datos de precipitación diaria

Para la completación de datos, se realizará una correlación lineal múltiple entre las estaciones utilizadas en la investigación, en el anexo 2 se detalla el código en Rstudio para la completación de datos.

En la investigación se ha propuesto primero realizar la completación de datos para posterior realizar el análisis de consistencia.

Figura 16

Flujograma de análisis de consistencia



Fuente: Elaboración propia

En la figura 16, se aprecia el flujograma de análisis de consistencia y análisis de saltos con las pruebas T y F, para la completacion y corrección de los datos de la precipitación diaria.

Tabla 3*Coefficiente de correlación entre estaciones meteorológicas*

Estaciones	Allpachaca	Chiara	Choccoro	Cuchoquesera	Huamanga	Pucaloma	Sachabamba	Tambillo
Allpachaca	1	0.4943369	0.4767822	0.5586613	0.1478102	0.3593145	0.5393343	0.4801779
Chiara	0.4943369	1	0.3936573	0.4267865	0.1508249	0.3661443	0.4471088	0.5583027
Choccoro	0.4767822	0.3936573	1	0.5425728	0.1568501	0.2880248	0.484852	0.4702499
Cuchoquesera	0.5586613	0.4267865	0.5425728	1	0.1476752	0.3703287	0.5428643	0.4688222
Huamanga	0.1478102	0.1508249	0.1568501	0.1476752	1	0.1138581	0.1614163	0.1871197
Pucaloma	0.3593145	0.3661443	0.2880248	0.3703287	0.1138581	1	0.3587156	0.4167819
Sachabamba	0.5393343	0.4471088	0.484852	0.5428643	0.1614163	0.3587156	1	0.4987165
Tambillo	0.4801779	0.5583027	0.4702499	0.4688222	0.1871197	0.4167819	0.4987165	1

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3, se aprecia los coeficientes de correlación entre estaciones, con esta tabla podremos identificar cual es el par de estaciones que se correlacionan mejor, por ejemplo, de la primera fila vemos Allpachaca y encontramos que se correlaciona mejor con la estación Cuchoquesera con un valor de 0.559.

Tabla 4*Orden de correlación entre estaciones meteorológicas*

Orden	1	2	3	4	5	6	7
Allpachaca	Cuchoquesera	Sachabamba	Chiara	Tambillo	Choccoro	Pucaloma	Huamanga
Chiara	Tambillo	Allpachaca	Sachabamba	Cuchoquesera	Choccoro	Pucaloma	Huamanga
Choccoro	Cuchoquesera	Sachabamba	Allpachaca	Tambillo	Chiara	Pucaloma	Huamanga
Cuchoquesera	Allpachaca	Sachabamba	Choccoro	Tambillo	Chiara	Pucaloma	Huamanga
Huamanga	Tambillo	Sachabamba	Choccoro	Chiara	Allpachaca	Cuchoquesera	Pucaloma
Pucaloma	Tambillo	Cuchoquesera	Chiara	Allpachaca	Sachabamba	Choccoro	Huamanga
Sachabamba	Cuchoquesera	Allpachaca	Tambillo	Choccoro	Chiara	Pucaloma	Huamanga
Tambillo	Chiara	Sachabamba	Allpachaca	Choccoro	Cuchoquesera	Pucaloma	Huamanga

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4, se aprecia el reporte de orden de correlación entre estaciones meteorológicas, con la ayuda del Rstudio se puede automatizar para que se vea de manera automática que estaciones se correlacionan mejor con otras estaciones, es necesario conocer estas correlaciones para poder hacer la completación de los datos, por ejemplo, de la primera fila vemos Allpachaca y se correlaciona mejor con la estación Cuchoquesera.

Tabla 5*Coefficiente lineal entre estaciones meteorológicas*

Estaciones	1	2	3	4	5	6	7
Allpachaca	0.6071031	0.5032136	0.653992	0.5648965	0.4779726	0.5809074	0.4623007
Chiara	0.5948667	0.5298238	0.4197946	0.4791397	0.4098361	0.5619507	0.434048
Choccoro	0.6823065	0.5363875	0.6980416	0.6587671	0.6733289	0.5926624	0.4412863
Cuchoquesera	0.6651392	0.5234542	0.5723716	0.587552	0.6636729	0.6319843	0.4739039
Huamanga	0.3352706	0.2599865	0.2019804	0.3462058	0.3091053	0.265445	0.319649
Pucaloma	0.5311538	0.4390643	0.5402843	0.4737862	0.3516535	0.3287248	0.4052509
Sachabamba	0.6679343	0.7391073	0.689522	0.5795512	0.750898	0.6528882	0.5696032
Tambillo	0.703256	0.4477535	0.5249286	0.4437327	0.5007111	0.624337	0.4895057

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5, se aprecia los coeficientes lineales, estos coeficientes permiten medir la intensidad y la dirección de una relación lineal entre dos variables, el valor de coeficiente lineal es complejo su cálculo por ello se requiere Rstudio para su estimación, por otro lado, se observa que las relaciones lineales de la columna 1 son mayores a 0.5.

Una vez obtenido los coeficientes lineales entre estaciones se procede a completar los datos faltantes de las estaciones utilizadas en la investigación.

Figura 17

Estaciones meteorológicas completadas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 17, se aprecia las ocho estaciones completadas a partir de regresión lineal múltiple, por ello se ha realizado la correlación lineal entre estaciones, se ha identificado el orden de correlación y los coeficientes lineales; por último, poder realizar la completación de datos de precipitación diaria.

2.4.4. Análisis de consistencia y homogeneidad de datos

Toda la información completada de las precipitaciones fue sometidas a análisis de consistencia y homogeneidad, para ello se ha utilizado código en Rstudio (Ver Anexo 3).

Tabla 6

Resumen de periodos de cada estación

Estación	Inicio	Final	Datos validos
Allpachaca	1992-01-01	2018-12-31	9862
Chiara - Bellavista	1992-01-01	2018-12-31	9862
Choccoro	1992-01-01	2018-12-31	9862
Cuchoquesera	1992-01-01	2018-12-31	9862
Huamanga - Inia	1992-01-01	2018-12-31	9862
Pucaloma	1992-01-01	2018-12-31	9862
Sachabamba	1992-01-01	2018-12-31	9862
Tambillo	1992-01-01	2018-12-31	9862

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6, se aprecia la cantidad de datos validos de cada estación, como se ha completado los datos, se tienen 9862 datos validos de precipitación diaria.

Para realizar los análisis de homogeneidad y consistencia se toma en cuenta una estación de referencia.

- La estación de referencia debe tener registros largos, consistentes y confiables.
- La selección suele basarse en la cantidad de datos válidos, calidad de la estación y cercanía geográfica.
- “La elección de la estación de referencia debe basarse en la correlación con la serie objetivo, la longitud de registro y la consistencia observada. Una estación referencial confiable permite corregir rupturas artificiales manteniendo la variabilidad natural de la serie.” (Peterson & Easterling, 1994, p. 664)

La estación de referencia es ALLPACHACA, se puede verificar mediante el análisis visual, y también el análisis estadístico de Petit.

Si el Pvalue es mayor a 0.05, la estación Allpachaca cumple como estación de referencia frente a las otras estaciones.

Tabla 7

Test de petit para la validación de la estación de referencia

Estación	Petit	pvalor	Cumple
Chiara - Bellavista	0.0676	0.9461	True
Choccoro	-0.0273	0.9782	True
Cuchoquesera	-0.0417	0.9668	True
Huamanga - Inia	0.1729	0.8627	True
Pucaloma	0.1534	0.8781	True
Sachabamba	-0.0679	0.9458	True
Tambillo	0.0271	0.9784	True

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7, se muestra la validación de estación de referencia (Allpachaca), mediante prueba de petit se realiza la comparación con los pvalor, donde se observa que los pvalores son mayor a 0.05; por ello se cumple la condición de estación de referencia Allpachaca con las otras estaciones en estudio.

Tabla 8

Análisis de consistencia de las estaciones

Estación	Petit	pvalor	Cumple
Chiara - Bellavista	0.0676	0.9461	True
Choccoro	-0.0273	0.9782	True
Cuchoquesera	-0.0417	0.9668	True
Huamanga - Inia	0.1729	0.8627	True
Pucaloma	0.1534	0.8781	True
Sachabamba	-0.0679	0.9458	True
Tambillo	0.0271	0.9784	True

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, se muestra mediante análisis de consistencia con la prueba de Petit ue que todas las estaciones son consistentes porque el pvalor es mayor a 0.05.

Tabla 9*Análisis de consistencia – Prueba T (media) y F (desviación estándar)*

Estación	Inicio	Fin	Datos Validos	T Pvalue	Cumple Med	F Pvalor	Cumple Var	Corrige
Allpachaca	01/01/1992	31/12/2018	9862	1.0000000	True	1.0000000	True	No
Chiara - Bellavista	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.0000012	False	0.0000000	False	Si
Choccoro	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.0491062	False	0.0026057	False	Si
Cuchoquesera	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.0058340	False	0.0041799	False	Si
Huamanga - Inia	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.0000000	False	0.0000000	False	Si
Pucaloma	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.0000000	False	0.0000000	False	Si
Sachabamba	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.0000016	False	0.0000000	False	Si
Tambillo	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.0454105	False	0.0018781	False	Si

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9, se muestra mediante Prueba de T y F las estaciones Chiara, Choccoro, Cuchoquesera, Huamanga, Pucaloma, Sachabamba y Tambillo necesitan corrección de datos.

Con respecto a las tendencias, no se realizará el análisis, puesto que, por la gran variabilidad climática de los últimos 20 años, hay precipitaciones máximas en tiempos de estiajes e intensidad baja de lluvia en tiempos lluviosos. Por ello, no sería adecuado corregir los registros de precipitación por tendencias.

De acuerdo a varias investigaciones han documentado incrementos significativos en la precipitación a lo largo de varias décadas. Un estudio de Hussain et al. indica que, entre 1960 y 2016, las precipitaciones anuales en Pakistán presentaron un aumento notable a un ritmo de 10.89 mm por década (Hussain, et al., 2022). Asimismo, Karimi et al. demostraron un incremento en los índices extremos de precipitación en regiones áridas y semiáridas de Irán utilizando un enfoque de análisis de tendencias que combina regresión lineal y logística (Karimi, et al., 2021). Por tal motivo no es adecuado corregir datos de precipitación mediante análisis de tendencia.

2.4.5. Corrección de datos de precipitación

En el ítem anterior se ha realizado la prueba de T y F, donde es necesario corregir las estaciones, para la corrección de precipitaciones se ha utilizado el software Rstudio (ver anexo 3).

Tabla 10

Análisis de consistencia datos corregidos – Prueba T (media) y F (desviación estándar)

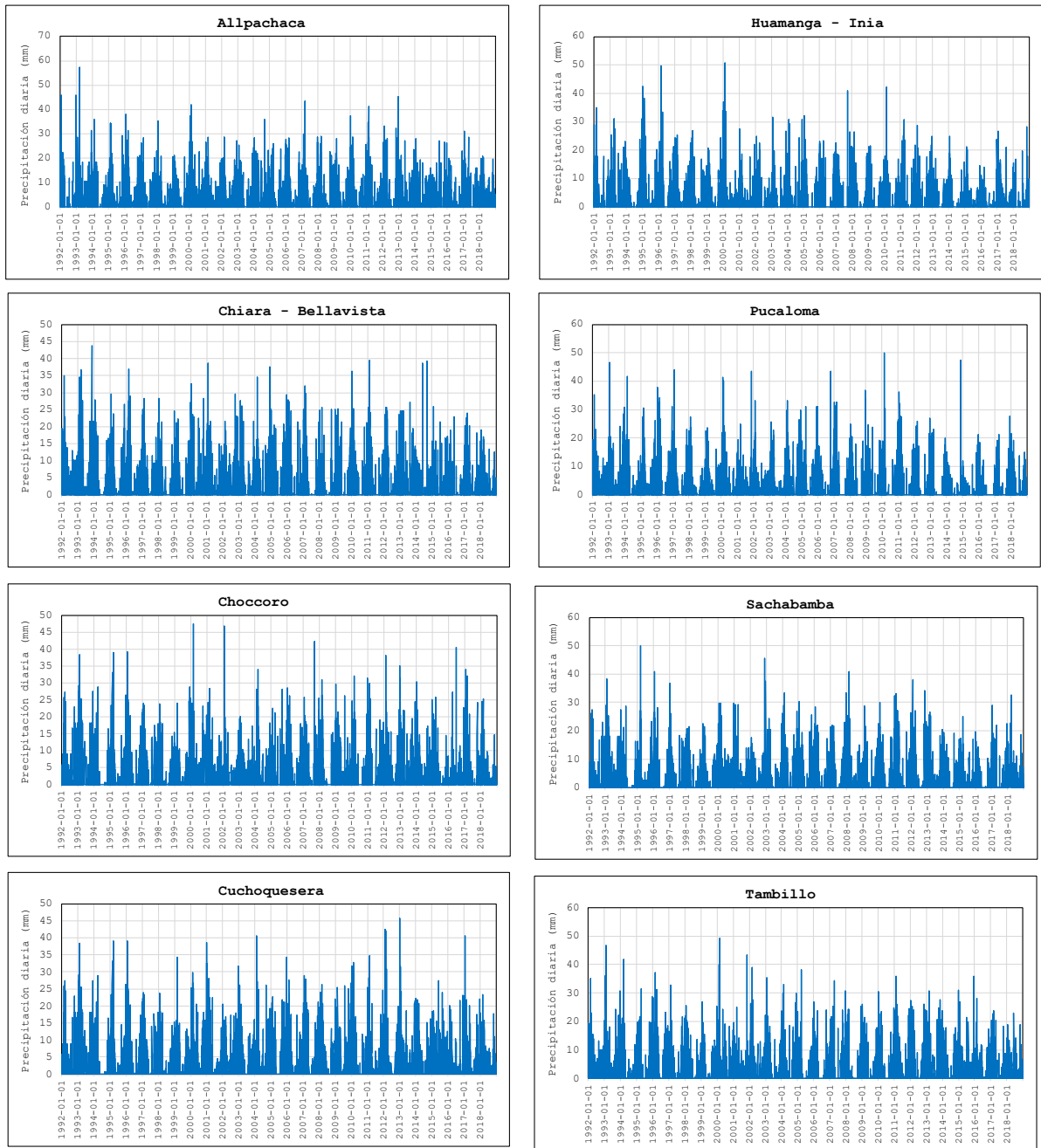
Estación	Inicio	Fin	Datos Validos	T Pvalue	Cumple Med	F Pvalor	Cumple Var	Corrige
Allpachaca	01/01/1992	31/12/2018	9862	1.000000	True	1.000000	True	No
Chiara - Bellavista	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.054212	True	0.056585	True	No
Choccoro	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.069106	True	0.059145	True	No
Cuchoquesera	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.058340	True	0.056541	True	No
Huamanga - Inia	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.062500	True	0.065000	True	No
Pucaloma	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.052842	True	0.058412	True	No
Sachabamba	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.005654	True	0.056054	True	No
Tambillo	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.055410	True	0.056410	True	No

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10, se muestra mediante Prueba de T y F las estaciones Chiara, Choccoro, Cuchoquesera, Huamanga, Pucaloma, Sachabamba y Tambillo han sido corregidas.

Figura 18

Estaciones meteorológicas de precipitaciones corregidas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 18, se muestra que después de la corrección de datos se presentan menos saltos y se nota más consistente en las series de tiempo de las precipitaciones diarias de las ocho estaciones meteorológicas del estudio.

2.4.6. Descarga de precipitación de modelos climáticos globales

Las precipitaciones de modelos climáticos globales se han descargado del siguiente enlace: <https://esgf-node.llnl.gov/search/esgf-llnl/>

Tabla 11

Modelos climáticos globales CMIP5 utilizadas en la investigación

Nombre del ESM	Resolución	Referencia
CanESM2	2.8° x 2.8°	Chylec et al (2011)
ACCESS1.0	2.8° x 2.8°	(Bi et al., 2013)
GFDL-ESM2M	2.5° x 2.8°	Dunne et al (2012)
IPSL-CM5A-MR	1.5° x 1.27°	Dufresne et al (submitted)
MPI-ESM-MR	1.8° x 1.8°	Raddatz et al (2007)

Fuente: Senamhi, 2023

En la tabla 11, se aprecia los modelos climáticos globales para utilizar en la investigación, donde se aprecia la resolución de referencia, se ha elegido estos modelos climáticos globales porque el SENAMHI lo recomienda para las proyecciones futuras.

2.4.7. Downscaling y elección de modelo climático global para proyección futura

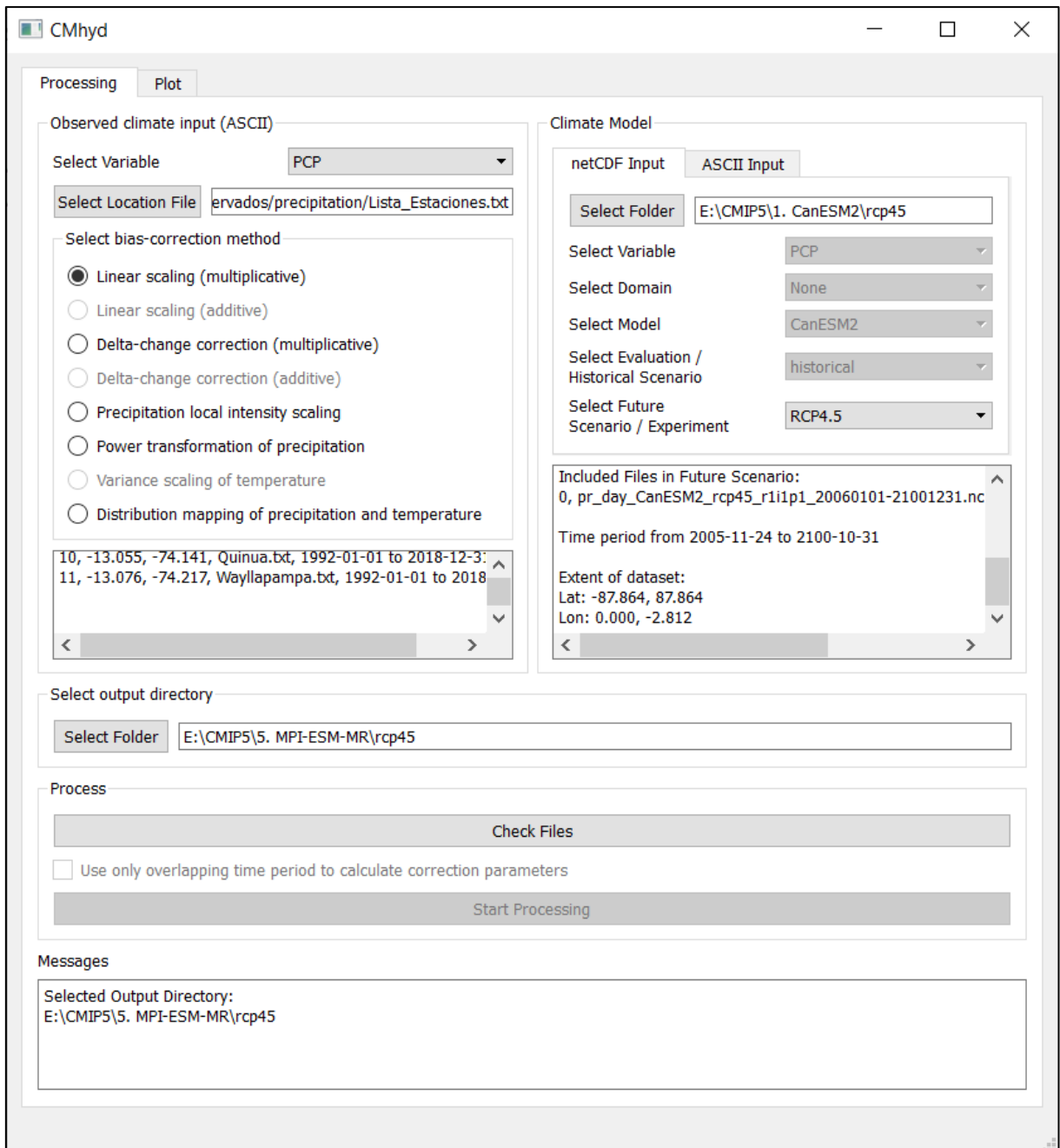
Los modelos climáticos globales también tienen que ser validados para su utilización:

- Después de realizar la descarga de los modelos climáticos globales se realiza el Downscaling estadístico, se realiza entre la estación observada y la precipitación de modelo climático global. Para ello se ha utilizado el Software CMhyd.
- El método Downscaling estadístico es el Linear scaling.
- Una vez realizado el Downscaling se procede a evaluar cada modelo climático global con métricas de desempeño estadístico para elegir cuál de los modelos climáticos tiene mejor comportamiento con las precipitaciones observadas en las estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación.

- En el anexo 4 se muestra la comparación de modelos climáticos globales con estaciones observadas, donde también se ve los resultados de las métricas de desempeño estadístico.

Figura 19

Software CMhyd para realizar Downscaling



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

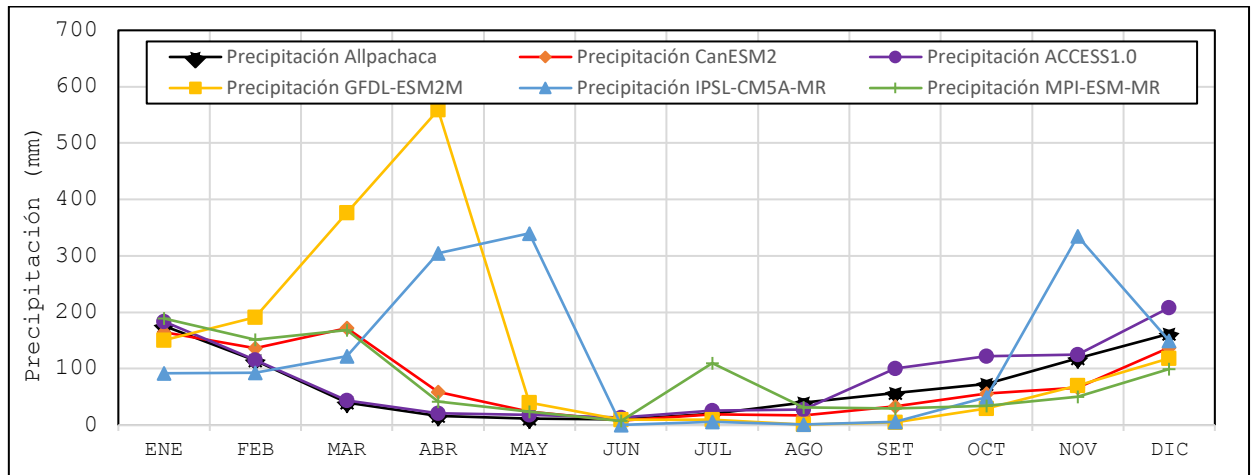
Downscaling de la precipitación RCP 4.5 – Estación Allpachaca

ALLPACHACA					
Precipitación Allpachaca	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
175.777	164.262	183.699	150.472	91.792	188.965
114.215	135.862	115.691	191.405	92.478	151.425
39.485	171.786	43.646	376.268	122.412	168.111
15.877	58.445	21.022	558.708	304.268	41.615
11.777	23.706	17.742	40.242	339.995	23.696
10.008	7.831	13.333	9.605	0.247	7.148
20.292	18.725	25.205	9.477	5.877	109.921
39.462	17.491	27.798	0.802	1.455	31.562
56.762	33.549	100.152	4.478	6.009	29.296
72.531	55.527	121.892	29.527	49.695	34.289
118.146	65.905	124.900	69.665	335.189	49.967
162.169	137.562	208.005	118.303	149.606	99.547
R ²	0.479	0.922	0.003	0.002	0.304
NASH	0.356	0.823	-10.096	-5.705	0.015
PBIAS	-6.473	-19.914	-86.366	-79.202	-11.840

Fuente: Senamhi, 2023

Figura 20

Downscaling de la precipitación RCP 4.5 – Estación Allpachaca



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12 y figura 20, se puede describir:

- En la estación Allpachaca se puede evidenciar que el modelo climático global para escenario de cambio climático RCP 4.5 con mejor similitud estadística y grafica es ACCESS1.0.

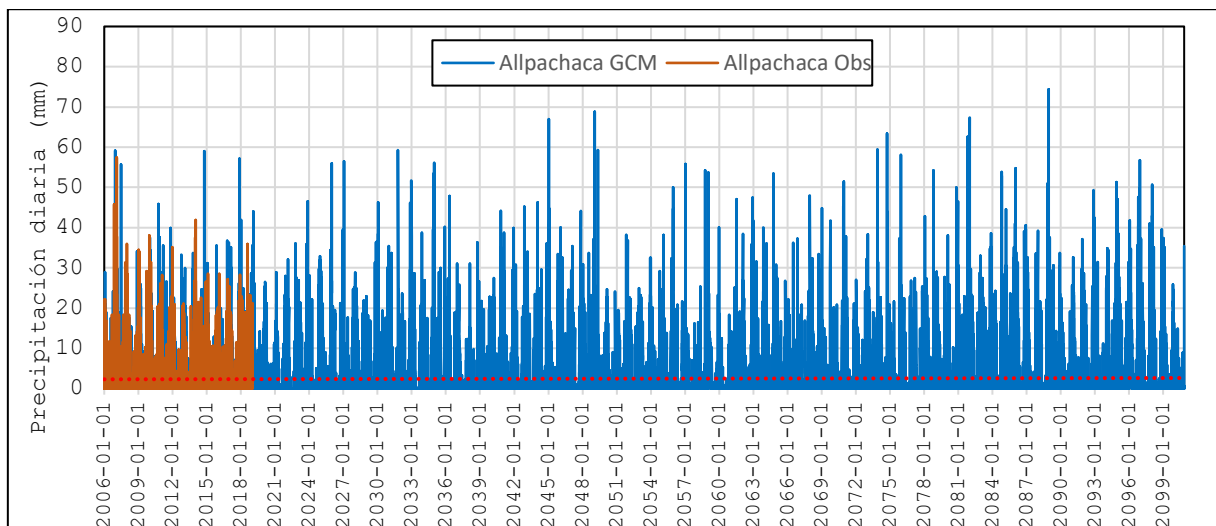
- Presenta un $R^2 = 0.992$, NASH = 0.823 y PBIAS = -19.914
- Gráficamente se ajusta mejor al registro histórico de precipitación de la estación Apacheta entre los años 2006 – 2018.
- En el anexo 4 se presenta los resultados de las demás estaciones.
- De acuerdo a los resultados, el modelo climático con mejor ajuste estadístico es ACCESS1.0; por lo tanto, se realizará predicciones climáticas con este modelo climático para escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

2.4.8. Proyecciones futuras de precipitación ACCESS1.0

Se ha realizado proyecciones climáticas para escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 hasta el año 2100.

Figura 21

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Allpachaca (2006 – 2100)

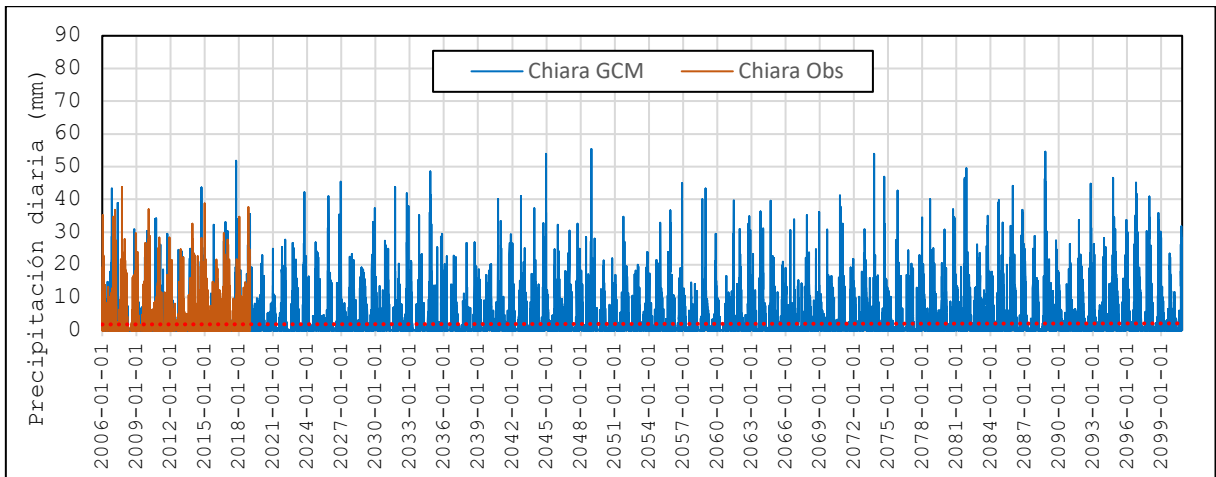


Fuente: Elaboración propia

En la figura 21, lo que se muestra en color azul (Allpachaca GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Allpachaca Obs) las precipitaciones observadas en la estación Allpachaca.

Figura 22

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Chiara (2006 – 2100)

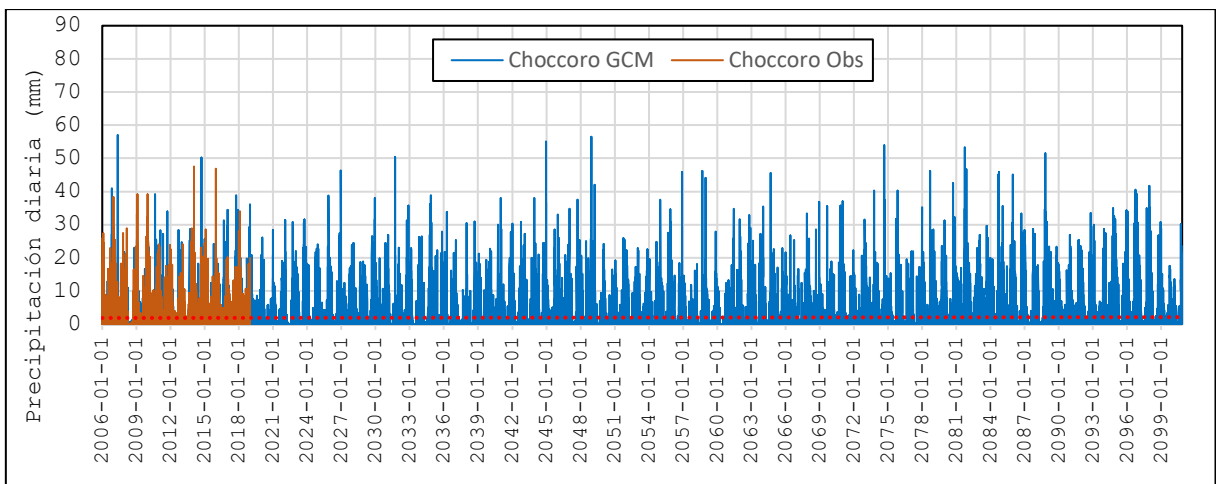


Fuente: Elaboración propia

En la figura 22, lo que se muestra en color azul (Chiara GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Chiara Obs) las precipitaciones observadas en la estación Chiara.

Figura 23

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Choccoro (2006 – 2100)

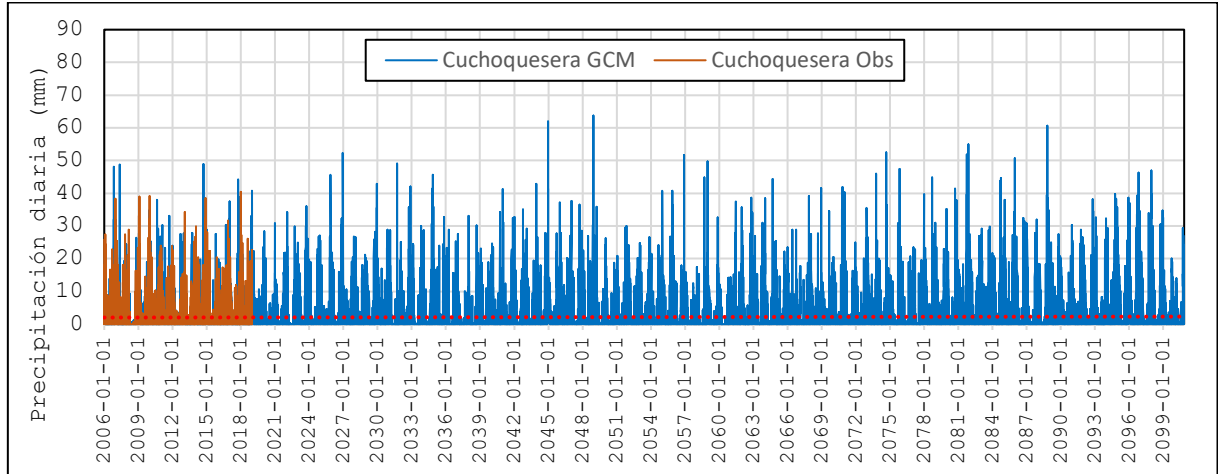


Fuente: Elaboración propia

En la figura 23, lo que se muestra en color azul (Choccoro GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Choccoro Obs) las precipitaciones observadas en la estación Choccoro.

Figura 24

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Cuchoquesera (2006 – 2100)

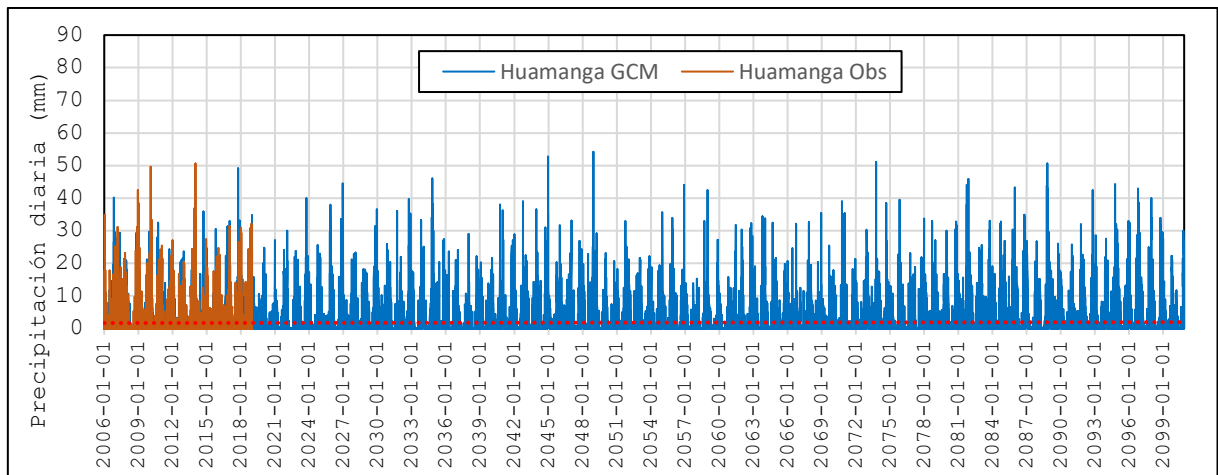


Fuente: Elaboración propia

En la figura 24, lo que se muestra en color azul (Cuchoquesera GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Cuchoquesera Obs) las precipitaciones observadas en la estación Cuchoquesera.

Figura 25

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Huamanga (2006 – 2100)

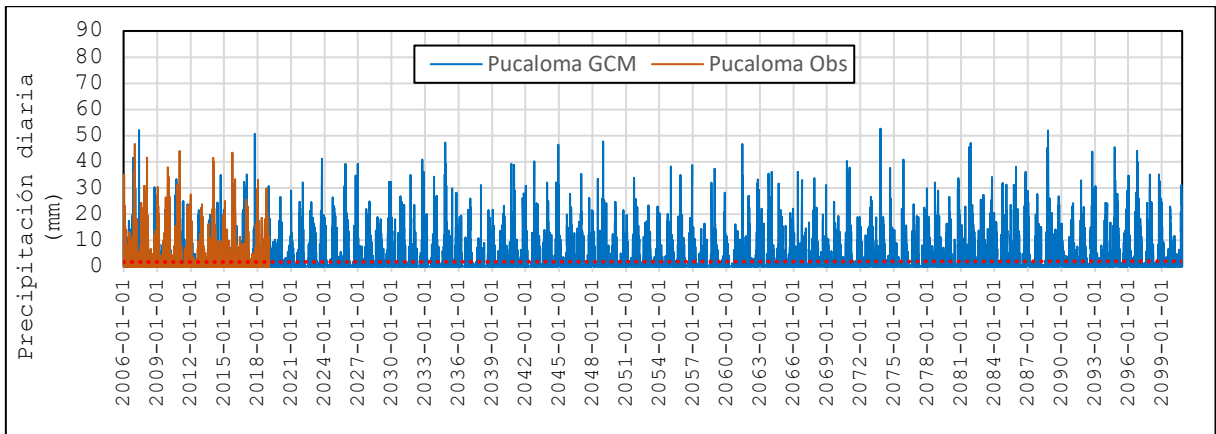


Fuente: Elaboración propia

En la figura 25, lo que se muestra en color azul (Huamanga GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Huamanga Obs) las precipitaciones observadas en la estación Huamanga.

Figura 26

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Pucaloma (2006 – 2100)

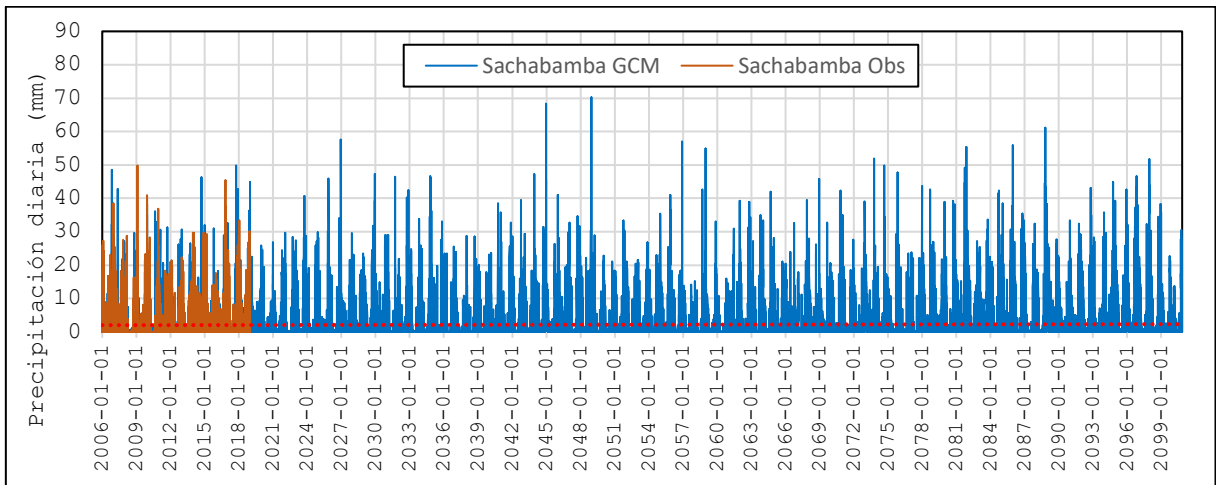


Fuente: Elaboración propia

En la figura 26, lo que se muestra en color azul (Pucaloma GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Pucaloma Obs) las precipitaciones observadas en la estación Pucaloma.

Figura 27

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Sachabamba (2006 – 2100)

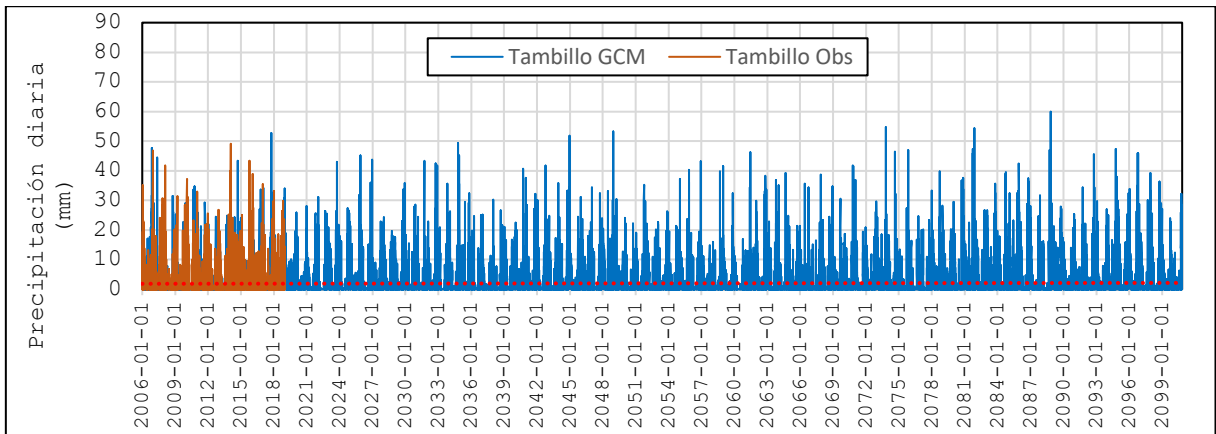


Fuente: Elaboración propia

En la figura 27, lo que se muestra en color azul (Sachabamba GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Sachabamba Obs) las precipitaciones observadas en la estación Sachabamba.

Figura 28

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Tambillo (2006 – 2100)

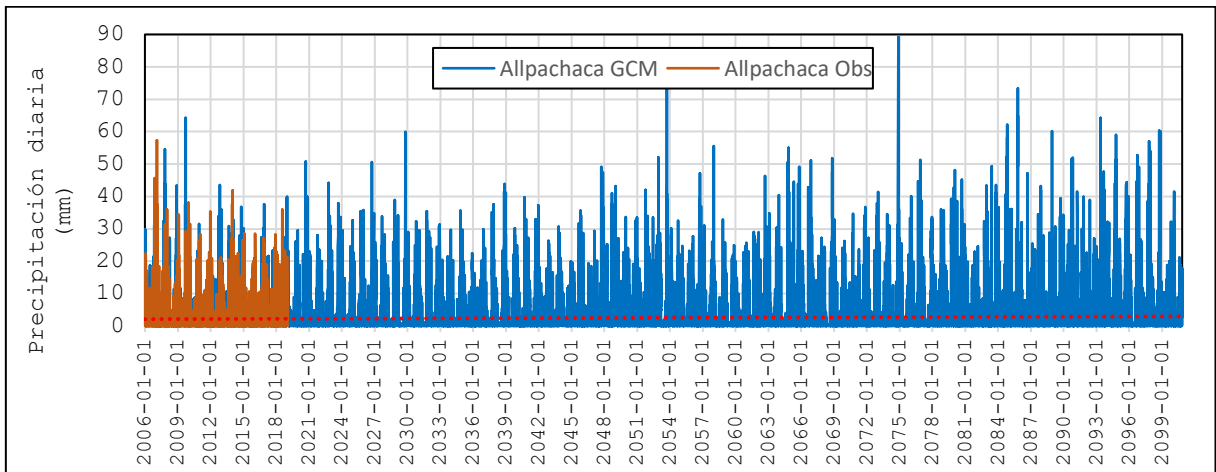


Fuente: Elaboración propia

En la figura 28, lo que se muestra en color azul (Tambillo GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Tambillo Obs) las precipitaciones observadas en la estación Tambillo.

Figura 29

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Allpachaca (2006 – 2100)

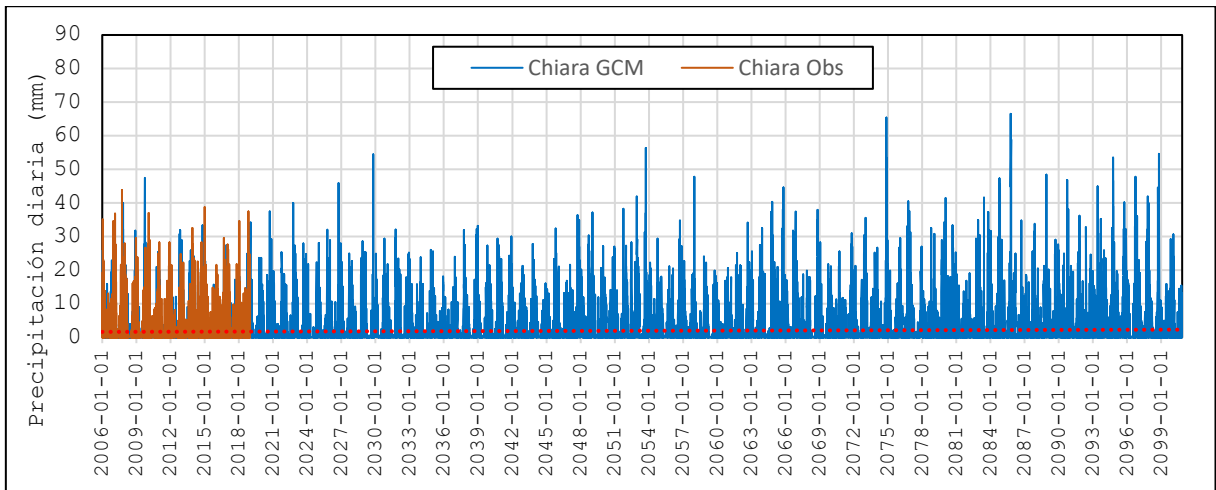


Fuente: Elaboración propia

En la figura 29, lo que se muestra en color azul (Allpachaca GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Allpachaca Obs) las precipitaciones observadas en la estación Allpachaca.

Figura 30

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Chiara (2006 – 2100)

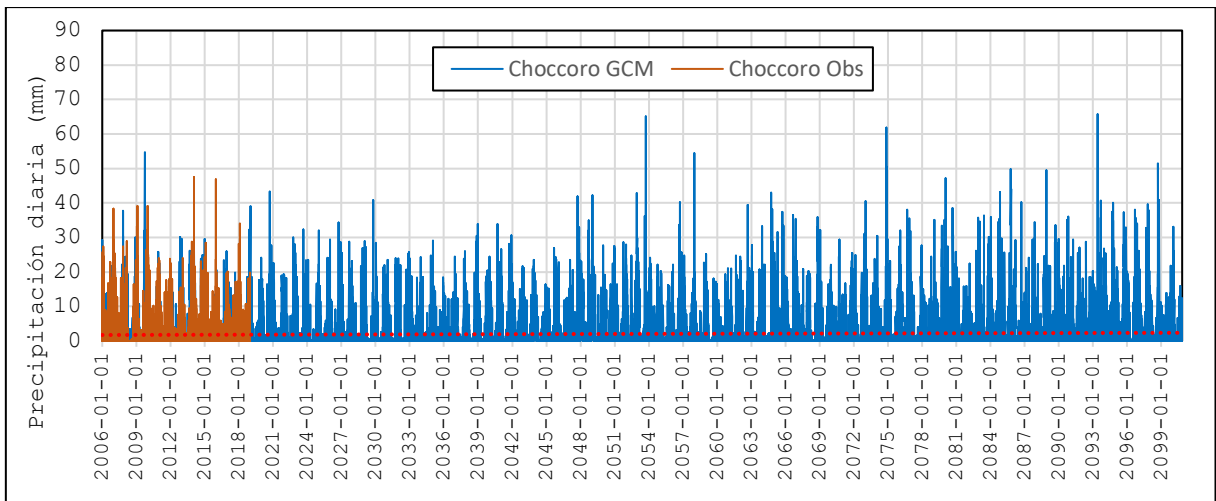


Fuente: Elaboración propia

En la figura 30, lo que se muestra en color azul (Chiara GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Chiara Obs) las precipitaciones observadas en la estación Chiara.

Figura 31

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Choccoro (2006 – 2100)

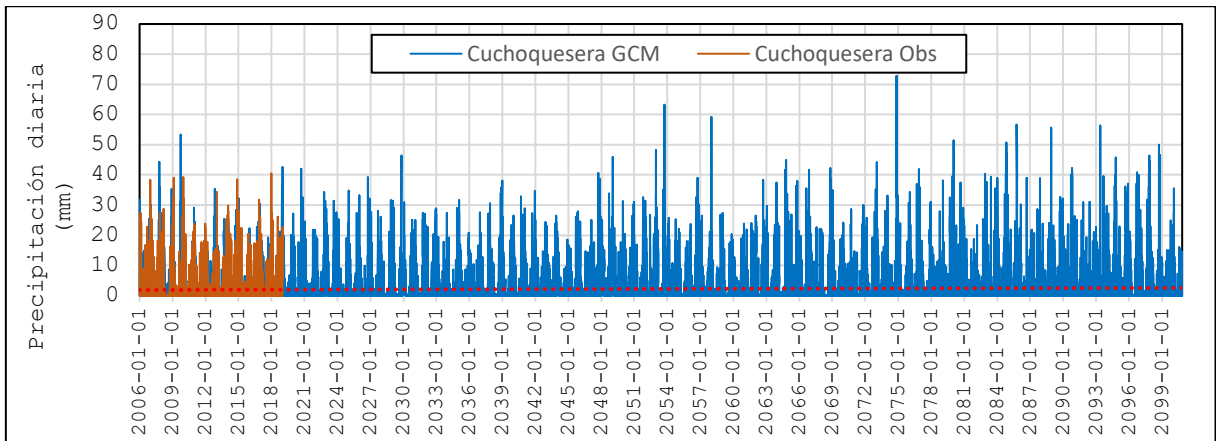


Fuente: Elaboración propia

En la figura 31, lo que se muestra en color azul (Choccoro GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Choccoro Obs) las precipitaciones observadas en la estación Choccoro.

Figura 32

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Cuchoquesera (2006 – 2100)

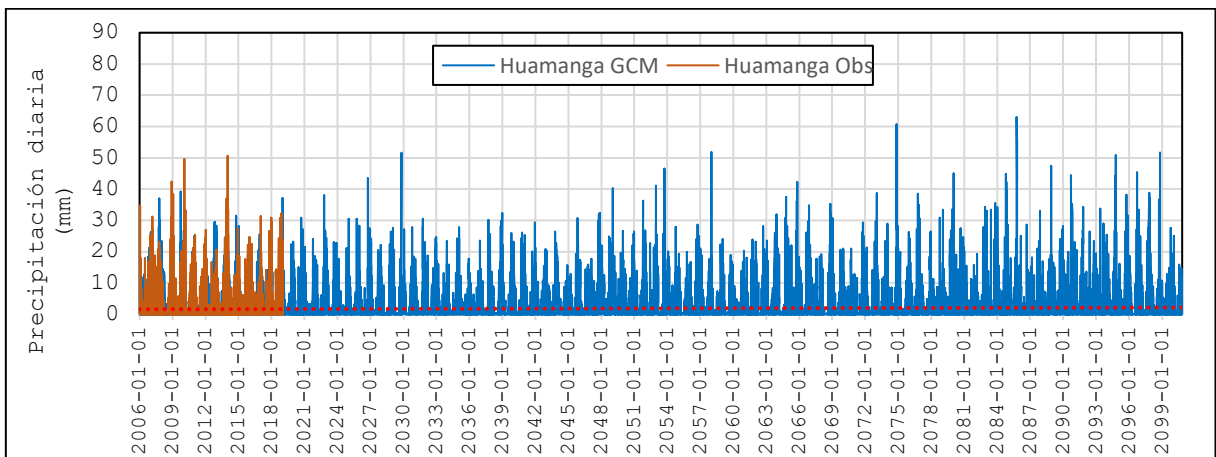


Fuente: Elaboración propia

En la figura 32, lo que se muestra en color azul (Cuchoquesera GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Cuchoquesera Obs) las precipitaciones observadas en la estación Cuchoquesera.

Figura 33

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Huamanga (2006 – 2100)

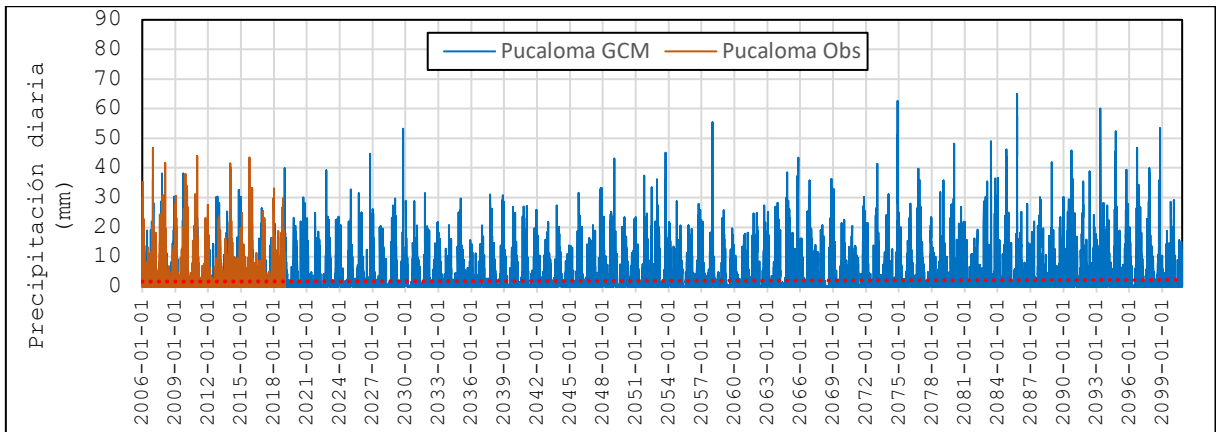


Fuente: Elaboración propia

En la figura 33, lo que se muestra en color azul (Huamanga GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Huamanga Obs) las precipitaciones observadas en la estación Huamanga.

Figura 34

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Pucaloma (2006 – 2100)

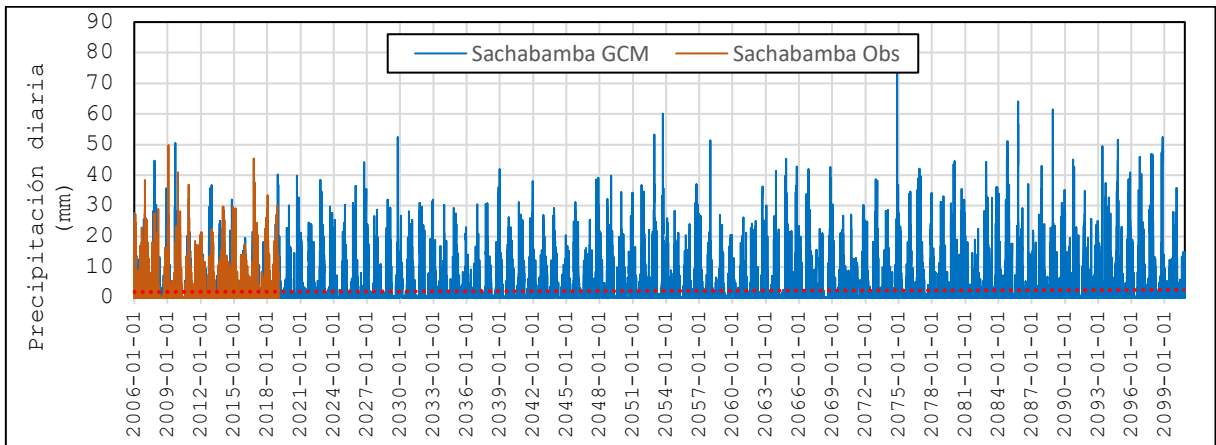


Fuente: Elaboración propia

En la figura 34, lo que se muestra en color azul (Pucaloma GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Pucaloma Obs) las precipitaciones observadas en la estación Pucaloma.

Figura 35

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Sachabamba (2006 – 2100)

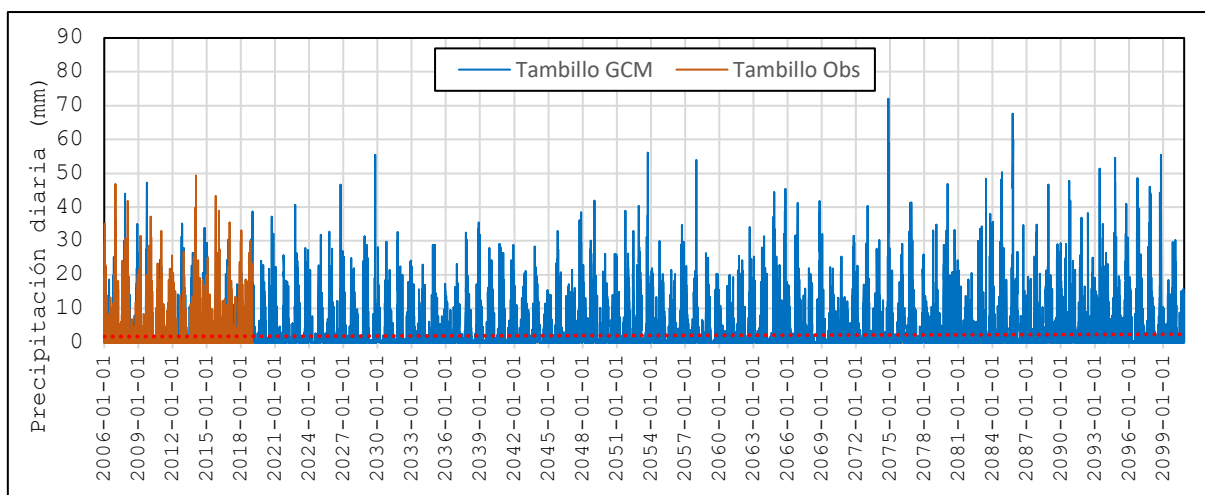


Fuente: Elaboración propia

En la figura 35, lo que se muestra en color azul (Sachabamba GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Sachabamba Obs) las precipitaciones observadas en la estación Sachabamba.

Figura 36

Precipitación diaria proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Tambillo (2006 – 2100)



Fuente: Elaboración propia

En la figura 36, lo que se muestra en color azul (Tambillo GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Tambillo Obs) las precipitaciones observadas en la estación Tambillo.

2.4.9. Comparación entre normales climáticas de precipitación observadas y en condiciones de escenario de cambio climático.

El Senamhi para realizar análisis de variación de las variables climáticas, realiza la comparación de normales climáticas; es decir, comparación entre periodos cada 30 años, en el estudio se compara el promedio de precipitaciones de precipitaciones observadas entre 1992 – 2009 (en este caso no se tomó 30 años puesto que el registro de la estación empieza el año 1992) y las precipitaciones proyectadas en escenario de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 270 – 2099.

De los resultados se observa que hay incremento de precipitación en tiempos de estiaje y disminución de precipitación en tiempos lluviosos, tal como se ve en los mapas temáticos.

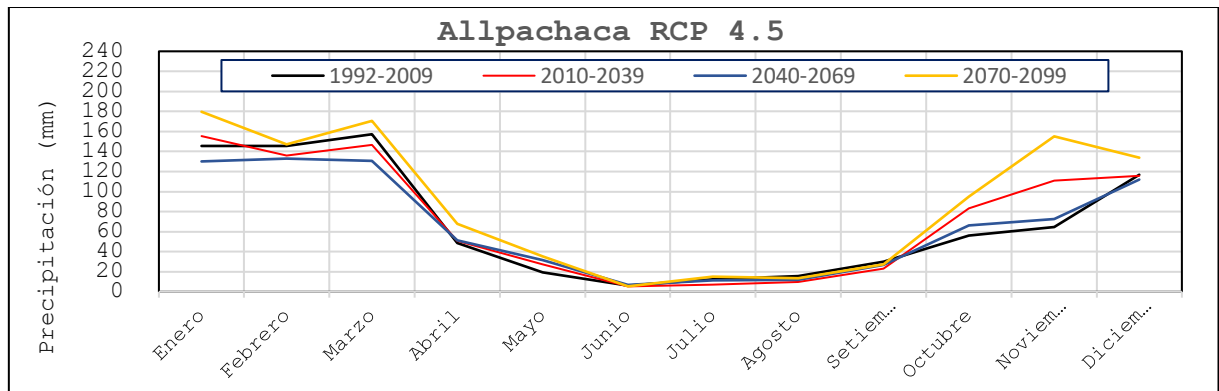
Tabla 13
Variación de la precipitación – Estación Allpachaca

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099						
Enero	145.29	155.37	6.94%	130.07	-10.47%	179.64	23.64%	159.07	9.49%	161.06	10.85%	123.89	-14.73%
Febrero	145.57	135.95	-6.61%	132.91	-8.70%	147.28	1.18%	113.41	-22.09%	129.11	-11.31%	128.49	-11.73%
Marzo	157.22	146.54	-6.79%	130.36	-17.09%	170.37	8.36%	43.26	-72.49%	53.40	-66.04%	69.21	-55.98%
Abril	48.85	50.70	3.78%	51.17	4.75%	67.67	38.52%	10.75	-77.98%	28.66	-41.34%	30.98	-36.58%
Mayo	19.42	27.48	41.47%	31.75	63.47%	35.45	82.52%	2.71	-86.07%	4.09	-78.93%	18.39	-5.30%
Junio	6.15	5.35	-13.09%	6.84	11.14%	5.41	-12.10%	6.25	1.66%	11.40	85.30%	16.08	161.39%
Julio	12.39	7.08	-42.87%	11.34	-8.49%	15.30	23.54%	12.28	-0.86%	21.87	76.54%	24.02	93.90%
Agosto	15.75	10.00	-36.50%	11.87	-24.66%	13.43	-14.75%	19.91	26.42%	34.93	121.79%	48.82	209.94%
Setiembre	29.76	22.89	-23.09%	26.87	-9.72%	27.48	-7.66%	64.44	116.51%	81.07	172.40%	133.04	347.04%
Octubre	55.99	83.39	48.95%	66.00	17.88%	94.70	69.15%	97.74	74.56%	124.74	122.79%	153.71	174.53%
Noviembre	64.74	111.05	71.54%	72.54	12.05%	155.16	139.67%	103.27	59.52%	129.22	99.61%	159.27	146.01%
Diciembre	116.75	115.85	-0.77%	112.09	-3.99%	134.04	14.81%	146.90	25.82%	152.11	30.29%	148.69	27.35%

Fuente: Elaboración propia

Figura 37

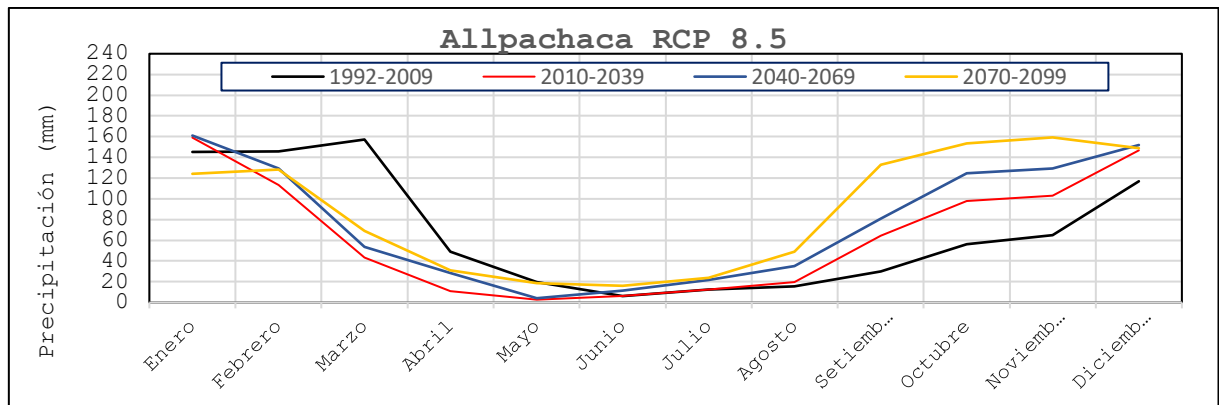
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Allpachaca



Fuente: Elaboración propia

Figura 38

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Allpachaca



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13, se muestra la variación de la precipitación en la estación Allpachaca, la comparación para obtener la variación se realiza teniendo en cuenta valores observados entre periodo 1992 – 2009 y los periodos proyectados mediante modelos climáticos globales RCP 4.5 y RCP 8.5 ACCESS1.0 (2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099), de las cuales se puede observar que hay mayor variación de precipitación en el mes de setiembre 347.04% y menor variación de precipitación en el mes de mayo -78.93% con escenario RCP 8.5. En las Figuras 36 y 37 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

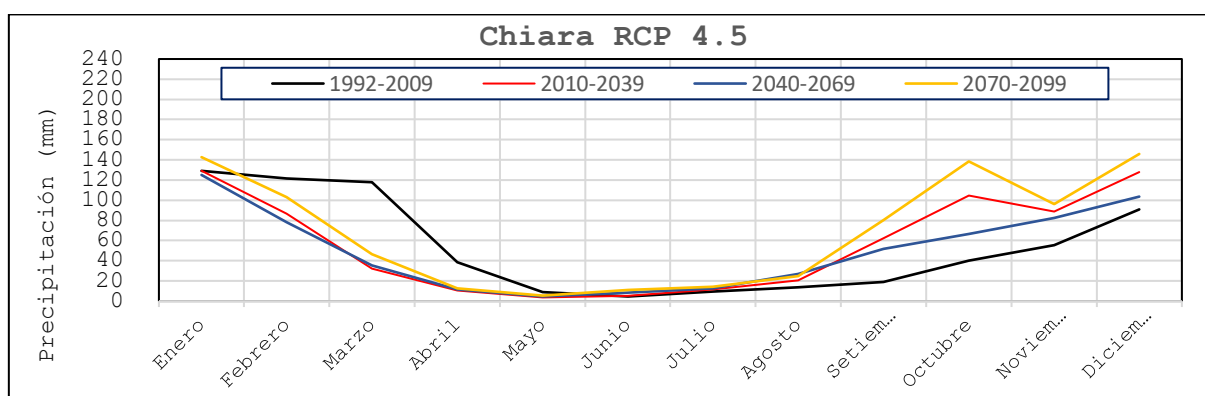
Tabla 14
Variación de la precipitación – Estación Chiara

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099			
Enero	129.12	129.20	0.07%	125.07	-3.13%	142.85	10.64%	131.75	2.04%	132.95	2.96%	103.18	-20.09%
Febrero	121.41	86.55	-28.71%	78.00	-35.76%	103.08	-15.09%	84.26	-30.59%	95.98	-20.95%	95.45	-21.38%
Marzo	117.62	32.34	-72.50%	35.14	-70.12%	46.25	-60.68%	31.92	-72.87%	38.16	-67.56%	49.79	-57.67%
Abril	38.33	10.38	-72.93%	11.78	-69.27%	12.45	-67.51%	5.36	-86.03%	13.87	-63.82%	14.87	-61.21%
Mayo	9.04	3.65	-59.66%	4.60	-49.12%	5.45	-39.68%	1.91	-78.83%	3.04	-66.39%	13.70	51.54%
Junio	4.58	5.39	17.73%	8.38	82.87%	11.00	140.10%	5.31	15.83%	9.69	111.49%	13.64	197.81%
Julio	9.69	11.64	20.18%	12.72	31.30%	14.35	48.13%	9.92	2.43%	18.02	85.97%	19.56	101.87%
Agosto	13.85	20.32	46.65%	27.09	95.54%	24.93	79.94%	14.12	1.94%	24.70	78.31%	34.34	147.87%
Setiembre	19.25	62.42	224.25%	51.84	169.27%	80.55	318.45%	49.73	158.33%	62.91	226.81%	102.31	431.51%
Octubre	40.18	104.83	160.91%	66.60	65.77%	138.56	244.86%	86.05	114.17%	108.97	171.22%	134.02	233.56%
Noviembre	55.64	88.62	59.29%	82.18	47.70%	96.45	73.35%	77.22	38.79%	96.10	72.73%	118.39	112.79%
Diciembre	90.85	127.73	40.59%	103.60	14.03%	145.87	60.56%	119.50	31.53%	123.90	36.38%	120.88	33.05%

Fuente: Elaboración propia

Figura 39

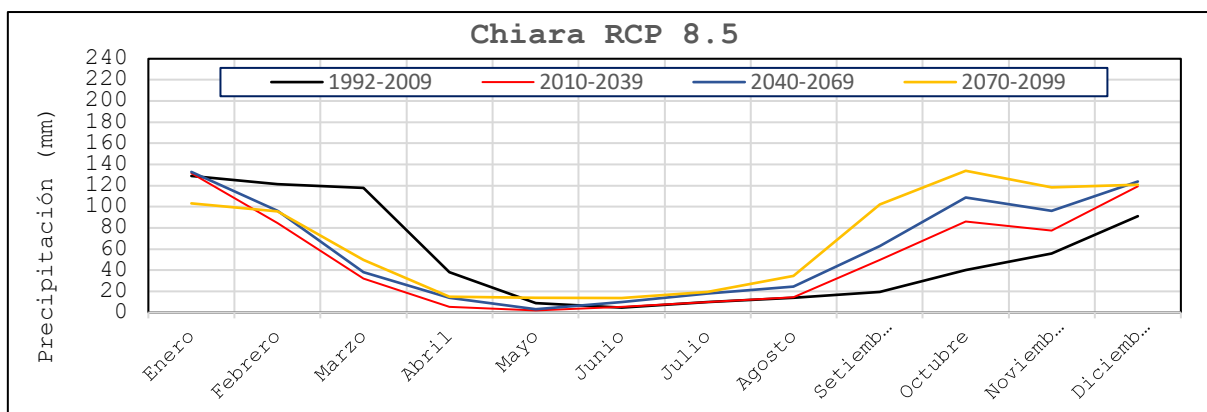
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Chiara



Fuente: Elaboración propia

Figura 40

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Chiara



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14, se muestra la variación de la precipitación en la estación Chiara, la comparación para obtener la variación se realiza teniendo en cuenta valores observados entre periodo 1992 – 2009 y los periodos proyectados mediante modelos climáticos globales RCP 4.5 y RCP 8.5 ACCESS1.0 (2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099), de las cuales se puede observar que hay mayor variación de precipitación en el mes de setiembre 431.51% y menor variación de precipitación en el mes de abril -86.03% con escenario RCP 8.5. En las Figuras 38 y 39 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

Tabla 15

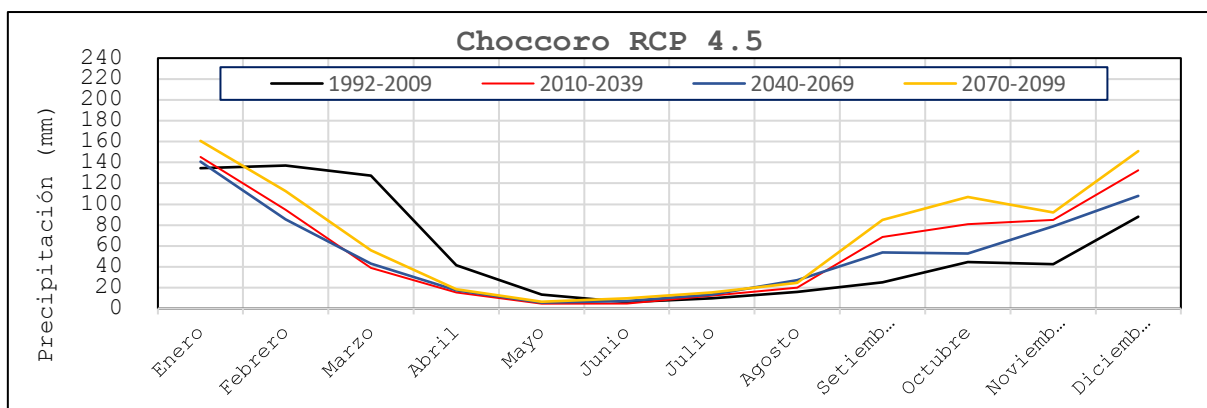
Variación de la precipitación – Estación Choccoro

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099						
Enero	134.62	145.27	7.90%	140.79	4.58%	160.68	19.35%	148.20	10.08%	149.39	10.97%	116.25	-13.65%
Febrero	137.04	94.68	-30.92%	85.33	-37.74%	112.64	-17.81%	92.18	-32.74%	105.07	-23.33%	104.39	-23.83%
Marzo	127.38	38.99	-69.39%	42.78	-66.42%	55.75	-56.23%	38.28	-69.95%	46.44	-63.55%	60.39	-52.59%
Abril	41.65	15.54	-62.70%	17.60	-57.73%	18.65	-55.22%	8.02	-80.75%	20.77	-50.13%	22.28	-46.50%
Mayo	13.14	4.81	-63.37%	5.70	-56.64%	6.51	-50.46%	2.69	-79.52%	3.81	-71.02%	17.15	30.56%
Junio	6.14	4.78	-22.13%	7.45	21.37%	9.74	58.78%	4.75	-22.67%	8.88	44.73%	12.29	100.34%
Julio	9.88	12.18	23.33%	13.44	36.08%	15.19	53.72%	10.39	5.20%	19.18	94.08%	20.61	108.58%
Agosto	15.76	20.10	27.53%	27.10	71.94%	24.57	55.90%	14.22	-9.77%	24.61	56.16%	33.60	113.15%
Setiembre	25.23	68.44	171.28%	53.80	113.24%	84.80	236.10%	52.76	109.13%	66.04	161.77%	109.33	333.32%
Octubre	44.45	80.86	81.94%	52.82	18.84%	107.06	140.89%	66.59	49.83%	85.06	91.37%	104.83	135.86%
Noviembre	42.66	84.90	99.02%	78.75	84.60%	92.25	116.25%	74.08	73.65%	91.78	115.16%	113.02	164.95%
Diciembre	88.15	132.55	50.37%	107.79	22.28%	151.00	71.30%	123.99	40.65%	128.85	46.17%	125.31	42.15%

Fuente: Elaboración propia

Figura 41

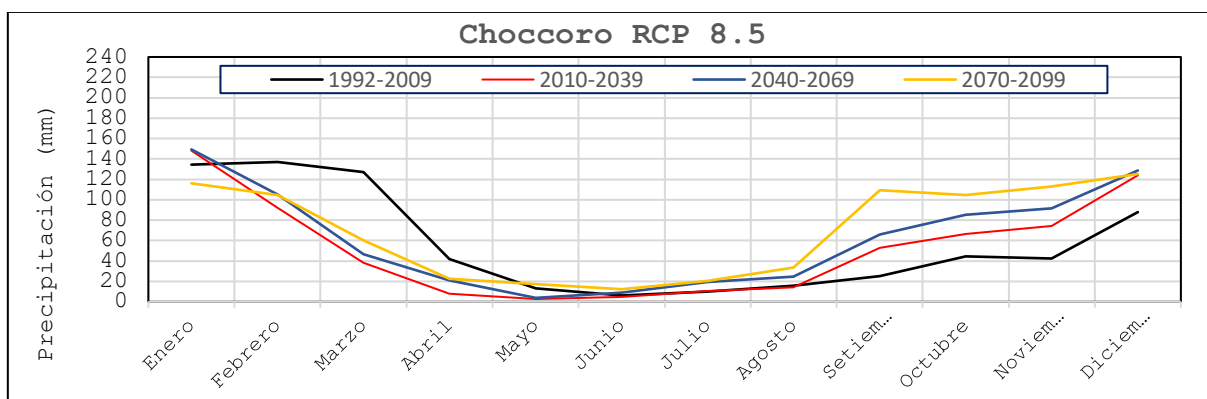
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Choccoro



Fuente: Elaboración propia

Figura 42

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Choccoro



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15, se muestra la variación de la precipitación en la estación Choccoro, la comparación para obtener la variación se realiza teniendo en cuenta valores observados entre periodo 1992 – 2009 y los periodos proyectados mediante modelos climáticos globales RCP 4.5 y RCP 8.5 ACCESS1.0 (2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099), de las cuales se puede observar que hay mayor variación de precipitación en el mes de setiembre 333.32% y menor variación de precipitación en el mes de abril -80.75% con escenario RCP 8.5. En las Figuras 40 y 41 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

Tabla 16

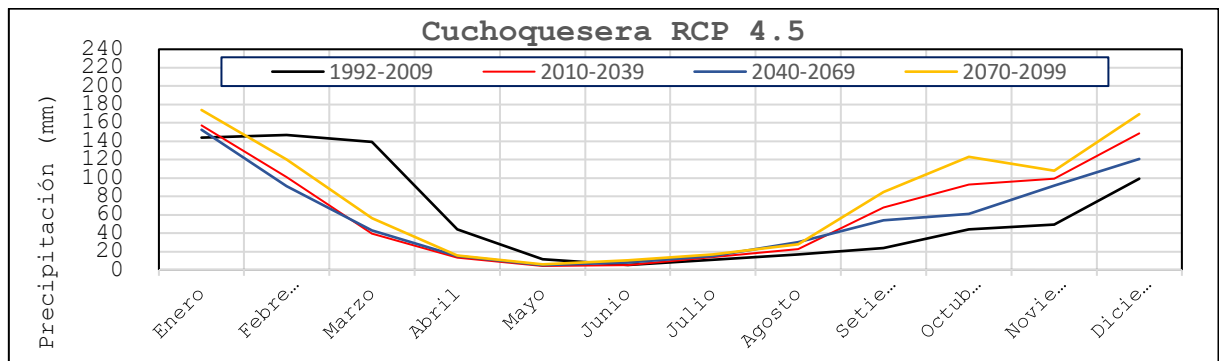
Variación de la precipitación – Estación Cuchoquesera

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2070-2099					
Enero	143.82	157.24	9.33%	152.46	6.01%	173.96	20.95%	160.44	11.55%	161.68	12.42%	125.93	-12.44%
Febrero	146.79	100.81	-31.32%	90.85	-38.11%	119.99	-18.26%	98.14	-33.14%	111.84	-23.81%	111.16	-24.27%
Marzo	139.19	39.41	-71.69%	42.90	-69.18%	56.35	-59.51%	38.84	-72.10%	46.58	-66.54%	60.74	-56.36%
Abril	44.07	13.24	-69.95%	15.01	-65.94%	15.90	-63.92%	6.82	-84.52%	17.70	-59.83%	18.99	-56.92%
Mayo	11.84	4.29	-63.75%	5.22	-55.94%	6.06	-48.83%	2.33	-80.28%	3.47	-70.70%	15.65	32.15%
Junio	5.37	5.15	-4.10%	8.03	49.54%	10.51	95.62%	5.12	-4.76%	9.59	78.42%	13.27	146.95%
Julio	11.11	13.67	23.03%	14.99	34.92%	16.92	52.30%	11.66	4.90%	21.30	91.67%	23.02	107.18%
Agosto	16.71	22.54	34.88%	30.07	79.98%	27.64	65.45%	15.69	-6.11%	27.41	64.04%	38.06	127.82%
Setiembre	23.75	67.62	184.75%	54.15	128.04%	84.94	257.66%	52.71	121.95%	66.21	178.81%	108.96	358.80%
Octubre	44.36	92.69	108.95%	60.79	37.02%	122.74	176.69%	76.37	72.15%	97.66	120.14%	120.40	171.40%
Noviembre	49.60	99.00	99.60%	91.82	85.12%	107.67	117.08%	86.31	74.02%	107.22	116.16%	132.06	166.25%
Diciembre	99.23	148.48	49.62%	120.64	21.57%	169.28	70.59%	138.89	39.97%	144.23	45.34%	140.41	41.49%

Fuente: Elaboración propia

Figura 43

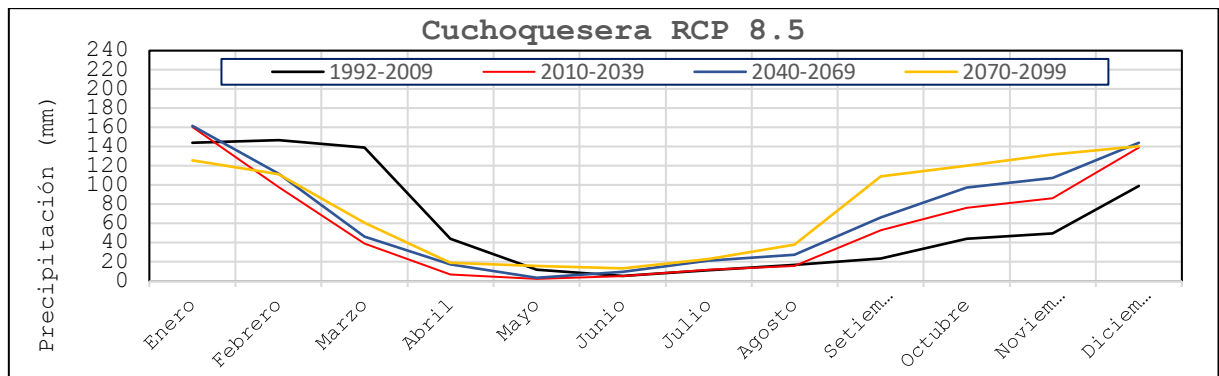
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Cuchoquesera



Fuente: Elaboración propia

Figura 44

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Cuchoquesera



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16, se muestra la variación de la precipitación en la estación Cuchoquesera, la comparación para obtener la variación se realiza teniendo en cuenta valores observados entre periodo 1992 – 2009 y los periodos proyectados mediante modelos climáticos globales RCP 4.5 y RCP 8.5 ACCESS1.0 (2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099), de las cuales se puede observar que hay mayor variación de precipitación en el mes de setiembre 358.80% y menor variación de precipitación en el mes de abril -84.52% con escenario RCP 8.5. En las Figuras 42 y 43 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

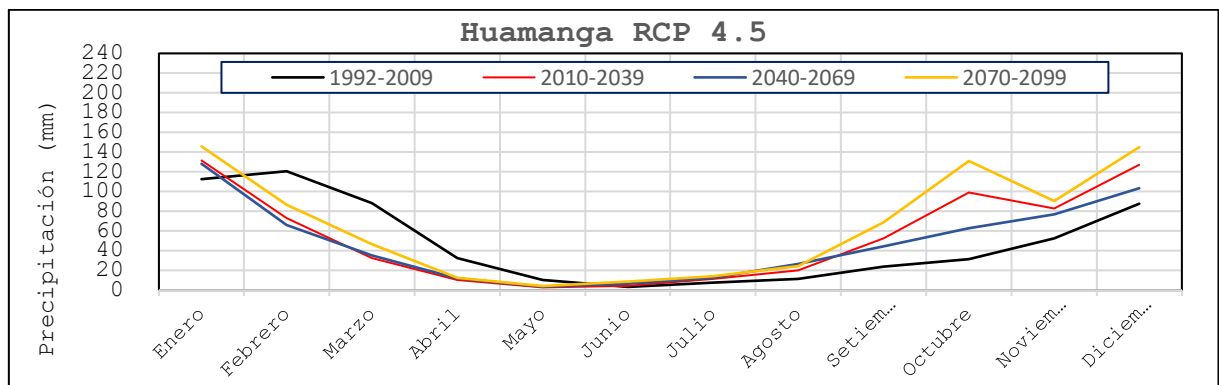
Tabla 17
Variación de la precipitación – Estación Huamanga

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2070-2099					
Enero	112.38	131.50	17.01%	128.12	14.01%	145.77	29.71%	134.45	19.64%	134.93	20.07%	106.22	-5.48%
Febrero	120.58	72.96	-39.49%	65.79	-45.44%	86.67	-28.12%	71.06	-41.07%	81.11	-32.73%	80.44	-33.28%
Marzo	88.08	32.60	-62.99%	35.47	-59.73%	46.62	-47.07%	32.14	-63.51%	38.52	-56.27%	50.23	-42.97%
Abril	32.57	10.55	-67.60%	11.73	-63.97%	12.77	-60.80%	5.34	-83.59%	14.19	-56.42%	15.32	-52.94%
Mayo	10.56	2.79	-73.62%	3.54	-66.45%	4.22	-60.02%	1.45	-86.30%	2.34	-77.87%	10.54	-0.20%
Junio	3.32	4.35	30.96%	6.78	103.95%	8.88	167.16%	4.31	29.60%	8.00	140.73%	11.14	235.21%
Julio	7.56	11.47	51.79%	12.45	64.70%	14.02	85.60%	9.77	29.30%	17.53	132.01%	19.17	153.64%
Agosto	11.42	20.03	75.42%	26.41	131.27%	24.66	115.99%	13.68	19.84%	24.18	111.74%	34.23	199.73%
Setiembre	23.79	52.46	120.52%	44.50	87.07%	68.79	189.18%	42.34	77.99%	53.78	126.07%	86.87	265.21%
Octubre	31.23	99.12	217.44%	62.82	101.19%	131.02	319.58%	81.35	160.53%	102.95	229.69%	126.58	305.38%
Noviembre	52.49	83.00	58.13%	76.98	46.66%	90.23	71.90%	72.39	37.92%	89.82	71.12%	110.62	110.75%
Diciembre	87.49	127.06	45.24%	103.31	18.09%	144.78	65.49%	118.86	35.86%	123.50	41.17%	120.14	37.32%

Fuente: Elaboración propia

Figura 45

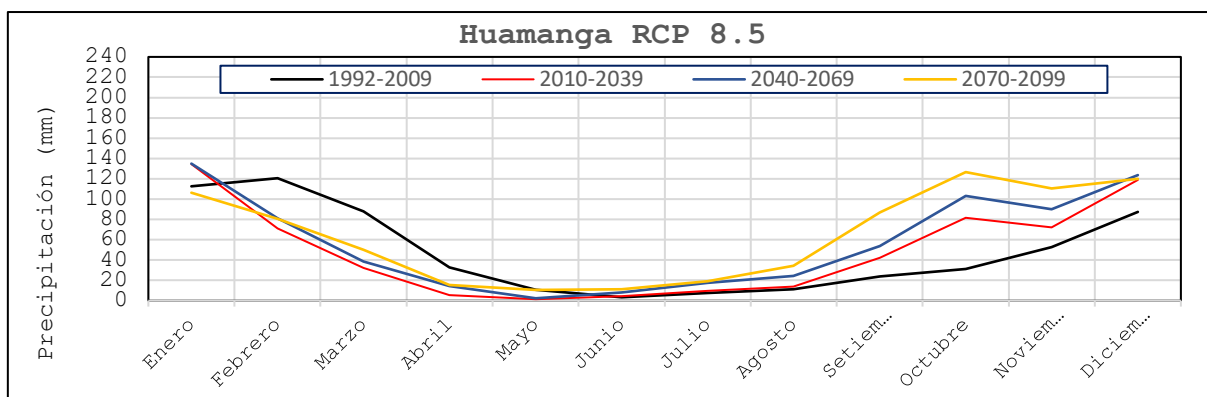
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Huamanga



Fuente: Elaboración propia

Figura 46

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Huamanga



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 17, se muestra la variación de la precipitación en la estación Huamanga, la comparación para obtener la variación se realiza teniendo en cuenta valores observados entre periodo 1992 – 2009 y los periodos proyectados mediante modelos climáticos globales RCP 4.5 y RCP 8.5 ACCESS1.0 (2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099), de las cuales se puede observar que hay mayor variación de precipitación en el mes de setiembre 305.38% y menor variación de precipitación en el mes de mayo -86.30% con escenario RCP 8.5. En las Figuras 44 y 45 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

Tabla 18

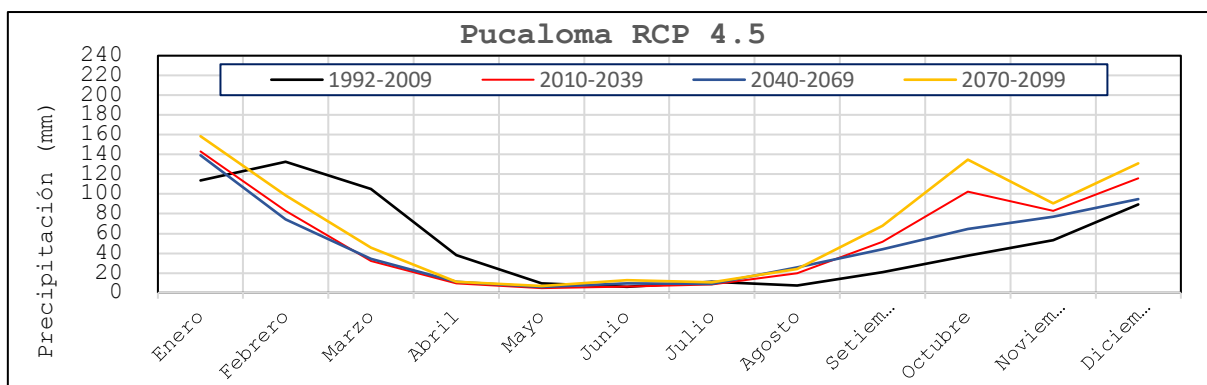
Variación de la precipitación – Estación Pucalloma

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099						
Enero	113.88	143.10	25.66%	139.19	22.23%	158.52	39.20%	146.21	28.39%	146.95	29.04%	115.24	1.20%
Febrero	132.62	82.72	-37.62%	74.56	-43.78%	98.45	-25.77%	80.54	-39.27%	91.79	-30.79%	91.22	-31.22%
Marzo	104.98	32.01	-69.51%	34.59	-67.05%	45.77	-56.40%	31.67	-69.83%	37.57	-64.21%	49.10	-53.23%
Abril	38.28	9.40	-75.43%	11.06	-71.09%	11.11	-70.98%	5.02	-86.90%	12.41	-67.59%	13.12	-65.71%
Mayo	9.34	4.72	-49.41%	5.86	-37.26%	6.88	-26.29%	2.52	-73.00%	3.88	-58.42%	17.51	87.51%
Junio	6.08	6.16	1.39%	9.54	56.95%	12.61	107.55%	5.97	-1.77%	10.42	71.36%	15.17	149.60%
Julio	11.34	8.69	-23.34%	9.24	-18.55%	10.38	-8.43%	7.39	-34.83%	12.81	12.99%	14.32	26.25%
Agosto	7.48	19.57	161.70%	25.80	245.05%	24.10	222.37%	13.36	78.68%	23.62	215.96%	33.46	347.50%
Setiembre	21.01	51.46	144.98%	44.07	109.76%	67.96	223.51%	41.77	98.84%	53.15	153.03%	85.62	307.56%
Octubre	37.43	102.14	172.87%	64.72	72.91%	135.00	260.65%	83.82	123.94%	106.06	183.35%	130.42	248.42%
Noviembre	53.34	83.06	55.72%	77.00	44.35%	90.58	69.82%	72.22	35.41%	90.42	69.52%	111.46	108.96%
Diciembre	89.47	115.77	29.39%	94.61	5.75%	131.24	46.68%	108.26	21.00%	112.99	26.29%	109.21	22.06%

Fuente: Elaboración propia

Figura 47

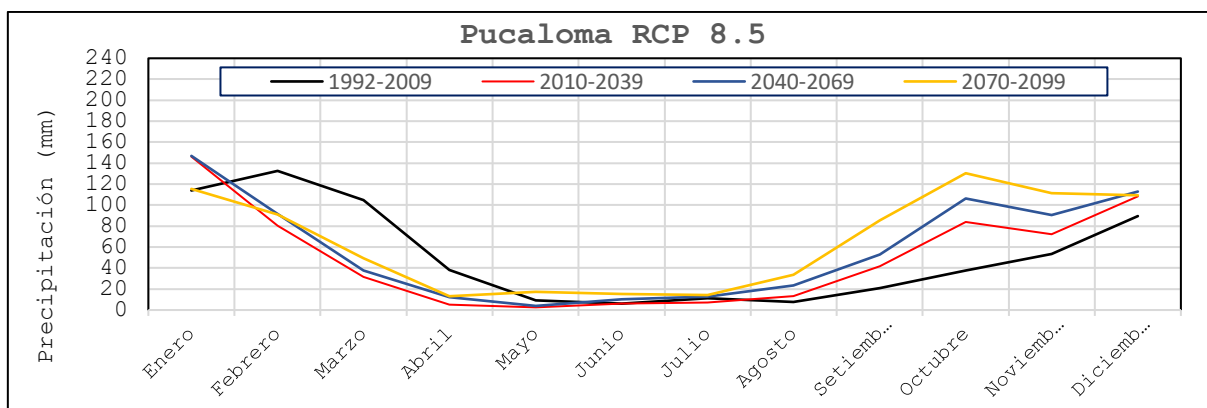
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Huamanga



Fuente: Elaboración propia

Figura 48

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Huamanga



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18, se muestra la variación de la precipitación en la estación Pucaloma, la comparación para obtener la variación se realiza teniendo en cuenta valores observados entre periodo 1992 – 2009 y los periodos proyectados mediante modelos climáticos globales RCP 4.5 y RCP 8.5 ACCESS1.0 (2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099), de las cuales se puede observar que hay mayor variación de precipitación en el mes de agosto 347.50% y menor variación de precipitación en el mes de abril -86.90% con escenario RCP 8.5. En las Figuras 46 y 47 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

Tabla 19

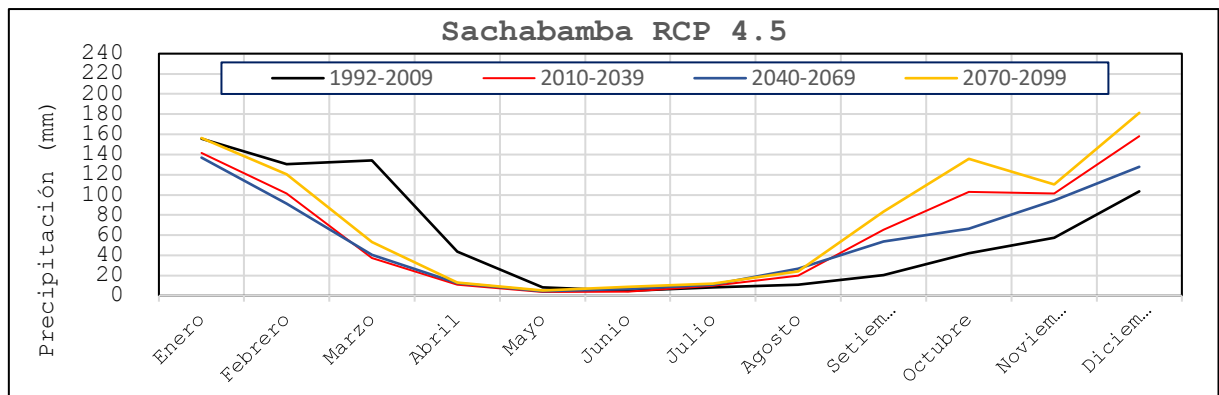
Variación de la precipitación – Estación Sachabamba

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2070-2099					
Enero	155.71	141.78	-8.94%	136.94	-12.05%	156.61	0.58%	144.44	-7.24%	146.01	-6.22%	112.79	-27.56%
Febrero	130.63	101.19	-22.54%	91.18	-30.20%	120.50	-7.75%	98.51	-24.59%	112.20	-14.11%	111.58	-14.58%
Marzo	134.08	37.41	-72.10%	40.47	-69.82%	53.50	-60.10%	36.99	-72.41%	43.96	-67.21%	57.43	-57.17%
Abril	43.50	10.79	-75.20%	12.30	-71.72%	12.93	-70.28%	5.59	-87.15%	14.41	-66.89%	15.42	-64.56%
Mayo	8.32	3.73	-55.15%	4.50	-45.92%	5.20	-37.45%	2.05	-75.38%	3.00	-63.95%	13.50	62.30%
Junio	4.89	4.21	-14.04%	6.54	33.70%	8.58	75.33%	4.15	-15.25%	7.62	55.78%	10.69	118.44%
Julio	8.29	9.98	20.49%	10.85	30.91%	12.23	47.59%	8.50	2.62%	15.30	84.67%	16.69	101.46%
Agosto	11.14	19.87	78.30%	26.64	139.09%	24.32	118.27%	13.93	25.05%	24.24	117.53%	33.38	199.58%
Setiembre	20.54	65.39	218.32%	53.54	160.65%	83.51	306.55%	51.66	151.47%	65.18	217.28%	106.48	418.36%
Octubre	42.02	102.76	144.53%	66.45	58.13%	135.97	223.54%	84.52	101.13%	107.62	156.10%	132.54	215.38%
Noviembre	57.55	101.59	76.53%	94.24	63.76%	110.26	91.60%	88.72	54.17%	109.61	90.47%	134.93	134.48%
Diciembre	103.24	158.19	53.22%	127.85	23.83%	181.30	75.61%	148.03	43.38%	153.01	48.20%	149.95	45.24%

Fuente: Elaboración propia

Figura 49

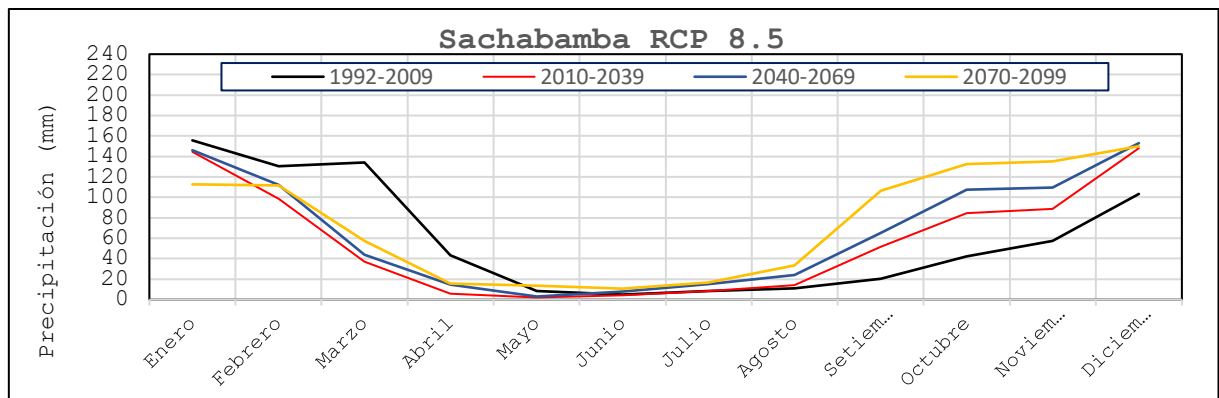
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Sachabamba



Fuente: Elaboración propia

Figura 50

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Sachabamba



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19, se muestra la variación de la precipitación en la estación Sachabamba, la comparación para obtener la variación se realiza teniendo en cuenta valores observados entre periodo 1992 – 2009 y los periodos proyectados mediante modelos climáticos globales RCP 4.5 y RCP 8.5 ACCESS1.0 (2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099), de las cuales se puede observar que hay mayor variación de precipitación en el mes de setiembre 418.36% y menor variación de precipitación en el mes de abril -87.15% con escenario RCP 8.5. En las Figuras 48 y 49 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

Tabla 20

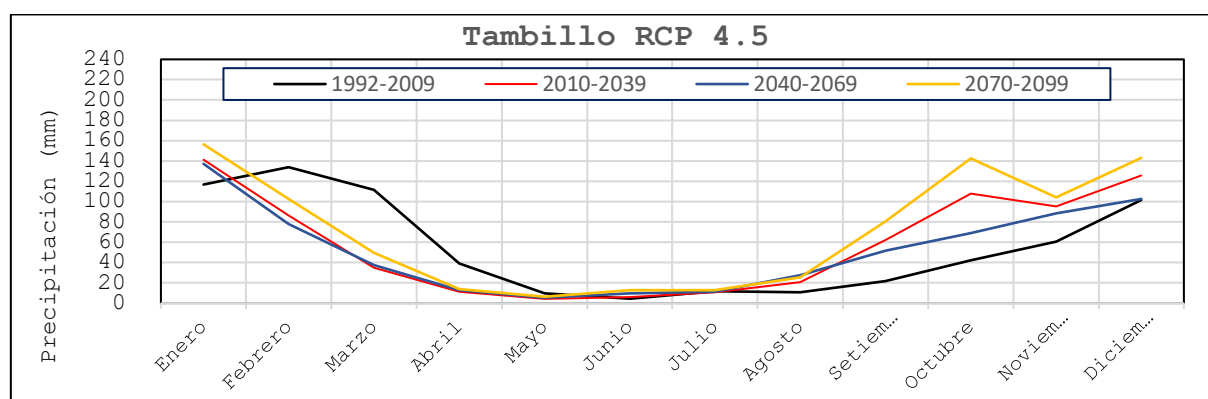
Variación de la precipitación – Estación Tambillo

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099						
Enero	116.56	141.21	21.15%	137.15	17.66%	156.33	34.12%	144.20	23.71%	145.10	24.49%	113.43	-2.69%
Febrero	133.85	86.21	-35.59%	77.71	-41.95%	102.56	-23.37%	83.94	-37.29%	95.69	-28.51%	95.06	-28.98%
Marzo	111.52	34.65	-68.93%	37.67	-66.22%	49.54	-55.58%	34.18	-69.35%	40.91	-63.32%	53.36	-52.15%
Abril	38.93	11.35	-70.84%	12.93	-66.79%	13.60	-65.06%	5.88	-84.91%	15.16	-61.07%	16.23	-58.31%
Mayo	9.49	4.19	-55.87%	5.29	-44.22%	6.28	-33.77%	2.19	-76.88%	3.50	-63.13%	15.75	66.07%
Junio	4.34	6.16	41.96%	9.55	120.08%	12.58	190.04%	6.00	38.44%	10.69	146.37%	15.33	253.51%
Julio	11.95	10.49	-12.25%	11.34	-5.13%	12.78	6.91%	8.93	-25.30%	15.94	33.34%	17.48	46.25%
Agosto	10.43	20.74	98.80%	27.59	164.53%	25.45	144.02%	14.37	37.75%	25.18	141.36%	35.11	236.64%
Setiembre	21.52	62.19	189.00%	51.81	140.79%	80.45	273.87%	49.65	130.72%	62.84	192.05%	102.09	374.46%
Octubre	42.23	107.58	154.72%	68.97	63.30%	142.28	236.88%	88.40	109.32%	112.26	165.80%	138.16	227.12%
Noviembre	60.41	95.19	57.57%	88.23	46.05%	103.88	71.95%	82.73	36.94%	103.74	71.73%	127.91	111.73%
Diciembre	101.56	125.91	23.98%	102.52	0.94%	143.25	41.05%	117.76	15.95%	122.52	20.64%	118.96	17.13%

Fuente: Elaboración propia

Figura 51

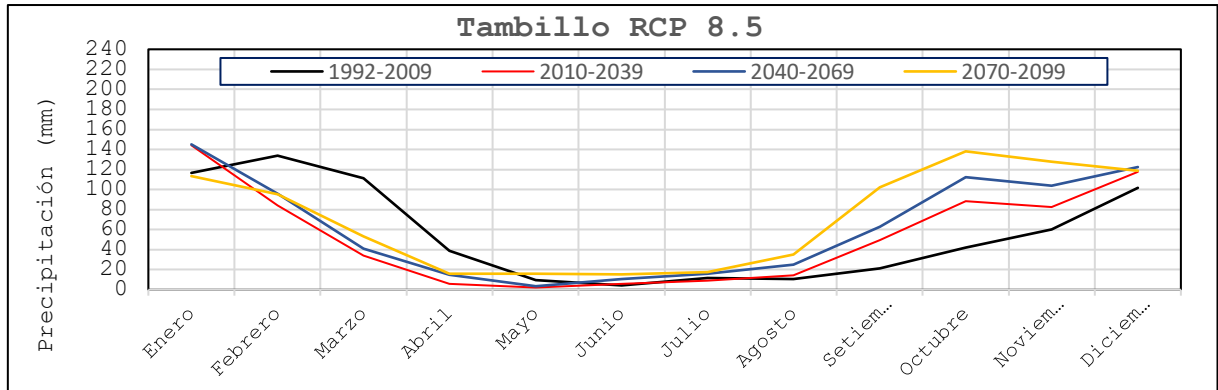
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Tambillo



Fuente: Elaboración propia

Figura 52

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Tambillo

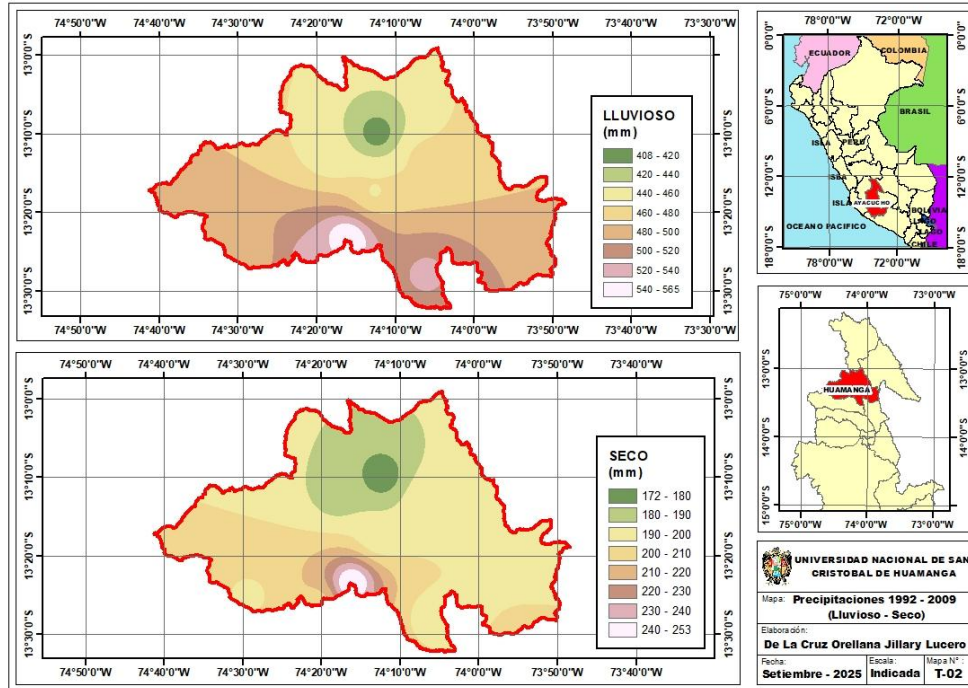


Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20, se muestra la variación de la precipitación en la estación Tambillo, la comparación para obtener la variación se realiza teniendo en cuenta valores observados entre periodo 1992 – 2009 y los periodos proyectados mediante modelos climáticos globales RCP 4.5 y RCP 8.5 ACCESS1.0 (2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099), de las cuales se puede observar que hay mayor variación de precipitación en el mes de setiembre 374.46% y menor variación de precipitación en el mes de abril -84.91% con escenario RCP 8.5. En las Figuras 50 y 51 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

Figura 53

Precipitaciones 1992 – 2009 (lluvioso – seco)



Fuente: Elaboración propia

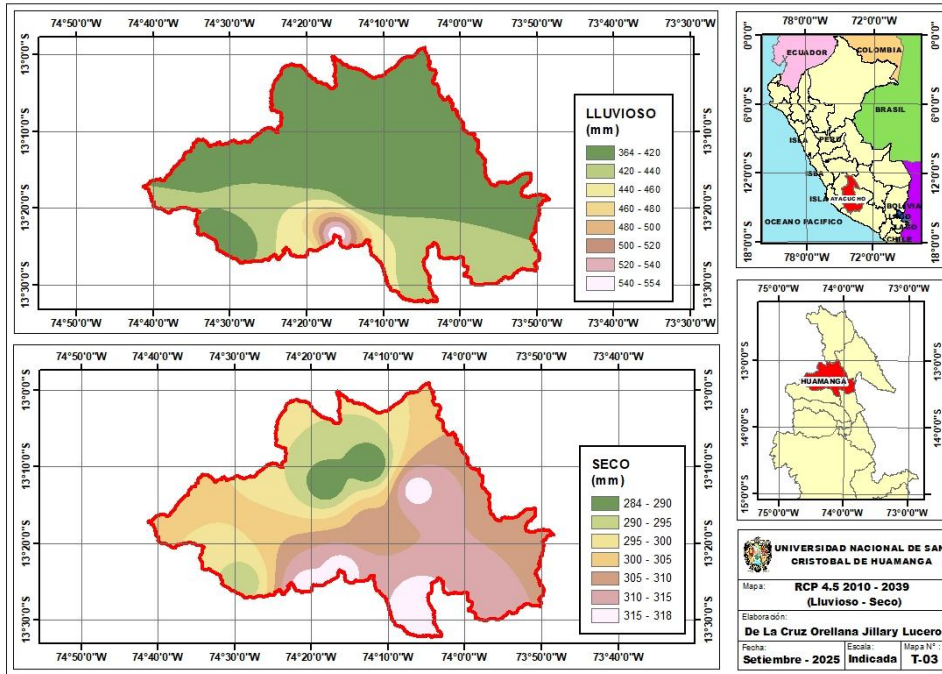
En la figura 53, se muestra la precipitación media de precipitaciones 1992 -2009 (lluvioso – seco), este periodo es la base para la comparación con las precipitaciones proyectados, para poder visualizar la variación de las precipitaciones tanto en épocas de lluvia y épocas secas.

En la figura 54, se muestra la precipitación media de precipitaciones 2010 -2039 (lluvioso – seco) con escenario RCP 4.5, se puede apreciar más del 50% del área territorial de la provincia de Huamanga tiene un periodo lluvioso con 364 – 420 mm de precipitaciones (las más bajas) y también en más del 50% del territorio de la provincia de Huamanga en época seca se tiene 310 – 318 mm de precipitaciones (las más altas).

En la figura 55, se muestra la precipitación media de precipitaciones 2010 -2039 (lluvioso – seco) con escenario RCP 8.5, se puede apreciar más del 50% del área territorial de la provincia de Huamanga tiene un periodo lluvioso con 356 – 400 mm de precipitaciones

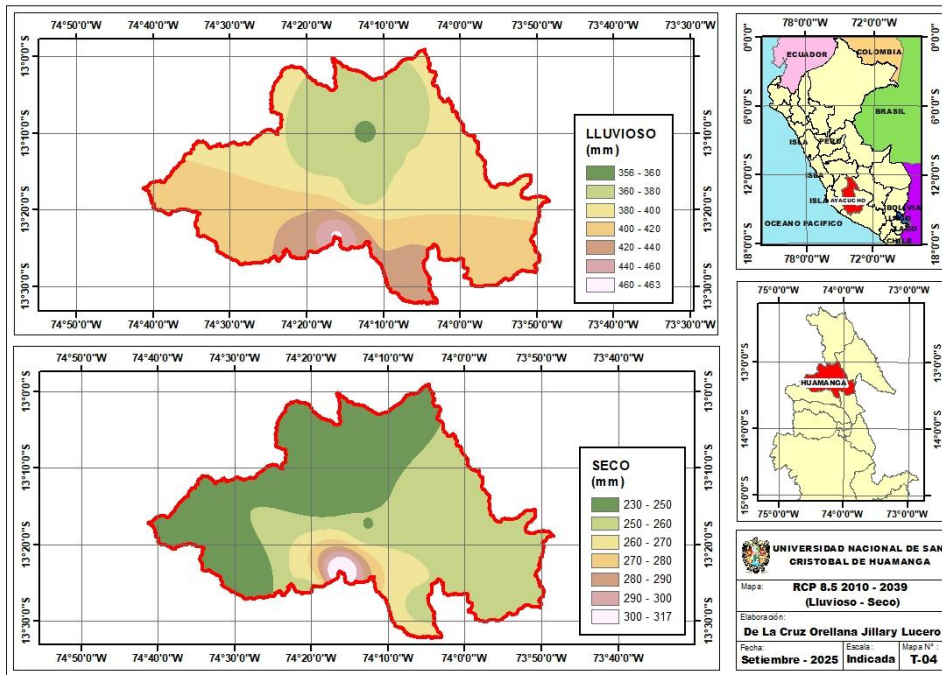
(las más bajas) y también en más del 50% del territorio de la provincia de Huamanga en época seca se tiene 230 – 260 mm de precipitaciones (las más bajas).

Figura 54
RCP 4.5 2010 – 2039 (lluvioso – seco)



Fuente: Elaboración propia

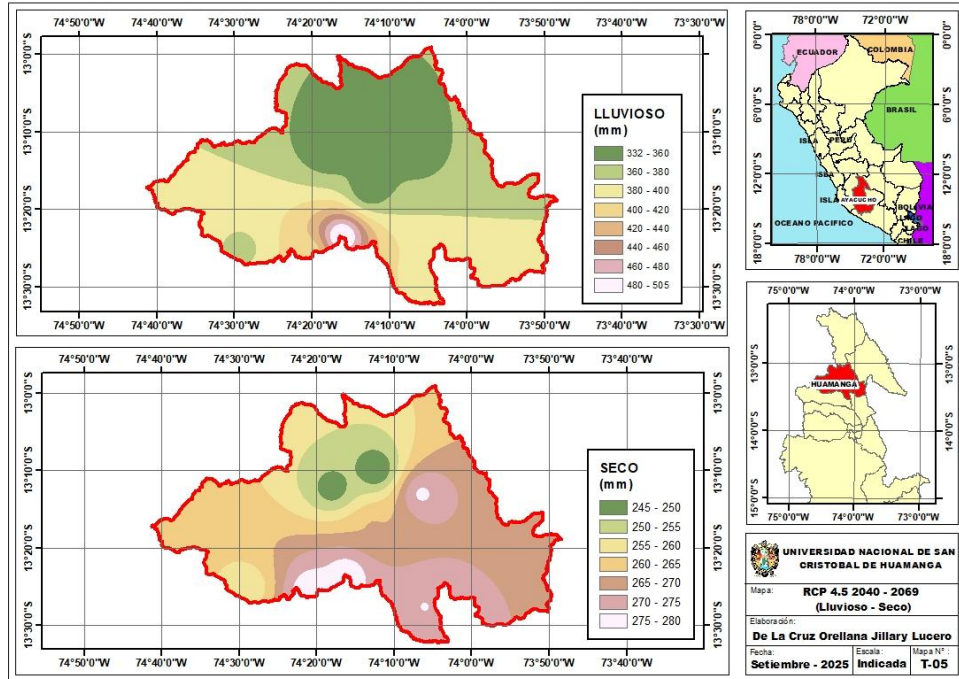
Figura 55
RCP 8.5 2010 – 2039 (lluvioso – seco)



Fuente: Elaboración propia

Figura 56

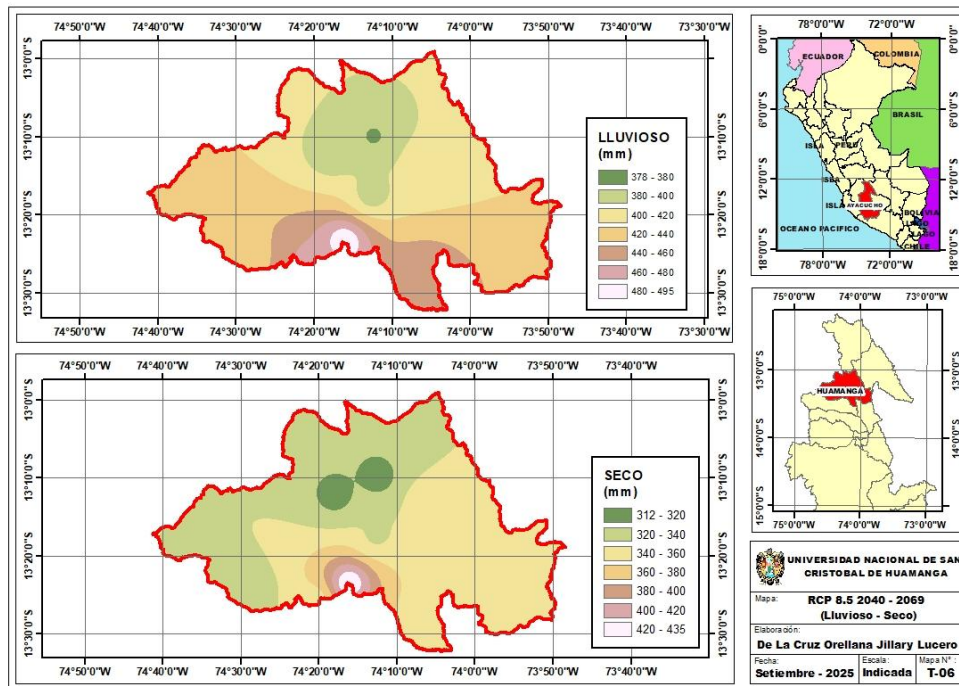
RCP 4.5 2040 – 2069 (lluvioso – seco)



Fuente: Elaboración propia

Figura 57

RCP 8.5 2040 – 2069 (lluvioso – seco)



Fuente: Elaboración propia

En la figura 56, se muestra la precipitación media de precipitaciones 2040 -2069 (lluvioso – seco) con escenario RCP 4.5, se puede apreciar más del 50% del área territorial de la provincia de Huamanga tiene un periodo lluvioso con 332 – 380 mm de precipitaciones (las más bajas) y también en más del 50% del territorio de la provincia de Huamanga en época seca se tiene 265 – 280 mm de precipitaciones (las más altas).

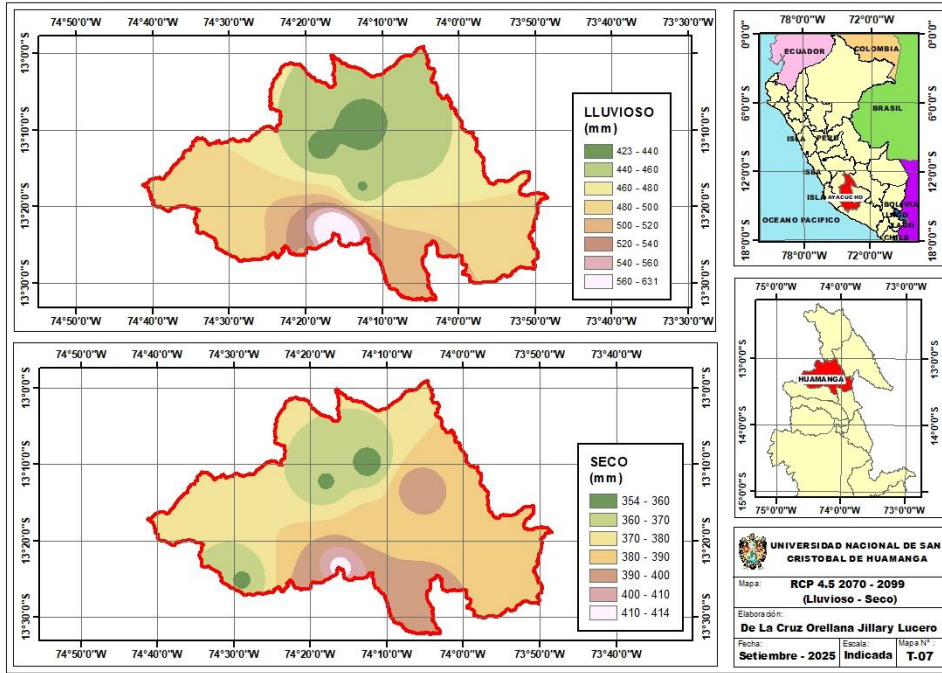
En la figura 57, se muestra la precipitación media de precipitaciones 2040 -2069 (lluvioso – seco) con escenario RCP 8.5, se puede apreciar más del 50% del área territorial de la provincia de Huamanga tiene un periodo lluvioso con 312 – 360 mm de precipitaciones (las más bajas) y también en más del 50% del territorio de la provincia de Huamanga en época seca se tiene 340 – 435 mm de precipitaciones (las más altas).

En la figura 58, se muestra la precipitación media de precipitaciones 2070 -2099 (lluvioso – seco) con escenario RCP 4.5, se puede apreciar más del 50% del área territorial de la provincia de Huamanga tiene un periodo lluvioso con 423 – 480 mm de precipitaciones (las más bajas) y también en más del 50% del territorio de la provincia de Huamanga en época seca se tiene 380 – 414 mm de precipitaciones (las más bajas).

En la figura 59, se muestra la precipitación media de precipitaciones 2070 -2099 (lluvioso – seco) con escenario RCP 8.5, se puede apreciar más del 50% del área territorial de la provincia de Huamanga tiene un periodo lluvioso con 357 – 400 mm de precipitaciones (las más bajas) y también en más del 50% del territorio de la provincia de Huamanga en época seca se tiene 380 – 414 mm de precipitaciones (las más altas).

Figura 58

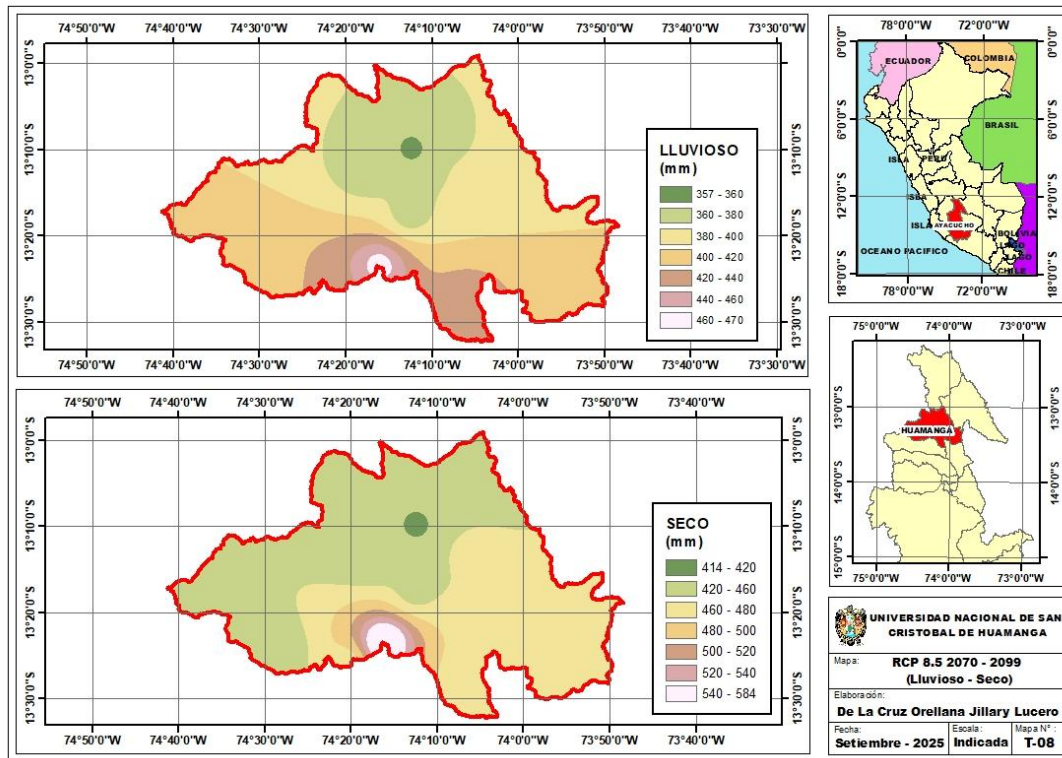
RCP 4.5 2070 – 2099 (lluvioso – seco)



Fuente: Elaboración propia

Figura 59

RCP 8.5 2070 – 2099 (lluvioso – seco)



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS

3.1.1. Homogeneidad y completación de datos de precipitación en las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la provincia de Huamanga.

Se completaron las series de datos de precipitación de ocho estaciones meteorológicas de la provincia de Huamanga (Allpachaca, Chiara, Choccoro, Cuchoquesera, Huamanga, Pucaloma, Sachabamba y Tambillo) para el periodo 1992–2018, utilizando regresión lineal múltiple y estaciones altamente correlacionadas para llenar vacíos de información. Posteriormente, se aplicaron pruebas de homogeneidad (test de Pettitt) y consistencia estadística (pruebas T y F), identificando a la estación Allpachaca como la de mayor confiabilidad y seleccionándola como referencia. Una vez corregidas, todas las estaciones cumplieron los criterios de homogeneidad y consistencia, generando series de precipitación robustas y listas para el análisis de proyecciones climáticas.

Con respecto a las tendencias, no se realizó el análisis, puesto que, por la gran variabilidad climática de los últimos 20 años, hay precipitaciones máximas en tiempos de estiajes e intensidad baja de lluvia en tiempos lluviosos. Por ello, no sería adecuado corregir los registros de precipitación por tendencias.

3.1.2. Análisis de tendencia de la precipitación.

En los últimos años, la práctica del análisis de tendencias en la precipitación ha sido objeto de cuestionamientos, a pesar de que aún se realizan estudios enfocados en la variabilidad de las precipitaciones en distintas regiones. Sin embargo, las tendencias observadas en estos estudios muestran una amplia gama de resultados que no siempre concuerdan en cuanto a la dirección o la magnitud de los cambios en la precipitación.

Por un lado, múltiples investigaciones han documentado incrementos significativos en la precipitación a lo largo de varias décadas. Un estudio de Hussain et al. indica que, entre 1960 y 2016, las precipitaciones anuales en Pakistán presentaron un aumento notable a un ritmo de 10.89 mm por década (Hussain, et al., 2022). Asimismo, Karimi et al. demostraron un incremento en los índices extremos de precipitación en regiones áridas y semiáridas de Irán utilizando un enfoque de análisis de tendencias que combina regresión lineal y logística (Karimi, et al., 2021). Este tipo de estudios sugiere que, aunque algunos análisis generales pueden no reflejar tendencias claras, los estudios locales y de alta resolución tienden a mostrar aumentos significativos en ciertos contextos geográficos.

Por tal motivo no es adecuado corregir datos de precipitación mediante análisis de tendencia.

Tabla 21

Análisis de consistencia datos corregidos – Prueba T (media) y F (desviación estándar)

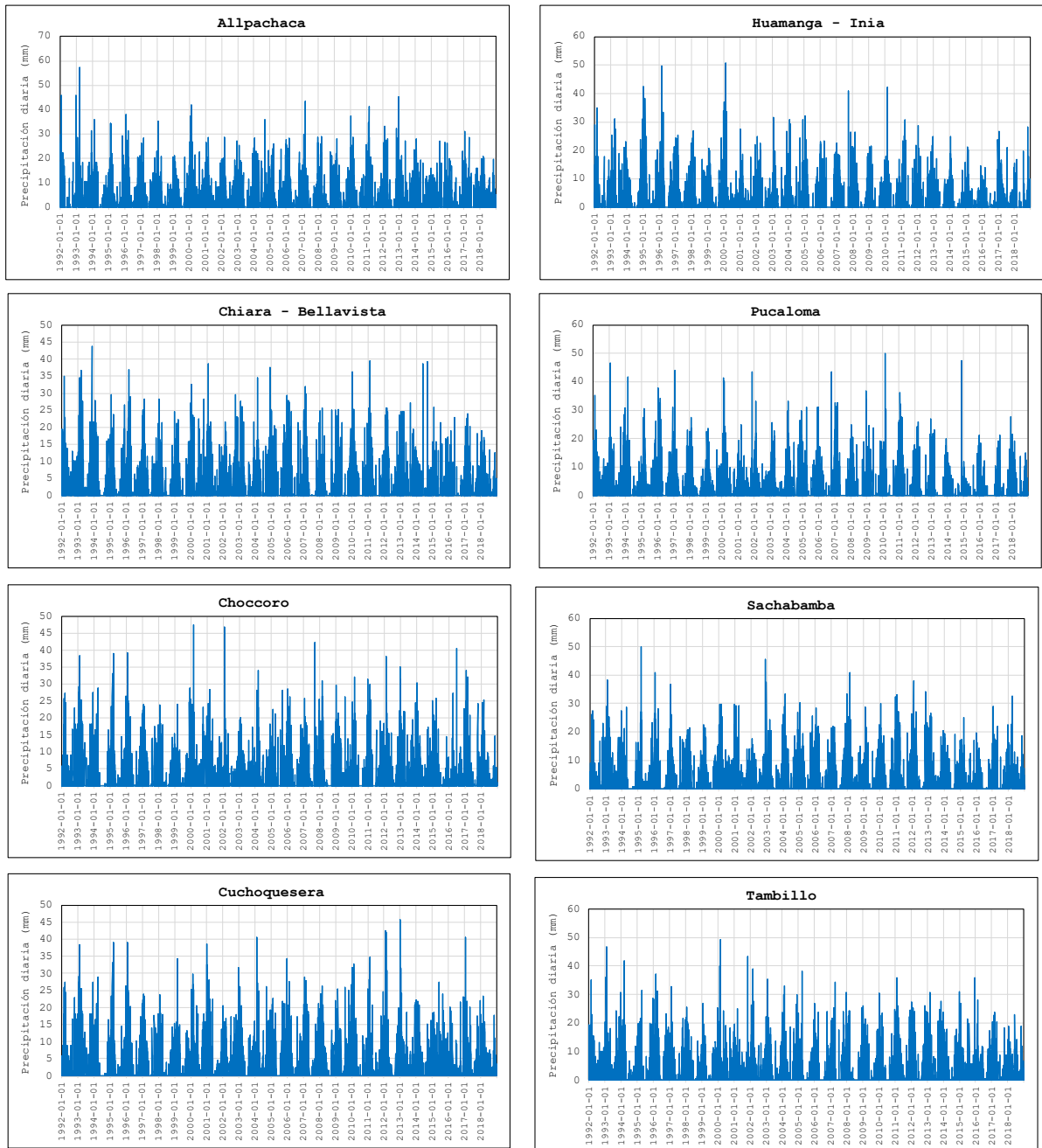
Estación	Inicio	Fin	Datos Validos	T Pvalue	Cumple Med	F Pvalor	Cumple Var	Corrige
Allpachaca	01/01/1992	31/12/2018	9862	1.000000	True	1.000000	True	No
Chiara - Bellavista	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.054212	True	0.056585	True	No
Choccoro	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.069106	True	0.059145	True	No
Cuchoquesera	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.058340	True	0.056541	True	No
Huamanga - Inia	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.062500	True	0.065000	True	No
Pucaloma	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.052842	True	0.058412	True	No
Sachabamba	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.056540	True	0.056054	True	No
Tambillo	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.055410	True	0.056410	True	No

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 21, se aprecia los resultados de la corrección de datos y análisis de consistencia, donde se muestra las estaciones en estudio son homogéneos y consistentes para poder realizar proyecciones climáticas futuras. donde el Pvalor es mayor a 0.05 para T y F.

Figura 60

Estaciones meteorológicas de precipitaciones corregidas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 60, se aprecia que después de haber realizado la corrección de datos se evidencia que los saltos han reducido significativamente, esto se puede apreciar en las ocho estaciones meteorológicas en estudio.

Los resultados de homogeneidad y completación confirman que la información de precipitación utilizada es estadísticamente confiable para la provincia de Huamanga. La selección de Allpachaca como estación de referencia fue clave, ya que presentó la serie más consistente según el test de Pettitt y las pruebas T y F, lo que coincide con la metodología recomendada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para análisis de cambio climático. La corrección y completación de datos permiten reducir sesgos y errores en la calibración de los modelos, garantizando que las proyecciones futuras se basen en un histórico de datos robusto. Esto refuerza la importancia de contar con redes meteorológicas bien mantenidas para la planificación hídrica y la investigación científica en zonas altoandinas.

3.1.3. Downscaling de precipitación de modelos climáticos globales.

el estudio de Khan y Koch (2018) destaca que el downscaling de datos de precipitación dinámicamente ajustados desde modelos climáticos globales (GCMs) fue realizado utilizando datos de observación durante varios períodos, pero enfatiza la necesidad de tener una cobertura histórica amplia para mejorar la precisión de las proyecciones climáticas futuras (Khan y Koch, 2018). Este enfoque se alinea con la idea de que, aunque 15 años podrían servir como un umbral mínimo para algunas estimaciones iniciales, un marco estadístico más robusto se obtiene al usar al menos tres décadas de datos (30 años) para capturar mejor la variabilidad climática y evitar sobreajustes en situaciones extremas.

La técnica de downscaling estadístico mediante el método de Linear Scaling se está utilizando con creciente frecuencia para ajustar las precipitaciones diarias. Este enfoque permite corregir sesgos en los datos de modelos climáticos a gran escala (GCM) y transformarlos en estimaciones más precisas a nivel local.

Los métodos de downscaling estadístico, como Linear Scaling, funcionan esencialmente a través de la aplicación de ajustes lineales a las precipitaciones simuladas

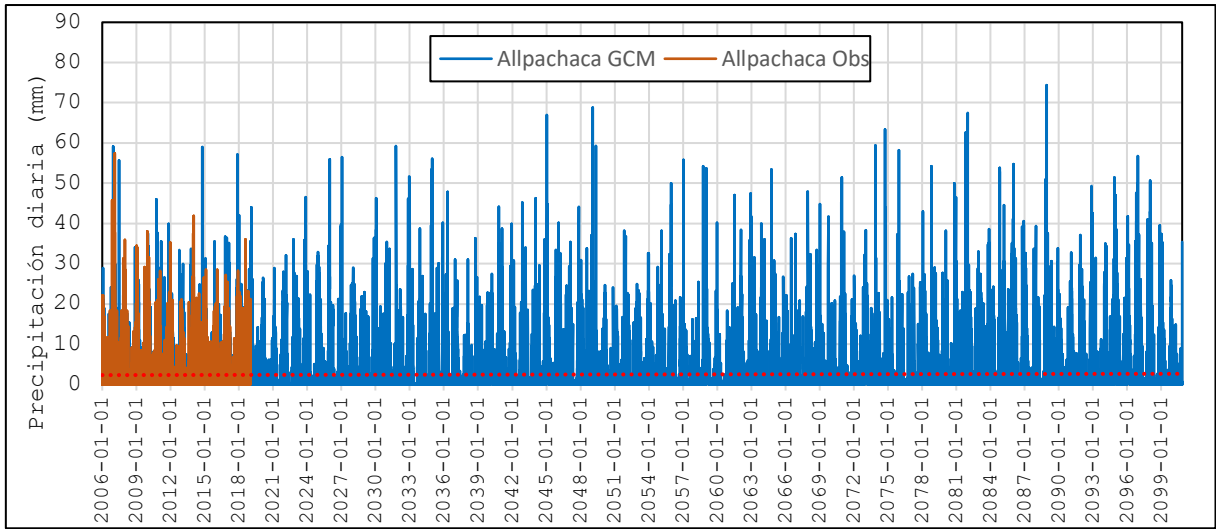
por los GCM. Por ejemplo, el estudio de Olmo y Bettolli (2021) demostró que este enfoque puede mejorar la simulación de precipitaciones diarias, especialmente al enfocarse en eventos extremos a lo largo de diferentes periodos climáticos (Olmo y Bettolli, 2021). Este trabajo resalta la capacidad de los modelos estadísticos para abordar las limitaciones de los GCM al captar adecuadamente la variabilidad de las precipitaciones a nivel local.

Se aplicó la técnica de downscaling estadístico mediante el método Linear Scaling (LS) a múltiples Modelos Climáticos Globales (ACCESS1.0, BCC-CSM1.1, CCSM4, CNRM-CM5, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, MIROC5), ajustando los datos proyectados a escala local para cada estación meteorológica. Este proceso permitió obtener proyecciones de precipitación mensual bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, evidenciando una redistribución de las lluvias: disminuciones marcadas en la temporada húmeda (con valores de hasta -62.6 % en marzo y -73.5 % en mayo en Allpachaca bajo RCP 8.5) y aumentos significativos en temporada seca (por ejemplo, +264.7 % en septiembre en Allpachaca y +148.9 % en Cuchoquesera). Estos resultados reflejan un patrón de lluvias más irregular e intenso, que podría afectar la disponibilidad hídrica y la planificación agrícola.

En las siguientes figuras se puede mostrar cómo se baja la escala de los modelos climáticos globales con la aplicación de Downscaling tomando como insumo datos observados de estaciones meteorológicas.

Figura 61

Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Allpachaca (2006 – 2100)

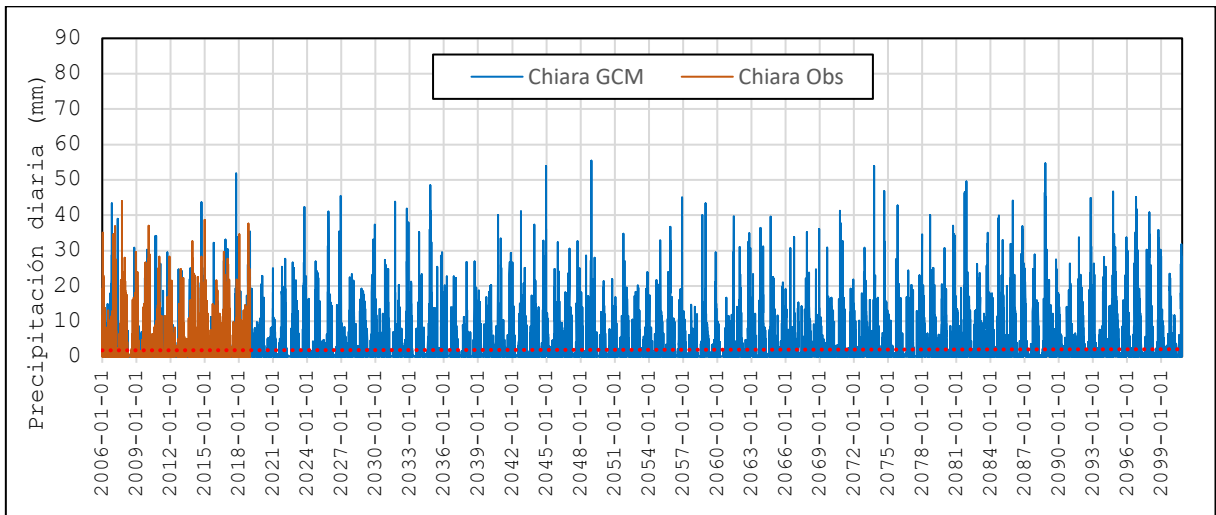


Fuente: Elaboración propia

En la figura 61, lo que se muestra en color azul (Allpachaca GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Allpachaca Obs) las precipitaciones observadas en la estación Allpachaca.

Figura 62

Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Chiara (2006 – 2100)

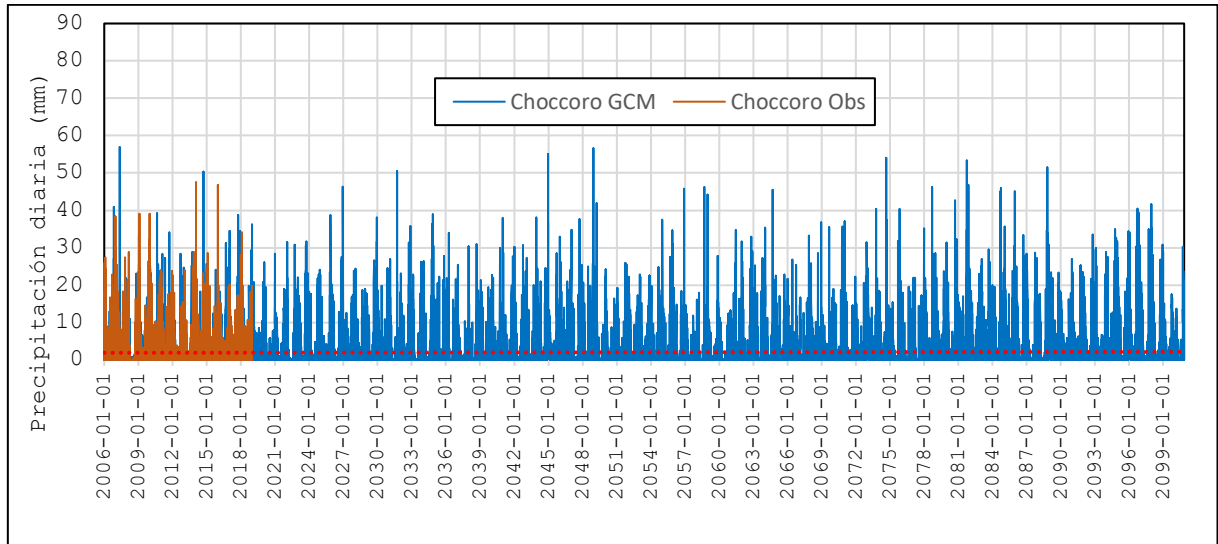


Fuente: Elaboración propia

En la figura 62, lo que se muestra en color azul (Chiara GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Chiara Obs) las precipitaciones observadas en la estación Chiara.

Figura 63

Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Choccoro (2006 – 2100)



Fuente: Elaboración propia

En la figura 63, lo que se muestra en color azul (Choccoro GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Choccoro Obs) las precipitaciones observadas en la estación Choccoro.

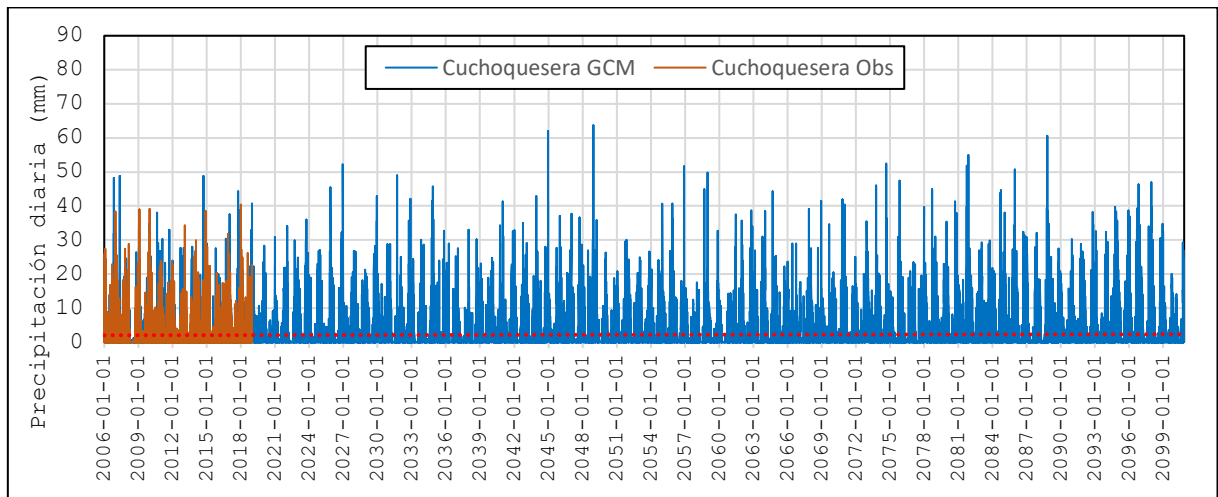
En la figura 64, lo que se muestra en color azul (Cuchoquesera GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Cuchoquesera Obs) las precipitaciones observadas en la estación Cuchoquesera.

En la figura 65, lo que se muestra en color azul (Huamanga GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Huamanga Obs) las precipitaciones observadas en la estación Huamanga.

En la figura 66, lo que se muestra en color azul (Pucaloma GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Pucaloma Obs) las precipitaciones observadas en la estación Pucaloma.

Figura 64

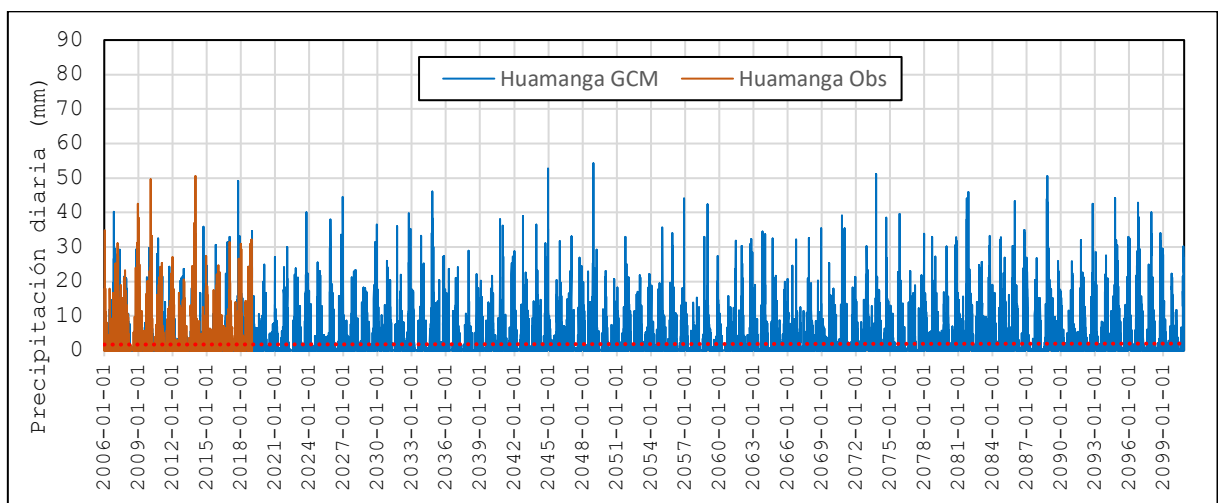
Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Cuchoquesera (2006 – 2100)



Fuente: Elaboración propia

Figura 65

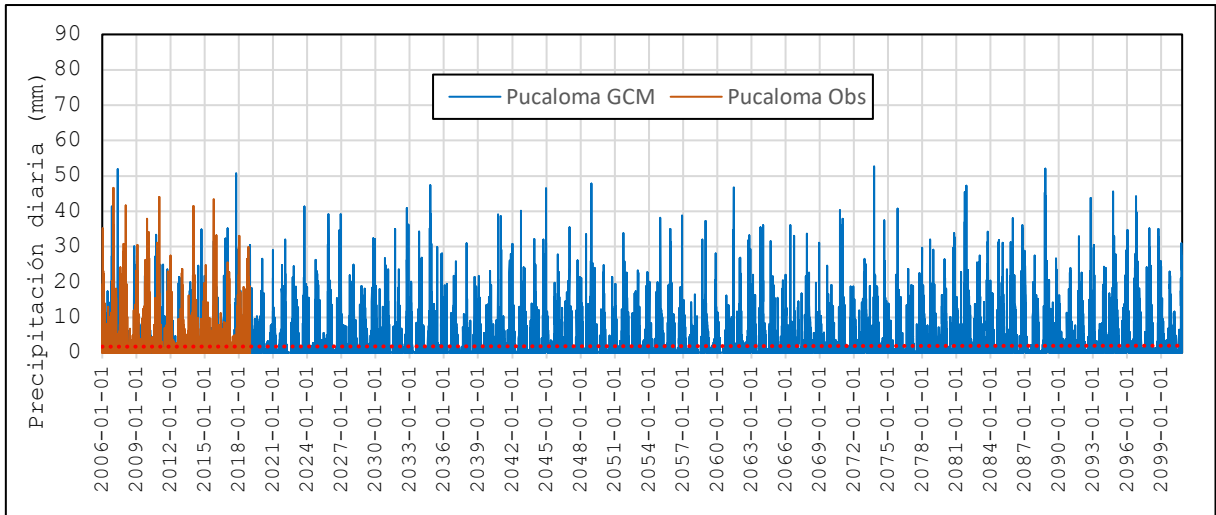
Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Huamanga (2006 – 2100)



Fuente: Elaboración propia

Figura 66

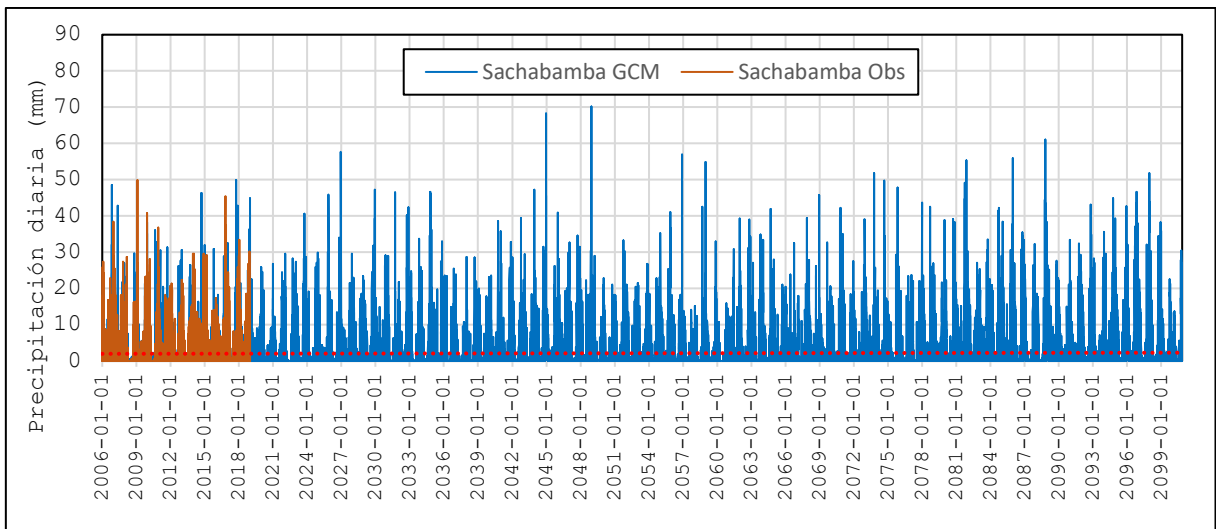
Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Pucaloma (2006 – 2100)



Fuente: Elaboración propia

Figura 67

Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Sachabamba (2006 – 2100)

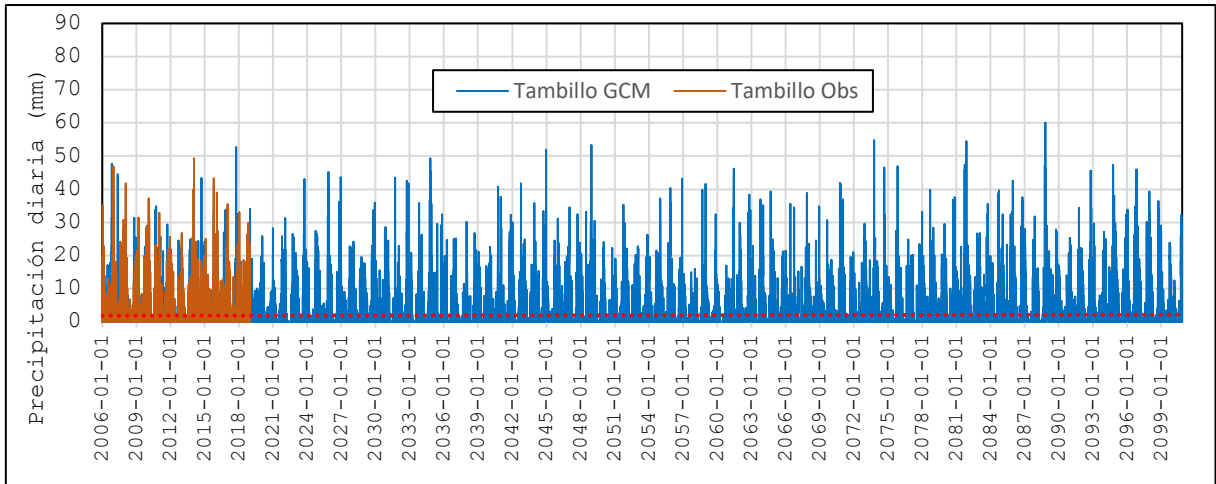


Fuente: Elaboración propia

En la figura 67, lo que se muestra en color azul (Sachabamba GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Sachabamba Obs) las precipitaciones observadas en la estación Sachabamba.

Figura 68

Downscaling ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Tambillo (2006 – 2100)

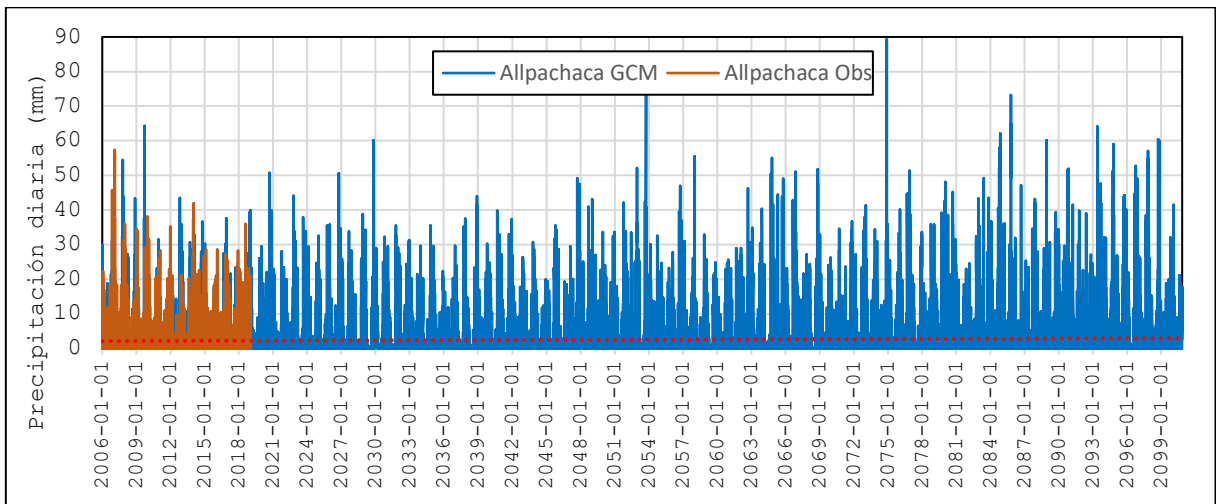


Fuente: Elaboración propia

En la figura 68, lo que se muestra en color azul (Tambillo GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 4.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Tambillo Obs) las precipitaciones observadas en la estación Tambillo.

Figura 69

Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Allpachaca (2006 – 2100)

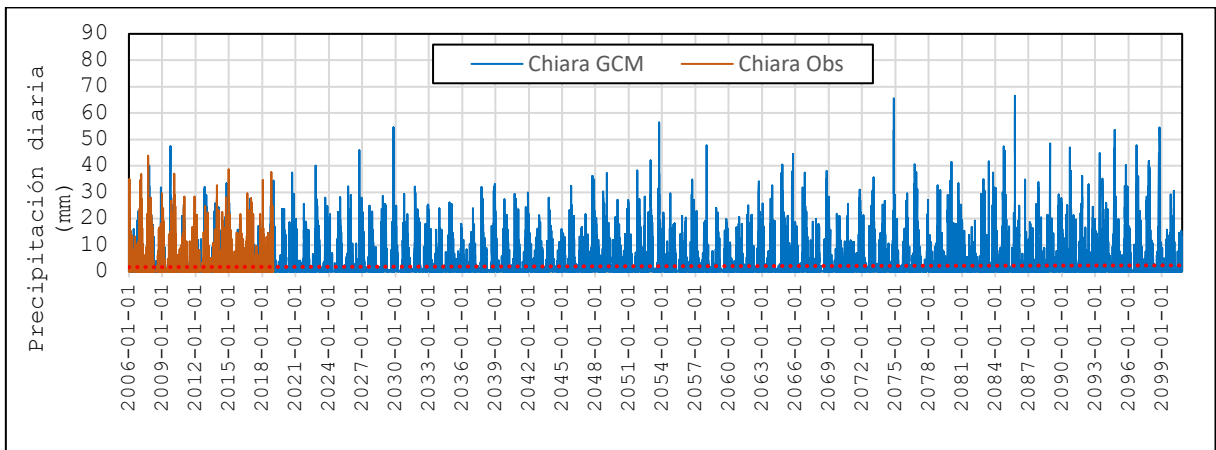


Fuente: Elaboración propia

En la figura 69, lo que se muestra en color azul (Allpachaca GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Allpachaca Obs) las precipitaciones observadas en la estación Allpachaca.

Figura 70

Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Chiara (2006 – 2100)

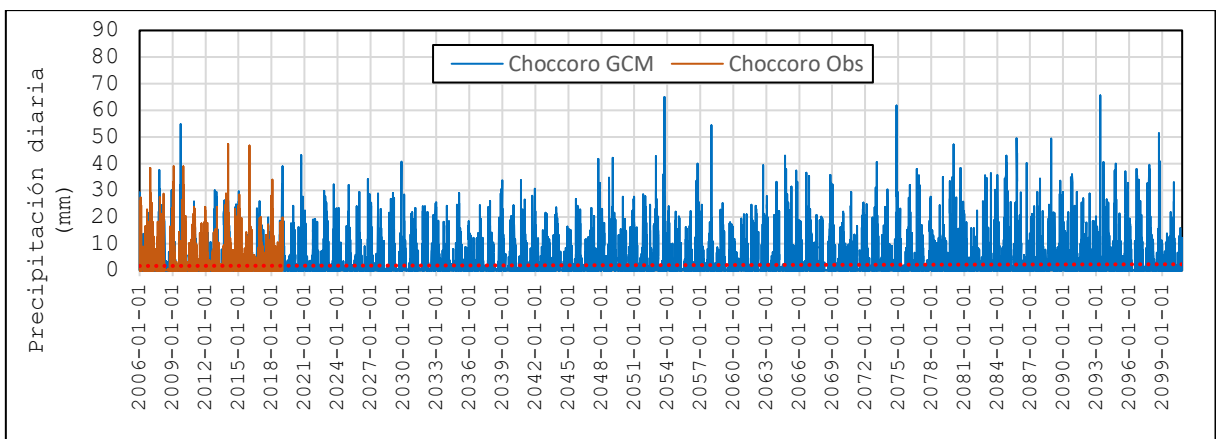


Fuente: Elaboración propia

En la figura 70, lo que se muestra en color azul (Chiara GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Chiara Obs) las precipitaciones observadas en la estación Chiara.

Figura 71

Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Choccoro (2006 – 2100)

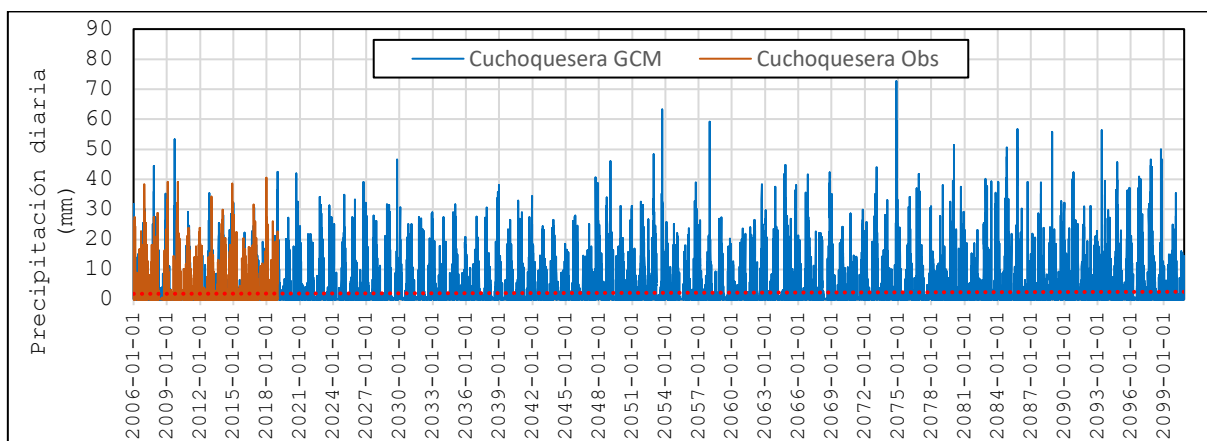


Fuente: Elaboración propia

En la figura 71, lo que se muestra en color azul (Choccoro GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Choccoro Obs) las precipitaciones observadas en la estación Choccoro.

Figura 72

Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Cuchoquesera (2006 – 2100)



Fuente: Elaboración propia

En la figura 72, lo que se muestra en color azul (Cuchoquesera GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Cuchoquesera Obs) las precipitaciones observadas en la estación Cuchoquesera.

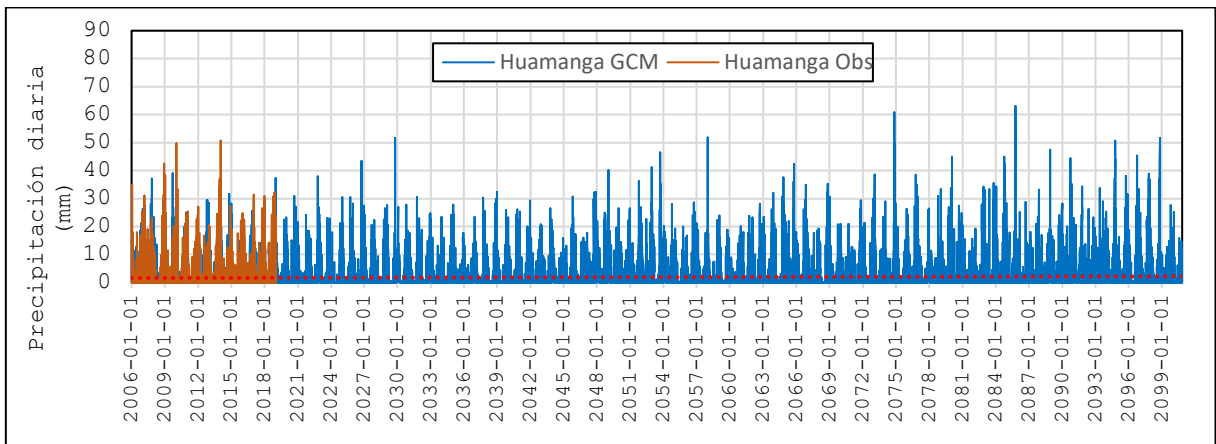
En la figura 73, lo que se muestra en color azul (Huamanga GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Huamanga Obs) las precipitaciones observadas en la estación Huamanga.

En la figura 74, lo que se muestra en color azul (Pucaloma GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Pucaloma Obs) las precipitaciones observadas en la estación Pucaloma.

En la figura 75, lo que se muestra en color azul (Sachabamba GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Sachabamba Obs) las precipitaciones observadas en la estación Sachabamba.

Figura 73

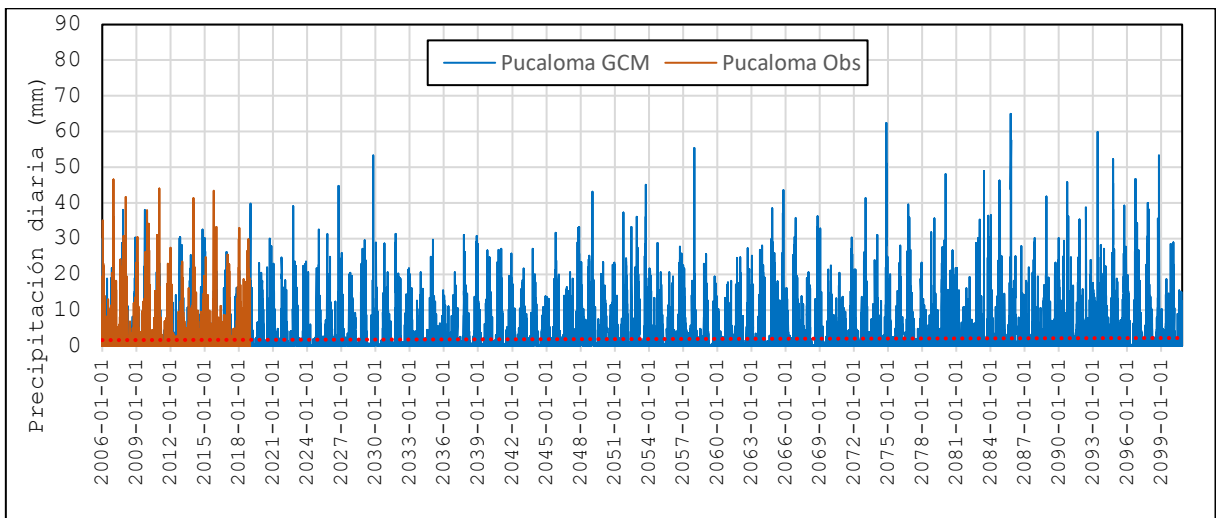
Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Huamanga (2006 – 2100)



Fuente: Elaboración propia

Figura 74

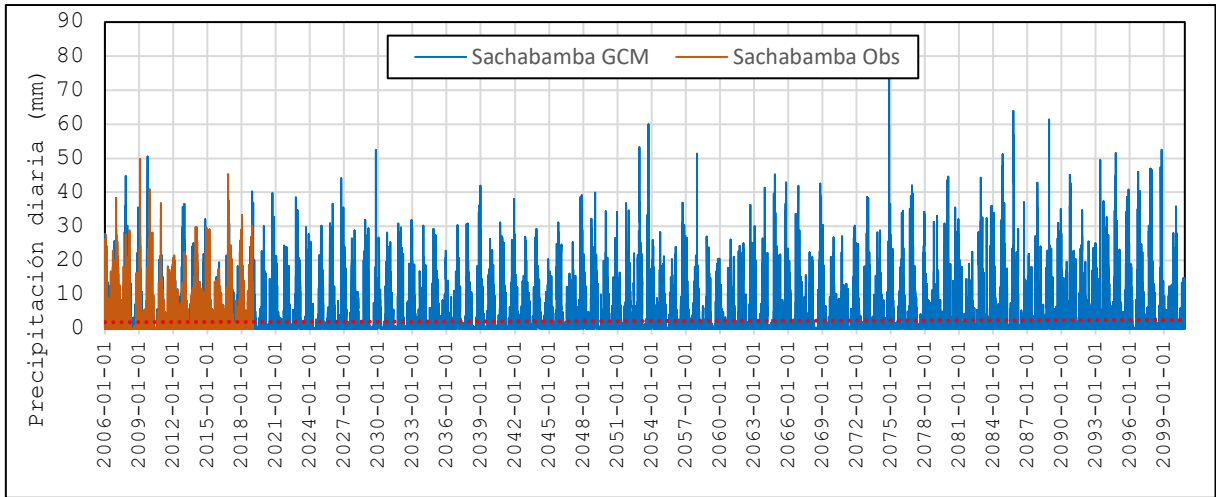
Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Pucaloma (2006 – 2100)



Fuente: Elaboración propia

Figura 75

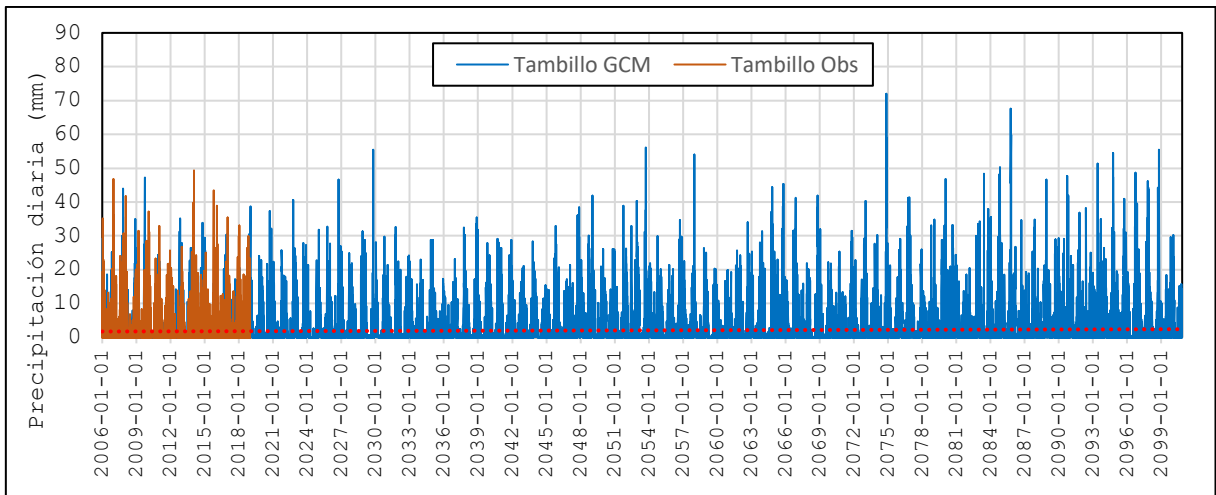
Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Sachabamba (2006 – 2100)



Fuente: Elaboración propia

Figura 76

Downscaling ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Tambillo (2006 – 2100)



Fuente: Elaboración propia

En la figura 76, lo que se muestra en color azul (Tambillo GCM) son las proyecciones futuras al año 2099 RCP 8.5, que fueron estimados mediante downscaling estadístico y lo que está de color ladrillo (Tambillo Obs) las precipitaciones observadas en la estación Tambillo.

El uso del downscaling estadístico (Linear Scaling) permitió reducir el sesgo inherente de los Modelos Climáticos Globales y adaptar sus resultados a la realidad local de la provincia de Huamanga, lo que mejora la representatividad de las proyecciones. Los resultados muestran una redistribución estacional de las lluvias, coherente con investigaciones previas del IPCC (AR5), que reportan incrementos de lluvias extremas en meses secos y disminuciones en meses húmedos en regiones andinas. Estas proyecciones resaltan la urgencia de desarrollar sistemas de almacenamiento de agua para compensar los déficits en temporada de cultivo.

3.1.4. Modelo climático global con mejor ajuste estadístico para predicción de precipitación con incidencia de cambio climático.

Se evaluó el desempeño de los Modelos Climáticos Globales aplicando métricas estadísticas como el coeficiente de correlación (R), el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y el error cuadrático medio (RMSE), identificando que el modelo ACCESS1.0 presentaba el mejor ajuste para las condiciones locales. Para ello se ha utilizado los criterios de rendimiento de modelos hidrológicos.

La tabla 22, presenta las métricas de desempeño para la comparación entre datos observados y estimados, las utilizadas en la investigación son: R^2 , NASH y PBIAS, estas métricas servirán para poder elegir cual es el modelo climático que se ajusta mejor a los datos observados de precipitación de las ocho estaciones meteorológicas en estudio.

Tabla 22*Criterios de rendimiento de modelos hidrológicos*

Estadístico	Valores	Calificación de rendimiento
Coeficiente de Nash - Sutcliffe (NSE)	$0.75 < NSE \leq 1.00$	Excelente
	$0.65 < NSE \leq 0.75$	Bueno
	$0.50 < NSE \leq 0.65$	Satisfactorio
	$0.40 < NSE \leq 0.50$	Aceptable
	$NSE \leq 0.40$	Malo
Coeficiente de correlación (r)	$r \geq 0.5$	Satisfactorio
	$0 \leq r < 0.5$	Malo
Porcentaje del BIAS	$PBIAS < \pm 10$	Excelente
	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	Bueno
	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$	Satisfactorio
	$PBIAS \geq \pm 25$	Malo
Raíz cuadrada del error medio cuadrático (RMSE)	Valor inferior a la mitad de la desviación estándar	Satisfactorio
Relación entre la raíz cuadrada del error medio cuadrático y la desviación estándar. $RSR = RMSE / DESVESTA$	$0.00 < RSR < 0.50$	Excelente
	$0.50 < RSR < 0.60$	Bueno
	$0.60 < RSR < 0.70$	Satisfactorio
	$RSR > 0.70$	Malo

Fuente: (Moriassi, et al., 2007)

Para condiciones de escenario de RCP 4.5, para la estación Allpachaca se tiene las siguientes métricas de desempeño estadístico ($R^2 = 0.922$, NASH = 0.823 y PBIAS = -19.914), para estación Chiara ($R^2 = 0.885$, NASH = 0.783 y PBIAS = -20.633), estación Choccoro ($R^2 = 0.939$, NASH = 0.879 y PBIAS = -19.83), estación Cuchoquesera ($R^2 = 0.941$, NASH = 0.890 y PBIAS = -17.353), estación Huamanga ($R^2 = 0.894$, NASH = 0.818 y PBIAS = -19.285), estación Pucaloma ($R^2 = 0.928$, NASH = 0.870 y PBIAS = -19.507), estación Sachabamba ($R^2 = 0.945$, NASH = 0.879 y PBIAS = -19.528) y estación Tambillo ($R^2 = 0.916$, NASH = 0.838 y PBIAS = -18.787) y para condiciones de escenario de RCP 8.5, para la estación Allpachaca se tiene las siguientes métricas de desempeño estadístico ($R^2 = 0.931$, NASH = 0.925 y PBIAS = -3.6), para estación Chiara ($R^2 = 0.93$, NASH = 0.927 y PBIAS = -3.2), estación Choccoro ($R^2 = 0.927$, NASH = 0.926 y PBIAS = -3.195), estación Cuchoquesera ($R^2 = 0.931$, NASH = 0.931 y PBIAS = -1.344), estación Huamanga ($R^2 = 0.925$, NASH = 0.367 y PBIAS = -2.579), estación Pucaloma ($R^2 = 0.927$, NASH =

0.926 y PBIAS = -3.137), estación Sachabamba ($R^2 = 0.925$, NASH = 0.925 y PBIAS = -2.692) y estación Tambillo ($R^2 = 0.928$, NASH = 0.925 y PBIAS = -2.607).

El reporte de todos los resultados está en el Anexo 4.

Por este motivo, ACCESS1.0 fue seleccionado para la proyección final de precipitación en la provincia de Huamanga, generando series futuras hasta el año 2100 que reflejan de manera consistente los posibles escenarios de variabilidad climática, esenciales para la toma de decisiones en gestión hídrica y adaptación al cambio climático.

3.1.5. Predicciones de precipitación con incidencia de cambio climático en la Provincia de Huamanga.

El downscaling es quien me proyecta la precipitación al año 2021, una vez teniendo cual es el modelo climático global (ACCESS1.0) que se ajusta mejor a las precipitaciones de las estaciones de la provincia de Huamanga se procede agrupar, (1992 – 2009) como datos de observaciones de estaciones meteorológicas y (2010-2039), (2040-2069), (2070-2099) como datos proyectados de Modelos Climáticos globales.

A continuación, se explica la variación máxima y mínima de cada estación, donde se ha notado que la variación máxima sucede en el mes de setiembre con RCP 8.5 periodo 2070 – 2099 y la variación máxima en el mes de abril con RCP 4.5 periodo 2010-239. Donde se puede notar que habrá más incremento de intensidad de precipitación con RCP 8.5.

Tabla 23
Proyección y variación de la precipitación – Estación Allpachaca

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099						
Enero	145.29	155.37	6.94%	130.07	-10.47%	179.64	23.64%	159.07	9.49%	161.06	10.85%	123.89	-14.73%
Febrero	145.57	135.95	-6.61%	132.91	-8.70%	147.28	1.18%	113.41	-22.09%	129.11	-11.31%	128.49	-11.73%
Marzo	157.22	146.54	-6.79%	130.36	-17.09%	170.37	8.36%	43.26	-72.49%	53.40	-66.04%	69.21	-55.98%
Abril	48.85	50.70	3.78%	51.17	4.75%	67.67	38.52%	10.75	-77.98%	28.66	-41.34%	30.98	-36.58%
Mayo	19.42	27.48	41.47%	31.75	63.47%	35.45	82.52%	2.71	-86.07%	4.09	-78.93%	18.39	-5.30%
Junio	6.15	5.35	-13.09%	6.84	11.14%	5.41	-12.10%	6.25	1.66%	11.40	85.30%	16.08	161.39%
Julio	12.39	7.08	-42.87%	11.34	-8.49%	15.30	23.54%	12.28	-0.86%	21.87	76.54%	24.02	93.90%
Agosto	15.75	10.00	-36.50%	11.87	-24.66%	13.43	-14.75%	19.91	26.42%	34.93	121.79%	48.82	209.94%
Setiembre	29.76	22.89	-23.09%	26.87	-9.72%	27.48	-7.66%	64.44	116.51%	81.07	172.40%	133.04	347.04%
Octubre	55.99	83.39	48.95%	66.00	17.88%	94.70	69.15%	97.74	74.56%	124.74	122.79%	153.71	174.53%
Noviembre	64.74	111.05	71.54%	72.54	12.05%	155.16	139.67%	103.27	59.52%	129.22	99.61%	159.27	146.01%
Diciembre	116.75	115.85	-0.77%	112.09	-3.99%	134.04	14.81%	146.90	25.82%	152.11	30.29%	148.69	27.35%

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la estación Allpachaca se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 133.04 mm (347.04%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de mayo con 2.71 mm (-86.07 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de noviembre con 155.16 mm (139.67%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de julio con 7.08 mm (-42.87 %) periodo 2010-2039.

Tabla 24
Predicción y variación de la precipitación – Estación Chiara

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099						
Enero	129.12	129.20	0.07%	125.07	-3.13%	142.85	10.64%	131.75	2.04%	132.95	2.96%	103.18	-20.09%
Febrero	121.41	86.55	-28.71%	78.00	-35.76%	103.08	-15.09%	84.26	-30.59%	95.98	-20.95%	95.45	-21.38%
Marzo	117.62	32.34	-72.50%	35.14	-70.12%	46.25	-60.68%	31.92	-72.87%	38.16	-67.56%	49.79	-57.67%
Abril	38.33	10.38	-72.93%	11.78	-69.27%	12.45	-67.51%	5.36	-86.03%	13.87	-63.82%	14.87	-61.21%
Mayo	9.04	3.65	-59.66%	4.60	-49.12%	5.45	-39.68%	1.91	-78.83%	3.04	-66.39%	13.70	51.54%
Junio	4.58	5.39	17.73%	8.38	82.87%	11.00	140.10%	5.31	15.83%	9.69	111.49%	13.64	197.81%
Julio	9.69	11.64	20.18%	12.72	31.30%	14.35	48.13%	9.92	2.43%	18.02	85.97%	19.56	101.87%
Agosto	13.85	20.32	46.65%	27.09	95.54%	24.93	79.94%	14.12	1.94%	24.70	78.31%	34.34	147.87%
Setiembre	19.25	62.42	224.25%	51.84	169.27%	80.55	318.45%	49.73	158.33%	62.91	226.81%	102.31	431.51%
Octubre	40.18	104.83	160.91%	66.60	65.77%	138.56	244.86%	86.05	114.17%	108.97	171.22%	134.02	233.56%
Noviembre	55.64	88.62	59.29%	82.18	47.70%	96.45	73.35%	77.22	38.79%	96.10	72.73%	118.39	112.79%
Diciembre	90.85	127.73	40.59%	103.60	14.03%	145.87	60.56%	119.50	31.53%	123.90	36.38%	120.88	33.05%

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la estación Chiara se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 102.31 mm (431.51%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 5.36 mm (-86.03 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de noviembre con 80.55 mm (318.45%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 10.38 mm (-72.93 %) periodo 2010-2039.

Tabla 25*Predicción y variación de la precipitación – Estación Choccoro*

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099						
Enero	134.62	145.27	7.90%	140.79	4.58%	160.68	19.35%	148.20	10.08%	149.39	10.97%	116.25	-13.65%
Febrero	137.04	94.68	-30.92%	85.33	-37.74%	112.64	-17.81%	92.18	-32.74%	105.07	-23.33%	104.39	-23.83%
Marzo	127.38	38.99	-69.39%	42.78	-66.42%	55.75	-56.23%	38.28	-69.95%	46.44	-63.55%	60.39	-52.59%
Abril	41.65	15.54	-62.70%	17.60	-57.73%	18.65	-55.22%	8.02	-80.75%	20.77	-50.13%	22.28	-46.50%
Mayo	13.14	4.81	-63.37%	5.70	-56.64%	6.51	-50.46%	2.69	-79.52%	3.81	-71.02%	17.15	30.56%
Junio	6.14	4.78	-22.13%	7.45	21.37%	9.74	58.78%	4.75	-22.67%	8.88	44.73%	12.29	100.34%
Julio	9.88	12.18	23.33%	13.44	36.08%	15.19	53.72%	10.39	5.20%	19.18	94.08%	20.61	108.58%
Agosto	15.76	20.10	27.53%	27.10	71.94%	24.57	55.90%	14.22	-9.77%	24.61	56.16%	33.60	113.15%
Setiembre	25.23	68.44	171.28%	53.80	113.24%	84.80	236.10%	52.76	109.13%	66.04	161.77%	109.33	333.32%
Octubre	44.45	80.86	81.94%	52.82	18.84%	107.06	140.89%	66.59	49.83%	85.06	91.37%	104.83	135.86%
Noviembre	42.66	84.90	99.02%	78.75	84.60%	92.25	116.25%	74.08	73.65%	91.78	115.16%	113.02	164.95%
Diciembre	88.15	132.55	50.37%	107.79	22.28%	151.00	71.30%	123.99	40.65%	128.85	46.17%	125.31	42.15%

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la estación Choccoro se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 109.33 mm (333.32%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 8.02 mm (-80.75 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 84.80 mm (236.10%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de marzo con 38.99 (-69.39 %) periodo 2010-2039.

Tabla 26*Predicción y variación de la precipitación – Estación Cuchoquesera*

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099						
Enero	143.82	157.24	9.33%	152.46	6.01%	173.96	20.95%	160.44	11.55%	161.68	12.42%	125.93	-12.44%
Febrero	146.79	100.81	-31.32%	90.85	-38.11%	119.99	-18.26%	98.14	-33.14%	111.84	-23.81%	111.16	-24.27%
Marzo	139.19	39.41	-71.69%	42.90	-69.18%	56.35	-59.51%	38.84	-72.10%	46.58	-66.54%	60.74	-56.36%
Abril	44.07	13.24	-69.95%	15.01	-65.94%	15.90	-63.92%	6.82	-84.52%	17.70	-59.83%	18.99	-56.92%
Mayo	11.84	4.29	-63.75%	5.22	-55.94%	6.06	-48.83%	2.33	-80.28%	3.47	-70.70%	15.65	32.15%
Junio	5.37	5.15	-4.10%	8.03	49.54%	10.51	95.62%	5.12	-4.76%	9.59	78.42%	13.27	146.95%
Julio	11.11	13.67	23.03%	14.99	34.92%	16.92	52.30%	11.66	4.90%	21.30	91.67%	23.02	107.18%
Agosto	16.71	22.54	34.88%	30.07	79.98%	27.64	65.45%	15.69	-6.11%	27.41	64.04%	38.06	127.82%
Setiembre	23.75	67.62	184.75%	54.15	128.04%	84.94	257.66%	52.71	121.95%	66.21	178.81%	108.96	358.80%
Octubre	44.36	92.69	108.95%	60.79	37.02%	122.74	176.69%	76.37	72.15%	97.66	120.14%	120.40	171.40%
Noviembre	49.60	99.00	99.60%	91.82	85.12%	107.67	117.08%	86.31	74.02%	107.22	116.16%	132.06	166.25%
Diciembre	99.23	148.48	49.62%	120.64	21.57%	169.28	70.59%	138.89	39.97%	144.23	45.34%	140.41	41.49%

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la estación Cuchoquesera se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de

setiembre con 108.96 mm (358.80%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 6.82 mm (-84.52 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 84.94 mm (257.66%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de marzo con 39.41 mm (-71.69 %) periodo 2010-2039.

Tabla 27

Predicción y variación de la precipitación – Estación Huamanga

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5						Precipitación (mm) - RCP 8.5					
	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099			
Enero	112.38	131.50	17.01%	128.12	14.01%	145.77	29.71%	134.45	19.64%	134.93	20.07%	106.22	-5.48%
Febrero	120.58	72.96	-39.49%	65.79	-45.44%	86.67	-28.12%	71.06	-41.07%	81.11	-32.73%	80.44	-33.28%
Marzo	88.08	32.60	-62.99%	35.47	-59.73%	46.62	-47.07%	32.14	-63.51%	38.52	-56.27%	50.23	-42.97%
Abril	32.57	10.55	-67.60%	11.73	-63.97%	12.77	-60.80%	5.34	-83.59%	14.19	-56.42%	15.32	-52.94%
Mayo	10.56	2.79	-73.62%	3.54	-66.45%	4.22	-60.02%	1.45	-86.30%	2.34	-77.87%	10.54	-0.20%
Junio	3.32	4.35	30.96%	6.78	103.95%	8.88	167.16%	4.31	29.60%	8.00	140.73%	11.14	235.21%
Julio	7.56	11.47	51.79%	12.45	64.70%	14.02	85.60%	9.77	29.30%	17.53	132.01%	19.17	153.64%
Agosto	11.42	20.03	75.42%	26.41	131.27%	24.66	115.99%	13.68	19.84%	24.18	111.74%	34.23	199.73%
Setiembre	23.79	52.46	120.52%	44.50	87.07%	68.79	189.18%	42.34	77.99%	53.78	126.07%	86.87	265.21%
Octubre	31.23	99.12	217.44%	62.82	101.19%	131.02	319.58%	81.35	160.53%	102.95	229.69%	126.58	305.38%
Noviembre	52.49	83.00	58.13%	76.98	46.66%	90.23	71.90%	72.39	37.92%	89.82	71.12%	110.62	110.75%
Diciembre	87.49	127.06	45.24%	103.31	18.09%	144.78	65.49%	118.86	35.86%	123.50	41.17%	120.14	37.32%

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la estación Huamanga se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de octubre con 126.58 mm (305.38%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 1.45 mm (-86.30 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de octubre con 131.02 mm (319.58%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de mayo con 2.79 mm (-73.62 %) periodo 2010-2039.

Con respecto a la estación Pucaloma se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de agosto con 33.46 mm (347.50%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 5.02 mm (-86.90 %) 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de octubre con 135 mm (260.65%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 9.40 mm (-75.43 %) periodo 2010-2039.

Tabla 28

predicción y variación de la precipitación – Estación Pucaloma

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
		1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099					
Enero	113.88	143.10	25.66%	139.19	22.23%	158.52	39.20%	146.21	28.39%	146.95	29.04%	115.24	1.20%
Febrero	132.62	82.72	-37.62%	74.56	-43.78%	98.45	-25.77%	80.54	-39.27%	91.79	-30.79%	91.22	-31.22%
Marzo	104.98	32.01	-69.51%	34.59	-67.05%	45.77	-56.40%	31.67	-69.83%	37.57	-64.21%	49.10	-53.23%
Abril	38.28	9.40	-75.43%	11.06	-71.09%	11.11	-70.98%	5.02	-86.90%	12.41	-67.59%	13.12	-65.71%
Mayo	9.34	4.72	-49.41%	5.86	-37.26%	6.88	-26.29%	2.52	-73.00%	3.88	-58.42%	17.51	87.51%
Junio	6.08	6.16	1.39%	9.54	56.95%	12.61	107.55%	5.97	-1.77%	10.42	71.36%	15.17	149.60%
Julio	11.34	8.69	-23.34%	9.24	-18.55%	10.38	-8.43%	7.39	-34.83%	12.81	12.99%	14.32	26.25%
Agosto	7.48	19.57	161.70%	25.80	245.05%	24.10	222.37%	13.36	78.68%	23.62	215.96%	33.46	347.50%
Setiembre	21.01	51.46	144.98%	44.07	109.76%	67.96	223.51%	41.77	98.84%	53.15	153.03%	85.62	307.56%
Octubre	37.43	102.14	172.87%	64.72	72.91%	135.00	260.65%	83.82	123.94%	106.06	183.35%	130.42	248.42%
Noviembre	53.34	83.06	55.72%	77.00	44.35%	90.58	69.82%	72.22	35.41%	90.42	69.52%	111.46	108.96%
Diciembre	89.47	115.77	29.39%	94.61	5.75%	131.24	46.68%	108.26	21.00%	112.99	26.29%	109.21	22.06%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29

predicción y variación de la precipitación – Estación Sachabamba

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
		1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099					
Enero	155.71	141.78	-8.94%	136.94	-12.05%	156.61	0.58%	144.44	-7.24%	146.01	-6.22%	112.79	-27.56%
Febrero	130.63	101.19	-22.54%	91.18	-30.20%	120.50	-7.75%	98.51	-24.59%	112.20	-14.11%	111.58	-14.58%
Marzo	134.08	37.41	-72.10%	40.47	-69.82%	53.50	-60.10%	36.99	-72.41%	43.96	-67.21%	57.43	-57.17%
Abril	43.50	10.79	-75.20%	12.30	-71.72%	12.93	-70.28%	5.59	-87.15%	14.41	-66.89%	15.42	-64.56%
Mayo	8.32	3.73	-55.15%	4.50	-45.92%	5.20	-37.45%	2.05	-75.38%	3.00	-63.95%	13.50	62.30%
Junio	4.89	4.21	-14.04%	6.54	33.70%	8.58	75.33%	4.15	-15.25%	7.62	55.78%	10.69	118.44%
Julio	8.29	9.98	20.49%	10.85	30.91%	12.23	47.59%	8.50	2.62%	15.30	84.67%	16.69	101.46%
Agosto	11.14	19.87	78.30%	26.64	139.09%	24.32	118.27%	13.93	25.05%	24.24	117.53%	33.38	199.58%
Setiembre	20.54	65.39	218.32%	53.54	160.65%	83.51	306.55%	51.66	151.47%	65.18	217.28%	106.48	418.36%
Octubre	42.02	102.76	144.53%	66.45	58.13%	135.97	223.54%	84.52	101.13%	107.62	156.10%	132.54	215.38%
Noviembre	57.55	101.59	76.53%	94.24	63.76%	110.26	91.60%	88.72	54.17%	109.61	90.47%	134.93	134.48%
Diciembre	103.24	158.19	53.22%	127.85	23.83%	181.30	75.61%	148.03	43.38%	153.01	48.20%	149.95	45.24%

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la estación Sachabamba se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 106.48 mm (418.36%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 5.59 (-87.15 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 83.51 mm (306.55%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 10.79 mm (-75.20 %) periodo 2010-2039.

Tabla 30*Predicción y variación de la precipitación – Estación Tambillo*

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5						Precipitación (mm) - RCP 8.5					
	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099
Enero	116.56	141.21	21.15%	137.15	17.66%	156.33	34.12%	144.20	23.71%	145.10	24.49%	113.43	-2.69%
Febrero	133.85	86.21	-35.59%	77.71	-41.95%	102.56	-23.37%	83.94	-37.29%	95.69	-28.51%	95.06	-28.98%
Marzo	111.52	34.65	-68.93%	37.67	-66.22%	49.54	-55.58%	34.18	-69.35%	40.91	-63.32%	53.36	-52.15%
Abril	38.93	11.35	-70.84%	12.93	-66.79%	13.60	-65.06%	5.88	-84.91%	15.16	-61.07%	16.23	-58.31%
Mayo	9.49	4.19	-55.87%	5.29	-44.22%	6.28	-33.77%	2.19	-76.88%	3.50	-63.13%	15.75	66.07%
Junio	4.34	6.16	41.96%	9.55	120.08%	12.58	190.04%	6.00	38.44%	10.69	146.37%	15.33	253.51%
Julio	11.95	10.49	-12.25%	11.34	-5.13%	12.78	6.91%	8.93	-25.30%	15.94	33.34%	17.48	46.25%
Agosto	10.43	20.74	98.80%	27.59	164.53%	25.45	144.02%	14.37	37.75%	25.18	141.36%	35.11	236.64%
Setiembre	21.52	62.19	189.00%	51.81	140.79%	80.45	273.87%	49.65	130.72%	62.84	192.05%	102.09	374.46%
Octubre	42.23	107.58	154.72%	68.97	63.30%	142.28	236.88%	88.40	109.32%	112.26	165.80%	138.16	227.12%
Noviembre	60.41	95.19	57.57%	88.23	46.05%	103.88	71.95%	82.73	36.94%	103.74	71.73%	127.91	111.73%
Diciembre	101.56	125.91	23.98%	102.52	0.94%	143.25	41.05%	117.76	15.95%	122.52	20.64%	118.96	17.13%

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la estación Tambillo se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 102.09 mm (374.46%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 5.88 mm (-84.91 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 80.45 mm (273.87%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 11.35 mm (-70.84 %) periodo 2010-2039.

Tendencia general: Ambas trayectorias indican que las lluvias tienden a desplazarse hacia la segunda mitad del año, con mayor concentración en setiembre y octubre y menores acumulados en abril y marzo, lo que puede comprometer la disponibilidad de agua en la fase de siembra y favorecer lluvias intensas durante la cosecha.

3.2.DISCUSIONES

Conuerdo con Cruz (2021); ya que concluye que habrá un aumento en la precipitación total, los periodos de lluvia serán más cortos, lo que representa un desafío significativo para la agricultura y la seguridad hídrica en Las Ánimas. Esta variabilidad puede intensificar problemas de sequía y afectar la producción de alimentos, especialmente en áreas marginadas. En la presente investigación se puede notar una disminución moderada de precipitación en temporada húmeda (enero–mayo), con reducciones de entre -25 % y -55 % en varias estaciones e incrementos en temporada seca son notables, pero no extremos: en septiembre las precipitaciones crecen hasta +80 % en Allpachaca y entre +45 % y +70 % en estaciones como Cuchoquesera y Sachabamba.

Conuerdo con Wang et al. (2021), porque en su metodología utiliza modelos climáticos globales (GCM), considerando escenarios de forzamiento históricos y futuros (RCP 2.6 y 8.5); donde llega a la conclusión que se proyecta un aumento del 34% en la precipitación invernal a largo plazo bajo RCP 8.5, con una mayor variabilidad interanual, en la investigación se evidencia un incremento de precipitación a partir del mes de mayo (ver tablas 23 – 30)

Se concuerda con Yoon et al. (2023), porque utiliza escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 para evaluar la variabilidad en la precipitación media mensual entre diferentes modelos climáticos globales (GCM), donde también llega a la conclusión que las proyecciones bajo RCP 4.5 y RCP 8.5 muestran un aumento en la precipitación del 4.8% y 12.3%, en caso de la presente investigación hay incremento en temporada seca son notables, pero no extremos: en septiembre las precipitaciones crecen hasta +80 % en Allpachaca y entre +45 % y +70 % en estaciones como Cuchoquesera y Sachabamba.

Se concuerda con Díaz et al. (2022), porque utiliza la misma metodología de downscaling estadístico de proyecciones de modelos climáticos globales (MCG) del

CMIP5, donde también aplicando las concentraciones (RCP 4.5 y 8.5) donde también se evidencia un aumento significativo de precipitación, alcanzando valores de 95 a 221 mm en la zona baja en comparación con los 17 mm de referencia, en la investigación se puede ver el incremento de la precipitación en RCP 8.5 periodo 2070 – 2099 de la estación Allpachaca con 347.04% en el mes de setiembre, estación Chiara mes de setiembre de 431.51%, estación Choccoro en el mes de setiembre de 333.32%, lo mismo ocurre en las demás estaciones.

Se concuerda con Laura et al. (2016), porque utiliza modelos climáticos globales del CMIP5, donde utilizó datos de precipitación como referencia la climatología de 1971 a 2000 y sus proyecciones para el horizonte 2071 a 2100, también utiliza métricas de Nash y Sutcliffe, donde llega a la conclusión que para los MCG (RCP4.5 y RCP8.5) a finales del siglo XXI, se proyecta un ligero incremento de la precipitación anual en la cuenca Ramis y también se proyecta una disminución de la precipitación en la cuenca Ilave.

CONCLUSIONES

1. Se logró completar series de precipitación mensual en 8 estaciones: Allpachaca, Chiara, Choccoro, Cuchoquesera, Huamanga, Pucaloma, Sachabamba y Tambillo. La evaluación de homogeneidad se realizó exitosamente, permitiendo contar con registros continuos y confiables necesarios para la calibración de los modelos climáticos. Este paso fue fundamental para asegurar la validez del ajuste y posterior proyección.
2. Se aplicó la técnica de downscaling estadístico para todos los Modelos Climáticos Globales (MCG) disponibles en la base de datos climática, entre ellos: ACCESS1.0, BCC-CSM1.1, CCSM4, CNRM-CM5, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, estos modelos fueron ajustados a escala local mediante datos observados en las 8 estaciones meteorológicas de la provincia de Huamanga, para ambos escenarios de emisión RCP 4.5 y RCP 8.5. Esto permitió generar proyecciones mensuales de precipitación que capturan la variabilidad espacial y temporal futura bajo el cambio climático.
3. El modelo climático global ACCESS1.0 presentó el mejor ajuste para simular la precipitación local, siendo seleccionado para proyecciones futuras.
4. Los resultados de las predicciones futuras de precipitación muestran que bajo el escenario RCP 4.5 las precipitaciones tienden a disminuir moderadamente en los meses lluviosos (reducciones de entre -40% y -55% en marzo y abril) y aumentar de forma controlada en los meses secos (+40% a +85% en septiembre), manteniendo una estacionalidad reconocible. En contraste, el escenario RCP 8.5 proyecta una redistribución más severa, con reducciones drásticas en los meses húmedos (-62.6% en marzo y -73.5% en mayo en Allpachaca) y aumentos extremos en los meses secos (+264.7% en septiembre en Allpachaca y +148.9% en Cuchoquesera), lo que evidencia una alteración significativa del régimen de lluvias, con implicancias directas en la seguridad hídrica, la planificación agrícola y el riesgo de eventos extremos en la región.

RECOMENDACIONES

1. Proporcionar y dar a conocer los resultados de esta tesis en los planes de gestión de recursos hídricos del Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Interregional Pampas, este consejo está conformado por los gobiernos regionales de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac. La estrategia principal será una divulgación estratégica y colaboración activa en plataformas digitales , implementando tácticas como presentaciones e informes personalizados.
2. Profundizar en estudios que integren variables como temperatura y evapotranspiración para entender el balance hídrico completo.
3. Aplicar esta metodología en otras provincias del departamento de Ayacucho.
4. Para futuras investigaciones utilizar el CMIP 6 y promover el uso del modelo ACCESS1.0 en instituciones académicas y técnicas para análisis climático regional

REFERENCIAS

- Araque, M., Vásquez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas hidrográficas* (1era ed.). Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez Cendón, E., . . . Coll, A. (marzo de 2014). *Abstract Keywords Introducción DOI: 10.1016/j.rimni.2012.07.004 Open Access Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos*. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Elsevier: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-internacional-metodos-numericos-calculo-338-articulo-iber-herramienta-simulacion-numerica-del-S0213131512000454>
- Bolívar, B., & Gustavo, E. (2020). *Modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional del río marañón sector puente Tingo Chico. Carretera Huánuco – Conococha*. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Universidad Nacional Agraria La Molina: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/b99e361c-2d03-45f2-9f2e-946a0fdd839b>
- Caicedo, M., Cabrera, E., Zambrano, X., Rodríguez, M., & Intriago, P. (2021). *Estudio de características morfológicas de la cuenca “Cañitas” y su relación con el riesgo de inundaciones repentinas*. Recuperado el 26 de Octubre de 2024, de SciELO México: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78902021000400022

- Díez, A., Llorente, M., Ballesteros, J., & Ruiz, V. (2009). Riesgos por avenidas e inundaciones fluviales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 254-263. Obtenido de <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/download/199928/267371>
- Ferrufino, M. (2015). *Ríos*. Recuperado el 09 de 01 de 2025, de Academia: <https://www.academia.edu/15617405/RIOS>
- Gámez, W. (2010). *Texto básico de Hidrología*. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/textos/np10g192.pdf>
- Gámez, W. (2015). *Texto básico autoformativo de topografía general*. David López. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/3179/1/NP31G192t.pdf>
- García, D. (2019). *Modelado hidráulico del río Amojú aplicando el software Iber para zonificar áreas inundables en la ciudad de Jaén, Perú*. Recuperado el 7 de diciembre de 2024, de <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/228>
- García, R., & Conesa, C. (2011). *Estimación de caudales de avenidas y delimitaciones de áreas inundables mediante métodos hidrometeorológicos e hidráulicos y técnicas S.I.G., estudio aplicado al litoral sur de la región de Murcia*. España: Papeles de Geografía.
- Guerra, A. (10 de 01 de 2022). Zonas inundables y límites a los usos urbanísticos. *Actualidad Jurídica Ambiental*. Obtenido de <https://www.actualidadjuridicaambiental.com/wp-content/uploads/2022/01/2021-02-01-Guerra-Zonas-inundables.pdf>
- Gutierrez, J., Rubiños, J., Fernandez, D., Ramírez, C., Roblero, R., Gutierrez, G., & Romero, M. (2022). *Modelación hidráulica en Iber para prevención de inundaciones en la cuenca Tesechoacán*. México: Revista Mexica.
- Hussain, A., Cao, J., Ali, S. M., Ullah, W., Hussain, I., Akhtar, M., . . . Zhou, J. (2022). Observed trends and variability of seasonal and annual precipitation in pakistan

- during 1960–2016. *International Journal of Climatology*, 42(16), 8313-8332.
doi:<https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.1.4>
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2015). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Recuperado el 20 de Octubre de 2024, de RiuNet: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Iber. (13 de 06 de 2012). *Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas*. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Iber 2D: https://ocw.camins.upc.edu/repositori/ocw/materials/250431/2024/Manual_Referencia_Hidraulico_Iber_v13.pdf
- Instituto Nacional de Defensa Civil, (INDECI). (2014). *Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales*. Recuperado el 01 de 12 de 2024, de <https://dimse.cenepred.gob.pe/simse/cenepred/docs/MAN-manual-evar-inundaciones-fluviales.pdf>
- Karimi, S., Nazaripour, H., & Hamidianpour, M. (2021). Spatial and temporal variability of precipitation extreme indices in arid and semi-arid regions of iran for the last half-century. *Időjárás*, 125(1), 83-104. doi:<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1412182/v1>
- Khan, A. J., & Koch, M. (2018). Selecting and downscaling a set of climate models for projecting climatic change for impact assessment in the upper indus basin (uib). *Climate*, 6(4), 89. doi:<https://doi.org/10.3390/cli6040089>
- Lloclla, J. (2016). *Determinación del caudal máximo de avenida con fines de diseño del aliviadero de la presa Querobamba, Cangallo - Ayacucho - 2016*. Ayacucho - Perú: Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.

- Martínez, H. (2018). *Evaluación hidrológica para la determinación de caudales máximos en la subcuenca del río Sayacc, Vischongo - Vilcashuamán - Ayacucho, 2018*. Ayacucho - Perú: Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.
- Martínez, J. (09 de 2019). *Principales causas y acciones clave para reducir los daños por inundaciones*. Recuperado el 01 de 12 de 2024, de <https://fnca.eu/comunicacion/prensa/notas-de-prensa-fnca?download=202:principales-causas-y-acciones-clave-para-reducir-los-danos-por-inundaciones>
- Méndez, W., Córdova, J., & Bravo, L. (2015). *Modelos predictivos de caudales máximos instantáneos para cuencas de drenaje de ambientes montañosos, sustentados en parámetros morfométricos*. Maracaibo - Venezuela: Revista técnica de la facultad de ingeniería universidad de Zulla.
- Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC). (2011). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. Recuperado el 4 de 12 de 2024, de <https://www.gob.pe/>.
- Moriasi, D., Arnold, J., Van Liew, M., Bingner, R., & Harmel, R. &. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50, 885-900.
- Olmo, M., & Bettolli, M. L. (2021). Statistical downscaling of daily precipitation over southeastern south america: assessing the performance in extreme events. *International Journal of Climatology*, 42(2), 1283-1302. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.7303>
- Osío, M., Valencia, F. ..., Guevara, E., & Cartaya, H. (2000). Cálculo del coeficiente de rugosidad "N" De Manning en los grandes ríos de Venezuela. *Redalyc*, 7(2), 13. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/707/70770202.pdf>

- Pereyra, D., Pérez, J., & Salas, M. (2008). *Hidrología*. Recuperado el 27 de octubre de 2024
- Rincón, M., Vargas, W., & González, C. (2017). En *Topografía: Conceptos y aplicaciones* (pág. 28). Ecoe Ediciones. Obtenido de <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2018/02/Topograf%C3%ADa-Conceptos-y-aplicaciones-ebook.pdf>
- Roa, J., & Kamp, U. (2008). *Modelos de elevación digital (MED) a partir de sistemas satelitales. Una introducción y análisis comparativo en la co*. Recuperado el 17 de Octubre de 2024, de Redalyc: <https://www.redalyc.org/pdf/3477/347730375002.pdf>
- Velasco, R., & Uribe, F. (2008). *La Hidrodinámica de Leonhard Euler*. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Miscelanea Matemática: https://miscelaneamatematica.org/download/tbl_articulos.pdf2.8856729d76d3bdf6.55726962652e706466.pdf
- Villazón, J., Noris, P., & Martín, G. (2 de June de 2021). *Determinación de la precipitación efectiva en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín*. Recuperado el 30 de November de 2024, de SciELO Chile: <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v39n2/0718-3429-idesia-39-02-85.pdf>
- Villegas, M. (2023). *Análisis de riesgo frente a inundaciones en la quebrada estanquillo con el modelo matemático iber, en el distrito de cerro colorado, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa*. Arequipa - Perú.

LISTA DE ACRÓNIMOS

- **ACCESS1.0:** Australian Community Climate and Earth-System Simulator, version 1.0
 - **CanESM2:** Canadian Earth System Model, version 2
 - **CMIP5:** Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados, Fase 5
 - **GFDL-ESM2M:** Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Earth System Model, version 2M
 - **IPCC:** Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
 - **IPSL-CM5A-MR:** Institut Pierre-Simon Laplace Coupled Model, version 5A - Medium Resolution
 - **LS:** Linear Scaling (Escalamiento Lineal)
 - **MCG:** Modelo Climático Global
 - **MPI-ESM-MR:** Max Planck Institute for Meteorology Earth System Model - Medium Resolution
 - **NASH / NSE:** Eficiencia de Nash-Sutcliffe
 - **OMM:** Organización Meteorológica Mundial
 - **OPEMAN:** Oficina de Operación y Mantenimiento Hidráulico
 - **PBIAS:** Porcentaje de Sesgo (Percent Bias)
 - **R²:** Coeficiente de Determinación
 - **RCP:** Trayectoria de Concentración Representativa (Representative Concentration Pathway)
 - **RNA:** Redes Neuronales Artificiales
 - **RMSE:** Raíz del Error Cuadrático Medio (Root Mean Square Error)
 - **SENAMHI:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
- SSP:** Trayectoria Socioeconómica Compartida (Shared Socioeconomic Pathway)

ANEXOS

**1. DATOS DE LAS PRECIPITACIONES DIARIAS
DE LAS ESTACIONES ENMARCADAS EN LA
PROVINCIA DE HUAMANGA**

Anexo 1: Precipitación diaria (mm) de estaciones utilizadas en la investigación

Fecha	Allpachaca	Chiara - Bellavista	Choccoro	Cuchoquesera	Huamanga - Inia	Pucaloma	Sachabamba	Tambillo
1992-01-01	0.0	NA	NA	4.1	NA	NA	NA	1.0
1992-01-02	0.0	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.2
1992-01-03	0.0	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.0
1992-01-04	26.1	NA	NA	2.7	NA	NA	NA	0.0
1992-01-05	19.6	NA	NA	8.1	NA	NA	NA	16.9
1992-01-06	30.0	NA	NA	8.1	NA	NA	NA	0.0
1992-01-07	0.0	NA	NA	2.7	NA	NA	NA	10.6
1992-01-08	0.0	NA	NA	1.4	NA	NA	NA	21.2
1992-01-09	0.0	NA	NA	5.4	NA	NA	NA	2.8
1992-01-10	0.0	NA	NA	1.4	NA	NA	NA	0.0
1992-01-11	0.0	NA	NA	1.4	NA	NA	NA	11.1
1992-01-12	11.7	NA	NA	2.7	NA	NA	NA	0.0
1992-01-13	0.0	NA	NA	4.1	NA	NA	NA	0.0
1992-01-14	0.0	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.0
1992-01-15	18.3	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.0
1992-01-16	11.7	NA	NA	6.8	NA	NA	NA	2.1
1992-01-17	0.0	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	2.1
1992-01-18	0.0	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.0
1992-01-19	0.0	NA	NA	5.4	NA	NA	NA	0.0
1992-01-20	18.3	NA	NA	6.8	NA	NA	NA	2.8
1992-01-21	0.0	NA	NA	1.4	NA	NA	NA	3.4
1992-01-22	0.0	NA	NA	8.1	NA	NA	NA	20.4
1992-01-23	18.3	NA	NA	10.8	NA	NA	NA	0.0
1992-01-24	0.0	NA	NA	5.4	NA	NA	NA	3.5
1992-01-25	0.0	NA	NA	1.4	NA	NA	NA	5.6
1992-01-26	10.4	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	1.4
1992-01-27	45.7	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.0
1992-01-28	10.4	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.0
1992-01-29	0.0	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.0
1992-01-30	0.0	NA	NA	1.4	NA	NA	NA	0.0
1992-01-31	0.0	NA	NA	1.4	NA	NA	NA	0.0
1992-02-01	0.0	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.0
1992-02-02	0.0	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.0
1992-02-03	0.0	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	1.4
1992-02-04	2.3	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.0
1992-02-05	4.6	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.7
1992-02-06	0.0	NA	NA	6.8	NA	NA	NA	9.9
1992-02-07	0.0	NA	NA	2.7	NA	NA	NA	9.9
1992-02-08	17.0	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.0
1992-02-09	10.4	NA	NA	2.7	NA	NA	NA	7.1
1992-02-10	0.0	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	7.1
1992-02-11	0.0	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	8.5
1992-02-12	0.0	NA	NA	2.7	NA	NA	NA	0.0
1992-02-13	12.4	NA	NA	2.7	NA	NA	NA	0.0
1992-02-14	9.1	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.0
1992-02-15	0.0	NA	NA	10.8	NA	NA	NA	14.1
1992-02-16	0.0	NA	NA	1.4	NA	NA	NA	4.2
1992-02-17	22.2	NA	NA	10.8	NA	NA	NA	9.9
1992-02-18	10.4	NA	NA	18.9	NA	NA	NA	35.3

1992-02-19	10.4	NA	NA	6.8	NA	NA	NA	7.1
1992-02-20	0.0	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	10.3
1992-02-21	0.0	NA	NA	1.4	NA	NA	NA	0.0
1992-02-22	0.0	NA	NA	0.0	NA	NA	NA	0.0
1992-02-23	0.0	NA	NA	6.8	NA	NA	NA	2.8
1992-02-24	2.6	NA	NA	25.7	NA	NA	NA	1.4
1992-02-25	6.5	NA	NA	14.9	NA	NA	NA	21.2
1992-02-26	9.8	NA	NA	25.7	NA	NA	NA	21.2

.

2024-12-01	3.2	0.0	2.6	5.6	7.0	1.2	8.8	2.2
2024-12-02	0.0	5.2	5.6	0.0	3.4	0.0	17.8	0.3
2024-12-03	6.2	8.1	2.0	13.2	0.0	4.4	0.0	10.9
2024-12-04	8.1	4.9	1.8	5.7	4.8	0.0	0.0	4.1
2024-12-05	15.9	0.3	0.0	7.6	0.0	6.8	13.7	0.0
2024-12-06	8.4	0.0	4.2	2.3	3.8	0.0	0.0	8.9
2024-12-07	0.0	7.0	0.0	4.1	3.3	0.0	10.7	9.2
2024-12-08	11.6	4.9	0.0	6.9	3.4	1.3	15.1	5.5
2024-12-09	0.0	2.2	0.0	17.2	0.0	0.0	0.0	7.5
2024-12-10	9.8	0.0	0.0	11.2	7.1	0.0	0.0	1.9
2024-12-11	0.0	0.4	3.4	2.3	6.0	3.5	6.2	9.6
2024-12-12	9.9	10.8	0.0	0.3	0.0	1.5	0.0	0.0
2024-12-13	7.9	12.5	10.3	3.0	8.4	13.1	4.8	7.4
2024-12-14	5.1	3.1	0.0	0.0	8.5	0.0	2.2	9.7
2024-12-15	6.7	0.0	7.7	0.0	1.8	1.1	12.9	5.6
2024-12-16	0.0	0.0	8.3	0.5	11.2	0.0	3.6	0.0
2024-12-17	1.6	0.0	9.3	4.8	2.6	4.9	1.4	0.0
2024-12-18	0.0	3.8	0.0	3.0	3.5	8.1	0.0	9.9
2024-12-19	18.7	2.2	3.9	5.0	0.0	0.0	14.3	0.5
2024-12-20	2.1	13.6	0.6	8.3	8.5	0.0	0.0	0.6
2024-12-21	0.9	0.0	5.3	1.4	3.9	7.7	0.6	5.9
2024-12-22	16.1	5.0	12.2	0.0	0.0	14.1	3.5	11.1
2024-12-23	0.4	10.0	14.6	0.0	7.2	0.0	12.7	13.8
2024-12-24	0.0	0.0	4.8	14.5	8.3	8.2	0.2	16.8
2024-12-25	3.8	2.0	9.5	0.0	13.4	4.5	3.9	5.6
2024-12-26	2.7	1.6	5.3	0.0	6.3	4.4	0.0	5.9
2024-12-27	2.3	0.0	0.0	6.3	8.2	8.0	1.8	7.9
2024-12-28	14.2	8.2	0.0	10.7	2.6	3.6	0.0	8.8
2024-12-29	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	6.0	11.6	16.9
2024-12-30	5.5	1.9	0.0	17.4	1.5	0.0	0.0	11.0
2024-12-31	4.1	0.0	0.7	4.7	7.5	0.0	0.0	2.4

El registro diario de precipitación contiene mucha información, por ello se adjunta un enlace

web donde se pueda visualizar la data completa. Ver el siguiente enlace: <https://n9.cl/buzk5>

**2. CÓDIGO RSTUDIO PARA COMPLETACIÓN DE
DATOS**

Anexo 2: Código Rstudio para completacion de datos

```
##### COMPLETACION DE DATOS EN RSTUDIO #####
```

```
#Instalando Paquetes
```

```
install.packages("ggplot2", repos = "https://cran.r-project.org")
```

```
install.packages("gapfill", repos = "https://cran.r-project.org")
```

```
install.packages("hyfo")
```

```
install.packages("climatol")
```

```
install.packages("climtrends", repos = "https://cran.r-project.org")
```

```
install.packages("trend")
```

```
install.packages("pracma")
```

```
install.packages("nortest")
```

```
install.packages("openxlsx")
```

```
#Libreria de paquetes
```

```
library(ggplot2)
```

```
library(gapfill)
```

```
library(hyfo)
```

```
library(climatol)
```

```
library(climtrends)
```

```
library(trend)
```

```
library(pracma)
```

```
library(nortest)
```

```
library(openxlsx)
```

```
#IMPORTACION DESDE EXCEL
```

```

diarios<-read.csv(file = 'C:/Users/JIMMY/Desktop/Completacion Datos
Rstudio/Datos_DiariosPp.csv',sep = ",",header = TRUE,na.strings = "NA")

diarios<-diarios[1:9862,1:12] #Para Considerar de que periodo en años tomar y 1:10 es para
considerar todas las columnas

diarios_comp<-fillGap(diarios,corPeriod = 'daily')

rownames(diarios_comp)<-c(diarios_comp[,1])

diarios_comp<-diarios_comp[,2:12]

plot(diarios_comp[,1],type="l") #[,1] se refiere a la columna 1 de datos diarios completados
plot(diarios_comp[,2],type="l") #[,2] se refiere a la columna 2 de datos diarios completados
plot(diarios_comp[,3],type="l") #[,3] se refiere a la columna 3 de datos diarios completados
plot(diarios_comp[,4],type="l") #[,4] se refiere a la columna 4 de datos diarios completados
plot(diarios_comp[,5],type="l") #[,5] se refiere a la columna 5 de datos diarios completados
plot(diarios_comp[,6],type="l") #[,6] se refiere a la columna 6 de datos diarios completados
plot(diarios_comp[,7],type="l") #[,7] se refiere a la columna 7 de datos diarios completados
plot(diarios_comp[,8],type="l") #[,8] se refiere a la columna 8 de datos diarios completados
plot(diarios_comp[,9],type="l") #[,9] se refiere a la columna 9 de datos diarios completados
plot(diarios_comp[,10],type="l") #[,10] se refiere a la columna 10 de datos diarios
completados
plot(diarios_comp[,11],type="l") #[,11] se refiere a la columna 11 de datos diarios
completados

#EXPORTACIÃ“N A EXCEL

write.xlsx(diarios_comp, "Datos_Completados.xlsx")

```

**3. CÓDIGO RSTUDIO PARA
HOMOGENEIZACIÓN Y TENDENCIAS DE
PRECIPITACIÓN**

Anexo 3: Código Rstudio para homogeneización y tendencia de datos

```
#####"Homogeneización y Tendencias de Precipitación"#####
```

```
#Instalando Paquetes
```

```
install.packages("Kendall")
```

```
install.packages("openxlsx")
```

```
install.packages("knitr") #debe de estar instalado para PDF
```

```
install.packages("rmarkdown") #debe de estar instalado para PDF
```

```
#Habilitando Paquetes
```

```
library(dplyr)
```

```
library(tidyr)
```

```
library(ggplot2)
```

```
library(lubridate)
```

```
library(reshape2)
```

```
library(gridExtra)
```

```
library(knitr)
```

```
library(Kendall)
```

```
library(trend)
```

```
library(openxlsx)
```

```
library(knitr)
```

```
library(rmarkdown)
```

```
#1. Introducción
```

```
#Este Informe de homogeneización y análisis de tendencias de datos diarios de precipitación
```

```
#2. Carga de Datos y Resumen de Periodos
```

```

precipitacion <- read.csv(file = 'C:/Users/JIMMY/Desktop/Completacion Datos
Rstudio/Datos.csv',sep=",",header = TRUE)

precipitacion$Fecha <- as.Date(precipitacion$Fecha)

# Resumen de periodos por estación
resumen_periodo <- data.frame(
  Estacion=colnames(precipitacion)[-1],
  Inicio=as.Date(NA),
  Final=as.Date(NA),
  Datos_validos=0
)

for(i in 2:ncol(precipitacion)){
  datos <- precipitacion[[i]]
  idx_val <- which(!is.na(datos))
  resumen_periodo$Inicio[i-1] <- if(length(idx_val)>0) min(precipitacion$Fecha[idx_val])
  else NA
  resumen_periodo$Final[i-1] <- if(length(idx_val)>0) max(precipitacion$Fecha[idx_val])
  else NA
  resumen_periodo$Datos_validos[i-1] <- sum(!is.na(datos))
}

kable(resumen_periodo, caption="Resumen de periodos de cada estación")

# 3. Selección de Estación de Referencia y Test de Petit
est_ref <- resumen_periodo$Estacion[which.max(resumen_periodo$Datos_validos)]
ref <- as.numeric(precipitacion[[est_ref]])

```

```

# Mostrar claramente la estación de referencia
cat("***Estación de referencia seleccionada:**", est_ref, "\n\n")

# Otras estaciones (solo valores de precipitación, sin fecha ni referencia)

otras_est <- precipitacion %>%
  select(-Fecha, -all_of(est_ref)) %>%
  lapply(as.numeric) %>%
  as.data.frame()

# Función Test de Petit
test_petit <- function(est_ref, otras_est, alpha=0.05){
  resultados <- data.frame(
    Estacion = colnames(otras_est),
    Petit_stat = NA,
    pvalor = NA,
    Cumple = NA
  )
  for(i in 1:ncol(otras_est)){
    est <- otras_est[[i]]
    valid <- !is.na(est_ref) & !is.na(est)
    if(sum(valid)<2) next
    diff <- est_ref[valid] - est[valid]
    petit_stat <- mean(diff)/sd(diff)
    pvalor <- 2 * (1 - pnorm(abs(petit_stat)))
    resultados$Petit_stat[i] <- petit_stat
    resultados$pvalor[i] <- pvalor
    resultados$Cumple[i] <- ifelse(pvalor >= alpha, TRUE, FALSE)
  }
}

```

```

}

return(resultados)

}

petit_result <- test_petit(ref, otras_est)

kable(petit_result, caption="Test de Petit: Validación de la estación de referencia")

#4. Consistencia Inicial con Periodos de Análisis"

consistencia_estacion <- function(est, ref){

  valid <- !is.na(est) & !is.na(ref)

  if(sum(valid)<2) return(NULL)

  t_res <- t.test(est[valid], ref[valid])

  f_res <- var.test(est[valid], ref[valid])

  list(

    inicio = min(precipitacion$Fecha[valid]),

    final = max(precipitacion$Fecha[valid]),

    datos_validos = sum(valid),

    media_cumple = t_res$p.value >= 0.05,

    t_pvalor = t_res$p.value,

    var_cumple = f_res$p.value >= 0.05,

    f_pvalor = f_res$p.value,

    corrige = !(t_res$p.value >= 0.05 & f_res$p.value >= 0.05)

  )

}

resumen_consistencia <- data.frame()

for(i in 2:ncol(precipitacion)){

  est <- precipitacion[[i]]

```

```

cons <- consistencia_estacion(est, ref)

if(is.null(cons)) next

resumen_consistencia <- rbind(

  resumen_consistencia,

  data.frame(

    Estacion = colnames(precipitacion)[i],

    Inicio_analisis = cons$inicio,

    Final_analisis = cons$final,

    Datos_validos = cons$datos_validos,

    Media_cumple = cons$media_cumple,

    T_pvalor = cons$t_pvalor,

    Var_cumple = cons$var_cumple,

    F_pvalor = cons$f_pvalor,

    Corrige = cons$corrige

  )

)

}

```

kable(resumen_consistencia, caption="Consistencia inicial con periodos de análisis")

5. Corrección de Series Fuera de Consistencia

```

corregir_serie <- function(est, ref, ventana=365){

  valid <- !is.na(est) & !is.na(ref)

  est_noNA <- est[valid]

  ref_noNA <- ref[valid]

  n <- length(est_noNA)

```

```

est_cor <- est_noNA

# Solo corregir valores positivos (>0)

lluvia_idx <- which(est_noNA > 0)

for(i in seq(1, n, by=ventana)){

  idx <- i:min(i+ventana-1, n)

  idx_lluvia <- intersect(idx, lluvia_idx)

  if(length(idx_lluvia)<2) next

  # Ajuste de media

  est_cor[idx_lluvia] <- est_cor[idx_lluvia] - mean(est_cor[idx_lluvia], na.rm=TRUE) +
mean(ref_noNA[idx_lluvia], na.rm=TRUE)

  # Ajuste de desviación estándar

  est_cor[idx_lluvia] <- (est_cor[idx_lluvia] - mean(est_cor[idx_lluvia], na.rm=TRUE)) *
  (sd(ref_noNA[idx_lluvia], na.rm=TRUE)/sd(est_cor[idx_lluvia], na.rm=TRUE)) +
mean(est_cor[idx_lluvia], na.rm=TRUE)

}

# Evitar valores negativos: poner todos <0 en 0

est_cor[est_cor < 0] <- 0

# Colocar ceros y NAs en sus posiciones originales

est_cor_final <- est

est_cor_final[valid] <- est_cor

return(est_cor_final)

}

series_corregidas <- list()

resumen_consistencia_post <- resumen_consistencia

```

```

for(i in 2:ncol(precipitacion)){
  est <- as.numeric(precipitacion[[i]])
  if(!resumen_consistencia$Corrige[i-1]){
    est_cor <- est
  } else {
    est_cor <- corregir_serie(est, ref)
  }
  series_corregidas[[colnames(precipitacion)[i]]] <- est_cor
  cons_post <- consistencia_estacion(est_cor, ref)
  resumen_consistencia_post$Media_cumple_post[i-1] <- cons_post$media_cumple
  resumen_consistencia_post$T_pvalor_post[i-1] <- cons_post$t_pvalor
  resumen_consistencia_post$Var_cumple_post[i-1] <- cons_post$var_cumple
  resumen_consistencia_post$F_pvalor_post[i-1] <- cons_post$f_pvalor
}
kable(resumen_consistencia_post, caption="Consistencia posterior a la corrección")
# 6. Visualización Comparativa de Series
plot_list <- list()
for(i in 2:ncol(precipitacion)){
  est_sel <- colnames(precipitacion)[i]
  df_plot <- data.frame(
    Fecha=precipitacion$Fecha,
    Original=precipitacion[[est_sel]],
    Corregida=series_corregidas[[est_sel]],
    Referencia=ref
  )
}

```

```

df_long <- melt(df_plot, id.vars="Fecha")

p <- ggplot(df_long, aes(x=Fecha, y=value, color=variable)) +
  geom_line() + theme_minimal() +
  labs(title=paste("PrecipitaciÃ³n -", est_sel),
        y="PrecipitaciÃ³n (mm)", x="Fecha", color="Serie") +
  theme(legend.position="bottom")

plot_list[[i-1]] <- p
}

for(i in seq(1, length(plot_list), by=2)){
  if(i+1 <= length(plot_list)){
    grid.arrange(plot_list[[i]], plot_list[[i+1]], ncol=1)
  } else {
    print(plot_list[[i]])
  }
}

#7. Exportacion de Series Corregidas

# Convertir lista a data.frame

series_corregidas_df <- data.frame(Fecha = precipitacion$Fecha, do.call(cbind,
series_corregidas))

colnames(series_corregidas_df) <- c("Fecha", names(series_corregidas))

# Exportar CSV

write.csv(series_corregidas_df, "precipitacion_corregida.csv", row.names = FALSE)

cat("Archivo 'precipitacion_corregida.csv' exportado correctamente.\n")

# 8. Analisis de Tendencias

```

```

analizar_tendencia <- function(serie){
  valid <- !is.na(serie)
  if(sum(valid) < 2) return(NA)
  mk <- MannKendall(serie[valid])
  if(mk$sl < 0.05){
    if(mk$tau > 0) return("Positiva")
    else return("Negativa")
  } else {
    return("No significativa")
  }
}

# Series originales (sin fecha)
series_orig <- precipitacion[,-1]

# Series corregidas (sin fecha)
series_corr <- series_corregidas_df[,-1]

tendencias_orig <- sapply(series_orig, analizar_tendencia)
tendencias_corr <- sapply(series_corr, analizar_tendencia)

tendencias_resumen <- data.frame(
  Estacion = names(tendencias_orig),
  Tendencia_Original = tendencias_orig,
  Tendencia_Corregida = tendencias_corr
)

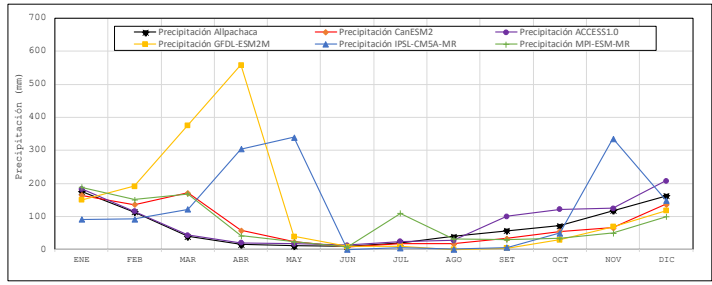
kable(tendencias_resumen, caption="Resumen de tendencias: Original vs Corregida")

```

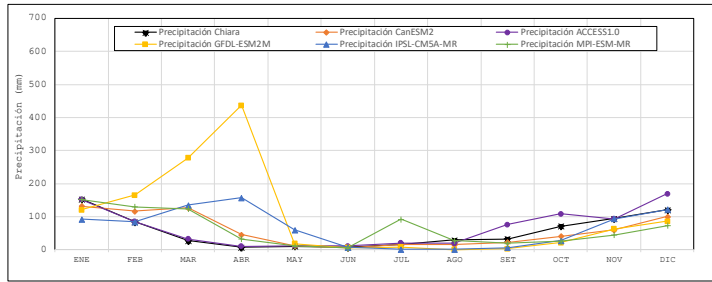
4. MÉTRICAS DE DESEMPEÑO PARA MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES

Anexo 4.1: Metricas de desempeño para modelos climáticos globales CMIP5 - RCP4.5

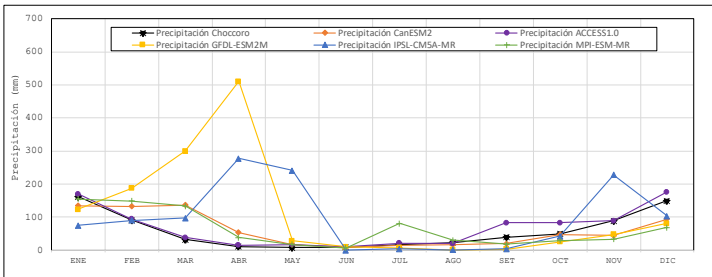
ALLPACHACA					
Precipitación Alpachaca	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
175.777	164.262	183.699	150.472	91.792	188.965
114.215	135.862	115.691	151.405	92.478	151.425
39.485	171.786	43.646	376.268	122.412	168.111
15.877	58.445	21.022	558.708	304.268	41.615
11.777	23.706	17.742	40.242	339.995	23.696
10.008	7.831	13.333	9.605	0.247	7.148
20.292	18.725	25.205	9.477	5.877	109.921
39.462	17.491	27.798	0.802	1.455	31.562
56.762	33.549	100.152	4.478	6.009	29.296
72.531	55.527	121.892	29.527	49.695	34.289
118.146	65.905	124.900	69.665	335.189	49.967
162.169	137.562	208.005	118.303	149.606	99.547
R ²	0.479	0.922	0.003	0.002	0.304
NASH	0.356	0.823	-10.096	-5.705	0.015
PBIAS	-6.473	-19.914	-86.366	-79.202	-11.840



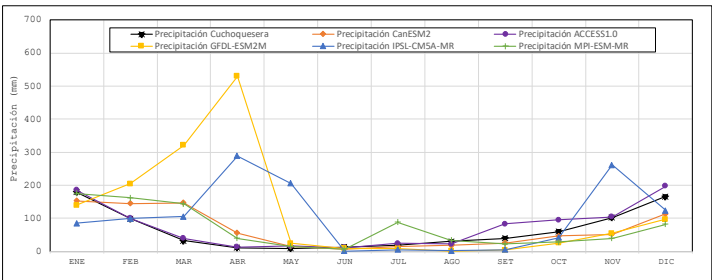
CHIARA					
Precipitación Chiara	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
153.301	132.340	151.880	121.235	92.568	152.242
84.856	117.088	85.912	164.948	84.926	130.508
28.083	126.686	32.452	277.478	134.784	123.982
7.239	45.676	10.195	437.006	157.166	32.546
10.285	11.201	12.702	19.053	60.030	11.207
7.566	5.478	11.302	6.707	7.268	4.996
15.915	15.842	20.309	8.016	1.375	92.970
29.902	15.181	19.848	0.697	1.182	27.390
32.806	23.003	76.088	3.075	6.991	20.093
71.371	41.050	108.802	21.817	27.363	25.343
94.191	60.240	93.175	63.662	93.368	45.364
121.058	100.546	169.378	86.470	121.412	72.972
R ²	0.500	0.885	0.003	0.099	0.318
NASH	0.418	0.783	-8.795	-0.640	0.067
PBIAS	-5.751	-20.633	-84.315	-20.083	-12.648



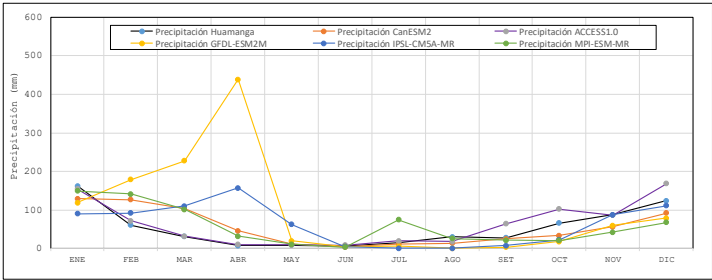
CHOCOCORO					
Precipitación Chococoro	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
162.275	135.037	170.758	123.702	75.463	155.335
91.210	133.279	93.932	187.742	90.713	148.539
32.723	137.188	38.795	300.486	97.748	134.250
11.439	53.435	15.276	510.771	278.183	38.042
8.454	16.792	17.542	28.523	241.001	16.808
9.453	8.011	10.044	9.835	0.252	7.317
16.069	13.848	21.207	7.005	4.346	81.280
23.132	16.837	20.458	0.772	1.398	30.370
40.033	20.366	83.262	2.718	3.646	17.782
49.347	47.323	82.932	25.157	42.348	29.215
89.500	44.833	89.212	47.378	228.002	33.937
150.215	94.698	176.042	81.432	102.981	69.108
R ²	0.440	0.939	0.002	0.000	0.308
NASH	0.360	0.879	-9.518	-3.945	0.097
PBIAS	-5.527	-19.830	-93.832	-70.517	-11.426



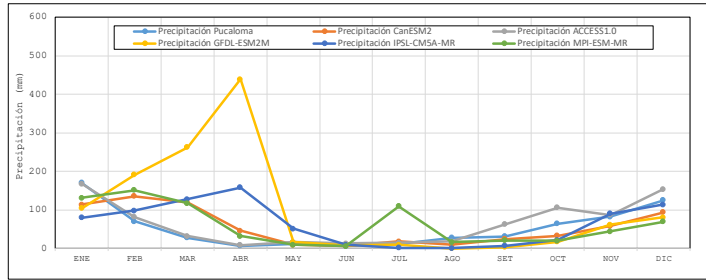
CUCHOQUESERA					
Precipitación Cuchoquesera	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
178.708	152.132	184.824	139.353	85.008	174.998
98.408	144.820	100.047	204.006	98.571	161.411
32.408	146.696	39.478	321.335	104.539	143.564
10.624	55.384	13.020	529.456	288.356	39.428
8.475	14.318	15.377	24.322	205.528	14.318
13.170	6.882	10.833	8.418	0.215	6.266
17.319	14.934	23.815	7.563	4.691	87.714
30.420	18.242	22.075	0.836	1.512	32.908
39.044	25.347	82.315	3.388	4.540	22.141
59.577	46.001	94.896	24.451	41.158	28.402
102.321	51.352	104.058	54.264	261.108	38.712
166.071	113.185	197.088	97.338	123.104	81.219
R ²	0.469	0.941	0.002	0.008	0.323
NASH	0.397	0.890	-8.479	-3.025	0.125
PBIAS	-4.329	-17.353	-86.999	-61.039	-9.852



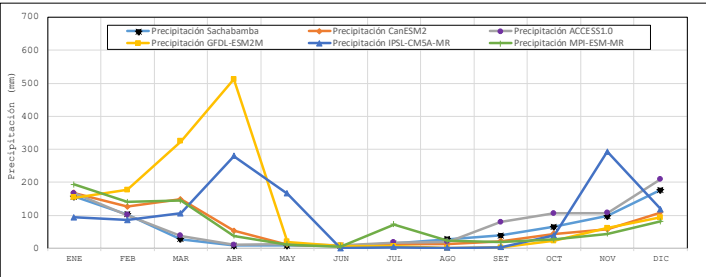
HUAMANGA					
Precipitación Huamanga	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
162.792	129.601	154.576	118.727	90.655	149.088
61.065	126.942	72.325	178.826	92.073	141.492
31.669	103.851	32.675	227.473	110.494	101.632
7.767	45.895	10.418	438.529	157.722	32.668
8.520	11.665	9.646	19.895	62.672	11.706
6.729	4.117	9.143	5.056	5.484	3.759
15.225	12.697	20.022	6.417	1.103	74.455
30.200	14.334	16.758	0.659	1.106	25.852
27.903	25.045	63.988	3.348	7.616	21.872
65.790	33.786	102.985	17.962	22.518	20.854
87.458	56.431	87.237	59.642	87.462	43.018
124.054	92.146	168.736	79.231	111.254	67.672
R ²	0.497	0.894	0.002	0.104	0.347
NASH	0.445	0.818	-7.894	-0.490	0.173
PBIAS	-4.345	-19.285	-83.696	-19.229	-10.314



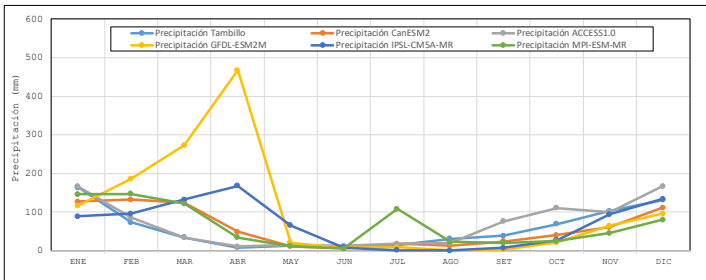
PUCALOMA					
Precipitación Pucaloma	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
170.963	114.110	168.215	104.632	79.818	131.266
70.346	135.930	82.082	191.490	98.605	151.514
27.882	120.158	32.262	263.187	127.839	117.596
7.450	45.998	9.159	439.568	158.092	32.738
12.675	9.635	16.680	16.365	51.621	9.632
6.659	7.317	12.890	8.956	9.714	6.670
11.299	18.648	15.250	9.435	1.615	109.418
28.153	9.456	18.292	0.436	0.728	17.060
31.880	24.548	62.805	3.283	7.462	21.443
64.153	32.841	106.122	17.449	21.888	20.274
83.205	58.350	87.374	62.220	90.440	44.335
125.749	94.298	154.207	81.088	113.854	69.815
R ²	0.395	0.928	0.004	0.080	0.212
NASH	0.310	0.870	-7.966	-0.567	-0.116
PBIAS	-4.821	-19.507	-87.068	-18.935	-14.264



SACHABAMBA					
Precipitación Sachabamba	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
156.368	167.707	166.668	153.618	93.715	192.918
102.708	125.701	100.438	177.068	85.559	140.107
28.075	148.056	37.682	324.300	105.500	144.893
8.551	53.585	10.598	512.220	278.968	38.155
8.315	11.564	13.419	19.698	166.226	11.583
7.543	6.029	8.827	7.387	0.189	5.505
14.130	12.337	17.415	6.238	3.872	72.382
28.117	12.611	19.830	0.580	1.043	22.734
39.193	21.260	79.668	2.840	3.804	18.573
65.098	43.585	105.855	23.169	39.004	26.915
97.793	57.554	106.704	60.842	292.735	43.620
177.341	108.928	209.317	93.674	118.466	81.941
R ²	0.465	0.945	0.002	0.022	0.331
NASH	0.373	0.879	-8.223	-2.916	0.112
PBIAS	-4.867	-19.528	-88.431	-62.170	-9.014

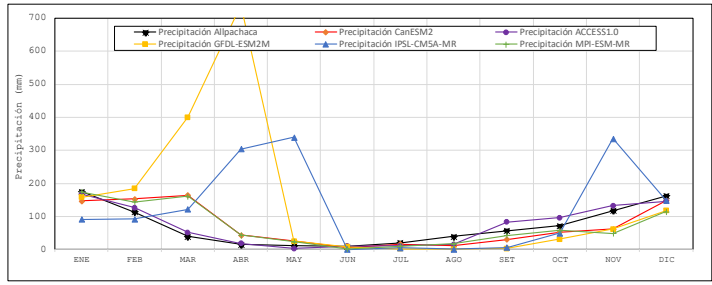


TAMBILLO					
Precipitación Tambillo	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
163.567	127.176	165.994	116.495	88.941	146.287
73.502	132.198	85.531	186.235	95.897	147.348
34.461	124.838	34.748	273.432	132.811	122.174
8.612	48.884	11.152	467.283	168.058	34.802
13.010	12.203	14.555	20.738	65.355	12.199
7.757	6.258	12.892	7.672	8.315	5.708
14.199	18.395	18.317	9.312	1.596	107.959
31.059	12.845	20.118	0.590	0.998	23.185
38.824	23.888	75.809	3.188	7.255	20.856
68.960	40.761	111.230	21.666	27.167	25.170
103.156	61.108	100.159	64.593	94.722	46.097
131.405	111.258	167.358	95.667	134.333	80.765
R ²	0.468	0.916	0.004	0.103	0.252
NASH	0.386	0.838	-8.826	-0.621	-0.053
PBIAS	-4.546	-18.787	-84.002	-19.889	-12.206

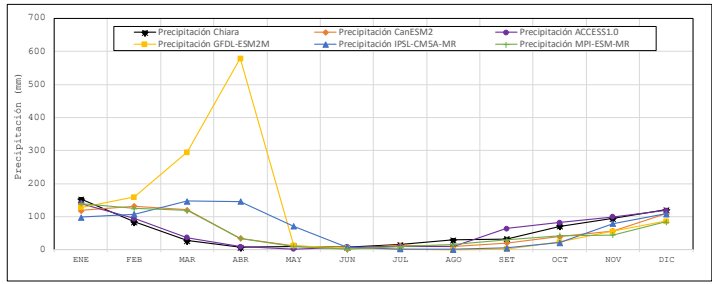


Anexo 4.2: Métricas de desempeño para modelos climáticos globales CMIP5 – RCP8.5

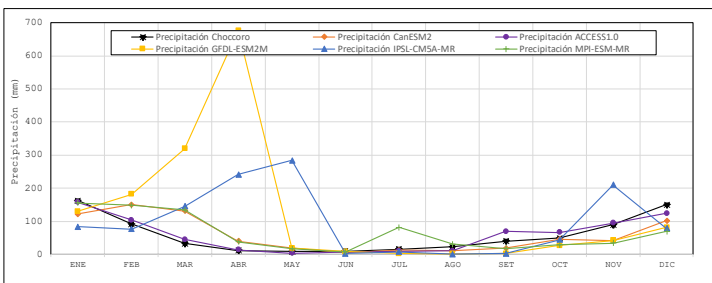
ALLPACHACA					
Precipitación Allpachaca	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
175.777	147.702	168.118	158.358	91.792	174.095
114.215	153.018	126.877	184.684	92.478	144.460
39.485	164.107	51.891	399.937	122.412	161.132
15.877	44.048	18.998	739.612	304.268	44.279
11.777	26.134	3.556	25.735	339.995	23.385
10.008	5.562	10.296	8.053	0.247	2.008
20.292	16.281	11.887	2.802	5.877	10.768
39.462	11.249	15.529	1.002	1.455	17.693
56.762	30.600	83.632	3.246	6.009	42.935
72.531	53.367	96.298	31.655	49.695	58.458
118.146	61.984	133.525	61.736	335.189	49.017
162.169	148.215	146.008	117.954	149.606	115.305
R ²	0.498	0.931	0.011	0.002	0.480
NASH	0.373	0.925	-16.469	-5.705	0.358
PBIAS	-3.081	-3.600	-107.385	-79.202	-0.841



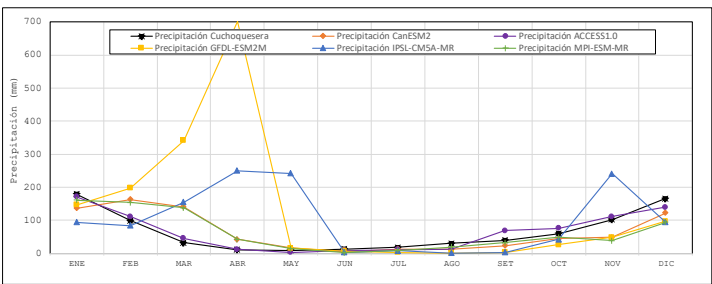
CHIARA					
Precipitación Chiara	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
153.301	119.005	139.920	127.695	99.087	140.269
84.856	131.878	94.656	159.152	107.813	124.489
28.083	121.018	37.135	294.938	147.369	118.830
7.239	34.413	9.217	578.529	145.992	34.636
10.285	12.358	2.611	12.185	71.444	11.051
7.566	3.885	8.718	5.624	8.621	1.397
15.915	13.778	9.371	2.375	1.980	9.105
29.902	9.765	10.821	0.872	1.411	15.356
32.806	20.970	63.869	2.227	5.684	29.439
71.371	39.458	82.802	23.395	22.099	43.212
94.191	56.642	99.301	56.419	79.345	44.507
121.058	108.330	119.164	86.204	108.595	84.524
R ²	0.496	0.930	0.013	0.088	0.501
NASH	0.402	0.927	-14.424	-0.699	0.413
PBIAS	-2.274	-3.200	-105.539	-21.760	-0.037



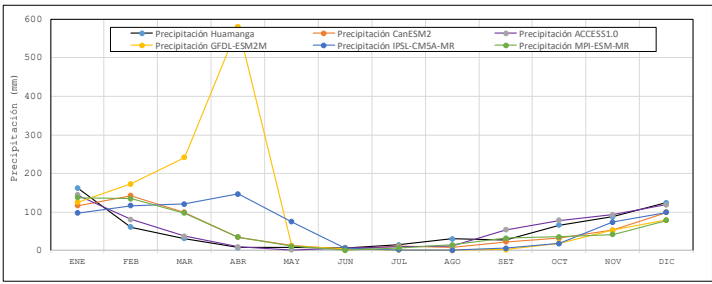
CHOCOCORO					
Precipitación Chococoro	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
162.275	121.427	157.625	130.182	83.051	155.335
91.210	150.096	104.153	181.141	76.792	148.539
32.723	131.047	45.158	319.387	144.895	134.250
11.439	40.283	13.822	676.170	241.303	38.042
8.454	18.515	3.360	18.239	283.483	16.808
9.453	5.697	7.632	8.242	2.913	7.317
16.069	12.038	9.605	2.069	7.330	81.280
23.132	10.828	10.215	0.963	0.486	30.370
40.033	18.572	69.179	1.968	2.254	17.782
49.347	45.482	65.772	26.981	43.768	29.215
89.500	42.169	94.823	41.999	210.185	33.937
150.215	102.032	124.353	81.192	78.398	69.108
R ²	0.447	0.927	0.009	0.004	0.308
NASH	0.354	0.926	-15.731	-4.219	0.097
PBIAS	-2.096	-3.195	-117.669	-71.800	-11.426



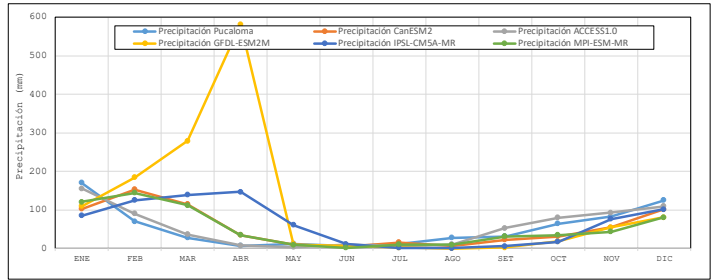
CUCHOQUESERA					
Precipitación Cuchoqueser	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
178.708	136.793	170.715	146.662	93.555	161.229
98.408	163.097	110.630	196.840	83.443	153.981
32.408	140.151	45.316	341.545	154.957	137.606
10.624	41.742	11.770	700.898	250.135	41.965
8.475	15.805	3.028	15.551	241.750	14.133
13.170	4.882	8.226	7.057	2.496	1.758
17.319	12.987	10.911	2.240	7.908	8.592
30.420	11.737	11.968	1.044	0.526	18.448
39.044	23.115	68.627	2.455	2.804	32.445
59.577	44.211	75.702	26.220	42.544	48.423
102.321	48.277	110.775	48.090	240.696	37.980
166.071	121.948	139.042	97.052	93.719	94.078
R ²	0.473	0.931	0.009	0.000	0.453
NASH	0.386	0.931	-13.972	-3.066	0.362
PBIAS	-1.084	-1.344	-109.592	-60.537	0.781



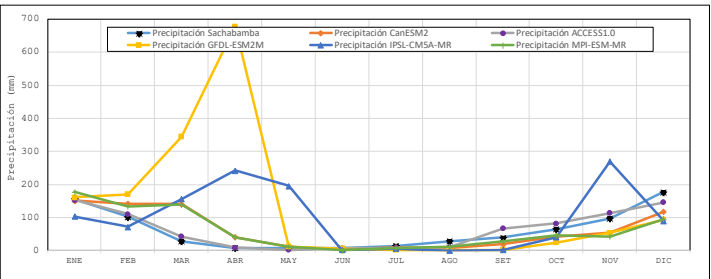
HUAMANGA					
Precipitación Huamanga	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
162.792	116.538	143.901	124.942	97.036	137.359
61.065	142.966	81.092	172.538	116.886	134.964
31.669	99.211	37.474	241.776	120.805	97.411
7.767	34.595	9.417	580.557	146.516	34.767
8.520	12.855	2.007	12.718	74.584	11.545
6.729	2.932	6.978	4.234	6.492	1.055
15.225	11.032	9.359	1.898	1.581	7.292
30.200	9.207	11.167	0.824	1.325	14.494
27.903	22.946	53.945	2.425	6.187	32.058
65.790	32.472	78.102	19.255	18.179	35.572
87.458	53.073	92.798	52.857	74.334	42.197
124.054	99.276	119.161	78.993	99.523	78.400
R ²	0.453	0.925	0.009	0.088	0.476
NASH	0.367	0.924	-13.189	-0.571	0.402
PBIAS	-1.245	-2.579	-105.511	-21.342	0.327



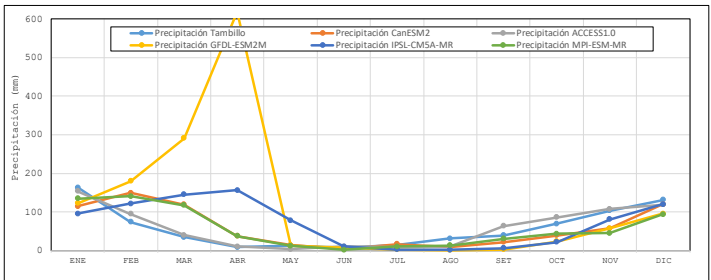
PUCALOMA					
Precipitación Pucaloma	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
170.963	102.604	156.173	110.001	85.435	120.935
70.346	153.096	90.869	184.758	125.154	144.529
27.882	114.792	36.578	279.746	139.776	112.712
7.450	34.668	8.298	581.905	146.861	34.838
12.675	10.628	3.367	10.468	61.433	9.507
6.659	5.198	10.212	7.505	11.523	1.868
11.299	16.214	7.401	2.788	2.329	10.719
28.153	6.082	10.922	0.544	0.877	9.563
31.880	22.385	53.038	2.378	6.062	31.416
64.153	31.566	80.462	18.711	17.681	34.571
83.205	54.870	93.424	55.139	76.858	43.495
125.749	101.598	109.758	80.840	101.845	80.862
R ²	0.366	0.927	0.013	0.069	0.401
NASH	0.233	0.926	-12.975	-0.641	0.303
PBIAS	-2.075	-3.137	-108.425	-21.146	0.843



SACHABAMBA					
Precipitación Sachabamba	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
156.368	150.802	152.992	161.674	103.134	177.738
102.708	141.570	110.682	170.837	72.424	133.647
28.075	141.439	42.784	344.696	156.377	138.871
8.551	40.384	9.588	678.095	241.992	40.598
8.315	12.759	2.625	12.590	195.521	11.429
7.543	4.278	6.781	6.192	2.192	1.542
14.130	10.725	8.118	1.844	6.528	7.089
28.117	8.102	10.328	0.723	0.364	12.742
39.193	19.389	66.693	2.050	2.352	27.205
65.098	41.887	82.697	24.846	40.305	45.888
97.793	54.138	113.232	53.918	269.853	42.789
177.341	117.355	146.450	93.388	90.182	94.908
R ²	0.503	0.925	0.009	0.005	0.457
NASH	0.428	0.925	-13.530	-2.844	0.349
PBIAS	-1.309	-2.692	-111.509	-61.098	-0.165



TAMBILLO					
Precipitación Tambillo	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
163.567	114.352	153.735	122.601	95.219	134.783
73.502	148.888	94.880	179.679	121.724	140.558
34.461	119.256	39.805	290.638	145.221	117.095
8.612	36.838	10.085	618.593	156.118	37.036
13.010	13.452	3.005	13.260	77.782	12.038
7.757	4.439	10.094	6.432	9.853	1.598
14.199	15.994	8.615	2.753	2.299	10.574
31.059	8.253	11.128	0.737	1.187	12.998
38.824	21.777	63.682	2.313	5.904	30.565
68.960	39.174	85.780	23.228	21.937	42.909
103.156	57.400	107.202	57.247	80.485	45.222
131.405	119.868	118.449	95.392	120.164	93.551
R ²	0.442	0.928	0.014	0.085	0.456
NASH	0.321	0.925	-14.554	-0.702	0.360
PBIAS	-1.634	-2.607	-105.207	-21.696	1.392



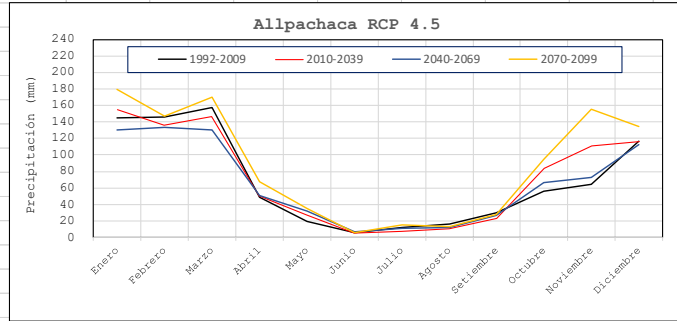
**5. NORMALES CLIMÁTICAS OBSERVADAS Y
PROYECTADAS ACCESS1.0**

Anexo 5.1: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

RCP4.5 – estación Allpachaca

RCP4.5													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992-2009	145.289	145.572	157.222	48.850	19.422	6.150	12.389	15.750	29.761	55.989	64.739	116.750	
2010-2039	155.368	135.955	146.544	50.696	27.476	5.345	7.078	10.001	22.889	83.393	111.052	115.854	
2040-2069	130.073	132.912	130.357	51.169	31.749	6.835	11.337	11.866	26.868	66.002	72.542	112.089	
2070-2099	179.642	147.283	170.367	67.667	35.449	5.406	15.305	13.427	27.482	94.705	155.160	134.036	
Mes/Año	Observado	RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 4.5									
Enero	145.289	155.368	130.073	179.642									
Febrero	145.572	135.955	132.912	147.283									
Marzo	157.222	146.544	130.357	170.367									
Abril	48.850	50.696	51.169	67.667									
Mayo	19.422	27.476	31.749	35.449									
Junio	6.150	5.345	6.835	5.406									
Julio	12.389	7.078	11.337	15.305									
Agosto	15.750	10.001	11.866	13.427									
Setiembre	29.761	22.889	26.868	27.482									
Octubre	55.989	83.393	66.002	94.705									
Noviembre	64.739	111.052	72.542	155.160									
Diciembre	116.750	115.854	112.089	134.036									

Variación de la Precipitación													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2010-2039	6.94%	-6.61%	-6.79%	3.78%	41.47%	-13.09%	-42.87%	-36.50%	-23.09%	48.95%	71.54%	-0.77%	
2040-2069	-10.47%	-8.70%	-17.09%	4.75%	63.47%	11.14%	-8.49%	-24.66%	-9.72%	17.88%	12.05%	-3.99%	
2070-2099	23.64%	1.18%	8.36%	38.52%	82.52%	-12.10%	23.54%	-14.75%	-7.66%	69.15%	139.67%	14.81%	



Anexo 5.2: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

RCP8.5 – estación Allpachaca

RCP8.5													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992-2009	145.2889	145.5722	157.2222	48.8500	19.4222	6.1500	12.3889	15.7500	29.7611	55.9889	64.7389	116.7500	
2010-2039	159.0737	113.4110	43.2580	10.7547	2.7050	6.2523	12.2823	19.9113	64.4367	97.7357	103.2693	146.8993	
2040-2069	161.0593	129.1113	53.3997	28.6563	4.0923	11.3957	21.8713	34.9320	81.0687	124.7353	129.2237	152.1083	
2070-2099	123.8873	128.4947	69.2110	30.9823	18.3927	16.0753	24.0227	48.8150	133.0437	153.7090	159.2667	148.6860	
Mes/Año	Observado	RCP 8.5	RCP 8.5	RCP 8.5									
Enero	145.289	159.074	161.059	123.887									
Febrero	145.572	113.411	129.111	128.495									
Marzo	157.222	43.258	53.400	69.211									
Abril	48.850	10.755	28.656	30.982									
Mayo	19.422	2.705	4.092	18.393									
Junio	6.150	6.252	11.396	16.075									
Julio	12.389	12.282	21.871	24.023									
Agosto	15.750	19.911	34.932	48.815									
Setiembre	29.761	64.437	81.069	133.044									
Octubre	55.989	97.736	124.735	153.709									
Noviembre	64.739	103.269	129.224	159.267									
Diciembre	116.750	146.899	152.108	148.686									

Variación de la Precipitación													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2010-2039	9.49%	-22.09%	-72.49%	-77.98%	-86.07%	1.66%	-0.86%	26.42%	116.51%	74.56%	59.52%	25.82%	
2040-2069	10.85%	-11.31%	-66.04%	-41.34%	-78.93%	85.30%	76.54%	121.79%	172.40%	122.79%	99.61%	30.29%	
2070-2099	-14.73%	-11.73%	-55.98%	-36.58%	-5.30%	161.39%	93.90%	209.94%	347.04%	174.53%	146.01%	27.35%	

Anexo 5.3: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

RCP4.5 – estación Chiara

RCP4.5													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992-2009	129.118	121.405	117.618	38.327	9.038	4.581	9.688	13.854	19.250	40.178	55.637	90.852	
2010-2039	129.202	86.551	32.340	10.376	3.646	5.393	11.643	20.317	62.418	104.827	88.624	127.729	
2040-2069	125.073	77.995	35.140	11.778	4.598	8.377	12.721	27.091	51.835	66.602	82.177	103.598	
2070-2099	142.849	103.081	46.245	12.451	5.452	10.999	14.351	24.929	80.552	138.559	96.450	145.874	
Observado	RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 4.5										
Mes/Año	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099									
Enero	129.118	129.202	125.073	142.849									
Febrero	121.405	86.551	77.995	103.081									
Marzo	117.618	32.340	35.140	46.245									
Abril	38.327	10.376	11.778	12.451									
Mayo	9.038	3.646	4.598	5.452									
Junio	4.581	5.393	8.377	10.999									
Julio	9.688	11.643	12.721	14.351									
Agosto	13.854	20.317	27.091	24.929									
Setiembre	19.250	62.418	51.835	80.552									
Octubre	40.178	104.827	66.602	138.559									
Noviembre	55.637	88.624	82.177	96.450									
Diciembre	90.852	127.729	103.598	145.874									

Variación de la Precipitación													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2010-2039	0.07%	-28.71%	-72.50%	-72.93%	-59.66%	17.73%	20.18%	46.65%	224.25%	160.91%	59.29%	40.59%	
2040-2069	-3.13%	-35.76%	-70.12%	-69.27%	-49.12%	82.87%	31.30%	95.54%	169.27%	65.77%	47.70%	14.03%	
2070-2099	10.64%	-15.09%	-60.68%	-67.51%	-39.68%	140.10%	48.13%	79.94%	318.45%	244.86%	73.35%	60.56%	

Anexo 5.4: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

RCP8.5 – estación Chiara

RCP8.5													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992-2009	129.1176	121.4055	117.6181	38.3266	9.0377	4.5809	9.6879	13.8544	19.2499	40.1779	55.6371	90.8520	
2010-2039	131.7467	84.2617	31.9157	5.3553	1.9130	5.3060	9.9230	14.1237	49.7280	86.0507	77.2163	119.4963	
2040-2069	132.9453	95.9763	38.1593	13.8657	3.0373	9.6883	18.0170	24.7037	62.9100	108.9693	96.1023	123.9027	
2070-2099	103.1790	95.4517	49.7867	14.8670	13.6960	13.6427	19.5567	34.3413	102.3147	134.0180	118.3883	120.8780	
Observado	RCP 8.5	RCP 8.5	RCP 8.5										
Mes/Año	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099									
Enero	129.118	131.747	132.945	103.179									
Febrero	121.405	84.262	95.976	95.452									
Marzo	117.618	31.916	38.159	49.787									
Abril	38.327	5.355	13.866	14.867									
Mayo	9.038	1.913	3.037	13.696									
Junio	4.581	5.306	9.688	13.643									
Julio	9.688	9.923	18.017	19.557									
Agosto	13.854	14.124	24.704	34.341									
Setiembre	19.250	49.728	62.910	102.315									
Octubre	40.178	86.051	108.969	134.018									
Noviembre	55.637	77.216	96.102	118.388									
Diciembre	90.852	119.496	123.903	120.878									

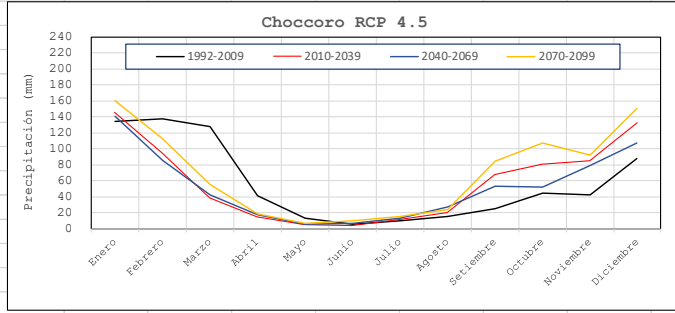
Variación de la Precipitación													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2010-2039	2.04%	-30.59%	-72.87%	-86.03%	-78.83%	15.83%	2.43%	1.94%	158.33%	114.17%	38.79%	31.53%	
2040-2069	2.96%	-20.95%	-67.56%	-63.82%	-66.39%	111.49%	85.97%	78.31%	226.81%	171.22%	72.73%	36.38%	
2070-2099	-20.09%	-21.38%	-57.67%	-61.21%	51.54%	197.81%	101.87%	147.87%	431.51%	233.56%	112.79%	33.05%	

Anexo 5.5: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

RCP4.5 – estación Choccoro

RCP4.5													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992-2009	134.623	137.042	127.379	41.648	13.136	6.136	9.880	15.761	25.230	44.445	42.659	88.151	
2010-2039	145.265	94.675	38.990	15.537	4.812	4.778	12.185	20.100	68.444	80.862	84.901	132.549	
2040-2069	140.787	85.327	42.778	17.603	5.695	7.448	13.444	27.100	53.801	52.819	78.749	107.791	
2070-2099	160.679	112.641	55.751	18.651	6.507	9.743	15.187	24.571	84.798	107.063	92.250	150.999	
Mes/Año	Observado	RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 4.5									
Enero	134.623	145.265	140.787	160.679									
Febrero	137.042	94.675	85.327	112.641									
Marzo	127.379	38.990	42.778	55.751									
Abril	41.648	15.537	17.603	18.651									
Mayo	13.136	4.812	5.695	6.507									
Junio	6.136	4.778	7.448	9.743									
Julio	9.880	12.185	13.444	15.187									
Agosto	15.761	20.100	27.100	24.571									
Setiembre	25.230	68.444	53.801	84.798									
Octubre	44.445	80.862	52.819	107.063									
Noviembre	42.659	84.901	78.749	92.250									
Diciembre	88.151	132.549	107.791	150.999									

Variación de la Precipitación													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2010-2039	7.90%	-30.92%	-69.39%	-62.70%	-63.37%	-22.13%	23.33%	27.53%	171.28%	81.94%	99.02%	50.37%	
2040-2069	4.58%	-37.74%	-66.42%	-57.73%	-56.64%	21.37%	36.08%	71.94%	113.24%	18.84%	84.60%	22.28%	
2070-2099	19.35%	-17.81%	-56.23%	-55.22%	-50.46%	58.78%	53.72%	55.90%	236.10%	140.89%	116.25%	71.30%	



Anexo 5.6: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

RCP8.5 – estación Choccoro

RCP8.5													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992-2009	134.6233	137.0421	127.3793	41.6477	13.1356	6.1362	9.8797	15.7615	25.2297	44.4453	42.6586	88.1512	
2010-2039	148.1993	92.1753	38.2810	8.0173	2.6903	4.7453	10.3937	14.2210	52.7640	66.5910	74.0777	123.9870	
2040-2069	149.3903	105.0707	46.4350	20.7703	3.8067	8.8807	19.1750	24.6133	66.0447	85.0560	91.7833	128.8530	
2070-2099	116.2507	104.3890	60.3947	22.2810	17.1493	12.2933	20.6067	33.5963	109.3250	104.8300	113.0247	125.3060	
Mes/Año	Observado	RCP 8.5	RCP 8.5	RCP 8.5									
Enero	134.623	148.199	149.390	116.251									
Febrero	137.042	92.175	105.071	104.389									
Marzo	127.379	38.281	46.435	60.395									
Abril	41.648	8.017	20.770	22.281									
Mayo	13.136	2.690	3.807	17.149									
Junio	6.136	4.745	8.881	12.293									
Julio	9.880	10.394	19.175	20.607									
Agosto	15.761	14.221	24.613	33.596									
Setiembre	25.230	52.764	66.045	109.325									
Octubre	44.445	66.591	85.056	104.830									
Noviembre	42.659	74.078	91.783	113.025									
Diciembre	88.151	123.987	128.853	125.306									

Variación de la Precipitación													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2010-2039	10.08%	-32.74%	-69.95%	-80.75%	-79.52%	-22.67%	5.20%	-9.77%	109.13%	49.83%	73.65%	40.65%	
2040-2069	10.97%	-23.33%	-63.55%	-50.13%	-71.02%	44.73%	94.08%	56.16%	161.77%	91.37%	115.16%	46.17%	
2070-2099	-13.65%	-23.83%	-52.59%	-46.50%	30.56%	100.34%	108.58%	113.15%	333.32%	135.86%	164.95%	42.15%	

Anexo 5.7: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

RCP4.5 – estación Cuchoquesera

RCP4.5													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992-2009	143.820	146.790	139.190	44.074	11.839	5.372	11.112	16.708	23.748	44.361	49.599	99.234	
2010-2039	157.238	100.814	39.407	13.244	4.292	5.152	13.672	22.536	67.621	92.691	99.001	148.478	
2040-2069	152.459	90.852	42.898	15.013	5.216	8.034	14.993	30.071	54.154	60.785	91.817	120.635	
2070-2099	173.957	119.993	56.353	15.900	6.058	10.509	16.924	27.643	84.938	122.742	107.668	169.283	
Observado	RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 4.5										
Mes/Año	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099									
Enero	143.820	157.238	152.459	173.957									
Febrero	146.790	100.814	90.852	119.993									
Marzo	139.190	39.407	42.898	56.353									
Abril	44.074	13.244	15.013	15.900									
Mayo	11.839	4.292	5.216	6.058									
Junio	5.372	5.152	8.034	10.509									
Julio	11.112	13.672	14.993	16.924									
Agosto	16.708	22.536	30.071	27.643									
Setiembre	23.748	67.621	54.154	84.938									
Octubre	44.361	92.691	60.785	122.742									
Noviembre	49.599	99.001	91.817	107.668									
Diciembre	99.234	148.478	120.635	169.283									

Variación de la Precipitación													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2010-2039	9.33%	-31.32%	-71.69%	-69.95%	-63.75%	-4.10%	23.03%	34.88%	184.75%	108.95%	99.60%	49.62%	
2040-2069	6.01%	-38.11%	-69.18%	-65.94%	-55.94%	49.54%	34.92%	79.98%	128.04%	37.02%	85.12%	21.57%	
2070-2099	20.95%	-18.26%	-59.51%	-63.92%	-48.83%	95.62%	52.30%	65.45%	257.66%	176.69%	117.08%	70.59%	

Anexo 5.8: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

RCP8.5 – estación Cuchoquesera

RCP8.5													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992-2009	143.8199	146.7902	139.1900	44.0737	11.8391	5.3724	11.1124	16.7079	23.7479	44.3608	49.5991	99.2344	
2010-2039	160.4367	98.1447	38.8393	6.8240	2.3343	5.1167	11.6567	15.6870	52.7093	76.3677	86.3123	138.8943	
2040-2069	161.6777	111.8400	46.5787	17.7043	3.4687	9.5853	21.2987	27.4083	66.2117	97.6557	107.2153	144.2273	
2070-2099	125.9257	111.1593	60.7440	18.9890	15.6450	13.2670	23.0223	38.0640	108.9557	120.3950	132.0560	140.4113	
Observado	RCP 8.5	RCP 8.5	RCP 8.5										
Mes/Año	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099									
Enero	143.820	160.437	161.678	125.926									
Febrero	146.790	98.145	111.840	111.159									
Marzo	139.190	38.839	46.579	60.744									
Abril	44.074	6.824	17.704	18.989									
Mayo	11.839	2.334	3.469	15.645									
Junio	5.372	5.117	9.585	13.267									
Julio	11.112	11.657	21.299	23.022									
Agosto	16.708	15.687	27.408	38.064									
Setiembre	23.748	52.709	66.212	108.956									
Octubre	44.361	76.368	97.656	120.395									
Noviembre	49.599	86.312	107.215	132.056									
Diciembre	99.234	138.894	144.227	140.411									

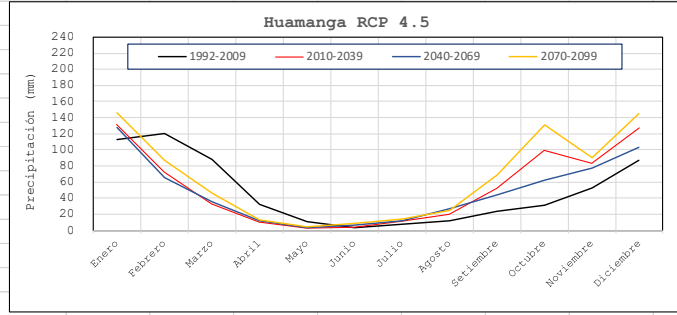
Variación de la Precipitación													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2010-2039	11.55%	-33.14%	-72.10%	-84.52%	-80.28%	-4.76%	4.90%	-6.11%	121.95%	72.15%	74.02%	39.97%	
2040-2069	12.42%	-23.81%	-66.54%	-59.83%	-70.70%	78.42%	91.67%	64.04%	178.81%	120.14%	116.16%	45.34%	
2070-2099	-12.44%	-24.27%	-56.36%	-56.92%	32.15%	146.95%	107.18%	127.82%	358.80%	171.40%	166.25%	41.49%	

Anexo 5.9: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

RCP4.5 – estación Huamanga

RCP4.5													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992-2009	112.380	120.578	88.079	32.566	10.564	3.324	7.556	11.419	23.787	31.226	52.489	87.486	
2010-2039	131.500	72.961	32.602	10.552	2.786	4.353	11.470	20.031	52.455	99.124	83.003	127.065	
2040-2069	128.124	65.790	35.470	11.734	3.545	6.780	12.445	26.409	44.499	62.823	76.978	103.314	
2070-2099	145.768	86.675	46.616	12.766	4.224	8.881	14.024	24.664	68.788	131.015	90.229	144.778	
Observado	RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 4.5										
Mes/Año	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099									
Enero	112.380	131.500	128.124	145.768									
Febrero	120.578	72.961	65.790	86.675									
Marzo	88.079	32.602	35.470	46.616									
Abril	32.566	10.552	11.734	12.766									
Mayo	10.564	2.786	3.545	4.224									
Junio	3.324	4.353	6.780	8.881									
Julio	7.556	11.470	12.445	14.024									
Agosto	11.419	20.031	26.409	24.664									
Setiembre	23.787	52.455	44.499	68.788									
Octubre	31.226	99.124	62.823	131.015									
Noviembre	52.489	83.003	76.978	90.229									
Diciembre	87.486	127.065	103.314	144.778									

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2010-2039	17.01%	-39.49%	-62.99%	-67.60%	-73.62%	30.96%	51.79%	75.42%	120.52%	217.44%	58.13%	45.24%
2040-2069	14.01%	-45.44%	-59.73%	-63.97%	-66.45%	103.95%	64.70%	131.27%	87.07%	101.19%	46.66%	18.09%
2070-2099	29.71%	-28.12%	-47.07%	-60.80%	-60.02%	167.16%	85.60%	115.99%	189.18%	319.58%	71.90%	65.49%



Anexo 5.10: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

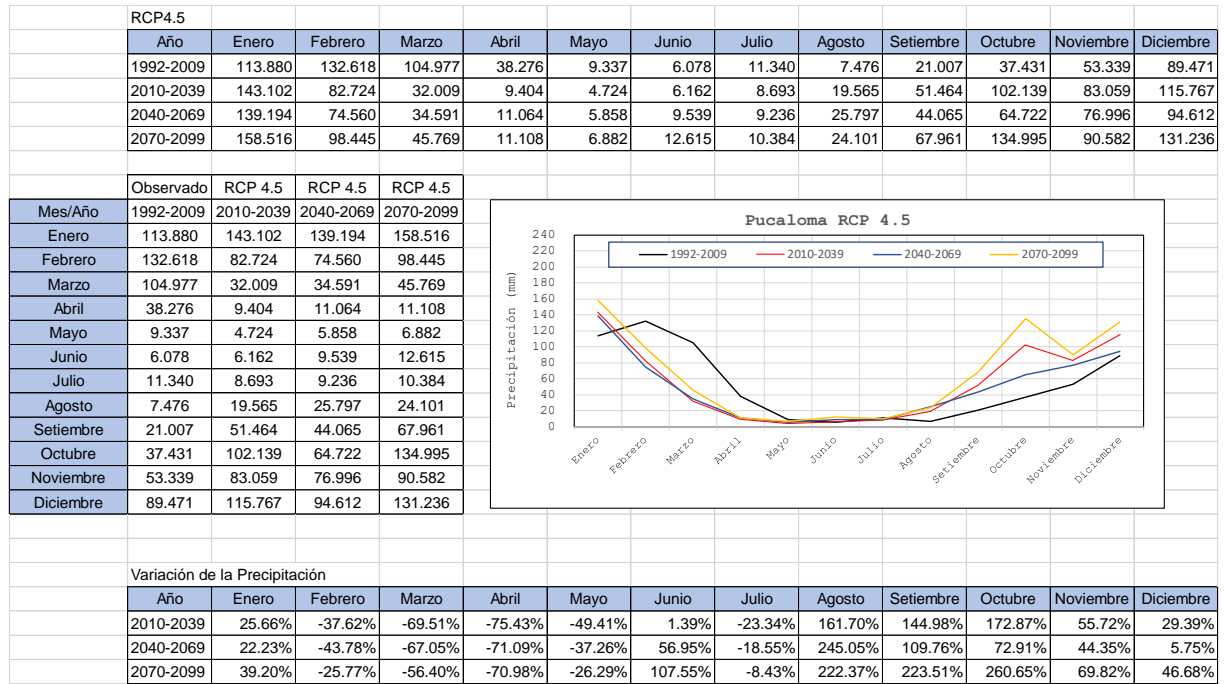
RCP8.5 – estación Huamanga

RCP8.5													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992-2009	112.3802	120.5780	88.0794	32.5657	10.5642	3.3243	7.5562	11.4189	23.7870	31.2257	52.4888	87.4861	
2010-2039	134.4517	71.0603	32.1437	5.3447	1.4477	4.3083	9.7703	13.6840	42.3383	81.3510	72.3917	118.8587	
2040-2069	134.9300	81.1087	38.5150	14.1913	2.3383	8.0027	17.5310	24.1780	53.7753	102.9480	89.8197	123.5007	
2070-2099	106.2220	80.4440	50.2293	15.3247	10.5433	11.1433	19.1653	34.2257	86.8737	126.5827	110.6187	120.1360	
Observado	RCP 8.5	RCP 8.5	RCP 8.5										
Mes/Año	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099									
Enero	112.380	134.452	134.930	106.222									
Febrero	120.578	71.060	81.109	80.444									
Marzo	88.079	32.144	38.515	50.229									
Abril	32.566	5.345	14.191	15.325									
Mayo	10.564	1.448	2.338	10.543									
Junio	3.324	4.308	8.003	11.143									
Julio	7.556	9.770	17.531	19.165									
Agosto	11.419	13.684	24.178	34.226									
Setiembre	23.787	42.338	53.775	86.874									
Octubre	31.226	81.351	102.948	126.583									
Noviembre	52.489	72.392	89.820	110.619									
Diciembre	87.486	118.859	123.501	120.136									

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2010-2039	19.64%	-41.07%	-63.51%	-83.59%	-86.30%	29.60%	29.30%	19.84%	77.99%	160.53%	37.92%	35.86%
2040-2069	20.07%	-32.73%	-56.27%	-56.42%	-77.87%	140.73%	132.01%	111.74%	126.07%	229.69%	71.12%	41.17%
2070-2099	-5.48%	-33.28%	-42.97%	-52.94%	-0.20%	235.21%	153.64%	199.73%	265.21%	305.38%	110.75%	37.32%

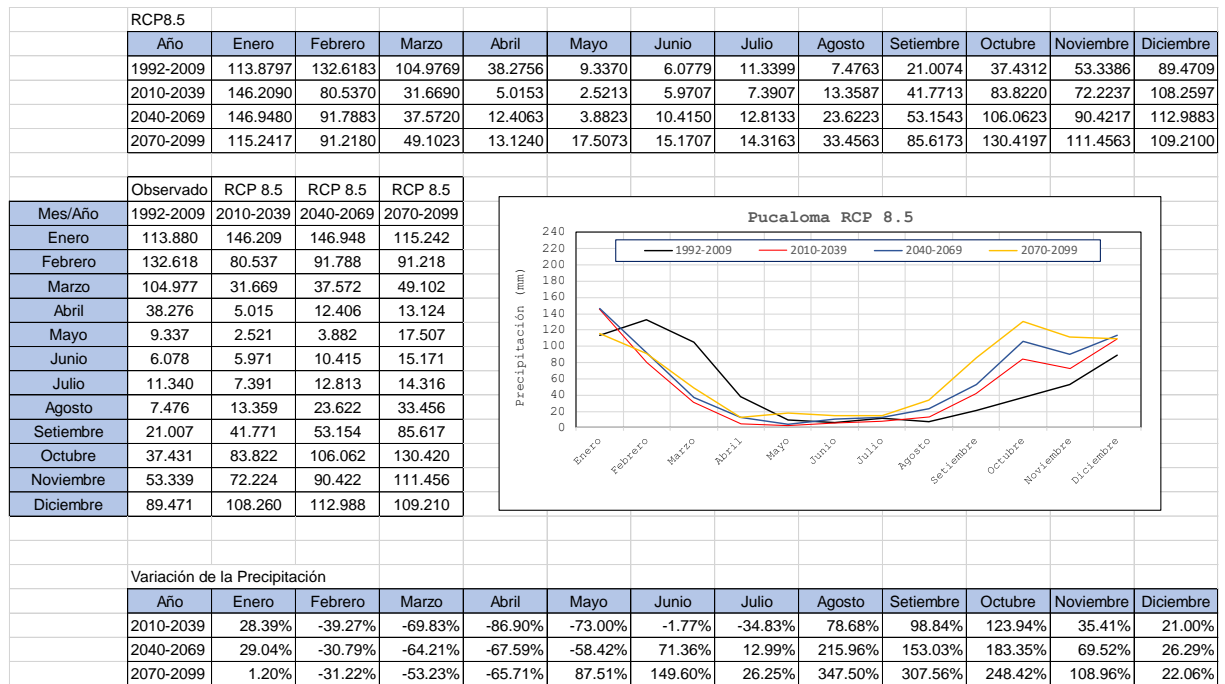
Anexo 5.11: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

RCP4.5 – estación Pucaloma



Anexo 5.12: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

RCP8.5 – estación Pucaloma

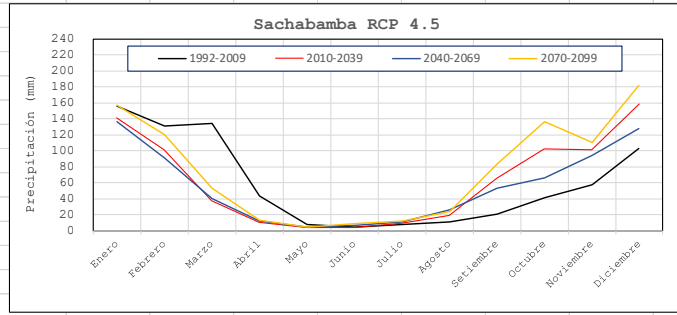


Anexo 5.13: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

RCP4.5 – estación Sachabamba

RCP4.5													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992-2009	155.706	130.631	134.078	43.505	8.318	4.894	8.285	11.142	20.542	42.024	57.545	103.243	
2010-2039	141.782	101.192	37.408	10.791	3.731	4.207	9.983	19.865	65.389	102.761	101.587	158.190	
2040-2069	136.944	91.184	40.466	12.303	4.498	6.544	10.846	26.638	53.543	66.451	94.235	127.850	
2070-2099	156.613	120.501	53.497	12.930	5.203	8.581	12.228	24.318	83.512	135.967	110.258	181.303	
Observado	RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 4.5										
Mes/Año	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099									
Enero	155.706	141.782	136.944	156.613									
Febrero	130.631	101.192	91.184	120.501									
Marzo	134.078	37.408	40.466	53.497									
Abril	43.505	10.791	12.303	12.930									
Mayo	8.318	3.731	4.498	5.203									
Junio	4.894	4.207	6.544	8.581									
Julio	8.285	9.983	10.846	12.228									
Agosto	11.142	19.865	26.638	24.318									
Setiembre	20.542	65.389	53.543	83.512									
Octubre	42.024	102.761	66.451	135.967									
Noviembre	57.545	101.587	94.235	110.258									
Diciembre	103.243	158.190	127.850	181.303									

Variación de la Precipitación													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2010-2039	-8.94%	-22.54%	-72.10%	-75.20%	-55.15%	-14.04%	20.49%	78.30%	218.32%	144.53%	76.53%	53.22%	
2040-2069	-12.05%	-30.20%	-69.82%	-71.72%	-45.92%	33.70%	30.91%	139.09%	160.65%	58.13%	63.76%	23.83%	
2070-2099	0.58%	-7.75%	-60.10%	-70.28%	-37.45%	75.33%	47.59%	118.27%	306.55%	223.54%	91.60%	75.61%	



Anexo 5.14: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

RCP8.5 – estación Sachabamba

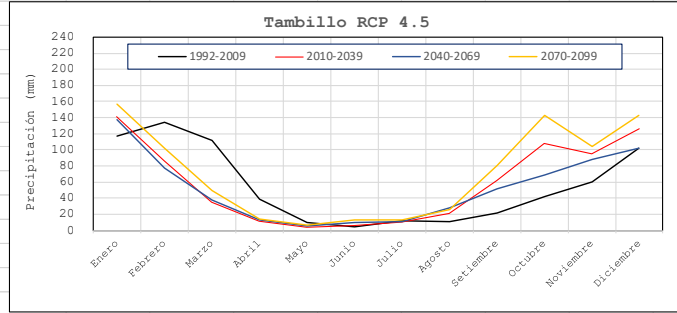
RCP8.5													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992-2009	155.7059	130.6310	134.0775	43.5048	8.3178	4.8943	8.2850	11.1415	20.5416	42.0244	57.5450	103.2428	
2010-2039	144.4357	98.5070	36.9930	5.5917	2.0480	4.1480	8.5020	13.9327	51.6567	84.5230	88.7170	148.0300	
2040-2069	146.0133	112.2047	43.9613	14.4060	2.9983	7.6243	15.3003	24.2360	65.1750	107.6240	109.6077	153.0070	
2070-2099	112.7860	111.5820	57.4303	15.4193	13.5000	10.6910	16.6913	33.3780	106.4803	132.5360	134.9290	149.9513	
Observado	RCP 8.5	RCP 8.5	RCP 8.5										
Mes/Año	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099									
Enero	155.706	144.436	146.013	112.786									
Febrero	130.631	98.507	112.205	111.582									
Marzo	134.078	36.993	43.961	57.430									
Abril	43.505	5.592	14.406	15.419									
Mayo	8.318	2.048	2.998	13.500									
Junio	4.894	4.148	7.624	10.691									
Julio	8.285	8.502	15.300	16.691									
Agosto	11.142	13.933	24.236	33.378									
Setiembre	20.542	51.657	65.175	106.480									
Octubre	42.024	84.523	107.624	132.536									
Noviembre	57.545	88.717	109.608	134.929									
Diciembre	103.243	148.030	153.007	149.951									

Variación de la Precipitación													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2010-2039	-7.24%	-24.59%	-72.41%	-87.15%	-75.38%	-15.25%	2.62%	25.05%	151.47%	101.13%	54.17%	43.38%	
2040-2069	-6.22%	-14.11%	-67.21%	-66.89%	-63.95%	55.78%	84.67%	117.53%	217.28%	156.10%	90.47%	48.20%	
2070-2099	-27.56%	-14.58%	-57.17%	-64.56%	62.30%	118.44%	101.46%	199.58%	418.36%	215.38%	134.48%	45.24%	

Anexo 5.15: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

RCP4.5 – estación Tambillo

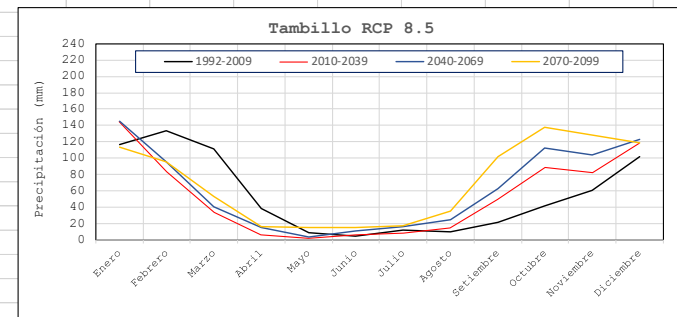
RCP4.5													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992-2009	116.561	133.850	111.516	38.934	9.486	4.337	11.954	10.431	21.518	42.234	60.411	101.560	
2010-2039	141.214	86.212	34.646	11.353	4.186	6.157	10.490	20.737	62.185	107.578	95.191	125.912	
2040-2069	137.148	77.706	37.666	12.932	5.291	9.546	11.341	27.593	51.813	68.968	88.230	102.519	
2070-2099	156.330	102.564	49.539	13.603	6.283	12.580	12.780	25.454	80.448	142.278	103.878	143.248	
Observado	RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 4.5										
Mes/Año	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099									
Enero	116.561	141.214	137.148	156.330									
Febrero	133.850	86.212	77.706	102.564									
Marzo	111.516	34.646	37.666	49.539									
Abril	38.934	11.353	12.932	13.603									
Mayo	9.486	4.186	5.291	6.283									
Junio	4.337	6.157	9.546	12.580									
Julio	11.954	10.490	11.341	12.780									
Agosto	10.431	20.737	27.593	25.454									
Setiembre	21.518	62.185	51.813	80.448									
Octubre	42.234	107.578	68.968	142.278									
Noviembre	60.411	95.191	88.230	103.878									
Diciembre	101.560	125.912	102.519	143.248									
Variación de la Precipitación													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2010-2039	21.15%	-35.59%	-68.93%	-70.84%	-55.87%	41.96%	-12.25%	98.80%	189.00%	154.72%	57.57%	23.98%	
2040-2069	17.66%	-41.95%	-66.22%	-66.79%	-44.22%	120.08%	-5.13%	164.53%	140.79%	63.30%	46.05%	0.94%	
2070-2099	34.12%	-23.37%	-55.58%	-65.06%	-33.77%	190.04%	6.91%	144.02%	273.87%	236.88%	71.95%	41.05%	



Anexo 5.16: Proyección y variación de la precipitación con escenario de cambio climático

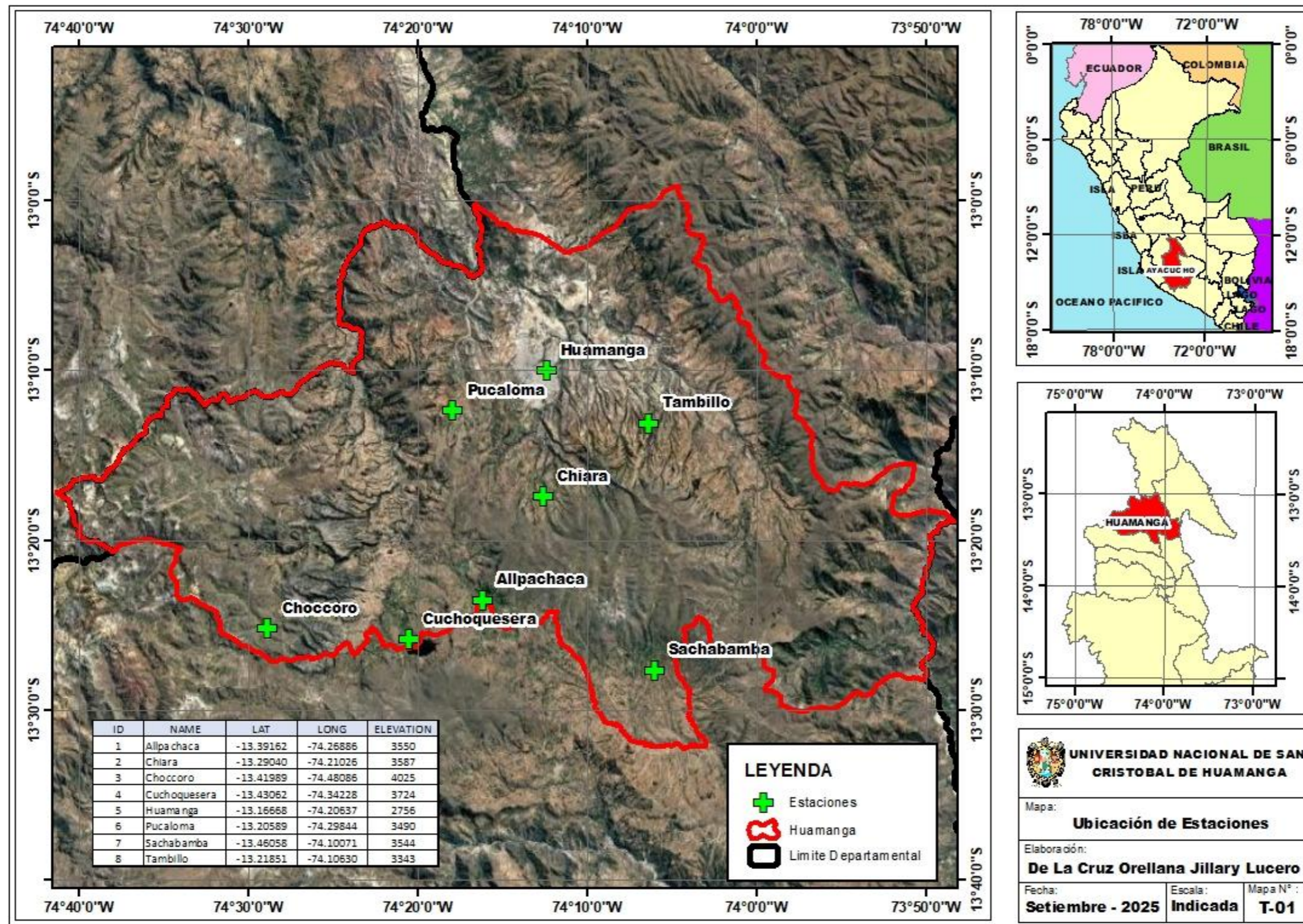
RCP8.5 – estación Tambillo

RCP8.5													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1992-2009	116.5614	133.8499	111.5156	38.9343	9.4859	4.3374	11.9540	10.4310	21.5178	42.2338	60.4107	101.5601	
2010-2039	144.1950	83.9413	34.1767	5.8760	2.1927	6.0047	8.9300	14.3690	49.6457	88.4030	82.7277	117.7633	
2040-2069	145.1033	95.6867	40.9057	15.1563	3.4973	10.6860	15.9400	25.1760	62.8433	112.2557	103.7440	122.5227	
2070-2099	113.4270	95.0563	53.3643	16.2307	15.7530	15.3333	17.4823	35.1147	102.0940	138.1560	127.9090	118.9577	
Observado	RCP 8.5	RCP 8.5	RCP 8.5										
Mes/Año	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099									
Enero	116.561	144.195	145.103	113.427									
Febrero	133.850	83.941	95.687	95.056									
Marzo	111.516	34.177	40.906	53.364									
Abril	38.934	5.876	15.156	16.231									
Mayo	9.486	2.193	3.497	15.753									
Junio	4.337	6.005	10.686	15.333									
Julio	11.954	8.930	15.940	17.482									
Agosto	10.431	14.369	25.176	35.115									
Setiembre	21.518	49.646	62.843	102.094									
Octubre	42.234	88.403	112.256	138.156									
Noviembre	60.411	82.728	103.744	127.909									
Diciembre	101.560	117.763	122.523	118.958									
Variación de la Precipitación													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2010-2039	23.71%	-37.29%	-69.35%	-84.91%	-76.88%	38.44%	-25.30%	37.75%	130.72%	109.32%	36.94%	15.95%	
2040-2069	24.49%	-28.51%	-63.32%	-61.07%	-63.13%	146.37%	33.34%	141.36%	192.05%	165.80%	71.73%	20.64%	
2070-2099	-2.69%	-28.98%	-52.15%	-58.31%	66.07%	253.51%	46.25%	236.64%	374.46%	227.12%	111.73%	17.13%	

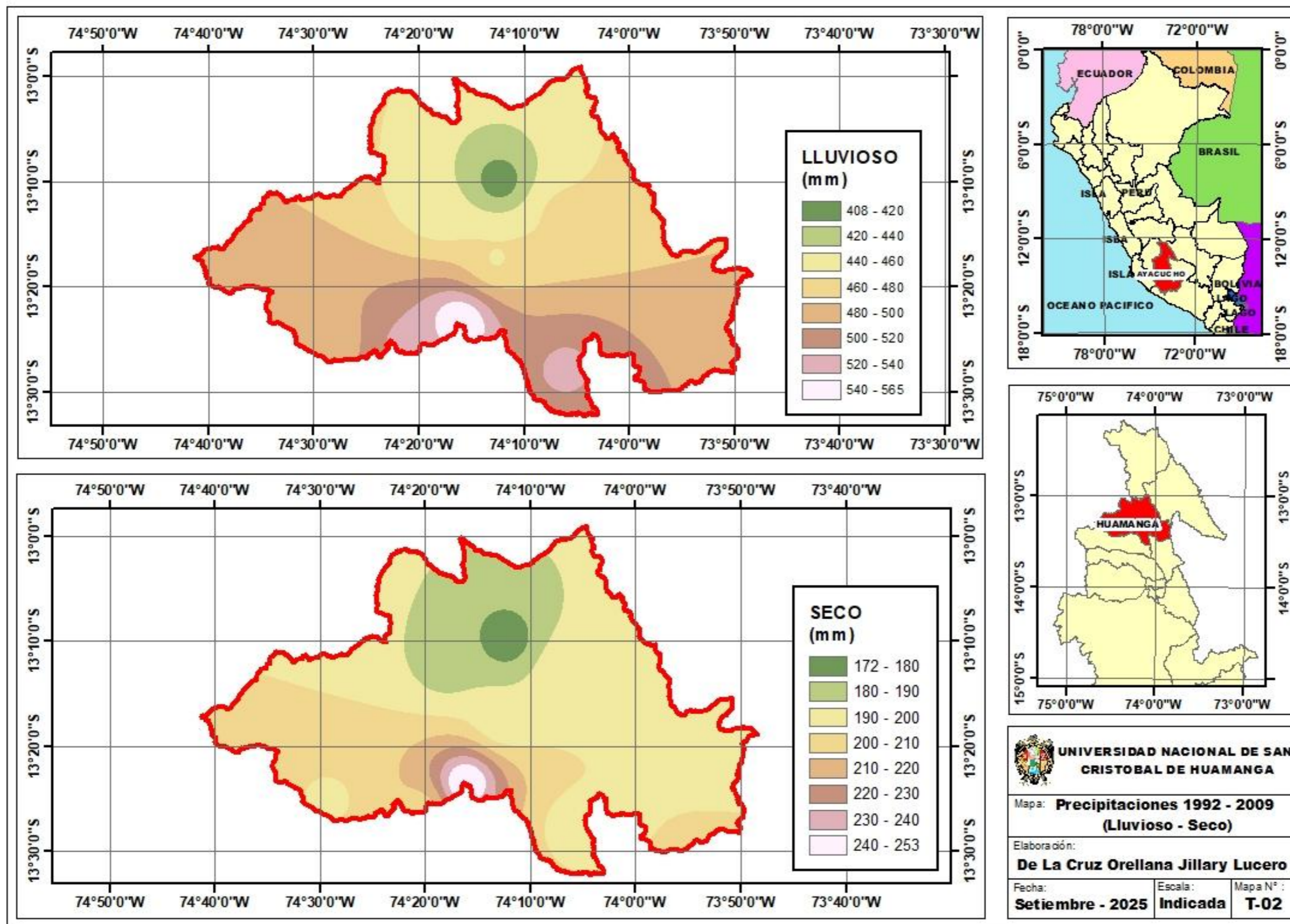


**6. MAPAS DE UBICACIÓN Y MODELOS
CLIMÁTICOS GLOBALES**

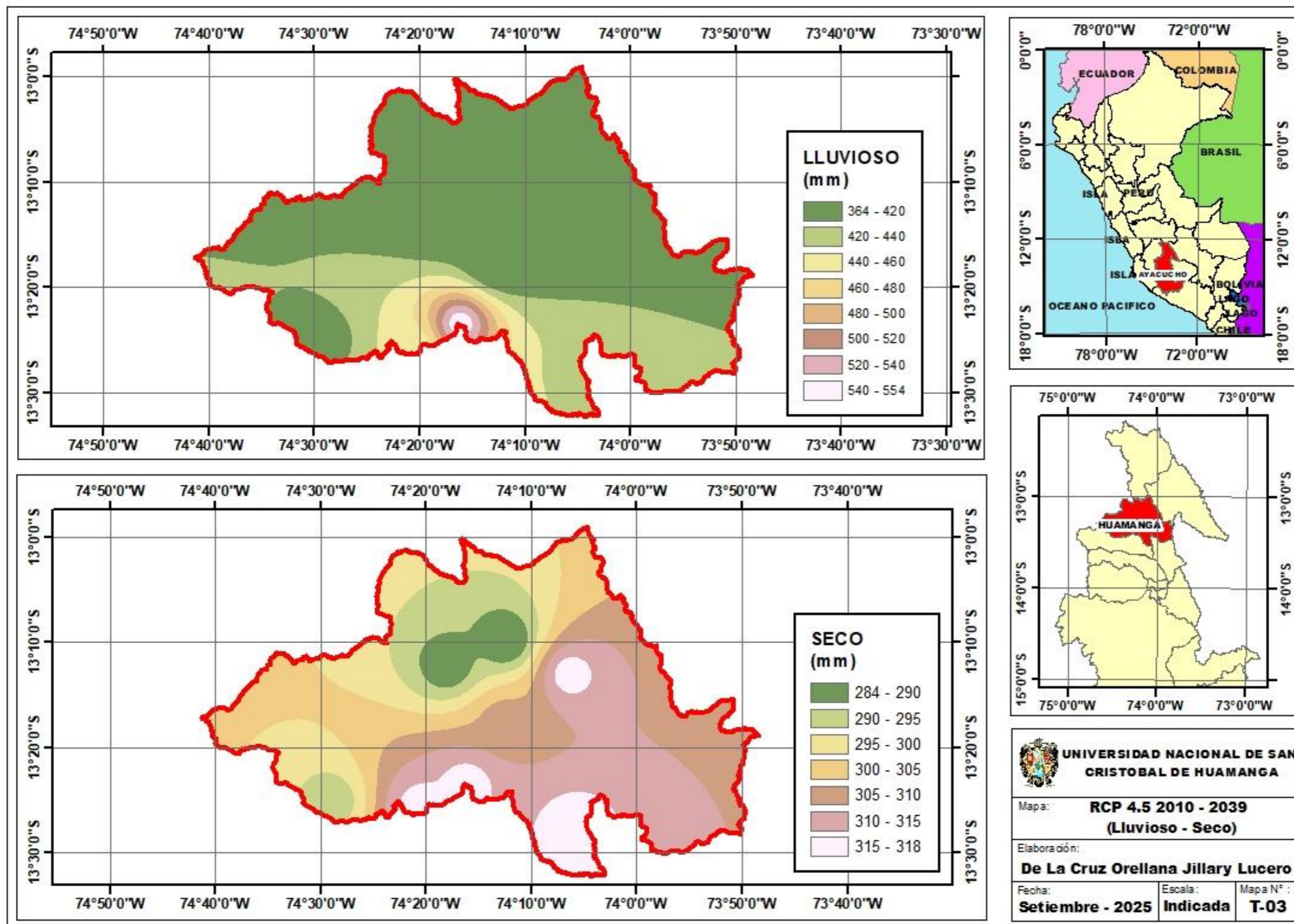
Anexo 6.1: Mapa ubicación de estaciones



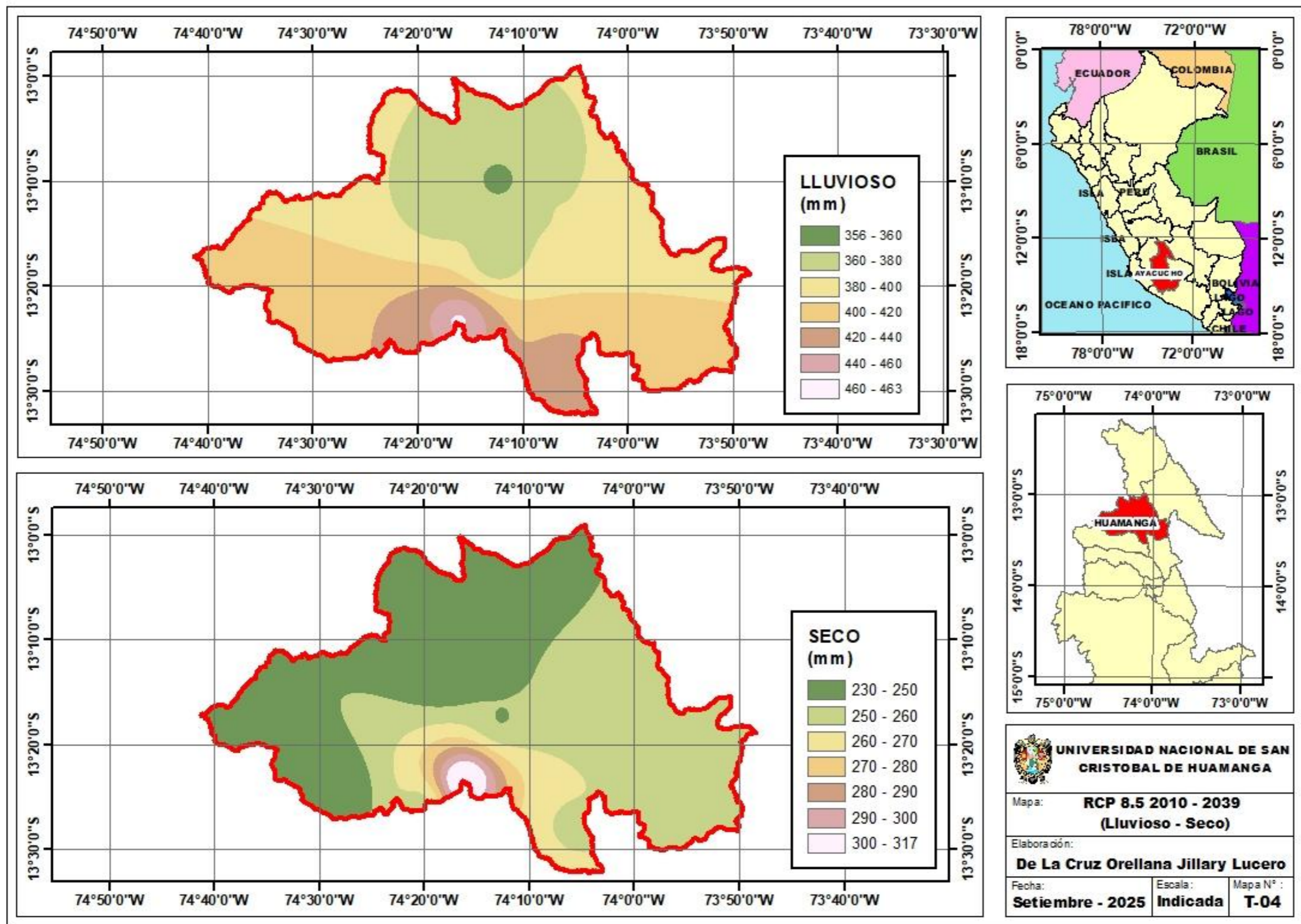
Anexo 6.2: Mapa precipitaciones 1992 – 2009 (lluvioso – seco)



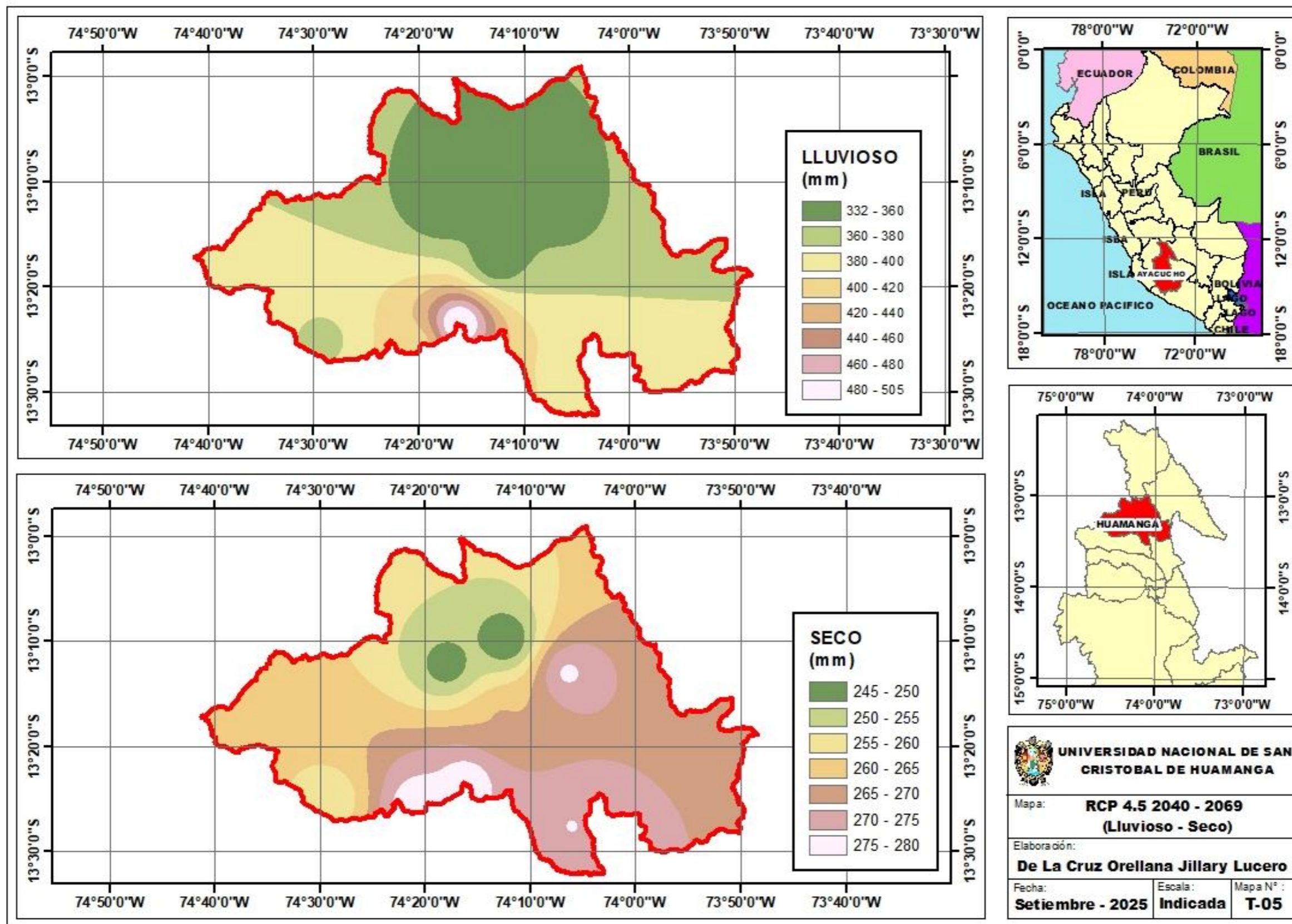
Anexo 6.3: Mapa RCP 4.5 2010 - 2039 (lluvioso – seco)



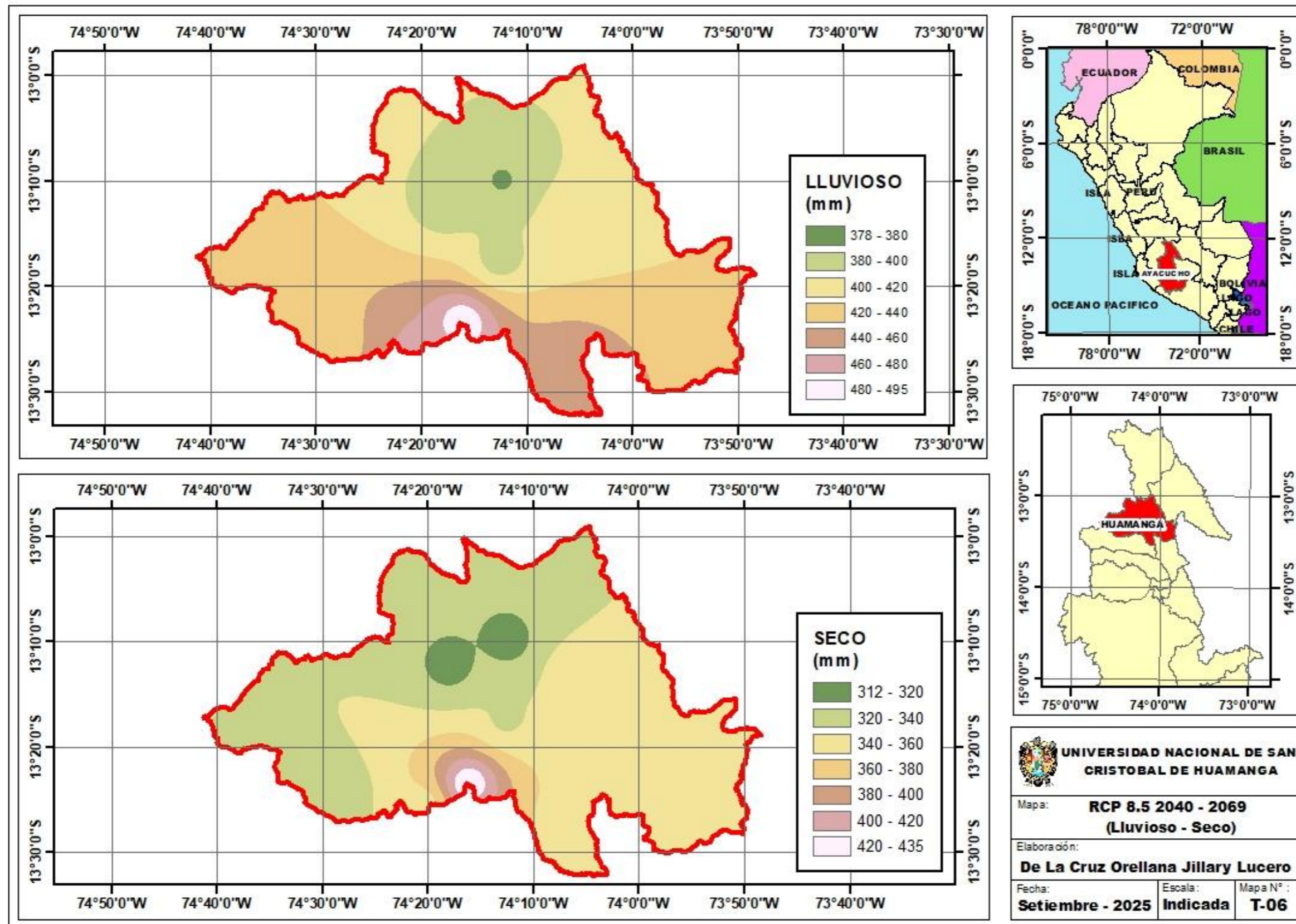
Anexo 6.4: Mapa RCP 8.5 2010 - 2039 (lluvioso – seco)



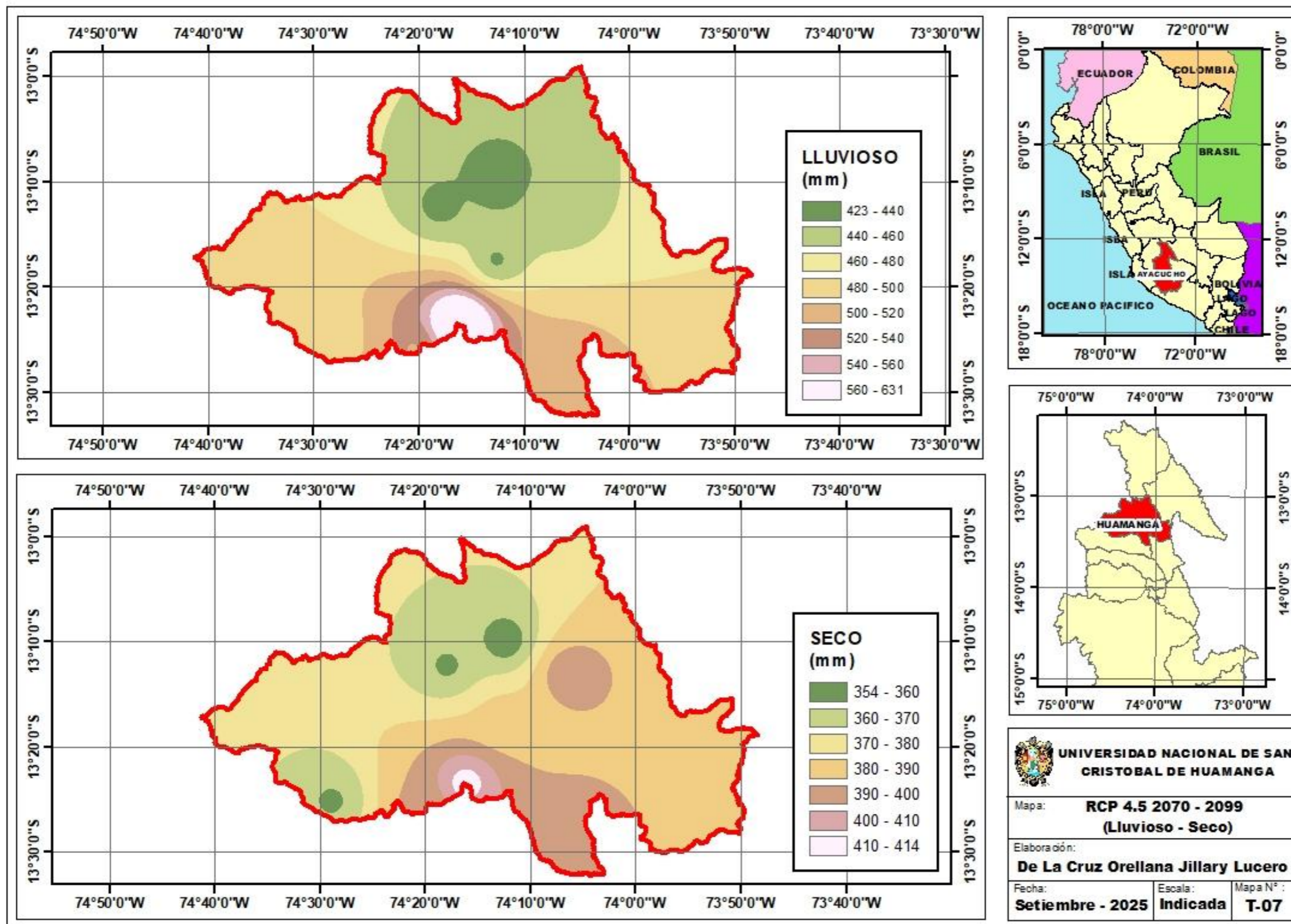
Anexo 6.5: Mapa RCP 4.5 2040 - 2069 (lluvioso – seco)



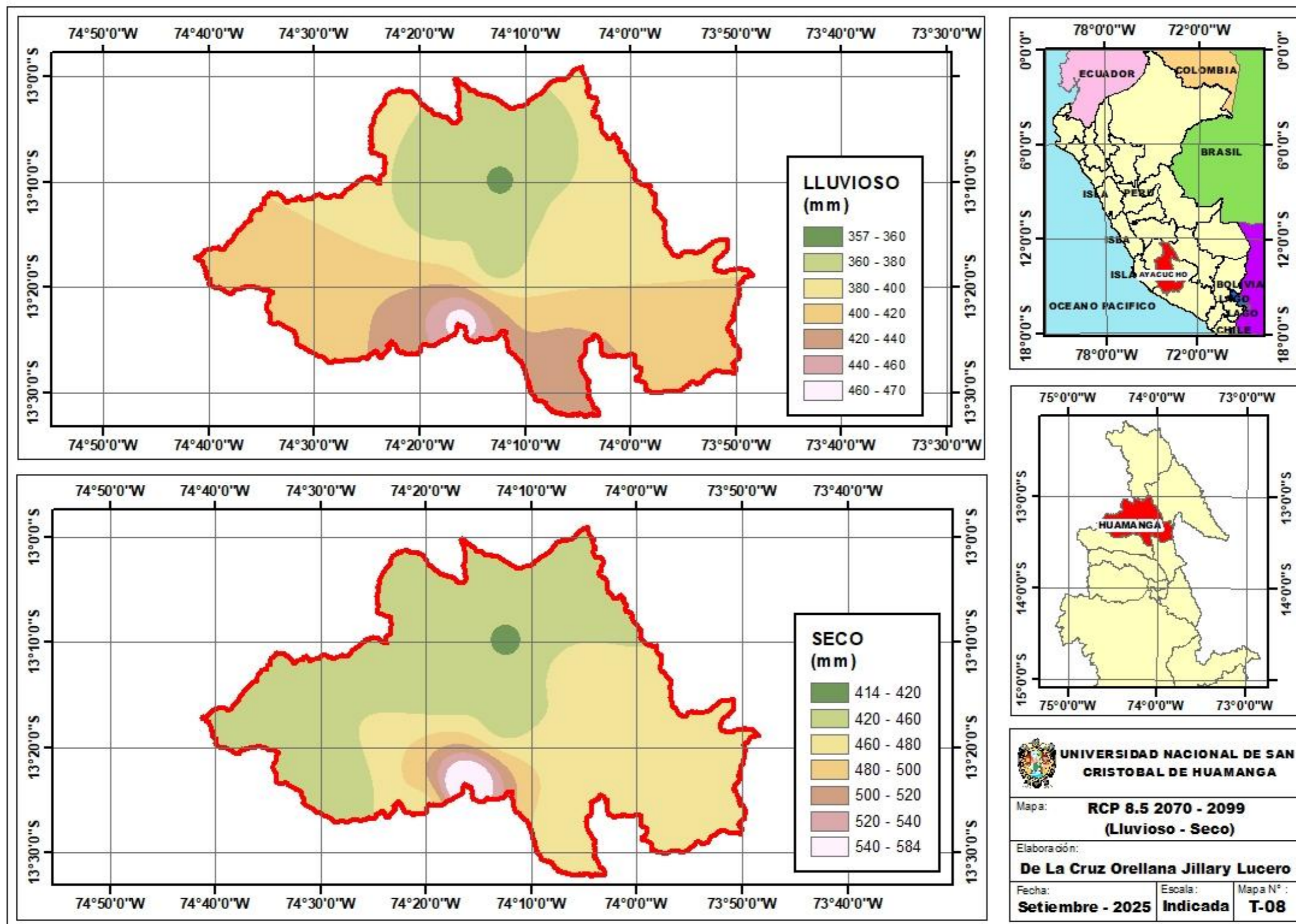
Anexo 6.6: Mapa RCP 8.5 2040 - 2069 (lluvioso – seco)



Anexo 6.7: Mapa RCP 4.5 2070 - 2099 (lluvioso – seco)



Anexo 6.8: Mapa RCP 8.5 2070 - 2099 (lluvioso – seco)



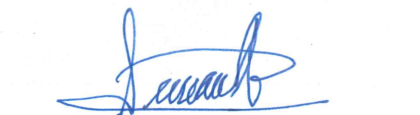
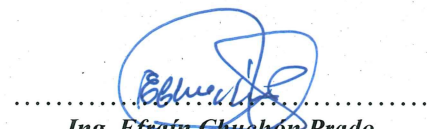
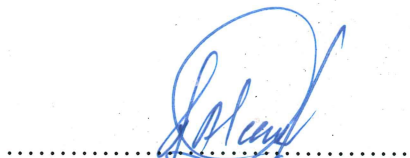
**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**
Bach. JILLARY LUCERO DE LA CRUZ ORELLANA**R.D. N° 459-2025-UNSCH-FCA-D**

En la ciudad de Ayacucho a los veintidós días del mes de diciembre del año dos mil veinticinco, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla, Dr. Richard Alex Oscco Peceros como asesor, Dr. Juan Charapaqui Anccasi y el Ing. Efraín Chuchón Prado; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **"Predicción de la precipitación a consecuencia del cambio climático usando modelos climáticos globales, Ayacucho 2024"**, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agrícola, presentado por la Bachiller **JILLARY LUCERO DE LA CRUZ ORELLANA**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla	14	16	16	15
Dr. Richard Alex Oscco Peceros	15	15	15	15
Dr. Juan Charapaqui Anccasi	16	14	15	15
Ing. Efraín Chuchón Prado	15	14	14	14
PROMEDIO GENERAL				15

Acto seguido se invita a la sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.


.....
Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla
Presidente
.....
Dr. Richard Alex Oscco Peceros
Asesor
.....
Dr. Juan Charapaqui Anccasi
Jurado
.....
Ing. Efraín Chuchón Prado
Jurado
.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por la R.D N° 213-2025-UNSCH-FCA-D; hace constar que el trabajo titulado:

“Predicción de la precipitación a consecuencia del cambio climático usando modelos climáticos globales, Ayacucho 2024”

Autor : Jillary Lucero De La Cruz Orellana
Asesor : Richard Alex Oscoco Peceros

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobando mediante de RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de ocho por ciento **(8%)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajo estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 2853803846

Ayacucho, 07 de enero de 2026

.....
Angela J. Requis Quintanilla

M.Sc. en Fitopatología
E.P. Agronomía

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

“Predicción de la precipitación a consecuencia del cambio climático usando modelos climáticos globales, Ayacucho 2024”

por Jillary Lucero De La Cruz Orellana

Fecha de entrega: 07-ene-2026 08:54p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2853803846

Nombre del archivo: Borrador_Tesis_Lucero_V2..pdf (6.25M)

Total de palabras: 45186

Total de caracteres: 206763

“Predicción de la precipitación a consecuencia del cambio climático usando modelos climáticos globales, Ayacucho 2024”

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	cambioclimatico.minae.go.cr Fuente de Internet	<1%

9	riunet.upv.es Fuente de Internet	<1 %
10	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
11	libros.umariana.edu.co Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	digitum.um.es Fuente de Internet	<1 %
16	bibliotecadigital.exactas.uba.ar Fuente de Internet	<1 %
17	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
18	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
19	"Objetivos de desarrollo sostenible: acciones por el clima y la resiliencia", Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2025 Publicación	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 40 words

Excluir bibliografía

Activo

Predicción de la precipitación a consecuencia del cambio climático usando modelos climáticos globales, Ayacucho 2024

Prediction of precipitation as a consequence of climate change using global climate models, Ayacucho 2024

Jillary Lucero De La Cruz Orellana¹,
jillary.delacruz.21@unsch.edu.pe

Richard Alex Oscco Peceros²
richard.oscco@unsch.edu.pe

Áreas de investigación: Medio Ambiente
Línea de investigación: Hidrología

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo proyectar la precipitación en la provincia de Huamanga, bajo escenarios de cambio climático, utilizando Modelos Climáticos Globales (MCG) del CMIP5. Se emplearon datos históricos de las estaciones meteorológicas Allpachaca, Chiara, Choccoro, Cuchoquesera, Huamanga, Pucaloma, Sachabamba y Tambillo, con registro histórico del sistema hidráulico Cachi (periodo de 1992-2024), completando las series de precipitación diaria y corrigiendo inconsistencias mediante pruebas estadísticas (T y F). Para generar las proyecciones bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, se aplicó el método Linear Scaling como técnica de downscaling estadístico, se evaluaron cinco modelos climáticos globales (CanESM2, ACCESS1.0, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR, MPI-ESM-MR), siendo ACCESS1.0 el más adecuado por su mejor ajuste estadístico ($R^2 = 0.92$, Nash = 0.356 y Pbias = -0.473 para RCP 4.5; $R^2 = 0.931$, Nash = 0.925 y Pbias = -3.6 para RCP 8.5 en la estación Allpachaca), luego se realizaron proyecciones de precipitación para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 hasta el año 2100. Los resultados muestran una variación máxima en el mes de setiembre en periodo 2070 – 2099, bajo RCP 8.5 en la estación Huamanga de 319.58%, bajo RCP 4.5 en la estación Chiara de 431.51%, la variación mínima en el periodo 2010 – 2039 bajo RCP 8.5 en el mes de abril en la estación Pucaloma es de -75.43% y bajo RCP 4.5 en la estación Sachabamba en el mes de mayo es de -87.15%; llegando a la conclusión que la mayor concentración de lluvias es en setiembre y octubre y reducciones marcadas en marzo y abril, lo que podría afectar la disponibilidad de agua para la siembra y aumentar riesgo de lluvias intensas durante la cosecha, evidenciando un régimen climático extremo e inestable.

Palabras clave: Cambio climático, precipitación, downscaling estadístico, Modelos Climáticos Globales, Huamanga.

ABSTRACT

The objective of the research was to project precipitation in the province of Huamanga under climate change scenarios using CMIP5 Global Climate Models (GCMs). Historical data from the Allpachaca, Chiara, Choccoro, Cuchoquesera, Huamanga, Pucaloma, Sachabamba, and Tambillo weather stations were used, with historical records from the Cachi hydraulic system (1992-2024 period), completing the daily precipitation series and correcting inconsistencies using statistical tests (T and F). To generate projections under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios, the Linear Scaling method was applied as a statistical downscaling technique, and five global climate models were evaluated (CanESM2, ACCESS1.0, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR, MPI-ESM-MR) were evaluated, with ACCESS1.0 being the most suitable due to its better statistical fit ($R^2 = 0.92$, Nash = 0.356, and Pbias = -0.473 for RCP 4.5; $R^2 = 0.931$, Nash = 0.925, and Pbias = -3.6 for RCP 8.5 at the Allpachaca station). Precipitation projections were then made for the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios up to the year 2100. The results show a maximum variation in September in the period 2070–2099, under RCP 8.5 at the Huamanga station of 319.58%, under RCP 4.5 at the Chiara station of 431.51%, the minimum variation in the period 2010–2039 under RCP 8.5 in April at the Pucaloma station is -75.43%, and under RCP 4.5 at the Sachabamba station in May is -87.15%; leading to the conclusion that the highest concentration of rainfall occurs in September and October, with marked reductions in March and April, which could affect the availability of water for planting and increase the risk of heavy rainfall during the harvest, evidencing an extreme and unstable climate regime.

Keywords: Climate change, precipitation, statistical downscaling, global climate models, Huamanga.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI, afectando de forma significativa los patrones de precipitación a nivel global y regional. Estos cambios tienen implicancias directas en la disponibilidad de recursos hídricos, especialmente en regiones andinas como la provincia de Huamanga, donde la variabilidad climática es alta y las actividades agrícolas dependen en gran medida de la lluvia estacional (Rivera-Hernández et al., 2017). En este contexto, el estudio de proyección de las precipitaciones bajo escenarios de cambio climático se convierte en una herramienta indispensable para la gestión hídrica sostenible, la planificación territorial y la seguridad alimentaria.

La presente investigación tiene como objetivo principal proyectar la precipitación en la provincia de Huamanga utilizando Modelos Climáticos Globales (MCG) del CMIP5, bajo los escenarios de concentración representativa RCP 4.5 (intermedio) y RCP 8.5 (alto). Para ello, se abordó un enfoque metodológico riguroso que incluyó la homogeneización, completación, corrección y validación de series de precipitación diaria de ocho estaciones meteorológicas administradas por el sistema hidráulico Cachi, de periodo de registro de precipitación de 1992–2024.

En primer lugar, se aplicaron técnicas de regresión lineal múltiple para completar series con datos faltantes, utilizando estaciones altamente correlacionadas. Posteriormente, se evaluó la consistencia estadística mediante las pruebas de T (media) y F (varianza), seleccionando como estación de referencia a Allpachaca, que cumplió con los criterios de homogeneidad según el test de Pettitt. Luego, se implementó la corrección de datos empleando el software RStudio, asegurando la validez estadística de las series.

En la segunda etapa, se procedió a realizar el downscaling estadístico de cinco modelos climáticos globales (ACCESS1.0, CanESM2, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR y MPI-ESM-MR), utilizando el método de Linear Scaling (LS) con el software CMhyd (Fang et al., 2015). El modelo ACCESS1.0 resultó ser el más

representativo para todas las estaciones, por lo que fue seleccionado para la proyección climática a futuro.

Finalmente, se desarrollaron predicciones de precipitación diaria para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 hasta el año 2100. Los resultados evidencian una tendencia preocupante: incrementos de precipitación durante los meses tradicionalmente secos (como junio, julio y agosto), con aumentos de hasta el 160% bajo RCP 8.5, y disminuciones significativas durante los meses lluviosos (enero a marzo), en algunos casos superiores al 70%. Esta alteración en el patrón estacional implica una mayor concentración de eventos extremos, como lluvias intensas en corto tiempo o sequías prolongadas, lo cual genera riesgos adicionales para los sistemas agrícolas y de abastecimiento de agua.

Estos hallazgos contribuyen de manera significativa a la comprensión del comportamiento futuro de la precipitación en la provincia de Huamanga y constituyen una base técnica relevante para orientar políticas de adaptación al cambio climático. La metodología aplicada demuestra que el uso combinado de validación estadística local y modelos climáticos globales ajustados permite generar proyecciones más realistas y útiles para la toma de decisiones.

Objetivo general

Predecir la precipitación a consecuencia del cambio climático usando Modelos Climáticos Globales, Ayacucho 2024.

Objetivos específicos

1. Realizar la homogeneidad y completación de las precipitaciones ubicadas en las estaciones meteorológicas de la provincia de Huamanga.
2. Determinar el Downscaling de la precipitación de los Modelos Climáticos Globales en la provincia de Huamanga.
3. Ajustar el Modelo Climático Global con mejor desempeño métrico para la predicción de precipitación con incidencia de cambio climático.

II. METODOLOGÍA

2.1 Ubicación

2.1.1. Ubicación del área de estudio

La provincia de Huamanga se encuentra dentro del departamento de Ayacucho y presenta la siguiente ubicación geográfica y política.

2.1.2. Ubicación geográfica

El Centroides de la provincia de Huamanga tiene la siguiente ubicación geográfica:

Coordenadas UTM (WGS 84) zona 18L es:

Este: 584662.56

Norte: 8532283.18

Cota: 3487.99 msnm

2.1.3. Ubicación política

Políticamente el área de estudio se encuentra ubicado en:

Departamento: Ayacucho

Provincia: Huamanga

2.2. Materiales y equipos

- Datos de precipitación
- Ráster de Modelos Climáticos Globales

2.3. Equipos

- Hardware: Laptop
- Software: Rstudio, Office 2018, ArcGis
- Materiales de escritorio

2.4. Metodología

2.4.1. Recolección de información de precipitación diaria

Para la presente investigación se ha solicitado datos de precipitación de estaciones meteorológicas al OPEMAN, de las cuales se han elegido 8 estaciones con registro histórico casi completo, no se ha considerado estaciones que tienen gran cantidad de datos incompletos.

Tabla 1
Estaciones meteorológicas enmarcadas en la Provincia de Huamanga

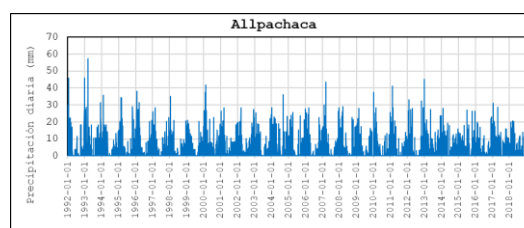
ID	Estación	Latitud	Longitud	Elevación
1	Allpachaca	-13.39162	-74.26886	3550
2	Chiara	-13.29040	-74.21026	3587
3	Choccoro	-13.41989	-74.48086	4025
4	Cuchoquesera	-13.43062	-74.34228	3724
5	Huamanga	-13.16668	-74.20637	2756
6	Pucaloma	-13.20589	-74.29844	3490
7	Sachabamba	-13.46058	-74.10071	3544
8	Tambillo	-13.21851	-74.10630	3343

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 1, se indica la ubicación geográfica en latitud y longitud de las 8 estaciones meteorológicas enmarcadas en la provincia de Huamanga, también se describe la altitud.

Figura 1

Precipitación diaria registrada (mm) estación Allpachaca periodo 1992 - 2018

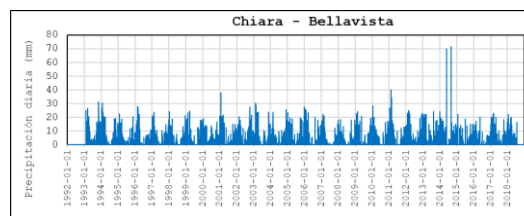


Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 1, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Allpachaca (1992 – 2018), donde se aprecia pequeños saltos en el año 1993 y 2013.

Figura 2

Precipitación diaria registrada (mm) estación Chiara periodo 1992 - 2018

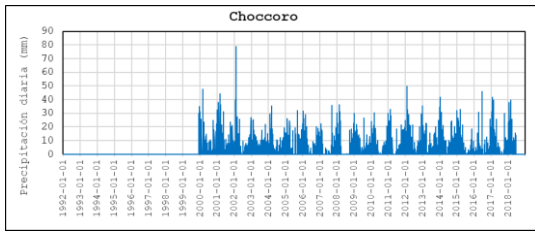


Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 2, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Chiara - Bellavista (1992 – 2018), donde se aprecia un salto en el año 2014

Figura 3

Precipitación diaria registrada (mm) estación Choccoro periodo 2000 - 2018

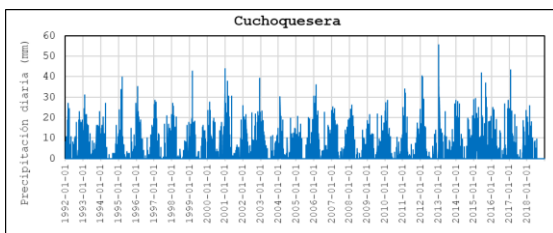


Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 3, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Choccoro (2000 – 2018), donde se aprecia un salto en el año 2002.

Figura 4

Precipitación diaria registrada (mm) estación Cuchoquesera periodo 1992 – 2018

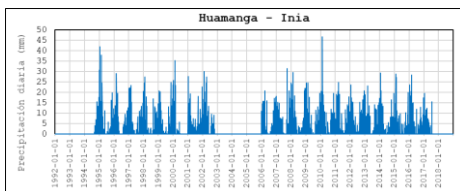


Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 4, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Cuchoquesera (1992 – 2018), donde se aprecia un salto en el año 2013.

Figura 5

Precipitación diaria registrada (mm) estación Huamanga periodo 1995 - 2017

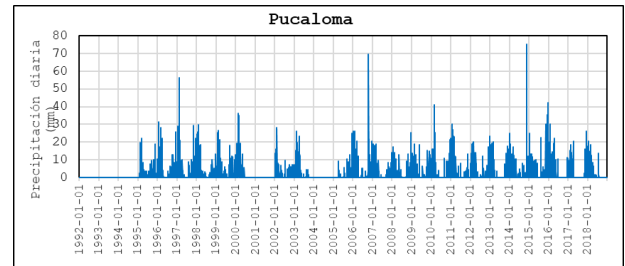


Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 5, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Huamanga (1995 – 2017), donde se aprecia saltos en el año 2010 y 1995. Se observa también que no tiene data completa

Figura 6

Precipitación diaria registrada (mm) estación Alpachaca periodo 1995 - 2018

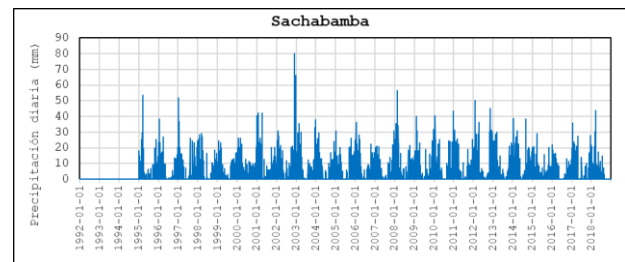


Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 6, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Pucaloma (1995 – 2018), donde se aprecia saltos en el año 2007 y 2015. Se aprecia registro de datos incompletos en 2001 y 2004.

Figura 7

Precipitación diaria registrada (mm) estación Sachabamba periodo 1995 - 2018

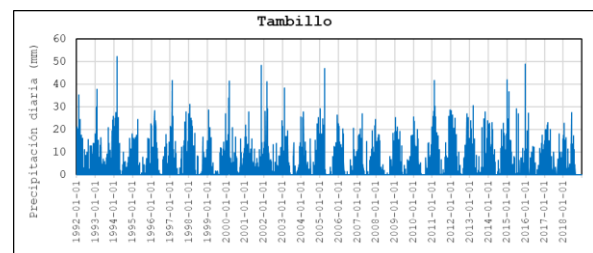


Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 7, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Sachabamba (1995 – 2018), donde se aprecia saltos en el año 2003.

Figura 8

Precipitación diaria registrada (mm) estación Tambillo periodo 1992 - 2018



Fuente: Elaboración propia con datos del OPEMAN

En la figura 8, se aprecia la serie de tiempo de la precipitación diaria (mm) de la estación meteorológica Tambillo (1992 – 2018), donde no se aprecia saltos en la precipitación.

2.4.2. Completación de datos de precipitación diaria

Para la completación de datos, se realizará una correlación lineal múltiple entre las estaciones utilizadas en la investigación, en el anexo 2 se detalla el código en Rstudio para la completación de datos.

En la investigación se ha propuesto primero realizar la completación de datos para posterior realizar el análisis de consistencia

Tabla 2
Coeficiente de correlación entre estaciones meteorológicas

Estaciones	Allpachaca	Chiara	Choccoro	Cuchoquesera	Huamanga	Pucaloma	Sachabamba	Tambillo
Allpachaca	1	0.4943369	0.4767822	0.5586613	0.1478102	0.3593145	0.5393343	0.48017
Chiara	0.4943369	1	0.3936573	0.4267865	0.1508249	0.3661443	0.4471088	0.55830
Choccoro	0.4767822	0.3936573	1	0.5425728	0.1568501	0.2880248	0.484852	0.47024
Cuchoquesera	0.5586613	0.4267865	0.5425728	1	0.1476752	0.3703287	0.5428643	0.46882
Huamanga	0.1478102	0.1508249	0.1568501	0.1476752	1	0.1138581	0.1614163	0.18711
Pucaloma	0.3593145	0.3661443	0.2880248	0.3703287	0.1138581	1	0.3587156	0.41678
Sachabamba	0.5393343	0.4471088	0.484852	0.5428643	0.1614163	0.3587156	1	0.49871
Tambillo	0.4801779	0.5583027	0.4702499	0.4688222	0.1871197	0.4167819	0.4987165	1

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3, se aprecia los coeficientes de correlación entre estaciones, con esta tabla podremos identificar cual es el par de estaciones que se correlacionan mejor, por ejemplo, de la primera fila vemos Allpachaca y encontramos que se correlaciona mejor con la estación Cuchoquesera con un valor de 0.559.

Tabla 3
Orden de correlación entre estaciones meteorológicas

Orden	1	2	3	4	5	6	7
Allpachaca	Cuchoquesera	Sachabamba	Chiara	Tambillo	Choccoro	Pucaloma	Huamanga
Chiara	Tambillo	Allpachaca	Sachabamba	Cuchoquesera	Choccoro	Pucaloma	Huamanga
Choccoro	Cuchoquesera	Sachabamba	Allpachaca	Tambillo	Chiara	Pucaloma	Huamanga
Cuchoquesera	Allpachaca	Sachabamba	Choccoro	Tambillo	Chiara	Pucaloma	Huamanga
Huamanga	Tambillo	Sachabamba	Choccoro	Chiara	Allpachaca	Cuchoquesera	Pucaloma
Pucaloma	Tambillo	Cuchoquesera	Chiara	Allpachaca	Sachabamba	Choccoro	Huamanga
Sachabamba	Cuchoquesera	Allpachaca	Tambillo	Choccoro	Chiara	Pucaloma	Huamanga
Tambillo	Chiara	Sachabamba	Allpachaca	Choccoro	Cuchoquesera	Pucaloma	Huamanga

En la tabla 3, se aprecia el reporte de orden de correlación entre estaciones meteorológicas, con la ayuda del Rstudio se puede automatizar para que se vea de manera automática que estaciones se correlacionan mejor con otras estaciones, es necesario conocer estas correlaciones para poder hacer la completación de los datos, por ejemplo, de la primera fila vemos Allpachaca y se correlaciona mejor con la estación Cuchoquesera.

Tabla 4
Coeficiente lineal entre estaciones meteorológicas

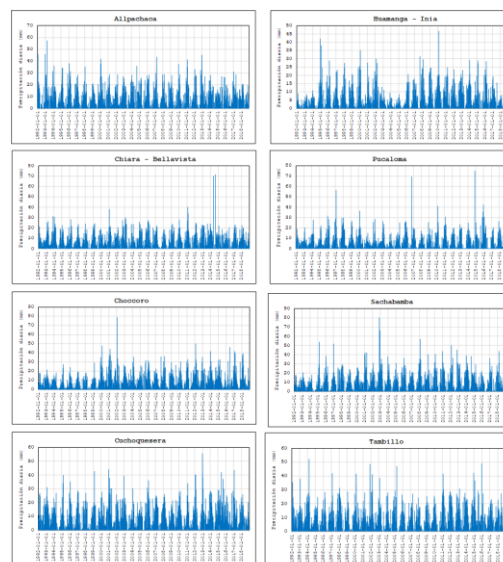
Estaciones	1	2	3	4	5	6	7
Allpachaca	0.6071031	0.5032136	0.653992	0.5648965	0.4779726	0.5809074	0.4623007
Chiara	0.5948667	0.5298238	0.4197946	0.4791397	0.4098361	0.5619507	0.434048
Choccoro	0.6823065	0.5363875	0.6980416	0.6587671	0.6733289	0.5926624	0.4412863
Cuchoquesera	0.6651392	0.5234542	0.5723716	0.587552	0.6636729	0.6319843	0.4739039
Huamanga	0.3352706	0.2599865	0.2019804	0.3462058	0.3091053	0.265445	0.319649
Pucaloma	0.5311538	0.4390643	0.5402843	0.4737862	0.3516535	0.3287248	0.4052509
Sachabamba	0.6679343	0.7391073	0.689522	0.5795512	0.750898	0.6528882	0.5696032
Tambillo	0.703256	0.4477535	0.5249286	0.4437327	0.5007111	0.624337	0.4895057

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4, se aprecia los coeficientes lineales, estos coeficientes permiten medir la intensidad y la dirección de una relación lineal entre dos variables, el valor de coeficiente lineal es complejo su cálculo por ello se requiere Rstudio para su estimación, por otro lado, se observa que las relaciones lineales de la columna 1 son mayores a 0.5.

Una vez obtenido los coeficientes lineales entre estaciones se procede a completar los datos faltantes de las estaciones utilizadas en la investigación.

Figura 9
Estaciones meteorológicas completadas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 9, se aprecia las ocho estaciones completadas a partir de regresión lineal múltiple, por ello se ha realizado la correlación lineal entre estaciones, se ha identificado el orden de correlación y los coeficientes lineales; por último, poder realizar la completación de datos de precipitación diaria.

2.4.3. Análisis de consistencia y homogeneidad de datos

Toda la información completada de las precipitaciones fue sometida a análisis de

consistencia y homogeneidad, para ello se ha utilizado código en Rstudio (Ver Anexo 3).

Tabla 5
Resumen de periodos de cada estación

Estación	Inicio	Final	Datos validos
Allpachaca	1992-01-01	2018-12-31	9862
Chiara - Bellavista	1992-01-01	2018-12-31	9862
Choccoro	1992-01-01	2018-12-31	9862
Cuchoquesera	1992-01-01	2018-12-31	9862
Huamanga - Inia	1992-01-01	2018-12-31	9862
Pucaloma	1992-01-01	2018-12-31	9862
Sachabamba	1992-01-01	2018-12-31	9862
Tambillo	1992-01-01	2018-12-31	9862

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5, se aprecia la cantidad de datos validos de cada estación, como se ha completado los datos, se tienen 9862 datos validos de precipitación diaria.

Tabla 6
Test de petit para la validación de la estación de referencia

Estación	Petit	pvalor	Cumple
Chiara - Bellavista	0.0676	0.9461	True
Choccoro	-0.0273	0.9782	True
Cuchoquesera	-0.0417	0.9668	True
Huamanga - Inia	0.1729	0.8627	True
Pucaloma	0.1534	0.8781	True
Sachabamba	-0.0679	0.9458	True
Tambillo	0.0271	0.9784	True

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6, se muestra la validación de estación de referencia (Allpachaca), mediante prueba de petit se realiza la comparación con los pvalor, donde se observa que los pvalores son mayor a 0.05; por ello se cumple la condición de estación de referencia Allpachaca con las otras estaciones en estudio.

Tabla 7
Análisis de consistencia de las estaciones

Estación	Petit	pvalor	Cumple
Chiara - Bellavista	0.0676	0.9461	True
Choccoro	-0.0273	0.9782	True
Cuchoquesera	-0.0417	0.9668	True
Huamanga - Inia	0.1729	0.8627	True
Pucaloma	0.1534	0.8781	True
Sachabamba	-0.0679	0.9458	True
Tambillo	0.0271	0.9784	True

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7, se muestra mediante análisis de consistencia con la prueba de Petit que todas las estaciones son consistentes porque el pvalor es mayor a 0.05.

Tabla 8
Análisis de consistencia – Prueba T (media) y F (desviación estándar)

Estación	Inicio	Fin	Datos Validos	T Pvalue	Cumple Med	F Pvalor	Cumple Var	Corrige
Allpachaca	01/01/1992	31/12/2018	9862	1.0000000	True	1.0000000	True	No
Chiara - Bellavista	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.0000012	False	0.0000000	False	Si
Choccoro	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.0491062	False	0.0026057	False	Si
Cuchoquesera	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.0058340	False	0.0041799	False	Si
Huamanga - Inia	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.0000000	False	0.0000000	False	Si
Pucaloma	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.0000000	False	0.0000000	False	Si
Sachabamba	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.0000016	False	0.0000000	False	Si
Tambillo	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.0454105	False	0.0018781	False	Si

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, se muestra mediante Prueba de T y F las estaciones Chiara, Choccoro, Cuchoquesera, Huamanga, Pucaloma, Sachabamba y Tambillo necesitan corrección de datos.

2.4.4. Corrección de datos de precipitación

En el ítem anterior se ha realizado la prueba de T y F, donde es necesario corregir las estaciones, para la corrección de precipitaciones se ha utilizado el software Rstudio (ver anexo 3).

Tabla 9
Análisis de consistencia datos corregidos – Prueba T (media) y F (desviación estándar)

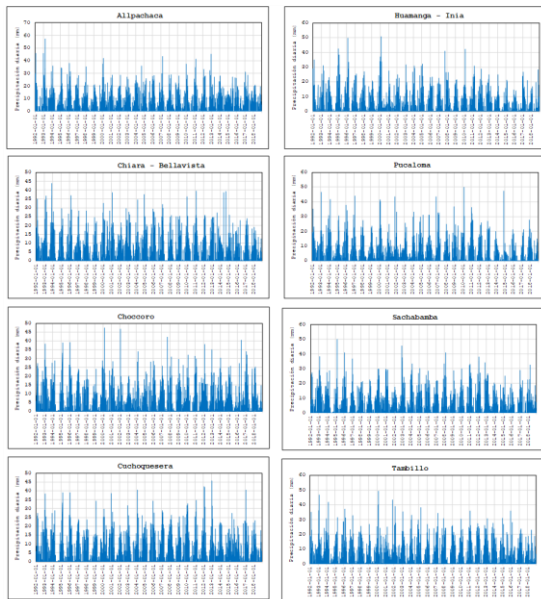
Estación	Inicio	Fin	Datos Validos	T Pvalue	Cumple Med	F Pvalor	Cumple Var	Corrige
Allpachaca	01/01/1992	31/12/2018	9862	1.0000000	True	1.0000000	True	No
Chiara - Bellavista	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.054212	True	0.056585	True	No
Choccoro	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.069106	True	0.059145	True	No
Cuchoquesera	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.058340	True	0.056541	True	No
Huamanga - Inia	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.062500	True	0.065000	True	No
Pucaloma	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.052842	True	0.058412	True	No
Sachabamba	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.005654	True	0.056054	True	No
Tambillo	01/01/1992	31/12/2018	9862	0.055410	True	0.056410	True	No

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9, se muestra mediante Prueba de T y F las estaciones Chiara, Choccoro, Cuchoquesera, Huamanga, Pucaloma, Sachabamba y Tambillo han sido corregidas.

Figura 10

Estaciones meteorológicas de precipitaciones corregidas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 10, se muestra que después de la corrección de datos se presentan menos saltos y se nota más consistente en las series de tiempo de las precipitaciones diarias de las ocho estaciones meteorológicas del estudio.

2.4.5 Descarga de precipitación de modelos climáticos globales

Las precipitaciones de modelos climáticos globales se han descargado del siguiente enlace: <https://esgf-node.llnl.gov/search/esgf-llnl/>

Tabla 10

Modelos climáticos globales CMIP5 utilizadas en la investigación

Nombre del ESM	Resolución Referencia	
CanESM2	2.8° x 2.8°	Chylec et al (2011)
ACCESS1.0	2.8° x 2.8°	(Bi et al., 2013)
GFDL-ESM2M	2.5° x 2.8°	Dunne et al (2012)
IPSL-CM5A-MR	1.5° x 1.27°	Dufresne et al (submi)
MPI-ESM-MR	1.8° x 1.8°	Raddatz et al (2007)

Fuente: Senamhi, 2023

En la tabla 10, se aprecia los modelos climáticos globales para utilizar en la investigación, donde se aprecia la resolución de referencia, se ha elegido estos modelos climáticos globales porque el SENAMHI lo recomienda para las proyecciones futuras.

2.4.6 Downscaling y elección de modelo climático global para proyección futura

Los modelos climáticos globales también tienen que ser validados para su utilización:

- Después de realizar la descarga de los modelos climáticos globales se realiza el Downscaling estadístico, se realiza entre la estación observada y la precipitación de modelo climático global. Para ello se ha utilizado el Software CMhyd.
- El método Downscaling estadístico es el Linear scaling.
- Una vez realizado el Downscaling se procede a evaluar cada modelo climático global con métricas de desempeño estadístico para elegir cuál de los modelos climáticos tiene mejor comportamiento con las precipitaciones observadas en las estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación.

Figura 11
Software CMhyd para realizar Downscaling

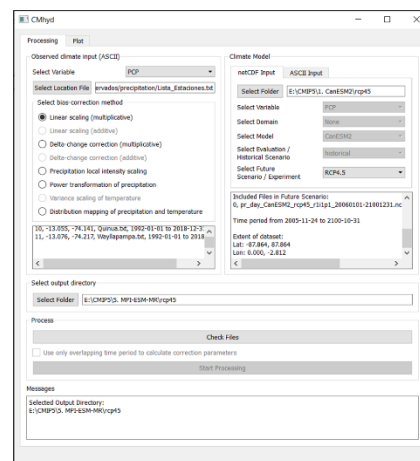
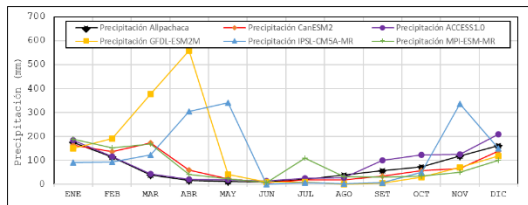


Tabla 11
Downscaling de la precipitación RCP 4.5 – Estación Allpachaca

ALLPACHACA					
Precipitación Allpachaca	Precipitación CanESM2	Precipitación ACCESS1.0	Precipitación GFDL-ESM2M	Precipitación IPSL-CM5A-MR	Precipitación MPI-ESM-MR
175.777	164.262	183.699	150.472	91.792	188.965
114.215	135.862	115.691	191.405	92.478	151.425
39.485	171.786	43.646	376.268	122.412	168.111
15.877	58.445	21.022	558.708	304.268	41.615
11.777	23.706	17.742	40.242	339.995	23.696
10.008	7.831	13.333	9.605	0.247	7.148
20.292	18.725	25.205	9.477	5.877	109.921
39.462	17.491	27.798	0.802	1.455	31.562
56.762	33.549	100.152	4.478	6.009	29.296
72.531	55.527	121.892	29.527	49.695	34.289
118.146	65.905	124.900	69.665	335.189	49.967
162.169	137.562	208.005	118.303	149.606	99.547
R ²	0.479	0.922	0.003	0.002	0.304
NASH	0.356	0.823	-10.096	-5.705	0.015
PBIAS	-6.473	-19.914	-86.366	-79.202	-11.840

Fuente: Senamhi, 2023

Figura 12
Downscaling de la precipitación RCP 4.5 – Estación Allpachaca



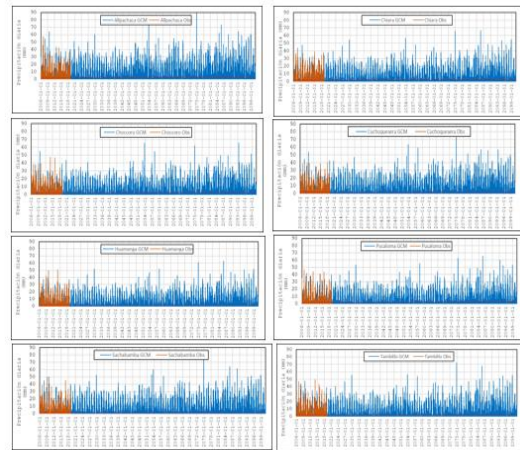
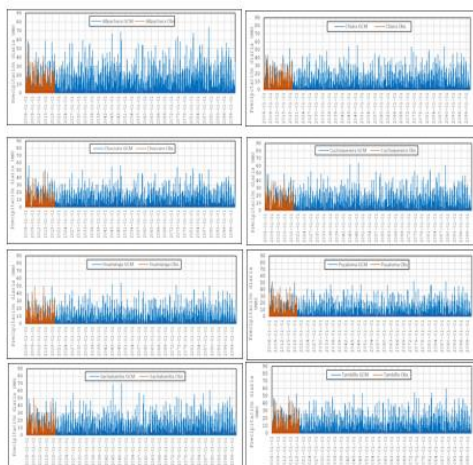
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12 y figura 12, se puede describir:

En la estación Allpachaca se puede evidenciar que el modelo climático global para escenario de cambio climático RCP 4.5 con mejor similitud estadística y grafica es ACCESS1.0.

2.4.7. Proyecciones futuras de precipitación ACCESS1.0

Se ha realizado proyecciones climáticas para escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 hasta el año 2100.



2.4.8 Comparación entre normales climáticas de precipitación observadas y en condiciones de escenario de cambio climático.

El Senamhi para realizar análisis de variación de las variables climáticas, realiza la comparación de normales climáticas; es decir, comparación entre periodos cada 30 años, en el estudio se compara el promedio de precipitaciones de precipitaciones observadas entre 1992 – 2009 (en este caso no se tomó 30 años puesto que el registro de la estación empieza el año 1992) y las precipitaciones proyectadas en escenario de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 270 – 2099.

De los resultados se observa que hay incremento de precipitación en tiempos de estiaje y disminución de precipitación en tiempos lluviosos, tal como se ve en los mapas temáticos.

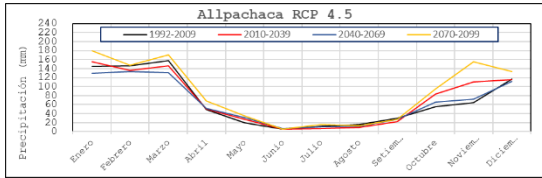
Tabla 12

Variación de la precipitación – Estación Allpachaca

Mes/Año	Observada 1992-2009	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
		2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099						
Enero	145.29	155.37	6.94%	130.07	-10.47%	179.64	23.64%	159.07	9.49%	161.06	10.85%	123.89	-14.73%
Febrero	145.57	135.95	-6.61%	152.91	-8.70%	147.28	1.18%	113.41	-22.09%	129.11	-11.31%	128.49	-11.73%
Marzo	157.22	146.54	-6.79%	130.36	-17.09%	170.37	8.36%	49.26	-72.49%	53.40	-66.04%	69.21	-55.98%
Abril	48.85	50.70	3.78%	51.17	4.75%	67.67	38.52%	10.75	-77.98%	28.66	-41.34%	30.98	-36.58%
Mayo	19.42	27.48	41.47%	31.75	63.47%	35.45	82.52%	2.71	-86.07%	4.09	-78.93%	18.39	-5.30%
Junio	6.15	5.35	-13.09%	6.84	11.14%	5.41	-12.10%	6.25	1.66%	11.40	85.30%	16.08	161.39%
Julio	12.39	7.08	-42.87%	11.34	-8.49%	15.30	23.54%	12.28	-0.86%	21.87	76.54%	24.02	93.90%
Agosto	15.75	10.00	-36.50%	11.87	-24.66%	13.43	-14.75%	19.91	25.42%	34.93	121.79%	48.02	209.94%
Setiembre	29.76	22.89	-23.09%	26.87	-9.72%	27.48	-7.66%	64.44	116.51%	81.07	172.40%	133.04	347.04%
Octubre	55.99	83.39	48.95%	66.00	17.88%	94.70	69.15%	97.74	74.56%	124.74	122.79%	153.71	174.53%
Noviembre	64.74	111.05	71.54%	72.54	12.05%	155.16	139.67%	103.27	59.52%	129.22	99.61%	159.27	146.01%
Diciembre	116.75	115.85	-0.77%	112.09	-3.99%	134.04	14.81%	146.90	25.82%	152.11	30.29%	148.69	27.35%

Fuente: Elaboración propia

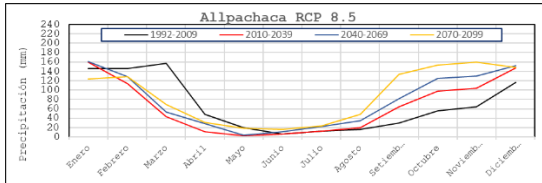
Figura 13
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Allpachaca



Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Allpachaca



Fuente: Elaboración propia

las Figuras 13 y 14 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

Tabla 13

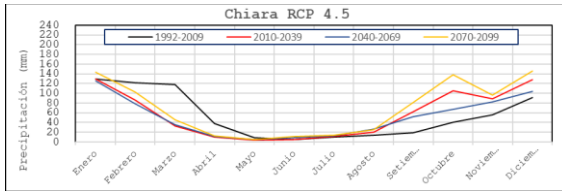
Variación de la precipitación – Estación Chiara

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5						
		2010-2039	2040-2069	2070-2099	%	2010-2039	2040-2069	2070-2099	%			
Enero	129.12	129.20	0.07%	125.07	-3.13%	142.85	10.64%	131.75	2.04%	132.95	2.96%	103.18
Febrero	121.41	86.55	-28.71%	78.00	-35.76%	103.08	-15.09%	84.26	-30.59%	95.98	-20.95%	95.45
Marzo	117.62	32.34	-72.50%	35.14	-70.12%	46.25	-60.68%	31.92	-72.87%	38.16	-67.58%	49.79
Abril	38.33	10.38	-72.93%	11.78	-69.27%	12.45	-67.51%	5.36	-86.03%	13.87	-63.83%	14.87
Mayo	9.04	3.65	-59.66%	4.60	-49.12%	5.45	-39.68%	1.91	-78.83%	3.04	-66.39%	13.70
Junio	4.58	5.39	17.73%	8.38	82.87%	11.00	140.10%	5.31	15.83%	9.69	111.49%	13.64
Julio	9.69	11.64	20.18%	12.72	31.30%	14.35	48.13%	9.92	2.43%	18.02	85.97%	19.56
Agosto	13.85	20.32	46.65%	27.09	95.54%	24.93	79.94%	14.12	1.94%	24.70	78.31%	34.34
Septiembre	19.25	62.42	224.25%	51.84	169.27%	80.55	318.45%	49.73	158.33%	62.91	226.81%	102.31
Octubre	40.18	104.83	160.91%	66.60	65.77%	138.56	244.86%	86.05	114.17%	108.97	171.23%	134.02
Noviembre	55.64	88.62	59.29%	82.18	47.70%	96.45	73.35%	77.22	38.79%	96.10	72.73%	118.35
Diciembre	90.85	127.73	40.59%	103.60	14.03%	145.87	60.56%	119.50	31.53%	123.90	36.38%	120.88

Fuente: Elaboración propia

Figura 15

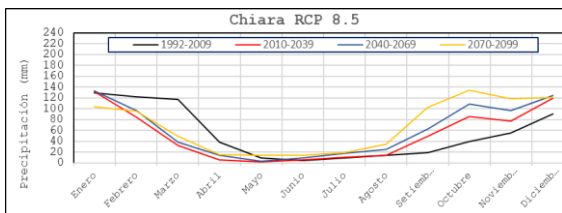
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Chiara



Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Chiara



Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga-Perú. Testisa¹ Asesor²

Figuras 15 y 16 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

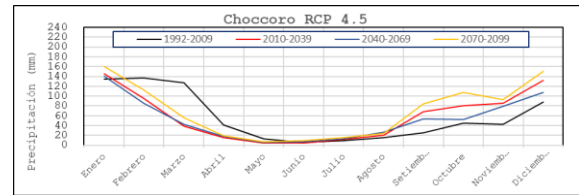
Tabla 14

Variación de la precipitación – Estación Choccoro

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
		2010-2039	2040-2069	2070-2099	%	2010-2039	2040-2069	2070-2099	%				
Enero	134.62	145.27	7.90%	140.79	4.58%	160.68	19.35%	148.20	10.08%	149.39	10.97%	114.25	-13.65%
Febrero	137.04	38.68	-71.82%	85.33	-37.74%	112.64	-17.81%	32.18	-76.74%	105.07	-23.33%	104.39	-23.83%
Marzo	127.38	38.99	-69.39%	42.78	-66.42%	55.75	-56.23%	38.28	-69.95%	46.44	-63.55%	60.39	-52.59%
Abril	41.65	15.54	-62.70%	17.60	-57.73%	18.65	-55.22%	8.02	-80.75%	20.77	-50.13%	22.28	-46.50%
Mayo	13.14	4.81	-63.37%	5.70	-56.64%	6.51	-50.46%	2.69	-79.52%	3.81	-71.02%	17.15	30.56%
Junio	6.14	4.78	-22.13%	7.45	21.37%	9.74	58.78%	4.75	-22.67%	8.88	44.73%	12.29	100.34%
Julio	9.88	12.18	23.33%	13.44	36.08%	15.19	53.72%	10.39	5.20%	19.18	94.08%	20.61	108.58%
Agosto	15.76	20.10	27.53%	27.10	71.94%	24.57	55.90%	14.22	-9.77%	24.61	56.16%	33.60	113.15%
Septiembre	25.23	68.44	171.28%	53.80	113.24%	84.30	236.10%	52.76	109.13%	66.04	161.77%	109.33	333.32%
Octubre	44.45	81.94	83.94%	52.82	18.84%	107.06	140.89%	66.69	85.06%	91.37%	104.83	135.86%	
Noviembre	42.66	84.90	99.02%	78.75	84.60%	92.25	116.25%	74.08	73.65%	91.78	115.16%	113.02	164.95%
Diciembre	88.15	132.55	50.37%	107.79	22.28%	151.00	71.30%	123.99	40.65%	128.85	46.17%	125.31	42.15%

Figura 17

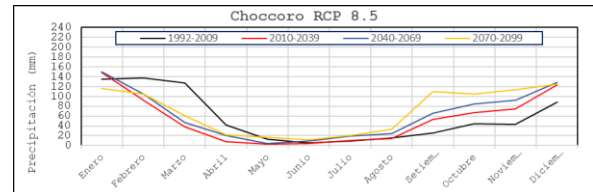
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Choccoro



Fuente: Elaboración propia

Figura 18

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Choccoro



Figuras 17 y 18 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

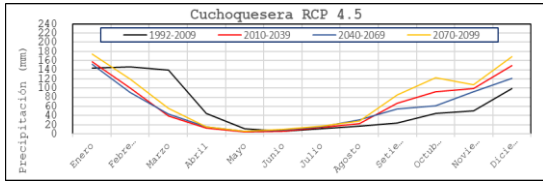
Tabla 15

Variación de la precipitación – Estación Cuchoquesera

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
		2010-2039	2040-2069	2070-2099	%	2010-2039	2040-2069	2070-2099	%				
Enero	140.82	157.24	9.33%	152.46	6.01%	173.96	20.95%	160.44	11.55%	161.68	12.42%	125.93	-12.44%
Febrero	146.79	100.81	-31.32%	90.85	-38.11%	119.99	-18.26%	98.14	-33.14%	111.84	-23.81%	111.16	-24.27%
Marzo	139.19	39.41	-71.69%	42.90	-69.18%	56.35	-59.51%	38.84	-72.10%	46.58	-66.54%	60.74	-56.36%
Abril	44.07	13.24	-69.95%	15.01	-65.94%	15.90	-63.92%	6.82	-84.52%	17.70	-59.83%	18.99	-56.92%
Mayo	11.84	4.29	-63.75%	5.22	-55.94%	6.06	-48.83%	2.33	-80.28%	3.47	-70.70%	15.65	32.15%
Junio	5.37	5.15	-4.10%	8.03	49.54%	10.51	95.62%	5.12	-4.76%	9.59	78.42%	13.27	146.95%
Julio	11.11	13.67	23.03%	14.99	34.92%	16.92	52.30%	11.66	4.90%	21.30	91.67%	23.02	107.18%
Agosto	16.71	22.54	34.88%	30.07	79.98%	27.64	65.45%	15.69	-6.11%	27.41	64.04%	38.06	127.82%
Septiembre	23.75	67.62	184.75%	54.15	128.04%	84.94	257.65%	52.71	121.95%	66.21	178.81%	108.96	358.80%
Octubre	44.36	92.69	108.55%	60.78	37.02%	122.74	176.69%	76.37	72.15%	97.66	120.14%	120.40	171.40%
Noviembre	49.60	99.00	99.60%	91.82	85.12%	107.67	117.08%	86.31	74.02%	107.22	116.16%	132.06	166.25%
Diciembre	99.23	148.48	49.62%	120.64	21.57%	169.28	70.59%	138.89	39.97%	144.23	45.34%	140.41	41.49%

Figura 19

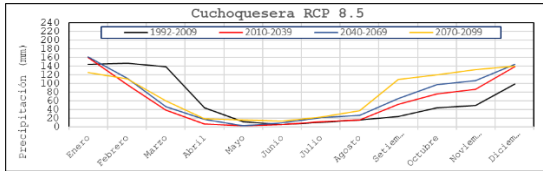
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Cuchoquesera



Fuente: Elaboración propia

Figura 20

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5– Estación Cuchoquesera



Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 19 y 20 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

Tabla 16

Variación de la precipitación – Estación Huamanga

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
		1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099				
Enero	112.38	131.50	17.01%	128.12	14.01%	145.77	29.71%	134.45	19.64%	134.93	20.07%	106.22	-5.48%
Febrero	120.58	72.96	-39.49%	65.79	-45.44%	86.67	-28.12%	71.06	-41.07%	81.11	-32.73%	80.44	-33.28%
Marzo	88.08	32.60	-62.99%	35.47	-59.73%	46.62	-47.07%	32.14	-63.51%	38.52	-56.27%	50.23	-42.97%
Abril	32.57	10.55	-67.60%	11.73	-63.97%	12.77	-60.80%	5.34	-83.59%	14.19	-56.42%	15.32	-52.94%
Mayo	10.56	2.79	-73.62%	3.54	-66.45%	4.22	-60.02%	1.45	-86.30%	2.34	-77.87%	10.54	-0.20%
Junio	3.32	4.35	30.96%	6.78	103.95%	8.88	167.16%	4.31	29.60%	8.00	140.73%	11.14	235.21%
Julio	7.56	11.47	51.79%	12.45	64.70%	14.02	85.60%	9.77	29.30%	17.53	132.01%	19.17	153.64%
Agosto	11.42	20.03	75.42%	26.41	131.27%	24.66	115.99%	13.63	19.94%	24.18	111.74%	34.23	199.73%
Setiembre	23.79	52.46	120.52%	44.50	87.07%	68.79	189.18%	42.34	77.99%	53.78	126.07%	86.87	265.21%
Octubre	31.23	99.12	217.44%	62.82	101.19%	131.02	319.58%	81.35	160.53%	102.95	229.69%	126.58	305.38%
Noviembre	52.49	83.00	58.13%	76.38	46.66%	90.23	71.90%	72.39	37.92%	89.82	71.12%	110.62	110.75%
Diciembre	87.49	127.06	45.24%	103.31	18.09%	144.78	65.49%	118.86	35.86%	123.50	41.17%	120.14	37.32%

Fuente: Elaboración propia

Figura 21

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Huamanga

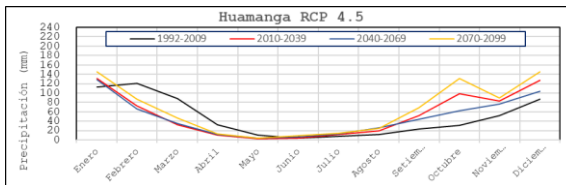
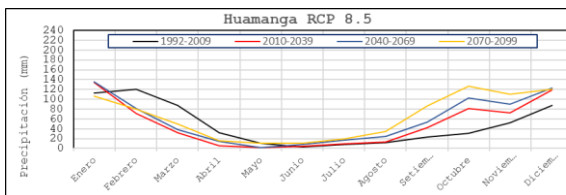


Figura 22

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5– Estación Huamanga



En las Figuras 21 y 22 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-

2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

Tabla 17

Variación de la precipitación – Estación Pucalloma

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
		1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099				
Enero	113.88	142.10	25.66%	139.19	22.23%	158.52	39.20%	146.11	28.39%	146.95	29.04%	115.24	1.09%
Febrero	132.62	82.72	-37.62%	74.56	-43.78%	98.45	-25.77%	80.54	-39.27%	91.79	-30.79%	91.22	-31.22%
Marzo	104.98	32.01	-69.51%	34.59	-67.05%	45.77	-56.40%	31.67	-69.83%	37.57	-64.21%	49.10	-53.23%
Abril	38.28	9.40	-75.43%	11.06	-71.09%	11.11	-70.98%	5.02	-86.90%	12.41	-67.59%	13.12	-65.71%
Mayo	9.34	4.72	-49.41%	5.86	-37.26%	6.88	-26.29%	2.52	-73.00%	3.88	-58.42%	17.51	87.51%
Junio	6.08	6.16	1.39%	9.54	56.95%	12.61	107.55%	5.97	-1.77%	10.42	71.36%	15.17	149.60%
Julio	11.34	8.69	-23.34%	9.24	-18.55%	10.38	-8.43%	7.39	-34.83%	12.81	12.99%	14.32	26.25%
Agosto	7.48	19.57	161.70%	25.80	245.05%	24.10	222.37%	13.36	78.68%	23.62	215.96%	33.46	347.50%
Setiembre	21.01	51.46	144.95%	44.07	109.76%	67.56	223.51%	41.77	98.84%	53.15	153.03%	65.62	307.56%
Octubre	37.43	102.14	172.87%	64.72	72.91%	135.00	260.65%	83.82	123.94%	106.06	183.35%	130.42	248.42%
Noviembre	53.34	83.06	55.72%	77.00	44.35%	90.58	69.82%	72.22	35.41%	90.42	69.52%	111.46	108.96%
Diciembre	89.47	115.77	29.39%	94.61	5.75%	131.24	46.68%	108.26	21.00%	112.99	26.79%	109.21	22.06%

Figura 23

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Huamanga

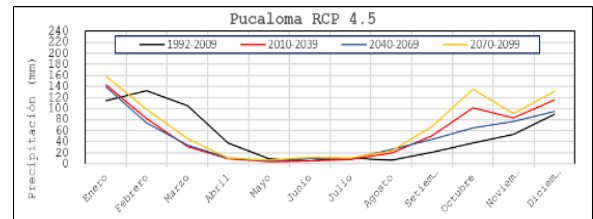
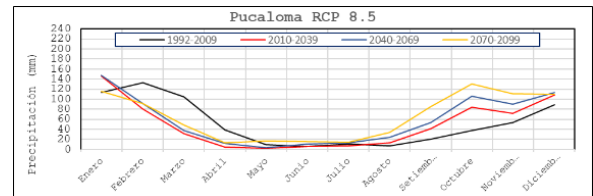


Figura 24

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Huamanga



Figuras 23 y 24 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

Tabla 18

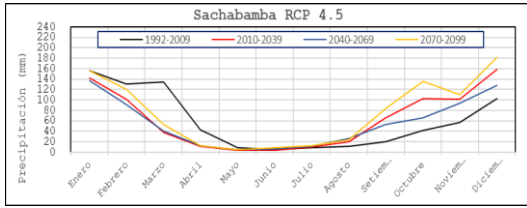
Variación de la precipitación – Estación Sachabamba

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
		1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099				
Enero	155.71	141.78	-9.34%	136.94	-12.05%	156.51	0.58%	144.44	-7.24%	146.01	-6.22%	112.79	-27.56%
Febrero	130.63	101.19	-22.54%	91.18	-30.20%	120.50	-7.75%	98.51	-24.59%	112.20	-14.11%	111.58	-14.58%
Marzo	134.08	37.41	-72.10%	40.47	-69.82%	53.50	-60.10%	36.99	-72.41%	43.86	-67.21%	57.43	-57.17%
Abril	43.60	10.79	-75.20%	12.30	-71.72%	12.93	-70.28%	5.59	-87.15%	14.41	-66.89%	15.42	-64.56%
Mayo	8.32	3.73	-55.15%	4.50	-45.92%	5.20	-37.45%	2.05	-75.38%	3.00	-63.95%	13.50	62.30%
Junio	4.89	4.21	-14.04%	6.54	33.70%	8.58	75.33%	4.15	-15.25%	7.62	55.78%	10.69	118.44%
Julio	8.29	9.98	20.49%	10.85	30.91%	12.23	47.59%	8.50	2.62%	15.30	84.67%	16.69	101.46%
Agosto	11.14	19.87	78.30%	26.64	139.09%	24.32	118.27%	13.93	25.05%	24.24	117.53%	33.38	199.58%
Setiembre	20.54	65.39	218.32%	53.54	160.65%	83.51	306.55%	51.66	151.47%	65.18	217.28%	106.48	418.36%
Octubre	42.02	102.76	144.83%	66.45	58.13%	135.97	223.54%	84.52	101.13%	107.62	156.10%	132.54	215.38%
Noviembre	57.55	101.59	76.53%	94.24	63.76%	110.26	91.60%	88.72	54.17%	109.61	90.47%	134.93	134.48%
Diciembre	103.24	158.19	53.22%	127.85	23.83%	181.30	75.61%	148.03	43.38%	153.01	48.20%	149.95	45.24%

Fuente: Elaboración propia

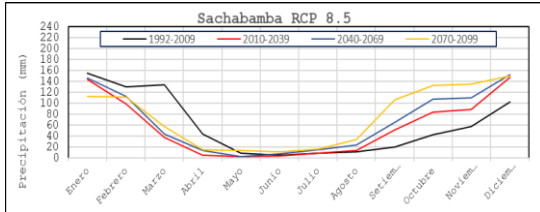
Figura 25

Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Sachabamba



Fuente: Elaboración propia

Figura 26
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Sachabamba



En las Figuras 25 y 26 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

Tabla 19
Variación de la precipitación – Estación Tambillo

Mes/Año	Observada	Precipitación (mm) - RCP 4.5				Precipitación (mm) - RCP 8.5							
		1992-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2070-2099				
Enero	116.56	141.21	21.15%	137.15	17.66%	156.33	34.12%	144.20	23.71%	145.10	24.49%	113.43	-2.69%
Febrero	133.85	86.21	-35.59%	77.71	-41.95%	102.56	-23.37%	83.94	-37.29%	95.69	-28.51%	95.06	-28.98%
Marzo	111.52	34.65	-68.93%	37.67	-66.22%	49.54	-55.58%	34.18	-69.35%	40.91	-63.32%	53.36	-52.15%
Abril	38.83	11.35	-70.84%	12.93	-66.79%	13.60	-65.06%	5.88	-84.91%	15.16	-61.07%	16.23	-58.31%
Mayo	9.49	4.19	-55.87%	5.29	-44.22%	6.28	-33.77%	2.19	-76.88%	3.50	-63.13%	15.75	66.07%
Junio	4.34	6.16	41.96%	9.55	120.08%	12.58	190.04%	6.00	38.44%	10.69	146.37%	15.33	253.51%
Julio	11.95	10.49	-12.25%	11.34	-5.13%	12.78	6.91%	8.93	-25.30%	15.94	33.34%	17.48	46.25%
Agosto	10.43	20.74	98.80%	27.59	164.53%	35.45	144.02%	14.37	37.75%	25.19	141.36%	35.11	236.64%
Septiembre	21.52	62.19	189.00%	51.81	140.79%	80.45	273.87%	49.65	130.72%	62.84	192.05%	102.09	374.46%
Octubre	42.23	107.58	154.72%	69.97	63.30%	142.28	236.88%	88.40	109.32%	112.26	165.80%	138.16	227.12%
Noviembre	60.41	95.19	57.57%	88.23	46.05%	103.88	71.95%	82.73	36.94%	103.74	71.73%	127.91	111.73%
Diciembre	101.56	125.91	23.98%	102.52	0.94%	143.25	41.05%	117.76	15.95%	122.52	20.64%	118.96	17.13%

Fuente: Elaboración propia

Figura 27
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 4.5 – Estación Tambillo

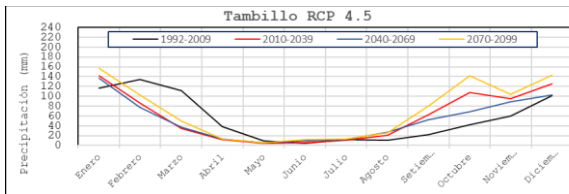
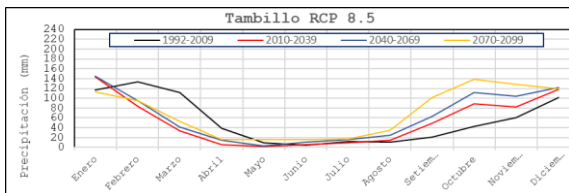
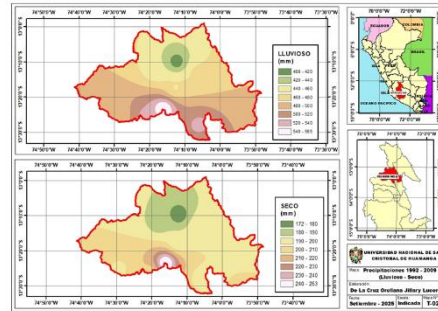


Figura 28
Comparación de la precipitación proyectada ACCESS1.0 RCP 8.5 – Estación Tambillo



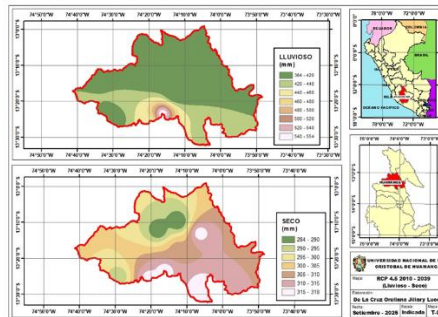
En las Figuras 27 y 28 se observa gráficamente la variación de la precipitación en periodos 1992-2009, 2010 – 2039, 2040 – 2069 y 2070 – 2099 con RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

Figura 29
Precipitaciones 1992 – 2009 (lluvioso – seco)



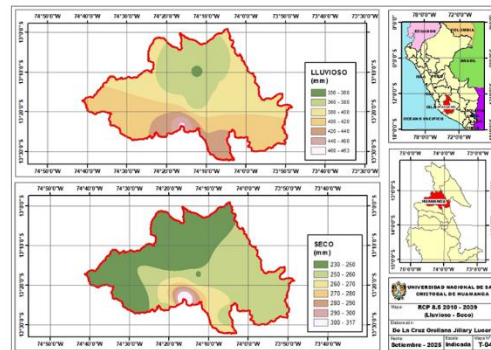
Fuente: Elaboración propia

Figura 30
RCP 4.5 2010 – 2039 (lluvioso – seco)



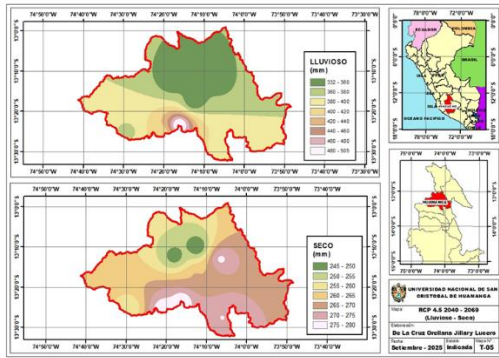
Fuente: Elaboración propia

Figura 31
RCP 8.5 2010 – 2039 (lluvioso – seco)



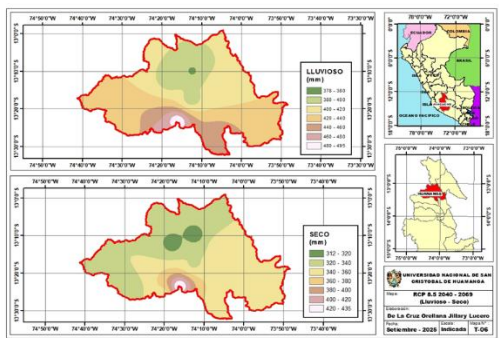
Fuente: Elaboración propia

Figura 32
RCP 4.5 2040 – 2069 (lluvioso – seco)



Fuente: Elaboración propia

Figura33
RCP 8.5 2040 – 2069 (lluvioso – seco)



Fuente: Elaboración propia

Figura34
RCP 4.5 2070 – 2099 (lluvioso – seco)

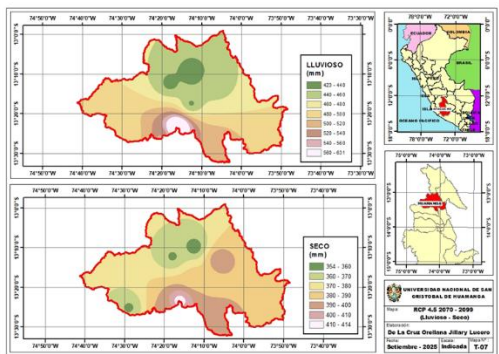
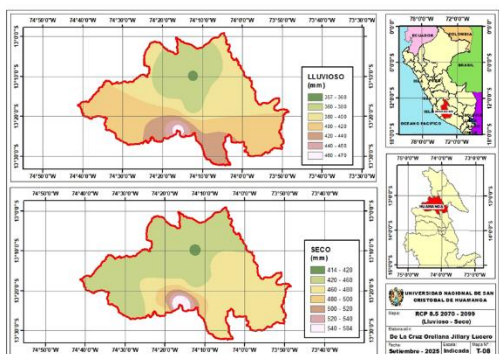


Figura35
RCP 8.5 2070 – 2099 (lluvioso – seco)



III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.1. Homogeneidad y completación de datos de precipitación en las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la provincia de Huamanga.

Se completaron las series de datos de precipitación de ocho estaciones meteorológicas de la provincia de Huamanga (Allpachaca, Chiara, Choccoro, Cuchoquesera, Huamanga, Pucaloma, Sachabamba y Tambillo) para el periodo 1992–2018 ver **Figura 9** (Estaciones meteorológicas completadas), utilizando regresión lineal múltiple y estaciones altamente correlacionadas para llenar vacíos de información. Ver **Tabla 2**(*Coefficiente de correlación entre estaciones meteorológicas*)

3.1.2. Prueba de homogeneidad y consistencia.

En la **tabla 9**, se aprecia los resultados de la corrección de datos y análisis de consistencia, donde se muestra las estaciones en estudio son homogéneas y consistentes para poder realizar proyecciones climáticas futuras. donde el Pvalor es mayor a 0.05 para T y F.

En la **figura 10**, se aprecia que después de haber realizado la corrección de datos se evidencia que los saltos han reducido significativamente, esto se puede apreciar en las ocho estaciones meteorológicas en estudio.

3.1.3. Downscaling de precipitación de modelos climáticos globales.

Se ha realizado proyecciones climáticas para escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 hasta el año 2100. ver **ITEM 2.4**(*Proyecciones futuras de precipitación ACCESS1.0*)

3.1.4. Modelo climático global con mejor ajuste estadístico para predicción de precipitación con incidencia de cambio climático.

Se evaluó el desempeño de los Modelos Climáticos Globales aplicando métricas estadísticas como el coeficiente de correlación (R), el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y el error cuadrático medio (RMSE), identificando que el modelo ACCESS1.0 presentaba el mejor ajuste para las condiciones locales. Para ello se ha utilizado los criterios de rendimiento de modelos hidrológicos. Ver **Figura (13-28)**

3.1.5. *Predicciones de precipitación con incidencia de cambio climático en la Provincia de Huamanga.*

En la estación Allpachaca se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 133.04 mm (347.04%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de mayo con 2.71 mm (-86.07 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de noviembre con 155.16 mm (139.67%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de julio con 7.08 mm (-42.87 %) periodo 2010-2039. ver **Tabla 12** (*Proyección y variación de la precipitación – Estación Allpachaca*).

En la estación Chiara se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 102.31 mm (431.51%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 5.36 mm (-86.03 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de noviembre con 80.55 mm (318.45%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 10.38 mm (-72.93 %) periodo 2010-2039. ver **Tabla 13** (*Predicción y variación de la precipitación – Estación Chiara*).

En la estación Choccoro se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 109.33 mm (333.32%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 8.02 mm (-80.75 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 84.80 mm (236.10%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de marzo con 38.99 (-69.39 %) periodo 2010-2039. ver **Tabla 14** (*Predicción y variación de la precipitación – Estación Choccoro*).

En la estación Cuchoquesera se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 108.96 mm (358.80%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 6.82 mm (-84.52 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 84.94 mm (257.66%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de marzo con 39.41 mm (-71.69 %) periodo 2010-2039. Ver **Tabla 15** (*Predicción y variación de la precipitación – Estación Cuchoquesera*).

En la estación Huamanga se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de octubre con 126.58 mm (305.38%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 1.45 mm (-86.30 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de octubre con 131.02 mm (319.58%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de mayo con 2.79 mm (-73.62 %) periodo 2010-2039. ver **Tabla 16** (*Predicción y variación de la precipitación – Estación Huamanga*).

En la estación Pucaloma se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de agosto con 33.46 mm (347.50%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 5.02 mm (-86.90 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de octubre con 135 mm (260.65%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 9.40 mm (-75.43 %) periodo 2010-2039. Ver **Tabla 17** (*predicción y variación de la precipitación – Estación Pucaloma*).

En la estación Sachabamba se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 106.48 mm (418.36%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 5.59 (-87.15 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 83.51 mm (306.55%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 10.79 mm (-75.20 %) periodo 2010-2039. ver **Tabla 18** (*predicción y variación de la precipitación – Estación Sachabamba*).

Con respecto a la estación Tambillo se evidencia que la máxima variación tanto mínima y máxima

sucede con el RCP 8.5, donde la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 102.09 mm (374.46%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 5.88 mm (-84.91 %) periodo 2010-2039.

Para el RCP 4.5 la variación máxima sucede en el mes de setiembre con 80.45 mm (273.87%) periodo 2070-2099 y la variación mínima ocurre en el mes de abril con 11.35 mm (-70.84 %) periodo 2010-2039. ver **Tabla 19** (*Predicción y variación de la precipitación – Estación Tambillo*).

3.2. DISCUSIONES

Conuerdo con Cruz (2021); ya que habrá un aumento en la precipitación total. En la presente investigación se puede notar una disminución moderada de precipitación en temporada húmeda (enero–mayo), con reducciones de entre -25 % y -55 % en varias estaciones e incrementos en temporada seca: Allpachaca+45%, Cuchoquesera y Sachabamba +70 %.

Conuerdo con Wang et al. (2021), porque utiliza modelos climáticos globales (GCM), considerando escenarios de forzamiento históricos y futuros (RCP 2.6 y 8.5); donde se proyecta un aumento del 34% en la precipitación invernal a largo plazo bajo RCP 8.5. Se evidencia un incremento de precipitación a partir del mes de mayo (ver tablas 23 – 30)

Se concuerda con Yoon et al. (2023), ya que utiliza escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 para evaluar la variabilidad en la precipitación media mensual entre diferentes modelos climáticos globales (GCM).

Se concuerda con Díaz et al. (2022), por aplicar la metodología de Downscaling estadístico de proyecciones de modelos climáticos globales (MCG) del CMIP5, donde aplicando las concentraciones (RCP 4.5 y 8.5) se evidencia un aumento significativo de precipitación,

Se concuerda con Laura et al. (2016), por utilizar modelos climáticos globales del CMIP5, donde utilizó datos históricos de precipitación como referencia la climatología de 1971 a 2000 y sus proyecciones para el horizonte 2071 a 2100.

CONCLUSIONES

1. Se logró completar series de precipitación mensual en 8 estaciones: Allpachaca, Chiara, Choccoro, Cuchoquesera, Huamanga, Pucaloma, Sachabamba y Tambillo.
2. Se aplicó la técnica de Downscaling estadístico para todos los Modelos Climáticos Globales (MCG) disponibles en la base de datos climática, entre ellos: ACCESS1.0, BCC-CSM1.1, CCSM4, CNRM-CM5, GFDL-CM3, HadGEM2-ES
3. El modelo climático global ACCESS1.0 presentó el mejor ajuste para simular la precipitación local, siendo seleccionado para proyecciones futuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araque, M., Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). Cuencas hidrográficas (1era ed.). Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez Cendón, E., . . . Coll, A. (marzo de 2014). Abstract Keywords Introducción DOI: 10.1016/j.rimni.2012.07.004 Open Access Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Elsevier: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-internacional-metodos-numericos-calculo-338-articulo-iber-herramienta-simulacion-numerica-del-S0213131512000454>
- Bolívar, B., & Gustavo, E. (2020). Modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional del río marañón sector puente Tingo Chico. Carretera Huánuco – Conococha. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Universidad Nacional Agraria La Molina:

- <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/b99e361c-2d03-45f2-9f2e-946a0fdd839b>
- Caicedo, M., Cabrera, E., Zambrano, X., Rodríguez, M., & Intriago, P. (2021). Estudio de características morfológicas de la cuenca “Cañitas” y su relación con el riesgo de inundaciones repentinas. Recuperado el 26 de Octubre de 2024, de SciELO México: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78902021000400022
- Díez, A., Llorente, M., Ballesteros, J., & Ruiz, V. (2009). Riesgos por avenidas e inundaciones fluviales. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 254-263. Obtenido de <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/download/199928/267371>
- Ferrufino, M. (2015). Ríos. Recuperado el 09 de 01 de 2025, de Academia: <https://www.academia.edu/15617405/RIOS>
- Gámez, W. (2010). Texto básico de Hidrología. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/textos/np10g192.pdf>
- Gámez, W. (2015). Texto básico autoformativo de topografía general. David López. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/3179/1/NP31G192t.pdf>
- García, D. (2019). Modelado hidráulico del río Amojú aplicando el software Iber para zonificar áreas inundables en la ciudad de Jaén, Perú. Recuperado el 7 de diciembre de 2024, de <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/228>
- García, R., & Conesa, C. (2011). Estimación de caudales de avenidas y delimitaciones de áreas inundables mediante métodos hidrometeorológicos e hidráulicos y técnicas S.I.G., estudio aplicado al litoral sur de la región de Murcia. España: Papeles de Geografía.
- Guerra, A. (10 de 01 de 2022). Zonas inundables y límites a los usos urbanísticos. Actualidad Jurídica Ambiental. Obtenido de <https://www.actualidadjuridicaambiental.com/wp-content/uploads/2022/01/2021-02-01-Guerra-Zonas-inundables.pdf>
- Gutierrez, J., Rubiños, J., Fernandez, D., Ramírez, C., Roblero, R., Gutierrez, G., & Romero, M. (2022). Modelación hidráulica en Iber para prevención de inundaciones en la cuenca Tesechoacán. México: Revista Mexica.
- Hussain, A., Cao, J., Ali, S. M., Ullah, W., Hussain, I., Akhtar, M., . . . Zhou, J. (2022). Observed trends and variability of seasonal and annual precipitation in pakistan during 1960–2016. International Journal of Climatology, 42(16), 8313-8332. doi:<https://doi.org/10.28974/idojars.2021.1.4>
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2015). Morfología de las cuencas hidrográficas. Recuperado el 20 de Octubre de 2024, de RiuNet: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Iber. (13 de 06 de 2012). Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Iber 2D: https://ocw.camins.upc.edu/repositori/ocw/materials/250431/2024/Manual_Referencia_Hidraulico_Iber_v13.pdf
- Instituto Nacional de Defensa Civil, (INDECI). (2014). Manual de

- estimación del riesgo ante inundaciones fluviales. Recuperado el 01 de 12 de 2024, de <https://dimse.cenepred.gob.pe/sims/cenepred/docs/MAN-manual-evar-inundac-fluviales.pdf>
- Karimi, S., Nazaripour, H., & Hamidianpour, M. (2021). Spatial and temporal variability of precipitation extreme indices in arid and semi-arid regions of Iran for the last half-century. *Idójarás*, 125(1), 83-104. doi:<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1412182/v1>
- Khan, A. J., & Koch, M. (2018). Selecting and downscaling a set of climate models for projecting climatic change for impact assessment in the upper Indus basin (UIB). *Climate*, 6(4), 89. doi:<https://doi.org/10.3390/cli6040089>
- Llocella, J. (2016). Determinación del caudal máximo de avenida con fines de diseño del aliviadero de la presa Querobamba, Cangallo - Ayacucho - 2016. Ayacucho - Perú: Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.
- Martínez, H. (2018). Evaluación hidrológica para la determinación de caudales máximos en la subcuenca del río Sayacc, Vischongo - Vilcashuamán - Ayacucho, 2018. Ayacucho - Perú: Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.
- Martínez, J. (09 de 2019). Principales causas y acciones clave para reducir los daños por inundaciones. Recuperado el 01 de 12 de 2024, de <https://fnca.eu/comunicacion/prensa/notas-de-prensa-fnca?download=202:principales-causas-y-acciones-clave-para-reducir-los-danos-por-inundaciones>
- Méndez, W., Córdova, J., & Bravo, L. (2015). Modelos predictivos de caudales máximos instantáneos para cuencas de drenaje de ambientes montañosos, sustentados en parámetros morfométricos. Maracaibo - Venezuela: Revista técnica de la facultad de ingeniería universidad de Zulia.
- Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC). (2011). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. Recuperado el 4 de 12 de 2024, de <https://www.gob.pe/>.
- Moriasi, D., Arnold, J., Van Liew, M., Bingner, R., & Harmel, R. &. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50, 885-900.
- Olmo, M., & Bettolli, M. L. (2021). Statistical downscaling of daily precipitation over southeastern South America: assessing the performance in extreme events. *International Journal of Climatology*, 42(2), 1283-1302. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.7303>
- Osío, M., Valencia, F. ..., Guevara, E., & Cartaya, H. (2000). Cálculo del coeficiente de rugosidad "N" De Manning en los grandes ríos de Venezuela. *Redalyc*, 7(2), 13. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/707/70770202.pdf>
- Pereyra, D., Pérez, J., & Salas, M. (2008). Hidrología. Recuperado el 27 de octubre de 2024
- Rincón, M., Vargas, W., & González, C. (2017). En *Topografía: Conceptos y aplicaciones* (pág. 28). Ecoe Ediciones. Obtenido de <https://www.ecoediciones.com/wp>

content/uploads/2018/02/Topograf
%C3%ADa-Conceptos-y-
aplicaciones-ebook.pdf

Roa, J., & Kamp, U. (2008). Modelos de elevación digital (MED) a partir de sistemas satelitales. Una introducción y análisis comparativo en la co. Recuperado el 17 de Octubre de 2024, de Redalyc: <https://www.redalyc.org/pdf/3477/347730375002.pdf>

Velasco, R., & Uribe, F. (2008). La Hidrodinámica de Leonhard Euler. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Miscelanea Matemática: https://miscelaneamatematica.org/download/tbl_articulos.pdf2.8856729d76d3bdf6.55726962652e706466.pdf

Villazón, J., Noris, P., & Martín, G. (2 de June de 2021). Determinación de la precipitación efectiva en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín. Recuperado el 30 de November de 2024, de SciELO Chile: <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v39n2/0718-3429-idesia-39-02-85.pdf>

Villegas, M. (2023). Analisis de riesgo frente a inundaciones en la quebrada estanquillo con el modelo matemático iber, en el distrito de cerro colorado, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa. Arequipa - Perú.