

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



TESIS:

**Evaluación del comportamiento de la disponibilidad hídrica
futura, bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del
río Acarí - 2023**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. Abel Flumencio JAYO ANCCO

ASESOR:

MSc. César Vidal GUTIÉRREZ NINAHUAMÁN

AYACUCHO - PERÚ

2024

"A Dios, fuente inagotable de fortaleza y esperanza, dedico este trabajo. En el transitar de este camino lleno de desafíos, tú has sido mi guía constante, inspirándome con la fuerza necesaria para superar adversidades y hallar esperanza en cada dificultad. Con gratitud y humildad, reconozco tu mano divina que ha iluminado mi senda académica. Este logro es un testimonio de tu amor incondicional y mi profundo agradecimiento por sostenerme en este viaje. A ti sea la gloria."

"A mi amada mamá, Felipa Ancco Pillaca, y a mi querida hermana, Yanet Flores Ancco, dedico este logro con profundo agradecimiento. Vuestra inquebrantable apoyo y amor han sido mi mayor fortaleza a lo largo de este arduo trayecto académico. En cada desafío, sus alientos y sacrificios han sido mi faro, guiándome con amor y paciencia. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes, quienes han compartido conmigo cada paso de este camino. Gracias por ser mi inspiración y sostén. Este logro es tanto suyo como mío. Con todo mi amor y gratitud, dedico esta tesis a dos mujeres extraordinarias que han hecho posible este sueño."

AGRADECIMIENTO

A mi primera casa de estudios, la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Alma Mater de mi formación académica, le expreso mi profundo agradecimiento por acogerme y proporcionarme los recursos necesarios para enriquecer mi conocimiento. A mi Facultad de Ciencias Agrarias, en particular a mi Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, quiero agradecer a los dedicados docentes que, con generosidad, compartieron sus conocimientos, orientándome hacia la ampliación de los míos.

En especial, agradezco al M. Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán por su valioso asesoramiento y orientación, fundamentales para la realización exitosa de esta tesis. Sus consejos han sido una luz guía en este proceso.

A mis queridos compañeros y amigos, les agradezco sinceramente por su colaboración desinteresada. Sus aportes y apoyo han enriquecido este trabajo y han hecho de este camino académico una experiencia más significativa.

Este logro no solo es personal, sino el resultado del respaldo y contribuciones de todos aquellos que han sido parte de mi travesía en la búsqueda del conocimiento. Gracias a cada uno de ustedes por ser parte fundamental de este viaje académico.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	5
1.1 ANTECEDENTES.....	5
1.1.1 Antecedente a nivel mundial.....	5
1.1.2 Antecedente a nivel nacional, regional y local	5
1.2 BASES TEÓRICA	7
1.2.1 Hidrología	7
1.2.2 Cuenca hidrográfica	8
1.2.3 Ciclo hidrológico	8
1.2.4 Procesos del ciclo hidrológico	9
1.2.5 Balance hidrológico	9
1.2.6 Parámetros geomorfológicos de una cuenca.....	9
1.2.7 Características físicas de la cuenca	10
1.2.8 Tiempo de concentración de la cuenca	11
1.2.9 Índices de caracterización hidrológica de cuencas	11
1.2.10 Análisis estadístico de series temporales	12
1.3 MODELOS EN HIDROLOGÍA	12
1.3.1 Modelos hidrológicos.....	12
1.3.2 Modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool).....	13
1.3.3 Calibración y validación del modelo SWAT usando SWAT-CUP	16

1.3.4	Datos grillados y su aplicación en modelos hidrológicos.....	16
1.4	MODELAMIENTO CLIMÁTICO.....	17
1.4.1	Cambio climático.....	17
1.4.2	Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC).....	17
1.4.3	Modelos climáticos globales (GCMs).....	18
1.4.4	Escenarios de emisiones de CO ₂ del IPCC y CMIP6.....	18
1.4.5	Escenarios climáticos del BASD-CMIP6-PE.....	19
1.4.6	Simulaciones de los modelos del IPCC.....	20
1.4.7	Métodos de Downscaling.....	21
1.4.8	Impacto del Cambio Climático en la Hidrología Regional.....	21
CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS.....		22
2.1	UBICACIÓN.....	22
2.1.1	Ubicación geográfica.....	22
2.1.2	Ubicación política.....	22
2.1.1	Ubicación hidrográfica.....	24
2.1.1	Ubicación administrativa.....	24
2.1.2	Vías de acceso.....	25
2.2	MATERIALES Y EQUIPOS.....	25
2.2.1	Información geográfica e hidrometeorológica.....	25
2.2.2	Equipos.....	26
2.2.3	Software.....	26
2.3	METODOLOGÍA.....	27
2.4	Caracterización de la cuenca del río Acarí a través del análisis integrado de parámetros geomorfológicos y climáticos, empleando herramientas geoespaciales y el modelo hidrológico SWAT para evaluar la dinámica hídrica.....	27
2.4.1	Creación de la cuenca hidrográfica y su red de drenaje.....	27
2.4.2	Creación de las unidades de respuesta hidrológica.....	31
2.4.3	Recopilación y análisis de datos climáticos históricas.....	36

2.5	Calibración y validación del modelo hidrológico SWAT para simular caudales históricos, y optimización de los parámetros del modelo mediante el análisis de sensibilidad usando SWAT-CUP.....	41
2.5.1	Análisis de sensibilidad en el modelo hidrológico SWAT	41
2.5.2	Comprobación del desempeño del modelo	46
2.6	Simulación de la disponibilidad hídrica futura en la cuenca del río Acarí bajo escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE).....	49
2.6.1	Selección de modelos climáticos globales (GCMs) y escenarios.....	49
2.6.2	Generación de datos de disponibilidad hídrica futura.....	51
2.6.3	Implementación del modelo hidrológico (SWAT)	51
2.6.4	Análisis detallado de la estación base	51
2.7	Comparación de la disponibilidad hídrica histórica con la futura bajo diferentes escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE).....	51
2.7.1	Definición de los periodos de análisis	52
2.7.2	Cálculo de anomalías climáticas.....	52
2.7.3	Comparación entre los escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6.....	53
2.7.4	Visualización de los resultados y análisis de periodos	54
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		55
3.1	Caracterización de la cuenca del río Acarí a través del análisis integrado de parámetros geomorfológicos y climáticos, empleando herramientas geoespaciales y el modelo hidrológico SWAT para evaluar la dinámica hídrica	55
3.1.1	Creación de la cuenca hidrográfica y su red de drenaje.....	55
3.1.2	Creación de las unidades de respuesta hidrológica.....	56
3.1.3	Datos climáticos.....	64
3.1.4	Discusión.....	75
3.2	Calibración y validación del modelo hidrológico SWAT para simular caudales históricos, y optimizar los parámetros del modelo mediante el análisis de sensibilidad usando SWAT-CUP	77
3.2.1	Análisis de sensibilidad en el modelo hidrológico Swat	77

3.2.2	Comprobación del desempeño del modelo	80
3.2.3	Resultados de los componentes hidrológicos histórico	82
3.2.4	Discusión.....	85
3.3	Simulación de la disponibilidad hídrica futura en la cuenca del río Acarí bajo escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE).	88
3.3.1	Generación de datos para la simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP5-8.5 (BASD-CMIP6-PE)	88
3.3.2	Generación de datos para la simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE)	94
3.3.3	Simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP5-8.5 (BASD-CMIP6-PE)	99
3.3.1	Simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE)	107
3.3.2	Discusión.....	114
3.4	Comparación de la disponibilidad hídrica histórica con la futura bajo diferentes escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE).....	116
3.4.1	Comparación de la disponibilidad hídrica histórica y futura bajo el escenario climático SSP5-8.5.....	116
3.4.2	Comparación de la disponibilidad hídrica histórica y futura bajo el escenario climático SSP1-2.6.....	130
3.4.3	Discusión.....	144
	CONCLUSIONES.....	147
	RECOMENDACIONES	148
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	149
	ANEXO	152
	Anexo 01. Datos pluviométricos.....	152
	Anexo 02. Datos de caudales descargados del ANA	160
	Anexo 03. Generación de datos para la simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP5-8.5 (BASD-CMIP6-PE)	161

Precipitación	161
Temperatura máxima	165
Temperatura mínima.....	169
Aexo 04. Generación de datos para la simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE).....	173
Precipitación	173
Temperatura máxima	177
Temperatura mínima.....	181

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Parámetros geomorfológicos de la cuenca.....	10
Tabla 1.2. Características físicas de la cuenca.....	11
Tabla 1.3. Principales escenarios climáticos del CMIP6.....	19
Tabla 1.4. Escenarios climáticos del BASD-CMIP6-PE para Perú y Ecuador	20
Tabla 2.1. Ubicación geográfica	22
Tabla 2.2. Ubicación administrativa	23
Tabla 2.3. Vías de acceso.....	25
Tabla 2.4. Información geográfica e hidrometeorológica.....	26
Tabla 2.5. Imágenes ALOS PALSAR Descargadas para el Área de Estudio.....	29
Tabla 3.6. Clasificación del Uso del Suelo según GlobeLand30 y su adaptación al modelo SWAT	32
Tabla 2.10. Detalles de la estación hidrométrica La Joya.....	39
Tabla 2.11. Parámetros más relevantes que podrían influir en el modelamiento de mi área de estudio.....	42
Tabla 2.12. Criterios utilizados para la evaluación del índice de Nash-Sutcliffe (NSE).....	47
Tabla 2.13. Criterios utilizados para la evaluación del PBIAS.....	48
Tabla 2.14. Criterios utilizados para la evaluación del Coeficiente de Determinación (R^2). ..	49
Tabla 2.15. Modelos Climáticos Globales (GCMs) del BASD-CMIP6-PE.....	49
Tabla 3.2. Propiedades geométricas de las 15 subcuencas de la cuenca del río Acarí	56
Tabla 3.4. Descripción de las áreas del mapa de Uso actual de suelo	59
Tabla 3.5. Descripción de las áreas del mapa de tipo de suelo	61
Tabla 3.6. Descripción de las áreas del mapa de pendientes	63
Tabla 3.13. Descripción de los parámetros sensibles para el modelo SWAT	79
Tabla 3.14. Indicadores del periodo de calibración (1982-1997).	81
Tabla 3.16. Resultados del modelamiento hidrológico en la cuenca del río Acarí (1985-2015)	83

Tabla 3.18. Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100).....	91
Tabla 3.19. Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100).....	92
Tabla 3.20. Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100).....	94
Tabla 3.21. Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100).....	96
Tabla 3.22. Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100).....	98
Tabla 3.24. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5(2050 y 2080).....	100
Tabla 3.25. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080).....	101
Tabla 3.26. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080).....	103
Tabla 3.27. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080).....	104
Tabla 3.28. Caudal(mm) proyectado para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080).....	106
Tabla 3.29. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080).....	108
Tabla 3.30. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080).....	109
Tabla 3.31. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080).....	110

Tabla 3.32. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080).....	112
Tabla 3.33. Caudal(mm) proyectad para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080).....	113
Tabla 3.34. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080).....	117
Tabla 3.35. Anomalías proyectadas en la temperatura máxima (°C) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080.....	118
Tabla 3.36. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080).....	119
Tabla 3.37. Anomalías en la proyección de temperatura mínima (°C) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080.....	120
Tabla 3.38. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080).....	122
Tabla 3.39. Anomalías en la proyección de evapotranspiración (mm) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080.....	123
Tabla 3.40. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080).....	125
Tabla 3.41. Anomalías en la proyección de precipitación(mm) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080.....	126
Tabla 3.42. Caudal proyectado en mm/mes y m ³ /s para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080).....	128
Tabla 3.43. Anomalías en la proyección de caudal(mm) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080.....	129
Tabla 3.44. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080).....	131
Tabla 3.45. Anomalías proyectadas en la temperatura máxima (°C) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080.....	132
Tabla 3.46. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080).....	134

Tabla 3.47. Anomalías en la proyección de temperatura mínima (°C) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080.....	135
Tabla 3.48. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Actual, 2050 y 2080)	137
Tabla 3.49. Anomalías en la proyección de evapotranspiración (mm) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080.....	138
Tabla 3.50. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Actual, 2050 y 2080)	140
Tabla 3.51. Anomalías en la proyección de precipitación(mm) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080.....	141
Tabla 3.52. Caudal proyectado en mm/mes y m ³ /s para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Actual, 2050 y 2080)	142
Tabla 3.53. Anomalías en la proyección de caudal(mm) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080.....	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Mapa de ubicación de la cuenca del río Acarí.....	23
Figura 2.2. Mapa de ubicación administrativa de la cuenca del río Acarí.....	24
Figura 2.3. Imagen Satelital del área de estudio desde ASF Data Search (NASA).....	28
Figura 2.4. Mapa de estaciones pluviométricas e hidrométricas	37
Figura 3.1. Mapa de cuencas hidrográficas y su red de drenaje	55
Figura 3.2. Mapa de Uso actual de suelo de la cuenca del río Acarí.	59
Figura 3.4. Mapa de pendientes de la Cuenca del río Acarí.	63
Figura 3.9. Análisis de sensibilidad en el modelo hidrológico SWAT.....	79
Figura 3.8. Serie comparativa de caudales observados y simulados durante el periodo de calibración (1982-1997).....	80
Figura 3.12. Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)	91
Figura 3.13. Temperatura máxima anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100).....	92
Figura 3.14. Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)	93
Figura 3.15. Temperatura mínima anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100).....	93
Figura 3.16. Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100).....	95
Figura 3.17. Precipitación anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)	95
Figura 3.18. Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)	97

Figura 3.19. Temperatura máxima anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100).....	97
Figura 3.20. Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)	99
Figura 3.23. Temperatura mínima anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100).....	99
Figura 3.22. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5(2050 y 2080).....	101
Figura 3.24. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080).....	104
Figura 3.25. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080).....	105
Figura 3.26. Caudal(mm) proyectado para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080).....	107
Figura 3.27. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080).....	108
Figura 3.28. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080).....	110
Figura 3.29. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080).....	111
Figura 3.30. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080).....	112
Figura 3.31. Caudal(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080).....	114
Figura 3.32. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)	118
Figura 3.33. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080).....	121

Figura 3.34. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)	124
Figura 3.35. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)	127
Figura 3.36. Caudal(mm) proyectado para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)	130
Figura 3.37. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)	133
Figura 3.38. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)	136
Figura 3.39. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)	139
Figura 3.40. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)	141
Figura 3.41. Caudal(mm) proyectado para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)	144

INDICE DE ANEXOS

Anexo 01. Datos pluviométricos.....	152
Anexo 02. Datos de caudales descargados del ANA.....	160
Anexo 03. Generación de datos para la simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP5-8.5 (BASD-CMIP6-PE)	161
Precipitación	161
Temperatura máxima	165
Temperatura mínima.....	169
Anexo 04. Generación de datos para la simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE)	173
Precipitación	173
Temperatura máxima	177
Temperatura mínima.....	181

ACRÓNIMOS

ANA	: Autoridad Nacional del Agua.
BASD-CMIP6-PE	: Bias Adjusted Statistical Downscaling - Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 - Perú y Ecuador.
CMIP6	: Coupled Model Intercomparison Project Phase 6.
FAO	: Food and Agriculture Organization.
GCMs	: Global Climate Models.
HRU	: Hydrological Response Units.
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change.
PBIAS	: Percent Bias.
RCP	: Representative Concentration Pathways.
SSP	: Shared Socioeconomic Pathways.
SWAT	: Soil and Water Assessment Tool.
USDA-ARS	: United States Department of Agriculture Agricultural Research Service.
WMO	: World Meteorological Organization.

RESUMEN

La presente tesis analiza la disponibilidad hídrica futura en la cuenca del río Acarí, Perú, utilizando el modelo hidrológico SWAT bajo los escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6 del BASD-CMIP6-PE. El estudio se enfoca en tres períodos: histórico (1985-2015), futuro cercano (2035-2065, "2050") y futuro lejano (2065-2095, "2080"). El modelo hidrológico fue calibrado y validado, alcanzando un desempeño satisfactorio. Los índices de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) fueron de 0.70 (bueno) y 0.80 (excelente), mientras que los coeficientes de determinación (R^2) fueron de 0.75 y 0.80, ambos satisfactorios. Los valores de PBIAS fueron de -6.35 (excelente) en la calibración y de 24.81 (satisfactorio) en la validación, lo que confirma la robustez del modelo para simular las condiciones hidrológicas. Bajo el escenario de altas emisiones SSP5-8.5, se proyecta un aumento significativo en la temperatura máxima, de 2.13°C para 2050 y 4.21°C para 2080. El caudal promedio mensual aumentará de 4,90 m³/s en el período histórico a 5.74 m³/s en 2050 y 6.14 m³/s en 2080, lo que representa un incremento del 17.91% y 27.66%, respectivamente. Las mayores anomalías se registran en los meses lluviosos de octubre y enero, con aumentos del 75,50% y 50,77%, respectivamente. En el escenario SSP1-2.6, los incrementos en el caudal son más moderados. Para 2050, el caudal promedio mensual aumentará un 19.99%, alcanzando 5.61 m³/s, mientras que para 2080 el aumento será del 8.72%, con 5.24 m³/s. Asimismo, se proyecta un aumento del 22.26% en la precipitación para 2080 bajo el escenario SSP5-8.5. Sin embargo, la evapotranspiración también aumentará de 26.83 mm a 31.85 mm, lo que podría contrarrestar los beneficios del incremento de la precipitación. Estos resultados subrayan la necesidad de estrategias de adaptación y manejo eficiente de los recursos hídricos para mitigar los efectos del cambio climático en la cuenca del río Acarí.

Palabras clave: Disponibilidad hídrica, cambio climático, escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6, modelo SWAT, BASD-CMIP6-PE.

ABSTRACT

This thesis analyzes future water availability in the Acarí River basin, Peru, using the SWAT hydrological model under the climate scenarios SSP5-8.5 and SSP1-2.6 from BASD-CMIP6-PE. The study focuses on three periods: historical (1985-2015), near future (2035-2065, "2050"), and distant future (2065-2095, "2080"). The hydrological model was calibrated and validated, achieving satisfactory performance. The Nash-Sutcliffe efficiency indices (NSE) were 0.70 (good) and 0.80 (excellent), while the coefficients of determination (R^2) were 0.75 and 0.80, both satisfactory. The PBIAS values were -6.35 (excellent) during calibration and 24.81 (satisfactory) during validation, confirming the model's robustness in simulating hydrological conditions. Under the high emissions scenario SSP5-8.5, a significant increase in maximum temperature is projected, with an increase of 2.13°C by 2050 and 4.21°C by 2080. The average monthly flow is expected to rise from 4.90 m³/s in the historical period to 5.74 m³/s in 2050 and 6.14 m³/s in 2080, representing increases of 17.91% and 27.66%, respectively. The largest anomalies are recorded during the rainy months of October and January, with increases of 75.50% and 50.77%, respectively. In the SSP1-2.6 scenario, flow increases are more moderate. By 2050, the average monthly flow will increase by 19.99%, reaching 5.61 m³/s, while by 2080, the increase will be 8.72%, resulting in 5.24 m³/s. Additionally, a 22.26% increase in precipitation is projected for 2080 under the SSP5-8.5 scenario. However, evapotranspiration is also expected to rise from 26.83 mm to 31.85 mm, which could counteract the benefits of increased precipitation. These results highlight the need for adaptation strategies and efficient water resource management to mitigate the effects of climate change in the Acarí River basin. Estos resultados subrayan la necesidad de estrategias de adaptación y medidas efectivas.

Keywords: Water availability, climate change, SSP5-8.5 and SSP1-2.6 climate scenarios, SWAT model, BASD-CMIP6-PE.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa uno de los desafíos más significativos para la gestión sostenible de los recursos hídricos, especialmente en regiones vulnerables como los Andes peruanos. El incremento de las temperaturas y las alteraciones en los patrones de precipitación afectan directamente la disponibilidad hídrica en cuencas como la del río Acarí, lo que tiene implicancias críticas para la agricultura, el abastecimiento de agua y los ecosistemas locales (IPCC, 2014). En este contexto, la evaluación de la disponibilidad hídrica futura bajo escenarios de cambio climático es fundamental para la toma de decisiones y la implementación de estrategias de adaptación (Rosenzweig et al., 2014).

En el Perú, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) ha desarrollado importantes avances en la creación de conjuntos de datos climáticos de alta resolución, como el conjunto de datos PISCO, que permiten una mejor comprensión de las condiciones hidrometeorológicas históricas y futuras en regiones específicas. (SENAMHI, 2020). Este tipo de datos, en combinación con herramientas de modelación hidrológica como SWAT (Soil and Water Assessment Tool), son clave para la simulación de los impactos del cambio climático sobre el ciclo hidrológico (Arnold et al., 2012). La presente investigación emplea el modelo SWAT para evaluar la disponibilidad hídrica futura en la cuenca del río Acarí bajo los escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6 del BASD-CMIP6-PE (Fernández-Palomino et al., 2023).

La cuenca del río Acarí se caracteriza por su régimen hídrico altamente variable, lo que la hace particularmente sensible a los efectos del cambio climático. Los estudios previos han identificado un incremento en las temperaturas y en la frecuencia de eventos extremos, como sequías e inundaciones, que podrían afectar significativamente la disponibilidad de agua en esta región (Hattermann et al., 2020). Bajo los escenarios climáticos proyectados, se espera un aumento tanto en la temperatura máxima como en la mínima, así como una variación significativa en los patrones de precipitación, con efectos sobre la recarga de acuíferos y los caudales de los ríos (Hattermann et al., 2020).

Para garantizar la precisión de las proyecciones, el modelo SWAT ha sido calibrado y validado utilizando datos históricos de caudales y técnicas de optimización con el software SWAT-CUP, obteniendo valores satisfactorios de Nash-Sutcliffe y coeficientes de determinación. Este proceso garantiza que las simulaciones futuras estén basadas en un

modelo confiable y robusto. Las proyecciones de disponibilidad hídrica bajo los escenarios SSP5-8.5 y SSP1-2.6 muestran variaciones significativas, con incrementos en la temperatura y la evapotranspiración que impactan directamente sobre los caudales mensuales, especialmente durante los meses de verano.

El análisis de estos escenarios es crucial para el desarrollo de estrategias de gestión y adaptación, ya que las proyecciones sugieren que la cuenca del río Acarí podría enfrentar un aumento de la vulnerabilidad hídrica, particularmente durante los períodos secos. Este estudio no solo contribuye al entendimiento de los impactos del cambio climático en la región, sino que también ofrece recomendaciones para la implementación de medidas que garantizan una gestión sostenible de los recursos hídricos en el futuro.

Objetivo general

Evaluar el comportamiento de la disponibilidad hídrica futura, bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Acarí.

Objetivos específicos

- Caracterizar la cuenca del río Acarí a través del análisis integrado de parámetros geomorfológicos y climáticos, empleando herramientas geoespaciales y el modelo hidrológico SWAT para evaluar la dinámica hídrica
- Calibrar y validar el modelo hidrológico SWAT para simular caudales históricos, y optimizar los parámetros del modelo mediante el análisis de sensibilidad usando SWAT-CUP
- Simular la disponibilidad hídrica futura en la cuenca del río Acarí bajo escenarios de cambio climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE).
- Comparar la disponibilidad hídrica histórica con la futura bajo diferentes escenarios de cambio climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE).

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Antecedente a nivel mundial

El cambio climático es considerado una de las mayores amenazas para la disponibilidad hídrica a nivel mundial. Según el IPCC (2021) en su Sexto Informe de Evaluación, las regiones montañosas son particularmente vulnerables a los cambios en los patrones de precipitación y temperatura. El informe señala que las altas montañas están experimentando un aumento en las temperaturas y una reducción en la disponibilidad de agua debido a la disminución de las nevadas y el deshielo acelerado de los glaciares. Esto es consistente con estudios como el de Vuille et al. (2008), quienes proyectaron un aumento en la intensidad de las precipitaciones y una reducción de los glaciares en los andes debido al cambio climático.

De manera similar, Espinosa (2019) analizó los efectos del cambio climático y el uso del suelo en la cuenca del río Frío en Colombia, utilizando el modelo hidrológico SWAT. Sus resultados indicaron que los cambios en la cobertura del suelo y las proyecciones de precipitación bajo el escenario RCP4.5 aumentarían significativamente los caudales, incrementando el riesgo de inundaciones.

En otro estudio global, Magrin et al. (2014) destacaron que las regiones de América Latina, incluyendo los Andes, enfrentarán eventos climáticos más extremos, como lluvias torrenciales y periodos de sequía, lo que afectará gravemente la disponibilidad de agua en cuencas sensibles.

1.1.2 Antecedente a nivel nacional, regional y local

A nivel nacional, varios estudios han abordado los impactos del cambio climático en las cuencas andinas peruanas. Según el SENAMHI (2021), las proyecciones climáticas para el Perú muestran aumentos significativos en las temperaturas y la variabilidad de las precipitaciones, lo que afecta la disponibilidad hídrica en las zonas altas. Rodríguez et al. (2021), utilizando el modelo WRF, proyectaron incrementos en las temperaturas de hasta 3.5°C hacia 2050, con impactos diferenciados en las cuencas andinas.

De manera complementaria, la ANA ha desarrollado estudios sobre la gestión adaptativa de recursos hídricos. En su informe de 2020, la ANA destaca la necesidad urgente de mejorar los sistemas de almacenamiento de agua y la planificación para evitar la escasez hídrica en las regiones afectadas por el cambio climático. Un caso importante es la cuenca del río Tambo, donde Jiménez (2021) utilizó el modelo SWAT para analizar los cambios proyectados en los caudales. Su estudio mostró un aumento en las precipitaciones en las zonas altas de la cuenca, lo que subraya la necesidad de ajustar las estrategias de gestión hídrica.

Además, la ANA (2020) reporta que el Perú ha perdido el 51 % de su superficie glaciar en los últimos 50 años, un fenómeno que ha afectado particularmente las cordilleras nevadas del país. Este retroceso glaciar no solo ha provocado la extinción de dos cordilleras, sino que también ha reducido significativamente la disponibilidad de agua en las microcuencas.

Fernández-Palomino et al. (2022, 2024) han desarrollado conjuntos de datos climáticos y de precipitación de alta resolución para Perú y Ecuador. En su estudio de 2022, crearon el conjunto de datos RAIN4PE, que combina estimaciones de precipitación de múltiples fuentes utilizando el método de bosque aleatorio, ajustando hidrológicamente los datos con el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Los resultados mostraron que RAIN4PE mejoró la simulación de la variabilidad de los flujos de agua en comparación con otros conjuntos de datos como PISCO, CHIRPS y ERA5. Este enfoque es aplicable a la modelación hidrológica y el análisis de eventos climáticos extremos como sequías e inundaciones. En 2024, desarrollaron BASD-CMIP6-PE, un conjunto de datos climáticos de alta resolución basado en proyecciones del CMIP6, ajustado por sesgo y con escalamiento estadístico. Este estudio incluyó proyecciones futuras hasta 2100 bajo diferentes escenarios socioeconómicos (SSP1-2.6, SSP3-7.0, SSP5-8.5), mejorando la representación de patrones estadísticos a largo plazo y siendo utilizado para evaluar los impactos del cambio climático en la agricultura, los recursos hídricos y extremos hidrológicos en la región.

Del Águila Ríos (2021) modeló los procesos hidrológicos en las cuencas Anya y Mchique, pertenecientes a la cuenca del río Mantaro, Junín, utilizando dos modelos: el modelo empírico mensual Lutz Scholtz (LS) y el modelo semidistribuido diario SWAT. Además, se planteó una modificación al modelo Lutz Scholtz para mejorar el cálculo de la precipitación efectiva mensual. Los resultados mostraron que, en promedio, los caudales en la cuenca

Anya podrían incrementarse en 29.4% y 34.1% en los escenarios RCP 4.5 y 8.5, respectivamente, mientras que en Mchique el aumento sería de 5.4% y 10.8%, lo cual incrementa el riesgo de eventos extremos como inundaciones.

Un estudio clave es el de León (2017), quien empleó el modelo SWAT para proyectar la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Piura. Los resultados mostraron que la escorrentía podría aumentar hasta un 71.8% durante el período húmedo, mientras que durante el período seco se espera una disminución de hasta un 66.1%, lo que sugiere que el cambio climático podría exacerbar las fluctuaciones estacionales en la disponibilidad de agua.

Moreno Villafuerte (2021) estimó cuantitativamente la respuesta hidrológica en los flujos de agua azul y verde en la cuenca del río Cachi, bajo escenarios de cambio climático para los periodos histórico (1981-2016) y futuros (2060 y 2090). Utilizando el modelo hidrológico semidistribuido SWAT, previamente calibrado y validado con el algoritmo SUFI-2, el estudio proyectó variaciones significativas en los flujos de agua debido a los cambios en la precipitación y temperatura, bajo el escenario de forzamiento radiativo RCP8.5. Los resultados indicaron una disminución del flujo de agua azul en las subcuencas del sur y un incremento en las subcuencas de Huanta y San Pedro de Cachi, mientras que el flujo de agua verde mostró una tendencia creciente para el futuro.

Finalmente, Rodas (2022), en su tesis sobre el cambio climático y la disponibilidad futura de agua en la cuenca del río Capulín en Tacna, concluyó que la disponibilidad de agua podría reducirse en más de un 40% durante los meses de mayor demanda, mientras que las lluvias intensas podrían aumentar hasta en un 91.5% en ciertos periodos del año, lo que enfatiza la necesidad de gestión eficiente del agua ante la variabilidad climática.

1.2 BASES TEÓRICA

1.2.1 Hidrología

La hidrología es la ciencia que estudia el ciclo del agua, incluyendo la distribución, el movimiento, y las características físicas y químicas del agua en la atmósfera, superficie terrestre y subsuelo (Villón, 2011). Su relevancia ha crecido en los últimos años debido a los efectos del cambio climático, que impactan de manera considerable el ciclo hidrológico y la disponibilidad de agua en regiones específicas. En el contexto de la gestión de recursos hídricos, la hidrología permite comprender procesos como la precipitación, la infiltración, la

escorrentía, y la recarga de acuíferos, elementos cruciales para la planificación sostenible de infraestructuras y la mitigación de riesgos ante eventos extremos como sequías o inundaciones (Ordoñez, 2011).

En Perú, la variabilidad climática y la diversidad geográfica, especialmente en los Andes, plantean desafíos complejos para la hidrología aplicada. La modelización hidrológica, como el uso de herramientas de simulación de cuencas, se ha vuelto fundamental para predecir el comportamiento del agua y su disponibilidad en el futuro (Allen, 2007).

1.2.2 Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es el área geográfica que drena todas las aguas superficiales hacia un punto común, como un río, lago o embalse. Este concepto es fundamental en hidrología, ya que permite la delimitación espacial y la organización de la gestión del recurso hídrico. La topografía, el uso del suelo y la cobertura vegetal son elementos que influyen directamente en el comportamiento de la cuenca y en la forma en que el agua se distribuye y se mueve a lo largo de su extensión (Villón, 2011).

En la cuenca del río Acarí, que se encuentra en los Andes peruanos, se presentan características geomorfológicas y climáticas que hacen indispensable un enfoque hidrológico para entender y predecir su comportamiento frente a fenómenos extremos y escenarios de cambio climático (Ordoñez, 2011).

1.2.3 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico describe el flujo continuo de agua sobre, dentro y sobre la superficie de la tierra. A través de procesos como la evapotranspiración, la precipitación y la escorrentía, el ciclo hidrológico regula la cantidad de agua disponible en la atmósfera y en la superficie terrestre (Villón, 2011). Debido a la irregularidad de este ciclo, la gestión hídrica enfrenta grandes desafíos, especialmente en regiones donde la variabilidad climática y geográfica afecta de manera directa la disponibilidad de agua (Allen, 2007).

Las fluctuaciones del ciclo hidrológico son de gran relevancia en cuencas como las de los Andes peruanos, donde los eventos extremos, como las sequías e inundaciones, pueden tener efectos devastadores. El modelamiento de estos procesos, utilizando herramientas como el SWAT, permite predecir estos eventos y planificar estrategias de mitigación adecuadas (Arnold et al., 1998).

1.2.4 Procesos del ciclo hidrológico

Los procesos clave del ciclo hidrológico incluyen la precipitación, la evapotranspiración, la infiltración y la escorrentía. La interacción entre estos procesos determina la cantidad de agua disponible en una cuenca, tanto en su superficie como en los acuíferos subterráneos. De acuerdo con Cahuana et al. (2009), estos procesos son influenciados por las características físicas de la cuenca, como su topografía, su vegetación y su tipo de suelo. Es crucial que estos parámetros se consideren al calibrar modelos hidrológicos, ya que cualquier cambio en ellos puede alterar significativamente el comportamiento de la cuenca frente a precipitaciones intensas o sequías prolongadas.

1.2.5 Balance hidrológico

El balance hidrológico es una ecuación matemática que permite estimar la cantidad de agua que ingresa y sale de una cuenca a través de diferentes procesos hidrológicos. Según Martínez (2014), el balance hídrico se puede expresar como la diferencia entre la entrada de agua (precipitación) y la salida de agua (evapotranspiración, escorrentía, infiltración). Este balance es crucial para entender el comportamiento de una cuenca y su capacidad para soportar periodos de sequía o exceso de agua.

1.2.6 Parámetros geomorfológicos de una cuenca

Los parámetros geomorfológicos incluyen las características físicas de una cuenca, como su área, perímetro, pendiente y forma. Estos parámetros afectan la capacidad de la cuenca para almacenar y distribuir el agua. De acuerdo con Cahuana et al. (2009), parámetros como el índice de compacidad y la pendiente media son esenciales para entender cómo la topografía de una cuenca influye en la velocidad de la escorrentía y el tiempo de respuesta ante eventos de precipitación. En la Tabla 1.1 se presentan los principales parámetros geomorfológicos de la cuenca.

Tabla 1.1. Parámetros geomorfológicos de la cuenca

Parámetro	Descripción	Unidad	Importancia
Índice de Compacidad (Ic)	Relación entre la forma de la cuenca y la de un círculo que tiene la misma superficie.	Adimensional	Un valor alto indica mayor riesgo de escorrentía rápida, aumentando el riesgo de inundaciones (Cahuana et al., 2009).
Rectángulo Equivalente	Representa la cuenca mediante un rectángulo de igual área, altitud y disposición del terreno.	m ²	Ayuda a simplificar la representación de la cuenca para facilitar análisis comparativos (Cahuana et al., 2009).
Factor de Forma (Ff)	Relación entre el ancho medio de la cuenca y la longitud del curso principal.	Adimensional	Cuencas con menor factor de forma tienen una mayor respuesta a las precipitaciones intensas (Cahuana et al., 2009).
Pendiente Media	Promedio de inclinación del terreno dentro de la cuenca.	%	La pendiente afecta la velocidad de escorrentía y erosión del suelo (Villón, 2002).
Curva Hipsométrica	Relación entre la altitud y el área de la cuenca que se encuentra por encima de esa altitud.	Gráfico	Permite analizar la distribución del relieve y su relación con el flujo de agua (Villón, 2002).
Histograma de Altitudes	Distribución porcentual de las áreas ocupadas por diferentes intervalos de altitud.	Gráfico	Útil para visualizar la estructura vertical del relieve de la cuenca (Villón, 2002).
Densidad de Drenaje	Relación entre la longitud total de los canales de drenaje y el área de la cuenca.	km/km ²	Afecta la velocidad de respuesta hidrológica de la cuenca a las precipitaciones (Cahuana et al., 2009).

1.2.7 Características físicas de la cuenca

Las características físicas de una cuenca, como el área, el perímetro y la longitud del cauce principal, son determinantes en la dinámica de la escorrentía y la distribución del agua. Estos factores permiten evaluar la capacidad de una cuenca para retener y drenar el agua durante eventos de precipitación (Villón, 2011). A continuación, se presentan las principales características físicas de la cuenca en el siguiente cuadro. A continuación, se presentan las principales características físicas de la cuenca en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Características físicas de la cuenca

Característica Física	Descripción	Unidad	Importancia
Área de la Cuenca (A)	Superficie total de la cuenca delimitada.	km ² o ha	Define la magnitud de la cuenca, esencial para el cálculo de caudales y análisis hidrológicos (Cahuana et al., 2009).
Perímetro de la Cuenca (P)	Longitud del contorno de la cuenca en proyección horizontal.	km	Influye en la forma de la cuenca y en el tiempo de respuesta hidrológica (Cahuana et al., 2009).
Longitud del Río Principal	Longitud del cauce principal de la cuenca desde el nacimiento hasta la desembocadura.	km	Afecta el tiempo de concentración del flujo y la distribución de sedimentos (Villón, 2002).
Pendiente del Río	Inclinación promedio del cauce principal, afecta la velocidad del flujo y el transporte de sedimentos.	%	A mayor pendiente, mayor velocidad de flujo y menor tiempo de concentración (Villón, 2002).
Altitud Máxima	Elevación más alta dentro de la cuenca.	m	Influye en la precipitación, evapotranspiración y escorrentía (Villón, 2011).
Altitud Mínima	Elevación más baja dentro de la cuenca.	m	Define el gradiente altitudinal, afectando el flujo de agua superficial (Cahuana et al., 2009).

1.2.8 Tiempo de concentración de la cuenca

El tiempo de concentración se refiere al tiempo que tarda el agua en fluir desde el punto más alejado de la cuenca hasta su salida principal. Este parámetro es crítico para el diseño de infraestructuras hidráulicas, ya que permite predecir cuánto tiempo tardará en producirse un evento de escorrentía después de una tormenta. El tiempo de concentración depende de varios factores, como la longitud del cauce principal, la pendiente y la rugosidad del terreno (Cahuana et al., 2009).

1.2.9 Índices de caracterización hidrológica de cuencas

Los índices hidrológicos, como el número de curva (CN), son herramientas cruciales para caracterizar el comportamiento de una cuenca ante eventos de precipitación. Según Moriasi et al. (2007), el CN permite estimar la cantidad de escorrentía que se genera durante una tormenta, en función del uso del suelo y las características del terreno. Este índice es fundamental para calibrar modelos hidrológicos como SWAT, que requieren una correcta

representación de los procesos de escorrentía y evaporación para simular adecuadamente el ciclo hidrológico en una cuenca.

1.2.10 Análisis estadístico de series temporales

El análisis de series temporales en hidrología es esencial para detectar patrones y tendencias en variables como la precipitación y el caudal. Según Grayson et al. (1996), el software TREND es una herramienta especializada en la detección de tendencias y cambios en series temporales hidrológicas y meteorológicas. Entre las pruebas estadísticas que ofrece, se destacan dos: la Prueba de Mann-Kendall y la prueba T de Student. Ambas son cruciales para evaluar tendencias, cambios significativos y variabilidad en los datos climáticos e hidrológicos, como la precipitación y el caudal, fundamentales para estudios de modelación climática e hidrológica.

- **Prueba de Mann-Kendall**

La Prueba de Mann-Kendall es un test no paramétrico ampliamente utilizado para detectar tendencias monótonas (crecientes o decrecientes) en series temporales sin que se requiera que los datos sigan una distribución normal. Es especialmente útil en estudios hidrológicos y climáticos, donde los datos suelen estar sujetos a fluctuaciones y no siempre presentan una distribución normal.

- **Prueba T de Student**

La Prueba T de Student es una prueba paramétrica que evalúa si dos conjuntos de datos presentan medias significativamente diferentes. En el contexto hidrológico, se usa principalmente para comparar medias de dos periodos distintos (por ejemplo, comparar el caudal medio antes y después de un evento de cambio climático o cambio en el uso del suelo).

1.3 MODELOS EN HIDROLOGÍA

1.3.1 Modelos hidrológicos

Los modelos hidrológicos son herramientas matemáticas que permiten la simulación de los procesos que componen el ciclo hidrológico. Se utilizan para evaluar y predecir cómo las cuencas hidrográficas responden a diferentes condiciones climáticas, de uso del suelo, y de gestión de recursos hídricos. Los modelos hidrológicos pueden ser conceptuales, empíricos o basados en procesos físicos.

Los modelos conceptuales se enfocan en representar los procesos hidrológicos a través de ecuaciones empíricas simplificadas, que relacionan entradas y salidas de agua sin tener en cuenta todos los procesos físicos. Estos modelos son útiles por su simplicidad y rapidez en su aplicación, aunque no siempre proporcionan resultados detallados. Un ejemplo es el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool), que ha sido ampliamente utilizado para modelar cuencas grandes y complejas, como las cuencas de montaña en los Andes peruanos (Arnold et al., 1998).

Los modelos empíricos, por su parte, se basan en correlaciones estadísticas entre variables hidrológicas. Son útiles para estudios locales donde se dispone de grandes cantidades de datos, pero presentan limitaciones cuando se intentan aplicar en áreas donde los datos son escasos o donde las condiciones cambian rápidamente.

Finalmente, los modelos basados en procesos físicos intentan simular de manera detallada los procesos hidrológicos que ocurren en una cuenca, como la infiltración, la escorrentía, la evapotranspiración y la recarga del acuífero. Aunque son más precisos, su implementación requiere grandes cantidades de datos y recursos computacionales (Singh y Woolhiser, 2002).

La principal ventaja de los modelos hidrológicos es su capacidad para integrar una variedad de datos, como la precipitación, la temperatura, el uso del suelo y las características topográficas. Esto permite que las simulaciones puedan ayudar a los investigadores y a los gestores de recursos hídricos a tomar decisiones informadas sobre la gestión y conservación del agua (Ordoñez, 2011). En el contexto peruano, estos modelos han sido esenciales para evaluar los efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en las cuencas andinas (Valverde, 2018).

1.3.2 Modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

El modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) es un modelo conceptual distribuido que simula el ciclo hidrológico y la calidad del agua a lo largo de una cuenca hidrográfica, utilizando datos climáticos, características topográficas, y propiedades del suelo. Desarrollado originalmente por la USDA Agricultural Research Service (USDA-ARS), este modelo se ha utilizado ampliamente para analizar cuencas de diferentes tamaños, desde pequeñas cuencas rurales hasta grandes cuencas fluviales (Arnold et al., 1998).

SWAT ha sido aplicado en diversas partes del mundo para simular el impacto de diferentes prácticas de manejo del suelo y el agua, así como para evaluar los efectos del cambio climático en los recursos hídricos (Neitsch et al., 2011). En Perú, su implementación ha sido crucial para el análisis de cuencas andinas, donde las complejas interacciones entre el clima, la topografía y el uso del suelo presentan desafíos significativos para la modelización hidrológica (Havrylenko, 2014).

1.3.2.1 Principales componentes del modelo SWAT

El modelo SWAT descompone una cuenca hidrográfica en múltiples subcuencas, cada una de las cuales se divide en Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU por sus siglas en inglés), que son áreas homogéneas en cuanto a uso del suelo, tipo de suelo y pendiente. Las principales componentes del modelo incluyen:

- **Balance hídrico:** El modelo SWAT utiliza una ecuación de balance hídrico a largo plazo para calcular el contenido de agua en el suelo. La ecuación básica del balance hídrico es:

Este modelo se encuentra basado en la siguiente ecuación general de balance hídrico:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{t-1}^t (R_{day} - Q_{surt} - E_a - w_{seep} - Q_{qw})$$

Donde:

- ❖ S_{Wt} = contenido final de agua en el suelo (mmH₂O)
- ❖ S_{W0} = contenido de agua inicial en el día i (mml-120); t es el tiempo (día);
- ❖ R_{day} = cantidad de precipitación en el día i (mmH₂O)
- ❖ Q_{surf} = cantidad de escorrentía superficial por día (mmH₂O)
- ❖ W_{seep} = cantidad de agua acumulada en la zona no saturada (mml-120)
- ❖ Q_{gw} = cantidad de flujo de retomo en el día i (mml-120)

- **Escorrentía superficial:** Se calcula utilizando el método del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), que considera el uso del suelo, el tipo de suelo, las condiciones de humedad y la pendiente. Este método es especialmente útil en zonas montañosas donde la escorrentía puede variar significativamente dependiendo de las condiciones del terreno (Arnold et al., 1998).
- **Evapotranspiración (ET):** SWAT ofrece varios métodos para calcular la evapotranspiración, incluido el método de Hargreaves, el de Penman-Monteith y el método de Priestly-Taylor. En las cuencas andinas, la evapotranspiración es un proceso clave debido a las variaciones extremas en la radiación solar y la humedad del suelo a diferentes altitudes (Neitsch et al., 2011).
- **Flujo subterráneo:** SWAT simula el movimiento del agua a través del perfil del suelo hasta las capas subterráneas y su contribución al flujo base de los ríos. El modelo distingue entre dos acuíferos: un acuífero superficial que responde rápidamente y un acuífero profundo que tiene un impacto más sostenido en el tiempo (Arnold et al., 1998).
- **Sedimentos y contaminantes:** SWAT también puede simular la erosión del suelo y el transporte de sedimentos y nutrientes (nitrógeno, fósforo) en el agua. Esto es fundamental para evaluar la calidad del agua, especialmente en cuencas agrícolas donde el uso de fertilizantes puede afectar las cuencas río abajo (Neitsch et al., 2011).
- **Unidades de respuesta hidrológica (HRUs):** Cada subcuenca se divide en HRUs, que permiten representar de manera detallada la heterogeneidad dentro de una cuenca en términos de suelo, vegetación y pendiente. Esto permite capturar las variaciones locales dentro de una cuenca grande (Havrylenko, 2014).

1.3.2.2 Aplicaciones del modelo SWAT

SWAT se ha aplicado en numerosas regiones del mundo para estudios de gestión de recursos hídricos y calidad del agua. En el contexto peruano, el modelo ha sido utilizado para evaluar los efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en cuencas como el río Mantaro

y el río Chillón, donde se ha observado una variabilidad significativa en los patrones de precipitación debido a la altitud y la topografía compleja (Valverde, 2018).

La flexibilidad de SWAT para simular diferentes escenarios, como cambios en el uso del suelo o en los patrones de precipitación, lo convierte en una herramienta fundamental para la toma de decisiones sobre el manejo de cuencas. En estudios de cambio climático, SWAT ha demostrado ser eficaz para proyectar cómo los eventos climáticos extremos, como las sequías o las inundaciones, pueden impactar la disponibilidad de agua y la seguridad hídrica en las zonas rurales (Ordoñez, 2011).

1.3.3 Calibración y validación del modelo SWAT usando SWAT-CUP

El proceso de calibración y validación en el modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) es fundamental para garantizar que las simulaciones del comportamiento hidrológico en una cuenca sean precisas y representativas de la realidad. Estos pasos permiten ajustar los parámetros del modelo con base en datos observados, asegurando que los resultados se alineen con las condiciones hidrológicas reales. Para este propósito, se utiliza SWAT-CUP (Calibration and Uncertainty Procedures), una herramienta complementaria que facilita la calibración y análisis de incertidumbre en los modelos SWAT.

La calibración es el proceso mediante el cual se ajustan los parámetros del modelo para que las salidas simuladas coincidan con los datos observados. En el caso de modelos hidrológicos como SWAT, estos parámetros pueden incluir la escorrentía superficial, la evapotranspiración, el flujo subterráneo y otros factores que afectan el ciclo hidrológico.

La validación, por otro lado, es el proceso de aplicar el modelo calibrado a un conjunto independiente de datos para verificar su capacidad de predicción. Durante la validación, no se ajustan los parámetros del modelo; en su lugar, se evalúa si el modelo es capaz de reproducir los comportamientos hidrológicos observados en otro periodo de tiempo o en otras condiciones climáticas.

1.3.4 Datos grillados y su aplicación en modelos hidrológicos

Los datos grillados, como los proporcionados por RAIN4PE y PISCO, son esenciales para la modelación hidrológica en áreas con una topografía compleja, como la cuenca del río

Acarí. El producto RAIN4PE, desarrollado para la región andina, incorpora datos satelitales y observaciones in situ con una resolución de 0.1°, lo que permite obtener estimaciones precisas de la precipitación diaria. De manera similar, PISCO provee datos de temperatura con alta resolución, lo que es fundamental para calcular la evapotranspiración dentro del modelo SWAT (Fernández-Palomino et al., 2021).

1.4 MODELAMIENTO CLIMÁTICO

1.4.1 Cambio climático

El modelamiento climático es una herramienta crucial para simular y proyectar los cambios en el clima global y regional, con especial atención a las interacciones entre la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre. Estos modelos climáticos, como los GCMs (Modelos de Circulación General) del CMIP6, permiten crear escenarios basados en diferentes trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para analizar futuros posibles. Un ejemplo relevante para Perú y Ecuador es el BASD-CMIP6-PE, que ajusta las proyecciones del CMIP6 a una escala regional y reduce los sesgos presentes en los modelos climáticos globales (Fernández-Palomino et al., 2024).

A nivel mundial, el cambio climático ha traído consigo consecuencias como el aumento de la temperatura media, el incremento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos (sequías, inundaciones, tormentas), y la alteración de los patrones de precipitación. Estos cambios tienen un impacto profundo en los ciclos hidrológicos, afectando tanto la disponibilidad como la calidad del agua, lo que es especialmente relevante en zonas de alta montaña y cuencas hidrográficas como la del río Acarí.

En Perú, se han observado claros indicadores de los efectos del cambio climático, como el retroceso de los glaciares tropicales y la modificación de los patrones de precipitación. Esto ha generado una mayor vulnerabilidad hídrica en varias cuencas, incluyendo la cuenca del río Acarí, que es de gran importancia tanto para el suministro de agua como para la agricultura.

1.4.2 Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC)

El IPCC es la principal fuente de información científica sobre el cambio climático, sus causas, efectos y posibles soluciones. Establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA),

el IPCC tiene como objetivo proporcionar evaluaciones exhaustivas del estado del conocimiento científico, técnico y socioeconómico sobre el cambio climático.

Los informes del IPCC son fundamentales para la elaboración de políticas globales de adaptación y mitigación. En el contexto de los modelos hidrológicos y climáticos, el IPCC ha desarrollado proyecciones climáticas basadas en diversos escenarios de emisión que permiten evaluar posibles futuros climáticos bajo diferentes rutas de desarrollo humano y uso de recursos naturales (IPCC, 2018).

1.4.3 Modelos climáticos globales (GCMs)

Los Modelos Climáticos Globales (GCMs) son herramientas matemáticas que simulan el comportamiento de la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre y la criosfera, permitiendo proyectar cómo variará el clima bajo diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Estos modelos son fundamentales para el estudio del cambio climático a largo plazo y son utilizados como base para el desarrollo de proyecciones climáticas regionales y locales.

En el contexto de este estudio, los GCMs del proyecto CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) son la fuente primaria de proyecciones climáticas. El CMIP6 proporciona simulaciones del clima pasado, presente y futuro a partir de múltiples modelos desarrollados por centros de investigación de todo el mundo. Sin embargo, dada la baja resolución espacial de los GCMs, es necesario aplicar técnicas de reducción de escala o downscaling para obtener proyecciones climáticas que sean útiles a nivel local.

1.4.4 Escenarios de emisiones de CO₂ del IPCC y CMIP6

El IPCC ha desarrollado una serie de escenarios de emisiones para explorar posibles futuros climáticos. Estos escenarios, conocidos como Rutas de Concentración Representativas (RCPs) en las versiones anteriores del CMIP, ahora se basan en los Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) en el CMIP6. Los SSPs incluyen proyecciones de diferentes trayectorias de desarrollo humano y económico, combinadas con escenarios de emisiones de GEI, para representar futuros con diferentes grados de mitigación y adaptación al cambio climático (O'Neill et al., 2017).

En la Tabla 1.3 se presentan los principales escenarios climáticos del CMIP6, detallando cada SSP, su descripción, la proyección de emisiones de CO₂ y la temperatura global esperada para el año 2100.

Tabla 1.3. Principales escenarios climáticos del CMIP6

Escenario SSP	Descripción	Proyección de Emisiones de CO ₂	Temperatura Global al 2100
SSP1-2.6	Desarrollo sostenible con bajas emisiones.	Estabilización por debajo de 2°C.	+1.5°C a +1.7°C
SSP2-4.5	Continuación de las tendencias históricas moderadas.	Incremento moderado de emisiones.	+2.0°C a +2.7°C
SSP3-7.0	Nacionalismo y competitividad económica.	Alto incremento de emisiones.	+3.0°C a +3.5°C
SSP5-8.5	Alto crecimiento económico basado en combustibles fósiles.	Muy alto incremento de emisiones.	+4.0°C a +4.5°C

Fuente: IPCC (2021).

El escenario más severo, el SSP5-8.5, representa un futuro sin políticas de mitigación, donde el uso de combustibles fósiles sigue siendo predominante. En contraste, el SSP1-2.6 representa un futuro más sostenible, donde se logran reducciones significativas en las emisiones, limitando el calentamiento global a 1.5°C o menos.

Los escenarios SSP1-2.6 y SSP5-8.5 son de particular interés debido a su enfoque en un mundo con mitigación (SSP1-2.6) frente a uno con un aumento continuo de las emisiones (SSP5-8.5), proporcionando los dos extremos más relevantes para la toma de decisiones en políticas climáticas.

1.4.5 Escenarios climáticos del BASD-CMIP6-PE

El proyecto BASD-CMIP6-PE ha sido desarrollado específicamente para proporcionar proyecciones climáticas de alta resolución espacial y temporal para Perú y Ecuador, basándose en los escenarios del CMIP6. Utiliza el método de Ajuste de Sesgo y Downscaling Estadístico (BASD), que ajusta los datos climáticos globales a una escala local. Este proceso es crucial para regiones como los Andes, donde la topografía compleja introduce desafíos adicionales para los modelos climáticos globales (Fernández-Palomino et al., 2024).

Los datos del BASD-CMIP6-PE incluyen proyecciones de precipitación y temperatura bajo los escenarios SSP1-2.6, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, y se utilizan para analizar los cambios climáticos esperados en la región hasta el año 2100.

En la Tabla 1.4 se resumen los escenarios climáticos del BASD-CMIP6-PE para Perú y Ecuador, describiendo el impacto esperado en los recursos hídricos y la proyección de temperatura para el año 2100 bajo cada escenario.

Tabla 1.4. Escenarios climáticos del BASD-CMIP6-PE para Perú y Ecuador

Escenario BASD	Descripción General	Impacto en Recursos Hídricos	Proyección para 2100
BASD SSP1-2.6	Escenario de bajas emisiones con menor aumento de temperatura y cambios moderados en precipitación.	Reducción moderada en la disponibilidad de agua en algunas áreas, pero con adaptación temprana a la variabilidad climática.	Incremento moderado de temperatura (1.5°C a 2°C).
BASD SSP3-7.0	Escenario de crecimiento regional desbalanceado, con emisiones intermedias y cambios climáticos significativos.	Aumento en la frecuencia de eventos extremos como sequías e inundaciones, mayor estrés hídrico en regiones agrícolas y vulnerabilidad en áreas con poca infraestructura hídrica.	Aumento intermedio de temperatura (2.5°C a 4°C).
BASD SSP5-8.5	Escenario de altas emisiones, con aumento sostenido de temperatura y disminución significativa de precipitación en algunas regiones.	Reducción drástica de los recursos hídricos, particularmente en las zonas de alta montaña, con mayor incidencia de eventos extremos y afectación directa a la agricultura y abastecimiento hídrico.	Aumento significativo de temperatura (3°C a 5°C).

Fuente: Fernández-Palomino et al. (2024).

El BASD-CMIP6-PE se diferencia de los GCMs tradicionales por ofrecer proyecciones más ajustadas a las características climáticas y topográficas de los Andes peruanos, permitiendo simular mejor los impactos del cambio climático en los recursos hídricos de la cuenca del río Acarí.

1.4.6 Simulaciones de los modelos del IPCC

Las simulaciones de los modelos del IPCC son la base de las proyecciones climáticas que se integran en los modelos hidrológicos. Estas simulaciones cubren rangos temporales desde el

pasado reciente (1850) hasta el futuro (2100), basadas en diferentes trayectorias de emisión de GEI. Para esta investigación, se utilizan las proyecciones de los escenarios SSP1-2.6 y SSP5-8.5, que representan los extremos de las trayectorias de desarrollo.

En el contexto del BASD-CMIP6-PE, las simulaciones proporcionan estimaciones de las variaciones en la precipitación y la temperatura que luego se integran en el modelo hidrológico SWAT para evaluar los posibles impactos en el caudal de la cuenca del río Acarí.

1.4.7 Métodos de Downscaling

El downscaling es una técnica que ajusta las proyecciones de los modelos globales a escalas locales y regionales. Como se mencionó anteriormente, existen dos tipos principales de downscaling:

- **Downscaling Dinámico:** Utiliza modelos climáticos regionales (RCMs) para generar simulaciones de alta resolución. Estos modelos son capaces de simular los procesos físicos del clima a nivel regional, pero requieren un alto poder computacional.
- **Downscaling Estadístico:** En este método, se establecen relaciones empíricas entre variables climáticas observadas y simuladas, y luego se aplican estas relaciones para ajustar las proyecciones a escala local. El BASD, empleado en el BASD-CMIP6-PE, es un ejemplo de downscaling estadístico, ya que ajusta las proyecciones de los GCMs del CMIP6 a los datos observados locales, mejorando la precisión de las proyecciones climáticas para regiones complejas como los Andes (Fernández-Palomino et al., 2024).

1.4.8 Impacto del Cambio Climático en la Hidrología Regional

Los modelos del CMIP6 y del BASD-CMIP6-PE muestran que el cambio climático tendrá un impacto considerable en los recursos hídricos de Perú y Ecuador. Los escenarios más pesimistas (SSP5-8.5) proyectan un aumento en la frecuencia y magnitud de eventos extremos, como sequías prolongadas e inundaciones. Además, la variabilidad en la disponibilidad de agua podría afectar gravemente a sectores económicos clave como la agricultura y el suministro de agua potable (IPCC, 2021; Fernández-Palomino et al., 2024).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 UBICACIÓN

2.1.1 Ubicación geográfica

En la Tabla 2.1 se detalla la ubicación geográfica de la cuenca, a coordenadas geográficas y UTM, así como la altitud máxima y mínima.

Tabla 2.1. Ubicación geográfica

Ubicación geográfica				
Sistema	Datum	Componentes	Valor mínimo	Valor máximo
Coordenadas geográficas	Horizontal WGS 1984	Longitud oeste	74°38'31"	74°17'03"
		Latitud sur	15°39'35"	14°16'04"
Coordenadas UTM Zona 18	Horizontal WGS 1984	Metros este	538,365	577,234
		metros norte	8'268,686	8'422,636
Altitud	Vertical Nivel medio del mar	m.s.n.m	0	4,836

2.1.2 Ubicación política

En la presente investigación, se realizó un análisis detallado de la ubicación geográfica y administrativa de la cuenca del río Acarí, que se ubica entre los meridianos 74°17'03" y 74°38'31" de longitud oeste y los paralelos 14°. 16'04" y 15°39'35" de latitud sur, a áreas cubiertas en los departamentos de Ayacucho y Arequipa, según se indica en la Figura 2.1. Para la determinación de las divisiones administrativas, se procedió a realizar un mapeo de las provincias y distritos correspondientes. En la Tabla 2.2 se presenta la ubicación administrativa detallada, donde se especifican los porcentajes de distribución en la región.

Tabla 2.2. Ubicación política del Área de estudio

Departamento	Provincia	Distrito	Población	Area(km ²)	Area(%)	Fuente
Ayacucho	Lucanas	San Pedro	2653	646.949976	17.31%	INEI
		Santa Lucía	1282	92.1831178	2.47%	
		San Cristóbal	1718	293.006894	7.84%	
		Saisa	791	579.463977	15.51%	
		San Juan	967	47.1998885	1.26%	
		Lucanas	2726	977.357737	26.16%	
Arequipa	Caravelí	Puquio	13919	849.503846	22.74%	
		Acarí	4923	250.718565	6.71%	
Total			28979	3736.384	100.00%	



Figura 2.1. Mapa de ubicación de la cuenca del río Acarí

2.1.1 Ubicación hidrográfica

Vertiente: Pacífico

Cuenca: Acarí

2.1.1 Ubicación administrativa

Autoridad Administrativa del Agua : II-Chaparra-Chincha

Administración Local de Aguas : Chaparra Acarí

Unidad Hidrográfica : Cuenca Acarí

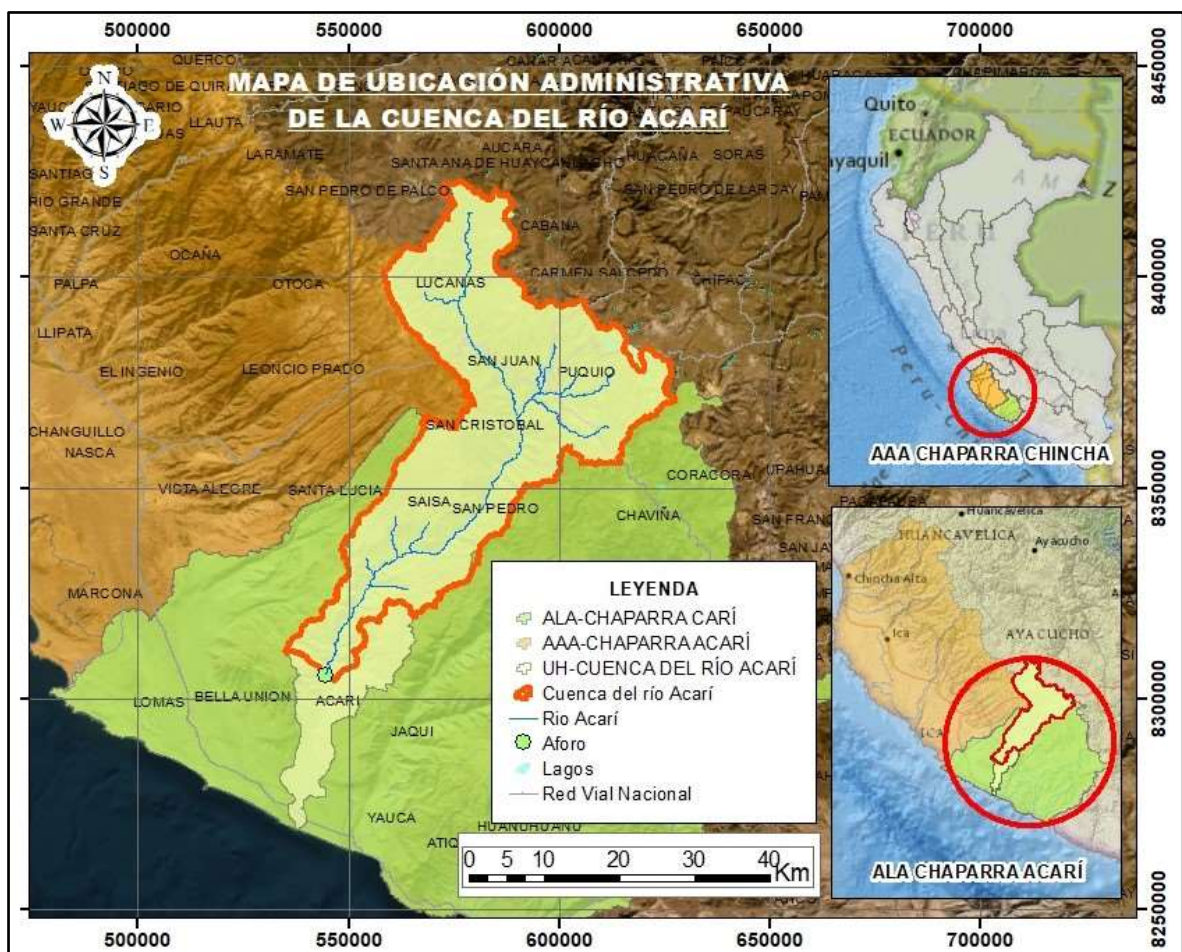


Figura 2.2. Mapa de ubicación administrativa de la cuenca del río Acarí

2.1.2 Vías de acceso

En cuanto a las vías de acceso, se realizó el análisis del trayecto que conecta Ayacucho con el distrito de Acarí. Este recorrido tiene una longitud total de 563 kilómetros, que se divide en dos tramos principales: el primero entre Ayacucho y Puquio, con una distancia de 278 kilómetros, y el segundo entre Puquio y Acarí, con 285 kilómetros. El tiempo total estimado para completar este trayecto es de 11 horas y 17 minutos, considerando los tiempos de viaje de cada tramo. En la Tabla 2.3 se detalla la longitud y el tiempo de cada tramo de la ruta, donde se estima un tiempo de 6 horas y 63 minutos para el tramo Ayacucho-Puquio y 5 horas y 14 minutos para el tramo Puquio-Acarí.

Tabla 2.3. Vías de acceso

DE	HASTA	LONGITUD	TIEMPO
Ayacucho	Puquio	278KM	6h63min.
Puquio	Acarí	285 KM	5h14min.
Total		563KM	11h17min

2.2 MATERIALES Y EQUIPOS

2.2.1 Información geográfica e hidrometeorológica

La información geográfica e hidrometeorológica de la cuenca del río Acarí se recopiló de diversas fuentes especializadas y posteriormente clasificada y analizada para su adaptación y uso en el modelo hidrológico desarrollado. En la Tabla 2.4 se describe en detalle la resolución, descripción y fuente de cada uno de los datos utilizados. Estos incluyen modelos digitales de elevación obtenidos mediante el radar de apertura sintética de ALOS PALSAR, mapas de cobertura terrestre de GlobaLan30, así como datos de tipo de suelo provistos por la FAO. Asimismo, los datos de precipitación y temperatura, provenientes de RAIN4PE y PISCO, respectivamente, fueron fundamentales para la modelación hidrológica, especialmente en áreas de topografía compleja. Finalmente, los datos hidrométricos de la red de drenaje de la cuenca, proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) de Perú, complementaron el análisis hidrológico.

Tabla 2.4. Información geográfica e hidrometeorológica

Información	Resolución	Descripción	Fuente
Topografía	30m	Satélite de Observación Avanzada de la Tierra con Radar de Apertura Sintética en Banda L. Proporciona Modelos Digitales de Elevación (MDE) con una resolución de 30x30 metros.	ALOS PALSAR - ASF DAAC
Uso actual de suelo	30m	Mapa global de cobertura terrestre con una resolución espacial de 30 metros. Utilizado para identificar los tipos de cobertura vegetal.	GlobeLan30
Tipo de suelo	~1 km	Base Mundial de Suelos elaborada por la FAO. Proporciona información detallada sobre las características y propiedades de los suelos a nivel global.	FAO Soil Portal - HWSD v2.0
Precipitación	Diario/0.1°	Datos diarios de tipo satelital, grillados, provenientes de RAIN4PE, que integran múltiples fuentes de datos de precipitación, observaciones in situ y datos de elevación, especialmente útiles para regiones como páramos y cuencas montañosas en Perú y Ecuador.	GFZ Data Services
Temperatura	Diario/0.1°	Datos de temperatura máxima y mínima provenientes de PISCO (Peruvian Interpolated dataset of SENAMHI's Climatological Observations), que ofrecen alta resolución espacial y temporal, adecuados para modelación hidrológica en regiones con topografías complejas.	IRI Data Library - SENAMHI
Hidrométrica	Mensual	Red de drenaje y datos hidrográficos de la cuenca del río Acarí, proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua de Perú.	ANA Perú

2.2.2 Equipos

Los programas informáticos empleados para llevar a cabo la tesis incluyen el uso de una laptop con las siguientes especificaciones:

- Procesador Intel CORE i7 a 2.40 GHz.
- Memoria RAM de 3.00 Gb.
- Disco duro con una capacidad de 500 Gb.

2.2.3 Software

Los cálculos y el manejo de datos se realizaron mediante el uso de los softwares siguientes:

- ArcGIS Desktop 10.5
- ArcSWAT 2012 10.0.15
- SWAT- CUP 2012 5.1.5
- ArcGIS Pro
- Rstudio
- Microsoft Office 2016

2.3 METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó en este trabajo implica la búsqueda de información mediante herramientas de recolección de datos. Se desarrolló un plan de procesamiento y análisis estadístico de los datos recolectados, y finalmente se utilizó el modelo SWAT para procesar y validar la información obtenida.

2.4 Caracterización de la cuenca del río Acarí a través del análisis integrado de parámetros geomorfológicos y climáticos, empleando herramientas geoespaciales y el modelo hidrológico SWAT para evaluar la dinámica hídrica

2.4.1 Creación de la cuenca hidrográfica y su red de drenaje

Para la creación de la cuenca hidrográfica y su red de drenaje, se empleó el software SWAT (Soil and Water Assessment Tool). El proceso comenzó con la obtención de un Modelo Digital de Elevación (DEM), que es fundamental para una modelación hidrológica precisa. En este estudio, se utilizó un DEM proporcionado por el satélite ALOS PALSAR, descargado a través de la plataforma de la Alaska Satellite Facility (ASF). Este DEM tiene una resolución espacial de 30x30 metros, lo cual permitió representar de manera detallada la topografía de la cuenca.

Posteriormente, se realizó los análisis de delineación de la cuenca y la extracción de la red de drenaje utilizando el DEM como base. Estas actividades facilitaron la identificación de los cursos de agua principales y secundarios dentro del área de estudio. La imagen utilizada para la descarga del DEM puede apreciarse en la Figura 2.3. Esta figura muestra una imagen satelital de América del Sur Occidental, que incluye las áreas de Perú, Ecuador, Bolivia y Brasil, obtenida mediante la plataforma ASF Data Search (NASA).

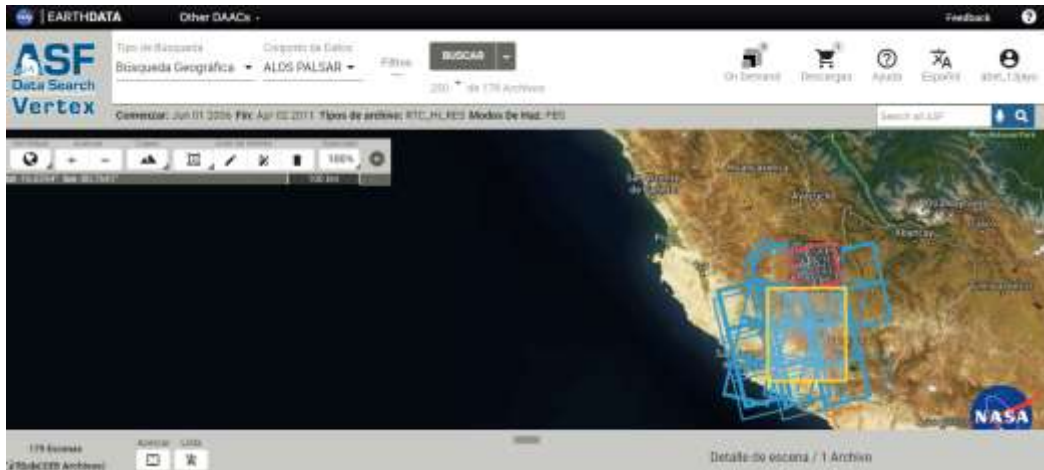


Figura 2.3. Imagen Satelital del área de estudio desde ASF Data Search (NASA)

Descarga de imagen

El DEM ALOS PALSAR se descargó desde la plataforma ASF DAAC para su uso en el modelado hidrológico en SWAT. Se siguieron los siguientes pasos:

- **Acceso:** Se accedió al portal de búsqueda de ASF DAAC para descargar los datos necesarios.
- **Definición del área de interés:** Se delimitó la cuenca hidrográfica utilizando un polígono geoespacial en formato WKT o un archivo shapefile (.shp).
- **Filtros de fecha:** Se seleccionó el periodo de 01/01/2010 a 12/12/2010 para garantizar coherencia con el periodo de calibración y validación del modelo (1982-2010).
- **Filtros adicionales:** Se eligió imágenes de alta resolución (30x30 metros) en modo de haz FBS y con polarización HH.
- **Selección de imágenes:** Se descargó un total de seis imágenes de ALOS PALSAR, cada una con una resolución de 30x30 metros. Estas imágenes cubrieron completamente la cuenca hidrográfica en estudio, asegurando una representación precisa de las características topográficas de la región y evitando brechas en la cobertura. Esto permitió un procesamiento eficiente en SWAT para la creación del Modelo Digital de Elevación (DEM).

La Tabla 2.5 presenta las imágenes del ALOS PALSAR descargadas para el área de estudio, mostrando la fecha de adquisición, la cobertura espacial y la resolución de cada imagen. Para acceder a la plataforma de ASF DAAC y descargar los datos, se puede visitar el siguiente enlace: <https://urs.earthdata.nasa.gov>

Tabla 2.5. Imágenes ALOS PALSAR Descargadas para el Área de Estudio

ID Imagen	Fecha de Adquisición	Cobertura	Resolución espacial
ALPSRP213856870	29 de enero de 2010	Sector norte de la cuenca	30x30 metros
ALPSRP218086900	27 de febrero de 2010	Sector sur de la cuenca	30x30 metros
ALPSRP213856890	29 de enero de 2010	Sector este de la cuenca	30x30 metros
ALPSRP269286920	13 de febrero de 2011	Sector oeste de la cuenca	30x30 metros
ALPSRP218086910	27 de febrero de 2010	Sector central de la cuenca	30x30 metros
ALPSRP269286910	13 de febrero de 2011	Sector noroeste de la cuenca	30x30 metros

Proceso de delimitación con SWAT

Una vez unido y preprocesado el DEM, se importó al módulo de Watershed Delineation en SWAT. A continuación, se describen los pasos específicos para la delimitación de la cuenca y la creación de la red de drenaje:

Configuración del DEM:

- En la sección DEM Setup, se cargó el archivo DEM que contiene la topografía del área de estudio.
- Se configuró la proyección espacial del DEM en DEM Projection Setup para asegurarse de que los datos coincidan con el sistema de coordenadas utilizado en el análisis.

- El campo Area indica la superficie de la cuenca, que es de 15000 hectáreas. La opción DEM-based se seleccionó para permitir que SWAT genere automáticamente la red de drenaje con base en los datos topográficos.

Definición de corrientes:

- Bajo la sección Stream Definition, se seleccionó la opción DEM-based, lo que permitió que SWAT determinara la red de corrientes y las subcuencas basadas en la dirección de flujo y la acumulación de agua derivada del DEM.
- Se configuró el área de acumulación mínima para definir una corriente en 15000 hectáreas, ajustando así el umbral de acumulación necesario para que SWAT genere una corriente en la red de drenaje.

Selección de salidas y entradas:

- En la sección Outlet and Inlet Definition, se estableció las salidas de las subcuencas y los puntos de entrada del flujo de agua. Se utilizó la opción Subbasin outlet para definir manualmente los puntos de salida de las subcuencas, garantizando que cada subcuenca drenara hacia el punto correcto dentro del modelo hidrológico.

Creación de la red de drenaje:

- Se generó la red de drenaje en Stream Network mediante la opción Create streams and outlets. Esta herramienta permitió la creación automática de las corrientes y puntos de salida para cada subcuenca, basándose en la acumulación del flujo de agua modelado por el DEM.

Cálculo de parámetros de subcuencas:

- En la sección Calculation of Subbasin Parameters, se seleccionó la opción Calculate subbasin parameters para calcular los parámetros de cada subcuenca, como el área, la longitud del cauce principal y la longitud máxima del flujo, elementos esenciales para el modelado hidrológico en SWAT.

Finalmente, se identificó 15 salidas y 15 subcuencas, asegurando que la cuenca hidrográfica y la red de drenaje estén adecuadamente delimitadas para las simulaciones.

2.4.2 Creación de las unidades de respuesta hidrológica

2.4.2.1 Uso de suelo

En este trabajo, se utilizó el conjunto de datos GlobeLand30 del año 2010 como la base de datos principal para la cobertura del suelo. Esta elección se debió a la necesidad de utilizar datos con una resolución espacial de 30x30 metros, que es consistente con la resolución espacial del Modelo Digital de Elevación (DEM) ALOS PALSAR utilizado en el estudio. Esta uniformidad en la resolución espacial es crucial para asegurar la compatibilidad y precisión en el modelamiento hidrológico realizado con SWAT (Soil and Water Assessment Tool).

La elección del año 2010 para la descarga de GlobeLand30 se basó en la necesidad de tener datos confiables y consistentes que reflejen adecuadamente el estado del suelo durante el periodo de calibración del modelo SWAT. Es importante destacar que el modelo SWAT requiere una representación precisa de la cobertura del suelo para simular de manera efectiva los procesos hidrológicos dentro de la cuenca estudiada.

La adaptación de la clasificación de GlobeLand30 al modelo SWAT siguió la nomenclatura requerida por este último, esto permitió una simulación precisa de los procesos hidrológicos en la cuenca. La siguiente tabla presenta la clasificación del uso del suelo según GlobeLand30 y su correspondiente codificación para el modelo SWAT. La Tabla 3.6 presenta la clasificación del uso del suelo según GlobalLand30 y su adaptación al modelo SWAT, donde se especifican los valores asignados a cada tipo de cobertura. Esta adaptación fue crucial para simular de manera precisa los procesos hidrológicos dentro de la cuenca, siguiendo la nomenclatura exigida por el modelo.

Tabla 3.6. Clasificación del Uso del Suelo según GlobeLand30 y su adaptación al modelo SWAT

Valor	Tipo	Descripción	SWAT LANDUSE
10	Tierra cultivada	Tierras utilizadas para agricultura, horticultura y jardines, incluidos arrozales, tierras de cultivo irrigadas y secas, huertas de hortalizas y frutas.	AGRL
20	Forestal	Tierra cubierta por árboles, la vegetación cubre más del 30%, incluidos los bosques caducifolios y de coníferas, y los bosques dispersos con una cobertura del 10-30%.	FRST
30	Pradera	Terreno cubierto de césped natural con una cobertura superior al 10%.	PAST
40	Tierra de arbustos	Tierra cubierta por arbustos con una cobertura superior al 30%, incluidos arbustos de hoja caduca y perenne, y estepa desértica con una cobertura superior al 10%.	FRST
50	Humedal	Tierra cubierta por plantas de humedales y cuerpos de agua, incluidos los pantanos interiores, pantanos de lagos, y humedales de llanuras fluviales.	WATR
60	Cuerpo de agua	Cuerpos de agua en el área terrestre, incluidos ríos, lagos, embalses, estanques de peces, etc.	WATR
70	Tundra	Tierra cubierta por líquenes, musgo, hierbas perennes resistentes y arbustos en regiones polares, incluyendo tundra arbustiva y tundra herbácea.	SPAS
80	Superficie artificial	Tierras modificadas por actividades humanas, incluidas viviendas, zonas industriales y mineras, y facilidades de transporte e interior urbano.	URML
90	Tierra desolada	Tierras con una cobertura vegetal inferior al 10%, incluyendo desierto, campos arenosos, tierras salinas y alcalinas, etc.	BARR
100	Nieve y hielo permanente	Tierras cubiertas por nieve permanente, glaciares y casquetes polares.	BARR

Nota: La clasificación se basa en la adaptación de los tipos de cobertura de GLOBELAND30 a las categorías de uso del suelo exigidas por SWAT para la correcta simulación de los procesos hidrológicos dentro de la cuenca.

Descripción de la clasificación

La información de GlobeLand30 ofrece una representación precisa de las diferentes coberturas del suelo, incluyendo categorías como tierra cultivada, forestal, praderas, y humedales, entre otros. Estas categorías fueron reagrupadas y renombradas para cumplir con las necesidades del modelo SWAT, que requiere una clasificación específica de uso del suelo

para simular las interacciones entre la superficie terrestre, el agua y la atmósfera. Este proceso asegura la consistencia y precisión del modelamiento hidrológico y permite obtener resultados más realistas en las simulaciones de caudales futuros.

Procedimiento de reclasificación en SWAT

Para llevar a cabo la reclasificación del uso del suelo, es fundamental contar con el raster de Globeland30, el cual debe ser recortado específicamente para el área de influencia de mi estudio. Este proceso implica también la utilización de la delimitación de la cuenca correspondiente. En los archivos base, es necesario tener el equivalente de los valores de Globeland30 adaptados a la nomenclatura del modelo SWAT. Para lograr esto, se realiza una compensación entre los tipos de uso del suelo presentes en Globeland30 y las categorías predefinidas por el modelo SWAT, lo que permite una correcta simulación hidrológica y de calidad del agua dentro de la cuenca estudiada.

Una vez que se ha realizado el recorte del raster Globeland30 para el área de influencia, el siguiente paso consiste en llevar a cabo la reclasificación del uso del suelo. Utilizando la herramienta de Land Use Data/Slope Definición en el software SWAT, se procede a asignar los valores de Globeland30 a las categorías correspondientes del modelo SWAT. Este proceso genera una nueva capa de Clasificación de Uso de Suelo.

2.4.2.2 Tipo de suelo

Se utilizó la Base Mundial de Suelos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). En la Tabla 2.7 se presenta la clasificación de los suelos según la FAO, detallando los tipos de suelo y sus respectivas descripciones. Estos incluyen suelos típicos de climas húmedos y fríos en la sierra, así como suelos aluviales y salinos presentes en la Costa. Esta clasificación fue utilizada para asegurar la correcta representación del suelo en el modelo hidrológico, contribuyendo a una simulación más precisa de los procesos dentro de la cuenca.

Tabla 2.7. Clasificación de Suelos según la FAO para las Regiones costa y sierra del Perú

Valor	Región	Tipo de Suelo	Descripción
2	Sierra	Af17-1-2a-2	Suelos de climas húmedos y fríos, presentes en zonas montañosas.
16	Sierra	Be45-2a-16	Suelos arcillosos con buena retención de agua, adecuados para cultivos de altura.
21	Sierra	Be50-2-3c-21	Suelos fértiles de altitudes intermedias, usados en agricultura intensiva.
50	Sierra	Fr2-2-3b-50	Suelos francos con buen drenaje, aptos para pastizales y agricultura.
160	Sierra	Ne20-3b-160	Suelos con alta materia orgánica, típicos en áreas productivas.
37	Costa	Fo2-2ab-37	Suelos arenosos, pobres en nutrientes, requieren riego para agricultura.
56	Costa	Gc22-3a-56	Suelos salinos y alcalinos, limitados para ciertos cultivos.
110	Costa	Jc29-2-3a-110	Suelos franco-arenosos a franco-arcillosos, típicos de zonas irrigadas.
180	Costa	Qc22-1b-180	Suelos aluviales de alta fertilidad, ideales para cultivos comerciales.

Proceso de reclasificación del tipo de suelo en SWAT

El primer paso en la reclasificación del tipo de suelo es contar con la delimitación del área de influencia basada en la clasificación de la FAO. Esta delimitación nos brinda una referencia sobre los distintos tipos de suelo presentes en la cuenca de estudio. Luego, se utiliza el shapefile de la cuenca, el cual define espacialmente el área que será analizada.

Con la delimitación y los shapefile listos, se procede a correlacionar los valores de los suelos de la FAO con las categorías del modelo SWAT. Es crucial que en los archivos base esté la equivalencia entre los tipos de suelo de la FAO y la nomenclatura correspondiente en SWAT. Este paso asegura que las características físicas del suelo se incorporan correctamente en las simulaciones del modelo.

Una vez definidas las equivalencias entre los tipos de suelo de la FAO y SWAT, se ejecuta el proceso de reclasificación en el módulo Land Use/Slope/Soil Definición de SWAT. Aquí, se introduce la trama de suelo y el sistema ajusta los valores según las clases

correspondientes. Al finalizar, se obtiene un mensaje de confirmación indicando que la reclasificación de los suelos ha sido completada exitosamente.

2.4.2.3 Pendiente

Se usó la clasificación de pendiente de la FAO, esta clasificación es parte de las evaluaciones de tierras de laderas, especialmente relevantes para la agricultura en áreas con inclinaciones pronunciadas. Esta clasificación establece categorías según el grado de pendiente del terreno, lo cual afecta directamente la facilidad de cultivo y la susceptibilidad a la erosión. La Tabla 2.8 muestra las categorías establecidas según el grado de pendiente del terreno, las cuales varían desde pendientes despreciables, adecuadas para la mayoría de los cultivos, hasta pendientes pronunciadas que presentan un alto riesgo de erosión y requieren técnicas especiales de conservación. Esta clasificación fue esencial para determinar las áreas más susceptibles a la erosión dentro de la cuenca y ajustar las estrategias de manejo agrícola y conservación de suelos en función de las características del terreno.

Tabla 2.8. Clasificación de pendientes según la FAO para evaluación de tierras de laderas

Categoría	Pendiente (%)	Descripción	Fuente
1. Despreciable	0 - 1%	Pendiente casi nula, ideal para la mayoría de cultivos.	FAO, Manual de suelos (FAOHome)
2. Suave	1 - 8%	Ligera inclinación, adecuada para cultivos con poca erosión.	FAO, Tierras de laderas (FAOHome)
3. Media	8 - 20%	Pendiente moderada, riesgo de erosión creciente.	FAO, evaluación del suelo (FAOHome)
4. Alta	20 - 50%	Inclinación fuerte, requiere técnicas de conservación.	FAO, clasificación de pendientes (FAOHome)
5. Pronunciada	> 50%	Muy empinada, difícil para el cultivo, alto riesgo de erosión.	FAO, tierras abruptas (FAOHome)

Proceso de reclasificación de la pendiente en SWAT

La reclasificación de la pendiente es un paso crucial para definir cómo las diferentes inclinaciones del terreno influyen en los procesos hidrológicos en la cuenca. Utilizando la herramienta Land Use/Slope/Soil Definición en SWAT, se selecciona la opción de Múltiple

Pendiente para permitir la clasificación en varios rangos. En este caso, se han definido cinco clases de pendiente, con límites superiores ajustados para cada categoría.

2.4.2.4 Unidad de respuesta hidrológica

Se generó las unidades de respuesta hidrológica (HRUs). Esto es un paso clave en el modelamiento hidrológico para la cuenca del río Acarí, utilizando el modelo SWAT. Esta metodología combina datos de cobertura vegetal, tipo de suelo, modelo digital de elevación (MDE) y pendientes, proporcionando una subdivisión homogénea de la cuenca en áreas que responden de manera similar a los procesos hidrológicos.

- Cada HRU se definió como una combinación única de cobertura vegetal, tipo de suelo y pendiente. Esto garantiza que las áreas con características similares (en cuanto a uso de suelo, propiedades del suelo y pendiente) se modelen de manera consistente.
- Umbrales de Área: Se aplicó umbrales mínimos para definir las HRU, asegurando que solo se incluyeran en la simulación áreas suficientemente grandes y representativas, lo que optimiza el proceso de modelamiento sin perder precisión.
- A cada HRU se le asignó parámetros hidrológicos específicos, tales como la capacidad de infiltración, la capacidad de retención de agua y las tasas de escorrentía, en función de los datos proporcionados por las capas de cobertura, suelo y pendiente.

2.4.3 Recopilación y análisis de datos climáticos históricos

En el contexto del análisis hidrológico y climático de la cuenca del río Acarí, se consideraron diversas fuentes de datos pluviométricos disponibles a nivel nacional, como el Observatorio del Agua de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y los registros hidrometeorológicos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Sin embargo, estas fuentes presentan ciertas limitaciones, tales como datos faltantes, inconsistencias en los registros, y falta de actualización de los datos, especialmente aquellos anteriores al año 2000. Estas deficiencias pueden comprometer la precisión de los modelos hidrológicos y, en consecuencia, las conclusiones que se deriven de ellos. La Tabla 2.9 presenta las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Acarí, con sus respectivas coordenadas y elevaciones. Además, en la Figura 2.4 se muestra el mapa de ubicación de las estaciones pluviométricas e hidrométricas, lo cual fue clave para identificar los puntos de medición utilizados en el análisis climático de la cuenca.

Tabla 2.9. Estaciones de la cuenca Acarí

Id	Nombre	Este	Norte	Elevación	Distrito	Provincia
1	Acari	541130.28	8297394.92	200	Acari	Caravelí
2	Cceccana	607709.52	8385678.07	4100	Lucanas	Lucanas
3	CerroCondorillo	578949.45	8385787.72	3115	Lucanas	Lucanas
4	Lucanas	582690.37	8383563.15	3375	Lucanas	Lucanas
5	Palcachacra	577217.05	8393204.04	3300	Palca	Lucanas
6	Paucacorral	596908.33	8378312.03	4060	Lucanas	Lucanas
7	Puquio	593545.82	8374797.69	3215	Puquio	Lucanas
8	Saisa	569902.78	8348949.13	2960	Saisa	Lucanas

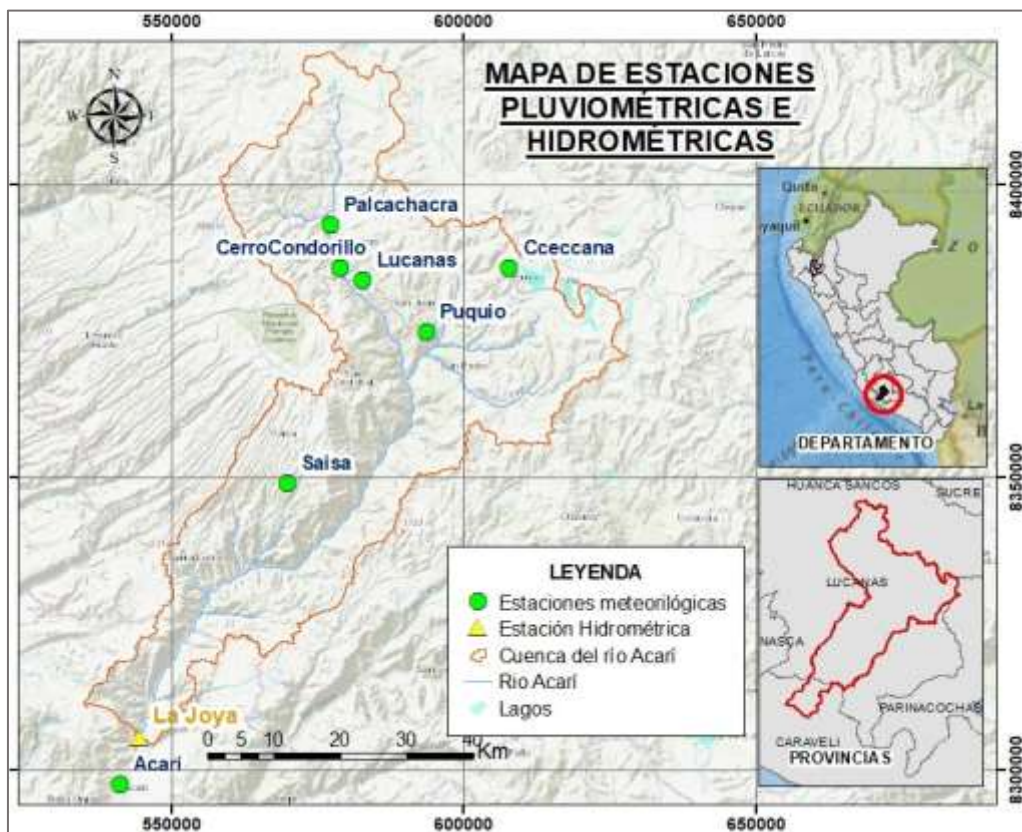


Figura 2.4. Mapa de estaciones pluviométricas e hidrométricas

2.4.3.1 Precipitación

La información de precipitación utilizada consistió en datos diarios de tipo satelital, grillados, provenientes del producto RAIN4PE. se distingue como el único producto de precipitación en cuadrícula para Perú y Ecuador que incorpora el máximo número de

observaciones in situ disponibles, múltiples fuentes de datos de precipitación y elevación, complementados con datos de caudal para corregir subestimaciones en áreas clave como páramos y cuencas montañosas. La integración de estas diversas fuentes de datos hace de RAIN4PE un recurso valioso para estudios climáticos e hidrológicos en la región.

El conjunto de datos de RAIN4PE cubre la superficie terrestre entre 19°S y 2°N, y 82°O y 67°O, ofreciendo una resolución espacial de 0.1° y una resolución temporal diaria desde 1981 hasta 2015. Este producto está disponible en formato netCDF, lo que facilita su integración en modelos hidrológicos y climáticos. Los datos de RAIN4PE pueden descargarse del sitio web del GFZ Data Services: <https://dataservices.gfz-potsdam.de/pik/showshort.php?id=6f766e20-2d94-11eb-9603-497c92695674>

2.4.3.2 Temperatura

Para la modelación hidrológica, se emplearon datos de temperatura máxima y mínima provenientes del producto PISCO (Peruvian Interpolated dataset of the SENAMHI's Climatological Observations), proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). PISCO es un conjunto de datos grillados que ofrece alta resolución espacial (0.1° x 0.1°) y temporal (diaria), lo que lo hace especialmente adecuado para estudios climáticos y de modelación hidrológica en regiones con topografías complejas como la cuenca del río Acarí. La integración de estos datos en SWAT permite capturar adecuadamente las variaciones espaciales y temporales de la temperatura, esenciales para calcular procesos como la evapotranspiración. Los datos de PISCO pueden descargarse del sitio web: <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/index.html?Set-Language=es>

2.4.3.3 Datos de radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento

Para completar la información climática necesaria en el modelo SWAT, se utilizaron datos de radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento provenientes del Climate Forecast System Reanalysis (CFSR), un conjunto de datos de reanálisis que proporciona una descripción detallada y coherente de las condiciones climáticas globales. CFSR ofrece datos con alta resolución temporal (horaria) y espacial (0.5° x 0.5°), lo que permite un análisis preciso de las condiciones meteorológicas. Estos datos fueron integrados en SWAT mediante la interfaz gráfica ArcSWAT, facilitando su incorporación en la modelación hidrológica.

2.4.3.4 Caudales

Los datos de caudales utilizados en este estudio fueron obtenidos del observatorio de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) del Perú. Este observatorio proporciona acceso a una base de datos amplia y detallada de registros hidrométricos, que incluyen mediciones de caudales a lo largo de los ríos del país. Las series de caudales utilizadas cubren el período de 1981 a 2010 y corresponden a la estación hidrométrica La Joya, ubicada en la cuenca del río Acarí.

Estos datos son fundamentales para la calibración y validación del modelo SWAT, ya que los caudales observados se utilizan para ajustar y verificar las simulaciones del modelo, asegurando que las predicciones de caudal sean precisas y representativas de las condiciones hidrológicas reales de la cuenca. La precisión en la estimación de los caudales es crucial para la gestión adecuada de los recursos hídricos, especialmente en áreas con alta variabilidad climática. Los datos de caudales del ANA pueden descargarse del sitio web: <https://snirh.ana.gob.pe/onrh/>.

La Tabla 2.10 proporciona detalles específicos de la estación hidrométrica La Joya, que fue clave para este análisis. La inclusión de estos datos permite ajustar el modelo SWAT y aumentar la precisión de las simulaciones de caudal en la cuenca.

Tabla 2.10. Detalles de la estación hidrométrica La Joya

Atributo	Detalle
Estación	La Joya (Código: 203903)
Variable	Caudal Instantáneo (m ³ /s)
Operador	Junta De Usuarios Bella Unión
WGS 84 Geográficas	Latitud: -15.327996 / Longitud: -74.584629 / Altitud(msnm): 284
Tipo	Convencional / Hidrométrica
Ámbito Político	Dpto: Arequipa / Prov: Caraveli / Dist.: Acari
Ámbito Administrativo	AAA: Chaparra Chincha / ALA: Chaparra Acari
Unidad Hidrográfica	Cuenca Acarí
Nombre de la Fuente	Río: Acarí

2.4.3.5 Análisis estadístico de las series temporales

En esta tesis, el análisis de series temporales de precipitación y caudales es fundamental para determinar posibles cambios en el comportamiento hidrológico bajo condiciones de cambio climático. Los datos utilizados provienen de ocho estaciones: Acari, Cceccaña, Cerro Condorillo, Lucanas, Palcachacra, Paucacorral, Puquio y Saisa.

Para realizar estos análisis, se utilizó el software Trend 2.4.3.5, una herramienta diseñada específicamente para detectar cambios y tendencias en series mediante pruebas estadísticas robustas. Este software permite aplicar una serie de pruebas que ayudan a identificar cambios significativos en las variables hidrológicas, atribuidos potencialmente a variaciones climáticas.

Los métodos estadísticos aplicados en este análisis incluyen la Prueba de Mann-Kendall y la Prueba T de Student, las cuales permiten evaluar si existen tendencias significativas o diferencias en los datos a largo plazo.

Prueba de Mann-Kendall

La prueba de Mann-Kendall es un método no paramétrico ampliamente utilizado para detectar tendencias en series temporales. Se eligió debido a su robustez frente a la presencia de valores atípicos y la no normalidad de los datos, características comunes en series climáticas e hidrológicas.

- **Objetivo:** Detectar tendencias monotónicas (aumentos o disminuciones) en las series temporales de caudales y precipitaciones.
- **Procedimiento:** Para cada estación, se calculó el estadístico de prueba de Mann-Kendall y se comparó con los valores críticos a niveles de significancia de $\alpha = 0.1$, 0.05 y 0.01. Si el valor del estadístico supera el valor crítico, se concluye que hay una tendencia significativa.

La prueba T de Student es un método paramétrico que se utilizó para comparar las medias de las series temporales con una media hipotética o entre diferentes periodos. Esta prueba fue seleccionada para complementar la evaluación de tendencias, ya que permite detectar si existen diferencias significativas en las medias de los datos analizados.

- **Objetivo:** Evaluar si las medias de las precipitaciones y caudales han cambiado de manera significativa entre diferentes periodos o con respecto a una media esperada.
- **Procedimiento:** Se calcularon los valores del estadístico T para cada estación y se compararon con los valores críticos a diferentes niveles de significancia ($\alpha = 0.1$, 0.05 y 0.01). Al igual que con la prueba de Mann-Kendall, si los valores del estadístico superan los valores críticos, se considera que hay una diferencia significativa en las medias.

2.5 Calibración y validación del modelo hidrológico SWAT para simular caudales históricos, y optimización de los parámetros del modelo mediante el análisis de sensibilidad usando SWAT-CUP

2.5.1 Análisis de sensibilidad en el modelo hidrológico SWAT

El análisis de sensibilidad en el modelo hidrológico SWAT-CUP (Soil and Water Assessment Tool - Calibration and Uncertainty Programs) es un paso fundamental para determinar cuáles parámetros del modelo tienen el mayor impacto en las salidas hidrológicas (como caudales, escorrentía, etc.). Este proceso ayuda a optimizar la calibración del modelo SWAT, identificando los parámetros que deben ser ajustados para mejorar la precisión de las simulaciones. A continuación, se detalla la metodología aplicada para realizar el análisis de sensibilidad en la cuenca del río Acarí.

2.5.1.1 Preparación del modelo SWAT

Antes de proceder con el análisis de sensibilidad, se realizaron los siguientes pasos:

- El modelo SWAT se ejecutó previamente con datos específicos de la cuenca del río Acarí. Estos datos incluyeron información sobre uso del suelo (GlobeLan30), topografía (MDE ALOS PALSAR), tipo de suelo (FAO), datos hidrométricos (ANA). meteorológicos del Rain4ape(precipitación) y Pisco(temperatura). El modelo fue configurado para simular el periodo comprendido entre 1982 y 2007, con el objetivo de modelar el comportamiento hidrológico de la cuenca a lo largo de casi tres décadas. El periodo de calibración abarcó desde 1982 hasta el 1997, representando dos tercios del total del periodo simulado. Según la metodología recomendada en modelos hidrológicos, se utiliza aproximadamente el 67% (2/3) de los datos históricos para la calibración, ajustando los parámetros para asegurar que las simulaciones coincidan con los datos observados (Moriassi et al., 2007).

Posteriormente, se utilizó el periodo de 1998 a 2007 para la validación del modelo. Este proceso consistió en comparar las simulaciones generadas por el modelo con los datos hidrométricos observados, sin realizar más ajustes de parámetros, con el fin de evaluar la capacidad del modelo para replicar el comportamiento hidrológico en un periodo diferente.

- Se identificaron los parámetros hidrológicos más relevantes que podrían influir en las salidas del modelo. Estos incluyen: el coeficiente de curva de escorrentía (CN2), la conductividad hidráulica saturada del suelo (SOL_K), el coeficiente alfa para flujo base (ALPHA_BF), el factor de evapotranspiración (ESCO), entre otros. Estos parámetros son fundamentales para la calibración porque controlan los procesos clave del ciclo hidrológico, como la escorrentía superficial, la infiltración, la evapotranspiración y el flujo subterráneo (Abbaspour, 2015). La correcta identificación y ajuste de estos parámetros permite mejorar la precisión del modelo, asegurando que las simulaciones representen adecuadamente los procesos hidrológicos observados en la cuenca.

La Tabla 2.11 presenta los parámetros más relevantes que podrían influir en el modelamiento de la cuenca del río Acarí, detallando sus rangos de valores y descripciones.

Tabla 2.11. Parámetros más relevantes que podrían influir en el modelamiento de mi área de estudio

Nº	Parámetro SWAT-CUP	Rango de valores de SWAT	Descripción
1	r_CN2.mgt	-0.2 a 0.2	Coefficiente de curva de escorrentía (CN2). Controla el volumen de escorrentía superficial. Ajusta la respuesta del suelo al escurrimiento.
2	v_ALPHA_BF.gw	0.0 a 1.0	Coefficiente de recarga de agua base (ALPHA_BF). Controla la tasa de recarga de flujo base desde el acuífero al arroyo.
3	v_GW_DELAY.gw	30.0 a 450.0	Retardo del flujo subterráneo (GW_DELAY). Tiempo de retardo para que el agua subterránea llegue al arroyo.
4	v_GWQMN.gw	0.0 a 2.0	Nivel mínimo de agua en el acuífero requerido para que ocurra flujo base. Regula la contribución del acuífero al flujo de base.
5	v_GW_REVAP.gw	0.0 a 0.2	Coefficiente de reevaporación del agua subterránea (GW_REVAP). Proporción de agua subterránea que es reevaporada hacia la zona no saturada.

6	v__ESCO.hru	0.8 a 1.0	Factor de compensación de evapotranspiración (ESCO). Ajusta la tasa de evapotranspiración en el suelo.
7	v__CH_N2.rte	0.0 a 0.3	Coefficiente de Manning para canales principales (CH_N2). Controla la rugosidad de los canales, afectando la velocidad del flujo.
8	v__CH_K2.rte	5.0 a 130.0	Conductividad hidráulica del lecho del canal (CH_K2). Controla la capacidad del lecho del canal para infiltrar agua hacia el subsuelo.
9	v__ALPHA_BNK.rte	0.0 a 1.0	Coefficiente alfa para flujo de banco (ALPHA_BNK). Controla el flujo de agua desde las márgenes del río hacia el cauce.
10	r__SOL_AWC(1).sol	-0.2 a 0.4	Capacidad de retención de agua del suelo (SOL_AWC). Ajusta la capacidad del suelo para retener agua disponible para las plantas.
11	r__SOL_K(1).sol	-0.8 a 0.8	Conductividad hidráulica saturada del suelo (SOL_K). Controla la capacidad del suelo para infiltrar agua.
12	r__SOL_BD(1).sol	-0.5 a 0.6	Densidad aparente del suelo (SOL_BD). Influye en la capacidad de almacenamiento de agua y el movimiento del agua en el suelo.
13	r__SLSUBBSN.hru	0 a 2	Longitud de la pendiente de subcuenca (SLSUBBSN). Afecta el escurrimiento superficial y la erosión.
14	r__OV_N.hru	-2 a 0	Coefficiente de rugosidad de Manning para escorrentía (OV_N). Controla la velocidad de la escorrentía superficial sobre la superficie del terreno.

2.5.1.2 Configuración del SWAT-CUP

Para comenzar el proceso de calibración y validación en SWAT-CUP, se configuraron los archivos de entrada necesarios para ejecutar el algoritmo SUFI-2 (Sequential Uncertainty Fitting), que es el método utilizado para ajustar los parámetros y evaluar la incertidumbre del modelo. La configuración específica incluye una serie de archivos que contienen tanto parámetros del modelo como datos observados. A continuación, se describe la configuración utilizada:

Calibración input

Estos archivos son esenciales para definir los parámetros del modelo y su configuración inicial:

- **Par_inf.txt:** Este archivo contenía la información de los parámetros que fueron ajustados durante la calibración. Se definieron 15 parámetros para la simulación, cada uno con su respectivo rango de variación, y se establecieron 300 iteraciones. Este archivo guió el proceso de ajuste de los parámetros hidrológicos del modelo

durante las iteraciones del SUFI-2, asegurando que se cubriera un amplio rango de posibles valores y se alcanzara una solución óptima.

- **SUFI2_swEdit.def:** Este archivo definía las ediciones en los parámetros del SWAT para que el SUFI-2 pudiera ajustar los valores correctamente durante cada ejecución. Se configuró para que la simulación comenzara en la iteración 1 y terminara en la iteración 300. Esto aseguró que cada iteración aplicara las modificaciones necesarias a los parámetros, permitiendo que SUFI-2 convergiera hacia los valores óptimos.
- **File.Cio:** Este archivo es el archivo de configuración de entrada del SWAT, que contiene parámetros globales del modelo como el número de subcuencas, HRU, y el número de días simulados. En este caso, no se realizaron modificaciones en este archivo, ya que la configuración global del modelo se mantuvo estable durante todo el proceso.
- **Absolute_Swat_Values.txt:** Este archivo contenía los valores absolutos de los parámetros del modelo SWAT. Fue utilizado para normalizar los resultados de las simulaciones durante las iteraciones de calibración. De este archivo se extrajeron los rangos de valores que se emplearon durante la calibración de los 15 parámetros definidos, asegurando que las variaciones en los valores de los parámetros fueran coherentes con las características hidrológicas de la cuenca.

Observation

En esta sección se incluyen los datos observados, que serán comparados con los resultados simulados durante la calibración:

- **Observed_rch.txt:** Este archivo contenía los datos de caudal observados en el punto de calibración, generalmente obtenidos de una estación hidrométrica ubicada en la cuenca del río Acarí. En nuestro caso, se trabajó con una variable, que corresponde al caudal. Se especificó que los datos provienen de 15 subcuencas en el modelo, y el número total de datos analizados fue de 400 registros. Finalmente, se estableció que los años simulados abarcaron desde 1982 hasta el 1997 para la calibración.

Extraction

Estos archivos son utilizados para extraer las variables que serán evaluadas en el proceso de calibración:

- **Var file:** Este archivo especificó qué variables debían extraerse del modelo SWAT para su evaluación. En este caso, se extrajo el caudal de la subcuenca 15, una de las subcuencas representativas del área de estudio, con el fin de ajustar los parámetros del modelo a los datos observados.
- **SUFI2_extract_rch:** Este archivo definió cómo se extraían los datos de los resultados simulados del modelo SWAT, específicamente en el formato RCH, que contiene la información de los caudales simulados en las subcuencas. Este formato fue utilizado para evaluar las discrepancias entre los caudales simulados y los caudales observados.

Objective function

La función objetivo es utilizada por el algoritmo SUFI-2 para evaluar la diferencia entre los datos observados y simulados, y ajustar los parámetros para minimizar esta diferencia:

- **Observe:** Se utilizó dos métricas de función objetivo para evaluar la calidad del ajuste: el Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) y el Coeficiente de Determinación (R^2). Ambas métricas permitieron evaluar la capacidad del modelo para replicar los datos observados, con un enfoque en maximizar la eficiencia del ajuste y reducir las diferencias entre los resultados simulados y los observados.
- **var_file_name:** Este archivo contiene las variables de comparación, especificando las variables de interés para el análisis. En este caso, se especificó que la variable era el caudal y que provenía de la subcuenca número 23. La selección de esta subcuenca fue estratégica para evaluar el comportamiento del caudal en una parte clave de la cuenca del río Acarí.

Esta metodología describe el proceso de configuración y ejecución del SWAT-CUP utilizando el algoritmo SUFI-2, en el que se realizaron 300 iteraciones ajustando 15 parámetros hidrológicos clave para modelar con precisión los caudales en la cuenca del río Acarí. Los datos observados fueron comparados con los resultados simulados, permitiendo optimizar el modelo mediante el uso de las métricas NSE y R^2 . El proceso de extracción y

evaluación se centró en el caudal de las subcuencas más representativas, logrando un ajuste eficiente del modelo y preparándolo para su uso en simulaciones futuras bajo diferentes escenarios climáticos.

2.5.2 Comprobación del desempeño del modelo

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo del desempeño del modelo SWAT en relación con los datos observados. El objetivo principal de este estudio es determinar la capacidad del modelo para replicar de manera precisa las condiciones hidrológicas observadas. Para ello, se realizaron 300 simulaciones en SWAT-CUP utilizando el algoritmo SUFI-2, con el fin de obtener los parámetros de desempeño más óptimos. A través de la comparación de caudales medios observados y simulados, así como mediante la utilización de indicadores de desempeño clave, se evaluó la capacidad del modelo para predecir patrones de caudales a lo largo de un período de tiempo sustancial.

Para la validación del modelo, se evaluó el desempeño mediante índices de eficiencia como el Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), el Porcentaje de Sesgo (PBIAS) y el Coeficiente de Determinación (R^2). Estos indicadores permiten evaluar la precisión y confiabilidad del modelo, según los datos hidrológicos simulados frente a los observados en la cuenca del río Acarí.

Uno de los usos más comunes del Índice de Nash-Sutcliffe (NSE) es el análisis de la capacidad de predicción de los modelos hidrológicos. Este índice varía entre $-\infty$ y 1, donde un valor de NSE más cercano a 1 indica un mejor ajuste entre los valores simulados y observados (Moriassi et al., 2007). El NSE se calcula mediante la siguiente expresión:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - M_{med})^2}$$

Donde

Q. La variable de estudio.

M. Valores observados.

S. Valores simulados.

En la Tabla 2.12 se presentan los criterios utilizados para la evaluación del índice de Nash-Sutcliffe (NSE). Esta tabla clasifica el rendimiento del modelo en función del valor de NSE, proporcionando rangos que determinan si el ajuste es excelente, bueno, satisfactorio, aceptable o malo. La interpretación de estos rangos es crucial para evaluar la precisión del modelo en replicar las condiciones hidrológicas observadas.

Tabla 2.12. Criterios utilizados para la evaluación del índice de Nash-Sutcliffe (NSE).

Valores	Clasificación del Rendimiento
$0.75 < NSE \leq 1.00$	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

Fuente: Adaptado de Moriasi et al. (2007).

El porcentaje de sesgo (PBIAS) mide la tendencia promedio de los datos simulados a ser mayores o menores que las observaciones. El valor óptimo es 0, lo que indica que las simulaciones no presentan sesgo en promedio. Los valores positivos indican que el modelo tiende a subestimar, mientras que los valores negativos indican sobreestimación (Moriasi et al., 2007).

$$PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (Q_M - Q_S)}{\sum_{i=1}^n (Q_{M,i})}$$

Donde

Q. La variable de estudio.

M. Valores observados.

S. Valores simulados.

En la Tabla 2.13 se muestran los criterios utilizados para la evaluación del PBIAS, clasificando el rendimiento del modelo como excelente, bueno, satisfactorio o malo según los valores obtenidos. Esta tabla es fundamental para entender el sesgo del modelo en sus simulaciones.

Tabla 2.13. Criterios utilizados para la evaluación del PBIAS.

Valores	Clasificación del Rendimiento
PBIAS < ±10	Excelente
±10 ≤ PBIAS < ±15	Bueno
±15 ≤ PBIAS < ±25	Satisfactorio
PBIAS ≥ ±25	Malo

Fuente: Adaptado de Moriasi et al. (2007).

El coeficiente de determinación (R^2) es una métrica estadística utilizada para medir la calidad del ajuste entre los valores simulados y observados en modelos hidrológicos. Este coeficiente indica qué proporción de la variabilidad en la variable dependiente puede ser explicada por la variabilidad en la variable independiente. En términos prácticos, mide la correlación entre las dos series de datos (observados y simulados).

El valor de R^2 varía entre 0 y 1:

- Un valor de 1 indica una correlación perfecta entre las series simuladas y observadas, lo que sugiere que el modelo explica completamente la variabilidad observada.
- Un valor de 0 indica ausencia de correlación, es decir, el modelo no logra explicar la variabilidad en los datos observados.

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)(Q_{s,i} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2 \sum_i (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2}$$

Donde:

Q: La variable de estudio.

M: Valores observados.

S: Valores simulados.

En el contexto de los modelos hidrológicos, un R^2 superior a 0.5 se considera generalmente como satisfactorio, indicando que más del 50% de la variabilidad en los caudales observados puede ser explicada por el modelo (Santhi et al., 2001).

En la Tabla 2.14 se detallan los criterios utilizados para la evaluación del coeficiente de determinación (R^2), proporcionando una clasificación del rendimiento del modelo en función del valor de R^2 . Esta tabla ayuda a interpretar la capacidad del modelo para explicar la variabilidad en los datos observados.

Tabla 2.14. Criterios utilizados para la evaluación del Coeficiente de Determinación (R^2).

Valores	Clasificación del Rendimiento
$r^2 \geq 0.5$	Satisfactorio
$0 \leq r^2 < 0.5$	Malo

Fuente: Adaptado de Santhi et al. (2001).

2.6 Simulación de la disponibilidad hídrica futura en la cuenca del río Acarí bajo escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE)

En esta sección se detalla cómo se llevó a cabo la simulación de la disponibilidad hídrica futura en la cuenca del río Acarí, utilizando las proyecciones climáticas del conjunto de datos BASD-CMIP6-PE y modelos hidrológicos calibrados y validados en la región. El enfoque se centró en analizar los dos extremos de los escenarios climáticos: SSP1-2.6 (bajo) y SSP5-8.5 (alto).

2.6.1 Selección de modelos climáticos globales (GCMs) y escenarios

Se utilizó los 10 modelos climáticos Globales (GCMs) disponibles en el conjunto de datos BASD-CMIP6-PE: CanESM5, IPSL-CM6A-LR, UKESM1-0-LL, CNRM-CM6-1, CNRM-ESM2-1, MIROC6, GFDL-ESM4, MRI-ESM2-0, MPI-ESM1-2-HR, y EC-Earth3. Estos modelos proporcionaron simulaciones históricas y proyecciones futuras bajo los escenarios climáticos extremos SSP1-2.6 y SSP5-8.5. En la Tabla 2.15, se describen estos modelos climáticos, incluyendo detalles sobre su resolución, país de origen y características específicas.

Tabla 2.15. Modelos Climáticos Globales (GCMs) del BASD-CMIP6-PE

Nº	Modelo Climático	Descripción	Resolución	País	Miembro
1	CanESM5	El CanESM5 es un modelo de circulación general del clima desarrollado por el Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis.	2.8° x 2.8°	Canadá	r1i1p1f1

2	IPSL-CM6A-LR	El IPSL-CM6A-LR es un modelo del Institut Pierre-Simon Laplace que incorpora un detallado sistema climático, incluyendo la atmósfera, océano y criosfera.	2.5° x 1.3°	Francia	rlilp1f1
3	UKESM1-0-LL	El UKESM1-0-LL es un modelo del Reino Unido que combina la simulación del sistema climático con la representación de procesos biogeoquímicos.	1.9° x 1.3°	Reino Unido	rlilp1f2
4	CNRM-CM6-1	El CNRM-CM6-1 es un modelo desarrollado por el Centre National de Recherches Météorologiques que simula atmósfera, océano, criosfera y ciclos de carbono.	1.4° x 1.4°	Francia	rlilp1f2
5	CNRM-ESM2-1	El CNRM-ESM2-1 es un modelo climático extendido que incluye el ciclo del carbono y del nitrógeno.	1.4° x 1.4°	Francia	rlilp1f1
6	MIROC6	El MIROC6 es un modelo climático del Atmosphere and Ocean Research Institute de la Universidad de Tokio.	1.4° x 1.4°	Japón	rlilp1f1
7	GFDL-ESM4	El GFDL-ESM4 es un modelo de sistema climático que incluye ciclos biogeoquímicos y procesos ecológicos, desarrollado en Estados Unidos.	1.3° x 1.0°	Estados Unidos	rlilp1f1
8	MRI-ESM2-0	El MRI-ESM2-0 es un modelo de simulación climática desarrollado por el Meteorological Research Institute en Japón, especializado en biogeoquímica terrestre.	1.1° x 1.1°	Japón	rlilp1f1
9	MPI-ESM1-2-HR	El MPI-ESM1-2-HR es un modelo de alta resolución que simula el sistema climático global y los procesos biogeoquímicos.	0.9° x 0.9°	Alemania	rlilp1f1
10	EC-Earth3	El EC-Earth3 es un modelo desarrollado por un consorcio europeo de institutos meteorológicos, que simula la atmósfera y la criosfera.	0.7° x 0.7°	Consortio Europeo	rlilp1f1

2.6.2 Generación de datos de disponibilidad hídrica futura.

Para el análisis de proyecciones futuras, se generó datos para 8 estaciones hidrométricas en la cuenca del río Acarí; Acari, Cceccaña, Cerro Condorillo, Lucanas, Palcachacra, Paucacorrall, Puquio y Saisa.

Para cada estación y bajo ambos escenarios climáticos extremos, se calculó el promedio de los 10 modelos climáticos tanto para precipitación como para temperatura (máxima y mínima). Este enfoque permitió reducir la incertidumbre en las proyecciones y obtener una representación más robusta de las posibles tendencias climáticas futuras en cada estación.

2.6.3 Implementación del modelo hidrológico (SWAT)

Una vez calculados los promedios de los 10 modelos climáticos para cada estación, tanto de precipitación como de temperatura, esto se integró al modelo hidrológico SWAT previamente calibrado y validado. El modelo SWAT se empleó para simular los caudales futuros en la cuenca bajo los escenarios SSP1-2.6 y SSP5-8.5.

También se analizó la precipitación promedio estacional de la cuenca para los escenarios SSP1-2.6 y SSP5-8.5.

2.6.4 Análisis detallado de la estación base

Se llevó a cabo un análisis más detallado de la estación base Puquio, que incluyó la gráfica de los 10 modelos climáticos y su promedio tanto para precipitación como para temperatura (máxima y mínima). Este análisis gráfico permitió visualizar la variabilidad y las tendencias en cada modelo, así como el comportamiento promedio, brindando una mayor comprensión de los posibles escenarios futuros para la estación Puquio. Este análisis sirvió como referencia para evaluar el comportamiento de la precipitación y temperatura para los años 2015 y 2100.

2.7 Comparación de la disponibilidad hídrica histórica con la futura bajo diferentes escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE)

En este apartado, se detallan los pasos metodológicos seguidos para comparar la disponibilidad hídrica histórica y futura en la cuenca del río Acarí, utilizando proyecciones climáticas de los escenarios SSP1-2.6 (bajas emisiones) y SSP5-8.5 (muy altas emisiones), generadas por el modelo BASD-CMIP6-PE. El objetivo es analizar cómo el cambio

climático podría afectar variables hidrológicas clave como la precipitación, la temperatura, la evapotranspiración y los caudales en diferentes periodos.

Este análisis permite evaluar la vulnerabilidad hídrica de la cuenca, así como identificar patrones de variabilidad estacional y la incidencia de eventos extremos. Se considera una comparación entre el período actual y los futuros períodos (2050 y 2080), tomando como referencia las normativas nacionales e internacionales, que sugieren utilizar periodos de 30 años para garantizar un análisis representativo y robusto del clima (WMO, 2017; IPCC, 2014).

2.7.1 Definición de los periodos de análisis

De acuerdo con las normativas internacionales de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2017) y el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021), se definieron tres períodos de análisis para evaluar su impacto:

- Periodo 2050: Análisis del cambio entre 2035-2065
- Periodo 2080: Análisis del cambio entre 2065-2095

Estos periodos futuros fueron comparados con los datos históricos, tanto para caudales como para precipitación y temperatura. Para la comparación histórica, se utilizaron los siguientes intervalos:

- Periodo histórico: 1985-2015

El uso de estos periodos permite comparar las condiciones históricas y futuras, considerando las tendencias proyectadas de aumento de temperatura, variación en la precipitación, evapotranspiración y caudales. Estos datos son esenciales para evaluar los posibles impactos del cambio climático sobre la disponibilidad hídrica en la cuenca.

2.7.2 Cálculo de anomalías climáticas

Las anomalías son fundamentales para entender las desviaciones proyectadas con respecto a las condiciones históricas. Para ello, se calculó la diferencia entre los valores climáticos futuros y los valores históricos (1985-2015), expresada en términos porcentuales o absolutos. El cálculo de anomalías siguió las siguientes especificaciones:

- Temperatura máxima y mínima: Las anomalías de temperatura se calcularon en °C, restando los valores del periodo actual a los valores futuros (2050 o 2080). Esto permite visualizar el cambio absoluto de temperatura a lo largo del tiempo:

$$\text{Anomalías de temperatura}(^{\circ}\text{C}) = \text{Valor futuro} - \text{Valor actual}$$

Este enfoque es adecuado para la temperatura, ya que refleja un cambio directo y absoluto, en lugar de un porcentaje relativo.

- Precipitación, evapotranspiración y caudales: Las anomalías para estas variables se expresaron en porcentaje. Esto se hizo comparando los valores proyectados para los periodos futuros con los valores históricos, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Anomalía}(\%) = \left(\frac{\text{Valor futuro} - \text{Valor actual}}{\text{Valor actual}} \right) * 100$$

El uso combinado de anomalías absolutas para la temperatura y porcentuales para las demás variables permite capturar las diferencias clave en la magnitud del cambio y cómo este afecta la disponibilidad hídrica.

2.7.3 Comparación entre los escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6

La comparación entre ambos escenarios climáticos se realizó mediante tablas y gráficos que resaltan las diferencias en las anomalías proyectadas para los periodos 2050 y 2080. Para cada variable se analizaron:

Precipitación: Se evaluó la variabilidad estacional y mensual, destacando los meses con anomalías positivas o negativas más pronunciadas.

Temperatura máxima y mínima: Se proyectaron los incrementos de temperatura y su influencia en la evapotranspiración y en la mayor demanda hídrica.

Evapotranspiración: Se estimaron las pérdidas hídricas debido a la evapotranspiración en cada período y escenario, lo que permitió evaluar cómo la combinación de mayores temperaturas y variabilidad en las precipitaciones afecta la demanda de agua.

Caudales: Se realizó un análisis comparativo de los caudales proyectados en los meses húmedos y secos, lo que permitió identificar patrones de vulnerabilidad en los periodos secos.

2.7.4 Visualización de los resultados y análisis de periodos

Se emplearon gráficos que permitieron visualizar la evolución de las variables clave, comparando los tres períodos (actual, 2050 y 2080). Las anomalías mensuales y estacionales se trazaron para mostrar las diferencias entre los meses húmedos y secos, y cómo se intensifican o suavizan bajo cada escenario climático.

Este análisis fue especialmente relevante para los meses de julio y agosto, donde se detectan anomalías negativas en caudales y aumentos significativos en la evapotranspiración, lo que resalta la importancia de evaluar la vulnerabilidad hídrica en los meses secos.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de la cuenca del río Acarí a través del análisis integrado de parámetros geomorfológicos y climáticos, empleando herramientas geoespaciales y el modelo hidrológico SWAT para evaluar la dinámica hídrica

3.1.1 Creación de la cuenca hidrográfica y su red de drenaje.

Se obtuvieron 15 subcuencas generadas por el modelo SWAT. En la Figura 3.1 se presenta el Mapa de cuencas hidrográficas y su red de drenaje, donde se pueden observar las 15 subcuencas identificadas. A continuación, en la Tabla 3.1 se describen las principales características físicas y geomorfológicas de la cuenca del río Acarí.



Figura 3.1. Mapa de cuencas hidrográficas y su red de drenaje

Tabla 3.1. Principales características físicas y geomorfológicas de la cuenca del río Acarí.

Características	Valor
Area (km ²)	3736.384
Perímetro (km)	659.580
Longitud del río (km)	165.729
Pendiente cauce principal (%)	2.129
Ancho Promedio (km)	20.290
Índice Compacidad o coeficiente de Gravelius (kc)	3.044
Rectángulo Equivalente, lado mayor (km)	320.610
Rectángulo Equivalente, lado menor (km)	11.650
Tiempo de Concentración (minutos)	862.314
Tiempo de Concentración (metodología)	Kirpich

Por otro lado, en la Tabla 3.2 se describen las propiedades geométricas de las 15 subcuencas de la cuenca del río Acarí, incluyendo información como la pendiente, elevaciones mínima y máxima, área y longitud de cada subcuenca.

Tabla 3.2. Propiedades geométricas de las 15 subcuencas de la cuenca del río Acarí

Subcuenca	Pendiente	ElevMin	ElevMax	Area	Longitud
(Id)	(%)	(msnm)	(msnm)	Km ²	Km
1	15.04	3364	4613	420.51	46.32
2	22.45	3363	4504	249.23	29.78
3	24.18	2587	4685	274.84	31.34
4	20.52	2578	4731	334.28	47.28
5	25.46	2323	4106	28.98	14.95
6	31.93	2114	4468	396.92	46.36
7	38.66	2110	3508	25.83	9.04
8	20.91	2322	4848	284.16	47.58
9	30.08	949	4175	208.81	41.72
10	52.29	948	4279	698.16	73.19
11	32.84	867	4098	152.43	42.23
12	57.02	862	2839	31.64	12.14
13	39.52	670	4051	204.63	54.50
14	31.15	672	3356	150.13	39.04
15	47.50	313	2375	275.82	35.55
Total				3736.38	571.01

3.1.2 Creación de las unidades de respuesta hidrológica

El modelo SWAT generó un total de 566 Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) en la cuenca del río Acarí, distribuidas en 15 subcuencas. Estas HRU fueron definidas a partir de

la combinación de coberturas vegetales, tipos de suelo y pendientes, lo que permitió una caracterización detallada y espacialmente explícita de los procesos hidrológicos de la cuenca. La Tabla 3.3 Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) en la cuenca del río Acarí presenta la distribución de las HRU para cada subcuenca, describiendo las características clave, como la cobertura vegetal, los tipos de suelo y las pendientes. La cuenca total abarca un área de 3736.3842 km², permitiendo un análisis exhaustivo de los procesos hidrológicos.

Tabla 3.3. Unidad de respuesta hidrológica cuenca Acarí.

Subcuenca	% de Cobertura vegetal predominante	Tipo de suelo predominante (%)	Pendiente predominante (%)	Número de HRU	Área de subcuenca (km ²)
1	Pastizales (71.29%)	I-Bh-Tv-c-5518 (68.79%)	8-20% (39.33%) y 20-50% (24.87%)	29	420.51
2	Pastizales (75.31%)	I-Bh-Tv-c-5518 (78.75%)	20-50% (49.18%)	19	249.23
3	Pastizales (65.00%)	I-Tv-c-5542 (60.30%)	8-20% (35.00%)	22	274.84
4	Pastizales (72.50%)	I-Bh-Tv-c-5518 (65.80%)	20-50% (42.10%)	28	334.28
5	Pastizales (68.30%)	I-Bh-Tv-c-5518 (70.00%)	20-50% (40.00%)	18	28.98
6	Pastizales (70.00%)	I-Tv-c-5542 (75.10%)	50-9999% (30.10%)	24	396.92
7	Bosque Mixto (60.20%)	Tv6-b-5683 (55.20%)	8-20% (45.20%)	16	25.83
8	Pastizales (74.10%)	I-Tv-c-5542 (80.00%)	20-50% (47.50%)	25	284.16
9	Pastizales (69.90%)	I-Bh-Tv-c-5518 (66.00%)	20-50% (40.30%)	21	208.81
10	Pastizales (71.70%)	I-Bh-Tv-c-5518 (72.50%)	20-50% (41.80%)	27	698.16
11	Pastizales (67.80%)	I-Tv-c-5542 (64.90%)	20-50% (39.00%)	23	152.43
12	Pastizales (73.40%)	I-Bh-Tv-c-5518 (77.20%)	20-50% (42.40%)	30	31.64
13	Pastizales (72.00%)	I-Tv-c-5542 (73.00%)	8-20% (35.70%)	20	204.63
14	Pastizales (76.50%)	I-Bh-Tv-c-5518 (74.90%)	20-50% (50.10%)	26	150.13
15	Pastizales (69.50%)	I-Tv-c-5542 (70.00%)	8-20% (34.90%)	17	275.82
Total				345	3736.38

3.1.2.1 Uso de suelo

El estudio de la cobertura vegetal, basado en los datos de GlobeLand30 para el año 2010, reveló que la cuenca del río Acarí está dominada por pastizales y áreas desnudas. La Figura 3.2. Mapa de Uso Actual de Suelo de la Cuenca del río Acarí ilustra la distribución espacial de los diferentes tipos de cobertura, procesada en el entorno GIS. Entre los principales tipos de cobertura se encuentran:

- Pastizales (PAST) (71.07%): Ocupando 2,655.37 km², los pastizales constituyen la cobertura dominante en la cuenca. Esta predominancia es indicativa de un uso intensivo del suelo para la ganadería, lo cual puede tener implicaciones en la escorrentía superficial y en la salud del suelo, especialmente en áreas con pendientes más pronunciadas.
- Suelo desnudo (BARR) (14.97%): Con una extensión de 559.21 km², estas áreas son particularmente vulnerables a la erosión, especialmente en zonas con pendientes altas. La falta de cobertura vegetal reduce la capacidad del suelo para absorber y retener agua, lo que incrementa la escorrentía y el riesgo de degradación del suelo.
- Bosque (FRST) (10.35%): Cubriendo 386.65 km², las áreas forestales son vitales para la biodiversidad y el ciclo hidrológico de la cuenca. Estas zonas actúan como amortiguadores, reduciendo la velocidad de la escorrentía y promoviendo la infiltración de agua.
- Agricultura (AGRL) (3.00%): Las áreas destinadas a cultivos agrícolas cubren 111.91 km². Aunque representan una porción relativamente pequeña de la cuenca, estas áreas son intensamente gestionadas y tienen un impacto directo en la escorrentía y la calidad del agua.
- Áreas urbanas (URML) (0.12%) y cuerpos de agua (WATR) (0.50%): Aunque representan una porción mínima de la cuenca, las áreas urbanas y los cuerpos de agua, con 4.49 km² y 18.64 km² respectivamente, son importantes en términos de manejo de recursos hídricos y planificación urbana.

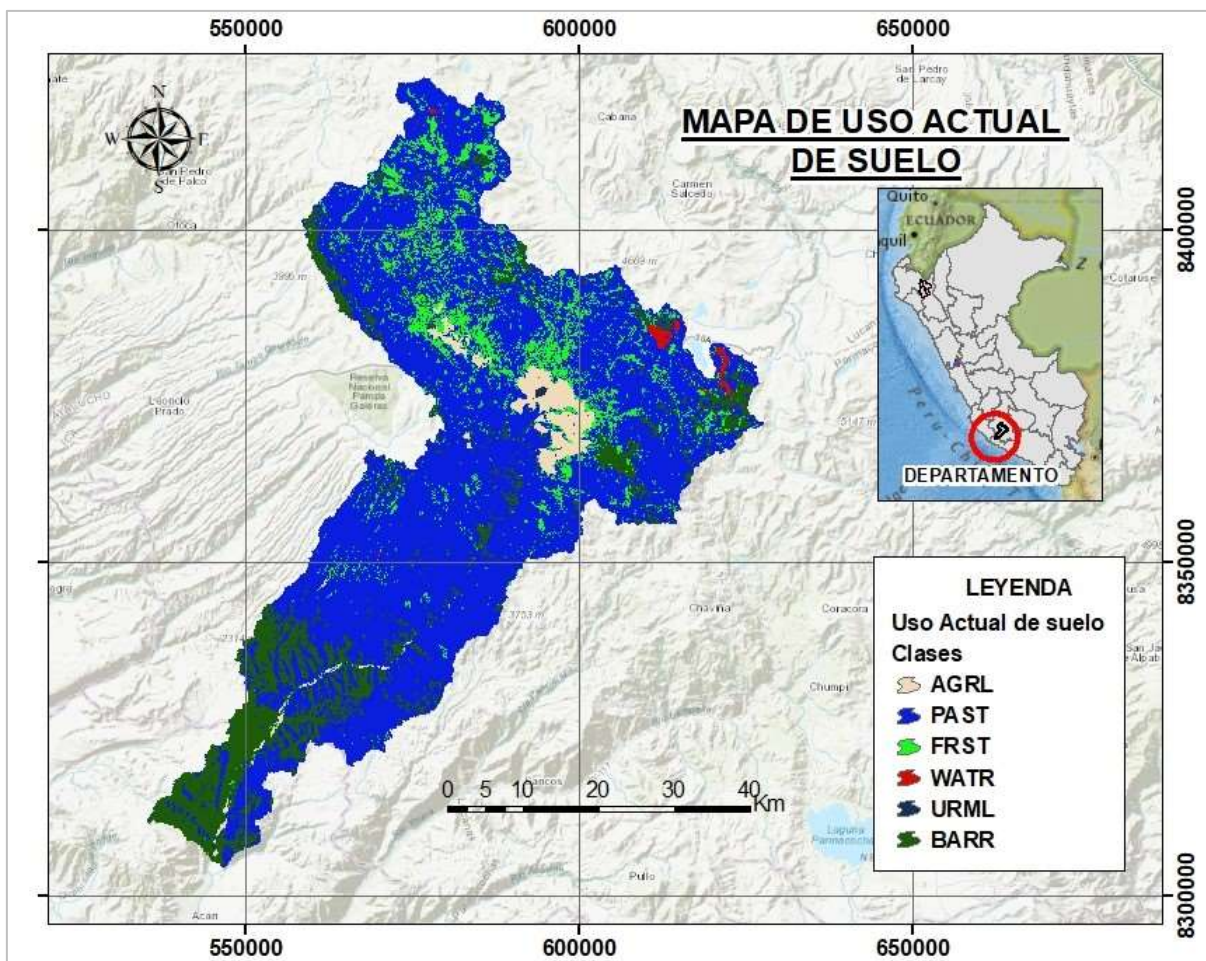


Figura 3.2. Mapa de Uso actual de suelo de la cuenca del río Acarí.

La Tabla 3.4 presenta en detalle la clasificación de cada tipo de cobertura, junto con su área y porcentaje dentro de la cuenca del río Acarí, mostrando una visión clara de la distribución espacial y su implicancia en el manejo de la cuenca.

Tabla 3.4. Descripción de las áreas del mapa de Uso actual de suelo

Nº	Código GlobalLand30	Tipo de Cobertura	Significado	Área (km ²)	Área (%)
1	10	Agricultura (AGRL)	Áreas destinadas a cultivos agrícolas	111.91	3.00%
2	30	Suelo Desnudo (BARR)	Terrenos sin cobertura vegetal, expuestos	559.21	14.97%
3	40	Bosque (FRST)	Áreas cubiertas por bosque, clave para biodiversidad y ciclo hidrológico	386.65	10.35%

4	50	Pastizales (PAST)	Áreas cubiertas principalmente por pastos	2,655.37	71.07%
5	80	Áreas Urbanas (URML)	Zonas urbanizadas con infraestructura y poco verde	4.49	0.12%
6	90	Cuerpos de Agua (WATR)	Superficies de agua como lagos, ríos y embalses	18.64	0.50%
Total				3,736.27	100%

3.1.2.2 Tipo de suelo

Se identificó dos tipos principales de suelos en la cuenca del río Acarí, clasificados según el sistema de la FAO, y su distribución está representada en la Figura 3.3. Mapa de Tipo de Suelo de la Cuenca del río Acarí, procesado en un entorno GIS. Los suelos se describen de la siguiente manera:

- I-Tv-c-5542 (54.90%): Este es el suelo predominante en la cuenca, cubriendo aproximadamente 2,051.46 km². Es típicamente bien drenado y fértil, que lo hace adecuado para la agricultura. Su alta capacidad de drenaje implica que estas áreas son menos propensas a la saturación durante eventos de lluvia intensa, reduciendo el riesgo a la escorrentía excesiva y erosión.
- I-Bh-Tv-c-5518 (27.30%): Con una cobertura de 1,019.99 km², este tipo de suelo tiene características específicas de retención de agua, lo que es crucial en zonas más áridas de la cuenca. Este suelo favorece la infiltración y la conservación de la humedad, lo que es beneficioso para el mantenimiento de la vegetación y la reducción de la escorrentía superficial.
- Tv6-b-5683 (17.80%): Este tipo de suelo, que cubre 664.98 km², es adecuado para cultivos agrícolas. Sin embargo, su menor capacidad de retención de agua en comparación con los otros tipos de suelo puede incrementar el riesgo a escorrentía rápida en áreas con pendientes pronunciadas.

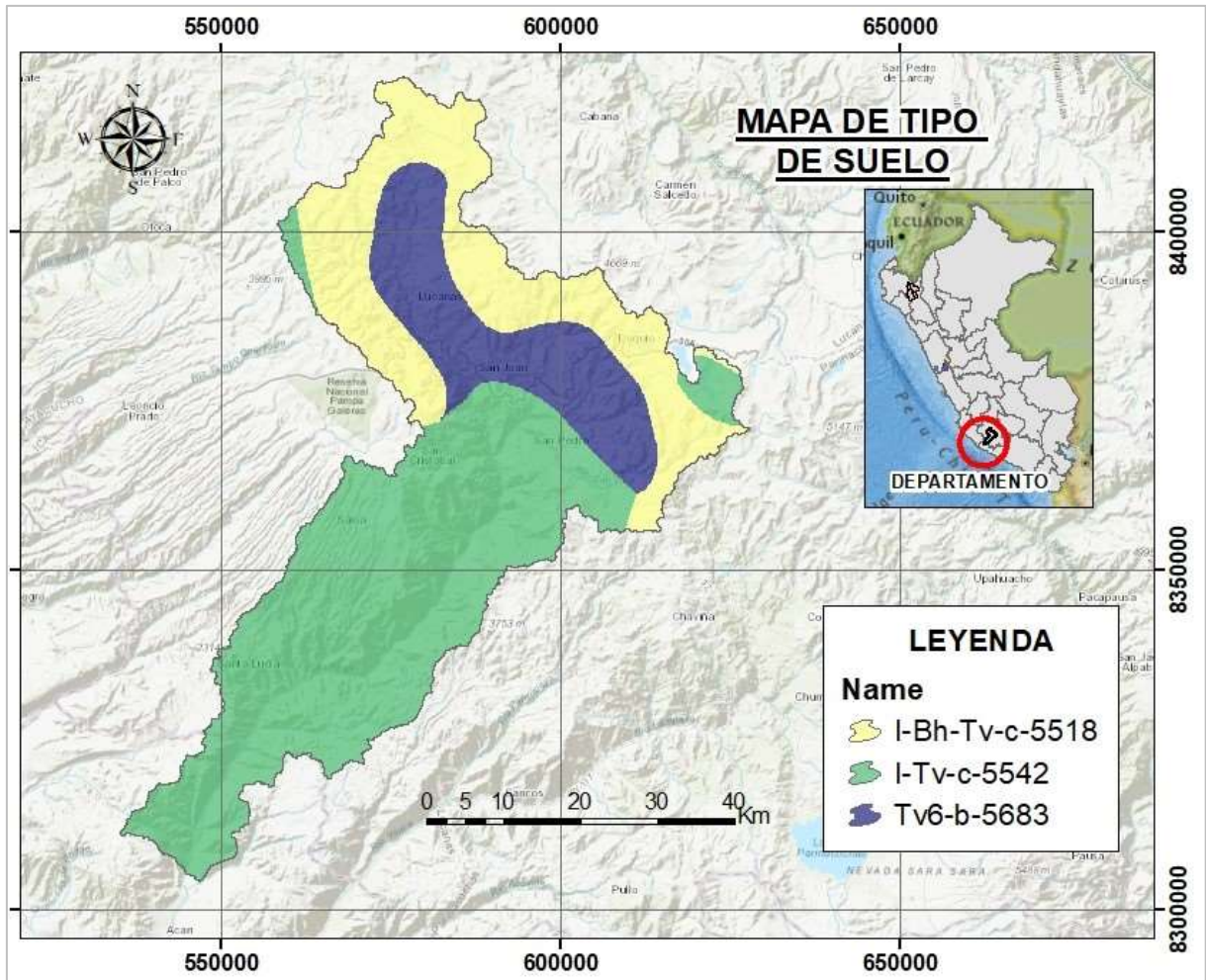


Figura 3.3. Mapa de Tipo de suelo de la cuenca del río Acarí

La Tabla 3.5 proporciona un detalle de los diferentes tipos de suelo presentes en la cuenca, junto con el área total y el porcentaje que cada uno ocupa, mostrando la diversidad en la tipología de suelos y su impacto en los procesos hidrológicos de la región.

Tabla 3.5. Descripción de las áreas del mapa de tipo de suelo

Nº	Código (Fao)	Descripción	Significado	Área (km ²)	Área (%)
1	5518	I-Bh-Tv-c-5518	Suelo I-Bh-Tv-c con características específicas de retención de agua	1,019.99	27.30%
2	5542	I-Tv-c-5542	Suelo I-Tv-c, típicamente bien drenado y fértil	2,051.46	54.90%
3	5683	Tv6-b-5683	Suelo Tv6-b, adecuado para cultivos agrícolas	664.98	17.80%
Total				3,736.42	100%

Nota. Se describe la diversidad de tipología de suelo de la cuenca del río Acarí.

3.1.2.3 Pendiente

El análisis de las pendientes en la cuenca del río Acarí reveló una gran variabilidad topográfica, lo que tiene implicaciones directas en el manejo del suelo y el riesgo de erosión en diferentes zonas de la cuenca. La distribución de las pendientes está representada en la Figura 3.4. Mapa de pendientes de la cuenca del río Acarí, procesado en un entorno GIS. Los resultados son los siguientes:

- Pendiente suave (1-8%) (10.99%) y Despreciable (0-1%) (0.58%): Cubren 410.58 km² y 21.57 km², respectivamente. Estas áreas son las más adecuadas para la agricultura debido a la facilidad de manejo del suelo y al menor riesgo a erosión.
- Pendiente media (8-20%) (26.42%): Representa 987.2 km² de la cuenca. Estas áreas presentan un riesgo moderado a erosión y pueden ser manejadas eficazmente con prácticas agrícolas adecuadas que prevengan la degradación del suelo.
- Pendiente alta (20-50%) (39.75%): Esta es la categoría de pendiente más extendida, cubriendo 1,485.08 km². Las áreas con estas características topográficas son más propensas a la esorrentía superficial rápida y a procesos de erosión, lo que sugiere la necesidad de implementar medidas de manejo de suelos y conservación en estas zonas.
- Pendiente pronunciada (50-100%) (22.26%): Cubre 831.63 km². Estas zonas están sujetas a un alto riesgo de erosión y deben ser manejadas con cuidado, posiblemente limitando su uso a actividades que no alteren significativamente el terreno, como la conservación de bosques.

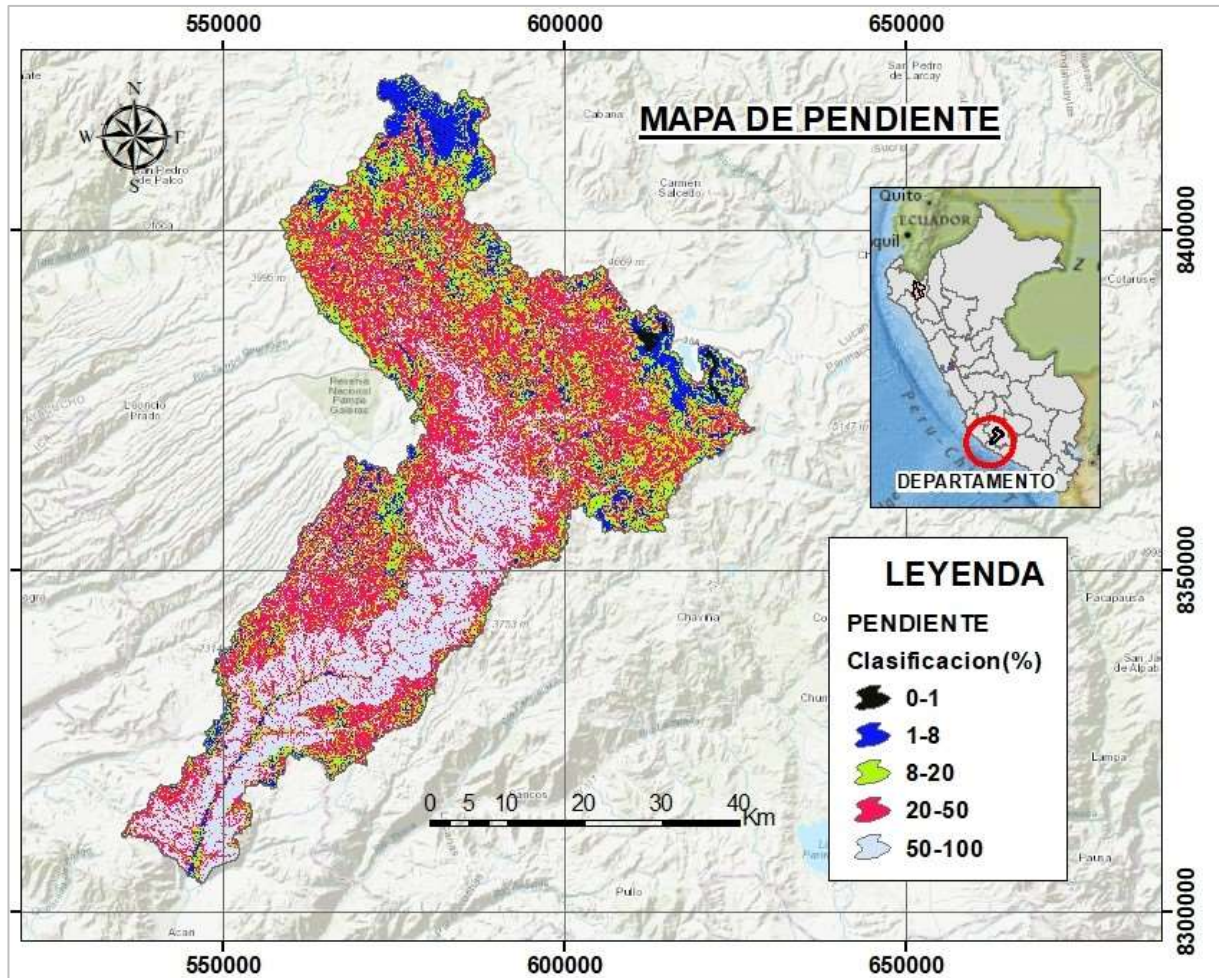


Figura 3.4. Mapa de pendientes de la Cuenca del río Acarí.

La Tabla 3.6 presenta en detalle a las diferentes categorías de pendientes en la cuenca, destacando su distribución y las recomendaciones de manejo según el tipo de pendiente.

Tabla 3.6. Descripción de las áreas del mapa de pendientes

Nº	Categoría de Pendiente	Rango de Pendiente (%)	Significado	Área (km ²)	Área (%)
1	Despreciable	0-1%	Terreno casi plano, apto para la mayoría de usos	21.57	0.58%
2	Suave	1-8%	Pendiente ligera, apta para cultivos con buen manejo de suelo	410.58	10.99%
3	Media	8-20%	Pendiente moderada, mayor riesgo de erosión	987.2	26.42%

4	Alta	20-50%	Pendiente fuerte, apto para pastizales o forestación	1,485.08	39.75%
5	Pronunciada	>50%	Terreno muy inclinado, adecuado para conservación o uso limitado	831.63	22.26%
Total				3,736.05	100%

Nota. Se describe la diversidad de pendientes de la cuenca del río Acarí.

3.1.3 Datos climáticos

3.1.3.1 Precipitación

Los resultados obtenidos de los datos descargados de RAIN4PE para las estaciones en la cuenca del río Acarí durante el período 1981-2015 se presentan en la Tabla 3.7, muestra la variabilidad mensual de la precipitación en cada estación.

Variabilidad estacional

Los datos muestran una clara estacionalidad en la precipitación. La mayor cantidad de lluvia se concentra en los primeros meses del año, con enero y febrero como los meses más lluviosos en todas las estaciones. En contraste, los meses de abril a septiembre presentan valores mínimos o nulos de precipitación.

Precipitación mensual en diferentes estaciones

- Estaciones en alta altitud: Cceccaña (4100 msnm) y Paucacorral (4060 msnm) son las estaciones con mayores valores de precipitación. Durante el mes de febrero, Cceccaña presenta un valor máximo de 5.03 mm, mientras que Paucacorral alcanza 4.73 mm.
- Estaciones en baja altitud: En la estación de Acari, ubicada a 200 msnm, se observa una precipitación significativamente menor, con un valor máximo de 0.32 mm en enero y casi ninguna precipitación durante el resto del año.

Resumen de los promedios anuales

El promedio anual de precipitación es más alto en las estaciones ubicadas a mayor altitud. En particular, Cceccaña presenta un promedio de 1.55 mm, mientras que Saisa tiene el promedio más bajo con 0.63 mm.

Datos agregados

El mes con mayor cantidad de precipitación es febrero en casi todas las estaciones, con máximos de hasta 5.03 mm en Cceccaña. El valor total de precipitación acumulada en las estaciones varía considerablemente, con Cceccaña y Paucacorrall mostrando los valores más altos debido a su altitud.

Tabla 3.7. Precipitación estacional histórica descargada del Rain4ape para el periodo 1981-2015

Fecha	Acari	Cceccaña	CerroCondorillo	Lucanas	Palcachacra	Paucacorrall	Puquio	Saisa
Ene	0.32	4.24	3.96	3.68	3.96	3.89	3.74	1.85
Feb	0.14	5.03	4.89	4.56	4.89	4.73	4.63	2.57
Mar	0.07	3.80	3.87	3.70	3.87	3.81	3.76	1.86
Abr	0.03	1.16	1.27	1.12	1.27	1.08	1.08	0.30
May	0.02	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14	0.04
Jun	0.01	0.10	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.03
Jul	0.01	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.03
Ago	0.01	0.20	0.16	0.15	0.16	0.17	0.16	0.05
Set	0.01	0.28	0.24	0.19	0.24	0.24	0.21	0.06
Oct	0.01	0.47	0.36	0.30	0.36	0.38	0.33	0.08
Nov	0.01	0.70	0.58	0.48	0.58	0.56	0.52	0.12
Dic	0.04	2.35	2.05	1.81	2.05	1.99	1.87	0.59
Suma	0.68	18.55	17.68	16.26	17.68	17.14	16.60	7.57
Promedio	0.06	1.55	1.47	1.35	1.47	1.43	1.38	0.63
Máximo	0.32	5.03	4.89	4.56	4.89	4.73	4.63	2.57
Mínimo	0.01	0.08	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.03

La Figura 3.5. Precipitación estacional histórica descargada del Rain4pe para el periodo 1981-2015 muestra la distribución estacional de la precipitación en las estaciones seleccionadas.

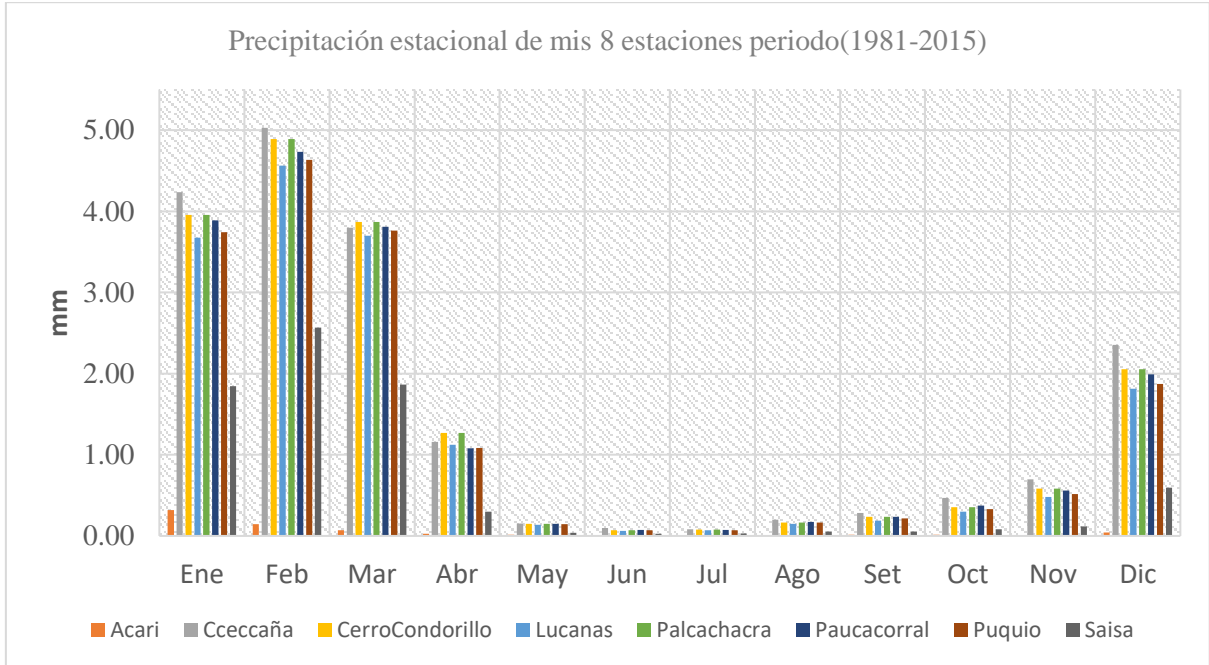


Figura 3.5. Precipitación estacional descargada del Rain4ape para el periodo 1981-2015

3.1.3.1 Temperatura

a. Temperatura máxima

Los resultados de temperatura máxima obtenidos del producto PISCO (Peruvian Interpolated dataset of SENAMHI's Climatological Observations) para las estaciones en la cuenca del río Acarí durante el período 1981-2015 se presentan en la Tabla 3.8. Temperatura máxima estacional descargada del (SENAMHI). PISCO para el periodo 1981-2015, mostrando la variabilidad mensual en cada estación.

Variabilidad estacional

La temperatura máxima muestra variaciones considerables a lo largo del año, con las estaciones más bajas en altitud, como Acari (200 msnm), registrando temperaturas más elevadas, mientras que las estaciones de mayor altitud, como Cceccaña (4100 msnm), presentan temperaturas máximas más bajas.

- Febrero es el mes más caluroso en Acari, con una temperatura máxima de 31.00°C, mientras que la temperatura máxima en Cceccaña en el mismo mes es de 14.37°C.
- Los meses de junio a agosto muestran temperaturas más bajas en general, con una temperatura máxima en Acari de 24.16°C en agosto, mientras que en Cceccaña es de 17.03°C.

Datos agregados

- Acari, con su altitud baja, presenta la temperatura máxima promedio anual más alta, con un valor de 27.48°C, mientras que Cceccaña tiene un promedio anual de 16.08°C.
- El valor máximo de temperatura registrada en la cuenca es 31.00°C en Acari durante febrero, y el valor más bajo es de 14.27°C en Cceccaña durante enero.

Tabla 3.8. Temperatura máxima estacional histórica descargada del (SENAMHI). PISCO para el periodo 1981-2015

Meses	Acari	Cceccaña	CerroCondorillo	Lucanas	Palcachacra	Paucacorrall	Puquio	Saisa
Ene	30.00	14.27	16.99	16.99	17.12	15.95	16.98	21.74
Feb	31.00	14.37	16.81	16.81	16.87	15.76	16.63	20.94
Mar	30.97	14.64	17.11	17.11	17.08	15.99	16.73	20.93
Abr	29.13	15.54	17.74	17.74	17.66	16.73	17.38	22.36
May	26.85	16.39	18.58	18.58	18.29	17.57	17.83	21.87
Jun	24.42	16.58	18.49	18.49	18.04	17.31	17.71	20.68
Jul	23.46	16.58	18.53	18.53	18.03	17.34	17.84	20.52
Ago	24.16	17.03	18.74	18.74	18.44	17.69	18.19	21.14
Set	25.70	17.40	19.16	19.16	19.16	18.13	18.52	21.91
Oct	27.17	17.75	19.16	19.16	19.35	18.31	18.54	22.10
Nov	28.19	17.04	18.61	18.61	18.88	17.84	18.24	21.85
Dic	28.71	15.31	17.63	17.63	17.92	16.53	17.47	21.97
Suma	329.77	192.92	217.56	217.56	216.85	205.15	212.07	258.02
Promedio	27.48	16.08	18.13	18.13	18.07	17.10	17.67	21.50
Máximo	31.00	17.75	19.16	19.16	19.35	18.31	18.54	22.36
Mínimo	23.46	14.27	16.81	16.81	16.87	15.76	16.63	20.52

La Figura 3.6. Temperatura máxima estacional histórica descargada del (SENAMHI). PISCO para el periodo 1981-2015 muestra la variabilidad estacional de la temperatura máxima para cada estación.

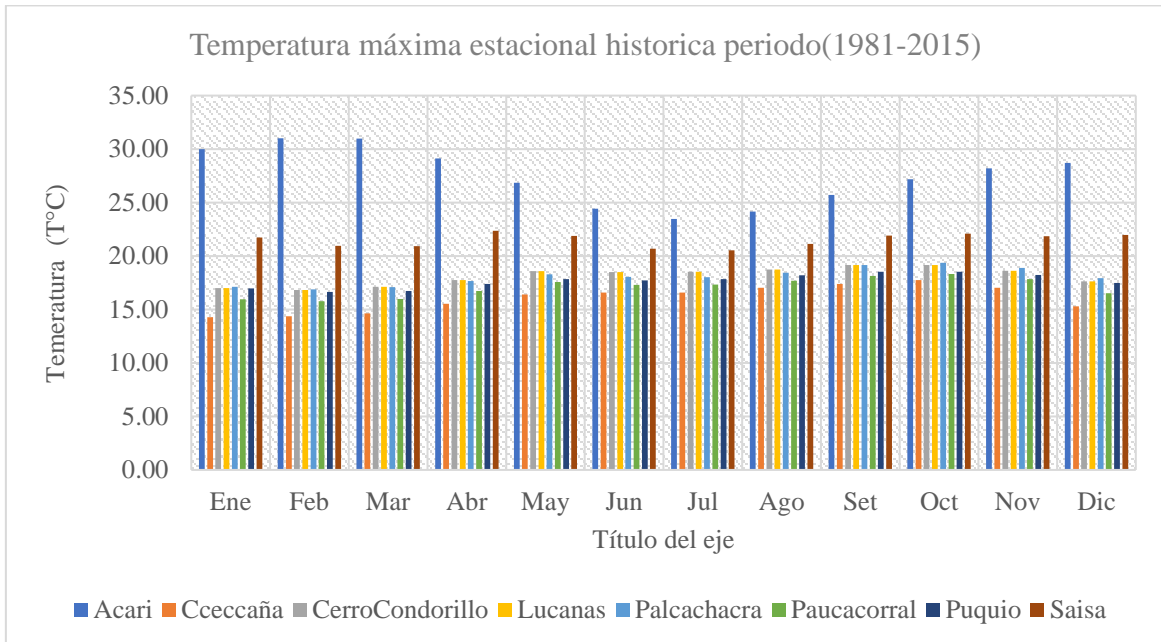


Figura 3.6. Temperatura máxima estacional descargada del (SENAMHI). PISCO para el periodo 1981-2015

b. Temperatura mínima

Producto PISCO para las estaciones en la cuenca del río Acarí durante el período 1981-2015 se presentan en la Tabla 3.9. Temperatura mínima estacional descargada de (SENAMHI). PISCO para el periodo 1981-2015, mostrando la variabilidad mensual de la temperatura mínima en cada estación.

Variabilidad estacional

Las temperaturas mínimas siguen un patrón estacional claro, con las estaciones ubicadas en las zonas de mayor altitud presentando temperaturas más bajas durante todo el año.

- Julio es el mes más frío en Cceccaña, con una temperatura mínima de 1.29°C, mientras que en Acari, la temperatura mínima en el mismo mes es de 10.81°C.

- Febrero es el mes más cálido en cuanto a temperatura mínima en Acari, alcanzando 18.91°C, mientras que Cceccaña tiene 4.44°C.

Datos agregados

- El promedio anual de la temperatura mínima en Acari es de 14.17°C, mientras que en Cceccaña es de 2.81°C.
- El valor más bajo de temperatura mínima registrado es 1.29°C en Cceccaña en julio, mientras que el valor más alto es 18.91°C en Acari en febrero.

Tabla 3.9. Temperatura mínima estacional histórica descargada de (SENAMHI). PISCO para el periodo 1981-2015

Fecha	Acari	Cceccaña	CerroCondorillo	Lucanas	Palcachacra	Paucacorrall	Puquio	Saisa
Jan	17.72	4.23	6.68	6.68	6.42	5.78	6.92	9.89
Feb	18.91	4.44	6.82	6.82	6.66	5.84	7	9.85
Mar	17.91	3.84	5.93	5.93	5.98	4.93	5.95	9.53
Apr	15.69	3.11	5.13	5.13	4.97	4.01	4.95	8.89
May	13.18	1.49	3.15	3.15	2.91	2.32	3.17	6.57
Jun	11.42	2.24	3.1	3.1	2.68	2.89	3.3	4.98
Jul	10.81	1.29	2.56	2.56	2.44	2.15	2.66	4.39
Aug	10.89	2.35	3.53	3.53	3.4	3.22	3.72	4.99
Sep	11.45	2.11	4	4	3.93	3.26	4.26	6.2
Oct	12.41	2.85	4.83	4.83	4.61	4.09	5.07	7.23
Nov	13.88	2.33	4.73	4.73	4.54	3.8	5.08	7.51
Dec	15.76	3.44	5.89	5.89	5.66	4.94	6.2	8.98
Suma	170.04	33.71	56.35	56.35	54.19	47.24	58.28	89.01
Prom	14.17	2.81	4.7	4.7	4.52	3.94	4.86	7.42
Máx	18.91	4.44	6.82	6.82	6.66	5.84	7	9.89
Mín	10.81	1.29	2.56	2.56	2.44	2.15	2.66	4.39

La Figura 3.7. Temperatura mínima estacional histórica descargada de (SENAMHI). PISCO para el periodo 1981-2015 ilustra la distribución de las temperaturas mínimas en las estaciones estudiadas.

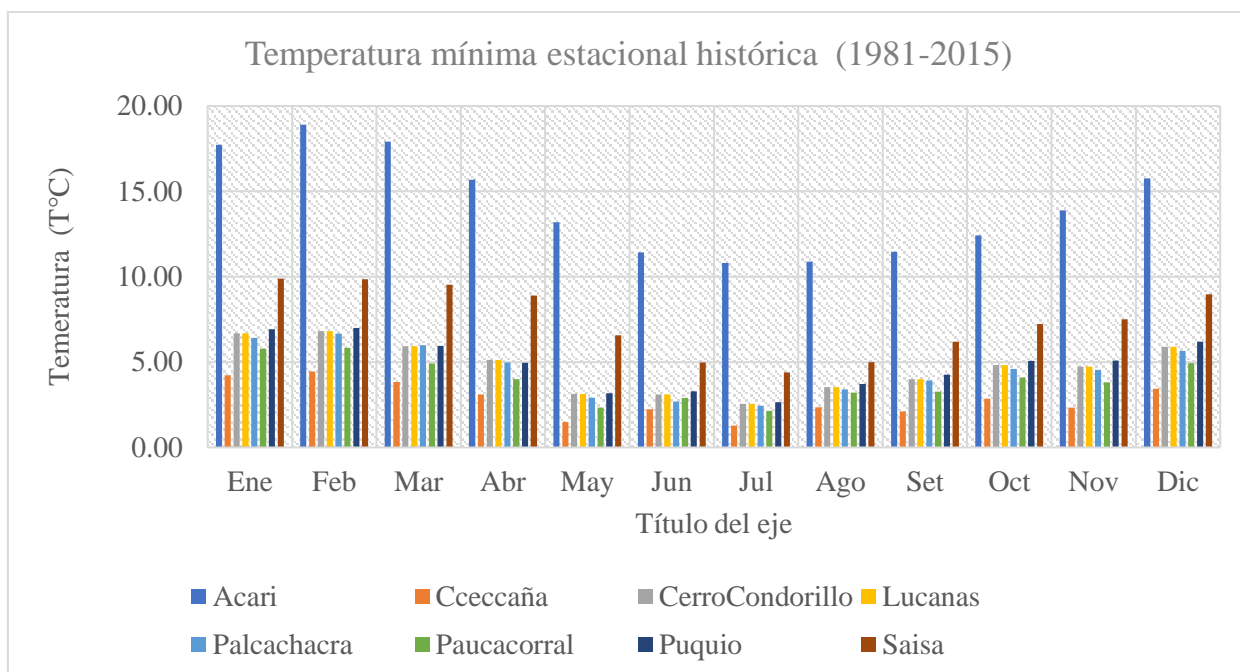


Figura 3.7. Temperatura mínima estacional histórica descargada de (SENAMHI). PISCO para el periodo 1981-2015

3.1.3.2 Caudal

Los resultados obtenidos de los caudales descargados de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para la estación hidrométrica La Joya en la cuenca del río Acarí durante el período 1981-2007 se presentan en la Tabla 3.10. Caudales (m^3/s) descargados del ANA para el periodo 1981 y 2007, mostrando la variabilidad mensual de los caudales en cada año.

Variabilidad estacional

Los caudales muestran una clara estacionalidad, con valores más altos durante los meses de verano (enero a marzo), coincidiendo con la temporada de lluvias en la región, y caudales más bajos durante los meses secos (mayo a octubre).

- Febrero es consistentemente el mes con mayores caudales. En 1999, se registró el valor más alto de todo el período, alcanzando $110.94 m^3/s$, mientras que el valor más bajo para este mes ocurrió en 1992, con solo $0.53 m^3/s$.
- Durante los meses de julio y agosto, los caudales disminuyen notablemente, con mínimos como $0.07 m^3/s$ en agosto de 1983.

Datos agregados

- El promedio anual de los caudales es de 19.50 m³/s, con los meses de febrero y marzo registrando los mayores promedios de caudal.
- El valor máximo registrado fue de 110.94 m³/s en febrero de 1999, y el valor mínimo fue 0.03 m³/s en noviembre de 1983.

Tabla 3.10. Caudal(m³/s) histórico descargado de la autoridad nacional de agua (Ana) para el periodo 1981 y 2007

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	3.96	50.22	27.89	15.67	0.71	0.43	0.32	0.29	0.16	0.19	0.25	13.61
1982	18.7	74.55	17.42	14.26	1.67	0.81	0.58	0.32	0.43	1.06	4.86	3.08
1983	5.13	4.65	12.52	10.65	0.72	0.29	0.13	0.07	0.12	0.05	0.03	5.03
1984	11.6	77.55	20.59	10.93	2.69	1.6	0.85	0.51	0.31	6.96	2.92	9.37
1985	4.31	54.68	27.16	17.2	4.16	4.42	1.27	0.66	0.5	0.45	0.91	3.92
1986	29.75	48.68	32.89	15.93	4.89	2.24	1.65	0.95	0.71	0.57	0.59	9.24
1987	30.46	23.94	4.41	1.56	0.74	0.58	0.66	0.36	0.32	0.33	0.24	1.04
1988	13.5	30.72	13.26	10.16	5.27	1.16	0.72	0.5	0.51	0.58	0.09	7.83
1989	31.79	86.43	52.81	21.94	3.27	2.29	1.47	0.88	0.53	0.71	1.34	0.14
1990	2.13	0.9	8.47	0.41	0.3	0.38	0.14	0.1	0.09	0.12	5.38	15.54
1991	16.26	21.75	89.52	9.88	2.48	0.79	0.56	0.4	0.32	0.51	0.49	0.44
1992	1.35	0.53	0.88	0.42	0.1	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.31
1993	16.27	25.38	32.34	11.02	2.21	0.25	0.18	0.67	0.58	0.73	1.66	4.78
1994	32.84	64.78	33.21	21.05	6.7	1.8	1.46	0.75	0.63	1.12	0.24	0.15
1995	12.44	2.97	16.35	6.35	0.92	0.66	0.57	0.28	0.54	0.29	2.89	1.1
1996	5.82	45.18	27.17	13.64	3.86	1.35	0.8	0.48	0.38	0.2	0.24	3.01
1997	12.02	56.86	18.66	4.35	0.89	0.52	0.45	1.15	0.78	0.39	0.97	7.4
1998	46.69	42.12	30.77	12.21	1.35	0.85	0.56	0.33	0.16	0.05	1.18	7.66
1999	11.19	110.94	93.75	37.79	5.23	1.43	1.2	0.8	0.49	1.16	0.3	2.88
2000	55.44	85.22	89.65	27.33	6.23	2.28	1.61	1.52	0.58	1.54	0.53	5.76
2001	61.85	66.297	72.135	49.32	6.43	2.98	2.24	1.38	0.89	1.49	1.05	0.37
2002	10.51	61.75	75.84	42.15	5.8	1.85	1.7	1.04	0.63	0.93	7.85	5.52
2003	21.22	53.12	82.06	29.73	3.19	1.12	0.76	0.49	0.23	0.09	0.17	4.16
2004	5.78	54.62	29.7	22.2	1.12	0.52	0.65	0.29	0.1	0.08	0.28	4.16
2005	7.03	14.73	16.62	11.67	0.74	0.37	0.21	0.15	0.23	0.04	0.2	9.5
2006	36.64	101.26	76.52	24.64	3.47	1.43	0.86	0.55	0.3	0.07	1.63	0.43
2007	21.75	16.58	50.42	27.03	3.51	1.07	0.77	0.5	0.29	0.14	0.48	1.17
Suma	526.43	1276.41	1053.02	469.49	78.65	33.55	22.46	15.51	10.90	19.94	36.86	127.60
Promedio	19.50	47.27	39.00	17.39	2.91	1.24	0.83	0.57	0.40	0.74	1.37	4.73
Máximo	61.85	110.94	93.75	49.32	6.70	4.42	2.24	1.52	0.89	6.96	7.85	15.54
Mínimo	1.35	0.53	0.88	0.41	0.10	0.08	0.09	0.07	0.09	0.04	0.03	0.14

La Figura 3.8. Caudal (m^3/s) mensual descargado de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para el periodo 1981 y 2007 ilustra la variabilidad mensual de los caudales durante el período analizado.

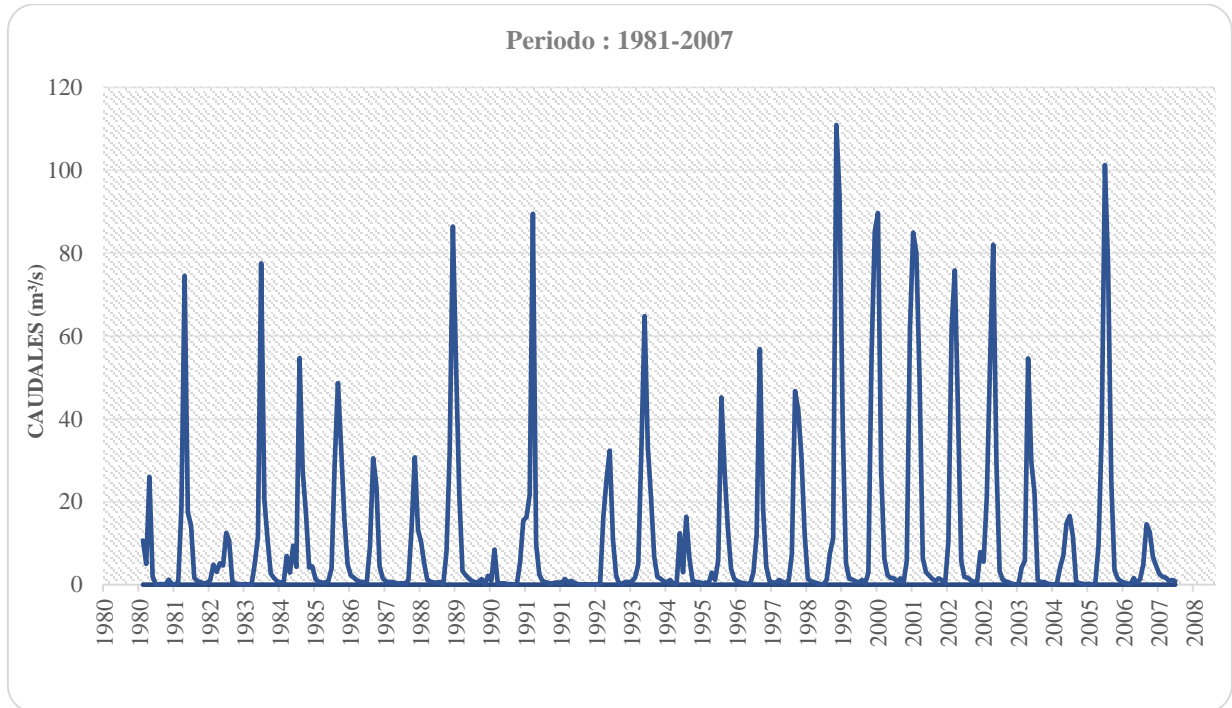


Figura 3.8. Caudal(m^3/s) mensual descargado de la autoridad nacional de agua (Ana) para el periodo 1981 y 2007

3.1.3.3 Análisis estadístico de las series temporales

En este estudio, se realizaron dos pruebas estadísticas principales (Mann-Kendall y T de Student) para analizar las series temporales de precipitación y caudales en ocho estaciones de la cuenca estudiada: Acari, Cceccaña, Cerro Condorillo, Lucanas, Palcachacra, Paucacorrall, Puquio y Saisa. Estas pruebas permiten evaluar si existen tendencias significativas o diferencias en los datos que indiquen cambios en las condiciones hidrológicas y climáticas, particularmente en el contexto del cambio climático.

Prueba de Mann-Kendall

Mann-Kendall: El análisis de tendencias a largo plazo mediante la prueba de Mann-Kendall, cuyos resultados se resumen en la Tabla 3.11 no detectó tendencias significativas en las series temporales de precipitación en ninguna de las estaciones analizadas.

- Los resultados sugieren que no se pueden inferir cambios sistemáticos en las series temporales de precipitación y caudal en el período estudiado. Es decir, los datos no muestran señales de un aumento o disminución consistente que se pueda atribuir al cambio climático u otras causas a largo plazo.
- La ausencia de tendencias significativas es un indicador de estabilidad en las condiciones hidrológicas y climáticas durante el período de análisis. Esto es crucial para la evaluación del impacto del cambio climático, ya que sugiere que, al menos hasta el momento, no se observan alteraciones sustanciales en las estaciones estudiadas.

Tabla 3.11. Resultado del análisis estadístico de la precipitación - Prueba de Mann-Kendall

Estación	Estadístico de prueba	Valores críticos ($\alpha = 0.1, 0.05, 0.01$)	Significancia
Acari	0.548	1.645, 1.96, 2.576	No significativo
Cceccaña	0.67	1.645, 1.96, 2.576	No significativo
CerroCondorillo	1.203	1.645, 1.96, 2.576	No significativo
Lucanas	1.203	1.645, 1.96, 2.576	No significativo
Palcachacra	1.203	1.645, 1.96, 2.576	No significativo
Paucacorral	0.983	1.645, 1.96, 2.576	No significativo
Puquio	1.185	1.645, 1.96, 2.576	No significativo
Saisa	0.539	1.645, 1.96, 2.576	No significativo

Prueba T de Student

T de Student: La Prueba de T de Student, cuyos resultados se encuentran en la Tabla 3.12 confirma que no se observan diferencias significativas en las medias de las series temporales de precipitación en las estaciones estudiadas.

- Estos resultados refuerzan la conclusión de que las condiciones hidrológicas en las estaciones analizadas no han experimentado cambios significativos en los periodos comparados. No hay evidencia de alteraciones importantes en las medias de precipitación y caudal que sugieran un impacto climático notable.
- La prueba T de Student complementa el análisis de tendencias, proporcionando una confirmación adicional de la estabilidad de los datos. Esto es especialmente importante para la gestión de recursos hídricos, ya que sugiere que no hay necesidad de modificar las estrategias históricas basadas en las condiciones históricas de las estaciones.

Tabla 3.12. Resultados de la comparación estadística de las series de precipitación en la cuenca del río Acarí - Prueba T de Student

Estación	Estadístico de prueba	Valores críticos ($\alpha = 0.1, 0.05, 0.01$)	Significancia
Acari	1.183	1.654, 1.973, 2.603	No significativo
Cceccaña	-1.126	1.654, 1.973, 2.603	No significativo
CerroCondorillo	-1.58	1.654, 1.973, 2.603	No significativo
Lucanas	-1.58	1.654, 1.973, 2.603	No significativo
Palcachacra	-1.58	1.654, 1.973, 2.603	No significativo
Paucacorral	-1.23	1.654, 1.973, 2.603	No significativo
Puquio	-1.318	1.654, 1.973, 2.603	No significativo
Saisa	-0.976	1.654, 1.973, 2.603	No significativo

El análisis estadístico mediante las pruebas de Mann-Kendall y T de Student indica que no hay evidencia suficiente para afirmar que existan tendencias o cambios significativos en las series temporales de las ocho estaciones estudiadas. Todos los resultados muestran que las variaciones observadas en los datos pueden atribuirse al azar, en lugar de a un cambio sistemático en las condiciones climáticas o hidrológicas de la región.

Estos resultados son importantes para entender la estabilidad de los datos a lo largo del tiempo en la cuenca estudiada. La falta de tendencias significativas sugiere que las condiciones hidrológicas y climáticas en estas estaciones han permanecido relativamente constantes durante el periodo analizado. Sin embargo, es esencial considerar otras variables

y posibles efectos a largo plazo que podrían no haber sido capturados por las pruebas utilizadas en este análisis.

Este análisis estadístico proporciona una base para decisiones futuras sobre la gestión de recursos hídricos, sugiriendo que, al menos para el periodo y las estaciones estudiadas, no se observan cambios significativos que requieran ajustes en las estrategias históricas de manejo.

3.1.4 Discusión

La caracterización geomorfológica y climática de la cuenca del río Acarí proporcionó una base sólida para el análisis hidrológico y la modelación con SWAT, lo que es esencial para gestionar adecuadamente los recursos hídricos en esta región costera del Perú. Este tipo de caracterización no solo es fundamental para el desarrollo de modelos hidrológicos precisos, sino también para comprender las dinámicas físicas y ambientales que afectan la disponibilidad hídrica bajo escenarios de cambio climático.

Creación de la cuenca hidrográfica y su red de drenaje

El modelo SWAT generó 15 subcuencas para la cuenca del río Acarí, lo que permitió un análisis detallado de sus características geomorfológicas. Estas incluyen una superficie total de 3736.38 km², un perímetro de 659.58 km, y una longitud total del cauce principal de 165.73 km. La pendiente del cauce principal es del 2.13%, lo que sugiere que la cuenca presenta pendientes moderadas que pueden influir en los tiempos de concentración de la escorrentía, que según la metodología de Kirpich fue calculado en 862 minutos. Este valor indica un tiempo relativamente largo para que el agua se concentre y llegue al punto de salida de la cuenca, lo que es característico en cuencas montañosas con pendientes moderadas y altas.

La caracterización geomorfológica obtenida es consistente con estudios en otras cuencas de la costa peruana, como la investigación de Mendoza et al. (2020) en la cuenca del río Chancay, que también presentó pendientes moderadas y tiempos de concentración prolongados debido a la morfología de su cuenca. Este tipo de análisis es crucial para prever cómo la topografía puede influir en el comportamiento hidrológico y en la susceptibilidad a inundaciones o sequías.

Creación de las unidades de respuesta hidrológica (HRU)

El modelo SWAT generó un total de 566 HRU en la cuenca del río Acarí, lo que permitió una segmentación detallada basada en el uso del suelo, el tipo de suelo y las pendientes. Este nivel de detalle es importante para representar espacialmente los procesos hidrológicos. Los pastizales cubren el 71.07% del área de la cuenca, seguidos por áreas de suelo desnudo (14.97%) y bosques (10.35%). Este patrón de uso del suelo está alineado con las prácticas de manejo del territorio en la región, donde la ganadería y la agricultura juegan un papel importante en la economía local.

La predominancia de pastizales y suelos desnudos implica un riesgo elevado de erosión y pérdida de capacidad de infiltración, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas. Según Pizarro et al. (2018), en estudios realizados en cuencas andinas, estas áreas tienden a sufrir una mayor degradación del suelo, lo que puede afectar negativamente el ciclo hidrológico y aumentar la escorrentía superficial, incrementando el riesgo de eventos erosivos.

Análisis del Tipo de suelo y pendiente

El tipo de suelo predominante en la cuenca del río Acarí es el I-Tv-c-5542 (54.90%), que se caracteriza por ser un suelo bien drenado y fértil, adecuado para la agricultura. Sin embargo, la presencia de suelos bien drenados en combinación con pendientes altas (20-50%) en el 39.75% del área de la cuenca y pendientes extremadamente pronunciadas (50-100%) en el 22.26% del área implica un riesgo significativo de erosión y escorrentía acelerada. Estos riesgos se incrementan en áreas con suelo desnudo y actividades agrícolas intensivas, como lo reporta Briones et al. (2019), donde las prácticas inadecuadas de uso del suelo en áreas con pendientes elevadas exacerbaban la erosión y reducen la capacidad de retención hídrica del suelo.

Este comportamiento también se observa en estudios de cuencas en otras partes del mundo. Arnold et al. (2012) destacan la importancia de la correcta caracterización de suelos y pendientes en modelos hidrológicos para predecir con mayor precisión los flujos de agua y los impactos a largo plazo en la calidad y cantidad de agua disponible.

Uso de suelo e impacto en la hidrología

El predominio de los pastizales y las áreas de suelo desnudo en la cuenca del río Acarí plantea desafíos para la gestión de los recursos hídricos. Estas áreas son más vulnerables a la escorrentía superficial rápida y a la erosión, lo que puede afectar la disponibilidad de agua durante la estación seca. Estudios como el de Valencia et al. (2017) en los Andes peruanos han demostrado que la falta de cobertura vegetal en zonas de pendientes pronunciadas incrementa el riesgo de degradación del suelo y reduce la infiltración, lo que afecta tanto la calidad del agua como la capacidad de recarga de los acuíferos.

3.2 Calibración y validación del modelo hidrológico SWAT para simular caudales históricos, y optimizar los parámetros del modelo mediante el análisis de sensibilidad usando SWAT-CUP

3.2.1 Análisis de sensibilidad en el modelo hidrológico Swat

En este apartado se describen los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad y los valores ajustados de los parámetros más influyentes en el modelo hidrológico de la cuenca del río Acarí. Los parámetros fueron evaluados utilizando el análisis SUFI-2 en SWAT-CUP, lo que permitió identificar los 7 parámetros más sensibles de un total de 14. A continuación, se detallan los resultados en términos de los valores de t-stat y p-value, así como los rangos de valores y los ajustes realizados en cada parámetro clave.

- **v_ESCO.hru** (Coeficiente de Evapotranspiración del Suelo - Soil Evaporation Compensation Factor): es el parámetro más sensible, con un valor ajustado de 0.935 dentro de su rango de 0.8 a 1.0. Este parámetro afecta directamente la evapotranspiración, un proceso clave en el ciclo hidrológico de la cuenca.
- **v_ALPHA_BF.gw** (Coeficiente Alfa para el Flujo Base - Baseflow Alpha Factor): tiene un valor ajustado de 0.047 y controla el flujo base del acuífero hacia el arroyo. Su sensibilidad moderada es crucial para representar adecuadamente los flujos subterráneos.
- **v_GWQMN.gw** (Nivel Mínimo de Agua Subterránea para Flujo Base - Threshold Depth of Water in the Shallow Aquifer for Return Flow to Occur): Con un valor ajustado de 0.013, regula el nivel mínimo de agua en el acuífero necesario para que ocurra el flujo base, afectando la dinámica de recarga subterránea.

- `v__CH_N2.rte` (Coeficiente de Rugosidad de Manning para Canales Principales - Manning's "n" Value for the Main Channel): Ajustado a 0.014, es el coeficiente de rugosidad de Manning para los canales principales, que controla la velocidad del flujo en el cauce principal.
- `v__GW_REVAP.gw` (Coeficiente de Reevaporación del Agua Subterránea - Groundwater Revap Coefficient): Tiene un valor ajustado de 0.199, y determina la proporción de agua subterránea que es reevaporada hacia la zona no saturada, afectando el balance hídrico del sistema.
- `r__OV_N.hru` (Coeficiente de Rugosidad de Manning para Escorrentía Superficial - Manning's "n" Value for Overland Flow): Ajustado a 0.147, controla la rugosidad superficial y la velocidad de escorrentía en el terreno, con influencia directa en la velocidad y volumen del escurrimiento superficial.
- `r__CN2.mgt` (Número de Curva de Escorrentía - SCS Curve Number for Moisture Condition II): Con un valor ajustado de -0.002, es el coeficiente de curva de escorrentía, que tiene un impacto significativo en la cantidad de escorrentía superficial que se genera en función de las características del suelo y el uso del terreno.

El gráfico de t-stat y p-value (Figura 3.9. Análisis de sensibilidad en el modelo hidrológico SWAT) muestra visualmente la influencia y la significancia de cada parámetro en el modelo. Los valores más cercanos a cero en p-value y los más negativos en t-stat indican que el parámetro tiene un mayor impacto en la respuesta del modelo hidrológico.

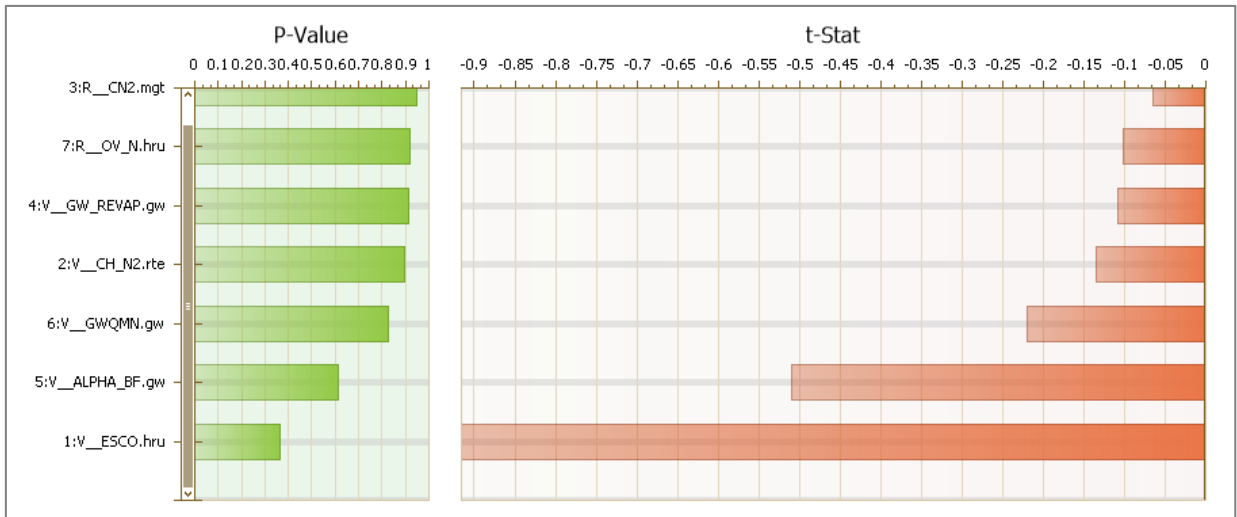


Figura 3.9. Análisis de sensibilidad en el modelo hidrológico SWAT

Posteriormente, los resultados de los parámetros más sensibles se resumen en la Tabla 3.13. Descripción de los parámetros sensibles para el modelo SWAT, donde se presentan los valores de t-stat, p-value, el rango de valores en SWAT y los valores ajustados para los siete parámetros más influyentes.

Tabla 3.13. Descripción de los parámetros sensibles para el modelo SWAT

Parámetro	t-stat	p-value	Rango de valores de swat	Valor ajustado
v__ESCO.hru	-0.9	0.100	0.8 a 1.0	0.952
v__ALPHA_BF.gw	-0.6	0.500	0.0 a 1.0	0.047
v__GWQMN.gw	-0.05	0.900	0.0 a 2.0	0.013
v__CH_N2.rte	-0.55	0.500	0.0 a 0.3	0.014
v__GW_REVAP.gw	-0.45	0.300	0.0 a 0.2	0.199
r__OV_N.hru	-0.5	0.400	-0.2 a 0.0	0.147
r__CN2.mgt	-0.75	0.700	-0.2 a 0.2	0.005

Nota. Se describe los parámetros sensibles para el modelo SWAT.

Posterior al análisis de sensibilidad, se procedió a realizar el proceso de calibración y validación. En el proceso de calibración, se dividió el conjunto de datos de flujo en dos partes: dos tercios se emplearon para ajustar los parámetros del modelo SWAT y garantizar una configuración óptima. Esta fase de calibración buscó minimizar las discrepancias entre las salidas del modelo y los datos observados de flujo de agua. Posteriormente, el tercio restante de los datos de flujo se reservó para la validación del modelo. Esta etapa de validación tuvo como objetivo confirmar la eficacia del modelo ajustado y su capacidad para

generalizar más allá del período de calibración, evaluando su rendimiento en un contexto temporal diferente.

3.2.2 Comprobación del desempeño del modelo

Periodo de calibración (1982-1997)

Durante el periodo de calibración (1982-1997), el modelo SWAT mostró un desempeño satisfactorio. Se obtuvo un coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de 0.70, lo que indica que el modelo tiene una capacidad razonable para replicar los caudales observados. El porcentaje de sesgo (PBIAS) fue de -6.35%, sugiriendo una ligera subestimación por parte del modelo en las simulaciones. El coeficiente de determinación (R^2) fue de 0.75, lo que muestra una correlación fuerte entre los caudales simulados y observados. La Figura 3.8. Serie comparativa de caudales observados y simulados durante el periodo de calibración (1982-1997) presenta gráficamente estas comparaciones, mostrando la capacidad del modelo para seguir las fluctuaciones estacionales. Los resultados se resumen en la Tabla 3.14. Indicadores del periodo de calibración (1982-1997), donde se muestra que el caudal medio observado fue de 8.53 m³/s y el caudal medio simulado alcanzó 9.11 m³/s.

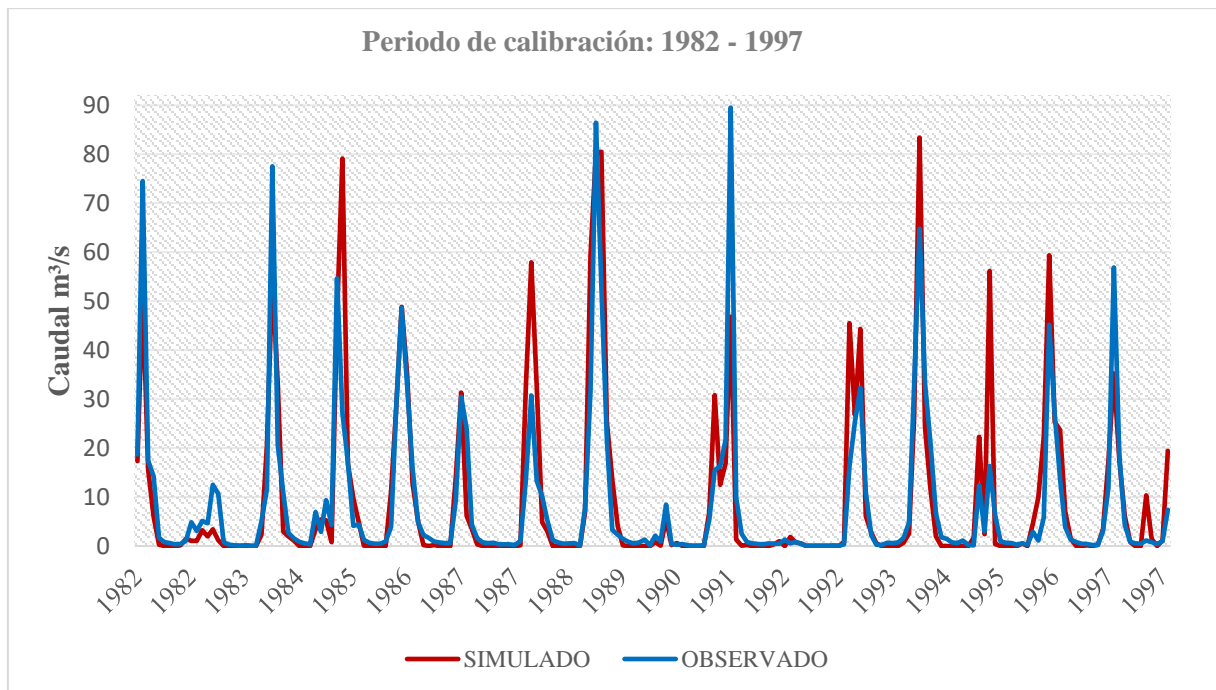


Figura 3.8. Serie comparativa de caudales observados y simulados durante el periodo de calibración (1982-1997)

Tabla 3.14. Indicadores del periodo de calibración (1982-1997).

Indicador	Valor	Unidades
Caudal medio observado (Q _{rm})	8.53	m ³ /s
Caudal medio simulado (Q _{sm})	9.11	m ³ /s
Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)	0.70	-
Porcentaje de Sesgo (PBIAS)	-6.35	%
Coefficiente de Determinación (R ²)	0.75	-
Número de datos	192.00	-

Nota. Se detalla los valores de los diversos índices de evaluación del desempeño del modelo.

Periodo de validación (1998-2007)

Para el Periodo de validación (1998-2007), el rendimiento del modelo mejoró, obteniendo un NSE de 0.80, lo que indica una replicación precisa de los caudales observados. El PBIAS fue de 24.81%, mostrando una tendencia a la subestimación en las simulaciones. El coeficiente de determinación (R²) fue de 0.80, lo que refleja una alta correlación entre los caudales observados y simulados. La Figura 3.9. Serie comparativa de caudales observados y simulados durante el periodo de validación (1998-2007) ilustra gráficamente estas comparaciones, mostrando cómo el modelo sigue las fluctuaciones estacionales. Los resultados detallados se presentan en la Tabla 3.15. Indicadores del segundo periodo (1998-2007), donde el caudal medio observado fue de 15.41 m³/s, mientras que el caudal medio simulado fue de 12.72 m³/s.

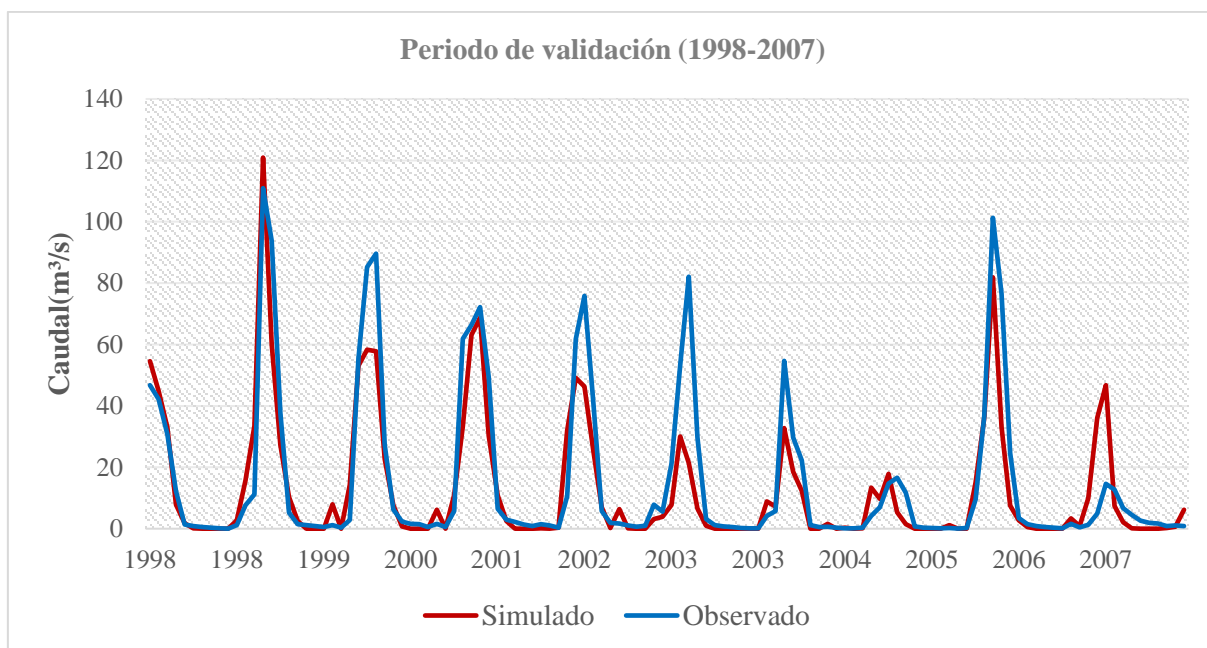


Figura 3.9. Serie comparativa de observada y simulada del periodo de validación

Nota. Se representa la serie de tiempo de la data observada como la simulada

Tabla 3.15. Indicadores el periodo de validación.

Indicador	Valor	Unidades
Caudal medio observado (Q _{rm})	15.41	m ³ /s
Caudal medio simulado (Q _{sm})	12.72	m ³ /s
Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)	0.80	-
Porcentaje de Sesgo (PBIAS)	24.81	%
Coefficiente de Determinación (R ²)	0.80	-
Número de datos	120.00	-

Nota. Se detalla los valores de los diversos índices de evaluación del desempeño del modelo.

3.2.3 Resultados de los componentes hidrológicos histórico

El análisis de los resultados obtenidos a partir del modelo SWAT aplicado a la cuenca del río Acarí durante el período 1985-2015 pone en evidencia una marcada variabilidad estacional en los tres componentes principales del ciclo hidrológico: evapotranspiración, precipitación y caudal. Estos resultados, presentados en la Tabla 3.16, se muestra cómo estos factores varían mes a mes, reflejando los patrones climáticos estacionales de la región.

Tabla 3.16. Resultados del modelamiento hidrológico en la cuenca del río Acarí (1985-2015)

Mes	N° de días del mes	Evapotranspiración	Precipitación	Caudal
		mm/mes	mm/mes	mm/mes
Ene	30	58.15	87.31	6.98
Feb	28	68.41	102.70	12.30
Mar	31	71.81	85.77	11.87
Abr	30	37.27	22.39	4.77
May	31	12.50	2.81	2.14
Jun	30	6.90	1.34	0.29
Jul	31	5.16	1.45	0.11
Ago	31	5.10	2.83	0.09
Set	30	6.03	3.97	0.06
Oct	31	9.26	7.30	0.08
Nov	30	12.72	11.40	0.13
Dic	31	28.73	40.70	1.65
Suma		1091.62	367.21	116.39
Promedio		90.97	30.6	9.7
Máximo		120.29	100.51	35.63
Mínimo		59.82	1.42	0

Evapotranspiración (ET)

La evapotranspiración mensual varía significativamente a lo largo del año, influenciada principalmente por la disponibilidad de agua en el suelo (derivada de las precipitaciones) y las condiciones climáticas (temperatura y humedad). Los resultados muestran que:

- Los meses de mayor evapotranspiración coinciden con la temporada de lluvias, particularmente en enero, febrero y marzo, donde los valores de ET alcanzan los 58.15 mm en enero, 68.41 mm en febrero, y 71.81 mm en marzo.
- Durante los meses de invierno y principios de primavera, la evapotranspiración se reduce significativamente, con valores mínimos en julio (5.16 mm) y agosto (5.10 mm). Esto es coherente con la menor disponibilidad de agua en el suelo debido a las precipitaciones más bajas en ese período.
- A lo largo del año, la evapotranspiración total para la cuenca es de 1091.62 mm, con un promedio mensual de 90.97 mm.

Precipitación

La precipitación promedio mensual presenta una clara estacionalidad, con la mayor parte de las lluvias concentradas en los meses de verano (enero a marzo), lo que coincide con la temporada de lluvias en la región andina:

- El mes de febrero es el más lluvioso, con una precipitación de 102.70 mm, seguido de enero con 87.31 mm y marzo con 85.77 mm.
- Durante la temporada seca (de mayo a octubre), las precipitaciones son extremadamente bajas, con mínimos de 1.34 mm en junio y 1.45 mm en julio, prácticamente inexistentes.
- El total anual de precipitación acumulada es de 367.21 mm, con un promedio mensual de 30.6 mm.

Caudal

El caudal del río Acarí sigue el patrón de la precipitación, ya que es directamente afectado por el volumen de agua que ingresa a la cuenca:

- Durante los meses de mayor precipitación enero a marzo, el caudal promedio mensual alcanza su pico, con 6.98 mm en enero, 12.30 mm en febrero y 11.87 mm en marzo.
- En los meses más secos del año, los caudales se reducen drásticamente. Por ejemplo, en julio y agosto, los caudales son prácticamente insignificantes, alcanzando mínimos de 0.11 mm y 0.09 mm, respectivamente.
- El caudal total acumulado para el período estudiado es de 116.39 mm, con un promedio mensual de 9.7 mm. Los resultados reflejan una gran dependencia del régimen de lluvias en la generación de caudales.

Máximos y mínimos

- **Máximo:** Los valores máximos para los tres parámetros coinciden durante los meses de mayor precipitación. En febrero, se registró la mayor evapotranspiración (120.29 mm) y el mayor caudal (35.63 mm), lo que corresponde al periodo de lluvias más intensas.

- **Mínimo:** Los valores más bajos de precipitación y caudal se dieron durante los meses de la temporada seca, particularmente en junio, julio y agosto, donde la precipitación mínima fue de 1.42 mm y el caudal llegó a 0 mm en algunos puntos de la cuenca.

3.2.4 Discusión

El análisis de sensibilidad realizado para el modelo SWAT en la cuenca del río Acarí permitió identificar los parámetros más influyentes en la simulación de caudales históricos. Utilizando el método SUFI-2 en SWAT-CUP, se evaluaron 15 parámetros hidrológicos, de los cuales se destacaron 7 como los más sensibles. Este análisis es crucial para garantizar una calibración precisa del modelo, lo que se traduce en simulaciones más exactas y confiables (Arnold et al., 2012).

El parámetro más sensible fue el `v__ESCO.hru`, relacionado con el coeficiente de compensación de la evapotranspiración del suelo, con un valor ajustado de 0.952 dentro del rango de 0.8 a 1.0. Este parámetro tiene un impacto directo en la evapotranspiración, un proceso fundamental en el balance hídrico de la cuenca. En estudios realizados en cuencas semiáridas, como el trabajo de Romero (2017) en la cuenca del río Mantaro, también se identificó el `v__ESCO.hru` como uno de los parámetros más influyentes. La similitud en estos resultados destaca la importancia de la evapotranspiración en cuencas donde el agua disponible es limitada y la regulación de este proceso se vuelve crítica para la simulación hidrológica precisa (Romero, 2017).

Otro parámetro significativo fue el `v__ALPHA_BF.gw`, que regula el flujo base del acuífero hacia los ríos. Con un valor ajustado de 0.047, este parámetro tiene una sensibilidad moderada, pero es crucial para la correcta representación del flujo subterráneo. Estudios como el de Flores (2020), en la cuenca del río Santa, también identificaron este parámetro como clave en la modelación de caudales, especialmente en áreas donde los acuíferos poco profundos juegan un rol importante en el mantenimiento del flujo durante las temporadas secas (Flores, 2020). Este comportamiento es consistente con lo observado en la cuenca del río Acarí, donde los flujos base son esenciales para la disponibilidad hídrica durante la estación seca.

La calibración y validación de modelos hidrológicos son procesos cruciales para asegurar que las simulaciones sean precisas y representen adecuadamente los patrones hidrológicos

observados. En este estudio, se realizaron 300 simulaciones utilizando el algoritmo SUFI-2 en SWAT-CUP, lo que permitió ajustar los parámetros del modelo SWAT y evaluar su desempeño para replicar los caudales históricos de la cuenca del río Acarí. Los indicadores utilizados para evaluar la precisión del modelo fueron el Índice de Nash-Sutcliffe (NSE), el Porcentaje de Sesgo (PBIAS) y el Coeficiente de Determinación (R^2).

Calibración del modelo

Durante el proceso de calibración (1982-1997), el NSE fue de 0.70, lo que según los criterios de Moriasi et al. (2007), califica como un desempeño "bueno" (entre 0.65 y 0.75). Este resultado indica que el modelo fue capaz de replicar los caudales observados con precisión razonable, aunque con algunas discrepancias. Un NSE superior a 0.65 es aceptado en la mayoría de los estudios hidrológicos para simular cuencas similares, como lo demuestra Flores (2020) en su trabajo con la cuenca del río Santa, donde también se reportó un NSE satisfactorio durante la fase de calibración. La similitud de estos resultados refuerza la capacidad del modelo SWAT para replicar caudales en cuencas peruanas con características hidrológicas comparables (Flores, 2020).

En cuanto al PBIAS, el valor obtenido fue de -6.35%, lo que indica una leve subestimación de los caudales simulados respecto a los observados. Este valor se encuentra dentro del rango considerado "excelente" para el desempeño del modelo ($PBIAS < \pm 10$), según los estándares de Moriasi et al. (2007). En estudios como el de Hernández (2018) en la cuenca del río Rímac, también se observó un PBIAS bajo durante la fase de calibración, lo que sugiere que el modelo no tiende a sobreestimar ni subestimar significativamente los caudales en cuencas de la región andina.

El Coeficiente de Determinación (R^2) fue de 0.75 durante la calibración, lo que refleja una correlación fuerte entre los caudales simulados y observados. Según Santhi et al. (2001), un valor de R^2 superior a 0.5 se considera satisfactorio, ya que indica que más del 50% de la variabilidad en los datos observados es explicada por el modelo. Esto muestra que el modelo SWAT es eficaz para captar las variaciones hidrológicas en la cuenca, tal como lo han reportado otros estudios hidrológicos en el Perú y en el mundo.

Validación del modelo

En el periodo de validación (1998-2007), el modelo mejoró su desempeño, obteniendo un NSE de 0.80, lo que según Moriasi et al. (2007) se clasifica como "excelente". Esto

demuestra que el modelo, después de ser calibrado, es capaz de generalizar y replicar con precisión los caudales observados en un periodo diferente al de calibración. Esta mejora en el desempeño del modelo también fue reportada en estudios internacionales, como el de Ma et al. (2019) en la cuenca del río Amarillo en China, donde se observó una mejora significativa en el NSE durante la validación después de un proceso exhaustivo de calibración (Ma et al., 2019).

Sin embargo, el PBIAS durante la validación fue de 24.81%, lo que indica una tendencia mayor del modelo a subestimar los caudales en este periodo, calificando como "satisfactorio" según los criterios de Moriasi et al. (2007). Este aumento en el sesgo de subestimación es consistente con lo observado en estudios como el de Hernández (2018), donde el PBIAS también se incrementó durante la fase de validación. Este comportamiento puede deberse a la alta variabilidad estacional de las precipitaciones en cuencas andinas, lo que afecta la precisión del modelo para capturar los eventos de caudal máximo.

El R^2 fue de 0.80 durante la validación, lo que sigue indicando una fuerte correlación entre los caudales simulados y observados. Este valor es comparable con estudios previos, como el de Ouyang et al. (2020) en la cuenca del río Amarillo, donde también se reportó un R^2 elevado durante la validación, lo que confirma que el modelo SWAT es robusto para simular cuencas con patrones hidrológicos complejos.

Comparación con otros estudios

A nivel global, la calibración y validación de modelos hidrológicos como SWAT ha sido ampliamente utilizada para evaluar la disponibilidad hídrica bajo condiciones históricas y futuras. En Perú, estudios como el de Romero (2017) y Flores (2020) han demostrado que SWAT es eficaz para modelar cuencas con alta variabilidad estacional de caudales, como el río Mantaro y el río Santa. Estos estudios han reportado NSE y R^2 similares a los de este trabajo, lo que sugiere que la metodología empleada en la cuenca del río Acarí es adecuada para su contexto hidrológico.

A nivel internacional, el trabajo de Ma et al. (2019) y Ouyang et al. (2020) también refuerzan la validez del modelo SWAT cuando se combina con el algoritmo SUFI-2 para realizar simulaciones precisas de caudales históricos y futuros. Estos estudios han demostrado que, incluso en cuencas con características hidrológicas y climáticas diversas, el modelo SWAT

puede ser calibrado y validado con éxito para generar predicciones confiables, especialmente en el contexto del cambio climático.

3.3 Simulación de la disponibilidad hídrica futura en la cuenca del río Acarí bajo escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE).

3.3.1 Generación de datos para la simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP5-8.5 (BASD-CMIP6-PE)

Precipitación proyectada

En la Tabla 3.17 se presentan la precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el Escenario SSP5-8.5 (2015-2100). Los datos reflejan una amplia variabilidad intermensual, con valores de precipitación que oscilan entre un mínimo de 0.05 mm (registrado en julio) y un máximo de 6.77 mm (en febrero). El promedio mensual de precipitación para toda la serie de datos es de 1.62 mm, siendo febrero el mes con la mayor cantidad de precipitación proyectada y junio el mes más seco. En la Figura 3.10, se observa la precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el Escenario SSP5-8.5 (2015-2100).

Además, la Figura 3.11 muestra la precipitación anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100).

Tabla 3.17. Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

FECHA	PROM	CNRM-CM6-1	CNRM-ESM2-1	CanESM5	EC-Earth3	GFDL-ESM4	IPSL-CM6A-LR	MIROC6	MPI-ESM1-2-HR	MRI-ESM2-0	UKESM1-0-LL
Ene	4.5	5.04	4.89	5.04	4.25	4.23	3.86	4.47	4.43	4.16	4.6
Feb	5.38	5.66	6.77	5.66	5.4	5.38	4.77	4.8	4.96	4.88	5.53
Mar	4	4.03	4.04	4.03	4.24	3.83	4.16	3.65	3.91	3.85	4.3
Abr	1.44	1.57	1.42	1.57	1.63	1.19	1.69	1.14	1.51	1.23	1.43
May	0.19	0.21	0.25	0.21	0.21	0.14	0.15	0.23	0.19	0.18	0.17
Jun	0.08	0.07	0.13	0.07	0.07	0.04	0.07	0.17	0.05	0.05	0.07
Jul	0.08	0.05	0.09	0.05	0.09	0.06	0.09	0.16	0.09	0.04	0.1
Ago	0.14	0.16	0.14	0.16	0.12	0.09	0.17	0.14	0.1	0.13	0.15
Set	0.23	0.18	0.16	0.18	0.28	0.21	0.22	0.26	0.28	0.2	0.34
Oct	0.44	0.41	0.41	0.41	0.55	0.58	0.42	0.38	0.42	0.38	0.46
Nov	0.66	0.6	0.74	0.6	0.62	0.68	0.52	0.6	0.77	0.67	0.78
Dic	2.3	2.29	2.28	2.29	2.42	1.99	2.35	2.37	2.34	2.52	2.16
Suma	19.44	20.26	21.35	20.26	19.87	18.41	18.48	18.37	19.05	18.27	20.09
Prom	1.62	1.69	1.78	1.69	1.66	1.53	1.54	1.53	1.59	1.52	1.67
Máx	5.38	5.66	6.77	5.66	5.4	5.38	4.77	4.8	4.96	4.88	5.53
Mín	0.08	0.05	0.09	0.05	0.07	0.04	0.07	0.14	0.05	0.04	0.07

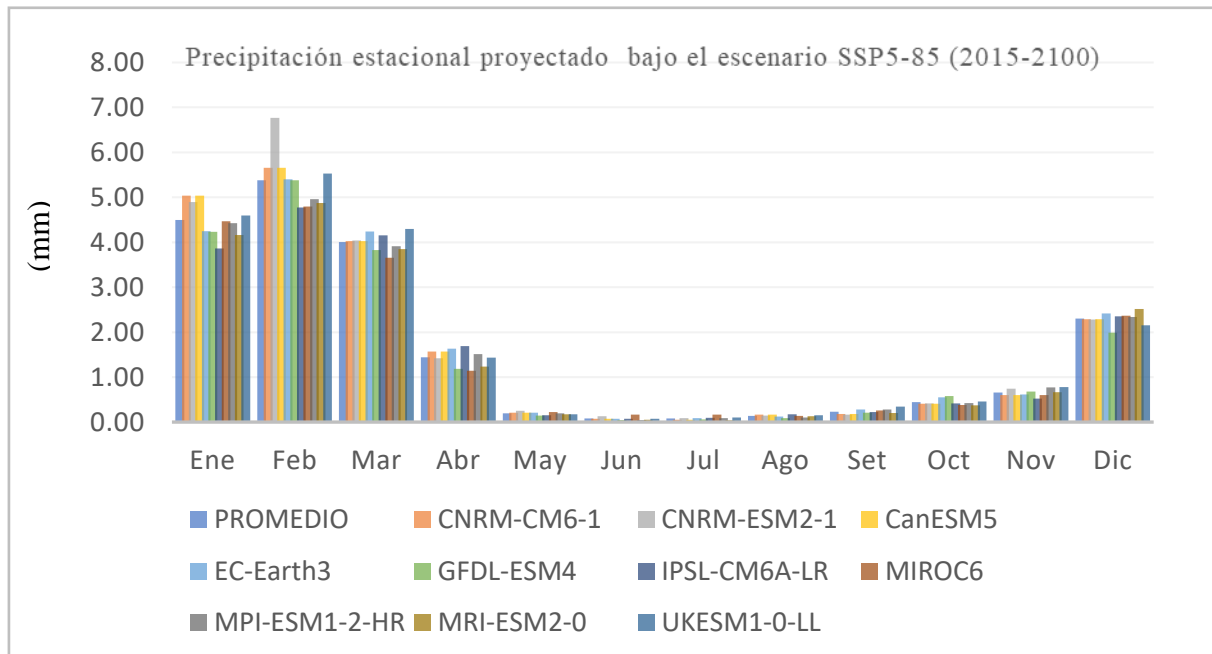


Figura 3.10. Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

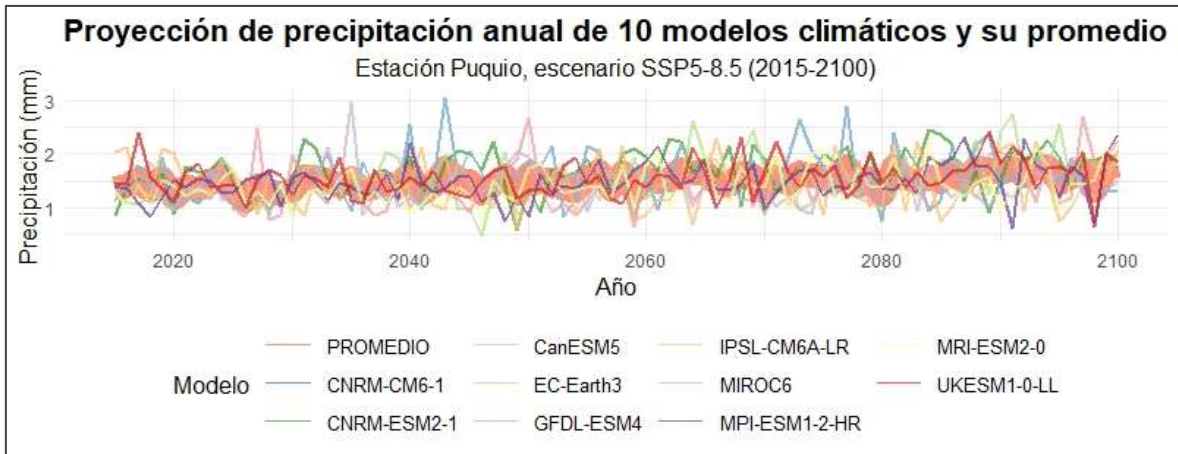


Figura 3.11. Precipitación anual de 10 modelos climáticos y su promedio en la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Temperatura máxima proyectada

En la Tabla 3.18 se presentan los temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100). Los datos muestran una variabilidad significativa a lo largo del año, con la temperatura máxima promedio alcanzando su punto más bajo en enero (18.94°C) y su punto más alto en septiembre (21.84°C). El promedio anual de la temperatura máxima es de 20.49°C, lo que indica una tendencia general al incremento durante los meses de verano. En la Figura 3.12 se muestra la temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100). Además, la Figura 3.13, se muestra la temperatura máxima anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100).

Tabla 3.18. Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

FECHA	PROM	CNRM-CM6-1	CNRM-ESM2-1	CanESM5	EC-Earth3	GFDL-ESM4	IPSL-CM6A-LR	MIROC6	MPI-ESM1-2-HR	MRI-ESM2-0	UKESM1-0-LL
Ene	18.94	19.35	18.88	18.34	19.1	18.71	19.41	18.21	18.4	19	20.02
Feb	18.98	19.51	18.69	18.39	18.97	18.45	19.14	18.68	18.65	19.24	20.1
Mar	19.36	19.74	19.2	19.16	19.36	18.79	19.49	19.06	18.8	19.49	20.51
Abr	20.01	20.21	19.62	20.47	19.77	19.71	19.91	20.09	18.94	20.09	21.27
May	20.78	20.8	20.18	21.25	20.27	21.13	20.84	20.66	19.95	20.67	22.07
Jun	20.73	20.82	20.35	21.25	20.48	20.89	20.76	19.94	20.18	20.73	21.93
Jul	20.95	21.33	20.77	21.51	20.8	20.68	20.9	20.33	20.04	21.04	22.09
Ago	21.35	21.58	21.26	21.97	21.53	20.96	21.25	20.82	20.45	21.34	22.35
Set	21.84	22.3	21.95	22.38	21.98	21.48	22.01	20.72	21.02	22.01	22.53
Oct	21.76	22.21	21.82	21.93	21.83	21.18	21.94	21.08	21.25	21.66	22.72
Nov	21.17	21.44	21.06	20.92	21.43	21.01	21.59	20.59	20.3	21.3	22.09
Dic	19.99	20.46	19.98	19.38	19.95	20.24	20.42	19.77	18.96	19.88	20.9
Suma	245.9	249.8	243.76	246.94	245.46	243.23	247.65	239.95	236.92	246.45	258.59
Prom	20.49	20.81	20.31	20.58	20.45	20.27	20.64	20	19.74	20.54	21.55
Máx	21.84	22.3	21.95	22.38	21.98	21.48	22.01	21.08	21.25	22.01	22.72
Mín	18.94	19.35	18.69	18.34	18.97	18.45	19.14	18.21	18.4	19	20.02

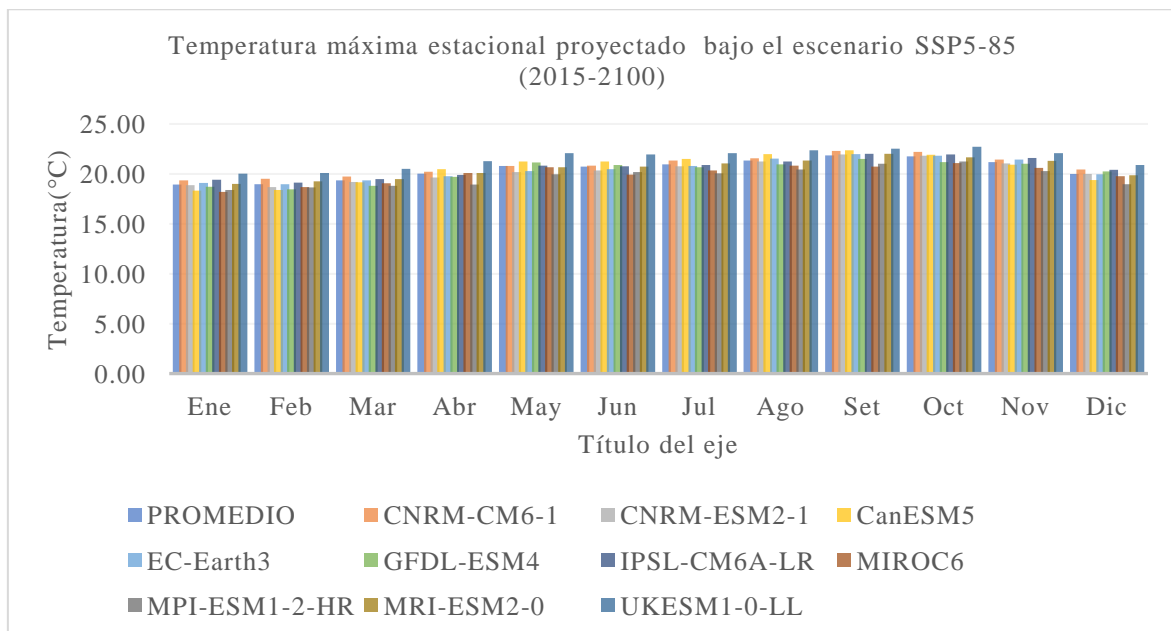


Figura 3.12. Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

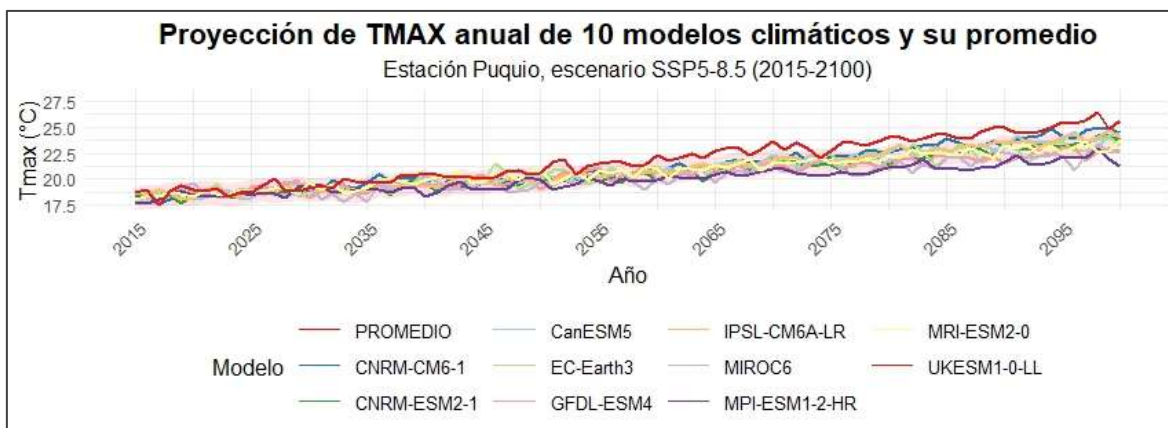


Figura 3.13. Temperatura máxima anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Temperatura mínima proyectada

En la Tabla 3.19 se presentan los promedios de temperatura mínima estacional proyectados por los 10 modelos climáticos para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5, durante el periodo 2015-2100. La temperatura mínima promedio más baja se registra en julio (5.67°C), mientras que la más alta ocurre en febrero (8.96°C). El promedio anual de la temperatura mínima es de 7.34°C , con temperaturas más frías durante los meses de invierno austral, de mayo a septiembre. En la Figura 3.14 se muestra la temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100). Asimismo, la Figura 3.15 ilustra la proyección anual de la temperatura mínima según los 10 modelos climáticos, destacando las tendencias futuras de las temperaturas mínimas en la cuenca del río Acarí para el periodo 2015-2100.

Tabla 3.19. Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM-CM6-1	CNRM-ESM2-1	CanESM5	EC-Earth3	GFDL-ESM4	IPSL-CM6A-LR	MIROC6	MPI-ESM1-2-HR	MRI-ESM2-0	UKESM1-0-LL
Jan	8.84	9.35	9.1	9.82	8.6	9.08	8.58	8.01	8.33	8.37	9.18
Feb	8.96	9.33	9.6	9.57	8.77	9.11	8.85	8.14	8.1	8.57	9.6
Mar	8.32	8.83	8.81	8.94	8.12	8.32	8.27	7.32	7.69	8.02	8.93
Apr	7.4	8.1	8.05	7.89	6.94	7.54	7.45	6.25	7.01	6.95	7.84
May	5.82	6.29	6.59	6.72	5.52	6.33	5.44	5.04	5.18	5.07	6.02
Jun	5.78	5.71	6.31	7.03	5.52	6.17	5.55	4.9	5.53	4.86	6.18
Jul	5.67	5.61	5.72	6.96	5.68	6.16	4.93	4.96	5.46	4.86	6.37

Aug	6.58	6.67	6.67	7.48	7.09	7.21	5.98	5.51	6.29	5.98	6.97
Sep	7.32	7.24	7.61	8.13	7.66	8.37	6.72	6.26	6.86	6.35	7.94
Oct	7.73	7.62	7.64	9	7.66	8.71	7.56	6.62	7.32	6.89	8.26
Nov	7.38	7.35	7.49	8.83	6.91	7.8	7.25	6.33	7.14	6.89	7.83
Dec	8.26	8.56	8.43	9.64	8.18	8.16	7.81	7.36	7.91	7.9	8.64
Suma	88.07	90.65	92.01	100	86.64	92.96	84.4	76.72	82.83	80.72	93.76
Prom	7.34	7.55	7.67	8.33	7.22	7.75	7.03	6.39	6.9	6.73	7.81
Máx	8.96	9.35	9.6	9.82	8.77	9.11	8.85	8.14	8.33	8.57	9.6
Mín	5.67	5.61	5.72	6.72	5.52	6.16	4.93	4.9	5.18	4.86	6.02

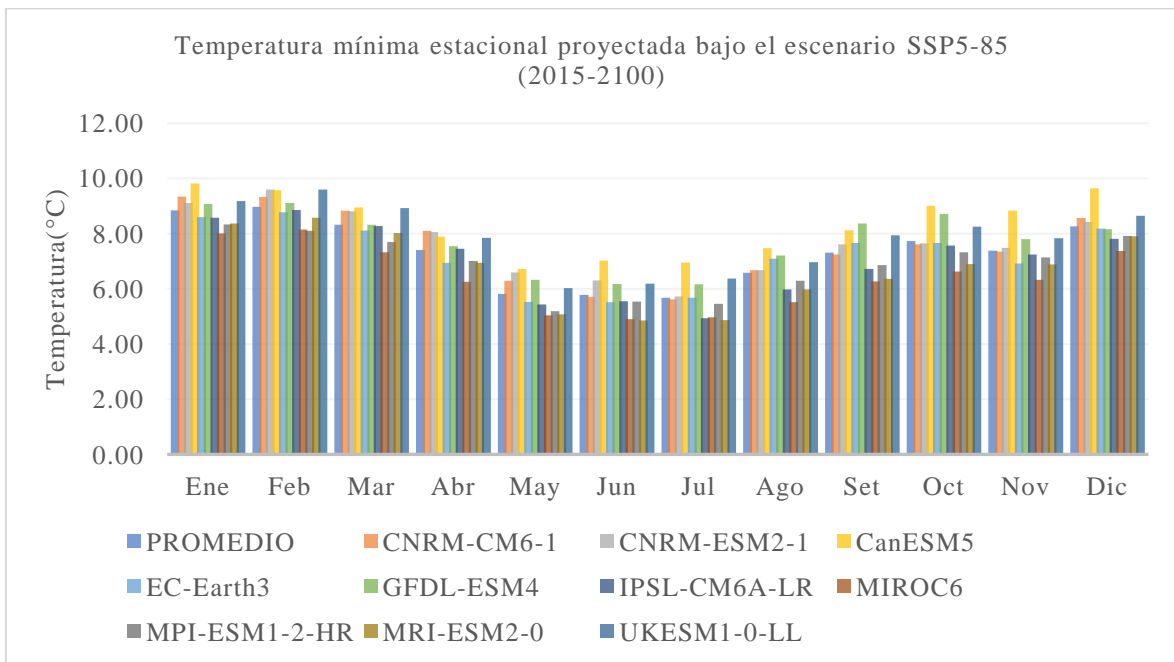


Figura 3.14. Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

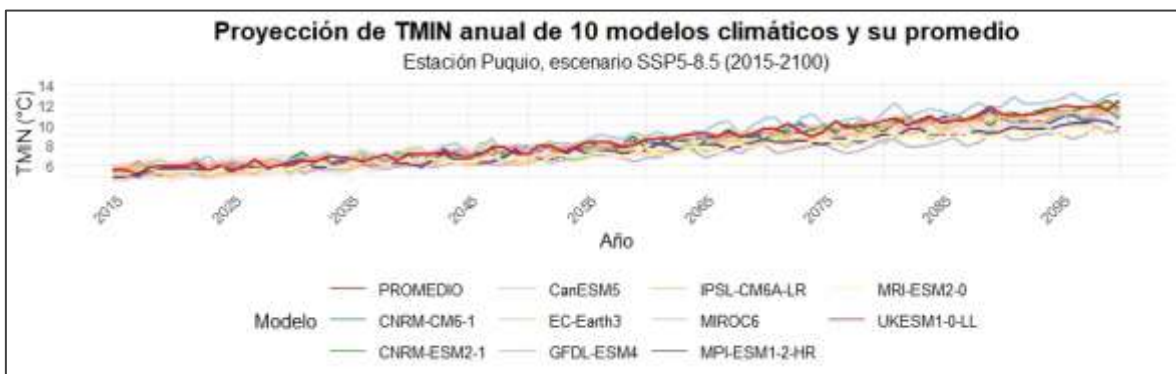


Figura 3.15. Temperatura mínima anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

3.3.2 Generación de datos para la simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE)

De los 10 modelos climáticos, se obtuvieron las precipitaciones promedio, temperatura máxima promedio y temperatura mínima promedio de cada una de las 8 estaciones meteorológicas consideradas para el análisis para el periodo 2015-2100. Dado que cada escenario genera un conjunto de datos independientes, lo cual resultaría en un total de 16 promedios (8 estaciones para cada uno de los dos escenarios), se optó por presentar en esta sección solo los resultados correspondientes a la estación base. Los gráficos a continuación muestran los resultados de la estación base seleccionada. Los promedios de las otras siete estaciones se encuentran detallados en el Anexo 02.

Precipitación proyectada

En la Tabla 3.20 se presenta la precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la Estación Base de la Cuenca del Río Acarí bajo el Escenario SSP1-2.6 (2015-2100). Los datos muestran una amplia variabilidad intermensual, con valores de precipitación que oscilan entre un mínimo de 0.03 mm (registrado en julio) y un máximo de 6.60 mm (en febrero). El promedio mensual de precipitación para toda la serie de datos es de 1.57 mm, siendo febrero el mes con la mayor cantidad de precipitación proyectada y julio el mes más seco. En la Figura 3.16 se observa la precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100).

Además, la Figura 3.17, muestra la precipitación anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100).

Tabla 3.20. Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM-CM6-1	CNRM-ESM2-1	CanESM5	EC-Earth3	GFDL-ESM4	IPSL-CM6A-LR	MIROC6	MPI-ESM1-2-HR	MRI-ESM2-0	UKESM1-0-LL
Ene	4.41	4.96	4.83	4.96	4.16	4.19	3.76	4.37	4.3	4.07	4.54
Feb	5.2	5.48	6.6	5.48	5.19	5.2	4.61	4.58	4.77	4.72	5.36
Mar	3.93	3.93	4.02	3.93	4.12	3.85	4.05	3.57	3.88	3.78	4.2
Abr	1.25	1.33	1.31	1.33	1.42	1.11	1.44	0.95	1.39	1.05	1.21
May	0.19	0.19	0.22	0.19	0.21	0.14	0.16	0.22	0.18	0.17	0.18
Jun	0.09	0.07	0.14	0.07	0.07	0.06	0.07	0.19	0.05	0.05	0.08
Jul	0.07	0.05	0.07	0.05	0.07	0.05	0.08	0.14	0.08	0.03	0.09

Ago	0.14	0.18	0.14	0.18	0.12	0.09	0.15	0.13	0.11	0.13	0.16
Set	0.23	0.19	0.17	0.19	0.27	0.22	0.22	0.27	0.27	0.19	0.34
Oct	0.45	0.41	0.44	0.41	0.57	0.56	0.4	0.41	0.43	0.38	0.47
Nov	0.64	0.59	0.72	0.59	0.59	0.64	0.53	0.59	0.73	0.67	0.74
Dic	2.24	2.26	2.24	2.26	2.33	1.95	2.25	2.3	2.26	2.43	2.1
Suma	18.84	19.65	20.91	19.65	19.12	18.07	17.74	17.71	18.46	17.67	19.46
Prom	1.57	1.64	1.74	1.64	1.59	1.51	1.48	1.48	1.54	1.47	1.62
Máx	5.2	5.48	6.6	5.48	5.19	5.2	4.61	4.58	4.77	4.72	5.36
Mín	0.07	0.05	0.07	0.05	0.07	0.05	0.07	0.13	0.05	0.03	0.08

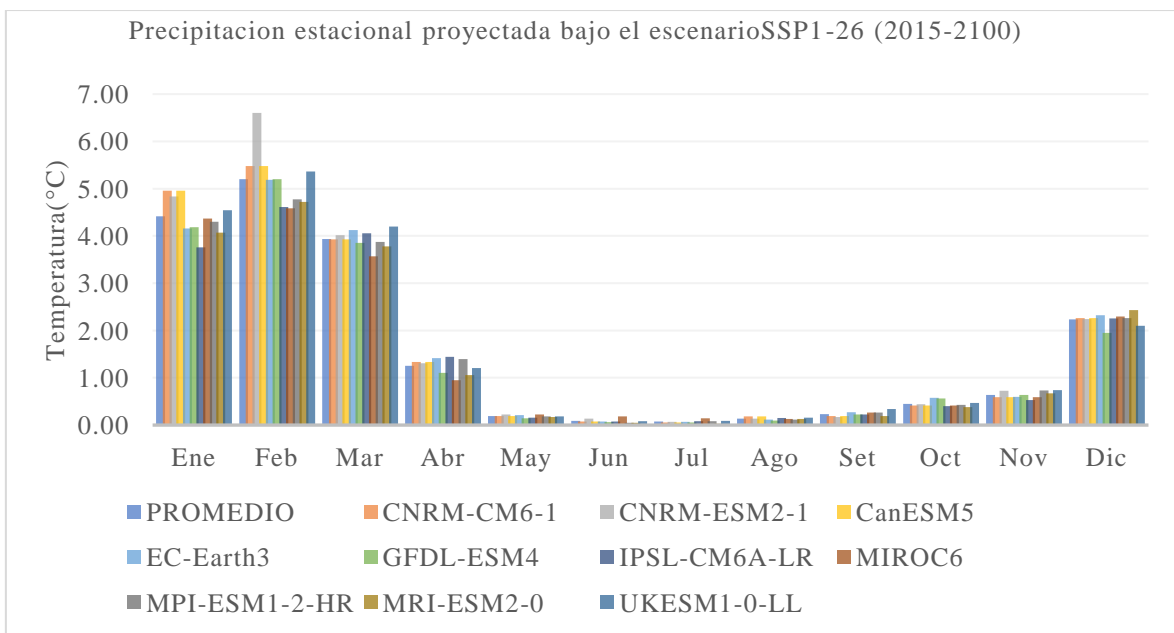


Figura 3.16. Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

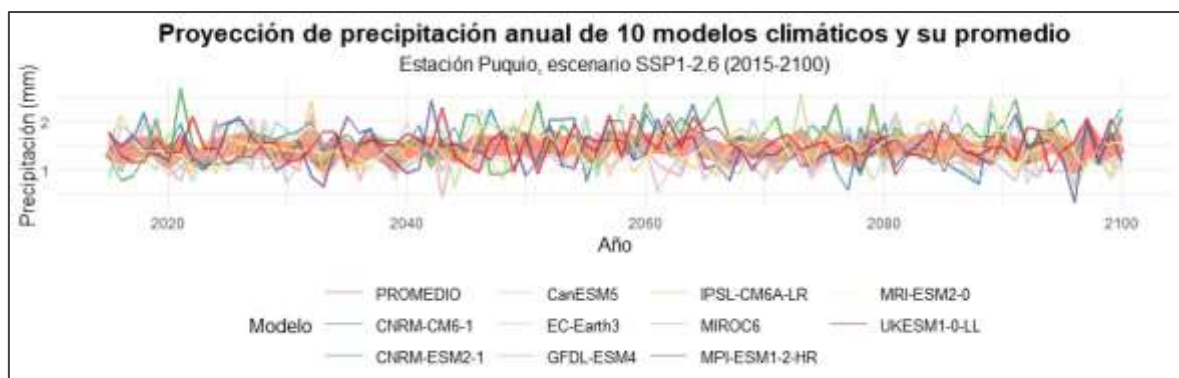


Figura 3.17. Precipitación anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Temperatura máxima proyectada

En la Tabla 3.12 se presentan los promedios mensuales de temperatura máxima proyectada por los 10 modelos climáticos globales para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6, durante el periodo 2015-2100. Los datos reflejan una ligera tendencia al aumento de las temperaturas máximas en los meses de julio a octubre, alcanzando un valor máximo de 21.28°C en septiembre, mientras que enero muestra el valor más bajo con 18.44°C. El promedio mensual de temperatura máxima para toda la serie de datos es de 20.04°C, lo que indica una estabilidad térmica relativa en la región.

Tabla 3.21. Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM-CM6-1	CNRM-ESM2-1	CanESM5	EC-Earth3	GFDL-ESM4	IPSL-CM6A-LR	MIROC6	MPI-ESM1-2-HR	MRI-ESM2-0	UKESM1-0-LL
Ene	18.44	18.85	18.38	17.82	18.58	18.21	18.93	17.72	17.9	18.52	19.5
Feb	18.55	19.08	18.26	17.94	18.54	18.03	18.72	18.26	18.23	18.82	19.67
Mar	18.93	19.31	18.76	18.72	18.93	18.36	19.06	18.63	18.38	19.05	20.08
Abr	19.78	19.97	19.38	20.24	19.52	19.47	19.68	19.85	18.73	19.86	21.04
May	20.62	20.64	20.02	21.09	20.1	20.96	20.69	20.49	19.79	20.52	21.92
Jun	20.45	20.56	20.07	20.97	20.2	20.61	20.48	19.65	19.89	20.46	21.65
Jul	20.7	21.09	20.52	21.27	20.54	20.42	20.64	20.08	19.79	20.81	21.83
Ago	21.05	21.27	20.95	21.68	21.22	20.65	20.95	20.53	20.15	21.06	22.05
Set	21.28	21.73	21.39	21.81	21.4	20.92	21.44	20.17	20.47	21.47	21.95
Oct	21.04	21.51	21.09	21.18	21.1	20.46	21.21	20.35	20.54	20.96	21.99
Nov	20.49	20.76	20.37	20.23	20.76	20.33	20.91	19.92	19.61	20.62	21.4
Dic	19.13	19.57	19.13	18.51	19.06	19.39	19.57	18.91	18.1	19.05	20.02
Suma	240.46	244.3	238.32	241.45	239.95	237.79	242.27	234.56	231.57	241.2	253.11
Prom	20.04	20.36	19.86	20.12	20	19.82	20.19	19.55	19.3	20.1	21.09
Máx	21.28	21.73	21.39	21.81	21.4	20.96	21.44	20.53	20.54	21.47	22.05
Mín	18.44	18.85	18.26	17.82	18.54	18.03	18.72	17.72	17.9	18.52	19.5

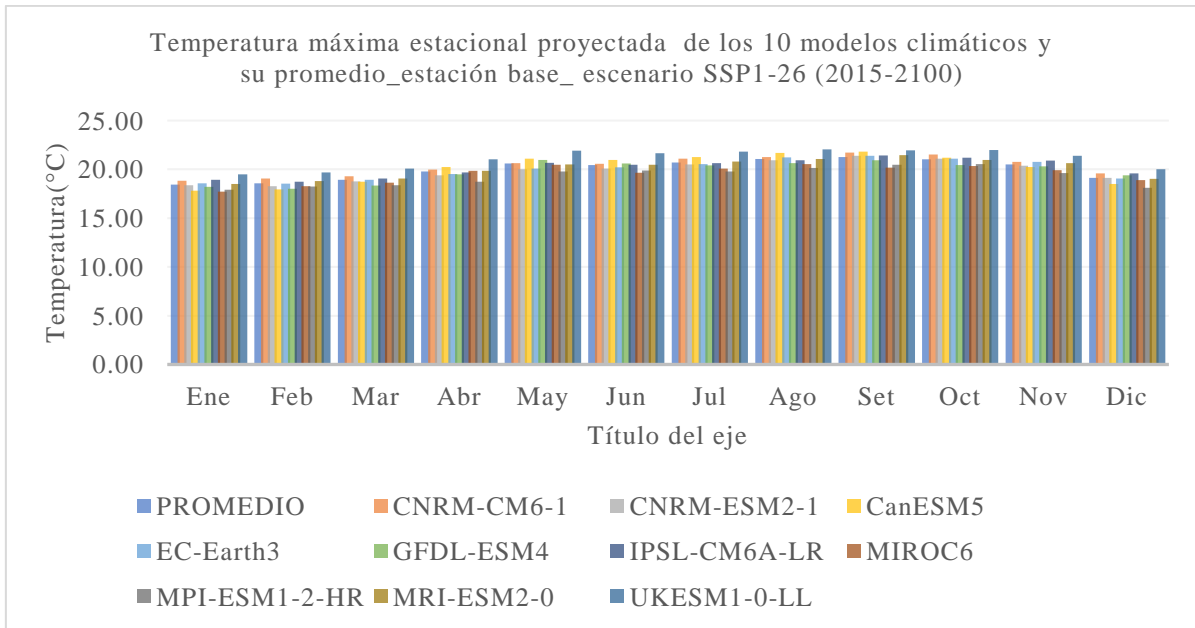


Figura 3.18. Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

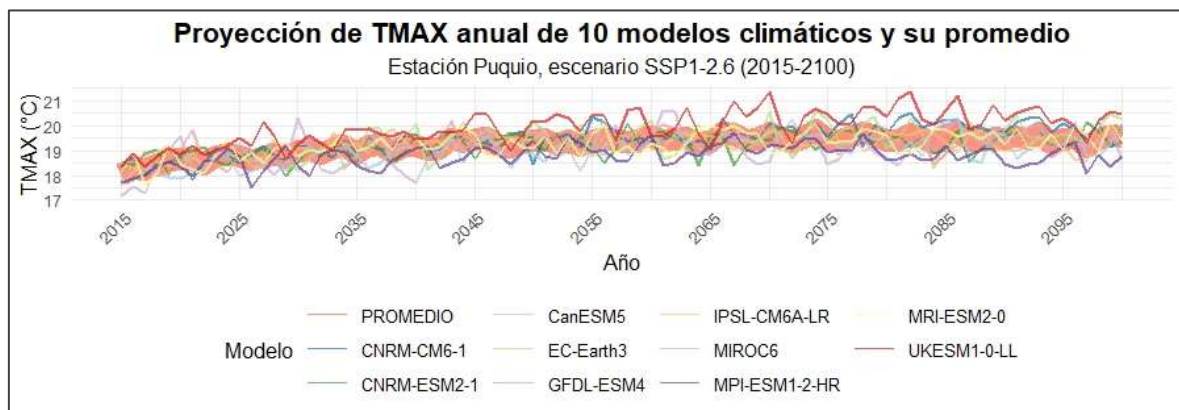


Figura 3.19. Temperatura máxima anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Temperatura mínima estacional proyectada

En la Tabla 3.21 se presentan los promedios mensuales de temperatura máxima proyectada por los 10 modelos climáticos globales para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6, durante el periodo 2015-2100. Los datos reflejan una ligera tendencia al aumento de las temperaturas máximas en los meses de julio a octubre, alcanzando un valor máximo de 21.28°C en septiembre, mientras que enero muestra el valor más bajo con 18.44°C. El promedio mensual de temperatura máxima para toda la serie de datos es de

20.04°C, lo que indica una estabilidad térmica relativa en la región. En la Figura 3.18 se observa la temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100). Además, la Figura 3.19 muestra la temperatura máxima anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100).

Tabla 3.22. Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM-CM6-1	CNRM-ESM2-1	CanESM5	EC-Earth3	GFDL-ESM4	IPSL-CM6A-LR	MIROC6	MPI-ESM1-2-HR	MRI-ESM2-0	UKESM1-0-LL
Ene	8.87	9.37	9.13	9.86	8.64	9.11	8.62	8.03	8.36	8.39	9.22
Feb	8.81	9.17	9.44	9.4	8.63	8.95	8.7	7.98	7.95	8.41	9.44
Mar	8.06	8.56	8.54	8.67	7.86	8.06	8.02	7.05	7.42	7.74	8.67
Abr	7.31	8.01	7.94	7.8	6.84	7.44	7.37	6.17	6.93	6.85	7.76
May	6.04	6.5	6.79	6.94	5.74	6.53	5.67	5.24	5.4	5.29	6.25
Jun	6.21	6.17	6.74	7.45	5.96	6.6	5.99	5.32	5.97	5.3	6.62
Jul	5.82	5.75	5.86	7.12	5.86	6.31	5.07	5.1	5.61	5.01	6.52
Ago	6.8	6.87	6.88	7.69	7.34	7.41	6.2	5.72	6.5	6.19	7.19
Set	7.35	7.29	7.64	8.17	7.71	8.4	6.76	6.3	6.9	6.4	7.99
Oct	7.88	7.77	7.8	9.13	7.8	8.86	7.71	6.76	7.46	7.05	8.4
Nov	7.49	7.46	7.6	8.93	7.02	7.91	7.36	6.43	7.24	7.01	7.94
Dic	8.37	8.67	8.54	9.76	8.28	8.26	7.94	7.44	8.01	8.02	8.75
Suma	89.01	91.6	92.91	100.9	87.68	93.85	85.42	77.56	83.75	81.65	94.75
Prom	7.42	7.63	7.74	8.41	7.31	7.82	7.12	6.46	6.98	6.8	7.9
Máx	8.87	9.37	9.44	9.86	8.64	9.11	8.7	8.03	8.36	8.41	9.44
Mín	5.82	5.75	5.86	6.94	5.74	6.31	5.07	5.1	5.4	5.01	6.25

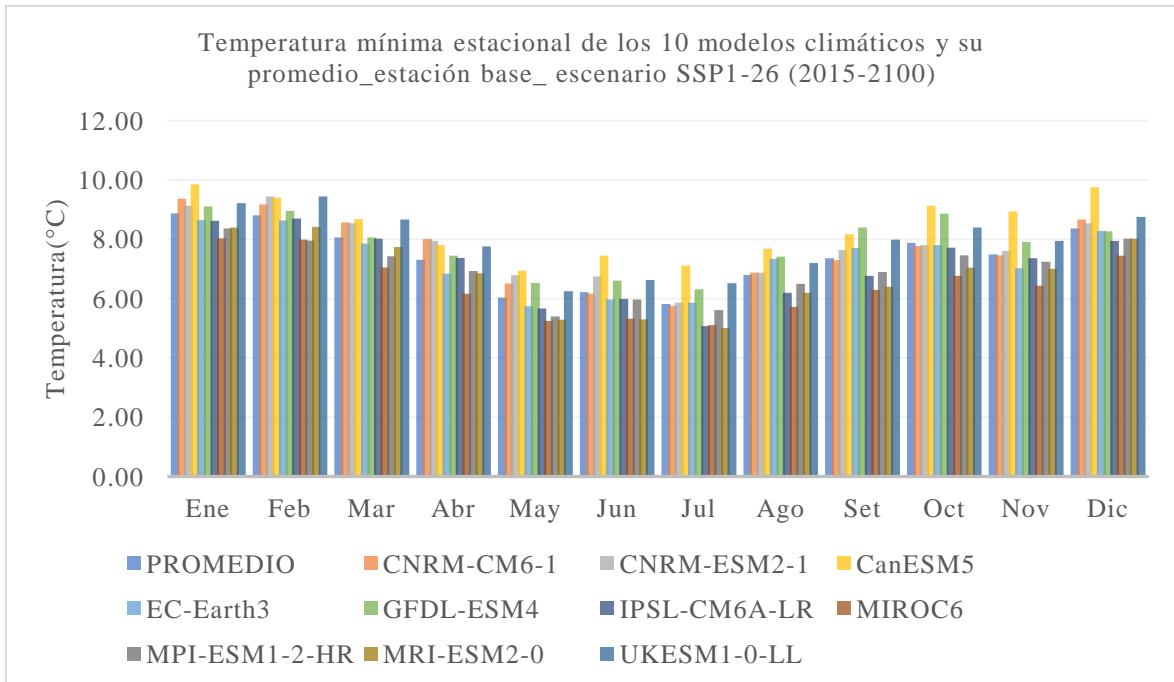


Figura 3.20. Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

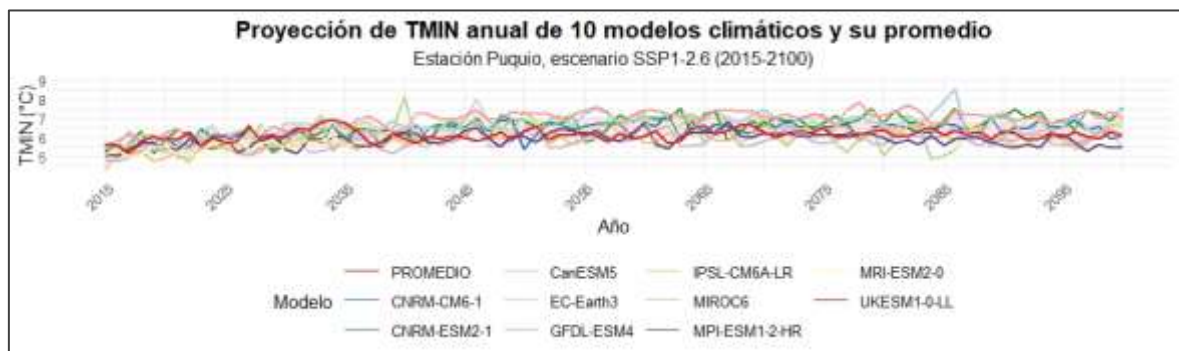


Figura 3.23. Temperatura mínima anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

3.3.3 Simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP5-8.5 (BASD-CMIP6-PE)

3.3.3.1 Temperatura

Temperatura máxima

En la Tabla 3.24 se presentan los resultados de la temperatura máxima mensual proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 para los años 2050 y 2080. Los datos reflejan un incremento gradual en la temperatura máxima promedio a lo largo del tiempo. Para el año 2050, la temperatura máxima promedio es de 21.57°C, mientras que para el 2080

este valor aumenta a 23.64°C, lo que sugiere un aumento significativo en la temperatura máxima en el futuro.

En la Figura 3.22 se visualiza la evolución de la temperatura máxima proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 en los años 2050 y 2080, confirmando la tendencia al alza observada en los datos tabulados.

Tabla 3.24. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5(2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	2050 T°C	2080 T°C
Ene	30	20.53	22.48
Feb	28	20.59	22.45
Mar	31	20.92	22.70
Abr	30	21.69	23.69
May	31	22.01	24.03
Jun	30	21.48	23.60
Jul	31	21.55	23.85
Ago	31	22.01	24.38
Set	30	22.47	24.69
Oct	31	22.43	24.56
Nov	30	21.99	24.09
Dic	31	21.13	23.21
Suma		258.80	283.73
Promedio		21.57	23.64
Máximo		22.47	24.69
Mínimo		20.53	22.45

En la Figura 3.22 se visualiza la evolución de la temperatura máxima proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 en los años 2050 y 2080, confirmando la tendencia al alza observada en los datos tabulados.

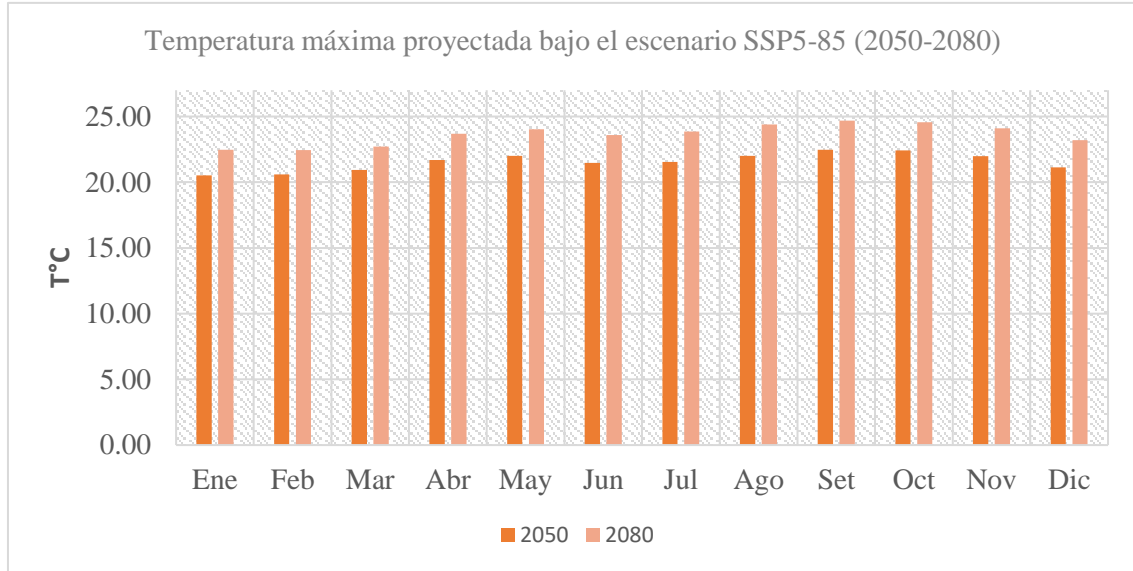


Figura 3.22. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5(2050 y 2080)

Temperatura mínima

En la Tabla 3.25 se presentan los resultados de la temperatura mínima mensual proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5. Los datos muestran un aumento gradual en la temperatura mínima promedio, alcanzando un valor de 8.26°C para el año 2050 y aumentando a 10.55°C para 2080. Este incremento refleja una tendencia hacia noches más cálidas, lo que podría influir en el régimen hídrico y los ecosistemas locales.

Tabla 3.25. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	2050 T°C	2080 T°C
Ene	30	10.07	12.20
Feb	28	10.16	12.19
Mar	31	9.58	11.70
Abr	30	8.70	10.91
May	31	7.04	9.43
Jun	30	6.49	8.93
Jul	31	6.16	8.55
Ago	31	6.95	9.35

Set	30	7.83	10.37
Oct	31	8.40	10.89
Nov	30	8.35	10.55
Dic	31	9.43	11.57
Suma		99.15	126.62
Promedio		8.26	10.55
Máximo		10.16	12.20
Mínimo		6.16	8.55

En la Figura 3.23 se visualiza la evolución de la temperatura mínima proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 en los años 2050 y 2080, mostrando el claro incremento en las temperaturas mínimas a lo largo de los años.

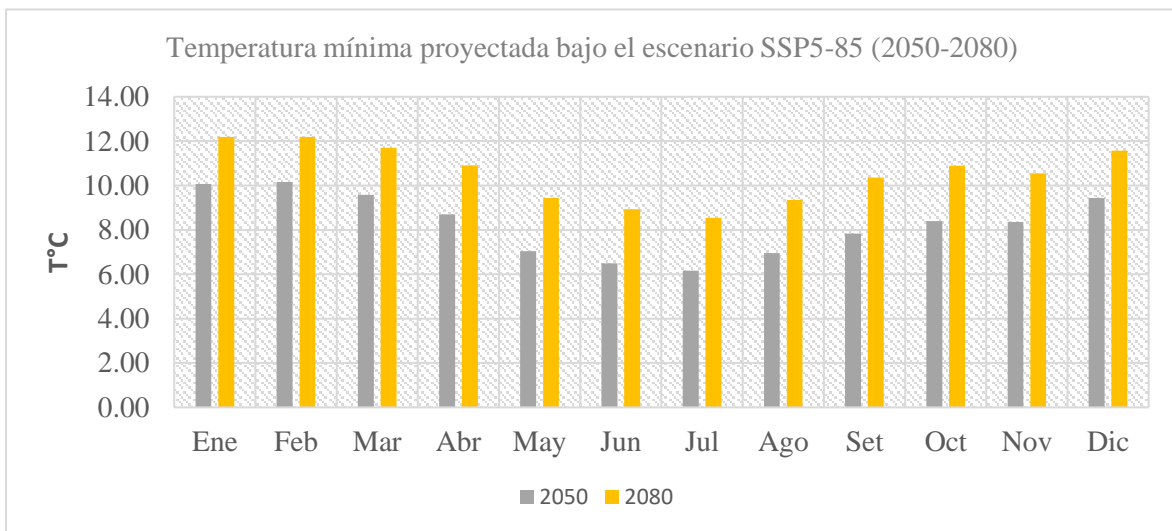


Figura 3.23. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5(2050 y 2080)

3.3.3.1 Precipitación

En la Tabla 3.26 se muestran los resultados de la precipitación mensual proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5. Los datos reflejan un incremento moderado en la precipitación promedio mensual, con un valor de 34.13 mm para el año 2050 y un aumento a 36.71 mm para el año 2080. Este aumento sugiere que la cuenca recibirá una mayor cantidad de lluvia hacia finales del siglo, lo que podría influir en la disponibilidad hídrica y la gestión de recursos en la región.

Tabla 3.26. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	2050	2080
		mm/mes	mm/mes
Ene	30	103.17	110.61
Feb	28	112.87	117.62
Mar	31	87.47	97.05
Abr	30	25.45	27.88
May	31	3.19	4.12
Jun	30	1.62	2.14
Jul	31	1.40	1.46
Ago	31	2.35	2.33
Set	30	4.42	4.74
Oct	31	8.18	10.41
Nov	30	12.09	13.07
Dic	31	47.31	49.07
Suma		409.51	440.52
Promedio		34.13	36.71
Máximo		112.87	117.62
Mínimo		1.40	1.46

En la Figura 3.24 se visualiza la proyección de la precipitación mensual para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 en los años 2050 y 2080, confirmando la tendencia al incremento observada en los datos tabulados.

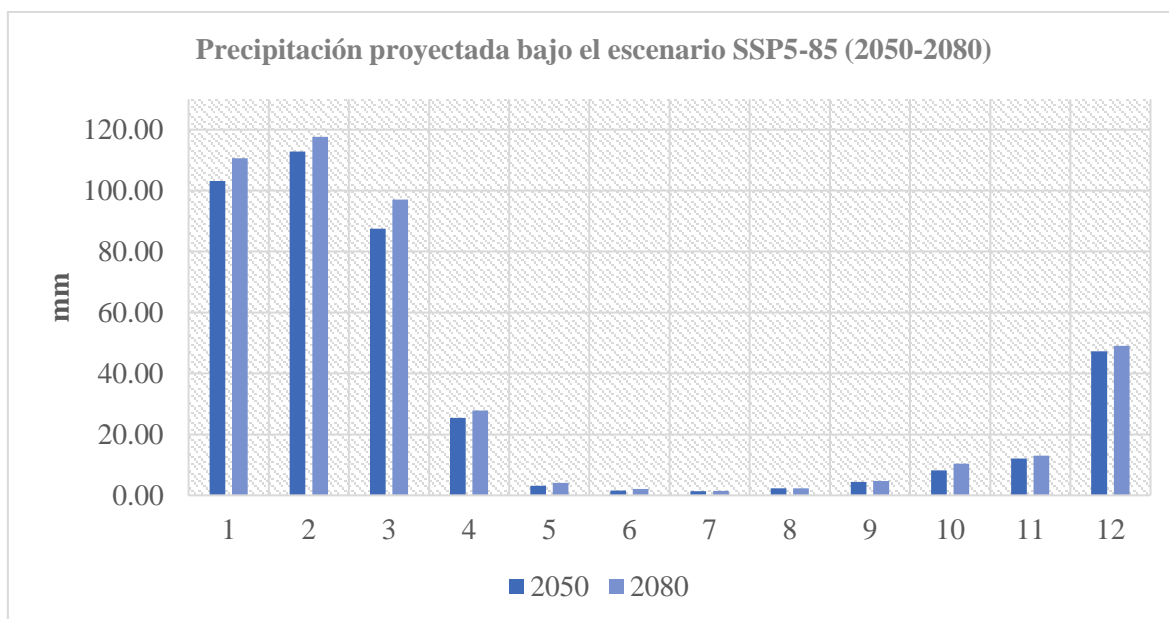


Figura 3.24. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080)

3.3.3.2 Evapotranspiración

En la Tabla 3.27 se presentan los resultados de la evapotranspiración mensual proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5. Los datos muestran un aumento en la evapotranspiración promedio mensual, con un valor de 29.55 mm para el año 2050, aumentando a 31.85 mm para el año 2080. Este crecimiento refleja una mayor demanda de agua por la atmósfera, lo que probablemente esté influenciado por el aumento de las temperaturas y podría afectar el equilibrio hídrico en la cuenca.

Tabla 3.27. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080)

Mes	Nº días del mes	2050 mm/mes	2080 mm/mes
Ene	30	63.81	66.31
Feb	28	75.25	77.85
Mar	31	75.52	80.52
Abr	30	40.71	46.31
May	31	14.12	18.51
Jun	30	7.16	9.04
Jul	31	4.54	4.35
Ago	31	4.93	5.39

Set	30	7.23	8.50
Oct	31	11.78	14.46
Nov	30	15.11	15.22
Dic	31	34.46	35.77
Suma		354.62	382.23
Promedio		29.55	31.85
Máximo		75.52	80.52
Mínimo		4.54	4.35

En la Figura 3.25 se visualiza la proyección de la evapotranspiración mensual para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 en los años 2050 y 2080, confirmando la tendencia de aumento observada en los datos tabulados.

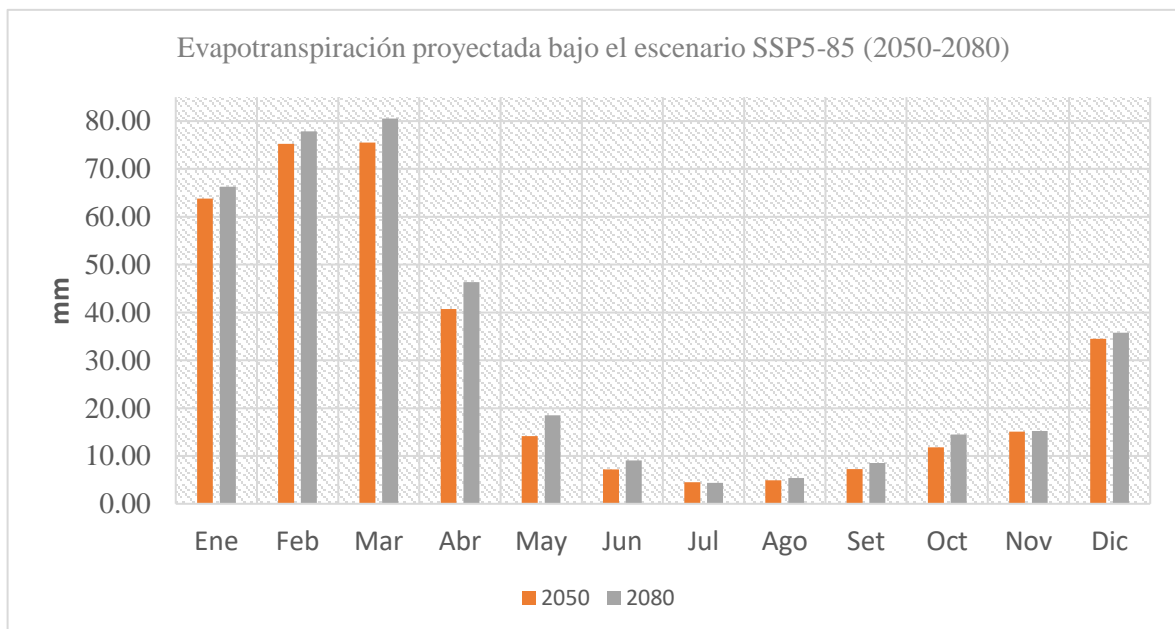


Figura 3.25. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080)

3.3.3.3 Caudal

En la Tabla 3.28 se presentan los resultados de los caudales mensuales proyectados para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5. El caudal promedio mensual es de 3.94 mm para el año 2050, con un aumento a 4.21 mm para el año 2080. Este incremento sugiere una ligera mejora en los caudales hacia finales del siglo, lo que implicaría una mayor disponibilidad de agua en la cuenca, aunque será esencial una gestión adecuada para evitar riesgos de inundación y optimizar el uso de los recursos hídricos.

Tabla 3.28. Caudal(mm) proyectado para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	2050 mm/mes	2080 mm/mes
Ene	30	9.63	10.52
Feb	28	14.71	15.90
Mar	31	12.73	13.75
Abr	30	5.15	5.02
May	31	2.08	2.11
Jun	30	0.32	0.34
Jul	31	0.12	0.13
Ago	31	0.09	0.11
Set	30	0.07	0.07
Oct	31	0.10	0.13
Nov	30	0.17	0.19
Dic	31	2.12	2.30
Suma		47.29	50.57
Promedio		3.94	4.21
Máximo		14.71	15.90
Mínimo		0.07	0.07

En la Figura 3.26 se muestra la proyección de los caudales mensuales para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 en los años 2050 y 2080, destacando las variaciones y posibles implicaciones para la disponibilidad hídrica.

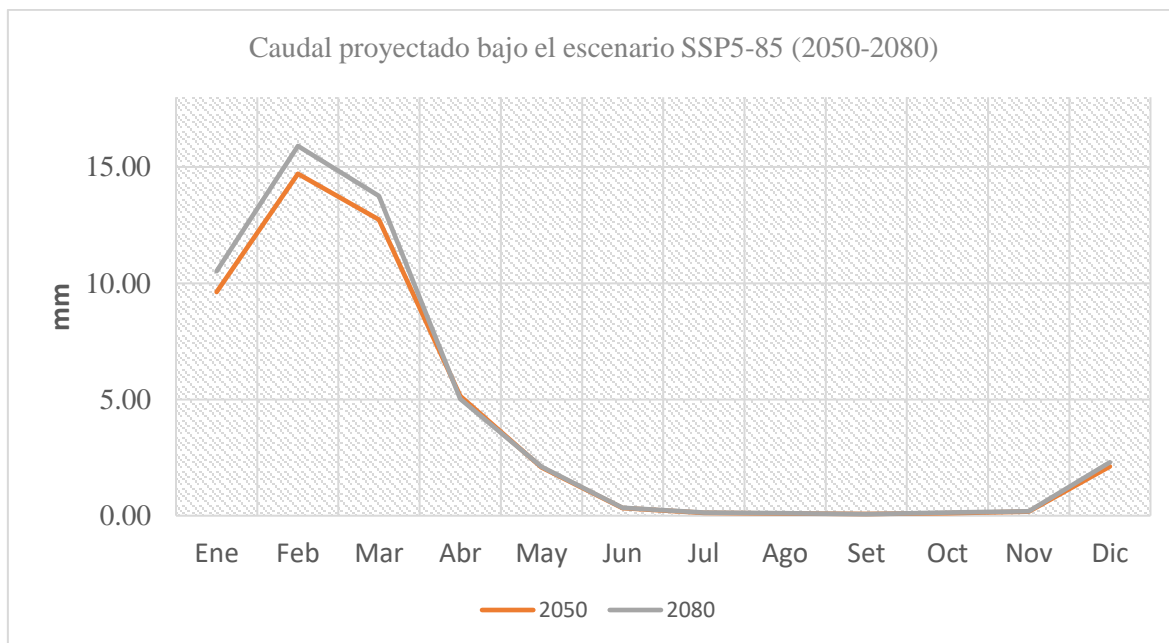


Figura 3.26. Caudal(mm) proyectado para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080)

3.3.1 Simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE)

3.3.1.1 Temperatura

Temperatura máxima

En la Tabla 3.29 se muestran los resultados de la temperatura máxima mensual proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6. Se observa un aumento gradual en la temperatura máxima promedio. Para el año 2050, el promedio es de 20.78°C, mientras que para 2080 se incrementa a 20.99°C. Este comportamiento indica una tendencia al calentamiento bajo este escenario de desarrollo sostenible, aunque de manera más moderada que en escenarios más extremos.

Tabla 3.29. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	2050 T°C	2080 T°C
Ene	30	19.93	20.12
Feb	28	19.86	20.11
Mar	31	20.02	20.37
Abr	30	20.88	21.19
May	31	21.21	21.40
Jun	30	20.69	20.86
Jul	31	20.69	20.88
Ago	31	21.18	21.31
Set	30	21.60	21.74
Oct	31	21.62	21.79
Nov	30	21.17	21.39
Dic	31	20.49	20.69
Suma		249.35	251.86
Promedio		20.78	20.99
Máximo		21.62	21.79
Mínimo		19.86	20.11

En la Figura 3.27 se visualiza la evolución de la temperatura máxima proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 para los años 2050 y 2080, confirmando la tendencia moderada al alza observada en los datos tabulados.

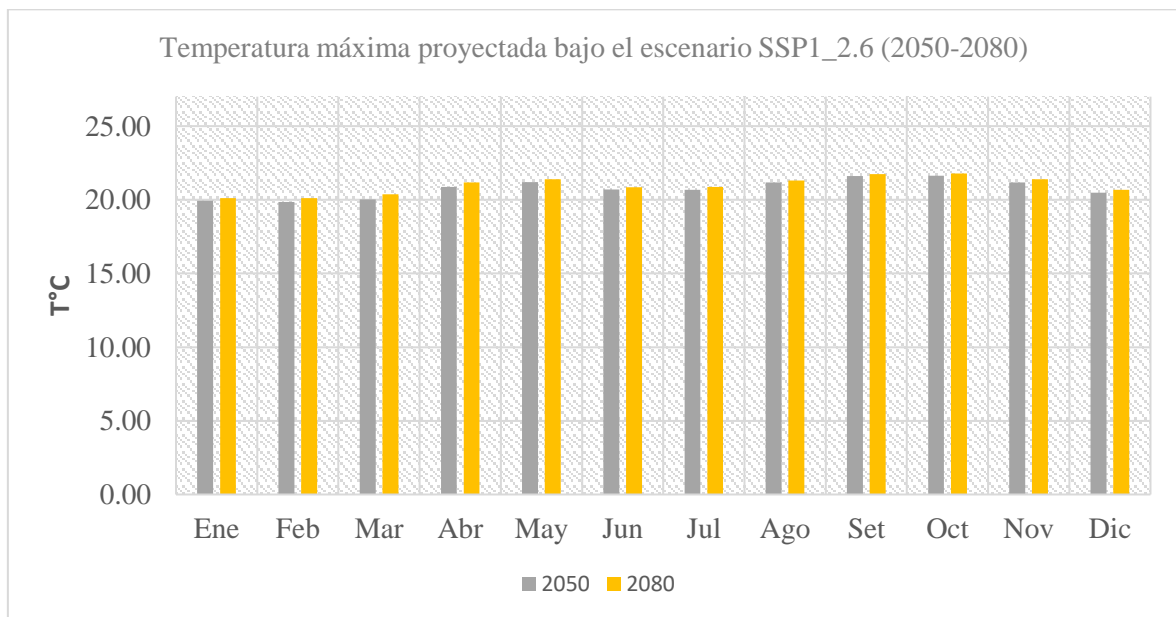


Figura 3.27. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080)

Temperatura mínima

En la Tabla 3.30 se muestran los resultados de la temperatura mínima mensual proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6. Se observa un incremento moderado en la temperatura mínima promedio mensual, con un valor de 6.45°C para el año 2050 y un aumento a 8.0°C para 2080. Este aumento gradual sugiere que las noches serán más cálidas hacia finales del siglo, lo cual podría afectar tanto el ciclo hidrológico como los ecosistemas locales.

Tabla 3.30. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	2050 T°C	2080 T°C
Ene	30	8.45	9.86
Feb	28	8.63	9.94
Mar	31	8.00	9.34
Abr	30	7.08	8.42
May	31	5.14	6.75
Jun	30	4.64	6.21
Jul	31	4.17	5.88
Ago	31	4.93	6.67
Set	30	5.72	7.54
Oct	31	6.39	8.11
Nov	30	6.57	8.12
Dic	31	7.69	9.19
Suma		77.41	96.03
Promedio		6.45	8.00
Máximo		8.63	9.94
Mínimo		4.17	5.88

En la Figura 3.28 se muestra la evolución proyectada de la temperatura mínima para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 en los años 2050 y 2080, donde se confirma la tendencia al alza observada en los datos tabulados.

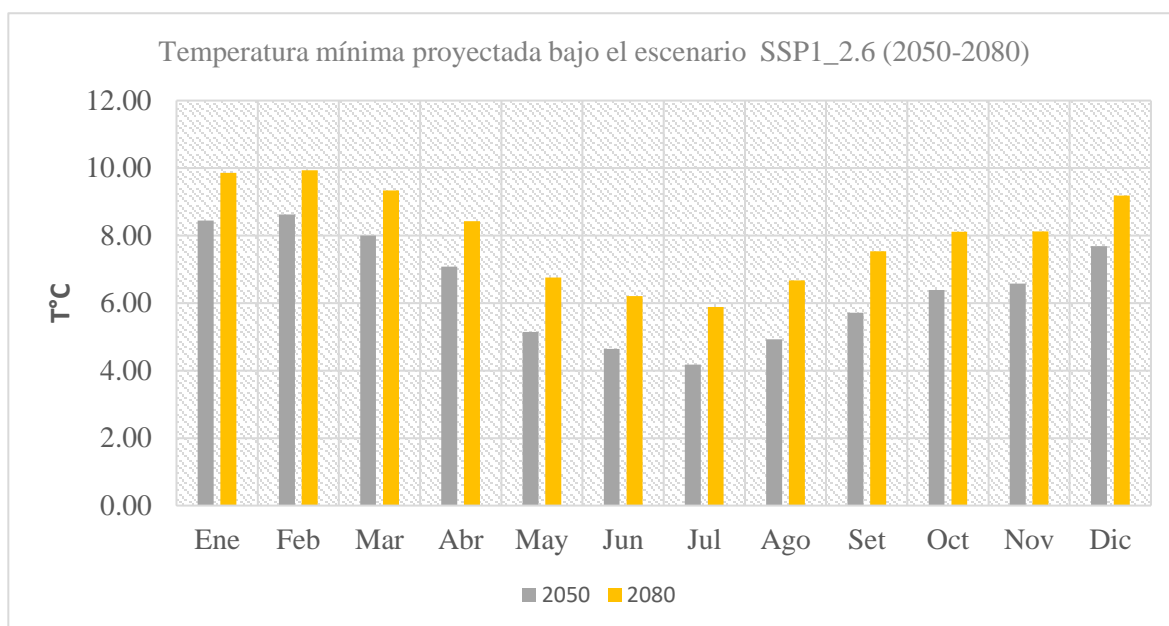


Figura 3.28. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080)

3.3.1.1 Precipitación

En la Tabla 3.31 se presentan los resultados de la precipitación mensual proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6. La precipitación promedio mensual es de 33,19 mm para el año 2050, mientras que para 2080 se reduce ligeramente a 32,75 mm. Este escenario sugiere que la cantidad de lluvia en la cuenca se mantendrá relativamente estable a lo largo del tiempo, con una ligera disminución hacia el final del siglo, lo que puede influir en la disponibilidad de agua en la región.

Tabla 3.31. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	2050	2080
		mm/mes	mm/mes
Ene	30	98.64	94.81
Feb	28	105.55	108.25
Mar	31	89.97	86.09
Abr	30	23.94	24.15
May	31	3.19	3.27
Jun	30	1.75	2.20
Jul	31	1.58	1.40

Ago	31	2.52	2.51
Set	30	4.36	4.31
Oct	31	8.53	8.32
Nov	30	13.08	12.17
Dic	31	45.18	45.51
Suma		398.29	393.00
Promedio		33.19	32.75
Máximo		105.55	108.25
Mínimo		1.58	1.40

En la Figura 3.29 se observa la precipitación mensual proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 en los años 2050 y 2080.

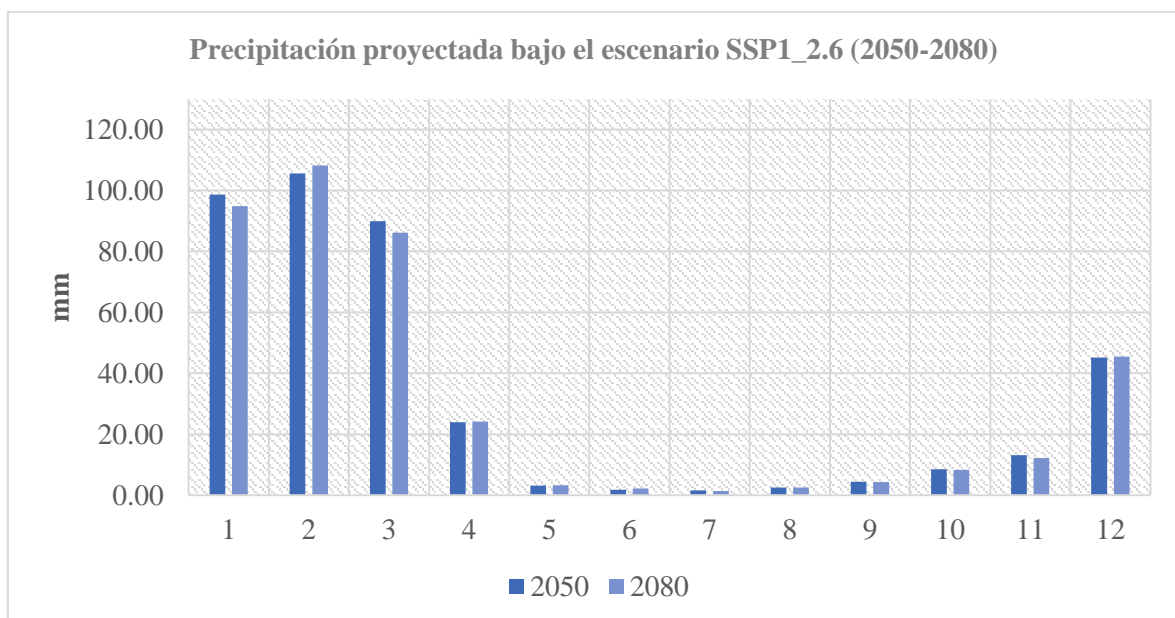


Figura 3.29. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080)

3.3.1.1 Evapotranspiración

En la Tabla 3.32 se muestran los resultados de la evapotranspiración mensual proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6. Para el año 2050, el promedio mensual es de 28,65 mm, mientras que para 2080 es de 28,50 mm. Esto refleja un comportamiento relativamente estable en la evapotranspiración a lo largo del tiempo, lo que sugiere que la demanda de agua atmosférica se mantendrá sin cambios significativos bajo este escenario.

Tabla 3.32. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	2050 mm/mes	2080 mm/mes
Ene	30	63.48	62.26
Feb	28	72.08	73.15
Mar	31	74.88	74.09
Abr	30	39.30	39.34
May	31	13.24	13.14
Jun	30	7.40	7.60
Jul	31	4.97	4.69
Ago	31	4.86	4.80
Set	30	6.47	6.35
Oct	31	10.54	10.44
Nov	30	14.39	13.85
Dic	31	32.20	32.31
Suma		343.80	342.03
Promedio		28.65	28.50
Máximo		74.88	74.09
Mínimo		4.86	4.69

La Figura 3.30 muestra la evolución de la evapotranspiración mensual proyectada bajo el escenario SSP1-2.6 para los años 2050 y 2080.

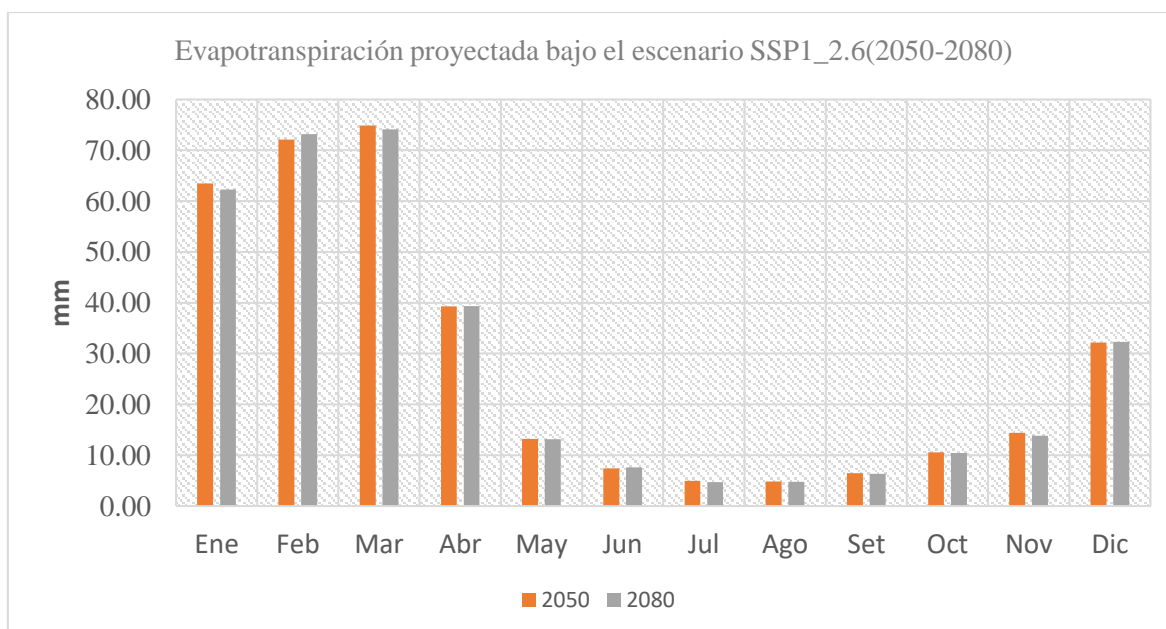


Figura 3.30. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080)

3.3.1.1 Caudal

En la Tabla 3.33 se presentan los resultados de los caudales mensuales proyectados para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6. El caudal promedio mensual es de 3,86 mm para el año 2050, mientras que para 2080 disminuye ligeramente a 3,60 mm. Estos resultados sugieren una leve disminución en los caudales a lo largo del tiempo, lo que podría implicar una menor disponibilidad hídrica en la cuenca.

Tabla 3.33. Caudal(mm) proyectad para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	2050 mm/mes	2080 mm/mes
Ene	30	8.80	8.16
Feb	28	13.30	13.65
Mar	31	13.39	11.82
Abr	30	5.57	4.79
May	31	2.45	1.98
Jun	30	0.32	0.29
Jul	31	0.13	0.12
Ago	31	0.10	0.09
Set	30	0.07	0.07
Oct	31	0.10	0.10
Nov	30	0.19	0.14
Dic	31	1.93	1.95
Suma		46.35	43.15
Promedio		3.86	3.60
Máximo		13.39	13.65
Mínimo		0.07	0.07

En la Figura 3.31 se visualiza la proyección de los caudales para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 para los años 2050 y 2080.

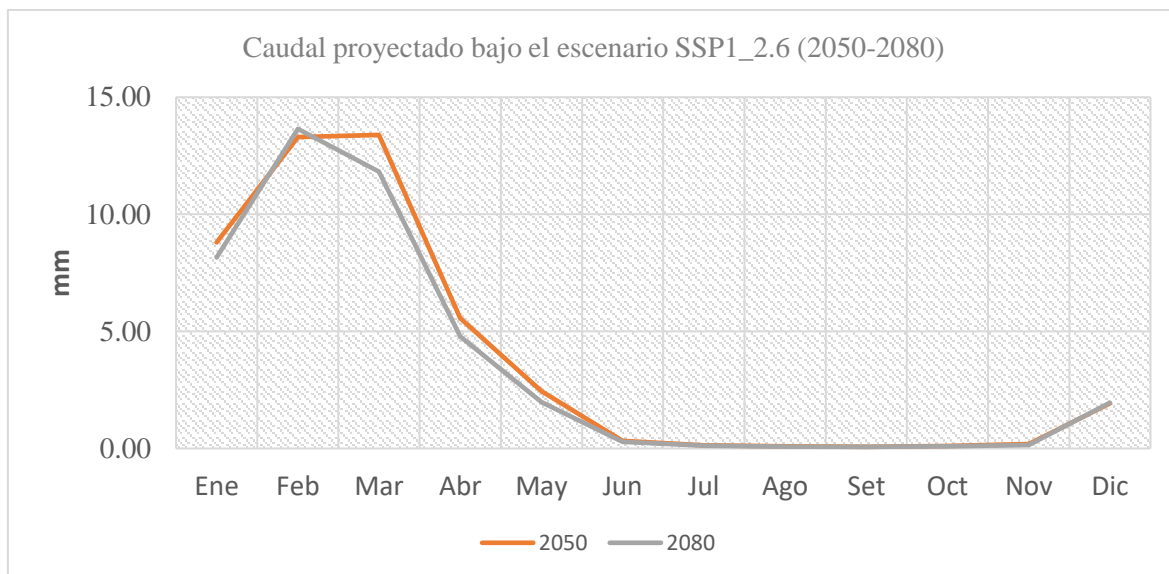


Figura 3.31. Caudal(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2050 y 2080)

3.3.2 Discusión

El análisis de la disponibilidad hídrica futura para la cuenca del río Acarí bajo los escenarios SSP5-8.5 y SSP1-2.6 proporciona una visión clara sobre cómo las diferentes trayectorias de emisiones de gases de invernadero impactan las variables climáticas clave: temperatura, precipitación, evapotranspiración, y caudales. A continuación, se discuten los resultados en cada una de estas variables, comparando ambos escenarios y haciendo referencia a estudios relevantes en el tema.

Temperatura máxima y mínima

Los resultados indican un aumento progresivo en las temperaturas máximas y mínimas bajo ambos escenarios, aunque con variaciones en la magnitud del incremento. En el escenario SSP5-8.5 que proyecta un futuro con altas emisiones, las temperaturas máximas alcanzarán un promedio de 23.64°C para 2080, con valores máximos de 24.56°C en octubre. Por su parte, en el escenario SSP1-2.6, que contempla una mitigación significativa del cambio climático, el promedio proyectado para 2080 es de 20.99°C, reflejando un calentamiento moderado.

En cuanto a las temperaturas mínimas, el escenario SSP5-8.5 muestra un aumento hasta 10.55°C en 2080, con valores máximos de 12.2°C en los meses de verano. En comparación, el escenario SSP1-2.6 proyecta un incremento más controlado, alcanzando un promedio de

8.0°C en 2080. Estos aumentos moderados son consistentes con los esfuerzos de mitigación climática y reflejan un impacto menos severo sobre los ecosistemas dependientes del agua y la evapotranspiración.

Este comportamiento está alineado con las proyecciones del IPCC (2021), que sugieren que los escenarios de altas emisiones acelerarán el aumento de la temperatura a nivel global, impactando con mayor severidad a las regiones áridas y montañosas, como la cuenca del río Acarí (Pepin et al., 2015). Además, estudios como el de Rosenzweig et al. (2014) indican que el aumento de la temperatura elevará la demanda de agua debido a una mayor evapotranspiración, lo que afectará directamente la disponibilidad hídrica para la agricultura y los ecosistemas que dependen del agua en la región.

Precipitación

Los resultados proyectan un aumento en la precipitación promedio mensual bajo ambos escenarios. Para el año 2080, bajo el escenario SSP5-8.5, el promedio mensual alcanza 36.71 mm, mientras que en el escenario SSP1-2.6, la precipitación proyectada es ligeramente inferior, con 32.75 mm. Aunque el aumento en la recepción podría sugerir una mayor recarga hídrica, el IPCC (2021) y estudios como el de Trenberth (2011) advierten que un incremento en la intensidad de las lluvias puede aumentar el riesgo de eventos extremos como inundaciones y erosión del suelo.

Además, la estacionalidad de las lluvias, con períodos secos prolongados en ambos escenarios, sigue siendo una preocupación importante, tal como lo señala Mote et al. (2005) Esto subraya la necesidad de desarrollar estrategias de gestión del agua que permitan almacenar el exceso de agua durante los periodos lluviosos e distribuirla eficientemente durante los meses secos.

Evapotranspiración

El aumento de la evapotranspiración proyectado es consistente con el aumento de las temperaturas máximas y mínimas. En el escenario SSP5-8.5, la evapotranspiración promedio mensual se incrementa a 31.85 mm para 2080, mientras que en el escenario SSP1-2.6 se mantiene más estable, con un promedio de 28.50 mm. Este comportamiento está alineado con estudios que indican que el incremento en la temperatura aumentará la demanda evaporativa en los suelos, reduciendo la disponibilidad de agua para la vegetación y afectando negativamente los sistemas agrícolas (Allen et al., 2015).

El impacto de la evapotranspiración en la cuenca del río Acarí podría intensificarse si no se implementan estrategias adecuadas de conservación del agua, tal como lo señalan Xu et al. (2019) y Roderick et al. (2020), quienes sugieren que la eficiencia en el uso del agua será clave para mitigar los efectos del cambio climático en regiones áridas y semiáridas.

Caudal

Los caudales proyectados muestran un comportamiento similar en ambos escenarios, con un nivel de aumento en los meses lluviosos, pero una tendencia a mantener caudales bajos o casi nulos durante los meses secos. En el escenario SSP5-8.5, el promedio mensual de caudal para 2080 es de 4.21 mm, mientras que en el escenario SSP1-2.6 se proyecta un caudal promedio de 3.60 mm. Estos resultados coinciden con estudios de Arnell y Gosling (2016), que proyectan un aumento en la variabilidad de los caudales, con picos elevados en las temporadas húmedas y caudales extremadamente bajos en los meses secos.

Este comportamiento plantea un desafío significativo para la gestión hídrica en la cuenca, ya que los aumentos en los caudales durante los meses lluviosos pueden generar inundaciones, mientras que los caudales bajos en los meses secos podrían agravar la escasez de agua, tal como lo advierte Milly. et al. (2020). La planificación de infraestructura hídrica que permita el almacenamiento y distribución eficiente del agua será esencial para afrontar estos retos futuros.

3.4 Comparación de la disponibilidad hídrica histórica con la futura bajo diferentes escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE)

3.4.1 Comparación de la disponibilidad hídrica histórica y futura bajo el escenario climático SSP5-8.5

Temperatura máxima

El análisis comparativo de la temperatura máxima en la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 revela un aumento progresivo de las temperaturas hacia los años 2050 y 2080. A continuación, se presentan los resultados detallados de la proyección de la temperatura máxima y las anomalías asociadas en comparación con los valores históricas.

- **Proyección de la temperatura máxima:** En la Tabla 3.34 se muestra la evolución de la temperatura máxima mensual promedio en la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5. En el escenario actual, la temperatura máxima mensual promedio es de 19.44°C, con proyecciones que indican un aumento a

21,57°C para el año 2050 y 23,64°C para 2080, según lo descrito en la misma tabla.

Tabla 3.34. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	Histórico T°C	2050 T°C	2080 T°C
Ene	30	18.94	20.53	22.48
Feb	28	18.70	20.59	22.45
Mar	31	18.80	20.92	22.70
Abr	30	19.59	21.69	23.69
May	31	19.68	22.01	24.03
Jun	30	19.06	21.48	23.60
Jul	31	18.94	21.55	23.85
Ago	31	19.50	22.01	24.38
Set	30	20.17	22.47	24.69
Oct	31	20.39	22.43	24.56
Nov	30	20.04	21.99	24.09
Dic	31	19.43	21.13	23.21
Suma		233.24	258.80	283.73
Promedio		19.44	21.57	23.64
Máximo		20.39	22.47	24.69
Mínimo		18.70	20.53	22.45

Este incremento de la temperatura máxima es más evidente durante los meses de verano (diciembre a marzo), donde las temperaturas en 2080 podrían llegar a superar los 24°C, siendo un desafío importante para la gestión de los recursos hídricos y la planificación agrícola en la región. En julio y agosto, los valores también alcanzan niveles elevados, lo que podría agravar las condiciones secas en esta época del año, intensificando la demanda hídrica para la agricultura y la vegetación natural.

- **Anomalías de temperatura máxima:** Las anomalías de temperatura máxima reflejan la diferencia entre los valores proyectados y las temperaturas históricas. En la Tabla 3.35 se observa un incremento promedio de 2.13°C para el año 2050, mientras que para 2080 este valor aumenta a 4.21°C. Los meses de julio y agosto presentan las mayores anomalías, con incrementos de hasta 4.91°C en 2080.

Tabla 3.35. Anomalías proyectadas en la temperatura máxima (°C) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080

Mes	2050 T°C	2080 T°C
Enero	1.58	3.53
Febrero	1.89	3.75
Marzo	2.13	3.91
Abril	2.11	4.10
Mayo	2.33	4.35
Junio	2.41	4.53
Julio	2.61	4.91
Agosto	2.51	4.88
Setiembre	2.30	4.53
Octubre	2.04	4.17
Noviembre	1.96	4.05
Diciembre	1.70	3.78
Suma	25.56	50.49
Promedio	2.13	4.21
Máximo	2.61	4.91
Mínimo	1.58	3.53

Finalmente, en la Figura 3.32 se visualiza el cambio progresivo de las temperaturas máximas, confirmando la tendencia de calentamiento observada en los datos tabulados.

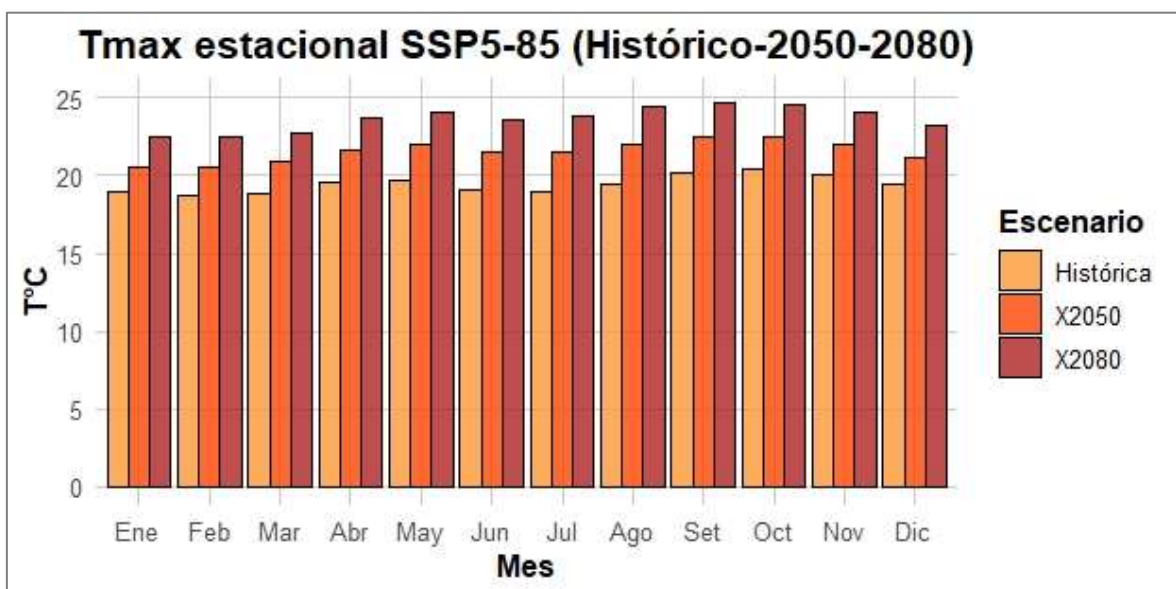


Figura 3.32. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

Temperatura mínima

Los resultados de la temperatura mínima en la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 muestran un aumento considerable hacia los años 2050 y 2080. En la Tabla 3.11 se presenta la proyección de la temperatura mínima mensual para la cuenca en comparación con los valores históricos.

- **Proyección de la temperatura mínima:** Para el período actual, la temperatura mínima promedio es de 5.91°C, mientras que para el año 2050, se proyecta un aumento a 8.26°C, y para 2080, el incremento alcanza los 10.55°C. Este aumento refleja un calentamiento progresivo, con incrementos más acentuados en los meses de invierno, lo que podría tener implicaciones importantes para los ecosistemas y la disponibilidad hídrica en la cuenca. En la Tabla 3.36 se detallan las proyecciones mensuales de la temperatura mínima, mostrando un aumento constante hacia el año 2080. Este cambio es más evidente durante los meses de invierno, donde las temperaturas mínimas, actualmente las más bajas del año, experimentarán aumentos considerables.

Tabla 3.36. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	Histórico T°C	2050 T°C	2080 T°C
Ene	30	8.09	10.07	12.20
Feb	28	8.22	10.16	12.19
Mar	31	7.56	9.58	11.70
Abr	30	6.67	8.70	10.91
May	31	4.66	7.04	9.43
Jun	30	4.12	6.49	8.93
Jul	31	3.50	6.16	8.55
Ago	31	4.30	6.95	9.35
Set	30	4.96	7.83	10.37
Oct	31	5.82	8.40	10.89
Nov	30	5.87	8.35	10.55
Dic	31	7.17	9.43	11.57
Suma		70.95	99.15	126.62
Promedio		5.91	8.26	10.55
Máximo		8.22	10.16	12.20
Mínimo		3.50	6.16	8.55

Este aumento progresivo de la temperatura mínima es más notorio durante los meses de invierno, cuando las temperaturas mínimas, que actualmente son las más bajas del año, experimentarán aumentos considerables. Para el año 2080, los meses de junio y julio, que registran las temperaturas más bajas en la actualidad, podrían ver aumentos de más de 5°C, lo que tendría un impacto importante sobre los ciclos hidrológicos de la región y sobre la recarga de acuíferos.

Este incremento de la temperatura mínima puede afectar la evapotranspiración nocturna, aumentando la pérdida de humedad del suelo y dificultando la capacidad de los cultivos y la vegetación para retener agua durante las horas de menor radiación solar (Allen et al., 2015).

- **Anomalías de temperatura mínima:**

Las anomalías de la temperatura mínima muestran las diferencias entre las temperaturas proyectadas y las históricas. Para el año 2050, el incremento promedio es de 2.35°C respecto a las temperaturas históricas, y para el año 2080, el aumento promedio alcanza los 4.64°C. Los meses de invierno (junio a agosto) muestran las anomalías más pronunciadas, con aumentos que llegan a 5.40°C para septiembre en 2080, según la Tabla 3.37, anomalías en la proyección de temperatura mínima (°C) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080.

Tabla 3.37. Anomalías en la proyección de temperatura mínima (°C) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080

Mes	2050 T°C	2080 T°C
Enero	1.97	4.10
Febrero	1.94	3.97
Marzo	2.02	4.14
Abril	2.03	4.24
Mayo	2.38	4.77
Junio	2.37	4.81
Julio	2.65	5.04
Agosto	2.64	5.05
Setiembre	2.87	5.40
Octubre	2.57	5.06
Noviembre	2.48	4.68
Diciembre	2.27	4.40
Suma	28.20	55.66
Promedio	2.35	4.64
Máximo	2.87	5.40
Mínimo	1.94	3.97

Este aumento de las temperaturas mínimas implica que los inviernos serán significativamente menos fríos, lo que afectará los patrones de congelación y descongelación, y podría alterar los ciclos de crecimiento de las especies vegetales y cultivos.

Finalmente, en la Figura 3.33 se visualiza la evolución de las temperaturas mínimas, confirmando el incremento gradual a lo largo del tiempo.

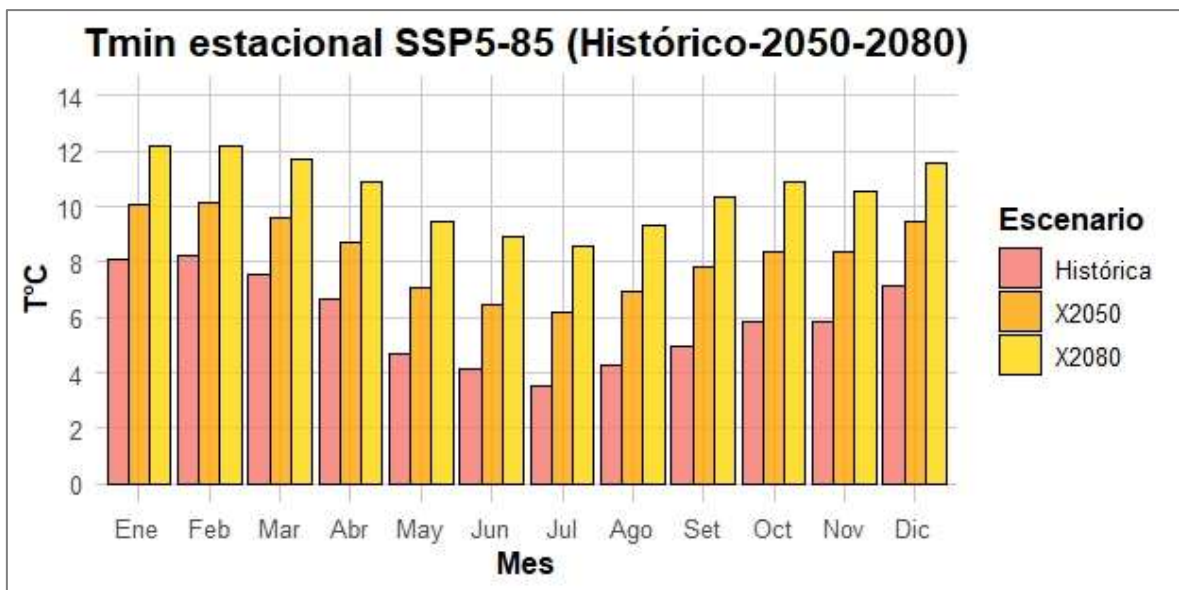


Figura 3.33. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

Evapotranspiración

El análisis comparativo entre los valores históricos de evapotranspiración y las proyecciones futuras en la cuenca del río Acarí revela un incremento significativo para los años 2050 y 2080. Los resultados de la evapotranspiración en la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 muestran un aumento considerable hacia los años 2050 y 2080. En la Tabla 3.11 se presenta la proyección de la evapotranspiración mensual para la cuenca en comparación con los valores históricas.

- **Proyección de la evapotranspiración:** En la Tabla 3.38 se presentan los resultados de la evapotranspiración mensual proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 para los años históricas, 2050 y 2080. Los datos muestran un aumento progresivo, con un promedio mensual de 26.83 mm en la actualidad, que sube a 29.55 mm para 2050 y a 31.85 mm para 2080. Este incremento es más notable en los meses más cálidos, como marzo, donde la evapotranspiración proyectada para 2080 alcanza 80.52 mm, en comparación con los 71.81 mm históricas.

Tabla 3.38. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	Nº días del mes	Histórico mm/mes	2050 mm/mes	2080 mm/mes
Ene	30	58.15	63.81	66.31
Feb	28	68.41	75.25	77.85
Mar	31	71.81	75.52	80.52
Abr	30	37.27	40.71	46.31
May	31	12.50	14.12	18.51
Jun	30	6.90	7.16	9.04
Jul	31	5.16	4.54	4.35
Ago	31	5.10	4.93	5.39
Set	30	6.03	7.23	8.50
Oct	31	9.26	11.78	14.46
Nov	30	12.72	15.11	15.22
Dic	31	28.73	34.46	35.77
Suma		322.01	354.62	382.23
Promedio		26.83	29.55	31.85
Máximo		71.81	75.52	80.52
Mínimo		5.10	4.54	4.35

- **Anomalías de Evapotranspiración:** La Tabla 3.39 detalla las anomalías en la evapotranspiración proyectada, que representan las diferencias porcentuales respecto a los valores históricos. Para 2050, las anomalías indican un incremento promedio de 10.15%, mientras que para 2080, el aumento promedio es del 22.91%. Los meses de septiembre y octubre registran las anomalías más altas,

con incrementos de hasta 56.18% en octubre de 2080, lo que señala una mayor demanda de agua en esos meses.

Tabla 3.39. Anomalías en la proyección de evapotranspiración (mm) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080

Mes	2050	2080
	%	%
Enero	9.73	14.03
Febrero	9.99	13.80
Marzo	5.17	12.14
Abril	9.23	24.26
Mayo	12.97	48.11
Junio	3.85	31.05
Julio	-11.93	-15.69
Agosto	-3.25	5.80
Setiembre	19.97	41.02
Octubre	27.24	56.18
Noviembre	18.83	19.71
Diciembre	19.95	24.51
Suma	121.77	274.91
Promedio	10.15	22.91
Máximo	27.24	56.18
Mínimo	-11.93	-15.69

En la Figura 3.34 se ilustra la evolución de la evapotranspiración proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 en los años Actual, 2050 y 2080, reflejando claramente el aumento en los valores de evapotranspiración a lo largo del tiempo.

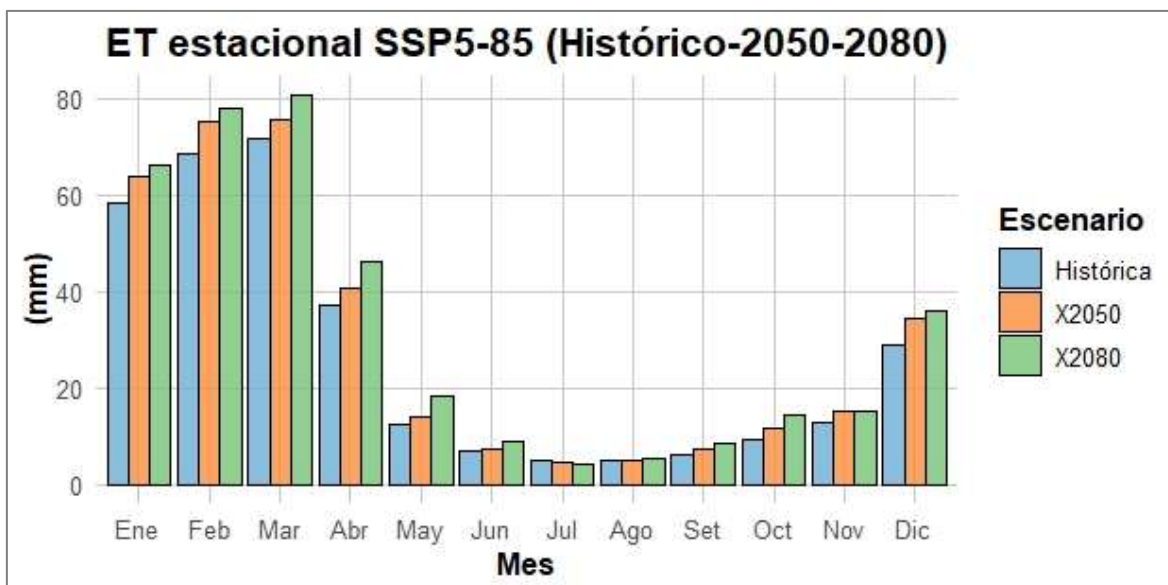


Figura 3.34. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

Precipitación

El análisis comparativo de la recepción en la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 revela un aumento progresivo hacia los años 2050 y 2080. A continuación, se presentan los resultados detallados de la proyección de la recepción y las anomalías asociadas en comparación con los valores históricos.

- **Proyección de la Precipitación:** En la Tabla 3.40 se presentan los resultados de la precipitación mensual proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 en los años histórico, 2050 y 2080. El análisis muestra un incremento gradual en la precipitación, con un promedio de 30.83 mm en la actualidad, que aumenta a 34.13 mm para el año 2050 y a 36.71 mm para 2080. Este aumento es particularmente notable durante los meses de verano, con un máximo proyectado de 117.62 mm en febrero de 2080, en comparación con los 102.70 mm históricas.

Tabla 3.40. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	Histórico	2050	2080
		mm/mes	mm/mes	mm/mes
Ene	30	87.31	103.17	110.61
Feb	28	102.70	112.87	117.62
Mar	31	85.77	87.47	97.05
Abr	30	22.39	25.45	27.88
May	31	2.81	3.19	4.12
Jun	30	1.34	1.62	2.14
Jul	31	1.45	1.40	1.46
Ago	31	2.83	2.35	2.33
Set	30	3.97	4.42	4.74
Oct	31	7.30	8.18	10.41
Nov	30	11.40	12.09	13.07
Dic	31	40.70	47.31	49.07
Suma		369.96	409.51	440.52
Promedio		30.83	34.13	36.71
Máximo		102.70	112.87	117.62
Mínimo		1.34	1.40	1.46

Este aumento de la precipitación es más evidente durante los meses de verano (diciembre a marzo), donde los valores proyectados para 2080 superan los 110 mm en algunos meses, lo que podría representar desafíos en la gestión del agua y el control de inundaciones. En contraste, los meses de julio y agosto muestran valores mínimos, lo que podría intensificar las condiciones secas durante esta época del año.

- Anomalías de Precipitación: En la Tabla 3.41, se detallan las anomalías de precipitación, que representan el porcentaje de incremento o decremento en relación con los valores históricos. Para 2050, las anomalías muestran un incremento promedio del 8.68%, mientras que para 2080, este valor se eleva a 22.26%. Los meses de junio y mayo registran las anomalías más altas, con un incremento de hasta 60.47% en junio de 2080, lo que indica un aumento considerable de la precipitación en esos meses.

Tabla 3.41. Anomalías en la proyección de precipitación(mm) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080

Mes	2050	2080
	%	%
Enero	18.16	26.69
Febrero	9.90	14.53
Marzo	1.97	13.15
Abril	13.66	24.50
Mayo	13.51	46.92
Junio	21.50	60.47
Julio	-3.51	1.13
Agosto	-16.94	-17.55
Setiembre	11.36	19.36
Octubre	12.18	42.70
Noviembre	6.08	14.68
Diciembre	16.22	20.57
Suma	104.11	267.14
Promedio	8.68	22.26
Máximo	21.50	60.47
Mínimo	-16.94	-17.55

Este análisis muestra que las precipitaciones en la cuenca del río Acarí experimentarán un aumento considerable hacia 2050 y 2080, lo que tendrá un impacto significativo en la región, especialmente en términos de recursos hídricos y manejo de inundaciones. Sin embargo, algunas anomalías negativas en los meses de invierno y otoño sugieren que la variabilidad climática también podría intensificar las condiciones secas durante esos períodos.

En la Figura 3.35 se ilustra la precipitación proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5, mostrando la evolución desde los valores históricos hasta 2050 y 2080.



Figura 3.35. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

Caudal

El análisis comparativo del caudal en la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 muestra un aumento progresivo hacia los años 2050 y 2080. A continuación, se presentan los resultados detallados de la proyección del caudal y las anomalías asociadas en comparación con los valores históricos.

- **Proyección del caudal:** El análisis del caudal mensual promedio bajo el escenario SSP5-8.5 muestra un incremento progresivo hacia los años 2050 y 2080. En el escenario histórico, el caudal mensual promedio es de 4.9 m³/s, con proyecciones que muestran un aumento a 5.74 m³/s para 2050 y 6.14 m³/s para 2080. Este incremento es particularmente notable en los meses de enero y febrero, donde el caudal proyectado alcanza 24.56 m³/s en febrero de 2080, en comparación con los 18.99 m³/s históricos.

En la Tabla 3.42, se presentan los resultados del caudal mensual proyectado para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5.

Tabla 3.42. Caudal proyectado en mm/mes y m³/s para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	Histórico		2050		2080	
		mm/mes	m ³ /s	mm/mes	m ³ /s	mm/mes	m ³ /s
Ene	30	6.98	10.06	9.63	13.88	10.52	15.17
Feb	28	12.30	18.99	14.71	22.71	15.90	24.56
Mar	31	11.87	16.55	12.73	17.76	13.75	19.19
Abr	30	4.77	6.88	5.15	7.42	5.02	7.24
May	31	2.14	2.99	2.08	2.90	2.11	2.94
Jun	30	0.29	0.41	0.32	0.47	0.34	0.48
Jul	31	0.11	0.15	0.12	0.16	0.13	0.18
Ago	31	0.09	0.12	0.09	0.13	0.11	0.15
Set	30	0.06	0.09	0.07	0.11	0.07	0.10
Oct	31	0.08	0.11	0.10	0.15	0.13	0.18
Nov	30	0.13	0.18	0.17	0.25	0.19	0.27
Dic	31	1.65	2.30	2.12	2.96	2.30	3.21
Suma		40.45	58.84	47.29	68.88	50.57	73.67
Promedio		3.37	4.90	3.94	5.74	4.21	6.14
Máximo		12.30	18.99	14.71	22.71	15.90	24.56
Mínimo		0.06	0.09	0.07	0.11	0.07	0.10

Este aumento en el caudal es más evidente durante los meses de verano (enero a marzo), donde los valores proyectados para 2080 superan los 15 m³/s, lo que podría representar desafíos en la gestión del agua y el control de inundaciones. En contraste, los meses de julio y agosto muestran valores mínimos de caudal, lo que sugiere la posibilidad de condiciones más secas durante esa época del año.

- **Anomalías de Precipitación:** Las anomalías en el caudal, que reflejan la diferencia entre los valores proyectados y los valores históricos, muestran un incremento notable en los próximos años. En la Tabla 3.43 se detallan las anomalías proyectadas en el caudal para los años 2050 y 2080. Para 2050, las anomalías muestran un incremento promedio del 17.91%, mientras que para 2080, este valor se eleva a 27.66%. Los meses de octubre y enero presentan las mayores anomalías, con incrementos de hasta 75.50% en octubre de 2080, lo que indica un cambio significativo en los patrones de caudal en esos meses.

Tabla 3.43. Anomalías en la proyección de caudal(mm) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080

Mes	2050 %	2080 %
Enero	37.95	50.77
Febrero	19.61	29.33
Marzo	7.29	15.92
Abril	7.78	5.24
Mayo	-2.94	-1.59
Junio	13.32	17.53
Julio	6.18	16.45
Agosto	6.81	27.07
Setiembre	17.18	6.08
Octubre	37.98	75.50
Noviembre	35.22	50.30
Diciembre	28.55	39.32
Suma	214.92	331.91
Promedio	17.91	27.66
Máximo	37.98	75.50
Mínimo	-2.94	-1.59

El análisis de las anomalías muestra que el caudal en la cuenca del río Acarí aumentará considerablemente en los próximos años, con incrementos particularmente altos durante los meses de verano y otoño. Los meses de enero y octubre presentan los mayores aumentos en el caudal, con incrementos que superan el 50% en 2080. Sin embargo, los meses de mayo, muestran anomalías negativas o menores, lo que sugiere una posible reducción en el caudal durante esos períodos.

Estas anomalías indican que la cuenca experimentará tanto aumentos significativos en el caudal durante la temporada húmeda, como una reducción del mismo durante algunos meses secos, lo que podría requerir ajustes en la gestión de los recursos hídricos de la región.

En la Figura 3.36 se presenta una ilustración visual del caudal proyectado para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 para los años Histórico, 2050 y 2080, destacando los cambios en los patrones de caudal a lo largo del tiempo.

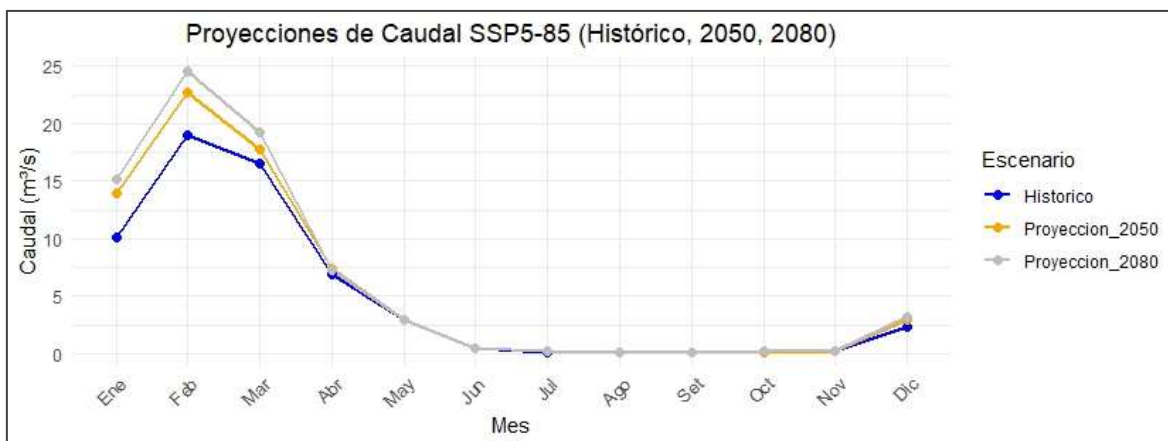


Figura 3.36. Caudal(mm) proyectado para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

3.4.2 Comparación de la disponibilidad hídrica histórica y futura bajo el escenario climático SSP1-2.6

Temperatura máxima

El análisis de la temperatura máxima bajo el escenario climático SSP1-2.6 en la cuenca del río Acarí muestra un aumento moderado hacia los años 2050 y 2080 en comparación con el escenario actual. Los valores proyectados reflejan un calentamiento progresivo, aunque menor en magnitud que en escenarios más extremos. A continuación, se presentan los resultados de las proyecciones y anomalías de la temperatura máxima en comparación con los valores históricas.

- **Proyección de la temperatura máxima:** La proyección de la temperatura máxima en la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 muestra un aumento gradual en las próximas décadas. Actualmente, la temperatura máxima promedio mensual es de 19.44°C, con un incremento proyectado a 20.78°C para el año 2050 y 20.99°C para 2080. Aunque este incremento es moderado en comparación con otros escenarios más extremos, refleja un calentamiento continuo, especialmente en los meses de verano.

En la Tabla 3.44 se detallan las proyecciones de la temperatura máxima mensual, donde el valor más alto proyectado es de 21.79°C en octubre de 2080, mientras que el valor más bajo es de 20.11°C en febrero del mismo año. Este patrón sugiere que, si bien las temperaturas de verano experimentarán un mayor aumento, el

escenario SSP1-2.6 no presenta cambios tan severos como los observados en escenarios de mayores emisiones.

Tabla 3.44. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	Histórico T°C	2050 T°C	2080 T°C
Ene	30	18.94	19.93	20.12
Feb	28	18.70	19.86	20.11
Mar	31	18.80	20.02	20.37
Abr	30	19.59	20.88	21.19
May	31	19.68	21.21	21.40
Jun	30	19.06	20.69	20.86
Jul	31	18.94	20.69	20.88
Ago	31	19.50	21.18	21.31
Set	30	20.17	21.60	21.74
Oct	31	20.39	21.62	21.79
Nov	30	20.04	21.17	21.39
Dic	31	19.43	20.49	20.69
Suma		233.24	249.35	251.86
Promedio		19.44	20.78	20.99
Máximo		20.39	21.62	21.79
Mínimo		18.70	19.86	20.11

El aumento de las temperaturas será más pronunciado en los meses de verano, alcanzando su punto máximo en 2080 durante los meses de julio y agosto, lo que podría implicar desafíos en términos de gestión hídrica y adaptación agrícola.

- Anomalías de la temperatura máxima: Las anomalías de la temperatura máxima, que representan la diferencia entre los valores proyectados y los históricos, muestran un aumento moderado a lo largo del tiempo. Para 2050, las anomalías indican un incremento promedio de 1.34°C, mientras que para 2080, el aumento promedio es de 1.55°C. Los mayores incrementos se observan en julio de 2080, con una anomalía de 1.93°C, mientras que las anomalías más bajas ocurren en enero de 2040, con un incremento de 0.99°C.

En la Tabla 3.45 se resumen las anomalías proyectadas para los años 2050 y 2080, donde se destaca que el calentamiento será más significativo en los meses

de verano, aumentando las temperaturas en 1.93°C en julio de 2080. Este patrón implica que, aunque el escenario SSP1-2.6 prevé un aumento más moderado que otros escenarios, las temperaturas máximas seguirán una tendencia al alza, especialmente en los meses más cálidos.

Tabla 3.45. Anomalías proyectadas en la temperatura máxima (°C) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080

Mes	2050 T°C	2080 T°C
Enero	0.99	1.18
Febrero	1.16	1.42
Marzo	1.23	1.57
Abril	1.30	1.60
Mayo	1.53	1.72
Junio	1.63	1.80
Julio	1.74	1.93
Agosto	1.68	1.81
Setiembre	1.44	1.57
Octubre	1.24	1.41
Noviembre	1.13	1.36
Diciembre	1.05	1.26
Suma	16.11	18.62
Promedio	1.34	1.55
Máximo	1.74	1.93
Mínimo	0.99	1.18

La Figura 3.37 muestra gráficamente la evolución de la temperatura máxima proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6, confirmando la tendencia al alza observada en los datos tabulados.

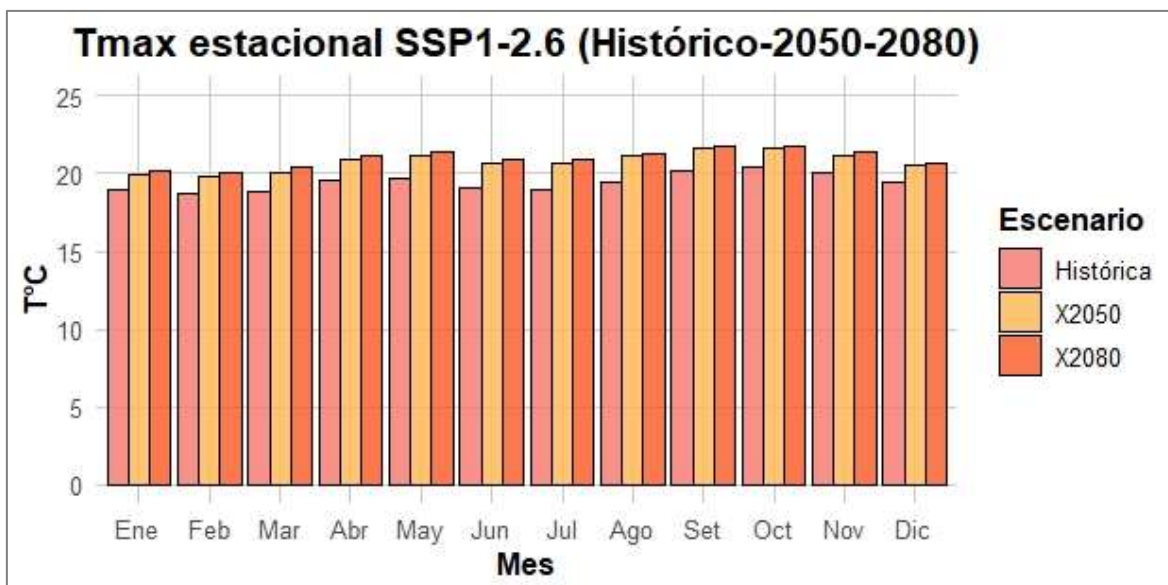


Figura 3.37. Temperatura máxima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

Temperatura mínima

El análisis de la temperatura mínima bajo el escenario climático SSP1-2.6 en la cuenca del río Acarí revela un aumento moderado hacia los años 2050 y 2080, similar a las proyecciones de la temperatura máxima. A continuación, se presentan los resultados de las proyecciones y anomalías de la temperatura mínima en comparación con los valores históricos.

- Proyección de la temperatura mínima: La temperatura mínima promedio mensual muestra un incremento de 5.91°C en el presente a 6.45°C para el año 2050 y 8.00°C para 2080. Este aumento es más pronunciado en los meses de invierno y primavera, alcanzando un máximo de 9.94°C en febrero de 2080, y un mínimo de 5.88°C en julio de 2080. Esto podría tener implicaciones significativas para el ciclo hidrológico y la biodiversidad de la región.
- En la Tabla 3.46 se detallan las proyecciones de la temperatura mínima mensual, donde se observa que las temperaturas mínimas proyectadas para 2080 podrían alterar los patrones de cultivo y el ciclo de vida de los ecosistemas, en especial durante los meses más fríos.

Tabla 3.46. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	Histórico T°C	2050 T°C	2080 T°C
Ene	30	8.09	8.45	9.86
Feb	28	8.22	8.63	9.94
Mar	31	7.56	8.00	9.34
Abr	30	6.67	7.08	8.42
May	31	4.66	5.14	6.75
Jun	30	4.12	4.64	6.21
Jul	31	3.50	4.17	5.88
Ago	31	4.30	4.93	6.67
Set	30	4.96	5.72	7.54
Oct	31	5.82	6.39	8.11
Nov	30	5.87	6.57	8.12
Dic	31	7.17	7.69	9.19
Suma		70.95	77.41	96.03
Promedio		5.91	6.45	8.00
Máximo		8.22	8.63	9.94
Mínimo		3.50	4.17	5.88

Este aumento en las temperaturas mínimas será más evidente durante los meses de invierno, donde el cambio en las temperaturas puede tener un impacto considerable en la región, especialmente en la agricultura y la biodiversidad.

- Anomalías de la temperatura mínima: Las anomalías de la temperatura mínima, que representan la diferencia entre los valores proyectados y los históricos, muestran un incremento moderado para el año 2050, con un promedio de 0.54°C, y un aumento más pronunciado para 2080, con un promedio de 2.09°C.

En la Tabla 3.47 se presentan las anomalías proyectadas, destacando que los meses de septiembre y julio en 2080 presentan las mayores anomalías, con incrementos de 2.57°C y 2.38°C, respectivamente. Estos cambios reflejan la posibilidad de noches más cálidas en las épocas donde normalmente se experimentan las temperaturas más frías del año, lo que afectará la agricultura, la fauna y los recursos hídricos.

Tabla 3.47. Anomalías en la proyección de temperatura mínima (°C) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080

Mes	2050 T°C	2080 T°C
Enero	0.35	1.77
Febrero	0.41	1.72
Marzo	0.44	1.78
Abril	0.41	1.75
Mayo	0.48	2.10
Junio	0.52	2.09
Julio	0.67	2.38
Agosto	0.63	2.37
Setiembre	0.75	2.57
Octubre	0.56	2.29
Noviembre	0.70	2.25
Diciembre	0.53	2.02
Suma	6.46	25.08
Promedio	0.54	2.09
Máximo	0.75	2.57
Mínimo	0.35	1.72

Las anomalías más elevadas en los meses de invierno podrían alterar los ciclos de congelación y descongelación, afectando tanto la producción agrícola como la gestión de los recursos hídricos.

La Figura 3.38 muestra gráficamente la evolución de la temperatura mínima proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6, confirmando la tendencia de calentamiento moderado proyectado hacia 2050 y 2080.

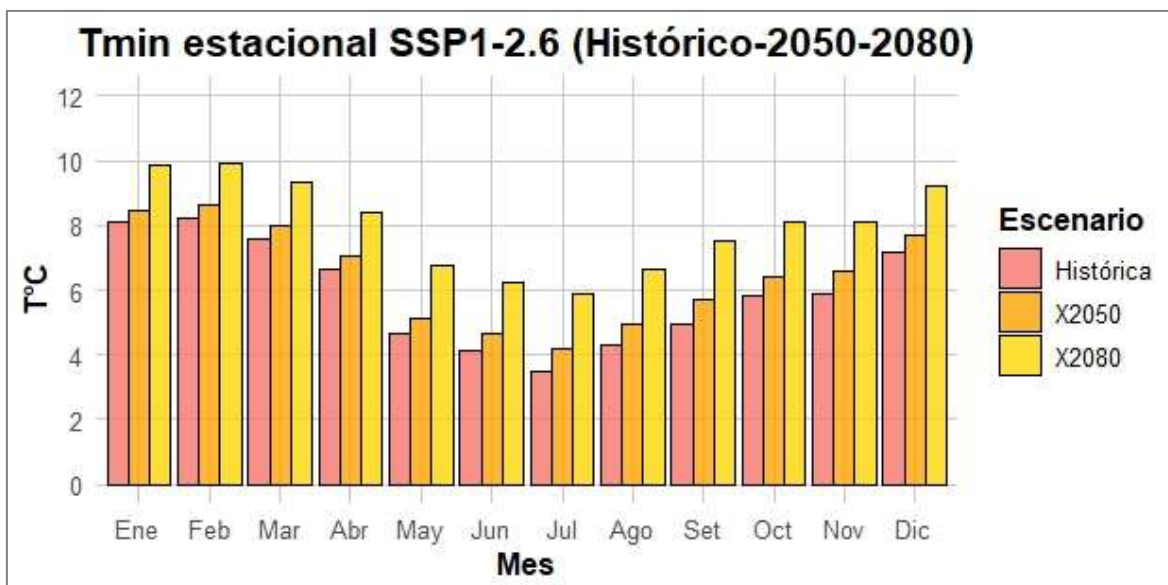


Figura 3.38. Temperatura mínima(°C) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

Evapotranspiración

El análisis de la evapotranspiración bajo el escenario climático SSP1-2.6 en la cuenca del río Acarí muestra un aumento moderado hacia los años 2050 y 2080, aunque en algunos meses se observan ligeras reducciones. A continuación, se presentan los resultados de las proyecciones y anomalías de la evapotranspiración en comparación con los valores históricas.

- **Proyección de la evapotranspiración:** La evapotranspiración promedio mensual muestra un incremento de 26.83 mm en el presente a 28.65 mm para el año 2050 y 28.50 mm para 2080. Aunque el aumento no es tan marcado, se observa una tendencia de incremento principalmente en los meses de verano. El valor máximo de evapotranspiración se registra en marzo, con 74.88 mm en 2050 y 74.09 mm en 2080, mientras que los valores mínimos se observan en los meses de julio y agosto, con menos de 5 mm.

En la Tabla 3.48 se muestran los valores proyectados de la evapotranspiración mensual. Es evidente que los meses de verano, como enero, febrero y marzo, experimentan los mayores aumentos, lo que refleja una mayor demanda de agua por la atmósfera durante las temporadas más cálidas. En contraste, los meses de julio y agosto presentan ligeras disminuciones en comparación con los valores

históricas, lo que podría estar relacionado con condiciones climáticas más secas durante esos meses.

Tabla 3.48. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Actual, 2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	Histórico mm/mes	2050 mm/mes	2080 mm/mes
Ene	30	58.15	63.48	62.26
Feb	28	68.41	72.08	73.15
Mar	31	71.81	74.88	74.09
Abr	30	37.27	39.30	39.34
May	31	12.50	13.24	13.14
Jun	30	6.90	7.40	7.60
Jul	31	5.16	4.97	4.69
Ago	31	5.10	4.86	4.80
Set	30	6.03	6.47	6.35
Oct	31	9.26	10.54	10.44
Nov	30	12.72	14.39	13.85
Dic	31	28.73	32.20	32.31
Suma		322.01	343.80	342.03
Promedio		26.83	28.65	28.50
Máximo		71.81	74.88	74.09
Mínimo		5.10	4.86	4.69

El incremento en la evapotranspiración es más evidente en los meses de verano (enero a marzo), pero también se observan algunos descensos en meses como julio y agosto, donde los valores son ligeramente menores en comparación con el presente.

- Anomalías de la evapotranspiración: as anomalías de la evapotranspiración, expresadas en porcentaje, muestran el cambio relativo en comparación con los valores históricas. Para 2050, las anomalías presentan un incremento promedio del 6.31%, mientras que para 2080 el promedio desciende ligeramente al 5.24%.

En la Tabla 3.49, se observan las anomalías por mes, donde los incrementos más altos ocurren en octubre y noviembre de 2050, con aumentos del 13.85% y 13.14%, respectivamente. Sin embargo, en los meses de julio y agosto se registran anomalías negativas, con disminuciones de hasta -9.03% en 2080, lo que indica que la evapotranspiración será menor en comparación con los valores

históricas en esos meses. Esto podría implicar menos demanda de agua por la atmósfera durante los meses más secos del año.

Tabla 3.49. Anomalías en la proyección de evapotranspiración (mm) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080

Mes	2050	2080
	%	%
Enero	9.17	7.06
Febrero	5.37	6.93
Marzo	4.28	3.18
Abril	5.44	5.56
Mayo	5.90	5.12
Junio	7.33	10.19
Julio	-3.60	-9.03
Agosto	-4.60	-5.72
Setiembre	7.34	5.37
Octubre	13.85	12.77
Noviembre	13.14	8.89
Diciembre	12.07	12.49
Suma	75.69	62.83
Promedio	6.31	5.24
Máximo	13.85	12.77
Mínimo	-4.60	-9.03

La Figura 3.39 presenta gráficamente la evolución de la evapotranspiración proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6. En ella, se visualiza el incremento en los meses más cálidos, así como las ligeras disminuciones durante los meses secos.

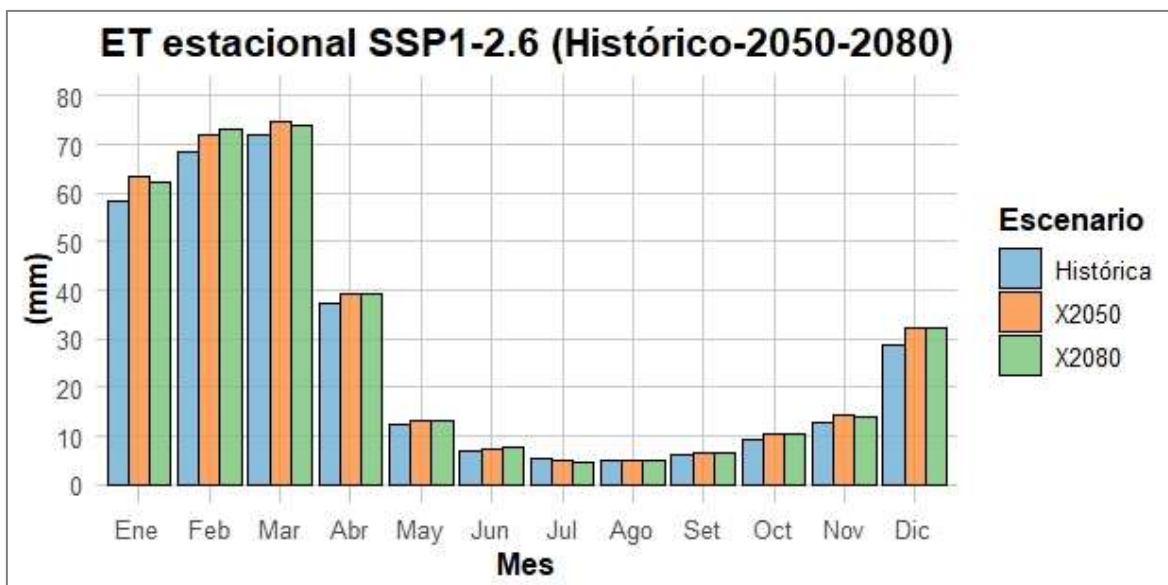


Figura 3.39. Evapotranspiración(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

Precipitación

El análisis de la precipitación bajo el escenario climático SSP1-2.6 en la cuenca del río Acarí muestra un aumento moderado en algunos meses hacia los años 2050 y 2080. A continuación, se presentan los resultados de las proyecciones y anomalías de la precipitación mensual en comparación con los valores históricos.

- Proyección de la precipitación: La precipitación mensual promedio en la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 muestra un incremento de 30.83 mm en el presente a 33.19 mm para 2050 y 32.75 mm para 2080. El valor máximo proyectado ocurre en febrero de 2080, con 108.25 mm, mientras que el valor mínimo se registra en julio de 2080, con 1.40 mm.

En la Tabla 3.50 se presentan los valores proyectados de precipitación mensual. Los meses de verano, especialmente enero y febrero, muestran los mayores aumentos, reflejando una mayor recepción de agua en esas estaciones. Sin embargo, algunos meses como julio presentan ligeros descensos para 2080, lo que sugiere una posible reducción de la precipitación durante los meses más secos.

Tabla 3.50. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Actual, 2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	Actual	2050	2080
		mm/mes	mm/mes	mm/mes
Ene	30	87.31	98.64	94.81
Feb	28	102.70	105.55	108.25
Mar	31	85.77	89.97	86.09
Abr	30	22.39	23.94	24.15
May	31	2.81	3.19	3.27
Jun	30	1.34	1.75	2.20
Jul	31	1.45	1.58	1.40
Ago	31	2.83	2.52	2.51
Set	30	3.97	4.36	4.31
Oct	31	7.30	8.53	8.32
Nov	30	11.40	13.08	12.17
Dic	31	40.70	45.18	45.51
Suma		369.96	398.29	393.00
Promedio		30.83	33.19	32.75
Máximo		102.70	105.55	108.25
Mínimo		1.34	1.58	1.40

El incremento en la precipitación se concentra principalmente en los meses de verano, con los mayores valores en enero y febrero. Sin embargo, algunos meses, como julio, muestran un ligero descenso en las proyecciones para 2080.

- Anomalías de la precipitación: Las anomalías de la precipitación, expresadas en porcentaje, reflejan el cambio relativo en comparación con los valores históricas. Para 2050, las anomalías indican un incremento promedio del 7.66%, mientras que para 2080, el promedio de aumento es del 9.35%.

En la Tabla 3.51 se destacan las anomalías mensuales, donde junio de 2080 presenta el mayor incremento, con un 64.46% más de precipitación que en la actualidad. Por otro lado, julio de 2080 muestra una leve disminución de -2.95% en comparación con los valores históricas, lo que podría sugerir condiciones más secas en ese mes.

Tabla 3.51. Anomalías en la proyección de precipitación(mm) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080

Mes	2050	2080
	%	%
Enero	12.98	8.60
Febrero	2.78	5.40
Marzo	4.89	0.37
Abril	6.92	7.84
Mayo	13.66	16.64
Junio	30.65	64.46
Julio	9.08	-2.95
Agosto	0.00	0.00
Setiembre	0.00	0.00
Octubre	0.00	0.00
Noviembre	0.00	0.00
Diciembre	11.00	11.80
Suma	91.96	112.16
Promedio	7.66	9.35
Máximo	30.65	64.46
Mínimo	0.00	-2.95

La Figura 3.40 muestra gráficamente la evolución de la precipitación proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6, permitiendo observar las variaciones entre los años 2050 y 2080 y la comparación con los valores históricas.



Figura 3.40. Precipitación(mm) proyectada para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

Caudal

El caudal en la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 presenta variaciones moderadas en los años 2050 y 2080, influenciadas por los cambios en la precipitación y evapotranspiración. Los cambios en el caudal son cruciales para la disponibilidad hídrica, ya que reflejan la cantidad de agua disponible para el uso humano, agrícola y ecológico en la región. A continuación, se detallan los resultados de las proyecciones de caudal y las anomalías en comparación con los valores históricas.

- **Proyección de los caudales:** La proyección de los caudales muestra un ligero aumento en el caudal promedio mensual para el año 2050, pasando de 4.90 m³/s a 5.61 m³/s, mientras que para 2080, se proyecta un aumento que llega a los 5.24 m³/s. En la Tabla 3.52, se observa que el caudal máximo se proyecta para febrero de 2080 con 21.08 m³/s, mientras que los valores mínimos se registran en los meses de julio a octubre, con caudales cercanos a 0.12 m³/s, lo que podría agravar las condiciones de escasez hídrica durante los meses secos.

Tabla 3.52. Caudal proyectado en mm/mes y m³/s para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Actual, 2050 y 2080)

Mes	N° días del mes	Histórico		2050		2080	
		mm/mes	m ³ /s	mm/mes	m ³ /s	mm/mes	m ³ /s
Ene	30	6.98	10.06	8.80	12.69	8.16	11.76
Feb	28	12.30	18.99	13.30	20.54	13.65	21.08
Mar	31	11.87	16.55	13.39	18.68	11.82	16.48
Abr	30	4.77	6.88	5.57	8.02	4.79	6.90
May	31	2.14	2.99	2.45	3.42	1.98	2.77
Jun	30	0.29	0.41	0.32	0.47	0.29	0.42
Jul	31	0.11	0.15	0.13	0.19	0.12	0.17
Ago	31	0.09	0.12	0.10	0.14	0.09	0.12
Set	30	0.06	0.09	0.07	0.10	0.07	0.10
Oct	31	0.08	0.11	0.10	0.14	0.10	0.13
Nov	30	0.13	0.18	0.19	0.27	0.14	0.21
Dic	31	1.65	2.30	1.93	2.69	1.95	2.72
Suma		40.45	58.84	46.35	67.34	43.15	62.87
Promedio		3.37	4.90	3.86	5.61	3.60	5.24
Máximo		12.30	18.99	13.39	20.54	13.65	21.08
Mínimo		0.06	0.09	0.07	0.10	0.07	0.10

El incremento en el caudal durante los primeros meses del año es positivo, ya que coincide con las temporadas de lluvias, lo que podría beneficiar el abastecimiento hídrico. No obstante, la disminución en los meses secos de junio a agosto sugiere que la gestión del agua en la región será más desafiante, especialmente durante los períodos críticos de menor disponibilidad.

- Anomalías de los caudales:** Las anomalías de los caudales, que representan los cambios porcentuales respecto a los valores históricos, muestran variaciones significativas para los años 2050 y 2080. En 2050, se proyecta un incremento promedio del 19.99%, mientras que para 2080 el promedio es considerablemente menor, con un aumento del 8,72%. En 2050, las anomalías más destacadas ocurren en noviembre, con un aumento máximo del 49,96%, seguido de octubre con un 35,29%. En cambio, el valor mínimo se observa en febrero con un 8,16%. Para 2080, las mayores anomalías positivas se presentan en octubre con un aumento del 27,85%, mientras que mayo registra la mayor anomalía negativa, con una disminución del -7,31%. Estos resultados sugieren que, aunque se prevé un incremento general en los caudales para ambos años, las variaciones interanuales serán más pronunciadas en 2050 que en 2080, lo que implica una mayor fluctuación en la disponibilidad de agua a lo largo de las estaciones. En la Tabla 3.53 se muestra las anomalías proyectadas de los caudales en la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6.

Tabla 3.53. Anomalías en la proyección de caudal(mm) para la cuenca del río Acarí en los años 2050 y 2080

Mes	2050 %	2080 %
Enero	26.13	16.93
Febrero	8.16	10.98
Marzo	12.84	-0.42
Abril	16.58	0.23
Mayo	14.42	-7.31
Junio	13.41	1.97
Julio	21.09	9.64
Agosto	15.49	1.52

Setiembre	9.69	10.24
Octubre	35.29	27.85
Noviembre	49.96	14.74
Diciembre	16.79	18.32
Suma	239.85	104.69
Promedio	19.99	8.72
Máximo	49.96	27.85
Mínimo	8.16	-7.31

En la Figura 3.41 se representa la evolución del caudal proyectado para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 destacando los meses de mayor y menor caudal en los años 2050 y 2080 en comparación con los valores históricos.

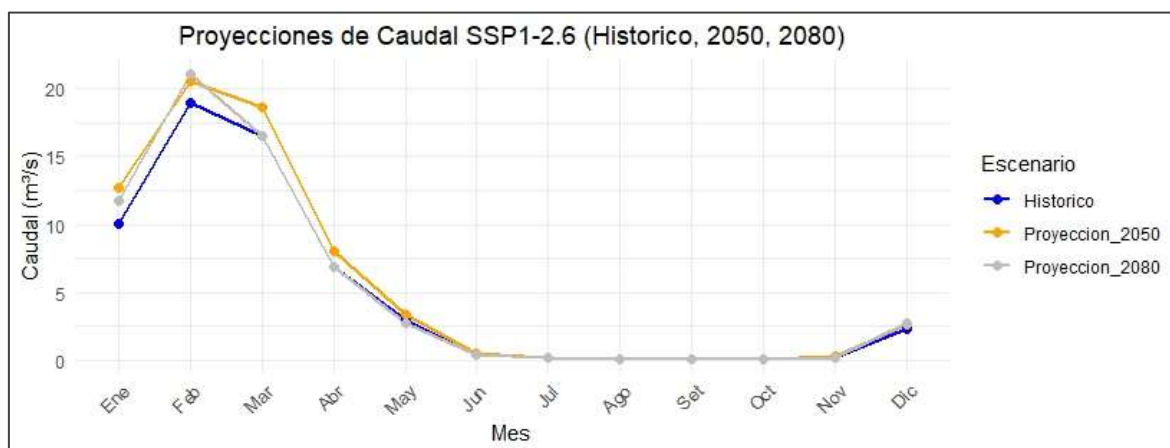


Figura 3.41. Caudal(mm) proyectado para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

3.4.3 Discusión

El análisis de los escenarios climáticos SSP5-8.5 (altas emisiones) y SSP1-2.6 (mitigación climática) para la cuenca del río Acarí ofrece una visión clara sobre cómo el cambio climático afectará las variables clave del ciclo hidrológico, incluidas severas, temperatura máxima y mínima, evapotranspiración, y caudal (m^3/s). A continuación, se discuten estos resultados, destacando las anomalías y su impacto en la disponibilidad hídrica.

Precipitación

El escenario SSP5-8.5 muestra un aumento promedio mensual de la precipitación del 7.66% en 2050 y del 9.35% en 2080, con incrementos estacionales más pronunciados en los meses de verano. Las anomalías alcanzan su punto máximo en junio de 2080 con un 64,46% de

incremento en la precipitación, lo que podría generar eventos extremos, como inundaciones, en ciertos meses. En el escenario SSP1-2.6, aunque la recepción también aumenta, lo hace de forma más moderada, con una media del 9.35% en 2080. No obstante, algunos meses secos, como julio y agosto, muestran anomalías negativas, lo que sugiere una vulnerabilidad continúa durante la temporada seca, con una mayor irregularidad en la distribución estacional de las lluvias.

Temperatura Máxima y Mínima

El aumento de la temperatura máxima proyectado bajo SSP5-8.5 para 2080 muestra una tendencia alarmante, con un promedio de 23.64°C y anomalías de hasta 4.21°C en los meses de verano. Este incremento impacta directamente en la evapotranspiración, intensificando las pérdidas de agua por evaporación y afectando la recarga hídrica. En el escenario SSP1-2.6, aunque las temperaturas también aumentan, lo hacen a un ritmo más lento, con un promedio de 20.99°C en 2080 y anomalías menores de 1.55°C.

La temperatura mínima también experimenta un aumento notable bajo SSP5-8.5, con un promedio de 10.55°C en 2080, lo que se refleja en un calentamiento general de la cuenca durante los meses más fríos, mientras que en SSP1-2.6, las temperaturas mínimas alcanzan un promedio de 8.00°C para 2080. Estos aumentos en las temperaturas mínimas pueden reducir la incidencia de heladas, pero a su vez aumentan la evapotranspiración nocturna, intensificando el estrés hídrico.

Evapotranspiración

La evapotranspiración es una variable crucial en el equilibrio hídrico, ya que representa las pérdidas de agua por evaporación y transpiración de las plantas. Bajo el escenario SSP5-8.5, la evapotranspiración promedio mensual aumenta de 26.83 mm en la actualidad a 31.85 mm en 2080, con anomalías que alcanzan un máximo del 56.18% en octubre de 2080. Este aumento es particularmente preocupante porque una mayor evapotranspiración implica mayores pérdidas de agua, incluso en presencia de un incremento en la precipitación, lo que puede resultar en una disponibilidad neta de agua mucho más reducida para la cuenca.

Además, las anomalías negativas observadas en algunos meses secos, como julio y agosto, destacando que, aunque la evapotranspiración es menor durante los meses fríos, las pérdidas de agua aún son significativas debido a las temperaturas más elevadas, lo que exacerba la escasez de agua. en los periodos de baja precipitación.

En el escenario SSP1-2.6, la evapotranspiración también aumenta, aunque de manera más moderada, alcanzando un promedio de 28.50 mm para 2080, con anomalías del 13.96%. Este incremento más controlado refleja los beneficios de una mitigación efectiva del cambio climático, pero incluso en este escenario, la evapotranspiración seguirá siendo un desafío importante, especialmente en los meses de verano, cuando las demandas hídricas son mayores.

Caudal

El comportamiento de los caudales en la cuenca del río Acarí está directamente influenciado por los cambios en los patrones de precipitación y evapotranspiración proyectados bajo el escenario climático SSP5-8.5 (BASD-CMIP6-PE). En este análisis, se observa que el caudal promedio mensual se incrementa en un 17.91 % para el 2050 y un 27.66 % para el 2080 en comparación con los valores históricos, alcanzando un máximo de anomalías del 75.50 % para octubre en 2080. Estos resultados destacan una intensificación de los eventos extremos de precipitación durante los meses lluviosos, lo que sugiere un aumento significativo en la disponibilidad hídrica durante estos periodos (Magrin et al., 2014; Vicuña et al., 2011).

Bajo el escenario climático SSP1-2.6, el caudal promedio mensual también experimenta un aumento, aunque de manera menos pronunciada que en el escenario SSP5-8.5. Para el 2050, se proyecta un incremento del 19.99 % (5.61 m³/s), mientras que para el 2080, el aumento es más moderado, con un 8.72 % (5.24 m³/s). Estos cambios más controlados en la disponibilidad hídrica futura sugieren que, bajo un escenario de bajas emisiones, los impactos sobre los patrones hídricos serían menos extremos, pero aun así significativos. Esta tendencia es consistente con estudios previos sobre la variabilidad climática en escenarios de bajas emisiones, donde se observa una moderación en los cambios hidrológicos (IPCC, 2022).

CONCLUSIONES

Este estudio evaluó la disponibilidad hídrica futura en la cuenca del río Acarí con el modelo SWAT. Se proyectan aumentos en temperatura, precipitación y evapotranspiración, afectando el agua disponible, especialmente bajo el escenario SSP5-8.5. Aunque los caudales aumentarán en meses lluviosos, la vulnerabilidad persiste en los meses secos. El escenario SSP1-2.6 destaca la necesidad de adaptación para una gestión sostenible del agua.

1. La caracterización de la cuenca del río Acarí mediante el modelo SWAT reveló una topografía accidental y una marcada variabilidad climática. La cuenca, con un régimen hídrico estacional dependiente de las lluvias entre enero y marzo, presenta una alta vulnerabilidad al cambio climático, especialmente en los meses secos, debido a su dependencia de las precipitaciones ya la predominancia de pastizales y suelos desnudos en áreas de pendiente.
2. El modelo SWAT, calibrado y validado con datos históricos de la cuenca utilizando SWAT-CUP, demostró una buena capacidad para simular los caudales. Durante la calibración, el coeficiente de Nash-Sutcliffe fue de 0,70 y el R^2 de 0,75, mejorando en la validación a 0,80 para ambos coeficientes, lo que confirma la confiabilidad del modelo para proyectar la disponibilidad hídrica.
3. Bajo el escenario climático SSP5-8.5, se proyecta un aumento de temperatura de hasta 4.21°C para 2080, lo que incrementará la evapotranspiración y reducirá la disponibilidad neta de agua, a pesar de un aumento del caudal promedio mensual del 27.66%. En los meses secos, la cuenca comenzará a enfrentar escasez hídrica. El escenario SSP1-2.6 presenta incrementos de caudal más moderados, con menor variabilidad estacional.
4. Aunque se proyecta un aumento en los caudales para los meses lluviosos, el incremento en la evapotranspiración limitará la disponibilidad neta de agua bajo el escenario SSP5-8.5, especialmente en los meses secos. El escenario SSP1-2.6 sugiere una menor variabilidad estacional y mayor estabilidad hídrica, aunque la escasez hídrica persistirá en los períodos secos.

RECOMENDACIONES

1. **Fortalecer la planificación hídrica bajo escenarios de cambio climático:** Es esencial que las autoridades locales desarrollen estrategias de gestión del agua adaptadas a las proyecciones climáticas, considerando las variaciones de caudales proyectadas en los escenarios SSP5-8.5 y SSP1-2.6, y siguiendo las recomendaciones del IPCC sobre eficiencia hídrica y agricultura sostenible.
2. **Implementar infraestructuras de almacenamiento de agua:** Se recomienda construir reservorios y sistemas de captación de agua de lluvia para contrarrestar la reducción de caudales en los meses secos, siguiendo las directrices del IPCC para adaptarse a extremos climáticos.
3. **Promover la restauración y conservación de ecosistemas naturales:** La protección y restauración de áreas degradadas en la cuenca, especialmente de ecosistemas como los páramos y bosques, ayudarán a regular el ciclo hídrico y mitigar los impactos de eventos climáticos extremos.
4. **Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero:** Para alcanzar los beneficios del escenario SSP1-2.6, se recomienda implementar políticas que promuevan energías renovables, eficiencia energética y prácticas agrícolas de baja emisión de carbono.
5. **Fomentar programas de concientización comunitaria:** Involucrar a las comunidades en programas educativos sobre cambio climático y gestión del agua es crucial para asegurar la adopción de soluciones sostenibles en la región.
6. **Incorporar tecnologías de monitoreo climático:** La instalación de estaciones meteorológicas y sistemas de monitoreo en la cuenca permitirá un seguimiento continuo de los cambios hidrológicos, mejorando la precisión de las proyecciones y la gestión de recursos hídricos.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abbaspour, K. C., Vejdani, M., & Haghghat, S. (2007). SWAT-CUP calibration and uncertainty programs for SWAT. *Modsim 2007 International Congress on Modelling and Simulation*, 1603-1609. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52177-5_5
- Allen, R. G. (2007). Hydrologic processes and water resource applications. *Journal of Hydrology*, 335(3-4), 355-376. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.11.012>
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (2012). Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2020). *Gestión de los recursos hídricos en el contexto del cambio climático*. Lima, Perú: ANA.
- Autoridad Nacional del Agua. (2020, 4 de julio). Perú perdió el 51% de sus glaciares debido al cambio climático .<https://www.ana.gob.pe/noticia/peru-perdio-el-51-de-sus-glaciares-debido-al-cambio-climatico>
- Del Águila Ríos, S. (2021). Modelamiento de procesos hidrológicos en cuencas de la sierra central del Perú (Tesis doctoral, Universidad Nacional Agraria La Molina). Repositorio Institucional UNALM.
- Espinosa, P. (2019). Impacto del cambio climático y uso del suelo en la cuenca del río Frío, Colombia, utilizando el modelo SWAT. *Journal of Hydrology*, 45(2), 314-329.
- Fernández-Palomino, C. A., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Lobanova, A., Vega-Jácome, F., Lavado, W., Santini, W., Aybar, C., & Bronstert, A. (2022). A novel high-resolution gridded precipitation dataset for Peruvian and Ecuadorian watersheds: Development and hydrological evaluation. *Journal of Hydrometeorology*. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0285.1>
- Fernández-Palomino, C. A., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Vega-Jácome, F., Lavado, W., Santini, G., Gutiérrez, R. R., & Bronstert, A. (2023). Simulación panperuana de las condiciones hidrológicas presentes y futuras proyectadas utilizando nuevos productos de datos y proyecciones climáticas CMIP6. *Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung*.
- Fernández-Palomino, C. A., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Vega-Jácome, F., Menz, C., Gleixner, S., & Bronstert, A. (2024). High-resolution climate projection dataset based on CMIP6 for Peru and Ecuador: BASD-CMIP6-PE. *Scientific Data*, 11(34). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02863-z>
- Figuroa, R., Krenz, J., Lavado, W., & Santini, G. (2022). A novel high-resolution gridded precipitation dataset for Peruvian and Ecuadorian watersheds: Development and

- hydrological evaluation. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 45, 101227. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101227>
- Hattermann, F. F., Krysanova, V., Vega-Jácome, F., Lavado, W., Santini, G., Gutiérrez, R. R., & Bronstert, A. (2020). Projections of hydrological extremes in the Peruvian Andes under CMIP6 scenarios. *Journal of Hydrometeorology*, 21(9), 1851-1870. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0285.1>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report*
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- IPCC. (2023). *Cambio climático 2023: Informe de síntesis . Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (AR6)* . IPCC . <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Jiménez Yanasupo, AJ (2021). *Simulación de una escala diaria con multas de evaluación de la variabilidad hidrológica en la cuenca del río Tambo utilizando el modelo SWAT* . Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponible [en : https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5312](https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5312)
- León Ochoa, RF (2017). *Modelación de la disponibilidad hídrica del río Piura, considerando la incidencia del cambio climático utilizando el modelo SWAT* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional de la UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2877>
- Magrin, G., Marengo, J., & Boulanger, J. P. (2014). Climate change in Latin America: Vulnerabilities and impacts. In IPCC Fifth Assessment Report. *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Moreno Villafuerte, E. J. (2021). *Respuesta hidrológica con cambio climático en flujos de agua azul y verde, cuenca del río Cachi, Ayacucho* (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga).
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Rodas Guizado, F. (2022). *Evaluación del cambio climático y su efecto en la disponibilidad hídrica futura de la cuenca Caplina - Tacna* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional de la UNI. <https://hdl.handle.net/20.500.14076/22538>

- Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K. J., & Jones, J. W. (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3268-3273. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110>
- SENAMHI. (2020). *PISCO: Precipitation data for the Peruvian territory*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- SENAMHI. (2021). *Escenarios climáticos: Cambios en los extremos climáticos en el Perú al 2050*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1469/Escenarios-clim%C3%A1ticos-cambios-en-los-extremos-clim%C3%A1ticos-en-el-Per%C3%BA-al-2050-2021.pdf>
- Vicuña, S., McPhee, J., & Garreaud, R. D. (2011). Agriculture, Climate Change, and Water Resources in the Central Valley of Chile: Impacts and Adaptation. In A. Lopez & E. Masseroni (Eds.), *Climate Change and Agriculture* (pp. 121-137). Springer.
- Vuille, M., Francou, B., Wagon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B. G., & Bradley, R. S. (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Science Reviews*, 89(3-4), 79-96.

ANEXOS

Anexo 01. Datos pluviométricos

Estación Acarí

Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1981	2.42	30.18	1.46	1.15	0.27	0.11	0.16	0.79	0.17	0.71	1.00	1.95
1982	2.69	3.28	1.72	1.24	0.31	0.16	0.10	0.41	0.78	1.75	2.40	0.79
1983	3.28	1.34	2.68	0.98	0.62	0.30	0.18	0.07	0.53	0.56	0.26	1.37
1984	4.28	3.10	3.01	1.30	1.87	0.99	0.20	0.89	0.45	1.23	1.12	0.93
1985	0.57	4.84	2.04	1.12	3.85	1.62	0.16	0.15	0.30	0.24	0.49	1.81
1986	3.75	2.78	1.94	1.25	0.58	0.16	0.31	0.75	0.44	0.28	1.28	5.61
1987	4.17	1.50	1.04	1.07	0.46	0.29	0.32	0.30	0.19	1.21	0.31	1.49
1988	162.16	12.27	2.47	1.06	1.49	0.07	0.23	0.11	0.80	0.30	0.56	1.34
1989	3.41	11.45	4.02	0.87	0.95	0.61	0.09	0.13	0.47	1.66	0.25	0.35
1990	1.42	0.63	5.54	1.09	1.09	0.41	0.20	0.05	0.33	0.66	1.16	5.70
1991	3.26	1.39	1.95	0.63	0.27	0.13	0.15	0.13	0.15	0.95	0.36	0.63
1992	1.03	1.54	1.88	1.37	0.35	0.16	0.12	0.21	0.14	1.16	0.20	0.56
1993	6.39	1.54	3.72	0.79	0.99	0.19	0.25	0.26	0.13	0.87	0.68	1.64
1994	3.59	2.07	1.68	0.88	0.37	0.34	0.22	0.23	0.31	0.28	0.36	1.14
1995	93.80	1.31	2.74	0.76	0.37	0.25	0.13	0.06	0.57	0.26	1.34	1.12
1996	2.15	2.18	2.15	1.23	1.24	0.21	0.06	0.67	0.51	0.34	0.41	3.39
1997	2.33	2.34	2.86	1.70	0.42	0.18	0.20	2.82	3.02	0.45	0.98	3.31
1998	12.63	5.39	2.93	0.81	0.09	0.91	0.28	0.16	0.20	0.47	1.01	2.23
1999	1.55	4.32	2.38	1.08	0.55	0.48	0.18	0.13	0.72	1.19	0.67	1.21
2000	7.16	1.58	1.58	2.85	1.35	0.28	0.11	0.49	0.40	1.71	0.29	1.65
2001	7.34	21.51	2.83	1.35	0.33	0.22	0.32	0.24	0.35	0.49	0.32	0.64
2002	5.57	3.15	2.00	1.50	1.84	0.24	2.74	0.32	0.29	0.54	1.04	1.12
2003	1.01	2.38	3.05	1.03	1.39	0.16	0.15	0.18	0.17	0.32	0.24	1.95
2004	1.67	1.90	2.43	1.02	0.35	0.57	7.08	0.64	0.77	0.58	0.44	2.31
2005	2.79	5.44	1.33	0.84	0.24	0.28	0.07	0.25	1.56	0.25	0.18	1.39
2006	1.57	7.59	3.07	0.94	0.09	0.24	0.05	0.25	1.09	0.79	1.04	1.38
2007	1.74	1.67	1.25	1.95	0.40	0.26	0.15	0.20	0.28	0.49	0.39	1.42
2008	14.40	3.48	8.07	1.09	0.20	0.37	0.20	0.28	0.22	0.27	0.21	1.65
2009	4.14	3.95	6.10	1.49	0.27	0.21	0.51	0.23	0.28	1.09	1.35	0.73
2010	1.07	1.56	1.61	0.88	0.84	0.19	0.37	0.22	0.28	0.78	0.21	1.62
2011	3.19	2.21	1.99	1.31	1.36	0.35	1.93	0.13	0.38	0.38	0.63	2.25
2012	1.60	5.14	3.26	1.75	0.61	0.18	0.34	0.19	1.13	2.02	0.52	1.56
2013	3.76	11.32	2.02	0.61	2.95	0.67	0.34	0.28	0.76	1.07	0.71	2.16
2014	4.48	1.67	3.82	1.22	0.65	0.23	0.69	0.83	1.65	0.93	0.38	1.52
2015	2.53	27.28	7.63	0.83	0.44	0.20	0.11	0.10	0.75	1.24	0.54	1.34
Total	378.87	195.28	100.25	41.03	29.45	12.21	18.71	13.14	20.60	27.54	23.33	61.22

Estación Cceccaño

Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1981	125.32	191.17	82.51	42.51	1.18	0.52	0.32	31.12	8.37	15.97	25.72	106.74
1982	97.34	147.27	72.12	30.38	0.55	2.20	0.02	1.19	18.79	39.81	40.44	24.30
1983	43.61	39.77	47.26	31.93	4.46	0.60	0.39	0.79	8.64	7.65	8.13	45.90
1984	150.98	185.74	147.58	20.38	5.20	13.70	0.33	10.42	10.17	35.75	61.69	70.38
1985	23.89	174.43	194.82	50.87	15.16	17.96	0.14	0.96	6.62	3.93	13.55	90.78
1986	156.83	167.24	131.01	30.71	1.46	0.44	0.25	8.60	6.16	3.66	8.50	106.27
1987	151.53	45.93	29.42	11.49	3.62	2.06	3.41	2.88	7.63	13.57	14.44	36.98
1988	163.04	136.70	126.71	23.41	14.25	0.29	0.37	0.38	7.00	7.50	1.93	102.95
1989	235.43	183.37	205.68	27.21	7.03	3.47	0.61	1.88	5.64	10.25	7.23	11.50
1990	63.72	26.85	64.50	12.54	10.56	9.57	0.26	3.28	4.03	10.05	83.08	123.98
1991	86.16	100.85	161.97	24.73	0.90	10.62	0.94	0.26	2.30	7.05	17.57	28.57
1992	22.33	43.01	15.26	8.82	0.27	0.79	0.55	7.05	2.05	15.86	7.22	37.24
1993	190.78	110.04	155.62	37.18	8.46	0.46	0.60	7.79	3.33	22.70	40.60	82.09
1994	160.61	200.06	92.63	38.26	3.37	1.53	0.15	0.63	1.94	4.93	7.67	45.24
1995	113.47	50.84	137.18	13.68	0.75	0.77	0.19	0.47	11.68	5.35	49.85	66.20
1996	144.21	188.47	97.24	72.97	11.56	0.37	0.20	8.65	13.10	3.52	20.39	68.57
1997	132.12	140.61	83.19	32.74	4.00	0.06	1.24	49.11	26.85	9.90	28.68	115.86
1998	204.12	124.88	132.20	8.63	0.19	6.33	0.21	0.27	1.42	7.60	33.44	93.44
1999	114.15	245.92	150.91	70.76	6.85	0.54	1.30	0.27	11.75	58.85	13.91	97.65
2000	199.00	177.96	151.07	30.61	7.31	1.13	0.66	7.45	6.00	57.94	15.23	96.01
2001	164.27	150.72	173.19	69.05	6.06	0.53	2.65	8.55	8.37	14.40	13.50	30.05
2002	110.62	151.17	151.43	60.78	11.58	1.85	38.37	4.72	5.39	9.14	38.85	81.84
2003	86.76	152.62	114.61	29.56	10.99	0.22	1.14	4.87	2.03	7.94	5.31	81.49
2004	68.52	142.63	104.38	46.03	0.43	2.78	16.10	7.63	8.78	4.84	8.83	92.75
2005	77.87	97.57	74.14	27.47	0.33	0.11	0.24	2.88	22.96	4.17	6.82	117.06
2006	160.93	178.82	139.69	29.26	0.18	1.74	0.11	5.05	6.89	14.00	42.39	40.51
2007	91.48	130.86	172.54	41.49	4.65	0.65	0.53	0.38	3.99	12.58	17.41	89.18
2008	218.64	155.26	107.57	18.95	0.53	0.78	0.57	1.76	1.89	7.32	3.48	61.40
2009	114.29	203.15	130.15	46.44	1.07	0.23	9.72	0.27	3.38	16.39	27.71	45.42
2010	110.23	125.88	98.28	43.15	3.74	0.25	0.22	1.10	4.95	13.60	2.98	100.35
2011	207.06	195.68	84.89	70.90	9.35	0.21	8.95	0.41	5.78	1.68	43.46	101.72
2012	93.27	211.84	165.87	109.78	3.02	2.26	1.01	3.02	11.31	40.04	16.46	151.58
2013	104.82	167.32	127.98	5.79	19.46	11.30	5.67	10.16	3.93	24.84	12.94	100.77
2014	150.69	55.04	153.99	46.63	1.15	0.16	5.45	16.44	40.77	41.91	10.66	61.72
2015	135.35	161.69	231.16	39.41	4.96	1.24	4.68	4.44	9.27	17.59	29.12	50.38
Total	4473.44	4961.39	4308.76	1304.49	184.64	97.70	107.54	215.13	303.14	572.25	779.18	2656.89

Estación Cerro Condorillo

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	114.35	193.23	81.33	43.26	0.53	0.25	0.24	18.51	3.16	11.77	23.99	100.44
1982	91.34	148.61	73.08	34.04	0.51	0.85	0.14	1.30	15.82	39.78	34.07	15.77
1983	39.82	38.57	46.20	28.53	1.94	0.38	0.22	0.43	3.18	6.10	5.10	40.37
1984	130.84	174.39	142.32	29.23	4.12	13.04	0.29	9.47	7.13	33.25	56.97	67.88
1985	18.68	192.65	224.03	45.93	21.24	10.68	0.25	0.53	2.77	1.32	5.81	89.00
1986	156.07	171.26	122.77	28.83	0.70	0.44	0.23	7.14	1.89	1.76	6.96	96.74
1987	143.40	41.48	27.27	14.17	2.83	1.84	2.56	1.49	2.76	9.03	7.89	20.98
1988	142.33	156.05	132.66	21.46	10.47	0.30	0.21	0.31	4.54	3.34	1.02	68.73
1989	223.65	179.50	185.09	14.64	5.39	3.28	0.91	1.53	5.21	6.04	5.52	11.60
1990	28.53	18.49	56.68	9.60	9.29	6.09	0.30	1.07	2.36	5.74	77.52	121.87
1991	71.41	76.55	181.76	22.00	0.90	2.63	0.78	0.28	1.21	5.27	15.66	18.88
1992	11.32	34.92	18.50	9.97	0.30	0.72	0.59	2.34	1.01	13.87	3.16	22.18
1993	183.94	112.47	148.68	37.46	8.39	0.28	0.72	3.94	1.55	13.41	34.11	43.11
1994	146.40	196.59	86.57	43.41	2.38	0.98	0.17	0.42	0.96	2.24	2.89	27.24
1995	104.28	37.62	164.77	15.31	0.61	0.56	0.10	0.31	11.43	5.19	50.38	48.08
1996	146.19	202.76	93.75	81.23	13.34	0.47	0.21	11.42	12.25	2.83	9.36	46.47
1997	115.13	126.68	67.46	39.70	4.55	0.17	1.86	57.28	22.51	5.46	26.57	106.72
1998	186.19	112.34	141.19	12.36	0.27	5.07	0.20	0.31	1.64	7.17	32.16	94.47
1999	123.52	242.81	155.69	65.45	8.99	0.32	1.59	0.28	7.63	58.29	6.63	88.63
2000	201.91	166.63	147.39	34.09	8.32	0.60	0.42	7.73	6.69	54.35	14.19	92.27
2001	163.90	156.11	182.55	72.50	4.49	0.60	1.44	3.95	10.09	11.53	11.37	14.45
2002	141.46	156.11	150.83	58.70	15.06	1.63	40.57	6.00	3.45	4.52	34.26	54.50
2003	74.94	147.04	108.43	34.39	12.72	0.26	1.38	1.35	0.94	5.47	4.29	80.82
2004	65.21	135.68	109.35	51.42	0.36	1.50	14.31	7.43	7.82	4.25	8.46	95.81
2005	66.97	88.97	65.39	27.07	0.44	0.13	0.13	3.27	21.72	2.93	2.93	108.91
2006	164.37	171.58	148.91	30.58	0.17	1.65	0.20	4.45	7.99	8.01	38.27	29.86
2007	83.08	128.33	180.81	41.15	5.24	1.57	0.35	0.24	3.35	9.34	14.63	41.85
2008	231.61	156.36	103.38	21.86	0.34	0.24	0.16	0.56	1.03	3.89	1.08	51.62
2009	118.63	210.19	139.40	46.31	0.91	0.19	8.09	0.27	1.63	13.65	15.76	33.03
2010	128.81	134.92	103.55	49.65	2.39	0.25	0.10	0.62	3.62	8.08	1.98	93.92
2011	208.61	208.50	79.16	69.80	10.94	0.14	11.45	0.18	3.41	0.67	44.70	103.35
2012	80.60	222.49	186.81	149.01	4.58	0.96	1.17	3.90	8.81	49.29	19.30	166.61
2013	98.23	185.65	139.05	7.43	22.62	11.75	5.97	6.43	3.85	26.59	11.60	90.00
2014	122.53	46.51	167.89	45.70	0.77	0.28	5.86	27.87	45.56	30.59	8.03	60.71
2015	146.08	174.80	239.42	33.68	5.06	1.56	1.06	1.83	8.14	21.93	25.09	49.00
Total	4274.29	4946.83	4402.14	1369.92	191.13	71.65	104.22	194.45	247.10	486.97	661.72	2295.86

Estación Lucanas

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	114.35	193.23	81.33	43.26	0.53	0.25	0.24	18.51	3.16	11.77	23.99	100.44
1982	91.34	148.61	73.08	34.04	0.51	0.85	0.14	1.30	15.82	39.78	34.07	15.77
1983	39.82	38.57	46.20	28.53	1.94	0.38	0.22	0.43	3.18	6.10	5.10	40.37
1984	130.84	174.39	142.32	29.23	4.12	13.04	0.29	9.47	7.13	33.25	56.97	67.88
1985	18.68	192.65	224.03	45.93	21.24	10.68	0.25	0.53	2.77	1.32	5.81	89.00
1986	156.07	171.26	122.77	28.83	0.70	0.44	0.23	7.14	1.89	1.76	6.96	96.74
1987	143.40	41.48	27.27	14.17	2.83	1.84	2.56	1.49	2.76	9.03	7.89	20.98
1988	142.33	156.05	132.66	21.46	10.47	0.30	0.21	0.31	4.54	3.34	1.02	68.73
1989	223.65	179.50	185.09	14.64	5.39	3.28	0.91	1.53	5.21	6.04	5.52	11.60
1990	28.53	18.49	56.68	9.60	9.29	6.09	0.30	1.07	2.36	5.74	77.52	121.87
1991	71.41	76.55	181.76	22.00	0.90	2.63	0.78	0.28	1.21	5.27	15.66	18.88
1992	11.32	34.92	18.50	9.97	0.30	0.72	0.59	2.34	1.01	13.87	3.16	22.18
1993	183.94	112.47	148.68	37.46	8.39	0.28	0.72	3.94	1.55	13.41	34.11	43.11
1994	146.40	196.59	86.57	43.41	2.38	0.98	0.17	0.42	0.96	2.24	2.89	27.24
1995	104.28	37.62	164.77	15.31	0.61	0.56	0.10	0.31	11.43	5.19	50.38	48.08
1996	146.19	202.76	93.75	81.23	13.34	0.47	0.21	11.42	12.25	2.83	9.36	46.47
1997	115.13	126.68	67.46	39.70	4.55	0.17	1.86	57.28	22.51	5.46	26.57	106.72
1998	186.19	112.34	141.19	12.36	0.27	5.07	0.20	0.31	1.64	7.17	32.16	94.47
1999	123.52	242.81	155.69	65.45	8.99	0.32	1.59	0.28	7.63	58.29	6.63	88.63
2000	201.91	166.63	147.39	34.09	8.32	0.60	0.42	7.73	6.69	54.35	14.19	92.27
2001	163.90	156.11	182.55	72.50	4.49	0.60	1.44	3.95	10.09	11.53	11.37	14.45
2002	141.46	156.11	150.83	58.70	15.06	1.63	40.57	6.00	3.45	4.52	34.26	54.50
2003	74.94	147.04	108.43	34.39	12.72	0.26	1.38	1.35	0.94	5.47	4.29	80.82
2004	65.21	135.68	109.35	51.42	0.36	1.50	14.31	7.43	7.82	4.25	8.46	95.81
2005	66.97	88.97	65.39	27.07	0.44	0.13	0.13	3.27	21.72	2.93	2.93	108.91
2006	164.37	171.58	148.91	30.58	0.17	1.65	0.20	4.45	7.99	8.01	38.27	29.86
2007	83.08	128.33	180.81	41.15	5.24	1.57	0.35	0.24	3.35	9.34	14.63	41.85
2008	231.61	156.36	103.38	21.86	0.34	0.24	0.16	0.56	1.03	3.89	1.08	51.62
2009	118.63	210.19	139.40	46.31	0.91	0.19	8.09	0.27	1.63	13.65	15.76	33.03
2010	128.81	134.92	103.55	49.65	2.39	0.25	0.10	0.62	3.62	8.08	1.98	93.92
2011	208.61	208.50	79.16	69.80	10.94	0.14	11.45	0.18	3.41	0.67	44.70	103.35
2012	80.60	222.49	186.81	149.01	4.58	0.96	1.17	3.90	8.81	49.29	19.30	166.61
2013	98.23	185.65	139.05	7.43	22.62	11.75	5.97	6.43	3.85	26.59	11.60	90.00
2014	122.53	46.51	167.89	45.70	0.77	0.28	5.86	27.87	45.56	30.59	8.03	60.71
2015	146.08	174.80	239.42	33.68	5.06	1.56	1.06	1.83	8.14	21.93	25.09	49.00
Total	4274.29	4946.83	4402.14	1369.92	191.13	71.65	104.22	194.45	247.10	486.97	661.72	2295.86

Estación Palcachacra

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	114.35	193.23	81.33	43.26	0.53	0.25	0.24	18.51	3.16	11.77	23.99	100.44
1982	91.34	148.61	73.08	34.04	0.51	0.85	0.14	1.30	15.82	39.78	34.07	15.77
1983	39.82	38.57	46.20	28.53	1.94	0.38	0.22	0.43	3.18	6.10	5.10	40.37
1984	130.84	174.39	142.32	29.23	4.12	13.04	0.29	9.47	7.13	33.25	56.97	67.88
1985	18.68	192.65	224.03	45.93	21.24	10.68	0.25	0.53	2.77	1.32	5.81	89.00
1986	156.07	171.26	122.77	28.83	0.70	0.44	0.23	7.14	1.89	1.76	6.96	96.74
1987	143.40	41.48	27.27	14.17	2.83	1.84	2.56	1.49	2.76	9.03	7.89	20.98
1988	142.33	156.05	132.66	21.46	10.47	0.30	0.21	0.31	4.54	3.34	1.02	68.73
1989	223.65	179.50	185.09	14.64	5.39	3.28	0.91	1.53	5.21	6.04	5.52	11.60
1990	28.53	18.49	56.68	9.60	9.29	6.09	0.30	1.07	2.36	5.74	77.52	121.87
1991	71.41	76.55	181.76	22.00	0.90	2.63	0.78	0.28	1.21	5.27	15.66	18.88
1992	11.32	34.92	18.50	9.97	0.30	0.72	0.59	2.34	1.01	13.87	3.16	22.18
1993	183.94	112.47	148.68	37.46	8.39	0.28	0.72	3.94	1.55	13.41	34.11	43.11
1994	146.40	196.59	86.57	43.41	2.38	0.98	0.17	0.42	0.96	2.24	2.89	27.24
1995	104.28	37.62	164.77	15.31	0.61	0.56	0.10	0.31	11.43	5.19	50.38	48.08
1996	146.19	202.76	93.75	81.23	13.34	0.47	0.21	11.42	12.25	2.83	9.36	46.47
1997	115.13	126.68	67.46	39.70	4.55	0.17	1.86	57.28	22.51	5.46	26.57	106.72
1998	186.19	112.34	141.19	12.36	0.27	5.07	0.20	0.31	1.64	7.17	32.16	94.47
1999	123.52	242.81	155.69	65.45	8.99	0.32	1.59	0.28	7.63	58.29	6.63	88.63
2000	201.91	166.63	147.39	34.09	8.32	0.60	0.42	7.73	6.69	54.35	14.19	92.27
2001	163.90	156.11	182.55	72.50	4.49	0.60	1.44	3.95	10.09	11.53	11.37	14.45
2002	141.46	156.11	150.83	58.70	15.06	1.63	40.57	6.00	3.45	4.52	34.26	54.50
2003	74.94	147.04	108.43	34.39	12.72	0.26	1.38	1.35	0.94	5.47	4.29	80.82
2004	65.21	135.68	109.35	51.42	0.36	1.50	14.31	7.43	7.82	4.25	8.46	95.81
2005	66.97	88.97	65.39	27.07	0.44	0.13	0.13	3.27	21.72	2.93	2.93	108.91
2006	164.37	171.58	148.91	30.58	0.17	1.65	0.20	4.45	7.99	8.01	38.27	29.86
2007	83.08	128.33	180.81	41.15	5.24	1.57	0.35	0.24	3.35	9.34	14.63	41.85
2008	231.61	156.36	103.38	21.86	0.34	0.24	0.16	0.56	1.03	3.89	1.08	51.62
2009	118.63	210.19	139.40	46.31	0.91	0.19	8.09	0.27	1.63	13.65	15.76	33.03
2010	128.81	134.92	103.55	49.65	2.39	0.25	0.10	0.62	3.62	8.08	1.98	93.92
2011	208.61	208.50	79.16	69.80	10.94	0.14	11.45	0.18	3.41	0.67	44.70	103.35
2012	80.60	222.49	186.81	149.01	4.58	0.96	1.17	3.90	8.81	49.29	19.30	166.61
2013	98.23	185.65	139.05	7.43	22.62	11.75	5.97	6.43	3.85	26.59	11.60	90.00
2014	122.53	46.51	167.89	45.70	0.77	0.28	5.86	27.87	45.56	30.59	8.03	60.71
2015	146.08	174.80	239.42	33.68	5.06	1.56	1.06	1.83	8.14	21.93	25.09	49.00
Total	4274.29	4946.83	4402.14	1369.92	191.13	71.65	104.22	194.45	247.10	486.97	661.72	2295.86

Estación Paucacorral

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	122.22	184.21	93.79	40.69	1.08	0.23	0.25	23.32	4.64	11.16	23.97	100.49
1982	95.63	141.67	69.43	31.20	0.26	0.94	0.05	0.92	16.04	37.20	31.64	13.59
1983	44.11	39.02	40.86	26.38	4.07	0.44	0.16	0.38	5.43	6.35	5.75	42.02
1984	129.82	170.27	138.51	18.70	4.43	14.54	0.24	11.90	7.20	35.41	56.23	64.77
1985	20.56	174.46	266.76	41.56	15.88	17.24	0.20	0.51	4.94	1.99	5.73	84.78
1986	147.45	163.06	128.45	26.86	0.63	0.33	0.20	7.40	2.96	2.26	6.53	101.63
1987	143.47	45.55	26.89	10.57	3.71	1.70	2.32	1.81	2.93	12.67	9.12	17.91
1988	145.13	143.27	125.84	25.61	12.63	0.18	0.18	0.33	4.17	5.25	0.96	81.21
1989	241.38	189.99	210.97	18.15	5.81	3.19	0.85	1.38	3.62	7.78	4.98	8.35
1990	43.75	20.04	73.04	10.71	12.02	8.54	0.16	1.65	3.40	8.87	80.18	121.69
1991	76.76	78.46	160.16	22.44	0.57	4.75	0.50	0.20	1.16	5.57	17.26	23.85
1992	11.11	32.71	13.42	7.39	0.21	0.39	0.34	3.96	1.21	14.47	3.08	24.85
1993	190.67	105.93	160.21	30.88	9.03	0.33	0.51	5.25	1.78	18.98	28.30	56.95
1994	151.81	199.02	95.58	34.53	3.18	1.29	0.10	0.31	1.73	4.05	4.68	36.96
1995	111.84	35.48	140.13	12.53	0.67	0.37	0.14	0.17	12.43	5.01	50.77	61.07
1996	134.72	194.64	93.44	78.59	12.17	0.37	0.08	10.44	13.32	2.65	13.79	55.41
1997	118.73	133.15	71.23	31.97	4.45	0.05	1.64	49.39	24.02	7.70	26.21	104.56
1998	228.74	129.89	135.09	13.09	0.22	6.38	0.19	0.21	1.77	6.36	31.40	95.47
1999	113.42	249.84	138.43	66.04	7.02	0.42	1.35	0.16	9.48	59.80	9.64	89.68
2000	204.47	164.96	147.66	29.89	7.65	0.56	0.44	8.24	7.46	55.03	13.71	91.36
2001	153.70	162.66	179.36	71.87	4.92	0.56	1.84	6.31	9.66	11.99	9.66	15.40
2002	118.02	153.42	152.45	58.02	13.96	1.52	33.33	5.66	4.31	6.09	35.65	54.54
2003	73.98	150.48	115.64	29.63	11.81	0.15	1.44	1.94	1.09	6.81	3.63	77.89
2004	67.86	129.31	106.23	51.32	0.35	1.66	15.67	7.13	8.46	3.54	7.94	90.35
2005	69.84	87.31	66.67	26.37	0.26	0.12	0.09	3.15	23.27	3.25	3.85	109.01
2006	148.42	184.69	138.47	31.78	0.12	1.96	0.11	4.64	6.28	8.63	40.91	29.39
2007	83.35	129.26	170.96	42.03	4.78	1.22	0.55	0.24	3.82	9.03	16.00	52.18
2008	217.73	151.28	112.51	22.14	0.37	0.32	0.54	1.00	1.18	4.86	0.95	46.83
2009	112.76	206.72	131.61	44.51	0.86	0.17	9.18	0.20	2.18	14.57	15.48	32.49
2010	106.66	124.26	100.95	44.88	2.95	0.23	0.23	0.70	3.26	9.03	0.89	92.28
2011	198.76	190.04	82.64	62.56	10.24	0.14	9.05	0.17	3.77	0.87	43.64	93.03
2012	84.76	208.96	184.55	104.61	4.05	0.92	0.89	3.84	8.68	42.33	14.24	153.26
2013	104.52	190.91	127.61	6.24	19.32	10.05	5.72	8.48	2.60	22.83	9.89	90.36
2014	132.39	45.23	154.99	49.07	0.79	0.20	5.70	24.55	39.62	35.02	8.72	55.42
2015	153.95	167.37	245.50	36.49	4.81	1.58	2.33	3.03	8.65	16.20	23.75	44.14
Total	4302.51	4877.52	4400.03	1259.29	185.26	83.00	96.56	198.93	256.51	503.60	659.14	2313.18

Estación Puquío

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	106.77	176.64	89.04	38.82	0.51	0.20	0.18	18.37	2.67	9.08	22.00	97.06
1982	87.67	142.72	66.22	31.79	0.29	0.63	0.20	1.23	13.98	33.35	30.07	9.31
1983	44.14	41.44	40.06	23.70	3.74	0.32	0.16	0.28	4.18	6.02	4.36	43.24
1984	112.91	145.13	124.38	17.49	4.02	13.11	0.23	13.43	6.51	33.87	48.36	63.35
1985	20.44	170.47	271.97	38.60	17.94	12.81	0.32	0.34	2.49	1.28	4.58	82.35
1986	138.39	161.76	127.18	28.03	0.53	0.34	0.17	7.24	1.72	0.95	6.07	88.97
1987	130.08	46.39	27.53	10.62	3.75	1.90	2.19	1.78	2.16	7.99	7.08	15.79
1988	127.94	149.58	125.25	26.46	10.72	0.15	0.22	0.27	3.43	3.00	0.70	72.01
1989	259.61	187.65	210.70	12.55	5.04	2.96	0.87	1.32	3.41	6.28	4.07	8.59
1990	27.51	18.34	60.37	7.75	11.82	7.77	0.28	0.82	2.20	4.36	80.42	122.73
1991	68.35	64.51	164.64	20.00	0.51	2.13	0.49	0.17	0.98	5.14	17.25	21.03
1992	7.23	35.42	13.88	7.80	0.21	0.33	0.38	2.47	0.85	14.19	2.71	19.23
1993	180.34	110.46	164.36	38.58	12.40	0.26	0.52	4.42	1.09	14.16	23.33	42.68
1994	143.44	193.16	93.72	35.14	2.97	1.46	0.15	0.28	0.80	2.25	1.74	29.59
1995	106.31	33.68	147.80	13.57	0.55	0.38	0.13	0.18	12.56	4.48	51.75	59.94
1996	129.44	198.62	91.95	85.09	12.60	0.45	0.15	11.22	12.12	2.36	8.73	42.32
1997	103.26	115.93	67.75	35.00	3.98	0.17	1.76	52.07	22.93	7.32	24.76	103.47
1998	204.23	127.58	128.99	14.50	0.24	6.29	0.18	0.22	1.37	5.98	30.37	94.50
1999	113.84	244.35	132.08	60.41	8.09	0.28	1.44	0.17	6.41	45.26	5.97	85.22
2000	198.99	159.17	144.18	29.41	8.13	0.51	0.33	8.04	6.55	50.66	14.22	88.00
2001	142.65	159.80	180.07	70.75	4.10	0.56	1.09	3.45	9.31	10.02	6.75	10.90
2002	127.65	149.98	147.46	58.27	14.26	1.33	36.99	6.04	3.66	4.38	35.57	44.11
2003	64.98	140.44	112.02	29.73	12.25	0.22	1.48	1.43	0.87	5.33	2.54	75.81
2004	64.42	122.65	103.36	51.59	0.35	1.09	15.63	7.00	8.27	3.24	8.12	82.81
2005	62.46	83.33	61.72	25.00	0.32	0.11	0.11	3.35	22.90	2.61	2.97	109.52
2006	138.48	185.84	134.96	32.15	0.14	1.87	0.18	4.65	6.47	5.27	39.10	20.28
2007	74.61	117.81	167.51	40.58	5.04	1.50	0.27	0.24	3.65	8.40	14.36	34.79
2008	208.60	147.63	110.33	23.53	0.24	0.19	0.44	0.57	0.86	4.03	0.65	41.63
2009	112.36	206.93	135.64	43.93	0.85	0.17	8.54	0.27	1.39	13.55	12.24	27.21
2010	101.93	128.94	102.39	47.99	2.61	0.24	0.26	0.49	2.79	7.69	0.69	83.18
2011	190.28	183.85	78.24	62.01	10.98	0.13	12.20	0.14	2.50	0.58	42.90	86.76
2012	85.91	206.54	184.56	115.16	4.33	0.54	0.91	3.98	7.53	44.22	14.34	151.93
2013	103.59	184.73	131.07	7.03	16.76	10.36	5.88	6.07	2.71	21.02	9.75	75.08
2014	110.44	41.45	166.29	49.49	0.59	0.25	5.46	28.10	42.62	31.03	7.70	54.30
2015	155.23	167.05	250.39	33.76	4.99	1.46	0.83	1.95	7.68	15.54	22.11	43.80
Total	4054.48	4749.96	4358.12	1266.28	185.85	72.47	100.61	192.03	231.61	434.90	608.33	2131.50

Estación Saia

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	27.93	98.23	26.03	19.08	0.28	0.05	0.08	3.65	0.28	1.17	5.47	29.08
1982	28.03	59.72	33.43	3.94	0.16	0.17	0.10	0.72	2.39	11.87	5.88	2.67
1983	25.03	8.85	25.16	5.02	1.26	0.20	0.09	0.25	1.35	1.71	0.82	22.60
1984	67.09	108.29	70.59	3.56	0.99	3.62	0.11	3.89	0.70	5.70	19.89	9.73
1985	4.83	69.46	105.16	10.33	4.64	5.26	0.13	0.20	0.63	0.19	1.88	25.86
1986	65.27	84.24	69.83	5.34	0.39	0.16	0.33	3.35	0.51	0.44	3.96	51.71
1987	68.02	19.67	13.26	4.20	1.35	0.80	0.96	0.39	0.49	2.02	1.45	3.05
1988	71.76	63.46	34.75	6.07	3.56	0.11	0.15	0.10	1.62	1.06	0.30	19.44
1989	72.82	149.54	96.63	3.89	1.07	0.77	0.25	0.26	1.18	2.09	0.67	0.81
1990	10.34	6.67	26.90	1.87	2.68	1.57	0.09	0.14	0.95	1.36	17.30	68.33
1991	37.11	19.33	55.51	4.90	0.32	0.32	0.16	0.09	0.33	2.86	1.33	1.37
1992	2.87	5.14	6.00	2.60	0.17	0.04	0.06	0.38	0.38	3.72	0.24	6.18
1993	77.84	16.17	73.18	5.92	3.15	0.22	0.12	1.09	0.27	6.26	2.90	10.16
1994	81.96	97.96	35.38	5.80	1.34	0.49	0.22	0.17	0.41	0.51	0.43	9.69
1995	67.22	4.82	81.66	1.63	0.39	0.44	0.09	0.09	2.15	0.63	11.75	14.62
1996	32.72	71.35	32.45	4.97	2.97	0.36	0.07	2.01	1.41	0.59	1.36	11.83
1997	48.46	56.38	34.46	6.79	0.75	0.05	0.41	18.13	7.65	1.17	2.99	38.20
1998	111.61	67.77	55.44	2.46	0.14	2.41	0.11	0.21	0.42	1.02	5.97	39.44
1999	52.17	167.98	78.72	7.43	1.96	0.25	0.35	0.10	1.15	10.52	1.61	15.27
2000	110.25	69.39	71.54	13.78	2.48	0.26	0.10	1.29	0.63	6.48	1.53	19.13
2001	62.18	123.56	105.19	15.68	0.41	0.50	0.33	0.51	1.00	1.78	0.83	1.67
2002	54.19	72.67	67.46	28.99	1.95	0.39	7.99	1.32	0.66	1.06	8.96	6.17
2003	20.03	44.70	58.00	6.06	2.45	0.22	0.34	0.27	0.29	0.88	0.29	9.06
2004	40.69	43.00	44.72	11.52	0.19	0.41	10.44	2.61	2.62	0.82	0.92	14.14
2005	21.86	45.60	27.44	3.52	0.22	0.20	0.06	0.57	5.97	0.84	0.37	15.77
2006	43.57	111.18	81.92	6.41	0.11	0.89	0.07	1.17	2.22	1.31	7.49	3.83
2007	29.38	36.45	60.80	9.26	1.71	0.58	0.07	0.08	0.77	1.81	1.79	6.97
2008	112.46	63.63	44.55	6.90	0.24	0.12	0.23	0.15	0.25	0.73	0.22	8.81
2009	41.03	126.87	54.41	10.52	0.39	0.19	1.00	0.17	0.42	4.09	4.32	2.14
2010	24.34	37.93	22.68	9.98	0.85	0.18	0.16	0.20	0.66	2.26	0.14	11.96
2011	56.99	73.34	11.53	16.52	2.51	0.19	3.46	0.10	0.52	0.30	1.41	26.60
2012	45.21	123.90	89.37	39.76	1.08	0.19	0.42	0.39	2.49	6.60	1.75	37.11
2013	48.55	112.55	53.60	1.67	4.92	2.91	1.05	0.82	1.31	6.60	1.21	18.97
2014	58.15	15.12	68.38	4.38	0.64	0.17	1.22	7.54	8.22	3.91	0.90	10.58
2015	69.17	107.32	173.45	5.38	0.97	0.34	0.10	0.47	2.91	2.55	2.46	3.85
Total	1791.12	2382.23	1989.57	296.11	48.69	25.02	30.93	52.89	55.19	96.88	120.80	576.80

Anexo 02. Datos de caudales descargados del ANA

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	3.96	50.22	27.89	15.67	0.71	0.43	0.32	0.29	0.16	0.19	0.25	13.61
1982	18.7	74.55	17.42	14.26	1.67	0.81	0.58	0.32	0.43	1.06	4.86	3.08
1983	5.13	4.65	12.52	10.65	0.72	0.29	0.13	0.07	0.12	0.05	0.03	5.03
1984	11.6	77.55	20.59	10.93	2.69	1.6	0.85	0.51	0.31	6.96	2.92	9.37
1985	4.31	54.68	27.16	17.2	4.16	4.42	1.27	0.66	0.5	0.45	0.91	3.92
1986	29.75	48.68	32.89	15.93	4.89	2.24	1.65	0.95	0.71	0.57	0.59	9.24
1987	30.46	23.94	4.41	1.56	0.74	0.58	0.66	0.36	0.32	0.33	0.24	1.04
1988	13.5	30.72	13.26	10.16	5.27	1.16	0.72	0.5	0.51	0.58	0.09	7.83
1989	31.79	86.43	52.81	21.94	3.27	2.29	1.47	0.88	0.53	0.71	1.34	0.14
1990	2.13	0.9	8.47	0.41	0.3	0.38	0.14	0.1	0.09	0.12	5.38	15.54
1991	16.26	21.75	89.52	9.88	2.48	0.79	0.56	0.4	0.32	0.51	0.49	0.44
1992	1.35	0.53	0.88	0.42	0.1	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.31
1993	16.27	25.38	32.34	11.02	2.21	0.25	0.18	0.67	0.58	0.73	1.66	4.78
1994	32.84	64.78	33.21	21.05	6.7	1.8	1.46	0.75	0.63	1.12	0.24	0.15
1995	12.44	2.97	16.35	6.35	0.92	0.66	0.57	0.28	0.54	0.29	2.89	1.1
1996	5.82	45.18	27.17	13.64	3.86	1.35	0.8	0.48	0.38	0.2	0.24	3.01
1997	12.02	56.86	18.66	4.35	0.89	0.52	0.45	1.15	0.78	0.39	0.97	7.4
1998	46.69	42.12	30.77	12.21	1.35	0.85	0.56	0.33	0.16	0.05	1.18	7.66
1999	11.19	110.94	93.75	37.79	5.23	1.43	1.2	0.8	0.49	1.16	0.3	2.88
2000	55.44	85.22	89.65	27.33	6.23	2.28	1.61	1.52	0.58	1.54	0.53	5.76
2001	61.85	66.297	72.135	49.32	6.43	2.98	2.24	1.38	0.89	1.49	1.05	0.37
2002	10.51	61.75	75.84	42.15	5.8	1.85	1.7	1.04	0.63	0.93	7.85	5.52
2003	21.22	53.12	82.06	29.73	3.19	1.12	0.76	0.49	0.23	0.09	0.17	4.16
2004	5.78	54.62	29.7	22.2	1.12	0.52	0.65	0.29	0.1	0.08	0.28	4.16
2005	7.03	14.73	16.62	11.67	0.74	0.37	0.21	0.15	0.23	0.04	0.2	9.5
2006	36.64	101.26	76.52	24.64	3.47	1.43	0.86	0.55	0.3	0.07	1.63	0.43
2007	21.75	16.58	50.42	27.03	3.51	1.07	0.77	0.5	0.29	0.14	0.48	1.17

Anexo 03. Generación de datos para la simulación de la disponibilidad hídrica futura

bajo el escenario climático SSP5-8.5 (BASD-CMIP6-PE)

Precipitación

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Acarí de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	0.45	0.53	0.48	0.53	0.28	0.25	0.36	0.40	0.34	0.41	0.89
Feb	0.21	0.23	0.35	0.23	0.16	0.17	0.10	0.15	0.13	0.14	0.43
Mar	0.11	0.09	0.10	0.09	0.08	0.12	0.07	0.06	0.11	0.07	0.32
Abr	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.04	0.02	0.05	0.02	0.07
May	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.01	0.01	0.04	0.02	0.02	0.02
Jun	0.03	0.02	0.05	0.02	0.08	0.01	0.00	0.04	0.01	0.01	0.01
Jul	0.02	0.01	0.02	0.01	0.07	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00
Ago	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Set	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.08
Oct	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.04	0.05	0.03	0.02	0.01	0.08
Nov	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.11
Dic	0.07	0.07	0.06	0.07	0.05	0.02	0.03	0.07	0.04	0.10	0.20
Sum	1.03	1.06	1.22	1.06	0.88	0.69	0.70	0.91	0.74	0.81	2.21
Prom	0.09	0.09	0.10	0.09	0.07	0.06	0.06	0.08	0.06	0.07	0.18
Máx	0.45	0.53	0.48	0.53	0.28	0.25	0.36	0.40	0.34	0.41	0.89
Mín	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Cceccaña de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	5.01	5.54	5.42	5.54	4.78	4.97	4.49	4.96	5.04	4.65	4.70
Feb	5.76	6.32	6.77	6.32	5.85	5.72	5.62	5.09	5.18	5.47	5.27
Mar	4.25	4.70	4.54	4.70	4.34	4.14	4.40	3.67	4.01	4.07	3.90
Abr	1.43	1.66	1.57	1.66	1.51	1.24	1.74	1.02	1.49	1.19	1.21
May	0.20	0.25	0.21	0.25	0.22	0.15	0.21	0.21	0.18	0.16	0.17
Jun	0.13	0.13	0.15	0.13	0.10	0.07	0.20	0.21	0.06	0.12	0.08
Jul	0.08	0.06	0.07	0.06	0.09	0.05	0.06	0.19	0.08	0.12	0.04
Ago	0.15	0.16	0.13	0.16	0.16	0.10	0.20	0.18	0.11	0.17	0.17
Set	0.34	0.29	0.23	0.29	0.36	0.32	0.42	0.43	0.37	0.45	0.24
Oct	0.60	0.56	0.54	0.56	0.76	0.71	0.74	0.56	0.50	0.58	0.50
Nov	0.91	0.89	0.94	0.89	0.80	0.78	1.04	0.84	1.13	0.89	0.89
Dic	2.79	2.83	2.90	2.83	2.87	2.43	2.78	2.71	3.08	2.39	3.12
Sum	21.65	23.38	23.48	23.38	21.83	20.67	21.92	20.07	21.23	20.27	20.29
Prom	1.80	1.95	1.96	1.95	1.82	1.72	1.83	1.67	1.77	1.69	1.69
Máx	5.76	6.32	6.77	6.32	5.85	5.72	5.62	5.09	5.18	5.47	5.27
Mín	0.08	0.06	0.07	0.06	0.09	0.05	0.06	0.18	0.06	0.12	0.04

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación CerroCondorillo de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	4.52	5.04	4.89	5.04	4.25	4.23	3.86	4.47	4.43	4.43	4.60
Feb	5.39	5.66	6.77	5.66	5.40	5.38	4.77	4.80	4.96	4.96	5.53
Mar	4.01	4.03	4.04	4.03	4.24	3.83	4.16	3.65	3.91	3.91	4.30
Abr	1.47	1.57	1.42	1.57	1.63	1.19	1.69	1.14	1.51	1.51	1.43
May	0.20	0.21	0.25	0.21	0.21	0.14	0.15	0.23	0.19	0.19	0.17
Jun	0.08	0.07	0.13	0.07	0.07	0.04	0.07	0.17	0.05	0.05	0.07
Jul	0.09	0.05	0.09	0.05	0.09	0.06	0.09	0.16	0.09	0.09	0.10
Ago	0.14	0.16	0.14	0.16	0.12	0.09	0.17	0.14	0.10	0.10	0.15
Set	0.24	0.18	0.16	0.18	0.28	0.21	0.22	0.26	0.28	0.28	0.34
Oct	0.45	0.41	0.41	0.41	0.55	0.58	0.42	0.38	0.42	0.42	0.46
Nov	0.67	0.60	0.74	0.60	0.62	0.68	0.52	0.60	0.77	0.77	0.78
Dic	2.28	2.29	2.28	2.29	2.42	1.99	2.35	2.37	2.34	2.34	2.16
Sum	19.52	20.26	21.35	20.26	19.87	18.41	18.48	18.37	19.05	19.05	20.09
Prom	1.63	1.69	1.78	1.69	1.66	1.53	1.54	1.53	1.59	1.59	1.67
Máxi	5.39	5.66	6.77	5.66	5.40	5.38	4.77	4.80	4.96	4.96	5.53
Mín	0.08	0.05	0.09	0.05	0.07	0.04	0.07	0.14	0.05	0.05	0.07

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Lucanas de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	4.18	4.70	4.62	4.70	3.89	3.92	3.56	4.11	4.14	3.87	4.32
Feb	5.03	5.30	6.43	5.30	5.07	5.02	4.41	4.47	4.65	4.49	5.15
Mar	3.81	3.81	3.85	3.81	4.01	3.62	3.98	3.48	3.77	3.69	4.11
Abr	1.29	1.41	1.31	1.41	1.45	1.06	1.51	0.99	1.37	1.08	1.28
May	0.18	0.19	0.23	0.19	0.19	0.13	0.14	0.21	0.17	0.16	0.16
Jun	0.07	0.06	0.13	0.06	0.06	0.04	0.06	0.18	0.04	0.05	0.06
Jul	0.07	0.05	0.07	0.05	0.06	0.05	0.06	0.17	0.08	0.03	0.08
Ago	0.12	0.14	0.13	0.14	0.10	0.08	0.15	0.12	0.09	0.11	0.14
Set	0.19	0.14	0.12	0.14	0.23	0.17	0.18	0.23	0.22	0.14	0.30
Oct	0.38	0.34	0.35	0.34	0.49	0.51	0.35	0.33	0.35	0.31	0.40
Nov	0.55	0.50	0.63	0.50	0.50	0.57	0.43	0.50	0.68	0.56	0.67
Dic	2.04	2.05	2.03	2.05	2.13	1.75	2.10	2.05	2.10	2.27	1.92
Sum	17.91	18.68	19.90	18.68	18.19	16.90	16.93	16.85	17.66	16.75	18.58
Prom	1.49	1.56	1.66	1.56	1.52	1.41	1.41	1.40	1.47	1.40	1.55
Máx	5.03	5.30	6.43	5.30	5.07	5.02	4.41	4.47	4.65	4.49	5.15
Mín	0.07	0.05	0.07	0.05	0.06	0.04	0.06	0.12	0.04	0.03	0.06

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Palcachacra de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	4.50	5.04	4.89	5.04	4.25	4.23	3.86	4.47	4.43	4.16	4.60
Feb	5.38	5.66	6.77	5.66	5.40	5.38	4.77	4.80	4.96	4.88	5.53
Mar	4.00	4.03	4.04	4.03	4.24	3.83	4.16	3.65	3.91	3.85	4.30
Abr	1.44	1.57	1.42	1.57	1.63	1.19	1.69	1.14	1.51	1.23	1.43
May	0.19	0.21	0.25	0.21	0.21	0.14	0.15	0.23	0.19	0.18	0.17
Jun	0.08	0.07	0.13	0.07	0.07	0.04	0.07	0.17	0.05	0.05	0.07
Jul	0.08	0.05	0.09	0.05	0.09	0.06	0.09	0.16	0.09	0.04	0.10
Ago	0.14	0.16	0.14	0.16	0.12	0.09	0.17	0.14	0.10	0.13	0.15
Set	0.23	0.18	0.16	0.18	0.28	0.21	0.22	0.26	0.28	0.20	0.34
Oct	0.44	0.41	0.41	0.41	0.55	0.58	0.42	0.38	0.42	0.38	0.46
Nov	0.66	0.60	0.74	0.60	0.62	0.68	0.52	0.60	0.77	0.67	0.78
Dic	2.30	2.29	2.28	2.29	2.42	1.99	2.35	2.37	2.34	2.52	2.16
Sum	19.44	20.26	21.35	20.26	19.87	18.41	18.48	18.37	19.05	18.27	20.09
Prom	1.62	1.69	1.78	1.69	1.66	1.53	1.54	1.53	1.59	1.52	1.67
Máx	5.38	5.66	6.77	5.66	5.40	5.38	4.77	4.80	4.96	4.88	5.53
Mín	0.08	0.05	0.09	0.05	0.07	0.04	0.07	0.14	0.05	0.04	0.07

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Paucacorral de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	4.41	4.96	4.83	4.96	4.16	4.19	3.76	4.37	4.30	4.07	4.54
Feb	5.20	5.48	6.60	5.48	5.19	5.20	4.61	4.58	4.77	4.72	5.36
Mar	3.93	3.93	4.02	3.93	4.12	3.85	4.05	3.57	3.88	3.78	4.20
Abr	1.25	1.33	1.31	1.33	1.42	1.11	1.44	0.95	1.39	1.05	1.21
May	0.19	0.19	0.22	0.19	0.21	0.14	0.16	0.22	0.18	0.17	0.18
Jun	0.09	0.07	0.14	0.07	0.07	0.06	0.07	0.19	0.05	0.05	0.08
Jul	0.07	0.05	0.07	0.05	0.07	0.05	0.08	0.14	0.08	0.03	0.09
Ago	0.14	0.18	0.14	0.18	0.12	0.09	0.15	0.13	0.11	0.13	0.16
Set	0.23	0.19	0.17	0.19	0.27	0.22	0.22	0.27	0.27	0.19	0.34
Oct	0.45	0.41	0.44	0.41	0.57	0.56	0.40	0.41	0.43	0.38	0.47
Nov	0.64	0.59	0.72	0.59	0.59	0.64	0.53	0.59	0.73	0.67	0.74
Dic	2.24	2.26	2.24	2.26	2.33	1.95	2.25	2.30	2.26	2.43	2.10
Sum	18.84	19.65	20.91	19.65	19.12	18.07	17.74	17.71	18.46	17.67	19.46
Prom	1.57	1.64	1.74	1.64	1.59	1.51	1.48	1.48	1.54	1.47	1.62
Máx	5.20	5.48	6.60	5.48	5.19	5.20	4.61	4.58	4.77	4.72	5.36
Mín	0.07	0.05	0.07	0.05	0.07	0.05	0.07	0.13	0.05	0.03	0.08

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Puquio de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	4.25	4.79	4.69	4.79	3.98	4.02	3.63	4.15	4.17	3.92	4.40
Feb	5.10	5.38	6.50	5.38	5.09	5.10	4.50	4.51	4.67	4.59	5.23
Mar	3.88	3.88	3.94	3.88	4.07	3.76	4.03	3.54	3.82	3.73	4.17
Abr	1.25	1.35	1.30	1.35	1.42	1.07	1.46	0.94	1.38	1.05	1.22
May	0.18	0.19	0.22	0.19	0.20	0.13	0.15	0.22	0.18	0.16	0.17
Jun	0.08	0.07	0.13	0.07	0.07	0.05	0.06	0.19	0.04	0.05	0.07
Jul	0.07	0.05	0.07	0.05	0.07	0.05	0.07	0.16	0.09	0.03	0.09
Ago	0.13	0.17	0.14	0.17	0.11	0.09	0.15	0.12	0.11	0.12	0.15
Set	0.21	0.16	0.15	0.16	0.25	0.20	0.20	0.25	0.25	0.17	0.32
Oct	0.41	0.36	0.39	0.36	0.53	0.52	0.37	0.37	0.39	0.33	0.43
Nov	0.60	0.55	0.67	0.55	0.55	0.60	0.48	0.54	0.71	0.61	0.70
Dic	2.11	2.13	2.10	2.13	2.19	1.82	2.15	2.13	2.14	2.31	1.98
Sum	18.28	19.07	20.31	19.07	18.53	17.42	17.26	17.13	17.94	17.09	18.94
Prom	1.52	1.59	1.69	1.59	1.54	1.45	1.44	1.43	1.50	1.42	1.58
Máx	5.10	5.38	6.50	5.38	5.09	5.10	4.50	4.51	4.67	4.59	5.23
Mín	0.07	0.05	0.07	0.05	0.07	0.05	0.06	0.12	0.04	0.03	0.07

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Saisa de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	2.29	2.77	2.64	2.77	2.13	2.04	1.76	2.13	2.19	2.07	2.44
Feb	2.95	3.13	4.24	3.13	3.08	2.97	2.42	2.47	2.60	2.44	2.96
Mar	2.01	1.94	2.11	1.94	2.19	1.96	2.04	1.64	2.02	2.03	2.21
Abr	0.43	0.50	0.54	0.50	0.54	0.32	0.40	0.24	0.57	0.25	0.39
May	0.06	0.05	0.11	0.05	0.07	0.03	0.03	0.10	0.06	0.03	0.04
Jun	0.04	0.03	0.07	0.03	0.02	0.01	0.02	0.13	0.02	0.02	0.02
Jul	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.04	0.09	0.07	0.00	0.03
Ago	0.03	0.03	0.04	0.03	0.01	0.01	0.04	0.03	0.01	0.03	0.04
Set	0.07	0.04	0.03	0.04	0.09	0.05	0.06	0.12	0.08	0.02	0.14
Oct	0.14	0.09	0.13	0.09	0.22	0.21	0.12	0.15	0.10	0.09	0.16
Nov	0.17	0.11	0.25	0.11	0.15	0.11	0.11	0.14	0.25	0.15	0.25
Dic	0.80	0.88	0.78	0.88	0.90	0.55	0.68	0.71	1.00	0.84	0.75
Sum	8.99	9.60	10.96	9.60	9.43	8.28	7.73	7.95	8.98	7.98	9.44
Prom	0.75	0.80	0.91	0.80	0.79	0.69	0.64	0.66	0.75	0.67	0.79
Máx	2.95	3.13	4.24	3.13	3.08	2.97	2.42	2.47	2.60	2.44	2.96
Mín	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.00	0.02

Temperatura máxima

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Acarí de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	30.52	30.82	30.54	29.96	30.52	30.44	30.95	29.81	30.04	30.47	31.61
Feb	31.73	32.20	31.42	31.24	31.61	31.33	31.95	31.27	31.44	31.92	32.97
Mar	32.22	32.52	32.07	32.15	31.90	31.80	32.46	31.88	31.64	32.29	33.51
Abr	31.04	31.16	30.72	31.50	30.52	30.60	31.17	30.99	30.12	31.11	32.49
May	29.26	29.27	28.76	29.85	28.84	28.91	29.46	29.00	28.41	29.26	30.81
Jun	27.41	27.45	27.03	28.13	26.92	27.23	27.65	26.65	26.66	27.41	28.93
Jul	27.00	27.22	26.79	27.91	26.58	26.59	27.27	26.45	25.90	26.86	28.44
Ago	27.68	27.70	27.46	28.77	27.09	27.40	27.98	27.16	26.66	27.55	29.01
Set	28.66	28.79	28.55	29.52	28.50	28.63	29.06	27.62	27.69	28.58	29.61
Oct	29.36	29.53	29.24	29.65	29.24	29.61	29.56	28.60	28.68	29.15	30.37
Nov	29.61	29.80	29.49	29.49	29.59	29.85	30.03	28.91	28.87	29.44	30.62
Dic	29.79	30.17	29.87	29.25	29.53	29.94	30.26	29.43	29.09	29.70	30.71
Sum	354.28	356.62	351.93	357.43	350.85	352.35	357.82	347.76	345.21	353.73	369.05
Prom	29.52	29.72	29.33	29.79	29.24	29.36	29.82	28.98	28.77	29.48	30.75
Máx	32.22	32.52	32.07	32.15	31.90	31.80	32.46	31.88	31.64	32.29	33.51
Mín	27.00	27.22	26.79	27.91	26.58	26.59	27.27	26.45	25.90	26.86	28.44

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Cceccaña de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	17.06	17.58	17.01	15.77	17.20	16.84	18.10	16.22	16.45	17.15	18.30
Feb	17.46	17.86	17.18	16.37	17.35	17.06	18.32	17.10	17.06	17.64	18.71
Mar	17.71	17.98	17.51	17.28	17.58	17.37	18.09	17.40	17.17	17.85	18.88
Abr	18.64	18.95	18.41	19.08	18.33	18.44	18.44	18.52	17.61	18.68	19.95
May	19.79	19.97	19.56	20.41	19.19	19.83	19.76	19.39	18.93	19.63	21.21
Jun	19.93	20.17	19.85	20.89	19.55	19.69	19.81	18.80	19.36	19.79	21.35
Jul	20.15	20.54	20.17	21.14	19.82	19.69	20.25	18.97	19.18	20.15	21.61
Ago	20.68	21.00	20.78	21.61	20.61	20.13	20.67	19.58	19.56	20.54	22.31
Set	20.64	21.25	20.92	21.53	20.52	19.83	20.79	19.08	19.71	20.94	21.82
Oct	20.70	21.44	20.84	20.61	20.56	19.62	20.87	20.10	20.18	20.89	21.89
Nov	19.90	20.38	19.87	18.69	20.16	19.53	20.35	19.49	18.96	20.33	21.23
Dic	18.38	18.87	18.38	16.97	18.36	18.66	19.29	18.07	17.28	18.31	19.64
Sum	231.05	235.99	230.47	230.35	229.24	226.68	234.75	222.73	221.46	231.92	246.89
Prom	19.25	19.67	19.21	19.20	19.10	18.89	19.56	18.56	18.45	19.33	20.57
Máx	20.70	21.44	20.92	21.61	20.61	20.13	20.87	20.10	20.18	20.94	22.31
Mín	17.06	17.58	17.01	15.77	17.20	16.84	18.09	16.22	16.45	17.15	18.30

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación CerroCondorillo de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	18.94	19.35	18.88	18.34	19.10	18.71	19.41	18.21	18.40	19.00	20.02
Feb	18.98	19.51	18.69	18.39	18.97	18.45	19.14	18.68	18.65	19.24	20.10
Mar	19.36	19.74	19.20	19.16	19.36	18.79	19.49	19.06	18.80	19.49	20.51
Abr	20.01	20.21	19.62	20.47	19.77	19.71	19.91	20.09	18.94	20.09	21.27
May	20.78	20.80	20.18	21.25	20.27	21.13	20.84	20.66	19.95	20.67	22.07
Jun	20.73	20.82	20.35	21.25	20.48	20.89	20.76	19.94	20.18	20.73	21.93
Jul	20.95	21.33	20.77	21.51	20.80	20.68	20.90	20.33	20.04	21.04	22.09
Ago	21.35	21.58	21.26	21.97	21.53	20.96	21.25	20.82	20.45	21.34	22.35
Set	21.84	22.30	21.95	22.38	21.98	21.48	22.01	20.72	21.02	22.01	22.53
Oct	21.76	22.21	21.82	21.93	21.83	21.18	21.94	21.08	21.25	21.66	22.72
Nov	21.17	21.44	21.06	20.92	21.43	21.01	21.59	20.59	20.30	21.30	22.09
Dic	19.99	20.46	19.98	19.38	19.95	20.24	20.42	19.77	18.96	19.88	20.90
Sum	245.87	249.75	243.76	246.94	245.46	243.23	247.65	239.95	236.92	246.45	258.59
Prom	20.49	20.81	20.31	20.58	20.45	20.27	20.64	20.00	19.74	20.54	21.55
Máx	21.84	22.30	21.95	22.38	21.98	21.48	22.01	21.08	21.25	22.01	22.72
Mín	18.94	19.35	18.69	18.34	18.97	18.45	19.14	18.21	18.40	19.00	20.02

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Lucanas de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	19.37	19.78	19.31	18.76	19.51	19.15	19.84	18.63	18.84	19.43	20.44
Feb	19.41	19.94	19.11	18.80	19.39	18.88	19.57	19.09	19.08	19.67	20.53
Mar	19.77	20.15	19.61	19.57	19.79	19.21	19.91	19.47	19.22	19.90	20.92
Abr	20.48	20.69	20.09	20.93	20.24	20.18	20.40	20.56	19.42	20.56	21.75
May	21.22	21.25	20.62	21.68	20.70	21.57	21.28	21.09	20.39	21.12	22.52
Jun	21.20	21.30	20.81	21.71	20.95	21.35	21.20	20.39	20.63	21.20	22.40
Jul	21.43	21.82	21.24	22.00	21.28	21.15	21.38	20.81	20.51	21.52	22.56
Ago	21.78	22.00	21.67	22.41	21.95	21.39	21.68	21.26	20.87	21.78	22.77
Set	22.14	22.60	22.25	22.69	22.29	21.79	22.31	21.00	21.31	22.32	22.83
Oct	21.93	22.40	21.98	22.09	22.01	21.36	22.11	21.23	21.43	21.84	22.89
Nov	21.34	21.61	21.21	21.08	21.62	21.17	21.75	20.75	20.46	21.46	22.25
Dic	20.29	20.74	20.28	19.68	20.23	20.54	20.73	20.08	19.26	20.19	21.18
Sum	250.36	254.28	248.18	251.41	249.97	247.73	252.16	244.38	241.43	251.01	263.06
Prom	20.86	21.19	20.68	20.95	20.83	20.64	21.01	20.36	20.12	20.92	21.92
Máx	22.14	22.60	22.25	22.69	22.29	21.79	22.31	21.26	21.43	22.32	22.89
Mín	19.37	19.78	19.11	18.76	19.39	18.88	19.57	18.63	18.84	19.43	20.44

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Palcachacra de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	18.94	19.35	18.88	18.34	19.10	18.71	19.41	18.21	18.40	19.00	20.02
Feb	18.98	19.51	18.69	18.39	18.97	18.45	19.14	18.68	18.65	19.24	20.10
Mar	19.36	19.74	19.20	19.16	19.36	18.79	19.49	19.06	18.80	19.49	20.51
Abr	20.01	20.21	19.62	20.47	19.77	19.71	19.91	20.09	18.94	20.09	21.27
May	20.78	20.80	20.18	21.25	20.27	21.13	20.84	20.66	19.95	20.67	22.07
Jun	20.73	20.82	20.35	21.25	20.48	20.89	20.76	19.94	20.18	20.73	21.93
Jul	20.95	21.33	20.77	21.51	20.80	20.68	20.90	20.33	20.04	21.04	22.09
Ago	21.35	21.58	21.26	21.97	21.53	20.96	21.25	20.82	20.45	21.34	22.35
Set	21.84	22.30	21.95	22.38	21.98	21.48	22.01	20.72	21.02	22.01	22.53
Oct	21.76	22.21	21.82	21.93	21.83	21.18	21.94	21.08	21.25	21.66	22.72
Nov	21.17	21.44	21.06	20.92	21.43	21.01	21.59	20.59	20.30	21.30	22.09
Dic	19.99	20.46	19.98	19.38	19.95	20.24	20.42	19.77	18.96	19.88	20.90
Sum	245.87	249.75	243.76	246.94	245.46	243.23	247.65	239.95	236.92	246.45	258.59
Prom	20.49	20.81	20.31	20.58	20.45	20.27	20.64	20.00	19.74	20.54	21.55
Máx	21.84	22.30	21.95	22.38	21.98	21.48	22.01	21.08	21.25	22.01	22.72
Mín	18.94	19.35	18.69	18.34	18.97	18.45	19.14	18.21	18.40	19.00	20.02

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Paucacorral de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	18.44	18.85	18.38	17.82	18.58	18.21	18.93	17.72	17.90	18.52	19.50
Feb	18.55	19.08	18.26	17.94	18.54	18.03	18.72	18.26	18.23	18.82	19.67
Mar	18.93	19.31	18.76	18.72	18.93	18.36	19.06	18.63	18.38	19.05	20.08
Abr	19.78	19.97	19.38	20.24	19.52	19.47	19.68	19.85	18.73	19.86	21.04
May	20.62	20.64	20.02	21.09	20.10	20.96	20.69	20.49	19.79	20.52	21.92
Jun	20.45	20.56	20.07	20.97	20.20	20.61	20.48	19.65	19.89	20.46	21.65
Jul	20.70	21.09	20.52	21.27	20.54	20.42	20.64	20.08	19.79	20.81	21.83
Ago	21.05	21.27	20.95	21.68	21.22	20.65	20.95	20.53	20.15	21.06	22.05
Set	21.28	21.73	21.39	21.81	21.40	20.92	21.44	20.17	20.47	21.47	21.95
Oct	21.04	21.51	21.09	21.18	21.10	20.46	21.21	20.35	20.54	20.96	21.99
Nov	20.49	20.76	20.37	20.23	20.76	20.33	20.91	19.92	19.61	20.62	21.40
Dic	19.13	19.57	19.13	18.51	19.06	19.39	19.57	18.91	18.10	19.05	20.02
Sum	240.46	244.34	238.32	241.45	239.95	237.79	242.27	234.56	231.57	241.20	253.11
Prom	20.04	20.36	19.86	20.12	20.00	19.82	20.19	19.55	19.30	20.10	21.09
Máx	21.28	21.73	21.39	21.81	21.40	20.96	21.44	20.53	20.54	21.47	22.05
Mín	18.44	18.85	18.26	17.82	18.54	18.03	18.72	17.72	17.90	18.52	19.50

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Puquio de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	19.29	19.70	19.23	18.67	19.43	19.06	19.77	18.55	18.76	19.36	20.35
Feb	19.31	19.84	19.02	18.70	19.30	18.78	19.47	19.01	18.98	19.57	20.43
Mar	19.67	20.05	19.50	19.47	19.68	19.10	19.80	19.37	19.12	19.80	20.82
Abr	20.45	20.65	20.05	20.91	20.20	20.15	20.36	20.53	19.40	20.53	21.72
May	21.15	21.17	20.55	21.61	20.63	21.49	21.21	21.02	20.32	21.05	22.44
Jun	21.03	21.14	20.65	21.55	20.78	21.18	21.05	20.24	20.47	21.04	22.23
Jul	21.29	21.69	21.11	21.87	21.14	21.01	21.23	20.67	20.38	21.40	22.42
Ago	21.65	21.87	21.54	22.28	21.82	21.25	21.54	21.13	20.74	21.66	22.64
Set	21.90	22.36	22.01	22.44	22.04	21.54	22.06	20.78	21.08	22.09	22.58
Oct	21.64	22.12	21.69	21.78	21.71	21.06	21.81	20.95	21.14	21.56	22.59
Nov	21.14	21.41	21.01	20.87	21.41	20.97	21.54	20.57	20.26	21.27	22.04
Dic	19.97	20.42	19.96	19.35	19.90	20.21	20.40	19.76	18.94	19.88	20.85
Sum	248.48	252.41	246.31	249.50	248.02	245.81	250.25	242.57	239.58	249.22	261.11
Prom	20.71	21.03	20.53	20.79	20.67	20.48	20.85	20.21	19.97	20.77	21.76
Máx	21.90	22.36	22.01	22.44	22.04	21.54	22.06	21.13	21.14	22.09	22.64
Mín	19.29	19.70	19.02	18.67	19.30	18.78	19.47	18.55	18.76	19.36	20.35

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Saisa de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	23.95	24.37	23.91	23.34	24.11	23.75	24.40	23.19	23.47	24.01	25.00
Feb	23.44	23.97	23.16	22.83	23.43	22.93	23.62	23.08	23.13	23.69	24.58
Mar	23.59	24.00	23.41	23.38	23.61	23.04	23.73	23.28	23.04	23.69	24.75
Abr	25.05	25.26	24.66	25.47	24.82	24.77	24.98	25.11	23.99	25.11	26.33
May	24.76	24.79	24.17	25.21	24.27	25.10	24.79	24.60	23.95	24.65	26.08
Jun	23.77	23.89	23.38	24.26	23.52	23.91	23.77	22.96	23.19	23.79	24.97
Jul	23.79	24.20	23.62	24.37	23.66	23.51	23.74	23.16	22.86	23.89	24.93
Ago	24.40	24.63	24.27	25.06	24.56	24.02	24.32	23.85	23.49	24.39	25.39
Set	24.98	25.44	25.08	25.55	25.15	24.65	25.16	23.79	24.13	25.16	25.68
Oct	24.83	25.30	24.86	24.99	24.92	24.29	25.01	24.09	24.33	24.75	25.78
Nov	24.49	24.78	24.36	24.25	24.79	24.34	24.90	23.89	23.61	24.62	25.41
Dic	24.31	24.78	24.30	23.70	24.26	24.55	24.72	24.08	23.29	24.22	25.18
Sum	291.37	295.42	289.20	292.40	291.10	288.85	293.14	285.09	282.49	291.97	304.09
Prom	24.28	24.62	24.10	24.37	24.26	24.07	24.43	23.76	23.54	24.33	25.34
Máx	25.05	25.44	25.08	25.55	25.15	25.10	25.16	25.11	24.33	25.16	26.33
Mín	23.44	23.89	23.16	22.83	23.43	22.93	23.62	22.96	22.86	23.69	24.58

Temperatura mínima

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Acari de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PR	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	19.11	19.37	19.15	20.26	19.17	18.45	19.00	18.41	18.79	18.83	19.64
Feb	19.79	19.96	20.12	20.56	19.93	19.47	19.72	18.89	19.20	19.51	20.53
Mar	19.38	19.52	19.54	20.13	19.64	18.99	19.40	18.29	19.00	19.18	20.15
Abr	17.55	17.87	17.84	18.15	17.74	16.86	17.77	16.43	17.30	17.29	18.22
May	14.97	15.28	15.40	16.21	15.21	13.71	14.91	14.18	14.47	14.70	15.62
Jun	12.99	12.97	13.31	14.44	13.22	11.73	12.98	12.15	12.61	12.72	13.77
Jul	12.39	12.25	12.38	14.03	12.79	11.36	11.99	11.66	11.93	12.04	13.49
Ago	12.54	12.46	12.56	13.91	12.96	11.88	12.31	11.61	12.06	12.26	13.37
Set	13.59	13.28	13.60	14.98	13.88	13.42	13.46	12.65	12.97	12.97	14.72
Oct	14.60	14.25	14.30	16.19	14.73	14.84	14.67	13.53	14.07	13.98	15.41
Nov	15.60	15.29	15.40	17.34	15.41	15.13	15.69	14.66	15.40	15.29	16.39
Dic	17.46	17.54	17.42	19.13	17.52	16.29	17.31	16.65	17.26	17.30	18.14
Sum	189.96	190.04	191.00	205.34	192.20	182.12	189.20	179.12	185.05	186.09	199.45
Prom	15.83	15.84	15.92	17.11	16.02	15.18	15.77	14.93	15.42	15.51	16.62
Máx	19.79	19.96	20.12	20.56	19.93	19.47	19.72	18.89	19.20	19.51	20.53
Mín	12.39	12.25	12.38	13.91	12.79	11.36	11.99	11.61	11.93	12.04	13.37

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Cceccaña de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	7.33	7.71	7.57	8.44	6.88	7.42	8.12	6.12	6.51	6.60	7.90
Feb	7.54	8.04	8.13	8.11	7.07	7.55	8.68	6.30	6.36	6.83	8.32
Mar	6.97	7.58	7.47	7.61	6.44	6.83	8.45	5.50	5.91	6.28	7.65
Abr	6.06	6.45	6.32	6.66	5.62	6.06	7.55	4.60	5.41	5.42	6.54
May	4.84	4.54	4.49	6.62	4.57	5.05	6.07	3.95	4.26	3.75	5.07
Jun	5.35	4.99	4.89	7.72	4.78	5.11	6.42	4.58	5.14	4.06	5.79
Jul	4.86	4.31	4.18	7.56	4.69	4.77	5.02	4.15	4.72	3.52	5.69
Ago	5.82	5.43	5.43	7.90	6.00	5.88	6.39	4.57	5.56	4.72	6.32
Set	6.13	5.55	5.76	8.32	5.88	6.66	6.93	4.96	5.52	4.72	7.03
Oct	6.48	5.83	5.77	9.15	5.87	6.82	8.06	5.18	5.72	5.27	7.16
Nov	5.88	5.76	5.67	8.12	5.05	5.68	7.28	4.50	5.27	5.07	6.41
Dic	6.79	7.00	6.95	8.49	6.46	6.32	7.54	5.47	6.09	6.21	7.33
Sum	74.05	73.20	72.63	94.69	69.30	74.14	86.52	59.87	66.47	62.43	81.21
Prom	6.17	6.10	6.05	7.89	5.77	6.18	7.21	4.99	5.54	5.20	6.77
Máx	7.54	8.04	8.13	9.15	7.07	7.55	8.68	6.30	6.51	6.83	8.32
Mín	4.84	4.31	4.18	6.62	4.57	4.77	5.02	3.95	4.26	3.52	5.07

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación CerroCondorillo de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5

(2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	8.84	9.35	9.10	9.82	8.60	9.08	8.58	8.01	8.33	8.37	9.18
Feb	8.96	9.33	9.60	9.57	8.77	9.11	8.85	8.14	8.10	8.57	9.60
Mar	8.32	8.83	8.81	8.94	8.12	8.32	8.27	7.32	7.69	8.02	8.93
Abr	7.40	8.10	8.05	7.89	6.94	7.54	7.45	6.25	7.01	6.95	7.84
May	5.82	6.29	6.59	6.72	5.52	6.33	5.44	5.04	5.18	5.07	6.02
Jun	5.78	5.71	6.31	7.03	5.52	6.17	5.55	4.90	5.53	4.86	6.18
Jul	5.67	5.61	5.72	6.96	5.68	6.16	4.93	4.96	5.46	4.86	6.37
Ago	6.58	6.67	6.67	7.48	7.09	7.21	5.98	5.51	6.29	5.98	6.97
Set	7.32	7.24	7.61	8.13	7.66	8.37	6.72	6.26	6.86	6.35	7.94
Oct	7.73	7.62	7.64	9.00	7.66	8.71	7.56	6.62	7.32	6.89	8.26
Nov	7.38	7.35	7.49	8.83	6.91	7.80	7.25	6.33	7.14	6.89	7.83
Dic	8.26	8.56	8.43	9.64	8.18	8.16	7.81	7.36	7.91	7.90	8.64
Sum	88.07	90.65	92.01	100.00	86.64	92.96	84.40	76.72	82.83	80.72	93.76
Prom	7.34	7.55	7.67	8.33	7.22	7.75	7.03	6.39	6.90	6.73	7.81
Máx	8.96	9.35	9.60	9.82	8.77	9.11	8.85	8.14	8.33	8.57	9.60
Mín	5.67	5.61	5.72	6.72	5.52	6.16	4.93	4.90	5.18	4.86	6.02

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Lucanas de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	9.44	9.94	9.70	10.42	9.21	9.67	9.18	8.60	8.94	8.97	9.78
Feb	9.48	9.85	10.11	10.08	9.29	9.62	9.36	8.64	8.62	9.09	10.10
Mar	8.77	9.28	9.26	9.38	8.57	8.77	8.73	7.76	8.14	8.46	9.38
Abr	7.95	8.66	8.59	8.44	7.47	8.09	8.02	6.82	7.56	7.49	8.40
May	6.35	6.82	7.11	7.25	6.04	6.85	5.97	5.56	5.71	5.61	6.57
Jun	6.25	6.19	6.77	7.49	6.00	6.64	6.01	5.36	6.00	5.34	6.66
Jul	5.99	5.93	6.02	7.29	6.03	6.48	5.24	5.28	5.77	5.17	6.69
Ago	6.91	6.99	6.97	7.81	7.44	7.52	6.30	5.83	6.60	6.29	7.30
Set	7.74	7.68	8.02	8.56	8.10	8.79	7.14	6.67	7.28	6.78	8.37
Oct	8.22	8.13	8.14	9.50	8.15	9.21	8.05	7.10	7.80	7.39	8.74
Nov	7.94	7.91	8.05	9.39	7.47	8.37	7.80	6.89	7.71	7.46	8.40
Dic	8.84	9.14	9.01	10.22	8.75	8.74	8.41	7.95	8.50	8.49	9.23
Sum	93.88	96.52	97.76	105.82	92.53	98.75	90.20	82.45	88.64	86.54	99.63
Prom	7.82	8.04	8.15	8.82	7.71	8.23	7.52	6.87	7.39	7.21	8.30
Máx	9.48	9.94	10.11	10.42	9.29	9.67	9.36	8.64	8.94	9.09	10.10
Mín	5.99	5.93	6.02	7.25	6.00	6.48	5.24	5.28	5.71	5.17	6.57

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Palcachacra de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5

(2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	8.84	9.35	9.10	9.82	8.60	9.08	8.58	8.01	8.33	8.37	9.18
Feb	8.96	9.33	9.60	9.57	8.77	9.11	8.85	8.14	8.10	8.57	9.60
Mar	8.32	8.83	8.81	8.94	8.12	8.32	8.27	7.32	7.69	8.02	8.93
Abr	7.40	8.10	8.05	7.89	6.94	7.54	7.45	6.25	7.01	6.95	7.84
May	5.82	6.29	6.59	6.72	5.52	6.33	5.44	5.04	5.18	5.07	6.02
Jun	5.78	5.71	6.31	7.03	5.52	6.17	5.55	4.90	5.53	4.86	6.18
Jul	5.67	5.61	5.72	6.96	5.68	6.16	4.93	4.96	5.46	4.86	6.37
Ago	6.58	6.67	6.67	7.48	7.09	7.21	5.98	5.51	6.29	5.98	6.97
Set	7.32	7.24	7.61	8.13	7.66	8.37	6.72	6.26	6.86	6.35	7.94
Oct	7.73	7.62	7.64	9.00	7.66	8.71	7.56	6.62	7.32	6.89	8.26
Nov	7.38	7.35	7.49	8.83	6.91	7.80	7.25	6.33	7.14	6.89	7.83
Dic	8.26	8.56	8.43	9.64	8.18	8.16	7.81	7.36	7.91	7.90	8.64
Sum	88.07	90.65	92.01	100.00	86.64	92.96	84.40	76.72	82.83	80.72	93.76
Prom	7.34	7.55	7.67	8.33	7.22	7.75	7.03	6.39	6.90	6.73	7.81
Máx	8.96	9.35	9.60	9.82	8.77	9.11	8.85	8.14	8.33	8.57	9.60
Mín	5.67	5.61	5.72	6.72	5.52	6.16	4.93	4.90	5.18	4.86	6.02

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Paucacorral de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	8.87	9.37	9.13	9.86	8.64	9.11	8.62	8.03	8.36	8.39	9.22
Feb	8.81	9.17	9.44	9.40	8.63	8.95	8.70	7.98	7.95	8.41	9.44
Mar	8.06	8.56	8.54	8.67	7.86	8.06	8.02	7.05	7.42	7.74	8.67
Abr	7.31	8.01	7.94	7.80	6.84	7.44	7.37	6.17	6.93	6.85	7.76
May	6.04	6.50	6.79	6.94	5.74	6.53	5.67	5.24	5.40	5.29	6.25
Jun	6.21	6.17	6.74	7.45	5.96	6.60	5.99	5.32	5.97	5.30	6.62
Jul	5.82	5.75	5.86	7.12	5.86	6.31	5.07	5.10	5.61	5.01	6.52
Ago	6.80	6.87	6.88	7.69	7.34	7.41	6.20	5.72	6.50	6.19	7.19
Set	7.35	7.29	7.64	8.17	7.71	8.40	6.76	6.30	6.90	6.40	7.99
Oct	7.88	7.77	7.80	9.13	7.80	8.86	7.71	6.76	7.46	7.05	8.40
Nov	7.49	7.46	7.60	8.93	7.02	7.91	7.36	6.43	7.24	7.01	7.94
Dic	8.37	8.67	8.54	9.76	8.28	8.26	7.94	7.44	8.01	8.02	8.75
Sum	89.01	91.60	92.91	100.90	87.68	93.85	85.42	77.56	83.75	81.65	94.75
Prom	7.42	7.63	7.74	8.41	7.31	7.82	7.12	6.46	6.98	6.80	7.90
Máx	8.87	9.37	9.44	9.86	8.64	9.11	8.70	8.03	8.36	8.41	9.44
Mín	5.82	5.75	5.86	6.94	5.74	6.31	5.07	5.10	5.40	5.01	6.25

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Puquio de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	9.60	10.10	9.86	10.58	9.37	9.83	9.34	8.75	9.10	9.12	9.93
Feb	9.55	9.92	10.18	10.14	9.37	9.69	9.43	8.72	8.69	9.16	10.17
Mar	8.76	9.26	9.24	9.37	8.55	8.76	8.71	7.75	8.12	8.44	9.36
Abr	8.00	8.70	8.63	8.49	7.52	8.13	8.06	6.86	7.61	7.54	8.45
May	6.57	7.04	7.33	7.47	6.28	7.06	6.20	5.78	5.94	5.83	6.79
Jun	6.51	6.46	7.03	7.74	6.27	6.90	6.28	5.63	6.26	5.60	6.92
Jul	6.15	6.09	6.19	7.45	6.20	6.64	5.41	5.44	5.94	5.34	6.85
Ago	7.10	7.18	7.17	7.99	7.64	7.72	6.50	6.03	6.80	6.49	7.49
Set	7.90	7.85	8.18	8.72	8.26	8.95	7.31	6.83	7.44	6.94	8.53
Oct	8.43	8.34	8.35	9.70	8.36	9.42	8.26	7.31	8.01	7.60	8.95
Nov	8.20	8.17	8.31	9.64	7.73	8.62	8.06	7.14	7.96	7.72	8.65
Dic	9.09	9.39	9.26	10.47	9.00	8.99	8.66	8.18	8.74	8.74	9.47
Sum	95.86	98.50	99.73	107.76	94.56	100.70	92.19	84.43	90.62	88.52	101.55
Prom	7.99	8.21	8.31	8.98	7.88	8.39	7.68	7.04	7.55	7.38	8.46
Máx	9.60	10.10	10.18	10.58	9.37	9.83	9.43	8.75	9.10	9.16	10.17
Mín	6.15	6.09	6.19	7.45	6.20	6.64	5.41	5.44	5.94	5.34	6.79

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Saisa de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	12.66	13.16	12.94	13.62	12.45	12.88	12.38	11.80	12.18	12.19	13.00
Feb	12.53	12.93	13.19	13.13	12.37	12.68	12.38	11.67	11.70	12.13	13.14
Mar	12.17	12.68	12.69	12.77	11.98	12.16	12.12	11.14	11.55	11.84	12.79
Abr	11.61	12.33	12.26	12.08	11.10	11.74	11.65	10.48	11.23	11.14	12.07
May	9.86	10.35	10.63	10.76	9.57	10.33	9.46	9.05	9.25	9.14	10.12
Jun	8.44	8.40	8.96	9.66	8.23	8.80	8.20	7.55	8.20	7.55	8.87
Jul	8.03	7.97	8.07	9.33	8.10	8.49	7.26	7.30	7.80	7.22	8.74
Ago	8.62	8.70	8.69	9.53	9.19	9.21	8.00	7.54	8.31	8.00	9.03
Set	10.06	10.00	10.33	10.90	10.43	11.09	9.46	8.96	9.59	9.11	10.69
Oct	10.75	10.68	10.66	12.04	10.70	11.73	10.57	9.61	10.32	9.93	11.27
Nov	10.82	10.78	10.91	12.28	10.35	11.23	10.66	9.77	10.61	10.35	11.29
Dic	11.98	12.27	12.15	13.36	11.86	11.87	11.54	11.08	11.66	11.63	12.36
Sum	127.53	130.26	131.47	139.46	126.32	132.21	123.67	115.95	122.39	120.22	133.38
Prom	10.63	10.85	10.96	11.62	10.53	11.02	10.31	9.66	10.20	10.02	11.11
Máx	12.66	13.16	13.19	13.62	12.45	12.88	12.38	11.80	12.18	12.19	13.14
Mín	8.03	7.97	8.07	9.33	8.10	8.49	7.26	7.30	7.80	7.22	8.74

**Aexo 04. Generación de datos para la simulación de la disponibilidad hídrica futura
bajo el escenario climático SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE)**

Precipitación

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Acari de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	0.42	0.57	0.38	0.48	0.27	0.25	0.40	0.34	0.38	0.39	0.78
Feb	0.18	0.20	0.32	0.19	0.16	0.13	0.17	0.11	0.11	0.13	0.29
Mar	0.10	0.09	0.12	0.16	0.08	0.07	0.12	0.06	0.08	0.09	0.17
Abr	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.06	0.02	0.03	0.04	0.09
May	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02
Jun	0.03	0.01	0.04	0.01	0.11	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01
Jul	0.02	0.01	0.01	0.01	0.10	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
Ago	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00
Set	0.02	0.01	0.01	0.10	0.02	0.01	0.00	0.04	0.01	0.01	0.01
Oct	0.03	0.02	0.02	0.16	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02
Nov	0.03	0.01	0.03	0.12	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.11
Dic	0.08	0.07	0.07	0.21	0.05	0.02	0.02	0.07	0.04	0.09	0.14
Sum	0.99	1.05	1.07	1.51	0.90	0.56	0.84	0.79	0.72	0.82	1.65
Prom	0.08	0.09	0.09	0.13	0.08	0.05	0.07	0.07	0.06	0.07	0.14
Máx	0.42	0.57	0.38	0.48	0.27	0.25	0.40	0.34	0.38	0.39	0.78
Mín	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Cceccaña de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	4.66	5.28	4.77	5.17	4.27	4.32	4.58	4.16	4.83	4.66	4.60
Feb	5.35	5.79	6.04	5.64	5.03	5.09	5.54	4.40	5.06	5.64	5.23
Mar	3.98	4.22	4.33	4.07	3.88	3.95	4.25	3.77	3.67	3.85	3.83
Abr	1.29	1.40	1.35	1.24	1.29	1.14	1.58	1.09	1.28	1.34	1.18
May	0.17	0.17	0.19	0.15	0.21	0.19	0.23	0.15	0.13	0.17	0.16
Jun	0.12	0.10	0.16	0.09	0.11	0.08	0.14	0.15	0.09	0.11	0.13
Jul	0.08	0.10	0.06	0.03	0.12	0.06	0.10	0.09	0.07	0.06	0.10
Ago	0.16	0.17	0.12	0.13	0.16	0.13	0.19	0.23	0.16	0.18	0.17
Set	0.32	0.26	0.22	0.44	0.31	0.31	0.33	0.44	0.28	0.27	0.29
Oct	0.56	0.60	0.55	0.87	0.56	0.59	0.58	0.46	0.44	0.55	0.44
Nov	0.86	0.79	0.93	1.22	0.76	0.69	0.82	0.72	0.97	0.86	0.87
Dic	2.63	2.45	2.55	3.01	2.61	2.28	2.71	2.81	2.67	2.85	2.36
Sum	20.19	21.33	21.27	22.06	19.31	18.83	21.05	18.47	19.65	20.55	19.36
Prom	1.68	1.78	1.77	1.84	1.61	1.57	1.75	1.54	1.64	1.71	1.61
Máx	5.35	5.79	6.04	5.64	5.03	5.09	5.54	4.40	5.06	5.64	5.23
Mín	0.08	0.10	0.06	0.03	0.11	0.06	0.10	0.09	0.07	0.06	0.10

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación CerroCondorillo de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	4.25	5.15	4.55	4.42	3.86	3.80	3.95	3.75	4.40	4.20	4.46
Feb	5.13	5.52	6.19	5.22	4.76	5.02	4.79	4.30	4.88	5.24	5.33
Mar	3.89	3.98	4.11	3.90	3.90	3.65	4.01	3.82	3.69	3.78	4.09
Abr	1.34	1.45	1.34	1.27	1.38	1.10	1.57	1.19	1.35	1.40	1.38
May	0.17	0.19	0.19	0.18	0.17	0.15	0.17	0.19	0.14	0.18	0.17
Jun	0.08	0.07	0.13	0.07	0.09	0.06	0.06	0.17	0.04	0.07	0.07
Jul	0.09	0.09	0.06	0.06	0.10	0.07	0.14	0.09	0.10	0.06	0.10
Ago	0.14	0.18	0.10	0.11	0.13	0.11	0.17	0.15	0.12	0.16	0.14
Set	0.23	0.18	0.19	0.27	0.23	0.22	0.20	0.27	0.25	0.22	0.24
Oct	0.41	0.41	0.41	0.44	0.43	0.47	0.39	0.37	0.38	0.40	0.40
Nov	0.67	0.58	0.77	0.75	0.61	0.63	0.53	0.61	0.74	0.67	0.77
Dic	2.21	2.18	2.31	2.37	2.19	1.97	2.32	2.18	2.10	2.35	2.10
Sum	18.61	19.96	20.36	19.07	17.85	17.26	18.28	17.09	18.21	18.74	19.25
Prom	1.55	1.66	1.70	1.59	1.49	1.44	1.52	1.42	1.52	1.56	1.60
Máx	5.13	5.52	6.19	5.22	4.76	5.02	4.79	4.30	4.88	5.24	5.33
Mín	0.08	0.07	0.06	0.06	0.09	0.06	0.06	0.09	0.04	0.06	0.07

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Lucanas de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	3.95	4.80	4.27	4.13	3.51	3.49	3.64	3.46	4.11	3.91	4.18
Feb	4.79	5.15	5.83	4.88	4.46	4.68	4.46	4.00	4.57	4.89	4.96
Mar	3.70	3.76	3.91	3.71	3.67	3.45	3.85	3.64	3.55	3.58	3.89
Abr	1.19	1.30	1.22	1.13	1.22	0.97	1.39	1.03	1.21	1.24	1.24
May	0.15	0.17	0.17	0.16	0.14	0.14	0.14	0.17	0.12	0.16	0.16
Jun	0.08	0.06	0.12	0.06	0.07	0.05	0.05	0.21	0.04	0.05	0.07
Jul	0.07	0.07	0.05	0.05	0.07	0.05	0.11	0.09	0.09	0.04	0.07
Ago	0.12	0.15	0.09	0.09	0.10	0.10	0.15	0.14	0.11	0.15	0.13
Set	0.18	0.13	0.15	0.24	0.18	0.17	0.15	0.24	0.20	0.18	0.19
Oct	0.35	0.34	0.35	0.40	0.36	0.39	0.32	0.32	0.31	0.34	0.34
Nov	0.56	0.49	0.64	0.66	0.49	0.53	0.43	0.51	0.62	0.59	0.66
Dic	1.96	1.95	2.04	2.09	1.92	1.76	2.07	1.90	1.85	2.12	1.87
Sum	17.11	18.38	18.85	17.60	16.20	15.78	16.78	15.69	16.77	17.27	17.75
Prom	1.43	1.53	1.57	1.47	1.35	1.31	1.40	1.31	1.40	1.44	1.48
Máx	4.79	5.15	5.83	4.88	4.46	4.68	4.46	4.00	4.57	4.89	4.96
Mín	0.07	0.06	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.09	0.04	0.04	0.07

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Palcachaca de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	4.25	5.15	4.55	4.42	3.86	3.80	3.95	3.75	4.40	4.20	4.46
Feb	5.13	5.52	6.19	5.22	4.76	5.02	4.79	4.30	4.88	5.24	5.33
Mar	3.89	3.98	4.11	3.90	3.90	3.65	4.01	3.82	3.69	3.78	4.09
Abr	1.34	1.45	1.34	1.27	1.38	1.10	1.57	1.19	1.35	1.40	1.38
May	0.17	0.19	0.19	0.18	0.17	0.15	0.17	0.19	0.14	0.18	0.17
Jun	0.08	0.07	0.13	0.07	0.09	0.06	0.06	0.17	0.04	0.07	0.07
Jul	0.09	0.09	0.06	0.06	0.10	0.07	0.14	0.09	0.10	0.06	0.10
Ago	0.14	0.18	0.10	0.11	0.13	0.11	0.17	0.15	0.12	0.16	0.14
Set	0.23	0.18	0.19	0.27	0.23	0.22	0.20	0.27	0.25	0.22	0.24
Oct	0.41	0.41	0.41	0.44	0.43	0.47	0.39	0.37	0.38	0.40	0.40
Nov	0.67	0.58	0.77	0.75	0.61	0.63	0.53	0.61	0.74	0.67	0.77
Dic	2.21	2.18	2.31	2.37	2.19	1.97	2.32	2.18	2.10	2.35	2.10
Sum	18.61	19.96	20.36	19.07	17.85	17.26	18.28	17.09	18.21	18.74	19.25
Prom	1.55	1.66	1.70	1.59	1.49	1.44	1.52	1.42	1.52	1.56	1.60
Máx	5.13	5.52	6.19	5.22	4.76	5.02	4.79	4.30	4.88	5.24	5.33
Mín	0.08	0.07	0.06	0.06	0.09	0.06	0.06	0.09	0.04	0.06	0.07

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Paucacorral de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	4.17	5.04	4.45	4.36	3.77	3.71	3.87	3.65	4.28	4.15	4.42
Feb	4.95	5.32	5.99	5.03	4.58	4.85	4.64	4.11	4.71	5.07	5.17
Mar	3.81	3.87	4.07	3.84	3.77	3.62	3.93	3.72	3.62	3.69	3.99
Abr	1.17	1.21	1.21	1.09	1.18	1.00	1.35	1.01	1.21	1.22	1.18
May	0.17	0.18	0.17	0.17	0.16	0.15	0.16	0.20	0.14	0.17	0.18
Jun	0.09	0.09	0.12	0.06	0.08	0.07	0.07	0.20	0.06	0.07	0.10
Jul	0.07	0.07	0.06	0.04	0.08	0.06	0.12	0.08	0.08	0.05	0.09
Ago	0.14	0.17	0.12	0.12	0.13	0.12	0.17	0.14	0.14	0.18	0.14
Set	0.23	0.17	0.20	0.28	0.24	0.21	0.20	0.28	0.25	0.22	0.24
Oct	0.42	0.41	0.44	0.47	0.45	0.45	0.38	0.40	0.40	0.42	0.39
Nov	0.64	0.58	0.74	0.73	0.59	0.59	0.54	0.60	0.71	0.65	0.73
Dic	2.14	2.16	2.27	2.30	2.11	1.92	2.22	2.11	2.00	2.29	2.06
Sum	18.01	19.28	19.83	18.48	17.13	16.74	17.65	16.48	17.61	18.15	18.70
Prom	1.50	1.61	1.65	1.54	1.43	1.40	1.47	1.37	1.47	1.51	1.56
Máx	4.95	5.32	5.99	5.03	4.58	4.85	4.64	4.11	4.71	5.07	5.17
Mín	0.07	0.07	0.06	0.04	0.08	0.06	0.07	0.08	0.06	0.05	0.09

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Puquio de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	4.02	4.88	4.33	4.19	3.59	3.55	3.72	3.51	4.15	3.99	4.27
Feb	4.85	5.23	5.89	4.94	4.49	4.75	4.53	4.04	4.60	4.97	5.04
Mar	3.76	3.83	4.00	3.78	3.73	3.56	3.89	3.69	3.56	3.64	3.95
Abr	1.17	1.23	1.21	1.10	1.19	0.99	1.36	1.00	1.19	1.21	1.20
May	0.16	0.17	0.17	0.16	0.15	0.14	0.15	0.19	0.13	0.16	0.17
Jun	0.09	0.08	0.12	0.06	0.08	0.06	0.06	0.21	0.05	0.06	0.08
Jul	0.08	0.08	0.06	0.05	0.08	0.05	0.12	0.09	0.09	0.05	0.08
Ago	0.14	0.17	0.11	0.11	0.12	0.11	0.17	0.13	0.12	0.17	0.14
Set	0.21	0.15	0.18	0.26	0.21	0.20	0.18	0.26	0.23	0.20	0.22
Oct	0.38	0.36	0.39	0.43	0.40	0.41	0.35	0.35	0.35	0.37	0.36
Nov	0.60	0.53	0.69	0.69	0.54	0.56	0.48	0.55	0.67	0.62	0.69
Dic	2.02	2.04	2.12	2.15	1.97	1.81	2.11	1.97	1.90	2.17	1.95
Sum	17.46	18.74	19.25	17.93	16.55	16.19	17.12	15.99	17.05	17.62	18.14
Prom	1.45	1.56	1.60	1.49	1.38	1.35	1.43	1.33	1.42	1.47	1.51
Máx	4.85	5.23	5.89	4.94	4.49	4.75	4.53	4.04	4.60	4.97	5.04
Mín	0.08	0.08	0.06	0.05	0.08	0.05	0.06	0.09	0.05	0.05	0.08

- Precipitación estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Saisa de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	2.09	2.79	2.29	2.25	1.78	1.61	1.84	1.71	2.21	2.15	2.31
Feb	2.72	2.93	3.64	2.82	2.50	2.62	2.46	2.11	2.54	2.83	2.79
Mar	1.89	1.86	2.14	1.95	1.85	1.69	2.01	1.78	1.71	1.87	2.01
Abr	0.35	0.38	0.41	0.31	0.31	0.27	0.39	0.27	0.36	0.37	0.39
May	0.04	0.04	0.06	0.04	0.02	0.05	0.03	0.07	0.03	0.04	0.05
Jun	0.04	0.03	0.07	0.02	0.03	0.01	0.03	0.16	0.03	0.02	0.04
Jul	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.06	0.01	0.02
Ago	0.03	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02	0.05	0.05	0.03	0.04	0.04
Set	0.06	0.02	0.05	0.13	0.06	0.05	0.03	0.13	0.06	0.05	0.05
Oct	0.11	0.11	0.11	0.20	0.09	0.10	0.09	0.11	0.06	0.14	0.10
Nov	0.17	0.14	0.25	0.27	0.12	0.10	0.10	0.14	0.19	0.18	0.25
Dic	0.72	0.80	0.79	0.81	0.69	0.59	0.68	0.64	0.66	0.81	0.72
Sum	8.26	9.16	9.83	8.82	7.48	7.14	7.76	7.21	7.94	8.52	8.78
Prom	0.69	0.76	0.82	0.73	0.62	0.60	0.65	0.60	0.66	0.71	0.73
Máx	2.72	2.93	3.64	2.82	2.50	2.62	2.46	2.11	2.54	2.83	2.79
Mín	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.01	0.02

Temperatura máxima

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Acari de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM-CM6-1	CNRM-ESM2-1	CanESM5	EC-Earth3	GFDL-ESM4	IPSL-CM6A-LR	MIROC6	MPI-ESM1-2-HR	MRI-ESM2-0	UKESM1-0-LL
Ene	29.27	29.31	29.52	29.09	29.38	29.19	29.33	29.09	28.81	29.09	29.88
Feb	30.48	30.62	30.25	30.20	30.42	30.31	30.48	30.64	30.17	30.42	31.28
Mar	30.90	31.06	30.86	30.68	30.68	30.82	30.85	30.78	30.61	30.93	31.70
Abr	29.65	29.87	29.69	29.81	29.38	29.39	29.60	29.62	29.04	29.63	30.49
May	27.88	28.06	27.70	28.13	27.76	27.57	27.77	27.75	27.41	27.88	28.80
Jun	26.00	26.14	25.88	26.23	25.81	25.83	26.02	25.69	25.60	25.93	26.91
Jul	25.52	25.69	25.59	25.77	25.26	25.20	25.40	25.41	24.91	25.50	26.51
Ago	26.18	26.22	26.28	26.53	25.73	25.97	26.34	25.85	25.66	26.09	27.19
Set	27.12	27.28	27.35	27.03	27.01	26.96	27.46	26.35	26.58	27.09	28.10
Oct	27.83	28.06	27.83	27.36	27.65	27.81	28.01	27.60	27.43	27.75	28.77
Nov	28.10	28.42	28.18	27.71	28.02	28.00	28.40	27.84	27.70	28.07	28.66
Dic	28.41	28.79	28.53	28.11	28.31	28.25	28.55	28.20	27.95	28.45	28.98
Sum	337.35	339.52	337.65	336.65	335.41	335.29	338.20	334.80	331.86	336.82	347.27
Prom	28.11	28.29	28.14	28.05	27.95	27.94	28.18	27.90	27.66	28.07	28.94
Máx	30.90	31.06	30.86	30.68	30.68	30.82	30.85	30.78	30.61	30.93	31.70
Mín	25.52	25.69	25.59	25.77	25.26	25.20	25.40	25.41	24.91	25.50	26.51

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Cceccaña de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM-CM6-1	CNRM-ESM2-1	CanESM5	EC-Earth3	GFDL-ESM4	IPSL-CM6A-LR	MIROC6	MPI-ESM1-2-HR	MRI-ESM2-0	UKESM1-0-LL
Ene	15.79	15.99	15.79	15.34	15.97	15.88	16.14	15.53	15.18	15.81	16.29
Feb	16.12	16.15	15.83	15.66	16.14	15.93	16.45	16.45	15.76	16.03	16.78
Mar	16.31	16.32	16.18	15.96	16.37	16.15	16.37	16.21	16.02	16.55	16.92
Abr	17.19	17.31	17.14	17.48	17.22	17.18	16.72	17.14	16.62	17.33	17.74
May	18.22	18.29	18.24	18.67	18.16	18.31	17.76	18.04	17.68	18.16	18.93
Jun	18.27	18.41	18.31	18.63	18.19	18.14	18.06	17.83	17.80	18.32	18.98
Jul	18.29	18.53	18.47	18.62	18.07	18.06	18.02	18.04	17.68	18.32	19.09
Ago	18.80	18.91	18.92	19.02	18.80	18.64	18.62	18.16	18.06	18.85	20.05
Set	18.95	19.20	19.30	18.45	18.94	18.71	19.17	17.76	18.66	19.19	20.13
Oct	19.23	19.69	19.37	17.89	19.24	19.08	19.47	18.90	19.01	19.28	20.41
Nov	18.46	18.90	18.44	17.11	18.66	18.40	18.83	18.40	18.06	18.63	19.14
Dic	17.04	17.49	17.04	16.25	17.06	17.43	17.37	16.78	16.30	17.06	17.64
Sum	212.67	215.19	213.04	209.08	212.83	211.93	212.96	209.23	206.84	213.53	222.09
Prom	17.72	17.93	17.75	17.42	17.74	17.66	17.75	17.44	17.24	17.79	18.51
Máx	19.23	19.69	19.37	19.02	19.24	19.08	19.47	18.90	19.01	19.28	20.41
Mín	15.79	15.99	15.79	15.34	15.97	15.88	16.14	15.53	15.18	15.81	16.29

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación CerroCondorillo de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2-1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2-0	UKESM1- 0-LL
Ene	18.14	18.22	18.28	17.84	18.34	18.17	18.17	17.99	17.62	18.05	18.70
Feb	18.13	18.28	17.90	17.72	18.22	17.85	18.08	18.48	17.82	18.05	18.86
Mar	18.41	18.58	18.40	18.07	18.55	18.03	18.25	18.33	18.22	18.58	19.11
Abr	19.09	19.28	19.00	19.21	19.13	19.03	18.82	19.06	18.43	19.16	19.75
May	19.80	19.86	19.47	19.91	19.78	20.28	19.56	19.67	19.24	19.74	20.47
Jun	19.70	19.76	19.50	19.75	19.76	19.94	19.55	19.41	19.26	19.67	20.37
Jul	19.78	19.99	19.81	19.79	19.73	19.63	19.51	19.73	19.18	19.83	20.60
Ago	20.12	20.19	20.24	20.16	20.24	19.94	20.02	19.78	19.54	20.11	20.95
Set	20.49	20.78	20.71	20.17	20.64	20.36	20.70	19.55	20.05	20.64	21.34
Oct	20.40	20.69	20.39	19.81	20.53	20.33	20.52	20.13	20.09	20.26	21.29
Nov	19.82	20.22	19.75	19.29	20.06	19.75	20.08	19.61	19.36	19.83	20.27
Dic	18.93	19.40	18.90	18.49	19.04	19.10	18.99	18.77	18.28	18.89	19.44
Sum	232.81	235.25	232.34	230.20	234.03	232.41	232.26	230.51	227.09	232.82	241.14
Prom	19.40	19.60	19.36	19.18	19.50	19.37	19.36	19.21	18.92	19.40	20.10
Máx	20.49	20.78	20.71	20.17	20.64	20.36	20.70	20.13	20.09	20.64	21.34
Mín	18.13	18.22	17.90	17.72	18.22	17.85	18.08	17.99	17.62	18.05	18.70

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Lucanas de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	18.14	18.22	18.28	17.84	18.34	18.17	18.17	17.99	17.62	18.05	18.70
Feb	18.13	18.28	17.90	17.72	18.22	17.85	18.08	18.48	17.82	18.05	18.86
Mar	18.41	18.58	18.40	18.07	18.55	18.03	18.25	18.33	18.22	18.58	19.11
Abr	19.09	19.28	19.00	19.21	19.13	19.03	18.82	19.06	18.43	19.16	19.75
May	19.80	19.86	19.47	19.91	19.78	20.28	19.56	19.67	19.24	19.74	20.47
Jun	19.70	19.76	19.50	19.75	19.76	19.94	19.55	19.41	19.26	19.67	20.37
Jul	19.78	19.99	19.81	19.79	19.73	19.63	19.51	19.73	19.18	19.83	20.60
Ago	20.12	20.19	20.24	20.16	20.24	19.94	20.02	19.78	19.54	20.11	20.95
Set	20.49	20.78	20.71	20.17	20.64	20.36	20.70	19.55	20.05	20.64	21.34
Oct	20.40	20.69	20.39	19.81	20.53	20.33	20.52	20.13	20.09	20.26	21.29
Nov	19.82	20.22	19.75	19.29	20.06	19.75	20.08	19.61	19.36	19.83	20.27
Dic	18.93	19.40	18.90	18.49	19.04	19.10	18.99	18.77	18.28	18.89	19.44
Sum	232.81	235.25	232.34	230.20	234.03	232.41	232.26	230.51	227.09	232.82	241.14
Prom	19.40	19.60	19.36	19.18	19.50	19.37	19.36	19.21	18.92	19.40	20.10
Máx	20.49	20.78	20.71	20.17	20.64	20.36	20.70	20.13	20.09	20.64	21.34
Mín	18.13	18.22	17.90	17.72	18.22	17.85	18.08	17.99	17.62	18.05	18.70

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Palcachacra de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	17.71	17.79	17.84	17.41	17.93	17.73	17.73	17.57	17.17	17.62	18.28
Feb	17.70	17.86	17.48	17.30	17.79	17.42	17.65	18.06	17.39	17.63	18.44
Mar	17.99	18.16	17.99	17.66	18.12	17.61	17.83	17.92	17.79	18.16	18.70
Abr	18.61	18.79	18.53	18.74	18.67	18.55	18.33	18.59	17.95	18.68	19.27
May	19.35	19.40	19.03	19.47	19.34	19.84	19.12	19.23	18.79	19.28	20.02
Jun	19.23	19.28	19.03	19.28	19.28	19.47	19.11	18.95	18.79	19.19	19.91
Jul	19.30	19.50	19.33	19.30	19.25	19.15	19.04	19.26	18.71	19.34	20.12
Ago	19.68	19.75	19.81	19.71	19.82	19.50	19.59	19.35	19.11	19.68	20.52
Set	20.19	20.47	20.40	19.85	20.32	20.06	20.40	19.27	19.76	20.34	21.03
Oct	20.23	20.50	20.23	19.64	20.34	20.15	20.35	19.97	19.90	20.07	21.12
Nov	19.65	20.06	19.59	19.12	19.87	19.59	19.92	19.44	19.19	19.66	20.10
Dic	18.63	19.11	18.59	18.19	18.75	18.81	18.68	18.46	17.98	18.58	19.15
Sum	228.28	230.66	227.85	225.68	229.49	227.88	227.74	226.05	222.53	228.23	236.65
Prom	19.02	19.22	18.99	18.81	19.12	18.99	18.98	18.84	18.54	19.02	19.72
Máx	20.23	20.50	20.40	19.85	20.34	20.15	20.40	19.97	19.90	20.34	21.12
Mín	17.70	17.79	17.48	17.30	17.79	17.42	17.65	17.57	17.17	17.62	18.28

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Paucacorral de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	17.71	17.79	17.84	17.41	17.93	17.73	17.73	17.57	17.17	17.62	18.28
Feb	17.70	17.86	17.48	17.30	17.79	17.42	17.65	18.06	17.39	17.63	18.44
Mar	17.99	18.16	17.99	17.66	18.12	17.61	17.83	17.92	17.79	18.16	18.70
Abr	18.61	18.79	18.53	18.74	18.67	18.55	18.33	18.59	17.95	18.68	19.27
May	19.35	19.40	19.03	19.47	19.34	19.84	19.12	19.23	18.79	19.28	20.02
Jun	19.23	19.28	19.03	19.28	19.28	19.47	19.11	18.95	18.79	19.19	19.91
Jul	19.30	19.50	19.33	19.30	19.25	19.15	19.04	19.26	18.71	19.34	20.12
Ago	19.68	19.75	19.81	19.71	19.82	19.50	19.59	19.35	19.11	19.68	20.52
Set	20.19	20.47	20.40	19.85	20.32	20.06	20.40	19.27	19.76	20.34	21.03
Oct	20.23	20.50	20.23	19.64	20.34	20.15	20.35	19.97	19.90	20.07	21.12
Nov	19.65	20.06	19.59	19.12	19.87	19.59	19.92	19.44	19.19	19.66	20.10
Dic	18.63	19.11	18.59	18.19	18.75	18.81	18.68	18.46	17.98	18.58	19.15
Sum	228.28	230.66	227.85	225.68	229.49	227.88	227.74	226.05	222.53	228.23	236.65
Prom	19.02	19.22	18.99	18.81	19.12	18.99	18.98	18.84	18.54	19.02	19.72
Máx	20.23	20.50	20.40	19.85	20.34	20.15	20.40	19.97	19.90	20.34	21.12
Mín	17.70	17.79	17.48	17.30	17.79	17.42	17.65	17.57	17.17	17.62	18.28

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Puquio de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	18.06	18.14	18.20	17.75	18.27	18.08	18.10	17.92	17.53	17.98	18.62
Feb	18.03	18.18	17.81	17.61	18.13	17.76	17.99	18.38	17.73	17.96	18.76
Mar	18.31	18.47	18.30	17.97	18.44	17.93	18.14	18.23	18.12	18.48	19.01
Abr	19.05	19.24	18.97	19.18	19.10	19.00	18.78	19.03	18.41	19.13	19.71
May	19.73	19.78	19.40	19.84	19.71	20.20	19.50	19.59	19.17	19.67	20.40
Jun	19.53	19.60	19.33	19.59	19.60	19.77	19.40	19.26	19.10	19.51	20.20
Jul	19.65	19.86	19.68	19.66	19.59	19.50	19.37	19.60	19.05	19.70	20.45
Ago	19.98	20.05	20.10	20.02	20.11	19.80	19.88	19.65	19.41	19.99	20.81
Set	20.26	20.54	20.48	19.93	20.39	20.12	20.46	19.33	19.83	20.42	21.09
Oct	20.11	20.41	20.10	19.52	20.23	20.03	20.23	19.86	19.80	19.98	20.99
Nov	19.62	20.03	19.56	19.09	19.85	19.54	19.88	19.43	19.16	19.64	20.07
Dic	18.61	19.07	18.58	18.16	18.71	18.78	18.67	18.45	17.96	18.57	19.11
Sum	230.95	233.37	230.49	228.33	232.13	230.51	230.37	228.72	225.27	231.03	239.23
Prom	19.25	19.45	19.21	19.03	19.34	19.21	19.20	19.06	18.77	19.25	19.94
Máx	20.26	20.54	20.48	20.02	20.39	20.20	20.46	19.86	19.83	20.42	21.09
Mín	18.03	18.14	17.81	17.61	18.13	17.76	17.99	17.92	17.53	17.96	18.62

- Temperatura máxima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Saisa de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	22.73	22.81	22.87	22.42	22.93	22.78	22.75	22.55	22.25	22.63	23.26
Feb	22.16	22.32	21.96	21.76	22.26	21.90	22.13	22.46	21.87	22.07	22.90
Mar	22.23	22.39	22.20	21.89	22.37	21.86	22.08	22.13	22.04	22.39	22.94
Abr	23.66	23.87	23.59	23.76	23.71	23.62	23.40	23.60	23.01	23.74	24.33
May	23.35	23.44	23.03	23.46	23.35	23.82	23.09	23.19	22.80	23.30	24.05
Jun	22.27	22.38	22.07	22.31	22.33	22.51	22.12	21.98	21.82	22.26	22.95
Jul	22.15	22.39	22.20	22.17	22.10	21.99	21.88	22.08	21.54	22.19	22.97
Ago	22.74	22.83	22.85	22.80	22.86	22.58	22.66	22.38	22.16	22.74	23.56
Set	23.34	23.63	23.55	23.03	23.51	23.23	23.54	22.35	22.88	23.48	24.18
Oct	23.31	23.60	23.28	22.71	23.43	23.27	23.44	23.01	23.00	23.18	24.18
Nov	22.98	23.37	22.91	22.46	23.22	22.92	23.23	22.75	22.52	22.98	23.43
Dic	22.95	23.43	22.93	22.53	23.05	23.11	22.99	22.77	22.31	22.91	23.43
Sum	273.87	276.45	273.44	271.31	275.12	273.59	273.31	271.25	268.20	273.88	282.17
Prom	22.82	23.04	22.79	22.61	22.93	22.80	22.78	22.60	22.35	22.82	23.51
Máx	23.66	23.87	23.59	23.76	23.71	23.82	23.54	23.60	23.01	23.74	24.33
Mín	22.15	22.32	21.96	21.76	22.10	21.86	21.88	21.98	21.54	22.07	22.90

Temperatura mínima

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Acari de la cuenca del río Acari bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	17.71	18.06	17.77	17.96	17.77	17.26	17.52	17.24	17.62	17.64	18.24
Feb	18.38	18.57	18.77	18.42	18.49	18.17	18.26	17.80	18.04	18.39	18.90
Mar	17.94	18.11	18.33	18.13	18.17	17.41	17.85	17.46	17.61	17.93	18.39
Abr	16.06	16.35	16.48	15.99	16.10	15.60	16.13	15.60	15.70	16.08	16.56
May	13.36	13.58	13.85	13.57	13.45	12.72	13.18	13.05	12.91	13.28	14.05
Jun	11.37	11.35	11.84	11.85	11.65	10.82	11.08	10.96	11.08	11.15	11.89
Jul	10.73	10.71	10.88	11.32	11.03	10.23	10.23	10.39	10.33	10.58	11.62
Ago	10.89	10.78	11.01	11.49	11.11	10.65	10.55	10.41	10.51	10.76	11.61
Set	11.82	11.46	11.93	13.02	12.01	11.65	11.38	11.52	11.28	11.50	12.49
Oct	12.85	12.82	12.78	14.23	12.94	12.69	12.44	12.39	12.39	12.57	13.23
Nov	14.05	13.82	14.13	15.11	13.99	13.86	13.80	13.46	13.81	13.84	14.70
Dic	15.96	16.04	16.03	16.86	16.03	15.27	15.63	15.53	15.82	15.93	16.51
Sum	171.13	171.65	173.81	177.94	172.74	166.34	168.04	165.82	167.11	169.65	178.18
Prom	14.26	14.30	14.48	14.83	14.40	13.86	14.00	13.82	13.93	14.14	14.85
Máx	18.38	18.57	18.77	18.42	18.49	18.17	18.26	17.80	18.04	18.39	18.90
Mín	10.73	10.71	10.88	11.32	11.03	10.23	10.23	10.39	10.33	10.58	11.61

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Ccecaña de la cuenca del río Acari bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	5.63	5.84	5.79	5.83	5.37	5.52	6.16	4.92	5.39	5.27	6.23
Feb	5.87	6.05	6.22	5.65	5.63	5.75	6.67	5.23	5.27	5.65	6.51
Mar	5.28	5.55	5.63	5.42	4.99	4.90	6.37	4.71	4.68	4.80	5.74
Abr	4.31	4.54	4.52	4.19	3.88	4.11	5.36	3.70	3.88	4.12	4.78
May	2.98	2.83	2.89	3.31	2.74	3.29	3.74	2.67	2.45	2.50	3.38
Jun	3.45	3.33	3.40	4.35	3.24	3.63	3.86	3.19	3.12	2.84	3.49
Jul	2.86	2.59	2.49	3.84	2.86	3.01	2.82	2.71	2.74	2.30	3.29
Ago	3.76	3.49	3.71	4.68	3.80	3.94	3.90	3.31	3.46	3.30	4.04
Set	3.89	3.41	3.58	5.58	3.70	4.31	3.82	3.60	3.33	3.34	4.25
Oct	4.44	4.34	4.09	6.24	4.04	4.72	4.84	3.86	3.91	3.93	4.48
Nov	4.01	3.90	3.93	5.22	3.66	3.98	4.51	3.24	3.53	3.67	4.42
Dic	4.97	5.08	5.01	5.83	4.77	4.57	5.24	4.31	4.68	4.74	5.43
Sum	51.44	50.93	51.26	60.14	48.68	51.73	57.30	45.46	46.44	46.47	56.03
Prom	4.29	4.24	4.27	5.01	4.06	4.31	4.77	3.79	3.87	3.87	4.67
Máx	5.87	6.05	6.22	6.24	5.63	5.75	6.67	5.23	5.39	5.65	6.51
Mín	2.86	2.59	2.49	3.31	2.74	3.01	2.82	2.67	2.45	2.30	3.29

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación CerroCondorillo de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	7.34	7.83	7.46	7.47	7.10	7.57	7.04	6.83	7.20	7.12	7.81
Feb	7.49	7.73	7.95	7.38	7.35	7.72	7.35	7.07	6.99	7.43	7.96
Mar	6.81	7.17	7.32	6.88	6.71	6.74	6.66	6.45	6.38	6.63	7.18
Abr	5.82	6.23	6.39	5.67	5.29	6.18	5.78	5.31	5.45	5.71	6.18
May	4.09	4.24	4.73	4.05	3.76	5.10	3.69	3.73	3.47	3.68	4.42
Jun	4.03	3.86	4.51	4.37	4.00	4.90	3.63	3.59	3.61	3.47	4.33
Jul	3.84	3.76	3.82	4.18	3.84	4.56	3.19	3.59	3.56	3.44	4.51
Ago	4.70	4.51	4.79	5.04	4.83	5.54	4.22	4.19	4.33	4.41	5.17
Set	5.29	4.91	5.45	6.13	5.32	6.32	4.62	4.93	4.68	4.84	5.72
Oct	5.90	5.91	5.84	7.03	5.67	7.00	5.30	5.32	5.38	5.44	6.06
Nov	5.73	5.52	5.89	6.55	5.47	6.60	5.32	5.03	5.39	5.39	6.13
Dic	6.64	6.77	6.70	7.32	6.52	6.98	6.13	6.12	6.40	6.47	7.00
Sum	67.68	68.44	70.84	72.07	65.84	75.22	62.93	62.14	62.84	64.02	72.47
Prom	5.64	5.70	5.90	6.01	5.49	6.27	5.24	5.18	5.24	5.33	6.04
Máx	7.49	7.83	7.95	7.47	7.35	7.72	7.35	7.07	7.20	7.43	7.96
Mín	3.84	3.76	3.82	4.05	3.76	4.56	3.19	3.59	3.47	3.44	4.33

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Lucanas de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	7.95	8.43	8.06	8.07	7.71	8.17	7.65	7.43	7.82	7.72	8.40
Feb	8.01	8.25	8.46	7.89	7.87	8.24	7.86	7.57	7.51	7.94	8.46
Mar	7.26	7.62	7.77	7.33	7.16	7.19	7.11	6.89	6.83	7.08	7.63
Abr	6.37	6.79	6.93	6.22	5.83	6.73	6.35	5.86	6.00	6.26	6.75
May	4.62	4.77	5.26	4.58	4.28	5.62	4.23	4.25	4.00	4.23	4.97
Jun	4.50	4.34	4.98	4.83	4.49	5.37	4.10	4.05	4.08	3.95	4.80
Jul	4.17	4.08	4.13	4.52	4.20	4.88	3.50	3.90	3.88	3.75	4.83
Ago	5.03	4.84	5.10	5.37	5.20	5.86	4.54	4.50	4.65	4.73	5.51
Set	5.72	5.35	5.86	6.57	5.78	6.74	5.04	5.34	5.10	5.27	6.15
Oct	6.39	6.42	6.33	7.53	6.16	7.50	5.79	5.80	5.88	5.93	6.55
Nov	6.29	6.09	6.46	7.12	6.03	7.17	5.87	5.59	5.96	5.96	6.70
Dic	7.23	7.35	7.29	7.91	7.09	7.57	6.73	6.70	6.99	7.06	7.59
Sum	73.53	74.33	76.65	77.94	71.80	81.03	68.76	67.88	68.71	69.87	78.34
Prom	6.13	6.19	6.39	6.49	5.98	6.75	5.73	5.66	5.73	5.82	6.53
Máx	8.01	8.43	8.46	8.07	7.87	8.24	7.86	7.57	7.82	7.94	8.46
Mín	4.17	4.08	4.13	4.52	4.20	4.88	3.50	3.90	3.88	3.75	4.80

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Palcachacra de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	7.34	7.83	7.46	7.47	7.10	7.57	7.04	6.83	7.20	7.12	7.81
Feb	7.49	7.73	7.95	7.38	7.35	7.72	7.35	7.07	6.99	7.43	7.96
Mar	6.81	7.17	7.32	6.88	6.71	6.74	6.66	6.45	6.38	6.63	7.18
Abr	5.82	6.23	6.39	5.67	5.29	6.18	5.78	5.31	5.45	5.71	6.18
May	4.09	4.24	4.73	4.05	3.76	5.10	3.69	3.73	3.47	3.68	4.42
Jun	4.03	3.86	4.51	4.37	4.00	4.90	3.63	3.59	3.61	3.47	4.33
Jul	3.84	3.76	3.82	4.18	3.84	4.56	3.19	3.59	3.56	3.44	4.51
Ago	4.70	4.51	4.79	5.04	4.83	5.54	4.22	4.19	4.33	4.41	5.17
Set	5.29	4.91	5.45	6.13	5.32	6.32	4.62	4.93	4.68	4.84	5.72
Oct	5.90	5.91	5.84	7.03	5.67	7.00	5.30	5.32	5.38	5.44	6.06
Nov	5.73	5.52	5.89	6.55	5.47	6.60	5.32	5.03	5.39	5.39	6.13
Dic	6.64	6.77	6.70	7.32	6.52	6.98	6.13	6.12	6.40	6.47	7.00
Sum	67.68	68.44	70.84	72.07	65.84	75.22	62.93	62.14	62.84	64.02	72.47
Prom	5.64	5.70	5.90	6.01	5.49	6.27	5.24	5.18	5.24	5.33	6.04
Máx	7.49	7.83	7.95	7.47	7.35	7.72	7.35	7.07	7.20	7.43	7.96
Mín	3.84	3.76	3.82	4.05	3.76	4.56	3.19	3.59	3.47	3.44	4.33

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Paucacorral de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	7.38	7.86	7.49	7.50	7.15	7.60	7.09	6.85	7.23	7.15	7.84
Feb	7.33	7.57	7.79	7.22	7.20	7.57	7.20	6.91	6.83	7.26	7.80
Mar	6.54	6.91	7.05	6.62	6.44	6.48	6.40	6.17	6.11	6.35	6.92
Abr	5.73	6.14	6.28	5.58	5.19	6.08	5.70	5.21	5.36	5.61	6.10
May	4.31	4.45	4.94	4.27	3.98	5.30	3.93	3.94	3.69	3.91	4.66
Jun	4.47	4.31	4.95	4.81	4.45	5.33	4.08	4.02	4.05	3.92	4.77
Jul	4.00	3.90	3.96	4.35	4.03	4.72	3.33	3.73	3.72	3.59	4.66
Ago	4.92	4.72	5.00	5.25	5.09	5.75	4.43	4.39	4.55	4.61	5.40
Set	5.34	4.96	5.48	6.17	5.38	6.35	4.66	4.96	4.72	4.88	5.77
Oct	6.05	6.07	6.00	7.18	5.82	7.14	5.45	5.47	5.54	5.60	6.20
Nov	5.84	5.64	6.01	6.66	5.58	6.71	5.43	5.13	5.49	5.51	6.24
Dic	6.75	6.88	6.82	7.44	6.62	7.08	6.26	6.20	6.51	6.59	7.11
Sum	68.65	69.41	71.78	73.05	66.94	76.10	63.95	62.99	63.80	64.96	73.48
Prom	5.72	5.78	5.98	6.09	5.58	6.34	5.33	5.25	5.32	5.41	6.12
Máx	7.38	7.86	7.79	7.50	7.20	7.60	7.20	6.91	7.23	7.26	7.84
Mín	4.00	3.90	3.96	4.27	3.98	4.72	3.33	3.73	3.69	3.59	4.66

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Puquio de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	8.10	8.58	8.22	8.23	7.87	8.33	7.81	7.58	7.98	7.88	8.56
Feb	8.08	8.32	8.53	7.96	7.95	8.31	7.93	7.64	7.58	8.01	8.53
Mar	7.24	7.60	7.75	7.31	7.15	7.18	7.09	6.87	6.82	7.06	7.61
Abr	6.42	6.83	6.98	6.27	5.88	6.78	6.39	5.91	6.05	6.31	6.79
May	4.84	4.99	5.48	4.80	4.52	5.83	4.46	4.48	4.23	4.45	5.19
Jun	4.76	4.60	5.24	5.10	4.76	5.62	4.37	4.32	4.34	4.21	5.06
Jul	4.33	4.24	4.29	4.68	4.37	5.05	3.66	4.07	4.04	3.91	4.99
Ago	5.22	5.03	5.30	5.56	5.40	6.06	4.73	4.69	4.85	4.91	5.70
Set	5.88	5.51	6.03	6.73	5.94	6.90	5.21	5.50	5.27	5.43	6.31
Oct	6.60	6.64	6.55	7.74	6.38	7.71	6.00	6.02	6.10	6.15	6.76
Nov	6.55	6.35	6.72	7.38	6.30	7.42	6.13	5.85	6.22	6.22	6.95
Dic	7.48	7.60	7.54	8.17	7.34	7.81	6.98	6.94	7.25	7.31	7.84
Sum	75.52	76.29	78.64	79.93	73.85	82.99	70.77	69.88	70.72	71.86	80.29
Prom	6.29	6.36	6.55	6.66	6.15	6.92	5.90	5.82	5.89	5.99	6.69
Máx	8.10	8.58	8.53	8.23	7.95	8.33	7.93	7.64	7.98	8.01	8.56
Mín	4.33	4.24	4.29	4.68	4.37	5.05	3.66	4.07	4.04	3.91	4.99

- Temperatura mínima estacional proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación Saisa de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

Fecha	PROM	CNRM- CM6-1	CNRM- ESM2- 1	CanESM5	EC- Earth3	GFDL- ESM4	IPSL- CM6A- LR	MIROC6	MPI- ESM1- 2-HR	MRI- ESM2- 0	UKESM1- 0-LL
Ene	11.17	11.64	11.30	11.27	10.94	11.38	10.87	10.64	11.07	10.95	11.61
Feb	11.06	11.33	11.55	10.95	10.95	11.30	10.88	10.60	10.60	10.99	11.49
Mar	10.66	11.02	11.20	10.74	10.57	10.57	10.52	10.26	10.24	10.46	11.04
Abr	10.03	10.47	10.61	9.88	9.47	10.39	9.99	9.52	9.68	9.91	10.41
May	8.15	8.30	8.79	8.11	7.82	9.11	7.73	7.74	7.54	7.78	8.53
Jun	6.70	6.56	7.18	7.01	6.72	7.54	6.28	6.24	6.28	6.16	7.01
Jul	6.21	6.14	6.19	6.58	6.27	6.91	5.52	5.93	5.91	5.79	6.88
Ago	6.75	6.56	6.83	7.09	6.96	7.57	6.24	6.21	6.36	6.44	7.25
Set	8.04	7.69	8.18	8.91	8.13	9.04	7.37	7.64	7.43	7.59	8.47
Oct	8.93	8.98	8.87	10.08	8.71	10.02	8.31	8.32	8.42	8.48	9.07
Nov	9.18	8.97	9.33	10.01	8.91	10.05	8.73	8.47	8.86	8.85	9.59
Dic	10.37	10.49	10.43	11.06	10.21	10.71	9.86	9.84	10.15	10.21	10.73
Sum	107.25	108.14	110.45	111.69	105.65	114.59	102.31	101.43	102.52	103.62	112.07
Prom	8.94	9.01	9.20	9.31	8.80	9.55	8.53	8.45	8.54	8.64	9.34
Máx	11.17	11.64	11.55	11.27	10.95	11.38	10.88	10.64	11.07	10.99	11.61
Mín	6.21	6.14	6.19	6.58	6.27	6.91	5.52	5.93	5.91	5.79	6.88



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. ABEL FLUMENCIO JAYO ANCCO

R.D. N° 277-2024-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los catorce días del mes de octubre del año dos mil veinticuatro, 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 Ing. Efraín Chuchón Prado, M.Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán como asesor y el M.Sc. Eleazar Chuchón Angulo; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Evaluación del comportamiento de la disponibilidad hídrica futura, bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Acari - 2023**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola presentado por el Bachiller **ABEL FLUMENCIO JAYO ANCCO**.

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. Efraín Chuchón Prado	14	15	15	15
M.Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán	18	17	17	17
M.Sc. Eleazar Chuchón Angulo	18	18	18	18
PROMEDIO GENERAL				17

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

.....
Ing. Efraín Chuchón Prado
Presidente

.....
M.Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán
Asesor

.....
M.Sc. Eleazar Chuchón Angulo
Jurado

.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario/Docente



CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

Evaluación del comportamiento de la disponibilidad hídrica futura, bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Acarí - 2023

Autor : Abel Flumencio Jayo Ancco
Asesor : César Vidal Gutiérrez Ninahuamán

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **quince (15 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

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

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2495991358

Ayacucho, 24 de octubre de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias
Dr. Yuri Gálvez Gastelu
Coordinador de Control de originalidad de
trabajo de tesis

Evaluación del comportamiento de la disponibilidad hídrica futura, bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Acarí - 2023

por Abel Flumencio Jayo Ancco

Fecha de entrega: 24-oct-2024 11:32a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2495991358

Nombre del archivo: TESIS_JAYO_ANCCO_ABEL.docx (4.31M)

Total de palabras: 44741

Total de caracteres: 238543

Evaluación del comportamiento de la disponibilidad hídrica futura, bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Acarí - 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unap.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.ana.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	agua.org.mx Fuente de Internet	<1%

9	www.pik-potsdam.de Fuente de Internet	<1 %
10	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
15	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Organismo de Evaluación y Fiscalización Trabajo del estudiante	<1 %
17	riunet.upv.es Fuente de Internet	<1 %
18	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
19	www.andi.com.co Fuente de Internet	<1 %
20	www.bivica.org Fuente de Internet	<1 %

<1 %

21

IVAN RIOS GARCIA. "Incorporación de los efectos de erupciones volcánicas en modelos estocásticos de precipitación en cuencas hidrográficas. Caso del volcán Tungurahua en la microcuenca del río Ambato", Universitat Politecnica de Valencia, 2016

Publicación

<1 %

22

Brenda Cruz-Arévalo, Francisco Gavi-Reyes, Mario Martínez-Menez, Juan Juárez-Méndez. "Uso de suelo y su efecto en el escurrimiento modelado con SWAT", Tecnología y ciencias del agua, 2021

Publicación

<1 %

23

cybertesis.uni.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

24

www.nature.com

Fuente de Internet

<1 %

25

ijettjournal.org

Fuente de Internet

<1 %

26

Acuña, Julia, Sánchez Bernando, Tannia. "Caracterización hidrológica de los distritos de Pampas y Santiago de Tucuma", Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2016

Fuente de Internet

<1 %

27	www.ana.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
28	refubium.fu-berlin.de Fuente de Internet	<1 %
29	revistas.ucm.es Fuente de Internet	<1 %
30	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
31	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
32	agrocienza-colpos.mx Fuente de Internet	<1 %
33	Diana Yaritza Dorado Guerra. "Modelización integrada con aprendizaje automático para evaluar la contaminación por nutrientes en las masas de agua actual y bajo el efecto del cambio climático. Aplicación a la Demarcación Hidrográfica del Júcar", Universitat Politecnica de Valencia, 2024 Publicación	<1 %
34	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	addi.ehu.eus Fuente de Internet	<1 %

36 bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet <1 %

37 DIANA ISABEL QUEVEDO TEJADA. "Desarrollo de un modelo conceptual dinámico suelo-vegetación para zonas áridas y semiáridas", Universitat Politecnica de Valencia, 2010
Publicación <1 %

38 Submitted to Facultad de Ingeniería Universidad San Carlos de Guatemala
Trabajo del estudiante <1 %

39 Jonny Fernando Rivadeneira Vera. "Impacto del cambio climático en la seguridad alimentaria de climas tropicales. Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador", Universitat Politecnica de Valencia, 2020
Publicación <1 %

40 unfccc.int Fuente de Internet <1 %

41 core.ac.uk Fuente de Internet <1 %

42 dsn.pe Fuente de Internet <1 %

43 www.epn.edu.ec Fuente de Internet <1 %

dspace.unl.edu.ec

44

Fuente de Internet

<1 %

45

minem.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

46

qdoc.tips

Fuente de Internet

<1 %

47

www.psuve.org.ve

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

**Evaluación del comportamiento de la disponibilidad hídrica futura, bajo
escenarios de cambio climático en la cuenca del río Acarí – 2023**

**Assessment of Future Water Availability Behavior under Climate Change
Scenarios in the Acarí River Basin – 2023**

Abel Flumencio Jayo Ancco¹ abel.jayo.21@unsch.edu.pe
Cesar Vidal Gutierrez Ninahuaman² cesar.gutierrez@unsch.edu.pe
Área de investigación: Hidrología
Línea de investigación: Impacto del cambio climático en la disponibilidad de
recursos hídricos

Abstract- This thesis analyzes future water availability in the Acarí River basin, Peru, using the SWAT hydrological model under the climate scenarios SSP5-8.5 and SSP1-2.6 from BASD-CMIP6-PE. The study focuses on three periods: historical (1985-2015), near future (2035-2065, "2050"), and distant future (2065-2095, "2080"). The hydrological model was calibrated and validated, achieving satisfactory performance. The Nash-Sutcliffe efficiency indices (NSE) were 0.70 (good) and 0.80 (excellent), while the coefficients of determination (R^2) were 0.75 and 0.80, both satisfactory. The PBIAS values were -6.35 (excellent) during calibration and 24.81 (satisfactory) during validation, confirming the model's robustness in simulating hydrological conditions. Under the high emissions scenario SSP5-

8.5, a significant increase in maximum temperature is projected, with an increase of 2.13°C by 2050 and 4.21°C by 2080. The average monthly flow is expected to rise from 4.90 m³/s in the historical period to 5.74 m³/s in 2050 and 6.14 m³/s in 2080, representing increases of 17.91% and 27.66%, respectively. The largest anomalies are recorded during the rainy months of October and January, with increases of 75.50% and 50.77%, respectively. In the SSP1-2.6 scenario, flow increases are more moderate. By 2050, the average monthly flow will increase by 19.99%, reaching 5.61 m³/s, while by 2080, the increase will be 8.72%, resulting in 5.24 m³/s. Additionally, a 22.26% increase in precipitation is projected for 2080 under the SSP5-8.5 scenario. However, evapotranspiration is also expected to rise from 26.83 mm to 31.85 mm, which

could counteract the benefits of increased precipitation. These results highlight the need for adaptation strategies and efficient water resource management to mitigate the effects of climate change in the Acarí River basin. Estos resultados subrayan la necesidad de estrategias de adaptación y medidas efectivas.

Keywords: Water availability, climate change, SSP5-8.5 and SSP1-2.6 climate scenarios, SWAT model, BASD-CMIP6-PE.

Resumen- La presente tesis analiza la disponibilidad hídrica futura en la cuenca del río Acarí, Perú, utilizando el modelo hidrológico SWAT bajo los escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6 del BASD-CMIP6-PE. El estudio se enfoca en tres períodos: histórico (1985-2015), futuro cercano (2035-2065, "2050") y futuro lejano (2065-2095, "2080"). El modelo hidrológico fue calibrado y validado, alcanzando un desempeño satisfactorio. Los índices de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) fueron de 0.70 (bueno) y 0.80 (excelente), mientras que los coeficientes de determinación (R^2) fueron de 0.75 y 0.80, ambos satisfactorios. Los valores de PBIAS

fueron de -6.35 (excelente) en la calibración y de 24.81 (satisfactorio) en la validación, lo que confirma la robustez del modelo para simular las condiciones hidrológicas. Bajo el escenario de altas emisiones SSP5-8.5, se proyecta un aumento significativo en la temperatura máxima, de 2.13°C para 2050 y 4.21°C para 2080. El caudal promedio mensual aumentará de 4,90 m³/s en el período histórico a 5.74 m³/s en 2050 y 6.14 m³/s en 2080, lo que representa un incremento del 17.91% y 27.66%, respectivamente. Las mayores anomalías se registran en los meses lluviosos de octubre y enero, con aumentos del 75,50% y 50,77%, respectivamente. En el escenario SSP1-2.6, los incrementos en el caudal son más moderados. Para 2050, el caudal promedio mensual aumentará un 19.99%, alcanzando 5.61 m³/s, mientras que para 2080 el aumento será del 8.72%, con 5.24 m³/s. Asimismo, se proyecta un aumento del 22.26% en la precipitación para 2080 bajo el escenario SSP5-8.5. Sin embargo, la evapotranspiración también aumentará de 26.83 mm a 31.85 mm, lo que podría contrarrestar los beneficios del incremento de la precipitación. Estos resultados subrayan la necesidad de estrategias de adaptación y manejo

eficiente de los recursos hídricos para mitigar los efectos del cambio climático en la cuenca del río Acarí.

Palabras clave: Disponibilidad hídrica, cambio climático, escenarios climáticos SSP5-8.5 y SSP1-2.6, modelo SWAT, BASD-CMIP6-PE.

I. Introducción

El cambio climático es uno de los desafíos más grandes que enfrenta la humanidad en el siglo XXI, afectando gravemente la disponibilidad y gestión de los recursos hídricos en diversas regiones del mundo. En particular, las cuencas de los Andes peruanos son especialmente vulnerables debido a su alta variabilidad climática y geográfica. El aumento de las temperaturas, los cambios en los patrones de precipitación y la mayor frecuencia de eventos extremos como sequías e inundaciones impactan directamente la disponibilidad de agua en estas cuencas, afectando tanto la agricultura como el abastecimiento de agua y los ecosistemas locales (IPCC, 2021).

La cuenca del río Acarí, ubicada en la vertiente del Pacífico, es una de las muchas cuencas andinas que podría sufrir los efectos adversos del cambio

climático. Esta cuenca ya muestra un régimen hídrico altamente variable, lo que la hace aún más sensible a las alteraciones climáticas proyectadas. Ante esta realidad, evaluar la disponibilidad hídrica futura es fundamental para la toma de decisiones informadas y la implementación de estrategias de adaptación que aseguren la sostenibilidad de los recursos hídricos.

Este estudio emplea el modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para simular la disponibilidad hídrica futura en la cuenca del río Acarí bajo dos escenarios climáticos del BASD-CMIP6-PE: SSP5-8.5 (escenario de altas emisiones) y SSP1-2.6 (escenario de bajas emisiones). Estos escenarios representan trayectorias contrastantes en cuanto al desarrollo socioeconómico y las emisiones de gases de efecto invernadero, proporcionando un marco útil para analizar posibles futuros climáticos. Las proyecciones se basan en los periodos histórico (1985-2015), futuro cercano (2035-2065) y futuro lejano (2065-2095).

El objetivo de este artículo es comparar la disponibilidad hídrica proyectada bajo los dos escenarios climáticos, identificar los impactos más relevantes del cambio

climático en la cuenca, y proponer medidas de adaptación que permitan una gestión más eficiente y sostenible de los recursos hídricos.

I. Importancia del estudio

La importancia de este estudio radica en su aporte a la evaluación de la disponibilidad hídrica futura en la cuenca del río Acarí, Perú, bajo escenarios de cambio climático (SSP1-2.6 y SSP5-8.5). Al emplear el modelo hidrológico SWAT, este trabajo ofrece proyecciones clave para la gestión sostenible del recurso hídrico, fundamental para la agricultura, abastecimiento de agua y preservación de ecosistemas. Los resultados destacan la necesidad de estrategias de adaptación ante los impactos del cambio climático, lo que puede influir en políticas de manejo eficiente del agua en regiones vulnerables.

II. Objetivo de la investigación

El objetivo principal de la investigación es evaluar el comportamiento de la disponibilidad hídrica futura en la cuenca del río Acarí, bajo diferentes escenarios de cambio climático (SSP1-2.6 y SSP5-8.5), utilizando el modelo hidrológico SWAT. Esto con el fin de

analizar los posibles impactos sobre los caudales y la recepción, y proporcionar herramientas que permitan la gestión sostenible de los recursos hídricos en el contexto de la variabilidad climática proyectada para la región.

III. Metodología

1.1 Ubicación

a. Ubicación geográfica

La cuenca del río Acarí se localiza en la vertiente del Pacífico, entre los departamentos de Ayacucho y Arequipa, Perú. Geográficamente, se extiende entre los meridianos 74°17'03" y 74°38'31" de longitud oeste, y los paralelos 14°16'04" y 15°39'35" de latitud sur, con una altitud que varía desde 0 hasta 4,836 metros sobre el nivel del mar. El sistema de coordenadas utilizado es el GCS_WGS_1984 con el datum WGS 1984. En las imágenes se puede observar la ubicación precisa de la cuenca.

b. Ubicación política

La cuenca del río Acarí abarca áreas de los departamentos de Ayacucho y Arequipa, distribuidas en varias provincias y distritos, siendo las principales Lucanas en Ayacucho y Caravelí en Arequipa. El área total de la cuenca es de aproximadamente 3.736 km² y cubre una población de 28.979

habitantes, según los datos más recientes. Esta distribución geopolítica es fundamental para la gestión de los recursos hídricos en la región. Se muestra el mapa político del área de estudio en la Figura 1.



Fig.1. Mapa de ubicación política

c. Ubicación administrativa

La cuenca del río Acarí forma parte de la vertiente del Pacífico, dentro de la jurisdicción de la Autoridad Administrativa del Agua II-Chaparra-Chincha, con la Administración Local de Aguas Chaparra Acarí supervisando el manejo de los recursos hídricos. Esta cuenca pertenece a la Unidad Hidrográfica Acarí, lo que determina su importancia en la planificación hídrica regional. Se muestra en la figura 2 el mapa de la ubicación administrativa.



Fig.2. Mapa de ubicación administrativa

1.2 Datos utilizados

Para la modelación hidrológica y la simulación de escenarios futuros, se recopilieron datos de diferentes fuentes:

- a. **Datos topográficos:** Se utilizó un Modelo Digital de Elevación (MDE) con una resolución espacial de 30 m, obtenido del satélite ALOS PALSAR. Este MDE fue crucial para delimitar la cuenca y definir su red de drenaje. El satélite emplea un radar de apertura sintética en banda L, lo que permite generar modelos precisos en zonas con alta variabilidad topográfica.
- b. **Datos climáticos históricos:** Los datos climáticos consisten en la precipitación diaria y temperatura (máxima y mínima), provenientes de dos fuentes principales:
 - El conjunto de datos PISCO del SENAMHI, con una

resolución espacial de 0.1°, que cubre el período de 1981 a 2015. Este conjunto de datos proporciona una alta resolución para modelar las condiciones climáticas en áreas de topografía compleja.

- El producto RAIN4PE, un conjunto de datos satelital grillado que integra múltiples fuentes de observaciones in situ y datos de elevación, particularmente útil para regiones montañosas como la cuenca del río Acarí.

c. **Datos hidrológicos:** Para la calibración y validación del modelo, se utilizaron caudales observados en la estación hidrométrica La Joya, gestionada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) . Estos datos, que abarcan el periodo de 1981 a 2007, fueron esenciales para ajustar el modelo a las condiciones hidrológicas reales de la cuenca.

Fuente: ANA Perú

d. **Datos de uso del suelo y tipo de suelo:**

- El uso del suelo fue extraído del conjunto de datos

GlobeLand30 del año 2010, el cual proporciona un mapa global de cobertura terrestre con una resolución espacial de 30 metros. Estos datos fueron fundamentales para identificar los tipos de cobertura vegetal y otros usos del suelo en la cuenca.

- La información sobre el tipo de suelo provino de la Base Mundial de Suelos elaborada por la FAO. Estos datos, con una resolución de ~1 km, brindan información detallada sobre las propiedades y características de los suelos a nivel global, siendo relevantes para los análisis de infiltración y evapotranspiración en el modelo hidrológico.

1.3 Modelo Hidrológico: SWAT (Herramienta de Evaluación de Suelos y Agua)

El modelo SWAT se utilizó para simular la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Acarí. Este modelo conceptual distribuido permite la simulación de los procesos hidrológicos, como la corriente superficial, la infiltración y el flujo base,

considerando factores climáticos y físicos de la cuenca.

- a. **Delimitación de la cuenca:** Se generó la red de drenaje y las subcuencas utilizando el DEM y el módulo *Watershed Delineation* de SWAT. Se identificaron 15 subcuencas, y se calculó el área, longitud de cauces, y pendientes para cada una de ellas.
- b. **Unidades de Respuesta Hidrológica (HRUs) :** Cada subcuenca fue dividida en HRUs, que combinan diferentes tipos de uso del suelo, pendientes y características del suelo. Este proceso permitió capturar las heterogeneidades dentro de la cuenca.

1.4 Análisis de Sensibilidad y Optimización

Se realizó un análisis de sensibilidad para identificar los parámetros que más influyen en las salidas del modelo, como el coeficiente de curva de corriente (CN2), la conductividad hidráulica del suelo (SOL_K), y el coeficiente alfa para el flujo base (ALPHA_BF). Esto permitió optimizar los valores de estos

parámetros para mejorar la precisión de las simulaciones.

- a. **Parámetros Ajustados:** Se ajustaron 14 parámetros utilizando un rango de valores específicos para la cuenca del río Acarí, basados en estudios previos y las características locales.
- b. **Optimización de Parámetros:** El análisis de sensibilidad mostró que los parámetros relacionados con la escorrentía superficial y la evapotranspiración tenían el mayor impacto en los resultados, por lo que fueron priorizados en la calibración.

1.5 Calibración y validación del modelo

La calibración y validación del modelo se realizó utilizando el software SWAT-CUP (Calibration and Uncertainty Programs) bajo el algoritmo SUFI-2 (Sequential Uncertainty Fitting). Los parámetros hidrológicos clave fueron ajustados para que los caudales simulados se asemejaran a los datos observados en la cuenca del río Acarí.

- a. **Período de calibración:** 1985-1997.

- b. **Período de validación:** 1998-2007.
- c. **Indicadores de desempeño:** Se utilizaron los siguientes indicadores para evaluar el ajuste del modelo:
 - Eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE)
 - Coeficiente de Determinación (R^2)
 - Porcentaje de sesgo (PBIAS)

1.6 Escenarios Climáticos y Simulación Futura

Para la proyección de la disponibilidad hídrica futura, se emplearon los escenarios de cambio climático **SSP5-8.5** (altas emisiones) y **SSP1-2.6** (bajas emisiones) se usó mediante el conjunto de datos **BASD-CMIP6-PE**.

- a. **Simulaciones futuras:** Las simulaciones de caudales futuros se realizaron para dos periodos:
 - 2035-2065 (futuro cercano, "2050")
 - 2065-2095 (futuro lejano, "2080")
- b. **Generación de datos climáticos:** Para la generación de datos climáticos ajustados a la cuenca del río Acarí, se seleccionan 10 modelos

climáticos globales (GCMs) del proyecto **BASD-CMIP6-PE**. Estos modelos fueron escogidos por su capacidad para representar adecuadamente las condiciones climáticas de la región andina y su uso extendido en estudios de cambio climático.

- c. **Promedio de los Modelos Climáticos:** Para reducir la incertidumbre asociada con las proyecciones individuales de los modelos climáticos, se trabajó con el promedio de los 10 modelos climáticos (GCMs) seleccionados. Esta técnica de promedio de conjunto permite capturar una visión más robusta y equilibrada de las condiciones climáticas futuras proyectadas. De esta manera, se obtiene un escenario promedio que reduce las variaciones extremas que pueden ocurrir al basarse en un solo modelo.

1.7 Análisis de Sensibilidad y Optimización

Se realizó un análisis de sensibilidad para identificar los parámetros que más influyen en las salidas del modelo, como el coeficiente de curva de corriente (CN2), la conductividad hidráulica del

suelo (SOL_K), y el coeficiente alfa para el flujo base (ALPHA_BF). Esto permitió optimizar los valores de estos parámetros para mejorar la precisión de las simulaciones.

- c. **Parámetros Ajustados:** Se ajustaron 14 parámetros utilizando un rango de valores específicos para la cuenca del río Acarí, basados en estudios previos y las características locales.
- d. **Optimización de Parámetros:** El análisis de sensibilidad mostró que los parámetros relacionados con la escorrentía superficial y la evapotranspiración tenían el mayor impacto en los resultados, por lo que fueron priorizados en la calibración.

1.8 Comparación entre disponibilidad hídrica histórica y futura

Finalmente, los resultados obtenidos para la simulación futura de la disponibilidad hídrica se compararon con los datos históricos, tomándose para la comparación el periodo 1985 a 2015 para evaluar los posibles impactos del cambio climático. Se analizaron las diferencias en caudales, temperatura y

precipitación bajo los dos escenarios climáticos.

IV. Resultados

1.9 Caracterización geomorfológica y climática de la cuenca del río Acarí

1.9.1 Creación de la cuenca hidrográfica y red de drenaje

La cuenca del río Acarí fue delineada mediante el uso del modelo hidrológico SWAT, generándose 15 subcuencas, cuyas principales características geomorfológicas se resumen en la Tabla 1. La cuenca total abarca un área de 3.736,38 km², con un perímetro de 659,58 km y un índice de compacidad de 3.044, lo que indica una forma irregular, aumentando el tiempo de concentración del agua hacia el cauce principal. La longitud total del río es de 165,73 km, con un pendiente promedio del 2,13%. Se muestra en la figura 3 el mapa de la cuenca hidrográfica y su red de drenaje.



Fig.3. Mapa de la cuenca hidrográfica y su red de drenaje

1.9.2 Propiedades geométricas de las subcuencas

Cada una de las subcuencas muestra una variación significativa en pendiente y elevación. La subcuenca 10, con una pendiente de 52.29%, representa la zona más inclinada, mientras que la subcuenca 1, con una pendiente de 15.04%, es relativamente más plana. Las elevaciones oscilan entre 313 y 4848 msnm, lo que refleja la complejidad topográfica de la región (Tabla 2).

1.9.3 Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU)

Se identificó un total de 566 Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) en las 15 subcuencas, las cuales fueron definidas en función de la combinación de coberturas vegetales, tipos de suelo y pendientes. Los pastizales son la cobertura vegetal predominante, a cubrir

el 71.07% de la cuenca, mientras que las áreas de suelo desnudo representan el 14.97%, incrementando la vulnerabilidad a la erosión en las zonas con pendientes pronunciadas. Los suelos predominantes son de tipo I-Tv-c-5542 (54.90%), suelos bien drenados, adecuados para la agricultura y menos susceptibles a la saturación durante eventos de precipitación intensa. Se muestra en la figura 4 el mapa de uso de suelo y en la figura 5 el mapa de Tipo de suelo..

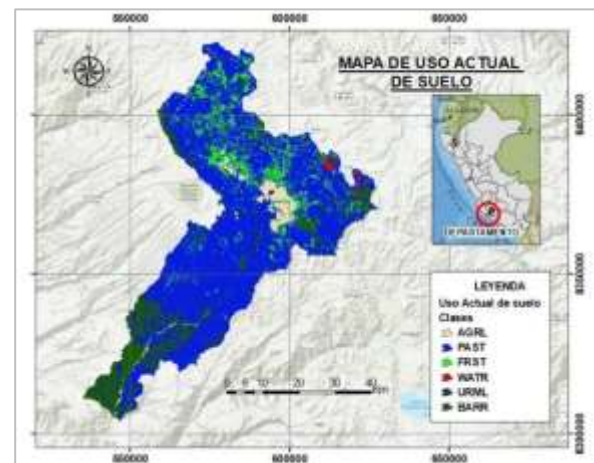


Fig.4. Mapa de uso de suelo



Fig.5. Mapa de tipo de suelo

1.9.4 Análisis de pendientes

La topografía de la cuenca presenta una alta variabilidad en sus pendientes, siendo el 39.75% de la superficie clasificada con pendientes entre el 20-50%, lo que implica un alto riesgo de escorrentía rápida y erosión. Áreas con pendientes superiores al 50% ocupan el 22.26%, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias de conservación de suelos en estas zonas.

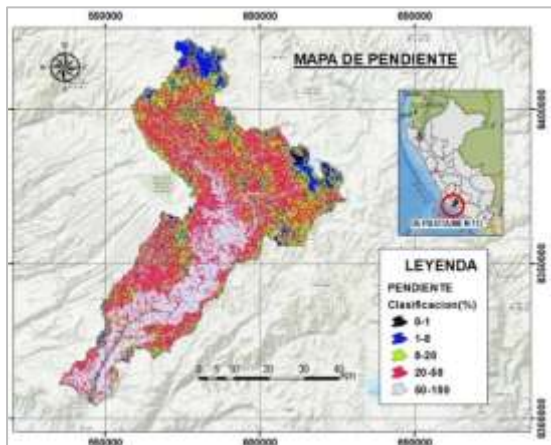


Fig.6. Mapa de pendiente

1.9.5 Datos climáticos

El análisis de los datos climáticos históricos descargados de RAIN4PE muestra una marcada estacionalidad en la precipitación. Las estaciones en zonas altas, como Cceccaña (4100 msnm), presentan mayores niveles de precipitación anual, alcanzando un promedio de 1.55 mm, mientras que las estaciones en zonas bajas, como Acari (200 msnm), registran un promedio

significativamente menor, de 0.63 mm. La variabilidad estacional también es evidente en la temperatura, con máximas que oscilan entre 14.27°C en zonas altas y 31.00°C en zonas bajas durante los meses más cálidos.

1.9.6 Caudal

El caudal promedio anual en la cuenca del río Acarí, según los datos hidrométricos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), es de 19,50 m³/s, con máximos observados durante los meses de febrero y marzo. Los valores más bajos se registran en los meses de agosto, con mínimos de 0,07 m³/s en algunos años. La variabilidad estacional en el caudal sigue el patrón de precipitación, lo que subraya la dependencia de la cuenca en los eventos de lluvia (Tabla 8).

1.10 Calibración y Validación del Modelo SWAT

El modelo SWAT fue calibrado y validado para simular los caudales históricos de la cuenca del río Acarí, utilizando datos hidrométricos y climáticos del periodo 1985-2015. Durante la fase de calibración (1985-1997) y validación (1998-2015), los indicadores de desempeño mostrados que el modelo se ajusta adecuadamente a las condiciones hidrológicas observadas.

- a. Eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE): El valor de NSE durante la calibración fue de 0,70, lo que indica un buen ajuste entre los caudales simulados y observados. En la fase de validación, el valor de NSE aumentó a 0,80, lo que representa una mejora significativa en la predicción del comportamiento hidrológico.
- b. Coeficiente de Determinación (R^2): El coeficiente de determinación R^2 alcanzó un valor de 0,75 durante la calibración y 0,80 en la validación, lo que refleja una fuerte compensación entre los datos simulados y observados.
- c. Porcentaje de Sesgo (PBIAS): El PBIAS mostró valores de -6.35% durante la calibración y 24.81% en la validación, lo que sugiere que el modelo no presenta un sesgo significativo en la simulación de los caudales.

1.11 Simulación de disponibilidad hídrica futura bajo escenarios climáticos

1.11.1 Generación de datos para la simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP5-8.5 (BASD-CMIP6-PE)

En las Figuras 7, 8 y 9, se presentan las proyecciones climáticas anuales para la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5, a expandir el período 2015-2100. La Figura 7 muestra la precipitación anual, calculada a partir del promedio de 10 modelos climáticos, que destaca las variaciones interanuales significativas que podrían impactar la disponibilidad hídrica, con implicaciones para el riesgo de sequías o inundaciones. En cuanto a las temperaturas, la Figura 8 ilustra la proyección de la temperatura máxima anual, sugiriendo aumentos que podrían elevar la evapotranspiración y reducir la cantidad de agua disponible. Por su parte, la Figura 9 presenta las temperaturas mínimas anuales, fundamentales para evaluar el comportamiento de la recarga hídrica en condiciones de cambio climático. Estos datos combinados ofrecen una visión integral sobre el impacto potencial del

calentamiento global en los recursos hídricos de la región.

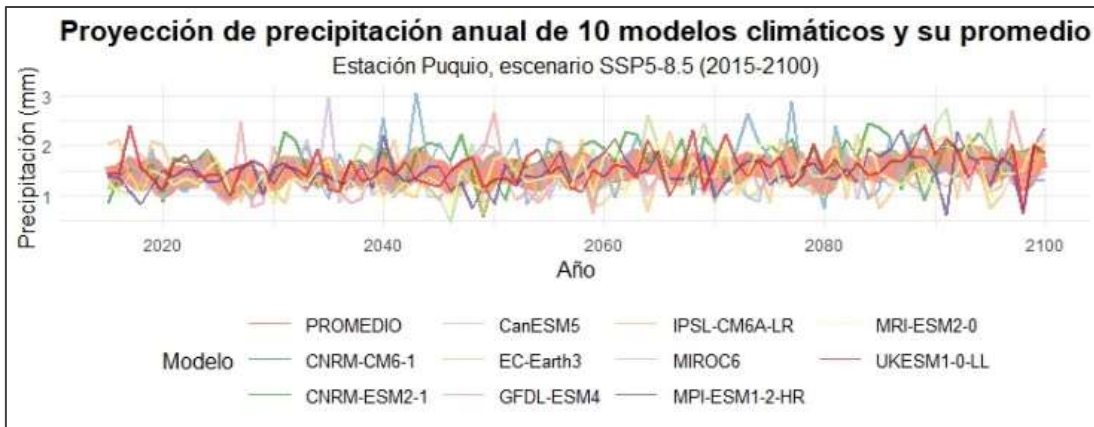


Fig.7. Precipitación anual de 10 modelos climáticos y su promedio en la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

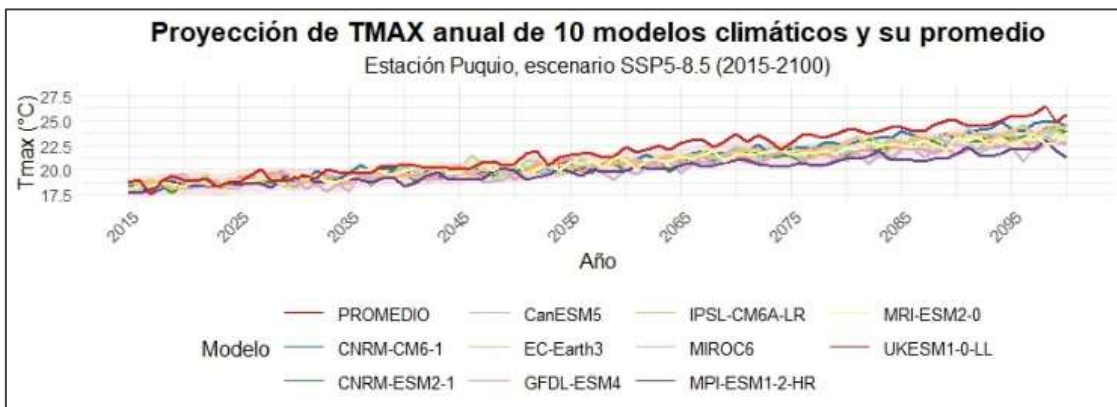


Fig.8. Temperatura máxima anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

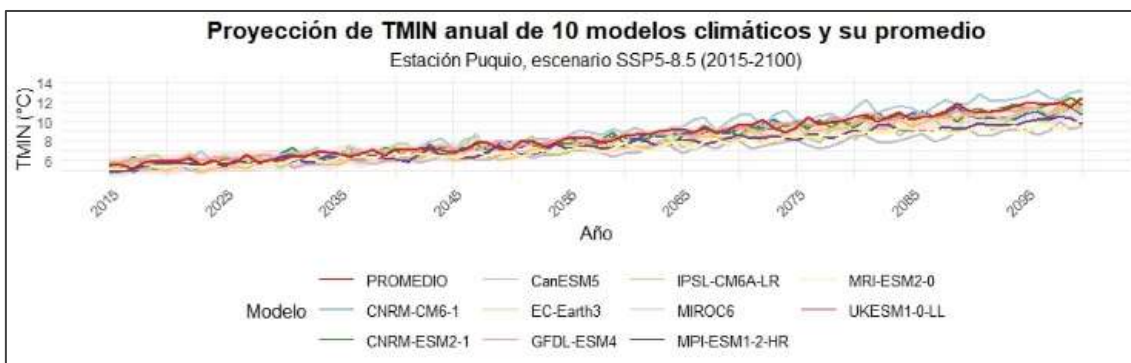


Fig.9. Temperatura mínima anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP5-8.5 (2015-2100)

1.11.2 Generación de datos para la simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE)

Las Figuras 10, 11 y 12 presentan las proyecciones anuales de precipitación y temperatura en la cuenca del río Acarí bajo el escenario de bajas emisiones SSP1-2.6, proyectado hasta 2100. La Figura 10 muestra el promedio de la precipitación anual proyectada por 10 modelos climáticos, resaltando las

variaciones estacionales en respuesta a un escenario climático de mitigación. En cuanto a la temperatura, la Figura 11 ilustra las proyecciones de la temperatura máxima anual, mientras que la Figura 12 presenta la temperatura mínima proyectada. Ambas cifras de temperatura reflejan un aumento que moderado podría influir en la evapotranspiración y en la disponibilidad hídrica a largo plazo en la región. Estos datos ofrecen una visión de los posibles efectos de un escenario de mitigación en las condiciones climáticas y la dinámica hídrica de la cuenca.

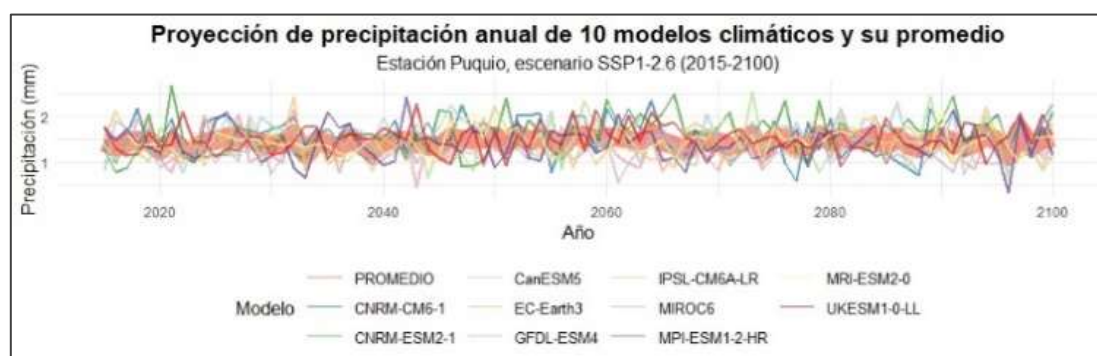


Fig.10. Precipitación anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

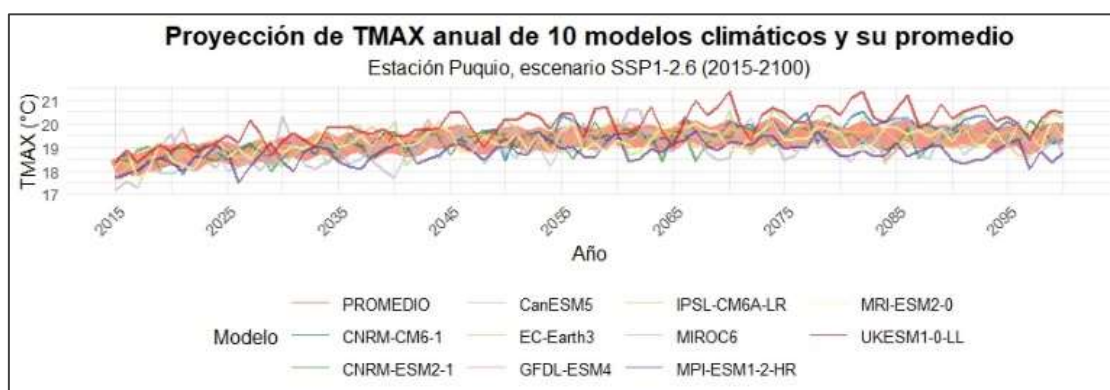


Fig.11. Temperatura máxima anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

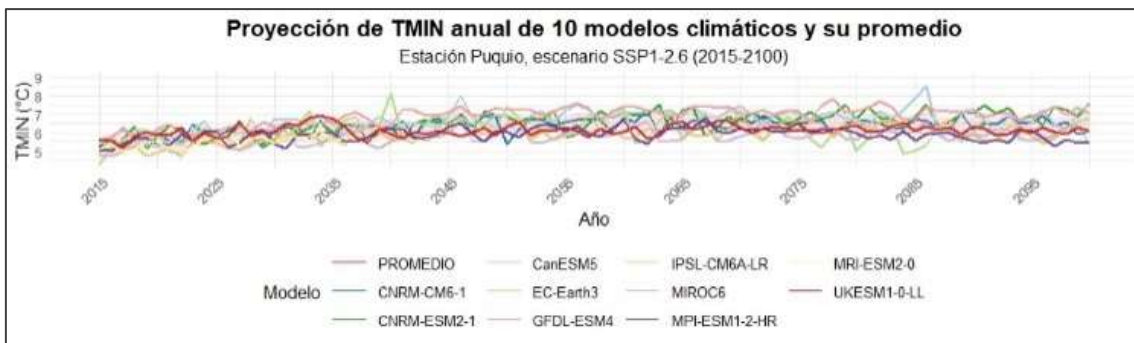


Fig.12. Temperatura mínima anual proyectada por 10 modelos climáticos y su promedio para la estación base de la cuenca del río Acarí bajo el escenario SSP1-2.6 (2015-2100)

1.11.3 Simulación de la disponibilidad hídrica futura bajo el escenario climático SSP5-8.5 y SSP1-2.6 (BASD-CMIP6-PE)

El modelo SWAT, calibrado y validado, se utilizó para proyectar la disponibilidad hídrica futura en la cuenca del río Acarí bajo los escenarios de cambio climático SSP5-8.5 (altas emisiones) y SSP1-2.6 (bajas emisiones). Los resultados se presentan para los períodos 2035-2065 ("2050") y 2065-2095 ("2080").

1.11.4 Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

En el escenario de altas emisiones, se proyecta un aumento considerable en las temperaturas máximas y mínimas a lo largo de los años. Para el período 2050, la temperatura máxima media alcanzará los 21.57°C, mientras que para 2080 se

estima que llegará a 24.57°C, lo que refleja una tendencia hacia condiciones climáticas más cálidas. Las temperaturas mínimas también mostrarán una clara elevación, con valores proyectados de 7.54°C para 2050 y 10.12°C para 2080, lo que sugiere una reducción en la amplitud térmica y posibles efectos en la evapotranspiración nocturna.

La precipitación mensual promedio para 2050 se sitúa en 32.14 mm/mes, mientras que para 2080 desciende ligeramente a 30.83 mm/mes, lo que indica una mayor variabilidad en los patrones de lluvias. En conjunto con este comportamiento, la evapotranspiración mensual experimenta un aumento significativo, con valores de 28.75 mm/mes para 2050 y 31.85 mm/mes en 2080, lo que podría influir en la reducción neta de agua

disponible, especialmente durante los meses secos.

En cuanto a los caudales medios mensuales, el modelo proyecta un incremento sostenido en el caudal de la cuenca, con 5.74 m³/s para 2050 y 6.14 m³/s en 2080, lo que sugiere un aumento en la escorrentía superficial, posiblemente asociado con los meses de mayor precipitación.

1.11.5 Escenario de bajas emisiones (SSP1-2.6)

Bajo el escenario de bajas emisiones, los cambios en las temperaturas máximas son menos pronunciados. Se proyecta que para 2050 la temperatura máxima media alcance los 20.99°C, y para 2080 aumente ligeramente a 21.31°C. Las temperaturas mínimas seguirán una tendencia similar, con 6.81°C para 2050 y 7.11°C para 2080, lo que refleja un menor calentamiento general en comparación con el escenario de altas emisiones.

La precipitación mensual promedio bajo este escenario será más estable, alcanzando 32.88 mm/mes para 2050 y 32.10 mm/mes para 2080, lo que sugiere condiciones menos extremas y mayor estabilidad en los patrones de lluvias. No obstante, la evapotranspiración también

muestra un aumento, pasando de 27.45 mm/mes para 2050 a 28.50 mm/mes en 2080, aunque este incremento es más moderado que en el escenario SSP5-8.5.

En términos de caudales, se espera que los valores medios mensuales sean de 5.35 m³/s para 2050 y que disminuyan ligeramente a 4.60 m³/s en 2080, lo que refleja una tendencia más conservadora en la respuesta hidrológica de la cuenca bajo este escenario de menores emisiones.

1.12 Comparación entre escenarios y periodos

En este apartado se comparan los resultados de la disponibilidad hídrica obtenidos para los períodos históricos (1985-2015) y futuros (2050 y 2080) bajo los escenarios de cambio climático SSP5-8.5 y SSP1-2.6. Las variables analizadas incluyen temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, evapotranspiración y caudales medios mensuales, con el objetivo de evaluar cómo las trayectorias climáticas influirán en la cuenca del río Acarí.

1.12.1 Comparación bajo el escenario SSP5-8.5

a. **Temperatura máxima:** En la Tabla 1 se presentan las proyecciones de

temperatura máxima bajo el escenario SSP5-8.5, comparando los valores del periodo histórico (promedio de 19.44°C) con los incrementos proyectados para 2050 y 2080. Para 2050, se espera que la temperatura máxima promedio aumente a 21.57°C, lo cual representa un incremento de 2.13°C. Para 2080, se proyecta un incremento aún mayor, con una temperatura máxima promedio de 24.57°C, equivalente a un aumento del 4.21 respecto al periodo histórico. Estos aumentos, ilustrados en la Figura 13, tienen implicaciones importantes en la disponibilidad hídrica de la cuenca, ya que incrementan la demanda evaporativa, particularmente crítica durante los meses secos.

Tabla 1. Temperatura máxima(°C) bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	Hist	2050		2080	
	T°C	T°C	Anom(°C)	T°C	Anom(°C)
Ene	18.94	20.53	1.58	22.48	3.53
Feb	18.70	20.59	1.89	22.45	3.75
Mar	18.80	20.92	2.13	22.70	3.91
Abr	19.59	21.69	2.11	23.69	4.10
May	19.68	22.01	2.33	24.03	4.35
Jun	19.06	21.48	2.41	23.60	4.53
Jul	18.94	21.55	2.61	23.85	4.91
Ago	19.50	22.01	2.51	24.38	4.88
Set	20.17	22.47	2.30	24.69	4.53
Oct	20.39	22.43	2.04	24.56	4.17
Nov	20.04	21.99	1.96	24.09	4.05
Dic	19.43	21.13	1.70	23.21	3.78
Sum	233.24	258.80	25.56	283.73	50.49
Prom	19.44	21.57	2.13	23.64	4.21
Máx	20.39	22.47	2.61	24.69	4.91
Mín	18.70	20.53	1.58	22.45	3.53

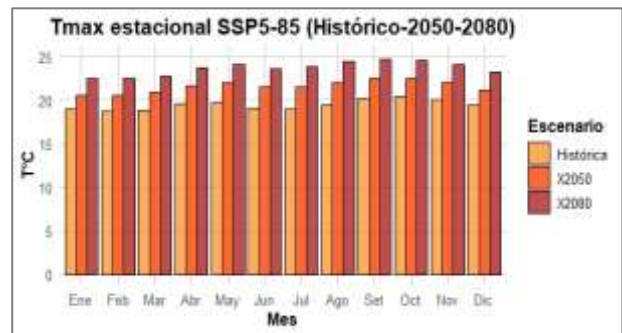


Fig.13. Temperatura máxima(°C) bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

b. **Temperatura mínima:** En la Tabla 2 se muestran las proyecciones de la temperatura mínima bajo el escenario SSP5-8.5, con un aumento de 1.63°C para 2050 y de 4.21°C para 2080 respecto al promedio histórico de 5.91°C, alcanzando 10.12°C. Este incremento proyectado, ilustrado en la Figura 14,

representa un aumento significativo del 71.23%, lo cual podría reducir la amplitud térmica y afectar los patrones de crecimiento vegetal y la dinámica de evapotranspiración nocturna.

Tabla 2. Temperatura mínima(°C) bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	Hist	2050		2080	
	T°C	T°C	Anom(°C)	T°C	Anom(°C)
Ene	8.09	10.07	1.97	12.20	4.10
Feb	8.22	10.16	1.94	12.19	3.97
Mar	7.56	9.58	2.02	11.70	4.14
Abr	6.67	8.70	2.03	10.91	4.24
May	4.66	7.04	2.38	9.43	4.77
Jun	4.12	6.49	2.37	8.93	4.81
Jul	3.50	6.16	2.65	8.55	5.04
Ago	4.30	6.95	2.64	9.35	5.05
Set	4.96	7.83	2.87	10.37	5.40
Oct	5.82	8.40	2.57	10.89	5.06
Nov	5.87	8.35	2.48	10.55	4.68
Dic	7.17	9.43	2.27	11.57	4.40
Sum	70.95	99.15	28.20	126.62	55.66
Prom	5.91	8.26	2.35	10.55	4.64
Máx	8.22	10.16	2.87	12.20	5.40
Mín	3.50	6.16	1.94	8.55	3.97

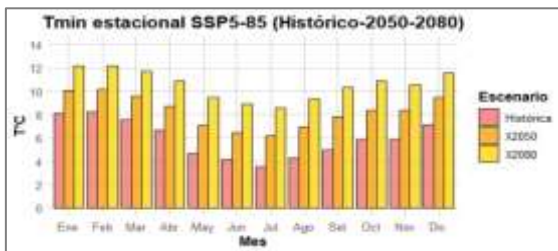


Fig.14. Temperatura mínima(°C) bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

c. **Precipitación:** La Tabla 3 presenta las proyecciones de

precipitación mensual promedio bajo el escenario SSP5-8.5, mostrando un ligero incremento de 4.25% para 2050 (32.14 mm/mes), seguido de una estabilización en 2080 (30.83 mm/mes), similar al valor histórico. En la Figura 15, se observa un aumento en la variabilidad mensual, con anomalías de hasta 14% en meses húmedos como enero, lo que podría elevar el riesgo de inundaciones en ciertas zonas de la cuenca.

Tabla 3. Precipitación(mm) bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	Hist.	2050		2080	
	mm/mes	mm/mes	Anom(%)	mm/mes	Anom(%)
Ene	87.31	103.17	18.16	110.61	26.69
Feb	102.70	112.87	9.90	117.62	14.53
Mar	85.77	87.47	1.97	97.05	13.15
Abr	22.39	25.45	13.66	27.88	24.50
May	2.81	3.19	13.51	4.12	46.92
Jun	1.34	1.62	21.50	2.14	60.47
Jul	1.45	1.40	-3.51	1.46	1.13
Ago	2.83	2.35	-16.94	2.33	-17.55
Set	3.97	4.42	11.36	4.74	19.36
Oct	7.30	8.18	12.18	10.41	42.70
Nov	11.40	12.09	6.08	13.07	14.68
Dic	40.70	47.31	16.22	49.07	20.57
Sum	369.96	409.51	39.56	440.52	70.56
Prom	30.83	34.13	8.68	36.71	22.26
Máx	102.70	112.87	21.50	117.62	60.47
Mín	1.34	1.40	-16.94	1.46	-17.55

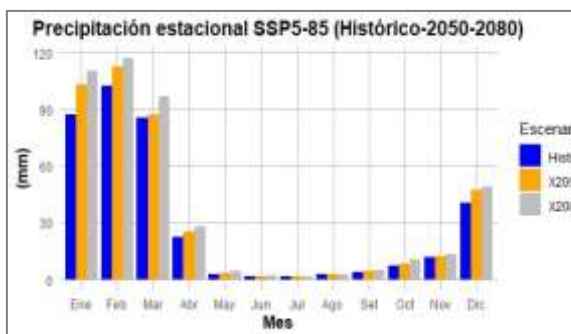


Fig.15. Precipitación(mm) bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

d. **Evapotranspiración:** La Tabla 4 muestra las proyecciones de evapotranspiración mensual promedio bajo el escenario SSP5-8.5, con un incremento del 11.3% para 2050 (28.75 mm/mes) y del 18.7% para 2080 (31.85 mm/mes) respecto al valor histórico de 26.83 mm /mes. En la Figura 16 , se observa cómo este aumento en la evapotranspiración podría intensificar el déficit hídrico, ya que la pérdida de agua por evaporación superaría los aportes de precipitación, especialmente durante los meses de sequía.

Tabla 4. Evapotranspiración(mm) bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	Hist.	2050		2080	
	mm/mes	mm/mes	Anom(%)	mm/mes	Anom(%)
Ene	58.15	63.81	9.73	66.31	14.03
Feb	68.41	75.25	9.99	77.85	13.80
Mar	71.81	75.52	5.17	80.52	12.14
Abr	37.27	40.71	9.23	46.31	24.26
May	12.50	14.12	12.97	18.51	48.11
Jun	6.90	7.16	3.85	9.04	31.05
Jul	5.16	4.54	-11.93	4.35	-15.69
Ago	5.10	4.93	-3.25	5.39	5.80
Set	6.03	7.23	19.97	8.50	41.02
Oct	9.26	11.78	27.24	14.46	56.18
Nov	12.72	15.11	18.83	15.22	19.71
Dic	28.73	34.46	19.95	35.77	24.51
Sum	322.01	354.62	121.77	382.23	274.91
Prom	26.83	29.55	10.15	31.85	22.91
Máx	71.81	75.52	27.24	80.52	56.18
Mín	5.10	4.54	-11.93	4.35	-15.69

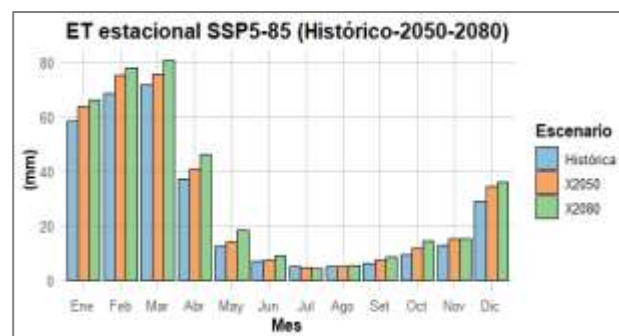


Fig.16. Evapotranspiración(mm) bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

e. **Caudal medio mensual:** La Tabla 5 resume las proyecciones de caudal medio mensual bajo el escenario SSP5-8.5, con un aumento del 17.91% proyectado para 2050 (5.74 m³/s) y un incremento total del 27.66% para 2080 (6.14 m³/s), comparado con el promedio histórico de 4.90

m³/s. En la Figura 17, se observa que estos incrementos de caudal se concentran en los meses húmedos, sugiriendo que el aumento en las lluvias no compensará las reducciones durante los meses secos, lo cual podría agravar la severidad de los períodos de sequía en la cuenca.

Tabla 5. Caudal(m³/s) bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	Hist.	2050		2080	
	m ³ /s	m ³ /s	Anom(%)	m ³ /s	Anom(%)
Ene	10.06	13.88	37.95	15.17	50.77
Feb	18.99	22.71	19.61	24.56	29.33
Mar	16.55	17.76	7.29	19.19	15.92
Abr	6.88	7.42	7.78	7.24	5.24
May	2.99	2.90	-2.94	2.94	-1.59
Jun	0.41	0.47	13.32	0.48	17.53
Jul	0.15	0.16	6.18	0.18	16.45
Ago	0.12	0.13	6.81	0.15	27.07
Set	0.09	0.11	17.18	0.10	6.08
Oct	0.11	0.15	37.98	0.18	75.50
Nov	0.18	0.25	35.22	0.27	50.30
Dic	2.30	2.96	28.55	3.21	39.32
Sum	58.84	68.88	214.92	73.67	331.91
Prom	4.90	5.74	17.91	6.14	27.66
Máx	18.99	22.71	37.98	24.56	75.50
Mín	0.09	0.11	-2.94	0.10	-1.59



Fig.17. Caudal(m³/s) bajo el escenario SSP5-8.5 (Histórico, 2050 y 2080)

1.12.2 Comparación bajo el escenario SSP1-2.6 (Bajas emisiones)

a. **Temperatura máxima:** La Tabla 6 presenta las proyecciones de temperatura máxima bajo el escenario SSP1-2.6, con un aumento a 20.99°C para 2050 (1.55°C sobre el promedio histórico) y 21.31°C para 2080, lo que representa un incremento total del 9.63% . En la Figura 18 , se aprecia cómo este aumento moderado, propio de un escenario de bajas emisiones, podría ayudar a mitigar algunos efectos adversos del cambio climático en la cuenca, ofreciendo un calentamiento más controlado en comparación con escenarios de altas emisiones.

Tabla 6. Temperatura máxima(°C) bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	Hist	2050		2080	
	T°C	T°C	Anom(°C)	T°C	Anom(°C)
Ene	18.94	19.93	0.99	20.12	1.18
Feb	18.70	19.86	1.16	20.11	1.42
Mar	18.80	20.02	1.23	20.37	1.57
Abr	19.59	20.88	1.30	21.19	1.60
May	19.68	21.21	1.53	21.40	1.72
Jun	19.06	20.69	1.63	20.86	1.80
Jul	18.94	20.69	1.74	20.88	1.93
Ago	19.50	21.18	1.68	21.31	1.81
Set	20.17	21.60	1.44	21.74	1.57
Oct	20.39	21.62	1.24	21.79	1.41
Nov	20.04	21.17	1.13	21.39	1.36
Dic	19.43	20.49	1.05	20.69	1.26
Sum	233.24	249.35	16.11	251.86	18.62
Prom	19.44	20.78	1.34	20.99	1.55
Máx	20.39	21.62	1.74	21.79	1.93
Mín	18.70	19.86	0.99	20.11	1.18



Fig.18. Temperatura máxima(°C) bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

b. **Temperatura mínima:** La Tabla 7 muestra las proyecciones de temperatura mínima en el escenario SSP1-2.6, con incrementos a 6.81°C para 2050 y 7.11°C para 2080, lo que representa un aumento del 15.91% respecto al promedio histórico. En la Figura 19, se observa que, aunque el

incremento es moderado en comparación con el escenario SSP5-8.5, este calentamiento afectará la demanda hídrica de los cultivos y del suelo, influyendo en la gestión de recursos en la cuenca.

Tabla 7. Temperatura mínima(°C) bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	Hist	2050		2080	
	T°C	T°C	Anom(°C)	T°C	Anom(°C)
Ene	8.09	8.45	0.35	9.86	1.77
Feb	8.22	8.63	0.41	9.94	1.72
Mar	7.56	8.00	0.44	9.34	1.78
Abr	6.67	7.08	0.41	8.42	1.75
May	4.66	5.14	0.48	6.75	2.10
Jun	4.12	4.64	0.52	6.21	2.09
Jul	3.50	4.17	0.67	5.88	2.38
Ago	4.30	4.93	0.63	6.67	2.37
Set	4.96	5.72	0.75	7.54	2.57
Oct	5.82	6.39	0.56	8.11	2.29
Nov	5.87	6.57	0.70	8.12	2.25
Dic	7.17	7.69	0.53	9.19	2.02
Sum	70.95	77.41	6.46	96.03	25.08
Prom	5.91	6.45	0.54	8.00	2.09
Máx	8.22	8.63	0.75	9.94	2.57
Mín	3.50	4.17	0.35	5.88	1.72

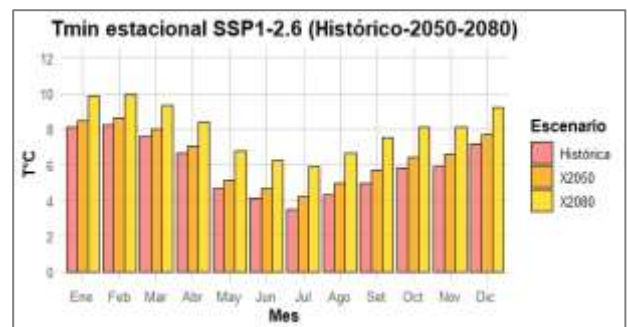


Fig.19. Temperatura mínima(°C) bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

c. **Precipitación:** La Tabla 8 muestra las proyecciones de precipitación promedio mensual bajo el escenario SSP1-2.6, con un aumento del 6.64% para 2050 (32.88 mm/mes) y una ligera estabilización en 2080, con un valor de 32.10 mm/mes. En la Figura 20, esta tendencia sugiere un incremento moderado en las lluvias que podría contribuir a mantener la disponibilidad hídrica en la cuenca, aunque de forma más controlada en comparación con escenarios de altas emisiones.

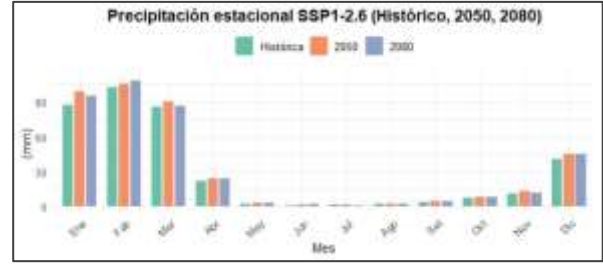


Fig.20. Precipitación(°C) bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

d. **Evapotranspiración:** La Tabla 9 muestra las proyecciones de evapotranspiración mensual promedio en el escenario SSP1-2.6, alcanzando 27.45 mm/mes para 2050, un 6.49% por encima del valor histórico, y 28.50 mm/mes para 2080, con un aumento total del 12.46%. En la Figura 21, se observa que este incremento moderado sugiere una mayor sostenibilidad hídrica en la cuenca, ya que los aumentos en la evaporación son menos pronunciados que en escenarios de altas emisiones.

Tabla 8. Precipitación(°C) bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	Hist.	2050		2080	
	mm/mes	mm/mes	Anom(%)	mm/mes	Anom(%)
Ene	87.31	98.64	12.98	94.81	8.60
Feb	102.70	105.55	2.78	108.25	5.40
Mar	85.77	89.97	4.89	86.09	0.37
Abr	22.39	23.94	6.92	24.15	7.84
May	2.81	3.19	13.66	3.27	16.64
Jun	1.34	1.75	30.65	2.20	64.46
Jul	1.45	1.58	9.08	1.40	-2.95
Ago	2.83	2.52	-10.72	2.51	-11.05
Set	3.97	4.36	9.83	4.31	8.64
Oct	7.30	8.53	16.96	8.32	14.06
Nov	11.40	13.08	14.74	12.17	6.74
Dic	40.70	45.18	11.00	45.51	11.80
Sum	369.96	398.29	122.77	393.00	130.55
Prom	30.83	33.19	10.23	32.75	10.88
Máx	102.70	105.55	30.65	108.25	64.46
Mín	1.34	1.58	-10.72	1.40	-11.05

Tabla 9. Evapotranspiración(mm) bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	Hist.	2050		2080	
	mm/mes	mm/mes	Anom(%)	mm/mes	Anom(%)
Ene	58.15	63.48	9.17	62.26	7.06
Feb	68.41	72.08	5.37	73.15	6.93
Mar	71.81	74.88	4.28	74.09	3.18
Abr	37.27	39.30	5.44	39.34	5.56
May	12.50	13.24	5.90	13.14	5.12
Jun	6.90	7.40	7.33	7.60	10.19
Jul	5.16	4.97	-3.60	4.69	-9.03
Ago	5.10	4.86	-4.60	4.80	-5.72
Set	6.03	6.47	7.34	6.35	5.37
Oct	9.26	10.54	13.85	10.44	12.77
Nov	12.72	14.39	13.14	13.85	8.89
Dic	28.73	32.20	12.07	32.31	12.49
Sum	322.01	343.80	75.69	342.03	62.83
Prom	26.83	28.65	6.31	28.50	5.24
Máx	71.81	74.88	13.85	74.09	12.77
Mín	5.10	4.86	-4.60	4.69	-9.03

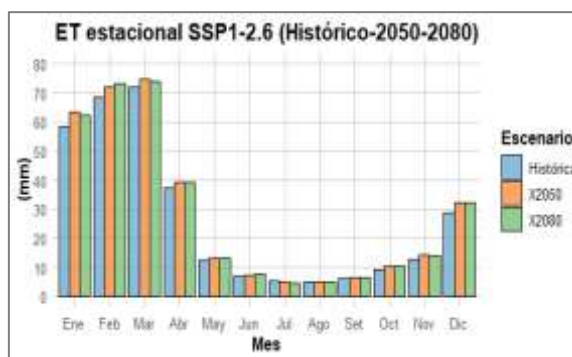


Fig.21. Evapotranspiración(mm) bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

e. **Caudal medio mensual:** La Tabla 10 muestra las proyecciones de caudal medio mensual bajo el escenario SSP1-2.6, con un aumento proyectado del 9.18% para 2050 (5.35 m³/s), seguido de una leve disminución para 2080 (4.60 m³/s). En la Figura 22, esta tendencia sugiere una mayor estabilidad hídrica en el largo plazo en comparación con el escenario de altas

emisiones, lo cual favorecería una gestión sostenible del recurso hídrico en la cuenca del río Acarí.

Tabla 10. Caudal(m³/s) bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

Mes	Hist.	2050		2080	
	m ³ /s	m ³ /s	Anom(%)	m ³ /s	Anom(%)
Ene	10.06	12.69	26.13	11.76	16.93
Feb	18.99	20.54	8.16	21.08	10.98
Mar	16.55	18.68	12.84	16.48	-0.42
Abr	6.88	8.02	16.58	6.90	0.23
May	2.99	3.42	14.42	2.77	-7.31
Jun	0.41	0.47	13.41	0.42	1.97
Jul	0.15	0.19	21.09	0.17	9.64
Ago	0.12	0.14	15.49	0.12	1.52
Set	0.09	0.10	9.69	0.10	10.24
Oct	0.11	0.14	35.29	0.13	27.85
Nov	0.18	0.27	49.96	0.21	14.74
Dic	2.30	2.69	16.79	2.72	18.32
Sum	58.84	67.34	239.85	62.87	104.69
Prom	4.90	5.61	19.99	5.24	8.72
Máx	18.99	20.54	49.96	21.08	27.85
Mín	0.09	0.10	8.16	0.10	-7.31

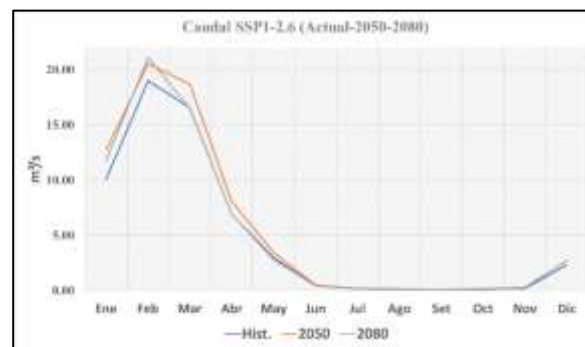


Fig.22. Caudal(m³/s) bajo el escenario SSP1-2.6 (Histórico, 2050 y 2080)

V. Discusiones

1.12.3 Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos a través de las simulaciones hidrológicas en el modelo SWAT indican que la cuenca del río

Acará experimentará cambios significativos en la disponibilidad hídrica bajo los escenarios de cambio climático SSP5-8.5 y SSP1-2.6. El aumento proyectado en los caudales bajo ambos escenarios sugiere que el cambio climático tendrá un impacto directo sobre los patrones hídricos de la cuenca, con efectos más pronunciados en el escenario de altas emisiones.

En el escenario SSP5-8.5, se observan incrementos de hasta un 27.66% en los caudales para el año 2080, lo cual es consistente con estudios previos en cuencas andinas vulnerables al cambio climático (Hattermann et al., 2020). Este aumento en los caudales, particularmente durante los meses lluviosos de octubre y enero, puede llevar a un mayor riesgo de inundaciones en la región. Por otro lado, el incremento en la evapotranspiración también proyectado en este escenario sugiere que la mayor parte del aumento en el receptor podría no estar disponible para la recarga de acuíferos, lo que plantea desafíos adicionales para la gestión del recurso hídrico.

En contraste, el escenario de bajas emisiones (SSP1-2.6) presenta incrementos más moderados en los

caudales, con un aumento del 19.99% para 2050 y un crecimiento menor del 8.72% para 2080. Aunque esto indica una menor presión hídrica, los resultados sugieren que los impactos del cambio climático seguirán siendo importantes, especialmente en términos de variabilidad estacional.

1.12.4 Comparación con estudios anteriores

Los resultados de este estudio son consistentes con otros trabajos realizados en cuencas de montaña de los Andes peruanos. Por ejemplo, estudios de Jiménez (2021) en la cuenca del río Tambo también proyectaron aumentos en los caudales bajo escenarios de altas emisiones, lo que subraya la necesidad de gestionar adecuadamente los periodos de mayor recepción. Asimismo, Fernández-Palomino et al. (2022) identifican tendencias similares en cuencas andinas, donde las proyecciones indican un aumento en la frecuencia y magnitud de eventos extremos como lluvias torrenciales e inundaciones.

A nivel mundial, las proyecciones de caudales futuros realizadas con modelos hidrológicos como SWAT, en regiones montañosas vulnerables al cambio climático, reflejan patrones similares de

aumento de caudales y evapotranspiración (Arnold et al., 2012). Estos estudios refuerzan la validez de los resultados obtenidos para la cuenca del río Acarí.

1.12.5 Implicaciones para la gestión del agua

Los incrementos proyectados en los caudales bajo ambos escenarios climáticos tienen importantes implicaciones para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Acarí. Si bien un aumento en la disponibilidad hídrica puede parecer favorable, el aumento simultáneo de la evapotranspiración y la concentración de mayores caudales en los meses lluviosos puede crear problemas de disponibilidad durante los períodos secos. Este patrón sugiere la necesidad de implementar estrategias de adaptación que consideren tanto la mitigación de los riesgos por exceso de agua como la conservación en períodos secos.

Se deben considerar infraestructuras que permitan almacenar y redistribuir el agua durante los meses de lluvias intensas, como embalses y sistemas de cosecha de agua. Además, es importante monitorear cerca de las proyecciones de evapotranspiración, que podrían reducir

los beneficios del aumento de precipitación en el escenario de bajas emisiones (SSP1-2.6).

1.12.6 Limitaciones del estudio

Aunque los resultados proporcionan una visión robusta de los posibles escenarios futuros, es necesario reconocer algunas limitaciones en el estudio. La calibración del modelo SWAT dependió de los datos históricos disponibles, y aunque los valores de eficiencia de Nash-Sutcliffe ($NSE = 0,70$ y $0,80$) y el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,75$ y $0,80$) indican un buen ajuste, los datos de caudal y precipitación pueden tener limitaciones en su precisión debido a la falta de estaciones de medición en ciertas áreas remotas de la cuenca. Este aspecto podría generar incertidumbre en las simulaciones de caudales futuros, particularmente en zonas de alta montaña donde los efectos del cambio climático pueden ser más severos.

Otro factor a considerar es la incertidumbre asociada con los modelos climáticos globales (GCM) y los escenarios de emisiones, especialmente bajo el escenario más extremo (SSP5-8.5). Aunque se aplican técnicas de downscaling para ajustar las proyecciones climáticas a la escala local,

estas proyecciones aún contienen cierto grado de incertidumbre que podría influir en los resultados.

1.12.7 Futuras investigaciones

Este estudio ofrece una base sólida para futuras investigaciones sobre la disponibilidad hídrica en cuencas andinas bajo escenarios de cambio climático. Sin embargo, se recomienda realizar estudios complementarios que incluyan análisis más detallados sobre la calidad del agua, la disponibilidad de agua subterránea y los impactos socioeconómicos en las comunidades locales que dependen del río Acarí. Asimismo, sería útil incorporar proyecciones adicionales bajo diferentes escenarios de mitigación del cambio climático, así como evaluar la efectividad de diferentes estrategias de adaptación, como la gestión de embalses y la reforestación.

VI. Conclusiones

a. Impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica: Bajo los escenarios de cambio climático analizados (SSP5-8.5 y SSP1-2.6), se proyecta un aumento significativo en la disponibilidad hídrica de la cuenca del río Acarí. Los

caudales promedio mensuales incrementan un 17,91% y 27,66% para los años 2050 y 2080, respectivamente, en el escenario de altas emisiones (SSP5-8,5). Sin embargo, este aumento también viene acompañado de una mayor evapotranspiración, lo que podría reducir la efectividad de los incrementos en la precipitación.

- b. Variabilidad estacional y riesgos asociados: Los meses de mayor precipitación, como enero y octubre, experimentarán aumentos considerables en el caudal, lo que incrementa el riesgo de inundaciones. En contraste, los periodos secos podrían verse afectados por la mayor evaporación y evapotranspiración, lo que subraya la importancia de una gestión eficiente del recurso hídrico durante todo el año.
- c. Importancia de las estrategias de adaptación: Los resultados destacan la necesidad de implementar estrategias de adaptación, como infraestructuras de almacenamiento hídrico, para

mitigar los riesgos de excesos y déficits de agua. La planificación hídrica deberá adaptarse a las proyecciones futuras para asegurar el abastecimiento tanto en los sectores agrícolas como en el abastecimiento de agua potable.

- d. **Limitaciones y áreas de mejora:** A pesar de los buenos resultados de la calibración del modelo SWAT, existen limitaciones debido a la disponibilidad de datos hidrológicos y climáticos en la cuenca. Se sugiere que futuros estudios mejoren la recolección de datos locales y exploren el impacto de los cambios en el uso del suelo y la calidad del agua en la cuenca del río Acarí.

VII. Recomendaciones

- a. **Fortalecer la planificación hídrica bajo escenarios de cambio climático:** Es esencial que las autoridades locales desarrollen estrategias de gestión del agua adaptadas a las proyecciones climáticas, considerando las variaciones

de caudales proyectadas en los escenarios SSP5-8.5 y SSP1-2.6, y siguiendo las recomendaciones del IPCC sobre eficiencia hídrica y agricultura sostenible.

- b. **Implementar infraestructuras de almacenamiento de agua:** Se recomienda construir reservorios y sistemas de captación de agua de lluvia para contrarrestar la reducción de caudales en los meses secos, siguiendo las directrices del IPCC para adaptarse a extremos climáticos.
- c. **Promover la restauración y conservación de ecosistemas naturales:** La protección y restauración de áreas degradadas en la cuenca, especialmente de ecosistemas como los páramos y bosques, ayudarán a regular el ciclo hídrico y mitigar los impactos de eventos climáticos extremos.

- d. **Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero:** Para alcanzar los beneficios del escenario SSP1-2.6, se recomienda implementar políticas que promuevan energías renovables, eficiencia energética y prácticas agrícolas de baja emisión de carbono.
- e. **Fomentar programas de concientización comunitaria:** Involucrar a las comunidades en programas educativos sobre cambio climático y gestión del agua es crucial para asegurar la adopción de soluciones sostenibles en la región.
- f. **Incorporar tecnologías de monitoreo climático:** La instalación de estaciones meteorológicas y sistemas de monitoreo en la cuenca permitirá un seguimiento continuo de los cambios hidrológicos, mejorando la precisión de las proyecciones

y la gestión de recursos hídricos.

VIII. Referencia bibliográfica

- Abbaspour, K. C., Vejdani, M., & Haghghat, S. (2007). SWAT-CUP calibration and uncertainty programs for SWAT. *Modsim 2007 International Congress on Modelling and Simulation*, 1603-1609. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52177-5_5
- Allen, R. G. (2007). Hydrologic processes and water resource applications. *Journal of Hydrology*, 335(3-4), 355-376. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.11.012>
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (2012). Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2020). *Gestión de los recursos hídricos en el contexto del cambio climático*. Lima, Perú: ANA.
- Autoridad Nacional del Agua. (2020, 4 de julio). Perú perdió el 51% de sus glaciares debido al cambio climático. <https://www.ana.gob.pe/noticia/peru-perdio-el-51-de-sus-glaciares-debido-al-cambio-climatico>
- Del Águila Ríos, S. (2021). Modelamiento de procesos hidrológicos en cuencas de la

- sierra central del Perú (Tesis doctoral, Universidad Nacional Agraria La Molina). Repositorio Institucional UNALM.
- Espinosa, P. (2019). Impacto del cambio climático y uso del suelo en la cuenca del río Frío, Colombia, utilizando el modelo SWAT. *Journal of Hydrology*, 45(2), 314-329.
 - Fernández-Palomino, C. A., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Lobanova, A., Vega-Jácome, F., Lavado, W., Santini, W., Aybar, C., & Bronstert, A. (2022). A novel high-resolution gridded precipitation dataset for Peruvian and Ecuadorian watersheds: Development and hydrological evaluation. *Journal of Hydrometeorology*. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0285.1>
 - Fernández-Palomino, C. A., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Vega-Jácome, F., Lavado, W., Santini, G., Gutiérrez, R. R., & Bronstert, A. (2023). Simulación panperuana de las condiciones hidrológicas presentes y futuras proyectadas utilizando nuevos productos de datos y proyecciones climáticas CMIP6. *Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung*.
 - Fernández-Palomino, C. A., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Vega-Jácome, F., Menz, C., Gleixner, S., & Bronstert, A. (2024). High-resolution climate projection dataset based on CMIP6 for Peru and Ecuador: BASD-CMIP6-PE. *Scientific Data*, 11(34). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02863-z>
 - Figueroa, R., Krenz, J., Lavado, W., & Santini, G. (2022). A novel high-resolution gridded precipitation dataset for Peruvian and Ecuadorian watersheds: Development and hydrological evaluation. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 45, 101227. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101227>
 - Hattermann, F. F., Krysanova, V., Vega-Jácome, F., Lavado, W., Santini, G., Gutiérrez, R. R., & Bronstert, A. (2020). Projections of hydrological extremes in the Peruvian Andes under CMIP6 scenarios. *Journal of Hydrometeorology*, 21(9), 1851-1870. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0285.1>
 - IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report*
 - IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
 - IPCC. (2023). *Cambio climático 2023: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (AR6)*. IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
 - Jiménez Yanasupo, AJ (2021). *Simulación de una escala diaria con multas de evaluación de la*

- variabilidad hidrológica en la cuenca del río Tambo utilizando el modelo SWAT*. Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponible en <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5312>
- León Ochoa, RF (2017). *Modelación de la disponibilidad hídrica del río Piura, considerando la incidencia del cambio climático utilizando el modelo SWAT* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional de la UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2877>
 - Magrin, G., Marengo, J., & Boulanger, J. P. (2014). Climate change in Latin America: Vulnerabilities and impacts. In IPCC Fifth Assessment Report. *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
 - Moreno Villafuerte, E. J. (2021). Respuesta hidrológica con cambio climático en flujos de agua azul y verde, cuenca del río Cachi, Ayacucho (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga).
 - Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
 - Rodas Guizado, F. (2022). *Evaluación del cambio climático y su efecto en la disponibilidad hídrica futura de la cuenca Caplina - Tacna* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional de la UNI. <https://hdl.handle.net/20.500.14076/22538>
 - Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K. J., & Jones, J. W. (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3268-3273. <https://doi.org/10.1073/pnas.1224631110>
 - SENAMHI. (2020). *PISCO: Precipitation data for the Peruvian territory*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
 - SENAMHI. (2021). *Escenarios climáticos: Cambios en los extremos climáticos en el Perú al 2050*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1469/Escenarios-clim%C3%A1ticos-cambios-en-los-extremos-clim%C3%A1ticos-en-el-Per%C3%BA-al-2050-2021.pdf>
 - Vicuña, S., McPhee, J., & Garreaud, R. D. (2011). Agriculture, Climate Change, and Water Resources in the Central Valley of Chile: Impacts and Adaptation. In A. Lopez & E. Masseroni (Eds.), *Climate*

Change and Agriculture (pp. 121-137). Springer.

- Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B. G., & Bradley, R. S. (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Science Reviews*, 89(3-4), 79-96.