



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ciencias Químicas
Carrera de Ingeniería Ambiental

“Desarrollo de índices de vulnerabilidad de los usuarios del agua de la subcuenca del río Machángara, afectados por el cambio climático”.

*Trabajo de titulación previo la obtención
del título de Ingeniero Ambiental.*

AUTORES:

Washington Andrés Flores Maza
C.I. 0106278468

Luciano Agustín Galán Montero
C.I. 0105349310

DIRECTOR:

Ing. Alex Manuel Avilés Añazco, PhD.
C.I. 0102247186

ASESORES:

Ing. Stalin Daniel Jiménez Yucta
C.I. 0106411820

Ing. Karina Fernanda Palacios Gárate
C.I. 0105670194

CUENCA – ECUADOR

23 de julio de 2019



RESUMEN

La subcuenca del Río Machángara es de vital importancia para el desarrollo actual y futuro de la población cuencana, debido a su capacidad de abastecimiento de agua para la generación hidroeléctrica, de consumo (planta de tratamiento de agua potable Tixán) y como fuente de riego agrícola. Por lo que, es necesario identificar la vulnerabilidad que presentarán los usuarios de la subcuenca ante posibles eventos extremos debidos al cambio climático. En este estudio, se determinaron índices de vulnerabilidad para cada uno de los usuarios presentes en la subcuenca dentro de los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. Para generar estos índices fue necesaria la proyección futura de variables como la precipitación, temperatura, humedad y viento, las cuales se obtuvieron de modelos climáticos a gran escala, viéndose la necesidad de aplicar una reducción de escala estadística, los resultados finales sirvieron como datos de ingreso para el modelo hidrológico el cual generó la oferta futura. A partir del resultado de este modelo se generaron series sintéticas, dando 100 posibles escenarios futuros en donde se cruzó la oferta y la demanda. Los resultados indican que, en la mayoría de los escenarios para cada usuario, la vulnerabilidad varía entre baja y muy baja, sin embargo, para los meses de julio, agosto y septiembre la vulnerabilidad se incrementa. Estos resultados pueden ayudar a los usuarios de la subcuenca a tomar decisiones que les permitan adaptarse a los posibles problemas futuros derivados el cambio climático.

Palabras clave: Reducción de escala estadística. Series sintéticas. Índices de vulnerabilidad. Cambio climático. Modelo climáticos.



ABSTRACT

Machangara River sub-basin is of vital importance for current and future development of Cuenca population due to its water supply capacity for hydroelectric generation, consumption (Tixan drinking water treatment plant), and as a source of agricultural irrigation. Therefore, it is necessary to identify the vulnerability that users of the sub-basin will present in the face of possible extreme events due to climate change. The aim of this study was to determine vulnerability indexes for each of the users present in the sub-basin within the RCP 45 and 85 scenarios. In order to obtain such indexes, it was necessary the future projection of variables such as precipitation, temperature, humidity and wind; which were obtained from large-scale climatological models. Thus, seeing the need to apply a statistical downscaling, the final results were used as input data for the hydrological model; which generated the supply and future demand. From the result of this model, synthetic series were generated. It allowed to obtain 100 possible future scenarios where supply and demand were crossed. Final results obtained indicated that in most scenarios for each user, the vulnerability varies between low and very low. However, the vulnerability increases for the months of July, August and September. These results can help users of the sub-basin to make decisions, allowing them to adapt to possible future problems caused by climate change.

Keywords: Statistical downscaling. Synthetic series. Vulnerability indexes. Climate change. Climatological model.

**CONTENIDO**

RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	18
OBJETIVOS:	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos	19
1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	20
1.1. Cambio climático	20
1.2. Escenarios de cambio climático	20
1.3. CMIP5.....	22
1.4. CORDEX	22
1.5. WRF	23
1.6. Modelación	23
1.7. Reducción de escala.....	23
1.8. Machine Learning	24
1.8.1. Aprendizaje supervisado.....	25
1.8.2. Aprendizaje no supervisado	25
1.9. Support Vector Machine (SVM)	26
1.9.1. Tipos de kernel de uso común.....	27
1.9.2. Hiperparámetros.....	27
1.10. Colinealidad	29
1.11. Correlación	29
1.12. Validación Cruzada.....	29
1.13. Modelación Hidrológica.....	30
1.14. Modelo WEAP	30
1.14.1. Enfoque WEAP	31
1.14.2. Balance Hídrico	31
1.14.3. Balance Hídrico de una Cuenca Hidrográfica	31
1.14.4. Método de Escurrimiento de lluvia (método de la humedad del suelo)	32
1.14.5. Coeficiente de cultivo	33
1.14.6. Componentes del esquema en WEAP.....	33
1.14.7. Generación hidroeléctrica en WEAP	35
1.15.8. Calibración PEST	36
1.16. Índices de bondad de ajuste	37
1.16.1. NRMSE (Normalized Root Mean Square Error).....	37
1.16.2. MAE (Mean Absolute Error).....	38



1.16.3. Coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe	38
1.16.4. Coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe Logarítmico	39
1.17.3. Sesgo porcentual	39
1.17.4. Coeficiente de correlación lineal (Pearson)	39
1.18. Método de Simulación Monte Carlo	40
1.19. Eficiencia del Sistema de Riego.....	41
1.20. Índices de vulnerabilidad.....	41
2. METODOLOGÍA	43
2.1. Caracterización de la zona de estudio	43
2.1.1. Descripción general.....	43
2.1.2. Usos del agua	44
2.1.3. Características topográficas	44
2.1.4. Características Climatológicas	45
2.2. Análisis de las bases de datos para la selección de predictores	46
2.3 Extracciones	47
2.4. Análisis inicial de los datos	47
2.4.1 Colinealidad	47
2.5. Reducción de escala estadística.....	48
2.5.1. Selección de la variable objetivo y predictores.....	49
2.5.2. División de los datos en training y testing.....	50
2.5.3. Estandarización	50
2.5.5. Tuning de Hiperparametros.....	51
2.5.6. Comparación de los valores simulados con el conjunto de testeo.....	51
2.5.7. Determinación del mejor modelo climático por cada estación.....	51
2.5.8. Proyección futura con reducción de escala estadística de las variables objetivo.....	51
2.6. Modelación hidrológica con WEAP	52
2.6.1. Definición del proyecto	52
2.6.2. Recolección de la data	53
2.6.5. Repartición del agua de la modelación hidrológica	73
2.6.6. Generación de escenarios hidrológicos futuros.....	74
2.7. Desarrollo de Índices de Vulnerabilidad	75
2.7.1. Datos de la GHE para el cálculo de indicadores.....	75
2.7.2. Indicadores de Sensibilidad.....	76
2.7.3. Indicadores de Capacidad Adaptativa	77
2.7.4. Indicadores de Exposición.....	78
2.7.5. Índice de Sensibilidad.....	78



2.7.6. Índice de Capacidad Adaptativa	78
2.7.7. Índice de Exposición.....	79
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	80
3.1. Reducción de escala estadística.....	80
3.1.1. Simulación de la precipitación para los distintos escenarios.....	81
3.1.2. Simulación de la temperatura para distintos escenarios	83
3.2. Calibración del modelo hidrológico	85
3.3. Validación del modelo hidrológico.....	86
3.4. Repartición de agua según el modelo hidrológico.....	88
3.5. Generación de escenarios hidrológicos futuros.....	91
3.6. Análisis del Balance de Cobertura de los 100 escenarios futuros	94
3.6.1. Generación Hidroeléctrica	94
3.6.2. Agua para consumo humano.....	96
3.6.3. Agua para riego.....	96
3.7. Índices de Vulnerabilidad.....	97
3.7.1. Generación Hidroeléctrica	98
3.7.2. Agua para consumo humano.....	104
3.7.3. Agua para riego.....	107
4. CONCLUSIONES	111
5. RECOMENDACIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS.....	112
REFERENCIAS	113
ANEXOS.....	120

Índice de tablas

Tabla 1. FR total, tendencia del FR y concentración de CO ₂ para los nuevos RCP.....	21
Tabla 2. Criterio para la evaluación de NSE.	39
Tabla 3. Modelos Climáticos utilizados.....	46
Tabla 4. Predictores o variables climáticas.....	46
Tabla 5. Correlación y eliminación de variables redundantes para el modelo CSIRO (WRF).	48
Tabla 6. Variables objetivo por cada estación.	50
Tabla 7. Períodos de modelación	52
Tabla 8. Sitios de Demanda del Recurso Hídrico	53
Tabla 9. Sitios de Demanda del Recurso Hídrico	60
Tabla 10. Coeficientes de cultivo Kc.....	60
Tabla 11. Información resumen de los datos hidrometeorológicos	61
Tabla 12. Uso de agua de la PTAP Tixán.....	61
Tabla 13. Uso de agua de los canales de riego.....	61



Tabla 14. Cálculo de la variación mensual del consumo de agua en función de la precipitación, para los sistemas de riego de la subcuenca del Río Machángara	63
Tabla 15. Parámetros de calibración en PEST.....	65
Tabla 16. Datos de la ampliación de la PTAP Tixán.....	67
Tabla 17. Nivel de actividad anual futura de Tixán	67
Tabla 18. Cálculo de la variación mensual futura, escenario RCP 4.5, del consumo de agua en función de la precipitación, para los sistemas de riego de la subcuenca del Río Machángara.....	69
Tabla 19. Cálculo de la variación mensual futura, escenario RCP 8.5, del consumo de agua en función de la precipitación, para los sistemas de riego de la subcuenca del Río Machángara.....	70
Tabla 20. Criterios de eficiencia de riego.....	71
Tabla 21. Metodología del Consumo de los Sistemas de Riego.....	72
Tabla 22. Información de los clientes de la E.E. CentroSur	75
Tabla 23. Información de la generación hidroeléctrica en Saucay y Saymirín	75
Tabla 24. Relación energética SIN, Complejo Machángara y Centro Sur	76
Tabla 25. Usuarios Tixán.....	76
Tabla 26. Proyectos de generación energética de ElecAustro.....	77
Tabla 27. Proyectos de abastecimiento agua potable de Etapa	77
Tabla 28. Modelos climáticos que mejor se ajustaron a las variables de cada estación al aplicar el SVR.....	80
Tabla 29. Resultados de los índices de bondad de ajuste para la calibración.	85
Tabla 30. Resultados de los índices de bondad de ajuste para la validación.....	86
Tabla 31. Repartición del agua para las demandas de Tixán y riego.....	90
Tabla 32. Resultados por mes de la GHE.	95
Tabla 33. Resultados por mes de la demanda de Tixán	96
Tabla 34. Resultados por mes de la demanda de Riego	97
Tabla 35. Valoración del Índice de Vulnerabilidad	97
Tabla 36. Valores de los Índices de Exposición y Vulnerabilidad por escenario para la GHE en Saymirín (RCP 4.5).....	98
Tabla 37. Valores de los Índices de Exposición y Vulnerabilidad por escenario para la GHE en Saymirín (RCP 8.5).....	99
Tabla 38. Resultados de la vulnerabilidad para la GHE en la central Saymirín.....	101
Tabla 40. Valores de los Índices de Exposición y Vulnerabilidad por escenario para la GHE en Saucay (RCP 8.5).....	102
Tabla 41. Resultados de la vulnerabilidad para la GHE en la central Saucay.....	104
Tabla 43. Valores de los Índices de Exposición y Vulnerabilidad por escenario para la demanda de Tixán (RCP 8.5).....	105
Tabla 44. Resultados de la vulnerabilidad para Tixán.	107
Tabla 46. Valores de los Índices de Exposición y Vulnerabilidad por escenario para la demanda de Riego (RCP 8.5)	109
Tabla 47. Resultados de la vulnerabilidad para Riego.....	110

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Comportamiento de los escenarios RCP.....	21
Ilustración 2. Reducción de escala estadística.	24
Ilustración 3. Técnicas de aprendizaje automático.	25
Ilustración 4. Hiperplano y máximo margen.	26



Ilustración 5. Traslado de los datos a un espacio donde el hiperplano es lineal mediante el uso del kernel.....	27
Ilustración 6. Parámetro Costo.	28
Ilustración 7. Parámetro gamma.....	28
Ilustración 8. Validación Cruzada.	30
Ilustración 9. Esquema de los elementos hidrológicos.	32
Ilustración 10. Representación de las elevaciones para la generación de energía hidroeléctrica.....	35
Ilustración 11. Zonas con diferentes restricciones operativas en embalses de GHE. ...	36
Ilustración 12. Búsqueda del mínimo global para dos parámetros.	37
Ilustración 13. Subcuenca del Machángara.	43
Ilustración 14. Perfil topográfico de la subcuenca del Machángara.	45
Ilustración 15. Metodología de SVR.	49
Ilustración 16. Mapa de Isoyetas de subcuenca del Río Machángara.	55
Ilustración 17. Mapa de Isotermas de la subcuenca del Río Machángara.	56
Ilustración 18. Esquema en WEAP de la Subcuenca del Río Machángara.....	59
Ilustración 19. Ventana de Calibración PEST para Machángara Alto.	64
Ilustración 20. Simulación futura de la precipitación RCP 4.5.....	81
Ilustración 21. Simulación futura de la precipitación RCP 8.5.....	82
Ilustración 22. Promedio mensual de precipitación de la subcuenca del Machángara.	82
Ilustración 23. Simulación futura de la temperatura RCP 4.5.....	83
Ilustración 24. Simulación futura de la temperatura RCP 8.5.....	84
Ilustración 25. Promedio mensual de temperatura de la subcuenca del Machángara.	84
Ilustración 26. Hidrograma de calibración de Machángara Alto.	85
Ilustración 27. Hidrograma de calibración de Chulco.....	86
Ilustración 28. Hidrograma de validación de Machángara Alto.	87
Ilustración 29. Hidrograma de validación Chulco.....	87
Ilustración 30. Cobertura de la demanda para GHE en la central Saymirín (promedio mensual).	88
Ilustración 31. Cobertura de la demanda para GHE en la central Saucay (promedio mensual).	89
Ilustración 32. Cobertura de la demanda de Tixán escenario (promedio mensual).....	89
Ilustración 33. Cobertura de la demanda de Riego escenario (promedio mensual).	90
Ilustración 34. Series Sintéticas para Machángara Alto, escenario RCP 4.5.	92
Ilustración 35. Series Sintéticas para Chulco, escenario RCP 4.5.	92
Ilustración 36. Series Sintéticas para Machángara Alto, escenario RCP 8.5.	93
Ilustración 37. Series Sintéticas para Chulco, escenario RCP 8.5.....	93

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Balance hídrico	31
Ecuación 2. Balance hídrico del balde superior.	33
Ecuación 3. Balance hídrico del balde inferior.	33
Ecuación 4. Cálculo de la altura de caída del agua en las turbinas.	35
Ecuación 5. Normalized Root Mean Square Error.	38
Ecuación 6. Mean Absolute Error.	38
Ecuación 7. Coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe.....	38
Ecuación 8. Coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe Logarítmico.	39
Ecuación 9. Sesgo porcentual.....	39
Ecuación 10. Coeficiente de correlación.....	40



Ecuación 11. Eficiencia del Sistema de Riego.....	41
Ecuación 12. Estandarización Gaussiana	50
Ecuación 13. Abastecimiento según WEAP de demandas con una misma prioridad ..	74
Ecuación 14. Cobertura de la demanda en WEAP	74
Ecuación 15. Índice de Vulnerabilidad.....	75
Ecuación 16. Estandarización del Índice de Sensibilidad	78
Ecuación 17. Estandarización del Índice de Capacidad Adaptativa	78
Ecuación 18. Estandarización del Índice de Exposición	79

Índice de Anexos

Anexo 1. Correlación entre variables. Estación: Labrado. Modelo: CSIRO (RCM)	120
Anexo 2. Correlación entre variables. Estación: Chanlud. Modelo: GISS (WRF)	122
Anexo 3. Correlación entre variables. Estación: Chanlud. Modelo: IPSLCM5A (GCM)	122
Anexo 4. Correlación entre variables. Estación: Jacarín. Modelo: IPSLCM5A (GCM)	123
Anexo 5. Correlación entre variables. Estación: Jacarín. Modelo: CCCma (RCM)	124
Anexo 6. Correlación entre variables. Estación: Ucubamba. Modelo: CCCma (RCM)	126
Anexo 7. Correlación entre variables. Estación: Ucubamba. Modelo: MIROC (RCM)	128
Anexo 8. Correlación entre variables. Estación: Aeropuerto. Modelo: IPSLCM5A (GCM)	130
Anexo 9. Correlación entre variables. Estación: Aeropuerto. Modelo: CCCma (RCM)	131
Anexo 10. Correlación entre variables. Estación: Biblián. Modelo: CSIRO (RCM).....	133
Anexo 11. Correlación entre variables. Estación: Biblián. Modelo: NCC (RCM)	135
Anexo 12. Correlación entre variables. Estación: Biblián. Modelo: MIROC (WRF)	137
Anexo 13. Correlación entre variables. Surucucho. Modelo: ACCESS 1.0 (GCM)	137
Anexo 14. Índices de bondad ajuste para cada modelo. Estación: Labrado.	138
Anexo 15. Índices de bondad ajuste para cada modelo. Estación: Chanlud.	140
Anexo 16. Índices de bondad ajuste para cada modelo. Estación: Jacarín y Chanlud	142
Anexo 17. Índices de bondad ajuste para cada modelo. Estación: Aeropuerto y Biblián	144
Anexo 18. Índices de bondad ajuste para cada modelo. Estación: Ricaurte, Chirimachay y Surucucho.....	146
Anexo 19. Datos observados vs Datos simulados - Labrado (CSIRO/WRF)-Precipitación.....	148
Anexo 20. Datos observados vs Datos simulados - Labrado (CSIRO/RCM)-Temperatura.....	148
Anexo 21. Datos observados vs Datos simulados - Labrado (ACCESS 1.3/GCM)-Velocidad del Viento.....	149
Anexo 22. Datos observados vs Datos simulados - Labrado (Ensamble/WRF)-Humedad Relativa.....	149
Anexo 23. Datos observados vs Datos simulados - Chanlud (IPSLCM5A/GCM)-Precipitación.....	150
Anexo 24. Datos observados vs Datos simulados - Chanlud (GISSE2R/RCM)-Temperatura.....	150
Anexo 25. Datos observados vs Datos simulados - Chanlud (ACCESS 1.3/GCM)-Velocidad del Viento.....	151
Anexo 26. Datos observados vs Datos simulados - Chanlud (IPSLCM5A/WRF)-Humedad	151
Anexo 27. Datos observados vs Datos simulados - Jacarín (IPSLCM5A/GCM)-Precipitación.....	152



Anexo 28. Datos observados vs Datos simulados - Jacarín (CCCma/RCM)-
Temperatura.....152

Anexo 29. Datos observados vs Datos simulados - Ucubamba (MIROC/RCM)-
Precipitación.....153

Anexo 30. Datos observados vs Datos simulados - Ucubamba (CCCma/RCM)-
Temperatura.....153

Anexo 31. Datos observados vs Datos simulados - Aeropuerto (IPSLCM5A/GCM)-
Precipitación.....154

Anexo 32. Datos observados vs Datos simulados - Aeropuerto (CCCma/RCM)-
Temperatura.....154

Anexo 33. Datos observados vs Datos simulados - Biblián (CSIRO/RCM)-
Precipitación.....155

Anexo 34. Datos observados vs Datos simulados - Biblián (NCC/RCM)- Temperatura155

Anexo 35. Datos observados vs Datos simulados - Ricaurte (MIROC/RCM)-
Precipitación.....156

Anexo 36. Datos observados vs Datos simulados - Surucucho (ACCESS 1.0/GCM)-
Precipitación.....156

Anexo 37. Datos observados vs Datos simulados - Chirimachay (MIROC/WRF)-
Precipitación.....157

Anexo 38. Series Sintéticas ordenadas de menor a mayor Oferta.....158

Anexo 39. Cobertura de las demandas de agua para consumo humano y riego
(WEAP).....159



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Washington Andrés Flores Maza en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Desarrollo de índices de vulnerabilidad de los usuarios del agua de la subcuenca del río Machángara, afectados por el cambio climático", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 23 de julio de 2019

Washington Andrés Flores Maza

C.I: 0106278468



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Luciano Agustín Galán Montero en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Desarrollo de índices de vulnerabilidad de los usuarios del agua de la subcuenca del río Machángara, afectados por el cambio climático", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 23 de julio de 2019

Luciano Agustín Galán Montero

C.I: 0105349310



Cláusula de Propiedad Intelectual

Washington Andrés Flores Maza, autor del trabajo de titulación "Desarrollo de índices de vulnerabilidad de los usuarios del agua de la subcuenca del río Machángara, afectados por el cambio climático", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 23 de julio de 2019



Washington Andrés Flores Maza

C.I.: 0106278468



Cláusula de Propiedad Intelectual

Luciano Agustín Galán Montero, autor del trabajo de titulación "Desarrollo de índices de vulnerabilidad de los usuarios del agua de la subcuenca del río Machángara, afectados por el cambio climático", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 23 de julio de 2019

Luciano Agustín Galán Montero

C.I: 0105349310

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo emocional de nuestros padres, familiares y amigos.

Al ingeniero Alex Avilés, tutor de esta tesis, agradecemos el apoyo brindado y sus ideas para el desarrollo de este trabajo.

A nuestros asesores los ingenieros Karina Palacios y Stalyn Jiménez, quienes han sido el principal soporte y guía en el largo proceso para completar esta tesis.

Agradecemos también a los investigadores ingeniero Ronald Gualán y Mario Peña por compartir sus conocimientos para el desarrollo del modelo de reducción de escala. Al ingeniero Robert Huerta, por atender nuestras dudas sobre la modelación hidrológica. Al ingeniero Iván Belesaca por guiarnos en temas de riego.

A las entidades que nos facilitaron la información necesaria para ejecutar este estudio, como son: ElecAustro, ETAPA, MAE y al personal del departamento IERSE/UDA.

Andrés y Luciano.



DEDICATORIA

Este presente trabajo está dedicado a Dios, por inspirarme y darme las fuerzas para continuar a pesar de las circunstancias y así obtener una de mis metas.

A mi madre que con su apoyo incondicional, amor, paciencia y confianza me ayudo a salir adelante durante toda mi vida, permitiéndome culminar mi carrera profesional.

A mi hermano que me apoyo en cada momento que lo necesitaba.

Andrés Flores



DEDICATORIA

Así como todas las tareas que he enfrentado a lo largo de mi vida, este trabajo de grado le dedico a mis padres Agustín y Mery. Ellos han sido el motor para seguir adelante, el soporte para continuar y la fuerza, que, con amor, me ha traído hasta aquí.

Luciano Galán



INTRODUCCIÓN

Las alteraciones climáticas en las últimas décadas no han tenido precedentes. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) en su quinto informe menciona que para el año 2100 la temperatura global aumentará de alrededor de 1,5°C a 5°C, afirmando que las actividades antrópicas son las principales responsables de este aumento (IPCC, 2015). Esto traerá consigo graves consecuencias para la vida y la salud de humanos y no humanos (Williston, 2018). El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) ha identificado una serie de problemas a causa del cambio climático que paralizarán y luego revertirán el desarrollo humano, los cuales son: estrés por falta de agua; aumento del nivel del mar; exposición a desastres meteorológicos; pérdida de ecosistemas y biodiversidad y afecciones a la salud humana (Pardo, 2010). Pero no todo el mundo padecerá los riesgos del cambio climático por igual, las personas de los países del norte son menos vulnerables que las personas de los países del sur, y por otro lado las generaciones futuras serán mucho más vulnerables que las del presente (Williston, 2018). Dentro de los países del sur se encuentra Ecuador, que aún no posee los estudios suficientes para hacer frente a las perturbaciones climáticas que cada vez son más severas, sin embargo, el marco legal del Ecuador, Decreto Ejecutivo 1815 y 495 declara a la mitigación y la adaptación al cambio climático como política de Estado (Ludeña y Wilk, 2013), indicando la importancia de llevar a cabo estrategias que permitan hacer frente a este fenómeno, principalmente en zonas vulnerables y que ofrezcan una gran variedad de servicios. La subcuenca del río Machángara es una de ellas, esta zona captura cerca de 304.29 hectómetros cúbicos por año de agua lluvia, la cual es usada para regar alrededor de 1500 ha de cultivos, también abastece a la planta potabilizadora de Tixán y sirve como recurso para la generación de energía hidroeléctrica (Borrero, Idrovo, y Díaz, 2015). Esta zona, al ser de especial importancia para la población cuencana, necesita de una serie de estudios que, principalmente permitan, pronosticar escenarios futuros, que simulen y proyecten el clima y la vulnerabilidad de los usuarios de la cuenca y de esta manera, poder tomar decisiones correctas e implementar las estrategias más adecuadas para afrontar la variabilidad climática y eventos extremos, como inundaciones o sequías.

Es por ello que el propósito de esta investigación es realizar una modelación hidrológica y estocástica que sirvan de apoyo para una mejor gestión del recurso hídrico. Para lo cual, se proyectarán los caudales de la cuenca en varios escenarios futuros, usando como datos de entrada diferentes modelos climáticos globales y regionales a los cuales se les reducirá la escala de forma estadística con un método



de Machine Learning, con el objetivo de seleccionar el modelo más adecuado y obtener resultados más precisos al momento de la proyección. Todo esto servirá para desarrollar un modelo de repartición de recursos hídricos, el cual analizará la oferta y la demanda de agua que existirá en la subcuenca, mediante el empleo de índices de vulnerabilidad para los diferentes usuarios del recurso, frente a los posibles riesgos del cambio climático venidero.

Finalmente se verificará si con el desarrollo de este trabajo se cumple la hipótesis planteada: **“Los escenarios de cambio climático, la modelación de los recursos hídricos y la información de las demandas del sistema, servirán para desarrollar los índices de vulnerabilidad”**.

OBJETIVOS:

Objetivo general

Desarrollar índices de vulnerabilidad de los usuarios del agua de la subcuenca del Río Machángara, afectados por el cambio climático.

Objetivos específicos

- Analizar las salidas de modelos climáticos globales y regionales con respecto a los datos meteorológicos observados en la subcuenca del río Machángara.
- Desarrollar una modelación hidrológica estocástica.
- Desarrollar un modelo de optimización para la repartición de agua donde se cruce la oferta y la demanda, para definir déficit y superávit de agua.
- Definir indicadores de vulnerabilidad de los usuarios del agua en la subcuenca del Río Machángara.



1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

1.1. Cambio climático

El “cambio climático” es considerado como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables (Díaz, 2012).

El cambio climático y la disponibilidad del agua se encuentran estrechamente relacionados, un incremento de la temperatura, nivel del mar y variabilidad de precipitación, que se espera en un futuro, podrían generar graves repercusiones sobre el recurso hídrico como sequías en unas zonas e inundaciones en otras (Martínez y Patiño, 2012).

Según el Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC), el cambio climático afecta la función y operación de la infraestructura hídrica existente, así como las prácticas de gestión integral de los recursos hídricos. La estacionalidad del flujo de aquellas cuencas influenciadas por la precipitación incrementará, es decir, los caudales máximos serán más pronunciados en épocas húmedas y los mínimos serán más bajos durante períodos secos. (García, Piñeros, Bernal, y Ardila, 2012).

1.2. Escenarios de cambio climático

Los primeros escenarios de emisiones fueron presentados en 1992 y sirvieron para obtener las primeras proyecciones climáticas. En el año 2000, se adoptaron los escenarios SRES, acrónimo del inglés Special Report on Emissions Scenarios, que sirvieron de base para las proyecciones climáticas presentadas en el Tercer y Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, publicados en 2001 y 2007 respectivamente. Estos escenarios consideraban un haz de ‘futuros posibles’ para las sociedades, integrando una vasta paleta de evoluciones determinadas por las economías nacionales, oferta tecnológica, elecciones energéticas, demografía, cambios en los comportamientos individuales, etc. Los escenarios SRES se organizaron en cuatro familias bien conocidas: A1, A2, B1 y B2, que, traducidos a emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), alimentaban una cadena de modelos para proporcionar las proyecciones de evolución climática globales. Sin embargo, estos escenarios no tenían en cuenta posibles políticas de mitigación (Moss et al., 2010).

En el Quinto informe de Evaluación del IPCC, conocido como AR5 por sus siglas en inglés, se ha utilizado un nuevo conjunto de cuatro escenarios que sí consideran las políticas climáticas, las denominadas Sendas Representativas de Concentración o Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, de sus siglas en inglés). Estos RCP se definen como escenarios que abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de los GEI, aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo y la cubierta terrestre; los cuales se identifican por el forzamiento radiativo (FR) total aproximado para el año 2100 con respecto a 1750, que oscila entre 2.6 y 8.5 W/m² (Moss et al., 2010).

Como se observa en la tabla e ilustración 1, en el caso de los RCP6.0 y RCP8.5, el FR no alcanza su máximo hasta 2100; para el RCP2.6, alcanza un máximo y después disminuye; y para el RCP4.5, se estabiliza hacia 2100 (Amblar, Casado, Pastor, Ramos, y Rodríguez, 2017).

Tabla 1. FR total, tendencia del FR y concentración de CO₂ para los nuevos RCP.

Escenario	FR	Tendencia del FR	CO ₂ en 2100
RCP2.6	2.6 W/m ²	decreciente en 2100	421 ppm
RCP4.5	4.5 W/m ²	estable en 2100	538 ppm
RCP6.0	6.0 W/m ²	creciente	670 ppm
RCP8.5	8.5 W/m ²	creciente	936 ppm

Fuente: Armenta, Dorado, Rodríguez, y Ruiz (2014).

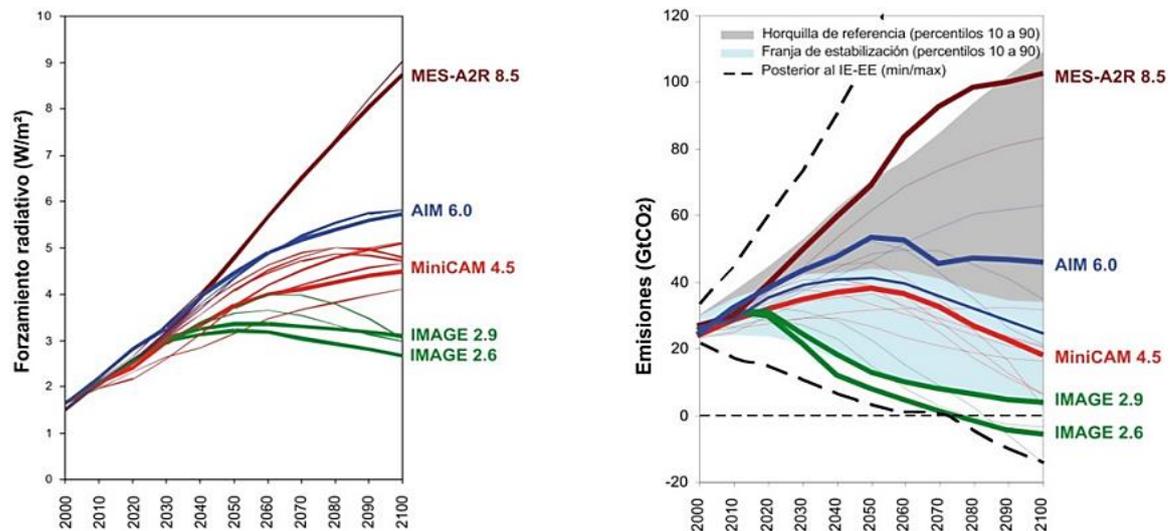


Ilustración 1. Comportamiento de los escenarios RCP. A la izquierda el FR y la derecha las emisiones de CO₂.

Fuente: Armenta, Dorado, Rodríguez, y Ruiz (2014).



1.3. CMIP5

El proyecto CMIP5 corresponde a la quinta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos del Programa Mundial de Investigación del Clima (WCRPs, por sus siglas en inglés) y produce el estado del arte del conjunto de datos multimodelo diseñado para avanzar en el conocimiento de la variabilidad climática y el cambio climático (Rodríguez, 2012). CMIP5 incluye simulaciones a largo plazo del clima del siglo XX y proyecciones para el siglo XXI y más allá; además de simulaciones a corto plazo, centradas en las últimas décadas y el futuro hasta el año 2035. CMIP5 recoge un conjunto amplio de salidas modeladas y está disponible libremente a investigadores a través de un archivo de datos integrados (Taylor, et al., 2012), formando parte del quinto informe de evaluación (AR5) del IPCC.

1.4. CORDEX

El Grupo de Trabajo sobre Reducción de Escala del Clima Regional (TFRCd, por sus siglas en inglés), inició un marco denominado Experimento Regional Coordinado de Reducción del Clima (CORDEX), bajo el siguiente mandato (World Meteorological Organization, 2015):

Desarrollar un marco para evaluar y posiblemente mejorar las técnicas de reducción de escala regional (RCD, por sus siglas en inglés), para su uso en la reducción de escala de las proyecciones climáticas globales;

Promover un esfuerzo internacional coordinado para producir información mejorada sobre el cambio climático de alta resolución basada en RCD multimodelo en regiones de todo el mundo, aportando así información para el trabajo de impacto / adaptación y para el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5);

Promover una mayor interacción y comunicación entre los modeladores del clima global, la comunidad de reducción de escala y los usuarios finales para apoyar mejor las actividades de impacto / adaptación.

El proyecto CORDEX presenta una plataforma de datos de proyecciones climáticas regionales confiables, en un rango completo de escalas espaciales de menos de ~ 10 000 km². Esta firma climática a gran escala se modula a nivel regional y local mediante una multiplicidad de forzamientos, que incluyen topografía compleja, líneas costeras y distribución de aerosoles.



El objetivo de CORDEX, por lo tanto, es proporcionar un marco accesible a una amplia comunidad científica con el máximo uso de los resultados (World Meteorological Organization, 2015).

1.5. WRF

El modelo climático regional de última generación Weather Research and Forecasting fue utilizado en la Tercera Comunicación Nacional del Ecuador para la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, para la incorporación de políticas públicas para afrontar los efectos del cambio climático.

El Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), realizó la simulación con el modelo WRF para obtener información a nivel regional de variables climáticas para los escenarios RCP, mediante una metodología de reducción de escala dinámica (MAE, 2017).

1.6. Modelación

Los modelos climáticos son una representación matemática del clima, permitiendo a sus desarrolladores comprender y predecir el sistema climático. Para hacer esto, los modelos dividen la tierra, océano y atmósfera en una cuadrícula. En cada cuadrícula se calculan los valores de las variables predichas a lo largo del tiempo como: la presión superficial, la humedad, la temperatura, el viento y la precipitación, para obtener las estimaciones de las condiciones naturales del futuro o predicción (Delju, Boscolo, Guttman, Davies, y Horstbrink, 2015). Si el sistema natural se altera al asumir supuestos de actividades relacionadas con el futuro humano, tales como: tendencias socio-económicas, emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros; los modelos climáticos proyectan climas futuros, aunque estén sujetos a un alto grado de incertidumbre.

1.7. Reducción de escala

Desarrollados para resolver los problemas de resolución espacial, tan necesarios para mejorar la calidad de las estimaciones de las proyecciones de variables climatológicas e hidrológicas de variables objetivo como precipitación, temperatura, humedad, entre otras, con el objetivo de relacionar los datos de modelos globales o regionales con datos observados.

Existen dos tipos de técnicas de reducción de escala, las dinámicas, de mayor exigencia computacional, se basa en las ecuaciones gobernantes de los fenómenos

climatológicos, y las técnicas estadísticas de modelación, estas se refieren a relaciones empíricas obtenidas del comportamiento estadístico de las variables climatológicas. Los modelos de reducción de escala estadística (ver ilustración 2) (SDMs, por sus siglas en inglés) tienen en general menor exigencia computacional, pero las diferencias estadísticas entre los datos observados y los datos modelados son principalmente causadas por el sesgo del modelo como tal y adicionalmente por el salto en la escala.

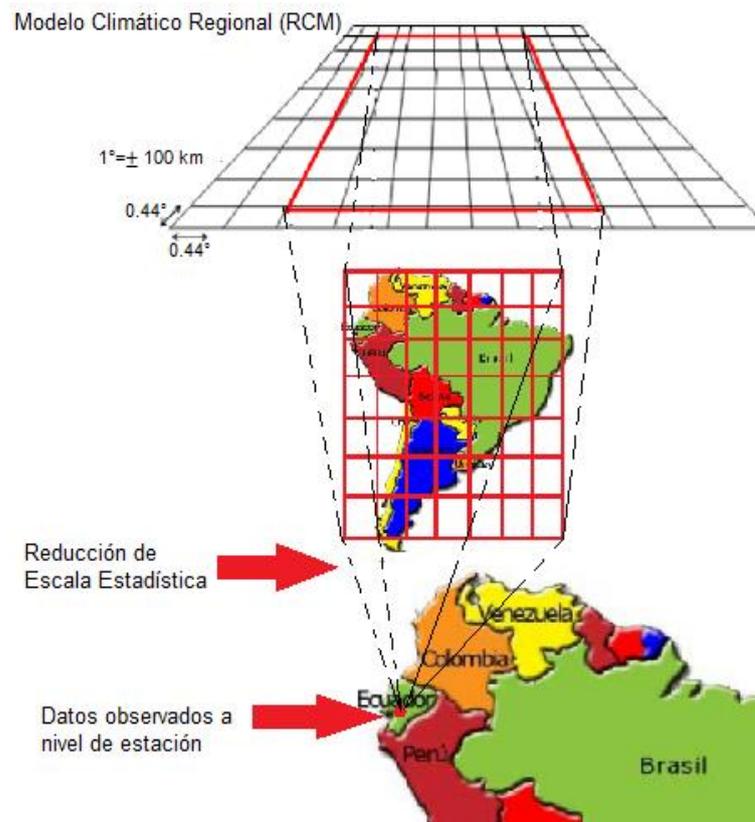


Ilustración 2. Reducción de escala estadística.
Fuente: Elaboración propia.

1.8. Machine Learning

Conocido también como aprendizaje automático, es una técnica de análisis de datos basada en enseñar al ordenador aquello que, para las personas y animales, resulta natural aprender de la experiencia. Para ello, se emplean métodos de cálculo de los patrones naturales de los datos, generando el reconocimiento del comportamiento que contribuye a tomar las mejores decisiones y a realizar predicciones más acertadas (MathWorks, 2016).

Machine Learning emplea dos tipos de técnicas (ver ilustración 3): el aprendizaje supervisado y el aprendizaje no supervisado (MathWorks, 2016).

1.8.1. Aprendizaje supervisado

Crea un modelo el cual luego de la fase de entrenamiento, según el comportamiento del conjunto de datos de entrada, genera predicciones razonables como respuesta a datos nuevos. El aprendizaje supervisado emplea técnicas de clasificación y regresión para desarrollar modelos predictivos (Sayad, 2010).

El resultado del modelado predictivo es la generación de un modelo capaz de predecir el comportamiento futuro de la muestra; si el resultado es categórico, se denomina clasificación, mientras que si es un valor numérico de la predicción, entonces se ha realizado una regresión (Sayad, 2010).

1.8.2. Aprendizaje no supervisado

Halla patrones ocultos o estructuras intrínsecas en los datos. Esta técnica se emplea para inferir información a partir de conjuntos de datos que constan de datos de entrada sin respuestas etiquetadas.

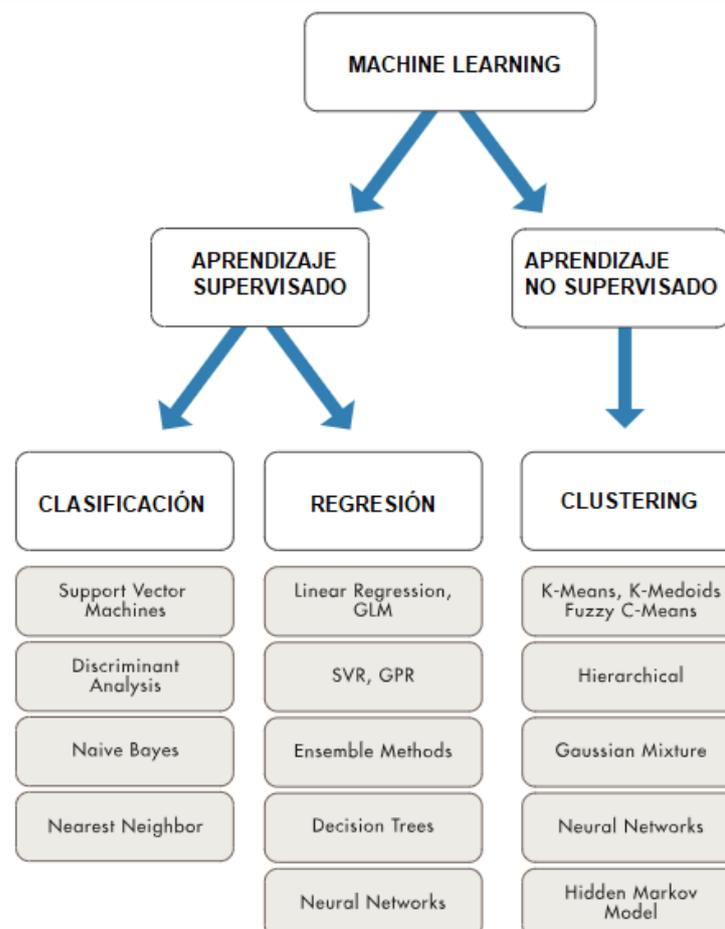


Ilustración 3. Técnicas de aprendizaje automático.

Fuente : MathWorks (2016).

1.9. Support Vector Machine (SVM)

El SVM es un algoritmo de Machine Learning supervisado el cual sirve para problemas de clasificación y regresión (Martínez, 2018), cuya idea es seleccionar un hiperplano, el que consiste en una línea que separa un plano en 2 partes, a partir de este hiperplano se generan 2 bandas, una en el lado negativo y otra en el lado positivo consiguiendo lo que se denomina un margen máximo a cada lado del hiperplano (Martín, 2015) como se indica en la siguiente ilustración:

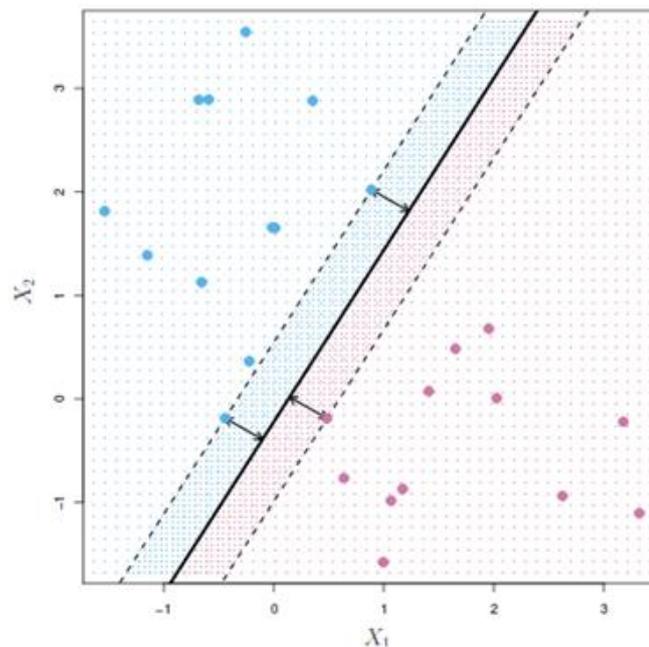


Ilustración 4. Hiperplano y máximo margen.

Fuente: Martín (2015).

En la clasificación mediante SVM se usa el margen para determinar la separación entre las dos clases de puntos. A mayor margen, mayor seguridad de que existe un hiperplano de separación bueno. En la regresión mediante SVM o también denominado Support Vector Regression, interesa determinar la función o curva óptima que esté lo más próxima posible a los datos y que modele la tendencia de los mismos, y gracias así predecir cualquier otro dato en el futuro (Martín, 2015). El problema de regresión es una generalización del problema de clasificación, en el que el modelo genera salidas de valores continuos, en lugar de categorías de pertenencia de las etiquetas (Awad y Rahul, 2015).

Para ambos casos se busca corregir la relación entre el predictando y el predictor. (Ghosh, 2010).

Support Vector Machine es utilizado especialmente en la resolución de casos no lineales mediante las funciones denominadas kernel, que transforman un espacio de pocas dimensiones en un espacio de dimensiones mayores mediante transformaciones complejas de los datos, es decir permiten trasladar los datos a un espacio donde el hiperplano de separación es lineal (Martínez, 2018), como se observa en la siguiente ilustración:

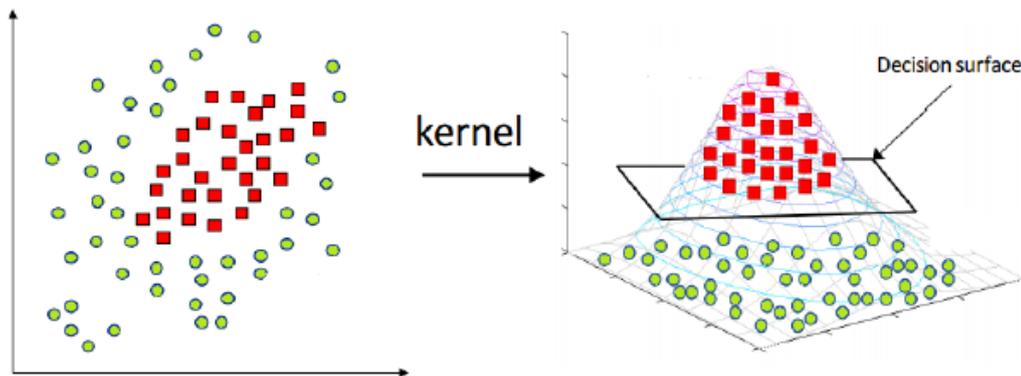


Ilustración 5. Traslado de los datos a un espacio donde el hiperplano es lineal mediante el uso del kernel.
Fuente: Vaerenbergh y Santamaría (2018).

1.9.1. Tipos de kernel de uso común

Lineal: es el kernel más simple del SVM, al ser similar a la regresión lineal, no es capaz de modelar una relación complicada (Ghosh, 2010).

Radial: posee un excelente desempeño en la captura de relaciones no lineales, por lo que es de gran utilidad para la modelación de variables climatológicas (Ghosh, 2010).

Polinomial: permite un límite de decisión mucho más flexible, sin embargo, hay que considerar que un modelo muy flexible puede ocasionar un sobreajuste de los datos (Martínez, 2018).

1.9.2. Hiperparámetros

El rendimiento del Support Vector Regression depende de hiperparámetros tales como:

Épsilon (ϵ): controla el ancho de la zona donde no se dan penalización a los errores, pudiendo afectar el número de vectores de soporte utilizados para la construcción de la función de regresión (Vasant, 2012). Valores altos de ϵ significa una mayor cantidad de errores en la solución disminuyendo el número de vectores de soporte. Si ϵ es 0 se espera un ajuste excesivo ya que se penalizan todos los errores (Kecman, 2001).

Costo (C): también llamado parámetro de regularización o factor de penalización, este parámetro penaliza los puntos de datos dentro del margen. Valores de C bajos dan un modelo simple, aumentando el número de errores de entrenamiento y provocando una suavidad en la frontera de decisión, mientras que valores de C elevados conducirán a un modelo complejo de penalización alta con poca suavidad en la frontera de decisión, en este último caso corremos el riesgo de sobreajuste (Joachims, 2002), como se observa en la ilustración 6.

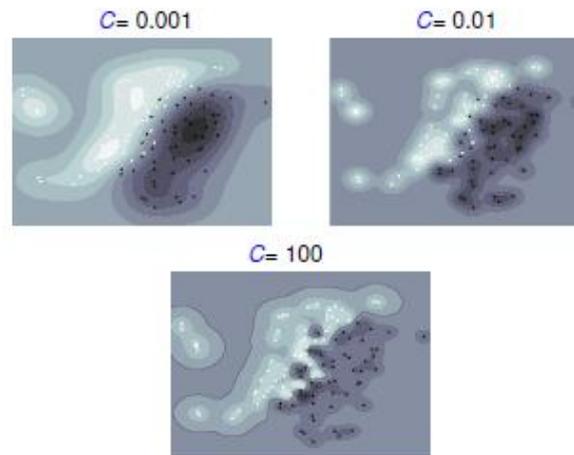


Ilustración 6. Parámetro Costo.

Fuente: Vaerenbergh y Santamaría (2018).

Gamma (γ). – parámetro necesario para todos los kernels excepto para el kernel lineal. Este parámetro indica hasta dónde llega la influencia de la solución del conjunto de entrenamiento, con valores altos de gamma se conduce a modelos de alto sesgo y baja varianza aquí se corre el riesgo de sobreajuste y valores bajos de gamma conduce a modelos de bajo sesgo y alta varianza provocando una mayor suavidad en la frontera de decisión tal como se observa en la ilustración 7 (Ito y Nakano, 2003).

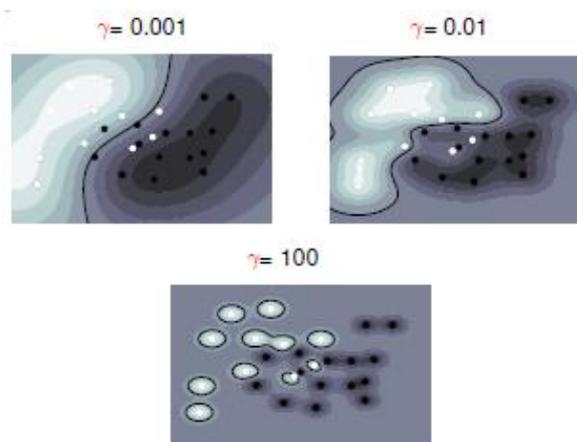


Ilustración 7. Parámetro gamma.

Fuente: Vaerenbergh y Santamaría (2018).



1.10. Colinealidad

Se refiere a la no dependencia de las variables predictoras, es decir, se busca que no exista una redundancia en la designación de predictores para un modelo de regresión, generalmente, debido a que conduce a la inflación de la varianza de los parámetros de regresión (Dormann et al., 2012).

En todas las disciplinas, se han desarrollado diferentes enfoques para abordar problemas de colinealidad, que van desde la agrupación de predictores, la preselección basada en umbrales, mediante métodos de variables latentes, uso de la contracción y regularización, entre otros (Dormann et al., 2012).

1.11. Correlación

Es un proceso estadístico mediante el cual se mide la influencia relativa de unas variables sobre otras, al analizar la relación lineal existente entre variables continuas de un cierto proceso (Gutiérrez, Cano, Cofiño, y Sordo, 2004). Los valores obtenidos están entre el rango de $-1 \leq r \leq 1$. Mientras se obtengan valores cercanos a los extremos, habrá relación; por el contrario, valores cercanos al cero demostrarán que no existe correlación entre las variables (Dormann et al., 2012).

1.12. Validación Cruzada

Tiene como objetivo seleccionar el modelo que mejor se ajuste a la realidad en función de su adaptación a otras posibles muestras de la misma población. Para su aplicación, al conjunto de datos se divide en k subconjuntos (folds), uno de los subconjuntos es destinado para validar el modelo y el resto $k-1$, para entrenar al mismo. El proceso de validación cruzada se repite en k iteraciones (ver ilustración 8) (Mangin y Mallou, 2006; Pérez-Planells, Delegido, Rivera-Caicedo, y Verrelst, 2015).

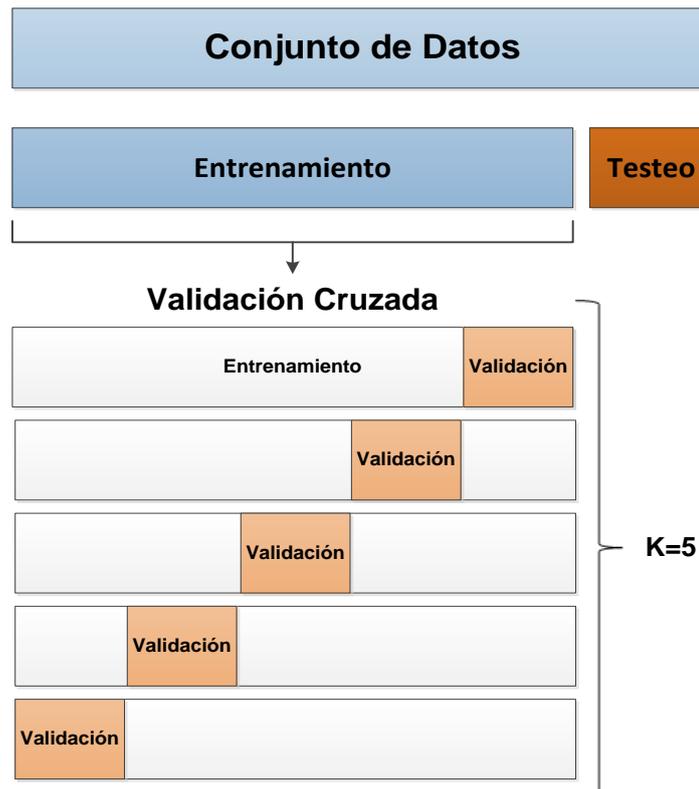


Ilustración 8. Validación Cruzada.
Fuente: Elaboración propia.

1.13. Modelación Hidrológica

La finalidad de usar modelos hidrológicos es simular, de la mejor manera, los fenómenos que ocurren realmente en una cuenca, incluyen procesos hidrológicos, climatológicos, antrópicos, entre otros. Es importante tener presente que una simulación perfecta es imposible y que existen errores del modelo y del proceso de modelación (Cabrera, 2017).

1.14. Modelo WEAP

El modelo WEAP, acrónimo en inglés de Water Evaluation and Planning System, es el Sistema de Evaluación y Planificación del Agua, un software desarrollado por el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI). Este modelo integra la gestión de los recursos hídricos y el comportamiento hidrológico de la cuenca en estudio, permitiendo al usuario un manejo robusto de herramientas para el análisis del uso del agua y la optimización en su gestión (Paul y Elango, 2018).

WEAP permite evaluar escenarios tanto climáticos como estrategias (proyectos), al modelar los procesos propios de una cuenca como la precipitación, escorrentía, comportamiento subterráneo, usos de suelo, etc. (HyG Engineering, 2017), además de aquellos derivados de la demanda para el aprovechamiento humano como la



generación hidroeléctrica, creación de embalses, demandas para el consumo: plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), sistemas de riego, entre otras.

1.14.1. Enfoque WEAP

Este software funciona usando el principio del balance hídrico, en el cual el analista representa esquemáticamente en los nodos de influencia denominados catchments o unidades hidrológicas, que son las zonas de captación y fuentes de suministro del área en estudio, así como también aquellos sitios de demanda; alimentando al sistema con la información requerida para obtener información confiable de la oferta y demanda de agua (SEI, 2009).

WEAP incluye 5 métodos para la modelación hidrológica, enumerados a continuación:

- 1) Esguerrimiento de lluvia (método del coeficiente simplificado)
- 2) Sólo demandas de riego (método del coeficiente simplificado)
- 3) Esguerrimiento de lluvia (balance hídrico entre dos baldes)**
- 4) MABIA (Doble KC, diario, FAO 56)
- 5) Desarrollo de plantas (diario, CO₂, efectos de estrés por agua y temperatura)

1.14.2. Balance Hídrico

Su concepto se deriva del balance de materia, por lo tanto, es el equilibrio entre los recursos hídricos que ingresan y los que salen del sistema, a lo largo de un tiempo determinado (HyG Engineering, 2017). El balance hídrico del sistema analizado se expresa de la siguiente manera:

$$Estado_{t+1} = Estado_t + \sum_{i=1}^N Entradas_i - \sum_{j=1}^N Salidas_j$$

Ecuación 1. Balance hídrico

1.14.3. Balance Hídrico de una Cuenca Hidrográfica

Las entradas de agua al sistema pueden darse por procesos como la precipitación, el aporte de aguas subterráneas, trasvase hídrico desde cuencas colindantes, entre otras.

Por otra parte, las salidas de agua del sistema pueden darse por evapotranspiración, evaporación de áreas inundadas, procesos de infiltración, diferentes derivaciones hacia sitios de demanda u otras cuencas, desembocadura de la cuenca hacia el mar (HyG Engineering, 2017).

1.14.4. Método de E scorrimiento de lluvia (método de la humedad del suelo)

Es el método más complejo ya que representa el balance hídrico entre dos capas de suelo por lo que también se lo llama el método de los dos baldes, ver ilustración 9. Cada balde es un subsistema del esquema, debido a que cada uno tiene sus entradas y salidas definidas (HyG Engineering, 2017).

En la capa de arriba se simula la ET considerando la caracterización del impacto del uso del suelo en los procesos de flujo del agua, los parámetros de regulación del *flujo subsuperficial* a intervenir son la lluvia y el riego, la escorrentía, el flujo lateral superficial de agua y cambios en el contenido de agua en el suelo. En la capa de abajo se simula el paso del *flujo base* y también los cambios en el contenido de agua del suelo (CCGUCC y SEI, 2009).

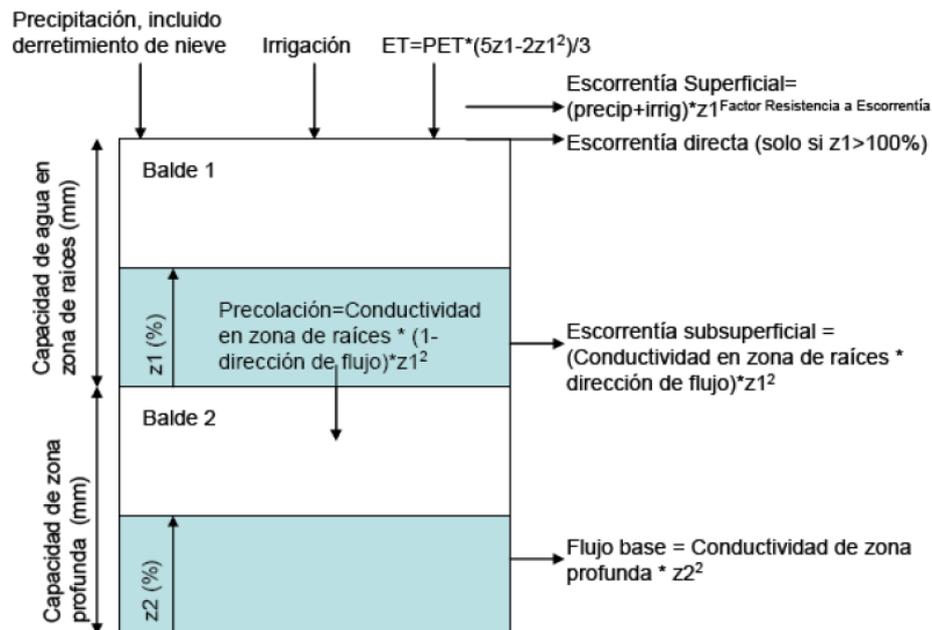


Ilustración 9. Esquema de los elementos hidrológicos.
Fuente: CCGUCC y SEI (2009).

El método de humedad del suelo se basa en funciones empíricas que describen la evapotranspiración, la escorrentía superficial y subsuperficial, y la percolación.

En el sistema de una cuenca hidrográfica, esta puede ser dividida en N catchments o subcuencas, las cuales representan zonas con diferentes usos y tipos de suelo. Se debe calcular un balance de agua para cada área j de N, suponiendo constante las series de clima para cada subcuenca (CCGUCC y SEI, 2009), el balance hídrico para cada subcuenca se define por:

$$Rd_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,j}(t) \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t)z_{1,j}^{\frac{RRF_j}{2}} - f_j k_s z_{1,j}^2 - (1 - f_j)k_s z_{1,j}^2$$

Escorrentía superficial
Flujo intermedio

Evapotranspiración
Percolación

Precipitación efectiva

Cambio en humedad del suelo

Ecuación 2. Balance hídrico del balde superior.

Nota: el término $P_e(t)$ de precipitación efectiva incluye el aporte del riego y del derretimiento de nieve

Para calcular la evapotranspiración potencial, PET , WEAP utiliza la ecuación de Penman-Monteith Modificada para un cultivo estándar de césped con una altura de 12 cm.

$$S_{max} \frac{dz_2}{dt} = \left(\sum_{j=1}^N (1 - f_j)k_{s,j}z_{1,j}^2 \right) - k_{s2}z_2^2$$

Percolación
Flujo base

Cambio en humedad del suelo

Ecuación 3. Balance hídrico del balde inferior.

El flujo de entrada a este balde es la percolación profunda del almacenamiento en la parte superior, dada en la ecuación 3.

1.14.5. Coeficiente de cultivo

El coeficiente de cultivo K_c , representa las características específicas del cultivo, entre ellas la altura, la resistencia superficial, el albedo; este coeficiente presenta una pequeña variación con el clima, sin embargo, es afectado por el manejo y el riego de los cultivos, así como por condiciones ambientales tales como presencia de plagas y enfermedades, salinidad en el suelo, etc. (López et al., 2015).

1.14.6. Componentes del esquema en WEAP

El esquema es la representación gráfica de los componentes de la cuenca mediante el uso de diferentes nodos y componentes (SEI, 2009):



- **Nodo de río:** permite marcar la ruta de los ríos por su paso a través de la cuenca.
- **Unidades hidrológicas o catchments:** representan las fuentes de suministro del recurso hídrico, comúnmente usados para definir zonas de cabecera, donde el flujo de salida alimenta la unidad hidrológica y en conjunto la cuenca
- **Nodos de escorrentía/infiltración:** establece un enlace de escorrentía/infiltración entre la unidad hidrológica y un nodo de río o agua subterránea, es decir, conecta la zona de recarga hídrica (catchment) con zonas de formación del flujo superficial (río) o subterráneo (acuífero).
- **Nodos de embalse:** representan las zonas de embalse en un río. Almacenando agua en su estructura, la misma que puede ser utilizada para abastecer demandas de consumo en el lugar en que están emplazadas, como la generación hidroeléctrica, o para su uso aguas abajo.
Cuando se necesita ingresar la generación hidroeléctrica directamente en los embalses locales, es necesario indicar el valor del máximo caudal de turbina, debido a que, al dejar el valor predeterminado de cero, el modelo no destina el recurso para este fin.
- **Nodo de energía hidroeléctrica de pasada:** definen el punto de ubicación dentro de la cuenca de las estaciones de energía hidroeléctrica con la especificación de central de pasada.
- **Nodos de derivación:** corresponden a sitios de desvío de agua entre ríos, representando estructuras creadas por el hombre como canales o tuberías. Este nodo puede tomar las características de un río, al cual es posible incorporar demás nodos.
- **Nodos de conducción.** Representan los puntos en los cuales se toma agua del río para dirigirlo hacia un sitio de demanda.
- **Nodos de flujo de retorno.** Representan los caudales de retorno procedentes de los sitios de demanda, los mismos que pueden ser devueltos hacia nodos de río, reservorio o desvío.
- **Medidores de caudal.** Marcan los puntos en los que se han realizado mediciones reales del flujo y es en estos componentes en los que se ingresan las series observadas de caudal, con el fin de comparar con los caudales simulados

1.14.7. Generación hidroeléctrica en WEAP

Existen tres métodos para definir la generación hidroeléctrica, el primero corresponde a centrales hidroeléctricas de paso, que es una opción de los complementos del esquema y las dos siguientes parten de nodos de embalse. El método de generación individual de energía para cada reservorio o mediante la energía agregada a nivel de sistema (SEI, 2015).

Es posible combinar los métodos de generación de energía como también usarlos por separado, todo depende de la realidad de la zona de estudio y el objetivo del proyecto.

1.14.7.1. Embalses de generación hidroeléctrica

La generación de energía hidroeléctrica se calcula partiendo del flujo proveniente del reservorio y que pasa a través de la turbina hasta un valor máximo de diseño.

En embalses con generación hidroeléctrica, el cálculo de la altura de caída del agua en las turbinas se calcula mediante la siguiente ecuación, partiendo de un mismo nivel de referencia (SEI, 2015), como en la ilustración 10:

$$\text{Caída} = \text{Elevación del reservorio al inicio del mes} - \text{Elevación de la cola de agua}$$

Ecuación 4. Cálculo de la altura de caída del agua en las turbinas.

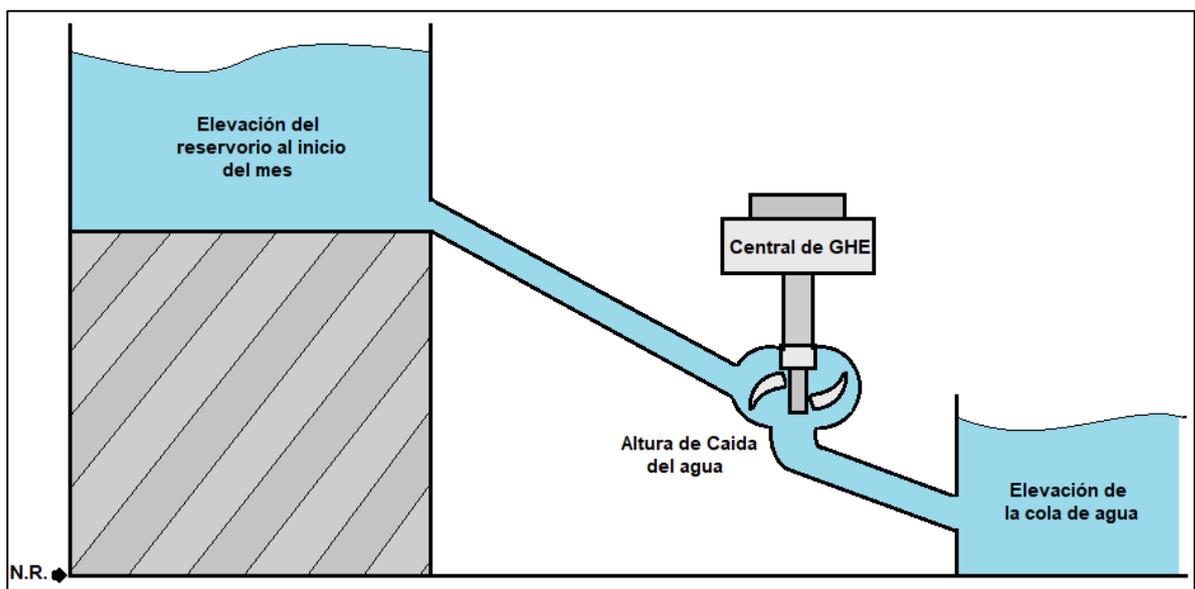


Ilustración 10. Representación de las elevaciones para la generación de energía hidroeléctrica.
Fuente: Herramienta de ayuda WEAP.

En WEAP se asume que los embalses para generación hidroeléctrica tienen una forma cilíndrica, en el cual se representan las zonas con diferentes restricciones operativas,

de acuerdo a la ilustración 11. Las zonas de conservación y amortiguamiento contienen el volumen de agua disponible para la operación de las centrales, mientras que el agua de la zona inactiva, no está disponible para la generación (SEI, 2015).

WEAP se asegura que la zona de control de inundaciones permanezca disponible, al descargar agua hacia la zona aprovechable.

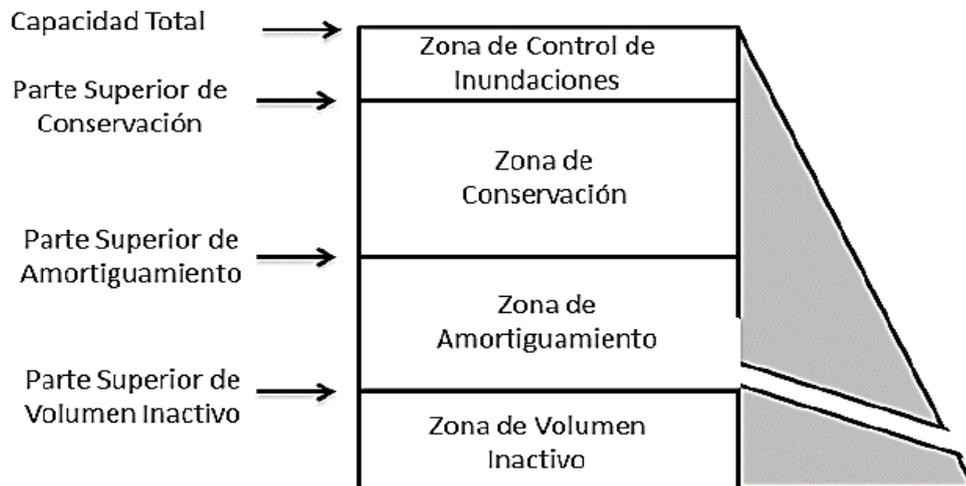


Ilustración 11. Zonas con diferentes restricciones operativas en embalses de GHE.
Fuente: SEI (2015).

1.15.8. Calibración PEST

PEST es un paquete de software disponible como una Herramienta Avanzada para la Estimación de Parámetros y el análisis de incertidumbre de modelos medioambientales complejos (Simulistics, 2017). Es necesario especificar un valor mínimo, máximo e inicial para cada parámetro. PEST establece un valor inicial predeterminado calculado como la media entre el límite superior e inferior, pero se puede ingresar una estimación diferente, preferiblemente cercana al valor esperado.

Esta herramienta realiza un análisis de incertidumbre no lineal, es decir, aplica la aleatoriedad o el error al combinar los valores de los parámetros a calibrar mediante un sinnúmero de iteraciones (C4sF, 2018). En la ilustración 12 se representa como se encuentra el mínimo global para dos parámetros en el proceso iterativo. PEST varía los valores de los parámetros de tal manera que minimiza la salida de estos de su condición preferida. Sin embargo, el logro del nivel deseado de ajuste del modelo a medida, sigue siendo el objetivo principal de PEST (Doherty y Johnston, 2003).

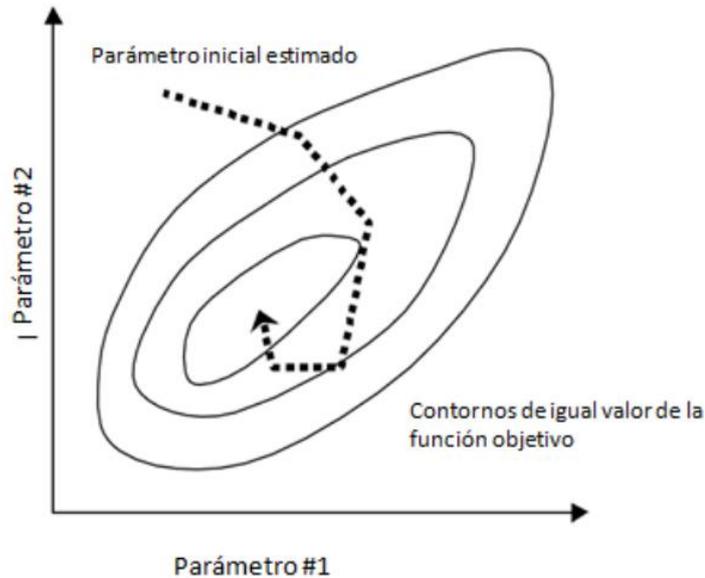


Ilustración 12. Búsqueda del mínimo global para dos parámetros.
Fuente: Doherty (2010).

Los límites inferior y superior que son ingresados en la ventana de calibración PEST, deben representar rangos razonables de calibración, son elegidos con base en el conocimiento científico y mediciones experimentales en condiciones reales de la cuenca simulada. Para ingresarlos, se debe considerar que se acerquen a la probabilidad más alta cuando se evalúan en términos de la distribución de probabilidad del parámetro anterior (Doherty, 2010).

Los parámetros de calibración resultantes disminuyen a medida que se acercan a los límites superior e inferior, por lo tanto, las probabilidades alcanzan su punto máximo entre los valores de los parámetros iniciales proporcionados, es decir, la distribución de probabilidad es más probable que se parezca a una distribución centrada en los valores de los parámetros iniciales o multi-normal, en lugar de una distribución uniforme (Doherty, 2010).

1.16. Índices de bondad de ajuste

1.16.1. NRMSE (Normalized Root Mean Square Error)

Este índice es utilizado para medir la calidad del modelo, además facilita la comparación entre un conjunto de datos con diferentes escalas (Benestad, Hanssen-Bauer, y Chen, 2008). A diferencia del RMSE y MAE no se producen sesgos cuando existen valores muy elevados. Resultados más cercanos a cero indica una mayor precisión (Hu y Ayyub, 2019). El NRMSE se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$NRMSE = 100 \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{n}}$$

Ecuación 5. Normalized Root Mean Square Error.

Donde:

N = Número total de observaciones

S_i = Valor simulado

O_i = Valor observado

n = Métodos diferentes de normalización (media, diferencia entre máximo y mínimo, desviación estándar, rango intercuartil)

1.16.2. MAE (Mean Absolute Error)

Se utiliza para medir la proximidad existente entre la simulación y los valores observados (Adetiloye y Awasthi, 2017), dando la magnitud promedio de los errores del pronóstico (Kato, 2016).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - S_i|$$

Ecuación 6. Mean Absolute Error.

Donde:

N = Número total de observaciones

S_i = Valor simulado

O_i = Valor observado

1.16.3. Coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe

Es uno de los criterios más usados en hidrología para comparar la variabilidad de las series de aportación observadas con las estimadas por un modelo (Cabrera, 2017). Como se puede ver en la tabla 2 el coeficiente NSE (siglas en inglés de Nash–Sutcliffe Efficiency), presenta una eficiencia entre 0 y 1, consiguiendo una simulación perfecta con un valor de 1, por el contrario, valores cercanos a 0 representan una simulación deficiente (Molnar, 2011).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,t} - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}$$

Ecuación 7. Coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe.

Donde:



$Q_{sim,i}$ = Caudal Simulado

Q_i = Caudal Observado

\bar{Q} = Caudal Observado Promedio

Tabla 2. Criterio para la evaluación de NSE.

NSE	Ajuste
0 – 0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 – 0.8	Muy bueno
0.8 – 1	Excelente

Fuente: Molnar (2011).

1.16.4. Coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe Logarítmico

Debido a que el NSE parte de una ecuación cuadrática, está sujeto a sobreestimar las diferencias o aciertos del modelo frente a datos observados. Aplicando la transformación logarítmica a los caudales, se consigue dejar los picos altos y bajos a una escala comparable, mejorando los resultados de eficiencia de las series (Molnar, 2011).

$$NSE \ln = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\ln(Q_{sim,i}) - \ln(Q_i))^2}{\sum_{i=1}^n (\ln(Q_i) - \ln(\bar{Q}))^2}$$

Ecuación 8. Coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe Logarítmico.

1.17.3. Sesgo porcentual

Mide la tendencia promedio de los valores simulados por el modelo, a ser más grandes o más pequeños de los datos observados. Si el ajuste es perfecto, el valor de PBIAS es igual a 0.

$$PBIAS = 100 * \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_i)}{\sum_{i=1}^n (Q_i)} \right]$$

Ecuación 9. Sesgo porcentual.

1.17.4. Coeficiente de correlación lineal (Pearson)

Representa la relación lineal entre los caudales observados y simulados (Cabrera, 2017), se expresa como:

$$r = \frac{S_{obs,sim}}{\sqrt{S_{obs}S_{sim}}}$$

Ecuación 10. Coeficiente de correlación

Donde,

$$S_{obs,sim} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}) (Q_{sim,i} - \bar{Q}_{sim})$$

$S_{obs,sim}$ = covarianza sin sesgo entre los caudales observados y simulados.

$$S_{obs} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \quad \text{y} \quad S_{sim} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - \bar{Q}_{sim})^2$$

S_{obs} y S_{sim} = varianzas sin sesgo de los caudales observados y simulados.

1.18. Método de Simulación Monte Carlo

Montecarlo es un proceso estocástico numérico, se ejecuta utilizando algoritmos que generan valores aleatorios (McMurracy, Timothy, y Felipe, 2017), el cual toma un modelo que imita un sistema real y lo adapta en distintos escenarios, realizando varias simulaciones (Santaniello y Filipo, 2003), lo que permite obtener una visión más completa de todos los resultados posibles de un evento, y en el caso de evaluar un impacto nos permita tomar mejores decisiones (Santaniello y Filipo, 2003).

Esta simulación consiste en dotar al modelo con números aleatorios, por lo que Monte Carlo necesita de un modelo el cual será el elemento de simulación y los datos para el mismo. Al simular, el modelo se calcula cientos o miles de veces, generando valores aleatorios basados en las distribuciones de probabilidad de los datos de entrada (Santaniello y Filipo, 2003).

Las distribuciones de probabilidad más comunes son:

- **Normal:** los valores tienden a una distribución simétrica, uno de los casos más sencillos es con una media de 0 y una desviación estándar de 1 (McMurracy, Timothy, y Felipe, 2017);
- **Lognormal:** es bastante común, sus frecuencias no se distribuyen de forma normal, pero si sus logaritmos (Santaniello y Filipo, 2003);
- **Uniforme:** todos los valores de esta distribución tienen la misma probabilidad de producirse dentro de un rango definido, es útil para representar variables físicamente limitadas (McMurracy, Timothy, y Felipe, 2017);
- **Triangular:** es una distribución asimétrica en donde se deben definir valores mínimos, máximos y un valor probable (McMurracy, Timothy, y Felipe, 2017).

1.19. Eficiencia del Sistema de Riego

La eficiencia de un proyecto de riego involucra el manejo adecuado del agua en un predio agrícola (Maldonado, 2001), es decir es la relación entre la cantidad de agua que utilizan las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la captación (DGIAR, 2015).

La eficiencia de un sistema de riego puede expresarse como:

$$Efr = Efc \times Efd \times Efa$$

Ecuación 11. Eficiencia del Sistema de Riego

Donde:

Efc = Eficiencia de conducción

Efd = Eficiencia de distribución

Efa = Eficiencia de aplicación

Eficiencia de conducción

Evalúa la pérdida de agua producto de la evaporación, permeabilidad, entre otros, que se produce a lo largo del canal principal, desde la captación hasta que se empieza a distribuir el agua (Carranza, 2017).

Eficiencia de distribución

Mide la pérdida que se produce entre la toma lateral del canal principal, hasta la entrega a los usuarios del proyecto de riego (DGIAR, 2015). Comprende las acequias de distribución hacia las parcelas (Carranza, 2017).

Eficiencia de aplicación

Mide la eficiencia considerando el método de riego utilizado, debido a que se producen pérdidas durante la aplicación del agua a los cultivos (Maldonado, 2001).

1.20. Índices de vulnerabilidad

Para el IPCC (2007) la vulnerabilidad refleja la capacidad de un sistema o subsistema para afrontar la variabilidad climática y eventos extremos.

El análisis del impacto climático se realiza para diferentes modelos climáticos regionales (RCM) para obtener varios indicadores y evaluar la vulnerabilidad del sistema, con el objetivo de aplicar algunas medidas de adaptación y mitigar los



impactos del cambio climático. Con el desarrollo un modelo de gestión del agua se permite a los responsables de la toma de decisiones conocer la probabilidad de fallas en el suministro ya que incluye la estimación del rendimiento del sistema de recursos hídricos, además de conocer la evolución de los suministros de agua y las reservas de agua. Por lo tanto, estos resultados de las predicciones del cambio climático permiten a los tomadores de decisiones adoptar las medidas necesarias para reducir la vulnerabilidad del sistema (Suárez-Almiñana, Pedro-Monzonís, Paredes-Arquiola, Andreu, y Solera, 2017).

Según definiciones del IPCC se puede considerar a la vulnerabilidad como la unión de tres grandes dimensiones la exposición, la sensibilidad y a la capacidad de adaptación (Mussetta, Barrientos, Acevedo, Turbay, y Ocampo, 2017), en donde la exposición tiene una mayor influencia sobre la vulnerabilidad con un 50 % y la sensibilidad y capacidad de adaptación con un 25 % respectivamente (Mapplecroft, 2014).

1.20.1. Exposición

El índice de exposición hace referencia al grado de estrés climático sobre una unidad en particular de análisis, puede estar representada por cambios en las condiciones climáticas o en la variabilidad climática, donde se incluye la magnitud y frecuencia de eventos extremos (Monterroso, Gay, Gómez, y López, 2010).

1.20.2. Sensibilidad

Analiza la susceptibilidad o sensibilidad de un grupo de personas ante los fenómenos extremos relacionados con el clima como: sequías; inundaciones; deslaves; incendios forestales; tormentas; elevación del nivel del mar; entre otros (Mapplecroft, 2014).

1.20.3. Capacidad Adaptativa

Evalúa la capacidad o habilidad de un sistema para enfrentar de una mejor manera o anticiparse a los factores que impulsan el cambio climático (Monterroso et al., 2010). Esto depende de criterios como: fortaleza económica; estabilidad política; grado de transferencia del conocimiento; desarrollo de tecnologías, prácticas innovadoras; disponibilidad de recursos naturales entre otras actividades vulnerables para sostener la economía (Mapplecroft, 2014).

2. METODOLOGÍA

2.1. Caracterización de la zona de estudio

2.1.1. Descripción general

La subcuenca del Río Machángara se encuentra en el austro ecuatoriano; perteneciente a la cuenca del Paute, en el sistema hidrográfico del Santiago, ocupa un territorio de 32.500 hectáreas localizadas en las parroquias de Checa, Chiquintad, Sinincay, Sayausí, Octavio Cordero Palacios, Ricaurte, Sidcay, Jerusalén, Nazón, Turupamba, Cojitambo, Déleg, Javier Loyola y Solano, de las provincias de Azuay y Cañar (ETAPA EP, 2019).

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó información cartográfica en la cual se divide a esta subcuenca en tres microcuencas (ver ilustración 13), al oeste la Microcuenca del Río Chulco, al noreste por la Microcuenca del Río Machángara Alto y al sur la Microcuenca del río Machángara Bajo.

Subcuenca del Río Machángara

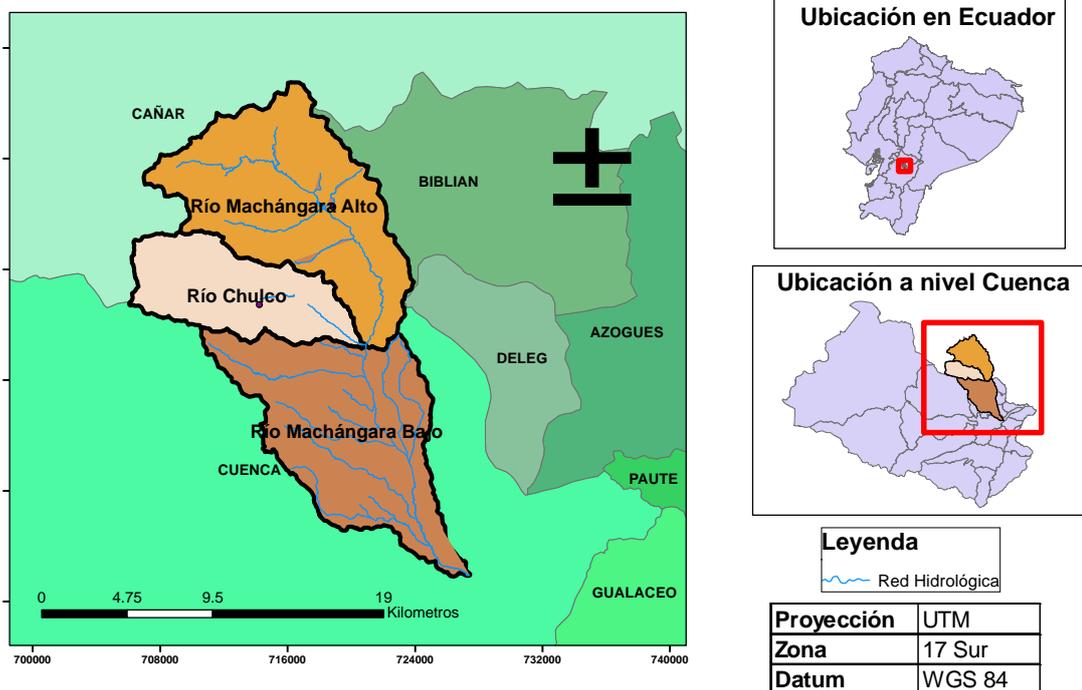


Ilustración 13. Subcuenca del Machángara.

Fuente: Elaboración Propia.



2.1.2. Usos del agua

La subcuenca del Río Machángara, suministra actualmente alrededor de 850 l/s para el abastecimiento de aproximadamente el 50 % de agua potable de la ciudad de Cuenca y comunidades aledañas, debido al aporte del recurso hídrico en la Planta de Agua Potable de Tixán.

En esta misma cuenca, gracias a los embalses de El Labrado 6 Hm³ y de Chanlud con 17 Hm³, sobre los ríos Chulco y Machángara respectivamente, ELECAUSTRO tiene una potencia instalada, en las centrales de Saucay y Saymirín de 38,4 MW generando una energía de alrededor de 200 millones de KW al año que se entrega al sistema nacional interconectado. El tercer gran servicio adquirido por las aguas del río está relacionado con los tres sistemas de riego pertenecientes a los canales Checa-Sidcay-Ricaurte, Machángara y San José y San Antonio de Chiquintad, los mismos que dan uso al agua turbinada de las centrales hidroeléctricas para regar alrededor de 1500 ha de cultivos. Por último, el servicio escénico de la vegetación y cursos de agua de la subcuenca, proporcionan el hábitat excelente, donde alberga numerosas especies de flora y fauna en las zonas media y alta (Consejo de Cuenca del Río Machángara, 2015).

2.1.3. Características topográficas

Topográficamente la cuenca del río Machángara presenta un relieve muy irregular por lo que se divide en una zona alta (3500 a 4500 m.s.n.m.), media (2600 a 3500 m.s.n.m.) y baja (2500 a 2600 m.s.n.m.) (Villavicencio y Chávez, 2011). Dentro de la cuenca se encuentran elevaciones importantes como Lomas de Santa Teresita de Chiquintad, Corpanche, Zhiglla, Aya Loma, Loma Campana, Huanduc (Villavicencio y Chávez, 2011).

Perfil topográfico

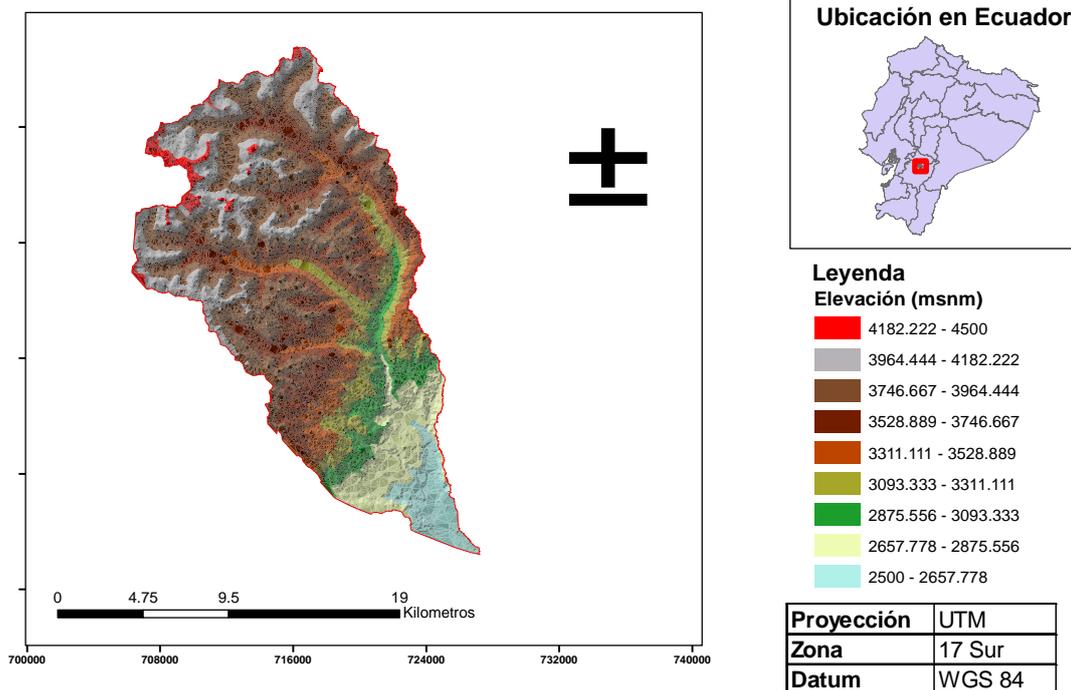


Ilustración 14. Perfil topográfico de la subcuenca del Machángara.
Fuente: Elaboración Propia.

2.1.4. Características Climatológicas

Las variables climatológicas como la precipitación y humedad relativa, presentan un incremento en sus valores según el aumento de la altura, por el contrario, los valores de temperatura decrecen al alcanzar mayor altitud, así: la cuenca alta del Río Machángara (4000 m.s.n.m.) presenta una precipitación media anual entre 1000 y 1250 mm, mientras que en la parte baja de la misma, se registran valores de 500 mm. En cuanto a la humedad relativa, en Cuenca (2516 m.s.n.m.) se tienen valores del 72% y en El Labrado (3335 m.s.n.m.) se observa 88% (Villavicencio y Chávez, 2011).

La temperatura media mensual oscila entre los 8,4 a 15,4 °C, encontrándose que en el área de estudio se tiene una reducción de 1 °C, por cada 300 m de elevación (Villavicencio y Chávez, 2011).

Debido a las zonas de alta montaña presentes en la subcuenca, en gran parte del área especialmente en zonas de páramo, las lluvias son frecuentes, permaneciendo un clima lluvioso húmedo. En cuanto a las variaciones de temperatura, al igual que la precipitación, dependen de la época del año; en meses de verano, el clima es cálido con temperaturas entre los 15 y 25 °C, mientras que los períodos fríos se presentan en los meses de agosto, septiembre y diciembre (Villavicencio y Chávez, 2011)

2.2. Análisis de las bases de datos para la selección de predictores

Se analizaron distintas bases de datos de modelos climáticos globales y regionales y al final se utilizaron únicamente 3: CMIP5 que contiene modelos a nivel global, CORDEX el cual abarca modelos a nivel regional (Sudamérica) y WRF, que incluye modelos a nivel de Ecuador. De cada una de las bases de datos se realizó un análisis preliminar para identificar aquellos modelos que cumplen con los períodos de tiempo requeridos y variables disponibles, los modelos descartados fueron aquellos que no poseían datos históricos (1982 – 2005), datos futuros para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 (2011-2050) y los modelos que no contaban con las variables mínimas necesarias que se establecen en distintos estudios para el uso del SVM. Se descargaron en total 15 modelos del CMIP5, 8 modelos de CORDEX y 5 modelos del WRF (ver tabla 3). Para el caso de la base de datos del CMIP5 y WRF se descargaron únicamente las variables hurs, pr, rsds, sfcWind, tas, tasmax, tasmin, vas, uas, debido a que las demás variables no se encontraban disponibles o presentaban errores (ver tabla 4).

Tabla 3. Modelos Climáticos utilizados

Modelos Globales (CMIP5)	Modelos Regionales (CORDEX)	Modelos a nivel de Ecuador (WRF)
ACCESS1.0	CCCma	CSIRO
ACCESS1.3		
CanESM2	CSIRO	Ensamble
CNRMCM5		
CSIROMk3.6.0	IPSLCM5A	Ensamble
GISSE2H		
GISSE2HCC	MIROC	GISS
GISSE2R		
GISSE2RCC	MOHC	IPSLCM5A
IPSLCM5A		
IPSLCM5B	MPI	IPSLCM5A
MIROC5		
MIROCESM	NCC	MIROC
MIROCESM-CHEM		
MRI	NOAA	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Predictores o variables climáticas.

Variables	Predictores		
	Significado	Variables	Significado
hurs	Humedad relativa cerca de la superficie	tasmin	Temperatura mínima diaria del aire cerca de la superficie
hus850	Humedad específica a 800 hPa	ua200	Viento del este a 200hPa
Pr	Precipitación	ua500	Viento del este a 500hPa
psl	Presión a nivel del mar	ua850	Viento del este a 850hPa
rsds	Radiación de Onda Corta descendente superficial	uas	Viento del este cercano a la superficie
sfcWind	Velocidad del viento cerca de la superficie	va200	Viento del norte a 200hPa
ta200	Temperatura del aire a 200hPa	va500	Viento del norte a 500hPa
ta500	Temperatura del aire a 500hPa	va850	Viento del norte a 850hPa
ta850	Temperatura del aire a 850hPa	vas	Viento del norte cercano a la superficie
Tas	Temperatura del aire cerca de la superficie	zg200	Altura Geopotencial a 200hPa
tasmax	Temperatura máxima diaria del aire cerca de la superficie		

Fuente: WCRP CORDEX (2015).

2.3 Extracciones

La data de salida de las plataformas de descarga para los modelos climáticos globales y regionales son presentadas en archivos con formato netCDF, este es un formato estándar no sólo para datos de observación geofísicos sino también para resultados de modelos numéricos. Se utilizó la paquetería ncdf4 del software R para la extracción de los datos. Todas las variables climáticas o predictoras fueron extraídas en función de 9 estaciones: Chanlud, Labrado, Jacarín, Ucubamba, Aeropuerto, Biblián, Ricaurte, Chirimachay, Surucucho.

2.4. Análisis inicial de los datos

2.4.1 Colinealidad

Como primer paso a los predictores de cada modelo climático se le realizó una preselección basada en umbrales, en donde el valor del coeficiente de correlación considerado apropiado para la eliminación de variables fue de $|r| > 0.9$; si se disminuye este umbral, el número de predictores también lo hará, alterando el desempeño del modelo.



En el caso de no saber qué predictor redundante va a eliminarse, se analizó su correlación con los demás predictores, eliminando aquella que mayor número de veces sobrepase el umbral establecido, o que se acerque al mismo. En la tabla 5, el color rojo indica qué variable fue eliminada y, el color azul indica cuándo la correlación entre variables supera el umbral definido. En los anexos del 1 al 13 se puede observar las variables que fueron eliminadas para los mejores modelos por cada estación.

Tabla 5. Correlación y eliminación de variables redundantes para el modelo CSIRO (WRF).

Labrado - CSIRO (WRF)									
	hurs	pr	Rsds	sfcwind	tas	tasmax	tasmin	uas	vas
Hurs	1	0.54	-0.91	0.54	0.15	-0.05	0.34	0.63	0.4
Pr		1	-0.48	0.1	0.15	-0.23	0.6	0.18	0.25
Rsds			1	-0.65	-0.04	0.12	-0.24	-0.73	-0.39
sfcwind				1	0.15	0.28	-0.16	0.97	-0.05
Tas					1	0.82	0.55	0.15	0.12
Tasmax						1	-0.03	0.23	-0.07
Tasmin							1	-0.07	0.31
Uas								1	0.06
Vas									1

Fuente: Elaboración propia.

2.5. Reducción de escala estadística

Los predictores obtenidos a través de los modelos climáticos se encuentran a escala global, regional y de Ecuador, por lo que es necesario aplicar una reducción de escala estadística para llegar a un nivel de estación, para esto se eligió el método de Machine Learning denominado Support Vector Machine (SVM), específicamente su expansión Support Vector Regression (SVR) como alternativa eficaz al uso de redes neuronales para casos de predicción y reducción de escala (Tripathi, Srinivas, y Nanjundiah, 2006).

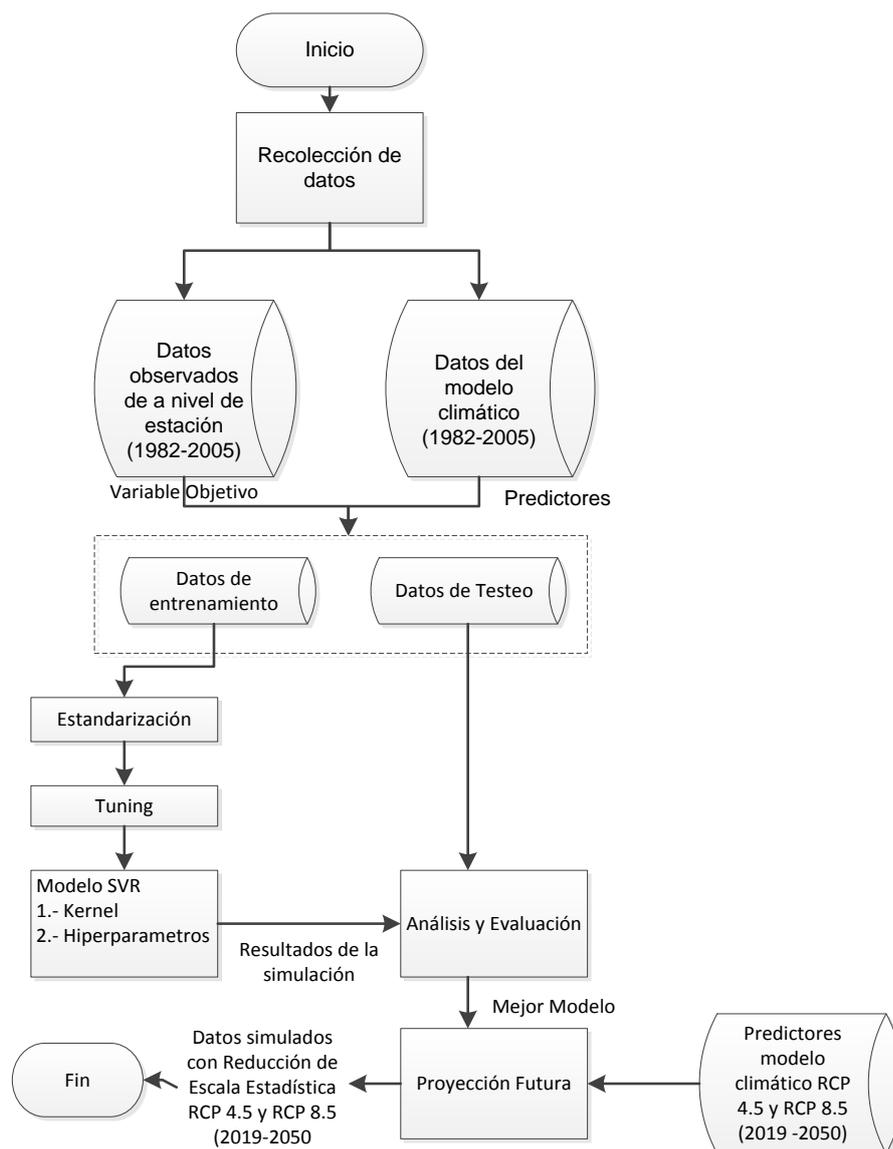


Ilustración 15. Metodología de SVR.
Fuente: Elaboración propia.

2.5.1. Selección de la variable objetivo y predictores

El SVR necesita de una variable objetivo la cual será objeto de la simulación futura para los escenarios RCP 8.5 y 4.5. En el caso de este estudio se designó como variables objetivo a aquellas en donde se tenía datos observados por cada estación (ver tabla 6). Además, el SVR necesita de predictores, los cuales podrían influir en el comportamiento de la variable objetivo, estos se consiguen a través de bases de datos de modelos climáticos como CMIP5, CORDEX y WRF (ver tabla 4).



Tabla 6. Variables objetivo por cada estación.

Estación	Variables objetivo
Chanlud	Precipitación, Temperatura, Humedad, Viento.
Labrado	Precipitación, Temperatura, Humedad, Viento.
Jacarín	Precipitación, Temperatura.
Ucubamba	Precipitación, Temperatura.
Aeropuerto	Precipitación, Temperatura.
Biblián	Precipitación, Temperatura.
Surucucho	Precipitación.
Ricaurte	Precipitación.
Chirimachay	Precipitación.

Fuente: Elaboración propia.

2.5.2. División de los datos en training y testing.

Para la aplicación del modelo del SVR al conjunto de datos entre el período 1982 – 2005, se lo dividió en 80 % para entrenamiento y 20 % para testeo del modelo.

Los datos de entrenamiento servirán para que el modelo de Machine Learning determine la función que mejor se ajusta a los predictores y la variable objetivo, mientras que los datos de testeo fueron útiles para comparar y saber si el modelo simula correctamente la variable objetivo.

2.5.3. Estandarización

Al tener una diferencia entre las magnitudes de las variables objetivo y los predictores, se podrían generar problemas en la etapa de aprendizaje y entrenamiento del modelo, influenciando negativamente en la regresión, ya que a mayor valor tienen una mayor influencia sobre el margen del hiperplano, por lo que fue necesario realizar una estandarización de los datos mediante la estandarización gaussiana, que es la más común, a través de la ecuación 12 (Gutiérrez, González, García, Trueba, y Primo, 2004).

$$x_n = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Ecuación 12. Estandarización Gaussiana

Donde:

μ = corresponde a la media aritmética de cada variable de la data

σ = es la desviación estándar de cada variable



2.5.4. Selección del Kernel

Para la simulación se designó el kernel radial, debido a que captura de una mejor manera las correlaciones no lineales.

2.5.5. Tuning de Hiperparámetros

Al conjunto de entrenamiento se le aplicó un tuning, este sirvió para encontrar los hiperparámetros óptimos del SVR como Gamma, Épsilon y Costo, mediante el uso de la función `tune.svm` que se encuentra dentro del software R, que además realiza una validación cruzada, permitiendo encontrar el modelo óptimo de simulación.

2.5.6. Comparación de los valores simulados con el conjunto de testeo.

Una vez entrenado y validado el modelo se realizó una simulación de la variable objetivo y se comparó con los datos de testeo para comprobar su rendimiento, en donde obtuvo índices de bondad de ajuste tales como el Coeficiente de Correlación, Error Medio Absoluto, el Error Cuadrático Medio Normalizado y PBIAS.

2.5.7. Determinación del mejor modelo climático por cada estación.

Todo el procedimiento del SVR (ver ilustración 15) se aplicó a los 28 modelos climáticos por cada variable objetivo, de cada estación resultando un total de 532 veces de aplicación.

Para determinar el modelo climático que mejor se adaptó a cada variable objetivo, de cada estación, después de haber aplicado la reducción de escala estadística, se analizó cuál tenía mejores índices de bondad de ajuste, como se indica del anexo 14 al anexo 18.

2.5.8. Proyección futura con reducción de escala estadística de las variables objetivo.

Una vez determinado el modelo climático que mejor se ajustó a cada estación y variable, se introdujeron al modelo los predictores climáticos futuros pertenecientes al modelo climático para los escenarios RCP 8.5 y 4.5, consiguiendo datos futuros con reducción de escala.



2.6. Modelación hidrológica con WEAP

2.6.1. Definición del proyecto

2.6.1.1. Objetivo del Proyecto

Realizar el modelo hidrológico de la subcuenca del Río Machángara para evaluar la repercusión en los caudales de oferta futura según los escenarios de cambio climático RCP4.5 y RCP8.5.

2.6.1.2. Datos Generales

- Ubicación del proyecto

Se modeló la **subcuenca del Río Machángara** y sus tres microcuencas. La zona alta de la subcuenca representa el área de recarga hídrica, es por ello que las microcuencas del Chulco y Machángara Alto corresponden a las unidades hidrológicas de modelación y en la zona media baja de la subcuenca, correspondiente a la microcuenca de Machángara Bajo, se ubican los sitios de demanda del recurso hídrico.

- Período de simulación

En la siguiente tabla se detallan los pasos de tiempo ingresados en WEAP para la creación de escenarios:

Tabla 7. Períodos de modelación

Tipo	Cálculo	Período	Número de años
Período de modelación	Total	1998-2018	21
Año base	Cuentas corrientes	1998	1
Calibración	4/5 del total, fuera de cuentas corrientes	1999-2014	16
Año base	Cuentas corrientes	2015	1
Validación	1/5 del total, fuera de cuentas corrientes	2016-2018	3
Año base	Cuentas corrientes	2018	1
Futuro	Horizonte definido	2019-2050	32

Fuente: Elaboración propia

- Paso de tiempo de la simulación (**Mensual**)
- Métodos



Escoger el método de cálculo del balance hídrico a usar con el elemento catchment¹ (unidad hidrológica), determina la complejidad y el objetivo perseguido con la modelación (SEI, 2009).

El método de Escurrimiento de lluvia (método de la humedad del suelo), fue el método utilizado para la modelación, debido a que es el más complejo al representar el balance hídrico entre dos capas del suelo, la superior representa a la zona radicular, mientras que la inferior constituye la modelación de la zona base y de escurrimiento hacia acuíferos.

2.6.2. Recolección de la data

2.6.2.1. Datos de Sitios de Demanda

Los sitios de demanda, como se mencionó en la sección 2.1.2. de uso del agua de la caracterización de la zona de estudio, corresponden a los sistemas implementados en el Complejo Machángara. Gracias a estos, gran parte de la ciudad de Cuenca es abastecida en servicios de energía eléctrica, agua potable y agua para riego.

La ubicación geográfica de los sitios de demanda está distribuida en toda la subcuenca, con una mayor presencia en la parte baja del Machángara, debido a que las microcuencas del Chulco y Machángara Alto son zonas de recarga hídrica (ver ilustración 18 del esquema en WEAP). En la tabla 8 se detallan los sitios de demanda y el tipo al que pertenece cada uno:

Tabla 8. Sitios de Demanda del Recurso Hídrico

Sistema	Sitio de demanda	Funciones
Embalses	El Labrado	Regulación de caudales Aprovechamiento para alimentar los demás sistemas
	Chanlud	Reservas para épocas de estiaje
Planta de potabilización de agua	PTAP Tixán	Abastecimiento de agua potable aproximadamente al 60% de la población cuencana
Canales de riego	“Junta General del Sistema de Riego Checa-Sidcay-Ricaurte	Abastecer a la comunidad de Ricaurte
	“Junta General de Usuarios de Sistema de Riego Machángara”	Abastecer a la comunidad de Chiquintad

¹ Los catchments corresponden a las zonas de captación, es decir las microcuencas de Chulco y Machángara Alto.



Sistema	Sitio de demanda	Funciones
	“Directorio de Agua de San José y San Antonio de Chiquintad	Abastecer a las comunidades de San José y San Antonio
Reservorios para la Generación Hidroeléctrica	Tuñi	Alimentar a la central de generación hidroeléctrica Saucay
	Dutasay	Alimentar a la central de generación hidroeléctrica Saymirín

Fuente: Consejo de Cuenca del Río Machángara (2015)

2.6.2.2. Datos Hidrometeorológicos

Corresponden a la información climática ingresada en las unidades hidrológicas (catchments). Su disponibilidad representa uno de los mayores factores de importancia para la modelación, debido a que definen el período de simulación.

2.6.2.3. Series de Precipitación

Se usaron datos observados de precipitación de las nueve estaciones mencionadas en el capítulo anterior, las cuales están distribuidas dentro y fuera de la subcuenca con el fin de obtener mayor información para generar los mapas de isoyetas (ver ilustración 16). Las series de tiempo de precipitación para cada banda de elevación fueron obtenidas aplicando la interpolación por medio de la distancia inversa ponderada (IDW), y el resultado fue tomado de los centroides de cada microcuenca.

Las series resultantes de precipitación mensual observadas, corresponden al período de modelación de 1998 al 2018. También se obtuvo series futuras, del 2019 al 2050 para ambos escenarios planteados RCP4.5 y RCP8.5, al ingresar las proyecciones conseguidas en la reducción de escala previa.

Mapa de Isoyetas

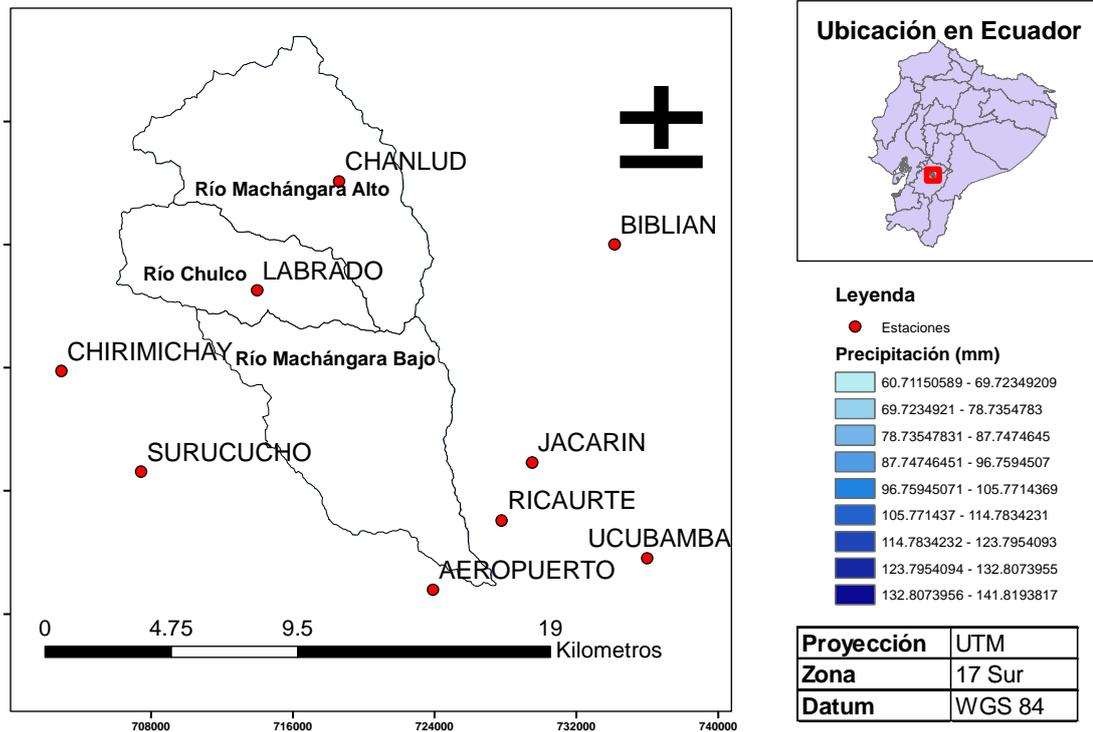


Ilustración 16. Mapa de Isoyetas de subcuenca del Río Machángara.

Fuente: Elaboración propia.

2.6.2.4. Series de Temperatura

De la misma manera que para la obtención de isoyetas, se aplicó la metodología de la interpolación IDW para generar los mapas de isotermas con información observada y proyecciones futuras de seis estaciones meteorológicas, tres dentro de la subcuenca y las demás, de puntos fuera de la misma.

Mapa de Isothermas

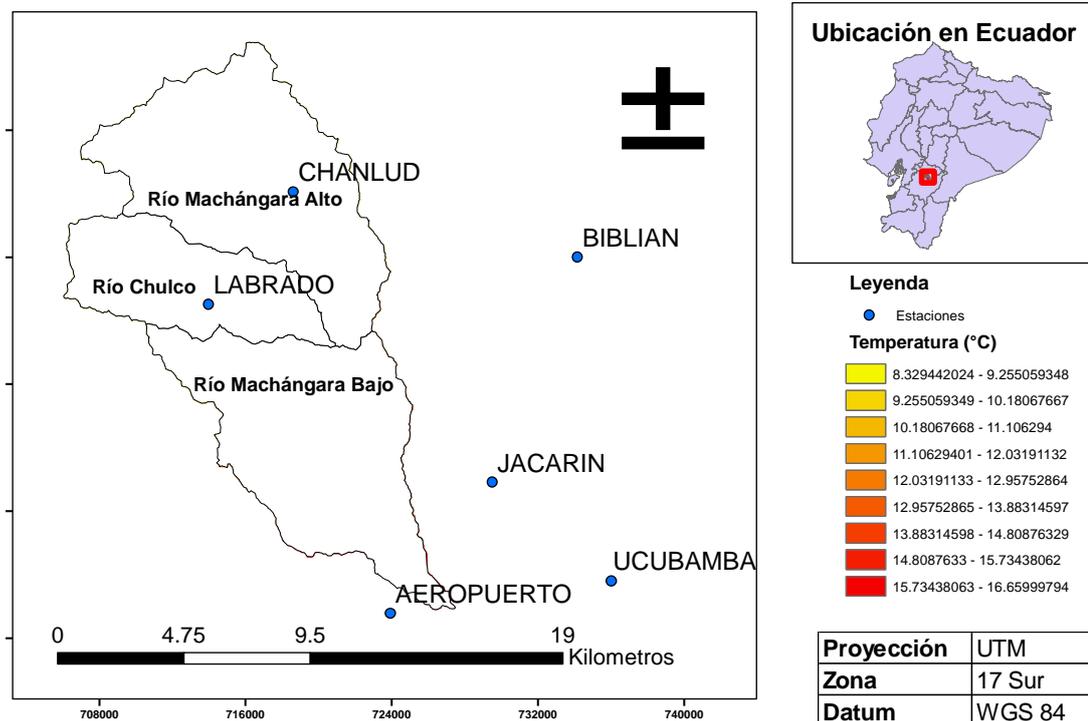


Ilustración 17. Mapa de Isothermas de la subcuenca del Río Machángara.

Fuente: Elaboración propia.

2.6.2.5. Series de Velocidad del Viento y Humedad Relativa

Las series de viento y humedad relativa observadas corresponden a información del INAMHI, para las estaciones de Chanlud y Labrado en el período de modelación de enero de 1998 a diciembre de 2018. Las proyecciones futuras en cambio, corresponden a datos provenientes de la reducción de escala estadística aplicando la metodología de Support Vector Machines, para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, en el período de enero de 2019 a diciembre de 2050.

2.6.2.6. Caudales

Corresponden a mediciones mensuales provenientes de los medidores de caudal instalados en las presas de Chanlud y Labrado en un período semejante al de la simulación.



2.6.2.7. Datos de Uso de Suelo

2.6.2.7.1. Definir coberturas

La información cartográfica base para la construcción del modelo, cuenta con información del año 2010 del tipo de suelo por microcuenca, encontrándose un total de siete diferentes tipos de uso del suelo.

2.6.2.7.2. Parámetros de uso del suelo

A continuación, se presentan los parámetros de uso del suelo, su descripción y las unidades/rangos.

Parámetro	Descripción	Unidad/Rangos
Capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces (Sw).	La capacidad efectiva de retención de agua de la capa superior del suelo, ("cubo" superior).	mm 0 y superior. Por defecto 1000mm
Capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda (Dw).	Capacidad de retención de agua efectiva en la capa más baja del suelo ("cubo" inferior). Esto se da como un valor único para la cuenca y no varía según el tipo de suelo.	mm 0 y superior. Por defecto 1000mm
Factor de resistencia a la escorrentía (RRF).	Controla la respuesta a la escorrentía superficial, por lo tanto, está relacionado con el índice de área foliar y la pendiente del terreno. La escorrentía tenderá a disminuir con valores más altos, además puede variar entre los tipos de suelo.	Adimensional 0 a 10. Por defecto 2
Conductividad de zona de raíces (Ks).	La tasa de conductividad de la zona raíz ("cubo" superior) a plena saturación (cuando $z_1 = 1$), se dividirá, de acuerdo con la Dirección preferencial del flujo, entre el flujo subsuperficial y el flujo base. Este valor puede variar entre los tipos de suelo.	mm/mes Por defecto 20 mm/mes
Conductividad de la zona profunda (Kd).	Tasa de conductividad (longitud / tiempo) de la capa profunda ("cubo" inferior) a plena saturación (cuando $z_2 = 1$), que controla la transmisión del flujo base, siendo directamente proporcional a la generación	mm/mes 0.1 y superior. Por defecto 20 mm/mes



	de este. Es ingresado como un valor único para el catchment.	
Dirección preferencial de flujo (f).	Valor de 1 = 100% flujo horizontal, 0 = 100% de flujo vertical. Se utiliza para dividir el flujo que sale de la capa de la zona de la raíz ("cubo" superior) hacia la capa inferior del suelo ("cubo" inferior). Este valor puede variar entre los tipos de suelo.	Adimensional 0 a 1. Por defecto 0.15
Z1 inicial	Valor inicial de Z1 al comienzo de una simulación. Z1 es el almacenamiento relativo dado como un porcentaje del almacenamiento efectivo total de la capacidad de agua de la zona radicular.	% 0 al 100%. Por defecto 30
Z2 inicial	Valor inicial de Z2 al comienzo de una simulación. Z2 es el almacenamiento relativo dado como porcentaje del almacenamiento efectivo total del cubo de suelo inferior (capacidad de agua profunda).	% 0 al 100%. Por defecto 30

Fuente: (CCGUCC y SEI, 2009)

2.6.2.8. Archivos tipo Shape

La información cartográfica necesaria para la creación del esquema del modelo hidrológico debe estar georreferenciada en el Sistema de Coordenadas Geográficas: GCS_WGS_1984; Datum: D_WGS_1984. Los archivos ingresados fueron:

- Contorno de la subcuenca
- Ríos
- Delimitación de las cuencas
- Puntos centroides de las microcuencas
- Puntos de ubicación de las estaciones hidrometeorológicas

2.6.3. Construcción del modelo

2.6.3.1. Construcción del esquema

La ubicación de los sitios de demanda, los canales de conducción representados por derivaciones, las líneas de conducción y flujo de retorno, entre otros componentes, corresponden a una aproximación geográfica de la ubicación real de los lugares de emplazamiento.

La ilustración 18 representa el esquema desarrollado para el modelamiento de la subcuenca del Machángara, haciendo uso de los siguientes complementos:

- Creación del proyecto en WEAP
- Uso de los archivos tipo shape
- Trazo de ríos y canales
- Ubicación de sitios de demanda
- Otros componentes

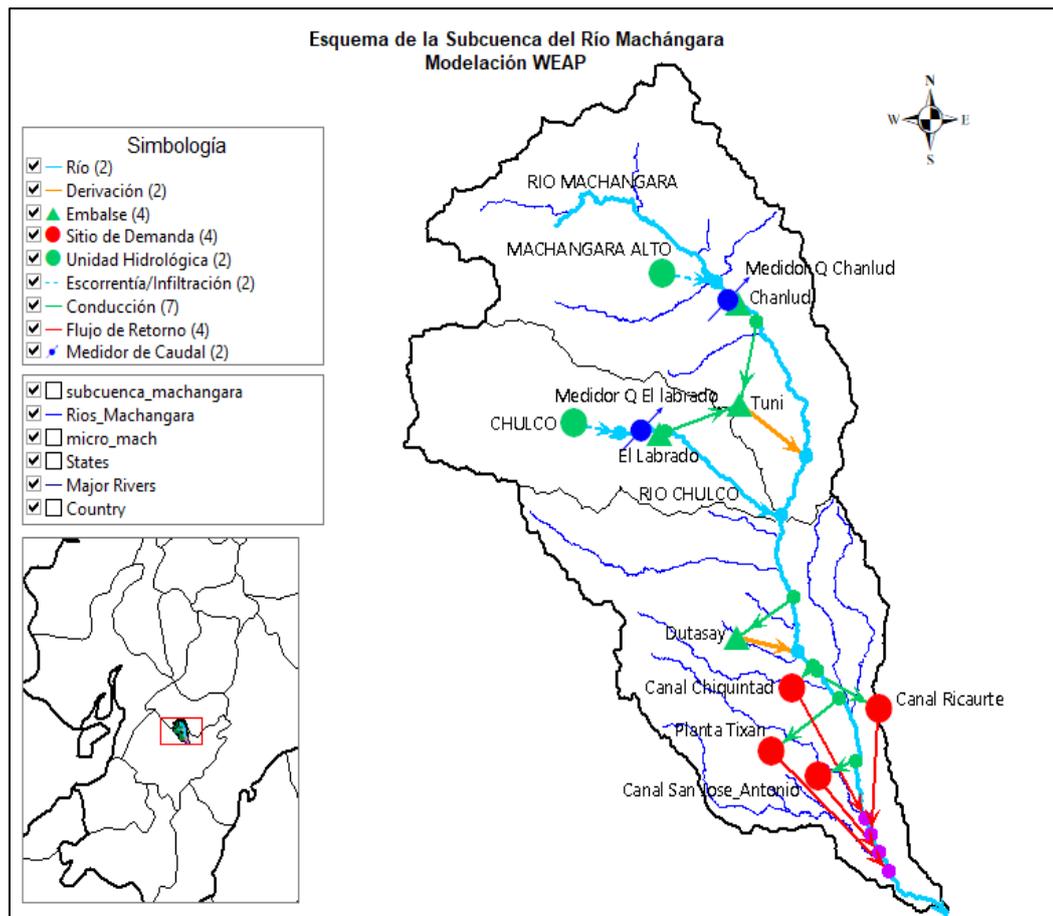


Ilustración 18. Esquema en WEAP de la Subcuenca del Río Machángara.

Fuente: Elaboración propia.



2.6.3.2. Ingreso de datos en las Unidades Hidrológicas

Los datos ingresados en los catchments Chulco y Machángara Alto corresponden a los siguientes parámetros:

2.6.3.2.1. Uso de suelo

La información ingresada en el parámetro área fue obtenida de la tabla de atributos del archivo shape de uso del suelo. Se calculó el porcentaje de cobertura de cada tipo de suelo en cada catchment, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 9. Sitios de Demanda del Recurso Hídrico

Uso de suelo	Nomenclatura	Porcentaje del área	
		Machángara Alto	Chulco
Cultivo	<i>CUL</i>	0.19	0.063
Vegetación Natural	<i>VN</i>	10.553	3.224
Páramo	<i>PAR</i>	64.869	83.835
Erial	<i>ER</i>	12.429	3.313
Pastizal	<i>PAS</i>	8.948	7.303
Infraestructura Antrópica	<i>IA</i>	0.03	0
Agua	<i>AG</i>	2.981	2.262
ÁREA TOTAL		100 %	100 %

Fuente: Información cartográfica UDA.

El coeficiente de cultivo fue tomado como un valor constante para cada tipo de suelo durante la simulación y corresponden a valores de referencia obtenidos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), los valores asignados para Kc se indican en la siguiente tabla:

Tabla 10. Coeficientes de cultivo Kc

Tipo de Suelo	Kc
Cultivo	1.2
Vegetación natural	0.95
Páramo	0.5
Erial	0.2
Pastizal	0.75
Infraestructura Antrópica	0.2
Agua	1.25

Fuente: FAO56 (2006), Timbe (2004).

2.6.3.2.2. Hidrometeorológicos y Caudales

Como ya se explicó anteriormente, las series de datos hidrometeorológicos de precipitación, temperatura, humedad y viento, tienen un paso de tiempo mensual y cubren todos los períodos de simulación. La serie de caudales únicamente es ingresada en la modelación inicial, debido a que es el resultado esperado en



escenarios futuros. En la siguiente tabla se observa un breve resumen de los datos ingresados en el modelo:

Tabla 11. Información resumen de los datos hidrometeorológicos

Variable	Metodología	Período	Metodología	Período
Precipitación media mensual	Isoyetas (método IDW)	Ene 1998 Dic 2018	Reducción de escala estadística aplicando Support Vector Machine	Ene 2019 Dic 2050
Temperatura media mensual	Isotermas (método IDW)			
Humedad Relativa media mensual	Medición estaciones hidrometeorológicas			
Velocidad del viento	Medición estaciones hidrometeorológicas			
Caudal medio mensual	Medición estaciones hidrométricas			

Fuente: Elaboración propia.

2.6.3.2.3. Ingreso de datos en Sitios de Demanda

2.6.3.2.3.1. Uso del agua

En las tablas 12 y 13, se observa la información base y los valores calculados de uso de agua para las demandas de consumo humano y para riego agrícola.

Tabla 12. Uso de agua de la PTAP Tixán

Capacidad de Dotación PTAP Tixán	
860	l/s
74304000	l/día
Consumo por habitante	
194.27	l/hab/día
Población Abastecida:	382478 habitantes
Tasa Anual de uso de agua:	70.90855 m ³ /habitante

Fuente: SENAGUA (2016), Molina, Quesada, Calle, Ortiz, y Orellana (2018).

Tabla 13. Uso de agua de los canales de riego

Nombre del Canal de Riego	Tasa Anual de uso de agua
“Junta General del Sistema de Riego Checa-Sidcay-Ricaurte	30246.57 m ³ /ha
“Junta General de Usuarios de Sistema de Riego Machángara”	32273.33 m ³ /ha
“Directorio de Agua de San José y San Antonio de Chiquintad	22272.3 m ³ /ha

Fuente: (Consejo de Cuenca del Río Machángara (2015).



2.6.3.2.3.2. Variación mensual

Para la planta de Tixán el cálculo de variación mensual corresponde al realizado por defecto en WEAP; al dejar como predeterminado el valor de 0, calcula el porcentaje mensual para el número de días de cada mes.

El cálculo de variación mensual para los canales de riego está basado en la disponibilidad de agua de acuerdo a los meses de mayor o menor precipitación. En la tabla 14, se obtienen los porcentajes de variación de acuerdo al promedio mensual de la precipitación observada en el período de simulación (1998-2018), tomando en cuenta que, en meses de mayor lluvia el consumo de agua de los canales de riego será menor.



Tabla 14. Cálculo de la variación mensual del consumo de agua en función de la precipitación, para los sistemas de riego de la subcuenca del Río Machángara

MES	Media Chanlud (1998-2015)	Media El Labrado (1998-2015)	SUMA	PORCENTAJE	OBSERVACIÓN		Variación Mensual del Consumo
	mm/mes		mm/mes	%			%
ENE	106.87	194.74	301.61	11.69	Más Lluvia	Menor Consumo	5.49
FEB	115.91	64.76	180.67	7.00			9.44
MAR	141.79	176.30	318.09	12.33	Más Lluvia	Menor Consumo	4.64
ABR	149.33	121.70	271.03	10.50	Más Lluvia	Menor Consumo	5.99
MAY	138.57	77.69	216.26	8.38			8.01
JUN	120.70	122.80	243.50	9.44	Más Lluvia	Menor Consumo	7.00
JUL	101.46	158.62	260.07	10.08	Más Lluvia	Menor Consumo	6.47
AGO	73.24	68.33	141.58	5.49	Menos Lluvia	Mayor Consumo	11.69
SEP	72.51	47.14	119.65	4.64	Menos Lluvia	Mayor Consumo	12.33
OCT	99.74	107.02	206.76	8.01			8.38
NOV	102.85	64.06	166.91	6.47	Menos Lluvia	Mayor Consumo	10.08
DIC	100.03	54.52	154.55	5.99	Menos Lluvia	Mayor Consumo	10.50
		TOTAL	2580.69	100			

Fuente: Elaboración propia.

2.6.4. Corridas, Calibración y Validación del Modelo

2.6.4.1. Correr el Modelo

WEAP devuelve mensajes de error con el detalle de la fuente y el tipo del mismo, es por ello que las primeras corridas del modelo, permiten realizar un ajuste y corrección de datos.

2.6.4.2. Calibración del Modelo

Etapa desarrollada con el objetivo de preparar al modelo para la proyección futura, de manera que, mediante la designación de valores de los parámetros del suelo, los caudales simulados sean semejantes a los observados correspondientes a un período histórico representativo.

2.6.4.3. Escoger un método de calibración

Se utilizó el proceso automático de calibración usando la herramienta PEST Calibration, incorporada en el software WEAP como un complemento avanzado.

Los valores de los límites de calibración ingresados en PEST corresponden a resultados de estudios previos en cuencas de características geográficas, edafológicas y climáticas similares a la subcuenca del Río Machángara. En la siguiente ilustración se observa la ventana de la herramienta de calibración PEST.

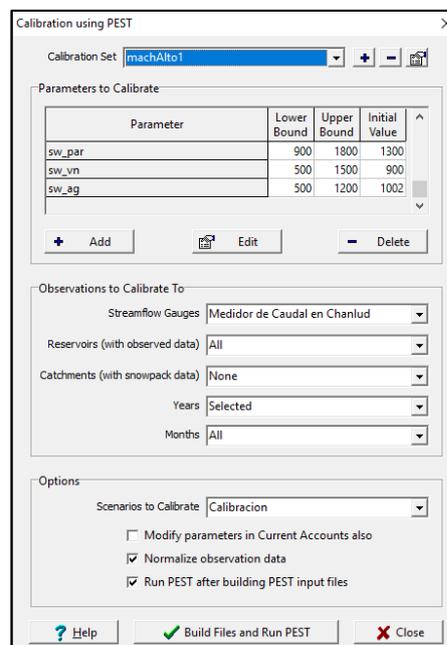


Ilustración 19. Ventana de Calibración PEST para Machángara Alto.
Fuente: Software Weap

2.6.4.4. Escoger un período de calibración

Como se ha definido en la tabla 7 de períodos de modelación, la calibración se realizó en el paso de tiempo de 1999 al 2014, con un año base de cuentas corrientes correspondiente a los 12 meses de 1998.

2.6.4.5. Ajuste de parámetros de uso de suelo

Para calibrar el modelo y ajustar la generación de caudales pico y base, es importante conocer las interacciones entre los parámetros a calibrar. Es por ello que en la guía metodológica de SEI (2009), se menciona la siguiente información:

“... si se busca aumentar la respuesta de caudales pico, se debe ajustar la escorrentía superficial que es directamente afectada por el Factor de resistencia a la escorrentía (RRF) y la Conductividad de zona de raíces (Ks), los cuales afectan la reactividad de los catchments. Por otro lado, si se quiere afectar los caudales base se debe ajustar la Dirección preferencial de flujo (f) y la Conductividad de zona profunda (Kd). Nótese que la relación entre los diferentes términos de la ecuación es no-lineal y por lo tanto al afectar un término, se afectan los otros de forma indirecta. Por ejemplo, otro factor de calibración como la conductividad hidráulica de la zona profunda, Kd, puede ser incrementado, aumentando la conductividad, y por tanto la descarga de los perfiles profundos, y el consecuente aumento en los caudales base. Por otro lado, si se aumenta la capacidad hídrica del perfil superior, Sw, se logra un mayor flujo subsuperficial, y por tanto un aumento de los caudales máximos. Finalmente, el parámetro de capacidad de retención de humedad profunda (Dw), regula la transmisión de los flujos a los caudales base” (CCGUCC y SEI, 2009).

Los valores de los límites superior e inferior ingresados para cada parámetro de calibración en PEST, son diferentes para ambos catchments, debido a las características del suelo. En la siguiente tabla se observan los datos ingresados en la calibración PEST:

Tabla 15. Parámetros de calibración en PEST.

Variables	Uso de Suelo	Microcuenca Río Machángara Alto			Microcuenca Río Chulco		
		Límite Inferior	Límite Superior	Resultados	Límite Inferior	Límite Superior	Resultados
Kd	TOTAL	10	75	25	70	100	85
Dw	TOTAL	5000	10000	8000	10000	20000	15000
	AG	0.1	8	4	5	9	7
	VN	6	10	9	7	10	8
	PAR	7	10	8	7	12	9.5



Variables	Uso de Suelo	Microcuenca Río Machángara Alto			Microcuenca Río Chulco		
		Límite Inferior	Límite Superior	Resultados	Límite Inferior	Límite Superior	Resultados
RRF	ER	3	8	5	1	3	1.2
	IA	4	8	6	1	3	1.2
	CUL	5	10	9	2	7	4
	PAS	2	9	7	2	7	4
F	AG	0.2	0.8	0.5	0.2	0.8	0.5
	VN	0.15	0.6	0.35	0.7	1	0.9
	PAR	0.1	0.7	0.4	0.7	1	0.9
	ER	0.4	0.9	0.9	0.8	1	1
	IA	0.6	1	0.6	0.8	1	1
	CUL	0.15	0.65	0.4	0.4	0.8	0.45
	PAS	0.15	0.5	0.35	0.6	0.8	0.75
Sw	AG	500	1200	1002	700	1000	800
	VN	500	1500	900	300	600	450
	PAR	900	1800	1300	300	600	500
	ER	500	900	600	200	500	320
	IA	500	850	600	200	500	320
	CUL	600	1500	800	300	600	480
	PAS	600	1400	800	300	600	475
Ks	AG	45	120	70	10	25	18
	VN	45	80	50	20	40	30
	PAR	45	65	45	20	40	35
	ER	45	120	70	10	20	15
	IA	45	100	60	10	20	15
	CUL	45	80	55	15	30	23
	PAS	45	80	50	15	30	22

Fuente: Soria (2016).

2.6.4.6. Cálculo de índices de bondad de ajuste

Se adoptaron la eficiencia de Nash-Sutcliffe simple y logarítmica, el porcentaje de sesgo (PBIAS) y el coeficiente de correlación R^2 como métricas de bondad de ajuste para evaluar los datos de caudales obtenidos del modelo, las cuales se muestran en los resultados de la calibración.

2.6.4.7. Validación del Modelo

La validación es una etapa de revisión del comportamiento de un modelo previamente calibrado, en el cual se espera aseverar la eficiencia del modelo.

2.6.4.8. Validar los caudales en otros períodos

Con las series de caudales y los mejores parámetros de calibración resultantes, se procedió a validar el modelo en el período de enero de 2015 a diciembre de 2018. De la misma manera que en la calibración, se calculó los índices de bondad de ajuste y se muestran en los resultados.

2.6.4.9. Creación de escenarios futuros

Se construyeron dos escenarios en función de las trayectorias climáticas RCP 4.5 y 8.5 para la proyección futura de caudales comprendidas entre enero de 2019 a diciembre de 2050, en cada microcuenca de recarga hídrica: Río Chulco y Río Machángara Alto. Se variaron parámetros como el uso del agua, clima y la generación hidroeléctrica; de acuerdo a diferentes metodologías de proyección.

2.6.4.9.1. Uso del agua.

2.6.4.9.1.1. Nivel de actividad anual

Según datos del informe 0014 de SENAGUA, la ampliación de la planta de potabilización de agua de Tixán tendrá una capacidad de tratamiento de 1940 l/s, ver información de la tabla 16.

Tabla 16. Datos de la ampliación de la PTAP Tixán.

Capacidad inicial del MÓDULO II (actual)	700 l/s
Capacidad ampliada del MÓDULO II	1100 l/s
Repotenciación MÓDULO I (mejorada)	840 l/s
capacidad total de tratamiento	1940 l/s
Horizonte de servicio	HASTA 2045

Fuente: informe 0014 de SENAGUA (2016)

A finales de enero de 2019 se realizó la inauguración del segundo módulo de la planta, por lo tanto, el cálculo del nivel de actividad anual de Tixán para el período futuro de ambos escenarios climáticos asciende a 862799 habitantes según se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 17. Nivel de actividad anual futura de Tixán

Capacidad Ampliada de Dotación PTAP Tixán	
1940	l/s
167616000	l/día
Consumo por habitante	
194.27	l/hab/día
Población Abastecida:	862799 habitantes

Fuente: SENAGUA (2016); Molina, Quesada, Calle, Ortiz, y Orellana (2018)



2.6.4.9.1.2. Variación mensual

Para la planta de Tixán, el cálculo de variación mensual corresponde al realizado por defecto en WEAP; al dejar como predeterminado el valor de 0, calcula el porcentaje mensual para el número de días de cada mes.

El cálculo de variación mensual para los canales de riego está basado en la disponibilidad de agua de acuerdo a los meses de mayor o menor precipitación, calculadas de las series futuras de precipitación provenientes de la reducción de escala estadísticas con SVM. En las tablas 18 y 19, de acuerdo al promedio mensual de la precipitación proyectada para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 (2019-2050), se obtienen los porcentajes de variación, tomando en cuenta que, en meses de mayor lluvia el consumo de agua de los canales de riego será menor.



Tabla 18. Cálculo de la variación mensual futura, escenario RCP 4.5, del consumo de agua en función de la precipitación, para los sistemas de riego de la subcuenca del Río Machángara

RCP 4.5	Media Chanlud (2016-2050)	Media El Labrado (2016-2050)	SUMA	PORCENTAJE	OBSERVACIÓN		Variación Mensual del Consumo
MES	mm/mes		mm/mes	%			%
ENE	126.01	121.77	247.78	8.48			8.03
FEB	130.54	138.50	269.03	9.20	Más Lluvia	Menor Consumo	7.66
MAR	136.47	137.02	273.49	9.35	Más Lluvia	Menor Consumo	7.40
ABR	152.38	144.57	296.95	10.16	Más Lluvia	Menor Consumo	6.45
MAY	146.40	145.89	292.30	10.00	Más Lluvia	Menor Consumo	6.49
JUN	120.75	103.26	224.01	7.66			9.20
JUL	102.49	87.17	189.65	6.49	Menos Lluvia	Mayor Consumo	10.00
AGO	99.37	89.23	188.60	6.45	Menos Lluvia	Mayor Consumo	10.16
SEP	107.92	108.39	216.31	7.40			9.35
OCT	112.36	119.86	232.23	7.94			8.84
NOV	123.09	111.80	234.89	8.03			8.48
DIC	133.19	125.13	258.31	8.84			7.94
		TOTAL	2923.55	100.00			

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 19. Cálculo de la variación mensual futura, escenario RCP 8.5, del consumo de agua en función de la precipitación, para los sistemas de riego de la subcuenca del Río Machángara

RCP 8.5	Media Chanlud (2016-2050)	Media El Labrado (2016-2050)	SUMA	PORCENTAJE	OBSERVACIÓN		Variación Mensual del Consumo
MES	mm/mes		mm/mes	%			%
ENE	126.86	127.74	254.60	8.63			8.21
FEB	126.65	135.94	262.59	8.90			7.71
MAR	138.02	139.93	277.95	9.42	Más Lluvia	Menor Consumo	7.40
ABR	152.47	148.76	301.23	10.21	Más Lluvia	Menor Consumo	6.47
MAY	146.94	143.23	290.17	9.84	Más Lluvia	Menor Consumo	6.49
JUN	119.52	107.86	227.38	7.71			8.90
JUL	101.52	89.34	190.86	6.47	Menos Lluvia	Mayor Consumo	10.21
AGO	99.32	92.10	191.41	6.49	Menos Lluvia	Mayor Consumo	9.84
SEP	108.84	109.35	218.19	7.40			9.42
OCT	110.91	120.12	231.03	7.83			8.88
NOV	125.13	117.03	242.16	8.21			8.63
DIC	133.95	127.92	261.87	8.88			7.83
		TOTAL	2949.44	100.00			

Fuente: Elaboración propia

2.6.4.9.1.3. Consumo

Para la planta de Tixán, el consumo se mantiene en un 15 % de pérdidas del sistema. En cuanto a los sistemas de riego, la proyección del consumo se basa en la suposición de mejoras en la eficiencia de riego a través de 3 períodos: el primero sobre la situación actual de la subcuenca, y los 2 restantes de procesos de mejora progresiva a aplicarse en el futuro, lo que significa que, a mayor eficiencia de riego, menores serán las pérdidas del sistema, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 20. Criterios de eficiencia de riego

Eficiencia de Conducción	CANAL	EFICIENCIA [%]
	Revestido	80
Tubería	100	
Eficiencia de Distribución	ACEQUIA	EFICIENCIA [%]
	Sin revestir	80
	Revestido	90
	Tubería	100
Eficiencia de Aplicación	RIEGO	EFICIENCIA [%]
	Desbordamiento	40
	Surcos	55
	Melgas	60
	Aspersión	90
	Goteo	95

Fuente: MAGAP (2014)

En una aproximación bibliográfica a la situación actual del sistema de riego en la subcuenca, se obtiene que los canales de conducción principal correspondientes a los Sistemas de Riego Checa-Sidcay-Ricaurte, Machángara y San José–San Antonio de Chiquintad, están contruidos con superficies revestidas (concreto) y presentan zonas en las que la conducción ha sido entubada debido a derrumbes en épocas de invierno (SENAGUA, 2016).

Los miembros de las juntas de riego, en calidad de usuarios, toman el agua de su respectivo canal mediante canales laterales o acequias, las cuales son en su mayoría sin revestimiento (Heras y Díaz, 2011).

Se asume que la aplicación de la metodología de riego a nivel de parcela corresponde a riego por gravedad (Heras y Díaz, 2011), el mismo que es ineficiente en cuanto a pérdidas del recurso hídrico (MAGAP, 2014).



Tabla 21. Metodología del Consumo de los Sistemas de Riego

Componentes Efr	Aproximación de la situación actual del riego en la subcuenca				Eficiencia de Riego	Pérdidas del Sistema	Periodo
Efc	CANAL	Mixto	EFICIENCIA	0.9	0.342	65.8	1998-2018
Efd	ACEQUIA	Mixto		0.95			
Efa	RIEGO	Desbordamiento		0.4			
Componentes Efr	Proyección del riego en la subcuenca periodo 1				Eficiencia de Riego	Pérdidas del Sistema	Periodo
Efc	CANAL	Mixto	EFICIENCIA	0.9	0.81	19	2019-2030
Efd	ACEQUIA	Tubería		1			
Efa	RIEGO	Aspersión		0.9			
Componentes Efr	Proyección del riego en la subcuenca periodo 2				Eficiencia de Riego	Pérdidas del Sistema	Periodo
Efc	CANAL	Tubería	EFICIENCIA	1	0.95	5	2031-2050
Efd	ACEQUIA	Tubería		1			
Efa	RIEGO	Goteo		0.95			

Fuente: (MAGAP, 2014)



2.6.4.9.1.4. Clima

Precipitación, Temperatura, Humedad Relativa y Viento: las series de las variables climáticas ingresadas para el paso de tiempo 2019 – 2050 de la modelación hidrológica, fueron resultado de la reducción de escala estadística mediante Support Vector Regression.

2.6.4.9.1.4. Embalses de Generación Hidroeléctrica

2.6.4.9.1.4.1. Caudales turbinados

Corresponden a los valores máximos observados en las centrales de Saucay y Saymirín.

2.6.4.9.1.4.2. Demanda de Energía

Las series futuras de demanda de energía ingresadas corresponden a los valores históricos reales de las Plantas de Generación Hidroeléctrica de Saucay y Saymirín.

Se tomó esta resolución, partiendo de información de ELECAUSTRO, en la cual se menciona que, de acuerdo a la capacidad total de generación, la producción de energía es proporcional a una demanda constante.

2.6.5. Repartición del agua de la modelación hidrológica

Durante la creación del esquema del modelo es posible definir las prioridades de los sistemas de demanda, así como también al momento de ingresar los datos correspondientes. Tomando en cuenta que WEAP permite ingresar prioridades entre 1 y 99, siendo 1 aquella a la que se abastece primero (SEI, 2009).; se ha definido los siguientes valores para los sistemas:

- La Generación Hidroeléctrica (GHE) con una prioridad de 1, debido a que luego de salir de las centrales, el agua turbinada es devuelta al sistema para su uso posterior mediante conducción por canales hacia Tixán y la toma principal del sistema de riego.
- La Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Tixán con una prioridad de 2, por motivos de requerimiento continuo de agua para consumo humano.
- El Sistema de Riego, que agrupa los tres canales de concesión para las juntas de riego, fue definido con una prioridad de 3, debido a que, aunque no menos importante, la repartición del agua se cumplirá luego de suplir la demanda de Tixán.

- En los embalses de Chanlud y Labrado se especificaron prioridades de 99, debido a que no es importante mantener el llenado constante de los mismos, sino más bien, regular los caudales y controlar el suministro de las demandas.

A continuación, se muestran los cálculos de abastecimiento de demandas según WEAP, cuando varias demandas presentan una misma prioridad:

$$A_{D_1^n} = \frac{D_1}{D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n} \times Of$$

Ecuación 13. Abastecimiento según WEAP de demandas con una misma prioridad

Donde:

$A_{D_1^n}$ es el abastecimiento de la demanda 1 de n,

D representa a la demanda y

Of es la oferta hídrica para las n demandas.

2.6.6. Generación de escenarios hidrológicos futuros

Se obtuvieron series futuras de caudales para ambas microcuencas en base a información de las variables climáticas de precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento para los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5, las cuales sirvieron de base para la generación de 100 series sintéticas.

Las 100 series sintéticas representan múltiples escenarios estocásticos, provenientes de series de caudal obtenidas con la simulación Monte Carlo, donde a la serie base luego de cumplir el test de K-S², adicionamos valores randómicos distribuidos normalmente con una media de 0 y una desviación estándar de 1.

Se analizaron los nuevos escenarios de oferta mediante el balance de la cobertura de las demandas obtenido de forma similar a los resultados del modelo hidrológico, como se observa en la siguiente ecuación:

$$Balance\ de\ cobertura = \frac{oferta - demanda}{demanda} \times 100$$

Ecuación 14. Cobertura de la demanda en WEAP

² El test de Kolmogorov Smirnov es una prueba de significancia en la cual, al aceptar la hipótesis nula nos confirma que los datos proceden de una distribución normal (Saldaña, 2016).

2.7. Desarrollo de Índices de Vulnerabilidad

Primero se definieron los indicadores por sistema de demandas (demanda de agua para la generación hidroeléctrica, consumo humano y riego), para cada componente de la vulnerabilidad, los mismos sirvieron para el cálculo de los índices estandarizados (Jiménez, 2018). De esta manera se obtuvo la vulnerabilidad futura de los usuarios de la subcuenca del Machángara.

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = \frac{\text{Índice de Sensibilidad} \times \text{Índice de Exposición}}{\text{Índice de Capacidad Adaptativa}}$$

Ecuación 15. Índice de Vulnerabilidad.
Fuente: Jiménez (2018).

2.7.1. Datos de la GHE para el cálculo de indicadores.

La Empresa Eléctrica Regional CentroSur, es la empresa encargada de prestar servicios de energía eléctrica en su concesión ubicada la zona centro sur del Ecuador donde suministra el servicio a 27 cantones, distribuidos entre las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago.

El cantón Cuenca representa un 10,6% de la extensión total de la concesión, donde brinda el servicio eléctrico a 196 078 clientes, distribuidos de en las siguientes categorías:

Tabla 22. Información de los clientes de la E.E. CentroSur

Residencial	Comercial	Industrial	Otros	TOTAL
168996	20224	4678	2180	196078

Fuente: CentroSur (2018)

En la siguiente tabla se observa la información de las centrales del Complejo Machángara de la empresa de generación pública ElecAustro, mismas que aportan una potencia neta anual de alrededor de 237.68 GWh:

Tabla 23. Información de la generación hidroeléctrica en Saucay y Saymirín

Central hidroeléctrica	Unidades	Potencia Efectiva [MW]	Energía Media [GWh/año]
SAUCAY	4	24	141.42
SAYMIRÍN	6	14.4	96.26

Fuente: CENACE (2018)

El Operador Nacional de Electricidad CENACE, es la entidad encargada de la supervisión y coordinación de la operación del sector eléctrico del país, en el

denominado Sistema Nacional Interconectado SIN, que brinda cobertura dentro y fuera del Ecuador.

La siguiente información fue obtenida del informe anual de 2018:

Tabla 24. Relación energética SIN, Complejo Machángara y Centro Sur

Producción neta total de energía sistema interconectado [GWh]	24 774,32	% de aporte 0.96
Producción neta total de energía Complejo Machángara [GWh]	237.68	
Consumo energético total del país [GWh]	23 900,70	% del consumo
Consumo energético de la E.E. Regional Centro Sur [GWh]	1 154.40	4.83

Fuente: CENACE (2018)

2.7.2. Indicadores de Sensibilidad

- Porcentaje de cobertura de los usuarios de la E.E. Regional CentroSur

Corresponde al porcentaje de usuarios que se benefician de la energía ofertada del Complejo Hidroeléctrico Machángara, en función del total de usuarios a los que abastece la CentroSur en Cuenca.

Se obtiene que la energía generada en las centrales de Saymirín y Saucay, tienen la capacidad de cobertura del servicio eléctrico al 17.32%, de los clientes de la E. E. Regional Centro Sur para el cantón Cuenca.

- Porcentaje de cobertura de los usuarios de la planta potabilizadora Tixán

Corresponde al porcentaje de usuarios que se benefician del agua potable ofertada por la planta de Tixán.

Tabla 25. Usuarios Tixán

Población de Cuenca	Usuarios de la Planta Tixán	% de usuarios
609.573	382478	75.65

Fuente: Etapa EP (2019).

- Porcentaje de cobertura de los usuarios de los sistemas de riego

Se calculó según el número de total de beneficiarios de las concesiones de riego del cantón Cuenca según información del Inventario de Recursos Hídricos del Azuay, IRHA del 2006.

2.7.3. Indicadores de Capacidad Adaptativa

- Proyectos capaces de suplir la GHE del Complejo Machángara

Se contempla el estudio y construcción de nuevos proyectos de generación eléctrica, capaces de suplir la oferta de las centrales del complejo.

ElecAustro cuenta con los varios proyectos, algunos en fase de operación, ejecución y otros que se están estudiando, como se observa en la tabla 26:

Tabla 26. Proyectos de generación energética de ElecAustro

Generación	Central	Potencia Efectiva [MW]	Fase	Ubicación
Central Hidroeléctrica	Ocaña I	26	Operando	Cañar
Central Hidroeléctrica	Gualaceo	1	Operando	Gualaceo
Central Termoeléctrica	El Descanso	19.2	Operando	Azogues
Central Hidroeléctrica	Ocaña II	24	Estudio	Cañar
Central Hidroeléctrica	Soldados - Yanuncay	22	Estudio	Cuenca
Central Eólica	Minas de Huascachaca	50	Ejecución	Saraguro

Fuente: ElecAustro

- Principales proyectos de abastecimiento de agua para la ciudad de Cuenca

En este caso el estudio y construcción de nuevos proyectos para la potabilización del agua.

Etapa cuenta con varios proyectos que generan agua potable para la ciudad de Cuenca:

Tabla 27. Proyectos de abastecimiento agua potable de Etapa

Planta	Producción m3/mes	Usuarios	Fase	Ubicación
Sustag	400.000	35.000	Operación	San Joaquín
El Cebollar	100.000	25.000	Operación	Racar

Fuente: ETAPA EP (2019).

- Capacidad de abastecimiento de agua para riego de los usuarios de los canales

Calculado mediante técnicas de observación en las zonas agrícolas regadas

2.7.4. Indicadores de Exposición

- Relación del número de eventos de déficit en la cobertura de las demandas de GHE, agua potable para consumo humano (Tixán) y los sistemas de riego.

Los indicadores obtenidos con respecto a las demandas del sistema, revelan si se dispone de valores mayores de caudal requeridos para cubrir las demandas (superávit), o si en cambio, no es posible cubrir las demandas por valores de caudal menores a los demandados (déficit).

2.7.5. Índice de Sensibilidad

El cálculo de este índice se realizó empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Sensibilidad} = \frac{\text{Valor observado del indicador} - \text{Mejor valor}}{\text{Peor valor} - \text{Mejor valor}}$$

Ecuación 16. Estandarización del Índice de Sensibilidad
Fuente: Jiménez (2018)

- El valor del índice de sensibilidad de la generación hidroeléctrica es de 0.1732
- El valor de este índice para la demanda de agua potable es de 0.6274
- El cálculo del índice de sensibilidad para la demanda de riego presenta un valor de 0.0241

2.7.6. Índice de Capacidad Adaptativa

$$\text{Índice de Capacidad Adaptativa} = 1 - \frac{\text{Valor observado del indicador} - \text{Mejor valor}}{\text{Peor valor} - \text{Mejor valor}}$$

Ecuación 17. Estandarización del Índice de Capacidad Adaptativa
Fuente: Jiménez (2018)

2.7.6.1. Generación hidroeléctrica

Según la información de los proyectos de ElecAustro, es posible cubrir la producción energética de las centrales del complejo Machángara, obteniendo una capacidad adaptativa potencial de 1; sin embargo, debido a la capacidad a largo plazo de sustitución de las centrales de Saucay y Saymirín, el valor asumido de este indicador es de 0.8

2.7.6.2. Agua para consumo humano

Se podría decir que la capacidad adaptativa de la planta potabilizadora de Tixán es baja debido a que según la empresa de servicios Etapa, no tienen en mente proyectos a futuro que puedan cubrir la producción de la planta de Tixán, las plantas más grandes

como Sustag y El Cebollar no cuenta con la capacidad de suplir la producción de agua potable que realiza Tixán; además Tixán ha sufrido una ampliación, incrementando la capacidad de potabilización de agua y por el momento se están enfocando más en la producción de agua potable en lugar de analizar posibles medidas para afrontar eventos extremos como sequías, por lo tanto el valor del indicador de capacidad adaptativa asumido es de 0.1

2.7.6.3. Riego

Luego de un acercamiento a la realidad del Complejo Machángara, se evidenció que, para los usuarios miembros de las juntas de riego, los canales son el único medio de abastecimiento continuo para regar las zonas de cultivo. Está claro que la lluvia es una fuente de agua para riego, pero está limitada únicamente a la aparición del evento, debido a la falta de almacenamiento por parte de los usuarios. Por estas razones el valor asumido para el indicador es de 0.08

2.7.7. Índice de Exposición

El índice de Exposición utilizado se detalla a continuación:

$$\text{Índice de Exposición} = \frac{D_{i,k}^n - D_{0,k}}{D_{mx,k} - D_{0,k}}$$

Ecuación 18. Estandarización del Índice de Exposición

Fuente: Jiménez (2018)

Donde:

D_i^n es el número de eventos de déficit en la serie i del número total de series n , correspondientes a la demanda k ,

D_0 representa al valor deseado de 0 eventos de déficit por serie en la demanda k , y

D_{mx} es el máximo número de eventos de déficit de las n series en la demanda k .

En las tablas de Valores de los Índices de Exposición y Vulnerabilidad por escenario para los sistemas de demandas, ubicadas en la parte de resultados, se muestran los valores obtenidos del indicador de exposición para cada serie sintética

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Reducción de escala estadística

Tabla 28. Modelos climáticos que mejor se ajustaron a las variables de cada estación al aplicar el SVR.

ESTACIÓN	VAR. OBJETIVO	MODELO	Escala	r	MAE	% NRMSE	% PBIAS
Labrado	PR	CSIRO	WRF	0.354	37.63	92.8	-2.1
	TAS	CSIRO	RCM	0.851	0.44	56.3	0.3
	SFCWIND	ACCESS 1.3	GCM	0.589	0.38	80.3	0
	HURS	Ensamble	WRF	0.546	2.27	86.9	-1
Chanlud	PR	IPSLCM5A	GCM	0.415	35.3	90.3	1.5
	TAS	GISS E2 R	WRF	0.866	0.39	53.9	0.4
	SFCWIND	ACCESS 1.3	GCM	0.589	0.38	80.3	0
	HURS	IPSLCM5A	WRF	0.581	1	82.3	0.4
Jacarín	PR	IPSLCM5A	GCM	0.583	23.69	81.2	-4.9
	TAS	CCCma	RCM	0.781	0.38	62.5	-0.4
Ucubamba	PR	MIROC	RCM	0.641	33.51	82.8	-18.9
	TAS	CCCma	RCM	0.743	0.38	67.7	-0.6
Aeropuerto	PR	IPSLCM5A	GCM	0.603	30.34	79.3	-2.3
	TAS	CCCma	RCM	0.732	0.45	67.6	-0.2
Biblián	PR	CSIRO	RCM	0.489	27.53	87.8	-7.9
	TAS	NCC	RCM	0.798	0.48	62.1	0.2
Ricaurte	PR	MIROC	RCM	0.637	34.49	79.7	-13.7
Chirimachay	PR	MIROC	WRF	0.296	43.24	95.8	4.6
Surucucho	PR	ACCESS 1.0	GCM	0.667	56.43	83.2	18.3

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 28, el porcentaje PBIAS para cada modelo en cada estación oscila dentro del rango óptimo de -25% a 25% , en el caso del Coeficiente de Correlación, Error Medio Absoluto y Error Cuadrático Medio Normalizado indican que el SVR presenta problemas al momento de simular la precipitación, capta el comportamiento de la precipitación, pero no recoge sus valores extremos, debido a que los modelos de reducción de escala estadística no pueden explicar la totalidad de la varianza de la variable a reducirse, tal como se indica en el estudio realizado por Anandhi, Srinivas, Nanjundiah, y Nagesh Kumar (2008). Sin embargo, para las variables como la humedad, temperatura y viento que no presentaban picos elevados en sus series de datos, el SVR funcionó relativamente bien, como se muestra en los índices de bondad de ajuste dando valores mayores a 0.5 en el r y valores de MAE y porcentajes NRMSE más cercanos a 0, resultados similares se encontraron en la investigación de Aksornsingchai y Srinilta (2011), en donde indican que los modelos reducción de escala

estadística encuentran una mejor tendencia para la variable temperatura. Los peores valores de MAE se presentó en las estaciones de Chirimachay y Surucucho, esto se puede deber a que las bases de datos de estas dos estaciones presentaban una mayor cantidad de datos rellanados. Del anexo 19 al anexo 37 se pueden observar gráficas de comparación entre los valores de testeo y simulados por el SVR de los modelos climáticos que mejor se ajustaron a las variables de cada estación.

3.1.1. Simulación de la precipitación para los distintos escenarios

Los datos simulados de precipitación de cada estación para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 se puede observar en la ilustración 20 y 21.

En la ilustración 22 en donde se muestra la precipitación promedio mensual de toda la subcuenca se observa que el escenario RCP 45 presenta una mayor cantidad de precipitación en la mayoría de los meses, a excepción del mes de abril en donde la precipitación es mayor en el período base. Los meses julio, agosto y septiembre son los meses en donde se presenta una menor cantidad de precipitación para todos los escenarios, como se muestra en el estudio realizado por Palacios K. (2017); para el mes de diciembre la precipitación promedio mensual incrementa en los escenarios futuros a diferencia del período base.

Simulación de la precipitación (RCP 4.5)

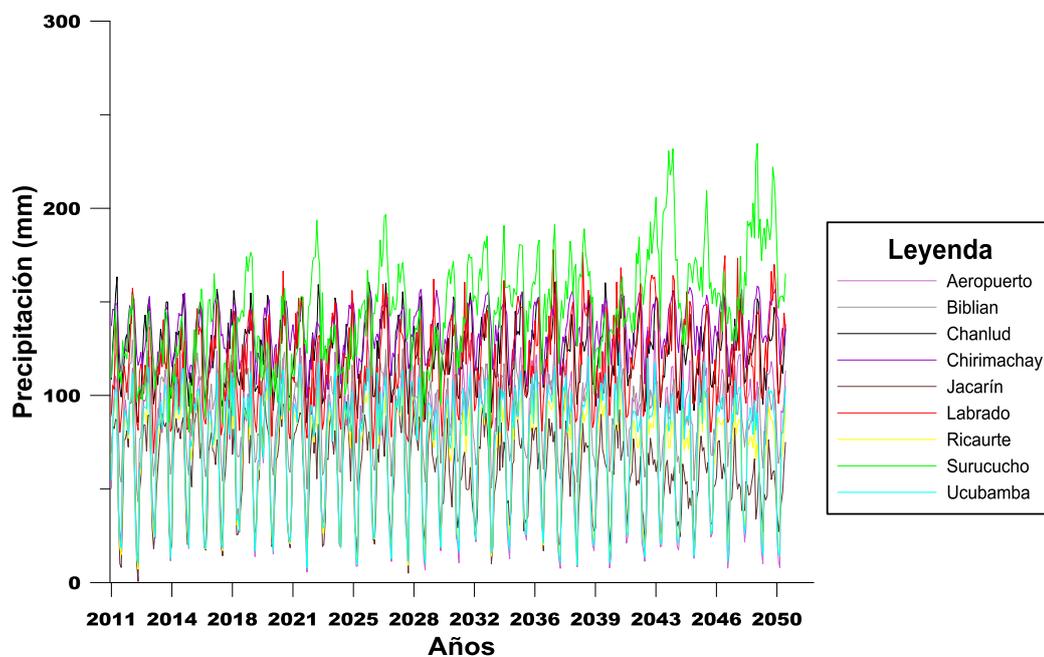


Ilustración 20. Simulación futura de la precipitación RCP 4.5

Fuente: Elaboración propia.

Simulación de la precipitación (RCP 8.5)

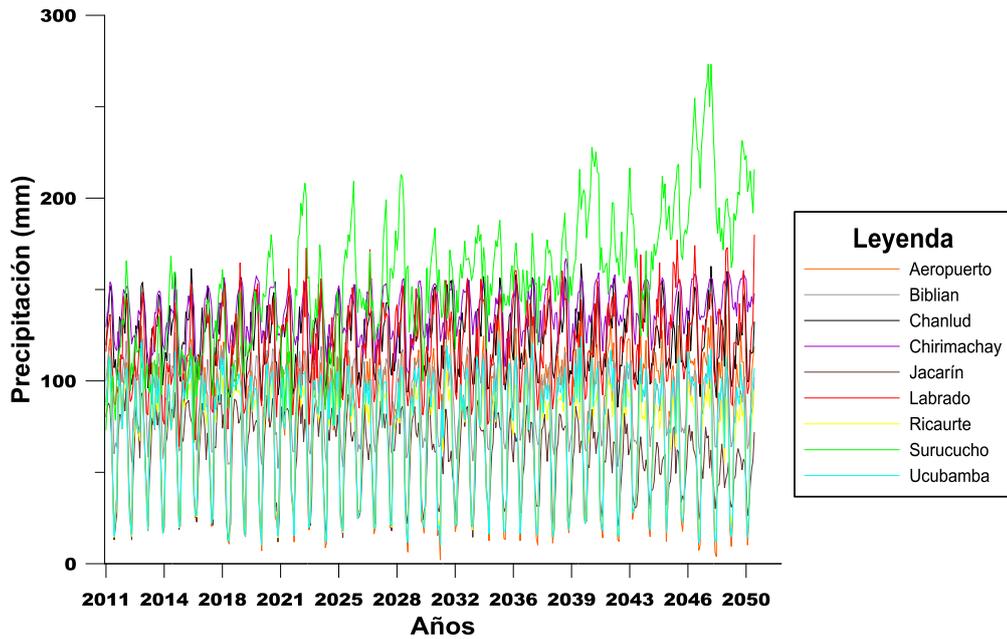


Ilustración 21. Simulación futura de la precipitación RCP 8.5

Fuente: Elaboración propia.

Promedio mensual precipitación de la subcuenca del Machángara

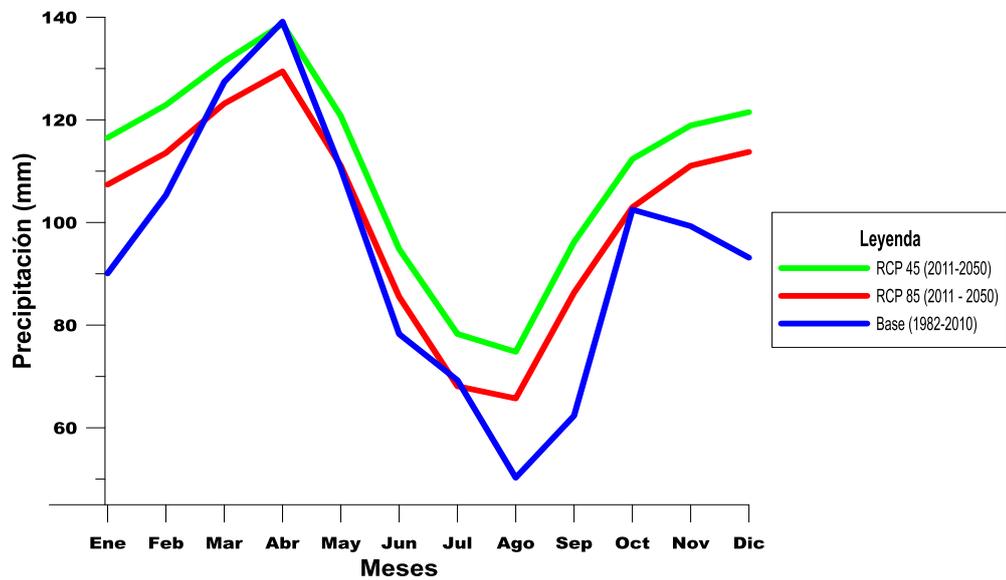


Ilustración 22. Promedio mensual de precipitación de la subcuenca del Machángara.

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2. Simulación de la temperatura para distintos escenarios

Los datos simulados de temperatura de cada estación para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 se puede observar en la ilustración 23 y 24, para ambos escenarios la pendiente de incremento es mayor para las estaciones de Aeropuerto, Biblián y Ucubamba, para el resto de estaciones la pendiente de incremento es pequeña llegando a tender a la media. Temperaturas más bajas se presentan en las estaciones de Chanlud y Labrado.

En la ilustración 25 se muestra el promedio mensual de temperatura de la subcuenca del río Machángara en donde la temperatura base es menor en la mayoría de los meses a excepción de enero, noviembre y diciembre que la temperatura incrementa con respecto a los escenarios futuros esto difiere del estudio realizado por Palacios K. (2017) que indica que para todos los meses la temperatura base es menor. Para los meses de febrero, abril, mayo, junio, noviembre y diciembre la temperatura del escenario RCP 85 es superior al escenario futuro RCP 45.

Simulación de la temperatura RCP 4.5 (2011 - 2050)

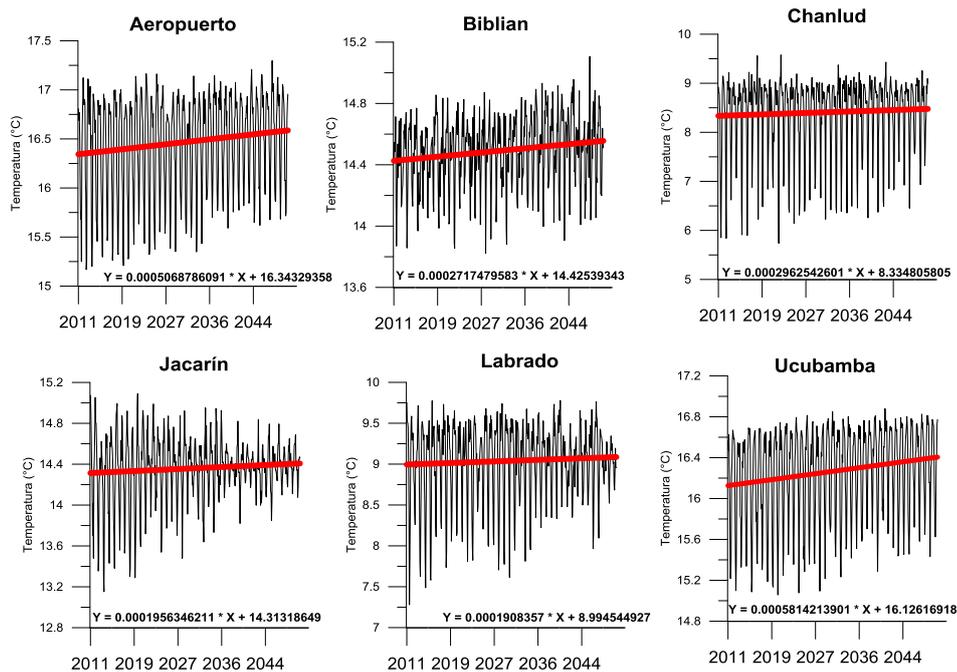


Ilustración 23. Simulación futura de la temperatura RCP 4.5

Fuente: Elaboración propia.

Simulación de la temperatura RCP 8.5 (2011 - 2050)

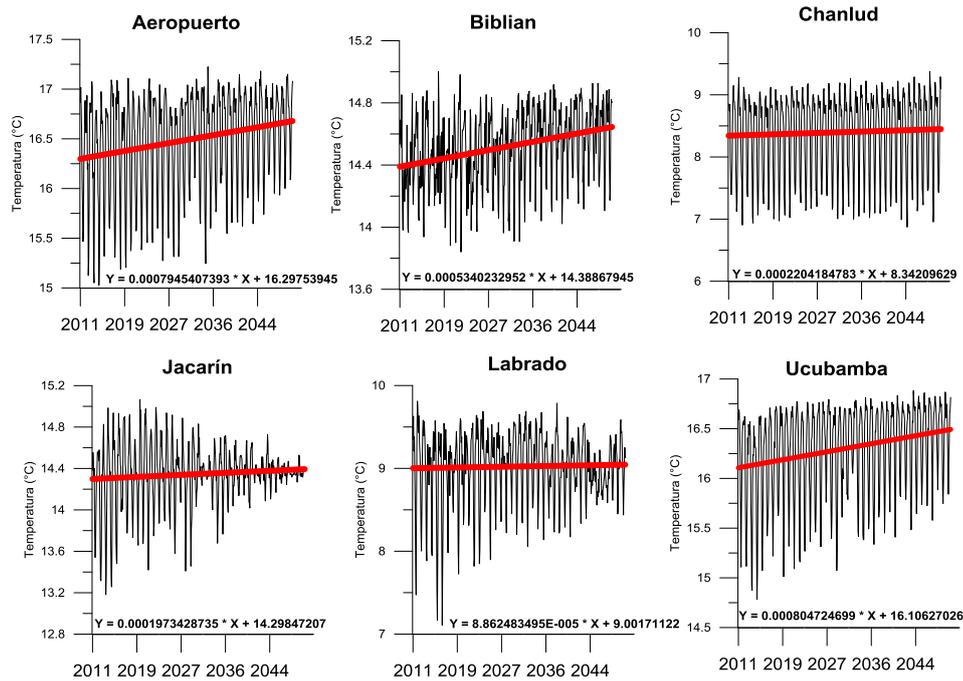


Ilustración 24. Simulación futura de la temperatura RCP 8.5
Fuente: Elaboración propia.

Promedio mensual temperatura de la subcuenca del Machángara

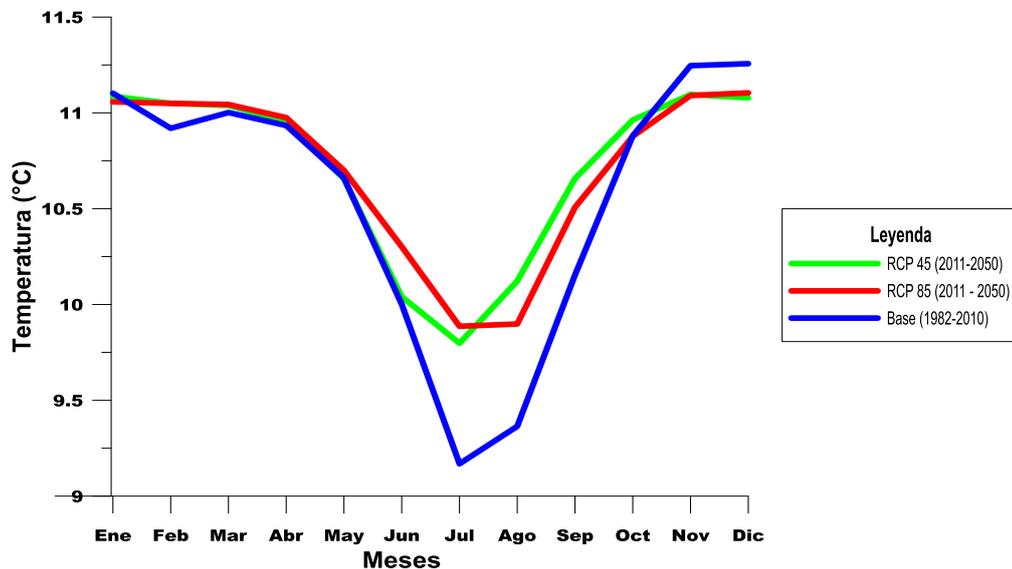


Ilustración 25. Promedio mensual de temperatura de la subcuenca del Machángara.
Fuente: Elaboración propia.

3.2. Calibración del modelo hidrológico

Con la aplicación de una calibración automática en PEST, se obtuvieron los mejores valores de los parámetros de uso de suelo, de manera que la serie de caudales simulada en el período de 1999 al 2014 se acerque a los datos observados, al variar los parámetros correspondientes al suelo, como: Sw, Dw, Ks, Kd, RRF y f; manteniendo invariables los componentes del clima: precipitación, temperatura, humedad relativa y viento.

En la siguiente tabla se observan los índices de bondad de ajuste resultantes de la calibración, donde se nota que para la microcuenca del Río Machángara Alto los índices de eficiencia reflejan una modelación entre Buena y Muy Buena, según NASH Y NASH-In, respectivamente. Mientras que para la microcuenca del Río Chulco la eficiencia conseguida es Buena.

Tabla 29. Resultados de los índices de bondad de ajuste para la calibración.

MICROCUENCA	Índices de bondad de ajuste			
	NSE	NSE-In	R2	PBIAS
Río Machángara Alto	0.5	0.62	0.71	-2.28
Río Chulco	0.44	0.52	0.67	-5.38

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los hidrogramas de las series de caudales observadas y simuladas para cada catchment, en las cuales se evidencia que el comportamiento de los caudales no se ajusta por completo a los picos.

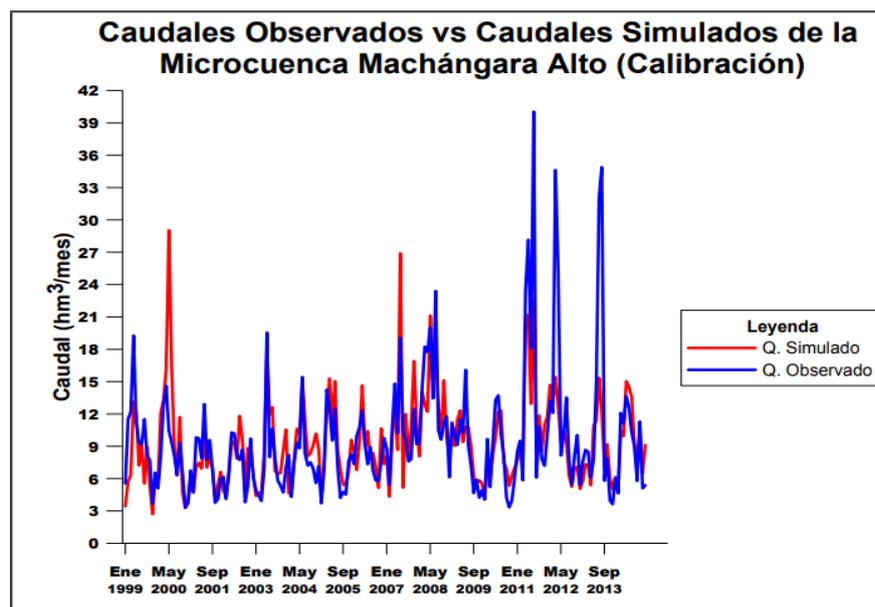


Ilustración 26. Hidrograma de calibración de Machángara Alto.

Fuente: Elaboración propia.

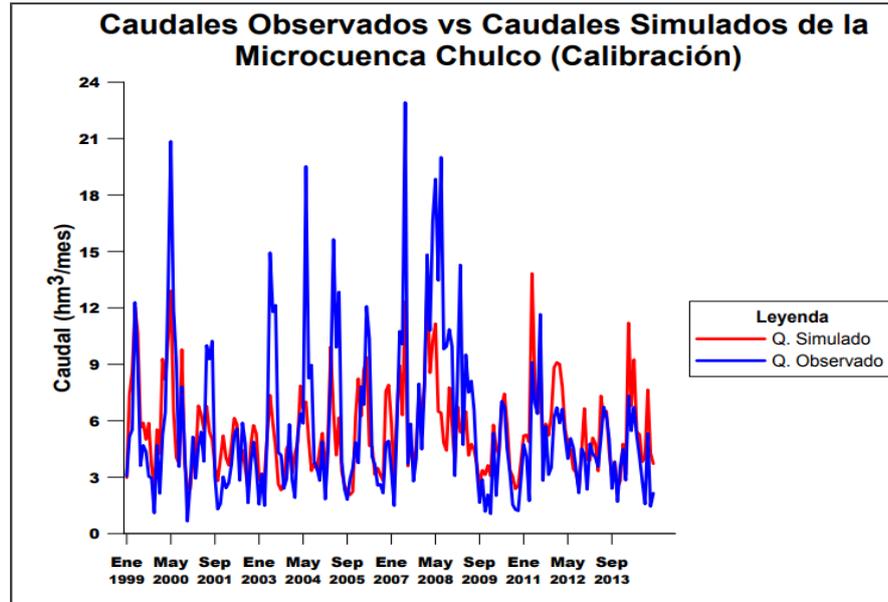


Ilustración 27. Hidrograma de calibración de Chulco.
Fuente: Elaboración propia.

3.3. Validación del modelo hidrológico

En la microcuenca del Río Machángara Alto se ratifica el comportamiento aceptable de los valores de calibración del modelo, incrementando la eficiencia conseguida a una categoría de Muy Buena para ambos índices de Nash.

Por otra parte, en el Río Chulco los valores de bondad de ajuste disminuyen considerablemente reflejando una modelación Satisfactoria según NSE Y NSE-In. Si bien es cierto que la eficiencia conseguida en la validación de este catchment es menor que en la calibración, se debe considerar que los valores de los parámetros de calibración, aunque obtenidos con la herramienta PEST, están entre los rangos bibliográficamente ajustados a la realidad del suelo del lugar (Soria, 2016). Es posible incrementar los criterios de eficiencia, pero los valores de capacidad de almacenamiento del suelo superficial y profunda no corresponderían a la realidad de la microcuenca, donde no existen acuíferos.

Tabla 30. Resultados de los índices de bondad de ajuste para la validación.

MICROCUENCA	Índices de bondad de ajuste			
	NSE	NSE-In	R2	PBIAS
Río Machángara Alto	0.62	0.63	0.85	9.46
Río Chulco	0.31	0.22	0.85	37.41

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos concuerdan con la información del estudio realizado en la subcuenca del Río Machángara por Palacios (2017), donde se obtiene una mejor calibración y validación para la microcuenca de Machángara Alto que para el Río Chulco, además se ratifica el ajuste insuficiente del caudal simulado en la microcuenca del Chulco para el año 2008 (Palacios, 2017) (ver ilustración 27).

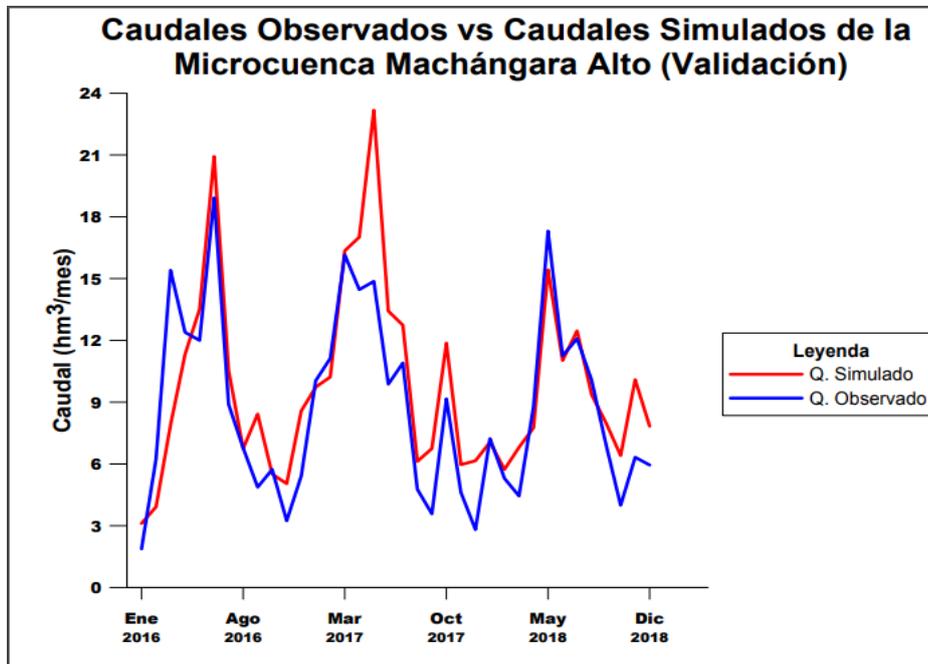


Ilustración 28. Hidrograma de validación de Machángara Alto.
Fuente: Elaboración propia.

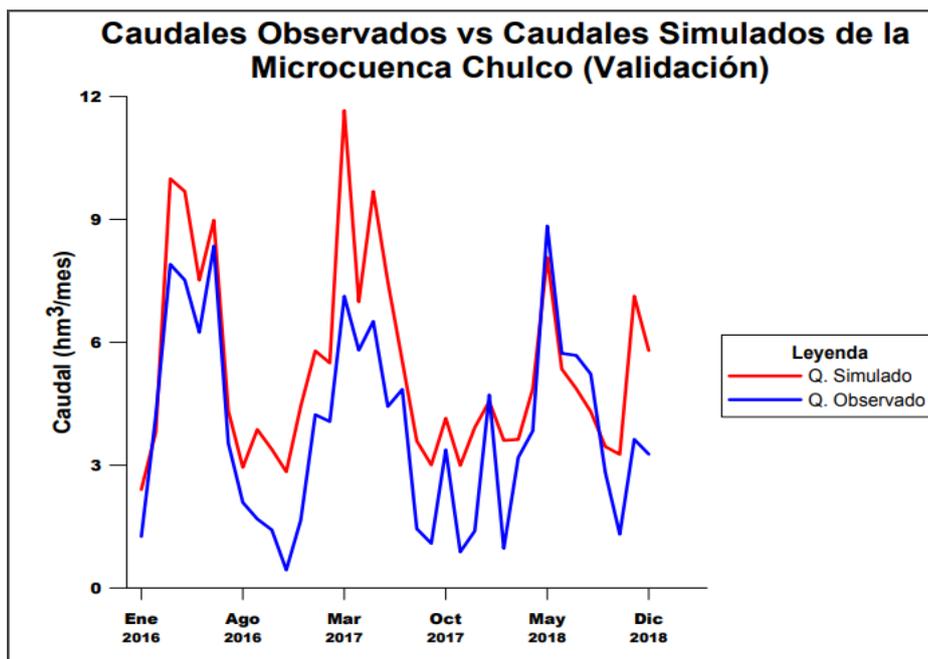


Ilustración 29. Hidrograma de validación Chulco.
Fuente: Elaboración propia.

3.4. Repartición de agua según el modelo hidrológico

Como se mencionó anteriormente, WEAP abastece las demandas de acuerdo a las prioridades definidas para cada sistema.

Los caudales de oferta para abastecer las demandas de GHE en las dos centrales y la PTAP corresponden a los mismos valores, únicamente difieren del escenario del que provienen.

En julio y agosto se presentan déficits en la cobertura de la demanda de agua para la central de Saymirín en ambos escenarios RCP. Para el resto de meses y demandas, la cobertura es del 100%, según las series obtenidas del modelo hidrológico en los dos escenarios de cambio climático.

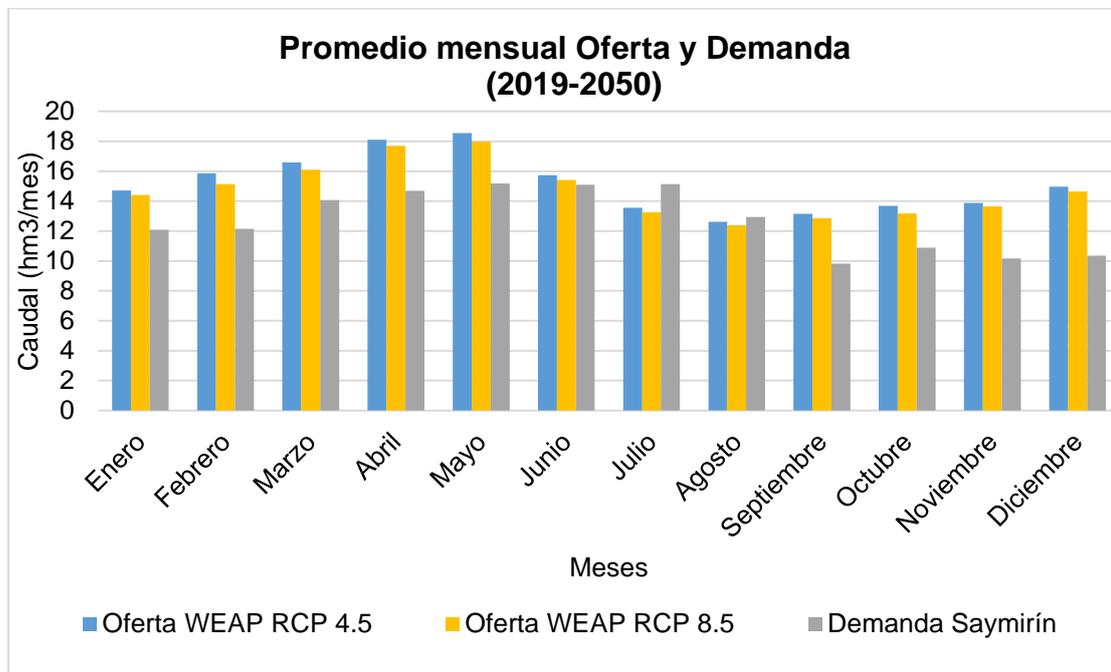


Ilustración 30. Cobertura de la demanda para GHE en la central Saymirín (promedio mensual).

Fuente: Elaboración propia.

Según las gráficas de promedios mensuales de la cobertura de las demandas, los meses de menor oferta de agua corresponden a julio y agosto. La veracidad de estos resultados se confirma con el estudio de Palacios (2017), donde la modelación hidrológica en base a escenarios de cambio climático demuestra que para el tercer trimestre del año (meses de julio, agosto y septiembre), presentan los valores más bajos de oferta en relación al resto de períodos del año.

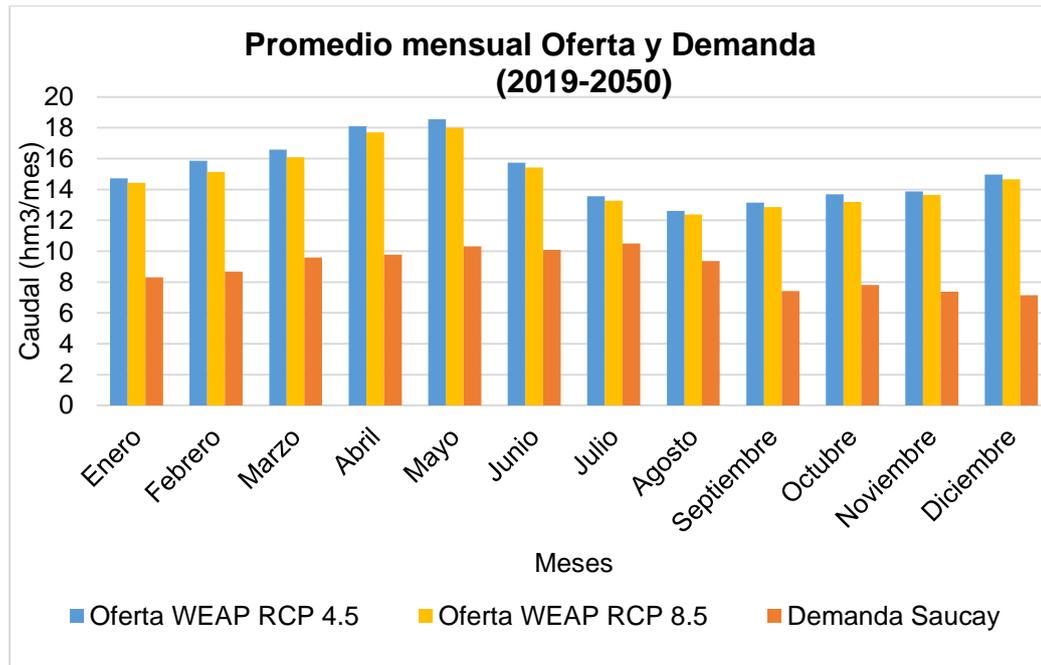


Ilustración 31. Cobertura de la demanda para GHE en la central Saucay (promedio mensual).
Fuente: Elaboración propia.

Es importante resaltar que la cobertura de la demanda de agua para consumo humano es del 100%, acorde a los datos de promedios mensuales, incluso tomando en cuenta el incremento de agua que requiere Tixán para la potabilización en sus dos módulos.

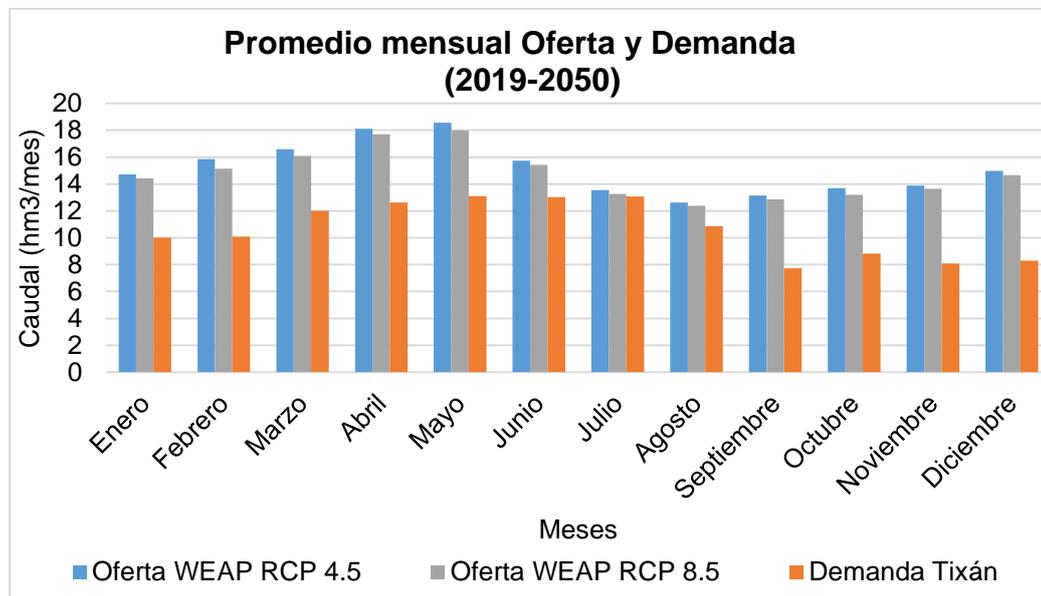


Ilustración 32. Cobertura de la demanda de Tixán escenario (promedio mensual)
Fuente: Elaboración propia.

Acorde al modelo hidrológico, la oferta para el sistema de riego resulta de la sustracción en la oferta total, de los valores de caudal demandados de Tixán, por lo tanto, aunque la

capacidad de cobertura para esta demanda se ve disminuida, se cubre el 100% de la demanda del sistema de riego, como se especifica en la siguiente ilustración:

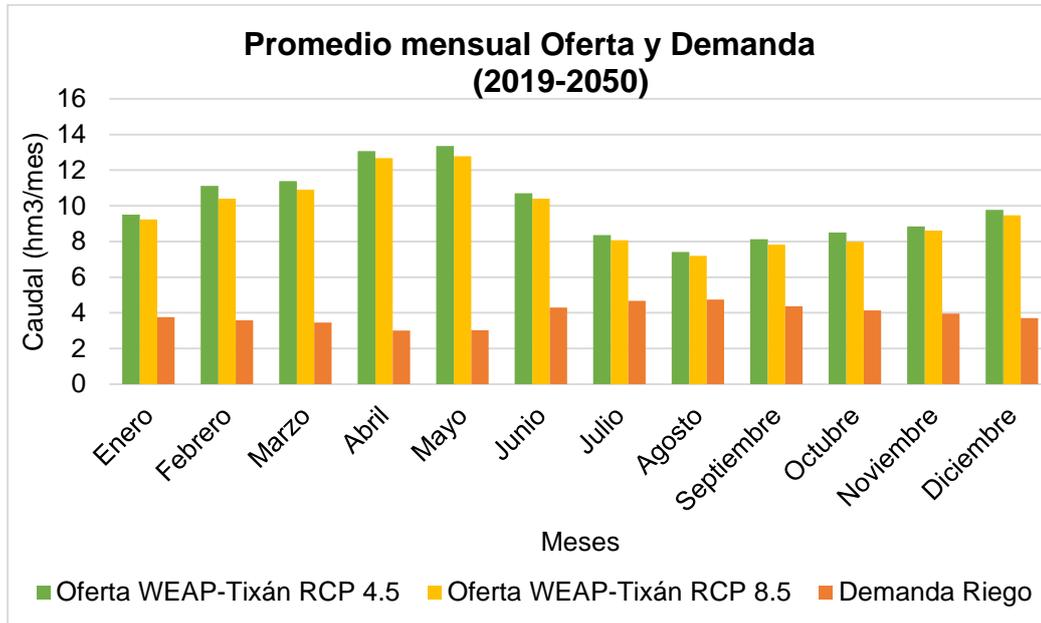


Ilustración 33. Cobertura de la demanda de Riego escenario (promedio mensual).

Fuente: Elaboración propia.

Del anexo 39: Cobertura de las demandas de agua para consumo humano y riego, se puede notar que, para el primer mes de simulación, no se suple la demanda de riego luego de abastecer la PTAP de Tixán, lo que resulta en un porcentaje de déficit del 56.48 % en la cobertura de esta demanda, debido a la más baja prioridad.

De la ecuación de abastecimiento de demandas con una misma prioridad, se interpreta que WEAP suministra el agua de manera proporcionada para un sistema de demandas con la misma prioridad (SEI, 2009).

Tabla 31. Repartición del agua para las demandas de Tixán y riego.

Mes_año	Oferta hm3/mes WEAP	Demanda hm3/mes PTAP (TIXÁN)	Oferta hm3/mes WEAP-TIXÁN	Nombre del canal	Demanda hm3/mes	Abastecimiento hm3/mes
Ene_2019	6.83	5.196	1.6336	Canal Machángara	1.9507	0.849
				Canal Checa-Sidcay-Ricaurte	1.774	0.7721
				Canal Chi quintad	0.0286	0.0125
				TOTAL	3.7533	1.6336

Fuente: Elaboración propia.



De las ilustraciones de promedios mensuales de la cobertura de demandas, se puede notar que en todos los meses los valores de oferta del escenario de cambio climático RCP 4.5 es ligeramente mayor al RCP 8.5, es decir que el escenario RCP 8.5 tiene una tendencia de disminución de caudales, como sucede en el estudio de la cuenca del río Frío en Colombia (Vargas, 2016). Debido a que la proyección es hasta el año 2050, no se aprecian los efectos significativos del cambio climático para el escenario pesimista RCP 8.5, que tiende a incrementar los efectos negativos globales hasta el 2100 (Armenta, Dorado, Rodríguez, y Ruiz, 2014).

3.5. Generación de escenarios hidrológicos futuros

Se obtuvieron 100 posibles escenarios de oferta del recurso hídrico para cada trayectoria de concentración representativa de las microcuencas de recarga mediante el método de simulación Montecarlo. Luego se sumaron los valores correspondientes de cada serie sintética de ambas microcuencas, para conformar los escenarios de oferta del Río Machángara alimentado por las mismas.

Estas series incorporan predicciones probabilísticas de eventos con flujos de caudal superiores o de alta oferta, como también, de caudales inferiores o de sequía, con respecto a la predicción obtenida en la simulación del modelo hidrológico en WEAP, como se observa en el anexo 38, donde se ordena de menor a mayor las ofertas. Finalmente se analizó la cobertura de las demandas aplicando el balance de cobertura como herramienta para la toma de decisiones en cuanto a la disponibilidad del recurso y como criterio indicador de la exposición para la generación de índices de vulnerabilidad de los usuarios de la subcuenca.

En las siguientes ilustraciones se observan las series estocásticas y la serie base obtenida del modelo hidrológico.

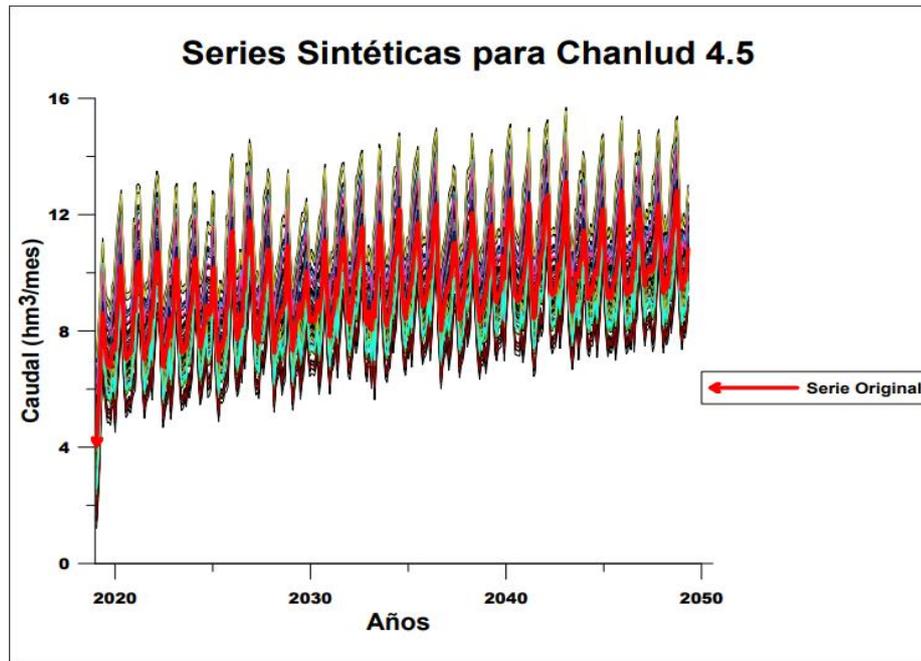


Ilustración 34. Series Sintéticas para Machángara Alto, escenario RCP 4.5.
Fuente: Elaboración propia.

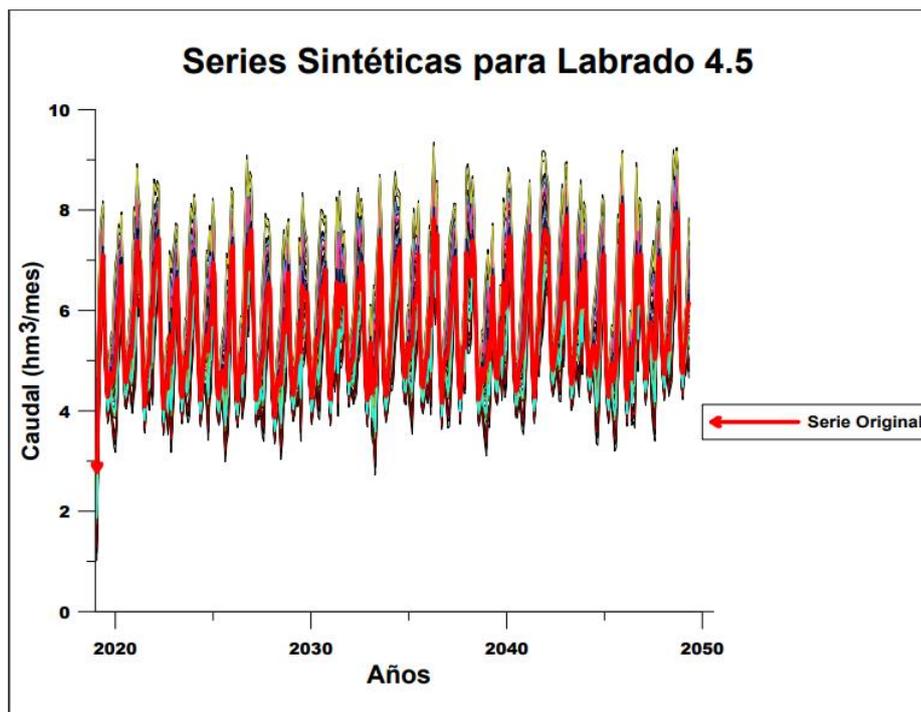


Ilustración 35. Series Sintéticas para Chulco, escenario RCP 4.5.
Fuente: Elaboración propia.

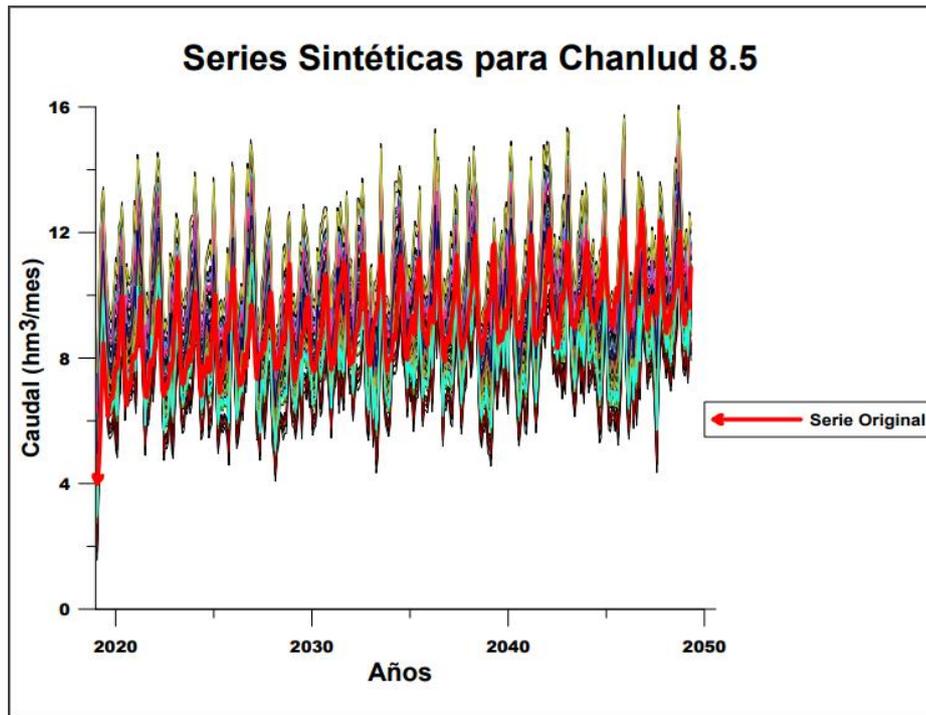


Ilustración 36. Series Sintéticas para Machángara Alto, escenario RCP 8.5.
Fuente: Elaboración propia.

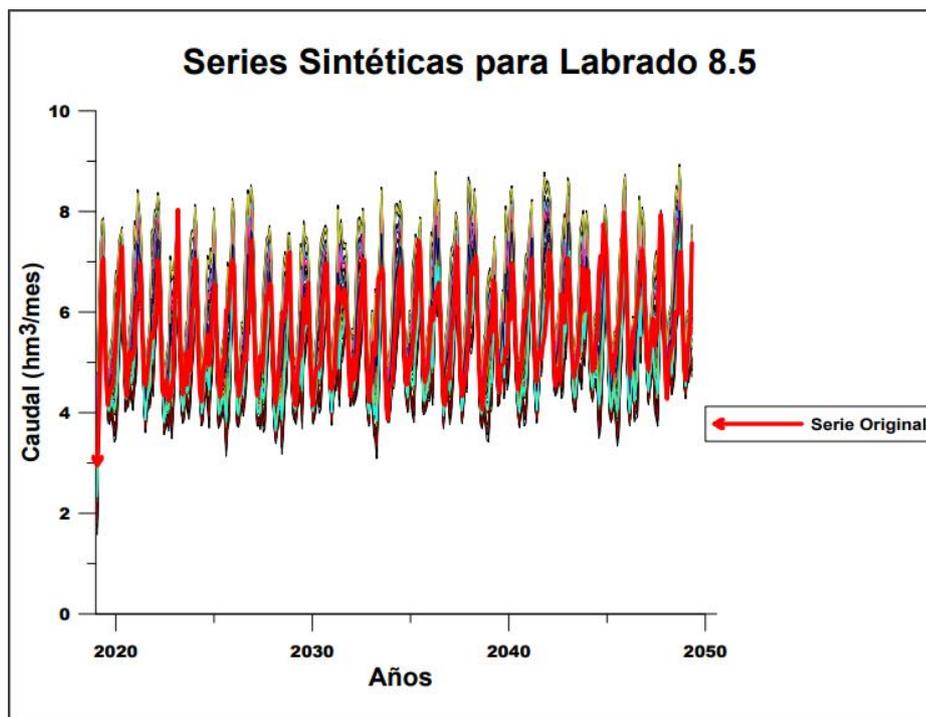


Ilustración 37. Series Sintéticas para Chulco, escenario RCP 8.5
Fuente: Elaboración propia.



3.6. Análisis del Balance de Cobertura de los 100 escenarios futuros

El cálculo de la cobertura de la demanda del modelo WEAP corresponde a un balance de cobertura donde refleja el porcentaje de la capacidad de suplir o no una demanda.

La oferta futura cubre un período de 32 años y para cada mes se tienen 100 posibles valores. Entendiendo como fallo la no cobertura de la demanda o déficit en eventos en los que la oferta es menor a la demanda, obteniendo información mensual del número de eventos de fallo.

3.6.1. Generación Hidroeléctrica

Se puede notar que, para la generación hidroeléctrica en ambas centrales, los meses de mayor número de fallos son julio y agosto. Los valores de caudales turbinados ingresados al modelo hidrológico son $8.386 \text{ m}^3/\text{s}$ y $7.2 \text{ m}^3/\text{s}$ para las centrales de Saymirín y Dutasay, respectivamente, es por esta diferencia en el requerimiento de caudal y capacidad de generación, que para Saymirín se presentan más eventos de fallo.



Tabla 32. Resultados por mes de la GHE.

MES	DATOS POR MES	SAYMIRÍN				SAUCAY			
		FALLOS (RCP 4.5)	%	FALLOS (RCP 8.5)	%	FALLOS (RCP 4.5)	%	FALLOS (RCP 8.5)	%
Enero	3200	416	13	491	15.34375	110	3.4375	101	3.15625
Febrero		282	8.8125	399	12.46875	62	1.9375	43	1.34375
Marzo		473	14.7812	583	18.21875	38	1.1875	35	1.09375
Abril		167	5.2187	270	8.4375	1	0.0312	1	0.03125
Mayo		180	5.625	288	9	0	0	0	0
Junio		484	15.125	580	18.125	0	0	7	0.21875
Julio		1672	52.25	1778	55.5625	179	5.5937	212	6.625
Agosto		1067	33.3437	1181	36.90625	155	4.8437	135	4.21875
Septiembre		271	8.4687	256	8	12	0.375	8	0.25
Octubre		289	9.0312	414	12.9375	3	0.0937	3	0.09375
Noviembre		234	7.3125	281	8.78125	18	0.5625	9	0.28125
Diciembre		91	2.8437	89	2.78125	3	0.0937	0	0
TOTAL	100%	5626		6610		581		554	

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Agua para consumo humano

La cobertura de la demanda para consumo humano en la planta de Tixán fue calculada en función del número de usuarios que se servirían del recurso, contando con la capacidad incrementada de la planta gracias a la puesta en funcionamiento del módulo II.

Obteniendo que, en 22 ocasiones del primer mes del período de simulación no se cubre la demanda de Tixán, lo que representa un 0.69% del total de escenarios para dicho mes.

Como se observa en las ilustraciones de series sintéticas, la serie de caudales original obtenida en el modelo hidrológico, empieza con valores bajos de caudal para los primeros 12 meses de proyección y luego se estabiliza.

Tabla 33. Resultados por mes de la demanda de Tixán

MES	DATOS POR MES	PTAP Tixán			
		FALLOS (RCP 4.5)	%	Fallos (RCP 8.5)	%
Enero	3200	22	0.6875	9	0.28125
Febrero		0	0	0	0
Marzo		0	0	0	0
Abril		0	0	0	0
Mayo		0	0	0	0
Junio		0	0	0	0
Julio		0	0	0	0
Agosto		0	0	0	0
Septiembre		0	0	0	0
Octubre		0	0	0	0
Noviembre		0	0	0	0
Diciembre		0	0	0	0
TOTAL	100%	22		9	

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3. Agua para riego

Según el modelo hidrológico, la oferta para el sistema de riego resulta de la sustracción en la oferta total, de los valores de caudal demandados de Tixán, por lo tanto, la capacidad de cobertura para esta demanda se ve disminuida.

De igual manera que para las demandas de GHE, el mayor número de fallos se obtuvieron en los meses de julio y agosto, mientras que en marzo y abril casi todas las series sintéticas cubren la demanda de los canales de riego.

Tabla 34. Resultados por mes de la demanda de Riego

MES	DATOS POR MES	SISTEMAS DE RIEGO			
		FALLOS (RCP 4.5)	%	FALLOS (RCP 8.5)	%
Enero	3200	10	0.3125	91	2.84375
Febrero		7	0.2187	8	0.25
Marzo		1	0.0312	1	0.03125
Abril		0	0	0	0
Mayo		2	0.0625	0	0
Junio		7	0.2187	0	0
Julio		53	1.6562	40	1.25
Agosto		87	2.7187	194	6.0625
Septiembre		18	0.5625	31	0.96875
Octubre		3	0.0937	14	0.4375
Noviembre		9	0.2812	3	0.09375
Diciembre		7	0.2187	1	0.03125
TOTAL	100%	204		383	

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Índices de Vulnerabilidad

Los valores de los índices de sensibilidad y capacidad adaptativa fueron los mismos para el cálculo de vulnerabilidad de la GHE en las centrales de Saucay y Saymirín, cambiando únicamente los datos de exposición, lo mismo ocurre en las demandas de agua para consumo humano y el riego.

La razón por la que se separó la GHE por centrales, es porque geográficamente están apartadas una de la otra, además el agua únicamente pasa por las turbinas de generación y es devuelta al sistema para su uso posterior.

En las tablas de Valores de los Índices de Exposición y Vulnerabilidad por escenario y sistema de demanda, se presentan los valores del índice de vulnerabilidad junto a la categoría correspondiente y su calificación cualitativa, como se nota en la tabla 35:

Tabla 35. Valoración del Índice de Vulnerabilidad

Valor del índice	Calificativo	Calificación Cualitativa
$\geq 0 - < 0.04$	Muy Baja	
$\geq 0.04 - < 0.16$	Baja	
$\geq 0.16 - < 0.36$	Media	
$\geq 0.36 - < 0.64$	Alta	
$\geq 0.64 - < 1$	Muy alta	
≥ 1	Extremo	

Fuente: Jiménez (2018).

3.7.1. Generación Hidroeléctrica

Los valores calculados de los índices de sensibilidad y capacidad adaptativa para la GHE en las dos centrales fueron 0.1732 y 0.8 respectivamente. En las siguientes tablas se presentan los resultados de los índices de exposición y vulnerabilidad para las centrales de Saymirín y Saucay.

Tabla 36. Valores de los Índices de Exposición y Vulnerabilidad por escenario para la GHE en Saymirín (RCP 4.5)

Índice de Exposición		Índice de Vulnerabilidad		Índice de Exposición		Índice de Vulnerabilidad	
Serie1	0.4437	0.0961	Baja	Serie51	0.4238	0.0918	Baja
Serie2	0.2980	0.0645	Baja	Serie52	0.8079	0.1749	Media
Serie3	0.3377	0.0731	Baja	Serie53	0.2980	0.0645	Baja
Serie4	0.1987	0.0430	Baja	Serie54	0.0728	0.0158	Muy Baja
Serie5	0.2980	0.0645	Baja	Serie55	1.0000	0.2165	Media
Serie6	0.2715	0.0588	Baja	Serie56	0.1921	0.0416	Baja
Serie7	0.4636	0.1004	Baja	Serie57	0.7020	0.1520	Baja
Serie8	0.2185	0.0473	Baja	Serie58	0.0861	0.0186	Muy Baja
Serie9	0.5099	0.1104	Baja	Serie59	0.1391	0.0301	Muy Baja
Serie10	0.4106	0.0889	Baja	Serie60	0.5099	0.1104	Baja
Serie11	0.3046	0.0660	Baja	Serie61	0.3841	0.0832	Baja
Serie12	0.3046	0.0660	Baja	Serie62	0.3377	0.0731	Baja
Serie13	0.3642	0.0789	Baja	Serie63	0.4106	0.0889	Baja
Serie14	0.2119	0.0459	Baja	Serie64	0.0464	0.0100	Muy Baja
Serie15	0.2980	0.0645	Baja	Serie65	0.2980	0.0645	Baja
Serie16	0.3311	0.0717	Baja	Serie66	0.4901	0.1061	Baja
Serie17	0.4106	0.0889	Baja	Serie67	0.2318	0.0502	Baja
Serie18	0.2450	0.0530	Baja	Serie68	0.2980	0.0645	Baja
Serie19	0.5364	0.1161	Baja	Serie69	0.3377	0.0731	Baja
Serie20	0.0530	0.0115	Muy Baja	Serie70	0.3444	0.0746	Baja
Serie21	0.4238	0.0918	Baja	Serie71	0.2517	0.0545	Baja
Serie22	0.2053	0.0444	Baja	Serie72	0.5894	0.1276	Baja
Serie23	0.2848	0.0617	Baja	Serie73	0.6225	0.1348	Baja
Serie24	0.2053	0.0444	Baja	Serie74	0.1126	0.0244	Muy Baja
Serie25	0.5099	0.1104	Baja	Serie75	0.9470	0.2050	Media
Serie26	0.4238	0.0918	Baja	Serie76	0.3245	0.0703	Baja
Serie27	0.4901	0.1061	Baja	Serie77	0.5894	0.1276	Baja
Serie28	0.2914	0.0631	Baja	Serie78	0.2781	0.0602	Baja
Serie29	0.6225	0.1348	Baja	Serie79	0.1854	0.0401	Baja
Serie30	0.2914	0.0631	Baja	Serie80	0.9536	0.2065	Media



Índice de Exposición		Índice de Vulnerabilidad		Índice de Exposición		Índice de Vulnerabilidad	
Serie31	0.3444	0.0746	Baja	Serie81	0.1987	0.0430	Baja
Serie32	0.0993	0.0215	Muy Baja	Serie82	0.3377	0.0731	Baja
Serie33	0.3510	0.0760	Baja	Serie83	0.6954	0.1505	Baja
Serie34	0.3444	0.0746	Baja	Serie84	0.9205	0.1993	Media
Serie35	0.4901	0.1061	Baja	Serie85	0.2252	0.0487	Baja
Serie36	0.3642	0.0789	Baja	Serie86	0.3642	0.0789	Baja
Serie37	0.2980	0.0645	Baja	Serie87	0.2914	0.0631	Baja
Serie38	0.2517	0.0545	Baja	Serie88	0.1987	0.0430	Baja
Serie39	0.1788	0.0387	Muy Baja	Serie89	0.1060	0.0229	Muy Baja
Serie40	0.1921	0.0416	Baja	Serie90	0.3444	0.0746	Baja
Serie41	0.3444	0.0746	Baja	Serie91	0.4636	0.1004	Baja
Serie42	0.1325	0.0287	Muy Baja	Serie92	0.1192	0.0258	Muy Baja
Serie43	0.8278	0.1792	Media	Serie93	0.5232	0.1133	Baja
Serie44	0.2318	0.0502	Baja	Serie94	0.6225	0.1348	Baja
Serie45	0.4437	0.0961	Baja	Serie95	0.4437	0.0961	Baja
Serie46	0.1523	0.0330	Muy Baja	Serie96	0.0530	0.0115	Muy Baja
Serie47	0.4106	0.0889	Baja	Serie97	0.5099	0.1104	Baja
Serie48	0.1523	0.0330	Muy Baja	Serie98	0.2517	0.0545	Baja
Serie49	0.3113	0.0674	Baja	Serie99	0.6225	0.1348	Baja
Serie50	0.9007	0.1950	Media	Serie100	0.6225	0.1348	Baja

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Valores de los Índices de Exposición y Vulnerabilidad por escenario para la GHE en Saymirín (RCP 8.5)

Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad		Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad	
Serie1	0.4878	0.1056	Baja	Serie51	0.4817	0.1043	Baja
Serie2	0.3232	0.0700	Baja	Serie52	0.8415	0.1822	Media
Serie3	0.3720	0.0805	Baja	Serie53	0.3171	0.0686	Baja
Serie4	0.1768	0.0383	Muy Baja	Serie54	0.0793	0.0172	Muy Baja
Serie5	0.3232	0.0700	Baja	Serie55	1.0000	0.2165	Media
Serie6	0.2927	0.0634	Baja	Serie56	0.1707	0.0370	Muy Baja
Serie7	0.5122	0.1109	Baja	Serie57	0.7439	0.1611	Media
Serie8	0.2134	0.0462	Baja	Serie58	0.0854	0.0185	Muy Baja
Serie9	0.6098	0.1320	Baja	Serie59	0.1159	0.0251	Muy Baja
Serie10	0.4756	0.1030	Baja	Serie60	0.6159	0.1333	Baja
Serie11	0.3232	0.0700	Baja	Serie61	0.4268	0.0924	Baja
Serie12	0.3232	0.0700	Baja	Serie62	0.3659	0.0792	Baja
Serie13	0.4146	0.0898	Baja	Serie63	0.4756	0.1030	Baja
Serie14	0.2073	0.0449	Baja	Serie64	0.0366	0.0079	Muy Baja



Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad		Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad	
Serie15	0.3232	0.0700	Baja	Serie65	0.3232	0.0700	Baja
Serie16	0.3537	0.0766	Baja	Serie66	0.5671	0.1228	Baja
Serie17	0.4756	0.1030	Baja	Serie67	0.2378	0.0515	Baja
Serie18	0.2622	0.0568	Baja	Serie68	0.3110	0.0673	Baja
Serie19	0.6402	0.1386	Baja	Serie69	0.3659	0.0792	Baja
Serie20	0.0427	0.0092	Muy Baja	Serie70	0.3780	0.0818	Baja
Serie21	0.4817	0.1043	Baja	Serie71	0.2744	0.0594	Baja
Serie22	0.2012	0.0436	Baja	Serie72	0.6768	0.1465	Baja
Serie23	0.2988	0.0647	Baja	Serie73	0.7134	0.1545	Baja
Serie24	0.2012	0.0436	Baja	Serie74	0.0915	0.0198	Muy Baja
Serie25	0.6098	0.1320	Baja	Serie75	0.9756	0.2112	Media
Serie26	0.4817	0.1043	Baja	Serie76	0.3476	0.0752	Baja
Serie27	0.5671	0.1228	Baja	Serie77	0.6829	0.1479	Baja
Serie28	0.3110	0.0673	Baja	Serie78	0.2988	0.0647	Baja
Serie29	0.7134	0.1545	Baja	Serie79	0.1707	0.0370	Muy Baja
Serie30	0.3049	0.0660	Baja	Serie80	0.9756	0.2112	Media
Serie31	0.3780	0.0818	Baja	Serie81	0.1768	0.0383	Muy Baja
Serie32	0.0854	0.0185	Muy Baja	Serie82	0.3598	0.0779	Baja
Serie33	0.3902	0.0845	Baja	Serie83	0.7317	0.1584	Baja
Serie34	0.3841	0.0832	Baja	Serie84	0.9390	0.2033	Media
Serie35	0.5671	0.1228	Baja	Serie85	0.2195	0.0475	Baja
Serie36	0.4146	0.0898	Baja	Serie86	0.3902	0.0845	Baja
Serie37	0.3171	0.0686	Baja	Serie87	0.3110	0.0673	Baja
Serie38	0.2744	0.0594	Baja	Serie88	0.1890	0.0409	Baja
Serie39	0.1646	0.0356	Muy Baja	Serie89	0.0915	0.0198	Muy Baja
Serie40	0.1707	0.0370	Muy Baja	Serie90	0.3841	0.0832	Baja
Serie41	0.3780	0.0818	Baja	Serie91	0.5122	0.1109	Baja
Serie42	0.1098	0.0238	Muy Baja	Serie92	0.1098	0.0238	Muy Baja
Serie43	0.8597	0.1861	Media	Serie93	0.6280	0.1360	Baja
Serie44	0.2378	0.0514	Baja	Serie94	0.7134	0.1545	Baja
Serie45	0.5060	0.1095	Baja	Serie95	0.5061	0.1096	Baja
Serie46	0.1219	0.0264	Muy Baja	Serie96	0.0427	0.0092	Muy Baja
Serie47	0.4756	0.1029	Baja	Serie97	0.6098	0.1320	Baja
Serie48	0.1280	0.0277	Muy Baja	Serie98	0.2744	0.0594	Baja
Serie49	0.3292	0.0712	Baja	Serie99	0.7195	0.1558	Baja
Serie50	0.9146	0.1980	Media	Serie100	0.7195	0.1558	Baja

Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento en la probabilidad de ocurrencia de la vulnerabilidad para los usuarios de la central Saymirín, indica que el escenario RCP 8.5 tiene valores mayores



de probabilidad para una vulnerabilidad Muy Baja, y más bajos para una vulnerabilidad Baja, que el RCP 4.5. Los mayores porcentajes dieron una vulnerabilidad baja (79% para RCP 4.5 y 73% para el RCP 8.5), seguida de una vulnerabilidad de categoría muy baja (14 y 19% para RCP 4.5 y 8.5 respectivamente), mientras que el resto cae en la categoría de vulnerabilidad media, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 38. Resultados de la vulnerabilidad para la GHE en la central Saymirín

Central SAYMIRÍN	RCP 4.5	RCP 8.5
Vulnerabilidad	Probabilidad de ocurrencia	
Muy Baja	14	19
Baja	79	73
Media	7	8
Alta	0	0
Muy alta	0	0
Extremo	0	0
Total	100	100

Fuente: Elaboración propia.

Índice de Exposición	de	Índice de vulnerabilidad	Índice de Exposición	Índice de vulnerabilidad			
Serie1	0.2188	0.0474	Baja	Serie51	0.1875	0.0406	Baja
Serie2	0.0938	0.0203	Muy Baja	Serie52	0.5625	0.1218	Baja
Serie3	0.1250	0.0271	Muy Baja	Serie53	0.0938	0.0203	Muy Baja
Serie4	0.0313	0.0068	Muy Baja	Serie54	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie5	0.0938	0.0203	Muy Baja	Serie55	1.0000	0.2165	Media
Serie6	0.0938	0.0203	Muy Baja	Serie56	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie7	0.2500	0.0541	Baja	Serie57	0.4375	0.0947	Baja
Serie8	0.0313	0.0068	Muy Baja	Serie58	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie9	0.3125	0.0677	Baja	Serie59	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie10	0.1875	0.0406	Baja	Serie60	0.3125	0.0677	Baja
Serie11	0.0938	0.0203	Muy Baja	Serie61	0.1563	0.0338	Muy Baja
Serie12	0.0938	0.0203	Muy Baja	Serie62	0.1250	0.0271	Muy Baja
Serie13	0.1250	0.0271	Muy Baja	Serie63	0.1875	0.0406	Baja
Serie14	0.0313	0.0068	Muy Baja	Serie64	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie15	0.0938	0.0203	Muy Baja	Serie65	0.0938	0.0203	Muy Baja
Serie16	0.1250	0.0271	Muy Baja	Serie66	0.2500	0.0541	Baja
Serie17	0.1875	0.0406	Baja	Serie67	0.0313	0.0068	Muy Baja
Serie18	0.0625	0.0135	Muy Baja	Serie68	0.0938	0.0203	Muy Baja
Serie19	0.3125	0.0677	Baja	Serie69	0.1250	0.0271	Muy Baja
Serie20	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie70	0.1250	0.0271	Muy Baja
Serie21	0.1875	0.0406	Baja	Serie71	0.0625	0.0135	Muy Baja
Serie22	0.0313	0.0068	Muy Baja	Serie72	0.3438	0.0744	Baja
Serie23	0.0938	0.0203	Muy Baja	Serie73	0.4375	0.0947	Baja
Serie24	0.0313	0.0068	Muy Baja	Serie74	0.0000	0.0000	Muy Baja



Serie25	0.3125	0.0677	Baja	Serie75	0.8125	0.1759	Media
Serie26	0.1875	0.0406	Baja	Serie76	0.1250	0.0271	Muy Baja
Serie27	0.2813	0.0609	Baja	Serie77	0.3750	0.0812	Baja
Serie28	0.0938	0.0203	Muy Baja	Serie78	0.0938	0.0203	Muy Baja
Serie29	0.4375	0.0947	Baja	Serie79	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie30	0.0938	0.0203	Muy Baja	Serie80	0.8125	0.1759	Media
Serie31	0.1250	0.0271	Muy Baja	Serie81	0.0313	0.0068	Muy Baja
Serie32	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie82	0.1250	0.0271	Muy Baja
Serie33	0.1250	0.0271	Muy Baja	Serie83	0.4375	0.0947	Baja
Serie34	0.1250	0.0271	Muy Baja	Serie84	0.6563	0.1421	Baja
Serie35	0.2500	0.0541	Baja	Serie85	0.0313	0.0068	Muy Baja
Serie36	0.1250	0.0271	Muy Baja	Serie86	0.1250	0.0271	Muy Baja
Serie37	0.0938	0.0203	Muy Baja	Serie87	0.0938	0.0203	Muy Baja
Serie38	0.0625	0.0135	Muy Baja	Serie88	0.0313	0.0068	Muy Baja
Serie39	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie89	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie40	0.0313	0.0068	Muy Baja	Serie90	0.1250	0.0271	Muy Baja
Serie41	0.1250	0.0271	Muy Baja	Serie91	0.2500	0.0541	Baja
Serie42	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie92	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie43	0.5625	0.1218	Baja	Serie93	0.3125	0.0677	Baja
Serie44	0.0313	0.0068	Muy Baja	Serie94	0.4375	0.0947	Baja
Serie45	0.2188	0.0474	Baja	Serie95	0.2500	0.0541	Baja
Serie46	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie96	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie47	0.1875	0.0406	Baja	Serie97	0.3125	0.0677	Baja
Serie48	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie98	0.0625	0.0135	Muy Baja
Serie49	0.1250	0.0271	Muy Baja	Serie99	0.4375	0.0947	Baja
Serie50	0.6563	0.1421	Baja	Serie100	0.4375	0.0947	Baja

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Valores de los Índices de Exposición y Vulnerabilidad por escenario para la GHE en Saucay (RCP 8.5)

Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad		Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad	
Serie1	0.1081	0.0234	Muy Baja	Serie51	0.1081	0.0234	Muy Baja
Serie2	0.0811	0.0176	Muy Baja	Serie52	0.5946	0.1287	Baja
Serie3	0.0811	0.0176	Muy Baja	Serie53	0.0811	0.0176	Muy Baja
Serie4	0.0270	0.0059	Muy Baja	Serie54	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie5	0.0811	0.0176	Muy Baja	Serie55	1.0000	0.2165	Media
Serie6	0.0811	0.0176	Muy Baja	Serie56	0.0270	0.0059	Muy Baja
Serie7	0.1081	0.0234	Muy Baja	Serie57	0.3784	0.0819	Baja
Serie8	0.0270	0.0059	Muy Baja	Serie58	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie9	0.2162	0.0468	Baja	Serie59	0.0270	0.0059	Muy Baja
Serie10	0.1081	0.0234	Muy Baja	Serie60	0.2162	0.0468	Baja
Serie11	0.0811	0.0176	Muy Baja	Serie61	0.1081	0.0234	Muy Baja
Serie12	0.0811	0.0176	Muy Baja	Serie62	0.0811	0.0176	Muy Baja
Serie13	0.1081	0.0234	Muy Baja	Serie63	0.1081	0.0234	Muy Baja



Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad		Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad	
Serie14	0.0270	0.0059	Muy Baja	Serie64	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie15	0.0811	0.0176	Muy Baja	Serie65	0.0811	0.0176	Muy Baja
Serie16	0.0811	0.0176	Muy Baja	Serie66	0.1351	0.0293	Muy Baja
Serie17	0.1081	0.0234	Muy Baja	Serie67	0.0270	0.0059	Muy Baja
Serie18	0.0541	0.0117	Muy Baja	Serie68	0.0811	0.0176	Muy Baja
Serie19	0.2432	0.0527	Baja	Serie69	0.0811	0.0176	Muy Baja
Serie20	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie70	0.1081	0.0234	Muy Baja
Serie21	0.1081	0.0234	Muy Baja	Serie71	0.0541	0.0117	Muy Baja
Serie22	0.0270	0.0059	Muy Baja	Serie72	0.2973	0.0644	Baja
Serie23	0.0811	0.0176	Muy Baja	Serie73	0.2973	0.0644	Baja
Serie24	0.0270	0.0059	Muy Baja	Serie74	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie25	0.2162	0.0468	Baja	Serie75	0.8649	0.1872	Media
Serie26	0.1081	0.0234	Muy Baja	Serie76	0.0811	0.0176	Muy Baja
Serie27	0.1622	0.0351	Muy Baja	Serie77	0.2973	0.0644	Baja
Serie28	0.0811	0.0176	Muy Baja	Serie78	0.0811	0.0176	Muy Baja
Serie29	0.2973	0.0644	Baja	Serie79	0.0270	0.0059	Muy Baja
Serie30	0.0811	0.0176	Muy Baja	Serie80	0.8649	0.1872	Media
Serie31	0.1081	0.0234	Muy Baja	Serie81	0.0270	0.0059	Muy Baja
Serie32	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie82	0.0811	0.0176	Muy Baja
Serie33	0.1081	0.0234	Muy Baja	Serie83	0.3784	0.0819	Baja
Serie34	0.1081	0.0234	Muy Baja	Serie84	0.7568	0.1638	Media
Serie35	0.1351	0.0293	Muy Baja	Serie85	0.0270	0.0059	Muy Baja
Serie36	0.1081	0.0234	Muy Baja	Serie86	0.1081	0.0234	Muy Baja
Serie37	0.0811	0.0176	Muy Baja	Serie87	0.0811	0.0176	Muy Baja
Serie38	0.0541	0.0117	Muy Baja	Serie88	0.0270	0.0059	Muy Baja
Serie39	0.0270	0.0059	Muy Baja	Serie89	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie40	0.0270	0.0059	Muy Baja	Serie90	0.1081	0.0234	Muy Baja
Serie41	0.1081	0.0234	Muy Baja	Serie91	0.1081	0.0234	Muy Baja
Serie42	0.0270	0.0059	Muy Baja	Serie92	0.0270	0.0059	Muy Baja
Serie43	0.6216	0.1346	Baja	Serie93	0.2162	0.0468	Baja
Serie44	0.0541	0.0117	Muy Baja	Serie94	0.2973	0.0644	Baja
Serie45	0.1081	0.0234	Muy Baja	Serie95	0.1081	0.0234	Muy Baja
Serie46	0.0270	0.0059	Muy Baja	Serie96	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie47	0.1081	0.0234	Muy Baja	Serie97	0.2162	0.0468	Baja
Serie48	0.0270	0.0059	Muy Baja	Serie98	0.0541	0.0117	Muy Baja
Serie49	0.0811	0.0176	Muy Baja	Serie99	0.3243	0.0702	Baja
Serie50	0.7027	0.1521	Baja	Serie100	0.3243	0.0702	Baja

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que para la central Saymirín, el comportamiento de la vulnerabilidad de los usuarios de la central Saucay es el mismo para los escenarios RCP, donde la mayor probabilidad de ocurrencia corresponde a una vulnerabilidad muy baja con un 63% y

78%, seguida por un 34% y 18% de probabilidad de ocurrencia de vulnerabilidad que recae en la categoría baja.

Tabla 40. Resultados de la vulnerabilidad para la GHE en la central Saucay

Central SAUCAY	RCP 4.5	RCP 8.5
Vulnerabilidad	Probabilidad de ocurrencia	
Muy Baja	63	78
Baja	34	18
Media	3	4
Alta	0	0
Muy alta	0	0
Extrema	0	0
Total	100	100

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2. Agua para consumo humano

Los valores de los índices de sensibilidad y capacidad adaptativa para la PTAP de Tixán son 0.6274 y 0.1 respectivamente. Las tablas 42 y 43 expresan los índices de exposición y el cálculo final de vulnerabilidad para cada serie y escenario RCP, correspondientes a esta demanda.

Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad		Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad	
Serie1	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie51	0	0	Muy Baja
Serie2	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie52	1.0000	6.2745	Extrema
Serie3	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie53	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie4	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie54	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie5	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie55	1.0000	6.2745	Extrema
Serie6	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie56	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie7	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie57	1.0000	6.2745	Extrema
Serie8	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie58	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie9	1.0000	6.2745	Extrema	Serie59	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie10	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie60	1.0000	6.2745	Extrema
Serie11	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie61	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie12	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie62	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie13	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie63	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie14	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie64	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie15	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie65	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie16	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie66	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie17	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie67	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie18	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie68	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie19	1.0000	6.2745	Extrema	Serie69	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie20	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie70	0.0000	0.0000	Muy Baja



Serie21	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie71	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie22	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie72	1.0000	6.2745	Extrema
Serie23	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie73	1.0000	6.2745	Extrema
Serie24	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie74	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie25	1.0000	6.2745	Extrema	Serie75	1.0000	6.2745	Extrema
Serie26	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie76	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie27	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie77	1.0000	6.2745	Extrema
Serie28	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie78	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie29	1.0000	6.2745	Extrema	Serie79	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie30	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie80	1.0000	6.2745	Extrema
Serie31	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie81	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie32	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie82	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie33	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie83	1.0000	6.2745	Extrema
Serie34	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie84	1.0000	6.2745	Extrema
Serie35	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie85	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie36	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie86	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie37	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie87	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie38	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie88	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie39	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie89	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie40	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie90	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie41	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie91	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie42	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie92	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie43	1.0000	6.2745	Extrema	Serie93	1.0000	6.2745	Extrema
Serie44	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie94	1.0000	6.2745	Extrema
Serie45	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie95	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie46	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie96	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie47	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie97	1.0000	6.2745	Extrema
Serie48	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie98	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie49	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie99	1.0000	6.2745	Extrema
Serie50	1.0000	6.2745	Extrema	Serie100	1.0000	6.2745	Extrema

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Valores de los Índices de Exposición y Vulnerabilidad por escenario para la demanda de Tixán (RCP 8.5)

Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad		Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad	
Serie1	0	0	Muy Baja	Serie51	0	0	Muy Baja
Serie2	0	0	Muy Baja	Serie52	1	6.2745	Extrema
Serie3	0	0	Muy Baja	Serie53	0	0	Muy Baja
Serie4	0	0	Muy Baja	Serie54	0	0	Muy Baja
Serie5	0	0	Muy Baja	Serie55	1	6.2745	Extrema
Serie6	0	0	Muy Baja	Serie56	0	0	Muy Baja
Serie7	0	0	Muy Baja	Serie57	1	6.2745	Extrema
Serie8	0	0	Muy Baja	Serie58	0	0	Muy Baja



Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad		Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad	
Serie9	0	0	Muy Baja	Serie59	0	0	Muy Baja
Serie10	0	0	Muy Baja	Serie60	0	0	Muy Baja
Serie11	0	0	Muy Baja	Serie61	0	0	Muy Baja
Serie12	0	0	Muy Baja	Serie62	0	0	Muy Baja
Serie13	0	0	Muy Baja	Serie63	0	0	Muy Baja
Serie14	0	0	Muy Baja	Serie64	0	0	Muy Baja
Serie15	0	0	Muy Baja	Serie65	0	0	Muy Baja
Serie16	0	0	Muy Baja	Serie66	0	0	Muy Baja
Serie17	0	0	Muy Baja	Serie67	0	0	Muy Baja
Serie18	0	0	Muy Baja	Serie68	0	0	Muy Baja
Serie19	0	0	Muy Baja	Serie69	0	0	Muy Baja
Serie20	0	0	Muy Baja	Serie70	0	0	Muy Baja
Serie21	0	0	Muy Baja	Serie71	0	0	Muy Baja
Serie22	0	0	Muy Baja	Serie72	0	0	Muy Baja
Serie23	0	0	Muy Baja	Serie73	0	0	Muy Baja
Serie24	0	0	Muy Baja	Serie74	0	0	Muy Baja
Serie25	0	0	Muy Baja	Serie75	1	6.2745	Extrema
Serie26	0	0	Muy Baja	Serie76	0	0	Muy Baja
Serie27	0	0	Muy Baja	Serie77	0	0	Muy Baja
Serie28	0	0	Muy Baja	Serie78	0	0	Muy Baja
Serie29	0	0	Muy Baja	Serie79	0	0	Muy Baja
Serie30	0	0	Muy Baja	Serie80	1	6.2745	Extrema
Serie31	0	0	Muy Baja	Serie81	0	0	Muy Baja
Serie32	0	0	Muy Baja	Serie82	0	0	Muy Baja
Serie33	0	0	Muy Baja	Serie83	1	6.2745	Extrema
Serie34	0	0	Muy Baja	Serie84	1	6.2745	Extrema
Serie35	0	0	Muy Baja	Serie85	0	0	Muy Baja
Serie36	0	0	Muy Baja	Serie86	0	0	Muy Baja
Serie37	0	0	Muy Baja	Serie87	0	0	Muy Baja
Serie38	0	0	Muy Baja	Serie88	0	0	Muy Baja
Serie39	0	0	Muy Baja	Serie89	0	0	Muy Baja
Serie40	0	0	Muy Baja	Serie90	0	0	Muy Baja
Serie41	0	0	Muy Baja	Serie91	0	0	Muy Baja
Serie42	0	0	Muy Baja	Serie92	0	0	Muy Baja
Serie43	1	6.2745	Extrema	Serie93	0	0	Muy Baja
Serie44	0	0	Muy Baja	Serie94	0	0	Muy Baja
Serie45	0	0	Muy Baja	Serie95	0	0	Muy Baja
Serie46	0	0	Muy Baja	Serie96	0	0	Muy Baja
Serie47	0	0	Muy Baja	Serie97	0	0	Muy Baja
Serie48	0	0	Muy Baja	Serie98	0	0	Muy Baja
Serie49	0	0	Muy Baja	Serie99	0	0	Muy Baja
Serie50	1	6.27452	Extrema	Serie100	0	0	Muy Baja

Fuente: Elaboración propia.

La mayor probabilidad de ocurrencia recae en una vulnerabilidad muy baja, con valores de 78% y 91% para los escenarios RCP 4.5 y 8.5, respectivamente (ver tabla 44); lo que equivale a una respuesta positiva para los usuarios que se sirven del agua potable de la planta de Tixán.

Únicamente en enero del 2019 se presentaron fallos en la cobertura de la demanda según la simulación del modelo hidrológico en WEAP, esto se debe al ajuste deficiente del modelo a los primeros meses de proyección de caudales (Losano et al., 2015). Luego al estabilizar e incluso presentar tendencias crecientes de las series futuras de caudal, las series estocásticas de valores bajos de oferta son capaces de suplir la demanda.

Tabla 42. Resultados de la vulnerabilidad para Tixán.

Planta de TIXÁN	RCP 4.5	RCP 8.5
Vulnerabilidad	Probabilidad de ocurrencia	
Muy Baja	78	91
Baja	0	0
Media	0	0
Alta	0	0
Muy alta	0	0
Extrema	22	9
Total	100	100

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que el número máximo de eventos de déficit entre las series sintéticas fue de 1, los índices de exposición en las 22 ocasiones para el escenario RCP 4.5, y 9 ocasiones para el RPC 8.5, dieron una exposición de 1 y una vulnerabilidad de categoría extrema.

3.7.3. Agua para riego

Los valores calculados de los índices de sensibilidad y capacidad adaptativa para el sistema de riego de las tres juntas son 0.0241 y 0.08 respectivamente. En las siguientes tablas (tablas 45 y 46), se observan los resultados de los índices de exposición y vulnerabilidad para cada serie.

Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad		Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad	
Serie1	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie51	0.0833	0.0251	Muy Baja
Serie2	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie52	0.3750	0.1130	Baja
Serie3	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie53	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie4	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie54	0.0000	0.0000	Muy Baja



Serie5	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie55	1.0000	0.3014	Media
Serie6	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie56	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie7	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie57	0.1250	0.0377	Muy Baja
Serie8	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie58	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie9	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie59	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie10	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie60	0.0833	0.0251	Muy Baja
Serie11	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie61	0.0833	0.0251	Muy Baja
Serie12	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie62	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie13	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie63	0.0833	0.0251	Muy Baja
Serie14	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie64	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie15	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie65	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie16	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie66	0.0833	0.0251	Muy Baja
Serie17	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie67	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie18	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie68	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie19	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie69	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie20	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie70	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie21	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie71	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie22	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie72	0.0833	0.0251	Muy Baja
Serie23	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie73	0.0833	0.0251	Muy Baja
Serie24	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie74	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie25	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie75	0.5833	0.1758	Media
Serie26	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie76	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie27	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie77	0.0833	0.0251	Muy Baja
Serie28	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie78	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie29	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie79	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie30	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie80	0.6250	0.1884	Media
Serie31	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie81	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie32	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie82	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie33	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie83	0.0833	0.0251	Muy Baja
Serie34	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie84	0.4583	0.1381	Baja
Serie35	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie85	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie36	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie86	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie37	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie87	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie38	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie88	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie39	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie89	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie40	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie90	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie41	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie91	0.0833	0.0251	Muy Baja
Serie42	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie92	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie43	0.3750	0.1130	Baja	Serie93	0.0833	0.0251	Muy Baja
Serie44	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie94	0.0833	0.0251	Muy Baja
Serie45	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie95	0.0833	0.0251	Muy Baja
Serie46	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie96	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie47	0.0833	0.0251	Muy Baja	Serie97	0.0833	0.0251	Muy Baja

Serie48	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie98	0.0417	0.0126	Muy Baja
Serie49	0.0417	0.0126	Muy Baja	Serie99	0.0833	0.0251	Muy Baja
Serie50	0.4167	0.1256	Baja	Serie100	0.0833	0.0251	Muy Baja

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. Valores de los Índices de Exposición y Vulnerabilidad por escenario para la demanda de Riego (RCP 8.5)

Índice de Exposición	Índice de vulnerabilidad	Índice de Exposición	Índice de vulnerabilidad
Serie1	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie2	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie3	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie4	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie5	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie6	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie7	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie8	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie9	0.0577	0.0174	Muy Baja
Serie10	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie11	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie12	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie13	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie14	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie15	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie16	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie17	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie18	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie19	0.0577	0.0174	Muy Baja
Serie20	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie21	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie22	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie23	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie24	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie25	0.0577	0.0174	Muy Baja
Serie26	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie27	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie28	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie29	0.0962	0.0290	Muy Baja
Serie30	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie31	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie32	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie33	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie34	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie35	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie36	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie51	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie52	0.4038	0.1217	Baja
Serie53	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie54	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie55	1.0000	0.3014	Media
Serie56	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie57	0.1538	0.0464	Baja
Serie58	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie59	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie60	0.0577	0.0174	Muy Baja
Serie61	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie62	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie63	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie64	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie65	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie66	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie67	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie68	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie69	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie70	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie71	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie72	0.0769	0.0232	Muy Baja
Serie73	0.0962	0.0290	Muy Baja
Serie74	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie75	0.7115	0.2145	Media
Serie76	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie77	0.0769	0.0232	Muy Baja
Serie78	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie79	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie80	0.7500	0.2261	Media
Serie81	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie82	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie83	0.1346	0.0406	Baja
Serie84	0.5962	0.1797	Media
Serie85	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie86	0.0385	0.0116	Muy Baja



Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad		Índice de Exposición		Índice de vulnerabilidad	
Serie37	0.0192	0.0058	Muy Baja	Serie87	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie38	0.0192	0.0058	Muy Baja	Serie88	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie39	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie89	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie40	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie90	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie41	0.0385	0.0116	Muy Baja	Serie91	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie42	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie92	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie43	0.4615	0.1391	Baja	Serie93	0.0577	0.0174	Muy Baja
Serie44	0.0192	0.0058	Muy Baja	Serie94	0.0962	0.0290	Muy Baja
Serie45	0.0385	0.0116	Muy Baja	Serie95	0.0385	0.0116	Muy Baja
Serie46	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie96	0.0000	0.0000	Muy Baja
Serie47	0.0385	0.0116	Muy Baja	Serie97	0.0577	0.0174	Muy Baja
Serie48	0.0000	0.0000	Muy Baja	Serie98	0.0192	0.0058	Muy Baja
Serie49	0.0192	0.0058	Muy Baja	Serie99	0.1154	0.0348	Muy Baja
Serie50	0.5769	0.1739	Media	Serie100	0.1154	0.0348	Muy Baja

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó, la oferta de agua para el sistema de riego es obtenida de la sustracción de caudales de las series, requeridos para alimentar la PTAP de Tixán; por lo tanto, los flujos disponibles son bajos.

Las probabilidades de vulnerabilidad para los miembros de las concesiones, presentan en su mayoría valores óptimos del 93% y 91% para los escenarios RCP 4.5 y 8.5, respectivamente, de una vulnerabilidad de categoría muy baja.

Valores menores al 5%, resultan en vulnerabilidades baja y media, para ambos escenarios RCP.

Tabla 44. Resultados de la vulnerabilidad para Riego

Sistema de Riego	RCP 4.5	RCP 8.5
Vulnerabilidad	Probabilidad de ocurrencia	
Muy Baja	93	91
Baja	4	4
Media	3	5
Alta	0	0
Muy alta	0	0
Extrema	0	0
Total	100	100

Fuente: Elaboración propia.



4. CONCLUSIONES

Los escenarios de cambio climático, mediante la reducción de escala estadística de las variables climáticas, la modelación de los recursos hídricos y la información de las demandas del sistema, conformaron la información necesaria para el desarrollo de los índices de vulnerabilidad de los usuarios de la subcuenca del Río Machángara bajo 100 posibles escenarios de oferta del recurso hídrico en cada trayectoria de concentración representativa y microcuenca de recarga hídrica.

Los modelos climáticos a escala regional, global y de Ecuador, son útiles para proyectar la temperatura, humedad, precipitación y viento, pero si se hace uso de estas para proyecciones a nivel de estación es necesario de una reducción de escala, ya sea estadística o dinámica.

La reducción de escala estadística mediante el uso del modelo de Machine Learning denominado Support Vector Regression fue muy eficiente para variables como temperatura, humedad y viento, debido a que captó de forma correcta su comportamiento, dando una mejor proyección futura a diferencia de la precipitación, en donde se logró capturar la tendencia que tenía la precipitación, pero no se recogieron los valores extremos de la misma.

La realización del modelo hidrológico estocástico, mediante el método de simulación Montecarlo, permitió generar 100 posibles escenarios de oferta de agua además de la serie base obtenida por el software WEAP, y así presentar una probabilidad de ocurrencia para determinar de manera más confiable la vulnerabilidad futura de los distintos usuarios presentes en la subcuenca.

Se obtuvo que los primeros valores de simulación de caudales en la modelación hidrológica mensual, parten de flujos con magnitudes bajas, luego se estabilizan e incluso presentan tendencias crecientes en las series futuras de caudal. Debido al corto período de modelación en cuentas corrientes. Lo que explica el alto número de fallos en la cobertura de demandas de las series sintéticas para el primer año.

Los escenarios obtenidos en WEAP y en las series sintéticas, conforman posibles sucesos que podrían ocurrir en la subcuenca del Río Machángara y sus resultados son información de importancia para los pobladores de la región de estudio y para los tomadores de decisiones, como es el caso del incremento de fallos en la cobertura de la demanda para los meses de julio, agosto y septiembre, los cuales deberían tomarse en cuenta al definir medidas y acciones para no sucumbir frente a una planificación tardía, equívoca y sin coordinación.



Las operaciones de generación hidroeléctrica en las centrales de Saymirín y Saucay no afectan significativamente a los diferentes usuarios del agua del Complejo Machángara, debido a que el aprovechamiento del recurso hídrico es netamente mecánico y el caudal turbinado es devuelto al sistema para su uso posterior.

De los resultados obtenidos, se observa que las categorías predominantes de vulnerabilidad para los usuarios que se sirven del recurso hídrico de la subcuenca del Río Machángara están entre Muy Baja y Baja, respectivamente.

5. RECOMENDACIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS

Para próximas aplicaciones del SVR en el ámbito de la reducción de escala estadística, se recomienda conseguir una mayor cantidad de predictores a diferentes alturas geopotenciales y hacer un análisis más profundo con relación a la variable objetivo, además de datos de entrada más limpios, especialmente para simulación de la precipitación.

Se propone desarrollar una modelación hidrológica de la subcuenca del Río Machángara en la que los catchments o unidades hidrológicas se definan de acuerdo a las bandas de elevación del terreno según la herramienta de Modo de Delineado de Cuenca, que utiliza la ubicación real de la zona de estudio y en base a información global se obtienen los parámetros de uso del suelo, con el fin de comparar los resultados obtenidos en este trabajo, donde se usaron catchments por microcuenca.

En el caso de la simulación Montecarlo se recomienda aumentar la cantidad de series sintéticas generadas a un mínimo de 10000 series, para tener así una mayor confiabilidad al momento de identificar la cantidad de fallos en sistemas de demanda del recurso hídrico.

Los índices de bondad de ajuste para los procesos de calibración y validación, reflejan que la microcuenca del Río Chulco no se ajusta a los parámetros de uso del suelo referidos en estudios anteriores para las zonas de características similares en cuanto a geografía, edafología y clima, haciendo necesario un levantamiento de información actualizada del lugar.

REFERENCIAS

- Adetiloye, T., y Awasthi, A. (2017). Chapter 8 - Predicting Short-Term Congested Traffic Flow on Urban Motorway Networks. En P. Samui, S. Sekhar, y V. E. Balas (Eds.), *Handbook of Neural Computation* (pp. 145–165). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811318-9.00008-9>
- Aksornsingchai, P., y Srinilta, C. (2011). Statistical Downscaling for Rainfall and Temperature Prediction in Thailand. *Hong Kong*, 6.
- Amblar, P., Casado, M., Pastor, A., Ramos, P., y Rodríguez, E. (2017). *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5* (No. 014-17-010-8; p. 96). Retrieved from Agencia Estatal de Meteorología website: <https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/7956?mode=full>
- Anandhi, A., Srinivas, V., Nanjundiah, R., y Nagesh, D. (2008). Downscaling precipitation to river basin in India for IPCC SRES scenarios using support vector machine. *International Journal of Climatology*, 28(3), 401–420. <https://doi.org/10.1002/joc.1529>
- Armenta, G., Dorado, J., Rodríguez, A., y Ruiz, J. (2014). ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURAS EN COLOMBIA - IDEAM. Retrieved June 12, 2019, from <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/escenarios-cambio-climatico>
- Awad, M., & Khanna, R. (2015). Support Vector Regression | SpringerLink. In *Efficient Learning Machines* (pp. 67–80). Retrieved from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4302-5990-9_4
- Benestad, R., Hanssen-Bauer, I., y Chen, D. (2008). *Empirical-statistical Downscaling*. World Scientific.
- Borrero, A., Idrovo, D., y Díaz, C. (2015). CONSEJO DE CUENCA DEL RIO MACHÁNGARA, 24.
- C4sF. (2018). PEST Uncertainty Analysis. Retrieved February 20, 2019, from http://www.pesthomepage.org/Uncertainty_Analysis.php
- Cabrera, J. (2017). *Calibración de Modelos Hidrológicos*. Retrieved from <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5203/pog.pdf?sequence=1>
- Carranza, G. (2017). Cálculo de la Eficiencia de conducción y distribución en el sector hidráulico menor clase B del Rio Chonta y Cajamarquino en el canal de riego la Victoria, Yanamarca, Rumicucho - Cajamarca". Trujillo - Perú.



- CCGUCC, y SEI. (2009). *Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP*. Retrieved from https://www.weap21.org/downloads/Guia_modelacion_WEAP_Espanol.pdf
- CENACE. (2018). Corporación CENACE, Informe anual 2018. Retrieved May 18, 2019, from http://www.cenace.org.ec/index.php?option=com_phocadownload&view=categoryyid=6:phocatinfanuales
- CentroSur. (2018). Área de Concesión | Centrosur. Retrieved May 18, 2019, from <http://www.centrosur.gob.ec/?q=node/11>
- Consejo de Cuenca del Río Machángara. (2015). CONSEJO DE CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA.
- Delju, A., Boscolo, R., Guttman, N., Davies, C., y Horstbrink, A. (2015). Resource Guide for Advanced Learning on PREDICTING AND PROJECTING CLIMATE CHANGE. Retrieved January 3, 2019, from UN CC:Learn website: <https://www.uncclearn.org/es/predicciones-y-proyecciones-del-cambio-climatico-version-interactiva>
- DGIAR. (2015). Manual del Cálculo de Eficiencia para Sistemas de Riego. Lima - Perú: Ministerio de Agricultura.
- Díaz Cordero, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, 37(2), 227. <https://doi.org/10.22206/cys.2012.v37i2.pp227-240>
- Doherty, J. (2010). *Methodologies and Software for PEST-Based Model Predictive Uncertainty Analysis*. Retrieved from <http://www.pesthomepage.org/Downloads.php>
- Doherty, J., y Johnston, J. (2003). METHODOLOGIES FOR CALIBRATION AND PREDICTIVE ANALYSIS OF A WATERSHED MODEL. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(2), 251–265. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2003.tb04381.x>
- Dormann, C., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Gudrun, C., Carré, G., ... Lautenbach, S. (2012). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *18 May 2012*, 36, 27–46. <https://doi.org/doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- ETAPA EP. (2019). Agua Potable. Recuperado de ETAPA website: <https://www.etapa.net.ec/Principal/Agua-potable>
- FAO56. (2006). Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (pp. 103–134). Roma: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>



- García, M., Piñeros, A., Bernal, F., y Ardila, E. (2012). Climate Variability, Climate Change and Water Resources in Colombia. *Revista de Ingeniería*, (36), 60–64.
- Ghosh, S. (2010). SVM-PGSL coupled approach for statistical downscaling to predict rainfall from GCM output. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D22). <https://doi.org/10.1029/2009JD013548>
- Gutiérrez, J., González, A., García, C., Trueba, R., y Primo, C. (2004). PROMETEO: Aplicación Operativa de Downscaling Estadístico para la Predicción de Fenómenos Locales. *El clima, entre el mar y la montaña: [aportaciones presentadas al IV Congreso de la Asociación Española de Climatología, Santander, 2-5 de noviembre de 2004], 2004, ISBN 84-8102-384-1, págs. 745-754*, 745–754. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1036110>
- Gutiérrez, J., Cano, R., Cofiño, A., y Sordo, C. (2004). *Redes Probabilísticas y Neuronales en las Ciencias Atmosféricas*. In *Monografías del Instituto Nacional de Meteorología* (pp. 63–68). Retrieved from <https://grupos.unican.es/ai/meteo/Book.html>
- H&G Engineering. (2017). *CURSO VIRTUAL: “MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y DE PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CON EL MODELO WEAP.”* Retrieved from <https://hyengineering.milaulas.com>
- Heras, N., y Díaz, D. (2011). *Uso del Sistema de Riego Machángara* (Universidad de Cuenca). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/1968/1/thg420.pdf>
- Hu, H., y Ayyub, B. M. (2019). Machine Learning for Projecting Extreme Precipitation Intensity for Short Durations in a Changing Climate. *Geosciences*, 9(5), 209. <https://doi.org/10.3390/geosciences9050209>
- IPCC. (2015). *CAMBIO CLIMÁTICO 2014 Informe de síntesis*.
- Ito, K., y Nakano, R. (2003). Optimizing Support Vector regression hyperparameters based on cross-validation. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, 2003., 3, 2077–2082. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2003.1223728>
- Jiménez, S. (2018). *Estimación de la vulnerabilidad de los riesgos del cambio climático en una cuenca de montaña* (Pregrado, Universidad de Cuenca). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/284/browse?type=authororder=ASCyrpp=10yvalue=Jim%C3%A9nez+Yuacta%2C+Stalin+Daniel>
- Joachims, T. (2002). *Learning to Classify Text Using Support Vector Machines: Methods, Theory and Algorithms*.



- Kato, T. (2016). Chapter 4 - Prediction of photovoltaic power generation output and network operation. En T. Funabashi (Ed.), *Integration of Distributed Energy Resources in Power Systems* (pp. 77–108). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803212-1.00004-0>
- Kecman, V. (2001). *Aprendizaje y soft computing*. MIT Press Cambridge, Mass.
- López, J., Díaz, T., Watts, C., Rodríguez, J., Castellanos, A., Partida, L., y Velázquez, T. (2015). *Evapotranspiración y coeficientes de cultivo de chile bell en el Valle de Culiacán, México*. 33. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextpid=S0187-57792015000300209
- Losano, F., Cello, P., Marizza, M., Forni, L., Young, C., Nadal, G., ... Godoy, S. (2015). *Modelo de gestión para la evaluación del estrés hídrico en la región del Comahue*. Retrieved from http://www.climagua.org.ar/wp-content/uploads/2015/09/3_2-2015-03-20-16-11-38.pdf
- Ludeña, C., y Wilk, D. (2013). *Mitigación y Adaptación al Cambio Climático*. Banco Interamericano de Desarrollo, 29.
- MAGAP. (2014). *Manual de Riego Parcelario | FAO* (pp. 39–52). Retrieved from Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca website: <http://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/286387/>
- Maldonado, T. (2001). *Manual de Riego Parcelario*. FAO.
- Mangin, J.-P. L., y Mallou, J. V. (2006). *Modelización con estructuras de covarianzas en Ciencias Sociales: Temas esenciales, avanzados y aportaciones especiales*. Netbiblo.
- Mapplecroft. (2014). *Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe*. Corporación Andina de Fomento.
- Martín, J. (2015). *Support Vector Regression: Propiedades y Aplicaciones*. Universidad de Sevilla.
- Martínez, C. (2018). *RPubs - Máquinas de Vector Soporte*. Recuperado 3 de enero de 2019, de https://rpubs.com/Cristina_Gil/SVM.
- Martínez, P., y Patiño, C. (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(1), 5–20.
- MathWorks. (2016). *Machine Learning: Tres cosas que es necesario saber*. Retrieved January 2, 2019, from <https://la.mathworks.com/discovery/machine-learning.html>
- McMurracy, A., Timothy, P., y Felipe, C. (2017). *Guía para aplicar el enfoque Monte Carlo al análisis de incertidumbre en la Contabilidad Forestal y de Gases de Efecto Invernadero*. WINROCK.



- Minga, N., Timbe, E., Zárate, E., & Glocalización & Tecnologías Xtrem. (2006). IRHA Inventario de los Recursos Hídricos del Azuay. Cuenca, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2017). Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Retrieved June 3, 2019, from https://www.academia.edu/35703383/Tercera_Comunicaci%C3%B3n_Nacional_del_Ecuador_a_la_Convenci%C3%B3n_Marco_de_las_Naciones_Unidas_sobre_el_Cambio_Clim%C3%A1tico?auto=download
- Molina, E., Quesada, F., Calle, A., Ortiz, J., y Orellana, D. (2018). *Consumo sustentable de agua en viviendas de la ciudad de Cuenca | Ingenius*. 28–38. <https://doi.org/10.17163/ings.n20.2018.03>
- Molnar, 2011. Calibration. Watershed Modelling, SS 2011. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich. Switzerland.
- Monterroso, A., Gay, C., Gómez, J., y López, G. (2010). Indicadores de Vulnerabilidad y Cambio Climático en la Agricultura de México. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Moss, R., Edmonds, J., Hibbard, K., Manning, M., Rose, S., van Vuuren, D., ... Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, 747.
- Mussetta, P., Barrientos, M., Acevedo, E., Turbay, S., y Ocampo, O. (2017). Vulnerabilidad al cambio climático: Dificultades en el uso de indicadores en dos cuencas de Colombia. Madrid, España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Palacios, K. (2017). *ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE FACTORES QUE INFLUYEN EN LA OFERTA Y DEMANDA DE AGUA EN ESCENARIOS FUTUROS. CASO DE ESTUDIO EN UNA CUENCA ANDINA REGULADA* (Universidad de Cuenca). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28445/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>
- Pardo, M. (2010). Cambio climático y lucha contra la pobreza. Siglo XXI de España Editores.
- Paul, N., y Elango, L. (2018). Predicting future water supply-demand gap with a new reservoir, desalination plant and waste water reuse by water evaluation and planning model for Chennai megacity, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 7, 8–19. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.02.005>



- Pérez, Ll., Delegido, J., Rivera, J., y Verrelst, J. (2015). Análisis de métodos de validación cruzada para la obtención robusta de parámetros biofísicos. *Revista de Teledetección*, (44), 55. <https://doi.org/10.4995/raet.2015.4153>
- Ramirez, J., & TH Köln ITT. (2015). Modelización de Recursos Hídricos con WEAP, Uso en Cuencas Criosféricas y Revisión de Aplicaciones en Los Andes. Retrieved June 27, 2019, from http://www.cazalac.org/mwar_lac/fileadmin/imagenes2/Training_Andean_Hydrology/AndeanHydrology_presentations/PDF_modelo_WEAP_JRamirez.pdf
- Saldaña, M. R. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Enfermería del Trabajo*, 6(3), 114.
- Santaniello, S., y Filipo, F. (2003). Aplicación del Método de Monte Carlo en Exploración y Explotación de Petróleo y Gas Natural. Caracas.
- Sayad, S. (2010). An Introduction to Data Science. Retrieved October 5, 2018, from <http://www.saedsayad.com/modeling.htm>
- SEI. (2009). WEAP (Water Evaluation And Planning). Retrieved February 15, 2019, from <https://www.weap21.org>
- SEI. (2015). *WEAP Tutorial | Una colección de modelos independientes para enseñar el software WEAP*.
- SENAGUA. (2016). Informe de Viabilidad Técnica, Proyecto: “Construcción de la conducción de agua cruda Saymirín-Tixán y rehabilitación del canal de riego Machángara” (Viabilidad Técnica No. 0014). Cuenca, Ecuador: Etapa EP. Retrieved from <http://www.etapa.net.ec/Portals/0/Documentos/contrataciondirectatixan/9.VIABILIDAD%20TECNICA%20SENAGUA.pdf>
- Simulistics. (2017). Parameter estimation using PEST. Retrieved February 20, 2019, from <https://www.simulistics.com/book/export/html/840>
- Soria, F. (2016). *Guía metodológica para la elaboración de balances hídricos superficiales (versión resumida)*. La Paz.
- Suárez, S., Pedro, M., Paredes, J., Andreu, J., y Solera, A. (2017). Linking Pan-European data to the local scale for decision making for global change and water scarcity within water resources planning and management. *Science of The Total Environment*, 603–604, 126–139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.259>.
- Taylor, K., Stouffer, R., y Meehl, G. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485–498. <https://doi.org/10.1175/bams-d-11-00094.1>
- Timbe, E., 2004. Disgregación temporal de datos diarios de precipitación en microcuencas de páramo. Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca.



- Tripathi, S., Srinivas, V., y Nanjundiah, R. (2006). Downscaling of precipitation for climate change scenarios: A support vector machine approach. *Journal of Hydrology*, 330(3), 621–640. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.04.030>
- Vaerenbergh, S., y Santamaría, I. (2018). *Métodos kernel para clasificación*. Universidad de Cantabria.
- Vargas, M. (2016). Estudio del impacto del cambio climático en los caudales de entrada al embalse del Río Frío. *INGE CUC*, 12(1), 42–50. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.04>
- Vasant, P. (2012). *Meta-Heuristics Optimization Algorithms in Engineering, Business, Economics, and Finance*. IGI Global.
- Villavicencio, y Chávez. (2011). *Estudio Arqueológico en las Cuencas Media y Bajas del Río Machángara (Pregrado)*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Williston, B. (2018). Climate Change Ethics. En *Encyclopedia of the Anthropocene* (pp. 45-52). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.10495-1>.
- World Meteorological Organization. (2015, November 12). Addressing Climate Information Needs at the Regional Level: the CORDEX Framework. Retrieved January 2, 2019, from World Meteorological Organization website: <https://public.wmo.int/en/bulletin/addressing-climate-information-needs-regional-level-cordex-framework>



ANEXOS

Anexo 1. Correlación entre variables. Estación: Labrado. Modelo: CSIRO (RCM)

Labrado - CSIRO (RCM)																					
	hurs	hus 850	pr	psl	rsds	sfc wind	ta 200	ta 500	ta 850	tas	tas max	tas min	ua 200	ua 500	ua 850	uas	va 200	va 500	va 850	vas	zg 200
hurs	1.0	0.9	0.9	-0.1	-0.9	-0.9	-0.2	-0.4	-0.5	-0.5	-0.9	0.5	-0.2	-0.3	1.0	0.8	0.4	0.7	-0.7	-0.6	-0.2
hus 850	0.9	1.0	0.8	-0.2	-0.9	-0.9	0.1	0.0	-0.2	-0.1	-0.7	0.7	-0.2	-0.2	0.9	0.8	0.3	0.6	-0.5	-0.4	0.2
pr	0.9	0.8	1.0	-0.1	-0.9	-0.8	-0.4	-0.5	-0.4	-0.5	-0.9	0.5	-0.5	-0.4	0.9	0.8	0.4	0.5	-0.7	-0.6	-0.3
psl	-0.1	-0.2	-0.1	1.0	0.1	0.2	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.2	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	0.2	0.3	0.0
rsds	-0.9	-0.9	-0.9	0.1	1.0	0.9	0.3	0.3	0.4	0.4	0.9	-0.7	0.3	0.3	-0.9	-0.8	-0.4	-0.5	0.6	0.5	0.1
sfc wind	-0.9	-0.9	-0.8	0.2	0.9	1.0	0.1	0.3	0.5	0.5	0.8	-0.4	0.3	0.4	-0.9	-0.9	-0.5	-0.6	0.7	0.6	0.1
ta 200	-0.2	0.1	-0.4	-0.1	0.3	0.1	1.0	0.9	0.5	0.6	0.5	0.1	0.4	0.3	-0.2	0.0	-0.2	0.0	0.2	0.2	0.9
ta 500	-0.4	0.0	-0.5	-0.1	0.3	0.3	0.9	1.0	0.7	0.8	0.6	0.2	0.3	0.4	-0.4	-0.2	-0.4	-0.2	0.4	0.4	0.9
ta 850	-0.5	-0.2	-0.4	0.0	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	0.9	0.6	0.3	0.3	0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	0.5	0.5	0.7
tas	-0.5	-0.1	-0.5	-0.1	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	0.7	0.3	0.2	0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	0.6	0.5	0.8
tas max	-0.9	-0.7	-0.9	-0.1	0.9	0.8	0.5	0.6	0.6	0.7	1.0	-0.4	0.3	0.2	-0.9	-0.7	-0.4	-0.5	0.7	0.6	0.5
tas min	0.5	0.7	0.5	0.0	-0.7	-0.4	0.1	0.2	0.3	0.3	-0.4	1.0	-0.1	0.1	0.5	0.3	0.0	0.2	-0.2	0.0	0.3
ua 200	-0.2	-0.2	-0.5	-0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	-0.1	1.0	0.6	-0.3	-0.2	-0.1	0.2	0.2	0.2	0.2



Labrado - CSIRO (RCM)																					
	hurs	hus 850	pr	psl	rsds	sfc wind	ta 200	ta 500	ta 850	tas	tas max	tas min	ua 200	ua 500	ua 850	uas	va 200	va 500	va 850	vas	zg 200
ua 500	-0.3	-0.2	-0.4	0.1	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.6	1.0	-0.3	-0.3	-0.4	0.0	0.1	0.2	0.3
ua 850	1.0	0.9	0.9	-0.1	-0.9	-0.9	-0.2	-0.4	-0.5	-0.5	-0.9	0.5	-0.3	-0.3	1.0	0.9	0.4	0.6	-0.8	-0.7	-0.2
uas	0.8	0.8	0.8	-0.2	-0.8	-0.9	0.0	-0.2	-0.5	-0.5	-0.7	0.3	-0.2	-0.3	0.9	1.0	0.4	0.5	-0.7	-0.6	-0.1
va 200	0.4	0.3	0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	0.0	-0.1	-0.4	0.4	0.4	1.0	0.4	-0.4	-0.4	-0.3
va 500	0.7	0.6	0.5	-0.4	-0.5	-0.6	0.0	-0.2	-0.3	-0.3	-0.5	0.2	0.2	0.0	0.6	0.5	0.4	1.0	-0.6	-0.5	-0.1
va 850	-0.7	-0.5	-0.7	0.2	0.6	0.7	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	-0.2	0.2	0.1	-0.8	-0.7	-0.4	-0.6	1.0	1.0	0.3
vas	-0.6	-0.4	-0.6	0.3	0.5	0.6	0.2	0.4	0.5	0.5	0.6	0.0	0.2	0.2	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	1.0	1.0	0.3
zg 200	-0.2	0.2	-0.3	0.0	0.1	0.1	0.9	0.9	0.7	0.8	0.5	0.3	0.2	0.3	-0.2	-0.1	-0.3	-0.1	0.3	0.3	1.0



Anexo 2. Correlación entre variables. Estación: Chanlud. Modelo: GISS (WRF)

CHANLUD - GISS (WRF)									
	hurs	pr	rsds	sfcwind	tas	tasmax	tasmin	uas	vas
hurs	1	0.62	-0.89	-0.78	0.25	0.12	0.31	0.8	-0.73
pr	0.62	1	-0.57	-0.5	0.21	-0.09	0.46	0.48	-0.53
rsds	-0.9	-0.57	1	0.66	-0.12	0.02	-0.23	-0.72	0.75
sfcwind	-0.8	-0.5	0.66	1	-0.38	-0.32	-0.33	-0.88	0.61
tas	0.25	0.21	-0.12	-0.38	1	0.86	0.84	0.35	-0.15
tasmax	0.12	-0.09	0.02	-0.32	0.86	1	0.45	0.33	-0.08
tasmin	0.31	0.46	-0.23	-0.33	0.84	0.45	1	0.26	-0.17
uas	0.8	0.48	-0.72	-0.88	0.35	0.33	0.26	1	-0.7
vas	-0.7	-0.53	0.75	0.61	-0.15	-0.08	-0.17	-0.7	1

Anexo 3. Correlación entre variables. Estación: Chanlud. Modelo: IPSLCM5A (GCM)

CHANLUD - IPSLCM5A (GCM)									
	hurs	pr	rsds	sfcwind	tas	tasmax	tasmin	uas	vas
hurs	1	0.89	-0.63	-0.57	-0.05	-0.53	0.78	0.64	-0.32
pr	0.89	1	-0.63	-0.65	0.09	-0.48	0.85	0.67	-0.34
rsds	-0.6	-0.63	1	-0.02	0.34	0.68	-0.43	-0.15	-0.19
sfcwind	-0.6	-0.65	-0.02	1	-0.38	-0.04	-0.63	-0.76	0.67
tas	-0.1	0.09	0.34	-0.38	1	0.54	0.4	0.13	-0.13
tasmax	-0.5	-0.48	0.68	-0.04	0.54	1	-0.32	-0.05	-0.2
tasmin	0.78	0.85	-0.43	-0.63	0.4	-0.32	1	0.59	-0.31
uas	0.64	0.67	-0.15	-0.76	0.13	-0.05	0.59	1	-0.82
vas	-0.3	-0.34	-0.19	0.67	-0.13	-0.2	-0.31	-0.82	1



Anexo 4. Correlación entre variables. Estación: Jacarín. Modelo: IPSLCM5A (GCM)

JACARÍN - IPSLCM5A (GCM)									
	hurs	pr	rsds	sfcwind	tas	tasmx	tasmin	uas	vas
hurs	1	0.89	-0.63	-0.57	-0.05	-0.53	0.78	0.64	-0.32
pr	0.89	1	-0.63	-0.65	0.09	-0.48	0.85	0.67	-0.34
rsds	-0.63	-0.63	1	-0.02	0.34	0.68	-0.43	-0.15	-0.19
sfcwind	-0.57	-0.65	-0.02	1	-0.38	-0.04	-0.63	-0.76	0.67
tas	-0.05	0.09	0.34	-0.38	1	0.54	0.4	0.13	-0.13
tasmx	-0.53	-0.48	0.68	-0.04	0.54	1	-0.32	-0.05	-0.2
tasmin	0.78	0.85	-0.43	-0.63	0.4	-0.32	1	0.59	-0.31
uas	0.64	0.67	-0.15	-0.76	0.13	-0.05	0.59	1	-0.82
vas	-0.32	-0.34	-0.19	0.67	-0.13	-0.2	-0.31	-0.82	1



Anexo 5. Correlación entre variables. Estación: Jacarín. Modelo: CCCma (RCM)

Jacarín - CCCma (RCM)																					
	hurs	hus 850	pr	psl	rsds	sfc wind	ta 200	ta 500	ta 850	tas	tas max	tas min	ua 200	ua 500	ua 850	uas	va 200	va 500	va 850	vas	zg 200
hurs	1.0	0.8	0.7	0.0	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	0.1	0.1	-0.6	0.7	-0.5	0.5	0.6	0.5	-0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
hus 850	0.8	1.0	0.8	-0.4	-0.7	-0.7	0.0	0.1	0.7	0.7	0.0	0.9	-0.6	0.4	0.7	0.7	-0.3	0.6	0.2	0.2	0.2
pr	0.7	0.8	1.0	-0.4	-0.8	-0.8	-0.4	-0.3	0.4	0.4	-0.2	0.7	-0.7	0.6	0.8	0.8	-0.4	0.6	0.1	0.2	0.2
psl	0.0	-0.4	-0.4	1.0	-0.1	0.7	0.2	0.0	-0.8	-0.7	-0.6	-0.3	0.6	-0.3	-0.7	-0.7	-0.2	-0.8	0.5	0.4	0.4
rsds	-0.9	-0.7	-0.8	-0.1	1.0	0.5	0.4	0.3	0.0	0.0	0.6	-0.7	0.4	-0.5	-0.6	-0.5	0.6	-0.2	-0.5	-0.4	-0.4
sfc wind	-0.6	-0.7	-0.8	0.7	0.5	1.0	0.5	0.3	-0.6	-0.6	-0.1	-0.6	0.8	-0.6	-1.0	-1.0	0.2	-0.8	0.2	0.1	0.1
ta 200	-0.4	0.0	-0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	0.9	0.2	0.3	0.4	0.1	0.4	-0.3	-0.5	-0.5	0.3	-0.2	0.0	0.0	0.0
ta 500	-0.3	0.1	-0.3	0.0	0.3	0.3	0.9	1.0	0.4	0.4	0.5	0.2	0.3	-0.2	-0.4	-0.3	0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
ta 850	0.1	0.7	0.4	-0.8	0.0	-0.6	0.2	0.4	1.0	1.0	0.7	0.6	-0.5	0.2	0.5	0.6	0.1	0.6	-0.2	-0.1	-0.1
tas	0.1	0.7	0.4	-0.7	0.0	-0.6	0.3	0.4	1.0	1.0	0.7	0.6	-0.4	0.2	0.5	0.5	0.1	0.6	-0.2	-0.1	-0.1
tas max	-0.6	0.0	-0.2	-0.6	0.6	-0.1	0.4	0.5	0.7	0.7	1.0	0.0	-0.1	-0.2	0.0	0.1	0.4	0.3	-0.4	-0.3	-0.3
tas min	0.7	0.9	0.7	-0.3	-0.7	-0.6	0.1	0.2	0.6	0.6	0.0	1.0	-0.5	0.3	0.6	0.5	-0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
ua 200	-0.5	-0.6	-0.7	0.6	0.4	0.8	0.4	0.3	-0.5	-0.4	-0.1	-0.5	1.0	-0.3	-0.7	-0.7	0.2	-0.6	0.2	0.1	0.1
ua 500	0.5	0.4	0.6	-0.3	-0.5	-0.6	-0.3	-0.2	0.2	0.2	-0.2	0.3	-0.3	1.0	0.7	0.7	-0.1	0.7	-0.2	-0.2	-0.2



Jacarín - CCCma (RCM)																					
	hurs	hus 850	pr	psi	rsds	sfc wind	ta 200	ta 500	ta 850	tas	tas max	tas min	ua 200	ua 500	ua 850	uas	va 200	va 500	va 850	vas	zg 200
ua 850	0.6	0.7	0.8	-0.7	-0.6	-1.0	-0.5	-0.4	0.5	0.5	0.0	0.6	-0.7	0.7	1.0	1.0	-0.2	0.8	-0.2	-0.2	-0.2
uas	0.5	0.7	0.8	-0.7	-0.5	-1.0	-0.5	-0.3	0.6	0.5	0.1	0.5	-0.7	0.7	1.0	1.0	-0.2	0.8	-0.2	-0.2	-0.2
va 200	-0.5	-0.3	-0.4	-0.2	0.6	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.4	-0.3	0.2	-0.1	-0.2	-0.2	1.0	0.2	-0.5	-0.4	-0.4
va 500	0.4	0.6	0.6	-0.8	-0.2	-0.8	-0.2	-0.1	0.6	0.6	0.3	0.4	-0.6	0.7	0.8	0.8	0.2	1.0	-0.5	-0.4	-0.4
va 850	0.4	0.2	0.1	0.5	-0.5	0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.4	0.3	0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.5	-0.5	1.0	1.0	1.0
vas	0.4	0.2	0.2	0.4	-0.4	0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	0.4	0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.4	-0.4	1.0	1.0	1.0
zg 200	0.4	0.2	0.2	0.4	-0.4	0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	0.4	0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.4	-0.4	1.0	1.0	1.0



Anexo 6. Correlación entre variables. Estación: Ucubamba. Modelo: CCCma (RCM)

Ucubamba - CCCma (RCM)																					
	hurs	hus 850	pr	psl	rsds	sfc wind	ta 200	ta 500	ta 850	tas	tas max	tas min	ua 200	ua 500	ua 850	uas	va 200	va 500	va 850	vas	zg 200
hurs	1.0	0.8	0.7	0.0	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	0.1	0.1	-0.6	0.7	-0.5	0.5	0.6	0.5	-0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
hus 850	0.8	1.0	0.8	-0.4	-0.7	-0.7	0.0	0.1	0.7	0.7	0.0	0.9	-0.6	0.4	0.7	0.7	-0.3	0.6	0.2	0.2	0.2
pr	0.7	0.8	1.0	-0.4	-0.8	-0.8	-0.4	-0.3	0.4	0.4	-0.2	0.7	-0.7	0.6	0.8	0.8	-0.4	0.6	0.1	0.2	0.2
psl	0.0	-0.4	-0.4	1.0	-0.1	0.7	0.2	0.0	-0.8	-0.7	-0.6	-0.3	0.6	-0.3	-0.7	-0.7	-0.2	-0.8	0.5	0.4	0.4
rsds	-0.9	-0.7	-0.8	-0.1	1.0	0.5	0.4	0.3	0.0	0.0	0.6	-0.7	0.4	-0.5	-0.6	-0.5	0.6	-0.2	-0.5	-0.4	-0.4
sfc wind	-0.6	-0.7	-0.8	0.7	0.5	1.0	0.5	0.3	-0.6	-0.6	-0.1	-0.6	0.8	-0.6	-1.0	-1.0	0.2	-0.8	0.2	0.1	0.1
ta 200	-0.4	0.0	-0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	0.9	0.2	0.3	0.4	0.1	0.4	-0.3	-0.5	-0.5	0.3	-0.2	0.0	0.0	0.0
ta 500	-0.3	0.1	-0.3	0.0	0.3	0.3	0.9	1.0	0.4	0.4	0.5	0.2	0.3	-0.2	-0.4	-0.3	0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
ta 850	0.1	0.7	0.4	-0.8	0.0	-0.6	0.2	0.4	1.0	1.0	0.7	0.6	-0.5	0.2	0.5	0.6	0.1	0.6	-0.2	-0.1	-0.1
tas	0.1	0.7	0.4	-0.7	0.0	-0.6	0.3	0.4	1.0	1.0	0.8	0.6	-0.4	0.2	0.5	0.5	0.1	0.6	-0.2	-0.1	-0.1
tas max	-0.6	0.0	-0.2	-0.6	0.6	-0.1	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	0.0	-0.1	-0.2	0.0	0.1	0.4	0.3	-0.4	-0.3	-0.3
tas min	0.7	0.9	0.7	-0.3	-0.7	-0.6	0.1	0.2	0.6	0.6	0.0	1.0	-0.5	0.3	0.6	0.5	-0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
ua 200	-0.5	-0.6	-0.7	0.6	0.4	0.8	0.4	0.3	-0.5	-0.4	-0.1	-0.5	1.0	-0.3	-0.7	-0.7	0.2	-0.6	0.2	0.1	0.1
ua 500	0.5	0.4	0.6	-0.3	-0.5	-0.6	-0.3	-0.2	0.2	0.2	-0.2	0.3	-0.3	1.0	0.7	0.7	-0.1	0.7	-0.2	-0.2	-0.2



Ucubamba - CCCma (RCM)																					
	hurs	hus 850	pr	psi	rsds	sfc wind	ta 200	ta 500	ta 850	tas	tas max	tas min	ua 200	ua 500	ua 850	uas	va 200	va 500	va 850	vas	zg 200
ua 850	0.6	0.7	0.8	-0.7	-0.6	-1.0	-0.5	-0.4	0.5	0.5	0.0	0.6	-0.7	0.7	1.0	1.0	-0.2	0.8	-0.2	-0.2	-0.2
uas	0.5	0.7	0.8	-0.7	-0.5	-1.0	-0.5	-0.3	0.6	0.5	0.1	0.5	-0.7	0.7	1.0	1.0	-0.2	0.8	-0.2	-0.2	-0.2
va 200	-0.5	-0.3	-0.4	-0.2	0.6	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.4	-0.3	0.2	-0.1	-0.2	-0.2	1.0	0.2	-0.5	-0.4	-0.4
va 500	0.4	0.6	0.6	-0.8	-0.2	-0.8	-0.2	-0.1	0.6	0.6	0.3	0.4	-0.6	0.7	0.8	0.8	0.2	1.0	-0.5	-0.4	-0.4
va 850	0.4	0.2	0.1	0.5	-0.5	0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.4	0.3	0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.5	-0.5	1.0	1.0	1.0
vas	0.4	0.2	0.2	0.4	-0.4	0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	0.4	0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.4	-0.4	1.0	1.0	1.0
zg 200	0.4	0.2	0.2	0.4	-0.4	0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	0.4	0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.4	-0.4	1.0	1.0	1.0



Anexo 7. Correlación entre variables. Estación: Ucubamba. Modelo: MIROC (RCM)

Ucubamba - MIROC (RCM)																					
	hurs	hus 850	pr	psl	rsds	sfc wind	ta 200	ta 500	ta 850	tas	tas max	tas min	ua 200	ua 500	ua 850	uas	va 200	va 500	va 850	vas	zg 200
hurs	1.0	0.9	0.9	-0.6	-0.9	-0.8	-0.3	-0.5	0.2	0.0	-0.8	0.8	-0.5	0.7	0.9	0.8	0.5	0.5	-0.5	-0.6	-0.3
hus 850	0.9	1.0	0.8	-0.7	-0.8	-0.9	0.1	-0.1	0.6	0.5	-0.4	1.0	-0.4	0.6	0.8	0.8	0.5	0.5	-0.4	-0.6	0.0
pr	0.9	0.8	1.0	-0.6	-1.0	-0.9	-0.4	-0.5	0.3	0.1	-0.7	0.8	-0.6	0.8	0.9	0.9	0.5	0.4	-0.5	-0.7	-0.4
psl	-0.6	-0.7	-0.6	1.0	0.7	0.8	0.2	0.3	-0.6	-0.4	0.2	-0.7	0.5	-0.5	-0.7	-0.7	-0.5	-0.6	0.6	0.7	0.2
rsds	-0.9	-0.8	-1.0	0.7	1.0	0.9	0.4	0.6	-0.2	-0.1	0.7	-0.8	0.6	-0.8	-0.9	-0.9	-0.5	-0.5	0.5	0.7	0.4
sfc wind	-0.8	-0.9	-0.9	0.8	0.9	1.0	0.3	0.5	-0.5	-0.3	0.5	-0.8	0.7	-0.7	-0.9	-0.9	-0.6	-0.6	0.6	0.8	0.3
ta 200	-0.3	0.1	-0.4	0.2	0.4	0.3	1.0	0.9	0.5	0.6	0.6	0.1	0.4	-0.5	-0.3	-0.3	-0.1	-0.2	0.1	0.2	1.0
ta 500	-0.5	-0.1	-0.5	0.3	0.6	0.5	0.9	1.0	0.4	0.6	0.7	-0.1	0.5	-0.6	-0.5	-0.5	-0.1	-0.3	0.2	0.4	1.0
ta 850	0.2	0.6	0.3	-0.6	-0.2	-0.5	0.5	0.4	1.0	1.0	0.5	0.7	-0.1	0.0	0.3	0.3	0.3	0.3	-0.2	-0.3	0.5
tas	0.0	0.5	0.1	-0.4	-0.1	-0.3	0.6	0.6	1.0	1.0	0.6	0.5	0.0	-0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	-0.1	-0.1	0.7
tas max	-0.8	-0.4	-0.7	0.2	0.7	0.5	0.6	0.7	0.5	0.6	1.0	-0.3	0.4	-0.7	-0.6	-0.6	-0.3	-0.2	0.3	0.4	0.7
tas min	0.8	1.0	0.8	-0.7	-0.8	-0.8	0.1	-0.1	0.7	0.5	-0.3	1.0	-0.5	0.6	0.8	0.8	0.6	0.5	-0.5	-0.6	0.1
ua 200	-0.5	-0.4	-0.6	0.5	0.6	0.7	0.4	0.5	-0.1	0.0	0.4	-0.5	1.0	-0.6	-0.7	-0.7	-0.4	-0.2	0.5	0.7	0.5
ua 500	0.7	0.6	0.8	-0.5	-0.8	-0.7	-0.5	-0.6	0.0	-0.2	-0.7	0.6	-0.6	1.0	0.9	0.8	0.5	0.4	-0.6	-0.7	-0.5



Ucubamba - MIROC (RCM)																					
	hurs	hus 850	pr	psi	rsds	sfc wind	ta 200	ta 500	ta 850	tas	tas max	tas min	ua 200	ua 500	ua 850	uas	va 200	va 500	va 850	vas	zg 200
ua 850	0.9	0.8	0.9	-0.7	-0.9	-0.9	-0.3	-0.5	0.3	0.1	-0.6	0.8	-0.7	0.9	1.0	1.0	0.6	0.5	-0.6	-0.8	-0.4
uas	0.8	0.8	0.9	-0.7	-0.9	-0.9	-0.3	-0.5	0.3	0.2	-0.6	0.8	-0.7	0.8	1.0	1.0	0.6	0.5	-0.7	-0.9	-0.4
va 200	0.5	0.5	0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.1	-0.1	0.3	0.2	-0.3	0.6	-0.4	0.5	0.6	0.6	1.0	0.3	-0.6	-0.6	-0.1
va 500	0.5	0.5	0.4	-0.6	-0.5	-0.6	-0.2	-0.3	0.3	0.2	-0.2	0.5	-0.2	0.4	0.5	0.5	0.3	1.0	-0.2	-0.3	-0.2
va 850	-0.5	-0.4	-0.5	0.6	0.5	0.6	0.1	0.2	-0.2	-0.1	0.3	-0.5	0.5	-0.6	-0.6	-0.7	-0.6	-0.2	1.0	1.0	0.2
vas	-0.6	-0.6	-0.7	0.7	0.7	0.8	0.2	0.4	-0.3	-0.1	0.4	-0.6	0.7	-0.7	-0.8	-0.9	-0.6	-0.3	1.0	1.0	0.3
zg 200	-0.3	0.0	-0.4	0.2	0.4	0.3	1.0	1.0	0.5	0.7	0.7	0.1	0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.1	-0.2	0.2	0.3	1.0



Anexo 8. Correlación entre variables. Estación: Aeropuerto. Modelo: IPSLCM5A (GCM)

Aeropuerto - IPSLCM5A (GCM)									
	hurs	pr	rsds	sfcwind	tas	tasmax	tasmin	uas	vas
hurs	1	0.89	-0.6	-0.6	-0.1	-0.53	0.78	0.64	-0.32
pr	0.89	1	-0.6	-0.7	0.09	-0.48	0.85	0.67	-0.34
rsds	-0.6	-0.63	1	-0	0.34	0.68	-0.43	-0.2	-0.19
sfcwind	-0.6	-0.65	-0	1	-0.4	-0.04	-0.63	-0.8	0.67
tas	-0.1	0.09	0.34	-0.4	1	0.54	0.4	0.13	-0.13
tasmax	-0.5	-0.48	0.68	-0	0.54	1	-0.32	-0.1	-0.2
tasmin	0.78	0.85	-0.4	-0.6	0.4	-0.32	1	0.59	-0.31
uas	0.64	0.67	-0.2	-0.8	0.13	-0.05	0.59	1	-0.82
vas	-0.3	-0.34	-0.2	0.7	-0.1	-0.2	-0.31	-0.8	1



Anexo 9. Correlación entre variables. Estación: Aeropuerto. Modelo: CCCma (RCM)

Aeropuerto - CCCma (RCM)																					
	hurs	hus 850	pr	psl	rsds	sfc wind	ta 200	ta 500	ta 850	tas	tas max	tas min	ua 200	ua 500	ua 850	uas	va 200	va 500	va 850	vas	zg 200
hurs	1	0.8	0.7	0.0	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	0.1	0.1	-0.7	0.7	-0.5	0.5	0.6	0.5	-0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
hus 850	0.8	1	0.8	-0.4	-0.7	-0.7	0.0	0.1	0.7	0.7	-0.3	0.9	-0.6	0.4	0.7	0.7	-0.3	0.6	0.2	0.2	0.2
pr	0.7	0.8	1	-0.4	-0.8	-0.8	-0.4	-0.3	0.4	0.4	-0.4	0.7	-0.7	0.6	0.8	0.8	-0.4	0.6	0.1	0.2	0.2
psl	-0	-0.4	-0.4	1.0	-0.1	0.7	0.2	0.0	-0.8	-0.7	-0.3	-0.3	0.6	-0.3	-0.7	-0.7	-0.2	-0.8	0.5	0.4	0.4
rsds	-0.9	-0.7	-0.8	-0.1	1.0	0.5	0.4	0.3	0.0	0.0	0.7	-0.7	0.4	-0.5	-0.6	-0.5	0.6	-0.2	-0.5	-0.4	-0.4
sfc wind	-0.6	-0.7	-0.8	0.7	0.5	1.0	0.5	0.3	-0.6	-0.6	0.2	-0.6	0.8	-0.6	-1.0	-1.0	0.2	-0.8	0.2	0.1	0.1
ta 200	-0.4	-0	-0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	0.9	0.2	0.3	0.4	0.1	0.4	-0.3	-0.5	-0.5	0.3	-0.2	0.0	0.0	0.0
ta 500	-0.3	0.1	-0.3	0.0	0.3	0.3	0.9	1.0	0.4	0.4	0.4	0.2	0.3	-0.2	-0.4	-0.3	0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
ta 850	0.1	0.7	0.4	-0.8	0.0	-0.6	0.2	0.4	1.0	1.0	0.3	0.6	-0.5	0.2	0.5	0.6	0.1	0.6	-0.2	-0.1	-0.1
tas	0.1	0.7	0.4	-0.7	0.0	-0.6	0.3	0.4	1.0	1.0	0.3	0.6	-0.4	0.2	0.5	0.5	0.1	0.6	-0.2	-0.1	-0.1
tas max	-0.7	-0.3	-0.4	-0.3	0.7	0.2	0.4	0.4	0.3	0.3	1.0	-0.4	0.2	-0.1	-0.2	-0.1	0.5	0.1	-0.5	-0.5	-0.5
tas min	0.7	0.9	0.7	-0.3	-0.7	-0.6	0.1	0.2	0.6	0.6	-0.4	1.0	-0.5	0.3	0.6	0.5	-0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
ua 200	-0.5	-0.6	-0.7	0.6	0.4	0.8	0.4	0.3	-0.5	-0.4	0.2	-0.5	1.0	-0.3	-0.7	-0.7	0.2	-0.6	0.2	0.1	0.1
ua 500	0.5	0.4	0.6	-0.3	-0.5	-0.6	-0.3	-0.2	0.2	0.2	-0.1	0.3	-0.3	1.0	0.7	0.7	-0.1	0.7	-0.2	-0.2	-0.2



Aeropuerto - CCCma (RCM)																					
	hurs	hus 850	pr	psi	rsds	sfc wind	ta 200	ta 500	ta 850	tas	tas max	tas min	ua 200	ua 500	ua 850	uas	va 200	va 500	va 850	vas	zg 200
ua 850	0.6	0.7	0.8	-0.7	-0.6	-1.0	-0.5	-0.4	0.5	0.5	-0.2	0.6	-0.7	0.7	1.0	1.0	-0.2	0.8	-0.2	-0.2	-0.2
uas	0.5	0.7	0.8	-0.7	-0.5	-1.0	-0.5	-0.3	0.6	0.5	-0.1	0.5	-0.7	0.7	1.0	1.0	-0.2	0.8	-0.2	-0.2	-0.2
va 200	-0.5	-0.3	-0.4	-0.2	0.6	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.5	-0.3	0.2	-0.1	-0.2	-0.2	1.0	0.2	-0.5	-0.4	-0.4
va 500	0.3	0.6	0.6	-0.8	-0.2	-0.8	-0.2	-0.1	0.6	0.6	0.1	0.4	-0.6	0.7	0.8	0.8	0.2	1.0	-0.5	-0.4	-0.4
va 850	0.4	0.2	0.1	0.5	-0.5	0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.5	0.3	0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.5	-0.5	1.0	1.0	1.0
vas	0.4	0.2	0.2	0.4	-0.4	0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.5	0.4	0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.4	-0.4	1.0	1.0	1.0
zg 200	0.4	0.2	0.2	0.4	-0.4	0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.5	0.4	0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.4	-0.4	1.0	1.0	1.0



Anexo 10. Correlación entre variables. Estación: Biblián. Modelo: CSIRO (RCM)

Biblián - CSIRO (RCM)																					
	hurs	hus 850	pr	psl	rsds	sfc wind	ta 200	ta 500	ta 850	tas	tas max	tas min	ua 200	ua 500	ua 850	uas	va 200	va 500	va 850	vas	zg 200
hurs	1.0	0.9	0.8	0.0	-0.8	-0.5	-0.4	-0.4	0.1	0.0	-0.8	0.8	-0.2	0.2	0.6	0.5	0.1	0.3	-0.1	-0.2	-0.2
hus 850	0.9	1.0	0.7	-0.2	-0.9	-0.6	-0.1	-0.1	0.5	0.4	-0.5	0.9	-0.2	0.1	0.7	0.6	0.1	0.4	0.0	-0.2	0.1
pr	0.8	0.7	1.0	-0.4	-0.9	-0.8	-0.4	-0.5	0.3	0.2	-0.5	0.7	-0.4	0.0	0.8	0.8	0.3	0.4	-0.4	-0.6	-0.3
psl	0.0	-0.2	-0.4	1.0	0.3	0.7	0.0	0.2	-0.6	-0.6	-0.4	-0.2	0.1	0.2	-0.7	-0.7	-0.5	-0.7	0.6	0.7	0.1
rsds	-0.8	-0.9	-0.9	0.3	1.0	0.7	0.3	0.2	-0.3	-0.3	0.5	-0.9	0.3	-0.2	-0.8	-0.7	-0.1	-0.3	0.2	0.4	0.1
sfc wind	-0.5	-0.6	-0.8	0.7	0.7	1.0	0.2	0.3	-0.6	-0.5	0.1	-0.5	0.3	0.0	-1.0	-1.0	-0.4	-0.7	0.6	0.8	0.1
ta 200	-0.4	-0.1	-0.4	0.0	0.3	0.2	1.0	0.9	0.5	0.5	0.6	0.0	0.5	0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.9
ta 500	-0.4	-0.1	-0.5	0.2	0.2	0.3	0.9	1.0	0.4	0.5	0.5	0.1	0.3	0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.3	0.3	0.3	0.9
ta 850	0.1	0.5	0.3	-0.6	-0.3	-0.6	0.5	0.4	1.0	1.0	0.5	0.6	0.1	0.1	0.5	0.6	0.2	0.5	-0.2	-0.4	0.5
tas	0.0	0.4	0.2	-0.6	-0.3	-0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.6	0.5	0.0	0.0	0.4	0.5	0.2	0.4	-0.2	-0.3	0.6
tas max	-0.8	-0.5	-0.5	-0.4	0.5	0.1	0.6	0.5	0.5	0.6	1.0	-0.4	0.1	-0.2	-0.2	-0.1	0.1	0.0	-0.1	-0.1	0.5
tas min	0.8	0.9	0.7	-0.2	-0.9	-0.5	0.0	0.1	0.6	0.5	-0.4	1.0	-0.1	0.3	0.6	0.5	0.1	0.3	0.0	-0.2	0.2
ua 200	-0.2	-0.2	-0.4	0.1	0.3	0.3	0.5	0.3	0.1	0.0	0.1	-0.1	1.0	0.5	-0.2	-0.2	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
ua 500	0.2	0.1	0.0	0.2	-0.2	0.0	0.3	0.3	0.1	0.0	-0.2	0.3	0.5	1.0	0.1	0.1	-0.3	0.0	-0.1	-0.1	0.2



Biblián - CSIRO (RCM)																					
	hurs	hus 850	pr	psl	rsds	sfc wind	ta 200	ta 500	ta 850	tas	tas max	tas min	ua 200	ua 500	ua 850	uas	va 200	va 500	va 850	vas	zg 200
ua 850	0.6	0.7	0.8	-0.7	-0.8	-1.0	-0.2	-0.3	0.5	0.4	-0.2	0.6	-0.2	0.1	1.0	1.0	0.4	0.7	-0.6	-0.8	-0.1
uas	0.5	0.6	0.8	-0.7	-0.7	-1.0	-0.1	-0.3	0.6	0.5	-0.1	0.5	-0.2	0.1	1.0	1.0	0.4	0.7	-0.7	-0.8	-0.1
va 200	0.1	0.1	0.3	-0.5	-0.1	-0.4	-0.2	-0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	-0.1	-0.3	0.4	0.4	1.0	0.5	-0.4	-0.4	-0.3
va 500	0.3	0.4	0.4	-0.7	-0.3	-0.7	-0.1	-0.3	0.5	0.4	0.0	0.3	0.1	0.0	0.7	0.7	0.5	1.0	-0.5	-0.6	-0.2
va 850	-0.1	0.0	-0.4	0.6	0.2	0.6	0.0	0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.1	-0.1	-0.6	-0.7	-0.4	-0.5	1.0	1.0	0.2
vas	-0.2	-0.2	-0.6	0.7	0.4	0.8	0.1	0.3	-0.4	-0.3	-0.1	-0.2	0.2	-0.1	-0.8	-0.8	-0.4	-0.6	1.0	1.0	0.2
zg 200	-0.2	0.1	-0.3	0.1	0.1	0.1	0.9	0.9	0.5	0.6	0.5	0.2	0.2	0.2	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	0.2	0.2	1.0



Anexo 11. Correlación entre variables. Estación: Biblián. Modelo: NCC (RCM)

Biblián - NCC (RCM)																					
	hurs	hus 850	pr	psl	rsds	sfc wind	ta 200	ta 500	ta 850	tas	tas max	tas min	ua 200	ua 500	ua 850	uas	va 200	va 500	va 850	vas	zg 200
hurs	1.0	0.8	0.8	-0.4	-0.9	-0.7	0.2	0.1	0.2	0.3	-0.4	-0.2	-0.5	0.2	0.7	0.7	0.3	0.3	-0.3	-0.4	0.3
hus 850	0.8	1.0	0.9	-0.8	-0.7	-0.9	0.6	0.5	0.8	0.8	0.3	0.3	-0.8	-0.1	0.9	0.9	0.5	0.4	-0.5	-0.7	0.7
pr	0.8	0.9	1.0	-0.6	-0.8	-0.9	0.3	0.2	0.5	0.6	0.1	0.2	-0.8	0.1	0.9	0.9	0.4	0.3	-0.5	-0.7	0.4
psl	-0.4	-0.8	-0.6	1.0	0.3	0.8	-0.5	-0.4	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	0.8	0.3	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	0.7	0.8	-0.6
rsds	-0.9	-0.7	-0.8	0.3	1.0	0.6	-0.1	0.0	-0.2	-0.3	0.3	0.1	0.5	-0.2	-0.7	-0.7	-0.2	-0.1	0.2	0.4	-0.2
sfc wind	-0.7	-0.9	-0.9	0.8	0.6	1.0	-0.5	-0.3	-0.8	-0.8	-0.4	-0.4	0.9	0.1	-1.0	-1.0	-0.5	-0.4	0.7	0.8	-0.6
ta 200	0.2	0.6	0.3	-0.5	-0.1	-0.5	1.0	0.9	0.7	0.8	0.6	0.3	-0.5	-0.2	0.4	0.5	0.5	0.4	-0.5	-0.5	0.9
ta 500	0.1	0.5	0.2	-0.4	0.0	-0.3	0.9	1.0	0.7	0.7	0.6	0.3	-0.4	-0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	-0.4	-0.4	0.9
ta 850	0.2	0.8	0.5	-0.9	-0.2	-0.8	0.7	0.7	1.0	1.0	0.8	0.6	-0.7	-0.3	0.7	0.7	0.5	0.4	-0.5	-0.6	0.8
tas	0.3	0.8	0.6	-0.8	-0.3	-0.8	0.8	0.7	1.0	1.0	0.8	0.6	-0.7	-0.4	0.7	0.7	0.5	0.4	-0.5	-0.6	0.9
tas max	-0.4	0.3	0.1	-0.6	0.3	-0.4	0.6	0.6	0.8	0.8	1.0	0.7	-0.4	-0.5	0.3	0.3	0.3	0.2	-0.3	-0.3	0.7
tas min	-0.2	0.3	0.2	-0.4	0.1	-0.4	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7	1.0	-0.4	-0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	-0.2	-0.3	0.4
ua 200	-0.5	-0.8	-0.8	0.8	0.5	0.9	-0.5	-0.4	-0.7	-0.7	-0.4	-0.4	1.0	0.2	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	0.7	0.8	-0.6
ua 500	0.2	-0.1	0.1	0.3	-0.2	0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.3	0.2	1.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.3



Biblián - NCC (RCM)																					
	hurs	hus 850	pr	psi	rsds	sfc wind	ta 200	ta 500	ta 850	tas	tas max	tas min	ua 200	ua 500	ua 850	uas	va 200	va 500	va 850	vas	zg 200
ua 850	0.7	0.9	0.9	-0.8	-0.7	-1.0	0.4	0.3	0.7	0.7	0.3	0.3	-0.8	0.0	1.0	1.0	0.5	0.4	-0.7	-0.9	0.5
uas	0.7	0.9	0.9	-0.8	-0.7	-1.0	0.5	0.3	0.7	0.7	0.3	0.3	-0.8	0.0	1.0	1.0	0.5	0.4	-0.7	-0.9	0.5
va 200	0.3	0.5	0.4	-0.6	-0.2	-0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.3	0.1	-0.6	-0.1	0.5	0.5	1.0	0.4	-0.5	-0.5	0.4
va 500	0.3	0.4	0.3	-0.5	-0.1	-0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.2	0.1	-0.5	-0.2	0.4	0.4	0.4	1.0	-0.3	-0.4	0.4
va 850	-0.3	-0.5	-0.5	0.7	0.2	0.7	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	0.7	-0.1	-0.7	-0.7	-0.5	-0.3	1.0	1.0	-0.4
vas	-0.4	-0.7	-0.7	0.8	0.4	0.8	-0.5	-0.4	-0.6	-0.6	-0.3	-0.3	0.8	-0.1	-0.9	-0.9	-0.5	-0.4	1.0	1.0	-0.5
zg 200	0.3	0.7	0.4	-0.6	-0.2	-0.6	0.9	0.9	0.8	0.9	0.7	0.4	-0.6	-0.3	0.5	0.5	0.4	0.4	-0.4	-0.5	1.0



Anexo 12. Correlación entre variables. Estación: Biblián. Modelo: MIROC (WRF)

Chirimachay - MIROC (WRF)									
	hurs	pr	rsds	sfcwind	tas	tasmx	tasmin	uas	vas
hurs	1	0.5	-0.65	0.2	0.51	0.4	0.33	0.25	0.01
pr	0.5	1	-0.51	0.08	0.41	-0.06	0.7	0.19	-0.55
rsds	-0.65	-0.51	1	-0.21	-0.22	-0.06	-0.28	-0.3	0.27
sfcwind	0.2	0.08	-0.21	1	0.09	0.27	-0.16	0.98	0.45
tas	0.51	0.41	-0.22	0.09	1	0.77	0.68	0.11	-0.01
tasmx	0.4	-0.06	-0.06	0.27	0.77	1	0.05	0.21	0.46
tasmin	0.33	0.7	-0.28	-0.16	0.68	0.05	1	-0.07	-0.54
uas	0.25	0.19	-0.3	0.98	0.11	0.21	-0.07	1	0.3
vas	0.01	-0.55	0.27	0.45	-0.01	0.46	-0.54	0.3	1

Anexo 13. Correlación entre variables. Surucucho. Modelo: ACCESS 1.0 (GCM)

Surucucho - ACCESS 1.0 (GCM)									
	hurs	pr	rsds	sfcwind	tas	tasmx	tasmin	uas	vas
hurs	1	0.69	-0.83	0.03	0.05	-0.29	0.39	0.15	-0.16
pr	0.69	1	-0.41	0.12	0.5	0.19	0.73	0.25	-0.46
rsds	-0.83	-0.41	1	0.37	0.3	0.61	-0.03	0.27	-0.18
sfcwind	0.03	0.12	0.37	1	0.26	0.28	0.28	0.95	-0.36
tas	0.05	0.5	0.3	0.26	1	0.92	0.92	0.37	-0.45
tasmx	-0.29	0.19	0.61	0.28	0.92	1	0.71	0.33	-0.39
tasmin	0.39	0.73	-0.03	0.28	0.92	0.71	1	0.42	-0.48
uas	0.15	0.25	0.27	0.95	0.37	0.33	0.42	1	-0.38
vas	-0.16	-0.46	-0.18	-0.36	-0.45	-0.39	-0.48	-0.38	1



Anexo 14. Índices de bondad ajuste para cada modelo. Estación: Labrado.

ESTACIÓN:		LABRADO															
VARIABLES OBJETIVO:		PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA				HUMEDAD				VELOCIDAD DEL VIENTO			
ESCALA	MODELO	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS
GCM	ACCESS 1.0	0.317	41.05	94.1	2.4	0.768	0.55	66.8	0.6	0.461	2.61	90.8	-0.6	0.327	0.5	96.3	1.8
	ACCESS 1.3	0.309	41.31	94.7	-4.3	0.755	0.55	67.3	-1	0.494	2.56	92.4	-1.3	0.590	0.38	80.3	0
	CanESM2	0.356	40	94.3	-8	0.800	0.48	60.1	-0.8	0.501	2.56	91.8	-1	0.558	0.41	82.5	0.7
	CNRMCM 5	0.229	42.2	98.2	-3.1	0.666	0.56	74.8	0.3	0.554	2.62	90.8	-1	0.529	0.39	84.1	0.3
	CSIROMk 3.6.0	0.440	37.74	89.8	-0.4	0.724	0.58	70.1	-1.1	0.529	2.38	86	-0.7	0.466	0.43	87.9	0.9
	GISSE2H	0.374	39.41	92.2	0	0.750	0.53	68.6	-0.8	0.578	2.57	89.8	-0.7	0.436	0.45	89.3	0.3
	GISSE2H CC	0.353	39.2	92.7	-0.8	0.803	0.49	61.9	-0.4	0.538	2.53	89.9	-0.7	0.518	0.41	85	0.8
	GISSE2R	0.402	39.24	92	-7.6	0.783	0.57	68.5	-0.2	0.548	2.45	87.9	-0.6	0.552	0.41	84.1	0.3
	GISSE2R CC	0.249	42.19	97.8	-7.7	0.787	0.54	63.9	-0.4	0.628	2.38	85.8	-0.8	0.550	0.41	82.9	0.2
	IPSLCM5 A	0.430	38.01	89.8	1.8	0.745	0.56	66.5	0.3	0.618	2.35	83.8	-0.6	0.598	0.41	79.5	0.4
	IPSLCM5 B	0.315	41.03	95.3	-4.6	0.758	0.55	66.7	-0.5	0.483	2.52	90.5	-0.9	0.518	0.41	84.9	-0.2
	MIROC5	0.393	39.39	92.4	-6.8	0.744	0.51	67.5	-0.4	0.438	2.84	98.5	-1.4	0.464	0.43	87.9	0.3
	MIROCE SM	0.299	42.31	96.1	-7.5	0.753	0.57	69.3	-0.1	0.318	2.75	95.3	-0.5	0.507	0.42	85.6	-0.8
	MIROCE SMCHEM	0.324	40.66	94.1	-3.9	0.785	0.53	64.6	-0.5	0.437	2.73	96.1	-1.3	0.544	0.43	84.1	0
MRI	0.362	40.45	94.9	-10.1	0.792	0.5	62.7	-1	0.507	2.7	93.8	-1.2	0.565	0.42	81.9	0.5	



ESTACIÓN:		LABRADO															
VARIABLES OBJETIVO:		PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA				HUMEDAD				VELOCIDAD DEL VIENTO			
ESCALA	MODELO	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS
RCM	CCCma	0.342	41.12	94.2	-6.3	0.834	0.46	56.5	0	0.558	2.46	85.7	-0.9	0.541	0.39	83.4	-0.3
	CSIRO	0.281	41.66	95.4	-0.4	0.852	0.44	56.3	0.3	0.447	2.58	92.8	-0.9	0.597	0.4	80.7	-0.7
	IPSLCM5 A	0.325	40.56	95.1	-7.5	0.809	0.51	61.2	0.4	0.621	2.48	87.7	-0.7	0.540	0.39	83.5	0.1
	MIROC	0.404	39.57	91.8	-6.7	0.812	0.48	60.8	0.4	0.361	2.8	99.8	-1.4	0.585	0.39	80.9	-0.6
	MOHC	0.286	41.05	96.4	-8.2	0.854	0.47	55.6	-0.3	0.422	2.46	92.1	-0.8	0.517	0.41	84.9	0.1
	MPI	0.428	39.77	90.3	-2.3	0.821	0.46	57.5	0.5	0.603	2.58	91.9	-1.4	0.618	0.39	78.7	-0.7
	NCC	0.302	42.58	96.2	-8.2	0.825	0.49	59	-0.2	0.546	2.62	92.7	-1.3	0.603	0.39	79.9	-1.4
	NOAA	0.327	40.88	94.8	-6.6	0.796	0.52	64.1	-0.2	0.557	2.57	89.3	-1.3	0.607	0.4	78.8	-0.2
WRF	CSIRO	0.354	37.63	92.8	-2.1	0.793	0.5	60.9	-0.4	0.560	2.48	88.7	-0.7	0.461	0.44	88.7	0.2
	Ensamble	0.348	39.24	93.3	-2.3	0.842	0.46	55.5	0	0.546	2.27	86.9	-1	0.593	0.39	81	0.3
	GISS	0.271	42.25	97.3	-8.9	0.841	0.45	55.8	-0.5	0.501	2.44	90	-1.1	0.588	0.39	80.2	0
	IPSLCM5 A	0.405	38.79	92.6	-8.1	0.761	0.55	66.7	0.3	0.588	2.52	90	-1.2	0.527	0.41	84.5	0.7
	MIROC	0.309	41.66	96.4	-10.4	0.800	0.52	64.5	0.3	0.560	2.38	87.1	-0.9	0.636	0.4	79.3	-2.7



Anexo 15. Índices de bondad ajuste para cada modelo. Estación: Chanlud.

ESTACIÓN:		CHANLUD															
VARIABLES OBJETIVO:		PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA				HUMEDAD				VELOCIDAD DEL VIENTO			
ESCALA	MODELO	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS
GCM	ACCESS 1.0	0.329	37.95	93.7	0.3	0.740	0.52	67.8	1	0.386	1.37	92.9	0.5	0.327	0.5	96.3	1.8
	ACCESS 1.3	0.268	38.4	95.7	-2.3	0.780	0.49	65.2	0.3	0.521	1.21	87.2	0.5	0.589	0.38	80.3	0
	CanESM2	0.327	37.43	94	-1.8	0.816	0.42	57.5	-0.2	0.502	1.19	88.5	0.6	0.575	0.42	81.7	1.4
	CNRMCM 5	0.202	39.12	98.5	-1.3	0.728	0.48	69.9	0.8	0.492	1.31	87.4	0.4	0.529	0.39	84.1	0.3
	CSIROMk 3.6.0	0.387	35.31	91.6	-0.5	0.749	0.51	66.9	-0.2	0.512	1.22	87.7	0.4	0.472	0.44	87.7	0.9
	GISSE2H	0.399	36.13	92.2	-2.3	0.782	0.48	64.9	-0.3	0.416	1.23	92	0.5	0.436	0.45	89.3	0.3
	GISSE2H CC	0.317	36.28	94.1	-0.4	0.806	0.45	60.3	-0.1	0.570	1.2	86.5	0.6	0.518	0.41	85	0.8
	GISSE2R	0.361	37.43	93.2	-4.7	0.836	0.47	61.4	0.6	0.487	1.22	88.4	0.5	0.585	0.39	82	0.4
	GISSE2R CC	0.339	38	94.4	-4.7	0.796	0.49	63	0.4	0.559	1.17	85.4	0.5	0.527	0.42	84.3	-0.1
	IPSLCM5 A	0.415	35.3	90.3	1.5	0.769	0.5	64.7	1	0.533	1.07	86.2	0.5	0.602	0.4	79.3	0.1
	IPSLCM5 B	0.191	38.83	97.8	-3.6	0.751	0.51	66.2	-0.5	0.416	1.23	91.4	0.5	0.518	0.41	84.9	-0.2
	MIROC5	0.357	37.58	93.4	-4.3	0.741	0.51	68.5	-0.3	0.472	1.19	88.5	0.4	0.486	0.43	86.7	0.3
	MIROCE SM	0.268	39.36	96.2	-3.7	0.705	0.55	73.7	1	0.586	1.17	83.4	0.3	0.571	0.39	82.8	-1.8
	MIROCE SMCHEM	0.355	37.64	93.4	-3.7	0.729	0.5	68	-0.3	0.539	1.15	86.3	0.5	0.544	0.43	84.1	0
MRI	0.278	37.79	96.1	-5.2	0.804	0.46	60.6	-0.3	0.531	1.26	85.8	0.4	0.565	0.42	81.9	0.5	



ESTACIÓN:		CHANLUD															
VARIABLES OBJETIVO:		PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA				HUMEDAD				VELOCIDAD DEL VIENTO			
ESCALA	MODELO	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS
RCM	CCCma	0.298	39.39	94.8	0.6	0.833	0.42	55.9	0.5	0.558	1.18	83	0.3	0.539	0.39	83.5	-0.4
	CSIRO	0.268	38.51	95.6	-0.1	0.858	0.42	56.5	1	0.597	1.13	83.5	0.4	0.594	0.41	80.7	-0.4
	IPSLCM5 A	0.325	36.39	94.1	-3	0.785	0.48	64.1	1.2	0.469	1.21	89.3	0.5	0.541	0.39	83.5	0
	MIROC	0.293	38.59	95.4	-4.3	0.847	0.41	57	0.7	0.521	1.26	86.7	0.5	0.576	0.41	81.2	-0.8
	MOHC	0.266	38.68	96.7	-4.6	0.840	0.46	58.9	0.3	0.548	1.13	84.1	0.3	0.509	0.43	85.7	0
	MPI	0.374	37.56	92.5	-1.4	0.825	0.42	57.8	1.3	0.598	1.12	82.1	0.4	0.618	0.39	79.5	-0.6
	NCC	0.348	39.1	93.6	-2.9	0.852	0.45	56.3	0.6	0.574	1.17	84.2	0.5	0.603	0.39	79.9	-1.4
	NOAA	0.245	38.56	96.3	-1.8	0.771	0.49	64.6	0.2	0.575	1.17	84.8	0.6	0.600	0.39	79.5	-0.2
WRF	CSIRO	0.323	36.26	94.2	-3.3	0.814	0.44	58	0	0.399	1.26	92.2	0.5	0.549	0.41	83	0.3
	Ensamble	0.317	37.72	96.2	1.3	0.835	0.42	54.9	0.3	0.551	1.11	83.4	0.3	0.575	0.39	81.3	0.2
	GISS	0.317	39.46	97	-4.4	0.866	0.39	53.9	0.4	0.432	1.21	89.9	0.3	0.581	0.41	80.9	0.4
	IPSLCM5 A	0.339	37.93	93.9	-4.2	0.808	0.44	60.1	0.6	0.581	1	82.3	0.4	0.578	0.39	81.3	-0.1
	MIROC	0.293	38.58	95.8	-5.6	0.789	0.49	65.7	1.2	0.549	1.1	85.3	0.4	0.645	0.4	78.7	-2.6



Anexo 16. Índices de bondad ajuste para cada modelo. Estación: Jacarín y Chanlud

ESTACIONES:		JACARÍN								UCUBAMBA							
VARIABLES OBJETIVO:		PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA				PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA			
ESCALA	MODELO	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS
GCM	ACCESS 1.0	0.594	25.24	80.7	1.7	0.702	0.45	71.8	0.3	0.598	35.12	85.8	-18.5	0.626	0.44	77.8	0
	ACCESS 1.3	0.532	25.96	87.1	-14.1	0.735	0.45	68.9	-0.7	0.542	37.72	91.2	-23.3	0.663	0.44	77.1	-0.2
	CanESM2	0.502	26.85	88.1	-12.4	0.761	0.41	64.9	-0.5	0.469	37.2	93.2	-21.9	0.690	0.43	71.9	-0.2
	CNRMCM 5	0.457	26.52	88.7	4.4	0.638	0.46	76.9	-0.4	0.612	34.79	87.7	-24.5	0.649	0.45	76.5	-0.5
	CSIROMk 3.6.0	0.516	27.03	88.3	-14.5	0.688	0.45	72.4	-0.4	0.554	36.96	90.6	-22.8	0.631	0.48	79.6	-0.6
	GISSE2H	0.405	27.95	94.4	-13.5	0.685	0.45	72.6	-0.4	0.488	34.62	91	-19.3	0.695	0.41	71.8	-0.2
	GISSE2H CC	0.577	26.14	84.5	-14.8	0.746	0.41	67	-0.6	0.534	35.94	92.2	-25	0.637	0.46	79.6	-1
	GISSE2R	0.620	24.92	79.5	1.8	0.713	0.46	70.1	-0.5	0.606	34.74	86.3	-20.2	0.689	0.44	72.8	-0.5
	GISSE2R CC	0.486	25.44	87.1	1.7	0.718	0.43	70.2	-0.7	0.587	35.14	87.4	-22.9	0.613	0.46	79.8	-0.4
	IPSLCM5 A	0.583	23.69	81.2	-4.9	0.753	0.42	66.3	-0.3	0.619	33.67	82	-14.5	0.761	0.39	64.4	-0.1
	IPSLCM5 B	0.480	27.04	90.6	-15.5	0.614	0.47	79.5	-0.5	0.461	38.57	95.8	-25	0.587	0.44	80.9	-0.3
	MIROC5	0.336	30.84	98.3	-12	0.760	0.4	65.1	-0.4	0.372	39.22	96.7	-20.5	0.677	0.44	75.5	-0.4
	MIROCE SM	0.449	28.27	92.2	-11.1	0.659	0.45	74.6	0	0.459	37.31	93.8	-22.2	0.551	0.49	86	-0.2
	MIROCE SMCHEM	0.518	28.02	86.5	-0.2	0.661	0.46	75.1	-0.5	0.433	39.24	95.2	-22.7	0.630	0.45	77.4	-0.4
MRI	0.515	27.03	88.4	-14.6	0.705	0.45	72	-0.8	0.593	34.58	85.8	-20.9	0.689	0.42	73.1	-0.6	



ESTACIONES:		JACARÍN								UCUBAMBA							
VARIABLES OBJETIVO:		PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA				PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA			
ESCALA	MODELO	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS
RCM	CCCma	0.547	26.16	87.5	-16.2	0.782	0.38	62.5	-0.4	0.463	35.43	91.6	-17.7	0.743	0.38	67.7	-0.6
	CSIRO	0.488	27.42	87.5	-5.8	0.738	0.42	67.3	-0.4	0.496	35.43	89.9	-17.7	0.731	0.4	67.9	-0.3
	IPSLCM5 A	0.538	26.04	85.7	-8.9	0.720	0.43	69.8	0.4	0.589	35.06	86.7	-19.3	0.664	0.44	75.8	-0.1
	MIROC	0.589	24.46	81.6	-9.5	0.756	0.41	65.8	-0.2	0.642	33.51	82.8	-18.9	0.661	0.47	79.8	0.2
	MOHC	0.506	27.22	89.2	-15.5	0.715	0.44	70.4	-0.5	0.510	37.27	90.8	-19.7	0.663	0.42	74.5	-0.3
	MPI	0.536	26.55	85	-8.8	0.796	0.39	60.3	-0.2	0.581	33.71	85	-16.1	0.753	0.39	66.6	-0.1
	NCC	0.587	25.12	82.3	-10.7	0.699	0.45	72.1	-0.6	0.561	34.31	85.1	-15.2	0.714	0.4	71.3	-0.5
	NOAA	0.522	26.96	85.8	-5.5	0.730	0.42	68.4	-0.4	0.546	33.75	85.8	-14.4	0.663	0.45	76.6	-0.3
WRF	CSIRO	0.531	26.55	85.5	-7.7	0.716	0.43	69.6	0	0.545	35.74	85.5	-13.8	0.660	0.44	75.5	-0.3
	Ensemble	0.557	26.64	85.1	-12.1	0.736	0.43	68.6	-0.7	0.520	36.55	87.9	-16.4	0.745	0.41	68.4	-0.1
	GISS	0.496	27.37	90.1	-14.4	0.709	0.46	71	-0.6	0.527	36.09	89.5	-20.9	0.744	0.39	66.8	-0.3
	IPSLCM5 A	0.562	27.21	85.9	-14.7	0.707	0.45	70.5	0	0.527	37.31	92	-21.7	0.692	0.42	71.9	-0.2
	MIROC	0.608	25.32	80.9	-11	0.664	0.46	74.1	-0.1	0.557	35.59	88.1	-19.9	0.615	0.46	78.2	-0.2



Anexo 17. Índices de bondad ajuste para cada modelo. Estación: Aeropuerto y Biblián

ESTACIONES:		AEROPUERTO								BIBLIÁN							
VARIABLES OBJETIVO:		PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA				PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA			
ESCALA	MODELO	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS
GCM	ACCESS 1.0	0.550	31.57	84.3	-9.6	0.645	0.54	78	0.5	0.258	33.46	102.3	-11.2	0.691	0.6	73.1	0.6
	ACCESS 1.3	0.504	33.82	86.9	-9.7	0.601	0.56	80.8	-0.5	0.258	32.63	102.4	-9.1	0.687	0.59	72.6	0.5
	CanESM2	0.438	35.83	89.7	-7.4	0.694	0.5	72	-0.1	0.347	30.56	97.4	-11.6	0.756	0.52	66.5	0
	CNRMCM 5	0.549	31.49	83.5	-7.4	0.599	0.54	80	-0.1	0.267	31.83	104.9	-8.3	0.647	0.59	76.5	0.3
	CSIROMk 3.6.0	0.582	34.26	84.8	-12.2	0.654	0.53	75.4	0	0.411	29.15	94.6	-14.3	0.674	0.6	73.6	-0.3
	GISSE2H	0.482	33.91	89.6	-14.9	0.611	0.57	80.2	-0.8	0.374	29.41	97.7	-10.3	0.730	0.53	70	0
	GISSE2H CC	0.512	35.7	85.9	-7.1	0.687	0.48	72.3	-0.3	0.365	29.04	96.9	-11.9	0.709	0.57	71	-0.1
	GISSE2R	0.596	32.77	82	-8.2	0.668	0.52	73.9	-0.1	0.312	30.94	99.9	-10.3	0.673	0.61	74.7	0.3
	GISSE2R CC	0.511	33.77	86.8	-11.7	0.633	0.52	76.9	0.3	0.317	32.07	100.3	-13	0.719	0.59	69.7	0
	IPSLCM5 A	0.603	30.34	79.3	-2.3	0.717	0.5	70.7	0.4	0.379	28.54	95.2	-4.4	0.718	0.55	70.9	0.9
	IPSLCM5 B	0.494	35.2	88.9	-13.4	0.577	0.53	83.1	-0.3	0.306	31.58	100	-14.5	0.665	0.6	74.4	0
	MIROC5	0.313	38.07	96.4	-12.5	0.719	0.47	69.8	-0.2	0.370	31.01	99	-16.7	0.687	0.56	73	0
	MIROCE SM	0.361	37.18	94.1	-11	0.622	0.52	78.3	-0.1	0.465	27.88	89.7	-4.5	0.705	0.58	71.9	0.4
	MIROCE SMCHEM	0.418	35.67	91.7	-12.2	0.542	0.57	83.4	-0.1	0.333	31.66	100	-16.8	0.708	0.59	71.2	0.3
MRI	0.465	34.1	89.3	-11.9	0.666	0.51	74.7	-0.5	0.294	30.73	101.4	-9.7	0.703	0.57	70.8	0	



ESTACIONES:		AEROPUERTO								BIBLIÁN							
VARIABLES OBJETIVO:		PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA				PRECIPITACIÓN				TEMPERATURA			
ESCALA	MODELO	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS
RCM	CCCma	0.430	34.75	90.2	-7.2	0.707	0.49	70.4	0.2	0.489	27.53	87.8	-7.9	0.786	0.52	63.1	0.2
	CSIRO	0.401	35.78	91.6	-7.5	0.732	0.45	67.6	-0.2	0.269	30.94	100.1	-8.2	0.819	0.53	65.2	0.4
	IPSLCM5 A	0.560	31.86	82.7	-6	0.670	0.49	74.2	0.2	0.387	29.24	96.5	-7.9	0.783	0.5	62.4	0.3
	MIROC	0.610	30.64	80.7	-9	0.683	0.5	74.4	0.2	0.442	29.67	91.3	-8.1	0.788	0.51	62	-0.1
	MOHC	0.457	35.02	89.9	-12.2	0.634	0.53	77.4	0	0.252	32.07	104	-12.8	0.804	0.51	61.6	0.3
	MPI	0.535	34.02	85.3	-7.9	0.732	0.49	68.6	0.4	0.427	27.69	94.3	-14.9	0.763	0.52	66.4	0.6
	NCC	0.553	33.69	84.3	-10	0.662	0.52	74.9	-0.2	0.316	30.41	98.5	-7.8	0.798	0.48	62.1	0.2
	NOAA	0.451	35.16	88.9	-5.6	0.652	0.51	75.8	0	0.367	29.34	95.1	-6.1	0.751	0.57	67.8	0.6
WRF	CSIRO	0.498	35.53	86.5	-7	0.648	0.49	75.6	0	0.362	29.67	96.6	-10	0.755	0.56	67.3	0
	Ensamble	0.493	36.37	86.7	-4	0.695	0.52	73	-0.5	0.375	29.63	96.9	-6.8	0.771	0.53	65.5	0.3
	GISS	0.454	35.26	89.6	-9.8	0.728	0.48	68.8	-0.5	0.285	31.43	104	-12.2	0.771	0.51	65.1	0.6
	IPSLCM5 A	0.451	35.03	89	-6.9	0.699	0.48	72.1	0.2	0.473	27.79	88.7	-7.3	0.751	0.52	66.8	0.5
	MIROC	0.576	32.71	82.8	-8.7	0.613	0.56	79	0.5	0.378	29.78	94.4	-6.3	0.687	0.61	75.2	0.4



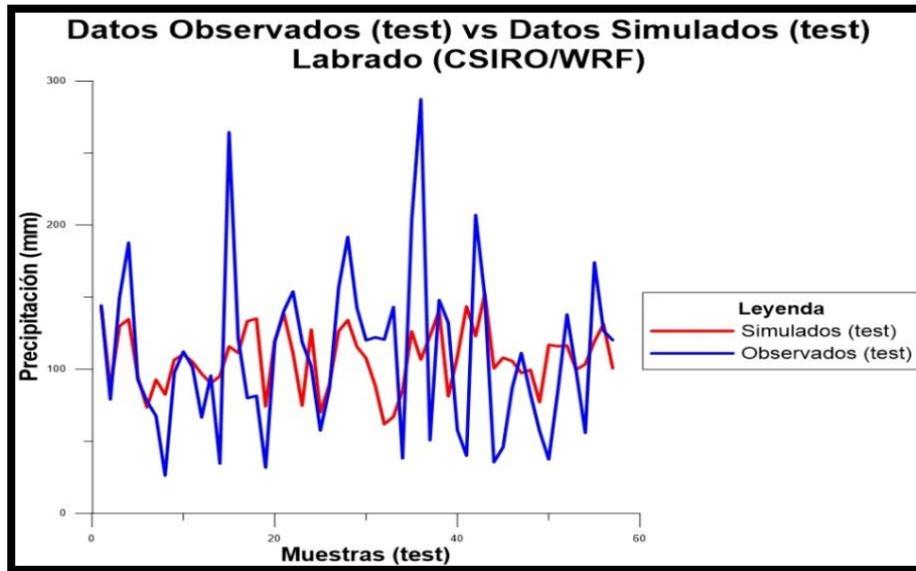
Anexo 18. Índices de bondad ajuste para cada modelo. Estación: Ricaurte, Chirimachay y Surucucho

ESTACIONES		RICAURTE				CHIRIMACHAY				SURUCUCHO			
VARIABLES OBJETIVO:		PRECIPITACIÓN				PRECIPITACIÓN				PRECIPITACIÓN			
ESCALA	MODELO	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS
GCM	ACCESS 1.0	0.642	36.81	79.5	2.1	0.306	47.99	94.4	0.2	0.668	56.43	83.2	18.3
	ACCESS 1.3	0.595	37.79	81.7	4	0.140	52.38	98.7	-2.1	0.047	66.78	101.2	15.9
	CanESM2	0.490	37.99	88.3	-12.4	0.211	50.91	96.9	0.1	0.158	67.28	99.3	17.3
	CNRMCM 5	0.420	39.69	93.6	-8.5	0.193	52.59	97.6	2.7	0.218	64.46	97.8	8.7
	CSIROMk 3.6.0	0.563	37.23	87.7	-18.4	0.315	48.83	94.1	1	0.185	66.7	98.8	17.1
	GISSE2H	0.521	36.24	88	-16.3	0.356	48.93	95.4	-2.8	0.370	62.24	95.5	9.5
	GISSE2H CC	0.532	37.12	86.3	-13.7	0.119	50.62	98.6	1	0.186	64.71	98.6	14.1
	GISSE2R	0.624	35.41	81	-13.4	0.184	50.33	97.5	0.4	0.208	63.64	97.7	11.2
	GISSE2R CC	0.603	37.08	79.7	2.2	0.360	47.09	92.8	-3.5	0.258	64.63	96.6	12.1
	IPSLCM5 A	0.633	36.2	77.7	6.3	0.157	50.09	101.4	-3.3	0.384	63.13	95	24.8
	IPSLCM5 B	0.506	38.41	90.7	-20.1	0.207	49.97	97.2	-2	0.011	63.18	99.1	0.7
	MIROC5	0.386	42.4	91.5	-1.7	0.314	47.77	95.7	-8.5	0.066	65.72	101.9	5.6
	MIROCE SM	0.440	39.8	93	-17	0.252	50.21	96.9	3.1	0.215	65.27	97.8	12.4
	MIROCE SMCHEM	0.574	37.63	81.3	1.2	0.177	48.99	98.3	-1.4	0.156	64.25	101	14.9
MRI	0.549	36.15	86.8	-17.4	0.193	50.67	97.9	2.8	0.218	65.45	97.8	10.2	

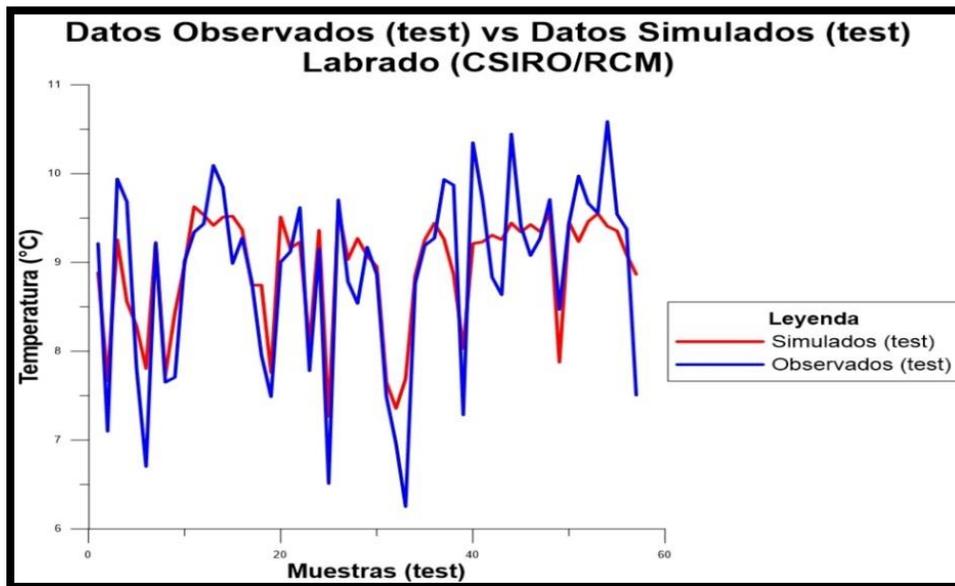


ESTACIONES		RICAURTE				CHIRIMACHAY				SURUCUCHO			
VARIABLES OBJETIVO:		PRECIPITACIÓN				PRECIPITACIÓN				PRECIPITACIÓN			
ESCALA	MODELO	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS	R	MAE	NRM SE	PBIAS
RCM	CCCma	0.604	34.59	83.6	-16.3	0.339	50	93.4	2.8	0.194	66.75	98.7	17.7
	CSIRO	0.450	37.55	91.1	-14	0.113	49.66	101.8	-12.1	0.293	64.17	97.3	13.7
	IPSLCM5 A	0.601	34.58	80.9	-10.8	0.250	49.23	96.7	3.2	0.267	64.21	96.8	16.1
	MIROC	0.638	34.49	79.7	-13.7	0.339	46.52	95.8	-11.5	0.169	63.06	98.7	14.4
	MOHC	0.500	38.43	89.5	-17	0.207	47.37	99.4	-12.3	0.114	65.55	99.1	11
	MPI	0.544	36.8	84.6	-10.5	0.281	50.68	95.3	2.6	0.206	65.03	97.8	12.3
	NCC	0.561	36.06	82.7	-5.8	0.123	51.84	99.2	0.9	0.460	58.12	90.7	20.8
	NOAA	0.537	35.87	84.5	-7.4	0.327	48.94	95.2	0.4	0.301	65.82	96.4	18.6
WRF	CSIRO	0.523	38.05	86.2	-11.4	0.169	49.63	99.9	-6.8	0.234	65.98	97.6	16.3
	Ensamble	0.584	37.57	81.5	-8.1	0.190	50.18	100.5	2.1	0.246	61.21	97.5	-1.2
	GISS	0.525	37.77	87	-13.7	0.232	46.33	99.4	-11.5	0.219	65.91	97.6	13.5
	IPSLCM5 A	0.608	37.25	84.7	-15.7	0.273	46.17	95.8	-2.2	0.224	64.18	97.7	9.3
	MIROC	0.599	35.27	82.4	-13.4	0.296	43.24	95.8	4.6	0.128	64.91	99	9.8

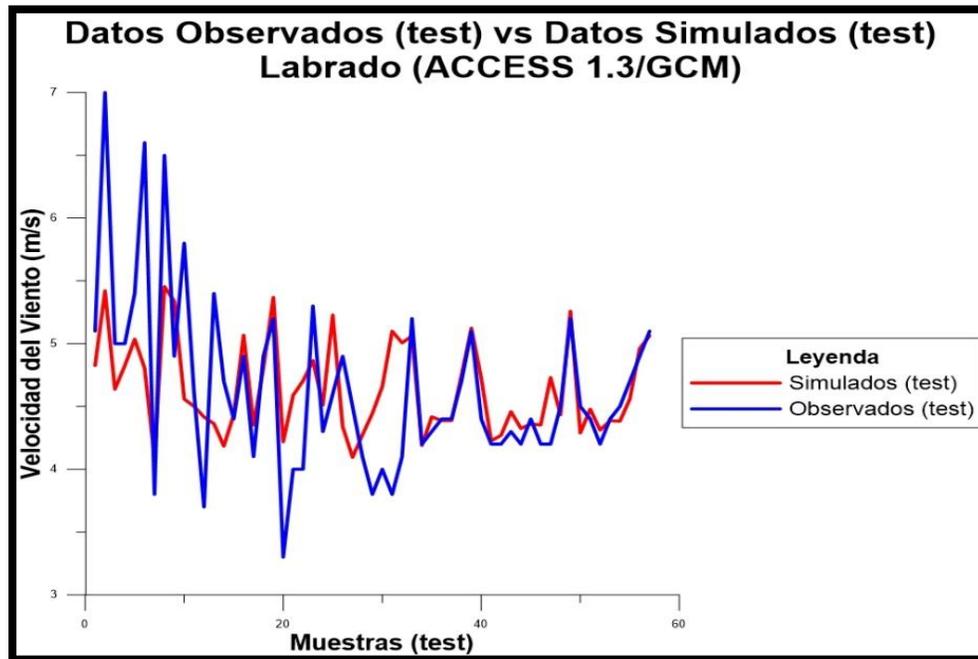
Anexo 19. Datos observados vs Datos simulados - Labrado (CSIRO/WRF)- Precipitación.



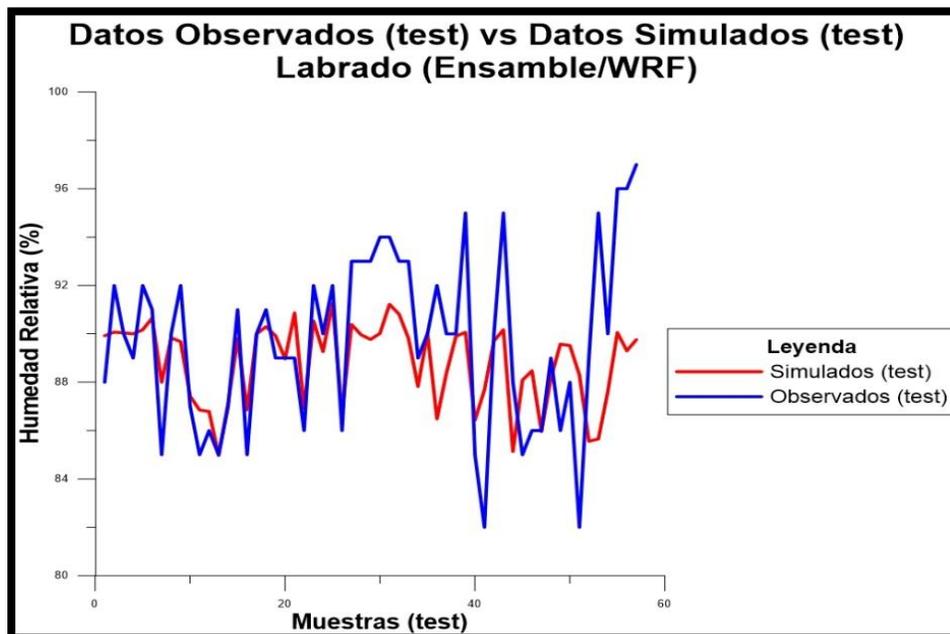
Anexo 20. Datos observados vs Datos simulados - Labrado (CSIRO/RCM)- Temperatura.



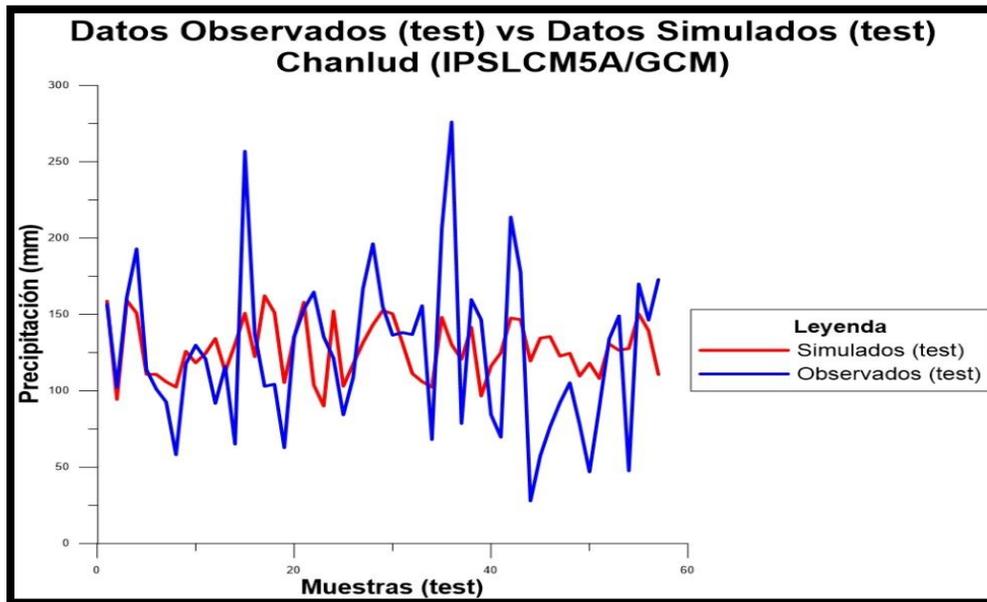
Anexo 21. Datos observados vs Datos simulados - Labrado (ACCESS 1.3/GCM)- Velocidad del Viento.



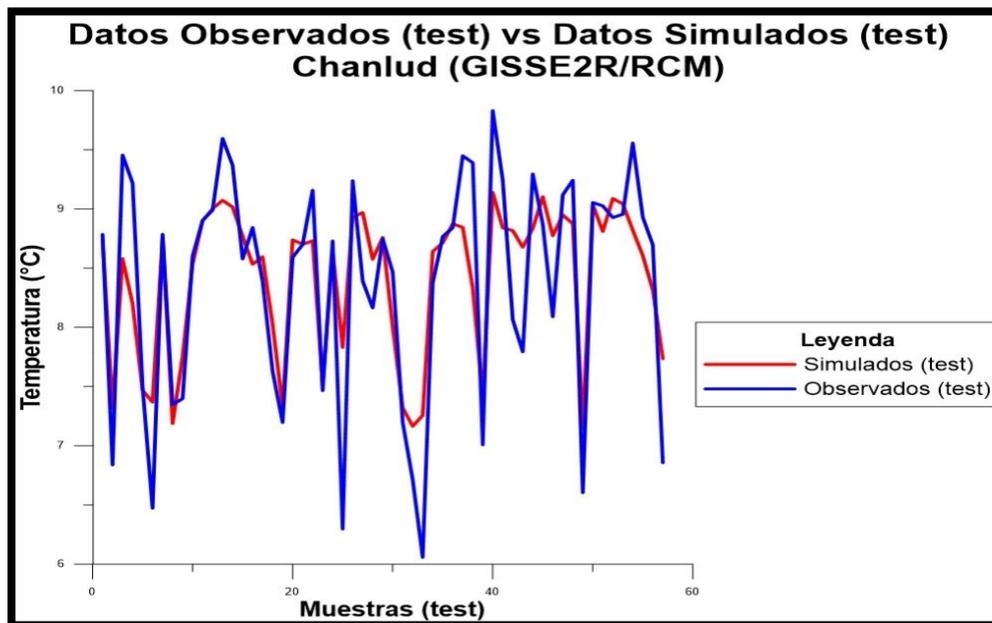
Anexo 22. Datos observados vs Datos simulados - Labrado (Ensamble/WRF)- Humedad Relativa



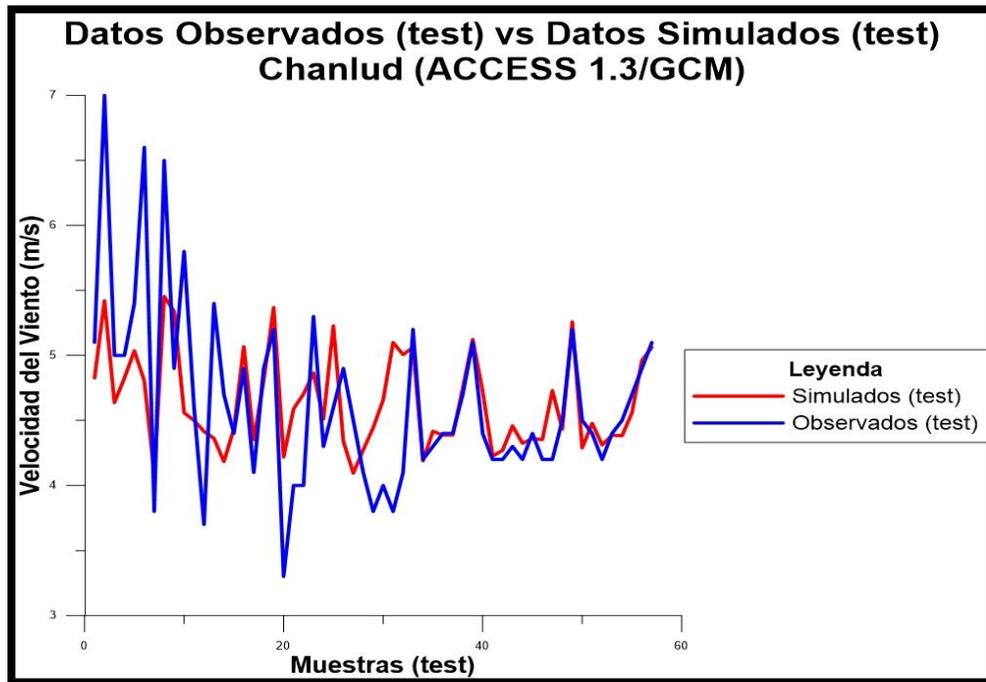
Anexo 23. Datos observados vs Datos simulados - Chanlud (IPSLCM5A/GCM)- Precipitación.



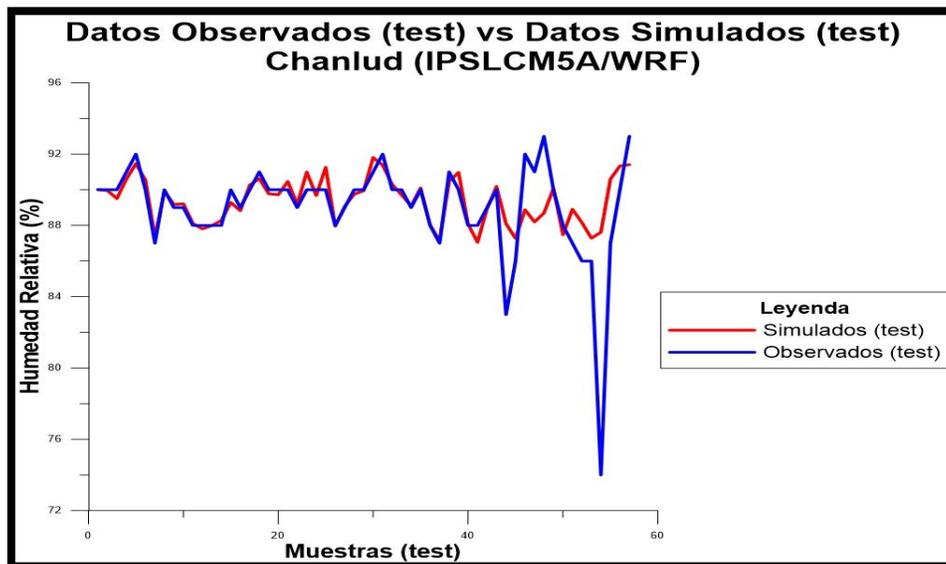
Anexo 24. Datos observados vs Datos simulados - Chanlud (GISSE2R/RCM)- Temperatura.



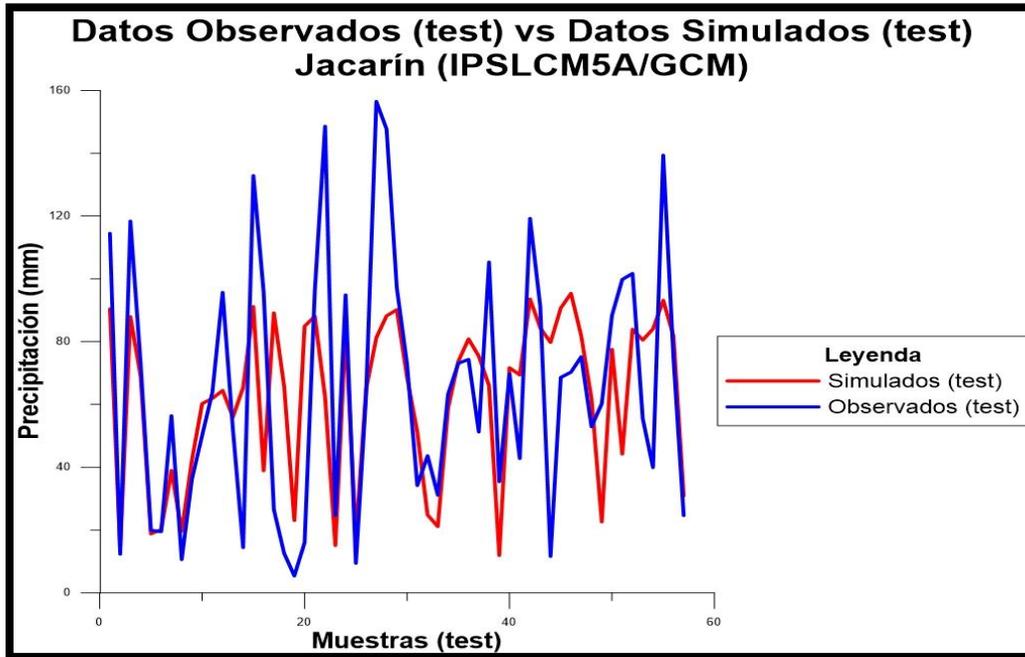
Anexo 25. Datos observados vs Datos simulados - Chanlud (ACCESS 1.3/GCM)-Velocidad del Viento



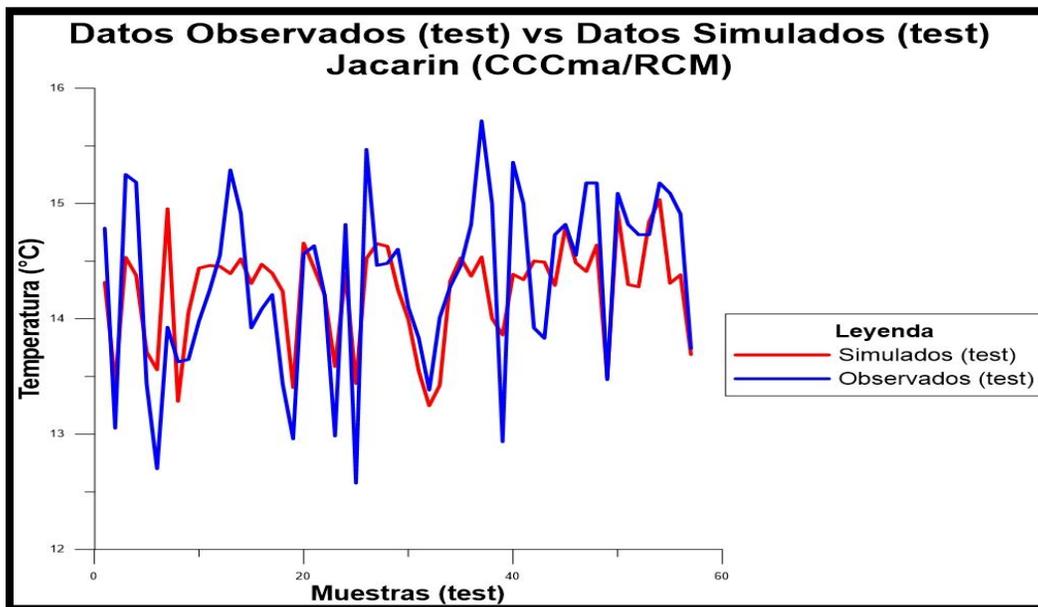
Anexo 26. Datos observados vs Datos simulados - Chanlud (IPSLCM5A/WRF)- Humedad



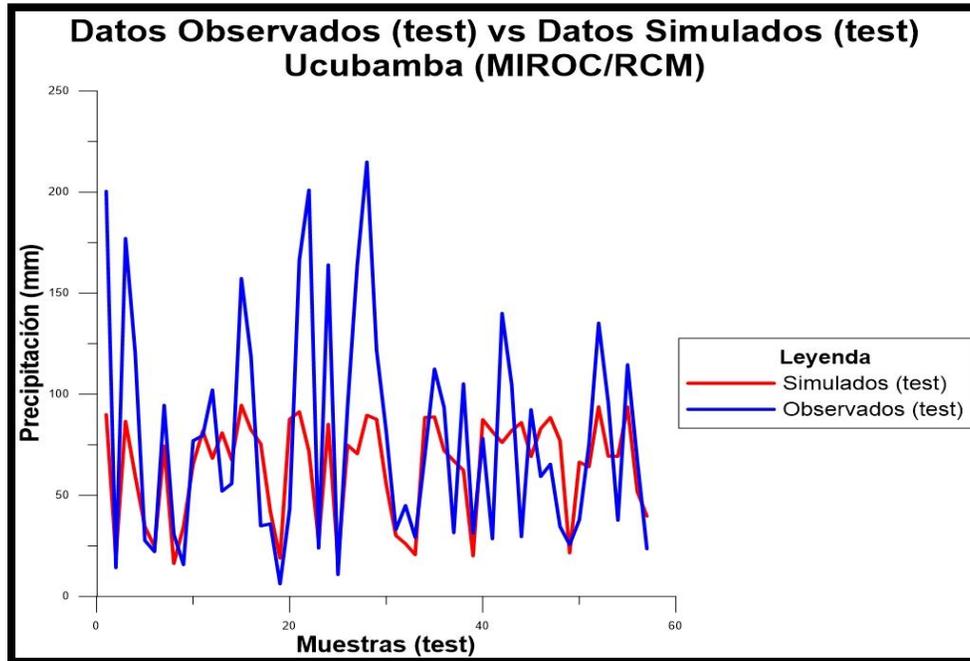
Anexo 27. Datos observados vs Datos simulados - Jacarín (IPSLCM5A/GCM)- Precipitación.



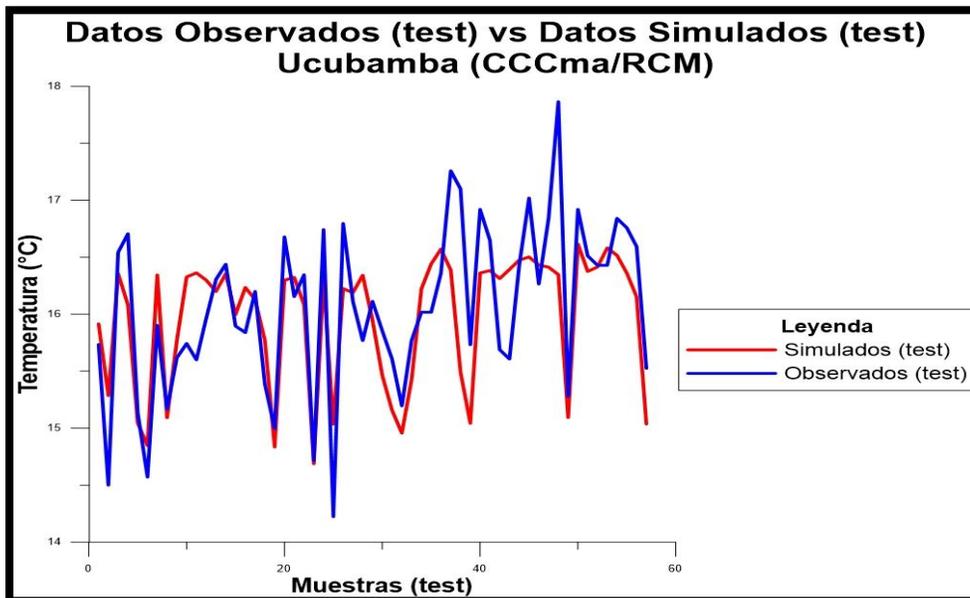
Anexo 28. Datos observados vs Datos simulados - Jacarín (CCCma/RCM)- Temperatura



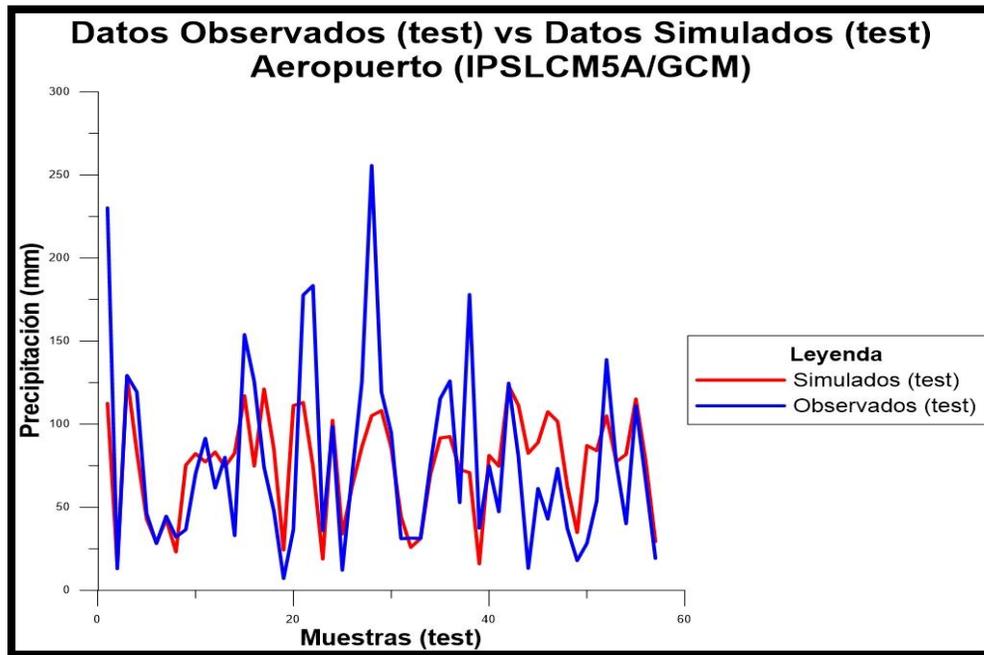
Anexo 29. Datos observados vs Datos simulados - Ucubamba (MIROC/RCM)- Precipitación.



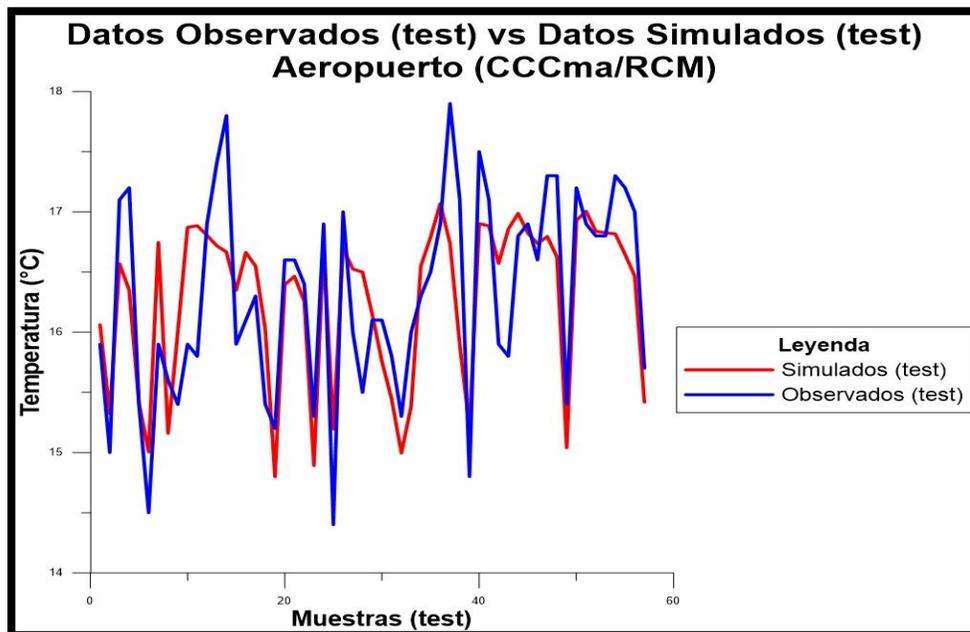
Anexo 30. Datos observados vs Datos simulados - Ucubamba (CCCma/RCM)- Temperatura.



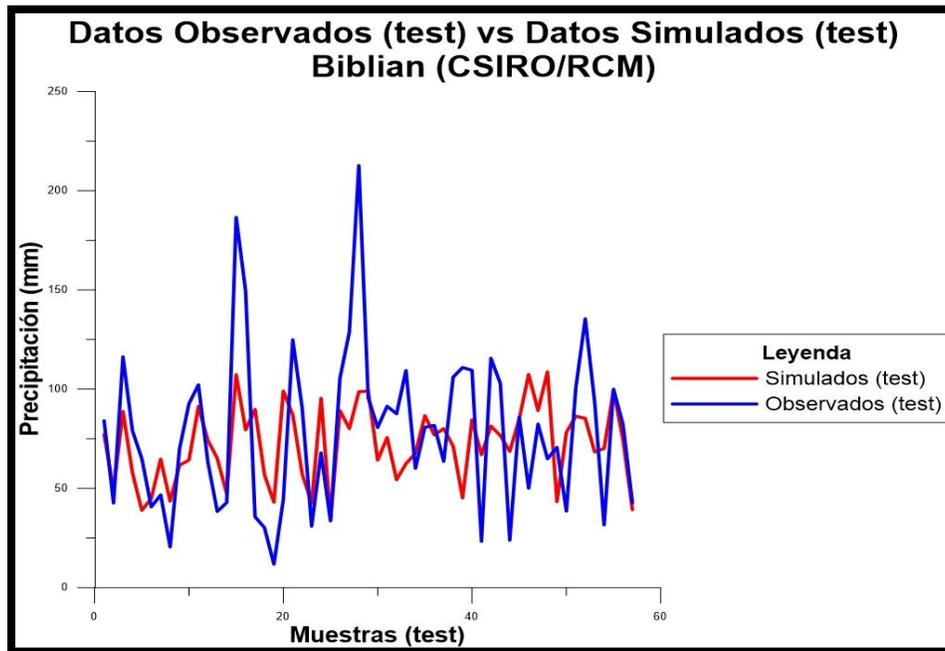
Anexo 31. Datos observados vs Datos simulados - Aeropuerto (IPSLCM5A/GCM)- Precipitación.



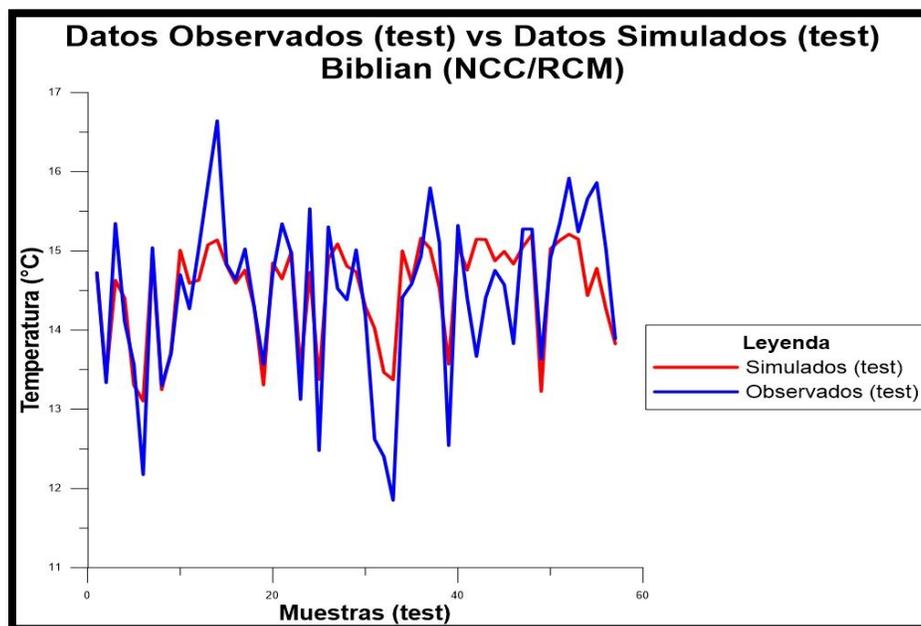
Anexo 32. Datos observados vs Datos simulados - Aeropuerto (CCCma/RCM)- Temperatura



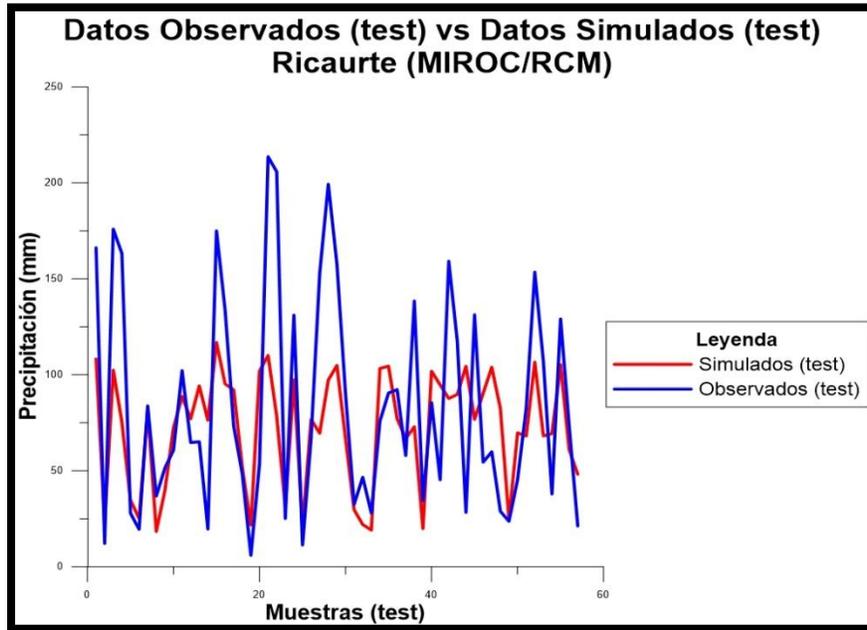
Anexo 33. Datos observados vs Datos simulados - Biblián (CSIRO/RCM)- Precipitación.



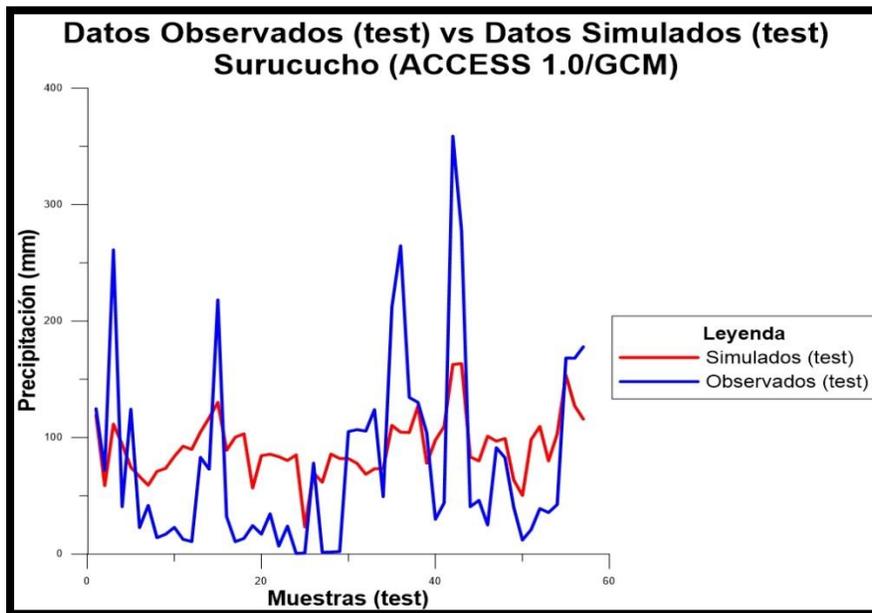
Anexo 34. Datos observados vs Datos simulados - Biblián (NCC/RCM)- Temperatura



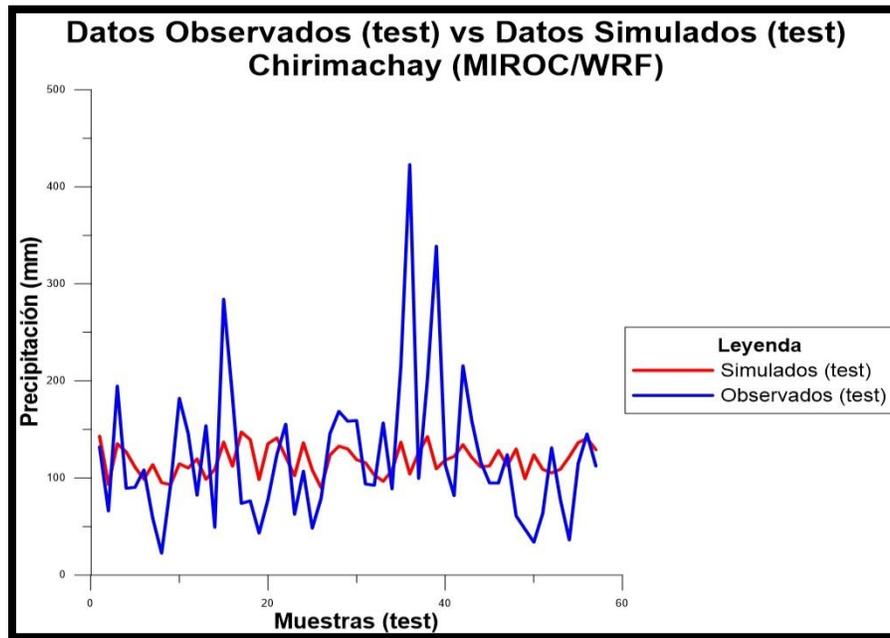
Anexo 35. Datos observados vs Datos simulados - Ricaurte (MIROC/RCM)- Precipitación.



Anexo 36. Datos observados vs Datos simulados - Surucucho (ACCESS 1.0/GCM)- Precipitación.



Anexo 37. Datos observados vs Datos simulados - Chirimachay (MIROC/WRF)- Precipitación.





Anexo 38. Series Sintéticas ordenadas de menor a mayor Oferta

Oferta	Serie	Oferta	Serie	Oferta	Serie	Oferta	Serie
4560.27086	Serie55	5484.31209	Serie7	5775.05839	Serie82	6190.33934	Serie85
4668.26065	Serie80	5497.79895	Serie91	5786.36417	Serie16	6193.04625	Serie8
4674.99016	Serie75	5512.46534	Serie95	5809.363	Serie76	6206.88269	Serie14
4746.54815	Serie84	5516.84632	Serie45	5826.32756	Serie49	6220.12446	Serie22
4775.28171	Serie50	5527.8306	Serie1	5851.53551	Serie11	6225.23306	Serie24
4830.98233	Serie43	5557.97171	Serie51	5855.02817	Serie12	6249.26578	Serie88
4851.85508	Serie52	5562.67991	Serie26	5866.34367	Serie5	6287.22101	Serie4
5037.61756	Serie57	5562.87705	Serie21	5869.84721	Serie15	6292.70876	Serie81
5066.85447	Serie83	5589.79553	Serie17	5873.37613	Serie65	6332.8274	Serie40
5157.97526	Serie99	5595.24677	Serie63	5874.30394	Serie2	6338.43797	Serie56
5160.51665	Serie100	5603.68999	Serie47	5900.18252	Serie53	6353.7396	Serie79
5166.86712	Serie73	5605.64628	Serie10	5902.39284	Serie37	6384.87592	Serie39
5169.43119	Serie29	5659.1524	Serie61	5912.6625	Serie68	6523.56039	Serie48
5169.51769	Serie94	5681.13164	Serie36	5920.68641	Serie87	6525.2909	Serie46
5207.81198	Serie77	5692.15379	Serie13	5928.65585	Serie28	6557.5848	Serie59
5220.4811	Serie72	5716.06155	Serie86	5937.47535	Serie30	6569.56071	Serie42
5302.78609	Serie19	5726.98264	Serie33	5945.61353	Serie23	6583.28242	Serie92
5314.18905	Serie93	5741.59998	Serie34	5950.30346	Serie78	6703.68267	Serie74
5343.76996	Serie60	5745.65844	Serie90	5976.59586	Serie6	6746.68489	Serie89
5347.245	Serie97	5746.82901	Serie41	6028.47459	Serie98	6763.19595	Serie32
5351.20132	Serie9	5751.82574	Serie70	6030.55403	Serie38	6800.09823	Serie58
5357.14986	Serie25	5752.5782	Serie31	6047.81964	Serie71	6839.78689	Serie54
5408.62829	Serie27	5759.24634	Serie3	6081.69097	Serie18	7065.49254	Serie20
5412.56284	Serie66	5764.16695	Serie69	6142.93041	Serie44	7139.5116	Serie96
5425.14338	Serie35	5764.75355	Serie62	6151.20065	Serie67	7214.01737	Serie64



Anexo 39. Cobertura de las demandas de agua para consumo humano y riego (WEAP)

	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta- demanda	Balance hídrico %	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta- demanda	Balance hídrico %
MES_AÑO	WEAP	PTAP (TIXÁN)			WEAP-TIXÁN	RIEGO		
ene_2019	6.830	5.196	1.634	31.44	1.634	3.753	-2.120	-56.48
feb_2019	9.598	4.693	4.904	104.50	4.904	3.580	1.325	37.01
mar_2019	12.158	5.196	6.962	133.99	6.962	3.457	3.505	101.42
abr_2019	14.318	5.028	9.289	184.73	9.289	3.014	6.275	208.24
may_2019	15.715	5.196	10.519	202.45	10.519	3.031	7.489	247.11
jun_2019	13.545	5.028	8.516	169.36	8.516	4.299	4.217	98.10
jul_2019	11.954	5.196	6.758	130.06	6.758	4.671	2.087	44.69
ago_2019	11.090	5.196	5.894	113.42	5.894	4.745	1.149	24.21
sep_2019	11.347	5.028	6.319	125.66	6.319	4.370	1.949	44.59
oct_2019	11.517	5.196	6.321	121.65	6.321	4.128	2.193	53.14
nov_2019	11.888	5.028	6.860	136.42	6.860	3.959	2.901	73.26
dic_2019	12.319	5.196	7.123	137.08	7.123	3.711	3.412	91.94
ene_2020	12.285	5.182	7.103	137.08	7.103	3.753	3.350	89.26
feb_2020	13.575	4.848	8.727	180.04	8.727	3.580	5.148	143.81
mar_2020	15.111	5.182	9.930	191.62	9.930	3.457	6.473	187.27
abr_2020	16.054	5.015	11.039	220.14	11.039	3.014	8.026	266.31
may_2020	17.138	5.182	11.956	230.73	11.956	3.031	8.926	294.53
jun_2020	14.540	5.015	9.525	189.95	9.525	4.299	5.226	121.57
jul_2020	12.303	5.182	7.121	137.43	7.121	4.671	2.451	52.47
ago_2020	11.595	5.182	6.413	123.76	6.413	4.745	1.668	35.15
sep_2020	11.892	5.015	6.878	137.15	6.878	4.370	2.507	57.38
oct_2020	12.418	5.182	7.237	139.65	7.237	4.128	3.109	75.32
nov_2020	12.298	5.015	7.283	145.23	7.283	3.959	3.324	83.94
dic_2020	13.150	5.182	7.969	153.78	7.969	3.711	4.258	114.74
ene_2021	14.723	5.196	9.527	183.36	9.527	3.753	5.774	153.83
feb_2021	14.790	4.693	10.096	215.13	10.096	3.580	6.517	182.06
mar_2021	17.309	5.196	12.113	233.11	12.113	3.457	8.656	250.43
abr_2021	17.301	5.028	12.272	244.05	12.272	3.014	9.258	307.22
may_2021	17.374	5.196	12.178	234.36	12.178	3.031	9.147	301.83
jun_2021	14.856	5.028	9.827	195.43	9.827	4.299	5.528	128.60
jul_2021	12.195	5.196	6.999	134.69	6.999	4.671	2.328	49.84
ago_2021	11.100	5.196	5.904	113.62	5.904	4.745	1.159	24.42
sep_2021	12.072	5.028	7.043	140.07	7.043	4.370	2.673	61.17
oct_2021	12.410	5.196	7.214	138.83	7.214	4.128	3.086	74.77
nov_2021	12.671	5.028	7.642	151.98	7.642	3.959	3.683	93.02
dic_2021	14.681	5.196	9.485	182.54	9.485	3.711	5.774	155.60



	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %
MES_AÑO	WEAP	PTAP (TIXÁN)			WEAP-TIXÁN	RIEGO		
ene_2022	14.347	5.196	9.151	176.12	9.151	3.753	5.398	143.82
feb_2022	16.102	4.693	11.409	243.09	11.409	3.580	7.829	218.72
mar_2022	16.897	5.196	11.701	225.19	11.701	3.457	8.245	238.53
abr_2022	18.011	5.028	12.983	258.18	12.983	3.014	9.969	330.79
may_2022	18.124	5.196	12.927	248.79	12.927	3.031	9.897	326.57
jun_2022	15.517	5.028	10.489	208.59	10.489	4.299	6.190	143.98
jul_2022	12.756	5.196	7.560	145.50	7.560	4.671	2.889	61.86
ago_2022	10.815	5.196	5.618	108.13	5.618	4.745	0.873	18.41
sep_2022	11.469	5.028	6.441	128.09	6.441	4.370	2.071	47.38
oct_2022	11.958	5.196	6.762	130.14	6.762	4.128	2.634	63.82
nov_2022	11.943	5.028	6.914	137.50	6.914	3.959	2.955	74.63
dic_2022	13.908	5.196	8.712	167.67	8.712	3.711	5.001	134.78
ene_2023	12.740	5.196	7.544	145.18	7.544	3.753	3.791	100.99
feb_2023	13.582	4.693	8.889	189.40	8.889	3.580	5.309	148.32
mar_2023	14.708	5.196	9.512	183.05	9.512	3.457	6.055	175.18
abr_2023	16.684	5.028	11.656	231.80	11.656	3.014	8.642	286.77
may_2023	17.101	5.196	11.904	229.11	11.904	3.031	8.874	292.82
jun_2023	14.636	5.028	9.607	191.05	9.607	4.299	5.308	123.47
jul_2023	12.295	5.196	7.099	136.62	7.099	4.671	2.428	51.98
ago_2023	11.525	5.196	6.329	121.81	6.329	4.745	1.584	33.38
sep_2023	11.871	5.028	6.842	136.07	6.842	4.370	2.472	56.57
oct_2023	12.549	5.196	7.353	141.51	7.353	4.128	3.225	78.13
nov_2023	12.278	5.028	7.250	144.17	7.250	3.959	3.290	83.10
dic_2023	13.374	5.196	8.177	157.38	8.177	3.711	4.467	120.37
ene_2024	14.181	5.182	8.999	173.67	8.999	3.753	5.246	139.76
feb_2024	15.014	4.848	10.167	209.73	10.167	3.580	6.587	184.02
mar_2024	15.424	5.182	10.242	197.65	10.242	3.457	6.786	196.31
abr_2024	17.325	5.015	12.310	245.48	12.310	3.014	9.296	308.48
may_2024	17.412	5.182	12.230	236.02	12.230	3.031	9.200	303.57
jun_2024	15.542	5.015	10.527	209.92	10.527	4.299	6.228	144.87
jul_2024	12.822	5.182	7.641	147.45	7.641	4.671	2.970	63.58
ago_2024	11.645	5.182	6.463	124.73	6.463	4.745	1.718	36.21
sep_2024	12.109	5.015	7.094	141.46	7.094	4.370	2.724	62.33
oct_2024	12.996	5.182	7.814	150.80	7.814	4.128	3.686	89.31
nov_2024	13.579	5.015	8.564	170.78	8.564	3.959	4.605	116.30
dic_2024	14.373	5.182	9.191	177.38	9.191	3.711	5.481	147.69
ene_2025	13.727	5.196	8.531	164.18	8.531	3.753	4.778	127.29
feb_2025	14.372	4.693	9.678	206.22	9.678	3.580	6.099	170.38



	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %
MES_AÑO	WEAP	PTAP (TIXÁN)			WEAP-TIXÁN	RIEGO		
mar_2025	14.398	5.196	9.202	177.10	9.202	3.457	5.746	166.23
abr_2025	17.050	5.028	12.022	239.08	12.022	3.014	9.008	298.91
may_2025	16.929	5.196	11.733	225.80	11.733	3.031	8.702	287.15
jun_2025	13.929	5.028	8.901	177.01	8.901	4.299	4.602	107.04
jul_2025	11.821	5.196	6.625	127.51	6.625	4.671	1.955	41.85
ago_2025	11.192	5.196	5.996	115.39	5.996	4.745	1.251	26.36
sep_2025	12.091	5.028	7.063	140.45	7.063	4.370	2.692	61.61
oct_2025	12.230	5.196	7.034	135.36	7.034	4.128	2.906	70.40
nov_2025	12.245	5.028	7.216	143.50	7.216	3.959	3.257	82.25
dic_2025	12.415	5.196	7.219	138.94	7.219	3.711	3.508	94.55
ene_2026	13.869	5.196	8.673	166.91	8.673	3.753	4.920	131.07
feb_2026	13.984	4.693	9.290	197.95	9.290	3.580	5.711	159.54
mar_2026	15.806	5.196	10.610	204.19	10.610	3.457	7.153	206.94
abr_2026	18.290	5.028	13.261	263.73	13.261	3.014	10.248	340.05
may_2026	18.725	5.196	13.529	260.37	13.529	3.031	10.498	346.42
jun_2026	14.943	5.028	9.914	197.17	9.914	4.299	5.615	130.62
jul_2026	12.443	5.196	7.247	139.48	7.247	4.671	2.577	55.17
ago_2026	11.879	5.196	6.683	128.61	6.683	4.745	1.938	40.83
sep_2026	12.416	5.028	7.388	146.92	7.388	4.370	3.017	69.05
oct_2026	13.726	5.196	8.530	164.16	8.530	4.128	4.402	106.64
nov_2026	12.908	5.028	7.880	156.70	7.880	3.959	3.920	99.01
dic_2026	14.809	5.196	9.613	185.01	9.613	3.711	5.903	159.06
ene_2027	15.604	5.196	10.408	200.31	10.408	3.753	6.655	177.30
feb_2027	17.830	4.693	13.137	279.91	13.137	3.580	9.557	266.99
mar_2027	17.453	5.196	12.257	235.89	12.257	3.457	8.801	254.61
abr_2027	19.274	5.028	14.245	283.30	14.245	3.014	11.232	372.70
may_2027	19.180	5.196	13.984	269.13	13.984	3.031	10.954	361.44
jun_2027	16.133	5.028	11.105	220.84	11.105	4.299	6.806	158.32
jul_2027	13.955	5.196	8.759	168.58	8.759	4.671	4.089	87.54
ago_2027	11.966	5.196	6.770	130.28	6.770	4.745	2.025	42.67
sep_2027	12.279	5.028	7.250	144.19	7.250	4.370	2.880	65.91
oct_2027	12.065	5.196	6.869	132.20	6.869	4.128	2.742	66.42
nov_2027	13.446	5.028	8.418	167.40	8.418	3.959	4.458	112.61
dic_2027	13.794	5.196	8.598	165.48	8.598	3.711	4.888	131.71
ene_2028	14.483	5.182	9.302	179.50	9.302	3.753	5.548	147.82
feb_2028	15.715	4.848	10.867	224.18	10.867	3.580	7.288	203.59
mar_2028	16.228	5.182	11.046	213.16	11.046	3.457	7.589	219.56
abr_2028	17.353	5.015	12.339	246.05	12.339	3.014	9.325	309.43



	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %
MES_AÑO	WEAP	PTAP (TIXÁN)			WEAP-TIXÁN	RIEGO		
may_2028	17.171	5.182	11.989	231.36	11.989	3.031	8.958	295.60
jun_2028	14.035	5.015	9.020	179.87	9.020	4.299	4.721	109.82
jul_2028	12.521	5.182	7.339	141.62	7.339	4.671	2.668	57.12
ago_2028	11.109	5.182	5.927	114.39	5.927	4.745	1.182	24.92
sep_2028	12.278	5.015	7.263	144.84	7.263	4.370	2.893	66.20
oct_2028	12.794	5.182	7.612	146.90	7.612	4.128	3.485	84.42
nov_2028	13.024	5.015	8.010	159.72	8.010	3.959	4.050	102.29
dic_2028	13.218	5.182	8.036	155.08	8.036	3.711	4.325	116.55
ene_2029	13.769	5.196	8.573	164.99	8.573	3.753	4.820	128.41
feb_2029	14.596	4.693	9.903	211.00	9.903	3.580	6.323	176.64
mar_2029	14.497	5.196	9.301	179.00	9.301	3.457	5.844	169.08
abr_2029	16.630	5.028	11.602	230.73	11.602	3.014	8.588	284.98
may_2029	17.682	5.196	12.486	240.29	12.486	3.031	9.455	311.99
jun_2029	14.258	5.028	9.230	183.56	9.230	4.299	4.931	114.70
jul_2029	12.645	5.196	7.449	143.36	7.449	4.671	2.778	59.48
ago_2029	11.627	5.196	6.431	123.76	6.431	4.745	1.686	35.52
sep_2029	12.237	5.028	7.208	143.35	7.208	4.370	2.838	64.94
oct_2029	13.173	5.196	7.977	153.52	7.977	4.128	3.849	93.26
nov_2029	13.409	5.028	8.380	166.66	8.380	3.959	4.421	111.66
dic_2029	14.694	5.196	9.498	182.79	9.498	3.711	5.787	155.95
ene_2030	13.646	5.196	8.450	162.61	8.450	3.753	4.696	125.12
feb_2030	15.419	4.693	10.726	228.53	10.726	3.580	7.146	199.63
mar_2030	15.379	5.196	10.183	195.98	10.183	3.457	6.727	194.61
abr_2030	15.929	5.028	10.900	216.77	10.900	3.014	7.887	261.70
may_2030	16.423	5.196	11.226	216.06	11.226	3.031	8.196	270.44
jun_2030	14.443	5.028	9.415	187.23	9.415	4.299	5.116	119.00
jul_2030	13.019	5.196	7.823	150.55	7.823	4.671	3.152	67.48
ago_2030	12.719	5.196	7.523	144.79	7.523	4.745	2.778	58.55
sep_2030	12.989	5.028	7.961	158.32	7.961	4.370	3.591	82.17
oct_2030	13.195	5.196	7.999	153.93	7.999	4.128	3.871	93.78
nov_2030	14.075	5.028	9.047	179.91	9.047	3.959	5.087	128.49
dic_2030	14.409	5.196	9.213	177.30	9.213	3.711	5.502	148.27
ene_2031	14.249	5.196	9.053	174.22	9.053	3.753	5.299	141.19
feb_2031	15.093	4.693	10.400	221.60	10.400	3.580	6.821	190.54
mar_2031	15.841	5.196	10.645	204.86	10.645	3.457	7.188	207.96
abr_2031	17.115	5.028	12.087	240.37	12.087	3.014	9.073	301.08
may_2031	17.929	5.196	12.733	245.05	12.733	3.031	9.702	320.15
jun_2031	15.001	5.028	9.973	198.33	9.973	4.299	5.674	131.98



	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %
MES_AÑO	WEAP	PTAP (TIXÁN)			WEAP-TIXÁN	RIEGO		
jul_2031	13.128	5.196	7.932	152.65	7.932	4.671	3.261	69.82
ago_2031	12.034	5.196	6.838	131.60	6.838	4.745	2.093	44.11
sep_2031	13.245	5.028	8.217	163.40	8.217	4.370	3.846	88.02
oct_2031	13.847	5.196	8.651	166.49	8.651	4.128	4.523	109.58
nov_2031	14.121	5.028	9.093	180.83	9.093	3.959	5.134	129.66
dic_2031	16.354	5.196	11.158	214.74	11.158	3.711	7.447	200.69
ene_2032	14.885	5.182	9.703	187.25	9.703	3.753	5.950	158.52
feb_2032	16.527	4.848	11.679	240.93	11.679	3.580	8.099	226.27
mar_2032	16.668	5.182	11.486	221.66	11.486	3.457	8.029	232.30
abr_2032	17.133	5.015	12.118	241.65	12.118	3.014	9.104	302.10
may_2032	17.705	5.182	12.523	241.67	12.523	3.031	9.493	313.23
jun_2032	16.330	5.015	11.315	225.64	11.315	4.299	7.016	163.21
jul_2032	14.228	5.182	9.046	174.58	9.046	4.671	4.376	93.68
ago_2032	12.980	5.182	7.798	150.49	7.798	4.745	3.053	64.34
sep_2032	13.191	5.015	8.176	163.04	8.176	4.370	3.806	87.09
oct_2032	13.601	5.182	8.419	162.48	8.419	4.128	4.292	103.97
nov_2032	14.176	5.015	9.161	182.69	9.161	3.959	5.202	131.38
dic_2032	15.666	5.182	10.485	202.33	10.485	3.711	6.774	182.54
ene_2033	16.170	5.196	10.974	211.19	10.974	3.753	7.220	192.37
feb_2033	16.827	4.693	12.134	258.54	12.134	3.580	8.554	238.97
mar_2033	17.153	5.196	11.957	230.12	11.957	3.457	8.501	245.93
abr_2033	18.299	5.028	13.271	263.91	13.271	3.014	10.257	340.36
may_2033	18.483	5.196	13.287	255.71	13.287	3.031	10.256	338.42
jun_2033	15.559	5.028	10.530	209.41	10.530	4.299	6.231	144.95
jul_2033	12.877	5.196	7.681	147.82	7.681	4.671	3.010	64.44
ago_2033	12.415	5.196	7.219	138.93	7.219	4.745	2.474	52.14
sep_2033	13.512	5.028	8.484	168.72	8.484	4.370	4.114	94.13
oct_2033	14.000	5.196	8.804	169.44	8.804	4.128	4.677	113.30
nov_2033	12.378	5.028	7.350	146.16	7.350	3.959	3.390	85.62
dic_2033	13.801	5.196	8.605	165.61	8.605	3.711	4.895	131.90
ene_2034	12.961	5.196	7.765	149.45	7.765	3.753	4.012	106.89
feb_2034	14.782	4.693	10.089	214.97	10.089	3.580	6.510	181.85
mar_2034	16.209	5.196	11.013	211.96	11.013	3.457	7.557	218.63
abr_2034	19.089	5.028	14.061	279.63	14.061	3.014	11.047	366.58
may_2034	18.399	5.196	13.203	254.10	13.203	3.031	10.173	335.67
jun_2034	15.366	5.028	10.338	205.59	10.338	4.299	6.039	140.47
jul_2034	13.598	5.196	8.402	161.71	8.402	4.671	3.732	79.89
ago_2034	12.616	5.196	7.420	142.81	7.420	4.745	2.675	56.38



	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %
MES_AÑO	WEAP	PTAP (TIXÁN)			WEAP-TIXÁN	RIEGO		
sep_2034	12.674	5.028	7.646	152.05	7.646	4.370	3.275	74.95
oct_2034	13.419	5.196	8.223	158.25	8.223	4.128	4.095	99.21
nov_2034	14.028	5.028	8.999	178.96	8.999	3.959	5.040	127.29
dic_2034	15.757	5.196	10.561	203.25	10.561	3.711	6.850	184.60
ene_2035	16.500	5.196	11.304	217.56	11.304	3.753	7.551	201.18
feb_2035	17.414	4.693	12.721	271.04	12.721	3.580	9.141	255.37
mar_2035	17.556	5.196	12.360	237.87	12.360	3.457	8.903	257.58
abr_2035	18.770	5.028	13.742	273.28	13.742	3.014	10.728	355.98
may_2035	19.442	5.196	14.246	274.18	14.246	3.031	11.216	370.09
jun_2035	16.156	5.028	11.127	221.29	11.127	4.299	6.828	158.84
jul_2035	14.360	5.196	9.164	176.37	9.164	4.671	4.493	96.20
ago_2035	13.306	5.196	8.110	156.07	8.110	4.745	3.365	70.91
sep_2035	13.079	5.028	8.051	160.10	8.051	4.370	3.680	84.22
oct_2035	14.396	5.196	9.200	177.05	9.200	4.128	5.072	122.88
nov_2035	14.018	5.028	8.989	178.77	8.989	3.959	5.030	127.04
dic_2035	14.919	5.196	9.723	187.12	9.723	3.711	6.012	162.01
ene_2036	14.895	5.182	9.714	187.45	9.714	3.753	5.960	158.80
feb_2036	16.521	4.848	11.673	240.81	11.673	3.580	8.094	226.11
mar_2036	17.031	5.182	11.849	228.66	11.849	3.457	8.392	242.80
abr_2036	17.611	5.015	12.597	251.20	12.597	3.014	9.583	317.99
may_2036	18.838	5.182	13.657	263.55	13.657	3.031	10.626	350.63
jun_2036	16.038	5.015	11.023	219.82	11.023	4.299	6.724	156.42
jul_2036	13.979	5.182	8.797	169.76	8.797	4.671	4.126	88.34
ago_2036	13.274	5.182	8.092	156.16	8.092	4.745	3.347	70.53
sep_2036	13.711	5.015	8.696	173.42	8.696	4.370	4.326	98.99
oct_2036	14.052	5.182	8.871	171.18	8.871	4.128	4.743	114.90
nov_2036	14.420	5.015	9.405	187.55	9.405	3.959	5.446	137.54
dic_2036	16.083	5.182	10.901	210.37	10.901	3.711	7.190	193.76
ene_2037	15.505	5.196	10.309	198.41	10.309	3.753	6.556	174.67
feb_2037	17.226	4.693	12.533	267.04	12.533	3.580	8.953	250.12
mar_2037	19.278	5.196	14.082	271.02	14.082	3.457	10.626	307.41
abr_2037	18.847	5.028	13.819	274.82	13.819	3.014	10.805	358.55
may_2037	19.883	5.196	14.687	282.65	14.687	3.031	11.656	384.63
jun_2037	16.030	5.028	11.001	218.78	11.001	4.299	6.702	155.90
jul_2037	13.837	5.196	8.641	166.30	8.641	4.671	3.970	85.00
ago_2037	12.169	5.196	6.973	134.19	6.973	4.745	2.228	46.95
sep_2037	13.377	5.028	8.349	166.03	8.349	4.370	3.978	91.03
oct_2037	13.976	5.196	8.780	168.97	8.780	4.128	4.652	112.71



	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %
MES_AÑO	WEAP	PTAP (TIXÁN)			WEAP-TIXÁN	RIEGO		
nov_2037	14.226	5.028	9.198	182.91	9.198	3.959	5.238	132.30
dic_2037	14.682	5.196	9.486	182.57	9.486	3.711	5.775	155.64
ene_2038	14.943	5.196	9.747	187.58	9.747	3.753	5.994	159.69
feb_2038	15.647	4.693	10.954	233.39	10.954	3.580	7.374	206.00
mar_2038	16.354	5.196	11.158	214.73	11.158	3.457	7.701	222.80
abr_2038	17.837	5.028	12.809	254.73	12.809	3.014	9.795	325.03
may_2038	18.093	5.196	12.897	248.21	12.897	3.031	9.866	325.57
jun_2038	15.951	5.028	10.922	217.21	10.922	4.299	6.623	154.07
jul_2038	14.057	5.196	8.861	170.53	8.861	4.671	4.190	89.71
ago_2038	12.644	5.196	7.448	143.35	7.448	4.745	2.703	56.97
sep_2038	13.480	5.028	8.451	168.07	8.451	4.370	4.081	93.38
oct_2038	14.092	5.196	8.896	171.20	8.896	4.128	4.768	115.52
nov_2038	14.490	5.028	9.461	188.16	9.461	3.959	5.502	138.96
dic_2038	17.513	5.196	12.317	237.04	12.317	3.711	8.606	231.92
ene_2039	17.197	5.196	12.001	230.96	12.001	3.753	8.248	219.74
feb_2039	17.265	4.693	12.571	267.86	12.571	3.580	8.992	251.20
mar_2039	17.412	5.196	12.216	235.11	12.216	3.457	8.760	253.43
abr_2039	19.463	5.028	14.434	287.05	14.434	3.014	11.421	378.96
may_2039	18.832	5.196	13.636	262.43	13.636	3.031	10.605	349.95
jun_2039	16.894	5.028	11.865	235.96	11.865	4.299	7.566	176.00
jul_2039	14.149	5.196	8.953	172.30	8.953	4.671	4.282	91.68
ago_2039	13.039	5.196	7.843	150.95	7.843	4.745	3.098	65.30
sep_2039	12.708	5.028	7.680	152.72	7.680	4.370	3.309	75.73
oct_2039	13.584	5.196	8.388	161.43	8.388	4.128	4.260	103.22
nov_2039	13.323	5.028	8.295	164.96	8.295	3.959	4.335	109.50
dic_2039	13.967	5.196	8.771	168.80	8.771	3.711	5.060	136.36
ene_2040	14.234	5.182	9.052	174.68	9.052	3.753	5.298	141.16
feb_2040	15.113	4.848	10.266	211.78	10.266	3.580	6.686	186.79
mar_2040	14.973	5.182	9.791	188.95	9.791	3.457	6.335	183.27
abr_2040	17.013	5.015	11.998	239.26	11.998	3.014	8.985	298.13
may_2040	18.314	5.182	13.132	253.42	13.132	3.031	10.101	333.32
jun_2040	16.054	5.015	11.039	220.14	11.039	4.299	6.740	156.79
jul_2040	13.740	5.182	8.558	165.16	8.558	4.671	3.888	83.23
ago_2040	13.613	5.182	8.431	162.71	8.431	4.745	3.686	77.69
sep_2040	14.376	5.015	9.361	186.68	9.361	4.370	4.991	114.21
oct_2040	15.065	5.182	9.883	190.72	9.883	4.128	5.755	139.43
nov_2040	14.553	5.015	9.538	190.21	9.538	3.959	5.579	140.91
dic_2040	17.096	5.182	11.914	229.92	11.914	3.711	8.203	221.06



	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %
MES_AÑO	WEAP	PTAP (TIXÁN)			WEAP-TIXÁN	RIEGO		
ene_2041	15.835	5.196	10.639	204.76	10.639	3.753	6.886	183.46
feb_2041	16.973	4.693	12.280	261.66	12.280	3.580	8.701	243.06
mar_2041	18.911	5.196	13.715	263.95	13.715	3.457	10.258	296.78
abr_2041	19.693	5.028	14.665	291.64	14.665	3.014	11.651	386.62
may_2041	19.806	5.196	14.610	281.18	14.610	3.031	11.580	382.10
jun_2041	16.845	5.028	11.816	234.99	11.816	4.299	7.517	174.86
jul_2041	14.941	5.196	9.745	187.54	9.745	4.671	5.074	108.63
ago_2041	13.589	5.196	8.393	161.53	8.393	4.745	3.648	76.88
sep_2041	13.531	5.028	8.503	169.10	8.503	4.370	4.133	94.57
oct_2041	13.830	5.196	8.634	166.16	8.634	4.128	4.506	109.17
nov_2041	14.048	5.028	9.019	179.36	9.019	3.959	5.060	127.79
dic_2041	14.820	5.196	9.624	185.21	9.624	3.711	5.913	159.34
ene_2042	15.039	5.196	9.843	189.43	9.843	3.753	6.090	162.25
feb_2042	15.772	4.693	11.079	236.06	11.079	3.580	7.499	209.50
mar_2042	16.879	5.196	11.683	224.84	11.683	3.457	8.226	238.00
abr_2042	18.098	5.028	13.069	259.90	13.069	3.014	10.055	333.67
may_2042	19.911	5.196	14.715	283.20	14.715	3.031	11.685	385.57
jun_2042	15.914	5.028	10.886	216.49	10.886	4.299	6.587	153.22
jul_2042	13.932	5.196	8.736	168.13	8.736	4.671	4.065	87.04
ago_2042	12.707	5.196	7.511	144.56	7.511	4.745	2.766	58.30
sep_2042	13.231	5.028	8.203	163.13	8.203	4.370	3.833	87.70
oct_2042	15.155	5.196	9.959	191.66	9.959	4.128	5.831	141.27
nov_2042	15.197	5.028	10.168	202.22	10.168	3.959	6.209	156.82
dic_2042	17.102	5.196	11.906	229.13	11.906	3.711	8.195	220.84
ene_2043	17.797	5.196	12.601	242.51	12.601	3.753	8.847	235.72
feb_2043	18.159	4.693	13.466	286.92	13.466	3.580	9.886	276.18
mar_2043	19.594	5.196	14.398	277.10	14.398	3.457	10.941	316.54
abr_2043	19.885	5.028	14.856	295.44	14.856	3.014	11.842	392.96
may_2043	20.162	5.196	14.966	288.02	14.966	3.031	11.935	393.82
jun_2043	17.447	5.028	12.419	246.97	12.419	4.299	8.120	188.88
jul_2043	14.313	5.196	9.117	175.46	9.117	4.671	4.446	95.19
ago_2043	14.041	5.196	8.845	170.23	8.845	4.745	4.100	86.41
sep_2043	14.348	5.028	9.319	185.33	9.319	4.370	4.949	113.24
oct_2043	14.681	5.196	9.485	182.55	9.485	4.128	5.358	129.80
nov_2043	15.425	5.028	10.396	206.75	10.396	3.959	6.437	162.57
dic_2043	15.992	5.196	10.796	207.77	10.796	3.711	7.085	190.93
ene_2044	16.177	5.182	10.995	212.18	10.995	3.753	7.241	192.93
feb_2044	17.445	4.848	12.597	259.87	12.597	3.580	9.018	251.92



	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta-demanda	Balance hídrico %
MES_AÑO	WEAP	PTAP (TIXÁN)			WEAP-TIXÁN	RIEGO		
mar_2044	17.285	5.182	12.104	233.57	12.104	3.457	8.647	250.16
abr_2044	20.227	5.015	15.212	303.35	15.212	3.014	12.198	404.77
may_2044	21.038	5.182	15.856	305.99	15.856	3.031	12.825	423.20
jun_2044	17.108	5.015	12.094	241.16	12.094	4.299	7.795	181.31
jul_2044	14.505	5.182	9.323	179.92	9.323	4.671	4.653	99.61
ago_2044	13.719	5.182	8.537	164.75	8.537	4.745	3.792	79.92
sep_2044	13.319	5.015	8.304	165.59	8.304	4.370	3.934	90.02
oct_2044	14.251	5.182	9.069	175.01	9.069	4.128	4.941	119.71
nov_2044	15.668	5.015	10.653	212.43	10.653	3.959	6.694	169.06
dic_2044	16.040	5.182	10.858	209.55	10.858	3.711	7.148	192.61
ene_2045	15.884	5.196	10.688	205.69	10.688	3.753	6.934	184.75
feb_2045	17.155	4.693	12.462	265.53	12.462	3.580	8.882	248.14
mar_2045	16.505	5.196	11.309	217.65	11.309	3.457	7.853	227.18
abr_2045	18.355	5.028	13.327	265.02	13.327	3.014	10.313	342.21
may_2045	18.306	5.196	13.110	252.31	13.110	3.031	10.080	332.61
jun_2045	15.829	5.028	10.801	214.79	10.801	4.299	6.502	151.24
jul_2045	13.977	5.196	8.781	168.99	8.781	4.671	4.110	87.99
ago_2045	13.819	5.196	8.623	165.96	8.623	4.745	3.878	81.73
sep_2045	14.595	5.028	9.566	190.24	9.566	4.370	5.196	118.90
oct_2045	14.682	5.196	9.486	182.56	9.486	4.128	5.358	129.81
nov_2045	15.124	5.028	10.096	200.78	10.096	3.959	6.137	154.99
dic_2045	14.949	5.196	9.753	187.70	9.753	3.711	6.042	162.82
ene_2046	15.008	5.196	9.812	188.84	9.812	3.753	6.059	161.43
feb_2046	16.207	4.693	11.514	245.32	11.514	3.580	7.934	221.64
mar_2046	17.373	5.196	12.177	234.35	12.177	3.457	8.720	252.28
abr_2046	18.988	5.028	13.959	277.61	13.959	3.014	10.946	363.20
may_2046	19.312	5.196	14.116	271.66	14.116	3.031	11.085	365.78
jun_2046	16.098	5.028	11.070	220.15	11.070	4.299	6.771	157.50
jul_2046	14.109	5.196	8.913	171.53	8.913	4.671	4.242	90.83
ago_2046	13.414	5.196	8.218	158.15	8.218	4.745	3.473	73.18
sep_2046	14.008	5.028	8.980	178.58	8.980	4.370	4.610	105.48
oct_2046	14.089	5.196	8.893	171.16	8.893	4.128	4.766	115.46
nov_2046	13.952	5.028	8.923	177.46	8.923	3.959	4.964	125.38
dic_2046	14.514	5.196	9.318	179.32	9.318	3.711	5.607	151.09
ene_2047	14.865	5.196	9.669	186.07	9.669	3.753	5.915	157.60
feb_2047	16.341	4.693	11.648	248.19	11.648	3.580	8.069	225.41
mar_2047	16.901	5.196	11.705	225.27	11.705	3.457	8.249	238.64
abr_2047	19.638	5.028	14.609	290.53	14.609	3.014	11.596	384.77



	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta- demanda	Balance hídrico %	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta- demanda	Balance hídrico %
MES_AÑO	WEAP	PTAP (TIXÁN)			WEAP-TIXÁN	RIEGO		
may_2047	20.946	5.196	15.750	303.11	15.750	3.031	12.719	419.69
jun_2047	17.176	5.028	12.148	241.58	12.148	4.299	7.849	182.57
jul_2047	14.237	5.196	9.041	173.99	9.041	4.671	4.370	93.56
ago_2047	13.455	5.196	8.259	158.95	8.259	4.745	3.514	74.06
sep_2047	14.089	5.028	9.061	180.20	9.061	4.370	4.691	107.34
oct_2047	14.800	5.196	9.604	184.83	9.604	4.128	5.476	132.68
nov_2047	13.975	5.028	8.946	177.92	8.946	3.959	4.987	125.96
dic_2047	15.678	5.196	10.482	201.74	10.482	3.711	6.771	182.48
ene_2048	15.529	5.182	10.347	199.67	10.347	3.753	6.593	175.67
feb_2048	18.147	4.848	13.300	274.36	13.300	3.580	9.720	271.54
mar_2048	17.229	5.182	12.048	232.49	12.048	3.457	8.591	248.54
abr_2048	19.187	5.015	14.172	282.62	14.172	3.014	11.159	370.28
may_2048	19.134	5.182	13.952	269.26	13.952	3.031	10.922	360.39
jun_2048	16.916	5.015	11.901	237.33	11.901	4.299	7.602	176.84
jul_2048	15.065	5.182	9.883	190.72	9.883	4.671	5.212	111.59
ago_2048	14.176	5.182	8.994	173.57	8.994	4.745	4.249	89.55
sep_2048	15.061	5.015	10.046	200.34	10.046	4.370	5.676	129.89
oct_2048	15.456	5.182	10.274	198.28	10.274	4.128	6.147	148.91
nov_2048	16.007	5.015	10.992	219.20	10.992	3.959	7.033	177.63
dic_2048	15.449	5.182	10.267	198.14	10.267	3.711	6.556	176.68
ene_2049	15.499	5.196	10.302	198.27	10.302	3.753	6.549	174.49
feb_2049	15.287	4.693	10.594	225.74	10.594	3.580	7.015	195.96
mar_2049	17.031	5.196	11.834	227.76	11.834	3.457	8.378	242.38
abr_2049	18.896	5.028	13.867	275.78	13.867	3.014	10.854	360.16
may_2049	19.418	5.196	14.222	273.70	14.222	3.031	11.191	369.28
jun_2049	17.111	5.028	12.082	240.28	12.082	4.299	7.783	181.05
jul_2049	15.067	5.196	9.871	189.98	9.871	4.671	5.200	111.34
ago_2049	14.017	5.196	8.821	169.76	8.821	4.745	4.076	85.90
sep_2049	14.968	5.028	9.940	197.67	9.940	4.370	5.569	127.44
oct_2049	14.857	5.196	9.661	185.93	9.661	4.128	5.533	134.06
nov_2049	14.884	5.028	9.856	196.00	9.856	3.959	5.896	148.92
dic_2049	16.439	5.196	11.243	216.37	11.243	3.711	7.532	202.97
ene_2050	17.100	5.196	11.904	229.10	11.904	3.753	8.151	217.16
feb_2050	18.691	4.693	13.998	298.25	13.998	3.580	10.418	291.04
mar_2050	18.842	5.196	13.646	262.62	13.646	3.457	10.190	294.79
abr_2050	20.584	5.028	15.555	309.35	15.555	3.014	12.542	416.17
may_2050	20.617	5.196	15.421	296.79	15.421	3.031	12.391	408.86
jun_2050	17.108	5.028	12.080	240.23	12.080	4.299	7.781	180.99



	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta- demanda	Balance hídrico %	Oferta hm3/mes	Demanda hm3/mes	oferta- demanda	Balance hídrico %
MES_AÑO	WEAP	PTAP (TIXÁN)			WEAP-TIXÁN	RIEGO		
jul_2050	14.795	5.196	9.599	184.74	9.599	4.671	4.928	105.52
ago_2050	14.160	5.196	8.964	172.51	8.964	4.745	4.219	88.91
sep_2050	15.085	5.028	10.056	199.99	10.056	4.370	5.686	130.11
oct_2050	15.082	5.196	9.886	190.26	9.886	4.128	5.759	139.51
nov_2050	16.193	5.028	11.165	222.03	11.165	3.959	7.205	181.98
dic_2050	16.971	5.196	11.775	226.61	11.775	3.711	8.064	217.31