



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Escenarios de disponibilidad hídrica al 2050 mediante el modelo SWAT en la cuenca del río Moche - departamento de La Libertad.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Quezada Castillo, Yener German ([ORCID:0000-0002-5327-5493](https://orcid.org/0000-0002-5327-5493))

Rodríguez Rodríguez, Ricky Jander ([ORCID:0000-0002-1851-4654](https://orcid.org/0000-0002-1851-4654))

ASESOR:

Dr. Quezada Alvarez, Medardo Alberto ([ORCID:0000-0002-0215-5175](https://orcid.org/0000-0002-0215-5175))

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de riesgos y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestros padres, Quezada Zegarra Aurelio, Castillo Castañeda Francisca. Rodríguez Arteaga Sandro Aldo y Rodríguez Oliva Liliana, por su amor, orientación y apoyo continuo a tener éxito y por darnos la confianza de ser capaces de hacer cualquier cosa que nos propongamos.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por darnos la vida, y fortaleza para seguir adelante con nuestras metas.

A nuestros padres por brindarnos el soporte moral y emocional, por darnos fuerzas, pasión y perseverancia para investigar; Que Dios siempre los bendiga.

A la facultad de ingeniería y arquitectura de la Universidad Cesar Vallejo.

A nuestro asesor el Dr. Quezada Alvarez, Medardo Alberto por su orientación, paciencia, consejos y al aliento constante en todas las etapas de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA	11
3.1. Tipo y diseño de investigación	11
3.2. Variables y operacionalización	12
3.3. Población, muestra y muestreo Población	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	13
3.5. Procedimientos	14
3.6. Método de análisis de datos	24
3.7. Aspectos Éticos	25
IV. RESULTADOS	26
4.1. Mapa de uso de suelos	26
4.2. Mapa de tipo de suelo.	28
4.3 Mapa de pendientes	30
4.4. Generación de los HRU's.	31
4.5. Modelación de la cuenca.	31
4.6. Calibración Validación del modelo.	32
4.6. Evaluación del comportamiento hidrológico en la cuenca bajo los escenarios de cambio climático.	34
V. DISCUSIÓN:	38
VI. CONCLUSIONES.....	43
VII. RECOMENDACIONES	45
ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. VÍAS DE CONCENTRACIÓN REPRESENTATIVA	10
TABLA 2. VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS	13
TABLA 3. INFORMACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS	20
TABLA 4. CRITERIOS ESTADÍSTICOS PARA LA CALIBRACIÓN DEL MODELO	22
TABLA 5. INFORMACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN	27
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS CLASIFICADOS.	29
TABLA 7. CLASES Y LÍMITES ESTABLECIDOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES.	31
TABLA 8. CRITERIOS ESTADÍSTICOS EVALUADOS	33
TABLA 9. RESPUESTA HIDROLÓGICA DE LA CUENCA EN LOS ESCENARIOS DE ESTUDIO.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DEL RIO MOCHE	10
FIGURA 2. DIAGRAMA DE ETAPAS DE PROCEDIMIENTO	14
FIGURA 3. RED DE DRENAJE.	15
FIGURA 4. DELIMITACIÓN DE SUB-CUENCAS.	16
FIGURA 5. MAPA DE USO DE SUELO CLASIFICADA POR NDVI	17
FIGURA 6. MAPA DE USO DE SUELOS CLASIFICADO.	18
FIGURA 7. CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES EN ARCSWAT	18
FIGURA 8. ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS EN LA CUENCA DE ESTUDIO.	19
FIGURA 9. CLASIFICACIÓN DE USO DE SUELO.	26
FIGURA 10. CLASIFICACIÓN DE TIPO DE SUELO DE SWAT.	28
FIGURA 11. PENDIENTES PROCESADAS DE LA CUENCA.	30
FIGURA 12. CAUDALES SIMULADOS POR SWAT Vs CAUDALES OBSERVADOS.	32
FIGURA 13. CAUDALES CALIBRADOS Vs CAUDALES OBSERVADOS	33
FIGURA 14. COMPARACIÓN DE TEMPERATURA ANUAL DEL ESCENARIO BASE CON LOS ESCENARIOS AL 2050.	34
FIGURA 15. COMPARACIÓN DE PRECIPITACIÓN ANUAL DEL ESCENARIO BASE CON LOS ESCENARIOS AL 2050.	35
FIGURA 16. COMPARACIÓN DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL ANUAL DEL ESCENARIO BASE CON LOS ESCENARIOS AL 2050.	36

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo principal determinar el efecto del cambio climático en la disponibilidad hídrica al 2050 mediante el modelo SWAT en la cuenca del río Moche. El modelo necesitó la información geomorfológica de la cuenca, temperatura y precipitación para posteriormente ser calibrado y validado en un periodo de 16 años (1999-2014) usando los caudales mensuales de la estación hidrológica Quirhuac. Para evaluar el cambio climático al 2050 se usó dos modelos climáticos (MIROC-5 y MIROC-ESM) con dos RCP4.5 y 8.5 para cada uno extraídos del generados climático Marksim. La temperatura presento incrementos bajo todos los escenarios con valores de subida entre 0.4°C y 0.7°C. En la precipitación hubo una disminución de entre 19.26% y 1.1% bajo todos los escenarios estudiados. La escorrentía superficial también fue estudiada, donde se encontraron disminución de valores de escorrentía en todos los escenarios excepto en el escenario de MIROC-ESM RCP 4.5 donde hubo un aumento de 2.2% de escorrentía. Finalmente, la modelación hidrológica permitió observar el comportamiento hídrico al año 2050 bajo posibles escenarios de cambio climático, determinando que los 4 tipos de escenarios hay disminuciones en cantidades de precipitaciones y escorrentía superficial y hubo un incremento en valores de temperaturas.

Palabras clave: Modelo hidrológico, modelos climáticos globales, escenarios futuros, SWAT.

ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the effect of climate change on water availability in 2050 using the SWAT model in the Moche river basin. This model needed geomorphological, temperature and precipitation information to be calibrated and validated over a 16-year period (1999-2014) using monthly flows from the hydrological station. Two climate models (MIROC-5 and MIROC-ESM) with two RCP4.5 and 8.5 for each extracted from the Marksim climate generator were used to evaluate climate change to 2050. Temperature shows increases under all scenarios with upward values between 0.4°C and 0.7°C. Precipitation shows decreases of between 19.26% and 1.1% under all scenarios studied. Surface runoff was also studied, where decreases in runoff values were found in all scenarios except in the MIROC-ESM RCP 4.5 scenario where there was a 2.2% increase in runoff. Finally, the hydrological modeling allowed observing the water behavior in 2050 under possible climate change scenarios, determining that the 4 types of scenarios show decreases in precipitation and surface runoff and an increase in temperature values.

Keywords: Hydrologic model, global climate models, future scenarios, SWAT.

I. INTRODUCCIÓN

El impacto del cambio climático ha generado variaciones en el clima y cada vez se enmarca más en nuestra vida, estos cambios afectan los sistemas globales de recursos hídricos y a la calidad de vida. Para ello se elaboró esta investigación con el fin de evidenciar el efecto del cambio climático en la disponibilidad del agua desde el marco de una crisis ecológica (León, 2019, p. 12). Estas variaciones se producen a diversas escalas dependiendo del tiempo y el lugar específico, por esto es importante tener en cuenta dicha variación climática y el efecto que tiene en el recurso hídrico.

El agua recurso irremplazable para la vida según Estrada (2017, p. 1-3) que reconoció al recurso como un derecho humano necesario para nuestra vida, al igual que Rodríguez (2019, p. 26) que hace referencia a que el recurso agua como el principal constituyente de los seres vivos y la sustancia más abundante de la tierra siendo también una de las fuerzas que constantemente está cambiando. Siendo necesaria para cubrir nuestras necesidades básicas, para usos recreativos, actividades de agricultura, ganadería y manufacturera.

Es notable que en el Perú la investigación concerniente al estudio hídrico de las cuencas es muy limitada, debido a la poca información con la que se cuenta o en muchos casos por el desinterés y la desinformación del tema, lo que se evidencia en el mal manejo del recurso. Tal es el caso de la cuenca del Río Moche la cual es una de las cuencas más importantes de la región la Libertad y es acá donde se centró la presente investigación la cual estudió el comportamiento de la disposición hídrica con escenarios de eficiencia al año 2050 por posibles efectos del cambio climático.

Esta cuenca es una de las vertientes del Pacífico y cuenta con una superficie total de drenaje de 2708 km² según la (Autoridad Nacional Del Agua, 2017). Políticamente se encuentra en el departamento de La Libertad y en su ruta comprende las provincias de Trujillo, Otuzco, Santiago de Chuco y Julcán, según el Ministerio De Energía y Minas (MINEM) 2019.

El desarrollo de la investigación se fundamentó en el análisis y en la búsqueda de la

información concernientes al efecto del cambio climático en la disponibilidad del agua de la cuenca del Río Moche utilizando el modelo hidrológico SWAT. Evidenciando la problemática relacionada con las temperaturas y precipitaciones a nivel de la cuenca de estudio (Zapana, 2019, p.21). la investigación presento evaluó la cuenca desde el punto de vista analítico y crítico abordando como principal guía el recurso hídrico de la cuenca.

Para ello, esta investigación se planteó como **problema general a:** ¿Cuál es el efecto del cambio climático en la disponibilidad hídrica al 2050 mediante el modelo SWAT de la cuenca del río Moche - departamento de la Libertad? y como **problemas específicos a:** ¿Cuáles son las características geomorfológicas en la cuenca del río Moche - departamento de la Libertad?, ¿Cómo verificamos el funcionamiento adecuado del modelo SWAT para determinar el efecto del cambio climático en la disponibilidad hídrica en 2050 en la cuenca del río Moche - departamento de la Libertad? y ¿Cómo varía la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Moche - departamento de la Libertad al año 2050 bajo los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5?

La Justificación ambiental de la investigación correspondió al aprovechamiento sostenible del recurso de la cuenca Moche Ubicado en el departamento la Libertad, disminuyendo así los usos indiscriminados que se le da a las aguas de esta cuenca, por otro lado, la determinación de una existencia de una relación con el factor climático. Así mismo se justificó socialmente, ya que tiene el peso de un estudio de temática ambiental, el cual contribuye al buen uso del recurso hídrico muy deseado en estos últimos tiempos con una idea en mente del uso racional no indiscriminado del recurso y siempre pensando en la subsistencia de las futuras generaciones. Teóricamente se justificó con la buena información recolectada en trabajo de campo y gabinete de distintos materiales como tesis, revistas indexadas y artículos de índole nacional de entidades del estado peruano como la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el ministerio de Agricultura (Minagri), Ministerio del ambiente (Minam) y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología en el Perú (Senamhi). Esto le permitió aportar en el conocimiento de la cuenca y sus distintos usos de agua como fuente de apoyo

teórico para futuras investigaciones.

De acuerdo a lo mencionado en las preguntas de la investigación, se formuló como objetivo general: Determinar cuál es el efecto del cambio climático en la disponibilidad hídrica al 2050 mediante el modelo SWAT en la cuenca del río Moche y como objetivos específicos: Evaluar las características geomorfológicas de la cuenca del río Moche- departamento de la Libertad, realizar la calibración y validación del modelo SWAT para determinar la confiabilidad del modelo hidrológico y analizar la variación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Moche - departamento de La Libertad al año 2050 bajo los escenarios de cambio climático RCP 4.5 Y RCP 8.5.

La hipótesis general planteada para el estudio fue: El cambio climático, no genera cambios significativos en la disponibilidad hídrica al 2050 mediante el modelo SWAT en la cuenca del río Moche. y como hipótesis específicas. Las características geomorfológicas de la cuenca del río Moche permiten evaluar la disponibilidad hídrica, La calibración y validación del modelo SWAT permiten determinar la confiabilidad del modelo hidrológico y los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5, permiten analizar la variación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Moche ubicado en el departamento de la Libertad al año 2050.

II. MARCO TEÓRICO.

Calderón (2017, p. 45), en su investigación realizada en la cuenca Paute en Ecuador evaluó el comportamiento de la cuenca respecto al cambio climático, utilizando los modelos SWAT y HECHMS ante los RCP a partir del modelo ya calibrado y validado con datos de los caudales de los años 1981 hasta 2010, usando las cuatro proyecciones para los escenarios del cambio climático en los periodos 2011 - 2040, 2041 – 2070 y 2071 – 2100, los resultados de la simulación indicaron que para el escenario 8.5 cambios más significativos con un aumento del caudal líquido pero al tener un aumento del caudal líquido también aumentaría el transporte de sedimentos y por consecuencia aumentaría el riesgo de inundación por lo que propone políticas para uso de suelo y mejoramiento de la cobertura vegetal con el fin de minimizar el aporte de sedimentos.

Es importante poder predecir las alteraciones del ciclo hidrológico bajo los escenarios de cambio climático utilizando modelos climáticos adecuados a la zona de estudio, los cuales puedan obtener los datos hidrológicos con un detalle suficiente, para de esta forma preparar zonas que pueden ser afectadas. León y Maurtua (2019, p. 8), en su investigación “Impacto del cambio climático en la oferta hídrica superficial de la cuenca del río Piura”. Realizó una evaluación de agua teniendo en cuenta condiciones de cambio climático. El modelo se calibró y se validó dentro del período actual, obteniendo un error del 15% y los índices NASH-SUTCLIFFE con un coeficiente de correlación de Pearson con más del 80%, lo clasificó como un modelo con capacidad adecuada para realizar la simulación en la cuenca a ser estudiada y validada de las simulaciones en los periodos históricos y futuros, para la simulación futura utilizaron datos como precipitaciones y temperaturas obtenidos del SENAMHI, para ello se aplicó en 3 modelos climáticos los cuales fueron: (MPI-ESM-MR, CanesM2, CNRM-CM5) y evaluaron en 2 trayectorias de concentración representativa (RCP4.5 y RCP8.5) con un total de 6 escenarios futuros, las cuales se evaluaron y compararon con las simulaciones históricas para cada modelo. Ellos encontraron y demostraron un aumento en los caudales proporcional al transcurso del tiempo y en los RCP de 8.

5; De igual manera la evaluación de los hidrogramas mensuales mostró que las tasas razonables más altas registradas presentaron un desplazamiento durante los meses de abril a mayo.

León (2017, p. 47), en su investigación “Modelación de la disponibilidad hídrica del río Piura, considerando la incidencia del cambio climático”. Mencionó que al juntar el modelado hidrológico con los RCP para simular la conducta del agua en las cuencas. En la investigación, la herramienta de análisis y evaluación del suelo y el agua del modelo de agua (SWAT). El modelo SWAT se calibró y se validó por un período total de 23 años (1986 - 2008) se tiene la obtención de valores de NASH - Sutcliffe (NSE) y coeficientes de determinación (R²) superior al 75%. Lo que indica Performance ideal. Las más importantes variables climáticas están diseñadas con dos RCP4.5 y RCP8.5 escenarios de forzamiento radiativo de dos modelos de clima global (MCG) HADGEM2-EN y CSIRO-MK3-6-0, de la fase del proyecto de inter comparación del modelo cubierto 5 (CMIP5), utilizando el generador de clima de Marksim. Los datos obtenidos indican para el período húmedo un aumento en el flujo de + 71. 8%, lo que representa un 55. 9 m³/s; Los aumentos significativos se dieron en los meses de octubre, noviembre y diciembre. De diferente modo, el período seco disminuye en - 66. 1%, lo que representa una disminución aproximada de 12 m³/s. Las mayores disminuciones ocurren en los meses de julio, agosto y septiembre.

Aybar (2016, p. 19), caracterizó la variabilidad de la escorrentía y utiliza el modelo hidrológico SWAT en la cuenca del Vilcanota para compensar los factores de escorrentía, considerando que el modelo anterior puede reproducir el registro histórico de escorrentía después de la calibración de la escorrentía. Determinado como el parámetro más sensible a cambios importantes, el cambio diario del valor de eficiencia de Nash-Sutcliffe es 0,76 y el cambio mensual es 0,93. Además, se ha determinado que el cambio en la tasa de cobertura no tiene un efecto decisivo en la ocurrencia de inundaciones, lo que indica que el factor más importante que desencadena estos fenómenos es el estado hidráulico previo.

En la investigación se empleó un modelo hidrológico el cual tiene como objetivo predecir la cantidad de la descarga de una cuenca de drenaje, esto modelos facilitan la toma de decisiones sobre gestión. El sistema de modelado de escorrentía y de precipitación PRMS (Precipitation Runoff Modeling System), y la herramienta SWAT (Soil and wáter assesment tool) son ejemplos de modelos semi-distribuidos que nos ayudan a predecir acciones futuras (Arnold ,1998, p).

Maurer et al. (2021) mencionó que “el resultado de un modelo hidrológico varía según el interés y los objetivos para el cual será implementado el modelo. Algunos de estos son usados para predecir la escorrentía mensual total” (p.25). Zubieta (2018, p.29) agregó que SWAT es una herramienta que evalúa el suelo y agua (USDA) Creado por el servicio de investigación del agua TX, EUA. Este es un software de evaluación de agua y suelos de código abierto es un modelo de escorrentía pluvial con parámetros semi-distribuidos que puede simular muchos procesos físicos en una escala de tiempo continuo (anual, mensual, diario y sub diario). Su principal objetivo es Pronosticar la producción o disposición de agua y sedimentos en la cuenca (Villacrés, 2015, p.24). Su alta resolución espacial permite su implementación a escala continental y cuencas hidrológicas según (Jódar, Ruíz y Melgarejo, 2018.p. 240 - 242). SWAT permite la determinación de los elementos del balance hídrico y, por tanto, el nivel de los recursos hídricos. Este tiene como ventajas el estar constituido por una serie de Sub-modelos los cuales los podemos utilizar para la simulación de muchos procesos hidrológicos. Este software simula la fase en superficie terrestre del ciclo hidrológico a través de la siguiente ecuación de balance hídrico (Ecuación 1) que permite generar el modelo.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{t=1} (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

Fuente: Neitsch et al. 2011

Ecuación 1. Ecuación de modelamiento con SWAT.

“Dónde, SW_t figura como el contenido total de agua en el suelo (mm); SW_0 figura como el contenido inicial de agua en el día i (mm); t es el tiempo (días); R_{day} es la cantidad de precipitación en el día i (mm); Q_{surf} es la cantidad de escorrentía superficial que hay en un día (mm); W_{seep} es la cantidad de agua acumulada en un área no saturada del perfil del suelo en día i (mm); Q_{qw} es la cantidad de flujo de retorno en el día i (mm)” (Neitsch et al. 2011, p.30).

SWAT ingresa datos de entrada de tipo de suelo, uso de suelo y pendientes que crean importantes unidades desarrolladas a través del modelo, esto mediante la división de la cuenca en espacios que tendrán una combinación de los datos de entrada generando las denominadas UNIDADES DE RESPUESTA HIDROLOGICA (HRU). Con el fin de lograr una simulación con un nivel alto en detalle espacial del área en una cantidad aceptable de sub-cuencas que pueden estar caracterizadas por muchas HRU, las cuales corresponden a una combinación especial del tipo suelo, uso que tiene el suelo y pendiente (Valladares, 2017, p. 30).

El modelo SWAT posee un proceso de calibración y validación que se encarga de verificar si el modelo está en óptimas condiciones para ser usado. Para la calibración se usan caudales reales a través algoritmo SUFI-2 dentro del software “SWAT CUP” para poder determinar los mejores parámetros para realizar la calibración. En la fase de validación, el modelo ejecuta simular el caudal con suficiente precisión y obtener parámetros durante la medición. Comparando el caudal real y el caudal simulado durante un período de tiempo utilizando los parámetros resultantes del proceso de calibración. Esto con el fin de verificar que el modelo puede proyectar datos correctos (Feler et al. 2014, p. 7).

De acuerdo con la información mencionada en los antecedentes de esta investigación (Muñoz, León y García, 2019, p. 26) se consideró que es importante tener en cuenta al cambio climático como un factor fundamental en la disposición del recurso hídrico. Hoy en día, para entender mejor la incidencia del cambio climático Romo (2015, p. 45) define que es cualquier variación del clima a través del tiempo causado de manera natural o como una consecuencia de las actividades. De igual manera la “convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático” (CMNUCC) que tuvo en consideración que las actividades humanas alteran directa o indirectamente al cambio climático y al mismo tiempo la composición de la atmósfera, dividiéndolo en impactos y consecuencias, impactos indirectos al cambio climático como la desglaciación, el incremento del nivel del mar, cambios en la temperatura en la parte superficial del mar y como consecuencias al cambio climático una de las principales la disminución en la producción agrícola, pérdida en las obras de infraestructura como las viviendas, carreteras, de igual manera el impacto en el recurso hídrico, entre otros.

Para evidenciar la relación entre el cambio climático y el recurso hídrico “El informe de políticas de ONU - Aguas sobre el cambio climático y el agua” (ONU, 2019, p. 5). Hace mención al cambio climático como una crisis que está directamente relacionada con el agua, La variabilidad del recurso hídrico aumenta debido al cambio climático lo que provoca unos extremos e inmanejables problemas meteorológico mencionó, también precisó que es de mucha importancia adoptar enfoques integrados del cambio climático y la gestión del mismo incentivando en la formulación de políticas que guíen la planificación climática a escala nacional y regional.

El Panel intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) publicó el último informe y concluyó que el impacto humano en el sistema climático es obvio. Este impacto es causado por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), se espera que provoque más del calentamiento registrado e incluso más cambios en los componentes del sistema climático (Calci, 2018, p. 16). Se espera que provoque más del calentamiento registrado e incluso más cambios en los componentes ambientales.

La herramienta más importante para explorar la posible evolución futura del clima es el Modelo Climático Global (GCM). Con la ayuda de estos modelos se puede determinar la evolución de las variables climáticas (como temperatura, precipitación, viento, etc.) a escala global y en base a las diferentes concentraciones de gases de efecto invernadero que puedan existir en el futuro. Esencialmente, los modelos climáticos consisten en la integración numérica de ecuaciones que describen la dinámica atmosférica (Escamilla, 2021, p.16). El océano; es decir, son aproximaciones de las ecuaciones de estado y estimaciones empíricas de procesos que no se pueden resolver (porque ocurren a pequeña escala física) o carecen de datos (lo que se llama parametrización). Debido a estas parametrizaciones y aproximaciones, existen diferencias y grandes incertidumbres entre los MCG de los cambios regionales de precipitación a lo largo de los trópicos (Calci, 2018, p. 20). En este caso y para la simulación de los escenarios de cambio climático futuro se utilizó el generador de archivos meteorológicos MarkSim y dentro del mismo modelo MIROC 5 y MIROC – ESM, estos modelos presentaron gran precisión en la zona norte de nuestro país, esto según (Fernández, 2015, p. 25).

Para la investigación fue necesario conocer los escenarios de cambio climático que según el IPCC son imágenes con las que pueden acontecer en el futuro y son usados por el modelo climático global (Hidalgo, Tun & Mendoza, 2018, p. 39). Es una posible representación que indica el comportamiento probable de un espacio en una cierta cantidad de años y que constituyen un apropiado instrumento para analizar la influencia de estas fuerzas en futuros no tan lejanos. El quinto informe del IPCC publicado en el año 2013. se presentaron 4 escenarios de emisión, denominadas Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) que es importante entender que no son escenarios socioeconómicos si no que tienen carácter de forzamiento radiativo de los Gases de Efecto Invernadero (Echavarría & Medina & Ruiz, 2020. p. 6-9). Estas 4 trayectorias de RCP escenarios muy bajos en mitigación como (RCP 2.6) luego a esto se presentan 2 escenarios de estabilización los cuales son (RCP 4.5 y RCP 6.0) y por último se muestra un nivel muy alto de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (RCP 8.5). (Ver tabla 1) Las características más importantes de esos

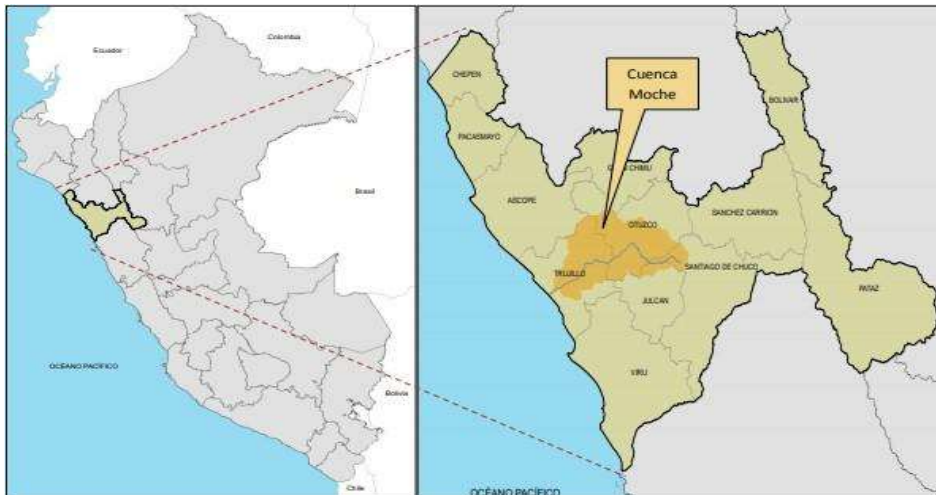
escenarios.

Tabla 1. Vías de concentración representativa

RCP	FR	Tendencia del FR (CO2) en 2100	
2.6	2.6 W/m ²	decreciente	en 421
		2100	
4.5	4.5 W/m ²	estable en 2100	538
6.0	6.0 W/m ²	creciente	670
8.5	8.5 W/m ²	creciente	936

Fuente: Revista Mexicana de Biodiversidad (2018).

La cuenca del río Moche (Figura 1) es una de las cuencas ubicadas en el departamento de la Libertad que tiene una extensión de cuatro provincias las cuales son: Trujillo, Julcán, Santiago de Chuco y Otuzco mostrado en la figura 03. Esta misma tiene su vertiente en el océano pacífico de acuerdo a (Beltrán & Gonza, 2017, p. 30). La cuenca se origina en Laguna Grande que está a 3898 msnm. cerca de la localidad de Quiruvilca. La demanda hídrica principal de esta cuenca es para el uso agrícola (Sedalib, 2018, p. 14).



Fuente: SEDALIB S.A. 2018

Figura 1. Delimitación de la cuenca del río Moche

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada. Se basó en la investigación y análisis de la realidad y se llevó a cabo a través de distintos procedimientos basados en la medición. En comparación con otros tipos de investigación, esto puede proporcionar un mayor nivel de control e inferencia para que se puedan realizar experimentos y se puedan obtener explicaciones contrarias a partir de hipótesis (Acosta, 2016, p. 4).

Para Álvarez (2015, p. 40) en la Universidad Autónoma de México mencionó que los métodos de investigación cuantitativa son útiles cuando existen un conjunto de datos que se pueden representar por diferentes modelos matemáticos. Por tanto, los elementos de la investigación son claros y limitados y los resultados que se obtendrán serán numéricos, descriptivos y en casos predictivos. En otras palabras, un método cuantitativo es un método que estudia fenómenos utilizando valores numéricos. Como resultado, él llegó a la conclusión que se podrán expresar matemáticamente.

El diseño de la investigación es no experimental. Según la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, el tipo de investigación no experimental es una operación que se puede realizar sin manipular o cambiar deliberadamente las variables de la investigación. Se basó fundamentalmente en la observación de lo que pasa en los contextos naturales para luego analizarlos. Es transversal porque se centra en recolectar la información en un solo momento para luego analizar cuál es el estado de las variables en momentos específicos o bien de ver la relación de las mismas en los puntos de tiempo. Es por ello que se tiene como propósito la descripción de las variables y el análisis de la influencia en un momento dado y correlacional causal ya que tendrá como objetivo describir las relaciones entre dos o más datos dentro de la investigación.

3.2. Variables y operacionalización

La investigación se tuvo como única variable a **Escenarios de disponibilidad hídrica**, para la cual se ha elaborado la matriz de operacionalización de variable la cual se adjunta a la presente en el Anexo 1.

3.3. Población y muestra

Población

Cuentó como población y muestra a las 6 estaciones hidrometeorológicas, de las cuales se recopilaban los datos históricos de la precipitación, máximas y mínimas, información presente en las instituciones con interés en la gestión y buen manejo de los recursos hídricos.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos fue la observación, debido que para realizar el modelamiento hidrológico y la simulación climática son necesarios datos los cuales fueron recolectados y organizados en bases de datos. Se usarón como instrumento 3 fichas de recolección de datos presentados a continuación.

Ficha 1. Recolección de datos hidrometeorológicos.

Ficha 2. Recolección de información geomorfológica.

Ficha 3. Recopilación de datos de validación y calibración y caudales de simulación.

Para verificar que el instrumento tenga una confiabilidad aceptada y pueda usarse correctamente, se solicitó a especialistas del tema de investigación verificar la eficacia de estos instrumentos obteniendo un porcentaje de 87.21 % de validación, mostrado en la Tabla 4 el cual es un porcentaje aceptable para poder usar el instrumento dentro de nuestro proyecto de investigación.

Tabla 2. Validación de instrumentos

Validación de especialistas			
Especialista		Profesión	Porcentaje de validación
Mg. Ing.	Holguín	Ingeniero	83.83%
Aranda Luis	Fermín	Ambiental	
Doc. Ing.	Ordoñez	Ingeniero de	90.00%
Gálvez Juan Julio		mecánica de fluidos	
Mg. Sc. Pillpa Aliaga	Freddy	Ingeniero Agrónomo	85.00%
Doc. Ing.	Benites	Ingeniero	90.00%
Alfaro Elmer		Ambiental	
		Promedio	87.21%

3.5. Procedimientos

Para realizar el estudio se plantearon cuatro etapas, mediante las cuales se analizó, se procesó y se obtuvo resultados correspondientes planteados en los objetivos de la presente investigación, tal como se detallan en la Figura 2.

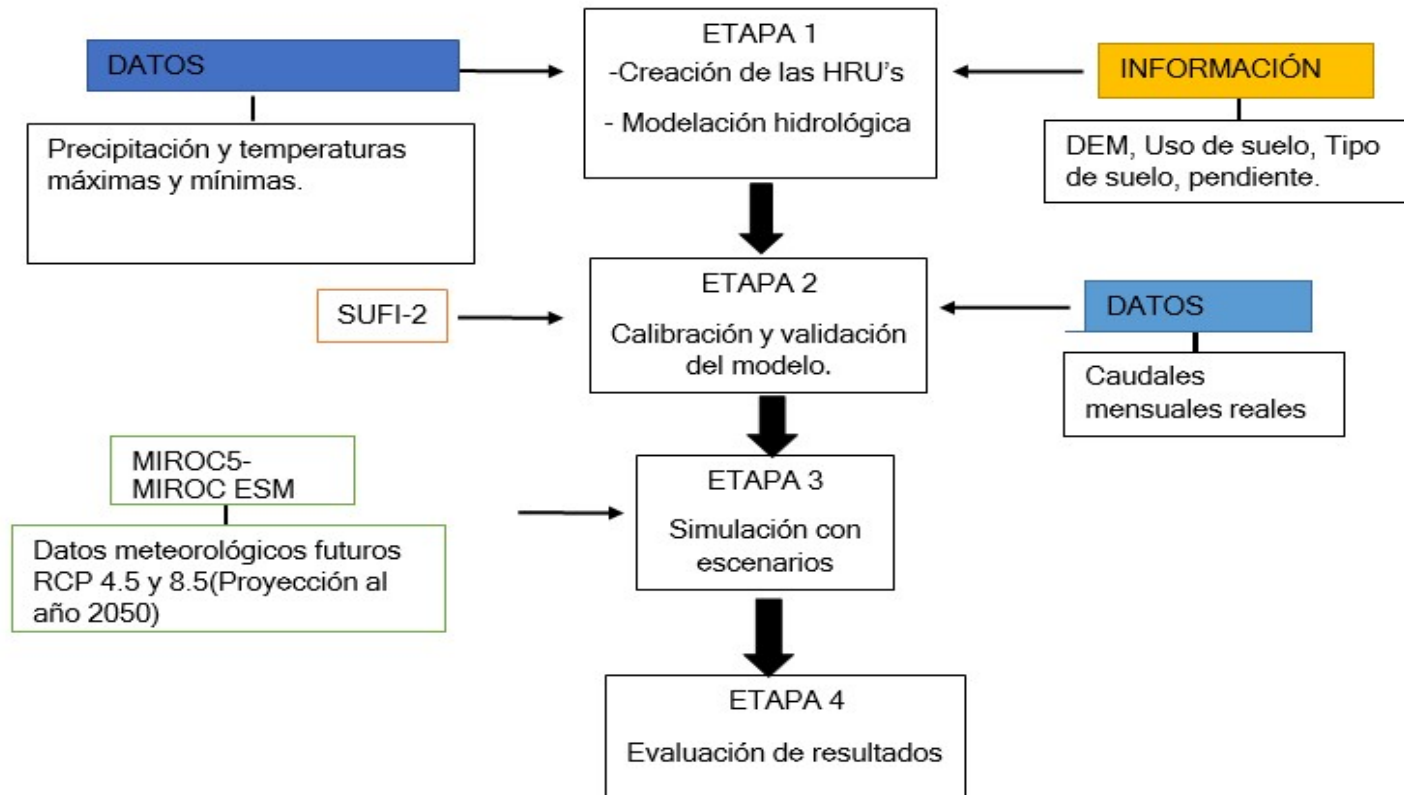


Figura 2. Diagrama de etapas de procedimiento

A continuación, se describió cada una de las etapas identificadas y articuladas para el correcto desarrollo de la presente investigación:

ETAPA 1. Modelación del modelo hidrológico.

a). Delimitación del área de estudio.

Según la metodología empleada por León (2017, p. 20), detalló que en primer lugar como base de información se debe tener ciertos recursos o datos de entrada para poder realizar el modelo. Esta metodología sirvió de referencia para poder desarrollar las etapas y pasos dentro el desarrollo del modelamiento.

Dentro de la extensión de Argis para Swat llamada Arcswat se introdujo el Modelo digital de elevación de la cuenca (DEM) la cual fue extraída en imagen satelital en formato RASTER desde el portal web del MINAM que posee esta información. Esta imagen delimitó la cuenca cuando fue procesada por el software, generando a la vez la red de flujo de drenaje observada en la figura 3 y la generación de las 29 sub-cuencas presentes en la cuenca del río Moche mostrado en la figura 4.

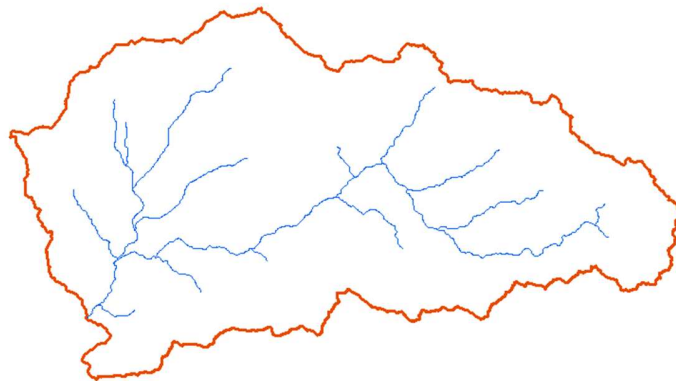


Figura 3. Red de drenaje.

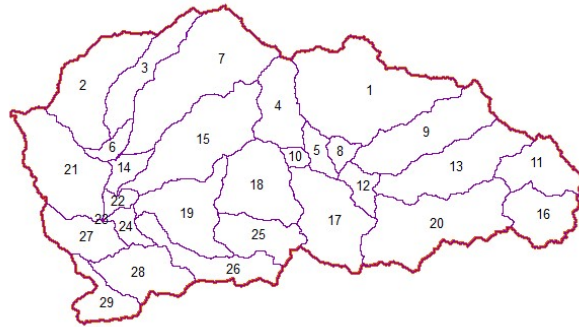


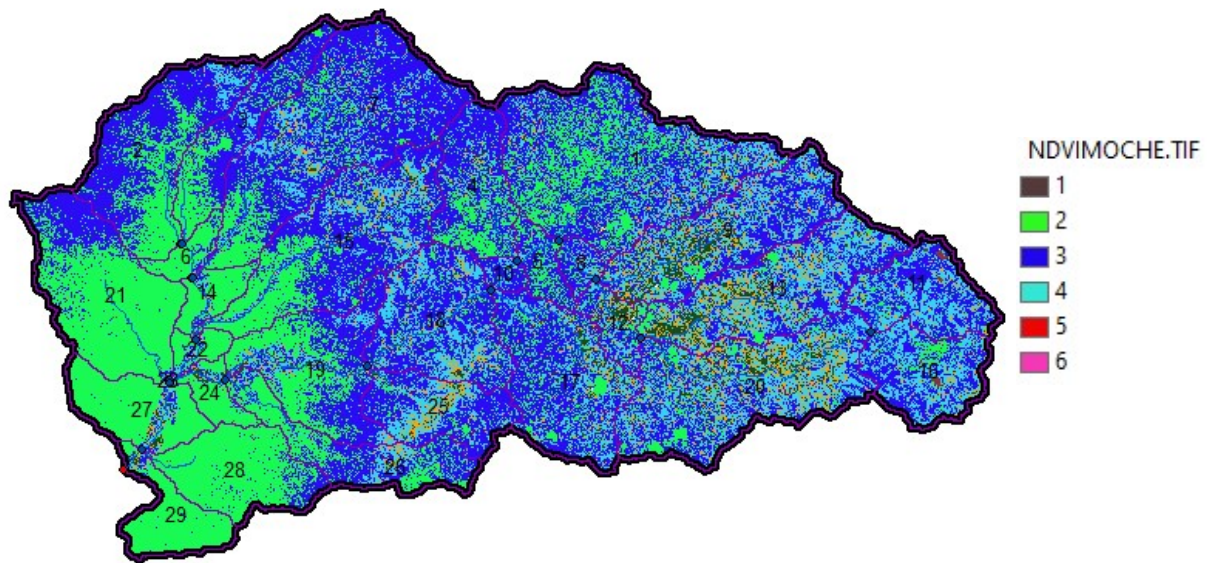
Figura 4. Delimitación de sub-Cuencas.

b). Generación de la información geomorfológica.

Se generó la información geomorfológica para poder generar las unidades de respuesta hidrológica(HRUs). Esto para ver como es el comportamiento agrupando sectores que tienen la misma información de parámetros de los tipos de esta información.

Mapa de uso de suelo:

Este mapa fue generado a través del procesamiento de una imagen satelital obtenida por el satélite Sentienel-2 que por el índice de vegetación de diferencia normalizada(NDVI) se pudo extraer la información y categorizar que tipo de uso de suelos tiene cada parte de la cuenca del rio moche observada en la Figura 5 Para procesar esta imagen dentro del modelo se insertó valores junto a los códigos que este mismo admite presentes en el anexo 3 , y así el modelo pueda reconocer que zonas son las que tienen cada tipo de uso de suelos.

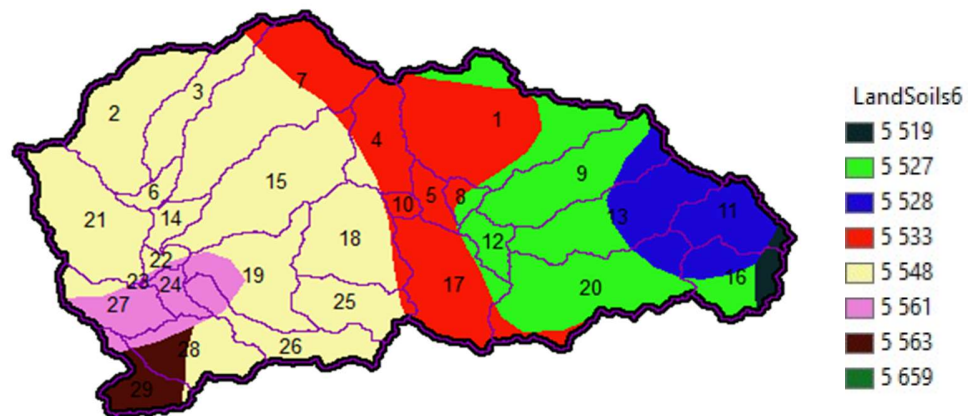


Fuente: Sentinel-2(2021)

Figura 5. Mapa de uso de suelo clasificada por NDVI

Mapa de tipo de suelo:

Otro de los mapas que se necesitó para realizar el modelamiento, fue el mapa de suelos, la cual fue extraída de la data mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) y fue procesada en formato Shapelite directamente. Al igual que el mapa de uso de suelos este también dependiendo de la composición de los tipos de suelos de la cuenca visto en la figura 6, se le asignó códigos por cada tipo de suelo que sean capaces de entender el software y este pueda procesarlos.



Fuente: FAO (2021)

Figura 6. Mapa de uso de suelos clasificado

Pendientes:

El último requerimiento de información geomorfológica son las pendientes de la cuenca, que se generaron a través del modelo digital de elevación ya usado para la delimitación. En este punto se estableció 5 clases de pendientes debido a las características de la cuenca, las cuales tuvieron como límites lo observado en la Figura 7.

SWAT Slope Classification Table		
Class	> Lower Limit	<= Upper Limit
1	0	12
2	12	25
3	25	50
4	50	75
5	75	9999

Figura 7. clasificación de pendientes en ArcSwat

A través de esta información se generó las Unidades de respuesta hidrológica dentro de la cuenca lo cual permitirá un mejor análisis por parte del modelo.

c). Información hidro-metereológico de la cuenca.

Para la obtención del modelo también fue necesario generar la información de temperatura y precipitación atreves de la data obtenida por parte del Senamhi de las cinco estaciones climáticas disponibles (Julcán, Quiruvilca, Sinsicap, Salpo y Capachique) que poseían la información meteorológica idónea para poder generar el modelo. También se obtuvo información de la estación hidrológica Quirihuac que sirvió para poder realizar las etapas de calibración y validación con los datos proporcionados de caudales generados por esta.

Se ubicaron las estaciones climáticas con el objetivo de referenciar la ubicación de donde vendría la información meteorológica y, se enmarca la estación hidrológica debido a que el modelo establece como cierre de cuenca a la estación que brindara los datos reales de caudales. Las ubicaciones de las estaciones dentro de la cuenca son señaladas en la figura8 y en la tabla 5.

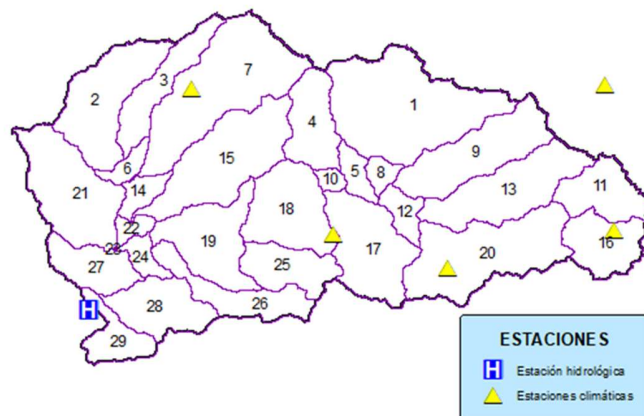


Figura 8. Estaciones hidrometereológicas en la cuenca de estudio

Tabla 3. Información de las estaciones hidrometeorológicas

Estaciones hidrometeorológicas					
Nombre de la estación	Tipo	Ubicación	Latitud	Longitud	Código
Quiruvilca	Climática	La Libertad	-8.004222	-78.307722	154102
Capachique	Climática	La Libertad	-7.85	-78.316667	153221
Salpo	Climática	La Libertad	-8.005333	-78.607111	398
Sinsicap	Climática	La Libertad	-7.850917	-78.755944	153206
Julcan	Climática	La Libertad	-8.05	-78.5	154101
Quirihuac	Hidrométrica	La Libertad	-8.083333	-78.866667	201401

Fuente: Ana y Senamhi

d) Modelación con SWAT.

El sistema de modelamiento con el software Swat, recibió los datos de entrada de manera secuencial en la interfaz del ArcSwat en el ArcGIS. En primer lugar, para el uso sectorizado en el modelo con SWAT se realizó una delimitación de la cuenca y subcuencas, señalando solamente el área de interés con el fin de recortar la información principal, además de determinar las unidades de respuesta hidrológica de la cuenca donde se introdujo la información de precipitaciones y temperaturas máximas y mínimas de las estaciones señaladas. Esta parte de la etapa permitió tener el modelo ya generado, en donde se produce una base de datos de caudales, sedimentos, precipitaciones y temperaturas por sub-cuencas.

ETAPA 2. Simulación y calibración:

a). Análisis de sensibilidad

Este análisis se realizó antes del proceso de calibración ya que permitirá encontrar los parámetros adecuados o que generan más impacto en el modelo hidrológico. Este proceso se desarrolló en el software SWAT-CUP usando el algoritmo "SUFI-2" (Sequential Uncertainty Fitting 2) con información de caudales reales del periodo de 1999 a 2008 de la estación hidrológica Quirihuac con datos mensuales. Los parámetros mostrados en el anexo 13, estos fueron analizados de manera individual y verificados con cambios significativos en los caudales de salida cuenca al ser alterados. Este análisis permitió que proceso de calibración sea más corto al identificar cuáles son los parámetros adecuados para este proceso reduciendo la incertidumbre.

b) Calibración y validación

El proceso de calibración comparó los resultados de los caudales reales obtenidos de la estación Hidrológica con los caudales simulados por el modelo hidrológico, para esto se tuvo en cuenta los parámetros obtenidos del análisis de sensibilidad los cuales son los que más impactan en el modelo. En este punto hay un proceso de análisis estadístico en donde se ingresan los dos tipos de información, la simulada y la real. que son evaluados a través de los coeficientes mostrados en la Tabla 5 encontrado el desempeño del modelo y verificando su correcto funcionamiento a través de los valores por cada coeficiente y su clasificación de rendimiento por cada coeficiente a evaluar. Los resultados mostraron la veracidad del modelo SWAT en el proceso mismo de la modelación, con ayuda de la información real capturada de la estación hidrológica. La validación cuenta con un proceso específico en cual consto en evaluar la capacidad del modelo para realizar simulaciones con la exactitud adecuada. Este proceso se encargó de evaluar de manera conjunta los caudales generados por el modelo con los caudales obtenidos a través de la estación hidrológica Quirihuac los cuales fueron comparados en escalas mensuales. La calibración uso data histórica más antigua en un intervalo de 10 años, periodo comprendido entre enero de 1999 a

diciembre de 2008. Y la validación usará un periodo de 8 años entre enero de 2009 y diciembre del 2016. Tanto la calibración y validación se evaluaron a través de base estadística y gráfica en los criterios mencionados en la tabla 4.

Tabla 4. Criterios estadísticos para la calibración del modelo

Criterio estadístico	Valores	Clasificación de rendimiento	Referencia
Coefficiente de Nash- Sutcliffe $NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_t^{obs} - Q_t^{sim})^2}{\sum_{t=1}^n (Q_t^{obs} - \bar{Q}^{sim})^2}$	0.75 < NSE < 1	Excelente	Nash et al. 2007
	0.65 < NSE < 0.75	Bueno	
	0.50 < NSE < 0.65	Satisfactorio	
	0.40 < NSE ≤ 0.50	Aceptable	
	NSE ≤ 0.40	Malo	
Coefficiente de determinación $R^2 = \frac{[\sum_{t=1}^n (Q_t^{obs} - \bar{Q}^{obs})(Q_t^{sim} - \bar{Q}^{sim})]^2}{\sum_{t=1}^n (Q_t^{obs} - \bar{Q}^{obs})^2 \sum_{t=1}^n (Q_t^{sim} - \bar{Q}^{sim})^2}$	r ≥ 0.5	Satisfactorio	Santhi et al. 2001
	0 ≤ r < 0.5	Malo	
Percent bias $PBIAS = \frac{\sum_{t=1}^n (Q_t^{obs} - Q_t^{sim}) * 100}{\sum_{t=1}^n (Q_t^{obs})}$	PBIAS > ± 10	Excelente	Moriasti et al. 2007
	± 10 ≤ PBIAS ≤ ± 15	Bueno	
	± 15 ≤ PBIAS ≤ ± 25	Satisfactorio	
	PBIAS ≥ 25	Malo	
Relación entre el ESME y la desviación estándar de las observaciones $RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\left[\sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_t^{obs} - Q_t^{obs})^2} \right]}{\left[\sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_t^{obs} - \bar{Q}^{obs})^2} \right]}$	0.00 < RSR ≤ 0.50	Excelente	Moriasti et al. 2007
	0.50 < RSR ≤ 0.60	Bueno	
	0.60 < RSR ≤ 0.70	Satisfactorio	
	RSR > 0.70	Malo	

Fuente: Feler (2014).

ETAPA 3. Simulación de escenarios futuros de cambio climático.

a) Aplicación del MIROC 5 y MIROC-ESM.

Para la obtención de escenarios futuros de precipitación se utilizó la versión web del navegador meteorológico sistema terrestre comunitario (MARKSIM) de los datos climáticos de los del modelador climático (MCG) (León et al., 2017. P. 31).

Se seleccionaron los MCG que poseen un buen ajuste y pueden representar el clima futuro hasta el 2050 en el norte de nuestro país en la cuenca del río Moche. Los futuros escenarios de esta comparación en este estudio tuvieron en cuenta las rutas de representación representativa (RCP 4.5 - RCP 8.5) por lo que se logró obtener las proyecciones posibles.

En el transcurso de la búsqueda de información referente al MIROC5 y MICORC-ESM se estableció del cuales son las coordenadas de cada estación lo que nos permitió obtener la simulación futura de los escenarios de precipitación y temperatura con la extensión al año 2050 que se requirió para esta investigación.

ETAPA 4: Evaluación de resultados

Para esta etapa fue necesario la verificación exhaustiva de la información obtenida en las etapas anteriores, en donde se comparó lo generado por el modelo hidrológico Swat como escenario base con los escenarios de cambio climático, que son 4 en total, dos para el modelo climático MIROC5 con proyecciones a RCP 2.5 y 8.5 y dos más para el modelo MIROC-ESM con los mismos RCP. Con esto se tuvo 5 escenarios diferentes a evaluar uno base y los otros 4 con proyecciones futuras al 2050.

3.6. Método de análisis de datos

En primer lugar, se analizó los datos hidrometeorológicos y fueron recopilados, almacenados y procesados en el Microsoft Excel con el fin de generar los análisis exploratorios a través de la estadística descriptiva.

ArcSwat es una extensión de ArcGIS que permitió el análisis de datos de entrada de las propiedades geomorfológicas de la cuenca y así analizar la información a partir de simulaciones en tablas, mapas ráster y shapefile.

SWAT CUP permitió analizar los datos de sensibilidad, calibración y validación del modelo hidrológico ya expresado, por medio del algoritmo SUFI2 que podrá analizar qué tan confiable y acertado es el modelo hidrológico ya realizado por medio de caudales generados y reales.

Para las etapas de calibración y validación se evalúan 3 tipos de criterios estadísticos: Coeficiente de Nash-Sutcliffe(NSE), Coeficiente de determinación (R^2) y Percent bias (PBIAS) que se calcularon a través con la comparación de los caudales reales con los caudales generados por el modelo hidrológico.

Para la representación futura del cambio climático se evaluaron el MIROC5 y el MIROC-ESM respecto a los datos meteorológicos con los que se realizó los escenarios de RCP en proyecciones al año 2050 para su evaluación.

3.7. Aspectos Éticos

El Código de Ética de Investigación de la Universidad Privada César Vallejo tiene como finalidad que la investigación realizada en las universidades debe cumplir con los más altos estándares de seriedad científica, compromiso y honestidad para asegurar la veracidad del conocimiento científico, protegiendo así la capacidad y el bienestar de las personas que realizan investigaciones a través del salvaguardo y la protección de los derechos de autor y al igual manera de las propiedades intelectuales, de igual manera busca fomentar las buenas prácticas científicas, incluida la formación de investigadores.

De igual forma, el Código de Ética en Investigación de la UCV (2017) enfatiza la política antiplagio en el artículo 15, y el artículo 22 muestra sanciones, las cuales indican que, si el plagio es parte de los estudiantes, será resuelto por el comité de ética, que se encuentra en la sede de la universidad de cada sucursal. Los estudiantes que cometan este delito serán advertidos, pensionados o expulsados de la universidad.

En este contexto, esta investigación se realizó en concordancia con los principios establecidos por el Código de Ética 2017, que busca y promueve el respeto a la integridad y autonomía humana, la justicia, la honestidad, el rigor científico, la pericia científica y la responsabilidad.

IV. RESULTADOS

4.1. Mapa de uso de suelos.

Se generó los mapas de uso de suelo en la cuenca y con sus respectivos códigos de usos mostrados en la Figura 9 y en la tabla 6. Las cuales definió cuales son las características de uso de suelo presentes en la cuenca.

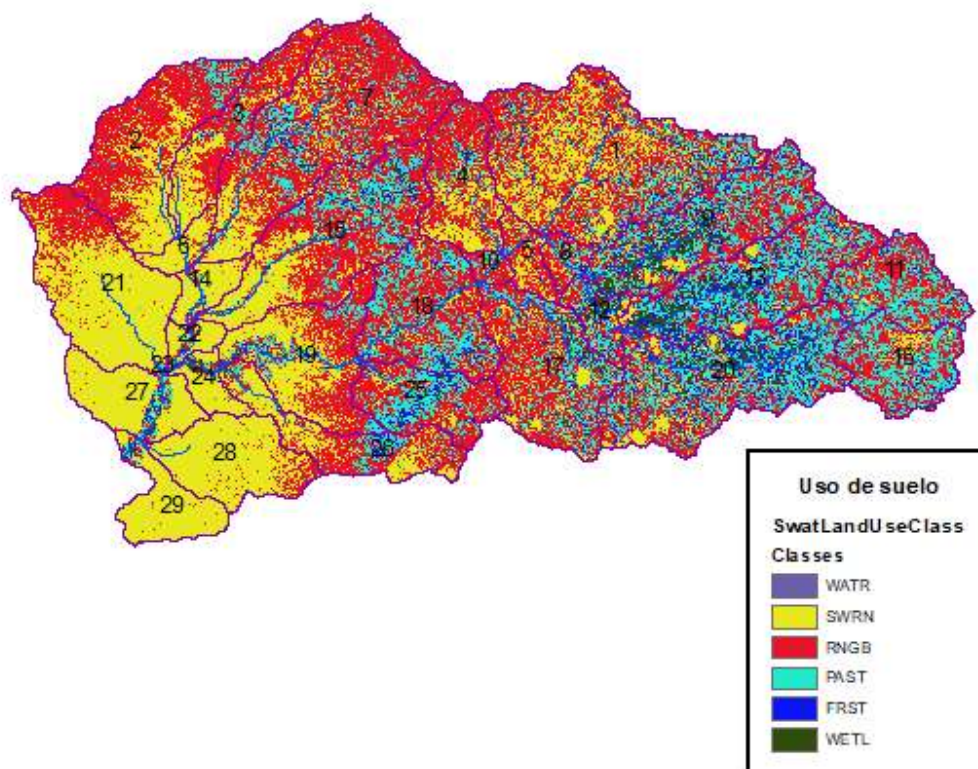


Figura 9. Clasificación de uso de suelo.

En la Figura 9. Se muestra la clasificación que genero el Swat al asignar los códigos para cada tipo de uso de suelo en la cuenca, estos códigos fueron insertados debido a las condiciones presentes en la cuenca

Tabla 5. Información de la clasificación

Clasificación de SWAT	Interpretación	Espacio en la cuenca
WATR	Agua	0.10%
SWRN	Desierto semicalido	30.02%
RNGB	Matorral	43.14%
PAST	Pasto	19.17%
FRST	Bosque perenne	4.35%
WELT	humedales boscosos	3.22%

En la tabla 5 se elaboró con el fin de poder observar los porcentajes de cada tipo de uso de suelo que se tiene en la cuenca, donde se encuentran cantidades del 0.10% de agua superficial dentro de la cuenca, 30.02% de espacio de desierto semiárido, el 43.12% de matorrales, el 10.17% de pastos, el 4.35% de bosque perenne y 3.22% de humedales boscosos.

4.2. Mapa de tipo de suelo.

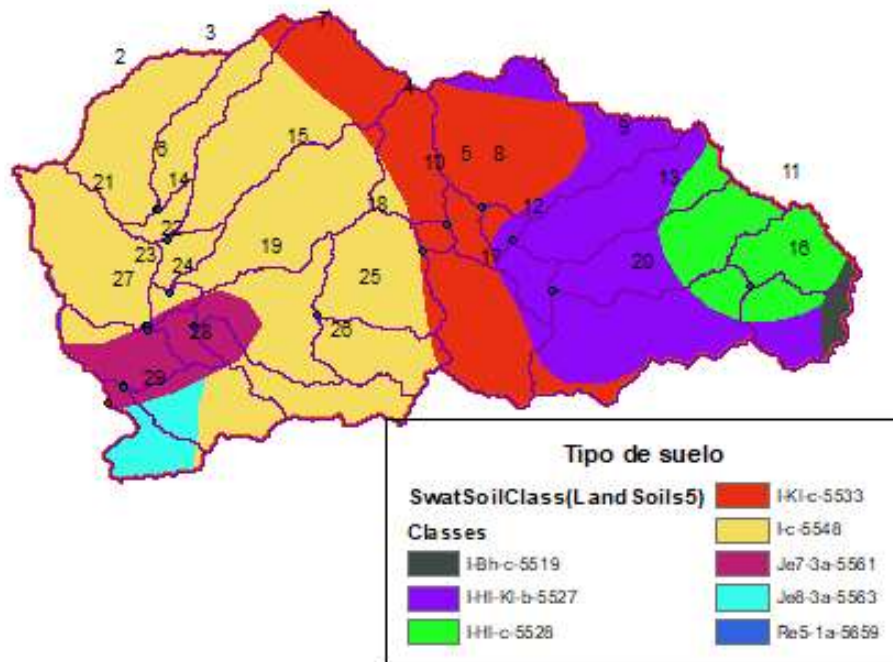


Figura 10. Clasificación de tipo de suelo de SWAT.

En la figura 10 se muestra la clasificación establecida por el Swat, el cual tuvo en cuenta al mapa de suelos obtenida por la FAO para poder hacer esta clasificación. Además, se le asignó códigos dependiendo de este tipo de suelo que se puede interpretar por la composición de estos mostrados.

Tabla 6. Características de los suelos clasificados.

	Tipo	Espacio en cuenca	Textura	Porcentaj e arena(%)	Porcentaj e arcilla(%)	Porcentaj e de limo(%)
I-KI-c	Litosol	19.92%	Franco	40%	20%	40%
I-c	Litosol	43.90%	Franco	50%	20%	30%
I-HI-KI-b	Litosol	19.23%	Franco	30%	20%	50%
I-Bh-c	Litosol	0.48%	Franco	50%	20%	30%
I-HI-c	Litosol	8.38%	Franco	30%	20%	50%
Je7-3a	Fluvisol	5.11%	Arcilloso	10%	60%	30%
Je8-ea	Fluvisol	2.55%	Franco Arcilloso	30%	40%	30%
Re5-1a	Regoso I	0.07%	Arena Arcillosa	50%	40%	10%

En la tabla 6 primeramente, se estableció que tipo de suelo es en los cuales el tipo de suelo I-KI-c es de tipo Litosol y abarca un espacio del 19.92% dentro de la cuenca, su textura es clasificada como Franco en cual tiene 40% de arena, 20% de arcilla y 40% de limo. El suelo I-c también es un suelo Litosol pero este cubre 43.90% de toda la cuenca siendo el tipo de suelo más abundante dentro de esta, este también es clasificado como franco, teniendo 50% de arena, 20% de arcilla y 30% de limo. El suelo I-HI-KI-b es un Litosol y cubre el 19.23% de espacio de la cuenca, teniendo una textura de tipo franco con 30% de arena, 20% de arcilla y 50% de limo. El suelo I-Bh-c cubre un espacio de 0.48%, es de textura tipo franco con 50% de arena, 20% de arcilla y 30% de limo. El suelo I-HI-c es de tipo litosol cubre el 8.38% de la cuenca, y por su textura en un suelo franco con 30% arena, 20% arcilla y 50% limo. El suelo Je7-3^a es de tipo Fluvisol con un espacio de 5.11% en la cuenca y según su textura es un suelo arcilloso con 10% de arena, 60% de arcilla y 30% de limo. El suelo Je8-ea también es de tipo Fluvisol y cubre un área de 2.55% y por su textura es un suelo franco arcilloso con 30% de arena, 40% arcilla y 30% de limo, y por último se determinó el suelo Re5-1a que la que menos espacio cubre con 0.07% y teniendo una textura de arena arcillosa con 50% de arena, 40% arcilla y 10 % de limo.

4.3 Mapa de pendientes

El software también generó las pendientes para el análisis del comportamiento de la cuenca, dentro del cual se estableció los límites y clases para cada tipo de pendiente mostrado en la tabla 8 debido a las características en este aspecto de la cuenca mostrada en la figura 11.

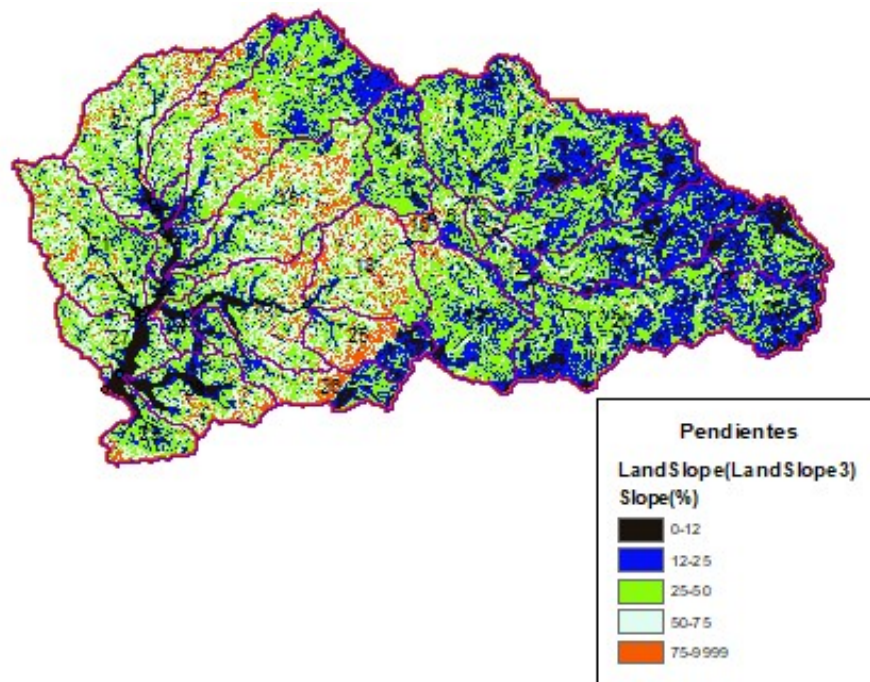


Figura 11. Pendientes procesadas de la cuenca.

Lo muestra en la Figura 11, la clasificación de 5 tipos de pendientes asignados en la cuenca, observado lo accidentada de la cuenca en este factor.

Tabla 7. Clases y límites establecidos para la clasificación de pendientes.

CLASES	LIMITES
1	0-12%
2	12-25%
3	25-50%
4	50-75%
5	75-999%

En la tabla 7 se tiene límites clasificación de pendientes donde se muestra que de 0-12% de primera clase de pendiente de caracteriza plana a moderadamente ondulado, la clase 2 tiene límites de 12-25% con tipo de pendiente ondulado, la clase 3 de 25-50% es fuertemente ondulado, en la clase 4 de 50-75% de tipo montañoso y por último la clase 5 de 75-100% de tipo escarpado.

4.4. Generación de los HRU's.

Al procesar los diferentes tipos de características geomorfológicas se generó las unidades de respuestas hidrológicas dentro de la cuenca que fueron 1292 dentro de las 29 sub-cuencas presentes.

4.5. Modelación de la cuenca.

Se realizó el modelamiento al producir los HRU'S y al insertar la información meteorológica. El modelo generó la información mostrada en el anexo N° 4 en donde simula las cantidades para cada tipo de proceso dentro del ciclo hidrológico. Estas cantidades son referenciales debido a que aún no se calibra ni se valida el modelo y no hay certeza que estos valores sean correctos para la cuenca de estudio. Esta es una representación general del modelo previo a la calibración.

4.6. Calibración Validación del modelo.

En esta etapa solo se tuvo en cuenta a los valores de la sub-cuenca 29 que fue determinada como cuenca de salida al ser la que tiene ubicada la estación hidrológica. En la comparación de valores se tuvo en cuenta criterios estadísticos que verifiquen el rendimiento del modelo. Dentro los cuales se consideraron al R^2 , NSE, PBIAS y RSR mostrados en la tabla 5. El rendimiento del modelo fue clasificado como satisfactorio y bueno después de la calibración al tener los valores de la tabla 11. En los gráficos 1 y 2 se pueden observar el comportamiento de los caudales observados, simulados y calibrados.

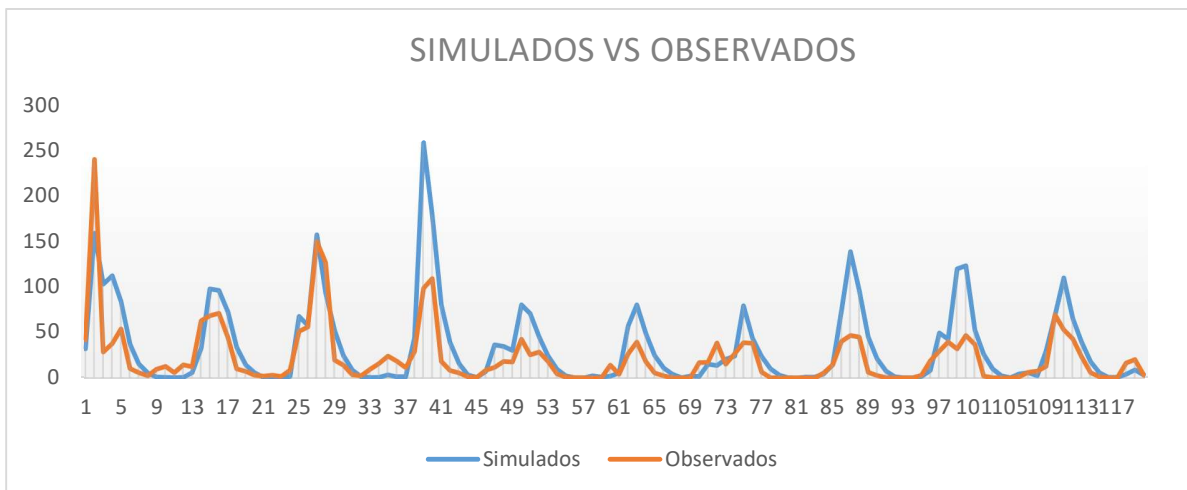


Figura 12. Caudales simulados por SWAT Vs Caudales Observados

Fuente: Autoría propia

En la figura 12 se representa los caudales simulados por el modelo hidrológico vs los caudales observados por la estación hidrológica Quirhuac donde se observó que los caudales tienen cierto mismo comportamiento, pero los valores aún tienen cierta diferencia marcada en las cantidades

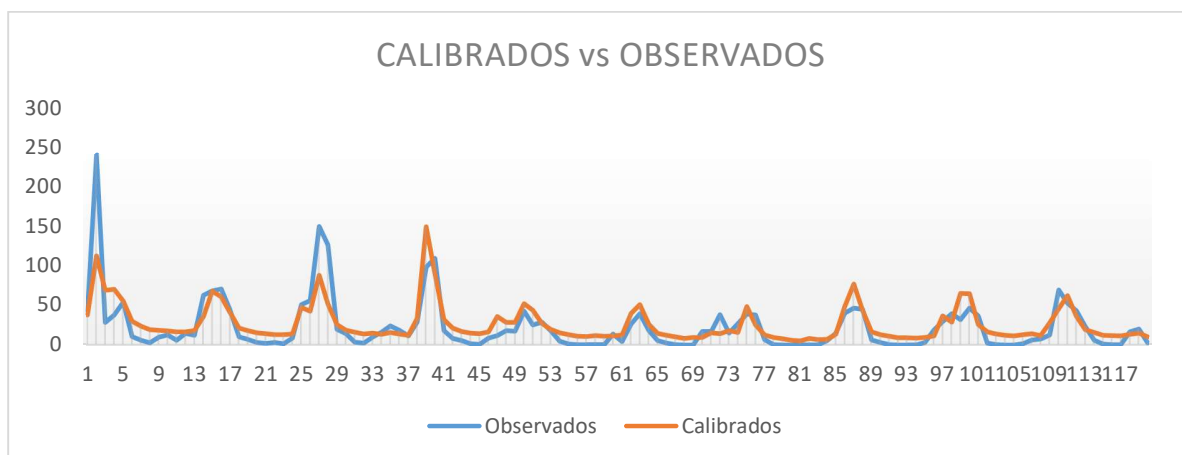


Figura 13. Caudales calibrados Vs Caudales Observados

Fuente: Autoría propia

En la figura 13 se puede mostrar los caudales calibrados del modelo vs los caudales observados donde se observa que los valores son más parecidos y cercanos, teniendo el mismo comportamiento en los picos de subida y bajada de caudales.

Tabla 8. Criterios estadísticos evaluados

	OBS-CALI	OBS-VALID
R2	0.676594672	0.615965232
NASH	0.646177787	0.553592137
PBIAS	-19.27695686	-21.6436565
RSR	0.594829566	0.57632266

En la tabla 8 se observa los valores de los criterios antes realizar la calibración y validación. El periodo de calibración comprendido dentro de los años de 1999 hasta 2008 donde se muestran parámetros de coeficiente de determinación (R^2) se tuvo un rendimiento aceptable al ser evaluado por la tabla 4, el Coeficiente de Nash-Sutcliffe(NASH) tuvo un rendimiento satisfactorio al tener un valor de 0.65, el criterio Percent bias (PBIAS) También fue clasificado como satisfactorio al tener un valor menor a ± 25 y por último el criterio de Relación entre el ESME y la desviación estándar de las observaciones(RSR) tuvo un rendimiento bueno al estar entre los valores de

0.5 y 0.6. Se evaluó de la misma manera los criterios estadísticos para la validación, en donde se observó un comportamiento similar el cual obtuvo un buen rendimiento general, el R^2 tuvo un rendimiento aceptable al ser mayor de 0.5, el NASH fue clasificado como satisfactorio también al ser mayor de 0.5 y menor a 0.65, el PBIAS fue clasificado como satisfactorio al estar entre los valores de ± 15 y 25, y por último se evaluó RSR que tuvo un desempeño de bueno al estar entre valores de 0.5 y 0.6

4.6. Evaluación del comportamiento hidrológico en la cuenca bajo los escenarios de cambio climático.

Esta evaluación fue realizada tras comparar el modelo validado por el SWAT con los escenarios de cambio climático proyectados al 2050 bajo los modelos climáticos (Miroc5 y Miroc ESM) cada uno con sus RCP (4.5 y 8.5) asignados para este estudio.

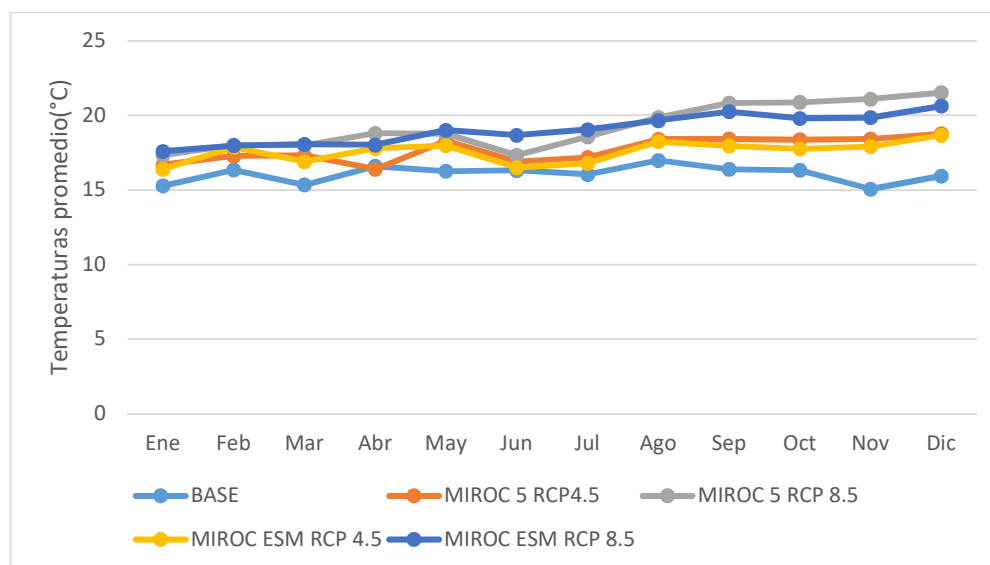


Figura 14. Comparación de temperatura anual del escenario base con los escenarios al 2050.

La figura 14 mostró el comportamiento de la temperatura promedio en la cuenca de estudio, en la cual se muestra las temperaturas del escenario base, donde se observó que en el mes de noviembre se presentan las temperaturas más bajas con un resultado de 15.05 °C y se determinó como temperatura máxima en el mes de agosto

con 16.9 °C. A comparación con el primer escenario del modelo climático MIROC 5 con la trayectoria representativa de RCP 4.5 se observa una diferencia de temperaturas donde las temperaturas en época húmeda desde octubre hasta abril (+1.8°C) y en la época seca de mayo a octubre se observó un incremento de (+1.4 °C). En el segundo escenario del modelo climático RCP 8.5 se observa un incremento de temperatura de +3.5 °C en el periodo húmedo y en periodo seco hubo un incremento parecido de 2.7 °C. También se evaluó el modelo climático MIROC-ESM con trayectoria RCP 4.5 donde se encontró que la variación de temperatura de +1.8 °C en el periodo húmedo y 1.09°C para el periodo seco, de igual manera se evaluó para el RCP 8.5 en donde el periodo húmedo se incrementó a 3 °C mientras que en el periodo seco solo fue de 2.9°C. Los valores mostrados en el anexo 5.

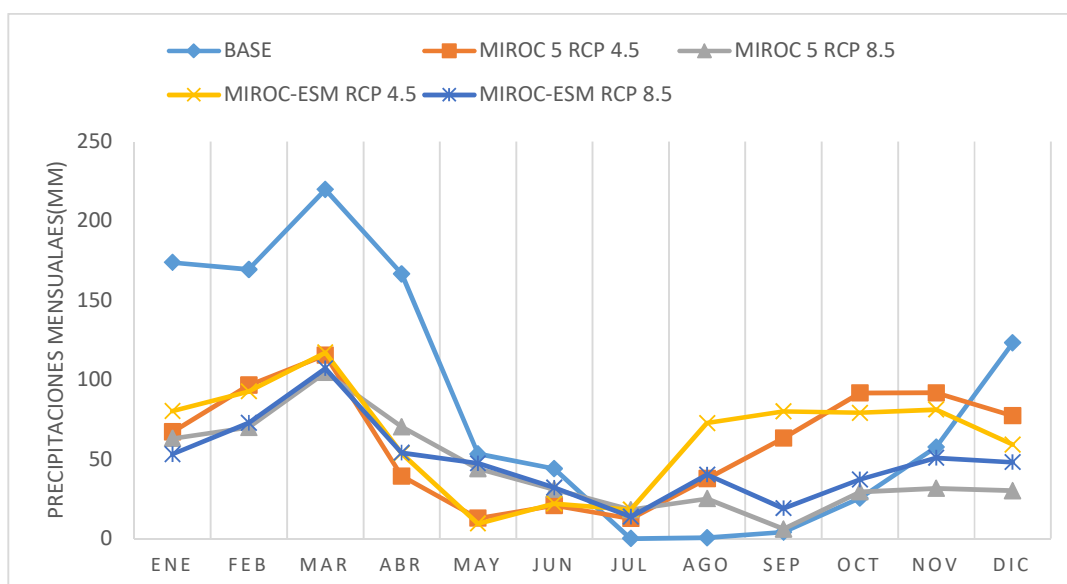


Figura 15. Comparación de precipitación anual del escenario base con los escenarios al 2050.

En la figura 15 se mostró el comportamiento de las precipitaciones medias mensuales del escenario base teniendo como pico máximo en el mes de marzo con la cantidad de 219.77 mm y en época de lluvias mínimas a los meses de julio, agosto y septiembre, teniendo valores de 0mm;0.5mm; 4.05mm respectivamente, viendo un creciente al mes de diciembre de 123.22 mm. En el escenario RCP 4.5 del modelo

climático MIROC 5 mostró una tendencia de menores precipitaciones en los meses de periodo húmedo (octubre-abril) en relación al escenario base donde se calculó una variación de disminución de precipitación de -38.12% y un incremento de + 44.3 % en el periodo seco (mayo- septiembre). De igual manera en escenario RCP 8.5 se observó una disminución de precipitaciones de -57.35% en los periodos húmedos y un aumento de 22.06 % en el periodo seco. En el caso del escenario de modelo climático MIROC-ESM con la trayectoria representativa RCP 4.5 se vio una alteración de - 39.8% en época húmeda y un aumento de 98.8 % en época seca y en RCP 8.5 del mismo modelo se observó una reducción de - 54.8% de precipitaciones en época húmeda y un aumento de +49.8% en época seca. Los valores mostrados en el anexo N° 6.

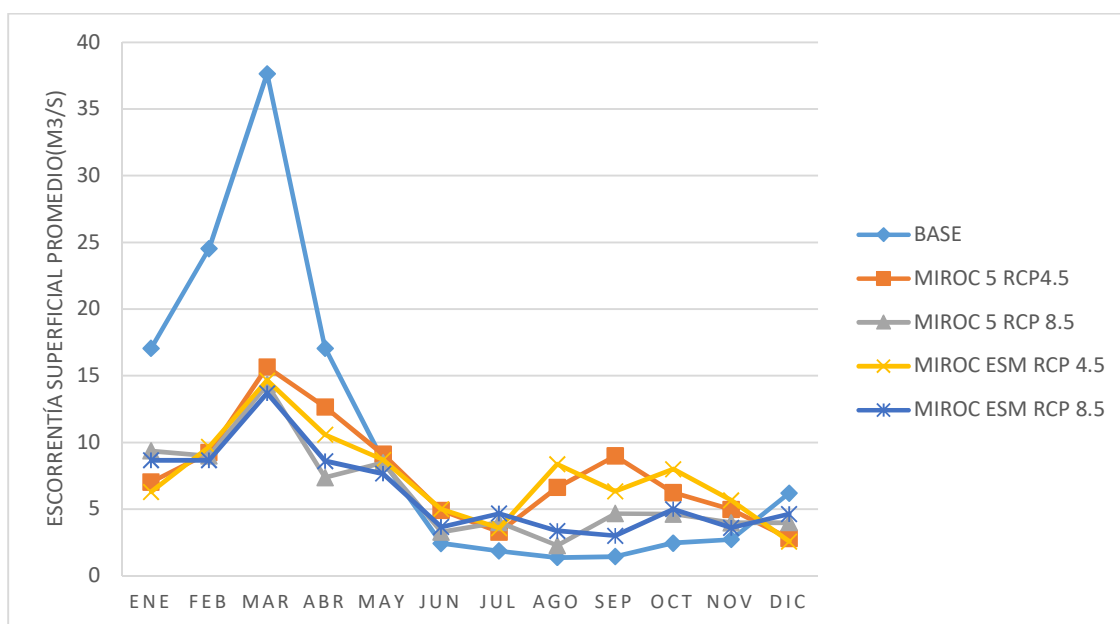


Figura 16. Comparación de escorrentía superficial anual del escenario base con los escenarios al 2050.

En la figura 16 se determinó el comportamiento de la escorrentía superficial en la cuenca de estudio. En primer lugar, se muestra el escenario base donde se observó que en el mes de octubre a abril es la época de avenida, y se determinó que desde el mes de mayo a septiembre es la época de estiaje. Con el modelo climático MIROC 5

y bajo el escenario RCP 4.5 se observó una alteración de disminución de escorrentía en un -45.6% en época de avenida, mientras que en la época de estiaje hubo un aumento de +120.3 %, mientras que en el RCP 8.5 del mismo modelo se observó una variación de -51.10% en avenida y un aumento de +52% en época de estiaje. Para el modelo climático MIROC-ESM RCP 4.5 se observó -46.6% en época de avenida y +112.9 % en época de estiaje. Por ultimo en el RCP 8.5 se observó una disminución de -50.94% en avenida y un aumento de +48.8% en época de estiaje. Los valores mostrados en el anexo N°7.

Tabla 9. Respuesta hidrológica de la cuenca en los escenarios de estudio.

Variable	ESCENARIO BASE	MIROC-5		MIROC-ESM	
		RPC 4.5	RCP 8.5	RPC 4.5	RCP 8.5
Temperatura	16.07 C°	17.70 C°(+1.63)	19.25 C° (+3.2)	17.56 C° (+1.5)	19.05 C° (+3.00)
Precipitación	86.48 mm	60.51 mm (-30.03%)	43.61mm (-49.56%)	63.80 mm (-26.23%)	47.95 mm (-44.56%)
Escorrentía Superficial	10.27 m3/s	7.61 m3/s (-25.86%)	6.27 m3/s (-38.96%)	7.44 m3/s (-27.58%)	6.25 m3/s (-39.08%)

En la tabla 9 se estableció el comportamiento general de la cuenca bajo los escenarios de cambio climático, generando las comparaciones de los escenarios anualmente. Se determinó en la temperatura un aumento de 1.63°C y de 1.5°C en el RCP 4.5 bajo ambos modelos climáticos, y en los RCP 8.5 se observa un aumento de 3.2°C y 3°C en comparación con el escenario base. En la precipitación se observó una disminución de -30.03% y -26.23% en el RCP 4.5 y una disminución de -49.56% y -44.56% para el RCP 8.5. Por último, se muestra el comportamiento de la escorrentía que en los RCP 4.5 hay disminuciones de -25.86% y -27.58% y para el RCP 8.5 disminuciones de -38.96 % y 39.08%.

V. DISCUSIÓN:

La presente investigación establece que el modelamiento hidrológico es una herramienta que puede ser usado de manera satisfactoria para evaluar el comportamiento hidrológico en grandes extensiones a nivel de cuenca o sub-cuenca.

Este modelo hidrológico realizó el proceso de validación y calibración el cual tuvo que ser evaluado a través de criterios estadísticos los cuales calificaron el rendimiento del modelo, en la presente investigación el modelo fue clasificado como bueno y aceptable con valores de evaluación $R^2= 0.67$ para calibración y 0.60 para validación, el NASH= 0.64 para calibración y 0.56 para validación, el PBIAS= -0.1928 para calibración y -0.2175 para validación, y por último se evaluó el criterio estadístico RSR con valores de 0.59 para calibración y 0.58 para validación. Estos valores tienen relación con los observados en la investigación realizada por León (2017,p.32) que en su etapa de calibración y validación fue clasificado como un modelo de rendimiento bueno, teniendo valores de $R^2= 0.9$ para calibración y 0.81 para validación, el NASH tuvo valores de 0.89 para calibración y 0.76 para validación, el PBIAS con valores de -3.62 para la calibración y -5.63 en validación y por último se evaluó RSR con valores de 0.33 y 0.49 , ciertamente es evidenciada la diferencia entre los valores de la presente investigación con la realizada con la de León donde su modelo es calificado de mejor rendimiento debido a sus valores estadísticos, esta diferencia se debe a la información suministrada al modelo sobre información climática, teniendo menos información en la cuenca del río moche debido a la deficiente presencia de estaciones climáticas e hidrológicas dentro de la cuenca. De igual manera, pero con menos criterios estadísticos de evaluación, se encontró similitud con lo establecido en la investigación realizada por Montecelos (2018,p.36) donde su modelo hidrológico evaluó R^2 teniendo un valor de 0.67 , el NASH tuvo un valor de 0.70 y su PBIAS de -0.23 , este modelo hidrológico está dentro del rango establecido como aceptable y bueno en su clasificación teniendo valores muy similares al de la investigación realizada, esto debido también a la dificultad de la obtención de información climática e hidrológica pero que aun así es aceptado para poder ser usado, en esta

investigación no se evaluó el parámetro de RSR el cual también califica si un modelo hidrológico es aceptable o no. Y dentro de los resultados no se muestran los valores registrados en la validación por lo cual no se puede comparar. En la investigación realizada por Jodar (2018,p.10) también se realizó la calibración y validación de su modelo en donde se encontró valores de $R^2=0.67$ para calibración y 0.63 para validación, el NASH tuvo un valor de 0.57 para calibración y 0.64 para validación, su PBIAS estuvo estimado dentro de 3.83 para calibración y 1.1 para validación, además de que su RSR tuvo valores de 0.66 para calibración y 0.61 en validación, además en esta investigación realizada por Jodar se incluyó un parámetro de calificación extra que es la eficiencia de Kling-Gupta efficiency(KGE) el cual tiene valores de 0.78 para calibración y 0.71 para validación, el modelo presentado en general tiene un rendimiento bueno por los valores analizados en los criterios estadísticos, los caudales son similares a la investigación realizada excepto en los valores del PBIAS el cual tiene un valor muy inferior, además de no estimarse el KGE dentro de la investigación el cual también puede evaluar el rendimiento de un modelo hidrológico.

Los resultados encontrados de la evaluación al comparar el escenario base con los escenarios de cambio climático determino que en cuanto a temperaturas bajo el generador climático MIROC 5 con trayectoria representativa RCP 4.5 se observan incrementos de temperaturas en $+1.8^{\circ}\text{C}$ en la época húmeda y $+1.4^{\circ}\text{C}$ en épocas secas. En el escenario con la trayectoria representativa RCP 8.5 del mismo modelo se observó un incremento de 3.5°C en el periodo húmedo y en el periodo seco hubo un incremento de $+2.7^{\circ}\text{C}$. Para el modelo MIROC-ESM se evaluó de la misma manera, encontrando que en el RCP 4.5 las temperaturas en el periodo seco incrementaron en $+1.8^{\circ}\text{C}$ en el periodo húmedo y en periodo seco incremento $+1.09^{\circ}\text{C}$ y en el RCP 8.5 se incrementó $+3^{\circ}\text{C}$ en el periodo húmedo y $+2.9^{\circ}\text{C}$ en el periodo seco. En la investigación realizada por León (2017, p.46) interpreta los incrementos o disminuciones de temperatura como un solo dato, no teniendo en cuenta los diferentes tipos de modelos climáticos ni RCP, en donde esta investigación establece que para los periodos húmedos hay un incremento de 4°C mientras que en los periodos secos aumenta 5°C . Se evidencia que al comparar las diferentes investigaciones se observa

que hay un incremento de temperatura más marcado en la investigación realizada por León en el río Piura en donde se interpreta de forma general y no se puede hacer una comparación adecuada, pero que de todos modos también se observa un incremento de temperaturas en la cuenca al igual al estudio de la cuenca del río Moche. En la investigación de Montecelos (2018,p.23) la cual se realizó en México y Cuba en dos cuencas diferentes y bajo un solo escenario de cambio climático donde las temperaturas registradas en periodos secos se observó un incremento en ambos periodos, estos son evaluado a través del RCP 8.5 a talvez del modelo climático RegCM4.3 encontrando que en este modelo hidrológico tuvo un incremento de 1.5°C de temperatura al año 2039 en la cuenca del río Cauto, también se observó un incremento de 1.2°C en el río Guadalupe. En la investigación realizada por Jodar (2018, p.12) se observa el comportamiento de las temperaturas, teniendo un incremento de entre 1.5°C a 1.7°C en su cuenca de estudio al año 2050.

Los resultados encontrados de precipitaciones en la presente investigación en comparación al escenario base se observó cambios en cuanto a los modelos climáticos y los escenarios RCP. El modelo climático MIROC 5 bajo el escenario RCP4.5 mostró menores cantidades de precipitaciones con una disminución del -30.03% en comparación del escenario base. En el RCP 8.5 se observó de igual manera una disminución de precipitaciones más marcada con un -49.56%. En cuanto al modelo climático MIROC-ESM en el escenario RCP 4.5 se vio una disminución del -26.23% del mismo modo en el RPC 8.5 se observó una disminución de -44.56% de precipitaciones. Estos valores comparados con la investigación realizada por León (2017, p.46) se observa cambios de 142% para el RCP 4.5 del modelo HadGEM2-ES y un cambio de 85% para el RCP 8.5, para el modelo CSIRO-Mk3-6-0 se observó variaciones de 57% en el RCP 4.5 y 14% en el RCP 8.5, Este modelo hidrológico enmarca más el cambio que se da a la cantidad de precipitación mostrada en mm. Esto influida también por los cambios marcados de temperatura. En la investigación de Montencelos (2018, p.42) se determinó un cambio general del 38% de disminución de precipitaciones en toda la cuenca media anual al 2039. También en la investigación de Jodar (2018, p.12) se observaron cambios significativos asociados a las

precipitaciones, donde se estable una disminución de 0.97% en el RCP 4.5 mientras que en el RCP 8.5 se muestra una disminución de 12.93 % hacia el año 2050.

También de manera referencial se generaron resultados de escorrentía superficial dentro de la cuenca, los cuales fueron comparados a través de las medias comparando el escenario base con los escenarios de cambio climático. El modelo climático MIROC 5 bajo en escenario RCP 4.5 determinó una disminución de -25.86%, el escenario RCP 8.5 bajo el mismo modelo estableció una disminución de -38.96%. En cuanto al modelo climático MIROC –ESM bajo el escenario RCP 4.5 se observó un incremento de escorrentía en un -27.58% mientras que al RCP 8.5 se observó una disminución de -39.08%. En la investigación de León (2017, p.46) se determinó un cambio en la cantidad de escorrentía en su cuenca de estudio donde lo describe de manera general teniendo en cuenta sus cuatro escenarios con un cambio de +71.8%(55.9 m³/s aprox) en caudales en época húmeda y hubo una disminución de 66%(12 m³/s aprox) en época seca al año 2050. En la investigación realizada por Jodar en el 2018 de encontró datos de disminución de escorrentía -7.56 %(37.1 m³/s) en el RCP 4.5 y -18.73% (en el RCP 8.5 Al 2050. En la investigación de Montecelos no hay datos acerca de una evaluación de escorrentías dentro de la cuenca las cuales no pueden ser comparadas.

Las fortalezas de la metodología utilizada para determinar los escenarios de cambio climático es que al usar SWAT este es un modelo de tipo semi-distribuido, el cual evalúa de manera secuencial y sectorial la cuenca de estudio, el cual permite un mejor análisis determinando las unidades de respuesta hidrológica para esto, además el modelo SWAT se maneja dentro de la interfaz de Arcmap el cual es muy accesible y fácil de usar en términos de accesibilidad. Las desventajas para realizar esta metodología es que el procedimiento a usar no es notablemente y claro por lo que se debe interferir a algún especialista del software, además en la generación de la información climática futura tiene que debe ser adaptada para que el modelo SWAT pueda realizar el modelamiento a años futuros debido a que el generador climático te entrega la información mensual de las estaciones y SWAT permite la entrada de datos

diarios por lo cual se tiene que realizar un procedimiento tedioso de adaptación de datos para lograr ingresarlos al interfaz SWAT. Otra desventaja es la información de las estaciones no es muy efectiva, debido que hay estaciones inhabilitadas y muy poca presencia de estas tanto en la cuenca de estudio como en todo el Perú.

La relevancia de la investigación en el contexto científico social es que esta investigación puede ayudar a la toma de decisiones de las autoridades de la zona, al observar que el cambio climático puede afectar de manera perjudicial al uso y disposición del recurso hídrico dentro de la cuenca en el futuro precisamente al año 2050, además esta investigación puede servir como base para futuras investigaciones del mismo carácter o de diferente tipo, al poder estudiar de manera más precisa y sectorizada la disponibilidad hídrica en la cuenca.

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó que el efecto del cambio climático genera cambios significativos en la disponibilidad hídrica en la cuenca del río moche a través del modelo hidrológico SWAT, al evaluar el comportamiento de incremento de temperaturas observando los 4 escenarios, verificando que las precipitaciones se vieron disminuidas bajo el mismo efecto de subidas de temperaturas y del mismo modo se vio afectado la escorrentía superficial disminuyendo sus cantidades en los 4 escenarios evaluados,
2. Se evaluó las características geomorfológicas de la cuenca de estudio determinando los tipos de suelos señalando 3 tipos(Litosol, fluvisol y regosol), en usos de suelos se encontró 30.02% de espacio de desierto semiárido, el 43.12% de matorrales, el 10.17% de pastos, el 4.35% de bosque perenne y 3.22% de humedales boscosos alrededor de toda la cuenca, también se encontró los valores de pendientes presentes en la cuenca las cuales fueron clasificadas en 5 tipos de pendientes en la cuenca, 0-12% ,12-25% ,25-50% y 75-100%.
3. Se realizó el proceso de calibración y validación del modelo hidrológico para determinar la confiabilidad del modelo teniendo dentro los cuales se obtuvieron los valores de $R^2= 0.67$ para calibración y 0.60 para validación, el $NASH= 0.64$ para calibración y 0.56 para validación, el $PBIAS= -.19.28$ para calibración y $- 21.75$ para validación, y por último se evaluó el criterio estadístico RSR con valores de 0.59 para calibración y 0.58 para validación. Estos dieron la certeza del que el modelo hidrológico estaba en condiciones óptimas de proyectar datos.

4. Se generó y se analizó satisfactorios escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 bajo los modelos climáticos globales MIROC 5 y MIROC-ESM en donde se evaluó primeramente las temperaturas donde para los RCP 4.5 de ambos modelos se observó incremento de temperaturas mayores a 1.5°C y los RCP 8.5 tuvieron incrementos de más de 3°C en la cuenca,
5. En las precipitaciones se encontró que en los escenarios RCP 4.5 para el modelo MIROC 5 se disminuyó en un- 30.03% en cambio para el modelo MIROC-ESM disminuyó en un -26.23%, en los RCP 8.5 para el modelo MIROC 5 se observó disminuciones de precipitaciones en un -49.56% y para el MIROC-ESM disminuyó en un -44.56%.
6. En la evaluación de escorrentía superficial se determinó que todos los escenarios representan disminución de cantidades de volumen de agua superficial teniendo disminuciones en grandes cantidades de -25.86%, -38.96%, -27.58% y 39.08%.
7. Finalmente, la modelación hidrológica permitió observar el comportamiento hídrico al año 2050 bajo posibles escenarios de cambio climático, determinando que los 4 tipos de escenarios hay disminuciones en cantidades de precipitaciones y escorrentía superficial estableciendo que el efecto del cambio climático afecta la disposición hídrica en cantidades generales, generando posible estrés hídrico en la cuenca al año 2050.

VII. RECOMENDACIONES

- El método usado para determinar la incidencia del cambio climático en la disponibilidad hídrica en la cuenca puede ser usado en otra región o diferentes modelos climáticos con diferentes proyecciones.
- Este estudio es primero realizado en la cuenca del río moche teniendo en cuenta la incidencia del cambio climático. Este puede servir como base para un mejor modelo aplicado con mejor información climática o sectorizado a alguna zona en específico de la cuenca del río Moche.
- Se recomienda incidir a realizar más estudios de carácter hidrológico observando la poca importancia que hay de estudio en este rubro en el país, el cual puede ayudar a un mejor manejo del recurso hídrico a nivel de cuenca, sub-cuenca o microcuenca permitiendo la gestión adecuada de esta-
- Para realizar un modelo hidrológico se debe tener en cuenta primeramente la información a ingresar, debido a que no se puede realizar un modelo si no hay información climática de las estaciones o si esta cuenca no posee una estación hidrológica la cual sirve para calibrar y validar el modelo.

REFERENCIAS

ACOSTA, Elismary. Presentación enfoque cuantitativo (rev. 0) pdf.

Es.slideshare.net, 2016. Available from:

<https://es.slideshare.net/javierdlara/presentacion-enfoque-cuantitativo-rev-0-pdf>

ALVAREZ Orozco, EUGENIA Maria. TALLER DE INVESTIGACIÓN.

Ri.uaemex.mx [online] 2015. [Accessed 13 May 2021]. Available from:

<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/34747/secme-19532.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Arturo C. Sanuel Salazar, Jose R & Medina G. Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas productoras de aguacate 'Hass' en Michoacán. 2017.

Scielo. P. 10 – 12. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8nspe19/2007-0934-remexca-8-spe19-4035-en.pdf>

AYBAR C. Modelamiento de la escorrentía en cuencas de montaña: caso de estudio río Vilcanota, *scielo*. [En línea] 2016. [Fecha de consulta 27 de Octubre 2021].

Disponible en: file:///C:/Users/WIN%2010/Downloads/Aybar_cc.pdf

BELTRAN, Raul y GONZA, Katty, Citotoxicidad y genotoxicidad de las aguas de los ríos Jequetepeque y Moche mediante el bioindicador ambiental *Vicia faba* L. Perú, *Scielo*. [En línea] 2017. [Fecha de consulta 27 de Mayo 2021. P. 30]. Disponible

en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172017000300003&script=sci_abstract

CALCI. Changing climate drives future streamflow declines and challenges in meeting water demand across the southwestern United States por Miller [et al].

Scopusrevista [online]. 2021. [Accessed 28 April

2021]. P. 26. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85100578138&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=3c5>

Contrasting effects of climate and LULC change on blue water resources at varying temporal and spatial scales por Xiaolie Li [*et al.*]. China, *ScienceDirect*. [Online] 2021. [Accessed 28 de abril 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721005211>

Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Moche como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A [En línea]. Sedalib S.A. Julio del 2018. [Fecha de consulta 3 de junio]. Disponible en: <http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/32019/20190305-5683862528.pdf>

ECHAVARRÍA, Chairel, GUADALUPE, Francisco, MEDINA, Guillermo. Effect on soil water erosion in grasslands and other types of vegetation due to changes in the rain pattern due to global warming in Zacatecas, Mexico, *INIFAP*, 2020 6-9 pp: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v11s2/2448-6698-rmcp-11-s2-63.pdf>

ERVITI, Maria. CAMBIO CLIMÁTICO. LA EMERGENCIA CLIMÁTICA ANÁLISIS DE EL PAÍS Y EL MUNDO. *Revista PrCALClisma Social* [online]. 2020. No. N° 31, p. 64-81. [Accessed 28 June 2021]. Available from: <https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/59701/1/pdf.pdf>

ESCAMILLA, Marisela. Aplicación básica de los métodos científicos. *Uaeh.edu.mx* 2018. [Accessed 13 May 2021, P. 16]. Available from: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Presentaciones/licenciatura_en_mercadotecnica/fundamentos_de_metodologia_investigacion/PRES38.pdf

ESTRADA Dorothy. The human rights to water and sanitation: a view from International, European and Spanish Law. *anuario Español de derecho Internacional* [online]. 2017. No. Vol 33 /2017, p. 1-3. [Accessed 29 June 2021]. Available from: <https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/56200/1/16919-49447-1- PB.pdf>

FERNANDÉZ, Carlos. Asimilación y evaluación de datos de precipitación en base a satélite en modelamiento hidrológico en la cuenca del río Vilcanota, Perú, *Senamhi*. [Online]. 2016. [Accessed 22 de Abril 2021, P. 25]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-32.pdf>

HIDALGO Ovando, TUN Garrido y MENDOZA Sannel. Effect of climate change on the distribution of keystone species of the coastal dune vegetation in the Yucatán Peninsula, *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 2018. 39 pp Disponible en: [:http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v91/2007-8706-rmbiodiv-91-e912883.pdf](http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v91/2007-8706-rmbiodiv-91-e912883.pdf)

Impact of climate change on water availability and its propagation through the Western U.S. power grid por Voisin Nathalie [et al]. Estados Unidos, *ScienceDirect*. [Online] 2020. [Accessed 22 de Abril 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626192030979X>

Informe del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, 2014, p. 27-30.

JODAR Antonio, RUIZ Marcos y MELGAREJO Joaquin. Evaluación del impacto del cambio climático sobre una cuenca hidrológica en régimen natural (SE, España) usando un modelo SWAT, v. 35, núm. 3, 2018, p. 240-253

JODAR, Antonio. Evaluación del impacto del cambio climático sobre una cuenca hidrológica en régimen natural (SE, España) usando un modelo SWAT. España, *Scielo*, [En línea]. 2018,[Fecha de consulta 9 de junio 2021]. Disponible en:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742018000300240

LEON Ochoa, R. F. ., Portuguez Maurtua, D. M., & Chávarri Velarde, E. A. . . (2019). Modelación de la disponibilidad hídrica del río Piura, Perú, considerando la incidencia del cambio climático. *Revista De Investigaciones Altoandinas*, <https://doi.org/10.18271/ria.2019.476>

LÓPEZ, Thania, MANZANO, Mario and RAMIREZ, Aldo, Vista de Disponibilidad hídrica bajo escenarios de cambio climático en el Valle de Galeana, Nuevo León, México. *Revistatyca.org.mx* [online]. 2017. [Accessed 26 April 2021]. Disponible en: <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1298/pdf>

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, 2017, descripción de los componentes físicos y caracterización ambiental de la cuenca. LIMA: MINEM

Model Evaluation Guidelines Systematica Quantification of in Watershed Simulations por Moriasi[*et al.*], Estados Unidos, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. [Online] 2007. Accessed 09 de junio de 2021]. Disponible en: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=23153>

MONTECELOS, Yalina. Modelación del efecto de la variación climática en el balance hídrico en dos cuencas (México y Cuba) bajo un escenario de cambio climático. México, Cicese. [Online] 2018. Accessed 06 de septiembre de 2021]. Disponible en:

[tesis Montecelos Zamora Yalina 26 oct 2018.pdf \(repositorioinstitucional.mx\)](#)

MUÑOZ Hilda, LEÓN Bienvenido y CARCIA Alberto. Representación del cambio climático en YouTube: un análisis cuantitativo de los vídeos más populares. 2019, 10.5294/pacla.2021.24.1.5.disponible en:

<https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/60191/1/Versi%c3%b3n%20publicada%20%2826%20de%20marzo%20de%202021%29.pdf>

NASH, J.E y SUTCLIFFE, J.E, River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *ScienceDirect*. [Online] 2007. [Accessed 22 de abril2021].Disponiblen:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022169470902556>

Optimizing spatial distribution of watershed-scale hydrologic models using GaussianMixture Models por Maurer Tessa [et al].

EstadosUnidos,

ScienceDirect. [Online].2021. [Accessed 25 de Mayo 2021]. Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364815221001195>

QUISPE Wilder, Nuñez Eduardo E. Distribución potencial de puya raimondii harms en futuros escenarios del cambio climático Potential distribution of puya raimondii harms in future climate change scenarios. No. Volumen 22 N°2, P. 7, 2020. Aviable From:

<http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v22n2/2313-2957-ria-22-02-170.pdf>

RENTERÍA Mena, CAÑÓN Darwin y RAMOS Miguel A. Modeling The Impacts Of The Scenarios Of Climate Change In The Basin Of The Pamplonita River In North OfSantander.No. Volumen 17, p. 15, 2020. Available

from: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/v17n33/2463-0950-eia-17-33-182.pdf>

Sánchez A, Cafaggi F, Amalia A. Manual de práctica de hidrología. No. Volumen 1. p. 11-20: *Observatorio hidrológico en tiempo real* <https://oh-iunam.mx/OH-Manualv2.pdf>

Santhi C., Arnold J., Williams J., Dugas W., Srinivasan R., Hauck L. (2001). Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. *J. American Water Resources Assoc.* 37(5): 1169-1188.

Shafaqat M, Kim Y, Effect of climate and socioeconomic changes on future surface water availability from mountainous water sources in Pakistan's Upper Indus Basin, Pakistan, *ScienceDirect*. [Online] 2021. [Accessed 22 de Abril 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720383534>

Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009 por Neitsch [et al.]. Estados Unidos, *Agrilife Research y extension*, [Online]. 2011,[Fecha de consulta el 2 de junio 2021]. Disponible en: <https://swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf>

Velásquez J, Dávila R. (2017) Evaluation of the climate change impact on hydrological indicators over a central Mexican basin based on an ensemble of climate models and SWAT, Scierlo: Disponible en: <https://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/2017/v18n3-10.pdf>

Wilson García, uso de rutas de concentración representativas en un modelo climático regional para análisis de calentamiento global, 2020. Scielo. P 31. <https://ecfm.usac.edu.gt/sites/default/files/2019-06/TESIS%20FINAL.pdf>

Valladares E. Respuesta Hidrológica De La Cuenca Del Río Santa En Condiciones De Cambio Climático, 2017. P. 30 Disponible en: [Respuesta hidrológica de la](#)

[cuenca del río Santa en condiciones de cambio climático \(1library.co\)](#)

Validación del modelo SWAT en la cuenca del río Quequén Grande y evaluación de potenciales cambios a nivel de cuenca por Feler María [et al.]. Argentina, *ResearchGate*. [En línea]. 2014. [Fecha de consulta 30 de Mayo 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/266373355 Validacion del modelo SWAT en la cuenca del rio Quequen Grande y evaluacion de potenciales cambios a nivel de cuenca/link/542d71c50cf277d58e8cc599/download](https://www.researchgate.net/publication/266373355_Validacion_del_modelo_SWAT_en_la_cuenca_del_rio_Quequen_Grande_y_evaluacion_de_potenciales_cambios_a_nivel_de_cuenca/link/542d71c50cf277d58e8cc599/download)

Zapana J. Incidencia De Precipitacion Grillada En La Respuesta Hidrologica Semidistribuida De La Cuenca Huancané, 2019. P. 21. Disponible en: [Incidencia de precipitación grillada en la respuesta hidrológica semidistribuida de la cuenca Huancané \(unap.edu.pe\)](#)

ZUBIETA, Ricardo, Modelación hidrológica de la cuenca del río llave a partir de datos de precipitación observada y de satélite, periodo 2011-2015, Puno, Perú, *IGP*. [Online]. 2016. [Accessed 9 de Mayo 2021]. Disponible en: <https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/4116/Zubieta-2018.pdf?sequence=1&isAllowed>

ANEXOS

Anexo1. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA/UNIDADES
Escenarios de disponibilidad hídrica	La disponibilidad hídrica de una cuenca es el volumen total del agua precipitada la cual puede ser utilizado para el riego, generación y abastecimiento ANA (2017)	Se generarán escenarios futuros a través del modelo climático global (MarkSim) usando dos generadores climáticos teniendo en cuenta dos trayectorias de concentración repetitiva (RCP) para su posterior comparación y evaluación con el escenario base generado por el SWAT	Parámetros meteorológicos	Precipitación	RAZON
				Temperatura máx y mín	
			Parámetros geomorfológicos	Uso de suelo	NOMINAL
				DEM	
				Tipo de suelo	
			Calibración y validación de modelo Swat	Pendientes	RAZÓN
				Algoritmo suff-2	RAZON
Simulaciones futuras al 2050	Volumen de agua	RAZON			

Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos

INSTRUMENTO N°1 PARAMETROS METEREOLÓGICOS	
TITULO	Escenarios de disponibilidad hídrica al 2050 mediante el modelo SWAT de la cuenca del río Moche - departamento de La libertad.
LINEA DE INVESTIGACION	Gestión de riesgos y adaptación al cambio climático
AUTORES	Quezada Castillo, Yener German
	Rodríguez Rodríguez, Ricky Jander
ASESOR	Ordoñez Galvez, Juan Julio

ESTACIÓN	
-----------------	--


COORDENADAS	
X	
Y	
Z	

VARIABLE:	AÑO
-----------	-----

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13...30												


Dr. Elmer G. Benites Alfaro
 CIP. 71998


LUIS FERMÍN
HOLGUÍN ARANDA
 INGENIERO AMBIENTAL
 Reg. CIP. N° 111111


 Firmado digitalmente por
 Nombre de reconocimiento:
 Alvaro, o=Colegio de Ingenieros del Peru, ou=CIP-190097,
 email=rjanda@gmail.com, c=PE
 Fecha: 2021.06.25 09:30:20
 +05'00'

INSTRUMENTO N°2 CARACTERISTICAS GEOMORFOLÓGICAS	
TITULO	Escenarios de disponibilidad hídrica al 2050 mediante el modelo SWAT de la cuenca del río Moche - departamento de La libertad.
LINEA DE INVESTIGACION	Gestión de riesgos y adaptación al cambio climático
AUTORES	Quezada Castillo, Yener German
	Rodríguez Rodríguez, Ricky Jander
ASESOR	Ordoñez Galvez, Juan Julio

INFORMACIÓN GERMORFOLÓGICA					
INFORMACIÓN	FUENTE	DESCRIPCIÓN	FORMATO	ESCALA	PERIODO



Firmado digitalmente por
Nombre de reconocimiento
Aliaga, o=Colegio de Ingenieros del Perú, ou=CIP 196397,
email=f.pipa@gmail.com, c=PE
Fecha: 2021.06.25 09:30:20
(510)



**LUIS FERMÍN
HOLGUÍN ARANDA
INGENIERO AMBIENTAL
Reg. CIP. N° 111414**



**Dr. Elmer G. Benites Alfaro
CIP. 71998**

INSTRUMENTO N°3 CALIBRACION Y VALIDACION - SIMULACION FUTURA MODELOS CLIMATICOS CESM1-BGC

TITULO	Escenarios de disponibilidad hídrica al 2050 mediante el modelo SWAT de la cuenca del río Moche - departamento de La libertad.
LINEA DE INVESTIGACION	Gestión de riesgos y adaptación al cambio climático
AUTORES	Quezada Castillo, Yener German
	Rodríguez Rodríguez, Ricky Jander
ASESOR	Ordoñez Galvez, Juan Julio

	Coeficiente Nash-Sutcliffe	Coeficiente de determinación	Percent bias	Relación entre el RSME y la desviación estándar de las observaciones
Calibración				
Validación				

CAUDALES PARA EL RCP 4.5												
CAUDALES PARA EL RCP 8.5												



Firmado digitalmente por
 Nombre de reconocimiento
 Alraga, o=Colegio de Ingenieros del Perú, ou=CIP 196397,
 email=f.pilpa@gmail.com, c=PE
 Fecha: 2021.06.25 09:38:20
 +05'00'



**LUIS FERMÍN
 HOLGUÍN ARANDA
 INGENIERO AMBIENTAL
 Reg. CIP. N° 111F11**

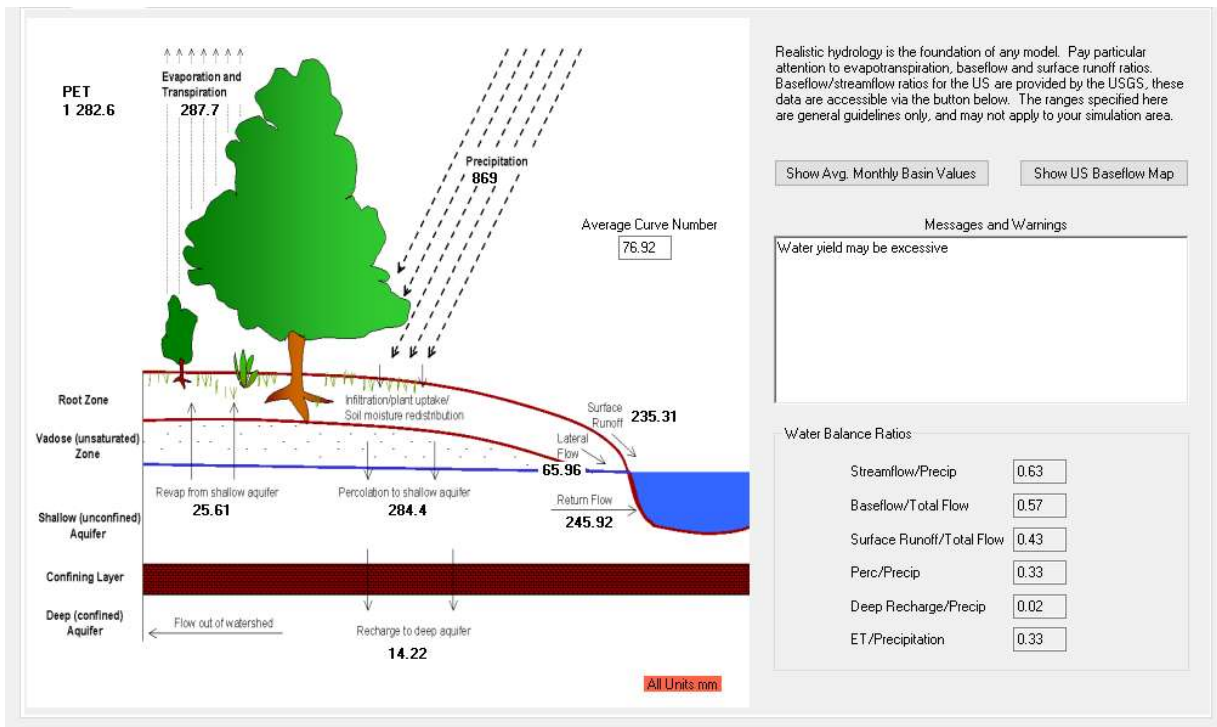


**Dr. Elmer G. Benites Alfaro
 CIP. 71998**

Anexo3. Códigos asignados para tipo y uso de suelo

Name	Plant Code	Origin of Plant Growth Values	Plant Type
Agricultural Land-Generic	AGRL	use values for Grain Sorghum	warm season annual
Agricultural Land-Row Crops	AGRR	use values for Corn	warm season annual
Agricultural Land-Close-grown	AGRC	use values for Winter Wheat	cool season annual
Orchard	ORCD	use values for Apples	trees
Hay [†]	HAY	use values for Bermudagrass	perennial
Forest-mixed	FRST	use values for Oak	trees
Forest-deciduous	FRSD	use values for Oak	trees
Forest-evergreen	FRSE	use values for Pine	trees
Wetlands	WETL	use values for Alamo Switchgrass	perennial
Wetlands-forested	WETF	use values for Oak	trees
Wetlands-nonforested	WETN	use values for Alamo Switchgrass	perennial
Pasture [‡]	PAST	use values for Bermudagrass	perennial
Summer pasture	SPAS	use values for Bermudagrass	perennial
Winter pasture	WPAS	use values for Fescue	perennial
Range-grasses	RNGE	use values for Little Bluestem ($LAI_{max}=2.5$)	perennial
Range-brush	RNGB	use values for Little Bluestem ($LAI_{max}=2.0$)	perennial
Range-southwestern US	SWRN	use values for Little Bluestem ($LAI_{max}=1.5$)	perennial
Water [*]	WATR		not applicable

Anexo 4. Comportamiento general hidrológico en la cuenca



Anexo 5: Temperaturas mensuales de escenarios.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
BASE	15.282	16.348	15.346	16.602	16.260	16.318	16.048	16.982	16.387	16.330	15.056	15.940
MIROC 5 RCP4.5	16.686	17.271	17.314	16.449	18.314	16.914	17.186	18.400	18.414	18.371	18.429	18.771
MIROC 5 RCP 8.5	17.343	18.014	18.000	18.800	18.771	17.329	18.571	19.871	20.829	20.886	21.100	21.529
MIROC ESM RCP 4.5	16.400	17.871	16.900	17.800	17.971	16.500	16.800	18.243	17.957	17.771	17.914	18.671
MIROC ESM RCP 8.5	17.586	17.971	18.071	18.029	19.014	18.671	19.057	19.657	20.257	19.800	19.857	20.629

Anexo 6: Precipitaciones mensuales de escenarios.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
BASE	173.857	169.429	219.770	166.699	53.265	43.958	0.000	0.534	4.057	25.448	57.593	123.236
MIROC 5 RCP 4.5	67.114	96.571	115.486	39.300	12.729	20.786	12.543	37.729	63.171	91.671	91.686	77.357
MIROC 5 RCP 8.5	63.000	69.986	104.614	70.357	44.000	30.971	18.129	25.143	6.029	29.457	31.557	30.157
MIROC-ESM RCP 4.5	80.243	92.629	117.143	53.600	9.400	22.000	18.286	72.729	80.071	79.171	81.243	59.129
MIROC-ESM RCP 8.5	53.057	72.814	107.100	53.929	47.429	32.057	13.743	40.200	19.043	37.143	50.800	48.043

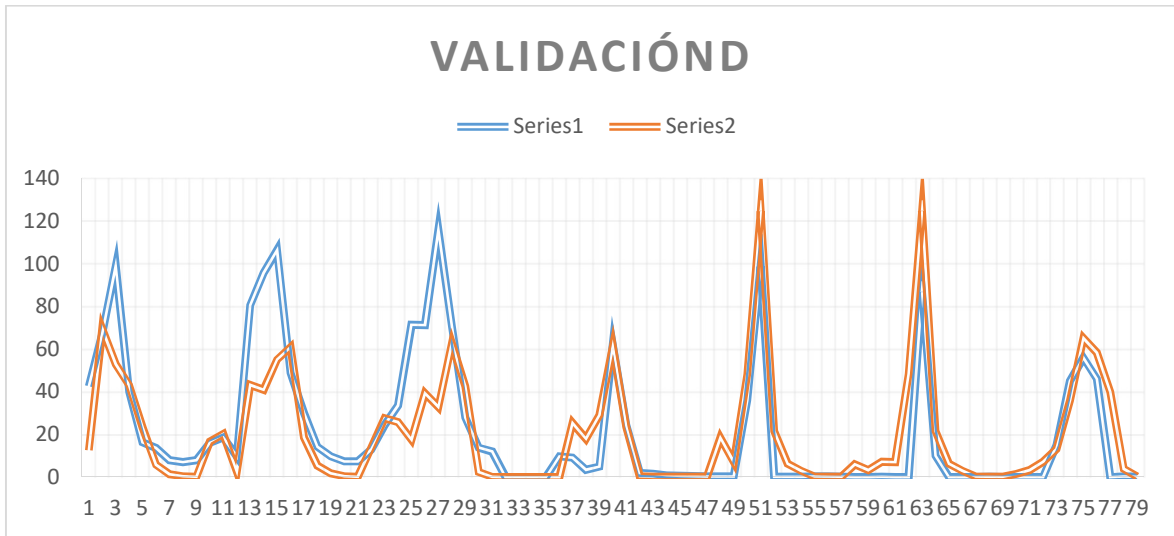
Anexo 7: Escorrentía superficial mensuales de escenarios.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
BASE	17.054	24.533	37.638	17.051	8.593	2.421	1.853	1.359	1.434	2.448	2.722	6.184
MIROC 5 RCP4.5	7.012	9.235	15.658	12.652	9.103	4.895	3.264	6.626	8.986	6.232	4.964	2.786
MIROC 5 RCP 8.5	9.360	8.980	14.350	7.359	8.469	3.265	3.988	2.258	4.654	4.625	3.969	3.986
MIROC ESM RCP 4.5	6.280	9.658	14.652	10.565	8.690	4.987	3.568	8.365	6.325	7.986	5.652	2.563
MIROC ESM RCP 8.5	8.650	8.650	13.690	8.598	7.652	3.654	4.655	3.365	2.982	4.985	3.598	4.624

Anexo 8. Parámetros de sensibilidad ajustados.

Sim_No.	56
1:R_CN2.mgt	-0.2713
2:V_GW_DELAY.gw	472.6843
3:V_GW_REVAP.gw	0.2891
4:V_CH_N2.rte	0.1967
5:V_ESCO.bsn	-0.1158
6:V_EPCO.bsn	0.3709
7:V_REVAPMN.gw	366.4016
8:R_SOL_AWC(..).sol	0.3205
goal_value	0.676594

Anexo 9. Validación de SWAT



Anexo 10. Ejecución de calibración y validación.

The screenshot shows the SWAT-CUP software interface during a calibration and validation process. The main window displays the 'Iter3 - Best_Par.txt' file, which lists the best parameters for the current iteration. The parameters are organized into a table with columns for Parameter Name, Fitted Value, Min. value, and Max. value.

Parameter Name	Fitted Value	Min. value	Max. value
1:R_CN2.mgt	-0.271321	-0.276620	0.076620
2:v_GW_DELAY.gw	472.68429E	199.08259E	658.91741E
3:v_GW_REVAP.gw	0.289144	0.078560	0.301400
4:v_CH_N2.rte	0.196678	0.058400	0.391600
5:v_ESCO.bsn	-0.115805	-0.522000	0.622200
6:v_EPCO.bsn	0.370935	0.198900	0.301100
7:v_REVAPNN.gw	366.401550	127.849800	522.150208
8:r_SOL_AWC(.,.) .sol	0.320480	-0.047800	0.497800

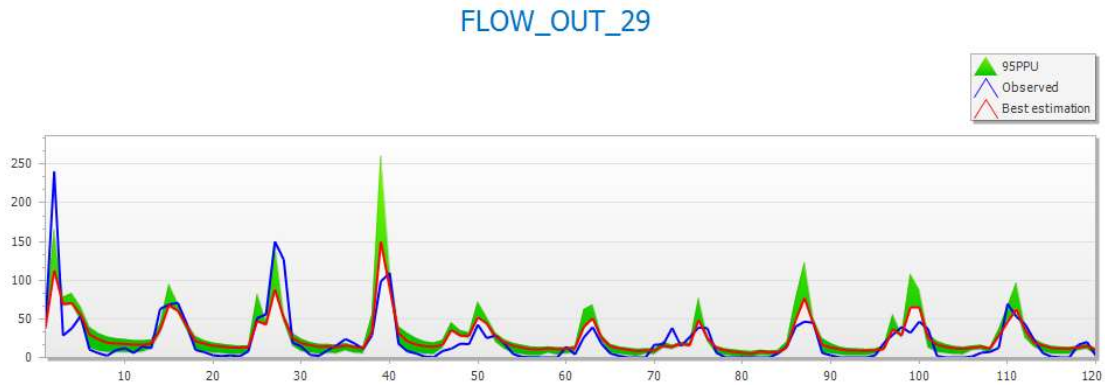
The interface also shows a Project Explorer on the left with folders for Calibration Inputs, Executable Files, Calibration Outputs, Sensitivity analysis, Maps, Utility Programs, and Iteration History. The main window also displays the goal type (R2), number of simulations (100), best simulation number (50), and best goal value (6.765938e-001).

Anexo 11. Calibración del modelo en SWAT-CUP

95ppu plot x Dotty Plots Best_Par.txt Best_Sim.txt Goal.txt New_pars.txt Observed_rch.txt Summary_Stat.txt

95ppu plot
The 95ppu of all variables. Also shown are observations and best simulation of the current iteration.

Record 1 of 2 Search



Anexo 12. Simulaciones y parámetros de calibración.

95ppu plot Dotty Plots Best_Par.txt Best_Sim.txt **Goal.txt** x New_pars.txt Observed_rch.txt Summary_Stat.txt

Goal.txt
The value of all parameter sets as well as the value of the objective function in the last column.

```
no_pars= 8
no_sims= 100
type_of_goal_fn= R2
Sim_No. 1:R_CN2.mgt 2:V_GW_DELAY.gw 3:V_GW_REVAP.gw 4:V_CH_N2.rte 5:V_ESCO.bsn 6:V_EPCO.bsn 7:V_REVAPN.gw 8:R_SOL
```

1	-0.1300	601.4380	0.1956	0.3899	-0.0472	0.6588	453.147E	0.4078	0.658472
2	-0.0382	555.454E	0.1866	0.3400	-0.1501	0.7080	133.7643	0.2659	0.641897
3	-0.1548	541.6595	0.2624	0.2766	0.4448	0.4271	496.5207	0.3259	0.662685
4	-0.2749	316.3405	0.1688	0.3699	0.387E	0.7993	520.1787	0.0095	0.663528
5	-0.0311	325.5372	0.1131	0.0867	0.4334	0.3990	255.9974	-0.0014	0.641216
6	-0.1901	334.7339	0.2468	0.3000	0.2503	0.5254	303.3135	0.178E	0.666968
7	0.0007	330.1355	0.2178	0.2033	-0.1044	0.8274	252.0544	0.1295	0.636309
8	-0.0700	307.1438	0.2290	0.1567	-0.2302	0.7501	425.546E	0.1568	0.650502
9	-0.0558	293.3487	0.1595	0.1067	-0.3103	0.7852	145.5933	0.4132	0.648161
10	-0.0488	210.5785	0.2958	0.286E	-0.0925	0.3780	326.9715	0.4951	0.645220
11	-0.2572	486.4793	0.1198	0.2433	-0.1955	0.6237	232.3394	-0.039E	0.668648
12	-0.1159	642.8232	0.1421	0.3633	-0.2985	0.5184	390.059E	0.3314	0.656470
13	0.0113	371.5207	0.1933	0.3033	0.3648	0.3495	279.6555	0.2605	0.636915
14	-0.1795	481.8810	0.1153	0.1334	0.5245	0.588E	220.5104	0.4569	0.664549
15	-0.0594	638.2249	0.1465	0.2200	0.1245	0.3429	299.3705	0.1732	0.644643
16	0.0466	495.6761	-0.1889	0.2300	-0.5707	-0.3920	291.4845	-0.429E	0.620811
17	0.0607	477.2827	0.1354	0.346E	0.1702	0.7150	445.261E	0.0204	0.620522
18	-0.1265	274.9554	0.2089	0.2067	-0.5048	0.4412	504.4067	0.0640	0.656375
19	-0.1477	339.3322	0.1443	0.2133	0.5478	0.5605	200.7954	0.1459	0.657978
20	-0.2607	320.9388	0.1242	0.316E	0.3991	0.7291	362.458E	0.2987	0.655655
21	-0.2678	251.963E	0.2134	0.1167	0.341E	0.4552	378.230E	0.0368	0.656409
22	-0.087E	527.8645	0.1844	0.1134	-0.4362	0.2094	240.2254	0.4842	0.650492

Anexo 13. Parámetros de sensibilidad y ajuste.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	PROCESO
Cn2	SCS número de curva de escorrentía inicial	Cobertura
Alpha_Bf	Factor "alpha" Del flujo base	Acuíferos
Gw_Delay	Tiempo de retardo del agua subterránea(días).	Acuíferos
Gw_Revap	Coeficiente de aguas subterráneas "revap"	Acuíferos
Gwqmn	Umbral de profundidad del agua en el acuífero	Acuíferos
Sol_Awe	Capacidad de agua disponible (mm agua/mm suelo)	Suelos
Epc0	Factor de compensación de absorción de planta	Transpiración
Esco	Factor de compensación de evaporación del suelo	Evapotranspiración
Canmx	Almacenamiento máximo del dosel (mm)	Cobertura
Ch_N2	Valor n de Manning para el canal principal	Enrutamiento