

# **CARACTERIZACION HIDROLOGICA Y EVALUACION DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO EN LA CUENCA CHIRA (PIURA-PERU) CON EL MODELO HYDROBID.**

## **HYDROLOGICAL CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF CLIMATE CHANGE SCENARIOS IN THE CHIRA BASIN (PIURA-PERU) WITH THE HYDROBID MODEL**

### **MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

**Presentado por:**

**D<sup>a</sup> THAYS YASMIN GUTIERREZ LABAN**

**Dirigido por:**

**Dr. JUAN ANTONIO PASCUAL AGUILAR**

**Alcalá de Henares, 06 de Junio de 2022**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer en Primer lugar a Dios por darme la oportunidad de acceder a este máster Universitario que será fundamental para mi crecimiento profesional, y también por brindarme fuerza y sabiduría para poder desarrollar este Trabajo de Fin de Máster de una manera exitosa. Agradecer también a mis padres y toda mi familia en Perú, que aun estando lejos, han estado presentes para mí, brindándome su apoyo en todo momento. Finalmente, un agradecimiento al Dr. Juan Antonio Pascual Aguilar por el tiempo dedicado a mi persona y por la orientación durante todo el desarrollo del presente Trabajo e Fin de Máster.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCION .....	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivo general .....	11
2.2. Objetivos Específicos .....	11
3. METODOLOGÍA .....	12
3.1 Recopilaron de datos históricos de precipitación y temperatura de diferentes Instituciones en Perú, como lo es la ANA, PECHP y SENAMHI. ....	12
3.2 Uso la interfaz Hydro-BID AHD para definir los límites de la cuenca. ....	13
3.3 Interpolation climatica HydroBID: .....	14
3.4 Calibración del Modelo:.....	15
3.5 Incorporación de proyecciones climáticas al modelo de la cuenca del Chira:18	
3.6 ZONA DE ESTUDIO .....	19
3.7 Hidrografía .....	20
3.8 Climatología .....	21
3.9 Subcuencas .....	21
3.11 Hidrogeología.....	22
3.12 Uso del suelo y cobertura vegetal .....	22
3.13 Estaciones hidrométricas de estudio.....	22
3.14 HydroBid .....	25
3.14.1 Evapotranspiración potencial.....	26
3.14.2 Escorrentía .....	27
3.14.3 Percolación.....	28
3.14.4 Flujo.....	28
4. RESULTADOS.....	29
5. DISCUSIÓN.....	39
6. CONCLUSIONES .....	40
7. BIBLIOGRAFÍA .....	41

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Localización de Estaciones Pluviométricas.....	12
Tabla 2.	Subcuencas de la Cuenca Chira y COMIDS.....	14
Tabla 3.	Rangos de parámetros estadísticos para la calibración del modelo ( Amaya, 2019 ) .....	16
Tabla 4.	Los parámetros principales de GWLF ( Moreda, Millares &Muñoz. 2014) .....	16
Tabla 5.	Características de los parámetros utilizados en la simulación con HydroBID .....	17
Tabla 6.	Escenarios RCP (Trayectorias de concentración Representativas) .....	18
Tabla 7.	División de subcuencas de la Cuenca del Chira .....	21
Tabla 8.	Coordinas de Ubicación de las estaciones Hidrométricas dentro de la cuenca del Chira .....	23
Tabla 9.	Valores Estadísticos para valores diarios y mensuales de la Estación Ardilla . .....	29
Tabla 10.	Valores de los Parámetros de calibración asignados en la Estación Ardilla: .....	29
Tabla 11.	Flujos Anuales Promedios Estación Ardilla: .....	30
Tabla 12.	Valores Estadísticos para valores diarios y mensuales de la Estación Ciruelo.....	31
Tabla 13.	Valores de los Parámetros de calibración asignados en la Estación Ciruelo: .....	32
Tabla 14.	Flujos Anuales Promedios Estación Ciruelo: .....	32
Tabla 15.	Valores Estadísticos para valores diarios y mensuales de la Estación Puente Internacional. ....	34
Tabla 16.	Valores de los Parámetros de calibración asignados en la Estación Ciruelo: .....	34
Tabla 17.	Flujos Anuales Promedios Estación Puente Internacional:.....	34
Tabla 18.	Caudales modelados y simulados para la Estación Ardilla en un escenario de cambio climático RCP 4.5 ( AÑOS 2020-2039) .....	36
Tabla 19.	Caudales modelados y simulados para la Estación Ardilla en un escenario de cambio climático RCP 6.0 ( AÑOS 2020-2039) .....	36
Tabla 20.	Caudales modelados y simulados para la Estación Ardilla en un escenario de cambio climático RCP 6.0 ( AÑOS 2020-2039) .....	36
Tabla 21.	Caudales modelados y simulados para la Estación Ardilla en un escenario de cambio climático RCP 6.0 ( AÑOS 2020-2039) .....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicaciones de Estaciones Hidrométricas para la calibración del modelo .....	14
Figura 2.	Ubicación de la Cuenca Chira .....	19
Figura 3.	Mapa de Red Hidrográfica de la Cuenca Chira.....	20
Figura 4.	División de Subcuencas de la Cuenca Chira .....	21
Figura 5.	Ubicación de las Estaciones Hidrométricas dentro de la Cuenca del Chira . .....	23
Figura 6.	Representación esquemática del modelo GWLF. Tomada de (Fekadu Moreda, 2014)...	26
Figura 7.	Hidrograma de resultados Diarios de Caudal observado y modelado en la Estación Ardilla: .....	30
Figura 8.	Hidrograma de resultados Diarios de Caudal observado y modelado en la Estación Ciruelo: .....	33
Figura 9.	Hidrograma de resultados Diarios de Caudal observado y modelado en la estación Puente Internacional:.....	35

## ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico 1. Caudales promedio anual máximo, mínimo y medio de la Estación Hidrométrica Ciruelo:	24
Grafico 2. Caudales promedio anual máximo, mínimo y medio de la Estación Hidrométrica Ardilla:	24
Grafico 3. Caudales promedio anual máximo, mínimo y medio de la Estación Hidrométrica Puente Internacional:	25
Grafico 4. Caudales observados vs. Caudal simulado en la Estación Ardilla	30
Grafico 5. Curva de Duración de Caudales Observados Vs Simulados en la Estación Ardilla	31
Grafico 6. Caudales observados vs. Caudal simulado en la Estación Ciruelo	32
Grafico 7. Curva de Duración de Caudales Observados Vs. Simulados en la Estación Ciruelo:	33
Grafico 8. Caudales observados vrs Caudal simulado en la Estación Ciruelo	34
Grafico 9. Curva de Duración de Caudales Observados Vrs Simulados en la Estación Puente Internacional:	35

## **TABLA DE ABREVIATURAS**

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

PECHP: Proyecto Especial Chira Piura

ANA: Autoridad Nacional del Agua

ALA CHIRA: Autoridad Local del Agua Chira

(GWLF): Factor de Carga de Cauces Generalizados

AHD: Conjunto de Datos de Hidrografía Analítica

AWC: Capacidad disponible de retención de agua del suelo

ET: Evapotranspiración

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo demuestra las capacidades de la herramienta de modelaje de recursos hídricos Hydro-BID en una aplicación para la cuenca del Rio Chira en Perú con el objetivo de evaluar el impacto del cambio climático en esta cuenca.

Actualmente Existe una preocupación muy grande por parte de la comunidad Piurana, ya que la coyuntura actual en lo referente al cambio climático ha venido provocando períodos de escasez más frecuentes y extremos, por tal razón se cree conveniente centrarse en esta cuenca que es de mucha importancia y relevancia para la Región de Piura. Con el fin de cumplir los objetivos planteados se realizó primero la calibración del modelo de las tres estaciones hidrométricas con las que contábamos de información para un periodo de simulación comprendido entre 2013- 2017. De los resultados obtenidos, se concluyó que el menor error de calibración se dio en la Estación Hidrométrica Puente Internacional Macara, donde se observó que los caudales observados y los caudales simulación presentan una mínima variación, lo cual indica que hay una calibración optima. Caso contrario pasa con la estación Ardilla, la cual se encuentra aguas abajo en la que existe una variación muy amplia entre los caudales observados y los caudales simulados. Posterior a ello se realizaron simulación de cambio climático para la cuenca del Chira en tres escenarios: RCP 4.5 , RCP 6.0 , RCP 8.5 para la misma serie temporal de la calibración inicial ( 2013-2017 ) , pero proyectados al año 2020-2039 .

## 1. INTRODUCCION

La hidrografía peruana es una de las más extensas y ricas de América latina. El Perú contiene el 4% del agua dulce del planeta distribuidas en 54 cuencas hidrográficas, 52 de las cuales vierten sus aguas al Océano Pacífico. Sin embargo esta oferta hídrica no se encuentra repartida de manera equitativa sobre el área debido a una mala gestión integrada de los recursos hídricos , lo que ha generado zonas con excesos de precipitación y por otro lado zonas áridas y susceptibles a desabastecimientos como ocurre en el norte del Perú , siendo más específicos en la Región Piura – Perú, sumándole a ello los efectos producidos por los abruptos cambios climáticos producidos por fenómenos meteorológicos , como el Fenómeno del Niño Costero , los cuales han afectado gravemente a esta región los últimos años ( Marzo del 2017 ) , provocando inundaciones y sequias extremas con periodicidades cada vez más cortas.

En los últimos años, se ha podido identificar que las cuencas hidrográficas son espacios que permiten la planificación territorial, por tal motivo , desde hace varios años en Perú , se viene trabajando en la generación de políticas , instrumentos y estrategias , proyectos y planes de índole innovador para una adecuada gestión integrada de cuencas hidrográficas, por tal motivo considero necesario además de estas políticas e instrumentos , contar con softwares , herramientas o programas de simulación y modelación hidráulica e hidrológica para las cuencas más importantes de nuestro País , con la finalidad de conocer con exactitud y de una manera más real el comportamiento de las cuencas en una región , y conocer la cantidad de agua o la oferta de agua de las cuencas , lo cual será de mucha ayuda para los organismos que gestionan en recurso hídrico en nuestro país , ya que permitirá gestionar de una manera más optima los recursos hídricos disponibles . Así mismo es importante no solo conocer el comportamiento hidrológico de las cuencas , sino también tener acceso a información relevante como transporte de sedimentos, calidad de agua y cambios climáticos futuros, todo ello a fin de evitar riesgos potenciales en un escenario de cambio climático como por ejemplo inundaciones en zonas medias y bajas de la cuenca, estrés hídrico que se proyectan a futuras sequias. En ese sentido se ha creído pertinente hacer uso de la herramienta de modelaje de recursos hídricos Hydro-BID,

una potencial herramienta que realiza simulaciones hidrológicas y gestiona los recursos hídricos de una cuenca en diferentes escenarios de cambio climático, uso de suelo, población, etc.; y que cuenta con una base de datos de toda América Latina y el Caribe que contiene la delimitación de una gran cantidad de subcuencas con una muy buena precisión en las regiones antes mencionadas, por tal motivo para el presente TFM se ha hecho uso de esta importante herramienta aplicada a la cuenca del Río Chira en Perú, ubicada en la Provincia de Sullana – Departamento de Piura, una cuenca de gran importancia y relevancia para la Región de Piura, ya en ella se reserva agua en la Presa Poechos para abastecer de agua de uso poblacional, agrícola e industrial a las provincias de Piura, Sullana, Paita y parte de Talara.

una cuenca con la finalidad de evaluar el impacto del cambio climático en esta cuenca, el cual genera una gran preocupación en la comunidad Piurana, puesto que los últimos años se han podido evidenciar los impactos del cambio climático, que a su vez han provocado períodos de escasez de agua cada vez más frecuentes y extremos que han des. Por tal razón se cree conveniente centrarse en esta cuenca que es de mucha importancia y relevancia para la Región de Piura, ya que con esta cuenca se reserva agua en la Presa Poechos para abastecer de agua de uso poblacional, agrícola e industrial a las provincias de Piura, Sullana, Talara y Paita,

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar la aplicación de la herramienta Hydrobid en la cuenca del Rio Chira en la provincia de Piura – Perú y dar a conocer su potencial utilidad en la modelación hidrológica de cuencas y apoyo técnico para la toma de decisiones eficaces en estudios de gestión de recursos hídricos adaptados a futuros cambios climáticos.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Construcción y desarrollo del modelo HydroBID en la cuenca Chira, localizada en el Departamento de Piura en Perú.
- Delimitación de la cuenca Chira usando Hydro-BID AHD
- Calibración del Modelo HydroBID en la cuenca del Chira usando datos de caudal observado en tres estaciones de la cuenca.
- Elaboración y evaluación de escenarios de cambio climático en el Modelo HydroBID considerando las perspectivas globales.

### 3. METODOLOGÍA

El Presente trabajo se centra en la Cuenca del Chira, ubicado en la provincia de Sullana, Departamento de Piura en Perú. Para el desarrollo de este Trabajo de Fin de master, se siguió la siguiente metodología:

#### 3.1 RECOPIARON DE DATOS HISTÓRICOS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DE DIFERENTES INSTITUCIONES EN PERÚ, COMO LO ES LA ANA, PECHP Y SENAMHI.

Como primer paso, se recopiló información necesaria referente a medidas de niveles de agua en el Rio Chira y afluentes, los cuales fueron evaluados y corregidos. Para tal caso se trabajó con las estaciones hidrológicas activas, las cuales son administradas por SENAMHI y del PECHP. Se obtuvieron datos de precipitación de 7 estaciones pluviométricas localizadas en su mayoría dentro de la cuenca. En la tabla 1 se detalla la ubicación las Estaciones meteorológica dentro de la cuenca de Estudio

**Tabla 1.** Localización de Estaciones Pluviométricas Cuenca del Chira.

Estación	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Altitud
Alamor	Sullana	Lancones	4°28'38.65" S	80°23'52.63" W	116
Ayabaca	Ayabaca	Ayabaca	4°38'15.92" S	79°42'38.76" W	2633
Lancones	Sullana	Lancones	4°38'34.36" S	80°32'49.83" W	133
Mallares	Sullana	Marcavelica	4°51'20.67" S	80°44'8" W	44
Partidor	Ayabaca	Ayabaca	4°43'55.09" S	80°16'48" W	
Sapillica	Ayabaca	Sapillica	4°46'29.36" S	79°56'58.88" W	1446
Sausal	Ayabaca	Ayabaca	4°45'8.55" S	79°45'28.52" W	997

A través de estadísticas, se pudo determinar que los registros de estas estaciones pluviométricas eran inconsistentes. Para hacer esta verificación, existen muchos métodos, uno de ellos es el método de las dobles (UNESCOROSTLAC, 1982).

Durante el procesamiento de la información, se observó que muchas de las 7 estaciones tenían periodos en los que faltaban datos registrados, deduciendo que estas estaciones tenían fallas en su calibración o instrumentación que han dado lecturas erradas. Por tal motivo, se estimaron estos datos faltantes, a partir de los registros en estaciones vecinas, tomando las más cercanas a la ubicación de las estaciones faltantes de datos.

### **3.2 USO LA INTERFAZ HYDRO-BID AHD PARA DEFINIR LOS LÍMITES DE LA CUENCA.**

Con la información meteorológica y pluviométrica necesaria, se procedió a la caracterización de cuencas y subcuencas en el modelo Hydro-BID.

Para iniciar con la simulación en HydroBid, es necesario conocer el punto más bajo de la cuenca por donde drenara el agua, este punto tiene un código, que se le denomina "COMID" dentro de la base AHD. Al seleccionar el COMID, de esta subcuenca, queda delimitada automáticamente nuestra cuenca de Estudio. Adicional a ello cargamos la información de las coordenadas de las estaciones meteorológicas de las que tenemos datos de precipitación y temperatura. De igual manera gracias a las funciones de la herramienta QGIS, obtenemos los centroides de cada una de las subcuencas contempladas en nuestro ámbito de estudio. Se usaron fuentes de datos internacionales para el uso de la tierra y la cobertura del suelo. Así mismo, contamos con estaciones de aforos de caudales dentro del ámbito de estudio de nuestra cuenca como tenemos 3 estaciones de aforo en nuestra cuenca, las cuales serán vitales para poder realizar la calibración de nuestro modelo más adelante. Gracias a la herramienta AHD, se delimitaron las subcuencas que drenan hacia las tres estaciones aforo de las cuales se tienen datos de caudales. Para efectos de este Trabajo de Fin de Master llamaremos a estas subcuencas con el mismo nombre de las estaciones de aforo. En la Tabla 02 se detallan estas subcuencas, las cuales están identificadas con un número COMID, dentro de la base del HydroBid

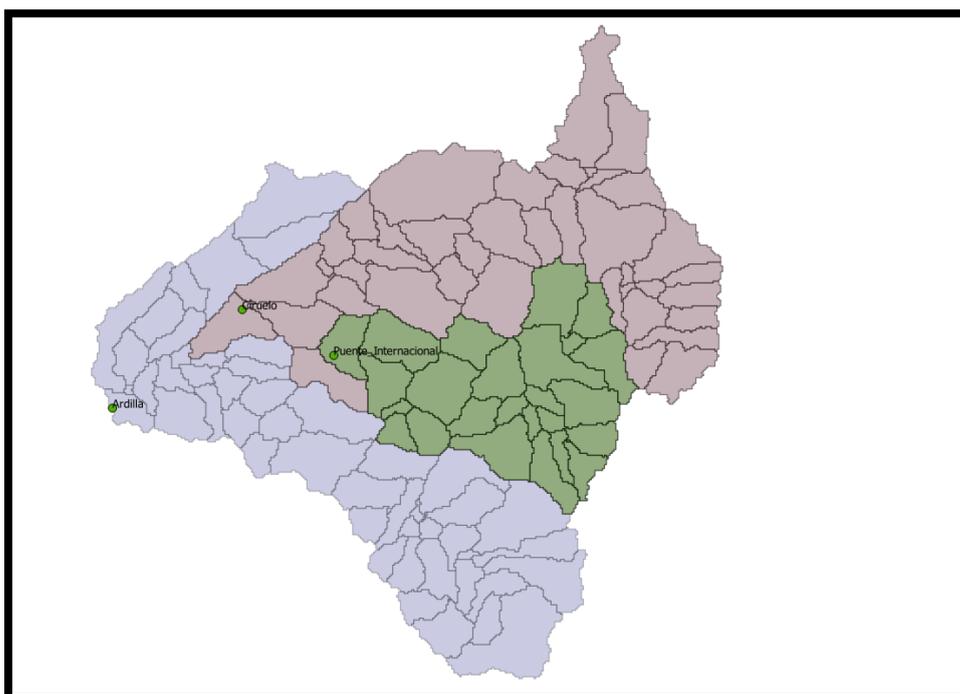
**Tabla 2.** Subcuencas de la Cuenca Chira y COMIDS

Subcuenca	COMID
Puente Internacional	305129500
Ciruelo	305163200
Ardilla	305208400

**Figura 1.** Ubic

**Figura 2.**

**Figura 3.** Eaciones de Estaciones Hidrométricas para la calibración del modelo



### 3.3 INTERPOLATION CLIMATICA HYDROBID:

Para la interpolación climática, usaremos la metodología IDW del módulo de interpolación en HydroBID, el cual interpola datos tanto de precipitación como de temperaturas para cada una de las de para cada de las cuencas que existen en la base de la AHD, que son todas las cuenca América Latina y América Central . Para hacer efectiva la interpolación, será necesario ingresar a este módulo los datos de las cuencas o subcuencas a estudiar, así como las estaciones a interpolar. Para el presente caso de estudio se ha creído pertinente trabajar con 07 estaciones meteorológicos con registros de precipitaciones. Producto de la interpolación, se obtuvo una nueva base de datos almacenados , con nuevos valores de precipitación

y temperatura diarios para la cuenca de estudio, con un periodo de simulación que comprende desde 01/12/1997 al 30/09/2017.

### **3.4 CALIBRACIÓN DEL MODELO:**

Para la calibración del modelo en nuestra cuenca del Chira se hizo uso de los caudales registrados en las estaciones de Aforo: Puente Internacional, Ciruelo y Ardilla. Primero se realizó la calibración de la subcuenca donde se encuentra la estación Puente Internacional, al ser la cuenca más aguas arriba y cuyo COMID es: 305129500, posterior se realizó la calibración de la subcuenca donde se encuentra la estación: Ciruelo, cuyo COMID es: 305136200. Finalmente se calibro el modelo con la estación donde se encuentra la subcuenca Ardilla, que es la estación que se encuentra aguas más abajo de toda la cuenca de estudio, cuyo COMID es: 305208400. Para obtener una óptima calibración del modelo en Hydrobid , se realizaron diversas combinaciones y/o variaciones en los parámetros del modelo, con la finalidad de obtener bajos porcentajes de error , y en el mejor de los casos hasta lograr que las gráficas o curvas de valores observados versus valores simulados se asemejen. Para evaluar la veracidad de la simulación, HydroBID realiza diferentes cálculos estadísticos con respecto a los datos propios de las estaciones, estas pruebas pueden ser las siguientes:

- Error de volumen general (ove)
- Correlación  $-r$
- Coeficiente de correlación modificado, rmod
- Índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe, R2

En la siguiente tabla se muestran los rangos estadísticos propuesto para garantizar una optima calibración del Modelo en HydroBid.

**Tabla 3.** Rangos en los valores parámetros estadísticos para la calibración del modelo (Amaya, 2019)

Parámetros Estadísticos	Valor adecuado en un modelo de calibración
Volumen de error	+/- ( 20-30 o 30-40)
Numero de Correlación	Lo más cerca de 1
Correlación del modelo	Lo más cerca de 1
R2	Cercano a 0.40 o 0.6

A continuación se presenta la tabla N°04 , la cual presenta los parámetros principales de GWLF , los cuales están anclados a la base de datos para cada cuenca de la AHD,.

**Tabla 4.** Los parámetros principales de GWLF ( Moreda, Millares &Muñoz. 2014)

Parámetros	Descripción	Método de Estimación
Capacidad disponible de agua del suelo (U).	Activa el inicio de la percolación	Se puede estimar por las características del suelo.
Numero de Curva (CN)	Controla la cantidad inicial de abstracción y usada para calcular la detención	Se escoge usando el uso del suelo y el tipo de clasificación del suelo.
Coefficiente de la Curva de Evaporación (CV)	Representa la variación de la evaporación debido al crecimiento de la vegetación.	Se estima mensualmente
Coefficiente de recesión de aguas subterráneas (r)	Controla la tasa de flujo de agua subterránea desde la zona saturada.	En estaciones de aforo en las cuencas. Puede ser estimado usando técnicas de separación hidrológica.
Parámetro de Percolación ( s)	Controla la tasa de percolación hacia el acuífero de aguas subterráneas profundidad	Dependiendo de la formación geológica, los parámetros de percolación pueden ser muy variables

Para la simulación de caudales de salida de una cuenca, HydroBID utiliza siete parámetros, los cuales se detallan en la Tabla N°05. Hay que tener en cuenta que para tener una calibración óptima del modelo, se tiene que variar estos parámetros de manera manual.

**Tabla 5.** Características de los parámetros utilizados en la simulación con HydroBID

Parámetro	Detalle	Rango
Numero de Curva (CN)	Caracteriza el tipo e hidrología del suelo	0.5-1.2
Contenido disponible de Agua (AWC)	Estima el monto de agua que se puede almacenar en el suelo para ser usado por las plantas	0.1-1.5
Coefficiente de recesión (r)	Caracteriza como el agua subterránea cerca de la superficie contribuye a los caudales en los rios después de grandes eventos de caudal.	0.001-0.75
Perdidas por Infiltración (Seepage)	Intercambio entre el agua cerca de la superficie hacia las zonas más profundas.	0.001-01
Factor de evapotranspiración en temporada inicial de cultivo (ET1)	Depende de la presencia y tipo de suelo, indica un aumento adicional de pérdidas por evapotranspiración	0.1-1
Factor de evapotranspiración en temporada final de cultivo (ET2)	Depende de la presencia y tipo de suelo, indica una disminución de las pérdidas por evapotranspiración	0.1-1
%superficie impermeable (ICP)	Indica el porcentaje de superficie impermeable en la subcuenca	1

### 3.5 INCORPORACIÓN DE PROYECCIONES CLIMÁTICAS AL MODELO DE LA CUENCA DEL CHIRA:

HydroBID, posee una herramienta para analizar simulaciones para el análisis de escenarios de cambio climático; a través del apartado “Climate Scenario” esta herramienta permite variaciones de precipitación y temperatura sobre una base anual o mensual. Para obtener el escenario de cambio climático utilizaremos la información del Portal del Banco Mundial sobre el cambio climático. Para evaluar estos escenarios HydroBID requiere información de Cambio Climático en cuanto al aumento de temperatura (Celsius) y el cambio en la precipitación (%). A través de este portal del Banco Mundial se descargaron los diferentes pronósticos para distintos periodos de tiempo (2020-2039).

Se seleccionaron los modelos de cambio climático 'CMIP5', que representa la colección de 35 modelos con datos diarios a través de los RCP, los cuales son escenarios que incluyen series de tiempo de emisiones y concentraciones del conjunto completo de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo / cobertura del suelo (Moss & Babiker, 2008). En la Tabla 6 se detallan los escenarios RCP.

**Tabla 6.** Escenarios RCP (Trayectorias de concentración Representativas)

Escenario	Descripción	CO2 Concentración (ppm)	Calentamiento global hasta 2100 (Rango medio probable)
RCP 2.6	Pico en el forzamiento de reactivación -3 W/m <sup>2</sup> antes del año 2100 y luego declina	490	1.0(0.3-1.7) °C
RCP 4.5	Estabilización y sin vía de sobrepaso a -4.5 W /m <sup>2</sup> a la estabilización después de 2100 años	650	1.8(1.1-2.6) °C
RCP 6.0	Estabilización y sin vía de sobrepaso a -6 W /m <sup>2</sup> a la estabilización después de 2100 años	850	2.2(1.4-3.1) °C
RCP 8.5	Aumento de la vía de forzamiento de reactivación que conduce a 8.5 W/m <sup>2</sup> para el año 2100 .	1370	3.7(2.6-4.8) °C

Para el presente estudio se realizó la modelación para 3 escenarios: RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5, para cada una de las estaciones de aforo que tenemos en la cuenca de estudio.

### 3.6 ZONA DE ESTUDIO

La cuenca hidrográfica binacional Catamayo-Chira, ocupa una superficie de 17 199,18 km<sup>2</sup>, de los cuales 7 212,37 km<sup>2</sup> están en territorio ecuatoriano. La cuenca del Chira ocupa una superficie de 9 986,81 km<sup>2</sup> en el Estado Peruano, abarcando parte del departamento de Piura, provincia de Sullana y parte de las provincias de Ayabaca, Huancabamba, Morropón, Paita, Talara y Piura. Las coordenadas de esta cuenca son: 03°30´ a 05°08´ latitud sur y 79°- 10´ a 81° 11´ de longitud oeste. El rango altitudinal va desde el nivel del mar en la desembocadura del río Chira en el Océano Pacífico y la cota 3,700 m s.n.m. La cuenca del Chira limita por el norte con la cuenca Puyango - Tumbes (departamento de Tumbes en Perú y las provincias de El Oro y Loja en Ecuador), por el este limita con la provincia Zamora - Chinchipe de Ecuador, por el sur con las provincias de Piura y Huancabamba en Perú y por el oeste con el Océano Pacífico. (Mylene Varona-Alama,2018).

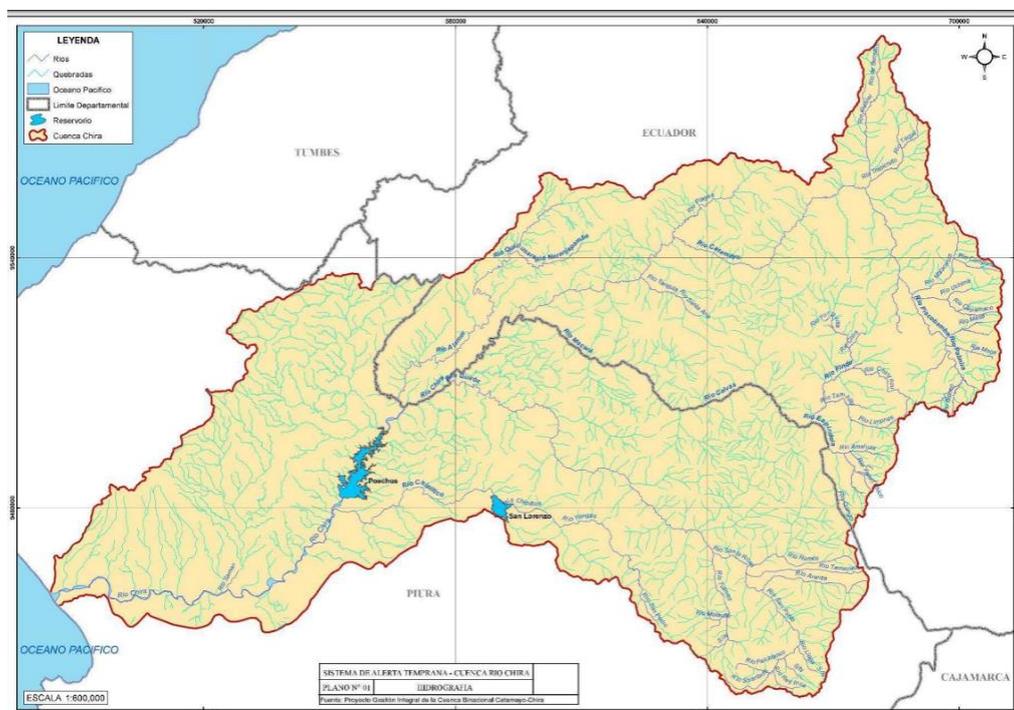


Figura 4. Ubicación de la Cuenca Chira

### 3.7 HIDROGRAFÍA

La red hidrográfica tiene características detríticas, teniendo un buen drenaje, su curso principal es el río Catamayo Chira, el cual tiene una longitud desde la parte alta que es donde nace hasta la parte baja donde desemboca (océano pacifico) de 315 km, de los cuales 196 km están en territorio ecuatoriano y 119 km en territorio peruano. El Rio Catamayo - Chira , en la parte de Ecuador , se forma por la unión de dos rios : está en la zona del Ecuador, y se forma debido a la unión de tiene sus orígenes en la unión de dos río , el cual recibe aportes de otros pequeños rios hasta que llega a encontrarse con el río Macará. A partir de la unión de los ríos Catamayo y Macará, el curso principal de la cuenca toma la denominación de Chira, el cual tiene una extensión de 50 km hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

El río Chira es uno de los rios más caudalosos de la costa Peruana , situándose como el segundo después del Rio Santa en Cajamarca , y es de vital importancia para la Región de Piura , ya que provee de agua a la represa de Poechos, la cual abastece de agua para riego a más de 108 000 hectáreas de los valles de Chira y Piura; siendo de vital importancia para la agricultura en la Región , así mismo abastece de agua para uso poblacional a la Provincias de Piura , Sullana , Paita y parte de Talara (CONSORCIO ATAUNL-UNP, 2005).

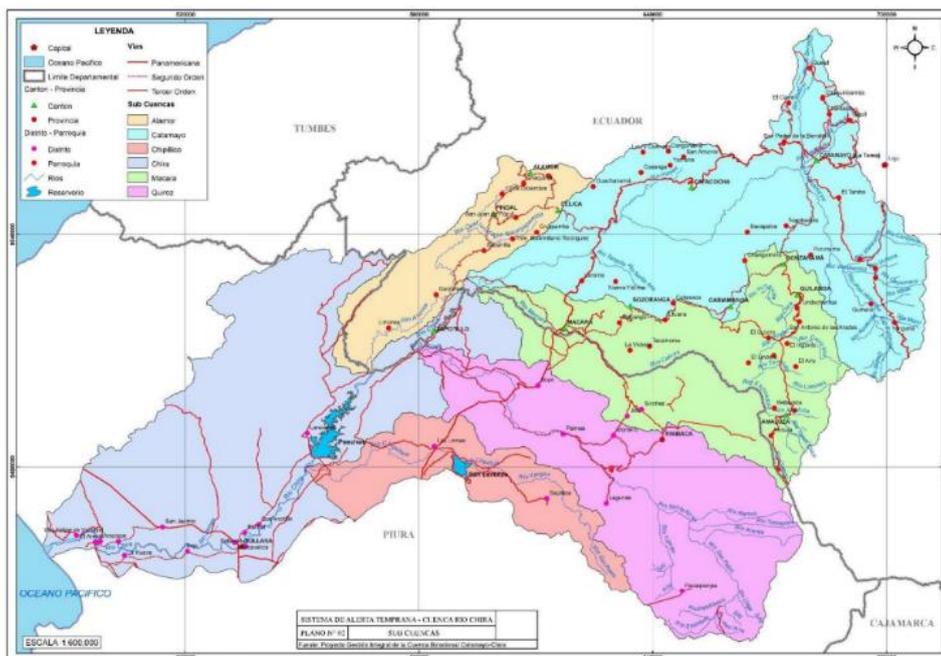


Figura 35. Subcuencas de la cuenca Catamayo-Chira.

Figura 5. Mapa de Red Hidrográfica de la Cuenca Chir

### 3.8 CLIMATOLOGÍA

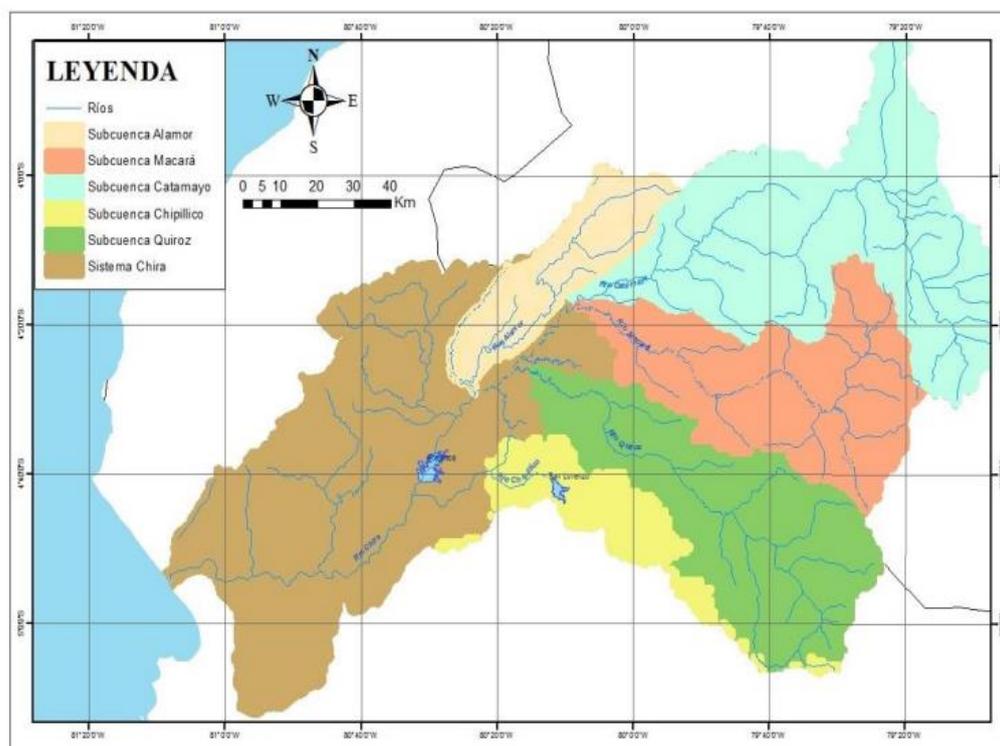
La cuenca del Chira, posee un clima muy variado, es árido y semiárido en las partes bajas de la cuenca, pero también puede llegar a ser subhúmedo, húmedo y muy húmedo en la parte alta. La temperatura promedio en la cuenca media es del orden de 24°C; alcanzando en ocasiones valores máximos de hasta 28°C y 35°C y mínimos de hasta 13°C y 20°C, en épocas de verano e invierno, respectivamente.

### 3.9 SUBCUENCAS

La Cuenca Catamayo Chira, Se divide en 6 subcuencas, las cuales están divididas en base a su hidrografía. El colector receptor principal, el Río Catamayo Chira, recibe aguas de seis afluentes principales, delimitando así cada una de las subcuencas.

**Tabla 7.** División de subcuencas de la Cuenca del Chira

SUBCUENCA	EXTENSION (km <sup>2</sup> )	UBICACION
Quiroz	3109	Perú
Chira	4712	Perú- Ecuador
Chipillico	1171	Perú
Alamor	1190	Perú- Ecuador
Macara	2833	Perú- Ecuador
Catamayo	4181	Ecuador



**Figura 6.** División de Subcuencas de la Cuenca Chira

### **3.10 HIDROGEOLOGÍA**

La Cuenca de Chira tiene una gran cantidad de agua subterránea, sin embargo, no existe mucha información referente a ello para poder realizar una caracterización. Se estima que la conductividad hidráulica de estas aguas es de 5 mmhos/cm a 25 °C y en lugares muy localizados, y en la parte baja de la Cuenca, los valores de conductividad hidráulica están por encima de 20 mmhos/cm a 25 °C.

El agua se explota de una manera irracional y poco planificada, y por lo general es usada en el sector agropecuario, domestico e industrial. En la parte baja de la cuenca es donde más explotación de pozos excavados superficiales y profundos existen, sin embargo, no hay un mantenimiento de los equipos y pozos.

### **3.11 USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL**

La cuenca del Chira, cuenta con una gran variedad de características en lo que respecta al uso actual del suelo, diferenciándose entre cultivos, pastizales, bosques, vegetación arbustiva, páramo y otros. El tipo de suelo que predomina es el bosque con 698 602,12 ha (40,62% de la Cuenca), posterior a ello están los pastos con 501 639,1 ha (29,17%), luego la vegetación arbustiva con 232 277,54 ha (13,51%). Los cultivos con 177 731,35 ha (10,33%). El páramo andino con 25 740,44 ha (1,50%) y finalmente hay áreas dedicadas a otros usos (áreas erosionadas o en proceso de erosión, áreas urbanas, agua natural e islas) con 83 927,06 ha (4,88%).

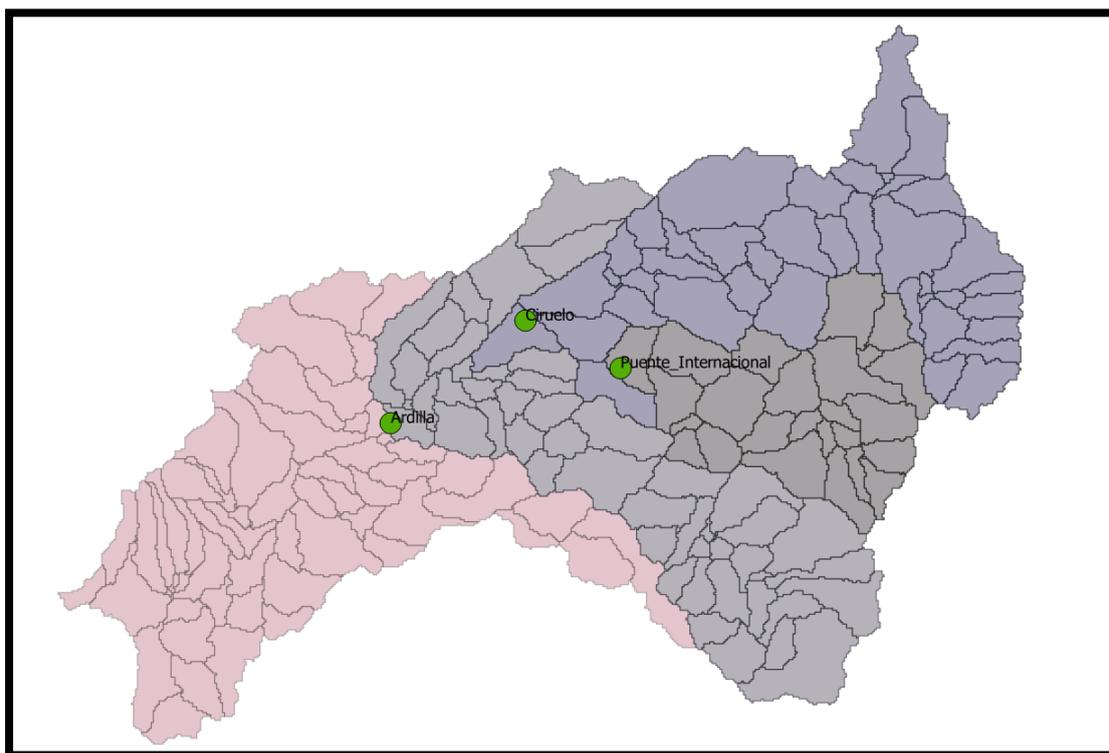
### **3.12 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS DE ESTUDIO**

Es importante tener información hidrométrica para poder realizar la calibración del modelo en HydroBid, en tal sentido Senamhi lleva el registro hidrológico de las estaciones presentes en la cuenca. siendo estas estaciones las siguientes:

- Estación Ciruelo: Esta estación se ubica en Suyo, distrito perteneciente a la provincia de Ayabaca, en el departamento Piura, la cual evalúa la disponibilidad hídrica que provienen del río Chira. Actualmente es operada por el Proyecto Especial Chira Piura.
- Estación Puente Internacional: Esta estación hidrométrica está ubicada en la frontera Perú – Ecuador, la cual evalúa la disponibilidad hídrica que provienen del rio binacional Macara. Actualmente es operada por el Proyecto Especial Chira Piura.

- Estación Ardilla: Esta estación está ubicada en el distrito de Lancones, en la provincia de Sullana, departamento de Piura, y evalúa los recursos hídricos disponibles provenientes del río Chira a la entrada del reservorio Poechos. Se encuentra a cargo del Proyecto Especial Chira Piura

A continuación, se detalla la ubicación de cada una de las referidas estaciones hidrométrica a lo largo de la cuenca:

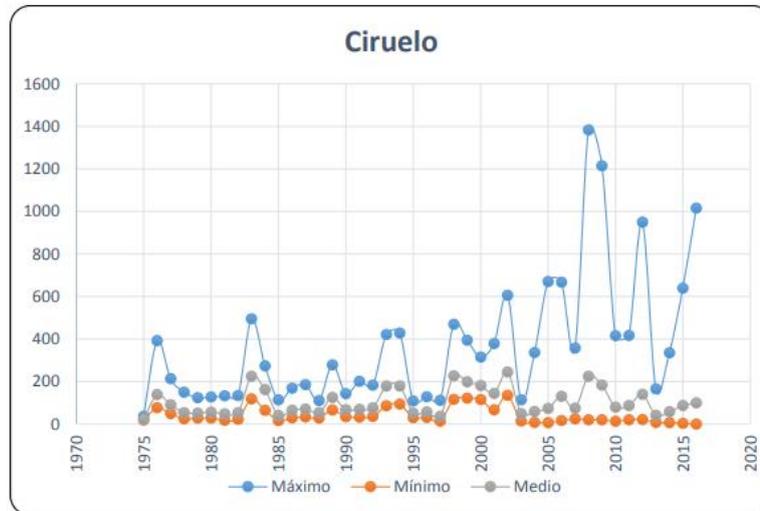


**Figura 7.** Ubicación de las Estaciones Hidrométricas dentro de la Cuenca del Chira.

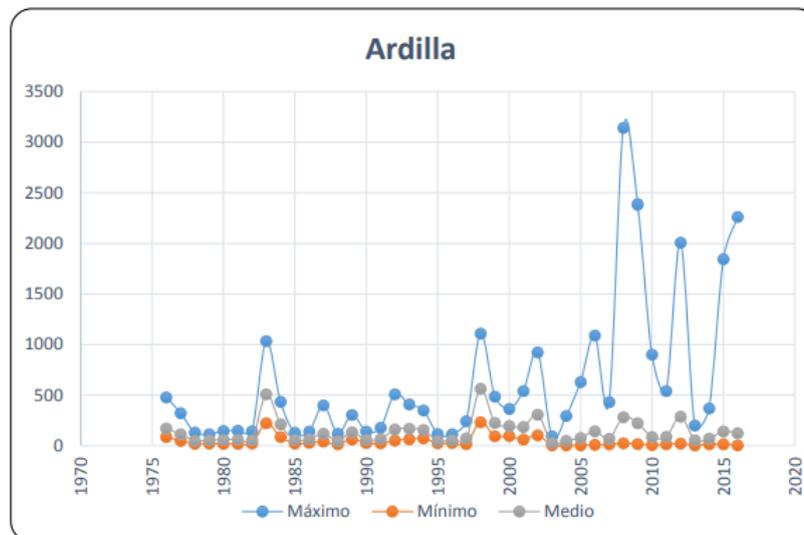
**Tabla 8.** Coordinas de Ubicación de las estaciones Hidrométricas dentro de la cuenca del Chira

ESTACION	CORRIENTE	COORDENADAS UTM		TIPO
<b>Ardilla</b>	Chira	9503270	567048	Limnimetrica
<b>Ciruelo</b>	Chira	9524654	594324	Limnigrafica
<b>Puente Internacional</b>	Macara	9514837	615179	Limnigrafica

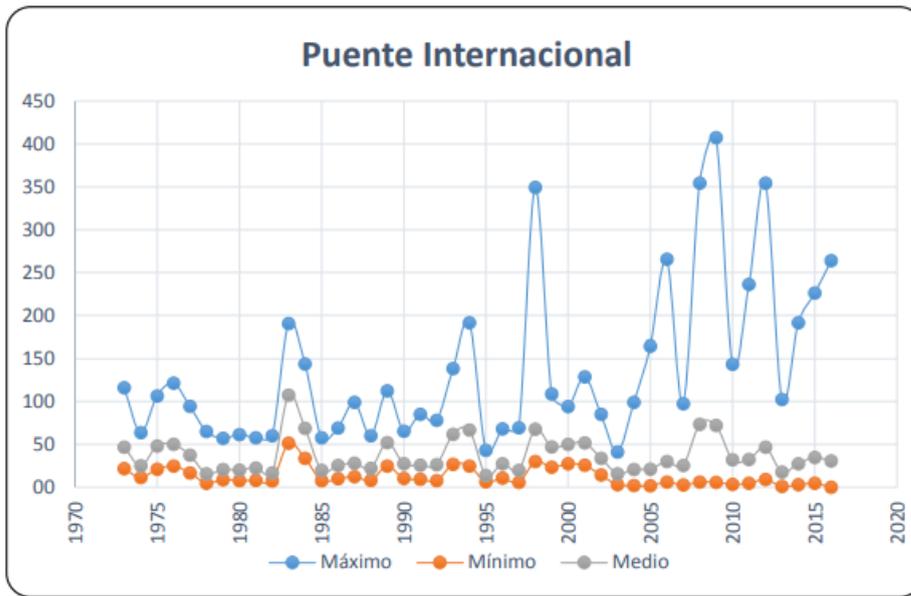
**Grafico 1.** Caudales promedio anual máximo, mínimo y medio de la Estación Hidrométrica Ciruelo:



**Grafico 2.** Caudales promedio anual máximo, mínimo y medio de la Estación Hidrométrica Ardilla:



**Grafico 3.** Caudales promedio anual máximo, mínimo y medio de la Estación Hidrométrica Puente Internacional:



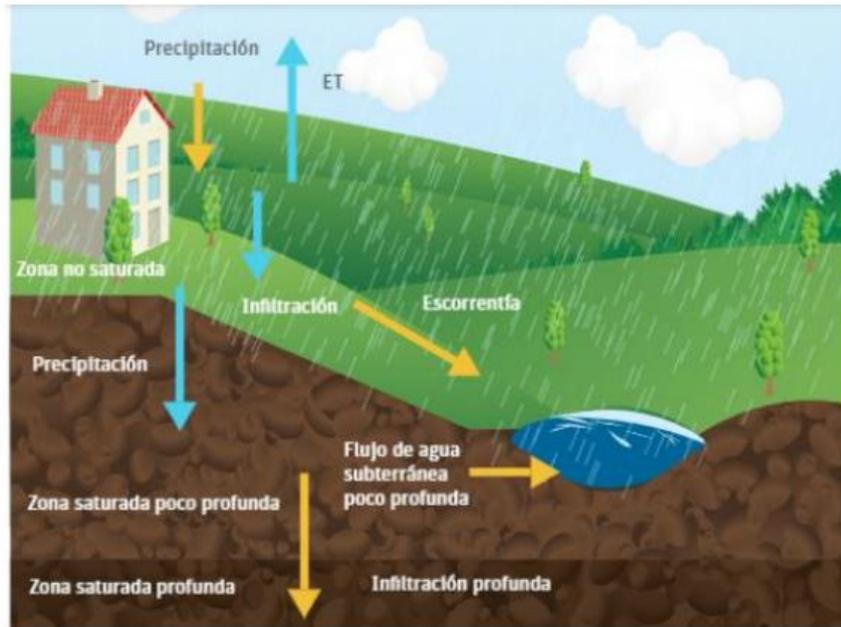
### 3.13 HYDROBID

Hydro-BID es un software creado por El Banco Interamericano de Desarrollo (BID), y es un sistema de base de datos y modelado, que permite estimar la disponibilidad (volúmenes y flujos) de agua en una cuenca o subcuenta de cualquier región de América Latina y Central, al comprender módulos de hidrología y de análisis climático. Así mismo, cuenta con otras herramientas que Incluye gestión de embalses y capacidades generales de asignación de agua, simulación de las aguas subterráneas y previsión de los cambios en la calidad del agua atribuibles a cambios en los flujos de superficie

El Hydro-BID utiliza la estructura de datos y las topologías de red de cuencas y corrientes de la AHD. Éste incorpora datos de uso de tierras, tipos de suelos, precipitaciones y temperatura dentro del área de estudio, así como los flujos de corrientes observados para usarlos en calibración. Hydro-BID incluye una interfaz de pre-procesador para desagregar data de clima mensual en una serie de tiempo diaria de temperatura y precipitación, siendo ésta la forma requerida de entrada de datos. El Sistema aplica el modelo standard Factor de Carga de Cauces Generalizados - (GWLF, por sus siglas en inglés) en conjunto con una metodología nueva de tiempo de retardo-enrutamiento (lag-routing) desarrollada por RTI. Este modelo permite calcular los valores de escorrentía dentro de una cuenca, así como también los flujos

de agua , calculando la escorrentía en forma de exceso de agua y el flujo base es una liberación gradual de la capa saturada.

**Figura 8.** Representación esquemática del modelo GWLF. Tomada de (Fekadu Moreda, 2014)



El modelo GWLF modelo, utiliza las siguientes ecuaciones para calcular la evapotranspiración potencial, escorrentía, percolación y flujo:

### 3.14.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Para esta estimación se hace uso de la temperatura media diaria y el número de horas de luz para calcularla, así:

$$PET_t = \frac{0.021H_t^2 e_t}{T_t + 273}$$

Donde,

Ht= # horas de luz solar por día durante el mes que contenga el día t.

et= Presión de vapor de agua en saturación en milibars en el día t.

Tt= Temperatura en el día t (°C).

La presión de vapor de agua saturada se aproxima a través de la siguiente formula:

$$e_t = 33.8639 \left[ (0.00738T_t + 0.8072)^2 - 0.000019(1.8T_t + 48) + 0.001316 \right] \text{ para } T_t > 0$$

El número total de horas de luz solar se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$H_t = \frac{2 \cos^{-1}[-\tan \delta \tan \phi]}{\omega}$$

Donde,

$H_t$  = horas de luz solar

$\delta$  = Declinación solar en radianes

$\phi$  = Latitud geográfica en radianes

$\omega$  = Rotación angular de la tierra

La evapotranspiración potencial se ajusta en base al uso de tierras/suelos y condiciones de la cobertura utilizando un factor de cobertura.

$$PET_{Adj}(t) = CV * PET_t$$

Donde

$PET_{Adj}(t)$  = Evapotranspiración potencial ajustada

CV = Factor de cobertura

Los valores CV van a depender de la cobertura vegetal, así como de los cultivos. Así mismo hay que tener en cuenta que la evapotranspiración real se calcula a través de la evapotranspiración potencia ajustada, y está limitada por la disponibilidad de agua en la humedad del suelo.

### 3.14.2 ESCORRENTÍA

La escorrentía superficial generada se calcula utilizando la ecuación del número de curva del U.S. Soil Conservation Service, así:

$$RO_t = \left( \frac{R_t - 0.2D_t}{R_t + 0.8D_t} \right)^2$$

Donde,

$RO_t$  = Escorrentía (cm)

$R_t$  = Suma de lluvia y deshielo

$D_t$  = Es el parámetro de detención, calculado así:

$$D_t = \frac{2540}{CN_t} - 25.4$$

Donde  $CN_t$  es el número de curva asignado por uso de suelos y ajustado cada día

### 3.14.3 PERCOLACIÓN

Para áreas no saturadas se calcula la percolación haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$U_{t+1} = U_t + R_t + M_t - Q_t - E_t - P_t$$

De igual manera, para áreas no saturadas se hace uso de la siguiente ecuación:

$$S_{t+1} = S_t + P_t - G_t - D_t$$

Los parámetros  $U_t$  y  $S_t$  corresponden a las humedades del suelo de las zonas no saturada y la zona de profundidades bajas al comienzo del día "t". Los valores de  $Q_t$ ,  $E_t$ ,  $P_t$ ,  $G_t$   $D_t$  representan la escorrentía de la cuenca, la evapotranspiración real, la percolación hacia la zona saturada poco profunda, el flujo/volumen de aguas subterráneas hacia el arroyo y la infiltración hacia la zona saturada profunda, respectivamente.

La percolación ocurre cuando el agua en la zona no saturada sobrepasa la capacidad disponible de agua del suelo  $U^*$  (cm):

$$P_t = \text{Max}(0, (U_t + R_t + M_t - Q_t - E_t - U^*))$$

### 3.14.4 FLUJO

El flujo total generado por la cuenca de captación,  $F_t$ , es la suma de la escorrentía ( $RO_t$ ) y del flujo del agua subterránea ( $G_t$ ):

$$F_t = RO_t + G$$

#### 4. RESULTADOS

Los resultados del presente Trabajo de Fin de Master se obtuvieron en diferentes procesos. Primero se realizó la calibración del modelo con los datos de aforo en las tres subcuencas que son: PUENTE INTERNACIONAL, ARDILLA Y EL CIRUELO, y posteriormente se evaluaron los escenarios para analizar el comportamiento al cambio climático en nuestra Cuenca.

Se calibran 07 parámetros para obtener un error general razonable. Se utilizó la serie temporal de flujo de Puente Internacional Macara para calibrar el modelo, así como de la estación El Ciruelo y Ardilla, a fin de verificar la simulación del modelo. A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada una de las Estaciones de Aforo de la Cuenca objeto de estudio:

**Tabla 9.** Valores Estadísticos para valores diarios y mensuales de la Estación Ardilla.

Estadísticas	Valores Diarios	Valores Mensuales
ove(%)"	-43.96	-43.97
r(-)"	0.89	0.98
Rmod"	0.41	0.43
NSE"	0.55	0.59

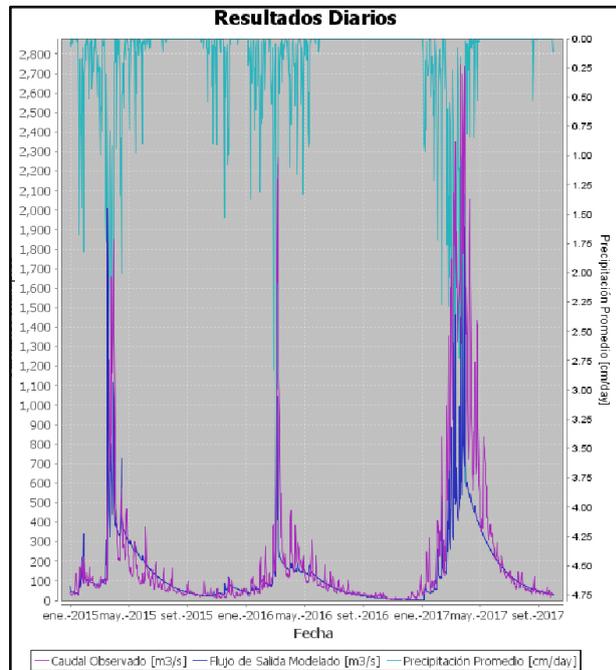
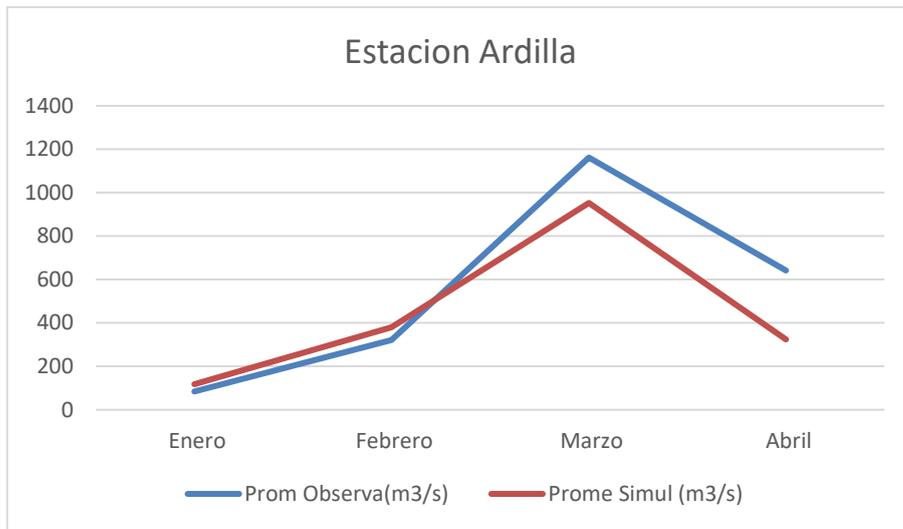
**Tabla 10.** Valores de los Parámetros de calibración asignados en la Estación Ardilla:

Model Parameters	Value
warmup years	1
curve number	0.95
awc	0.002
rcoeff	0.09
seepage	0.8
grow et	0.8
dormant et	0.8
impervious cover	1**
temperature threshold	1**
melt factor	1**

**Tabla 11.** Flujos Anuales Promedios Estación Ardilla:

A	Prom Observa(m3/s)	Prome Simul (m3/s)	Ove (%)
2014	39.94	74.55	86.65
2015	138.39	142.94	3.29
2016	112.11	77.36	-31
2017	475.76	247.17	-48.05

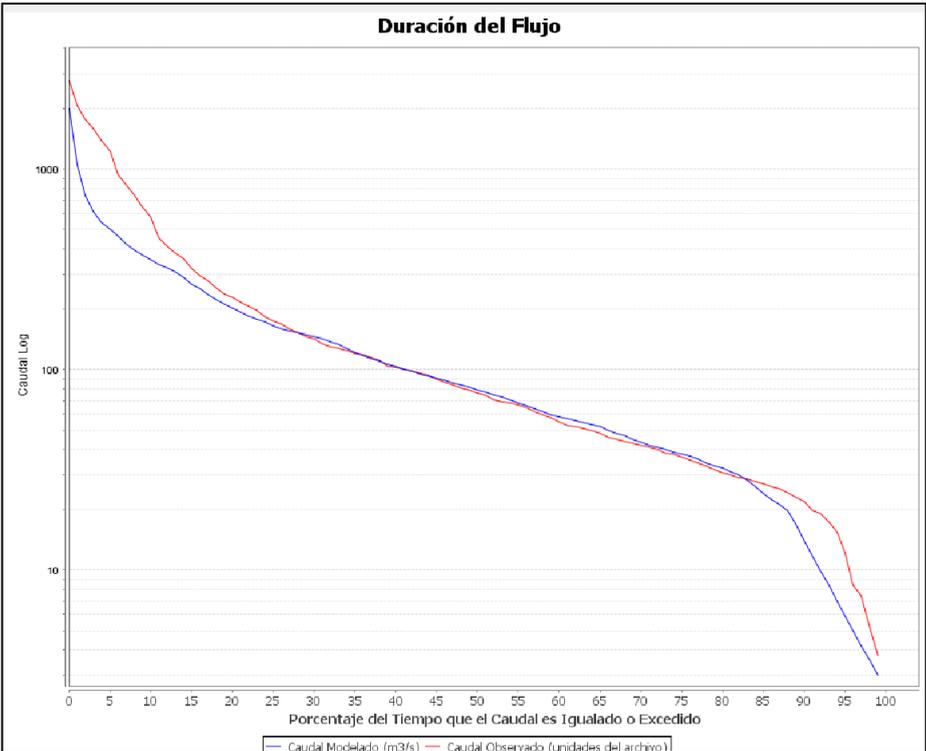
**Grafico 4.** Caudales observados vs. Caudal simulado en la Estación Ardilla



**Figura 9.** Hidrograma de resultados Diarios de Caudal observado y modelado en la Estación Ardilla

Para la evaluación del ajuste de la modelación, es importante el análisis de las gráficas, por tal motivo, se evaluó la similitud entre las curvas de duración de caudales simulados y observados. En la siguiente imagen se presenta las curvas de duración de caudales tanto simulados como observados:

**Grafico 5.** Curva de Duración de Caudales Observados Vs Simulados en la Estación Ardilla:



El mismo procedimiento se realizó con las otras dos estaciones, los resultados se muestran a continuación:

**Tabla 12.** Valores Estadísticos para valores diarios y mensuales de la Estación Ciruelo.

Estadísticas	Valores Diarios	Valores Mensuales
ove(%)"	-23.75	-23.81
r(-)"	0.9	0.98
Rmod"	0.67	0.78
NSE"	0.75	0.88

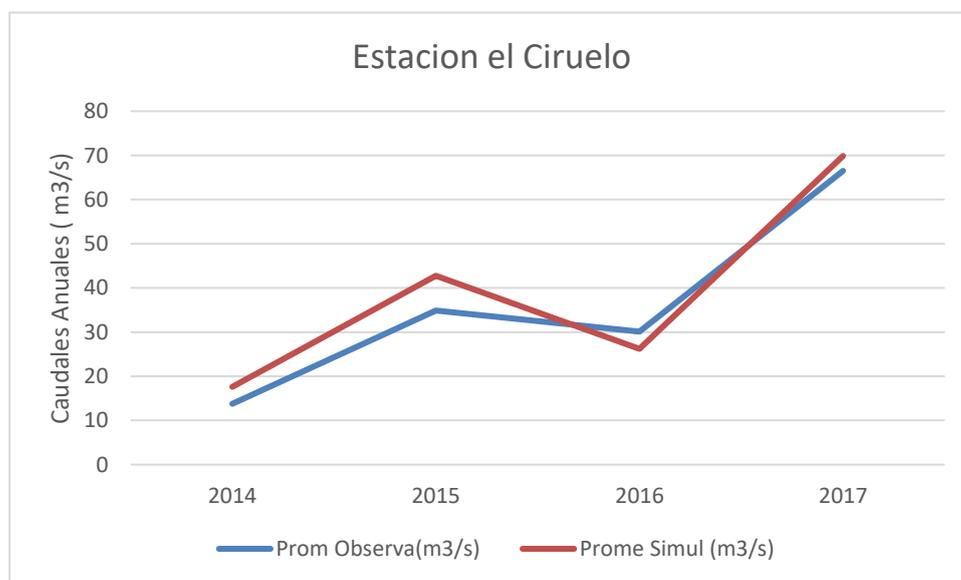
**Tabla 13.** Valores de los Parámetros de calibración asignados en la Estación Ciruelo:

Model Parameters	Value
warmup years	1
curve number	0.8
awc	0.001
rcoeff	0.016
seepage	0.001
grow et	0.8
dormant et	0.8
impervious cover	1**
temperature threshold	1**
melt factor	1**

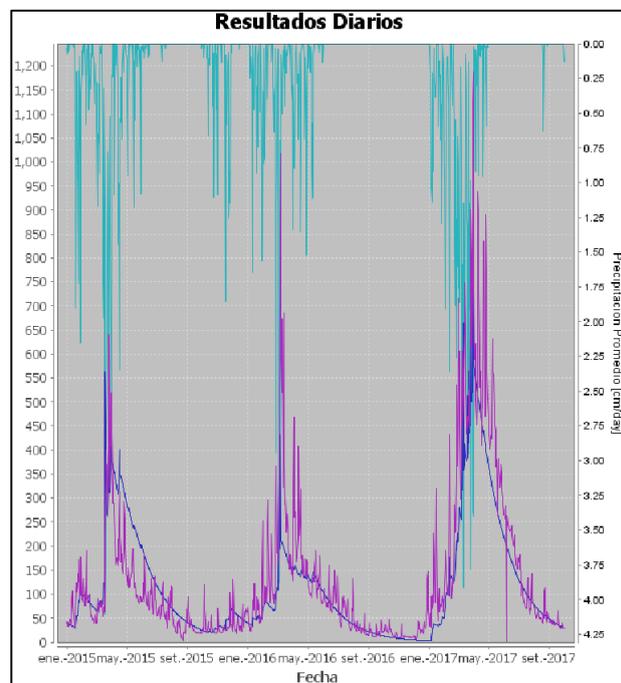
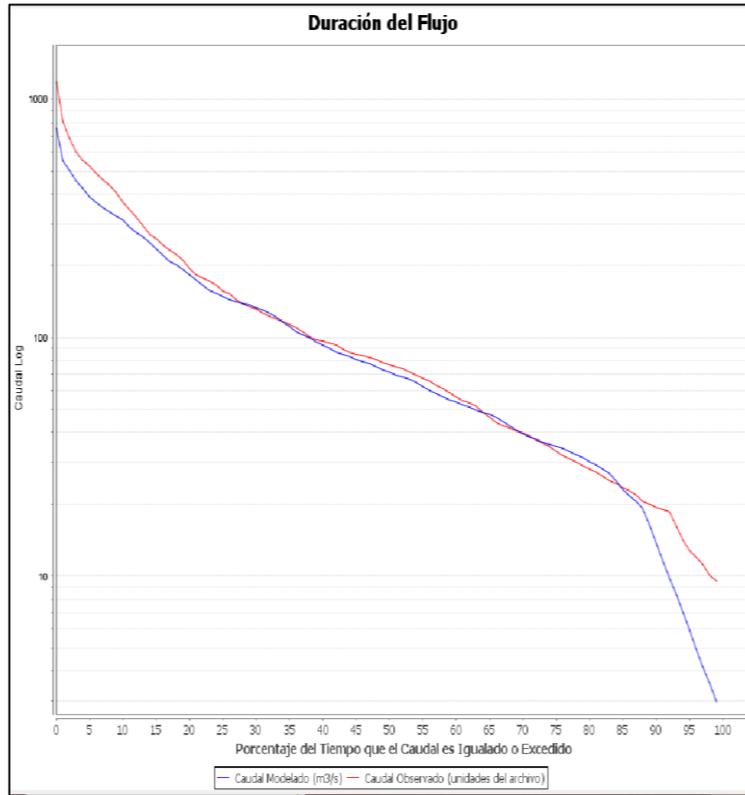
**Tabla 14.** Flujos Anuales Promedios Estación Ciruelo:

Año	Prom Observa(m3/s)	Prome Simul (m3/s)	Ove (%)
2014	41.54	44.07	6.08
2015	87.12	122.29	40.36
2016	98.18	70.09	-28.61
2017	258.62	203.59	-21.28

**Grafico 6.** Caudales observados vs. Caudal simulado en la Estación Ciruelo



**Grafico 7.** Curva de Duración de Caudales Observados Vs. Simulados en la Estación Ciruelo:



**Figura 10.** Hidrograma de resultados Diarios de Caudal observado y modelado en la Estación Ciruelo.

**Tabla 15.** Valores Estadísticos para valores diarios y mensuales de la Estación Puente Internacional.

Estadísticas	Valores Diarios	Valores Mensuales
ove(%)"	-1.71	-1.81
r(-)"	0.75	0.89
Rmod"	0.64	0.74
NSE"	0.39	0.7

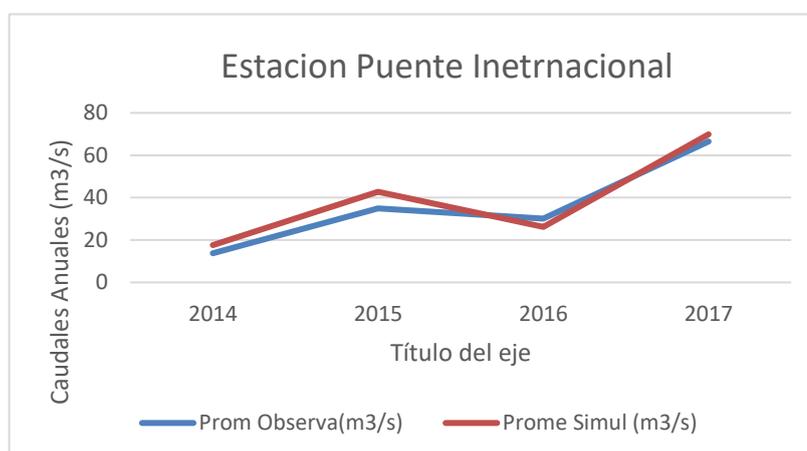
**Tabla 16.** Valores de los Parámetros de calibración asignados en la Estación Ciruelo:

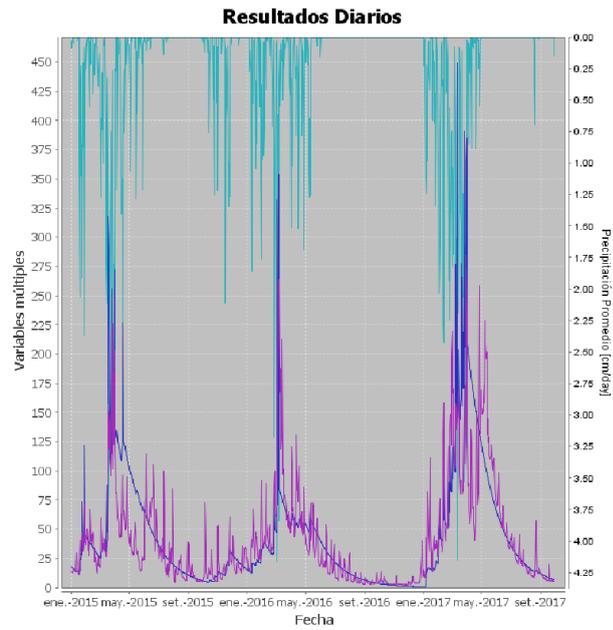
Model Parameters	Value
warmup years	1
curve number	0.9
awc	0.001
rcoeff	0.019
seepage	0.001
grow et	0.8
dormant et	0.8
impervious cover	1**
temperature threshold	1**
melt factor	1**

**Tabla 17.** Flujos Anuales Promedios Estación Puente Internacional:

Año	Prom Observa(m3/s)	Prome Simul (m3/s)	Ove (%)
2014	13.77	17.61	27.86
2015	34.91	42.77	22.51
2016	30.1	26.23	-12.89
2017	66.51	69.88	5.06

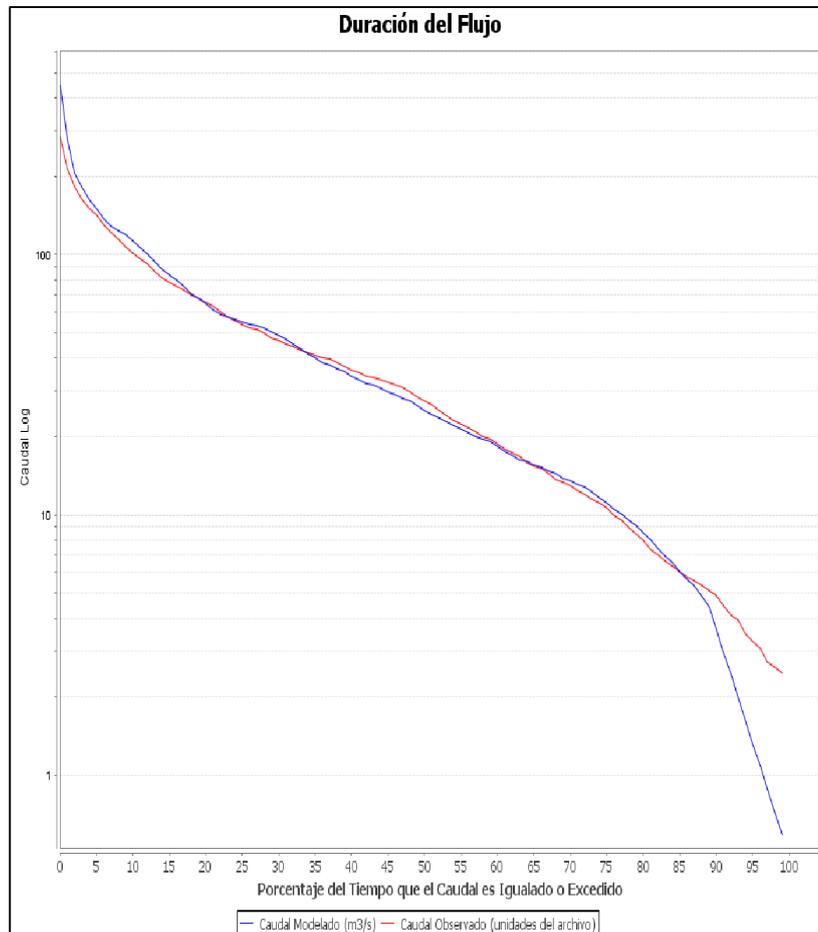
**Grafico 8.** Caudales observados vrs Caudal simulado en la Estación Ciruelo





**Figura 11.** Hidrograma de resultados Diarios de Caudal observado y modelado en la estación Puente Internacional:

**Grafico 9.** Curva de Duración de Caudales Observados Vrs Simulados en la Estación Puente Internacional:



En lo referente a los resultados de la simulación utilizando el modelo Hydro-BID en la Cuenca del Chira, incorporando los escenarios de cambio climático proyectados para cada zona según lo descrito en la metodología. Se resumen a continuación los tres escenarios para cada la Cuenca:

- Modelo RCP 4.5 del año 2020 a 2039.
- Modelo RCP 6.0 del año 2020 a 2039
- Modelo RCP 8.5 del año 2020 a 2039

**Tabla 18.** Caudales modelados y simulados para la Estación Ardilla en un escenario de cambio climático RCP 4.5 ( AÑOS 2020-2039)

Fecha	Flujo de Salida Modelado m3/s	Caudal Observado m3/s
2013	0	0.192465753
2014	7.259879003	67.62331507
2015	18.75325256	138.3897123
2016	8.738208821	112.114694

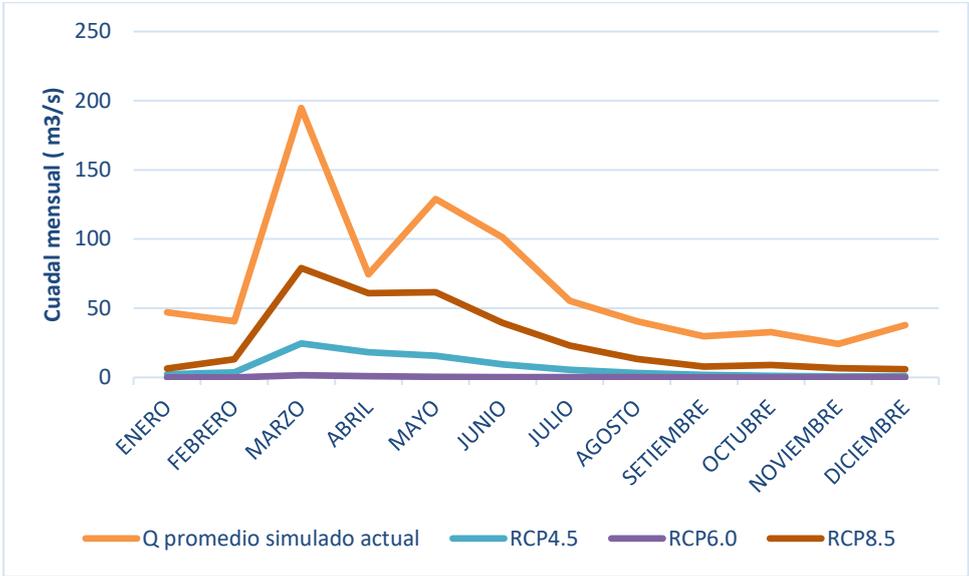
**Tabla 19.** Caudales modelados y simulados para la Estación Ardilla en un escenario de cambio climático RCP 6.0 ( AÑOS 2020-2039)

Fecha	Flujo de Salida Modelado m3/s	Caudal Observado m3/s
2013	0	0.192465753
2014	0.320796324	67.62331507
2015	1.108762742	138.3897123
2016	0.604307445	112.114694

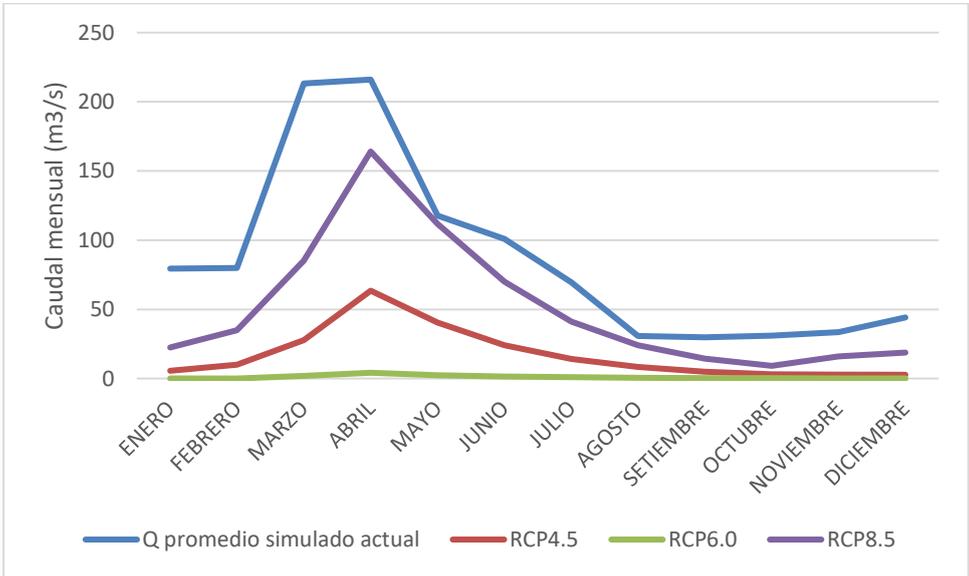
**Tabla 20.** Caudales modelados y simulados para la Estación Ardilla en un escenario de cambio climático RCP 8.5 (AÑOS 2020-2039)

Fecha	Flujo de Salida Modelado m3/s	Caudal Observado m3/s
2013	0	0.192465753
2014	27.3116751	67.62331507
2015	57.19624661	138.3897123
2016	28.54179722	112.114694

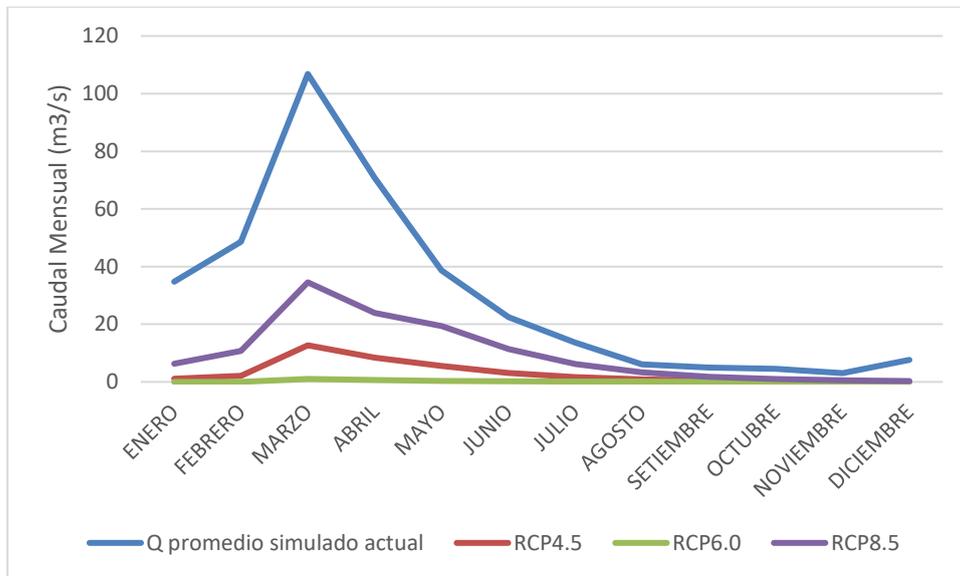
A continuación, se presenta una comparación entre los caudales promedios mensuales proyectados para los tres escenarios de cambio climático para las Subcuencas que calibramos anteriormente:



**Grafico 10.** Caudales promedios mensuales proyectados para los tres escenarios de cambio climático para las Subcuencas que drenan en la Estación Ardilla



**Grafico 11.** Caudales promedios mensuales proyectados para los tres escenarios de cambio climático para las Subcuencas que drenan en la Estación Ciruelo



**Grafico 12.** Caudales promedios mensuales proyectados para los tres escenarios de cambio climático para las Subcuencas que drenan en la Estación Puente Internacional

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los resultados mostrados en el capítulo anterior en lo referente a la calibración del modelo en HydroBID, se puede notar gráficamente que existen algunas estaciones hidrométricas en las cuales existe una diferencia un poco elevada entre los valores de caudales observados y simulados. Para el caso de la Estación de Aforo Puente Internacional, la diferencia entre ambos datos (caudales observados y simulados) es mínima, evidenciándose esto en los valores estadísticos presentados en el capítulo de resultados, con un error ove (%) de -1.71 para valores diarios y -1.81 para valores mensuales. Para el caso de la cuenca ubicada en la Estación El Ciruelo, se obtuve un error ove (%) de -23.75 % para valores diarios y -23.81% para valores mensuales. En la Estación de Aforo Ardilla existe una amplia diferencia entre ambos valores (caudales observados y simulados), existiendo un error mucho más considerable. Si bien es cierto se trataron de ajustar los parámetros de modelización como son: Curva Numero, Factor de Recisión, y otros, a fin de obtener una calibración optima, sin embargo, las curvas de duración de flujo no se semejaban y esto pude deberse a algunos errores en la medición de precipitación y/o caudales en las estaciones de aforos o a una limitación de datos hidrometereológicos distribuidos dentro del área de estudio de la cuenca del Chira. Si bien es cierto la Cuenca del Chira es una cuenca de gran importancia a nivel Regional y Nacional, y por ende debería estar bien instrumentada, en la realidad no pasa esto, ya que existen estaciones pluviométricas e hidrométricas que se encuentran descalibradas, en mal estado y en muchas abandonadas, lo cual dificulta la buena toma de datos.

Al evaluar el modelo con variaciones producto del Cambio Climático, se puede apreciar que existe una disminución de caudal para cada uno de los escenarios analizados con respecto a los caudales actuales simulados. Esto tiene sentido, al notar los escenarios extremos que han ocurrido durante los últimos años en Perú como sequias extremas en las que el recurso hídrico se vuelve más escaso. }

Los resultados obtenidos en la simulación de escenarios de cambio climático muestran los caudales observados versus los caudales simulados por HydroBID en la misma serie de tiempo de la simulación original (2013-2017), teniendo en cuenta que para este caso los resultados presentados representan la misma serie de tiempo que se encuentra en la simulación original, pero a partir del año 2050 como primer año y modificado con los cambios aplicados. En este caso, los valores de flujo observado

que se utilizan para construir la curva de duración del flujo nos ayudan a obtener una buena imagen del posible cambio de comportamiento de la cuenca debido a los efectos del cambio climático.

## **6. CONCLUSIONES**

- Queda demostrado que la Herramienta HydroBID permite realizar modelos hidrológicos en una Cuenca, así como también permite la implementación de medidas de adaptación al cambio climático, para poder tomar medidas al respecto y evitar posibles desastres a futuro.
- Por otra parte HydroBid , permite obtener datos de demanda de agua, lo cual es importante ya que a partir de ello se puede hacer una correcta distribución y de los recursos hídricos, lo cual es uno de los problemas más grandes que presenta nuestra Cuenca de Estudio.
- HydroBID omite resultados para el primer año de la serie temporal definido para la calibración del modelo.
- Los porcentajes de errores obtenidos en la calibración del modelo, pueden ser productos de la falta de registros de datos en las estaciones de hidrométricas y meteorológicas, así mismo se puede deber a una mala calibración o a un mal estado de estos mismos, los cuales toman lecturas erradas.
- De los resultados obtenidos en la modelación de escenarios de cambio climático, se puede observar que hay una disminución de caudal para cada uno de los escenarios analizados para los años 2020-2039 (RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5) con respecto a los caudales actuales simulados, deduciéndose que esto se debería al aumento de la temperatura en la zona, que a su vez origina un aumento de fenómenos naturales en la Cuenca del Chira, como lo son las sequias. Este hecho nos permite estar preparados para poder tomar acciones y medidas al respecto, a fin de garantizar el recurso hídrico en toda la cuenca, la cual anualmente presenta demandas muy altas, para uso agrícola y poblacional y en una minoría para uso Industrial.
- Los resultados obtenidos en la modelación bajo los diferentes escenarios de cambio climático son de gran ayuda para la toma de decisiones en la cuenca, respecto a la planificación a futuro de los recursos de la misma.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- BID. (2017). Guía paso a paso Manual de Hydro-BID. Obtenido de <https://publications.iadb.org/es/guia-paso-paso-manual-de-hydro-bid>
- Fekadu Moreda, F. M. (2014). Hydro-BID: Un Sistema Integrado para la Simulación de Impactos del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos. Parte 2 . García Félix, D. S. (2001).
- Base de Datos de Hidrología Analítica para América Latina y el Caribe. Parte 1 . Leodán Andrés Otaño Burbano, G. L. (2008).
- Consorcio ATA – UNP -UNL: Caracterización Hídrica y Adecuación entre la Oferta y la Demanda Caracterización Territorial y Documentación Básica (2005).
- Chavez, HM (2020). Evaluación de la red hidrometeorológica y conformación de la Base de Datos de la Cuenca del Río Chira.
- Villalobos A. (2020). Calibración y uso del modelo Hydro-bid para el análisis de disponibilidad futura de recursos hídricos en cuencas pluviales de la región del maule.
- Quinde.R (2020). Modelo integrado de cambio climático y recursos hídricos en la cuenca del río Esmeraldas, Provincia de Esmeraldas –Ecuador”
- Leverly F. (2019). Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Coello (Departamento del Tolima, Colombia) con el programa Hydrobid)
- Roldan. G (2021). Uso del modelo Hydro-bid para la caracterización Hidrológica y evaluación del cambio climático de la cuenca del Río Porce (Colombia).
- Rentería,D;Cañón,M;Suárez A.(2018). Modelación de los impactos de los escenarios de cambio climático en la cuenca del río pamplonita en norte de Santander.