

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización

Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental



**“IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA OFERTA HÍDRICA  
SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RÍO PIURA”**

Presentado por:

YESICA DOLORES LEÓN TINOCO

DANIEL FELIPE HUARHUA ZAQUINAULA

Trabajo de titulación para optar el título de

INGENIERO AGRÍCOLA

Lima – Perú

2015

## ÍNDICE DE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1.    MODELO HIDROLÓGICO .....	3
2.1.1.    Clasificación de los modelos hidrológicos .....	4
2.1.2.    Calibración y validación.....	5
2.1.3.    Indicadores de eficiencia en la modelación.....	7
2.2.    MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO STREAM .....	9
2.2.1.    Descripción general y producción de escorrentia.....	9
2.2.2.    Metodo de Interpolación AURELHY .....	12
2.3.    IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO .....	14
2.3.1.    Concepto general .....	14
2.3.2.    Modelo de circulación general (MCG).....	16
2.3.3.    Downscaling climático .....	17
2.3.4.    Escenario climático .....	18
2.3.5.    Escenario de cambio climático en el Perú.....	20
2.3.6.    Incertidumbre de escenarios .....	21
<b>3. MATERIALES Y METODOLOGÍA .....</b>	<b>23</b>
3.1.    MATERIALES.....	23
3.1.1.    Descripción de la zona de estudio .....	23
3.1.2.    Información de pluviometría, temperatura y caudal.....	25
3.1.3.    Softwares .....	30
3.2.    METODOLOGÍA .....	30
3.2.1.    Preparación de base de datos INPUTS.....	31
3.2.2.    Aplicación del modelo distribuido STREAM .....	33
3.2.3.    Proyección climática .....	36
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>39</b>
4.1.    EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO .....	39
4.2.    CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO.....	51

4.3. ANÁLISIS PRELIMINAR DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA, PARA LA INTERPOLACIÓN AURELHY .....	54
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>60</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>61</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1: NIVELES DE RENDIMIENTO DEL MODELO HIDROLÓGICO SEGÚN LOS ÍNDICES: NASH-SUTCLIFFE (E), RAÍZ DE ERROR CUADRÁTICO (RSR) Y ERROR DE VOLUMEN (EV). .....	9
CUADRO 2: PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	24
CUADRO 3: ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA E HIDROMETRÍA PROPORCIONADAS POR SENAMHI Y ANA, EMPLEADOS EN EL ESTUDIO. ....	27
CUADRO 4: SOFTWARES UTILIZADOS EN EL ESTUDIO.....	30
CUADRO 5: VALORES RECOMENDADOS PARA LOS PARÁMETROS DE LOS VARIOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA. ....	33
CUADRO 6: PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO STREAM. ....	35
CUADRO 7: MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL ATMOSFÉRICA (MCG).....	36
CUADRO 8: MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL INCLUIDOS DENTRO DEL PROYECTO CMIP5. ....	37
CUADRO 9: ESCENARIOS CLIMÁTICOS PARA LOS PERIODOS PRESENTE, HISTÓRICO Y FUTURO. .....	39
CUADRO 10: VARIACIÓN PORCENTUAL DE CAUDAL PROMEDIO ANUAL A FUTURO CERCANO Y FUTURO LEJANO. ....	42
CUADRO 11: CAUDAL PROMEDIO ANUAL HISTÓRICO A FUTURO CERCANO Y A FUTURO LEJANO EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO. ....	43
CUADRO 12: VARIACIÓN PORCENTUAL DE CAUDAL PROMEDIO ESTACIONAL A FUTUROS CERCANO Y FUTURO LEJANO. ....	44
CUADRO 13: CAUDAL PROMEDIO ESTACIONAL HISTÓRICO A FUTURO CERCANO Y A FUTURO LEJANO EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO. ....	44
CUADRO 14: VARIACIÓN PORCENTUAL DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL A FUTURO CERCANO Y FUTURO LEJANO. ....	45
CUADRO 15: CAUDAL PROMEDIO MENSUAL HISTÓRICO, PRESENTE, A FUTURO CERCANO Y A FUTURO LEJANO EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO.....	48

CUADRO 16: ÍNDICES DE EFICIENCIA EN LA CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO STREAM.....	51
CUADRO 17: ÍNDICES DE EFICIENCIA EN LA VALIDACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO STREAM.....	52
CUADRO 18: PARÁMETROS DE OPTIMIZADOS POR AUTOCALIBRACIÓN DEL MODELO STREAM, USANDO PEST. ....	53
CUADRO 19: ÍNDICES DE EFICIENCIA DEL ANÁLISIS PRELIMINAR, PARA INTERPOLACIÓN AURELHY.....	54
CUADRO 20: FACTORES DE INFLACIÓN DE VARIANZA (VIF) POR CADA VARIABLE PREDICTIVA DE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL.....	55
CUADRO 21: NÚMERO DE EVENTOS CON DISTANCIA A COOK 0.5 Y 1.0 POR ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA DE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL.....	56
CUADRO 22: FACTORES DE INFLACIÓN DE VARIANZA (VIF) POR CADA VARIABLE PREDICTIVA DE LA TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL.....	57
CUADRO 23: NÚMERO DE EVENTOS CON DISTANCIA A COOK 0.5 Y 1.0 POR ESTACIÓN TERMOMÉTRICA DE LA TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ECUACIÓN Y REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA OPERACIÓN DE UN SISTEMA.	3
FIGURA 2: CLASIFICACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO DE ACUERDO CON LA FORMA, LA ALEATORIEDAD, Y LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS FENOMENOS HIDROLÓGICOS.	5
FIGURA 3: ESQUEMA CONCEPTUAL DE ESCORRENTÍA DE ACUERDO AL CAUCE DEL RÍO.	10
FIGURA 4: CUENCAS EN QUE SE HAN APLICADO EL MODELO DISTRIBUIDO STREAM.	11
FIGURA 5: REGISTROS DE VARIACIONES DE TEMPERATURA Y EMISIONES DE CO <sub>2</sub> .	15
FIGURA 6: ESQUEMA DE UNA REGIONALIZACIÓN DINÁMICA Y ESTADÍSTICA.	17
FIGURA 7: DIAGRAMA DE VARIACIÓN DE TEMPERATURA MEDIA GLOBAL REGISTRADO Y PROYECTADO PARA CUATRO TIPO DE ESCENARIOS RCP.	19
FIGURA 8: INCERTIDUMBRE EN LOS ESCENARIOS GENERADOS POR LOS MODELOS CLIMÁTICOS.	22
FIGURA 9: MAPA DE UBICACIÓN Y SISTEMA HIDROGRÁFICO DE LA CUENCA DEL RÍO PIURA.	23
FIGURA 10: VARIACIÓN ESPACIAL DE LA ALTITUD (IZQUIERDA) Y DE LA PENDIENTE (DERECHA) EN LA CUENCA DEL RÍO PIURA CON TAMAÑO DE PIXEL 90M X 90M.	24
FIGURA 11: MAPA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LA CUENCA DEL RÍO PIURA.	25
FIGURA 12: UBICACIÓN DE ESTACIONES DE PLUVIOMETRÍA, TEMPERATURA, Y ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO.	26
FIGURA 13: VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL EN LAS ESTACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO PIURA, DE ENERO DE 1980 A DICIEMBRE DE 2010.	28
FIGURA 14: VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL EN LAS ESTACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO PIURA, DE ENERO 1980 A DICIEMBRE DE 2010.	29
FIGURA 15: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL ESTUDIO.	31
FIGURA 16: APLICACIÓN DEL MODELO DISTRIBUIDO STREAM.	34
FIGURA 17: HIDROGRAMAS DEL CAUDAL ANUAL EN ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO A ESCENARIOS PRESENTE, HISTÓRICO Y FUTURO.	40
FIGURA 18: HIDROGRAMAS DEL CAUDAL MENSUAL EN ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO A ESCENARIOS PRESENTE, HISTÓRICO Y FUTURO.	41

FIGURA 19: TENDENCIA DE VARIACIÓN PORCENTUAL DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL PROYECTADO A FUTURO CERCANO, DE ENERO DE 2016 A DICIEMBRE DE 2050. ....	46
FIGURA 20: TENDENCIA DE VARIACIÓN PORCENTUAL DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL PROYECTADOS A FUTURO LEJANO, DE ENERO DE 2051 A DICIEMBRE DE 2099. ....	47
FIGURA 21: HIDROGRAMAS DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL DE ESCENARIO PRESENTE, HISTÓRICO Y FUTURO CERCANO .....	49
FIGURA 22: HIDROGRAMAS DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL DE ESCENARIO PRESENTE, HISTÓRICO Y FUTURO LEJANO.....	50
FIGURA 23: HIDROGRAMAS DE CAUDALES MENSUAL OBSERVADO Y SIMULADO DE FEBRERO DE 1983 A FEBRERO DE 1991 EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO. .....	51
FIGURA 24: HIDROGRAMAS DE CAUDALES MENSUAL OBSERVADO Y SIMULADO DE ENERO DE 1998 A JUNIO DE 2010 EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO. ....	52
FIGURA 25: HIDROGRAMA DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL, OBSERVADOS Y SIMULADOS, DE 1980 AL 2010, EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO. ....	53
FIGURA 26: HISTOGRAMAS DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES OBTENIDOS DEL ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL.....	55
FIGURA 27: HISTOGRAMAS DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES OBTENIDOS DEL ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL. ....	57

## ÍNDICE DE ANEXOS

TABLA 1: DATOS DE CAUDALES OBSERVADOS EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO PARA EL PERIODO DE ENERO DE 1980 A DICIEMBRE DE 2010. ....	65
TABLA 2: CAUDALES HISTÓRICOS CALCULADOS POR EL MODELO MPI-ESM-MR EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO PARA EL PERIODO DE ENERO DE 1971 A DICIEMBRE DE 2000. ....	66
TABLA 3: CAUDALES HISTÓRICOS CALCULADOS POR EL MODELO CANESM2 EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO PARA EL PERIODO DE ENERO DE 1971 A DICIEMBRE 2000. ....	67
TABLA 4: CAUDALES HISTÓRICOS CALCULADOS POR EL MODELO CNRM-CM5 EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO PARA EL PERIODO DE ENERO DE 1971 A DICIEMBRE DE 2000. ....	68
TABLA 5: CAUDALES PROYECTADOS OBTENIDOS DEL ESCENARIO MPI-ESM-MR-RCP 4.5 (MPI 4.5) EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO PARA LOS PERIODOS FUTUROS CERCANO (2016 A 2050) Y LEJANO (2051 A 2099). ....	69
TABLA 6: CAUDALES PROYECTADOS OBTENIDOS DEL ESCENARIO MPI-ESM-MR-RCP 8.5 (MPI 8.5) EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO PARA LOS PERIODOS FUTUROS CERCANO (2016 A 2050) Y LEJANO (2051 A 2099). ....	71
TABLA 7: CAUDALES PROYECTADOS OBTENIDOS DEL ESCENARIO CANESM2-RCP 4.5 (CAN 4.5) EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO PARA LOS PERIODOS FUTUROS CERCANO (2016 A 2050) Y LEJANO (2051 A 2099). ....	73
TABLA 8: CAUDALES PROYECTADOS OBTENIDOS DEL ESCENARIO CANESM2-RCP 8.5 (CAN 8.5) EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO PARA LOS PERIODOS FUTUROS CERCANO (2016 A 2050) Y LEJANO (2051 A 2099). ....	75
TABLA 9: CAUDALES PROYECTADOS OBTENIDOS DEL ESCENARIO CNRM-CM5-RCP 4.5 (CNR 4.5) EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO PARA LOS PERIODOS FUTUROS CERCANO (2016 A 2050) Y LEJANO (2051 A 2099). ....	77



TABLA 10: CAUDALES PROYECTADOS OBTENIDOS DEL ESCENARIO CNRM-CM5-RCP 8.5 (CNR 8.5) EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO PARA LOS PERIODOS FUTUROS CERCANO (2016 A 2050) Y LEJANO (2051 A 2099).....	79
TABLA 11: DATOS DE CAUDALES SIMULADOS EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE SÁNCHEZ CERRO COMO PROCESO DE CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN PARA EL PERIODO DE ENERO DE 1980 A DICIEMBRE DE 2010. ....	81
ESQUEMA 1: COMPARACIÓN DE MAPAS DE PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL A FUTURO CERCANO.....	82
ESQUEMA 2: COMPARACIÓN DE MAPAS DE PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL A FUTURO LEJANO.....	83

## RESUMEN

El cambio climático es uno de los fenómenos globales al que se encuentra sometida la tierra y cuya característica o impacto más resaltante es el incremento de la temperatura como resultado de una mayor emisión de gases de efecto invernadero hacia la atmosfera. Este incremento se hace más notorio conforme pasa el tiempo y ha ocasionado alteraciones de las condiciones naturales de la tierra como en el ciclo hidrológico; realizar una evaluación hídrica bajo estas condiciones de cambio climático se logra mediante la comparación entre simulaciones hidrológicas de un periodo futuro respecto a uno histórico. Para países como Perú cuyo comercio y organización demográfica dependientes del abastecimiento hídrico de los ríos, las alteraciones de las condiciones naturales los hacen vulnerables a efectos nocivos y cuyo grado de severidad dependerá de que tan bien organizado se encuentre el país para hacerlos frente; por lo tanto, el estudio enfocado hacia la oferta hídrica resulta de gran utilidad. En este estudio se utilizó el modelo hidrológico Spatial Tools for River basins and Environment and Analysis of Management options (STREAM) para simular los caudales de descarga del río Piura en tres periodos de tiempo denominados histórico (1971 – 2000), presente (2080 – 2010) y futuro (2016 – 2099). El modelo fue calibrado y validado dentro del periodo presente obteniéndose un error de volumen (Ev) por debajo del 15 por ciento e índices de Nash-Sutcliffe (E) y coeficiente de correlación de Pearson por sobre el 80 por ciento, clasificándolo como un modelo con la capacidad adecuada de simular la cuenca de estudio y validando las simulaciones en periodos histórico y futuro. La simulación del periodo futuro utilizó datos de precipitación y temperatura proyectados por el SENAMHI, aplicados en tres modelos climáticos (MPI-ESM-MR, CANESM2, CNRM-CM5) y dos trayectorias de concentración radiativa (RCP 4.5, RCP 8.5) definiéndose un total de seis escenarios futuros, los cuales se compararon con las simulaciones de periodo histórico para cada modelo. Los resultados demostraron un probable incremento de caudales el cual es proporcional al paso del tiempo y en los escenarios de trayectoria RCP de 8.5; además, la evaluación de los hidrogramas mensuales demostró que los máximas caudales registrados (normalmente entre los meses de marzo a abril) presentaran un desplazamiento hacia los meses de abril a mayo.

## **ABSTRACT**

Climate change is a global phenomenon which is under the earth, and the most striking feature or impact is the increase in temperature as a result of increased emission of greenhouse gases into the atmosphere. This temperature increase is more noticeable as time passes and caused changes in the natural conditions of the land and in the water cycle; You make an assessment under these conditions water climate change is achieved by comparing simulations of future hydrological respect to one historical period. For countries like Peru that have a population dependent trade and organization of water supply from rivers, changes in natural conditions make them vulnerable to adverse effects whose severity will depend on how well the country is organized to against them; therefore, the study focused on the water supply is useful. The hydrological model Spatial Tools for River was used in this study basins and Environment and Analysis of Management options (STREAM) to simulate the flow discharge of the Piura River in three time periods called historical (1971-2000), present (2080-2010 ) and future (2016-2099). The model was calibrated and validated within this period give an error volume (V) below 15 percent and rates of Nash Sutcliffe (E) and Pearson product-moment correlation coefficient above 80 percent, ranking it as a model adequate capacity to simulate basin and validating simulation study on historical and future periods. The simulation of the future period used data of precipitation and temperature projected by the SENAMHI applied in three climate models (MPI-ESM-MR, CANESM2, CNRM-CM5) and two paths radiative concentration (RCP 4.5, RCP 8.5) defining a total six future scenarios, which are compared with simulations of historical period for each model. The results showed a likely increase in flow which is proportional to the time and path scenarios 8.5 RCP; in addition an assessment of the monthly hydrographs showed that maximum flows recorded (usually between the months of March and April) present a shift from April to May.

## I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), el Perú ha sido reconocido como un país vulnerable a los efectos nocivos del cambio climático, pues presenta siete de las nueve características de vulnerabilidad que la convención ha definido (MINAM, 2010). Esto refleja que nuestro país tiene un alto grado de exposición a las amenazas dado que en el desarrollo urbano y de la agricultura no se ha contemplado los riesgos climáticos a los cuales se podrían ver enfrentados, de hecho el 90 por ciento de la población peruana vive en zonas áridas, semiáridas y sub húmedas según La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD, 2007).

Por otro lado, el 72 por ciento de las emergencias ocurridas en nuestro país están relacionadas con sequías, fuertes lluvias, inundaciones, heladas y granizadas; que son eventos altamente previsible a cambios climáticos, y que han registrado un aumento de más de seis veces, desde 1997 al 2006, según el Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (MINAM, 2010). Es así que el cambio climático representa una seria amenaza en los sistemas de producción agrícola y áreas de urbanización debido al aumento de la incidencia y la intensidad de las sequías, inundaciones y tormentas. Los países en desarrollo son especialmente vulnerables, ya que cuentan con recursos limitados para hacer frente a los efectos negativos del cambio climático (FAO, 2013).

Según el estudio de «*Escenarios de Cambio Climático a Nivel Nacional*» elaborada por el Centro de Predicción Numérica del SENAMHI, se indica una elevada relación cambio climático - disponibilidad del agua, la cual para la década del 2020 experimentará un incremento del cuatro por ciento, especialmente en el norte del Perú. Este mismo estudio plantea la representación verosímil del clima futuro bajo escenarios definidos por trayectorias de concentración representativa (RCP), las cuales presentan distintas variaciones de concentraciones de CO<sub>2</sub> producto de la radiación solar formándose de esta manera los distintos escenarios de cambio climático (SENAMHI, 2008; IPCC, 2013).

Si bien en el Perú las principales fuentes glaciares conforman el dos por ciento de los recursos hídricos de la costa peruana, convirtiéndolo en el país con mayor disponibilidad de agua dulce por habitante en América del sur; esta ventaja no contribuye en gran parte con las regiones del norte donde la participación de esta fuente hídrica es mínima, siendo compensada por las precipitaciones (MINAM, 2010). El presente estudio evalúa la cuenca del río Piura situada al norte del Perú, iniciando su área de carga desde los 3644 msnm hasta desembocar al océano Pacífico (ANA, 2010); su ubicación muy cercana al ecuador lo hace vulnerable al cambio climático por las altas temperaturas que experimenta específicamente en temporadas de sequía, y lo convierte en el departamento más afectado del país al estar de por medio su disponibilidad hídrica, afectando el abastecimiento en la población y cambios en su agricultura. La agricultura sigue siendo una de las actividades más importantes de la región y el agua es un recurso cada vez más escaso según las proyecciones bajo la influencia del cambio climático (CIES, 2010; MINAM, 2010).

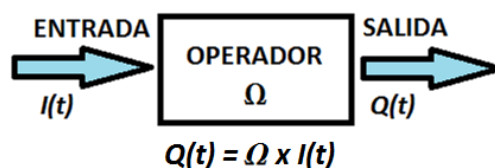
El objetivo general es evaluar el impacto de cambio climático en la oferta hídrica superficial de la cuenca del río Piura, para lo cual se obtiene la disponibilidad hídrica actual y se realiza la comparación con la disponibilidad hídrica futura proyectada bajo las condiciones definidas por los escenarios futuros, es decir, escenarios bajo condiciones de cambio climático. Para esto fue necesario (1) Formular el modelo hidrológico de la cuenca Piura, haciendo uso del modelo distribuido STREAM para simular la oferta hídrica, (2) realizar la simulación del comportamiento hidrológico actual de la cuenca del río Piura definidas por datos observados desde 1980 al 2010, y (3) Proyectar el comportamiento hidrológico futuro de la cuenca del río Piura para el periodo del 2016 al 2099.

El modelo hidrológico a utilizar es el STREAM; modelo distribuido de precipitación - escorrentía y cuyo soporte de información se basa en el Sistema de información Geográfica (SIG), lo que permite la simulación de las descargas de los ríos y la disponibilidad de agua en las grandes cuencas fluviales. El STREAM viene siendo implementado por la Organización por la Alimentación y la Agricultura (*Food and Agriculture Organization*, FAO) dentro de su Sistema de modelado para impactos agrícolas en el cambio climático (*Modeling System for Agricultural Impacts on Climate Change*, MOSAICC), con el objetivo de obtener predicciones exactas de disponibilidad de agua en países cuyos requerimientos de este recurso son muy elevados, producto de su elevada actividad agrícola (Aerts, *et al.*, 2011; FAO, 2013).

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. MODELO HIDROLÓGICO

De acuerdo con Fattorelli y Fernandez (2011), los modelos hidrológicos permiten simular el comportamiento de un sistema hidrológico real y obtener mediante la operación del mismo, las respuestas o salidas a un determinado impulso o entradas a dicho *sistema*. Sus entradas y salidas, según Chow (1994), son variables hidrológicas mensurables y su estructura está conformada por un conjunto de ecuaciones que conectan estas entradas y salidas. Para esto, el sistema incluido en esta estructura cuenta con el componente central del modelo que está basado en el concepto de transformación del sistema, a través de un operador que actúa de acuerdo a la variable tiempo tal como se muestra en la Figura 1. El objetivo del análisis del sistema hidrológico es estudiar su operación y predecir las salidas o descargas.



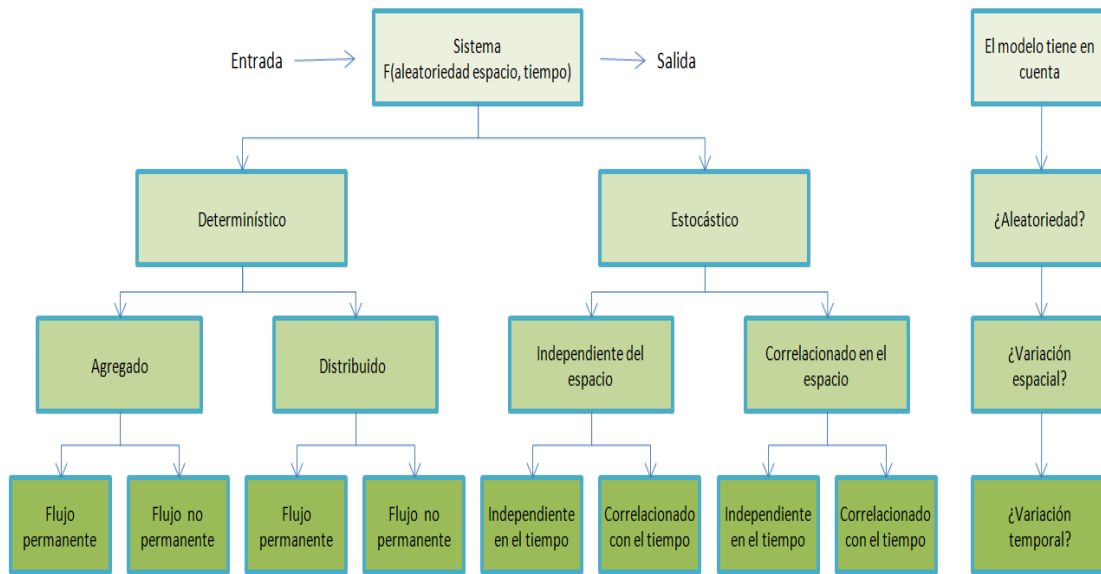
**Figura 1: Ecuación y representación esquemática de la operación de un sistema.**  
**Fuente: Chow (1994).**

En hidrología, sin embargo, existe un mayor error de aproximación al aplicar las leyes físicas porque los sistemas son más grandes y complejos ya que pueden implicar varios medios de trabajo. Además, la mayor parte de los sistemas hidrológicos son intrínsecamente aleatorios e impredecibles; por consiguiente, el análisis estadístico cumple un papel importante en el análisis hidrológico. El objetivo básico de la aplicación de la estadística en la hidrología es el análisis de la información hidrológica de ciertos periodos, a fin de inferir las características futuras predecibles del fenómeno estudiado, cuyos resultados sean una solución estadística exacta y particular a un problema hidrológico denominada: solución determinística (Chereque, 1989; Chow, 1994).

### **2.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS**

Chow (1994) menciona que los modelos hidrológicos se categorizan en modelos físicos y abstractos. Los modelos físicos son construcciones del sistema en una escala reducida (como un modelo hidráulico del vertedero de una presa). Los modelos abstractos representan el sistema en forma matemática, donde la operación del sistema se describe por medio de un conjunto de ecuaciones que relacionan las variables de entrada y de salida en función del espacio y el tiempo; son variables probabilísticas o aleatorias que no tienen un valor fijo en un punto particular de espacio y del tiempo, pero que están descritas a través de distribuciones de probabilidad. Además, Chereque (1989) menciona que los modelos abstractos pueden clasificarse, desde el punto de vista de la certeza de su ocurrencia, en determinísticos y probabilísticos (estocásticos). Si la ocurrencia de las variables en un proceso es cierta (cuando las variables siguen una ley determinada), se habla de un proceso determinístico; en cambio, si toma en cuenta la probabilidad de ocurrencia y la falta de certeza existente, entonces se habla de un proceso de naturaleza probabilística. Por su parte, los modelos determinísticos según Fattorelli y Fernandez (2011), son aquellos en que las funciones que relacionan a las entradas con las salidas definen el comportamiento del sistema sin que se tenga en cuenta la distribución de probabilidad alguna; es decir, dada una función de entrada, sus variables y parámetros obtienen una función de salida perfectamente definida. Los modelos estocásticos son modelos en los cuales las relaciones entre las variables están gobernadas por leyes de probabilidad, tanto en relación con magnitud (correlaciones), como en su secuencia de tiempo (modelo de generación de series de tiempo).

Por tanto, los modelos determinísticos no consideran aleatoriedad, una entrada dada producirá siempre una misma salida; en cambio, los modelos estocásticos tienen salidas que son por lo menos parcialmente aleatorias. Podría decirse que los modelos determinísticos hacen pronósticos específicos, mientras que los modelos estocásticos hacen predicciones generales. La gran mayoría de los procesos que interesan en el campo de la Hidrología pertenecen a la categoría de fenómenos probabilísticos (Chereque Moran, 1989; Chow, 1994). La Figura 2 muestra la clasificación de los modelos hidrológicos de acuerdo a la aleatoriedad y variación espacio tiempo de sus fenómenos hidrológicos.



**Figura 2: Clasificación del modelo hidrológico de acuerdo con la forma, la aleatoriedad, y la variabilidad espacial y temporal de los fenómenos hidrológicos. Fuente: Chow (1994).**

Según la Figura 2, los fenómenos hidrológicos cambian en las tres dimensiones espaciales, pero al tener en cuenta explícitamente esta variación, el modelo resulta complicado para aplicaciones prácticas, es por ello que los modelos presentan un segundo nivel de clasificación. En un modelo determinístico agregado el sistema es promediado en el espacio o considerando como un punto único sin dimensiones en el espacio. En contraste, un modelo determinístico distribuido considera que los procesos hidrológicos ocurren en varios puntos del espacio y define las variables del modelo como funciones de las dimensiones espaciales. Los modelos estocásticos se clasifican en independientes en el espacio y correlacionados en el, de acuerdo con la influencia que las variables aleatorias tengan entre ellas en diferentes puntos del espacio.

### 2.1.2. CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

De acuerdo con el Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Niño de la Universidad Nacional de Ingeniería (IMEFEN – UNI), el uso de los modelos hidrológicos tiene por finalidad simular los fenómenos que ocurren en la realidad. Sin embargo, a pesar de los recientes avances en ciencia y tecnología, estos modelos hidrológicos no simulan a la perfección los complejos procesos que involucra la hidrología debido a la presencia de errores de diferente origen. Estos errores pueden ser minimizados mediante un adecuado proceso de calibración para luego validar los resultados (Cabrera, 2012).



### **a. Calibración**

Cabrera (2012) menciona que los modelos determinísticos no consideran términos aleatorios dentro del modelo; y por ende, cada simulación producirá un mismo resultado, por lo que el proceso de calibración se centrara en minimizar las diferencias entre los datos observados y los simulados. Este *criterio de exactitud* se basa en el ajuste de parámetros como medio de la calibración, los cuales han sido asumidos constantes como la conductividad hidráulica del suelo, la rugosidad, etc. La calibración es el proceso por el cual se identifican los valores de los parámetros del modelo para los cuales la serie de datos simulados se ajustan de manera óptima a la serie de datos observados.

Con un modelo hidrológico ya calibrado como herramienta para *pronosticar* caudales para un período de tiempo futuro, implica una pregunta importante: ¿Cómo asegurar que el modelo que funciona actualmente se ajustará también para el escenario futuro? Esta pregunta hace necesario complementar el proceso de calibración ya desarrollado con un proceso de validación.

### **b. Validación**

Refsgaard & Knudsen, (1996) definen la validación de un modelo como «*el proceso para demostrar que el modelo es capaz de realizar predicciones en un lugar específico y para períodos determinados fuera del período de calibración*». Por tanto se concluye que un modelo ha sido validado si su precisión y capacidad predictiva en el período de validación muestran errores dentro de límites aceptables. Como se menciona, la validación de un modelo se hace para un lugar determinado, pues es imposible realizar una validación generalizada (así como es imposible realizar una calibración generalizada). Usualmente, la validez de un modelo para un período diferente al de la calibración se asume como verdadera considerando condiciones futuras similares a las actuales. Estas asunciones son válidas para casos simples como el completado de datos ya que el período desconocido se encuentra *dentro* del período calibrado y las características pueden asumirse iguales (Cabrera, 2012; Refsgaard, *et al.*, 1996).

La validación es un proceso conveniente para la transferencia de resultados o formulación de recomendaciones; de esta forma, los modelos pueden convertirse en herramientas útiles para la planificación y el diseño de proyectos de la cuenca estudiada.

### 2.1.3. INDICADORES DE EFICIENCIA EN LA MODELACIÓN

Estos indicadores evalúan el desempeño del modelo hidrológico y determinan que tan cerca está el funcionamiento del modelo respecto al sistema real, además del análisis gráfico entre los datos observados y simulados. Estos parámetros estadísticos empleados para evaluar los resultados de la calibración y validación se describen a continuación:

#### a. Índice de eficiencia Nash-Sutcliffe (E)

Es un estadístico normalizado del error que determina la magnitud relativa del modelo simulado en relación a un modelo de referencia. Es la relación entre el error cuadrático medio de los valores simulados y la varianza en los datos observados, restado de la unidad. Sus valores adimensionales varían de menos infinito a uno (Nash, *et al.*, 1970). Se calcula con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{MSE^{sim}}{MSE^{obs}} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t^{obs} - Y_t^{sim})^2}{\sum_{t=1}^n (Y_t^{obs} - Y^{promedio})^2}; \quad MSE^{sim} = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t^{obs} - Y_t^{sim})^2}{n}$$

Donde:  $MSE^{obs}$ ,  $MSE^{sim}$ , son los errores cuadráticos medios de los datos observados y simulados;  $Y_t^{obs}$ ,  $Y_t^{sim}$ , son los datos observados y simulados en el tiempo  $t$ ;  $Y^{promedio}$  es el valor promedio de los datos observados, y  $n$  es el número de intervalos temporales.

#### b. Razón RMSE – desviación estándar de las observaciones (RSR)

El índice RSR es otro estadístico normalizado de error que relaciona la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y la desviación estándar de las observaciones; cuyos valores adimensionales varían de cero al infinito (Moriassi, *et al.*, 2007). El RSR se calcula con la siguiente ecuación:

$$RSR = \frac{RMSE^{sim}}{STDEV^{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t^{obs} - Y_t^{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t^{obs} - Y^{promedio})^2}}$$

Donde:  $RMSE^{sim}$  es el error cuadrático medio de los datos observados (Root Mean Square Error) y simulados;  $STDEV^{obs}$  es la desviación estándar de los datos observados;  $Y_t^{obs}$ ,

$Y_t^{sim}$ , son los datos observados y simulados en el tiempo  $t$ ;  $Y^{promedio}$  es el valor promedio de los datos observados, y  $n$  es el número de intervalos temporales.

### c. Error en volumen (Ev)

En la modelación hidrológica, es un indicador de la diferencia en el balance hídrico. Su valor se representa en porcentaje y se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ev = \frac{V^{obs} - V^{sim}}{V^{sim}} \times 100,$$

Donde:  $V^{obs}$ ,  $V^{sim}$  son los volúmenes de los datos observados y simulados (Donigian, *et al.*, 2002).

### d. Coeficiente de correlación de Pearson (R)

Expresa una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias; es decir, la evaluación de registros entre dos o más estaciones. Se puede definir como el índice utilizado para medir el grado de relación de dos variables cuantitativas (Vargas Sabadías, 1995). Si la ecuación que mejor relaciona dichas variables es la de una recta, decimos que existe una correlación lineal. Un ejemplo puede ser la pluviometría registrada en dos estaciones próximas; si los datos obtenidos en ambos son similares, sería de gran utilidad cuantificar esa relación, pues podríamos evaluarla pluviometría de un lugar a partir de la registrada en otro de forma aproximada. La correlación de Pearson se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Donde:  $\sigma_{xy}$  es la covarianza de  $x$  e  $y$ ;  $\sigma_x$  es la desviación estándar de los datos observados  $X$ ; y  $\sigma_y$  es la desviación estándar de los datos observados  $Y$ .

Para la clasificación del rendimiento, el resultado se comparó con los niveles reportados por Moriasi *et al* (2007) y Donigian e Imhoff (2002) detallados en el Cuadro 1.

**Cuadro 1: Niveles de rendimiento del modelo hidrológico según los índices: Nash-Sutcliffe (E), Raíz de error cuadrático (RSR) y Error de volumen (Ev).**

Rendimiento	RSR	E	Ev
Muy bueno	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$0.75 < E \leq 1.00$	< 10%
Bueno	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.65 < E \leq 0.75$	10 - 15%
Satisfactorio	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.50 < E \leq 0.65$	-
Insatisfactorio	$0.70 < RSR$	$E \leq 0.50$	-
Desfavorables	-	-	15-25%

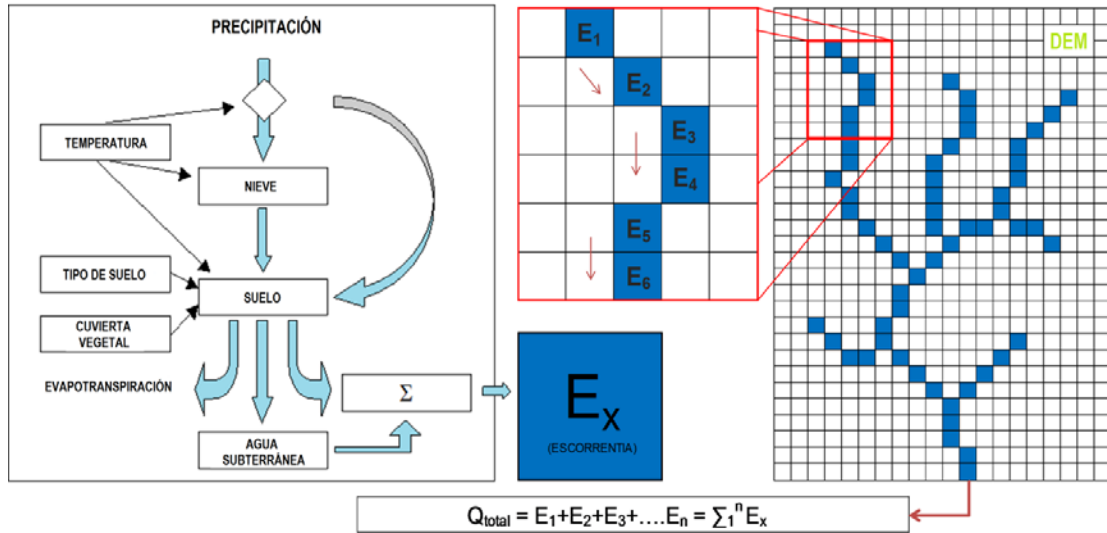
**Fuente: Ramos (2013).**

Cabe indicar que para la evaluación de la correlación de Pearson se considera con mayor preferencia aquellos resultados con valores entre cero a uno por presentar una relación de datos positiva, siendo cero el equivalente a una correlación nula y uno el equivalente a una correlación lineal perfecta (Vargas Sabadías, 1995).

## **2.2. MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO STREAM**

### **2.2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL Y PRODUCCIÓN DE ESCORRENTIA**

STREAM (*Spatial tools for river basins and environment and analysis of management options*) es un modelo distribuido de precipitación – escorrentía cuyo soporte de información se basa en el Sistema de información Geográfica (SIG), lo que permite la simulación de las descargas de los ríos y la disponibilidad de agua en las grandes cuencas fluviales. La acumulación de la escorrentía superficial conforma el caudal en dirección de la gradiente definida gracias a un Modelo de Elevación Digital (MED). De esta forma la estructura del modelo no considera el cálculo del tránsito de avenidas para la determinación del caudal. El modelo considera la acumulación del agua en forma de nieve, humedad del suelo y las aguas subterráneas para luego expulsar un flujo de salida conformado por la escorrentía y la evapotranspiración tal y como se observa en la Figura 3. La forma en que se acumula el agua depende de las condiciones del entorno climático, mientras que la generación del flujo de salida se dan bajo el supuesto de una velocidad constante (Aerts, *et al.*, 1998; Hurkmans, *et al.*, 2008).



**Figura 3: Esquema conceptual de escorrentía de acuerdo al cauce del río. Esquema del flujo vertical (izquierda) y esquema del flujo horizontal (derecha). Fuente: Elaborado con información de Aerts, *et al.* (1998).**

Este principio facilita evaluar el balance de agua en cada celda que conforme la cuadrícula de la cuenca en estudio. Luego se realiza la acumulación de los valores obtenidos considerando la dirección de drenaje definida por el MED hasta un punto de descarga, donde se encuentra la estación de medición. STREAM realiza el cálculo de balance de agua en cada celda (x,y) a escala mensual (t) a través de las siguientes ecuaciones (Aerts, *et al.*, 1998):

$$R_{xyt} = P_{xyt} - AE_{xyt} + dS_{xyt}$$

$$S_{xyt} = SS_{xyt} + GWS_{xyt} + SNS_{xyt}$$

Dónde:  $R$  es escorrentía (mm/mes);  $P$  es precipitación (mm/mes);  $S$  es volumen de agua en el suelo, la nieve y el agua subterránea (mm/mes);  $AE$  es pérdida de agua debido a la evapotranspiración real (mm/mes);  $dS$  es cambio en el volumen de agua almacenada (mm/mes);  $SS$ : es el agua en el suelo y las aguas subterráneas como superficiales (mm/mes);  $GWS$  es el agua en los acuíferos y las aguas subterráneas más profundas (mm/mes); y  $SNS$  es la cantidad de agua almacenada en la capa de nieve (mm/mes).

Una alternativa para el cálculo de la evapotranspiración se presenta mediante el método de Thornthwaite (1957); ya que considera la temperatura media como principal parámetro de entrada:

$$ET_0 = 1.6 \times \left( \frac{10 \times T_a}{H} \right)^a$$

Donde:  $ET_0$  es la evapotranspiración de referencia (mm día-1);  $H = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T_{ai}}{5} \right)^{1.5}$  es el índice de calor anual;  $T_a$  es la temperatura media del aire (°C); y exponente  $A = 0.49 + 0.0179 \times H - 0.0000771 \times H^2 + 0.000000645 \times H^3$ .

El STREAM es un modelo hidrológico desarrollado por la Organización por la Alimentación y la Agricultura (*Food and Agriculture Organization*, FAO) con el objetivo de obtener predicciones exactas de disponibilidad de agua en países cuyos requerimientos de este recurso son muy elevados producto de su elevada actividad agrícola, siendo utilizado en las Filipinas (sudeste de Asia). También fue utilizado en la cuenca del Rin, en Alemania, evaluando principalmente los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico de la cuenca, donde junto al modelo RHINEFLOW, se ejecutó en modo MS-DOS y usó un lenguaje de programación GIS llamado PC-RASTER. Otras cuencas donde se aplicó el modelo fueron en el río Ganges/Brahmaputra ubicada en Tíbet, Nepal, India y Bangladesh, Amudarya (India), Yangtze (Asia central) y Yukon (Canadá), facilitando el análisis de escenarios en los impactos del uso de la tierra. Actualmente el proyecto AMICAF inició su implementación en algunas cuencas del Perú (Aerts, *et al.*, 2011) La Figura 4 señala algunos de los principales países en los que se ha aplicado el STREAM.



**Figura 4: Cuencas en que se han aplicado el modelo distribuido STREAM.**  
**Fuente: Aerts, *et al.* (2011).**

## **2.2.2. METODO DE INTERPOLACIÓN AURELHY**

El método AURELHY (*Analysis Using Relief for Hydrometeorological applications*), utiliza la topografía para guiar el proceso de interpolación espacial de variables climáticas como precipitación y temperatura. Este método resulta más adecuado en la interpolación de datos mensuales de series de tiempo extenso, es sensible a la cantidad de estaciones y su ubicación geográfica, la calidad de la información disponible, y los posibles datos faltantes (Bénichou, *et al.*, 1987). El método es utilizado para interpolar los mapas de lluvia y temperatura media mensual, los cuales serán usados como data inputs en el STREAM. Para realizar dicha interpolación se requiere de preparación de datos de entrada puntual que incluye el análisis de componentes principales y análisis preliminar.

### **a. Análisis preliminar**

El análisis preliminar lleva a cabo una serie de diagnósticos para apoyar a la selección de las estaciones, la definición de los modelos lineales y los modelos de variograma a considerar durante la interpolación ya que es necesario pasar por este proceso para proceder con la interpolación AURELHY. La idea básica de este método de interpolación es usar la topografía para guiar la interpolación espacial de variables climáticas, principalmente precipitación, temperatura; entre otros. Los diagnósticos incluidos en el análisis preliminar son: (1) resumen de las correlaciones entre las variables de predicción y los datos a interpolar a través de toda la serie temporal; (2) diagnóstico de multicolinealidad y del factor inflación de varianza (*Variance Inflation Factor*, VIF) para las variables predictoras; (3) validación de los modelos de regresión (prueba de bondad de ajuste, test de Fisher, prueba de Shapiro-Wilk y análisis de distancia de Cook); (4) comparaciones de las distribuciones de los componentes principales del muestreo por las estaciones meteorológicas para evaluar visualmente cómo se representan las distribuciones; y (5) prueba de los parámetros del modelo de variograma utilizando valores medios de toda la serie temporal.

En este sentido, para optimizar y validar esta etapa previa a la interpolación, se emplean los indicadores de validación de multicolinealidad, VIF, prueba de Fisher, test de Shapiro-Wilk y distancia Cook:

- Multicolinealidad: La multicolinealidad suele ser un problema muestral que se presenta normalmente en datos con el perfil de series temporales de dos o más variables. Mediante la validación se busca una fuerte correlación entre variables explicativas del modelo puesto que la no correlación de dos variables es un proceso idílico que sólo se podría encontrar en condiciones de laboratorio (Zuñiga, 2004).
- Factor de inflación de varianza (VIF): El VIF permite diagnosticar la multicolinealidad de las variables, valorar la falta de independencia entre ellas y medir la redundancia entre las variables explicativas (Cohen, *et al.*, 2003).
- Test de Fisher: Utilizado para probar la consistencia u homogeneidad en la variancia de una muestra con respecto a otra.
- Test de Shapiro-Wilk: Es un contraste de ajuste que se utiliza para comprobar si unos datos determinados ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) han sido extraídos de una población con distribución de tipo normal.
- Distancia Cook: Mide el cambio que se produce en las estimaciones de los coeficientes de regresión al ir eliminando cada caso de la ecuación de regresión. Una distancia de Cook mayor a 1 indica que ese caso tiene un peso considerable en la estimación de coeficientes de regresión; por tanto, debe ser revisado (Cook, 1977)

#### **b. Análisis de componentes principales (ACP)**

El ACP es un proceso general de análisis para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos con el fin de hallar las causas de su variabilidad y ordenarlas según su importancia. Este proceso lleva a cabo una transformación lineal de un conjunto de vectores aleatorios correlacionados para que sean representados en un nuevo espacio de tal manera que no estén correlacionados. La transformación escoge un nuevo sistema de coordenadas para el conjunto original de datos en el cual la varianza de mayor tamaño del conjunto de datos es capturada en el primer eje (llamado primer componente principal), la segunda varianza más grande es el segundo eje y así sucesivamente (Ünsalan, *et al.*, 2011).

De acuerdo con Castro (2002), el objetivo más frecuente en la aplicación del ACP es el de reducir la dimensionalidad de la matriz de datos con el fin de evitar redundancias y



destacar relaciones entre variables para construir variables no observables (indicadores sintéticos) a partir de variables observables.

## **2.3. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

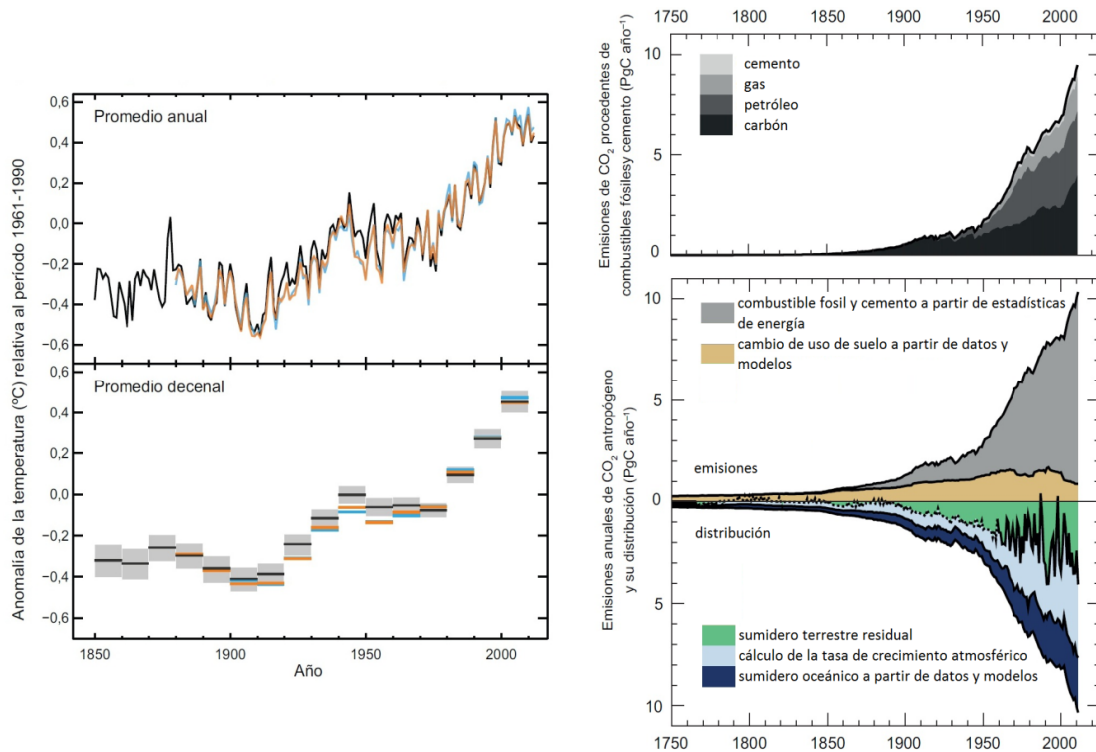
### **2.3.1. CONCEPTO GENERAL**

La acción que los factores tengan sobre la temperatura en la atmósfera dará origen a fenómenos meteorológicos y eso definirá un tipo determinado clima; por lo tanto, al hablar de un cambio climático estamos hablando de un cambio en las condiciones atmosféricas. El cambio climático ya no es una discusión solo de científicos, ahora es un problema evidente, ya que nos afecta directa o indirectamente, ya sea en nuestra economía, biodiversidad del planeta y nuestros recursos como el agua.

En 1992, La Organización de las Naciones Unidas (ONU) definió en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) el cambio climático como *«un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables»*. El CMCC diferencia entre *cambio climático* atribuido a actividades humanas que alteran la composición atmosférica y *variabilidad climática* atribuida a causas naturales.

En 1995, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC), en su informe *«Segunda Evaluación de Cambio Climático»* manifestó que *«el conjunto de evidencias sugiere un cierto grado de influencia humana sobre el clima global»*, mientras que el 2001, el mismo organismo puntualizó en su *«Tercer Informe de Evaluación de Cambio Climático»* que *«los últimos estudios han encontrado sistemáticamente pruebas de señales antropogénicas en los registros climáticos de los últimos 35 a 50 años»*. El 2005 el IPCC proyectaba un calentamiento de 1.4 – 5.8 °C para el año 2100, la cual en la actualidad ha ido creciendo debido a la alta concentración de CO<sub>2</sub>; y el 2013, observa que cada uno de los tres últimos decenios ha sido sucesivamente más cálido en la superficie de la tierra que cualquier decenio anterior desde 1850, tal como se muestran en la Figura 5. Los datos de temperatura de la superficie terrestre y oceánica, combinados y promediados globalmente, calculados a partir de una tendencia lineal, muestran un calentamiento de 0.85 (de 0.65 a 1.06) °C durante el período

1880-2012, para el que se han producido de forma independiente varios conjuntos de datos. El incremento total entre el promedio del período 1850-1900 y el período 2003-2012 es de 0.78 (de 0.72 a 0.85) °C.



**Figura 5: Registros de variaciones de temperatura y emisiones de CO<sub>2</sub>.**  
**Izquierda: anomalías en el promedio mundial de temperaturas desde 1850 al 2012.**  
**Derecha: emisiones anuales de CO<sub>2</sub> antropógeno y su distribución en la atmosfera, la tierra y los océanos en pentagrama (10<sup>15</sup>g) de carbono desde 1750 al 2011.**  
**Fuente: IPCC (2013).**

Por último, en su informe del 2013 «*Cambio Climático 2013, Bases Físicas*» el IPCC indica que el cambio climático representa una seria amenaza en los sistemas de producción agrícola y áreas debido al aumento de la incidencia e intensidad de las sequías, inundaciones y tormentas. Los países en vías de desarrollo son vulnerables, ya que cuentan con recursos limitados para hacer frente a los efectos negativos del cambio climático; por tanto, es necesario que se evalúen los impactos del cambio climático y para ello se realiza proyecciones del clima futuro en escenarios climáticos, los cuales permitirán estimar el comportamiento de los sistemas medioambientales. La simulación de dichos escenarios requiere de un modelo de circulación general y un periodo lo suficientemente largo como para vislumbrar algún cambio significativo del clima con algún grado de confiabilidad.

### 2.3.2. MODELO DE CIRCULACIÓN GENERAL (MCG)

Los Modelos de Circulación General (MCG) son también conocidos como *modelos climáticos* y representan numéricamente al sistema climático basado en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes. De acuerdo a cada componente o conjunto de estos, se pueden identificar jerarquías y representar modelos de diversos grados de complejidad que difieren en aspectos tales como el número de dimensiones espaciales, el grado en que aparecen representados explícitamente los procesos físicos, químicos o biológicos; o el grado de utilización de parametrizaciones empíricas. Los MCG Atmósfera – Océano (MCGAO) acoplados proporcionan la más completa representación del sistema climático actualmente disponible. Los MCG se utilizan como herramienta de investigación para estudiar y simular el clima así como para fines operativos, en particular predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales (IPCC, 2013).

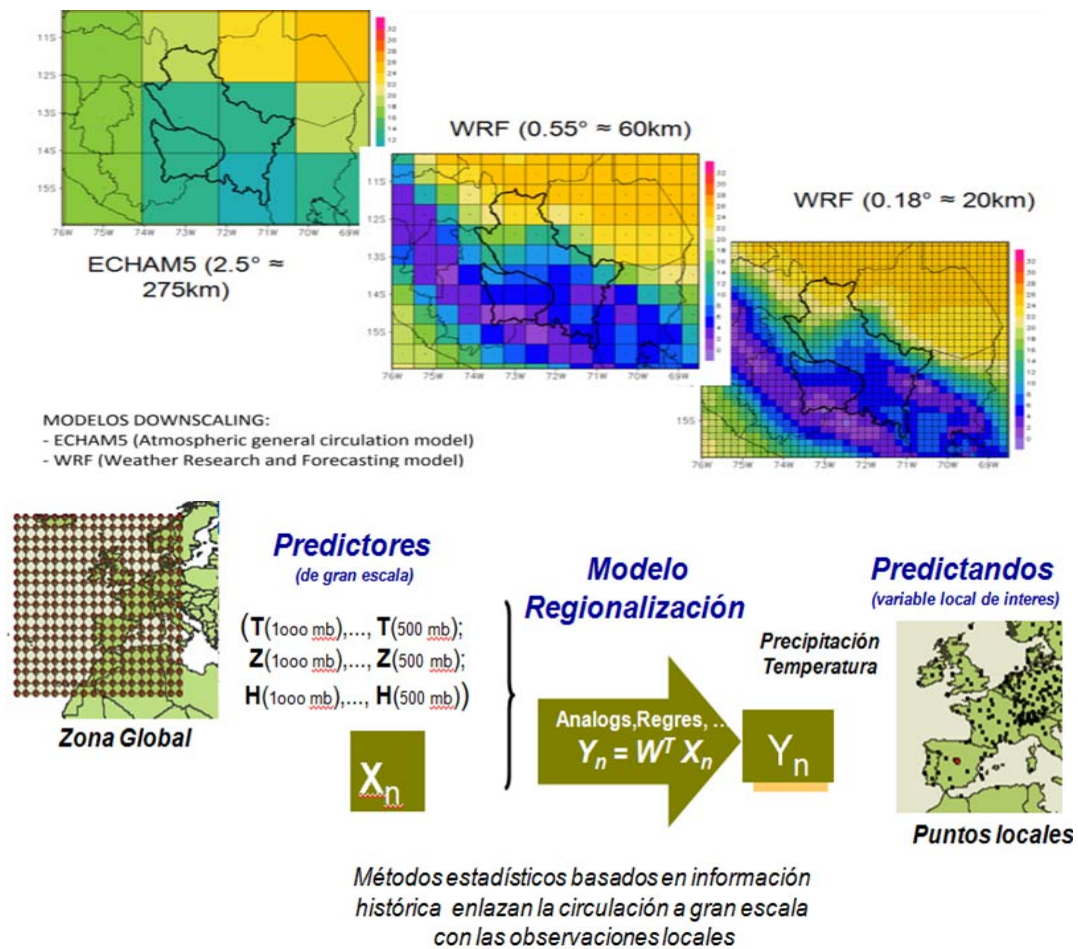
Los MCG intentan simular el sistema climático de la tierra. Se encuentran en el extremo superior de la jerarquía de modelos del clima, relacionando la atmósfera, océano y suelo para predecir cambios de las variables en un mayor tiempo. Las expresiones matemáticas que configuran un MCG se pueden analizar por separado dentro de tres principales partes de que conforman a los modelos:

- La dinámica del sistema del clima que describe el movimiento a gran escala de las masas de aire y el transporte de la energía y momento;
- La física del sistema climático tal como transmisión de la radiación a través de la atmósfera, la termodinámica, y la evaporación;
- Otros factores tales como la interacción océano – atmósfera, topografía, y parámetros de la vegetación.

Debido a su escala global, los MCG tienen una menor resolución, por lo cual no son muy indicados para estudios e investigación de zonas específicas. En ese sentido, es necesario el uso de un modelo regional el cual pueda tomar mayores resoluciones y ser más hábil en la determinación del clima de una zona. El proceso para obtener este modelo regional es denominado *Regionalización* o *Downscaling* (PROCLIM, 2005).

### 2.3.3. DOWNSCALING CLIMÁTICO

Las resoluciones globales de las proyecciones climáticas realizadas con modelos globales para escenarios futuros están limitadas a extensiones de aproximadamente 200 km; por lo que carecen de la resolución espacial demandada para estudios de impacto y cambio climático. La metodología de regionalización, llamada también *downscaling*, adapta las características de los modelos, reduciendo la escala a una determinada localidad o región. Existen diferentes técnicas de regionalización y se pueden juntar en dos grandes grupos: (1) la regionalización dinámica que se muestra en la Figura 6 superior; y (2) la regionalización estadística que se muestra en la Figura 6 inferior (Gutierrez, *et al.*, 2012).



**Figura 6: Esquema de una regionalización dinámica y estadística. Regionalización dinámica de 275 km a 20 km de tamaño de píxel (Figura superior), y regionalización estadística cuya metodología enlaza la información a gran escala con observaciones locales (Figura inferior).**

**Fuente: Gutierrez, *et al.* (2012).**

### 2.3.4. ESCENARIO CLIMÁTICO

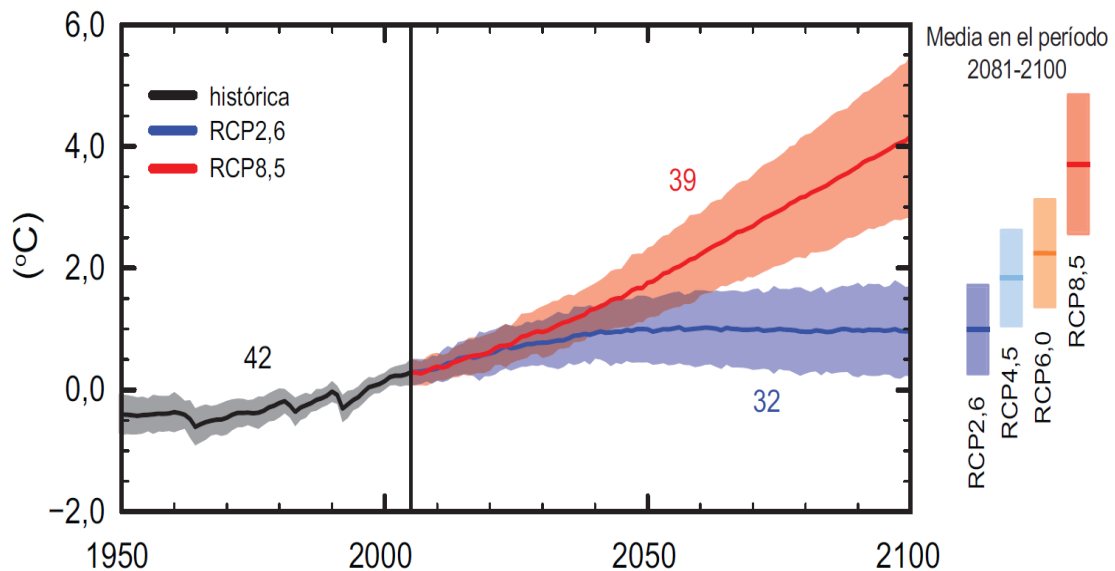
De acuerdo con el IPCC (2013), un escenario climático es la representación verosímil del clima futuro, basada en un conjunto coherente de relaciones entre fenómenos meteorológico que se define para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropógeno y puede introducirse como datos entrantes en los modelos de impacto. Las proyecciones climáticas suelen utilizarse como punto de partida para definir escenarios climáticos, aunque estos requieren habitualmente información adicional, por ejemplo: data sobre el clima actual observado.

Los escenarios se establecen partiendo de la variación de flujo radiativo (forzamiento radiativo –  $W/m^2$ ) que es la diferencia entre la radiación que ingresa y egresa de la atmosfera terrestre. Esta variación a la cual es sometida la tierra, altera (entre otros factores) al ciclo del carbono generando una mayor concentración de  $CO_2$  y ocasionando el cambio de las condiciones atmosféricas en un lapso prolongado de tiempo, lo cual se refleja en el aumento de la temperatura. La temperatura final alcanzada en el escenario a evaluar se define por el trayecto de concentración radiativa que se tuvo desde el presente hasta llegar al escenario futuro, denominado trayectoria de concentración representativa (*Representative Concentration's Path*, RCP) ya que abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama de gases de efecto invernadero, aerosoles, gases químicamente activos, así como el uso del suelo y la cubierta terrestre. La denominación de cada RCP hace referencia al forzamiento radiativo obtenido de la trayectoria de concentración hasta el año 2100 y los escenarios futuros son denominados de acuerdo al RCP que los define. El IPCC ha seleccionado cuatro RCP como base para las predicciones climáticas:

- RCP 2.6: Trayectoria en la que el forzamiento radiativo alcanza el valor máximo a aproximadamente  $3 W/m^2$  antes de 2100 y posteriormente disminuye (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las emisiones después de 2100);
- RCP 4.5 y RCP 6.0; Dos trayectorias de estabilización intermedias en las cuales el forzamiento radiativo se estabiliza aproximadamente a  $4.5 W/m^2$  y  $6 W/m^2$  después de 2100 (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las concentraciones después de 2150);

- RCP 8.5: Trayectoria alta, cuyo forzamiento radiativo alcanza valores superiores a  $8.5 \text{ W/m}^2$  en 2100 y sigue aumentando por un tiempo (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las emisiones después de 2100 y sean constantes las concentraciones después de 2250).

La Figura 7 muestra el cambio anual en la temperatura media global en superficie respecto de 1986-2005. Las series temporales de las proyecciones y la medición de la incertidumbre (sombreado) se muestran en relación con los escenarios RCP 2.6 (azul) y RCP 8.5 (rojo), mientras que el color negro (sombreado gris) representa la evolución histórica en los modelos. Las incertidumbres medias y asociadas, promediadas entre 2081 y 2100 figuran en todos los escenarios de RCP indicadas con barras verticales de colores: RCP: RCP 2.6 (azul), RCP 4.5 (celeste), RCP 6.0 (naranja) y RCP 8.5 (rojo).



**Figura 7: Diagrama de variación de temperatura media global registrado y proyectado para cuatro tipo de escenarios RCP.**

**Variación de temperatura media global en superficie de 1986 al 2005 y proyectada para el periodo de 2081 al 2100 en los escenarios RCP extremos de cambio climático: RCP 2.6 y RCP 8.5.**

**Fuente: IPCC (2013).**

Para el presente estudio se ha considerado la evaluación de dos RCP: RCP 4.5 y RCP 8.5, las cuales se tomaran en cuenta para la proyección de los escenarios.

### 2.3.5. ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PERÚ

De acuerdo al estudio «*El Perú y el cambio climático*» (2010) elaborado por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2010), la evaluación de escenarios climáticos del Perú tuvo como objetivos determinar las tendencias y los índices de extremos climáticos actuales a nivel nacional en base a datos observados; y a la vez, debía estimar proyecciones futuras para la década del 2030 (media del periodo 2025-2035), tomando como base MCG mediante la utilización de técnicas de *downscaling* o regionalización dinámico y estadístico. La regionalización empleada se realizó usando al modelo global CCSM (*Climatic Community System Model*) del *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) con el modelo regional RAMS (*Regional Atmospheric Modelling System*) gracias a su mejor performance en simulación de lluvias asociadas a la fase de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). La información histórica utilizada fueron observaciones diarias de precipitación y temperaturas máximas y mínimas proporcionadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) en todo el Perú para el periodo 1965-2006.

En los escenarios climáticos para la Cuenca del río Piura proyectado al 2035, la temperatura mínima aumentaría, sobre todo en invierno y primavera. Los mayores incrementos se presentarían en invierno en las zonas altas hasta el 10 por ciento y en las zonas bajas hasta el 15 por ciento. Las lluvias en verano se incrementarían hasta un cinco por ciento y en invierno hasta un 10 por ciento; mientras que la parte baja, el Bajo Piura, el incremento sería hasta del 15 por ciento en invierno, manteniéndose sin cambios significativos en las otras estaciones del año (MINAM, 2010; PROCLIM, 2005).

Así mismo, los resultados de los escenarios climáticos para el Perú reflejaron que las lluvias extremas estimadas mostrarían un probable decrecimiento en los próximos 30 años en gran parte del territorio. La precipitación presentaría incrementos y disminuciones significativas distribuidas de forma localizada en todo el país. En la costa, sierra norte, parte de la sierra central y selva sur, la precipitación se incrementaría hasta en 20 por ciento; mientras que en la selva norte y parte de la sierra central y sur, la precipitación disminuiría hasta en 20 por ciento. Con respecto a las temperaturas extremas, se esperaría un mayor incremento de las temperaturas mínimas y máximas en gran parte del país; la temperatura máxima llegaría incrementarse hasta 1.6°C en promedio (0.53°C/década),

mientras que para la mínima el mayor incremento alcanzaría 1.4°C (0.47°C/década). Los incrementos más elevados de las temperaturas se presentarían en la costa, sierra norte, selva norte, sierra central y en el sur del país; mientras que regiones como la costa central-sur y la selva sur no mostraría mayores cambios hacia el 2030 (MINAM, 2010).

### **2.3.6. INCERTIDUMBRE DE ESCENARIOS**

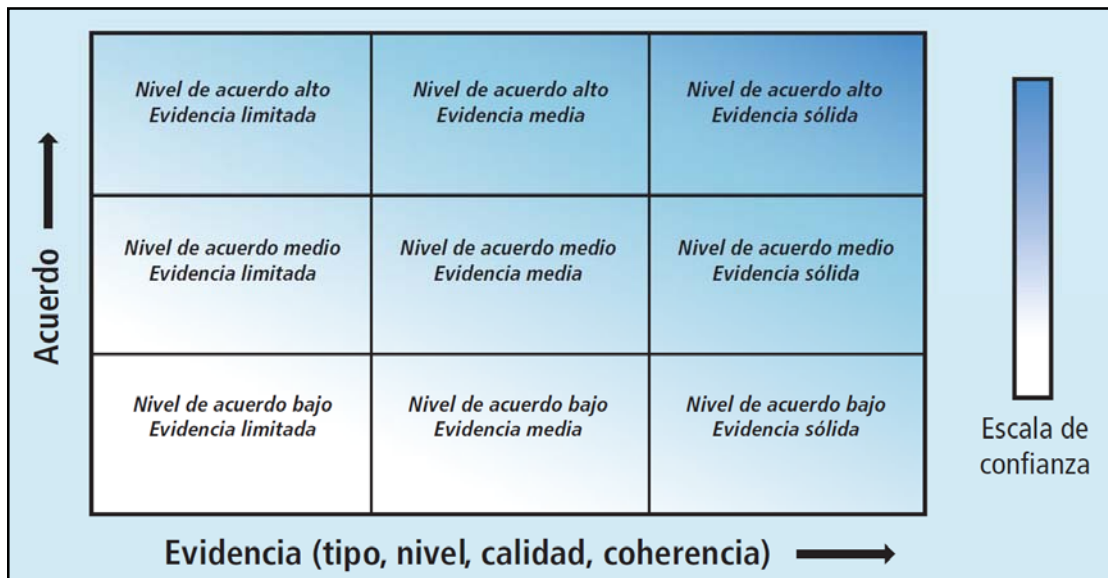
El Programa de Cambio Climático y calidad de aire (PROCLIM, 2005) menciona que durante la proyección de escenarios, la incertidumbre se relaciona a dos razones: La primera asociada al calentamiento global, ya que no se sabe con precisión cuál será el comportamiento ni las características de los gases de efecto invernadero en el futuro; y un segundo lugar, no se sabe cuáles van a ser los efectos que tendrán las emisiones sobre el sistema climático. Debido a estas dos fuentes de incertidumbre, se presentaran incertidumbres en los escenarios generados por los MCG; además de considerar la incertidumbre generada por la regionalización y la variabilidad natural.

De acuerdo con el IPCC (2013), la incertidumbre se basa en dos indicadores necesarios para comunicar el grado de certeza de los principales resultados fundamentados en los orígenes de la data obtenida para el proceso de análisis o evaluación:

- La confianza en la validez de un resultado está basada en el tipo, cantidad, calidad y coherencia de los datos o *evidencia*; por lo que es un indicador subjetivo que expresa el nivel de conformidad o *acuerdo* por parte del evaluador, de forma cualitativa;
- Las mediciones cuantificadas de la incertidumbre de un resultado es expresada de forma probabilística (según el análisis estadístico de las observaciones, evaluación de los resultados de modelos o bien del juicio experto).

El indicador de confianza ofrece una síntesis cualitativa de la valoración que realiza el evaluador sobre la validez de un resultado según el análisis de *evidencia* y el nivel de *acuerdo*. Si las incertidumbres se pueden cuantificar de forma probabilística, el evaluador puede describir el resultado empleando el lenguaje de la probabilidad (IPCC, 2013). La Figura 8 esquematiza los grados de evaluación de *evidencia* y niveles de *acuerdo* realizados como parte del índice de confianza.





**Figura 8: Incertidumbre en los escenarios generados por los modelos climáticos. Representación de la evidencia, nivel de acuerdo y relación con la confianza; la confianza aumenta tal como sugiere el aumento de la intensidad del sombreado. Fuente: IPCC (2013).**

Los valores de incertidumbre de los cambios proyectados para el sistema hidrológico reflejan la variabilidad interna del sistema climático, la incertidumbre de las futuras emisiones de gases invernadero y aerosoles, la traslación de estas emisiones al cambio climático mediante modelos climáticos; y la incertidumbre de los modelos hidrológicos. Las fuentes de incertidumbre de mayor proporcionalidad se deben entre muchas otras a: (1) emisiones de gases de efecto invernadero, (2) al modelo climático global (MCG) utilizado, (3) a la variabilidad natural de los factores climáticos, y (4) a la regionalización de un MCG global (PROCLIM, 2005; SENAMHI, 2005).

### III.MATERIALES Y METODOLOGÍA

#### 3.1. MATERIALES

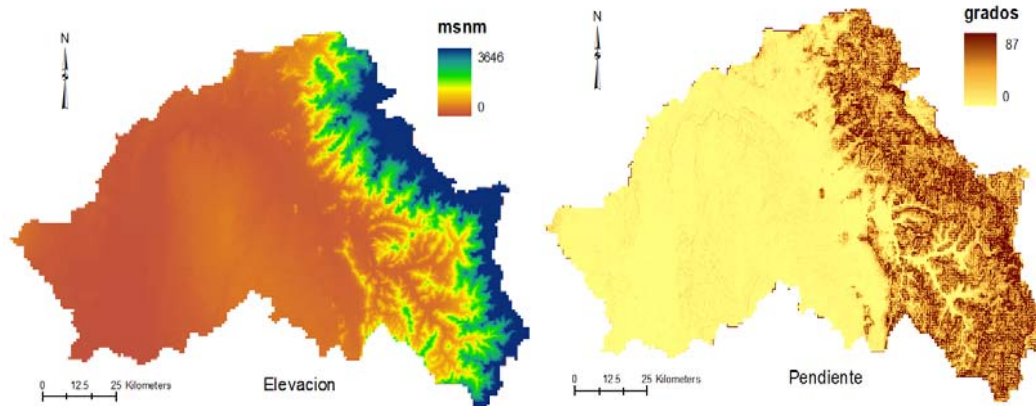
##### 3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de evaluación se encuentra delimitada por la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro en la cuenca del río Piura (esta última) ubicada entre las coordenadas: 4°42'-5°45' de latitud sur y 79°29'-81°00' de longitud oeste, desembocando en el océano Pacífico (ANA, 2010). La zona estudiada cuenta con un área drenada de 7,391.2 km<sup>2</sup> dentro de los 11,008 km<sup>2</sup> de extensión de la cuenca del río Piura tal como se muestra en la Figura 9.



Figura 9: Mapa de ubicación y sistema hidrográfico de la cuenca del río Piura.  
Fuente: Elaboración propia.

A partir del mapa de elevación digital (MED) con resolución de 90m x 90m descargada del *ASTER Global Digital Elevation Model* (ASTER GDEM), se obtuvo el mapa de elevación cuyos niveles de cota varían desde 0 hasta los 3646 msnm; mientras que los valores del mapa de pendientes varían desde 0 a 87 grados. Ver Figura 10



**Figura 10: Variación espacial de la altitud (izquierda) y de la pendiente (derecha) en la cuenca del río Piura con tamaño de pixel 90m x 90m.**

**Fuente: Elaborado a partir de información ASTER – GDEM.**

Las características geomorfológicas de la cuenca del río Piura fueron obtenidas a partir del MED y se detallan en el siguiente Cuadro 2:

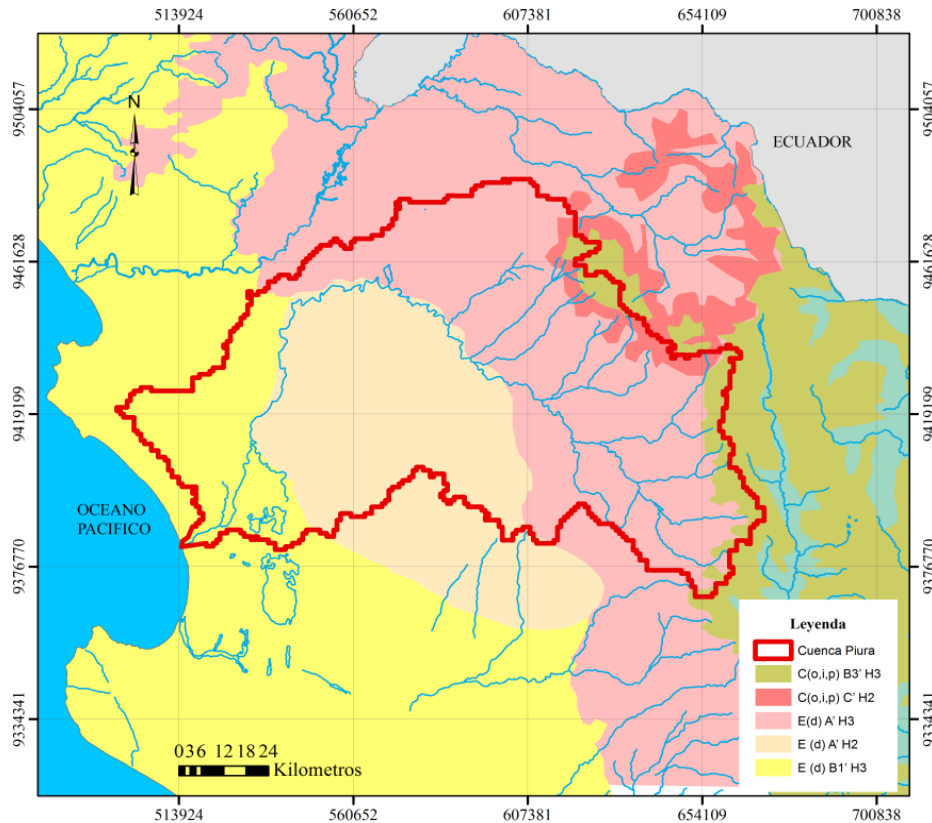
**Cuadro 2: Parámetros geomorfológicos de la zona de estudio.**

Descripción	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	11008
Longitud (km)	296
Perímetro (km)	758
Cota máxima (msnm)	3646
Cota mínima (msnm)	0
Factor de forma	0.13
Coefficiente de compacidad	2.02
Densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> )	0.22
Frecuencia de ríos (ríos/km <sup>2</sup> )	0.004

**Fuente: Elaboración Propia.**

De acuerdo con los resultados, la cuenca del río Piura presenta un área de 11008 km<sup>2</sup>, perímetro de 758 km y altitud máxima de 3646 msnm, desde donde se extiende su área de captación para la descarga del flujo hídrico al océano Pacífico. El coeficiente de compacidad igual a 2.02 indica que se trata de una cuenca de tipo rectangular oblonga,

mientras que el factor de forma 0.13 define a la cuenca como alargada. Además, según la densidad de drenaje de  $0.22 \text{ km/km}^2$  se establece que es una cuenca de clase cero (Clase 0) y presenta una frecuencia de  $0.004 \text{ ríos/Km}^2$ . En la Figura 11 se muestra el mapa de clasificación climática del Perú definida por el SENAMHI (2010).



**Figura 11: Mapa de clasificación climática de la cuenca del río Piura.**

Se tienen definidos cinco zonas climáticas por el método Thornthwait:

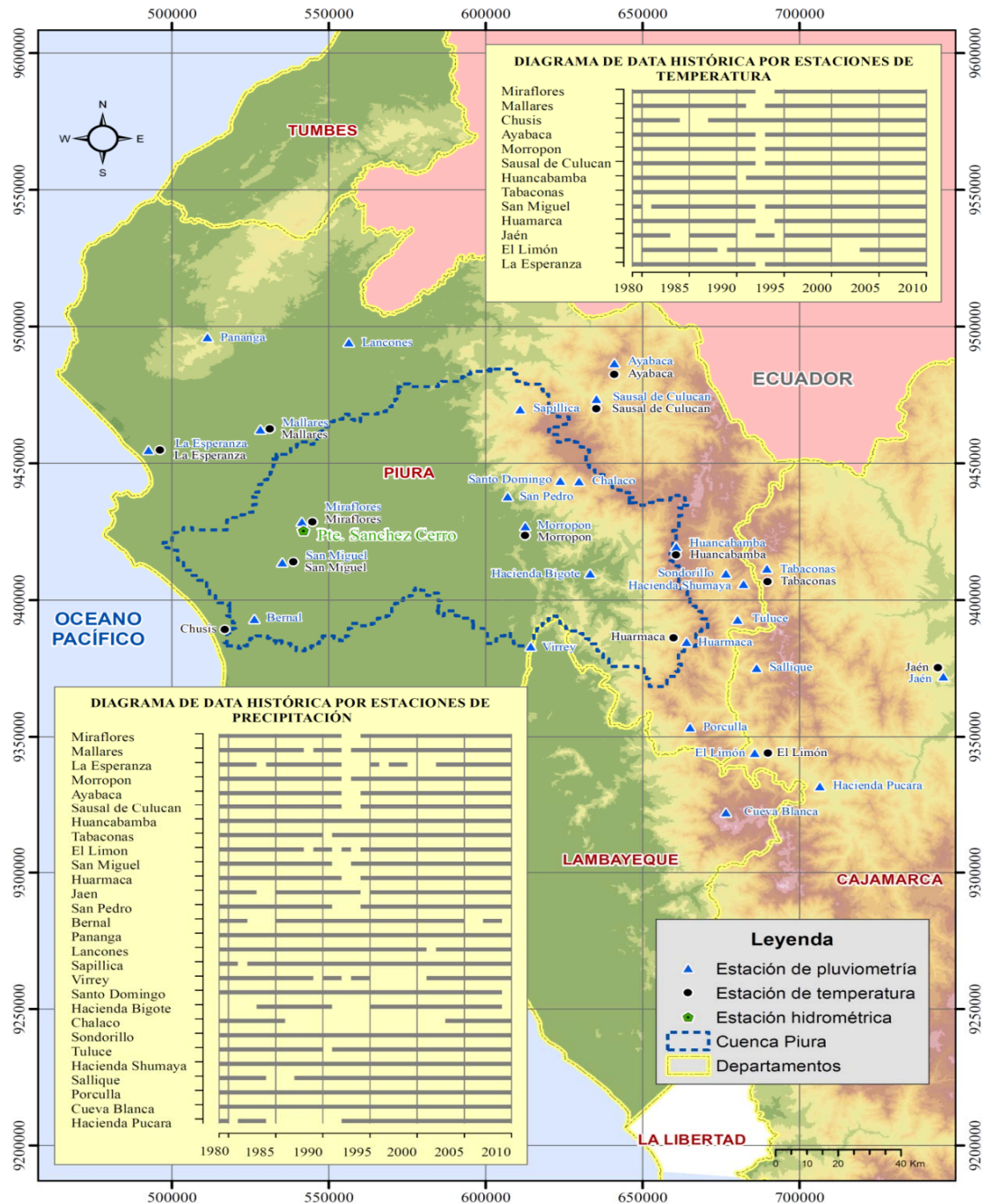
- (1) E (d) B'1 H3, clima desértico semi cálido con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año y humedad relativa calificada como húmeda;
- (2) E (d) A' H2, clima desértico cálido, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año y humedad relativa calificada como seca;
- (3) E (d) A' H3, clima desértico cálido, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año y humedad relativa calificada como húmeda;
- (4) C (o,i,p) C' H2, clima lluvioso, semi frío y seco, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno;
- (5) C (o,i,p) B'3 H3, clima semi seco, semi frío, lluvioso y húmedo.

Fuente: SENAMHI (2010).

### 3.1.2. INFORMACIÓN DE PLUVIOMETRÍA, TEMPERATURA Y CAUDAL

La información de precipitación y temperatura corresponden a 28 estaciones de precipitación (nueve dentro de la cuenca) y 13 estaciones de temperatura (cinco dentro de la cuenca), todas administradas por el SENAMHI; mientras que la información hidrométrica

corresponden a la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro administradas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). La ubicación de las estaciones seleccionadas se presenta en la Figura 12, mientras que sus coordenadas se presentan en el Cuadro 3.



**Figura 12: Ubicación de estaciones de pluviometría, temperatura, y estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro.**

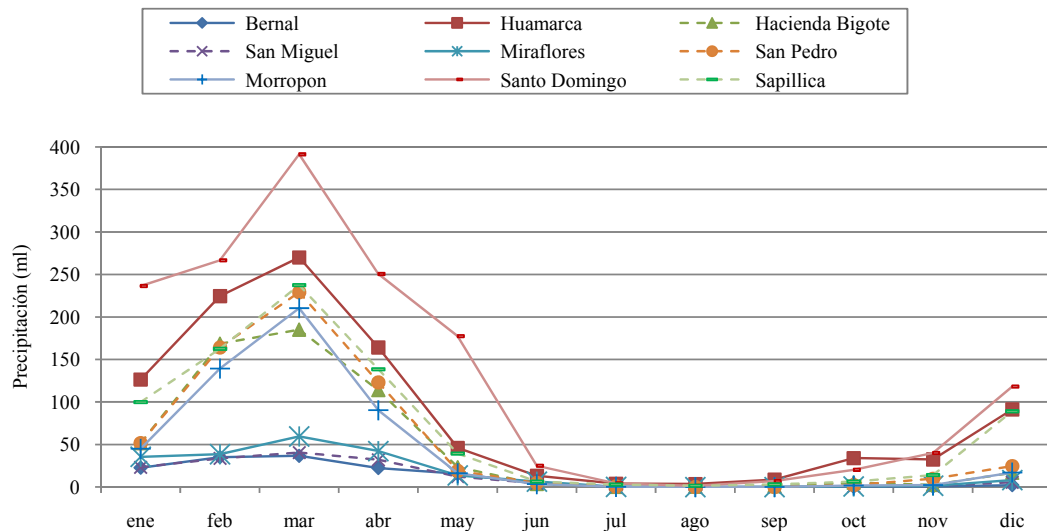
**Fuente: Elaborados con información del SENAMHI y la ANA.**

**Cuadro 3: Estaciones de precipitación, temperatura e hidrometría proporcionadas por SENAMHI y ANA, empleados en el estudio.**

Nombre	Coordenadas UTM WGS84 - 17S		Altitud (msnm)	Tipo de información proporcionada		
	Este	Norte		Q (m3/s)	PP (mm)	T (°C)
Punte Sánchez Cerro	541,866	9,425,369	-	x		
Ayabaca	641,024	9,486,573	2,830		x	x
Bernal	526,307	9,393,013	7		x	
Chalaco	629,702	9,443,473	1,791		x	
Chusis	516,922	9,389,270	6			x
Cueva Blanca	676,553	9,322,019	3,300		x	
El Limón	685,759	9,344,037	1,255		x	x
Hacienda Bigote	633,364	9,409,745	827		x	
Hacienda Pucara	706,507	9,331,810	1,000		x	
Hacienda Shumaya	682,181	9,405,884	2,050		x	
Huancabamba	660,662	9,419,484	3,177		x	x
Huarmaca	663,959	9,384,703	2,244		x	x
Jaén	745,949	9,371,973	632		x	x
La Esperanza	492,486	9,454,858	6		x	x
Lancones	556,417	9,494,171	123		x	
Mallares	528,212	9,462,345	29		x	x
Miraflores	541,344	9,428,593	30		x	x
Morropón	612,645	9,426,949	109		x	x
Pananga	511,308	9,496,064	500		x	
Porculla	665,146	9,353,465	1,971		x	
Sallique	686,405	9,375,185	1,750		x	
San Miguel	535,241	9,413,735	20		x	x
San Pedro	607,089	9,437,891	309		x	
Santo Domingo	623,758	9,443,515	1,475		x	
Sapillica	610,924	9,469,762	1,406		x	
Sausal de Culucan	635,362	9,473,469	1,015		x	x
Sondorillo	676,557	9,409,647	1,900		x	
Tabaconas	689,709	9,411,485	1,801		x	x
Tuluce	680,268	9,392,773	1,920		x	
Virrey	614,387	9,383,030	264		x	

Según los registros que van desde enero de 1980 a diciembre de 2010, la precipitación media mensual se inician moderadamente desde los meses de octubre y se intensifican desde diciembre hasta marzo. Luego, los eventos se reducen levemente hasta mayo con precipitaciones mínimas y, a partir de junio, las precipitaciones son imperceptibles hasta setiembre. Estos registros definen las temporadas húmedas con altas precipitaciones entre

los meses de enero a marzo, mientras que las temporadas secas con estiajes casi permanentes entre los meses de julio a septiembre tal como se observa en la Figura 13.



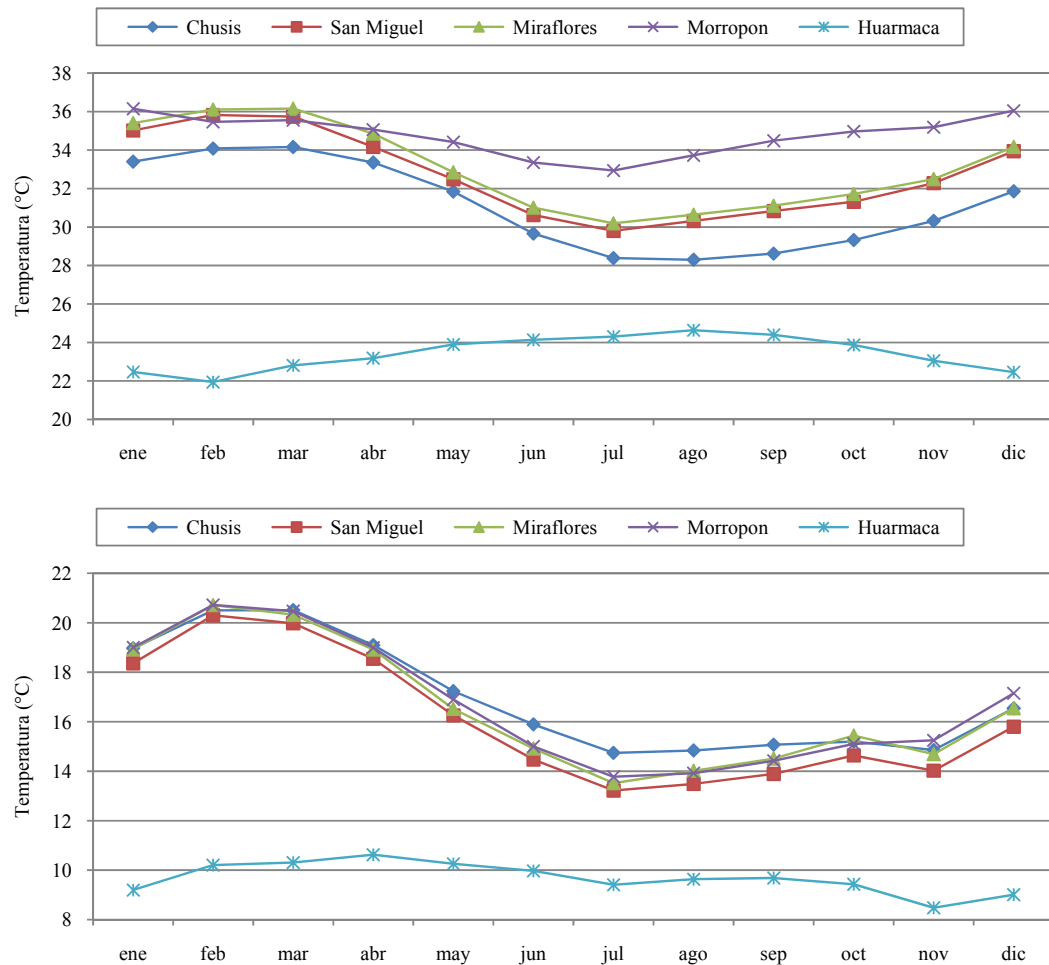
**Figura 13: Variación de la precipitación promedio mensual en las estaciones de la cuenca del río Piura, de enero de 1980 a diciembre de 2010.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Las temporadas húmedas, con sus respectivas precipitaciones, son proporcionales al piso altitudinal en el que se encuentren observadas, lo cual también se muestra en la Figura 13, donde se aprecia que las estaciones Bernal, Miraflores y San Miguel presentan precipitaciones máximas durante los meses de marzo que van desde los 36.68 ml (Bernal) hasta los 59.57 ml (Miraflores) definiendo este rango de precipitación máxima para zonas con altitudes por debajo de los 50 msnm. Por otro lado, las estaciones Huamarca, Hacienda Bigote, San Pedro, Morropón, Santo Domingo y Sapollica definen el rango de precipitación máxima para zonas por sobre los 100 msnm, las cuales van desde los 184.98 ml (Hacienda Bigote) hasta los 391.34 ml (Santo Domingo). Durante las temporadas secas, las precipitaciones disminuyen extremadamente, sin embargo, las pocas que se presentan esporádicamente entre los meses de julio a septiembre dan un promedio de 1.44 ml.

Por otro lado, las temperaturas de la cuenca Piura también reflejan la variabilidad de esta información por altitud y por temporadas húmedas y secas. La Figura 14 superior muestra las máximas temperaturas observadas donde se aprecia, en las temporadas húmedas, que las estaciones Chusis, San Miguel, Miraflores y Morropón presentan valores elevados desde 34.08 °C (Chusis, febrero) hasta los 36.15 °C (Miraflores, marzo), y valores poco

elevados desde 20.30 °C (San Miguel, febrero) hasta los 20.72 °C (Morropón, febrero). De la misma forma, la Figura 14 inferior muestra las mínimas temperaturas observadas donde se aprecia en temporadas secas para las mismas estaciones valores elevados desde 28.3 °C (Chusis, agosto) hasta los 32.94 °C (Morropón, julio), y valores poco elevados desde 13.22 °C (San Miguel, julio) hasta los 14.74 °C (Chusis, Julio). Estas estaciones se encuentran a una altitud por debajo de los 110 msnm; en cambio la estación Huarmaca se encuentra a una altitud de 2244 msnm, observándose temperatura máxima de 24.64 °C en el mes de agosto y su temperatura mínima de 8.47 °C en el mes de noviembre. Esta información también corresponde a data observada desde enero de 1980 a diciembre de 2010.



**Figura 14: Variación de la temperatura promedio mensual en las estaciones de la cuenca del río Piura, de enero 1980 a diciembre de 2010.**

**Temperatura promedio mensual máximas (superior) y mínimas (inferior)**

**Fuente: Elaboración propia.**



### 3.1.3. SOFTWARES

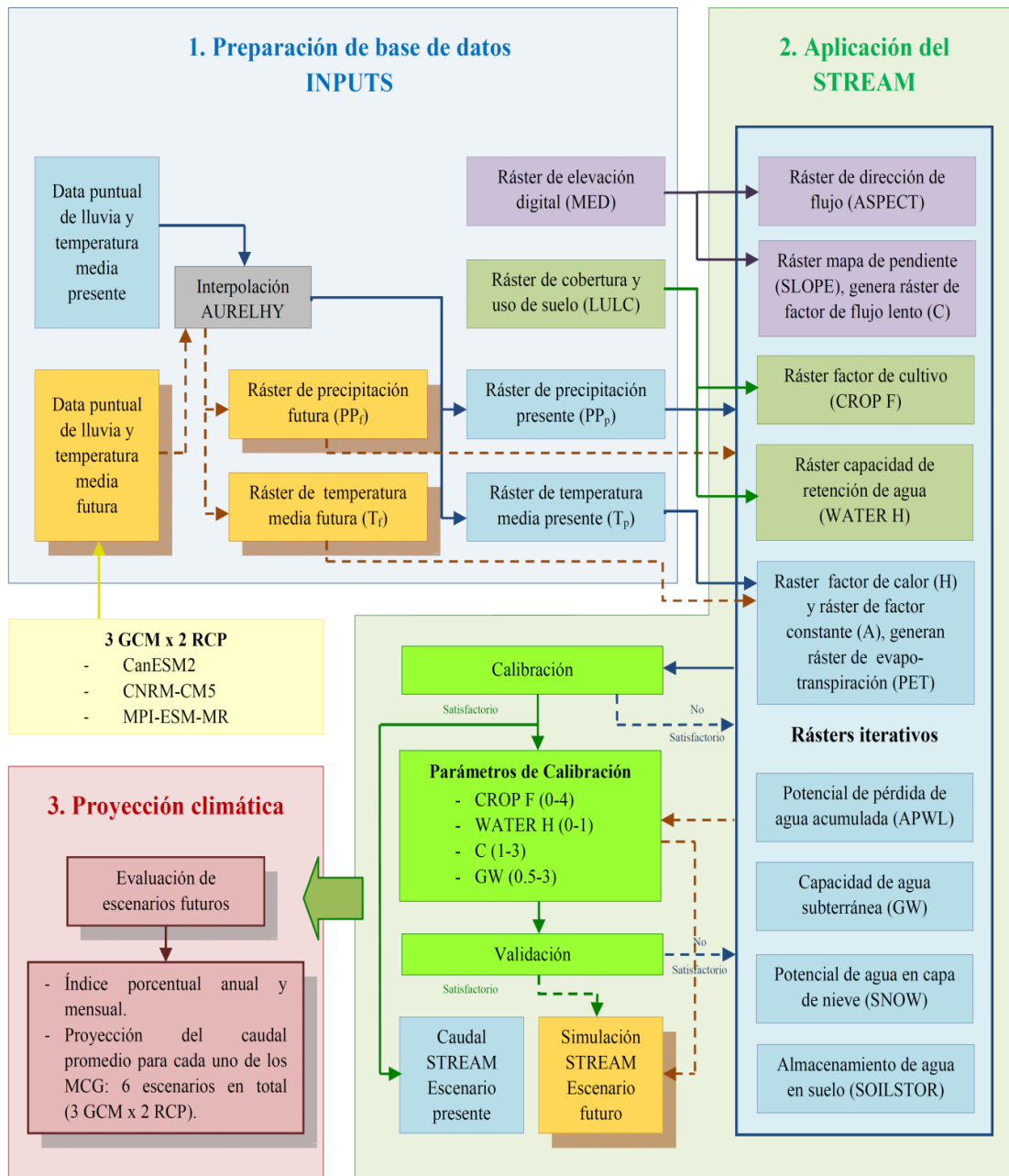
El Cuadro 4 muestra la relación de softwares utilizados en el estudio.

**Cuadro 4: Softwares utilizados en el estudio.**

Software	Descripción
STREAM:	Modelo hidrológico distribuido de proyección de caudales. Fue diseñado para realizar estudios de evaluación de impactos del cambio climático en la agricultura aplicando la metodología de interpolación AURELHY a los datos de precipitación y temperatura, a la cual se accede a través de la plataforma web MOSAICC.
Matlab:	Lenguaje de programación MatlabR 2014.
R:	Lenguaje de programación Rx64 versión 3.2.0.
Python:	Lenguaje de programación Python versión 2.7.9.
TauDEM:	Utilizado para realizar el análisis del terreno utilizando MED's.
PEST:	Modelo de: estimación de parámetros independientes, y análisis de incertidumbre.
ArcGIS:	Utilizado para el manejo de información satelital y geográfica con formato RASTER y/o SHAPE. Versión 9.3 y/o 10.
QGIS:	Utilizado para el manejo de información satelital y geográfica con formato RASTER y/o SHAPE. Simplifica el trabajo con formatos TIFF. Versión 2.2.0.
MOSAICC:	Sistema de modelado para impactos agrícolas en el cambio climático (Modeling System for Agricultural Impacts on Climate Change). Para su aplicación, se debe solicitar un usuario a la oficina de la FAO y seguir el siguiente enlace: <a href="http://190.102.144.105/mosaicc/index.php?q">http://190.102.144.105/mosaicc/index.php?q</a> .

### 3.2. METODOLOGÍA

La metodología seguida en el presente trabajo de investigación comprende los siguientes procedimientos: (1) preparación de base de datos inputs (2) aplicación del modelo distribuido STREAM; y (3) proyección climática, los cuales se resumen en el diagrama de flujo de la Figura 15.



**Figura 15: Diagrama de flujo de la metodología empleada en el estudio.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.2.1. PREPARACIÓN DE BASE DE DATOS INPUTS

Para la aplicación del modelo distribuido STREAM, se deben preparar los mapas de uso y cobertura de suelo (LULC), de elevación digital (MED), precipitación media mensual (PP) y temperatura media mensual (T); todos delimitados en el área de la cuenca mediante un mapa de área (MASK).

Los mapas ráster de precipitación media mensual (PP) y de temperatura media mensual (T) son obtenidos aplicando la metodología de interpolación AURELHY, la cual requiere del análisis y selección de componentes principales en base a los datos de precipitación y temperatura para luego proceder con el análisis preliminar de dichos componentes y por último realizar la interpolación.

#### **a. Análisis de componentes principales (ACP)**

El proceso se inicia con un ACP utilizando la herramienta *PCA (Principal Component Analysis)* de la plataforma MOSAICC mediante el uso del MED en el área de estudio a 1km de resolución. El experimento se archivó y nos define como resultado una serie de componentes principales (*Principal Components, PC*) para cada parámetro evaluado, seleccionando tres PC de precipitación junto a 12 PC de temperatura media.

El análisis preliminar es una técnica utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos con la finalidad de hallar las causas de la variabilidad de los datos y ordenarlos por importancia. Una de las ventajas del ACP para reducir la dimensionalidad de un grupo de datos es que retiene aquellas características del conjunto de datos que contribuyen más a su varianza, manteniendo un orden de bajo nivel de los componentes principales e ignorando los de alto nivel. El objetivo es que esos componentes de bajo orden de varianza contengan el aspecto más importante de la información, permitiendo de esta forma la selección de los PC más relevantes (De la Fuente Fernández, 2011).

#### **b. Análisis preliminar**

Para continuar con el análisis preliminar de los datos de temperatura y precipitación, usamos la herramienta *Preliminary Analysis of the data* que requiere del experimento obtenido en el procedimiento anterior (ACP); en el cual se selecciona la cantidad de componentes principales a emplear, y también se seleccionan las estaciones de pluviometría y temperatura de la data del SENAMHI. Para el estudio se consideró tres PC de precipitación junto con 28 estaciones pluviométricas y 12 PC de temperatura media junto con 13 estaciones de temperatura media, considerando el periodo de enero de 1980 a diciembre 2010. La ubicación de las estaciones de pluviometría y temperatura se muestran en la Figura 12.

La cantidad de componentes principales y estaciones de pluviometría y temperatura se van seleccionando de acuerdo a la evaluación que se realice durante el ACP; es así que, por defecto el análisis preliminar, inicia su proceso con todos los PC y estaciones pluviométricas y de temperatura, pero van siendo descartadas conforme no cumplan con los indicadores estadísticos definidos por los parámetros de distribución del variograma seleccionado los cuales se indican en el Cuadro 5. Para el estudio se seleccionó un variograma de tipo esférico tanto en precipitación (*Sill*: 1, *Range*: 4, y *Nugget*:2) como en temperatura media (*Sill*: 1, *Range*: 2, y *Nugget* 0.2).

**Cuadro 5: Valores recomendados para los parámetros de los variogramas de precipitación y temperatura.**

Parámetro	Valores para temperaturas	Valores para precipitación	
		Clima árido	Clima tropical
Sill (Pepita)	0.2 a 1	0.02 a 0.2	0.5 a 2
Nugget (Meseta)	1 a 3	0.1 a 1	1 a 5
Range (Rango)	2 a 4	2 a 4	2 a 4

**Fuente: Devobel (2014).**

### c. Interpolación AURELHY

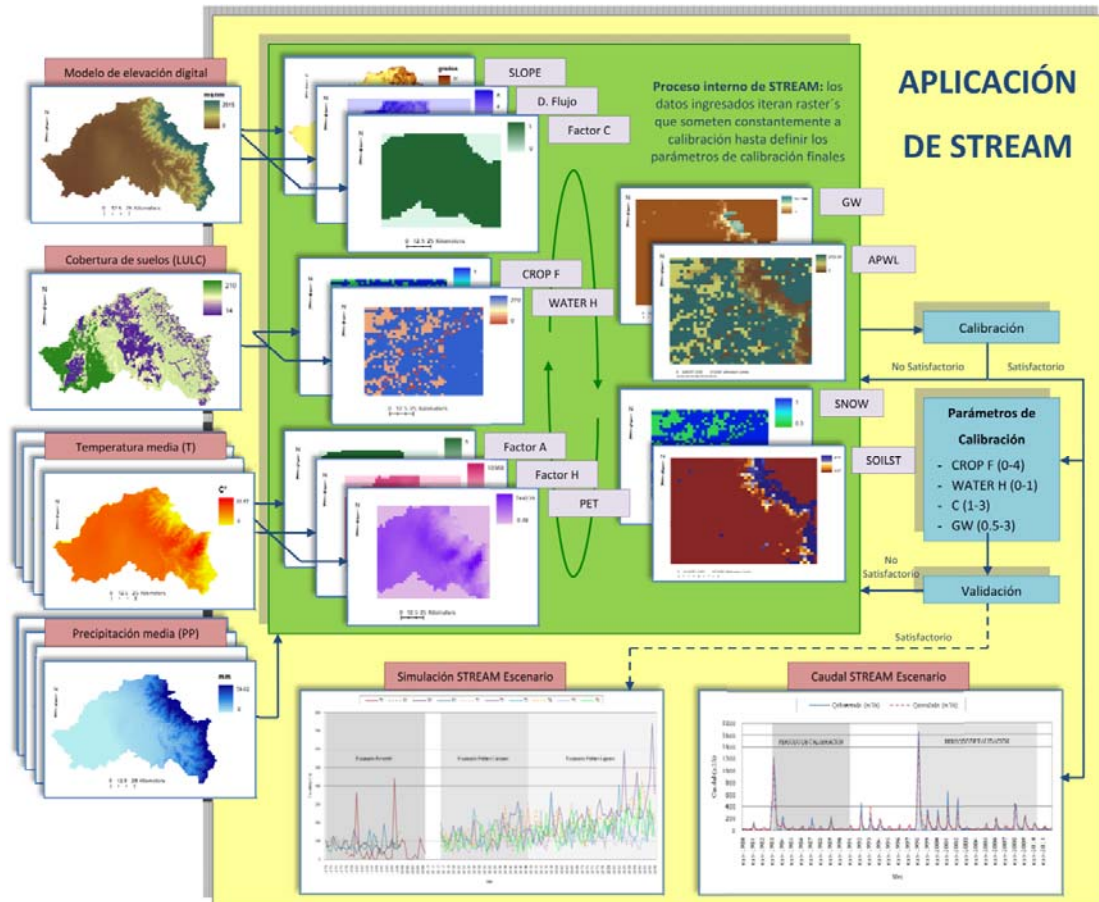
Al término del análisis preliminar, se procede con la interpolación bajo la metodología AURELHY, seleccionando dicho método en la herramienta *Interpolation of the data starting from a preliminary analysis* de la plataforma MOSAICC. Esta interpolación combina una predicción con un modelo de regresión multivariable basado en variables derivadas de la topografía. Para la interpolación, se tiene como referencia a los PC seleccionados y el análisis preliminar de la interpolación.

### 3.2.2. APLICACIÓN DEL MODELO DISTRIBUIDO STREAM

Ingresados los mapas ráster indicados en el punto anterior, el modelo distribuido STREAM genera internamente, mapas de información que representan los parámetros físicos iniciales utilizados para correr el modelo antes de la calibración y validación.

Entre los mapas que se generan tenemos los mapas de dirección de flujo (ASPECT), mapa de factor de flujo lento (C) generado mediante el mapa de pendiente (SLOPE), mapa de factor de cultivo (CROP F), mapa de capacidad de retención de agua (WATER H); y

finalmente el mapa de evapotranspiración (PET) generado mediante los mapas factor de calor (H y A) obtenidos del mapa de temperatura (T). Además, se generan de forma iterativa los mapas de pérdida de agua acumulada (APWL), capa de nieve (SNOW), almacenamiento de agua en suelo (SOILSTOR) y capacidad de agua subterránea (GW). Esta etapa se esquematiza a continuación en la Figura 16.



**Figura 16: Aplicación del modelo distribuido STREAM.**

**Fuente: Elaboración Propia.**

El Mapa de dirección del flujo *ASPECT* es obtenida a partir del MED así como el mapa de factor de flujo lento *C*; este último considerado como parámetro de calibración por el STREAM cuya creación implica una reclasificación del mapa de pendientes *SLOPE* con valores entre uno (para pendiente pronunciadas) a tres (para pendiente poco pronunciadas).

Los mapas de factor de cultivo *CROP F* y de capacidad de retención de agua *WATER H* están relacionados con los parámetros de calibración *crop factor* y *wáter holding* del STREAM respectivamente, y su creación implica una reclasificación del mapa de uso y

cobertura de suelos LULC con valores basados en la tabla de Deursen and Kwadijk, (1994).

Los mapas de evapotranspiración *PET* mensual son elaborados con los mapas de temperatura (generando previamente los mapas de factor de calor *H* y *A*) e interactúan con los mapas de precipitación en un proceso interno del STREAM. Este proceso iterativo da como resultado los mapas de pérdida de agua acumulada *APWL*, capa de nieve *SNOW*, almacenamiento de agua en suelo *SOILSTOR* y capacidad de agua subterránea *GW*; este último considerado también como parámetro de calibración. La iteración se lleva constantemente hasta alcanzar la estabilidad de los parámetros de calibración en busca de un ajuste entre los valores observados y los valores modelados del caudal de salida.

#### a. Calibración

Como parte de la calibración, el estudio considera un total de nueve años de registro que van desde febrero de 1983 hasta febrero de 1991; y como parte de los procesos del modelamiento hidrológico distribuido STREAM, el modelo considera cuatro principales parámetros de calibración los cuales se detallan en el Cuadro 6.

**Cuadro 6: Parámetros de calibración del modelo hidrológico STREAM.**

Parámetro	Descripción	Rango
Crop Factor	Utiliza las características de la cobertura del suelo, determina la evapotranspiración.	0 - 4
Ground wáter Fraction	Fracción de agua subterránea que se deposita en el subsuelo.	0 - 1
Waterholding Layer	Capacidad de retención de agua en el suelo	0.5 – 3
C	Refleja de duración del flujo en meses.	1 - 3

**Fuente: Aerts (2005).**

La calibración del modelo STREAM se realizó usando el utilitario PEST, el cual hace una optimización de los parámetros en dos pasos: (1) calibra el parámetro *Cropfactor* y (2) Calibra los parámetros *waterholding*, *groundwater* y *C*. Este proceso se realiza iterativamente hasta finalizar con parámetros calibrados que son guardados en los archivos CALPAR1.txt y CALPAR2.txt.

## b. Simulación

Seguidamente, con la fase de validación se demuestra que el modelo de una zona específica es capaz de realizar simulaciones con suficiente precisión, esta precisión puede variar dependiendo del objetivo. Para el estudio, la validación toma en cuenta los parámetros obtenidos en la calibración y los aplica al periodo desde enero de 1998 hasta junio del 2010.

La eficiencia de los proceso de calibración y validación son evaluados con los índices estadísticos de: Error de volumen  $E_v$ , Nash Sutcliffe  $E$ , Correlación de Pearson  $R$  e Índice  $RSR$ . Después de alcanzar la calibración y validación satisfactoria, se procede con la simulación de escenarios futuros.

### 3.2.3. PROYECCIÓN CLIMÁTICA

El presente estudio considera la proyección de dos escenarios (RCP 4.5 y RCP 8.5) usando tres MCG (MPI-ESM-MR, CANESM2 y CNRM-CM5), por lo cual, se consiguieron en total seis proyecciones *pausibles* indicados en el Cuadro 7 para presentar resultados de un total de seis escenarios proyectados.

**Cuadro 7: Modelos de circulación general atmosférica (MCG).**

Modelo	Instituto	Resolución	Escenario	Escenarios proyectados
MPI-ESM-MR	MPI	1.8° × 1.8°	RCP 4.5	MPI-ESM-MR - RCP 4.5
			RCP 8.5	MPI-ESM-MR - RCP 8.5
CanESM2	CCC MAC	2.8° × 2.8°	RCP 4.5	CANESM2 - RCP 4.5
			RCP 8.5	CANESM2 - RCP 8.5
CNRM-CM5	CNRM-CERFACS	1.4° × 1.4°	RCP 4.5	CNRM-CM5 - RCP 4.5
			RCP 8.5	CNRM-CM5 - RCP 8.5

**Fuente: SENAMHI, 2015.**

Los tres modelos utilizados han sido estudiados y puestos en evaluación por SENAMHI en el Perú, considerando la nueva generación de proyecciones climáticas que se encuentra disponible en el Proyecto de Comparación de Modelos Acoplados Fase 5 (CMIP5); estos incorporan componentes adicionales que describen la interacción de la atmosfera con el uso del suelo, la vegetación, los aerosoles y el ciclo del carbono; además, su aplicación en el Perú dio buenos resultados en la zona norte del Perú (SENAMHI, 2014). Los MCG que se encuentran disponibles en el CMIP5 se presentan en el Cuadro 8.

**Cuadro 8: Modelos de circulación general incluidos dentro del proyecto CMIP5.**

MCG	Instituto	Resolucion	Referencia
CanESM2	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis	2.8° × 2.8°	Chylek <i>et al.</i> (2011)
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques, France	1.4° × 1.4°	Voltaire <i>et al.</i> (2011)
GFDL-ESM2M	Geophysical Fluid Dynamics Lab, USA	2.5° × 2°	Dunne <i>et al.</i> (2012)
IPSL-CM5A-MR	Institut Pierre-Simon Laplace, France	1.5° × 1.27°	Dufresne <i>et al.</i> (submitted)
MIROC-ESM	Japan Agency for Marine-Earth Science & Technol.	2.8° × 2.8°	Watanabe <i>et al.</i> (2011)
MPI-ESM-MR	Max-Plank Institute, Germany	1.8° × 1.8°	Raddatz <i>et al.</i> (2007); Junglauss <i>et al.</i> (2010)

**Fuente: SENAMHI (2014)**

Por su parte, la evaluación del RCP 4.5 se nos representará un escenario de estabilización donde el forzamiento radiativo total de estabilizará antes del 2100 por el empleo de una serie de tecnologías y estrategias para al reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, mientras que la evaluación del RCP 8.5 se caracterizará por el aumento sin control de las emisiones de gases de efecto invernadero a través del tiempo (SENAMHI, 2014).

Un escenario climático futuro es una representación *plausible* que indica cómo posiblemente se comportará el clima en una región en una cierta cantidad de años, tomando en cuenta datos históricos y usando modelos climáticos de proyección (IPCC, 2013). Para un mejor análisis de los efectos del cambio climático en la oferta de agua, los escenarios proyectados se evaluaron en dos periodos llamados: (1) futuro cercano, con periodo proyectado desde enero del 2016 hasta diciembre del 2050; y (2) futuro lejano, con periodo proyectado desde enero del 2051 hasta diciembre del 2099.

Es preciso mencionar que las proyecciones resultantes no son una declaración férrea de lo que va a ocurrir en el intervalo de años futuros evaluados, sino que pretende dar una idea de las condiciones que podrían presentarse dentro de la cuenca Piura para efecto de toma de decisiones rápidas en referencia al contexto del cambio climático por parte de los actores principales de la cuenca.



Para la proyección de caudales futuros, se simuló el modelo distribuido STREAM con los parámetros calibrados; para ello se generó los mapas precipitación mensual y temperatura las cuales se proyectaron desde el año enero de 2016 hasta el diciembre de 2099.

Para poder analizar los efectos del cambio climático en la oferta hídrica de la cuenca del río Piura, se procedió a analizar los caudales a nivel mensual utilizando diferentes herramientas gráficas y estadística, que nos ayudaran a examinar las variaciones entre los caudales observados y los proyectados.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados principales se centran en la evaluación de los seis escenarios hidrológicos proyectados en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro para dos periodos de tiempo continuos: Futuro *Cercano*, desde enero de 2016 a diciembre de 2050; y Futuro *Lejano*, desde enero de 2051 a diciembre de 2099. Los escenarios están definidos por dos RCP de cambio climático (RCP 4.5, RCP 8.5) modelados en los tres tipos de MCG utilizados (MPI-ESM-MR, CANESM2, CNRM-CM5) tal como se detalla en el punto 3.2.3.

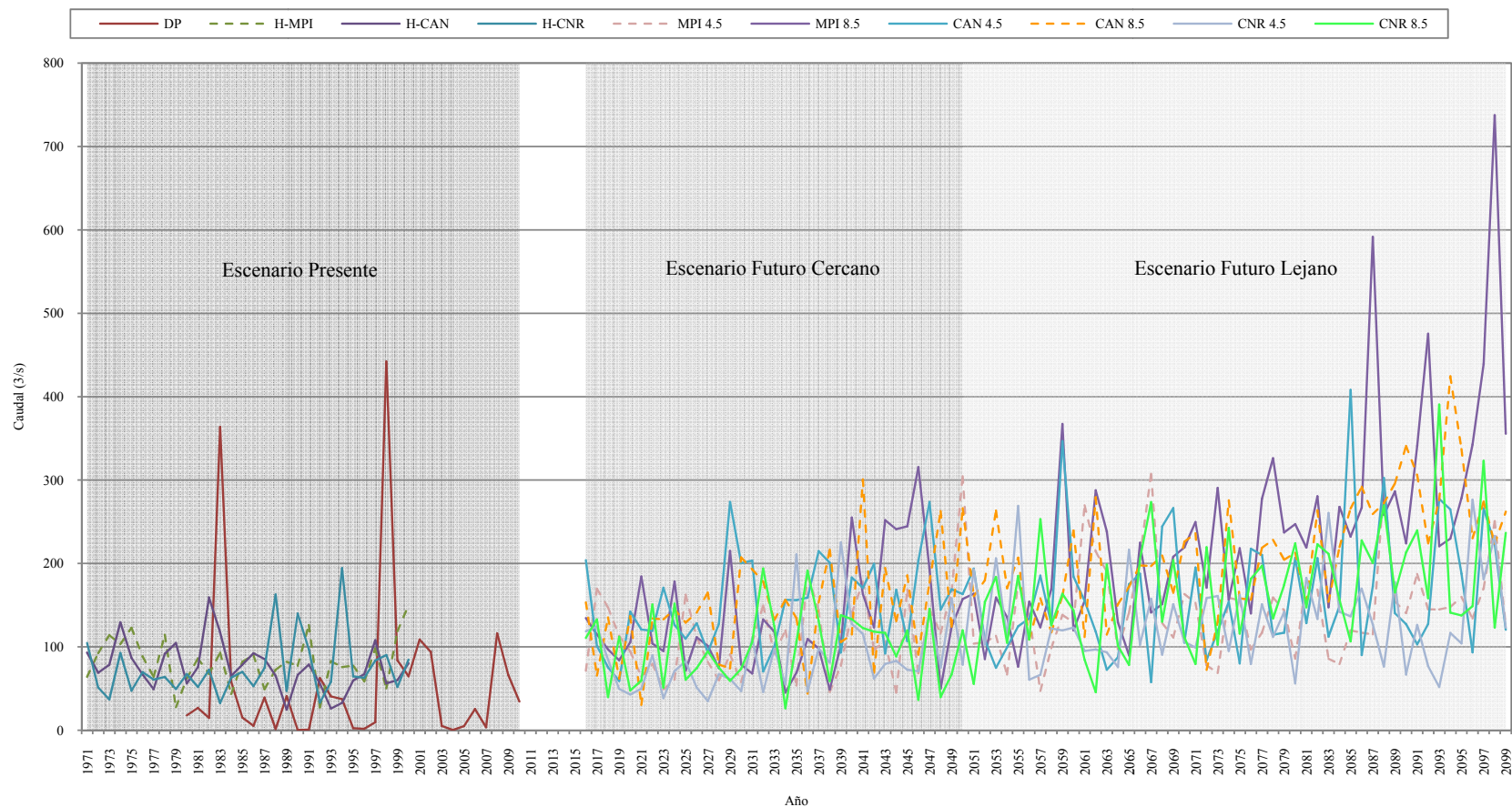
### 4.1. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La evaluación del cambio climático en la hidrología de la cuenca del río Piura se realiza comparando los resultados de los escenarios futuros cercano y lejano con los escenarios históricos calculados por el modelo STREAM (un histórico por cada MCG utilizado). El Cuadro 9 presenta cada uno de los escenarios modelados indicando el periodo al que corresponden y un código de simplificación con el fin de facilitar la interpretación; además, sus respectivos caudales se adjuntan desde la Tabla 1 a la Tabla 10 de los anexos.

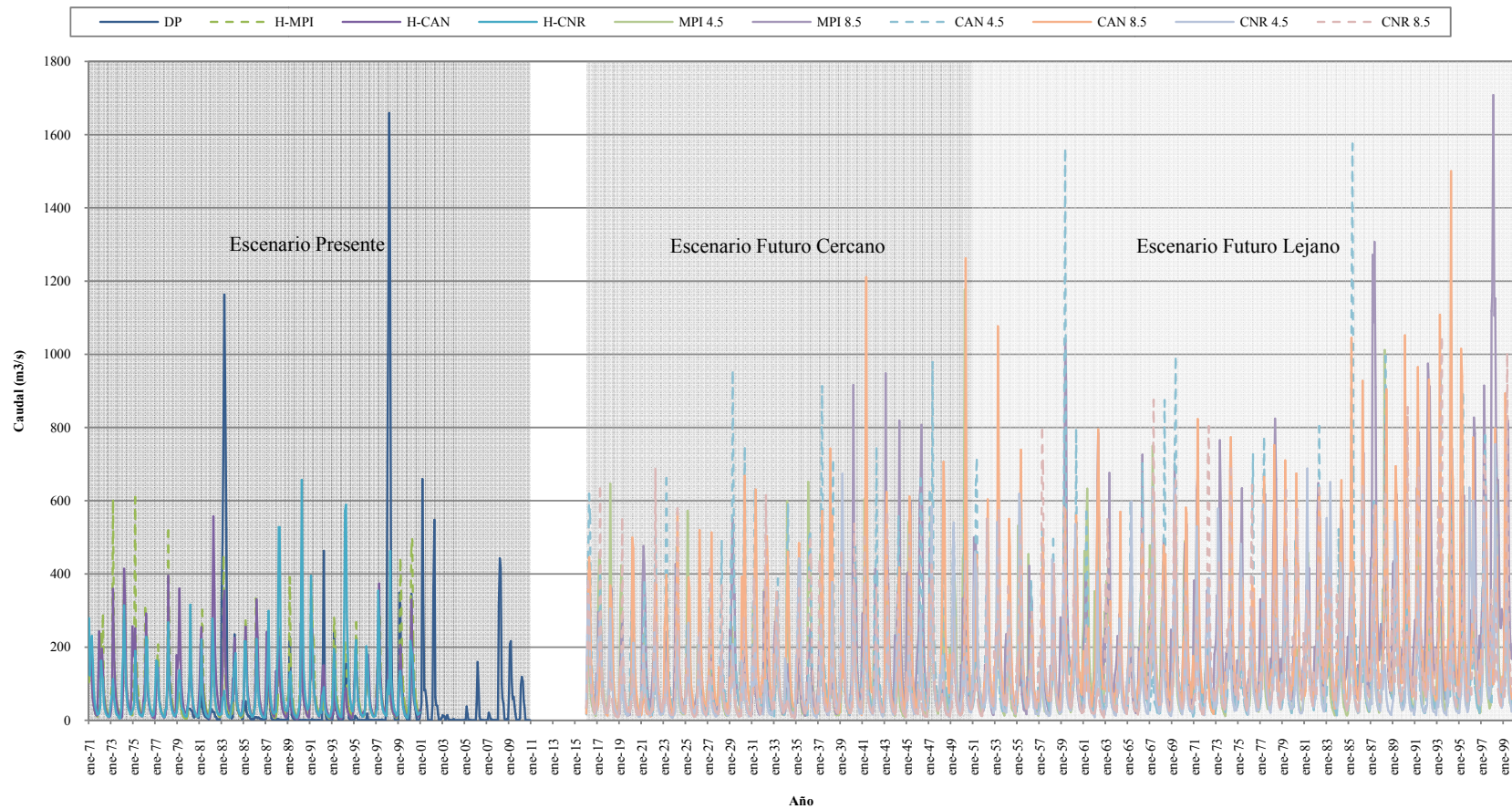
**Cuadro 9: Escenarios climáticos para los periodos presente, histórico y futuro.**

Escenarios climáticos	Periodo	Código
Data presente (observada)	Presente: de enero de 1980 a diciembre de 2010.	DP
Histórico MPI-ESM-MR	Histórico: de enero de 1971 a diciembre de 2000.	H-MPI
Histórico CANESM2		H-CAN
Histórico CNRM-CM5		H-CNR
MPI-ESM-MR – RCP4.5	Futuros: Cercano, de enero de 2016 a diciembre de 2050. y Lejano, de enero de 2051 a diciembre de 2099.	MPI 4.5
MPI-ESM-MR – RCP8.5		MPI 8.5
CANESM2 – RCP4.5		CAN 4.5
CANESM2 – RCP8.5		CAN 8.5
CNRM-CM5 – RCP4.5		CNR 4.5
CNRM-CM5 –RCP8.5		CNR 8.5

La Figura 17 y la Figura 18 muestran respectivamente los hidrogramas de caudal anual y mensual elaborados con los caudales obtenidos de los escenarios detallados en el Cuadro 9.



**Figura 17: Hidrogramas del caudal anual en estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro a escenarios presente, histórico y futuro. (1) Escenario presente DP de enero de 1980 a diciembre de 2010; (2) escenarios históricos: H-MPI, H-CAN, H-CNR de enero de 1971 a diciembre de 2000; y (3) escenarios futuros proyectados: MPI 4.5, MPI 8.5, CAN 4.5, CAN 8.5, CNR 4.5, CNR 8.5 de enero de 2016 a diciembre de 2099 (futuro cercano y lejano).**



**Figura 18: Hidrogramas del caudal mensual en estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro a escenarios presente, histórico y futuro. (1) Escenario presente DP de enero de 1980 a diciembre de 2010; (2) escenarios históricos: H-MPI, H-CAN, H-CNR de enero de 1971 a diciembre de 2000; y (3) escenarios futuros proyectados: MPI 4.5, MPI 8.5, CAN 4.5, CAN 8.5, CNR 4.5, CNR 8.5 de enero de 2016 a diciembre de 2099 (futuro cercano y lejano).**

La comparación entre los escenarios futuros proyectados e históricos obtenidos por cada modelo MCG se expresa como la *variación* porcentual ( $\Delta\%$ ) calculada entre la diferencia de los resultados promedios anuales, mensuales y/o estacionales; es decir, se obtiene el caudal promedio anual, mensual y/o estacional para cada periodo futuro (cercano y lejano) y se calcula una diferencia en términos porcentuales con el caudal promedio respectivo de cada periodo histórico; considerando esta operación entre resultados futuros e históricos obtenidos de un mismo modelo. Las variaciones promedio anual, estacional y mensual nos permiten interpretar los cambios probables del comportamiento hidrológico de un periodo futuro en varios escenarios respecto al periodo histórico, considerando como índice de significancia para su clasificación a la varianza de datos históricos ( $\sigma$ ).

**a. Variación promedio anual**

La variación promedio anual obtuvo resultados positivos en todos los escenarios. Para el periodo futuro cercano; el escenario que presenta menor variación con un 17 por ciento es CNR 4.5, representando este valor un cambio no significativo, y el de mayor variación con 99 por ciento es CAN 4.5 siendo un cambio extremo; así mismo para el periodo futuro lejano, el escenario que presenta mayor variación con 196 por ciento es MPI 8.5, y el de menor variación con 76 por ciento es MPI 4.5 siendo ambos valores un cambio extremo. Estos resultados se muestran en el Cuadro 10.

**Cuadro 10: Variación porcentual de caudal promedio anual a futuro cercano y futuro lejano.**

Escenario	$\Delta$ % Promedio anual	
	Futuro cercano (2016-2050)	Futuro lejano (2051-2099)
MPI 4.5	37%	76%
MPI 8.5	62%	196%
CAN 4.5	99%	116%
CAN 8.5	89%	184%
CNR 4.5	17%	79%
CNR 8.5	34%	131%

**Nota:**

**No significativo;**  $(x \in [-\sigma; \sigma])$ 
 **Significativo;**  $(x \in [-2\sigma; -\sigma] \cup \{\sigma; 2\sigma\})$ 
 **Extremo;**  $(x \in [-\infty; -2\sigma] \cup \{2\sigma; \infty\})$

$\sigma$ : varianza de data histórica.

En el Cuadro 11 se presentan los caudales promedio anual en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro de los escenarios a futuro cercano, futuro lejano, y de los escenarios históricos (H-MPI, H-CAN, H-CNR) con los que son comparados.

**Cuadro 11: Caudal promedio anual histórico a futuro cercano y a futuro lejano en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro.**

Periodo	Escenario	Caudal promedio anual (m <sup>3</sup> /s)
Histórico (1971-2000)	H-MPI	82.04
	H-CAN	75.96
	H-CNR	74.36
Futuro cercano (2016-2050)	MPI 4.5	112.06
	MPI 8.5	133.14
	CAN 4.5	150.84
	CAN 8.5	143.40
	CNR 4.5	87.05
	CNR 8.5	99.31
	MPI 4.5	144.46
	MPI 8.5	242.98
Futuro lejano (2051-2099)	CAN 4.5	164.18
	CAN 8.5	215.43
	CNR 4.5	133.39
	CNR 8.5	171.44

#### **b. Variación promedio estacional**

Tomando como base los resultados mensuales, se presentan los resultados promedio estacionales considerando al verano, otoño, invierno y primavera como las estaciones a desarrollar. La variación promedio estacional también obtuvo resultados positivos en todos los escenarios. Para el periodo futuro cercano, el escenario que presenta menor variación con uno por ciento es CNR 4.5 durante el verano, y el de mayor variación con 205 por ciento es CAN 8.5 durante el invierno. Cabe resaltar que, en el verano, el cambio es no significativo y, invierno y primavera, el cambio es de significativo a extremo. Así mismo, para el periodo futuro lejano, el escenario que presenta mayor variación con 468 por ciento es CAN 8.5 durante el invierno, y el de menor variación con dos por ciento es CAN 4.5 durante el verano, resaltando también que en invierno y primavera el cambio es extremo.

Estos resultados obtenidos así como meses que conforman cada estación se presentan en el Cuadro 12.

**Cuadro 12: Variación porcentual de caudal promedio estacional a futuros cercano y futuro lejano.**

Periodo	Escenario	$\Delta$ % Promedio estacional			
		Verano (Dic-Feb)	Otoño (Mar-May)	Invierno (Jun-Ago)	Primavera (Sep-Nov)
Futuro cercano (2016-2050)	MPI 4.5	38%	29%	58%	67%
	MPI 8.5	75%	44%	104%	113%
	CAN 4.5	12%	114%	188%	139%
	CAN 8.5	62%	88%	205%	150%
	CNR 4.5	1%	55%	95%	50%
	CNR 8.5	1%	84%	62%	62%
Futuro lejano (2051-2099)	MPI 4.5	79%	55%	138%	145%
	MPI 8.5	191%	131%	396%	465%
	CAN 4.5	2%	123%	280%	201%
	CAN 8.5	112%	158%	468%	361%
	CNR 4.5	30%	127%	254%	170%
	CNR 8.5	59%	176%	296%	303%

**Nota:**

No significativo; ( $x \in [-\sigma; \sigma]$ )
  Significativo; ( $x \in [-2\sigma; -\sigma] \cup [\sigma; 2\sigma]$ )
  Extremo; ( $x \in [-\infty; -2\sigma] \cup [2\sigma; \infty]$ )

$\sigma$ : varianza de data histórica.

En el Cuadro 13 se presentan los caudales promedio estacional en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro de los escenarios a futuro cercano, futuro lejano, y de los escenarios históricos (H-MPI, H-CAN, H-CNR) con los que son comparados.

**Cuadro 13: Caudal promedio estacional histórico a futuro cercano y a futuro lejano en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro.**

Periodo	Escenario	Caudal promedio estacional (m3/s)			
		Verano (Dic-Feb)	Otoño (Mar-May)	Invierno (Jun-Ago)	Primavera (Sep-Nov)
Histórico (1971-2000)	H-MPI	73.36	194.55	43.98	16.28
	H-CAN	78.73	168.77	39.35	16.98
	H-CNR	73.18	126.90	39.64	15.42

... continuación

Futuro cercano (2016-2050)	MPI 4.5	101.47	250.14	69.53	27.10
	MPI 8.5	128.28	280.07	89.52	34.68
	CAN 4.5	87.89	361.65	113.25	40.56
	CAN 8.5	127.61	316.72	119.94	42.42
	CNR 4.5	74.06	196.84	77.45	23.12
	CNR 8.5	74.19	233.93	64.08	25.03
Futuro lejano (2051-2099)	MPI 4.5	131.13	302.45	104.46	39.81
	MPI 8.5	213.12	448.60	218.27	91.94
	CAN 4.5	80.34	375.81	149.54	51.04
	CAN 8.5	166.60	434.77	223.50	78.25
	CNR 4.5	94.82	288.47	140.42	41.55
	CNR 8.5	116.43	350.16	156.97	62.20

### c. Variación promedio mensual

La variación promedio mensual presenta resultados de variación más detallados. El modelo CNRM-CM5 presenta ocho meses con variación negativa, cinco de futuro cercano y tres de lejano; el modelo CANESM2 presenta siete meses con variación negativa, cuatro de futuro cercano y tres de lejano; y el modelo MPI-ES-MR presenta un solo caso de variación negativa con el promedio mensual de marzo en periodo futuro lejano.

Para el periodo futuro cercano, el escenario con menor variación es CNR 4.5 durante diciembre con -33 por ciento, y con mayor variación con 306 por ciento es CAN 4.5 durante mayo. Así mismo para el periodo futuro lejano, el escenario con mayor variación es CNR 8.5 durante noviembre con 4029 por ciento, y con menor variación con -32 por ciento es CNR 4.5 durante febrero. Estos resultados se presentan en el Cuadro 14.

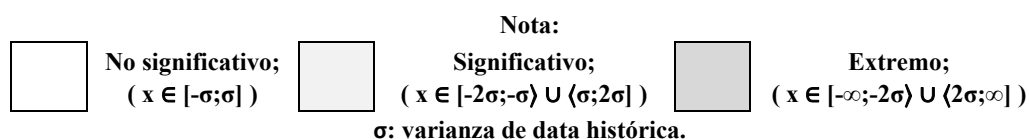
**Cuadro 14: Variación porcentual de caudal promedio mensual a futuro cercano y futuro lejano.**

Periodo	Escenario	Δ % Promedio mensual											
		ene	feb	mar	abr	may	jun	Jul	ago	sep	oct	nov	dic
Futuro cercano (2016-2050)	MPI 4.5	38%	27%	9%	31%	74%	59%	56%	60%	66%	70%	63%	109%
	MPI 8.5	81%	57%	8%	44%	135%	113%	95%	95%	101%	106%	138%	173%
	CAN 4.5	-7%	32%	14%	145%	306%	180%	196%	195%	189%	201%	52%	-16%
	CAN 8.5	22%	29%	-3%	99%	294%	216%	194%	194%	198%	211%	65%	-5%
	CNR 4.5	-29%	-31%	-17%	19%	89%	92%	100%	95%	79%	60%	3%	-33%
	CNR 8.5	-4%	0%	1%	57%	85%	63%	59%	62%	67%	65%	54%	21%

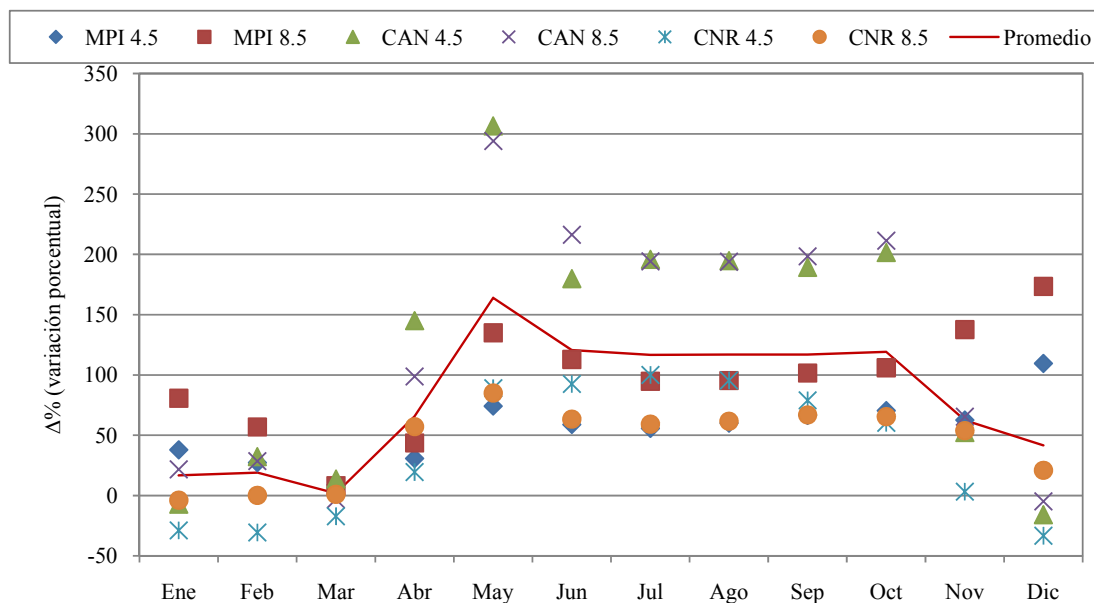


... continuación

Futuro lejano (2051-2099)	MPI 4.5	129%	36%	-9%	73%	183%	146%	129%	130%	131%	132%	177%	215%
	MPI 8.5	267%	84%	21%	139%	390%	449%	349%	346%	338%	414%	704%	661%
	CAN 4.5	-1%	7%	-8%	127%	444%	300%	265%	257%	264%	279%	92%	-7%
	CAN 8.5	70%	39%	20%	199%	421%	529%	421%	397%	424%	423%	263%	97%
	CNR 4.5	-1%	-32%	-7%	80%	234%	251%	260%	252%	221%	188%	86%	48%
	CNR 8.5	135%	20%	2%	118%	540%	533%	678%	1088%	2350%	2232%	4029%	1808%



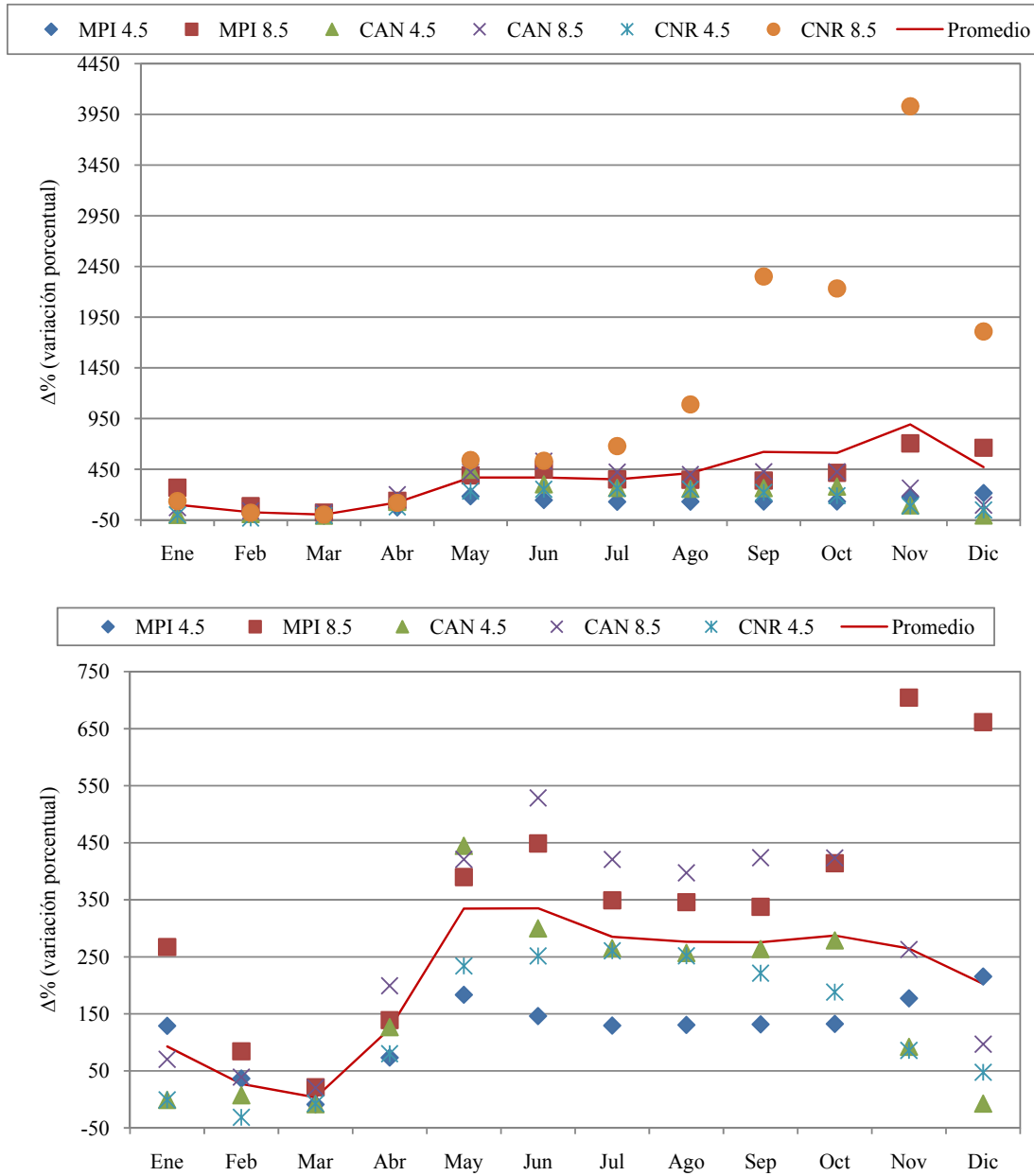
La Figura 19 muestra la tendencia de variación promedio mensual en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro obtenida de los seis escenarios proyectados a periodo futuro cercano de enero de 2016 a diciembre de 2050; así como la tendencia promedio de estos valores.



**Figura 19: Tendencia de variación porcentual de caudal promedio mensual proyectado a futuro cercano, de enero de 2016 a diciembre de 2050.**

La Figura 20 superior muestra la tendencia de variación promedio mensual en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro obtenida de los seis escenarios proyectados a periodo futuro lejano de enero de 2051 a diciembre de 2099, así como la tendencia promedio de

estos valores. Por su parte, la Figura 20 inferior muestra también la tendencia de variación promedio mensual en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro, excluyendo la tendencia del escenario CNR 8.5 por presentar valores extremos.



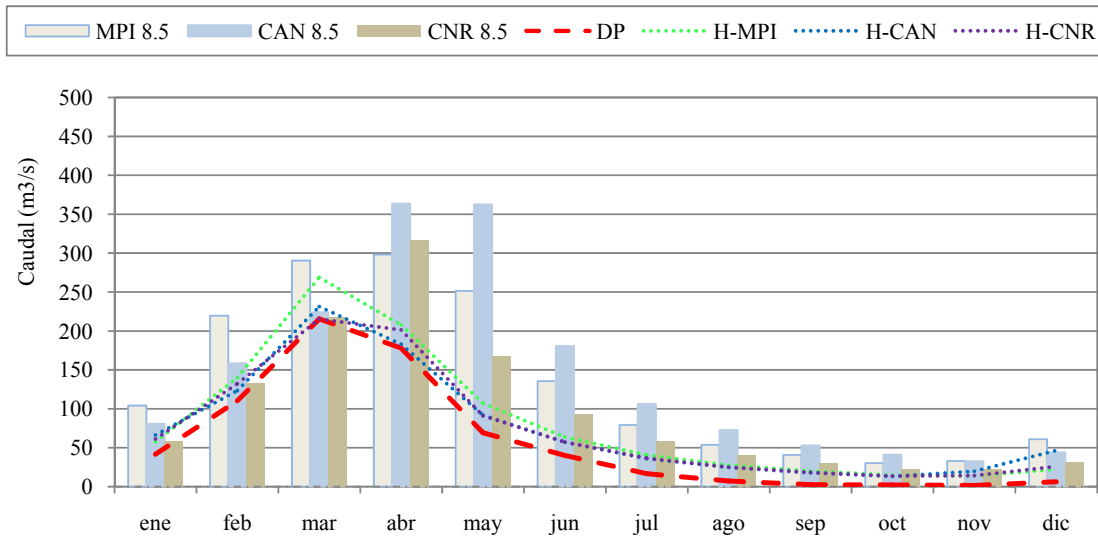
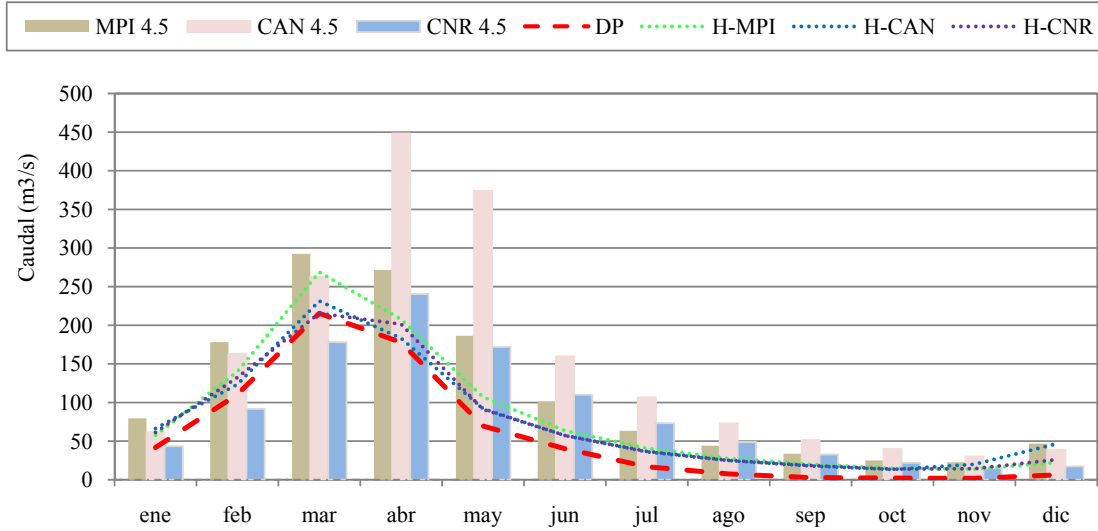
**Figura 20: Tendencia de variación porcentual de caudal promedio mensual proyectados a futuro lejano, de enero de 2051 a diciembre de 2099.**

En el Cuadro 15, se presentan los caudales promedio mensual en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro de los escenarios a futuro cercano, futuro lejano; y de los escenarios históricos (H-MPI, H-CAN, HCNR) con los que son comparados para la obtención de la variación mensual. Adicionalmente, se incluye los caudales promedio mensual del escenario de data observada o presente (DP).

**Cuadro 15: Caudal promedio mensual histórico, presente, a futuro cercano y a futuro lejano en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro.**

Periodo	Escenario	Caudal promedio mensual (m <sup>3</sup> /s)											
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Presente	DP	41.7	110.3	215.4	177.9	69.4	40.1	16.7	7.3	2.6	2.1	1.7	6.2
Histórico (1971- 2000)	H-MPI	57.7	140.1	268.9	207.7	107.1	63.7	40.7	27.6	20.2	14.7	13.9	22.3
	H-CAN	66.3	123.4	231.3	183.0	92.0	57.1	36.1	24.8	17.8	13.2	19.9	46.4
	H-CNR	61.2	132.4	215.3	201.4	91.0	57.2	36.6	25.0	18.3	13.7	14.3	26.0
Futuro cercano (2016- 2050)	MPI 4.5	79.6	178.2	292.5	271.5	186.5	101.2	63.3	44.1	33.6	25.1	22.6	46.7
	MPI 8.5	104.3	219.6	290.4	298.2	251.6	135.5	79.2	53.8	40.7	30.3	33.0	60.9
	CAN 4.5	61.6	163.1	262.7	448.3	374.0	159.9	106.8	73.1	51.5	39.9	30.3	39.0
	CAN 8.5	80.8	158.6	224.0	363.6	362.5	180.7	106.3	72.9	53.1	41.2	32.9	44.2
	CNR 4.5	43.4	91.7	178.1	240.5	171.9	110.1	73.3	48.9	32.7	21.9	14.8	17.3
	CNR 8.5	58.7	132.4	217.3	316.2	168.3	93.5	58.3	40.5	30.5	22.6	22.0	31.4
Futuro lejano (2051- 2099)	MPI 4.5	132.1	191.1	244.4	359.6	303.4	156.6	93.3	63.5	46.7	34.2	38.5	70.2
	MPI 8.5	211.8	257.9	325.4	496.0	524.4	349.4	182.6	122.8	88.4	75.7	111.7	169.7
	CAN 4.5	65.8	132.3	211.8	414.7	500.9	228.4	131.8	88.4	64.7	50.2	38.3	43.0
	CAN 8.5	112.8	171.6	277.8	547.4	479.1	359.2	188.0	123.3	93.2	69.3	72.2	91.2
	CNR 4.5	60.5	90.6	199.4	362.3	303.7	201.2	132.1	88.0	58.7	39.3	26.6	38.3
	CNR 8.5	98.1	132.5	219.2	387.5	443.8	253.9	130.1	86.9	64.6	50.0	72.0	118.7

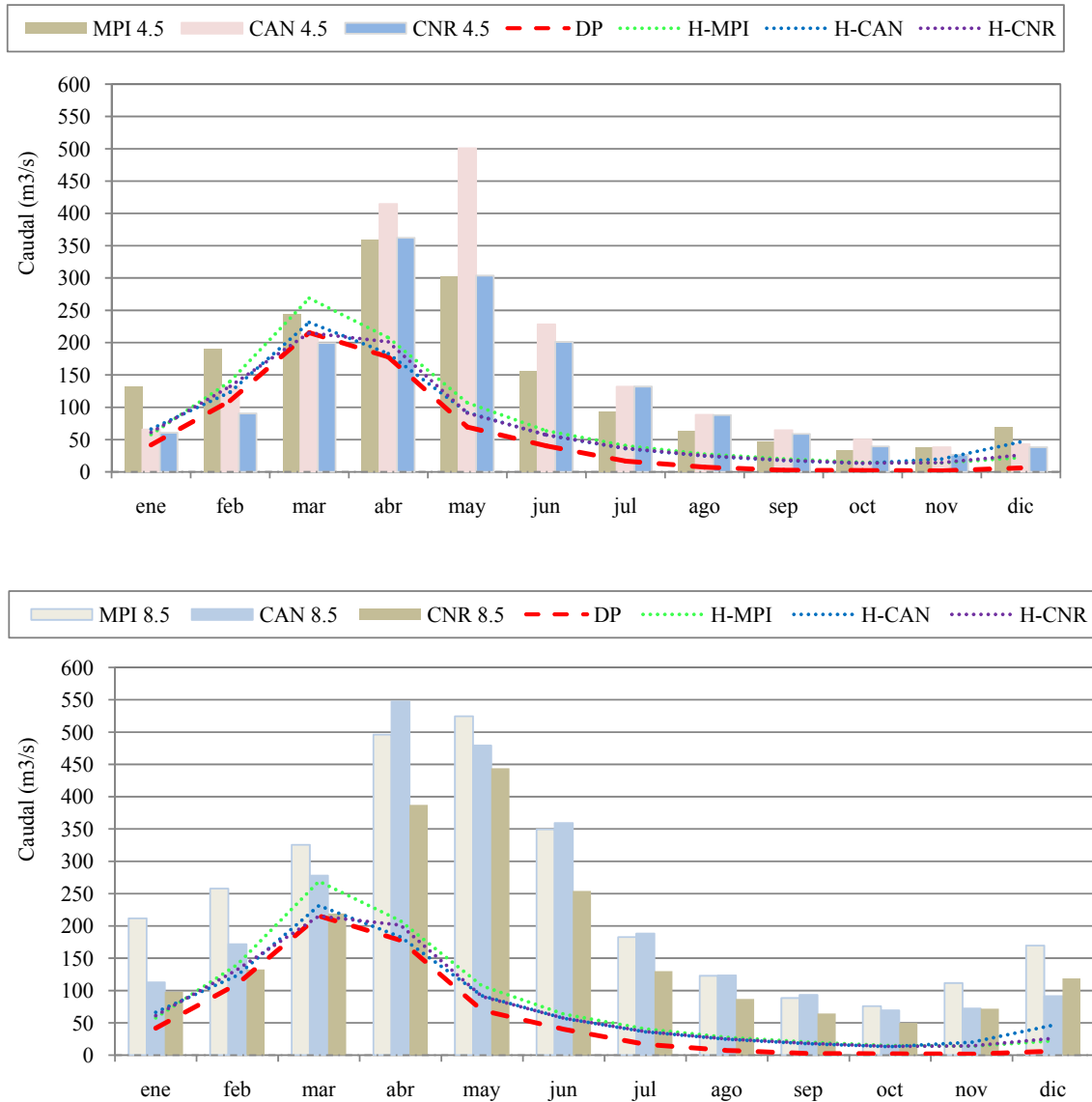
Para los escenarios futuros *cercanos*, la Figura 21 superior muestra los hidrogramas de caudal promedio mensual para los escenarios RCP 4.5 (MPI 4.5, CAN 4.5 y CNR 4.5); mientras que la Figura 21 inferior muestra los hidrogramas de caudal promedio mensual para los escenarios RCP 8.5 (MPI 8.5, CAN 8.5 y CNR 8.5). Ambas figuras corresponden a la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro y presentan los hidrogramas de los caudales históricos H-MPI, H-CAN, H-CNR y, presente DP para su comparación. Se observa que los caudales máximos en los escenarios históricos tienen lugar en los meses de marzo, mientras que en la mayoría de escenarios futuros, los caudales máximos tienen lugar en los meses de abril.



**Figura 21: Hidrogramas de caudal promedio mensual de escenario presente, histórico y futuro cercano RCP 4.5 (superior) y RCP 8.5 (inferior) en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro.**

De la misma forma, para los escenarios futuros *lejanos*, la Figura 22 superior muestra los hidrogramas de caudal promedio mensual para los escenarios RCP 4.5 (MPI 4.5, CAN 4.5 y CNR 4.5); mientras que la Figura 22 inferior muestra los hidrogramas de caudal promedio mensual para los escenarios RCP 8.5 (MPI 8.5, CAN 8.5 y CNR 8.5). Ambas figuras corresponden a la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro y presentan los

hidrogramas de los caudales históricos H-MPI, H-CAN, H-CNR y, presente DP para su comparación. Se observa que los caudales máximos en los escenarios históricos tienen lugar en los meses de marzo, mientras que en la mayoría de escenarios futuros, los caudales máximos tienen lugar entre los meses de abril y mayo.



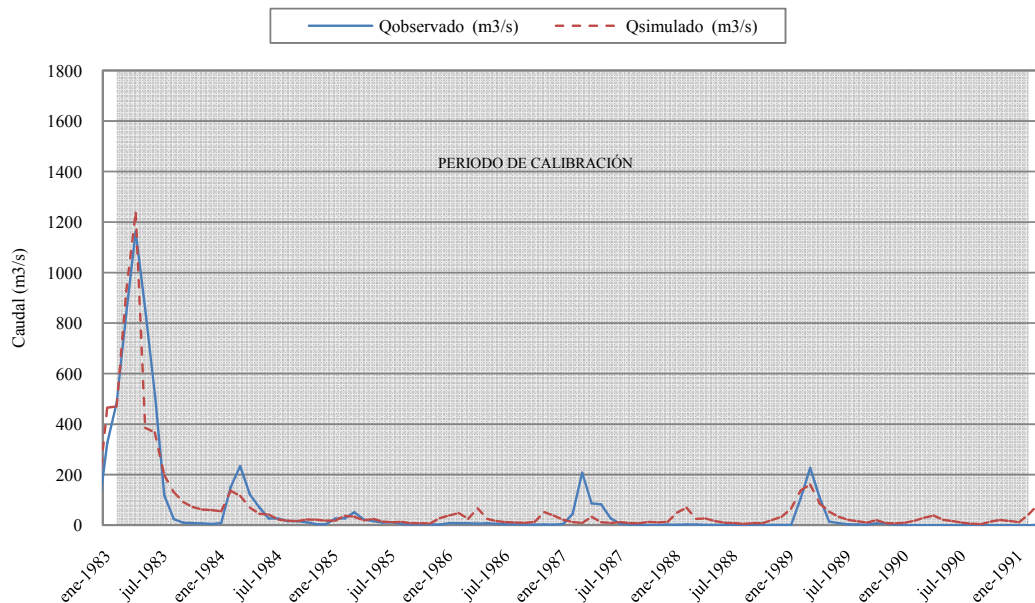
**Figura 22: Hidrogramas de caudal promedio mensual de escenario presente, histórico y futuro lejano RCP 4.5 (superior) y RCP 8.5 (inferior), en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro.**

## 4.2. CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO

La calibración y validación obtenidas por el STREAM fueron satisfactorias. La calibración se realizó para el periodo de tiempo de febrero de 1983 a febrero de 1991 y obtuvo un índice de Nash-Sutcliffe ( $E_v$ ) igual a 8.95, un error de volumen ( $E$ ) igual a 0.87 y una raíz de error cuadrático de ( $RSR$ ) igual a 0.36; además el coeficiente de correlación de Pearson fue de 0.8. Estos resultados se presentan en el Cuadro 16 mientras que la Figura 23 muestra los hidrogramas de caudal mensual observado y simulado en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro para el periodo de calibración.

**Cuadro 16: Índices de eficiencia en la calibración del modelo hidrológico distribuido STREAM.**

Estadístico	Calibración (1983 - 1991)	
Error de volumen	$E_v$	0.09
Índice de Nash-Sutcliffe	$E$	0.87
Coefficiente de Correlación Pearson	$R$	0.8
Índice RSR	$RSR$	0.36

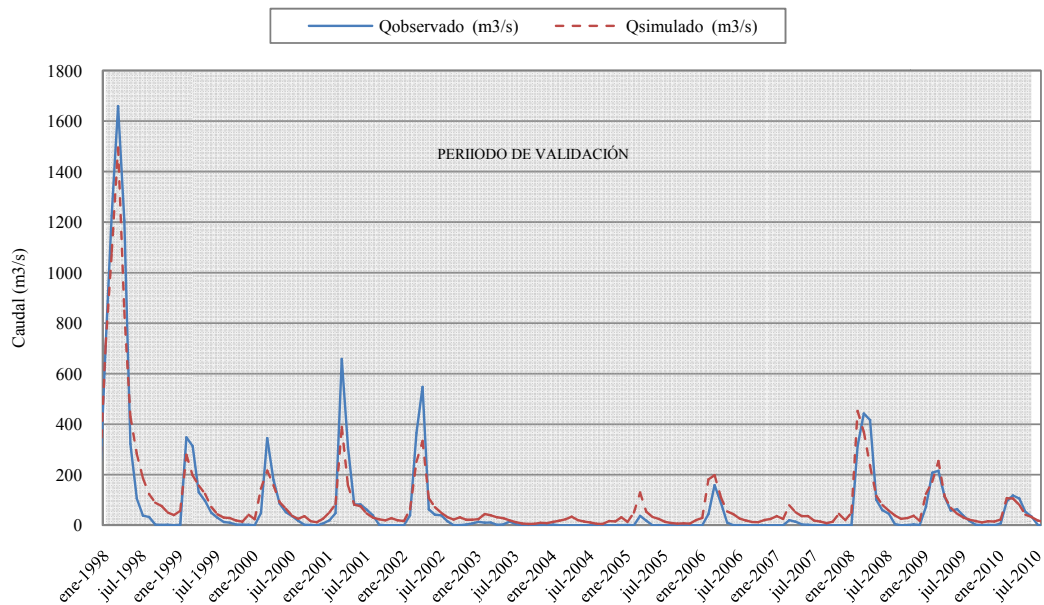


**Figura 23: Hidrogramas de caudales mensual observado y simulado de febrero de 1983 a febrero de 1991 en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro.**

De la misma forma, la validación se realizó para el periodo de enero de 1998 a junio de 2010 y obtuvo un índice de Nash-Sutcliffe ( $Ev$ ) igual a 12.26, un error de volumen ( $E$ ) igual a 0.92 y una raíz de error cuadrático de ( $RSR$ ) igual a 0.29; además el coeficiente de correlación de Pearson fue de 0.9. Estos resultados se presentan en el Cuadro 17 mientras que la muestra los hidrogramas de caudal mensual observado y simulado en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro para el periodo de validación.

**Cuadro 17: Índices de eficiencia en la validación del modelo hidrológico distribuido STREAM.**

Estadístico	Validación (1998 - 2010)	
Error de volumen	Ev	0.12
Índice de Nash-Sutcliffe	E	0.92
Coefficiente de Correlación Pearson	R	0.9
Índice RSR	RSR	0.29



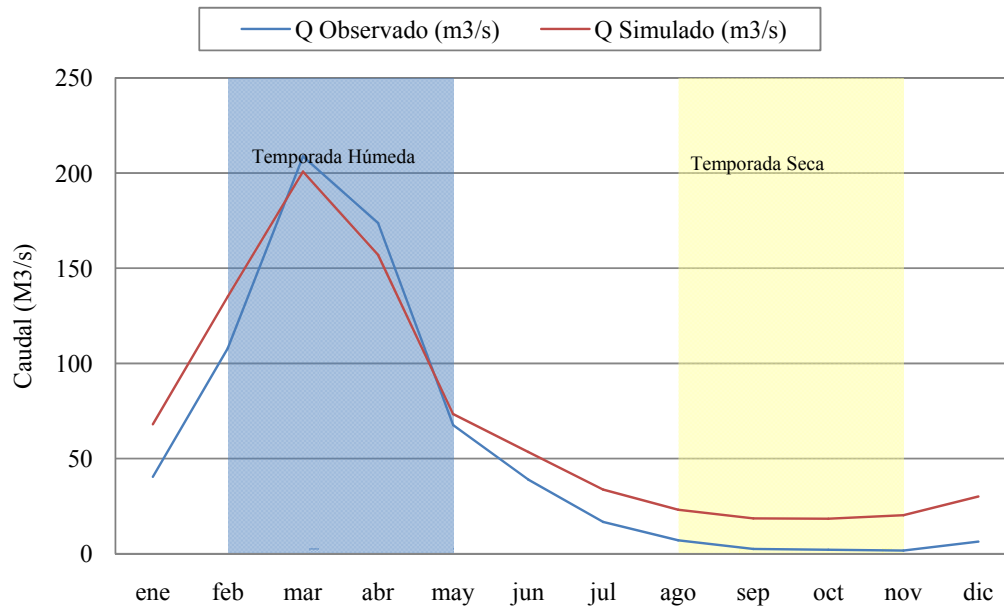
**Figura 24: Hidrogramas de caudales mensual observado y simulado de enero de 1998 a junio de 2010 en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro.**

Por su parte, los parámetros optimizados de calibración obtenidos por el proceso de autocalibración del modelo STREAM: *Crop Factor*, *Ground water Fraction*, *Water holding layer* y Coeficiente de lentitud de flujo  $C$  se muestran en el Cuadro 18.

**Cuadro 18: Parámetros de optimizados por autocalibración del modelo STREAM, usando PEST.**

Parámetros	Valor Optimizado
Crop Factor	0.29
Groundwater Fraction	0.40
Waterholding layer	1.10
C	1.00

Los resultados de caudal mensual simulados en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro para el proceso de calibración y validación se adjuntan en la Tabla 11 de los anexos, los cuales se comparan con los caudales observados del periodo de enero de 1980 a diciembre de 2010 de la Tabla 1. El hidrograma de caudal promedio mensual de estos mismos datos se muestra en la Figura 25, la cual representa y permite comparar la dinámica estacional en temporadas húmedas y secas de los caudales observados y simulados observándose una sobrestimación del caudal simulado en temporada seca.



**Figura 25: Hidrograma de caudal promedio mensual, observados y simulados, de 1980 al 2010, en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro.**



### 4.3. ANÁLISIS PRELIMINAR DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA, PARA LA INTERPOLACIÓN AURELHY

En este proceso, se obtienen como resultados correlaciones, diagnóstico de multicolinealidad y de factor inflación de varianza (VIF), e índices de validación de modelos de regresión (Ajustes de regresión  $R^2$ , test de *Fisher*, la prueba de *Shapiro –Wilk*, distancia de *Cook*). Estos indicadores permitieron evaluar el análisis preliminar para posteriormente realizar la interpolación y de esta manera, generar los mapas de precipitación y temperatura usados en el estudio. Los esquemas uno y dos de los anexos representan la comparación realizada entre los mapas obtenidos del periodo histórico, respecto a los mapas a periodo futuro cercano (Esquema 1) y lejano (Esquema 2).

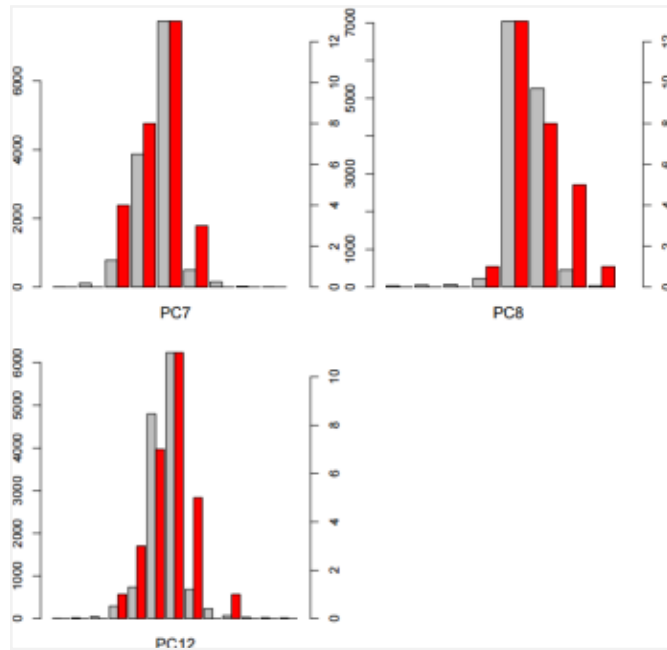
Los índices de validación para cálculos de ajustes de regresión  $R^2$ , test de *Fisher* y prueba de *Shapiro –Wilk* usados con los datos de precipitación mensual y temperatura media mensual se muestran en el Cuadro 19.

**Cuadro 19: Índices de eficiencia del análisis preliminar, para interpolación AURELHY.**

Variables	Índices		
	$R^2$	Test Fisher ( $p > 5\%$ )	Test Shapiro-Wilk (%)
Precipitación	0.40	92.2	54.2
Temperatura Media	0.85	99.5	90.6

Las medias obtenidas en los ajustes de regresión  $R^2$  se encuentran en el rango aceptable de 0.5; mientras que, de la misma forma, los test de *Fisher* y *Shapiro – Wilks* superan el 90 por ciento y 50 por ciento en el porcentaje de significancia respectivamente.

A continuación del análisis preliminar de la precipitación mensual, la Figura 26 muestra el histograma de distribución de los tres componentes principales (PC) seleccionados que mejor correlación presentan con los datos.



**Figura 26: Histogramas de los componentes principales obtenidos del análisis preliminar de la precipitación mensual. Datos (columna gris) y componentes principales (columna roja)**

El Cuadro 20 presenta los factores de inflación de varianza (VIF) donde se muestra que las variables de distancia al mar (*Seadist*)  $X$  e  $Y$  presentan un valor muy por encima del valor normal (10), lo que indica redundancia de información en estas variables; es decir, se tiene la misma información (de datos para la interpolación) con alta variabilidad en estos componentes principales.

**Cuadro 20: Factores de inflación de varianza (VIF) por cada variable predictiva de la precipitación promedio mensual.**

Componente	VIF
X	810.033
Y	74.248
Z	2.252
PC7	1.212
PC8	1.481
PC12	1.476
Seadist	581.965

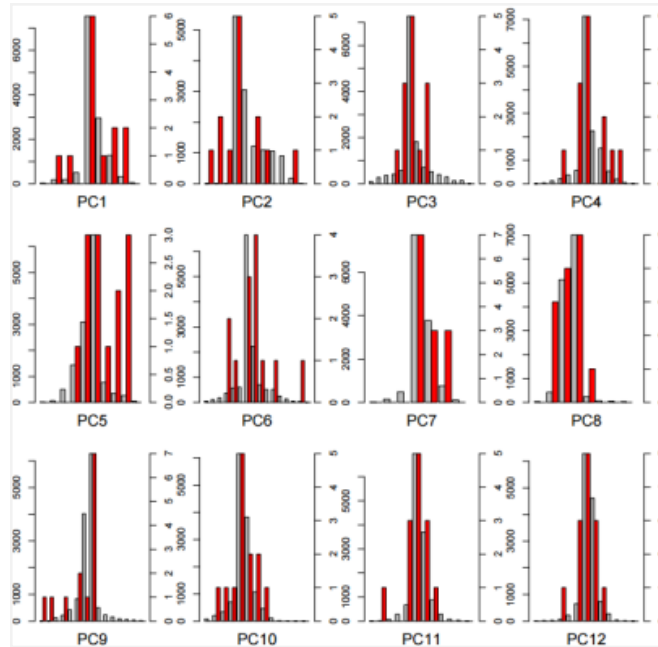
El Cuadro 21 presenta las distancias *Cook* para 0.5 km y 1 km. Este parámetro indica cuan variable en información es una estación respecto a las demás y ha sido evaluado para cada

una de las estaciones pluviométricas. Debido a la gran cantidad de datos (372 meses del periodo 1980 al 2010), se debe considerar el cinco por ciento de la totalidad de datos mensuales como parámetro adecuado de distancia *Cook* (19); es así que las estaciones Ayabaca, Hacienda Shumaya, Tuluze y Jaén presentan el índice mayor de lo aceptable.

**Cuadro 21: Número de eventos con distancia a Cook 0.5 y 1.0 por estación pluviométrica de la precipitación promedio mensual.**

Id	Estación pluviométrica	z	Cook 0.5	Cook 1.0
1347	Cueva Blanca	3300	18	7
1106	Huancabamba	3177	4	0
1104	Ayabaca	2830	22	9
1110	Huarmaca	2244	0	0
1334	Hacienda Shumaya	2050	29	8
1336	Porculla	1971	15	9
1333	Tuluze	1920	34	11
1332	Sondorillo	1900	0	0
1107	Tabaconas	1801	17	1
1330	Chalaco	1791	0	0
1335	Sallique	1750	0	0
1328	Santo Domingo	1475	4	0
1326	Sapillica	1406	0	0
1108	El Limón	1255	6	0
1105	Sausal de Culucan	1015	0	0
1349	Hacienda Pucara	1000	2	2
1329	Hacienda Bigote	827	0	0
1112	Jaén	632	21	9
1324	Pananga	500	1	0
1296	San Pedro	309	0	0
1327	Virrey	264	0	0
1325	Lancones	123	2	0
1103	Morropon	109	0	0
1097	Miraflores	30	0	0
1098	Mallares	29	0	0
1109	San Miguel	20	0	0
1323	Bernal	7	1	0
1101	La Esperanza	6	0	0

De la misma forma que para precipitación media. Del análisis preliminar de la temperatura media mensual, la Figura 27 muestra el histograma de distribución de los 12 componentes principales (PC) seleccionados, que mejor correlación presentan con los datos.



**Figura 27: Histogramas de los componentes principales obtenidos del análisis preliminar de la temperatura media mensual. Datos (columna gris) y componentes principales (columna roja)**

El Cuadro 22 presenta los VIF y el Cuadro 23 las distancias Cook.

**Cuadro 22: Factores de inflación de varianza (VIF) por cada variable predictiva de la temperatura promedio mensual.**

	(Intercept)	x	y	z	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
PC10	-58545.83	-669.83	-855.22	1.19	0.94	0.06	0.24	-0.03	-1.66	3.76	-4.96	-2.44	-1.56
PC11	-31110.90	-400.76	256.54	0.50	-0.10	-0.05	-0.35	0.16	0.12	-1.52	1.50	1.09	1.47
PC12	-26647.70	-319.24	-173.83	0.30	0.26	0.07	-0.21	-0.05	-0.50	0.43	-0.97	-1.01	-0.42
Seadist	7345.45	89.48	15.02	0.03	0.03	0.01	0.02	-0.02	-0.06	0.08	-0.13	-0.08	-0.04

**Cuadro 23: Número de eventos con distancia a Cook 0.5 y 1.0 por estación termométrica de la temperatura promedio mensual.**

Id	Estación termométrica	z	Cook 0.5	Cook 1
1106	Huancabamba	3177	302	240
1104	Ayabaca	2830	204	155
1110	Huarmaca	2244	26	16
1107	Tabaconas	1801	133	74
1108	El Limón	1255	32	7
1105	Sausal de Culucan	1015	110	42
1112	Jaén	632	53	31
1103	Morropón	109	32	14
1097	Miraflores	30	0	0
1098	Mallares	29	0	0
1109	San Miguel	20	0	0
1101	La Esperanza	6	0	0
1102	Chusis	6	13	4

## V. CONCLUSIONES

Se obtuvo seis proyecciones de caudales en la cuenca del río Piura a partir de la información futura de lluvia y temperatura obtenidas de las rutas de concentración representativa (representative concentration path, RCP), los cuales se evaluaron en periodos futuros a inicios (de enero de 2016 a diciembre de 2050) y finales (de enero de 2051 a diciembre de 2099) del siglo XXI, siendo las conclusiones las siguientes:

- De acuerdo con Moriasi *et al* (2007) y Donigian e Imhoff (2002) citados por Ramos (2013), la calibración y validación del modelo hidrológico distribuido STREAM obtuvieron una calificación de rendimiento “Muy bueno” según los índices Nash-Sutcliffe (0.87, 0.92), Raíz de error cuadrático (0.36, 0.29) y Error de volumen (0.09, 0.12) obtenidos, por lo tanto se considera que el modelo tiene la capacidad suficiente de simular la cuenca de estudio;
- Los caudales simulados para el siglo XXI demuestran un probable incremento de la oferta hídrica a ser registrada en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro, el cual es proporcional al paso del tiempo siendo más notorio a fines del siglo XXI que a sus inicios;
- La evaluación mensual de los hidrogramas demostró que los máximos caudales registrados (normalmente entre los meses de marzo a abril) presentaran un desplazamiento hacia los meses de abril a mayo, percibidos altamente a finales del siglo XXI y levemente a sus inicios.

## VI. RECOMENDACIONES

- Con el fin de mejorar el estudio, se recomienda la evaluación de la demanda futura en la cuenca del río Piura para generar un contraste más claro referente a la disponibilidad hídrica de la cuenca a través de un proceso de comparación con la oferta proyectada.
- El modelo hidrológico distribuido STREAM ha sido un modelo con un “Muy buen” ajuste para la cuenca del río Piura reflejando la capacidad suficiente de simular la cuenca de estudio y sus características en toda su extensión, por lo que se recomienda su aplicación en otras cuencas de estudio.
- De acuerdo con los posibles incrementos de la oferta hídrica que se puedan dar a futuro y considerando las características geográficas y fisiográficas de la cuenca del río Piura, se deberá plantear una *estrategia de adaptación al cambio climático* coordinado entre los gobiernos regionales y locales para lograr la sensibilización de la comunidad alcanzando niveles de aprovechamiento eficiente del recurso hídrico y medidas contra eventuales desastres naturales;
- Dado que los mapas precipitación y temperatura utilizados han sido obtenidos aplicando la metodología de interpolación AURELHY (metodología poco frecuente por usar análisis del tipo geoestadístico), sería conveniente realizar una comparación con otros resultados que hayan usado en sus procesos mapas interpolados con metodologías estandarizadas como las de tipo KRIGING;

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerts, J.; Bouwer, L.; Van, G y Ward, P. 2005. STREAM MANUAL Version 3.0. 53 p.
- Aerts, J.; Kriek, M. y Schepel, M. 1999. STREAM (Spatial Tools for River Basins and Environment and Analysis of Managements Options): “Set up and Requirements”, *Phys Chem Earth (B)* 24(6): 591-595.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua, Pe), 2010. Recursos Hídricos en el Perú.
- Bénichou, P. y Le Breton, O. 1987. Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. *La Météorologie (7° série)* N° 19: 23-34.
- IMEFEN (Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Niño Cabrera, Pe), 2015. Disponible en <http://www.imefen.uni.edu.pe/modhidro.htm>; Ultimo fecha de acceso 04 de Junio.
- Chereque, W. 1989. Hidrología para estudiantes de ingeniería civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, Capítulo I, III, VI y X.
- Chow, Ven T.1994. Hidrologia aplicada, Santa fé de Bogotá, McGraw-Hill p. 1-13.
- CIES (Análisis Económico del Cambio Climático en la Agricultura de la región Piura), 2010. Determinación del Impactos del Cambio Climático en la Agricultura, Capítulo III.
- Cohen, J. 2003. Applied multiple regression: correlation analysis for the behavioral sciences. Lawrence Erlbaum Associates, 3 ed., 736 p.
- Cook, R. D. 1977. Detection of Influential Observations in Linear Regression. *Technometrics*.v. 19, 15-18 p.
- De la Fuente, F. 2011. ACP: Componentes Principales, Universidad Autónoma de Madrid.



- Devobel, F. 2014. Tutorial: Interpolación de datos agroclimáticos de MOSAICC.8 p.
- Donigian, A., Imhoff, J.2002. From the stanford model to BASINS: Watershed modeling case studies 40 years of watershed modeling In ASCE Task committee on evolution of hydrologic method through computers. Iowa State University .Sección 6.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT), 2013. Analysis of climate change impacts on stream discharges using STREAM: Hidrological model.
- Gutierrez, J. 2012. Reassessing statistical downscaling techniques for their robust application under climate change conditions, Instituto de Física de Cantabria, Cantabria, España, 4-7 p.
- Hurkmans, R.; De Moel, H.; Aerts, J.; Troch, P. 2008. Water balance versus land surface model in the simulation of Rhine river discharges, Water Resources Research, 1-14 p.
- IPCC (Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) 2013. Cambio Climático 2013, Bases Físicas, Universidad de Cambridge, USA, 6-10, 21, 27-30, 35-51 p.
- Jeroem, A.; Hans, D. 2011. STREAM (Spatial Tools for River Basin and Environment and analysis of Management Opciones): Climate of coastal cooperation.
- MINAM (Ministerio del Ambiente), 2010. ¿Cómo nos adaptamos al cambio climático?: Experiencia piloto Piura y Arequipa (2007 - 2008); En cooperación con los gobiernos regionales de Piura y Arequipa.
- MINAM (Ministerio del Ambiente), 2010. El Perú y el cambio climático, segunda comunicación nacional del Perú a la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático 2010, Lima, 20, 116-131, 141-143 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente), 2010. La vulnerabilidad del Perú. Consultado 13 jun 2010. Disponible en <http://cambioclimatico.minam.gob.pe/adaptacion-al-cc/por-que-adaptarnos/la-vulnerabilidad-del-peru>.

Moriasi, D. 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulation, Engineers American Society of Agricultural and Biological.

Nash, J.; Sutcliffe, J. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I: A discussion of principles, Journal of Hydrology, 282-290 p.

PROCLIM (El Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire), 2005. Escenarios del cambio climático en el Perú al 2050: Cuenca del río Piura, SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú), Lima.

Ramos, F. 2013. Estudio de la utilidad de la lluvia estimada de satélite en la modelación hidrológica distribuida, Tesis Doctoral, España, Universidad Politécnica de Valencia, 216 p.

Refsgaard, J. 1997. Parameterisation, calibration, and validation of distributed hydrological models, 69-68p.

Refsgaard, J.; Knudsen, J. 1996. Operational validation and intercomparison of different types of hydrological models.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), 2005. Escenarios del cambio climático en el Perú al 2050 - Cuenca del Río Piura, CONAM (Consejo Nacional del Ambiente).

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), 2008. Informe final – Sub proyecto “Determinación de la relación entre el cambio climático, el retroceso de los glaciares y los impactos en la disponibilidad del agua en el Perú”.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), 2014. Regionalización estadística de escenarios climáticos en Perú, Lima.

UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification), 2007. Implementing the United Nations convention to combat desertification.

Ünsalan, C.; Boyer, K. 2011. Multispectral satellite image understanding, New York, USA, 203 p.

Vargas, A. 1995. Estadística descriptiva e inferencial; Alta Gracias: Servicio de publicaciones de la Universidad de Castilla - La Mancha, 97-99 p.

Villón, M. 2002. Hidrología, Costa Rica, Editorial Villón.

Zúñiga, S.2004. Econometría práctica con Excel.168 p.

## VIII. ANEXOS

**Tabla 1: Datos de caudales observados en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro para el periodo de enero de 1980 a diciembre de 2010.**

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
1980	30.35	31.60	30.72	26.61	24.22	13.64	7.60	10.41	12.21	12.23	8.30	6.54	17.87
1981	34.01	36.28	137.03	35.08	22.12	14.77	9.82	9.03	6.58	5.70	2.49	7.49	26.70
1982	19.64	30.37	23.56	23.00	21.76	10.49	9.09	2.94	2.42	2.34	1.36	30.59	14.80
1983	324.40	486.30	838.04	1162.89	858.56	521.69	118.80	24.29	10.17	7.74	7.17	5.13	363.77
1984	8.83	150.46	234.25	122.10	71.19	26.96	26.56	16.08	16.01	12.23	4.03	3.99	57.72
1985	26.56	26.71	51.60	22.58	16.09	10.72	11.88	4.89	2.99	3.30	3.24	2.83	15.28
1986	8.74	7.85	8.02	6.24	7.68	5.32	3.94	3.56	2.68	2.31	2.87	2.79	5.17
1987	4.76	44.56	207.81	86.58	83.07	27.72	5.55	2.53	1.42	0.91	1.56	2.67	39.10
1988	2.01	3.29	3.01	1.22	1.39	1.81	1.08	0.50	0.54	0.72	1.14	1.40	1.51
1989	1.09	106.51	227.13	109.30	14.32	8.35	3.80	2.82	1.95	7.19	6.00	0.83	40.77
1990	0.03	0.90	0.00	0.31	0.85	0.28	0.51	0.49	0.16	0.00	0.00	0.06	0.30
1991	0.00	0.24	2.76	0.67	0.49	0.88	0.00	0.28	0.07	1.48	0.64	0.14	0.64
1992	0.00	0.44	186.31	462.68	83.16	13.75	3.27	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	62.51
1993	0.00	17.32	243.58	158.68	26.81	27.12	9.52	1.05	0.23	0.34	1.20	1.05	40.57
1994	4.78	78.79	110.29	154.44	34.95	49.11	6.50	3.02	2.28	1.83	0.19	0.04	37.18
1995	0.00	11.90	8.03	5.71	1.49	0.81	0.11	0.00	0.46	0.00	0.15	0.00	2.39
1996	0.22	0.45	18.26	0.39	0.11	0.31	0.67	0.60	0.19	0.00	0.15	0.67	1.84
1997	0.07	0.00	0.26	1.27	0.45	1.12	2.09	0.00	0.15	0.00	0.00	107.64	9.42
1998	706.77	1225.86	1659.09	1207.21	322.32	106.56	38.01	32.71	3.09	1.42	2.08	0.11	442.10
1999	1.75	348.38	314.40	130.71	96.92	50.19	29.98	13.40	9.99	3.36	3.05	2.54	83.72
2000	0.00	48.20	345.36	180.63	85.80	51.81	36.18	18.29	1.85	1.12	0.00	7.02	64.69
2001	19.86	48.61	658.79	308.91	82.10	82.91	62.35	39.24	2.39	0.00	0.00	0.00	108.76
2002	0.00	40.22	365.96	547.42	63.55	41.78	39.58	15.94	0.81	0.86	3.28	6.98	93.86
2003	13.74	10.17	10.79	1.62	3.88	14.16	5.08	0.90	0.42	0.11	0.12	0.07	5.09
2004	3.08	0.40	0.00	0.07	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32
2005	1.14	0.00	37.20	18.59	0.22	0.77	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.86
2006	0.00	44.94	158.89	89.13	11.04	0.79	0.82	0.15	0.04	0.00	0.00	0.00	25.48
2007	0.11	0.04	20.42	14.70	3.55	2.51	0.52	0.26	0.15	0.07	0.27	0.30	3.58
2008	1.22	314.09	442.40	416.66	101.07	59.92	45.79	5.17	0.29	0.54	3.72	1.13	116.00
2009	73.84	208.03	216.07	113.24	58.29	64.11	38.24	17.56	2.20	0.67	1.03	0.86	66.18
2010	6.74	95.09	118.26	106.17	52.99	33.87	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.49
Prom	41.73	110.26	215.43	177.90	69.37	40.14	16.73	7.31	2.64	2.14	1.74	6.22	57.63
Máx	706.77	1225.86	1659.09	1207.21	858.56	521.69	118.80	39.24	16.01	12.23	8.30	107.64	442.10
Mín	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30

**Tabla 2: Caudales históricos calculados por el modelo MPI-ESM-MR en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro para el periodo de enero de 1971 a diciembre de 2000.**

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
1971	104.14	150.89	142.94	142.47	71.12	43.45	27.01	18.04	13.15	10.70	21.58	21.82	63.94
1972	116.79	236.93	170.47	286.25	93.29	64.35	40.91	29.47	19.51	12.90	9.93	27.72	92.38
1973	72.40	104.17	600.35	201.88	129.65	80.46	53.02	35.00	30.00	17.55	19.73	23.61	113.98
1974	43.46	100.33	393.06	322.53	132.67	82.53	53.34	35.87	25.47	19.83	16.95	13.68	103.31
1975	90.48	179.51	609.64	198.90	136.11	84.99	55.12	36.35	25.26	16.57	16.67	24.36	122.83
1976	34.22	307.55	188.54	228.68	92.75	59.97	38.52	26.89	21.12	22.59	17.13	23.72	88.47
1977	29.40	130.42	159.53	206.97	76.72	48.79	31.31	21.36	16.57	12.27	13.44	19.19	63.83
1978	47.28	82.06	518.63	284.58	142.12	92.08	57.71	38.40	26.58	29.16	28.13	26.58	114.44
1979	34.50	75.53	71.52	54.22	29.77	18.18	11.50	7.64	5.81	5.11	5.31	12.31	27.62
1980	47.45	107.57	246.17	126.88	74.19	43.64	28.54	19.00	13.28	9.43	10.62	18.38	62.10
1981	26.72	110.81	204.70	301.67	140.52	74.65	49.92	32.88	24.29	18.80	13.30	36.26	86.21
1982	91.34	91.17	195.48	193.19	79.55	52.68	32.74	22.48	16.27	11.55	9.00	14.26	67.48
1983	64.99	77.85	445.81	205.27	106.25	68.74	45.35	29.61	20.78	15.61	19.60	17.97	93.15
1984	29.94	84.49	150.88	94.49	49.35	32.41	21.89	14.46	12.21	8.11	9.37	13.99	43.47
1985	89.30	160.12	272.85	171.49	91.11	59.28	36.00	24.48	17.35	15.32	10.59	36.89	82.06
1986	37.14	332.35	278.05	159.07	101.55	61.14	38.47	25.52	17.73	12.42	9.82	9.65	90.24
1987	23.12	142.44	141.73	115.60	52.04	35.60	24.33	16.39	11.16	10.42	6.14	10.77	49.14
1988	28.58	52.48	220.17	249.23	92.13	61.08	39.08	25.82	18.06	13.12	12.19	58.10	72.50
1989	65.41	93.61	390.93	165.99	94.47	58.78	37.98	25.40	17.68	11.87	9.06	13.52	82.06
1990	48.50	113.51	152.40	286.58	104.82	71.28	41.90	30.58	21.95	14.14	11.23	30.41	77.28
1991	61.27	378.93	314.05	236.26	217.86	106.06	64.31	43.08	33.39	21.12	18.11	18.21	126.05
1992	38.58	52.29	28.40	75.10	47.69	22.06	14.52	10.54	8.47	5.98	6.12	19.55	27.44
1993	78.49	74.56	280.03	245.33	99.74	65.16	41.79	30.25	19.83	15.32	15.36	26.76	82.72
1994	60.05	178.34	213.02	179.05	76.44	59.39	35.16	22.91	17.25	12.02	24.43	29.20	75.60
1995	50.84	129.49	267.78	200.86	93.01	58.20	37.57	24.68	18.98	13.23	10.09	25.65	77.53
1996	29.10	81.13	180.13	170.40	78.58	49.10	32.97	20.99	14.83	10.89	12.49	22.30	58.58
1997	78.70	147.65	149.40	213.51	282.22	102.16	63.85	44.84	33.72	20.97	19.30	16.81	97.76
1998	83.10	114.63	176.68	70.75	44.91	31.19	21.79	15.38	11.60	8.59	6.75	17.75	50.26
1999	70.22	115.64	438.48	348.78	161.80	95.81	62.20	42.69	35.72	20.29	14.52	18.80	118.75
2000	56.33	195.50	463.70	495.00	220.69	127.22	81.71	56.09	38.12	26.33	19.58	20.43	150.06
Prom	57.73	140.06	268.85	207.70	107.10	63.68	40.68	27.57	20.21	14.74	13.88	22.29	78.18
Máx	116.79	378.93	609.64	495.00	282.22	127.22	81.71	56.09	38.12	29.16	28.13	58.10	150.06
Mín	23.12	52.29	28.40	54.22	29.77	18.18	11.50	7.64	5.81	5.11	5.31	9.65	27.44

**Tabla 3: Caudales históricos calculados por el modelo CANESM2 en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro para el periodo de enero de 1971 a diciembre 2000.**

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
1971	153.22	139.94	179.48	107.60	60.59	40.00	25.98	18.38	13.41	14.21	121.53	242.54	93.07
1972	118.88	143.79	195.20	142.40	81.08	47.02	30.23	20.53	15.87	11.63	8.63	12.50	68.98
1973	27.20	70.15	359.37	182.02	112.56	69.11	43.79	28.85	19.66	13.11	10.30	6.41	78.54
1974	11.01	101.61	413.97	336.61	134.26	87.59	56.40	37.37	29.31	24.30	62.95	256.30	129.31
1975	176.19	195.87	251.26	148.04	70.99	49.35	31.96	22.46	15.91	11.27	14.24	52.50	86.67
1976	69.68	131.85	291.29	112.86	68.51	44.41	28.34	18.90	14.04	8.93	7.61	5.89	66.86
1977	17.60	95.17	143.17	143.46	60.22	44.50	25.42	17.15	12.76	8.51	8.03	14.50	49.21
1978	37.76	92.25	394.61	148.73	84.52	56.05	36.58	25.49	18.22	16.98	9.95	177.72	91.57
1979	142.01	166.17	359.77	238.73	101.97	69.78	45.01	29.94	21.28	22.80	18.91	38.59	104.58
1980	69.05	99.04	138.20	128.22	64.17	38.05	25.09	16.80	12.24	16.84	18.39	47.15	56.10
1981	94.22	205.54	254.05	134.99	79.61	48.48	31.24	21.49	15.78	10.16	7.14	5.73	75.70
1982	40.81	204.53	254.84	556.92	356.31	192.51	107.50	73.95	50.96	32.60	22.86	16.16	159.16
1983	72.19	133.35	327.49	353.49	174.01	96.21	65.74	46.01	32.05	24.47	37.48	45.52	117.33
1984	113.60	71.65	225.00	120.25	58.90	42.69	25.73	17.50	14.68	13.15	26.50	52.80	65.20
1985	44.28	190.36	255.78	177.40	91.48	58.77	37.10	25.29	17.20	12.25	11.08	19.83	78.40
1986	45.34	187.06	329.74	226.38	99.98	66.31	43.59	28.66	20.41	13.40	10.33	34.93	92.18
1987	85.44	241.08	149.41	169.82	66.78	46.98	29.47	19.90	14.17	10.22	56.14	134.61	85.34
1988	74.14	123.24	228.59	133.33	78.16	49.40	32.12	20.54	15.50	10.33	7.19	11.87	65.37
1989	39.05	39.68	48.67	80.47	28.41	19.81	12.26	8.64	5.72	4.46	3.99	4.56	24.64
1990	14.15	42.29	263.80	221.78	77.43	57.01	39.78	31.64	18.45	12.05	8.88	8.34	66.30
1991	104.97	116.54	250.45	186.66	93.57	66.93	38.13	25.43	17.76	12.53	9.31	20.28	78.55
1992	55.87	96.14	148.66	149.88	90.34	45.90	29.21	19.85	13.67	9.56	7.15	5.85	56.01
1993	19.38	17.61	98.19	68.63	34.44	22.43	14.16	9.06	6.44	4.22	5.28	11.02	25.91
1994	25.31	66.94	73.28	87.18	38.27	23.37	16.32	13.47	7.83	5.68	8.91	26.41	32.75
1995	96.06	153.20	141.95	130.72	54.70	36.33	23.38	15.64	14.24	10.06	22.62	16.80	59.64
1996	51.28	125.88	159.94	177.55	117.66	55.37	37.39	26.17	17.85	11.97	11.96	12.06	67.09
1997	54.22	125.50	269.91	373.45	161.06	93.58	59.01	39.24	30.13	20.14	26.38	41.75	107.86
1998	48.45	145.52	199.07	96.71	50.69	34.40	22.69	16.17	14.67	9.07	11.89	24.06	56.11
1999	50.11	105.79	206.10	149.13	66.37	42.62	28.37	20.30	13.65	9.62	10.95	17.64	60.05
2000	38.71	74.96	329.13	205.57	103.08	69.03	41.30	29.02	20.12	12.83	10.36	28.25	80.20
Prom	66.34	123.42	231.34	182.97	92.00	57.13	36.11	24.79	17.80	13.25	19.90	46.42	73.14
Máx	176.19	241.08	413.97	556.92	356.31	192.51	107.50	73.95	50.96	32.60	121.53	256.30	159.16
Mín	11.01	17.61	48.67	68.63	28.41	19.81	12.26	8.64	5.72	4.22	3.99	4.56	24.64

**Tabla 4: Caudales históricos calculados por el modelo CNRM-CM5 en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro para el periodo de enero de 1971 a diciembre de 2000.**

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
1971	278.74	122.86	206.17	229.97	165.81	86.73	51.64	35.33	25.75	16.42	16.37	19.83	104.63
1972	35.44	162.72	123.78	111.88	49.71	32.04	21.59	14.39	11.48	10.29	10.00	31.79	51.26
1973	53.73	70.86	112.34	58.00	43.93	23.34	15.14	13.95	8.89	5.45	6.35	30.51	36.87
1974	123.71	179.14	313.76	185.82	93.25	63.44	39.56	28.77	23.12	16.03	17.27	27.28	92.59
1975	31.78	49.45	189.22	111.98	55.79	33.95	21.88	15.88	13.41	14.68	11.11	20.40	47.46
1976	45.79	54.08	227.89	219.39	83.11	57.10	36.03	23.51	17.24	12.25	15.97	42.91	69.61
1977	90.20	163.03	159.37	115.84	57.76	37.54	23.97	19.75	13.34	9.45	8.68	29.62	60.71
1978	31.43	127.40	267.25	117.98	68.34	43.32	27.58	19.78	13.65	11.53	16.35	21.68	63.86
1979	55.44	105.72	136.84	106.34	46.13	31.51	28.01	17.37	12.13	10.35	11.26	32.29	49.45
1980	53.89	113.80	315.83	104.99	68.86	46.27	32.06	20.03	16.33	10.38	10.44	13.78	67.22
1981	38.15	95.30	220.90	83.17	56.91	37.36	22.90	15.70	11.87	9.08	8.36	21.72	51.78
1982	33.26	96.16	277.62	204.19	80.79	55.52	35.44	23.51	17.15	15.53	14.25	18.10	72.63
1983	17.64	62.28	57.10	79.93	36.72	21.65	13.43	9.81	8.55	7.67	22.71	51.63	32.43
1984	60.62	122.71	156.40	183.27	63.60	43.79	29.02	19.63	13.54	13.66	17.47	33.09	63.07
1985	53.56	215.93	215.60	134.25	71.98	45.54	28.77	19.93	14.98	10.32	11.02	16.90	69.90
1986	35.46	78.10	221.81	116.06	64.90	40.09	25.07	16.77	11.67	8.70	6.97	8.05	52.80
1987	28.59	80.96	166.54	298.41	102.65	64.71	40.83	28.47	20.41	18.34	23.41	23.25	74.72
1988	135.81	197.51	527.06	527.27	185.99	124.23	80.90	54.54	39.64	27.05	26.67	25.41	162.67
1989	39.52	80.74	125.09	132.20	64.60	36.35	24.04	15.62	13.01	7.83	8.17	17.54	47.06
1990	31.36	65.06	223.24	657.02	260.52	142.06	89.23	60.13	42.84	28.92	33.35	45.64	139.95
1991	63.96	394.97	224.29	192.30	88.75	60.75	39.30	25.92	19.95	14.18	11.63	30.33	97.20
1992	20.06	65.77	73.28	89.70	37.47	24.61	16.77	14.07	10.30	9.40	12.02	24.29	33.15
1993	34.32	106.63	194.17	135.17	57.95	40.69	26.29	18.36	13.00	9.61	9.08	51.12	58.03
1994	88.22	295.97	572.09	588.73	275.96	183.32	107.77	70.89	50.96	32.20	24.53	41.87	194.37
1995	50.46	190.50	218.95	110.32	64.12	40.74	26.51	18.41	14.48	10.07	13.49	15.21	64.44
1996	44.76	202.02	178.51	127.78	64.60	41.96	27.62	20.06	12.94	10.33	11.10	12.83	62.88
1997	27.22	30.41	354.10	269.71	104.87	74.30	45.58	30.16	21.02	17.88	13.93	12.48	83.47
1998	80.19	109.91	71.86	462.21	118.08	79.53	53.73	34.60	23.88	19.56	13.22	14.72	90.12
1999	78.83	115.03	134.78	107.02	63.36	36.13	23.51	15.85	10.95	7.26	6.05	23.67	51.87
2000	72.93	216.67	192.87	179.90	132.08	68.74	44.93	29.92	22.01	15.31	18.09	21.12	84.55
Prom	61.17	132.39	215.29	201.36	90.95	57.24	36.64	25.04	18.28	13.66	14.31	25.97	76.18
Máx	278.74	394.97	572.09	657.02	275.96	183.32	107.77	70.89	50.96	32.20	33.35	51.63	194.37
Min	17.64	30.41	57.10	58.00	36.72	21.65	13.43	9.81	8.55	5.45	6.05	8.05	32.43

**Tabla 5: Caudales proyectados obtenidos del escenario MPI-ESM-MR-RCP 4.5 (MPI 4.5) en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro para los periodos futuros cercano (2016 a 2050) y lejano (2051 a 2099).**

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
2016	31.91	50.68	182.61	267.65	105.17	60.85	41.20	31.41	23.09	20.05	12.18	29.45	71.35
2017	84.03	337.61	455.93	433.68	279.50	138.11	88.77	67.08	45.58	34.62	31.62	39.67	169.68
2018	90.52	93.01	646.29	296.08	222.03	134.80	88.28	55.05	40.35	25.49	24.30	48.44	147.05
2019	46.54	315.57	423.21	206.30	113.41	81.31	48.83	33.20	27.80	16.79	27.29	18.92	113.26
2020	105.49	132.54	227.01	222.86	151.19	86.87	50.72	33.91	24.77	18.12	21.62	57.97	94.42
2021	47.95	54.59	153.18	237.37	88.82	54.68	36.72	26.52	21.50	18.76	14.71	18.80	64.47
2022	86.37	163.65	147.97	247.52	94.12	58.80	40.79	29.06	29.40	20.12	15.48	19.86	79.43
2023	49.24	70.78	105.79	123.69	79.69	46.02	29.69	18.21	15.49	20.46	11.45	17.08	48.97
2024	24.10	226.79	112.00	86.45	91.90	45.08	33.38	21.72	20.06	16.55	16.79	32.35	60.60
2025	104.82	208.30	572.33	331.01	274.32	142.62	87.16	60.01	45.63	43.79	34.96	46.01	162.58
2026	46.16	204.48	145.39	353.06	209.57	99.94	66.51	45.75	33.73	29.16	36.77	63.08	111.13
2027	99.57	108.76	143.14	262.15	102.63	66.03	43.16	33.33	27.41	15.02	14.82	68.57	82.05
2028	120.68	139.73	138.51	97.61	55.50	34.76	26.96	16.63	13.51	11.65	15.10	45.59	59.69
2029	95.70	171.18	255.21	221.10	116.78	69.70	45.55	36.00	28.25	20.09	15.59	16.70	90.99
2030	29.58	88.40	59.96	128.04	102.19	50.59	32.06	29.76	31.46	23.94	22.47	92.71	57.60
2031	48.10	307.07	316.41	212.44	95.76	77.47	49.53	33.45	24.59	22.96	28.36	47.59	105.31
2032	142.25	355.51	357.59	276.61	267.67	138.38	82.00	55.60	41.42	26.18	23.96	27.31	149.54
2033	83.79	110.72	307.29	236.65	126.60	72.80	52.93	36.80	25.16	16.02	17.99	18.44	92.10
2034	62.13	96.92	598.60	204.06	177.57	93.62	59.14	39.77	27.98	29.12	21.52	26.72	119.76
2035	63.75	123.25	85.20	88.00	106.74	44.67	27.83	18.54	20.28	12.62	23.32	27.30	53.46
2036	47.97	651.30	348.99	431.56	261.77	142.17	97.93	64.26	50.48	37.85	40.40	54.93	185.80
2037	113.76	190.28	452.42	389.13	193.72	110.24	72.10	60.96	39.46	30.57	20.70	57.33	144.22
2038	106.86	74.95	94.56	62.41	64.99	35.94	22.63	14.64	13.73	22.05	14.20	23.86	45.90
2039	21.47	91.56	160.76	257.45	144.33	84.84	49.55	34.37	28.00	17.50	16.53	21.84	77.35
2040	40.46	274.51	439.40	299.21	222.97	113.39	78.89	50.95	38.18	25.17	24.08	75.83	140.25
2041	29.23	86.95	604.02	286.64	535.88	190.79	130.97	83.58	60.22	45.21	35.90	46.34	177.98
2042	191.65	135.05	213.80	146.40	208.98	90.88	54.24	37.04	27.05	16.90	11.92	22.00	96.33
2043	82.79	155.90	334.66	157.12	252.09	102.40	65.89	46.44	34.93	20.72	16.19	13.46	106.88
2044	39.58	51.35	100.25	114.27	75.64	36.45	25.81	21.34	12.70	12.97	8.90	41.32	45.05
2045	93.13	236.73	541.97	505.83	201.34	135.93	83.52	60.21	53.31	33.31	31.77	46.89	168.66
2046	69.69	50.32	128.47	223.25	123.06	68.87	42.45	32.70	21.70	18.35	10.79	28.23	68.16
2047	48.39	140.00	573.19	313.83	226.16	142.17	80.67	56.65	40.84	25.54	18.56	77.81	145.32
2048	101.51	116.62	115.87	292.23	265.97	105.03	71.19	46.58	36.68	26.17	21.04	196.74	116.30
2049	119.83	179.63	235.24	313.39	384.48	299.85	124.96	84.65	59.77	38.07	46.90	104.48	165.94
2050	215.72	441.36	459.12	1176.50	504.68	284.74	184.28	127.83	92.29	67.19	41.80	60.31	304.65
2051	64.33	107.38	172.32	361.29	203.68	97.58	67.03	42.51	36.17	23.51	22.68	46.96	103.79
2052	75.22	94.84	122.25	353.41	214.08	115.31	69.50	54.60	48.87	36.34	22.28	58.77	105.46
2053	48.45	90.34	459.90	280.32	172.05	101.52	64.36	42.77	31.32	19.23	13.32	32.88	113.04
2054	120.71	82.14	152.31	152.94	97.27	59.23	33.27	26.64	26.27	13.28	10.91	26.43	66.78
2055	110.06	531.72	326.09	321.27	280.02	210.81	105.70	71.60	49.85	32.52	39.73	49.15	177.38
2056	453.76	243.41	241.58	307.28	134.44	81.84	54.89	38.71	27.19	22.04	16.85	13.00	136.25
2057	73.51	67.37	79.88	124.99	62.34	39.77	24.67	22.66	18.19	17.48	19.44	14.64	47.08
2058	47.88	54.20	211.78	375.03	202.94	98.73	63.20	41.58	28.76	20.49	17.16	19.09	98.40
2059	91.75	62.31	259.31	601.75	239.58	130.46	87.07	62.97	41.42	30.95	21.97	30.05	138.30
2060	76.47	89.22	253.72	319.74	243.09	128.85	72.26	51.11	40.79	26.06	43.71	208.36	129.45
2061	280.09	462.25	279.18	519.72	632.63	402.42	190.15	126.63	100.15	80.54	47.94	114.66	269.70
2062	352.20	228.13	251.78	386.99	403.99	279.88	131.86	84.79	66.56	46.90	42.66	296.22	214.33
2063	254.66	380.49	265.94	536.09	297.11	200.97	111.21	77.49	54.43	39.07	30.83	30.82	189.93



... continuación

2064	85.91	116.71	119.21	204.81	295.89	112.84	66.94	48.73	32.73	25.63	23.55	34.98	97.33
2065	103.56	127.98	195.96	367.45	397.85	158.57	98.68	67.86	58.30	35.29	30.28	49.99	140.98
2066	73.74	245.66	306.08	471.38	335.23	229.98	116.33	80.85	55.15	57.06	263.98	253.72	207.43
2067	478.07	408.50	319.74	749.76	576.64	486.27	220.60	141.55	99.86	71.39	58.22	79.54	307.51
2068	229.30	307.31	161.77	321.00	170.00	90.51	68.27	44.93	37.82	21.95	39.20	50.47	128.54
2069	108.00	92.47	305.91	230.97	246.76	113.38	69.03	45.81	35.27	27.32	19.54	41.33	111.32
2070	108.53	413.85	489.03	343.42	195.96	134.89	87.08	55.32	38.19	27.70	24.60	40.00	163.21
2071	101.52	116.20	302.26	547.95	275.94	143.37	92.95	71.91	50.12	32.52	25.42	72.25	152.70
2072	125.24	148.44	175.59	173.53	110.62	57.21	37.55	25.96	21.36	20.99	18.55	18.76	77.82
2073	39.07	66.79	93.61	150.75	210.96	75.15	47.37	31.21	23.90	16.91	11.65	55.67	68.59
2074	135.20	142.19	141.40	441.12	387.08	208.86	128.10	80.44	60.80	47.38	48.84	83.29	158.72
2075	119.87	214.02	207.62	450.19	370.84	177.18	101.93	68.24	47.43	31.71	28.81	50.75	155.71
2076	39.51	67.77	170.52	226.15	287.06	106.97	67.69	44.53	32.25	27.59	23.78	65.78	96.63
2077	63.32	120.42	231.20	263.35	215.89	95.96	62.99	44.76	31.51	37.12	102.18	134.14	116.91
2078	151.34	186.52	273.13	342.22	380.18	192.43	107.74	73.08	57.50	55.18	29.23	60.38	159.08
2079	123.46	245.41	283.21	457.01	229.59	123.24	77.25	61.16	37.88	26.14	23.50	38.90	143.90
2080	101.37	154.90	125.80	193.62	166.26	72.49	45.90	34.56	23.65	23.70	28.32	60.00	85.88
2081	177.49	194.08	232.16	398.52	456.91	205.22	120.85	77.30	58.32	40.65	74.28	119.65	179.62
2082	109.76	132.65	276.58	147.98	619.67	268.14	138.54	90.62	62.64	47.34	46.48	82.54	168.58
2083	252.36	133.50	180.90	182.57	71.63	47.83	34.75	27.21	19.45	13.89	30.94	34.14	85.76
2084	110.86	96.56	243.92	107.75	141.81	89.49	48.69	35.33	28.95	16.86	13.36	18.11	79.31
2085	49.36	72.56	376.81	383.54	211.55	115.88	71.20	48.94	36.47	28.13	19.41	22.69	119.71
2086	88.28	95.02	185.43	388.41	249.12	121.39	76.46	50.64	35.67	25.84	22.83	64.26	116.95
2087	79.82	205.41	296.73	235.32	214.80	92.49	64.32	45.13	32.24	21.07	37.26	54.56	114.93
2088	151.60	356.98	360.56	1011.36	655.67	327.69	193.16	131.60	92.46	77.66	66.81	81.94	292.29
2089	151.10	277.79	197.10	326.87	412.99	151.61	99.54	76.17	49.94	36.53	28.15	45.57	154.45
2090	43.54	77.18	133.25	345.35	539.98	182.97	115.99	81.73	63.00	40.00	26.29	35.25	140.38
2091	59.21	144.32	191.18	615.67	399.25	225.05	132.99	98.14	62.19	44.40	90.73	185.70	187.40
2092	147.04	150.98	180.42	262.15	461.83	161.82	102.64	79.68	52.47	33.00	32.76	75.76	145.05
2093	130.43	329.12	229.87	289.34	309.22	126.68	79.77	54.42	38.41	26.73	31.53	92.34	144.82
2094	130.20	452.14	307.12	364.81	162.82	101.71	63.99	51.07	36.83	25.75	31.03	46.50	147.83
2095	66.06	253.29	324.93	393.12	322.39	165.92	106.08	67.12	50.20	34.90	40.18	94.03	159.85
2096	163.84	255.29	207.82	305.80	251.30	152.71	89.42	66.58	44.67	28.02	19.24	22.28	133.91
2097	109.81	105.29	483.70	446.85	335.88	153.45	95.82	66.08	49.87	32.89	41.91	120.66	170.18
2098	113.87	133.75	311.67	547.79	780.89	349.33	290.35	151.57	119.45	79.65	55.71	75.82	250.82
2099	101.98	226.68	276.69	290.68	232.09	107.58	74.43	47.77	43.38	29.45	26.36	39.07	124.68
Prom CERCANO	79.56	178.17	292.47	271.47	186.49	101.17	63.32	44.11	33.62	25.12	22.57	46.68	112.06
Prom LEJANO	132.10	191.05	244.39	359.58	303.38	156.61	93.28	63.51	46.74	34.22	38.46	70.24	144.46
Máx	478.07	651.30	646.29	1176.50	780.89	486.27	290.35	151.57	119.45	80.54	263.98	296.22	307.51
Mín	21.47	50.32	59.96	62.41	55.50	34.76	22.63	14.64	12.70	11.65	8.90	13.00	45.05

**Tabla 6: Caudales proyectados obtenidos del escenario MPI-ESM-MR-RCP 8.5 (MPI 8.5) en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro para los periodos futuros cercano (2016 a 2050) y lejano (2051 a 2099).**

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
2016	32.80	151.61	393.49	339.74	211.63	114.38	70.86	48.94	39.18	24.88	58.62	127.83	134.50
2017	76.64	295.75	153.37	296.47	240.51	104.94	66.63	43.70	31.21	21.40	17.98	27.56	114.68
2018	59.31	126.38	107.54	360.77	209.81	95.59	60.69	50.46	32.97	20.82	21.78	16.44	96.88
2019	17.34	161.04	232.57	276.83	100.34	78.92	45.92	30.00	21.51	13.69	14.22	14.68	83.92
2020	45.17	171.42	415.05	209.32	129.16	79.60	49.55	33.99	30.50	28.48	35.21	39.24	105.56
2021	74.70	369.05	475.79	425.42	315.89	163.63	107.79	68.47	56.24	35.02	37.28	82.27	184.30
2022	126.46	157.41	236.83	288.33	147.25	82.59	59.15	42.16	27.54	20.86	21.72	37.22	103.96
2023	54.61	137.32	188.32	240.65	194.61	90.25	57.12	36.92	28.94	26.63	25.29	58.84	94.96
2024	164.01	427.12	356.63	457.88	258.74	135.62	87.09	61.22	59.05	41.45	46.00	44.16	178.25
2025	60.04	107.90	228.17	113.78	78.16	52.01	32.02	29.94	26.56	29.55	44.62	56.95	71.64
2026	75.80	90.81	215.44	302.31	275.13	120.18	74.47	48.30	33.36	35.92	46.24	19.78	111.48
2027	45.33	139.73	221.73	158.23	294.16	110.40	72.20	46.58	33.36	28.31	17.42	46.29	101.15
2028	66.66	105.65	161.68	169.21	113.50	69.84	42.88	27.11	19.51	15.52	18.56	82.34	74.37
2029	248.28	191.85	433.18	549.90	332.25	344.62	145.76	102.10	75.32	53.00	47.68	55.29	214.94
2030	81.34	102.86	239.37	187.41	118.31	65.67	41.90	31.71	22.78	16.90	13.08	24.96	78.86
2031	17.98	206.50	179.40	152.21	71.17	51.66	30.31	21.86	15.90	23.44	19.25	26.65	68.03
2032	75.67	351.09	259.91	311.29	214.62	104.33	72.11	47.87	49.16	27.70	26.98	53.19	132.83
2033	207.43	269.21	226.05	234.72	206.42	89.37	64.25	41.06	27.64	18.02	16.73	17.37	118.19
2034	24.02	39.22	115.67	152.46	61.22	44.90	26.31	17.41	19.49	19.64	11.92	8.89	45.10
2035	53.73	48.00	205.90	205.68	102.37	61.51	39.36	28.11	21.03	14.87	12.50	36.08	69.09
2036	120.17	159.20	192.46	247.83	229.25	110.22	65.50	42.72	34.65	23.03	24.46	62.67	109.35
2037	94.01	211.50	200.49	274.93	132.05	80.30	53.78	34.95	27.76	26.33	15.42	25.24	98.06
2038	51.15	72.44	99.27	105.62	79.38	45.50	26.66	18.41	17.63	19.74	24.17	24.00	48.66
2039	97.63	152.58	325.96	214.42	140.38	76.67	49.01	39.78	24.72	20.29	13.94	69.53	102.08
2040	108.53	293.47	915.77	359.32	419.83	358.18	164.19	110.45	80.80	57.49	42.56	148.93	254.96
2041	291.70	159.49	319.57	410.81	352.99	143.87	92.40	65.03	43.94	29.67	23.73	23.19	163.03
2042	25.49	145.78	413.49	260.13	247.32	143.51	78.91	55.31	39.69	27.69	18.53	23.25	123.26
2043	49.05	947.83	371.62	491.64	364.06	171.44	117.93	81.17	53.45	40.39	101.56	232.05	251.85
2044	198.36	242.33	351.23	345.41	818.87	316.12	202.23	122.52	89.19	69.64	52.92	84.83	241.14
2045	391.84	403.75	324.82	376.59	595.68	225.24	141.70	95.00	67.70	47.23	101.36	163.24	244.51
2046	206.27	246.37	603.68	648.50	807.18	539.10	240.26	160.11	112.80	74.43	72.71	74.43	315.49
2047	179.11	468.85	457.39	325.91	388.14	162.73	104.89	69.96	58.85	34.51	34.39	40.68	193.78
2048	62.94	62.66	58.89	100.79	85.59	53.88	28.10	18.28	23.64	22.75	19.43	61.58	49.88
2049	61.95	138.51	276.84	371.08	177.92	108.16	71.61	47.58	32.67	23.06	26.45	150.43	123.85
2050	103.65	332.95	206.52	471.83	292.44	148.50	88.31	65.07	46.14	29.84	29.93	72.47	157.30
2051	75.70	499.47	243.82	501.79	214.62	123.87	83.60	59.00	49.82	40.74	46.74	26.11	163.77
2052	36.05	151.29	150.65	177.19	226.82	83.08	63.54	41.98	29.54	18.49	14.29	31.58	85.38
2053	70.16	247.68	201.38	250.72	420.31	176.65	107.53	70.90	56.36	43.66	72.51	191.93	159.15
2054	235.20	157.51	147.01	402.26	294.69	130.06	81.24	58.22	41.19	30.46	21.25	27.45	135.54
2055	47.71	126.75	110.37	96.08	176.90	70.74	52.62	30.24	26.05	41.42	16.76	118.09	76.15
2056	100.28	421.66	216.47	332.61	323.87	129.26	84.46	56.70	43.83	30.87	28.43	80.90	154.11
2057	72.72	101.18	183.91	372.90	206.92	235.09	94.95	65.55	46.33	38.54	24.83	37.77	123.39
2058	149.20	107.78	152.85	421.44	334.63	183.85	104.27	67.93	55.07	32.61	139.77	281.11	169.21
2059	197.58	178.00	300.21	551.80	1039.8	925.36	340.54	244.01	178.32	155.42	147.58	147.22	367.15
2060	162.34	182.41	185.12	397.42	173.13	98.14	63.79	42.45	30.71	28.87	20.59	51.86	119.74
2061	212.71	245.46	398.83	375.45	213.16	115.68	75.49	55.47	39.52	27.96	26.67	76.71	155.26
2062	128.02	136.74	215.95	654.47	783.94	437.04	314.95	187.17	123.44	86.76	223.36	159.90	287.65
2063	281.73	316.19	297.59	365.16	675.69	260.11	148.04	100.77	79.69	70.06	122.80	139.77	238.13

... continuación

2064	172.61	230.09	165.02	289.95	250.62	119.94	81.52	49.97	41.16	35.65	25.39	91.36	129.44
2065	137.50	81.93	199.26	189.57	145.48	68.73	49.35	29.86	24.16	19.74	57.75	73.07	89.70
2066	198.11	151.90	160.93	492.23	725.57	315.07	165.67	113.88	81.23	59.72	86.05	146.85	224.77
2067	279.23	153.17	199.86	314.28	320.37	145.60	86.06	57.34	42.05	31.33	28.05	37.33	141.22
2068	67.67	195.46	179.52	496.28	195.06	124.92	87.79	52.89	44.99	34.51	88.60	247.11	151.23
2069	134.26	183.31	205.42	698.58	414.52	316.96	147.23	100.28	76.96	64.32	75.82	79.90	208.13
2070	184.78	159.25	482.42	436.24	535.44	236.14	136.27	92.52	68.87	45.06	97.19	156.20	219.20
2071	381.61	286.88	248.91	628.65	667.84	264.15	159.38	110.49	77.80	50.84	45.43	73.48	249.62
2072	101.50	166.11	354.20	311.00	339.88	146.08	95.23	76.70	51.56	35.14	180.35	193.30	170.92
2073	228.52	341.82	265.44	387.17	764.97	570.77	238.68	155.48	117.37	101.08	130.30	183.45	290.42
2074	195.13	177.53	143.39	324.76	317.86	210.53	96.36	65.00	50.66	49.10	80.45	163.52	156.19
2075	132.25	128.90	385.50	480.61	633.81	242.18	167.53	109.14	82.13	64.19	79.63	113.42	218.27
2076	100.31	138.12	190.88	311.58	318.00	121.14	83.33	55.85	41.79	65.37	86.62	167.18	140.02
2077	330.16	171.89	195.17	538.01	595.95	617.74	242.63	162.82	126.59	86.42	95.06	167.70	277.51
2078	111.83	203.64	502.22	611.34	824.01	658.83	277.11	181.96	131.35	108.08	167.34	136.49	326.18
2079	132.35	251.30	455.56	509.30	501.14	392.30	188.09	119.38	90.22	68.41	52.99	83.73	237.06
2080	220.80	211.14	355.26	592.94	445.76	414.62	171.74	114.05	80.70	56.13	134.42	168.65	247.18
2081	148.66	211.78	368.48	340.45	418.15	414.75	160.09	110.44	81.98	72.79	100.62	201.01	219.10
2082	135.09	215.79	568.44	647.61	543.99	340.36	193.11	125.56	93.04	81.11	192.70	229.49	280.52
2083	303.51	186.91	232.68	283.16	217.27	179.50	81.11	62.07	52.66	38.73	56.20	75.45	147.44
2084	149.36	237.79	180.94	522.75	580.66	571.75	214.98	146.45	110.09	121.85	149.79	227.35	267.81
2085	142.60	332.71	327.31	719.56	412.64	250.44	135.18	91.10	68.11	60.87	150.40	94.79	232.14
2086	202.43	249.74	296.56	540.68	730.54	323.91	174.61	116.72	87.89	71.49	116.44	290.15	266.76
2087	442.89	447.74	1271.5	1087.6	1306.6	910.20	466.76	287.70	214.77	164.32	236.41	263.25	591.65
2088	178.70	185.72	196.03	458.38	818.74	361.48	190.80	130.31	97.19	75.32	139.67	264.69	258.09
2089	427.73	435.06	308.66	524.77	616.44	233.68	158.11	120.50	105.50	146.55	194.88	165.72	286.47
2090	146.53	166.02	245.98	594.45	538.22	225.45	134.10	93.99	70.86	72.28	180.55	222.08	224.21
2091	273.51	245.43	634.01	536.37	786.26	551.46	263.12	205.47	130.58	92.04	155.41	220.29	341.16
2092	372.55	630.12	974.25	907.05	912.17	627.00	408.48	230.77	156.59	123.59	166.49	197.22	475.52
2093	192.53	235.58	339.96	512.23	464.94	288.04	140.88	102.25	77.03	58.28	84.06	151.92	220.64
2094	192.13	135.14	201.22	284.34	742.70	435.42	188.22	131.51	99.43	138.04	120.12	89.07	229.78
2095	214.12	137.82	175.20	612.38	571.26	613.86	235.80	153.48	108.65	92.39	145.98	276.80	278.15
2096	300.18	198.11	361.85	482.33	827.06	783.11	288.61	194.56	138.44	161.89	231.32	145.23	342.72
2097	252.44	347.13	379.28	914.50	681.35	597.04	360.53	246.03	153.09	98.50	120.89	1118.1	439.07
2098	1163.3	1707.9	1105.6	1152.6	787.10	658.43	656.25	505.51	268.63	251.75	303.43	290.33	737.57
2099	261.52	225.40	284.79	671.53	657.23	818.19	407.37	236.99	187.66	168.26	209.74	137.71	355.53
Prom CERCANO	104.26	219.65	290.40	298.21	251.61	135.53	79.20	53.84	40.71	30.35	32.99	60.93	133.14
Prom LEJANO	211.79	257.89	325.43	496.01	524.37	349.36	182.59	122.84	88.40	75.73	111.68	169.67	242.98
Máx	1163.3	1707.9	1271.5	1152.6	1306.6	925.36	656.25	505.51	268.63	251.75	303.43	1118.1	737.57
Mín	17.34	39.22	58.89	96.08	61.22	44.90	26.31	17.41	15.90	13.69	11.92	8.89	45.10

**Tabla 7: Caudales proyectados obtenidos del escenario CANESM2-RCP 4.5 (CAN 4.5) en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro para los periodos futuros cercano (2016 a 2050) y lejano (2051 a 2099).**

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
2016	16.24	120.34	443.18	618.81	555.72	229.54	147.24	103.47	67.55	47.94	39.65	55.23	203.74
2017	39.37	183.02	119.44	399.40	167.88	96.93	59.70	42.62	31.29	24.83	19.29	27.19	100.92
2018	100.38	82.22	138.45	214.76	112.29	70.87	41.68	28.89	20.83	24.88	26.63	43.10	75.42
2019	48.81	137.25	144.17	120.34	59.19	45.84	26.11	17.17	31.28	16.81	22.82	38.59	59.03
2020	207.55	296.87	244.19	382.92	221.95	108.66	71.24	52.10	34.99	25.02	21.75	39.06	142.19
2021	71.52	172.78	262.41	377.05	224.30	111.98	81.44	52.60	34.75	23.72	22.30	13.33	120.68
2022	23.19	43.96	71.13	501.65	339.37	153.04	100.65	66.89	44.40	39.33	30.34	17.33	119.27
2023	40.99	51.38	391.62	661.99	371.50	172.94	130.97	86.46	58.18	39.20	27.72	17.67	170.88
2024	21.23	58.76	471.79	368.84	225.46	119.31	80.51	55.48	36.12	28.93	21.55	29.51	126.46
2025	58.76	258.46	235.70	241.43	210.68	102.54	64.83	42.56	30.44	32.49	23.01	14.90	109.65
2026	88.67	84.71	207.54	428.01	304.94	131.91	89.41	67.01	43.58	36.78	36.33	19.02	128.16
2027	16.83	86.94	332.24	228.40	191.97	87.11	58.34	37.28	27.43	24.43	13.96	16.55	93.46
2028	46.41	113.59	284.09	489.99	205.54	122.00	82.30	59.25	40.87	38.82	26.91	20.39	127.51
2029	40.45	436.92	374.99	950.19	577.38	264.06	174.45	119.81	82.74	64.10	42.03	157.19	273.69
2030	70.34	138.41	254.98	460.11	743.55	261.19	167.60	109.38	77.92	55.46	39.59	24.50	200.25
2031	20.83	307.18	376.45	627.96	439.48	204.26	142.65	101.63	74.64	57.39	34.85	51.90	203.27
2032	80.23	116.52	141.07	192.23	101.69	62.59	55.07	28.38	19.64	14.80	16.91	15.25	70.36
2033	11.23	76.41	102.77	208.13	386.76	143.27	84.63	67.60	41.36	39.98	25.27	15.14	100.21
2034	86.98	49.37	427.74	589.77	256.20	153.33	93.49	65.15	48.30	35.70	40.41	29.72	156.35
2035	150.49	182.97	331.80	441.72	322.25	146.49	100.13	70.08	44.82	35.18	26.90	19.90	156.06
2036	14.07	63.62	499.24	509.99	323.08	164.29	117.90	76.36	55.60	38.65	25.86	18.91	158.97
2037	18.23	100.68	95.15	573.26	912.84	286.71	192.33	132.26	99.56	80.73	52.57	33.79	214.84
2038	100.15	114.06	232.40	513.79	705.16	253.84	158.53	103.22	73.72	53.26	48.01	53.53	200.80
2039	49.36	81.87	262.88	259.17	164.80	82.63	51.22	40.13	25.33	22.04	15.93	61.79	93.10
2040	66.44	300.89	274.65	385.43	474.61	236.78	124.89	97.77	60.35	48.58	30.57	95.65	183.05
2041	163.55	173.62	416.60	437.02	352.80	152.04	112.83	74.29	62.92	37.88	38.65	25.98	170.68
2042	42.61	393.61	251.07	743.12	386.29	184.50	137.80	87.72	59.62	41.23	28.13	38.39	199.51
2043	24.38	107.18	110.48	224.29	246.49	106.59	60.23	44.72	39.81	34.51	21.59	85.16	92.12
2044	112.27	233.58	311.36	557.06	327.08	161.07	104.86	80.95	50.12	35.35	26.68	20.89	168.44
2045	35.30	81.92	140.19	317.40	291.64	121.26	78.82	59.71	38.07	32.68	21.73	60.97	106.64
2046	85.89	143.86	220.85	661.63	607.86	239.69	168.23	106.75	75.90	57.56	38.85	32.11	203.27
2047	56.71	624.03	291.03	431.44	978.65	302.00	200.13	133.65	93.29	68.82	52.33	52.34	273.70
2048	35.46	72.28	176.17	413.49	433.09	164.34	130.60	81.46	65.66	51.32	39.58	69.81	144.44
2049	89.81	117.54	460.71	526.84	344.32	158.85	110.33	75.10	49.87	46.12	30.03	18.62	169.01
2050	19.53	102.69	94.43	632.75	522.72	192.78	136.82	90.02	60.59	43.05	30.82	31.66	163.15
2051	40.35	57.07	150.07	641.66	711.73	251.30	159.15	109.50	75.87	58.75	37.46	31.59	193.71
2052	34.71	116.08	339.79	234.18	201.86	107.09	75.52	44.88	37.89	41.03	34.57	33.85	108.46
2053	54.79	100.11	171.54	163.90	133.53	58.74	55.34	33.63	25.38	25.19	25.89	49.59	74.80
2054	42.11	68.76	319.18	271.75	160.01	117.51	60.50	45.10	35.00	31.12	19.45	23.36	99.49
2055	46.51	155.08	153.22	389.40	274.38	125.95	98.07	65.49	45.29	35.85	37.80	68.65	124.64
2056	108.27	123.30	132.43	379.91	306.09	145.56	92.65	67.37	43.50	35.09	28.82	146.23	134.10
2057	183.22	176.38	127.10	524.71	513.74	268.79	146.25	97.82	65.93	53.90	40.30	27.01	185.43
2058	55.75	80.64	99.40	495.32	332.32	157.72	97.37	63.46	44.22	39.30	27.57	29.03	126.84
2059	36.60	82.84	381.75	773.13	1556.55	461.84	298.77	200.00	143.52	102.45	73.49	48.59	346.63
2060	64.62	94.21	174.84	170.85	792.72	353.96	178.90	121.68	82.89	65.02	55.51	52.67	183.99
2061	40.36	95.24	172.01	570.46	405.72	198.36	124.60	88.42	66.19	43.92	30.91	24.49	155.06
2062	43.71	71.29	88.88	148.57	482.47	225.57	115.90	79.85	59.05	48.33	36.22	19.49	118.28
2063	46.49	102.52	76.96	221.44	155.04	78.77	49.20	42.27	30.18	25.91	24.74	17.38	72.57

... continuación

2064	25.40	62.16	90.89	220.90	319.57	105.30	68.69	45.54	37.24	31.46	20.93	21.99	87.51
2065	36.66	95.85	226.61	594.75	490.73	248.31	135.61	91.14	65.56	47.04	31.50	36.99	175.06
2066	28.32	72.76	328.78	447.20	701.58	230.04	148.54	97.37	70.65	54.78	41.07	31.62	187.73
2067	27.77	64.33	92.95	202.62	93.20	48.41	42.11	35.43	21.01	25.28	18.76	19.68	57.63
2068	103.25	107.80	413.43	488.69	874.63	326.74	207.02	130.47	92.40	73.72	58.50	54.58	244.27
2069	66.25	102.88	390.52	710.26	987.99	318.76	215.47	139.09	101.87	72.77	53.03	37.62	266.38
2070	47.64	358.45	204.11	241.87	158.74	76.91	52.27	35.59	25.37	27.06	22.91	10.86	105.15
2071	19.60	180.90	326.97	358.27	743.51	240.15	149.68	100.32	75.67	62.43	36.11	46.85	195.04
2072	90.87	88.40	89.14	197.58	245.89	92.32	57.46	41.14	30.63	34.79	19.46	18.32	83.83
2073	58.26	105.77	136.02	396.22	321.29	124.32	83.72	55.10	42.21	32.52	22.55	46.76	118.73
2074	65.99	145.53	189.23	547.35	366.58	175.17	114.91	72.00	54.27	43.98	36.18	36.09	153.94
2075	50.14	99.02	129.88	88.06	298.95	87.64	56.00	39.64	28.07	20.00	15.56	47.41	80.03
2076	123.02	245.50	291.56	518.50	726.91	243.03	155.86	103.90	76.19	57.42	38.92	30.40	217.60
2077	48.56	84.27	121.83	529.70	769.12	344.77	200.45	130.20	99.86	71.63	72.72	49.84	210.25
2078	58.87	135.08	194.96	121.92	348.86	184.42	96.22	63.12	55.89	43.16	37.52	32.66	114.39
2079	48.27	106.16	263.39	400.24	213.90	110.23	72.48	46.54	37.38	28.61	19.82	55.13	116.85
2080	35.78	129.96	489.75	428.78	421.86	376.61	187.84	114.71	86.73	57.10	65.95	86.38	206.79
2081	118.09	111.61	116.37	288.03	304.87	245.10	108.05	71.91	53.27	43.33	27.83	52.57	128.42
2082	116.09	122.52	184.09	414.81	803.70	327.26	179.04	124.87	83.13	55.72	38.47	25.69	206.28
2083	73.52	134.46	123.16	360.86	290.61	126.85	77.89	52.30	38.91	30.17	23.94	13.70	112.20
2084	56.28	521.43	275.14	234.21	275.96	126.42	88.79	65.21	48.68	35.88	32.05	26.88	148.91
2085	59.17	157.50	176.32	1102.25	1575.18	670.03	387.10	247.01	182.82	130.74	97.27	111.71	408.09
2086	95.38	123.38	150.65	104.68	212.97	135.80	78.69	47.99	42.48	33.47	24.13	32.38	90.17
2087	102.00	99.70	121.38	598.13	478.25	220.55	131.62	92.32	69.38	60.83	42.65	55.24	172.67
2088	90.58	303.44	400.29	519.99	995.57	547.90	258.74	168.59	122.90	93.87	69.09	59.89	302.57
2089	68.07	71.31	155.40	365.82	262.14	323.08	126.83	99.84	74.04	56.08	41.17	38.21	140.16
2090	60.18	159.12	370.86	345.41	228.04	109.59	76.68	52.39	38.48	38.37	31.16	15.66	127.16
2091	48.42	92.30	187.60	380.92	214.85	98.30	66.81	44.63	34.37	25.27	20.15	20.91	102.88
2092	54.05	107.05	273.86	293.25	319.43	139.09	86.03	63.03	44.41	38.19	31.30	79.60	127.44
2093	39.52	127.87	320.55	743.07	951.47	442.96	245.59	167.56	117.79	78.31	55.05	38.35	277.34
2094	58.76	74.87	65.76	1117.25	705.33	482.82	228.78	155.23	112.29	74.38	52.36	47.96	264.65
2095	64.88	101.80	198.97	234.96	890.60	246.06	166.13	106.47	81.70	61.20	44.22	54.81	187.65
2096	110.71	110.87	141.14	185.33	200.76	91.87	68.21	46.61	33.25	31.25	21.02	79.25	93.36
2097	91.24	302.89	509.73	590.58	778.53	336.10	192.71	128.30	89.89	70.49	53.03	49.34	266.07
2098	100.15	148.25	144.96	701.68	684.37	341.26	179.55	120.25	88.87	68.59	56.44	44.06	223.20
2099	83.88	102.84	96.26	261.75	261.76	295.87	113.88	77.54	58.56	41.69	28.91	23.70	120.55
Prom CERCANO	61.55	163.13	262.66	448.30	373.99	159.86	106.80	73.08	51.47	39.93	30.27	39.00	150.84
Prom LEJANO	65.78	132.28	211.83	414.72	500.89	228.39	131.79	88.42	64.72	50.15	38.25	42.96	164.18
Máx	207.55	624.03	669.90	1117.25	1575.18	670.03	387.10	247.01	182.82	130.74	97.27	157.19	408.09
Mín	11.23	43.96	65.76	88.06	59.19	45.84	26.11	17.17	19.64	14.80	13.96	10.86	57.63

**Tabla 8: Caudales proyectados obtenidos del escenario CANESM2-RCP 8.5 (CAN 8.5) en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro para los periodos futuros cercano (2016 a 2050) y lejano (2051 a 2099).**

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
2016	18.12	120.30	339.22	445.46	403.23	169.77	122.03	79.80	51.76	36.85	25.37	26.97	153.24
2017	31.26	43.20	103.90	251.22	122.53	68.54	53.23	40.96	23.27	18.33	16.16	12.79	65.45
2018	70.35	200.47	368.24	325.33	268.86	141.70	83.40	54.01	37.71	26.08	18.52	28.35	135.25
2019	89.58	139.63	85.33	147.45	69.85	57.11	34.27	25.81	19.72	16.50	20.62	36.36	61.85
2020	32.55	75.34	499.00	469.57	191.13	127.82	82.70	58.87	40.39	28.31	22.59	13.71	136.83
2021	17.98	42.92	53.12	56.88	49.31	25.85	18.38	26.10	15.48	14.17	10.79	33.11	30.34
2022	29.24	127.32	265.16	375.99	369.64	147.87	98.70	64.27	47.22	32.59	27.98	22.08	134.00
2023	33.75	251.17	293.60	397.50	251.63	121.82	77.52	54.03	35.92	29.40	19.00	30.99	133.03
2024	53.96	99.88	304.10	569.37	284.73	144.89	95.65	66.14	47.92	32.11	21.85	18.77	144.95
2025	48.42	153.96	171.30	390.69	360.24	144.14	89.38	69.88	43.43	29.00	23.15	24.22	128.98
2026	47.23	122.18	218.82	519.79	290.84	138.64	101.92	74.31	52.18	46.63	38.69	40.82	141.00
2027	104.07	113.46	281.14	288.28	512.97	241.51	144.70	88.66	62.36	52.20	43.06	49.41	165.15
2028	144.76	144.46	140.91	163.16	80.09	53.57	34.75	24.33	23.02	45.89	32.97	56.76	78.72
2029	116.56	110.45	190.39	122.36	95.69	92.11	44.64	29.42	20.26	22.92	14.40	28.37	73.96
2030	132.78	392.15	194.22	380.55	667.96	249.70	162.46	108.29	76.48	53.03	42.19	27.11	207.24
2031	68.71	73.29	156.48	463.09	630.49	318.98	159.24	110.80	76.76	63.59	71.34	122.30	192.92
2032	108.57	86.88	74.01	377.16	503.10	420.31	203.21	124.06	86.99	67.60	42.01	44.41	178.19
2033	179.62	98.31	298.42	350.21	252.03	125.42	78.45	52.54	40.85	31.36	26.10	51.04	132.03
2034	130.58	166.32	369.81	460.56	272.70	148.83	92.19	69.03	47.82	37.55	42.27	39.61	156.44
2035	80.21	203.74	200.82	484.24	218.25	117.32	86.25	60.58	43.05	38.98	27.80	50.02	134.27
2036	30.86	59.25	80.43	101.89	70.18	37.59	32.39	31.87	16.17	18.88	15.91	29.55	43.75
2037	73.12	103.32	160.33	360.04	571.93	198.74	121.96	80.96	58.02	47.16	30.37	29.87	152.99
2038	194.79	742.29	275.13	558.13	296.10	184.63	116.97	76.37	57.23	39.05	36.99	21.13	216.57
2039	79.64	134.41	115.34	451.92	172.37	94.52	69.80	47.48	31.94	28.35	19.45	22.80	105.67
2040	33.78	37.48	294.98	373.95	225.17	132.01	100.36	59.23	40.78	34.01	30.37	15.34	114.79
2041	23.88	125.70	345.23	596.32	1210.74	487.76	263.16	175.81	133.09	88.66	76.75	81.87	300.75
2042	66.92	69.15	85.44	204.31	141.27	65.71	48.91	31.12	22.74	32.84	19.97	38.55	68.91
2043	109.77	476.95	623.82	341.74	312.43	154.66	101.55	67.21	50.69	41.01	32.97	22.28	194.59
2044	59.30	80.20	99.95	364.65	417.65	170.22	105.42	69.58	51.82	35.86	29.43	84.88	130.74
2045	130.94	126.96	132.36	611.33	556.78	223.84	140.65	101.36	75.54	56.28	35.08	35.39	185.54
2046	56.09	97.36	95.48	240.39	221.79	105.21	62.97	53.39	36.93	40.74	25.89	52.71	90.75
2047	175.53	343.53	316.40	474.45	344.73	153.59	99.14	65.05	47.41	38.72	31.59	34.06	177.02
2048	96.14	145.82	263.09	431.38	706.18	582.64	244.16	167.48	164.07	98.12	75.03	178.94	262.75
2049	138.33	148.17	246.46	262.47	283.87	126.46	85.81	67.17	50.31	36.66	22.04	22.06	124.15
2050	20.03	96.30	98.99	313.76	1262.11	550.52	263.07	174.09	129.98	84.07	82.83	118.95	266.23
2051	90.27	233.44	161.72	363.49	452.77	213.33	123.72	88.98	62.15	46.11	40.61	52.90	160.79
2052	99.66	109.27	117.05	313.25	603.56	354.12	158.46	106.02	83.91	56.43	39.33	116.80	179.82
2053	159.13	142.66	142.25	1076.51	672.06	353.93	204.79	131.96	101.73	71.00	52.83	52.45	263.44
2054	67.37	103.30	144.21	550.30	474.51	249.29	152.68	90.83	66.11	57.53	44.74	41.98	170.24
2055	49.04	99.63	132.07	496.44	739.27	388.65	193.92	127.32	93.11	71.57	54.25	38.13	206.95
2056	63.62	90.80	118.69	193.40	276.55	198.71	82.87	71.73	56.28	48.06	54.23	51.32	108.85
2057	58.44	82.78	154.79	341.66	498.66	266.98	128.48	109.64	77.37	60.77	53.06	64.03	158.06
2058	78.09	145.30	172.26	111.29	390.69	173.02	85.66	57.17	47.62	49.53	25.29	72.82	117.39
2059	88.56	100.76	133.50	203.74	576.55	253.29	127.72	88.38	70.38	53.27	81.03	156.15	161.11
2060	177.87	157.66	466.52	397.17	559.47	392.19	181.76	117.51	129.71	77.84	70.47	145.86	239.50
2061	188.76	107.42	97.84	80.71	177.91	250.83	99.64	77.46	53.39	37.56	71.07	98.74	111.78
2062	106.95	154.02	374.37	581.40	794.93	552.57	234.85	157.12	132.84	88.92	85.51	88.17	279.30
2063	88.03	78.45	155.56	217.23	80.13	325.31	100.06	75.32	60.75	47.45	72.56	74.04	114.58

... continuación

2064	98.44	96.89	187.60	245.32	569.51	206.69	123.54	86.88	63.04	44.88	41.09	49.80	151.14
2065	142.29	206.48	319.52	406.41	270.27	251.46	121.25	89.64	60.74	47.23	61.17	87.65	172.01
2066	104.44	187.12	155.96	466.39	487.39	378.13	163.67	122.62	88.37	64.07	69.81	83.47	197.62
2067	111.27	131.53	247.10	472.80	602.46	307.75	165.09	105.78	77.88	55.33	42.83	42.30	196.84
2068	43.59	123.75	394.39	478.28	427.71	453.36	187.18	127.78	87.84	64.27	55.61	71.49	209.60
2069	120.19	98.81	161.33	224.01	597.65	277.24	155.25	100.97	77.00	65.19	43.33	55.33	164.69
2070	203.56	228.91	186.90	580.94	564.79	252.35	155.87	102.30	103.64	61.88	94.41	175.24	225.90
2071	97.37	86.69	228.26	432.68	823.00	428.72	244.82	147.69	106.82	75.61	83.77	78.53	236.16
2072	60.71	122.90	143.07	172.26	94.00	52.09	34.60	27.11	24.52	17.64	42.12	78.12	72.43
2073	64.04	87.70	96.79	144.68	382.37	231.60	107.94	93.15	61.73	54.30	130.46	102.63	129.78
2074	146.29	166.65	178.86	681.90	773.27	562.64	261.22	173.39	119.38	83.05	70.55	91.79	275.75
2075	87.27	166.75	154.47	267.82	387.63	352.58	157.95	99.44	71.30	57.08	47.56	47.38	158.10
2076	62.83	194.89	156.37	378.22	234.47	359.04	134.64	93.86	76.74	54.93	53.15	76.05	156.27
2077	69.69	102.71	85.27	470.82	664.82	445.61	228.57	149.57	101.25	86.42	96.46	123.81	218.75
2078	137.65	88.87	145.59	751.38	583.50	392.22	198.34	128.77	92.28	64.20	56.40	99.58	228.23
2079	97.54	81.24	308.70	709.77	428.14	196.47	150.33	98.05	83.15	69.77	86.24	143.91	204.44
2080	95.18	192.22	141.64	674.45	474.99	407.76	180.17	120.02	83.26	58.14	51.44	74.05	212.78
2081	66.53	80.25	198.09	293.57	349.47	261.58	170.67	91.53	74.03	53.20	70.95	119.15	152.42
2082	101.06	173.08	260.14	504.23	610.52	535.15	324.14	184.45	151.92	100.99	114.13	103.07	263.57
2083	126.47	172.05	269.46	445.35	212.20	164.95	87.15	60.33	53.24	32.56	42.41	182.05	154.02
2084	169.37	152.50	326.55	490.45	655.74	258.20	171.06	137.24	86.67	61.79	58.44	69.03	219.75
2085	138.03	127.76	503.29	1044.95	313.17	432.43	205.03	130.23	89.69	74.73	56.10	74.04	265.79
2086	119.49	188.21	376.27	927.34	659.63	363.16	203.06	199.52	132.68	111.27	114.24	108.23	291.92
2087	141.09	216.17	305.55	371.77	529.87	586.07	342.54	173.66	134.41	87.10	96.26	126.66	259.26
2088	105.06	152.70	276.59	460.71	387.90	904.06	362.65	204.57	141.21	97.22	81.19	93.22	272.26
2089	115.80	223.63	518.80	694.22	597.47	502.66	287.41	172.50	131.33	101.60	103.51	104.42	296.11
2090	281.37	1051.69	602.11	828.96	317.55	400.32	190.56	125.47	89.38	64.33	72.08	67.95	340.98
2091	84.24	118.30	500.57	964.86	586.12	547.26	232.93	167.74	190.10	112.71	98.91	69.82	306.13
2092	80.80	208.54	333.87	931.02	318.46	286.70	154.36	111.63	77.06	68.91	62.75	53.19	223.94
2093	52.81	184.09	267.88	1107.94	480.06	327.73	325.22	157.06	120.69	81.65	92.50	112.78	275.87
2094	219.85	199.36	664.20	1500.26	704.91	657.97	418.71	258.96	165.71	122.60	91.19	87.75	424.29
2095	94.29	397.11	1015.05	940.04	544.66	314.79	209.77	139.68	93.87	81.96	98.34	115.61	337.10
2096	152.31	204.71	258.23	772.46	390.96	289.67	149.68	105.75	80.56	102.76	160.13	95.93	230.26
2097	192.82	171.79	206.09	495.46	484.75	588.23	412.94	241.02	149.74	116.50	104.35	126.31	274.17
2098	140.14	98.58	172.65	797.00	343.65	445.71	173.36	118.62	110.74	76.21	89.05	119.08	223.73
2099	86.68	317.07	893.28	766.81	327.25	205.75	144.99	95.75	80.87	58.72	59.26	107.78	262.02
Prom CERCANO	80.78	158.64	224.04	363.59	362.53	180.69	106.27	72.86	53.12	41.24	32.90	44.16	143.40
Prom LEJANO	112.78	171.58	277.78	547.39	479.13	359.19	187.99	123.31	93.23	69.32	72.19	91.24	215.43
Máx	281.37	1051.69	1015.05	1500.26	1262.11	904.06	418.71	258.96	190.10	122.60	160.13	182.05	424.29
Mín	17.98	37.48	53.12	56.88	49.31	25.85	18.38	24.33	15.48	14.17	10.79	12.79	30.34

**Tabla 9: Caudales proyectados obtenidos del escenario CNRM-CM5-RCP 4.5 (CNR 4.5) en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro para los periodos futuros cercano (2016 a 2050) y lejano (2051 a 2099).**

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
2016	31.00	160.23	300.36	335.94	205.23	136.67	90.87	60.62	40.43	26.96	17.98	16.58	118.57
2017	88.14	191.22	218.24	315.17	241.38	155.14	102.67	68.47	45.65	30.49	20.39	13.68	124.22
2018	17.70	151.53	268.52	179.02	140.75	90.05	59.94	39.96	26.66	17.86	11.92	8.02	84.33
2019	16.08	38.69	109.92	163.67	91.71	61.13	40.76	27.20	18.15	12.19	8.19	6.09	49.48
2020	10.29	44.46	60.81	155.77	83.63	55.75	37.17	24.86	16.56	11.05	7.37	5.32	42.75
2021	30.32	49.92	145.51	134.18	83.15	54.92	36.62	24.42	16.30	10.92	7.35	5.87	49.96
2022	35.00	68.00	273.29	255.64	154.98	102.85	68.57	45.71	30.49	20.33	13.60	9.13	89.80
2023	7.24	20.12	80.26	135.07	74.66	50.35	33.47	22.32	14.91	10.03	6.79	4.68	38.33
2024	4.40	50.47	130.73	220.25	155.39	98.15	65.50	43.90	29.53	19.72	13.31	20.28	70.97
2025	39.03	123.11	131.85	266.86	148.04	98.52	65.67	43.78	29.26	19.50	13.45	10.85	82.49
2026	15.22	47.73	173.35	128.30	86.87	56.73	37.82	25.21	16.82	11.26	7.53	7.79	51.22
2027	21.55	76.15	100.59	74.12	50.60	33.41	22.24	14.92	9.95	6.64	4.84	5.21	35.02
2028	7.75	36.90	123.20	228.22	143.93	94.07	62.58	41.71	27.82	18.58	12.53	9.41	67.22
2029	17.75	92.39	91.86	156.69	134.61	87.51	57.41	38.28	25.54	17.17	11.52	7.69	61.53
2030	5.90	101.02	63.87	118.69	86.26	58.16	38.12	25.43	17.03	11.34	8.97	27.93	46.89
2031	110.50	80.82	85.41	409.83	219.17	149.35	98.88	65.93	43.95	29.31	19.82	13.28	110.52
2032	11.28	22.93	130.84	119.93	80.74	54.39	35.92	24.12	16.66	11.38	7.76	33.86	45.82
2033	102.49	118.00	170.62	283.20	173.41	113.39	75.57	50.62	33.71	22.59	15.25	10.84	97.47
2034	96.08	121.82	126.99	111.83	70.80	46.83	31.22	20.82	13.95	9.37	6.25	6.00	55.16
2035	109.59	121.61	457.67	482.94	506.39	301.53	200.79	133.87	89.24	59.59	39.81	26.76	210.82
2036	33.37	77.92	108.15	107.31	81.02	51.24	34.15	22.78	15.20	10.16	6.78	8.71	46.40
2037	54.10	39.08	277.28	267.05	190.41	124.30	82.42	54.99	36.92	24.64	16.47	11.12	98.23
2038	10.86	40.31	89.30	270.25	179.00	113.54	75.98	50.92	35.11	23.26	15.70	68.98	81.10
2039	165.09	270.64	531.94	494.70	454.57	277.39	184.85	123.28	82.52	55.11	37.63	26.62	225.36
2040	51.02	182.56	348.16	347.70	207.54	138.79	92.62	61.71	41.17	27.44	18.58	12.42	127.47
2041	60.41	124.37	159.47	254.59	294.04	174.97	115.94	77.35	51.56	34.38	22.95	15.43	115.45
2042	22.39	37.68	87.33	226.74	127.73	84.29	56.20	37.56	25.13	16.84	11.22	8.58	61.81
2043	24.00	50.29	111.48	246.17	185.77	115.96	77.51	51.63	34.43	22.96	15.32	18.36	79.49
2044	57.14	154.70	193.14	207.96	132.72	87.64	58.80	39.80	26.42	17.68	11.87	8.32	83.02
2045	21.05	92.31	220.68	188.51	120.28	79.85	53.14	35.57	23.72	16.04	11.00	8.89	72.59
2046	10.28	16.78	96.97	259.72	160.12	105.19	69.81	46.54	31.04	20.83	13.93	15.45	70.56
2047	74.05	123.58	236.93	470.08	267.30	183.68	121.75	81.72	54.68	37.01	24.71	16.91	141.03
2048	67.89	83.12	106.72	152.01	176.71	102.84	68.54	45.72	30.51	20.40	13.59	31.65	74.98
2049	36.94	85.69	341.70	491.52	332.29	213.02	141.93	94.61	63.13	42.19	28.14	26.94	158.17
2050	54.60	113.04	78.98	158.62	176.23	103.64	68.97	46.39	30.93	20.73	14.11	77.42	78.64
2051	73.95	198.39	370.27	401.92	460.62	288.74	189.35	126.29	84.41	56.54	37.70	25.57	192.81
2052	27.41	41.14	61.55	442.59	228.73	152.24	101.50	67.71	45.21	30.38	20.31	13.82	102.72
2053	14.41	63.70	409.61	674.19	460.97	301.61	199.69	133.47	88.94	59.38	39.69	27.13	206.07
2054	19.21	39.60	264.60	321.61	242.31	152.00	101.33	67.55	45.04	30.06	20.10	32.93	111.36
2055	72.32	136.82	541.69	688.55	608.71	426.08	274.65	183.15	122.18	81.64	54.91	38.14	269.07
2056	40.03	56.81	105.41	192.38	115.15	76.30	50.80	34.09	22.69	15.34	10.39	7.72	60.59
2057	10.62	26.04	134.54	237.80	134.55	89.90	60.09	40.03	26.68	17.86	12.01	8.05	66.51
2058	8.90	54.50	322.39	374.99	247.87	160.46	106.86	71.28	47.57	31.96	21.31	14.87	121.91
2059	16.97	52.10	307.80	356.20	245.03	158.62	105.41	70.29	46.90	31.43	21.17	24.22	119.68
2060	64.83	68.77	173.75	427.18	260.21	169.40	113.02	75.32	50.28	33.61	22.69	15.76	122.90
2061	31.39	44.34	226.51	232.05	219.97	136.97	90.59	60.39	40.30	26.95	18.06	12.30	94.99
2062	8.20	40.35	107.47	335.58	242.70	151.16	100.94	67.27	44.87	29.93	20.01	13.49	96.83
2063	28.02	54.89	150.48	250.12	219.78	149.86	97.72	65.07	43.45	29.00	19.37	12.95	93.39



... continuación

2064	41.69	68.95	72.82	226.95	169.29	108.48	71.85	47.89	32.01	21.42	14.54	31.78	75.64
2065	83.97	105.68	266.39	407.24	645.31	389.20	254.71	169.81	113.26	75.55	50.55	34.82	216.38
2066	40.44	86.35	97.65	356.47	215.67	140.37	93.37	62.44	41.61	27.83	18.78	48.60	102.46
2067	83.18	181.51	166.01	549.07	315.64	211.20	140.23	93.47	62.34	41.78	27.83	20.13	157.70
2068	34.65	55.36	244.12	269.80	169.79	111.17	74.07	49.44	32.98	22.02	14.70	9.80	90.66
2069	14.26	105.13	244.57	533.70	319.80	211.13	140.23	93.71	62.44	41.68	27.82	18.58	151.09
2070	16.92	44.18	183.58	383.72	222.92	146.20	97.57	65.09	43.70	29.46	19.78	20.16	106.11
2071	41.02	55.75	49.84	392.61	230.35	148.86	99.23	66.28	44.17	29.62	19.79	13.19	99.22
2072	20.38	137.42	218.70	371.31	434.50	253.84	168.90	112.74	75.31	50.56	33.81	23.67	158.43
2073	20.43	21.61	337.98	558.27	324.02	229.40	150.57	100.33	66.90	44.72	29.96	46.23	160.87
2074	88.00	96.28	181.46	232.23	177.24	111.10	74.21	49.45	32.97	22.15	15.37	60.03	95.04
2075	105.93	209.52	228.95	416.34	350.15	226.49	149.42	100.08	66.73	44.67	29.83	19.90	162.33
2076	35.87	87.49	190.08	208.93	130.10	88.52	70.21	45.28	30.12	20.29	14.10	31.80	79.40
2077	40.95	42.66	204.10	475.22	383.71	236.33	157.24	104.86	69.94	46.72	31.14	20.81	151.14
2078	34.67	99.79	102.25	236.99	205.02	235.37	138.51	92.94	61.90	41.45	27.63	67.68	112.02
2079	50.88	51.16	268.99	250.02	411.16	236.10	156.44	104.31	69.61	46.48	31.61	23.19	141.66
2080	36.51	57.98	81.42	143.48	98.16	63.19	41.98	28.00	18.72	12.60	9.70	82.14	56.16
2081	83.23	96.12	294.51	557.77	412.80	260.88	173.89	115.91	77.28	51.72	34.75	31.94	182.57
2082	68.99	195.40	234.10	257.98	272.65	167.45	111.64	74.27	49.57	33.57	26.03	111.08	133.56
2083	417.27	266.55	263.38	315.02	614.27	461.04	287.22	191.75	127.78	85.52	57.12	38.77	260.47
2084	38.45	53.38	114.36	389.11	393.92	252.86	165.02	110.24	73.52	49.16	32.84	30.72	141.97
2085	52.93	218.28	255.65	373.44	264.23	167.51	111.72	74.68	49.75	33.26	22.28	15.33	136.59
2086	70.82	109.21	133.66	494.29	441.36	275.34	181.90	121.23	80.86	54.12	36.18	37.63	169.71
2087	59.76	46.76	291.12	357.93	271.01	172.12	114.47	76.34	50.90	34.06	22.94	23.05	126.70
2088	119.62	102.41	130.54	165.64	140.66	86.79	58.37	38.84	25.95	17.41	11.79	16.92	76.24
2089	40.79	51.33	340.05	437.09	467.55	281.03	186.36	124.26	82.85	55.35	36.98	25.23	177.40
2090	26.67	36.69	112.71	199.88	151.75	96.07	64.13	42.69	28.51	19.19	13.44	9.74	66.79
2091	12.01	36.30	141.85	331.44	352.27	229.45	149.07	99.71	66.46	44.37	29.88	22.52	126.28
2092	29.55	54.23	124.83	179.27	188.17	124.36	80.67	53.78	35.89	24.03	16.27	10.88	76.83
2093	24.83	30.36	41.89	113.65	140.99	80.75	53.84	35.91	23.94	16.06	10.74	48.70	51.81
2094	45.73	85.26	89.54	376.06	290.49	181.59	120.48	80.51	53.66	35.83	24.07	16.37	116.63
2095	11.22	34.75	60.91	159.86	170.24	153.65	94.03	62.58	41.77	27.89	19.36	412.22	104.04
2096	353.67	366.91	279.08	529.24	598.08	431.07	277.09	184.45	123.04	82.47	55.00	37.03	276.43
2097	34.05	59.22	234.33	540.56	426.47	278.53	183.95	122.46	81.68	56.04	41.75	114.33	181.11
2098	200.90	148.25	203.21	665.05	478.84	398.81	255.05	169.09	112.73	75.32	50.68	36.95	232.91
2099	67.49	62.38	110.13	360.67	317.25	198.38	130.93	87.31	58.27	38.89	26.02	18.51	123.02
Prom CERCANO	43.44	91.69	178.06	240.52	171.93	110.15	73.27	48.93	32.72	21.89	14.76	17.29	87.05
Prom LEJANO	60.49	90.57	199.40	362.27	303.72	201.18	132.05	88.04	58.73	39.33	26.59	38.31	133.39
Máx	417.27	366.91	541.69	688.55	645.31	461.04	287.22	191.75	127.78	85.52	57.12	412.22	276.43
Mín	4.40	16.78	41.89	74.12	50.60	33.41	22.24	14.92	9.95	6.64	4.84	4.68	35.02

**Tabla 10: Caudales proyectados obtenidos del escenario CNRM-CM5-RCP 8.5 (CNR 8.5) en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro para los periodos futuros cercano (2016 a 2050) y lejano (2051 a 2099).**

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
2016	35.50	112.51	379.50	338.26	139.14	91.27	60.04	43.17	29.03	19.12	32.47	47.22	110.60
2017	86.45	153.95	149.11	633.65	184.65	128.48	79.14	55.72	38.51	33.78	20.41	29.25	132.76
2018	33.27	48.11	131.74	100.38	53.73	31.69	20.31	18.62	11.15	10.00	8.39	9.18	39.72
2019	33.27	146.60	101.27	549.19	168.58	118.40	72.00	46.69	33.76	25.52	27.04	21.63	112.00
2020	33.64	76.31	125.06	109.73	55.20	37.84	22.55	15.40	27.32	14.99	19.67	33.52	47.60
2021	59.79	118.80	179.46	112.16	64.21	46.84	27.70	21.09	22.24	17.01	22.15	24.08	59.63
2022	40.47	80.48	270.17	687.58	252.95	155.59	97.78	66.04	54.09	41.55	23.79	38.24	150.73
2023	55.70	47.54	73.85	157.29	102.44	45.39	31.21	20.64	15.74	15.35	14.91	31.96	51.00
2024	66.23	236.28	355.55	579.27	194.31	137.59	83.62	56.70	38.50	25.64	26.06	21.46	151.77
2025	168.21	139.42	139.56	83.89	59.23	38.13	31.76	18.36	13.41	9.94	10.52	14.40	60.57
2026	19.74	73.31	168.19	239.19	120.98	105.99	50.80	34.46	25.47	17.77	14.03	22.97	74.41
2027	53.54	61.13	413.50	242.82	116.30	75.37	48.01	37.15	25.60	21.43	23.44	16.79	94.59
2028	26.27	75.05	82.79	369.83	107.30	74.70	49.06	31.45	23.25	19.94	17.87	21.88	74.95
2029	50.97	109.84	105.70	145.94	128.62	55.61	34.67	26.33	18.53	12.21	9.75	12.24	59.20
2030	11.66	122.48	118.23	279.31	125.65	75.77	46.81	30.62	23.69	16.49	20.35	11.42	73.54
2031	25.83	180.71	386.21	206.70	135.54	79.21	51.70	32.93	27.64	17.52	47.05	77.95	105.75
2032	170.85	229.36	363.30	615.03	345.17	186.64	123.76	78.98	55.43	45.53	29.51	84.54	194.01
2033	32.38	232.72	206.37	350.46	296.46	128.17	79.05	56.42	42.70	31.07	19.63	24.26	124.97
2034	41.30	33.33	52.22	47.57	35.60	29.26	17.55	9.82	13.13	12.20	5.92	17.40	26.27
2035	64.93	192.83	171.46	360.75	143.73	88.69	53.97	42.30	29.52	19.64	18.79	84.10	105.89
2036	193.87	271.63	388.65	495.69	432.17	175.79	116.31	76.04	56.31	36.93	33.22	19.42	191.34
2037	28.49	434.27	413.24	179.79	196.39	97.21	60.81	41.49	41.77	23.38	24.71	32.03	131.13
2038	28.98	92.29	110.44	165.45	67.74	55.42	29.90	27.23	21.49	19.47	35.54	52.75	58.89
2039	93.55	458.50	306.82	301.45	171.10	110.33	64.26	43.95	32.81	25.96	25.57	20.21	137.88
2040	30.12	110.36	281.98	536.98	188.64	123.02	74.93	50.79	44.88	36.53	34.55	85.88	133.22
2041	81.58	60.88	501.12	351.13	150.16	104.55	64.88	43.97	35.73	29.13	27.08	18.90	122.42
2042	73.24	193.62	196.28	360.53	247.49	120.90	73.62	48.24	36.63	22.15	23.38	23.24	118.28
2043	83.16	74.44	160.86	563.99	170.64	122.90	72.61	52.68	35.26	23.59	23.94	16.21	116.69
2044	23.50	68.33	344.26	270.62	125.46	84.57	49.44	32.96	22.71	16.54	14.73	9.31	88.54
2045	128.57	55.47	206.76	506.81	201.45	112.84	70.64	53.25	34.42	24.59	19.40	20.28	119.54
2046	17.26	83.22	62.45	74.87	45.53	29.26	17.18	13.11	10.85	9.97	9.88	63.71	36.44
2047	68.05	151.08	278.03	425.71	362.66	146.60	98.34	76.39	47.03	31.28	25.82	33.02	145.33
2048	38.12	47.56	53.73	87.81	104.32	43.94	25.81	18.04	14.63	13.87	17.08	10.54	39.62
2049	31.49	34.02	183.48	181.49	160.37	66.69	44.16	32.14	20.99	17.77	13.77	14.74	66.76
2050	25.80	29.14	144.14	356.67	435.51	147.73	95.92	62.70	43.36	32.57	29.59	33.72	119.74
2051	54.04	70.62	81.71	113.24	141.18	55.93	35.67	25.43	16.26	11.95	12.70	48.71	55.62
2052	68.32	126.08	135.97	550.74	266.11	190.22	113.30	70.15	47.66	43.30	43.55	188.64	153.67
2053	166.26	261.95	210.80	280.93	574.32	238.77	143.55	96.41	68.11	52.86	42.74	67.77	183.71
2054	39.55	53.91	366.15	251.40	139.66	90.68	53.86	43.54	32.58	34.39	18.94	133.32	104.83
2055	171.28	126.40	387.99	403.31	502.26	231.91	130.20	85.11	64.18	45.99	31.56	40.95	185.09
2056	44.66	117.47	158.41	162.20	295.88	97.95	67.89	55.80	37.82	32.57	62.09	171.62	108.70
2057	110.48	170.88	394.57	793.94	690.60	297.40	183.87	121.59	89.41	63.15	58.82	61.01	252.98
2058	53.37	68.80	200.00	306.34	427.57	150.74	93.36	64.40	46.51	37.29	27.38	33.57	125.78
2059	98.49	102.81	154.85	580.77	451.29	191.39	130.30	81.19	57.45	40.98	33.78	39.62	163.58
2060	59.56	340.57	342.07	221.50	364.51	136.81	86.80	62.40	41.55	26.89	20.35	21.11	143.68
2061	23.37	84.49	185.51	259.94	189.46	95.21	54.87	36.56	25.79	20.01	19.80	17.95	84.41
2062	20.41	34.98	57.64	76.11	85.69	54.23	29.54	22.15	16.03	12.94	8.03	129.25	45.58
2063	370.64	212.03	548.88	436.17	289.44	190.48	109.22	74.69	52.51	33.45	27.76	38.16	198.62

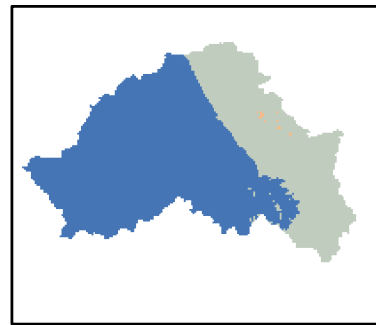
... continuación

2064	22.83	112.12	184.51	213.15	239.98	166.35	100.95	56.84	40.53	34.99	23.94	17.21	101.12
2065	44.43	78.91	132.32	321.47	103.05	81.41	49.26	34.20	25.37	28.52	25.08	16.01	78.34
2066	31.33	153.01	149.57	551.06	426.30	263.36	136.99	87.05	61.20	58.66	133.24	412.35	205.34
2067	213.82	156.64	405.91	488.71	875.43	471.37	228.82	151.43	110.40	83.05	55.05	42.42	273.59
2068	98.33	146.99	351.88	288.69	285.29	128.19	79.68	53.95	38.05	26.13	28.10	36.48	130.15
2069	70.39	93.93	550.23	387.84	655.44	243.10	149.18	98.47	69.03	55.73	40.85	32.37	203.88
2070	45.25	58.48	153.17	375.19	283.10	132.91	80.29	58.07	38.82	34.98	31.19	46.47	111.49
2071	56.25	54.11	189.96	281.75	114.76	75.68	44.30	29.79	25.56	16.60	16.47	49.05	79.52
2072	57.50	59.14	115.66	709.88	803.35	304.82	183.97	122.68	86.04	75.09	52.90	61.68	219.39
2073	75.93	95.58	95.49	431.22	136.86	88.94	55.24	38.32	36.45	29.38	43.19	102.70	102.44
2074	248.48	204.08	332.98	469.90	688.00	323.82	170.87	116.70	84.75	69.98	77.51	124.00	242.59
2075	56.63	97.06	95.42	323.02	285.50	154.80	85.03	54.36	40.07	26.90	37.38	134.00	115.85
2076	92.97	124.17	426.90	642.84	290.01	174.77	106.26	73.22	60.83	41.07	35.30	108.38	181.39
2077	127.35	109.95	199.56	468.19	501.55	425.82	172.30	115.38	85.02	67.18	41.82	53.28	197.28
2078	59.94	78.74	182.46	364.46	393.70	153.06	96.73	63.01	47.49	35.39	77.35	54.66	133.92
2079	97.84	61.30	93.36	288.17	628.77	212.98	134.81	90.01	61.18	57.72	136.15	227.42	174.14
2080	193.45	199.68	299.34	404.73	576.97	310.09	156.78	104.97	77.84	62.18	66.86	237.60	224.21
2081	90.35	143.98	253.95	353.87	339.26	134.56	84.36	59.95	53.36	39.49	129.83	86.46	147.45
2082	74.31	71.92	134.76	410.78	635.15	380.87	168.70	131.79	85.69	67.65	146.65	368.23	223.04
2083	156.14	257.88	226.45	389.41	348.33	359.12	153.24	105.44	73.86	54.23	70.95	343.40	211.54
2084	115.91	314.15	279.69	269.89	347.18	210.79	105.86	70.04	51.39	39.37	27.64	45.83	156.48
2085	44.88	57.41	79.49	280.02	380.69	131.76	88.72	55.68	46.36	37.14	25.47	51.62	106.60
2086	59.08	82.81	327.92	639.95	465.98	452.29	189.26	125.13	93.11	68.92	63.98	162.73	227.60
2087	112.42	118.28	264.22	459.04	586.42	301.34	174.02	105.04	78.72	54.04	48.85	105.69	200.67
2088	140.74	164.38	162.27	618.26	617.33	435.73	204.60	129.18	99.04	80.88	226.20	356.00	269.55
2089	161.03	155.68	105.27	347.77	429.22	167.61	104.96	74.01	67.81	51.81	71.34	245.56	165.17
2090	88.65	116.93	181.96	223.13	855.57	376.70	184.87	130.15	105.30	68.11	119.29	107.19	213.15
2091	70.09	58.15	216.45	645.87	690.18	443.37	224.61	141.20	105.18	81.52	128.38	69.27	239.52
2092	63.87	111.05	84.29	287.48	324.18	316.86	154.00	86.42	72.49	72.70	194.10	131.41	158.24
2093	175.32	583.68	338.15	513.49	889.84	1041.00	347.99	237.11	176.30	118.03	157.88	107.67	390.54
2094	95.36	93.86	84.18	514.46	321.62	172.73	95.98	63.63	52.28	37.88	91.68	69.33	141.08
2095	64.41	82.17	119.53	246.81	406.01	235.52	118.33	83.97	61.33	51.59	93.41	87.49	137.55
2096	85.72	70.24	158.76	161.90	338.21	329.97	131.46	85.27	72.06	45.71	164.28	141.78	148.78
2097	126.03	129.94	339.10	722.56	680.73	591.09	266.30	168.39	122.73	95.46	278.42	355.78	323.04
2098	145.33	161.46	105.43	119.59	384.85	127.72	85.37	63.34	48.19	40.14	82.04	113.76	123.10
2099	64.65	64.37	93.98	336.44	1000.41	500.47	229.36	152.47	116.39	85.80	77.09	118.08	236.63
Prom CERCANO	58.74	132.45	217.30	316.23	168.27	93.50	58.29	40.45	30.50	22.58	22.00	31.38	99.31
Prom LEJANO	98.11	132.52	219.17	387.50	443.82	253.93	130.12	86.86	64.61	50.00	71.99	118.67	171.44
Máx	370.64	583.68	550.23	793.94	1000.41	1041.00	347.99	237.11	176.30	118.03	278.42	412.35	390.54
Mín	11.66	29.14	52.22	47.57	35.60	29.26	17.18	9.82	10.85	9.94	5.92	9.18	26.27

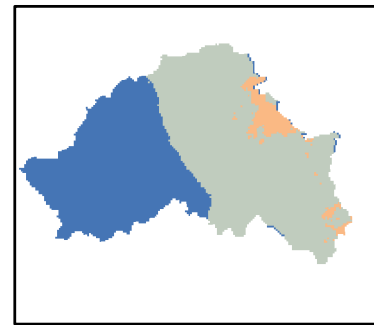
**Tabla 11: Datos de caudales simulados en la estación hidrométrica Puente Sánchez Cerro como proceso de calibración y validación para el periodo de enero de 1980 a diciembre de 2010.**

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
1980	6.54	10.57	17.47	23.11	13.58	13.36	8.04	5.47	4.42	20.73	21.15	21.09	13.79
1981	18.04	61.96	123.99	65.22	33.75	24.68	15.94	13.62	8.23	11.49	7.87	17.40	33.51
1982	24.99	25.55	28.85	41.71	26.72	14.62	10.95	7.60	9.12	10.81	9.86	100.42	25.93
1983	465.66	470.06	925.00	1237.32	385.38	366.98	198.20	131.11	92.13	72.22	62.39	60.28	372.23
1984	55.15	136.80	116.44	70.07	45.27	42.41	22.92	18.19	16.02	22.74	22.42	17.84	48.86
1985	18.57	37.10	34.07	19.32	25.36	14.23	11.81	12.97	7.67	7.60	7.01	28.42	18.68
1986	38.91	48.58	25.62	67.00	24.92	16.19	12.41	11.03	9.85	14.11	52.23	38.02	29.91
1987	21.59	12.52	8.97	33.26	12.12	9.11	12.40	8.32	7.97	13.24	11.32	14.01	13.74
1988	50.16	69.42	25.14	27.20	16.20	10.33	8.36	5.65	8.27	8.15	20.80	33.42	23.59
1989	65.69	137.81	160.75	85.91	53.88	33.57	21.75	15.35	11.14	19.62	8.71	7.51	51.81
1990	9.98	17.99	29.81	38.01	21.82	16.42	10.41	6.02	4.25	14.64	20.73	16.69	17.23
1991	12.31	42.87	82.38	45.72	27.40	15.80	10.24	6.96	4.96	4.20	3.15	7.80	21.98
1992	23.84	65.10	257.64	277.77	123.74	70.12	45.82	31.32	24.56	17.86	14.80	29.74	81.86
1993	33.14	160.85	400.03	184.16	97.26	64.37	40.93	29.20	21.48	19.10	12.88	36.94	91.70
1994	62.22	149.89	192.55	172.23	79.57	53.43	32.97	23.52	20.68	12.03	10.34	16.58	68.84
1995	35.17	58.74	64.51	53.36	28.43	16.33	12.30	8.06	5.84	5.30	8.03	25.72	26.81
1996	27.66	29.28	101.08	42.61	25.56	19.28	14.16	11.10	8.64	10.71	5.43	4.81	25.03
1997	12.74	42.93	50.85	98.32	38.70	25.09	16.14	10.55	19.69	12.32	28.09	147.49	41.91
1998	712.11	1081.58	1495.15	850.09	429.88	283.72	186.51	123.25	89.34	76.68	50.61	40.86	451.65
1999	57.22	278.73	198.13	157.31	124.77	72.89	43.60	30.66	29.01	18.99	14.22	42.09	88.97
2000	24.22	145.08	216.29	158.93	92.45	65.48	37.65	25.91	35.90	15.94	11.83	26.40	71.34
2001	50.84	84.15	389.91	158.52	81.90	75.58	47.38	30.79	24.07	19.76	28.42	19.81	84.26
2002	16.56	64.16	250.85	333.99	107.83	71.59	49.38	32.13	22.58	32.00	22.31	22.38	85.48
2003	24.68	44.90	39.32	31.83	27.94	20.06	12.54	7.42	5.73	5.88	9.69	8.73	19.89
2004	13.80	18.07	24.24	34.35	20.65	14.95	10.87	6.33	5.52	16.93	15.82	31.65	17.76
2005	14.05	50.60	129.32	53.60	32.89	25.06	13.96	9.31	6.58	7.91	6.72	21.04	30.92
2006	29.48	182.07	198.42	111.14	54.87	44.17	26.90	18.93	13.44	12.92	21.02	25.36	61.56
2007	36.25	25.40	79.44	51.75	36.65	36.41	18.33	14.75	8.48	14.54	45.12	20.21	32.28
2008	49.32	452.58	369.99	234.07	116.96	80.21	57.87	38.77	25.74	28.58	37.69	17.20	125.75
2009	124.84	172.12	254.41	115.34	69.07	45.95	31.03	22.27	16.69	11.57	16.43	15.09	74.57
2010	23.01	107.13	106.06	80.95	42.08	32.68	18.71	13.10	12.29	10.64	13.09	14.60	39.53
Prom	69.64	138.21	206.34	159.81	74.76	54.68	34.21	23.54	18.72	18.36	20.01	29.99	70.69
Máx	712.11	1081.58	1495.15	1237.32	429.88	366.98	198.20	131.11	92.13	76.68	62.39	147.49	442.10
Mín	6.54	10.57	8.97	19.32	12.12	9.11	8.04	5.47	4.25	4.20	3.15	4.81	0.30

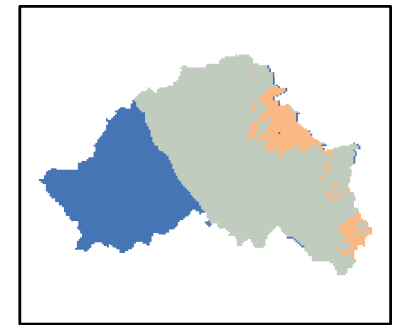
# Esquema 1 : Comparación de mapas de precipitación promedio mensual a futuro cercano



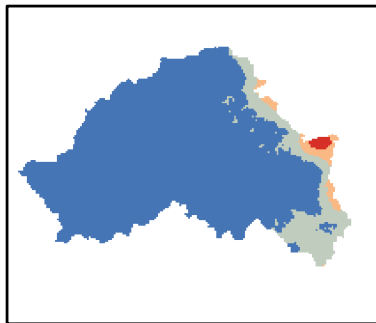
H-MPI  
(1971-2000)



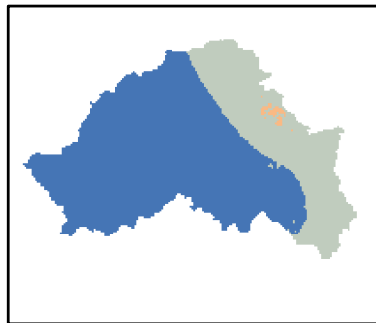
MPI 4.5  
(2016-2050)



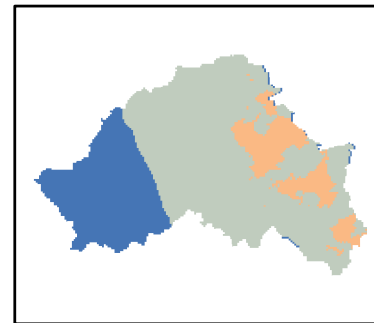
MPI 8.5  
(2016-2050)



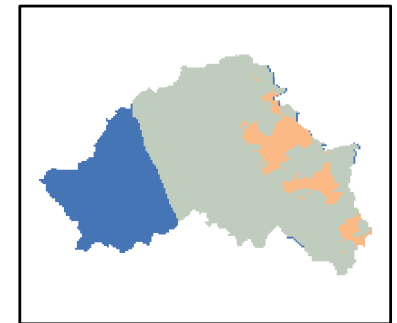
DP  
(1980-2011)



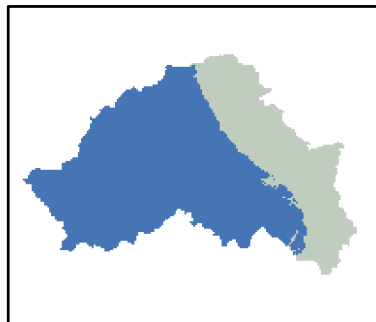
H-CAN  
(1971-2000)



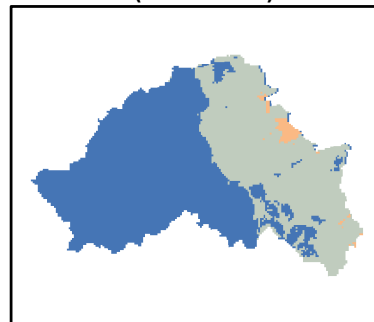
CAN 4.5  
(2016-2050)



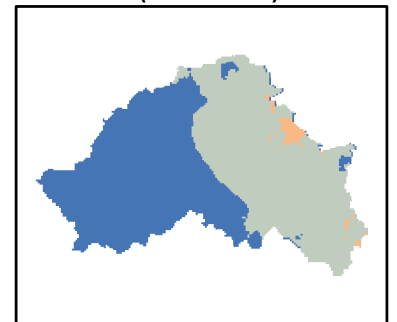
CAN 8.5  
(2016-2050)



H-CNR  
(1971-2000)

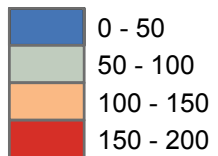


CNR 4.5  
(2016-2050)

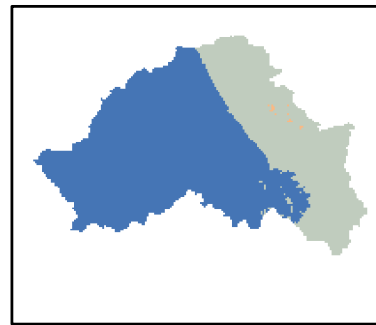


CNR 8.5  
(2016-2050)

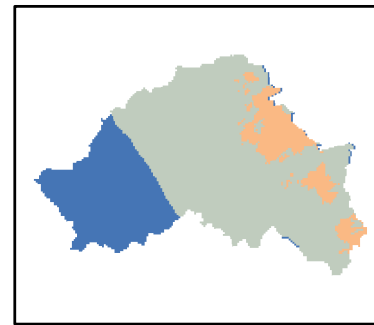
## Precipitación (mm/mes)



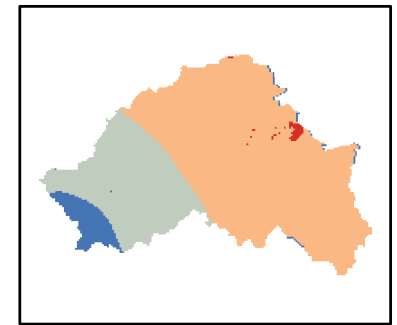
## Esquema 2 : Comparación de mapas de precipitación promedio mensual a futuro lejano



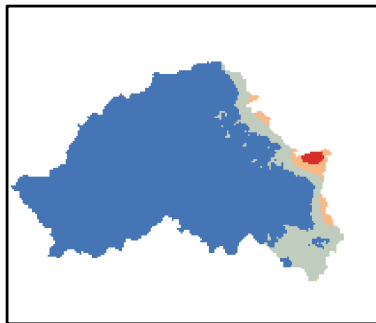
**H-MPI**  
(1971-2000)



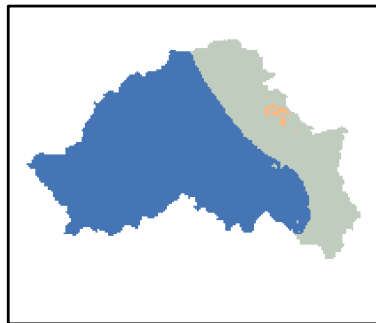
**MPI 4.5**  
(2051-2099)



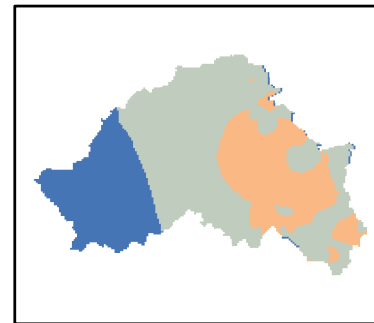
**MPI 8.5**  
(2051-2099)



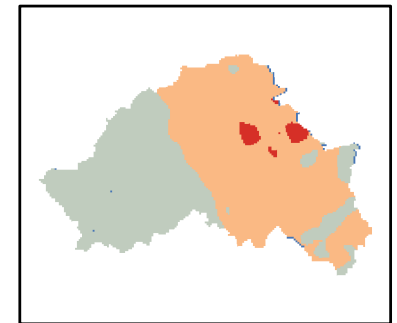
**DP**  
(1980-2011)



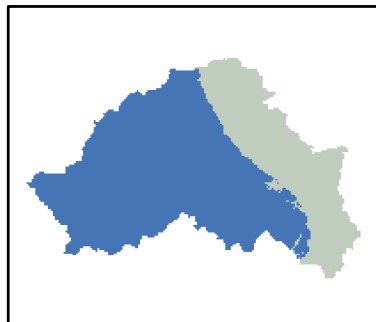
**H-CAN**  
(1971-2000)



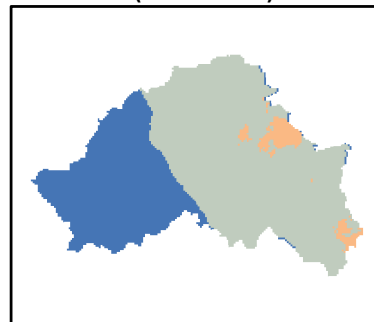
**CAN 4.5**  
(2051-2099)



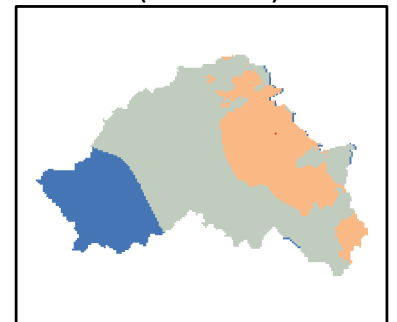
**CAN 8.5**  
(2051-2099)



**H-CNR**  
(1971-2000)



**CNR 4.5**  
(2051-2099)



**CNR 8.5**  
(2051-2099)

### Precipitación (mm/mes)

