

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA
MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA



**“MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RIO
HUALLAGA, AGUAS ARRIBA DEL PUNTO DE CONTROL
SANTA LORENZA”**

Presentado por:

IVÁN JOSEPH, ALIAGA ARAUJO

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AGRICOLA

Lima - Perú

2017

DEDICATORIA

A mi esposa Elen, hijas Kamilla, Avril y Belen, mi madre Ruby, hermanos Angelo, Mily y Jefferson y en especial a mi padre Segundo Vito Aliaga Araujo.

AGRADECIMIENTOS

Estoy muy agradecido por las palabras de aliento y apoyo en todo momento de mi esposa, hijas, padres y hermanos.

Un agradecimiento especial a mi padre Segundo Vito Aliaga, mi hermano Ángelo Aliaga y a mi asesor el Ingeniero Gonzalo Fano por su orientación y confianza.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	1
ÍNDICE DE FIGURAS	3
I. RESUMEN.....	5
II. INTRODUCCIÓN	6
2.1 JUSTIFICACIÓN	7
2.2 OBJETIVOS	8
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	9
3.1 CICLO HIDROLÓGICO.....	9
3.2 MODELOS HIDROLÓGICOS	10
3.3 ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LOS SISTEMAS HIDROLÓGICOS.....	11
3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS	12
3.5 COMPONENTES DEL MODELO	14
3.6 SISTEMA INFORMÁTICO RS MINERVE.....	15
3.7 MODELOS HIDROLOGICOS DEL RS MINERVE.....	16
3.8 INDICADORES ESTADÍSTICOS DE BONDAD DE AJUSTE	23
3.9 CALIBRACIÓN	28
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	30
4.1 ZONA DE ESTUDIO	30
4.2 MATERIALES	32
4.3 METODOLOGÍA	38
V. RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	58
VI. CONCLUSIONES.....	77
VII. RECOMENDACIONES.....	79
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	80
IX. ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros SOCONT	17
Tabla 2: Parámetros HBV.....	19
Tabla 3: Parámetros GR4J	20
Tabla 4: Parámetros SAC-SMA	23
Tabla 5: Indicadores de bondad con sus valores referenciales	28
Tabla 6: Ubicación Geográfica.....	30
Tabla 7: Información recopilada del SENAMHI Y ANA.....	33
Tabla 8: Ubicación de las Estaciones (WGS 84).....	37
Tabla 9: Datos de las sub cuencas	44
Tabla 10: Análisis estadístico de la estaciones.....	48
Tabla 11: Índices de correlación.....	49
Tabla 12: Índices estadísticos de calibración SAC-SMA.....	59
Tabla 13: Parámetros calibrados del modelo SAC-SMA.....	60
Tabla 14: Índices estadísticos de validación SAC-SMA.....	60
Tabla 15: Índices estadísticos de calibración SOCONT	61
Tabla 16: Parámetros calibrados del modelo SOCONT.....	62
Tabla 17: Índices estadísticos de validación SOCONT	63
Tabla 18: Índices estadísticos de calibración HBV	64
Tabla 19: Índices estadísticos de validación HBV	65
Tabla 20: Parámetros calibrados del modelo HBV	66
Tabla 21: Índices estadísticos de calibración GR4J	66
Tabla 22: Índices estadísticos de validación GR4J	67
Tabla 23: Parámetros calibrados del modelo GR4J.....	68
Tabla 24: Comparación de los índices estadísticos	69

Tabla 25: Caudales generados en el punto de control	70
Tabla 26: Caudales mensualizados para diferentes persistencias.....	74
Tabla 27: Balance hídrico en el punto de interés.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema del ciclo hidrológico.....	9
Figura 2: La cuenca como sistema hidrológico	11
Figura 3: Clasificación de los modelos hidrológicos	14
Figura 4: Modelo SOCONT	17
Figura 5: Modelo HBV.....	18
Figura 6: Modelo GR4J	20
Figura 7: Modelo SAC-SMA	22
Figura 8: Ubicación Geográfica	31
Figura 9: SRTM de 1-arco segundo	33
Figura 10: Aforo por vadeo en la estación hidroétrica	35
Figura 11: Ubicación hidrográfica y ubicación de estaciones.....	36
Figura 12: Llenado de vacíos del DEM.....	39
Figura 13: Representación del flow direction.....	40
Figura 14: Representación del stream definition y segmentation.....	41
Figura 15: Delimitación de subcuencas y vectorización	42
Figura 16: Delimitación de sub cuencas del área de influencia	43
Figura 17: Hidrograma de la estación San Rafael	46
Figura 18: Análisis doble masa de la estaciones	47
Figura 19 : División en zonas y bandas altitudinales	50
Figura 20: Creación automática de los componentes	51
Figura 21: Componentes del modelo.....	52
Figura 22: Entrada de datos meteorológicos	53
Figura 23: Método del cálculo de la evapotranspiración.....	54
Figura 24: Primera simulación modelo SAC-SMA nivel diario	54

Figura 25: Primera simulación modelo SOCONT nivel diario	54
Figura 26: Primera simulación modelo HBV nivel diario.....	55
Figura 27: Primera simulación modelo GR4J nivel diario	55
Figura 28: Simulación modelo SAC-SMA a nivel mensual.....	55
Figura 29: Simulación modelo SOCONT a nivel mensual	56
Figura 30: Simulación modelo HBV a nivel mensual.....	56
Figura 31: Simulación modelo GR4J a nivel mensual	56
Figura 32: Análisis de sensibilidad modelo SAC-SMA.....	57
Figura 33: Análisis de sensibilidad modelo GR4J.....	57
Figura 34: Calibración del modelo SAC-SMA	59
Figura 35: Validación del modelo SAC-SMA	61
Figura 36: Calibración del modelo SOCONT	62
Figura 37: Validación del modelo SOCONT	63
Figura 38: Calibración del modelo HBV.....	64
Figura 39: Validación del modelo HBV.....	65
Figura 40: Calibración del modelo GR4J	67
Figura 41: Validación del modelo GR4J	68
Figura 42: Histograma de caudales generados en el punto de control	70
Figura 43: Histograma de caudales generados por zonas.....	71
Figura 44: Curva duración de caudales	72
Figura 45: Curva de duración de caudales por zonas	73
Figura 46: Grafica de caudales mensualizados.....	74
Figura 47: Grafica del balance hídrico.	75
Figura 48: Balance hídrico por zonas	76

I. RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es evaluar y cuantificar los recursos hídricos en cantidad y oportunidad de la cuenca del río Huallaga aguas arriba de la estación hidrométrica Santa Lorenza. Hay que mencionar, que esta cuenca se dividió en 16 sub cuencas o áreas de contribución, cabe recalcar que cada sub cuenca se dividió en bandas altitudinales, estas se delimitaron por los ríos secundarios (afluentes) que desaguan en el río Huallaga. Previo a realizar la simulación se realizó los tratamientos de los datos pluviométricos e hidrométricos para detectar si hay saltos, tendencias o inconsistencia. La simulación se realizó con los modelos hidrológicos de precipitación-escorrentía: SAC-SMA, SOCONT, HBV Y GR4J del sistema informático RS Minerve. Con respecto a la calibración, se usan los datos de aforos de la estación hidrométrica Santa Lorenza, durante el periodo del 24 de Julio del 2015 al 30 de Septiembre del 2016 con una frecuencia de salida diaria. En consecuencia, se validaron con los datos de la estación hidrométrica Puente Raquia, la cual funcionó hasta fines del año 1999, el periodo de validación es desde 1 de Marzo de 1996 al 31 de Septiembre de 1999 con una frecuencia de salida mensual. Para evaluar el ajuste de los datos reales con los datos simulados por los modelos, se usó los indicadores de eficiencia, como son el coeficiente de Nash-Sutcliffe, el coeficiente de correlación de Pearson, la eficiencia Kling-Gupta y el error medio normalizado, obteniéndose resultados satisfactorios para los modelos GR4J y HBV. Para la prueba de calibración, estos modelos obtuvieron los mejores índices estadísticos de bondad de ajuste, obteniendo en coeficiente de Nash mayor a 0.68 y el coeficiente de correlación de Pearson mayor a 0.88. Si bien, ambos modelos de precipitación-escorrentía son aceptables, se selecciona el modelo GR4J dada a su sencillez y fácil implementación, caso contrario con el modelo HBV. Para obtener los datos de la disponibilidad hídrica se utilizó el modelo GR4J con una frecuencia de salida mensual desde 1996 al 2016, se obtuvo un caudal medio de 26.85 m³/s y un caudal de 7.04 m³/s con una persistencia al 75%.

II. INTRODUCCIÓN

La fuente de agua superficial representa el elemento vital para la supervivencia del hombre, más aun cuando se utiliza para los distintos usos, siendo los de mayor importancia los de abastecimiento poblacional, agrícola, pecuario, minero, energético y otros de menor envergadura como: el uso y mantenimiento de las especies silvestres, de flora y fauna. Por lo tanto, es necesario definir, su ubicación, cantidad, calidad, y distribución dentro de la cuenca.

En el Perú existe un aporte de 52% de energía hidroeléctrica y 46% de energía térmica, ello quiere decir que la energía que más dispone el país es aquella producida por la presión y la velocidad del agua en los ríos, que aquellas producidas por el calor o energía solar.

El presente estudio consiste en realizar el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Huallaga, ubicado entre los departamentos de Huánuco y Cerro de Pasco, con un área de 1360 km², para evaluar y cuantificar los recursos hídricos en cantidad y oportunidad, estableciéndose el balance hídrico para escenarios en situación actual y futura, que sirva como base para el aprovechamiento del recurso en la generación de energía eléctrica y para el desarrollo de las comunidades aledañas.

Es por eso que es muy importante entender el ciclo hidrológico, que implica entender la “respuesta” de la cuenca de manera continua en el tiempo y en el espacio, por este motivo la base de la modelación hidrológica es la modelación de cuencas. Los modelos permiten simular el comportamiento de un sistema real (prototipo) y obtener mediante la operación del mismo, las respuestas o salidas a un determinado impulso o entradas al sistema. (Fattorelli y Fernández 2011).

Este modelamiento se realiza con el sistema informático RS-Minerve, el cual cuenta con los modelos hidrológicos de lluvia-escorrentía, como Snow-GSM, SWMM, GSM, SOCONT, HBV, GR4J, SAC-SMA. La información existente en la zona es de 4 estaciones pluviométricas con más de 19 años de información de precipitación a nivel diario. Asimismo, una estación hidrométrica que se utilizara para la calibración de los modelos hidrológicos, esta tiene 16 meses de lecturas de caudales diarios desde el mes de junio del 2015 a Septiembre del 2016, y la estación hidrométrica Puente Raquia la cual esta inoperativa, esta cuenta con información mensual del año 1996 al 1999, esta información se utilizara para la validación de los modelos hidrológicos.

2.1 JUSTIFICACIÓN

La Organización Meteorológica Mundial (1994) determina que el término modelización de sistemas hidrológicos en general significa la aplicación de expresiones matemáticas y lógicas, que definen cuantitativamente las relaciones entre las características del escurrimiento (salida) y los factores que forman el escurrimiento (entrada).

Para llevar a cabo los proyectos de centrales hidroeléctricas y obras hidráulicas en general, es necesario el cálculo de caudales de diseño, una de las maneras de obtener esta información es por medio de la observación y de la medición directa de eventos con estaciones hidrométricas en las zonas de captación, sin embargo, la recopilación de esta información lleva mucho tiempo, por lo tanto, otra manera de obtener resultados es por medios indirectos, como los modelos matemáticos que con avances de la tecnología, se aplican mediante sistemas informáticos como el RS-Minerve, y se llega de manera rápida a dicho fin.

El estudio está dirigido a realizar el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Huallaga hasta la estación hidrométrica Santa Lorenza, a través del sistema informático RS Minerve. Asimismo, también se enfoca evaluar y cuantificar los recursos hídricos en cantidad y oportunidad, estableciéndose el balance hídrico para escenarios en situación actual y futura, como base para mejorar el aprovechamiento de los recursos hídricos dentro de la cuenca.

2.2 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar y cuantificar los recursos hídricos en cantidad y oportunidad de la cuenca del río Huallaga aguas arriba de la estación hidrométrica Santa Lorenza, mediante el sistema informático RS-Minerve.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la consistencia de la información de entrada para el sistema informático RS-Minerve.
- Formular los modelos a utilizar con el sistema informático RS-Minerve
- Calibrar y validar los modelos formulados con los caudales obtenidos en la estación hidrométrica Santa Lorenza y la estación hidrométrica puente Raquia respectivamente.
- Elegir el modelo a utilizar mediante el análisis comparativo de los caudales simulados con los caudales referenciales usando los indicadores estadísticos.
- Determinar la disponibilidad hídrica actual de la cuenca.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo del agua, también conocido como ciclo hidrológico, describe el movimiento continuo del agua, sobre y por debajo de la superficie. (Han 2010)

El ciclo hidrológico, es un modelo conceptual el cual, explica el movimiento del agua alrededor de la tierra y de la atmósfera en sus diferentes estados: sólido, líquido y gaseoso. (Tin 2008). En la figura 1 se presenta una representación esquemática del ciclo hidrológico.

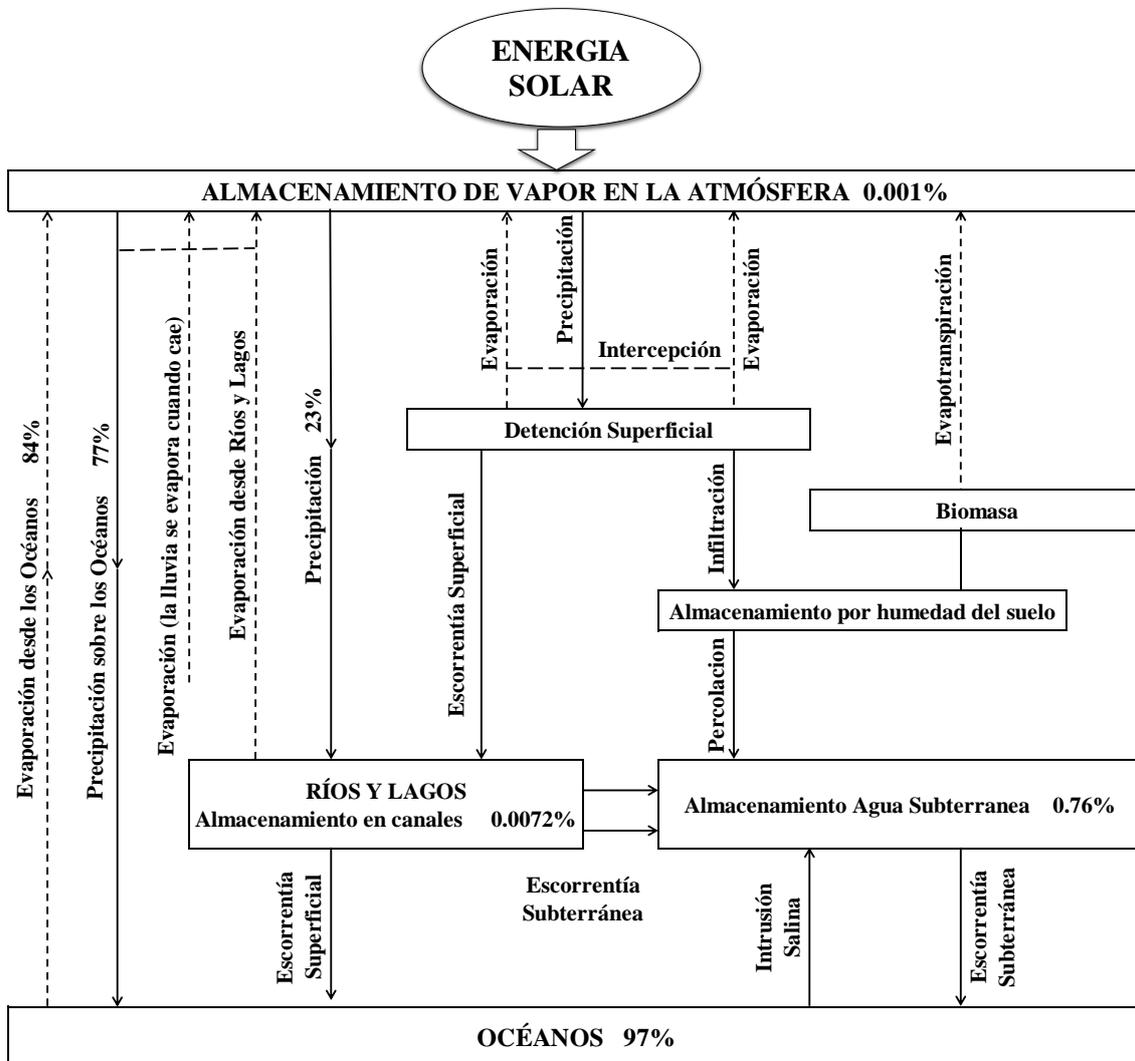


Figura 1: Esquema del ciclo hidrológico
Fuente: Fattorelli y Fernández. (2011)

La radiación solar, provoca la evaporación constante del agua, que pasa a la atmósfera para volver a la tierra en forma de lluvia, nieve o granizo. Parte de esa precipitación se evapora rápidamente y vuelve otra vez a la atmósfera. Otra parte del agua que se precipita periódicamente fluye a través de la superficie de las cuencas formando arroyos y ríos para iniciar su viaje de retorno al mar. En su tránsito, forman lagos y lagunas o se deposita en almacenamientos artificiales formados por represas y diques. Otra parte del agua que llega a la superficie terrestre en forma de lluvia, se deposita en el suelo donde se convierte en humedad o en almacenamientos subterráneos denominados acuíferos. En condiciones normales, las aguas subterráneas se abren camino gradualmente hacia la superficie y brotan en forma de manantiales para volver a unirse a las aguas superficiales y engrosar los caudales de los ríos. Las plantas y la vegetación, incorporan en sus tejidos parte de la humedad del suelo y de las aguas subterráneas y luego, una parte se desprende de ellas por transpiración para pasar a integrarse nuevamente a la atmósfera. Este es un ciclo natural que se repite intermitentemente.

Es mayor la cantidad de agua que se evapora de los océanos que la que llueve sobre ellos, mientras que en tierra es mayor la cantidad recibida como lluvia que la que se pierde como evaporación.

3.2 MODELOS HIDROLÓGICOS

Recientemente los modelos matemáticos están desarrollando las tareas más importantes en la solución de problemas hidrológicos (UNESCO 1985). Rosenblueth y Wiener (1945) dicen que “Ninguna parte sustancial del universo es tan simple que puede ser captado y controlado sin abstracción. La abstracción consiste en la sustitución de las partes del universo bajo la consideración de un modelo de estructura similar pero más simple. Modelos formales por un lado y los modelos materiales por otro, son una necesidad central del procedimiento científico”

La mayoría de los sistemas hidrológicos son extremadamente complejos, y no se puede esperar comprenderlos al detalle, por lo tanto, la abstracción es necesaria si se quiere comprender o controlar algunos aspectos de su comportamiento. De hecho el hombre ha encontrado a través de experiencia que entender y predecir el comportamiento de una parte significativa de su entorno requiere la abstracción.

Los objetivos principales de los modelos de cuencas es de obtener una mejor comprensión de los fenómenos hidrológicos que operan en un área de captación y de cómo los cambios en la cuenca pueden afectar a estos fenómenos, otro de los objetivos es la generación de secuencias sintéticas de datos hidrológicos para el diseño de instalaciones o para su uso en el pronóstico.

3.3 ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LOS SISTEMAS HIDROLÓGICOS

La cuenca se puede considerar como un sistema hidrológico. El límite del sistema se dibuja alrededor de la cuenca mediante la proyección de la divisoria de aguas (divortium aquarum). La lluvia es la entrada, distribuida en el espacio sobre el plano superior, el caudal es la salida, La evaporación y flujo subterráneo también son salidas. Al utilizar el concepto de sistema, el esfuerzo se dirige a la construcción de un modelo que relaciona las entradas y salidas, en lugar de la extremadamente difícil tarea de representación exacta de los detalles del sistema, que puede no ser significativo desde el punto de vista práctico, sin embargo, el conocimiento del sistema físico ayuda en el desarrollo de un buen modelo y la verificación de su exactitud. En la figura 2 se presenta una cuenca hidrográfica representada como sistema con sus variables de entrada y salida.

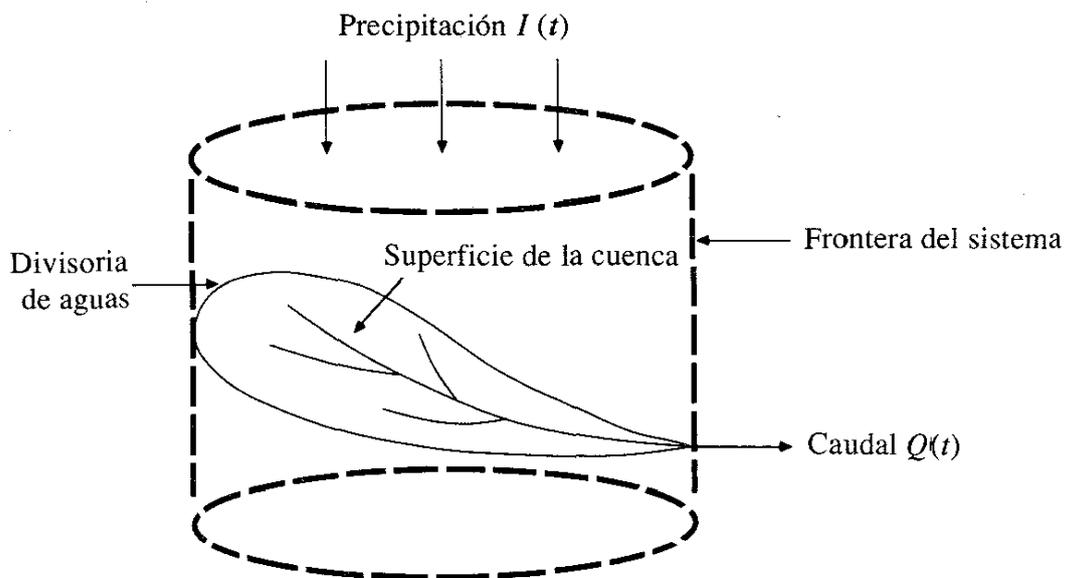


Figura 2: La cuenca como sistema hidrológico
Fuente: Ven Te Chow (1988)

3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS

3.4.1 Modelos Materiales

Un modelo de material (también llamado un modelo físico), es la representación del sistema real por otro sistema, que tiene propiedades similares, pero es mucho más fácil trabajar con ellos. Los modelos material pueden ser clasificados como modelos a escala o “similares”, y modelos analógicos. Un modelo de escala representa el sistema en una escala reducida y tiene un parecido físico al sistema prototipo. Ejemplos de esta clase pueden incluir cuencas de laboratorio, el modelo hidráulico de un aliviadero de la presa, simuladores de lluvia, etc.

3.4.2 Modelos Formales

Un modelo formal o modelo abstracto, es una expresión simbólica en términos lógicos de una situación idealizada relativamente simple, compartiendo las propiedades estructurales del sistema original. Los modelos simbólicos pueden expresarse de diversas maneras.

3.4.2.1 Modelo Matemático

Expresa el comportamiento del sistema por un conjunto de ecuaciones, tal vez junto con los estados lógicos que expresan las relaciones entre las variables y parámetros. Un modelo matemático consiste en varios componentes, cada uno describe cierta fase o fases del ciclo hidrológico. Este puede ser de tres tipos: teórico, conceptual y empírico. Los modelos teóricos y empíricos son exactamente opuestos en significado

En la práctica del modelado de cuenca hay cuatro tipos generales de modelos matemáticos se reconocen comúnmente: (1) determinísticos, (2) probabilísticos, (3) conceptuales, y (4) paramétricos.

- 1) Los modelos determinísticos son formulados siguiendo fórmulas de la física y-o procesos químicos descritos por ecuaciones diferenciales. Un modelo determinístico es formulado en términos de un grupo de variables y parámetros y

ecuaciones relacionadas a ellos. Un modelo determinístico implica una relación causa-efecto entre los valores de los parámetros elegidos.

- 2) Los modelos probabilísticos son exactamente lo opuesto en significado a los modelos determinísticos. Un modelo probabilístico se formula siguiendo las leyes del azar o probabilidad. Los modelos probabilísticos son de dos tipos: (1) estadísticos, y (2) estocásticos. Los modelos estadísticos tratan con ejemplos observados, mientras que los modelos estocásticos con la estructura del azar observada en ciertas series hidrológicas temporales - por ejemplo, flujos diarios de corriente en cuencas de tamaño medio. El desarrollo de modelos estadísticos requieren invariablemente el uso de datos; los modelos estocásticos enfatizan sobre las características estocásticas de los procesos hidrológicos.
- 3) Los modelos conceptuales son representaciones simplificadas de los procesos físicos, usualmente recaen sobre descripciones matemáticas (ya sean en forma algebraica o por ecuaciones diferenciales ordinarias), que simulan procesos complejos basándose en unas pocas claves de parámetros conceptuales. El uso extensivo de los modelos conceptuales en la ingeniería hidrológica refleja la complejidad inherente del fenómeno y la incapacidad práctica de considerar los componentes determinísticos en todas las instancias. De allí que los modelos conceptuales son sustitutos útiles y prácticos para los modelos determinísticos.
- 4) Los modelos paramétricos (esto es: empírico, o caja negra) son los más simples de todas las propuestas de modelado. Como su nombre indica, el énfasis de los modelos paramétricos está en los parámetros empíricos en los que está basada la solución. Usualmente, un modelo paramétrico consiste en una ecuación (o ecuaciones) algebraica que contiene uno o más parámetros a ser determinados por el análisis de datos u otro medio empírico. La aplicabilidad de los modelos paramétricos está restringida al rango de datos utilizados en la determinación de los valores de los parámetros. Los modelos paramétricos son útiles cuando los modelos conceptuales, determinísticos o probabilísticos no son prácticos o son demasiado caros. En la figura 3 se presenta la clasificación de los modelos hidrológico.

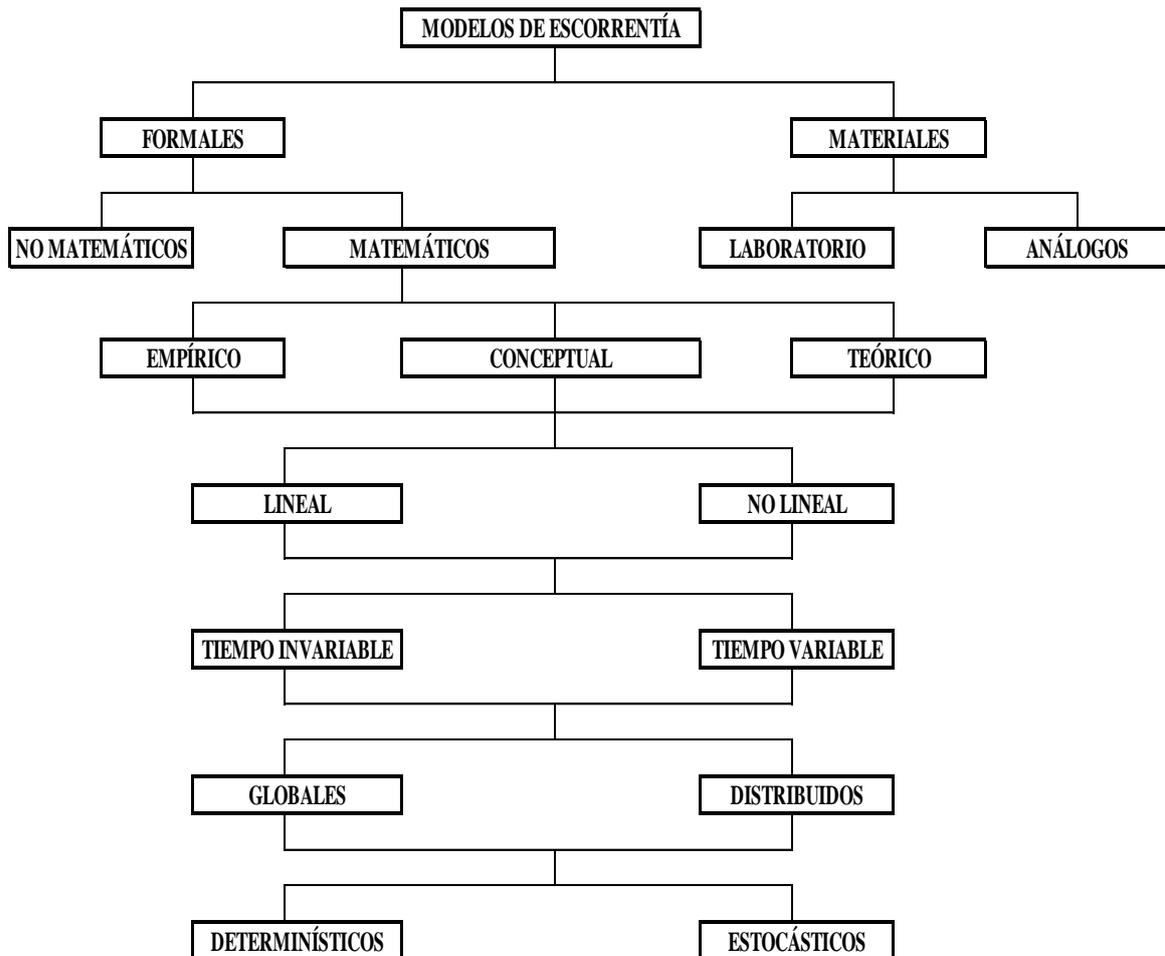


Figura 3: Clasificación de los modelos hidrológicos
Fuente: Singh (1988)

3.5 COMPONENTES DEL MODELO

3.5.1 Precipitación

La precipitación, ya sea como lluvia o como nieve, es el proceso que guía el modelado de una cuenca. El escurrimiento de superficie es una consecuencia directa del exceso de lluvia y-o del deshielo de la nieve. La lluvia puede ser descrita en los siguientes términos: intensidad, duración, profundidad, frecuencia, distribución temporal, distribución espacial, y corrección de área.

3.5.2 Abstracciones hidrológicas

Las abstracciones hidrológicas son los procesos físicos que actúan para reducir la precipitación total a precipitación efectiva. Eventualmente, la precipitación efectiva va a

constituir el escurrimiento de superficie. Hay varios procesos por los cuales la precipitación es abstraída por la cuenca. Entre ellos, aquellos que interesan a la ingeniería hidrológica son los siguientes: intercepción, infiltración, almacenaje de superficie, evaporación y evapotranspiración.

3.5.3 Escurrimiento

Se reconocen dos modos diferentes de escurrimiento con propósitos de modelación: escurrimiento en la cuenca y escurrimiento en el canal de corriente. El escurrimiento de cuenca tiene características tridimensionales, pero eventualmente este tipo de escurrimiento se concentra a la salida de la cuenca. Después de abandonar la cuenca el escurrimiento entra la red del canal donde se vuelve un flujo corriente del canal. A diferencia del escurrimiento de cuenca, la marcada orientación longitudinal del flujo de la corriente del canal generalmente justifica asumirlo unidimensional.

3.6 SISTEMA INFORMÁTICO RS MINERVE

RS MINERVE es un sistema informático que sirve para la simulación de la formación de la escorrentía superficial y el flujo de propagación. Modela redes hidrológicas e hidráulicas complejas de acuerdo con un esquema conceptual semidistribuido, además de los procesos hidrológicos particulares tales como el deshielo , derretimiento de los glaciares , el flujo superficial y subterránea , los elementos de control hidráulico (por ejemplo, puertas, aliviaderos, desvíos, cruces, turbinas y bombas) también están incluidos.

El análisis global de una red hidrológica - hidráulica es esencial en numerosas situaciones de toma de decisiones , tales como la gestión o planificación de los recursos hídricos , la optimización de las operaciones de la planta de energía hidroeléctrica , el diseño y la regulación de los canales de desagüe o el desarrollo de conceptos apropiados de protección contra inundaciones. El sistema informático puede ser desarrollado y adaptado a las necesidades o problemas específicos.

RS MINERVE contiene diferentes modelos hidrológicos de lluvia-escorrentía, como GSM, SOCONT, SAC - SMA, GR4J y VHB. La combinación de modelos de estructuras hidráulicas (embalses, turbinas, aliviaderos), también puede reproducir los esquemas hidroeléctricos complejos. Un modelo de energía hidroeléctrica calcula la altura de la red,

las pérdidas de carga lineales, y proporciona valores de producción de energía y el ingreso total basado en el rendimiento de la turbina y del precio de venta de la energía. Un modelo de consumo calcula el déficit de agua para usos consuntivos de ciudades, industrias y / o la agricultura. Un modelo de eficiencia de la estructura calcula las pérdidas de descarga en una estructura como un canal o un tubo, considerando un coeficiente de eficiencia sencilla.

3.7 MODELOS HIDROLOGICOS DEL RS MINERVE

3.7.1 Modelo SOCONT

El modelo de SOCONT (Soil Contribution), fue desarrollado por Consuegra & Vez (1996). Este modelo articula en serie a tres modelos hidrológicos de menor complejidad. El modelo Snow-GSM (Glacier Snow Melting), definido como un modelo determinístico conceptual, simula la evolución transitoria de la capa de nieve (deshielo y acumulación), como una función de la temperatura (T) y la precipitación (P), proporcionando así una precipitación equivalente (Peq), que se utiliza como entrada por el modelo GR3 (Génie Rural a 3 prametres) el cual, usa la precipitación equivalente (Peq) y la evapotranspiración potencial (ETP) y de esta manera producir una descarga de infiltración (Q_{GR3}) y una intensidad neta (i_{NET}). Esta última será utilizada por el modelo SWMM (Storm Water Management Model) para generar una escorrentía superficial (Q_F) de modo que, al sumarse con el caudal de infiltración formaran el caudal total (Q_{tot}).

En el modelo (figura 3) el primer reservorio es lineal para la contribución de la nieve, el segundo es no lineal que representa el agua subterránea y el tercero también es no lineal que es para la escorrentía directa.

En la figura 4 se muestra la representación gráfica del proceso del modelo hidrológico SOCONT.

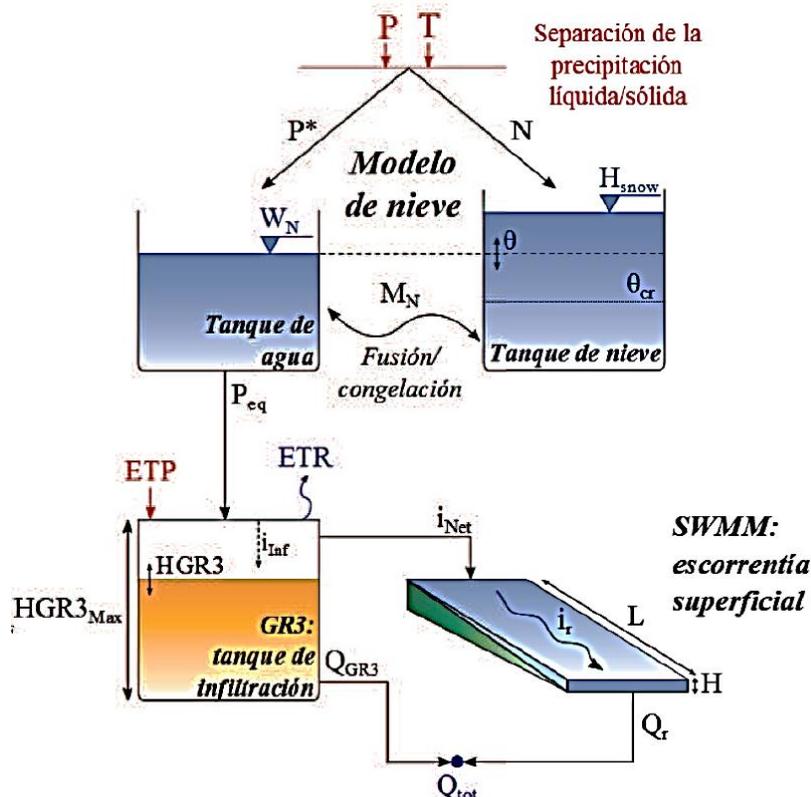


Figura 4: Modelo SOCONT
Fuente: García Hernández, J (2015)

Existen 11 parámetros para la calibración de este modelo que se muestran en la Tabla 1 y 5 variables de condiciones iniciales.

Tabla 1: Parámetros SOCONT

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	UNIDADES
An	Coefficiente de deshielo grados-días	mm/°C/día
ThetaCri	Contenido crítico de agua en la nieve acumulada	-
Tcp1	Temperatura mínima crítica para la precipitación líquida	°C
Tcp2	Temperatura máxima crítica para la precipitación sólida	°C
Tcf	Temperatura crítica de deshielo	°C
bp	Coefficiente de derretimiento debido a la precipitación líquida	d/mm
HGR3Max	Altura máxima del reservorio de infiltración	mm
KGR3	Coefficiente de liberación del reservorio de infiltración	1/s
L	Longitud del plano	mm
J0	Pendiente del plano	-
Kr	Coefficiente de Strickler	m ² /s

Fuente: García Hernández, J (2015)

Las variables de entrada del modelo son la precipitación (P), la temperatura (T) y la evapotranspiración potencial (ETP). El valor de salida es la precipitación equivalente

(P_{eq}), la descarga de salida (Q_{tot}), compuesto por la descarga de base (Q_{GR3}) y la descarga de escorrentía(Q_r), finalmente se transfiere a la salida de la sub-cuenca.

3.7.2 Modelo HBV

El modelo HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning) es un modelo determinístico y conceptual, fue desarrollado por StenBergstrom (1992) en el instituto meteorológico e hidráulico de Suecia.

Este modelo estima la escorrentía en una cuenca a partir de los datos de precipitación (P), temperatura (T) y evapotranspiración (ETO). El modelo HBV describe el balance de agua usando tres depósitos de almacenamiento: una zona de humedad del suelo, una zona de almacenamiento superior (flujo de tormenta sub-superficial) y una zona de almacenamiento inferior. Incluye un algoritmo para la acumulación de nieve y el deshielo (Basado en el método de grado - día).

En la figura 5 se muestra el modelo HBV.

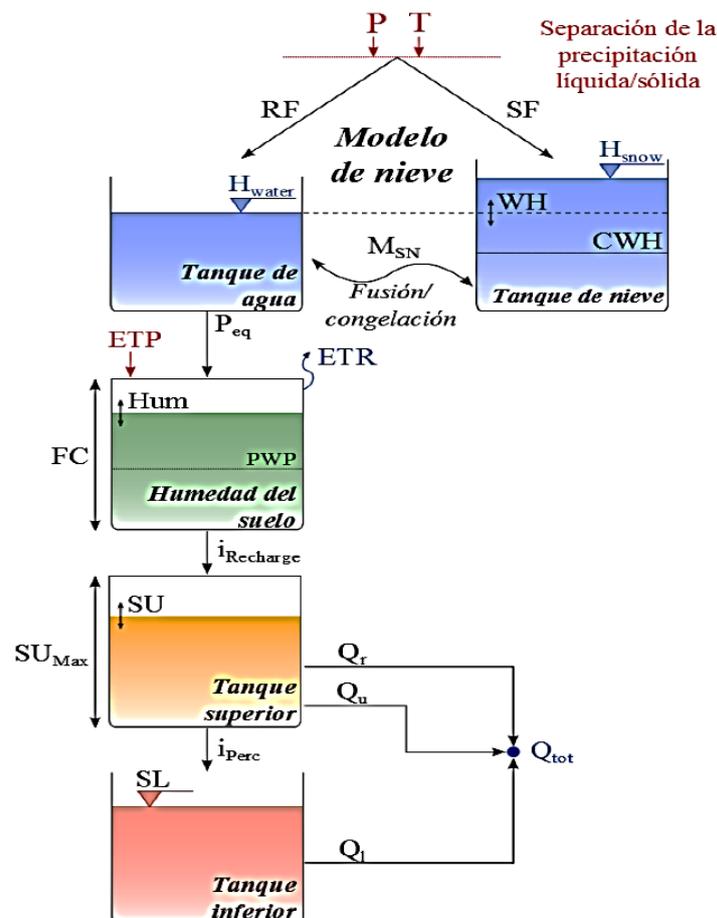


Figura 5: Modelo HBV
Fuente: García Hernández, J (2015)

El modelo utiliza un total de 14 parámetros para la calibración que se muestran en la tabla 2 y 5 variables en condiciones iniciales.

Tabla 2: Parámetros HBV

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	UNIDADES
CFMax	Factor de deshielo	mm/°C/día
CFR	Factor de congelación	-
CWH	Contenido crítico de agua en la nieve acumulada	-
TT	Temperatura umbral de lluvia/nieve	°C
TTInt	Intervalo de temperatura para la mezcla de lluvia/nieve	°C
TTSM	Temperatura umbral para el derretimiento de la nieve	°C
Beta	Coefficiente de forma	-
FC	Máxima capacidad de almacenamiento del suelo	mm
PWP	Punto de marchitez permanente del suelo	mm
SUMax	Nivel de umbral de agua del reservorio superior	mm
Kr	Coefficiente de almacenamiento del flujo cercano a la superficie	1/d
Ku	Coefficiente de almacenamiento del interflujo	1/d
Kl	Coefficiente de almacenamiento del flujo base	1/d
Kperc	Coefficiente de almacenamiento de la percolación	1/d

Fuente: García Hernández, J (2015)

3.7.3 Modelo GR4J

El modelo GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) es un modelo hidrológico desarrollado en Francia (Perrin et al., 2003). Es un modelo empírico, pero su estructura es similar a los modelos conceptuales. Realiza la representación de descargas medias diarias con 4 parámetros, y requiere de información de precipitación y evapotranspiración media diaria para generar series de caudales. Este modelo GR4J es una versión modificada de la última versión del modelo GR3J, originalmente propuesto por Edijatno & Michel (1989), el cual más tarde fue mejorado por Nascimento (1995) y Edijatno (1999).

El modelo GR4J cuenta con dos reservorios que se encargan de almacenar la precipitación neta y donde se producen los fenómenos de percolación e infiltración. Los procesos de precipitación sólida no se toman en cuenta en este modelo pero si la humedad. Los hidrogramas unitarios también se asocian para el comportamiento hidrológico de la cuenca. En la figura 6 se muestra el modelo GR4J.

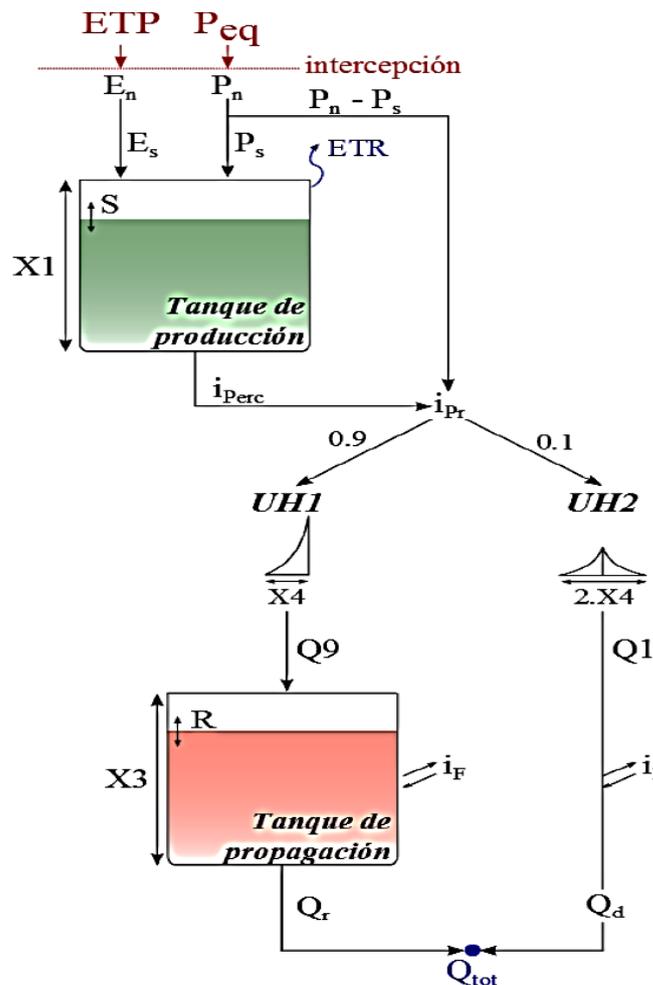


Figura 6: Modelo GR4J

Fuente: García Hernández, J (2015)

En el modelo GR4J se presenta 4 parámetros (tabla 3) y 2 variables en condiciones iniciales.

Tabla 3: Parámetros GR4J

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	UNIDADES
X1	Capacidad de almacenamiento de producción	mm
X2	Coficiente de intercambio de agua	mm
X3	Capacidad de deposito de laminación	mm
X4	Tiempo base del hidrograma unitario	d

Fuente: García Hernández, J (2015)

La capacidad del depósito de producción (X1) es el almacenamiento de las precipitaciones en la superficie del suelo y está en función del tipo de suelo de la cuenca hidrográfica. Hay evapotranspiración y percolación en este almacenamiento. La

porosidad del suelo puede hacer de producción de almacenamiento más grande. El coeficiente de intercambio de aguas subterráneas (X2) es una función de las aguas subterráneas. Cuando se tiene un valor negativo, entonces el agua ingrese al acuífero, cuando tiene un valor positivo, el agua sale del acuífero. La capacidad del depósito de laminación (X3) es la cantidad de agua que puede ser almacenada en los poros del suelo. El valor de este depende en el tipo y la humedad del suelo. Tiempo base de los hidrogramas unitarios (X4) es el tiempo del punto más alto de las ordenadas en el hidrograma de crecidas. La ordenada de este hidrograma se crea a partir de la escorrentía donde el 90 % del flujo es flujo lento que se infiltra en el suelo y 10 % del flujo es flujo rápido que fluye sobre la superficie del suelo.

3.7.4 Modelo SAC-SMA

El SAC-SMA (Sacramento Soil Moisture Accounting) o modelo hidrológico SACRAMENTO fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos División Norte conjuntamente el personal del Centro de Predicción Fluvial del Servicio de Meteorológico Nacional de Estados Unidos y el Departamento de Recursos Hídricos, en Sacramento, California en la década de los 70. El SAC o Sacramento Soil Moisture Accounting es un modelo determinístico conceptual que requiere información de precipitación y evapotranspiración media diaria para generar descargas del mismo paso de tiempo. Este modelo representa las características de la humedad del suelo que se distribuye en una manera físicamente realista en las distintas zonas y estados de la energía del suelo, modelo ideal para la simulación de cuencas grandes mayores a 1000 km². El modelo, con una gran capacidad para simular descargas medias diarias requiere de 16 parámetros (Tabla 4) para su calibración aun sin disponer de un submodelo de nieve. Este gran número de parámetros implica un conocimiento profundo de la cuenca a simular, con información sobre la cobertura vegetal o áreas permeables e impermeables. El modelo SAC (figura 7) se estructura en tres reservorios complejos, todos ellos influidos por la evapotranspiración (ETO). El primero, de color plomo, está dividido en sectores permeables e impermeables que producen escorrentía superficial cuando la lluvia supera la tasa de infiltración. El reservorio de color celeste representa la capa superior del suelo (zona superior o Upper zone), donde se origina el interflujo, que puede entenderse como la transferencia de agua lateral al caudal base y que solo se produce cuando se satura la zona superior. El tercer reservorio representa la zona inferior del suelo (zona inferior o

Lower zone) y está vinculado a los procesos de descarga con respuesta lenta. Finalmente, los tres reservorios originan el caudal total simulado por el modelo.

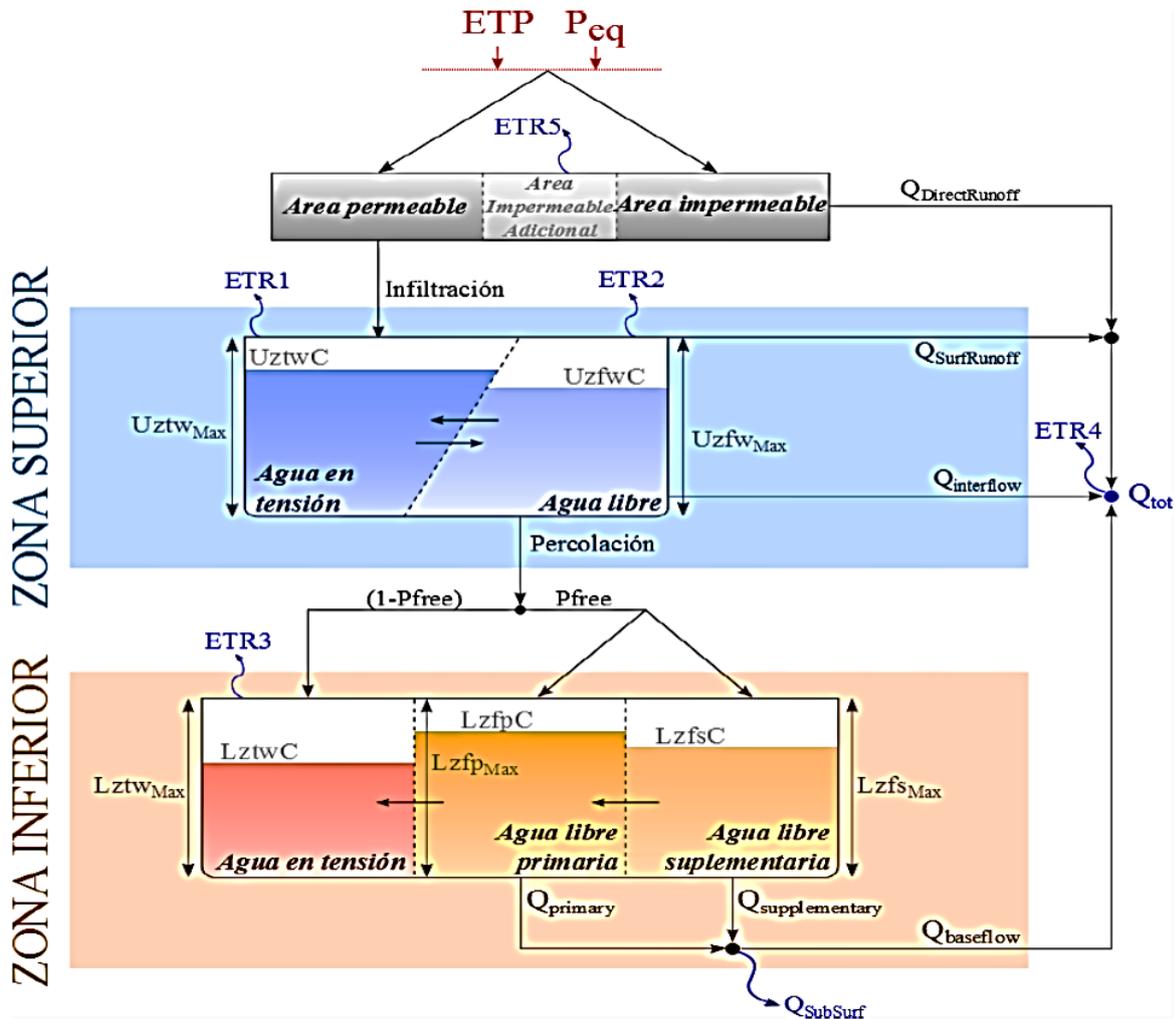


Figura 7: Modelo SAC-SMA
Fuente: García Hernández, J (2015)

En la tabla 4 se muestran los 16 parámetros para su calibración aun sin disponer de un sub modelo de nieve del modelos SAC-SMA con una gran capacidad para simular descargas medias diarias.

Tabla 4: Parámetros SAC-SMA

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	UNIDADES
Adimp	Fracción máxima de impermeabilidad adicional	-
Pctim	Fracción permanente de área impermeable	-
Riva	Fracción de cobertura vegetal	-
UzwmMax	Capacidad de la tensión de agua en la capa superior	mm
UzfwMax	Capacidad de agua libre en la capa superior	mm
Uzk	Tasa de reducción de interflujo de la capa superior	1/day
Zperc	Coefficiente de la relacion de percolación	-
Rexp	Parametro de forma de la curva de percolación	-
Pfree	Fracción de percolacion del almacenamiento de aguas en la capa inferior	-
LzwmMax	Capacidad de la tensión de agua en la capa inferior	mm
LzfpMax	Libre capacidad del agua primaria de la capa inferior	mm
LzfsMax	Libre capacidad del agua suplementaria de la capa inferior	mm
Rserv	Fracción del agua libre no transferible a la tensión del agua en la capa inferior	-
Lzpk	Tasa de reducción del almacenamiento del agua primaria de la capa inferior	1/day
Lzsk	Tasa de reducción del almacenamiento del agua suplementaria de la capa inferior	1/day
Side	Ratio de percolacion del almacenamiento de aguas en la capa inferior	-

Fuente: García Hernández, J (2015)

3.8 INDICADORES ESTADÍSTICOS DE BONDAD DE AJUSTE

Los indicadores de bondad de ajuste no son variable de estado (temperatura, volumen), que describen alguna condición existente o deseada. Más bien, indican si una estrategia de acción prescrita alcanza su efecto deseado. Los indicadores de bondad de ajuste describen lo bien que se ajusta los datos simulados con los datos observados.

El objeto Comparador (Comparator object en el RS-Minerve) ofrece ocho valores de indicadores de bondad:

3.8.1 Coeficiente de Nash-Sutcliffe

El coeficiente de Nash- Sutcliffe es una estadística normalizada que determina cuánto de la variabilidad de las observaciones (datos medidos) es explicada por la simulación. Si la simulación es perfecta, Nash=1; si se intentase ajustar las observaciones con el valor

promedio, entonces Nash=0. El rango de valores es de $-\infty < \text{Nash} \leq 1.0$, los valores observados entre 0.0 y 1.0 son considerados niveles aceptables de desempeño, cuando los valores de Nash son menores a 0.0, esto indica que el promedio de descargas observadas (\bar{Q}_{ref}) es un mejor predictor que la descarga simulada, lo cual es inaceptable. La ecuación es:

$$\text{Nash} = 1 - \frac{\sum_{t=t_i}^{t_f} (Q_{sim,t} - Q_{ref,t})^2}{\sum_{t=t_i}^{t_f} (Q_{ref,t} - \bar{Q}_{ref})^2}$$

Donde:

$Q_{sim,t}$: descarga simulada en un tiempo t (m³/s)

$Q_{ref,t}$: descarga observada en un tiempo t (m³/s)

\bar{Q}_{ref} : promedio de descargas observadas en el periodo de tiempo considerado (m³/s)

3.8.2 Coeficiente logarítmico de Nash-Sutcliffe

Se suele utilizar este coeficiente (Nash-ln) para conseguir disminuir el problema de las cuencas con alto dinamismo de caudales, lo que se traduce en dejar los caudales altos a un nivel comparable con los caudales bajos y así mejora el valor del indicador de eficiencia. Es decir, que reduce el problema de las diferencias cuadráticas y la sensibilidad resultante en valores extremos por el Nash

Se calculó el coeficiente de Nash-ln empleando valores logarítmicos del caudal observado y del caudal simulado, como resultado la influencia de caudales bajos incrementa los errores y hace más sensible a la medida del criterio estadístico. La ecuación es:

$$\text{Nash} - \ln = 1 - \frac{\sum_{t=t_i}^{t_f} (\ln(Q_{sim,t}) - \ln(Q_{ref,t}))^2}{\sum_{t=t_i}^{t_f} (\ln(Q_{ref,t}) - \ln(\bar{Q}_{ref}))^2}$$

Donde:

$Q_{sim,t}$: descarga simulada en un tiempo t (m³/s)

$Q_{ref,t}$: descarga observada en un tiempo t (m³/s)

\bar{Q}_{ref} : promedio de descargas observadas en el periodo de tiempo considerado (m^3/s)

3.8.3 Coeficiente de correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson (Pearson) describe el grado de relación lineal entre los datos simulados y los datos observados. El coeficiente de correlación oscila entre -1 a 1 . Si $r = 0$, no existe relación lineal, si $r = 1$ o -1 , existe una perfecta relación lineal positiva o negativa. Aunque coeficiente de correlación de Pearson ha sido ampliamente utilizado para la evaluación del modelo, estas estadísticas son demasiado sensible a valores extremos. La ecuación es:

$$Pearson = \frac{\sum_{t=t_i}^{t_f} (Q_{sim,t} - \bar{Q}_{sim}) * (Q_{ref,t} - \bar{Q}_{ref})}{\sum_{t=t_i}^{t_f} (Q_{sim,t} - \bar{Q}_{sim})^2 * (Q_{ref,t} - \bar{Q}_{ref})^2}$$

Donde:

$Q_{sim,t}$: descarga simulada en un tiempo t (m^3/s)

\bar{Q}_{sim} : promedio de descargas simuladas en el periodo de tiempo considerado (m^3/s)

$Q_{ref,t}$: descarga observada en un tiempo t (m^3/s)

\bar{Q}_{ref} : promedio de descargas observadas en el periodo de tiempo considerado (m^3/s)

3.8.4 Eficiencia Kling-Gupta

La eficiencia Kling-Gupta proporciona un indicador para los problemas de modelamiento hidrológico, que facilita un análisis global basado en diferentes componentes como: correlación, bias y variabilidad. (Gupta et al., 2009). El valor de KGE' varía de 0.0 a 1.0 , siendo 1.0 la mejor representación del modelo. La ecuación es:

$$KGE' = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2}$$

Donde:

r : coeficiente de correlación entre las descargas simuladas y observadas.

β : proporción entre la media de las descargas simuladas y la media de las descargas observadas.

γ : proporción de la variabilidad, proporción entre el coeficiente de variación de las descargas simuladas y el coeficiente de variación de las descargas observadas.

3.8.5 Bias Score

El Bias Score es una estimación simétrica entre la inversa de la descarga promedio simulado y la descarga promedio observada. El BS se encuentra entre el rango de 0.0 a 1.0, siendo 1.0 la mejor representación del modelo. La ecuación es:

$$BS = 1 - \left[\max\left(\frac{\bar{Q}_{sim}}{\bar{Q}_{ref}}, \frac{\bar{Q}_{ref}}{\bar{Q}_{sim}}\right) - 1 \right]^2$$

Donde:

\bar{Q}_{sim} : promedio de descargas simuladas en el periodo de tiempo considerado (m^3/s)

\bar{Q}_{ref} : promedio de descargas observadas en el periodo de tiempo considerado (m^3/s)

3.8.6 Error relativo de la raíz cuadrática media

Error relativo de la raíz cuadrática media (RRMSE) permite cuantificar la magnitud de la desviación de los valores de las descargas simuladas respecto a los valores de las descargas observadas y estos son normalizados por el promedio de las descargas observadas. El rango de valores es de $0 < RRMSE < +\infty$, siendo clasificados como excelente a los valores menores a 0.1, buenos a valores entre 0.1 a 0.2, validos a los valores entre 0.2 a 0.3 y pobre a los valores mayores a 0.3. La ecuación es:

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{t=t_i}^{t_f} (Q_{sim,t} - Q_{ref,t})^2}{n}}}{\bar{Q}_{ref}}$$

Donde:

$Q_{sim,t}$: descarga simulada en un tiempo t (m^3/s)

$Q_{ref,t}$: descarga observada en un tiempo t (m^3/s)

\bar{Q}_{ref} : promedio de descargas observadas en el periodo de tiempo considerado (m^3/s)

n : número de descargas observadas

3.8.7 Volumen relativo Bias

El volumen relativo Bias (RVB) corresponde al error relativo entre las descargas simuladas y las descargas observadas, durante el periodo de estudio. El rango de valores es de $-\infty < RVB < +\infty$, para los valores cercanos a cero indica una buena simulación. Los valores negativos indican que las descargas promedio simuladas son menores que las descargas promedio observadas, del mismo modo ocurre lo opuesto cuando el valor es positivo. La ecuación es:

$$RVB = \frac{\sum_{t=t_i}^{t_f} (Q_{sim,t} - Q_{ref,t})}{\sum_{t=t_i}^{t_f} Q_{ref,t}}$$

Donde:

$Q_{sim,t}$: descarga simulada en un tiempo t (m^3/s)

$Q_{ref,t}$: descarga observada en un tiempo t (m^3/s)

3.8.8 Error pico normalizado

El error pico normalizado (NPE) indica el error relativo entre las descargas simuladas pico y las descargas observadas pico. El rango de valores es de $-\infty < NPE < +\infty$, los valores negativos significa que la descarga máxima simulada es menor que la descarga máxima observada, mientras que los valores positivos significan lo opuesto. Los valores cercanos a cero indican la buena simulación de las descargas máximas simuladas respecto a las descargas máximas observadas. La ecuación es:

$$NPE = \frac{S_{max} - R_{max}}{R_{max}}$$

Donde:

$$S_{max} = \bigvee_{t=t_i}^{t_f} Q_{sim,t}$$

$$R_{max} = \bigvee_{t=t_i}^{t_f} Q_{ref,t}$$

S_{max} : descarga máxima simulada en el periodo de estudio (m³/s)

R_{max} : descarga máxima observada en el periodo de estudio (m³/s)

En la tabla 5 se muestran los indicadores de la función objetivo con sus valores ideales y sus valores máximos y mínimos.

Tabla 5: Indicadores de bondad con sus valores referenciales

INDICADOR	PESO	MIN	MAX	VALOR IDEAL
Nash	W1	$-\infty$	1	1
Nash-ln	W2	$-\infty$	1	1
Pearson Correlation Coeff	W3	-1	1	1
Kling-Gupta Efficiency (KGE)	W4	$-\infty$	1	1
Bias Score (BS)	W5	0	1	1
RRMSE	W6	0	∞	0
Relative Volume Bias (RVB)	W7	$-\infty$	∞	0
Normalized Peak Error (NPE)	W8	$-\infty$	∞	0

Fuente: García Hernández, J (2015)

3.9 CALIBRACIÓN

La calibración de modelos se enfoca en un criterio de exactitud, el cual se apoya en la cuantificación de la bondad de ajuste del modelo. De manera que, se hace uso de diferentes medidas de bondad de ajuste.

La calibración automática, implica el cálculo de la predicción de error utilizando una ecuación (función objetivo) y un procedimiento automático de optimización (algoritmos de calibración) para buscar valores de parámetros que optimizan el valor de la función objetivo (Gupta et al., 1999). Para evaluar la bondad de ajuste del modelo, se utiliza una función objetivo (OF); asimismo, busca los valores máximos de los indicadores de bondad (Nash, Nash-ln, Pearson, Kling-Gupta y BS) menos los valores absolutos de los indicadores (RRMSE, RVB y NPE). La ecuación es:

$$OF = \max(Nash * w_1 + Nashln * w_2 + Pearson * w_3 + KGE * w_4 + BS * w_5 - RRMSE * w_6 - |RVB * w_7| - |NPE * w_8|)$$

RS Minerve cuenta con 3 algoritmos de calibración:

3.9.1 Shuffled Complex Evolution-University of Arizona (SCE-UA)

Fue creado en la Universidad de Arizona por Quingun Duan. Este algoritmo realiza búsquedas automáticas globales de optimización para una calibración eficiente y eficaz de los modelos hidrológicos.

3.9.2 Uniform Adaptive Monte Carlo

El algoritmo Uniform Adaptive Monte Carlo (UAMC) está basado en los experimentos Monte Carlo que realizan muestreos al azar para obtener resultados de simulación, si así poder encontrar el mejor resultado que se aproxime a las descargas observadas.

3.9.3 Coupled Latin Hypercube and Rosenbrock

El algoritmo Coupled Latin Hypercube and Rosenbrock (CLHR) genera una poderosa herramienta de optimización de problemas complejos. Este algoritmo combinado puede separar un amplio dominio de datos y luego especificar la búsqueda en un sector más pequeño.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 ZONA DE ESTUDIO

4.1.1 Ubicación

La Cuenca en estudio ha sido delimitada a partir de la estación hidrométrica Santa Lorenza, la cual se encuentra ubicada hidrográficamente en la sierra central, en la Intercuenca Alto Huallaga. Su ubicación política es entre los departamentos de Huánuco y Cerro de Pasco como se muestra en la figura 8, entre las provincias de Ambo, Pasco y Daniel Alcides Carrión y los distritos de Ambo, San Rafael, San Francisco, Huariaca, Pallanchacra, Santa Ana de Tusi, San Francisco de Asis de Yapusyacan, Ticlayan, Ninacaca, Yanacancha, Chaupimarca y Simon Bolivar .

Las coordenadas UTM se muestran en la tabla 6.

Tabla 6: Ubicación Geográfica

COORDENADAS UTM (WGS 84)	ESTACIÓN HIDROMÉTRICA SANTA LORENZA		
	NORTE (M)	ESTE (M)	COTA (msnm)
	8 869 161.07	373 287.38	2 447

Fuente: Elaboración propia (2016)

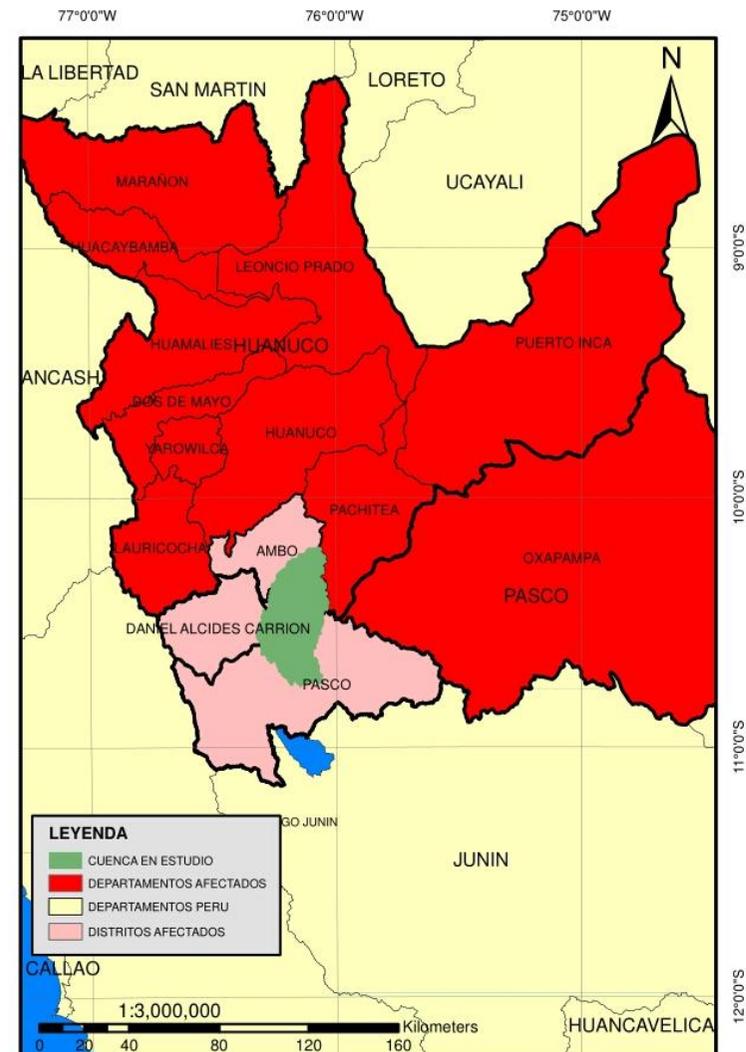
El proyecto contempla el aprovechamiento de las aguas del río Huallaga, captando la aguas la altitud de 2 449 msnm, para luego de ser turbinadas, devolverlas al mismo río a la altitud de 2220 msnm.

El río Huallaga, nace en la laguna Tauli, a una altitud aproximada de 4280 msnm. Se inicia con el nombre Quebrada Contuyoc, para luego a la altura del centro Poblado de Yanacachi cambiar de nombre a Quebrada Cuchihuayin hasta la confluencia con la Quebrada Mariac, desde donde toma el nombre de Río Pariamarca hasta su confluencia con la Quebrada Pucayacu, desde donde toma el nombre de río Huallaga.

El río Huallaga desde su nacimiento hasta la zona del proyecto se desarrolla en sentido de Sur a Norte, con una longitud de río aproximada a los 65 Km, con un área de drenaje de 1366.6 km² y un perímetro de 269.8 km.



MAPA DE UBICACIÓN NACIONAL



MAPA DE UBICACIÓN REGIONAL

Figura 8: Ubicación Geográfica
Fuente: Elaboración propia (2016)

4.1.2 Clima

En la sección de la cuenca ubicada en la zona de Huánuco el clima es muy seco y soleado, tiene temperatura promedio de 24 °C, Su temperatura más baja es en el invierno, es decir, en los meses de julio y agosto con de 21 °C en el día y 17 °C en las noches. La temperatura más alta es de 30 °C, en los meses de noviembre y diciembre. La precipitación media ronda los 388 mm/año. Por consiguiente, la sección que se encuentra en la zona de Cerro de Pasco el clima es frío de montaña, con lluvias moderadas; presenta una oscilación térmica leve de apenas 3 grados. La temperatura promedio anual es de 5.9 °C y la precipitación media ronda los 1180 mm/año. El verano es lluvioso con temperaturas que oscilan entre los 13 °C y 1 °C. El invierno es relativamente seco; las lluvias son escasas y las nevadas esporádicas. En la estación invernal las temperaturas fluctúan entre los 11 °C y los -15 °C y también se presentan nevadas en cualquier época del año.

4.2 MATERIALES

4.2.1 Información cartográfica

Para realizar el análisis en el área de estudio, se usó la información Cartográfica que ha servido de base para determinar las características fisiográficas de la cuenca y las características del río involucrado en el proyecto, se descargó el SRTM de 1-arco segundo (figura 9), es un DEM (modelo de elevación digital) que tiene una resolución de 30*30 m. El SRTM de 1-arco segundo por su parte ofrece la oportunidad de hacer análisis más detallados a nivel de cuencas, ya que permite identificar características del paisaje a mayor resolución, La información cartográfica se obtiene de la página web del USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos). Además, se descargaron las cartas nacionales 21k y 22k en formato shapefile, a una escala 1:100 000 de la página web del MINEDU (Ministerio de Educación del Perú).

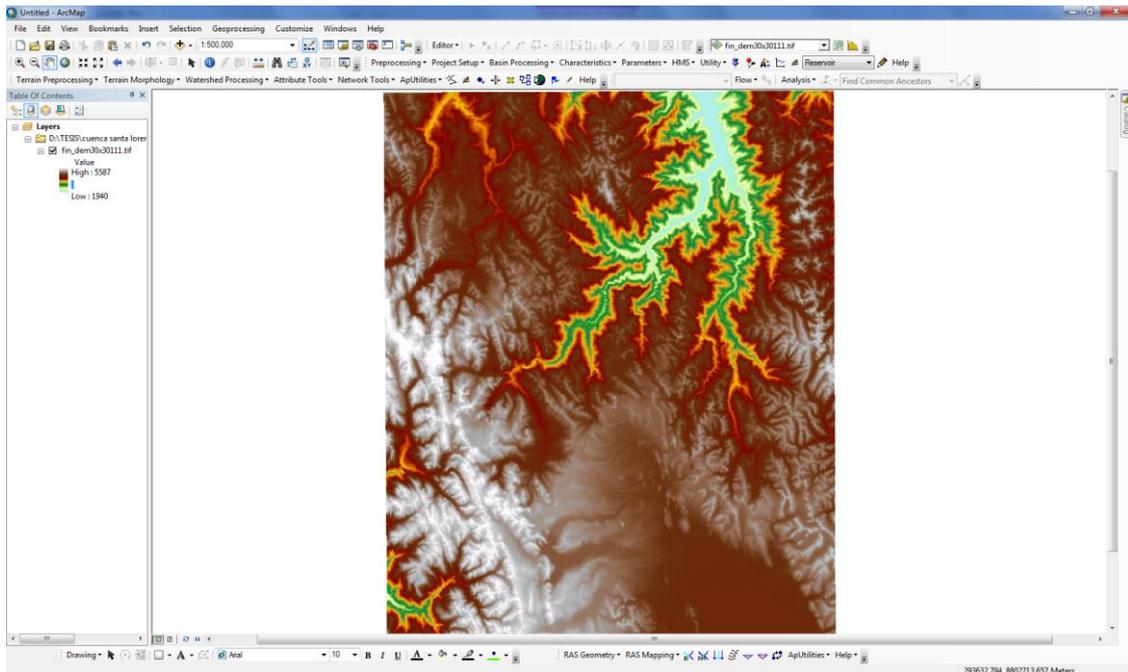


Figura 9: SRTM de 1-arco segundo
Fuente: USGS (2016)

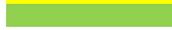
4.2.2 Información pluviométrica

La información recopilada corresponde a registros históricos de precipitaciones diarias de las estaciones hidrométricas. Siendo las estaciones involucradas para el estudio la estación de San Rafael (se encuentra dentro de la cuenca) y en proximidades a ella las estaciones de Ambo, Cerro de Pasco, San Rafael y Yanahuanca, adquiridas en las instituciones públicas como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y la Autoridad Nacional del Agua -ANA.

En la tabla 7 se muestra la representación gráfica de información obtenida y en el anexo I, se muestran los datos de las estaciones.

Tabla 7: Información recopilada del SENAMHI Y ANA

ESTACION	PERIODO DE REGISTROS																				
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
AMBO																					
SAN RAFAEL																					
CERRO DE PASCO																					
YANAHUANCA																					

 PRECIPITACION
 TEMPERATURA

Fuente: Elaboración propia (2016)

4.2.3 Información climatológica

Las condiciones climáticas en la cuenca del río Huallaga son muy variadas, y dependen de las diferentes elevaciones que van desde los 2500 msnm hasta los 5000 msnm. De acuerdo a la información de temperatura que proporcionan las estaciones meteorológicas cercanas de la zona del proyecto, se tiene que la temperatura disminuye con la altitud. La cuenca del río Huallaga hasta la zona de captación del proyecto presenta características típicas de Sierra.

Siendo las estaciones involucradas para el estudio la estación de San Rafael (se encuentra dentro de la cuenca) y en proximidades a ella las estaciones de Ambo, Cerro de Pasco y Yanahuanca, adquiridas en las instituciones públicas como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y la Autoridad Nacional del Agua -ANA.

4.2.4 Información hidrométrica

En la cuenca del río Huallaga aguas arriba del punto de control Santa Lorenza, se cuenta con información de caudales que nos permita realizar un análisis de la cuenca en estudio, la empresa encargada de la central hidroeléctrica Santa Lorenza instaló una estación hidrométrica Santa Lorenza. Se contrató un personal de la zona para que realice lecturas diarias de la regla limnimétrica. Asimismo, se realizó seis campañas de aforos con 5 aforos por campaña para así poder calibrar la estación y obtener una relación caudal con la altura de la regla limnimétrica.

También se cuenta con los caudales mensuales del puente Raquia, ubicado aguas arriba de la zona de toma, estos fueron obtenidos del ANA, es un estudio hidrológico de prefactibilidad para el proyecto Santa Lorenza.

En la figura 10 se muestra los aforos realizados para obtener los caudales y así poder calibrar la estación hidrométrica Santa Lorenza, en el anexo II, se muestran los caudales de la estación hidrométrica Santa Lorenza y los caudales mensuales de la estación puente Raquia.



Figura 10: Aforo por vadeo en la estación hidroétrica
Fuente: V&A Consulting Engineering SAC (2015)

4.2.5 Hidrografía

La cuenca del río Huallaga aguas arriba del punto de control Santa Lorenza (zona de captación). Está ubicada entre los departamentos de Huánuco y Cerro de Pasco (entre los meridianos $76^{\circ} 20'$ y 76° y los paralelos $10^{\circ} 50'$ y $10^{\circ} 10'$), Limita con las cuencas siguientes:

- Por el Norte : Cuenca media del río Huallaga
- Por el Este : Cuenca del río Pachitea
- Por el Sur : Cuencas de los ríos Mantaro y Perené
- Por el Oeste : Cuenca alta del río Marañón

En la figura 11 se muestra la Ubicación de las estaciones pluviométricas y la estación hidrométrica.

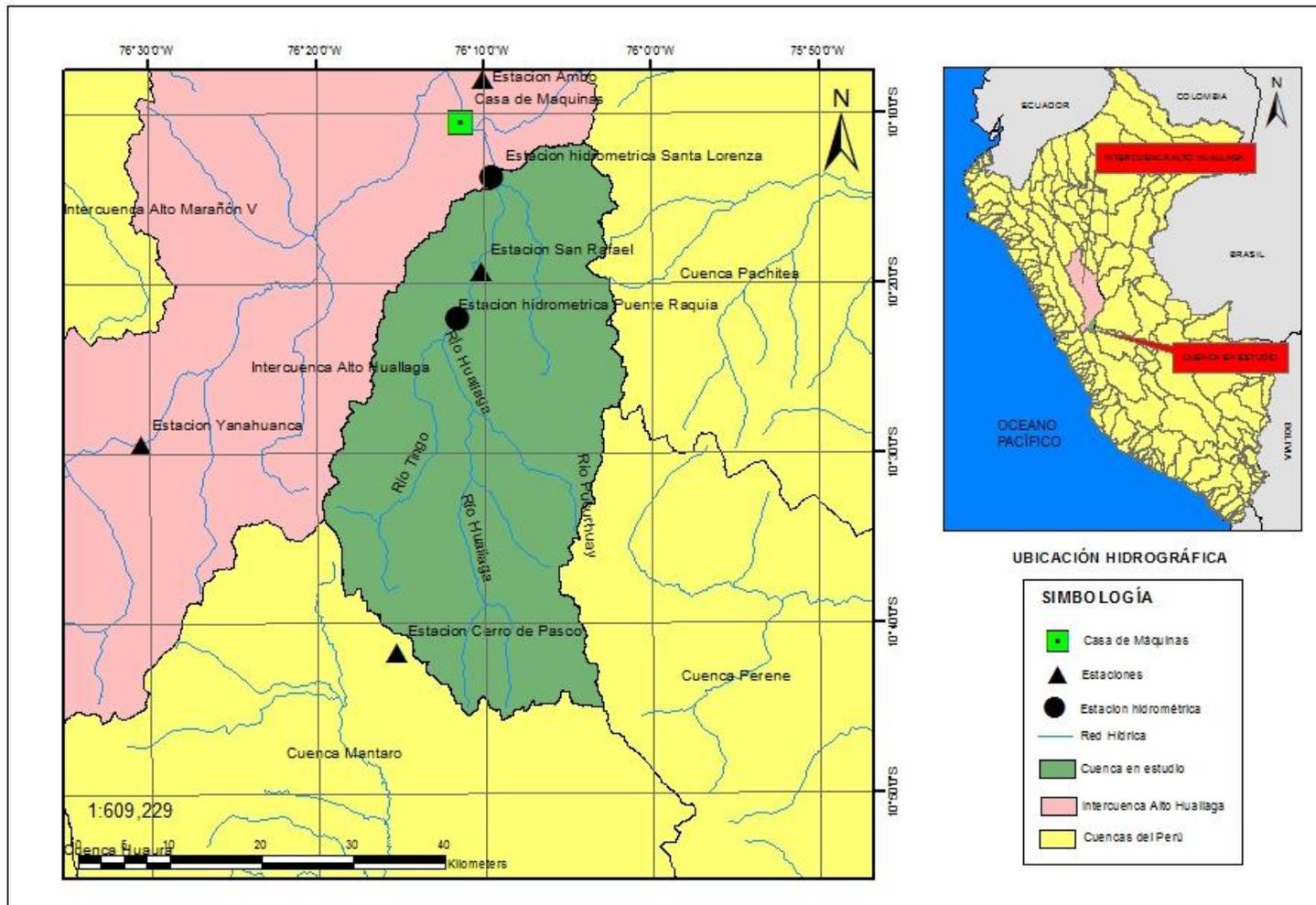


Figura 11: Ubicación hidrográfica y ubicación de estaciones
 Fuente: Elaboración propia (2016)

El río Huallaga, nace en la laguna Tauli, a una altitud aproximada de 4280 msnm. Se inicia con el nombre Quebrada Contuyoc, para luego a la altura del centro Poblado de Yanacachi cambiar de nombre a Quebrada Cuchihuayin hasta la confluencia con la Quebrada Mariac, desde donde toma el nombre de Río Pariamarca hasta su confluencia con la Quebrada Pucayacu, desde donde toma el nombre de río Huallaga. Asimismo, desde su nacimiento hasta la zona del proyecto se desarrolla en sentido de Sur a Norte, con una longitud del río principal de 81.8 Km. Y con un área de drenaje de 1366.6 km².

Las nacientes del río Huallaga se ubican en el departamento de Pasco, siendo la provincia del mismo nombre donde se ubican las lagunas, nevados y afluentes primarios del río Huallaga, río Tingo y río Blanco.

En la tabla 8 se muestra la ubicación UTM de las estaciones pluviométricas y la estación hidrométrica.

Tabla 8: Ubicación de las Estaciones (WGS 84)

ESTACIONES			
ZONA 18 L	ESTE (m)	NORTE (m)	ELEVACION (msnm)
AMBO	372 152.37	8 879 585.84	3025
SAN RAFAEL	371 953.82	8 858 788.40	3060
CERRO DE PASCO	362 840.57	8 817 527.05	4260
YANAHUANCA	334 960.00	8 839 861.00	3190
ESTACION HIDROMETRICA SANTA LORENZA	373 202.00	8 868 887.00	2447

Fuente: Elaboración propia (2016)

4.2.6 Equipos y Programas

Equipos:

- Computadora
- Impresora
- Útiles de escritorio
- GPS Garmin
- Equipo de medición Correntómetro OTT-C31

- Regla limnimétrica
- Equipos de seguridad para realizar aforos en vadeo:
 - Wetsuit
 - Arnés de seguridad
 - Soga vida
 - Chalecos salvavidas

Softwares

- Microsoft Excel 2013
- Microsoft Word 2013
- Hydraccess
- Hydrognomon
- Adobe Acrobat (PDF)
- ArcGIS 10.2.2
- Arc Hydro (extensión para ArcGis)
- Google Earth Pro
- RS-MINERVE 2.5

4.3 METODOLOGÍA

El sistema informático RS-MINERVE permite realizar el análisis semidistribuido (subcuentas) del área de estudio, para poder delimitar y sectorizar el área en estudio es indispensables contar con el DEM (modelo de elevación digital) que se obtuvo de la página web del USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos).

4.3.1 Procesamiento del área de estudio

El SRTM de 1-arco segundo es un DEM en formato .geotiff con una resolución de 30x30 m, el cual ofrece la oportunidad de hacer análisis más detallados a nivel de cuencas. Lamentablemente tiene vacíos. Estos vacíos generan un problema a la hora de extraer curvas de nivel o hacer la delimitación de la cuenca.

- a) Se realiza el análisis en ArcGIS para subsanar de forma fácil y rápida estos vacíos por medio de sentencias lógicas como se muestra en la figura 12. Estas son

condicionantes que determinan esos valores nulos o vacíos, por consiguiente por medio de las estadísticas y condicionantes se reemplazan los vacíos y se obtiene un DEM revisado.

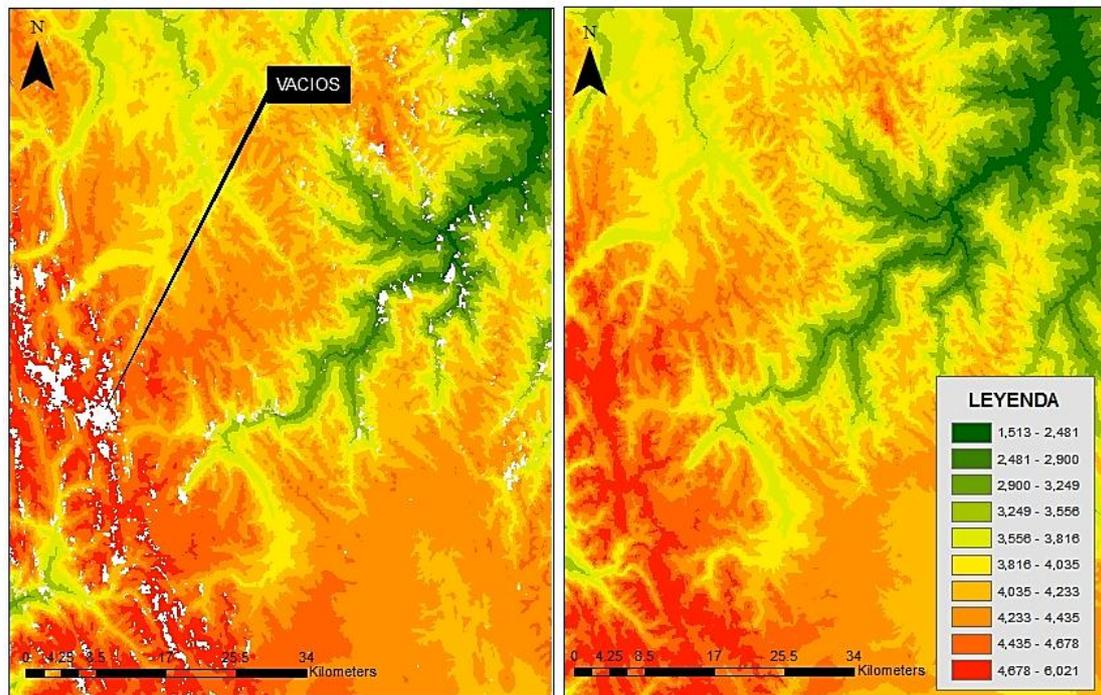


Figura 12: Llenado de vacíos del DEM
Fuente: Elaboración propia (2016)

- b) Teniendo el DEM revisado se procede a usar la herramienta hidrología Fill Sinks (ubicada en Arc Hydro tools). Con esta herramienta se rellenan las imperfecciones existentes en la superficie del modelo digital de elevaciones, de tal forma que las celdas en depresión alcancen el nivel del terreno de alrededor, con el objetivo de poder determinar de forma adecuada la dirección del flujo. En otras palabras, un sumidero en donde el punto de fluidez está situado a una altura de 210 m, y el punto más profundo en el sumidero es de 204 m (una diferencia de 6 m). Si el límite z está ajustado en 8 m, este sumidero en concreto se rellenará. En cambio, si el límite z está ajustado en 4 m, este sumidero no se llenará porque su profundidad supera esta diferencia y se consideraría un sumidero válido.
- c) Utilizando el Flow direction (Dirección del flujo): se crea un raster entero cuyos valores varían de 1 a 255 con la dirección de flujo de cada una de sus celdas hasta su vecina cuesta abajo. Se define aquí la dirección del flujo buscando el camino descendente de una celda a otra como se muestra en la figura 13.

- d) Empleando el Flow accumulation (acumulación de flujo): Crea el raster de acumulación de flujo en cada celda. Se determina el número de celdas de aguas arriba que vierten sobre cada una de las celdas inmediatamente aguas abajo de ella. En la figura 13 se muestra el flow accumulation.

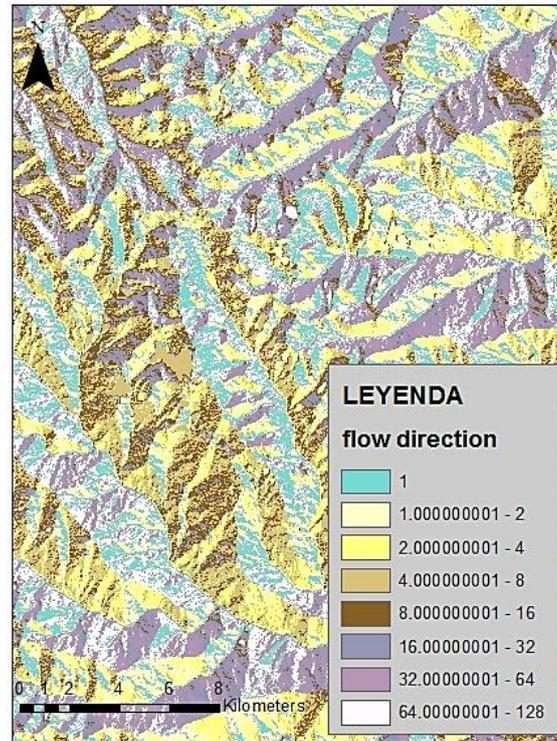


Figura 13: Representación del flow direction
Fuente: Elaboración propia (2016)

- e) Aplicando el Stream definition (definición de la red de drenaje): En esta fase se crea un mapa raster y se clasifican las celdas con acumulación de flujo superior a un umbral especificado por el usuario como celdas pertenecientes a la red de flujo como se muestra en la figura 14. El umbral debe ser especificado como el número de celdas vertientes a la que se está clasificando en cada momento, para este caso es uno.
- f) Utilizando el Stream segmentation (segmentación de la red de drenaje): En este proceso se divide el cauce en segmentos no interrumpidos. Es decir, que dichas secciones en las que se divide el recorrido del flujo serán segmentos que conectan dos uniones sucesivas, una unión y un punto de desagüe o una unión y una división del área de drenaje. En la figura 14 se muestra el stream segmentation.

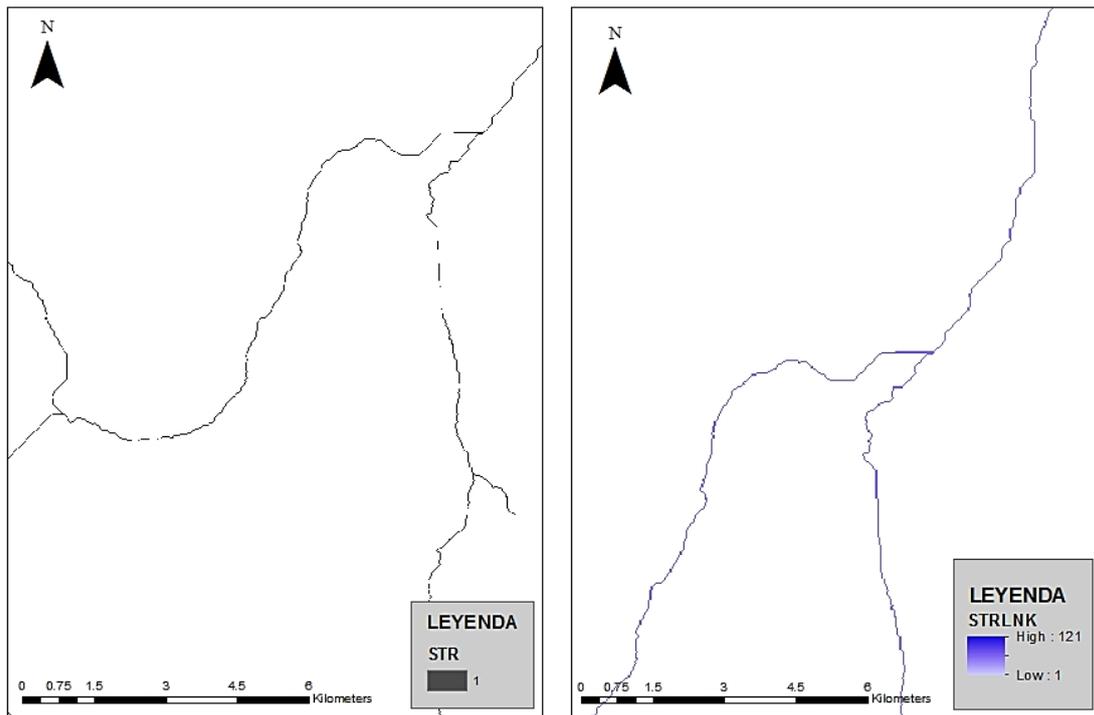


Figura 14: Representación del stream definition y segmentation
Fuente: Elaboración propia (2016)

- g) Delimitación de cuencas: En la figura 15 se muestra el proceso crea un raster en el cual delinea las subcuencas por cada uno de los segmentos de cauce definidos.
- h) Vectorización de la cuenca: En este proceso convierte las subcuencas en formato shapefile (.shp) o formato vectorial. Asimismo, se crean los formatos vectoriales de las líneas de drenaje y los puntos de confluencia. En la figura 15 se muestra la vectorización.

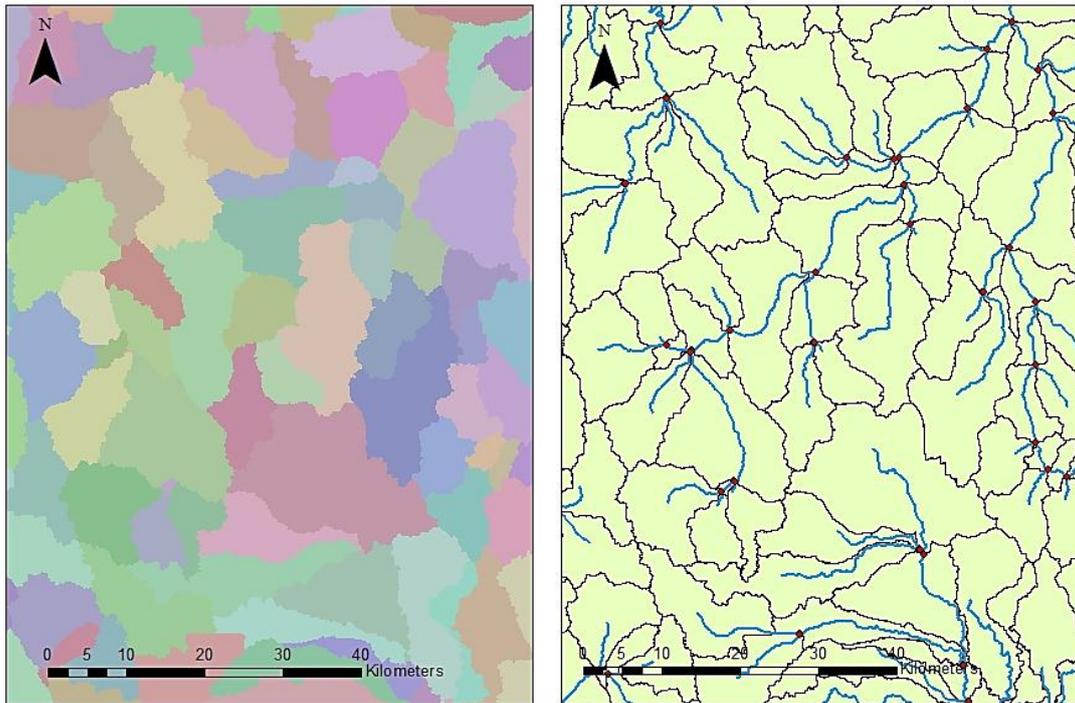


Figura 15: Delimitación de subcuencas y vectorización
Fuente: Elaboración propia (2016)

- i) Determinación del área de influencia: Para poder determinar el área de influencia se establece el punto de control (estación de aforos Santa Lorenza) la zona de captación para la central hidroeléctrica. El resultado fue una cuenca con un área de 1366.6 km² y 16 subcuencas delimitadas a partir de la confluencia de los ríos como se muestra en la figura 16.
- j) Información adicional: Se descargan las cartas nacionales 21k y 22k, el mapa de sur américa, mapa de departamentos del Perú, mapa distrital, mapa provincial y mapa hidrográfico todos en un conjunto de capas temáticas en formato vectorial (shapefile), y así obtener la información del nombre de los ríos, quebrada, lagunas, distritos, provincias, etc..., que involucran al área de estudio.

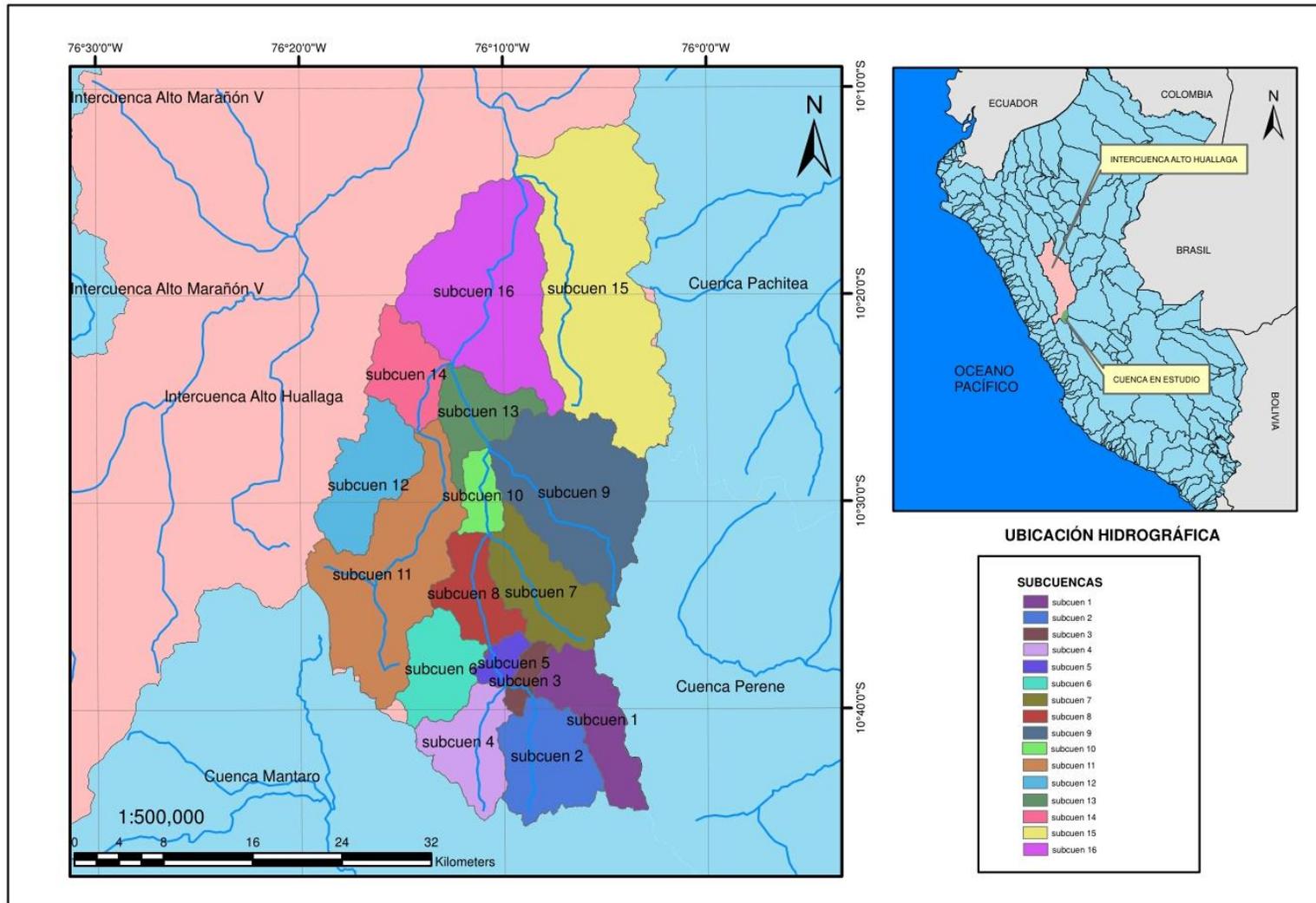


Figura 16: Delimitación de sub cuencas del área de influencia
 Fuente: Elaboración propia (2016)

4.3.2 Parámetros geomorfológicos del área de estudio

En este proceso solo se determinarán los parámetros necesarios que sean requeridos para poder realizar el modelamiento con el sistema informático RS-MINERVE.

- a) Área, perímetro y ubicación del centroide de la cuenca y sub cuencas: Estos parámetros son muy importantes para la generación del modelo, puesto que, algunos elementos del sistema informático RS-Minerve requieren una ubicación espacial y una distribución espacial de las variables meteorológicas. Estos parámetros se obtienen en la tabla de contenido de las sub cuencas generadas en formato vectorial (shapefile).

En la tabla 9 se muestran las coordenadas, área y perímetro de las 16 sub cuencas en estudio.

Tabla 9: Datos de las sub cuencas

ID	area (km2)	perimetro (km)	X (m)	Y (m)	Z (m)
subcuen 16	184.6	86.6	370842.6	8857807.0	2990.0
subcuen 15	265.4	121.3	381046.4	8858597.0	3990.0
subcuen 14	50.2	44.5	363583.9	8850731.0	3750.0
subcuen 13	48.5	51.0	370035.2	8846822.0	3000.0
subcuen 12	72.8	58.2	360177.6	8841239.0	4090.0
subcuen 11	168.4	103.0	362216.7	8832618.0	3900.0
subcuen 10	23.1	30.5	370311.9	8839641.0	3750.0
subcuen 9	153.5	78.1	378694.4	8839926.0	3900.0
subcuen 8	47.0	49.1	369777.4	8830933.0	3800.0
subcuen 7	76.2	58.9	375986.3	8831339.0	3780.0
subcuen 6	53.6	46.1	366551.3	8824206.0	4300.0
subcuen 5	14.2	22.9	372201.4	8824916.0	3750.0
subcuen 1	62.8	60.8	380468.0	8819684.0	4150.0
subcuen 4	58.9	51.4	369402.5	8817210.0	4100.0
subcuen 3	13.9	24.9	374365.8	8823473.0	3890.0
subcuen 2	73.0	51.6	376205.1	8815984.0	4110.0
cuenca total	1366.2	938.7			

Fuente: Elaboración propia (2016)

- b) Cotas de la cuenca: Esta información se obtiene del DEM (modelo digital de elevación). Asimismo, permite realizar estudios cuantitativos sobre particularidades de cada una de las cuencas, pudiéndose analizar el medio Físico mediante términos matemáticos y su respuesta hidrológica, permite establecer la dinámica de

la escorrentía superficial en una cuenca, teniendo en cuenta que aquellas cuencas con formas alargadas, tienden a presentar un flujo de agua más veloz, a comparación de las cuencas redondeadas, logrando una evacuación de la cuenca más rápida.

- c) Longitud del cauce principal y sus afluentes: Factor muy importante ya que el sistema informático cuenta con tránsito de agua en ríos o canales (channel routing), determinando por medio de un flujo de entrada u flujo de salida. Estos parámetros se obtienen en el ArcGis.
- d) Pendiente de los ríos: También es utilizado en el channel routing, por lo que influye en los valores de descarga del río en forma significativa.

4.3.3 Análisis de datos meteorológicos

La información meteorológica que se obtuvo para la cuenca en estudio fueron precipitaciones diarias y temperaturas diarias. Se recopiló información desde los años de 1998 al 2015 en las estaciones de San Rafael, Cerro de Pasco y Yanahuanca. Esta información fue brindada por las instituciones del ANA (Autoridad Nacional del Agua) y el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú).

4.3.3.1 Análisis de consistencia

La homogeneidad e inconsistencia en secuencia hidrológica representa uno de los aspectos más importantes del estudio en la hidrología contemporánea, particularmente en lo relacionado a la conservación, desarrollo y control de recursos hídricos, ya que, cuando no se identifica, elimina ni se ajustan a las condiciones futuras la inconsistencia y no homogeneidad en la muestra histórica, un error significativo puede introducirse en todos los análisis futuros que se realicen obteniendo resultados altamente sesgados. (Vito Aliaga, 1983).

Este tipo de análisis es empleado para comprobar si los datos con los que se cuenta son consistentes, es decir, verificar si la estación ha sido bien observada, ya que pequeños cambios en la ubicación de la estación meteorológica, exposición e instrumentación pueden producir variaciones en la precipitación captada.

La inconsistencia se pone en manifiesto con la presencia de saltos y tendencias en las series hidrológicas; más aún, la no homogeneidad se presenta con los cambios de datos vírgenes con el tiempo.

Para poder detectar donde se produce el salto o cambio de datos se realizan los siguientes análisis:

- a) Análisis de los hidrogramas: en la figura 17 se muestra el gráfico donde se puede analizar la distribución temporal de toda la información de precipitación y caudales en forma visual. Asimismo, se puede indicar el periodo o los periodos donde la información es dudosa, la cual se puede reflejar como picos muy altos, valores muy bajos y tendencias. Del mismo modo, se debe comprobar que los periodos dudosos hubo fenómenos naturales que efectivamente han ocurrido y si son errores sistemáticos.

Cabe recalcar que en el análisis a nivel diario la distribución temporal de la lluvia no es constante y puede haber días muy lluvioso y días que no llovió nada. Por consiguiente, para este caso es muy difícil analizar una inconsistencia por este método.

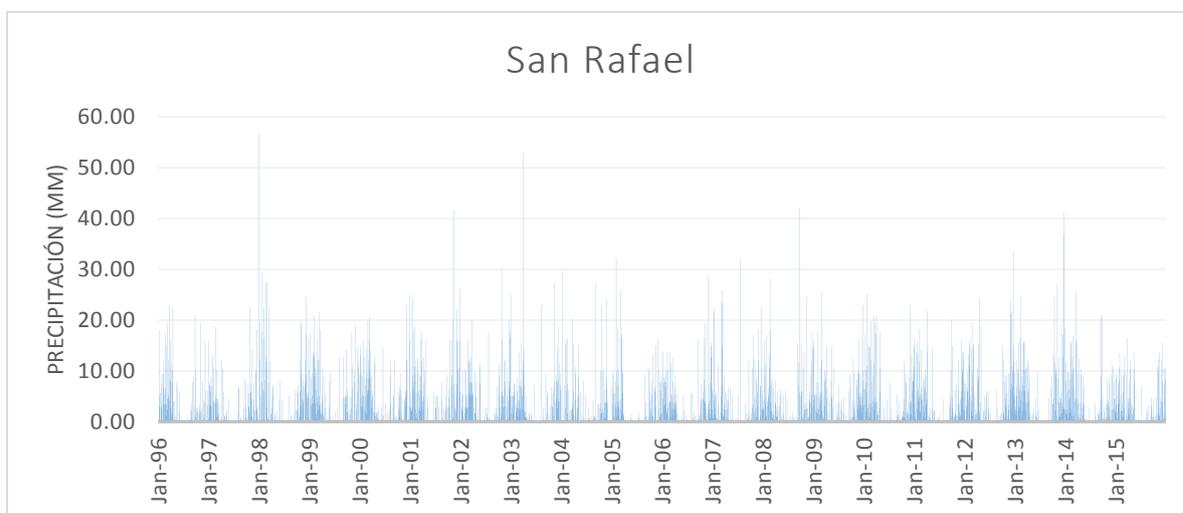


Figura 17: Hidrograma de la estación San Rafael

Fuente: Elaboración propia (2016)

- b) Análisis de doble masa: este análisis se utiliza para detectar la inconsistencia en los datos hidrológicos múltiples (más de dos serie de datos) como se muestra en la figura 18. Sin embargo, no es recomendable su uso para la corrección de datos a partir de la recta generada. El análisis de doble masa relaciona la precipitación acumulada a nivel mensual de una estación con el correspondiente valor medio

de la precipitación acumulada de un grupo de estaciones vecinas. Si la estación que se analiza ha sido bien observada, los puntos deberán alinearse en una recta pero, si existe algún quiebre o cambio de pendiente en la recta, ello indicará que se debe analizar la estadística de dicha estación para determinar si es significativo. Por consiguiente, “si dicho cambio está dentro de los límites de confianza de la variación de la recta para un nivel de probabilidades dado, entonces el salto no es significativo.” (Vito Aliaga, 1983).

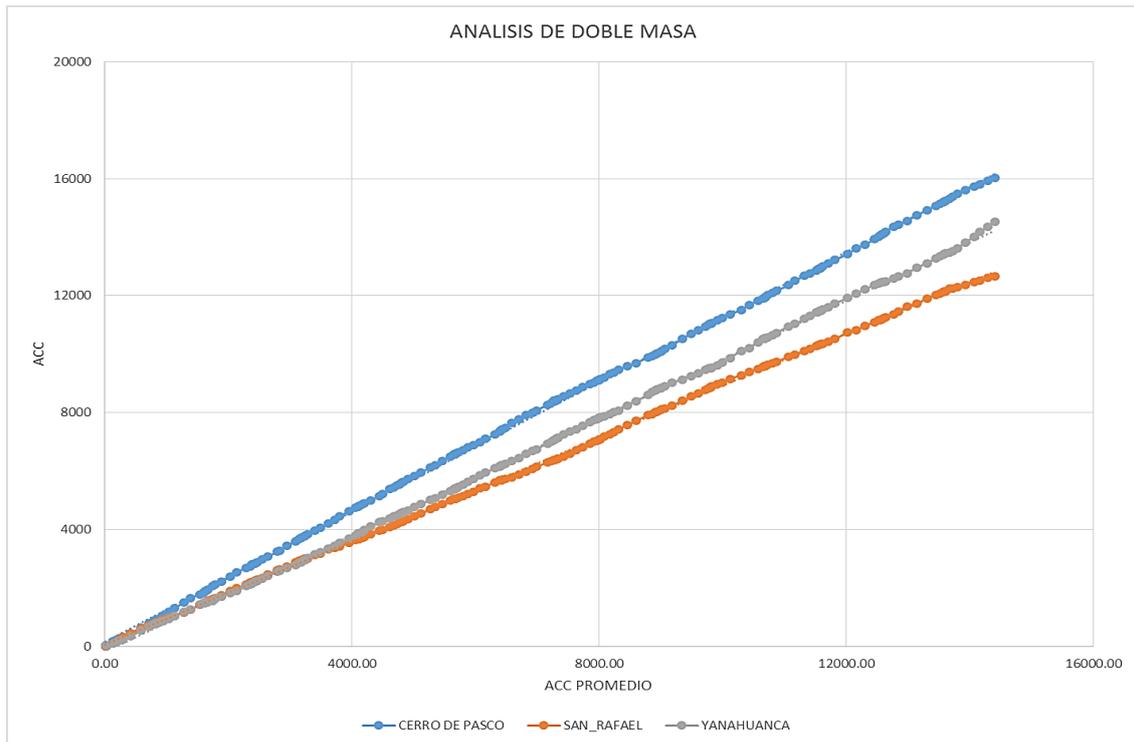


Figura 18: Análisis doble masa de la estaciones
Fuente: Elaboración propia (2016)

- c) Análisis estadístico: los posibles errores detectados en forma de saltos en el análisis de dobles masa, serán analizados en forma estadística; en otras palabras, se realizará un proceso de inferencia para determinar la consistencia de la media usando la prueba estadística T-student y para calcular la consistencia de desviación estándar se usa la prueba estadística F-fisher. Siendo sus ecuaciones calculadas las que se muestra en la tabla 10.

Tabla 10: Análisis estadístico de la estaciones

	YANAHUANCA	SAN RAFAEL	CERRO DE PASCO	
N (elementos totales)	203	203	203	
X (promedio total)	71.58	62.36	78.98	
S (desviacion estandar)	56.8445	49.2792	56.2237	
n1	108	102	92	
x1	65.34	57.66	75.89	
s1	47.5404	46.8011	54.6696	
n2	95	101	111	
x2	78.66	67.10	81.54	
s2	64.4462	51.4583	57.6007	
t-student				
Tcal	1.66	1.36	0.71	Tcal < Ttab consistente
Ttab	1.97	1.97	1.97	
f-fisher				
Fcal	0.76	0.91	0.95	Fcal < Ftab consistente
Ftab	1.30	1.29	1.29	

Fuente: Elaboración propia (2016)

- d) Corrección de los datos: si en el análisis estadístico los parámetros de la media y desviación estándar salen consistentes no se realiza corrección. Sin embargo, si la media y desviación estándar resultan estadísticamente diferentes, entonces se corrige con la siguiente ecuación, que permitirá mantener los parámetros del periodo más confiable:

$$X_t^1 = \left[\frac{X_t - \bar{X}_1}{S_{1(x)}} \right] \cdot S_{2(x)} + \bar{X}_2$$

- X_t^1 = valor corregido
 X_t = valor a ser corregido
 \bar{X}_1, \bar{X}_2 = promedio de los periodos
 $S_{1(x)}, S_{2(x)}$ = desviación estándar de los periodos

4.3.3.2 Completar datos faltantes y extensión de datos

Para completar los datos faltantes se realizó dos tipos de análisis. En la regresión lineal los índices de correlación fueron bajos y no se pudo obtener una relación con las estaciones, ya que la precipitación diaria varía en el tiempo y el espacio. Por los que, se decidió usar la método del US Weather Bureau.

La falta de datos en las estaciones es un problema muy común, estas dejan de registrar información en algunos periodos de tiempo, debido a fallas en los instrumentos o por ausencia del observador. Esta información dejada de registrar puede ser indispensable para el análisis de fenómenos que involucren la precipitación en un estudio hidrológico. Para la aplicación de series particulares, los efectos de una o dos datos faltantes (o vacíos) son con frecuencia despreciables y los datos registrados pueden ser considerados como continuos. Sin embargo, puede ser ventajoso usar una estación cercana para completar el dato faltante, especialmente si el vacío está dentro de un periodo particular crucial. (Vito Aliaga, 1983).

Existen varios métodos matemáticos y estadísticos. Sin embargo, se tiene que cuidar que la variancia de la serie no sea reducida.

- a) datos faltantes: se realizó un análisis de regresión lineal entre estaciones para completar los datos faltantes, se obtuvieron índices de correlación muy bajos. En la tabla 11 se muestra el análisis de regresión.

Tabla 11: Índices de correlación

	Cerro de Pasco	Yanahuanca	San Rafael
Cerro de Pasco	1		
Yanahuanca	0.3596	1	
San Rafael	0.4290	0.2894	1

Fuente: Elaboración propia (2016)

- b) Completación de datos: Se utilizó la fórmula de U.S. Weather Bureau que está en función de las distancias. La ecuación es:

$$P_x = \frac{\sum(P_i * W)_i}{\sum W_i}$$

Donde:

$$W_i = \frac{1}{D_i^2}$$

P_x = dato faltante

P_i = precipitación observada

D_i = distancia entre cada estación circundante

4.3.4 Modelamiento hidrológico RS-MINERVE

RS MINERVE es un sistema informático que realiza el proceso de simulación de la formación de escorrentía superficial. Este sistema modela redes hidrológicas complejas de acuerdo con un esquema conceptual semidistribuido.

Los procesos físicos que ocurren en los sistemas hidrológicos son representados utilizando modelos hidrológicos, siendo los datos meteorológicos e hidrológicos los datos de entrada y los datos de salida del sistema son la respuesta a los datos de entrada del sistema.

El sistema RS-MINERVE cuenta con siete modelos hidrológico (SWMM, snow-GMS, GSM, SOCONT, SAC-SMA, GR4J y HBV), para el presente estudio se usaran solo cuatro modelos hidrológicos SOCONT, SAC-SMA, GR4J y HBV; asimismo, se representó a la cuenca como un sistema de sub cuencas en bandas de alturas interconectadas.

Para poder realizar el modelamiento se siguieron los siguientes pasos:

- a) Se realiza una subdivisión de las sub cuencas en zonas; así mismo, cada sub cuenca cuenta con una división en bandas altitudinales de cada 600 m como se muestra en la figura 19.

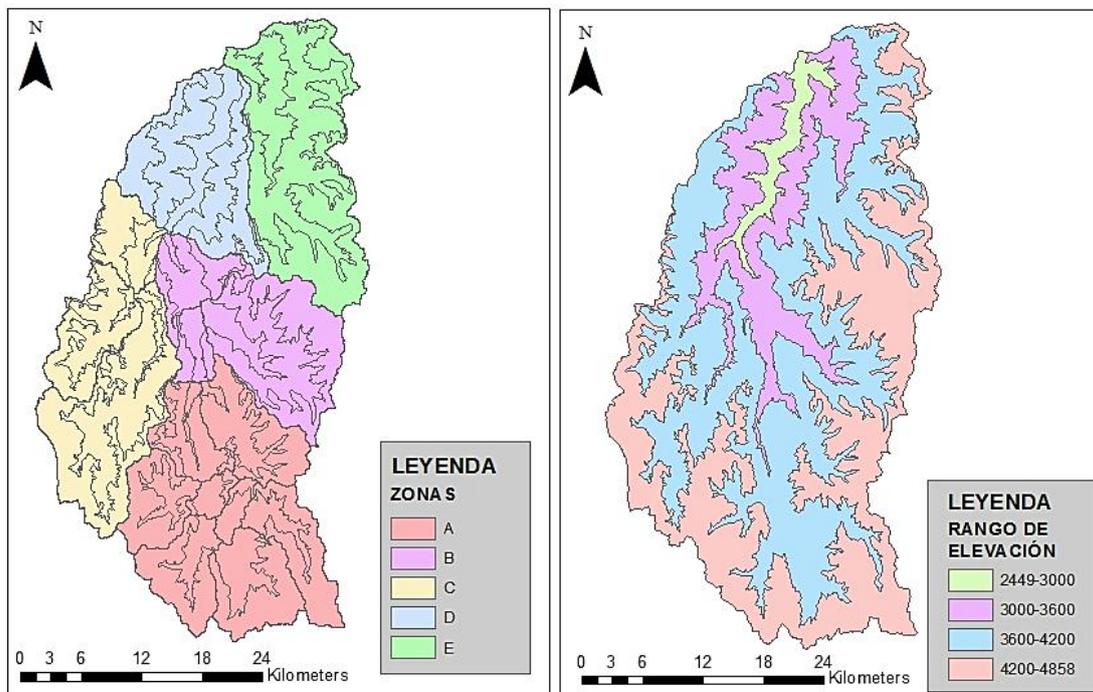


Figura 19 : División en zonas y bandas altitudinales
Fuente: Elaboración propia (2016)

- b) Creación de los componentes de modelo: este proceso se puede realizar de dos formas, manual y automática. En la creación del modelo automático, usas las capas creadas en el ArcGIS, como se muestra en la figura 20, que están en formato .shp (shapefiles) de las sub cuencas, ríos y puntos de confluencias.

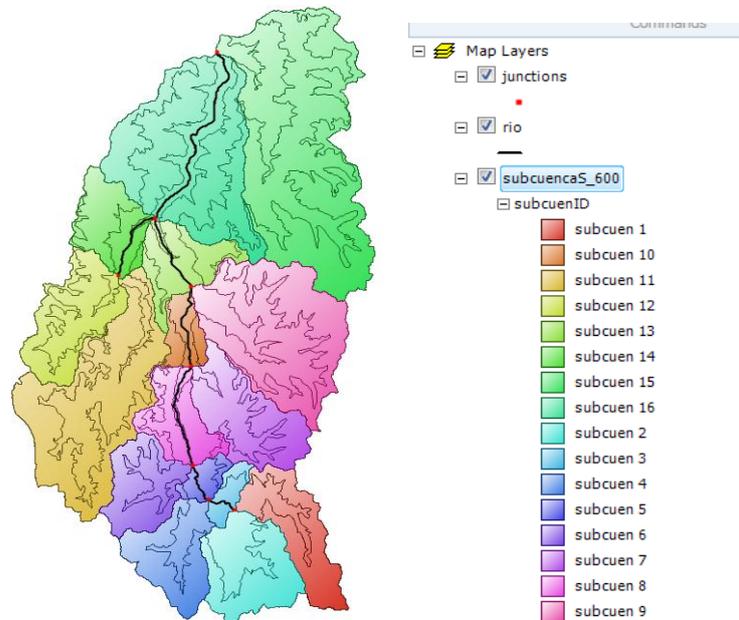


Figura 20: Creación automática de los componentes
Fuente: Elaboración propia (2016)

El programa relaciona de manera automática cada banda de altura correspondiente a su respectiva sub cuenca; este, asigna un modelo hidrológico y una estación virtual que se ubicará en el centroide de cada banda de altura. Por lo que, usara esa información para poder hacer la distribución espacial de la precipitación de las estaciones meteorológicas por la metodología de polígonos de Thiessen o de Shepard. Por otro lado, para cada rio creara un tránsito de flujo (channel routing) con la metodología de onda cinemática como se muestra en la figura 21. En cada confluencia colocara un punto de unión de dos rios (junction), que permite el cálculo del ingreso de otros caudales provenientes de otras subcuencas.

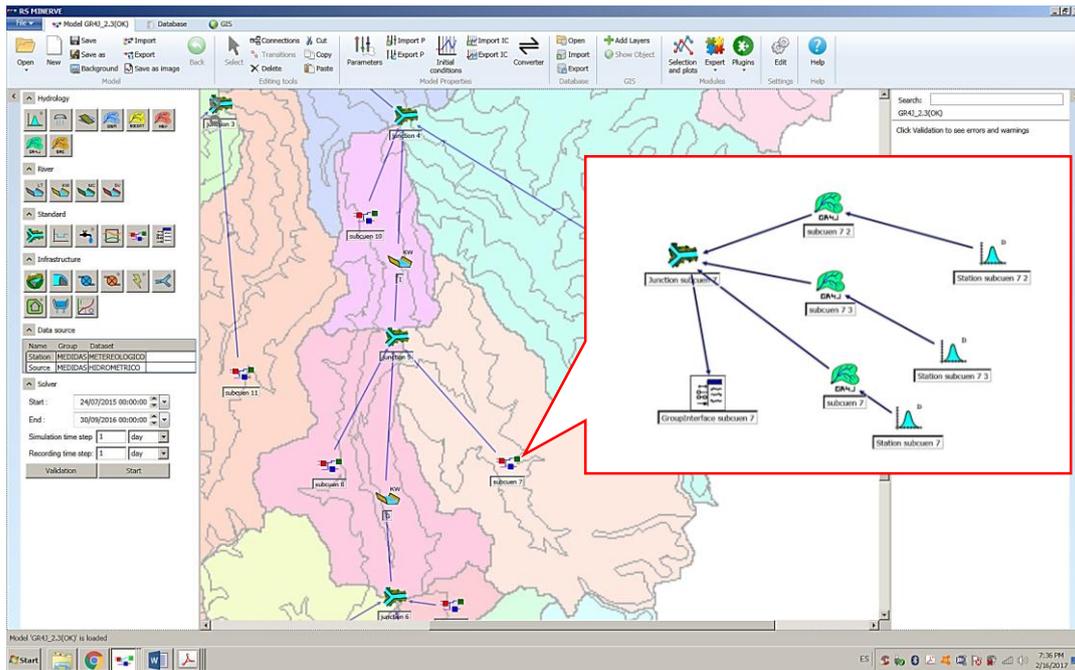


Figura 21: Componentes del modelo
Fuente: Elaboración propia (2016)

c) Entrada de los datos meteorológicos: Los datos de entrada consisten en archivos que contienen datos diarios desde el año 1996 al 2016 de las precipitaciones y temperaturas, que definen la parametrización en el balance hídrico, principalmente para el cálculo flujo superficial. Se elaboró una base de datos de aforos diarios de la estación hidrométrica santa Lorenza de julio del 2015 a septiembre del 2016 y aforos mensuales de la estación del puente Raquia de marzo del 1996 a Diciembre de 1999. Por el contrario, no se obtuvo datos de evapotranspiración; sin embargo, el sistema informático RS-MINERVE cuenta con otras metodologías para obtener esos datos.

Para crear la estación se tiene que crear una estructura jerárquica como se muestra en la figura 22 en la margen izquierda, por lo que sigue, para copiar valores de la serie en la estación dos columnas son necesarias, la primera columna contiene los datos de las fechas y la segunda los datos de la estación.

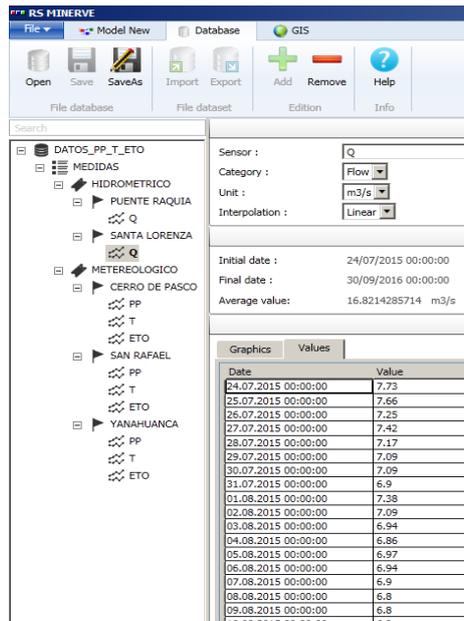


Figura 22: Entrada de datos meteorológicos
Fuente: Elaboración propia (2016)

- d) Para comenzar a iterar las constantes y parámetros del modelo precipitación escorrentía que se esté aplicando, se debe tener como datos la precipitación a nivel diario, el caudal en la estación de aforo Santa Lorenza a nivel diario y por último la evapotranspiración que puede ser a nivel mensual y asumirse que la distribución a través del mes es uniforme. Si no hay valores de evapotranspiración disponibles, el sistema informático RS-MINERVE ofrece la posibilidad de cálculo por distintos métodos, en la figura 23 se muestra la selección del método de Turc, en este solo se coloca la latitud y longitud para obtener los valores promedio mensuales de radiación (R_g) y con los datos de temperatura hace los cálculos de ETP. La ecuación es:

$$ETP = CoeffETP * K * \frac{T}{T + 15} * (R_g + 50)$$

Donde

ETP = evapotranspiración (mm/mes)

T = temperatura (°C)

K = constante

R_g = radiación global

RS Model Units *	
Category	Unit
Altitude	masl
Altitudinal Gradient	1/m
Cumulative precipitation	mm
Currency	Euro
Diameter	mm
Evapotranspiration	mm/d
Energy	kWh
Flow	m ³ /s
Height	m
Intensity Gradient	m/s/m
Length	m
Power	kW
Precipitation	mm/d
Snow depth	m
Specific flow	m/s
Surface	m ²
Temperature	°C
Volume	m ³
Width	m

Spatial interpolation method

Thiessen

Evapotranspiration data

Turc

Latitude -10 (°) only necessary for McGuinness and Oudin methods

Longitude -76 (°) only necessary for Turc and McGuinness methods

Uniform ETP= 0 (mm/d) only necessary for Uniform method

Result aggregation

Average of the values over the recording time step Instantaneous value

Figura 23: Método del cálculo de la evapotranspiración
Fuente: Elaboración propia (2016)

- e) Se realizó una primera simulación colocando las fechas en el rango del periodo de aforo de la estación Santa Lorenza, en la que se consideró un periodo de Julio del 2015 a Septiembre del 2016, con una frecuencia de impresión de salida diaria y sin realizar ajuste de los parámetros del modelo.

En las figuras del 24 al 27 se muestran las primeras simulaciones de los modelos utilizados.

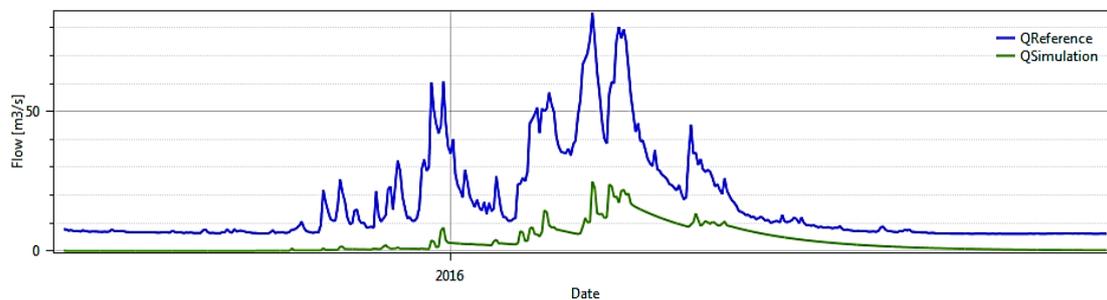


Figura 24: Primera simulación modelo SAC-SMA nivel diario
Fuente: Elaboración propia (2016)

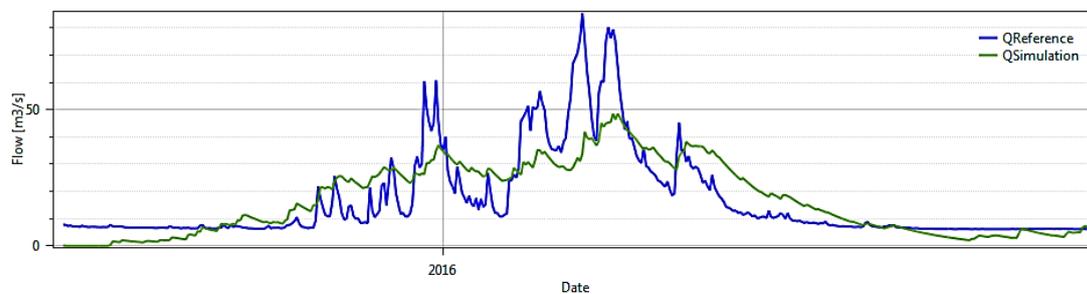


Figura 25: Primera simulación modelo SOCONT nivel diario
Fuente: Elaboración propia (2016)

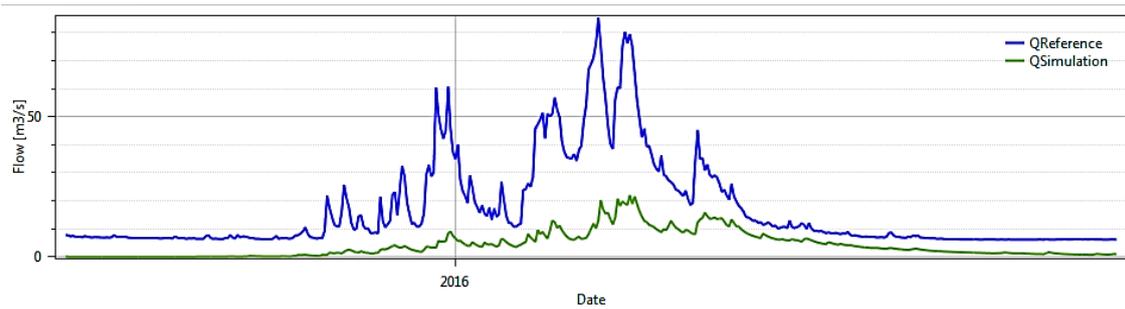


Figura 26: Primera simulación modelo HBV nivel diario
Fuente: Elaboración propia (2016)

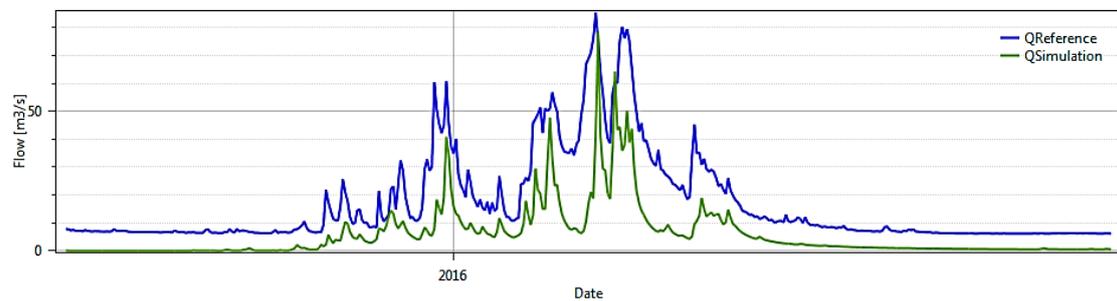


Figura 27: Primera simulación modelo GR4J nivel diario
Fuente: Elaboración propia (2016)

- f) Se efectuó una segunda simulación para un periodo de años de información de los caudales mensuales de la estación del puente Raquia (1996- 1999) con una frecuencia de impresión de salida mensual y sin realizar ajuste de los parámetros del modelo.

En las figuras del 28 al 31 se muestran las primeras simulaciones a nivel mensual de los modelos utilizados.

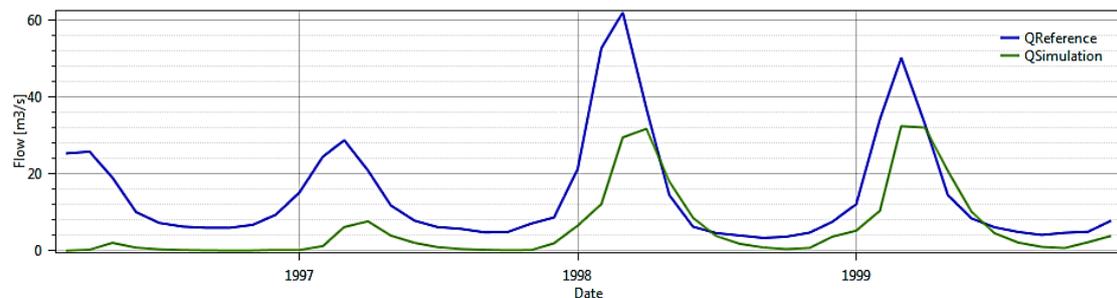


Figura 28: Simulación modelo SAC-SMA a nivel mensual
Fuente: Elaboración propia (2016)

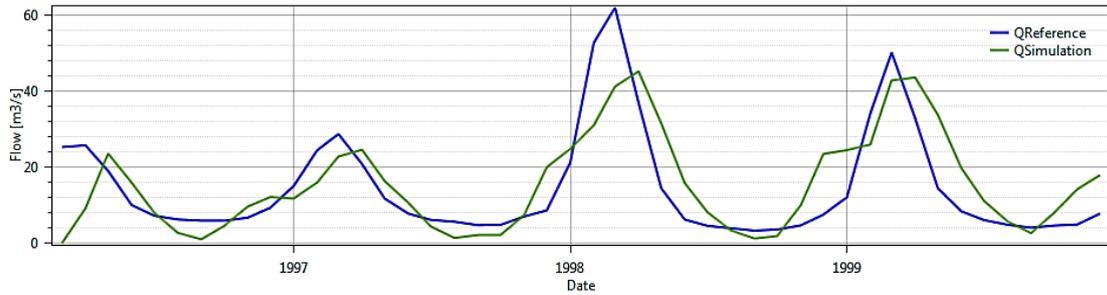


Figura 29: Simulación modelo SOCONT a nivel mensual
Fuente: Elaboración propia (2016)

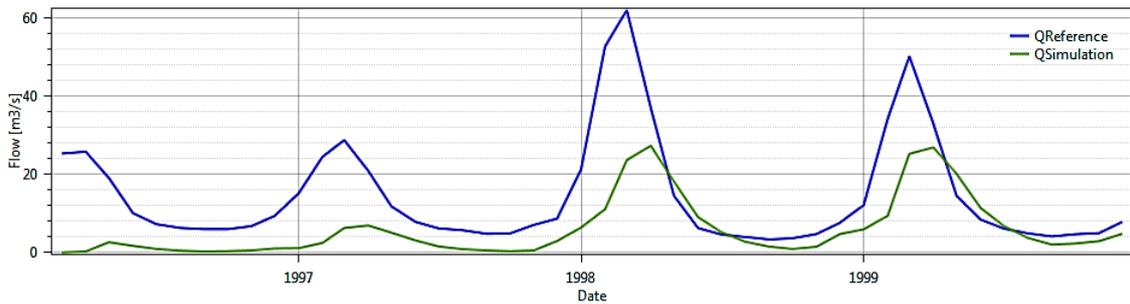


Figura 30: Simulación modelo HBV a nivel mensual
Fuente: Elaboración propia (2016)

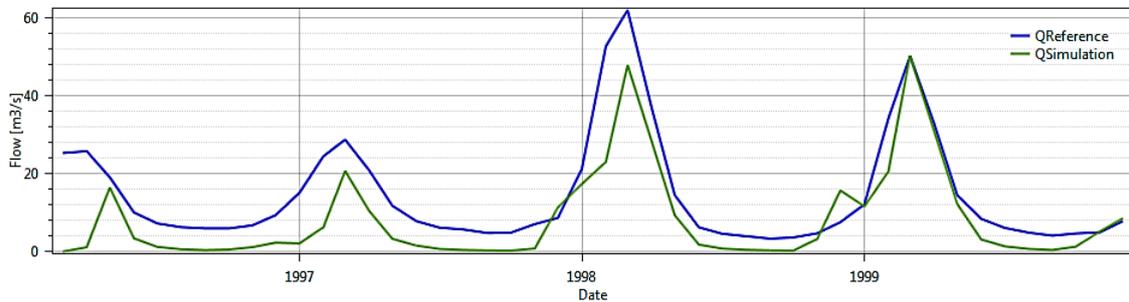


Figura 31: Simulación modelo GR4J a nivel mensual
Fuente: Elaboración propia (2016)

- g) Previamente a la calibración se realizará un análisis de sensibilidad, para evaluar y cuantificar el efecto de las variaciones de los parámetros en la salida del modelo. La relación de los cambios en el caudal de agua a la media anual (dQ/Q) resultante de los cambios relativos de cada parámetro (dP/P) se utilizan como indicador de la sensibilidad de la escorrentía a los cambios de parámetros. En las figuras 32 y 33 se muestran las variaciones de los modelos SAC-SMA y GR4J.

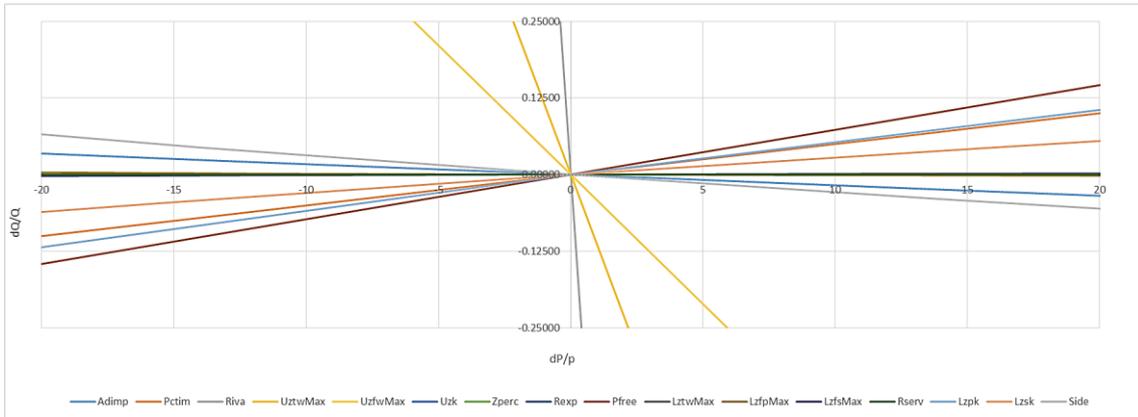


Figura 32: Análisis de sensibilidad modelo SAC-SMA
Fuente: Elaboración propia (2016)

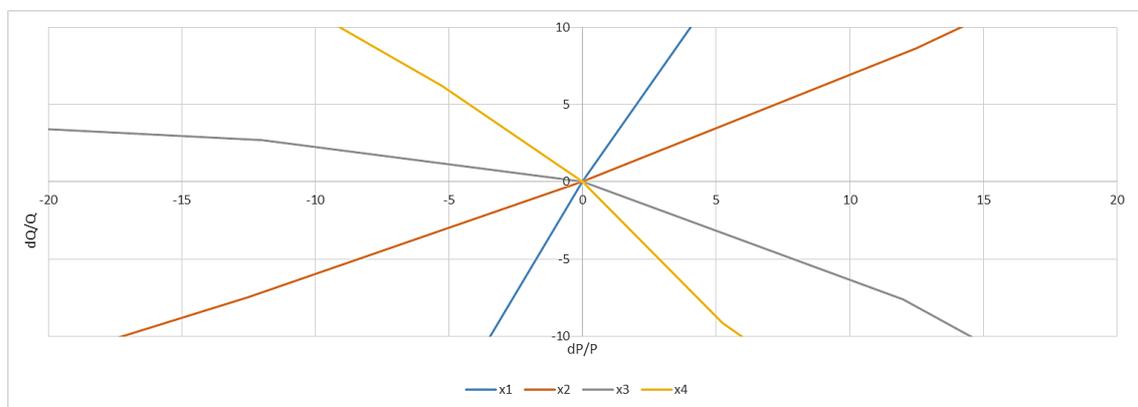


Figura 33: Análisis de sensibilidad modelo GR4J
Fuente: Elaboración propia (2016)

h) En esta etapa de calibración los datos de entrada (datos diarios observados en la estación Santa Lorenza de Julio del 2015 a Septiembre del 2016) deben presentar concordancia con los datos simulados. La función objetivo para la calibración de un modelo generalmente consiste de una prueba estadística, tal como: minimizar error relativo de la Raíz cuadrática media (RMSRE), Volumen relativo Bias (RVB) y el error pico normalizado (NPE); por otro lado, se tiene que maximizar del coeficiente Nash-Sutcliffe (Nash), coeficiente logarítmico de Nash-Sutcliffe (Nashln), coeficiente de correlación de Pearson (Pearson), La eficiencia Kling-Gupta (KGE) y el Bias Score (BS).

Una vez concluido el proceso de calibración se realizó la etapa de validación, donde se comparan los datos generados de la calibración con los datos de la estación del puente Raquia para un periodo de Marzo de 1996 a Diciembre de 1999 a nivel mensual.

V. RESULTADO Y DISCUSIÓN

Para el presente estudio se usaron cuatro modelos hidrológicos (SAC-SMA, SOCONT, HBV y GR4J). Para la aplicación de estos modelos se realiza dos tipos de análisis, Se consideró para la calibración un periodo de simulación de Julio del 2015 a Septiembre del 2016, este periodo corresponde a los datos registrados de la estación hidrométrica Santa Lorenza (zona de captación del proyecto), con una frecuencia de salida a nivel diario. Igualmente, para la validación se consideró un periodo de simulación de Marzo del 1996 a Diciembre de 1999, este periodo corresponde a la estación hidrométrica del puente Raquia aguas arriba de la estación Santa Lorenza. La cual, cuenta con una frecuencia de salida a nivel mensual.

La cuenca se dividió en 16 sub cuencas con bandas altitudinales y se separaron en 5 zonas para la calibración y validación.

La metodología para evaluar una mejor aproximación, con los datos reales y simulados son los indicadores estadísticos de bondad de ajuste, estos indicadores estadísticos son el coeficiente de Nash- Sutcliffe, el coeficiente de correlación de Pearson, la eficiencia Kling-Gupta y el error medio normalizado.

5.1 MODELO SAC-SMA

El modelo SAC o Sacramento tiene una gran capacidad para simular descargas medias diarias, esta requiere de 16 parámetros para su calibración.

En este caso el modelo se ejecutó para toda la cuenca. La calibración se realizó manual y luego automática, se llevó a cabo para las 16 sub cuencas, está se dividió en 5 zonas para el análisis desde el 24 de Julio del 2015 al 30 de Septiembre del 2016 con una frecuencia de salida diaria.

5.1.1 Calibración

Se realizó una calibración manual de prueba y error, después, se realizó la calibración automática de sistema informático RS-Minerve. Se usó el método de calibración Coupled Latin Hypercube and Rosenbrock. Este método de calibración realizó más de 1820 búsquedas automáticas globales de optimización por zona para una calibración eficiente

y eficaz del modelo hidrológico SAC-SMA. Se llegó a unos índices estadísticos de Nash y coeficiente de correlación de Pearson buenos como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12: Índices estadísticos de calibración SAC-SMA

Nash	0.4852
Pearson Correlation Coeff	0.8894
Kling-Gupta Efficiency	0.4019
Bias Score	0.0427
RRMSE	0.7022
Relative Volume Bias	-0.4945
Normalized Peak Error	-0.3250

Fuente: Elaboración propia (2016)

Los caudales obtenidos mediante el modelado lluvia-escorrentía SAC-SMA, empleando como datos de entrada al modelo, datos de precipitación, evapotranspiración y temperatura, no concuerdan bien con los datos Observados. Si bien, los picos no fueron bien estimados, no obstante, algunas fluctuaciones y caudales fueron bien representadas como se muestra en la figura 34.

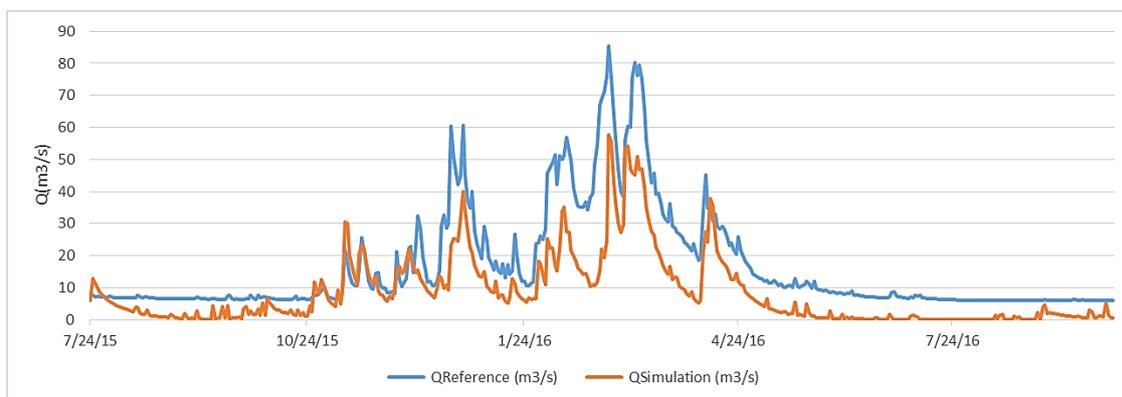


Figura 34: Calibración del modelo SAC-SMA

Fuente: Elaboración propia (2016)

Los valores de los 16 parámetros calibrados de las 5 zonas de las 16 sub cuencas, para el periodo de calibración de Julio del 2015 a Septiembre del 2016, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 13: Parámetros calibrados del modelo SAC-SMA

NOMBRE	UNIDADES	ZONAS				
		A	B	C	D	E
Adimp	-	0.000000	0.000050	0.000007	0.000000	0.000008
Pctim	-	0.049934	0.049951	0.050000	0.049998	0.049881
Riva	-	0.000082	0.000006	0.000020	0.000002	0.000117
UztlwMax	mm	10.001150	10.000000	10.000001	10.000765	10.002690
UzflwMax	mm	84.489796	99.981748	34.593176	99.999994	63.163265
Uzk	1/day	0.325510	0.563527	0.749805	0.122516	0.710204
Zperc	-	287.551020	10.000006	267.237831	10.000000	50.000000
Rexp	-	2.285714	4.000000	2.948144	1.500000	1.000000
Pfree	-	0.498102	0.600000	0.600000	0.600000	0.600000
LztlwMax	mm	50.000008	50.003149	50.000000	50.000000	50.000000
LzflwMax	mm	30.002539	30.000971	64.948645	30.000000	30.000000
LzflsMax	mm	399.998839	10.000094	49.226823	10.000000	10.000000
Rserv	-	0.489796	0.877551	0.285714	0.795918	0.000096
Lzpk	1/day	0.079330	0.003216	0.087682	0.005672	0.124031
Lzsk	1/day	0.080936	0.020751	0.075556	0.020000	0.297902
Side	-	0.495067	0.234694	0.012500	0.163265	0.499330

Fuente: Elaboración propia (2016)

5.1.2 Validación

Se consideró un periodo de simulación de Marzo de 1996 a Diciembre de 1999, este periodo corresponde a la estación del puente Raquia que cuenta con una frecuencia de salida a nivel mensual. En la tabla 14 se muestra los índices estadísticos para la validación como Nash y coeficiente de correlación de Pearson indican que el modelo se ajusta a la observación tan bien como la observación media. Es decir, la simulación es aceptable ya que la variación en la media no es significativa.

Tabla 14: Índices estadísticos de validación SAC-SMA

Nash	0.6712
Pearson Correlation Coeff	0.8918
Kling-Gupta Efficiency	0.5691
Bias Score	0.7542
RRMSE	0.5520
Relative Volume Bias	-0.3314
Normalized Peak Error	-0.2198

Fuente: Elaboración propia (2016)

En este caso la simulación no representa bien los picos a nivel mensual, como se observa para los meses de marzo de 1997 y marzo de 1998, sin embargo, si representa bien la fluctuación del periodo de validación como se muestran en la figura 35.

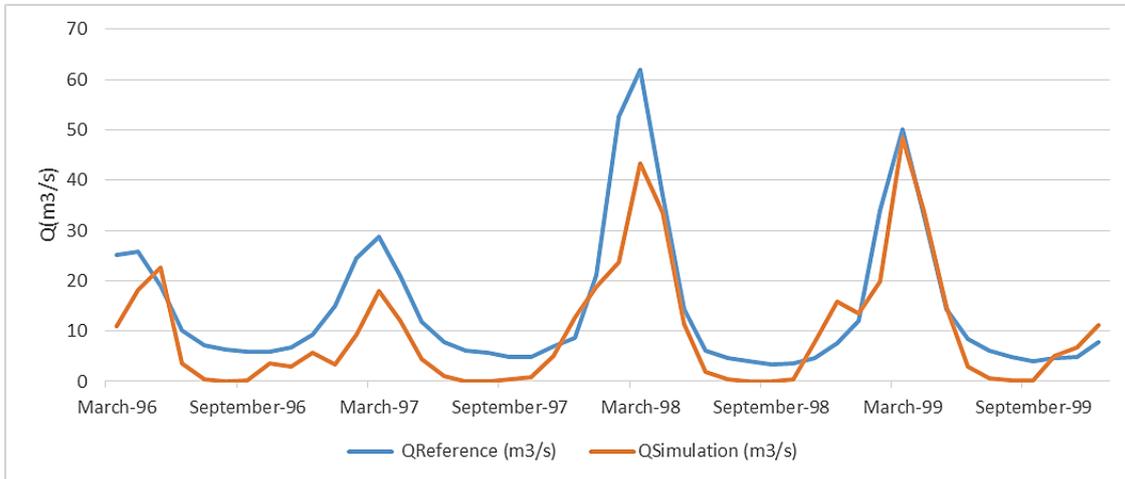


Figura 35: Validación del modelo SAC-SMA
Fuente: Elaboración propia (2016)

5.2 Modelo SOCONT

5.2.1 Calibración

En el modelo hidrológico SOCONT se llevó a cabo la calibración manual de prueba y error, puesto que con la calibración automática no se obtuvieron buenos resultados. Con la calibración manual se llegó a unos índices estadísticos de Nash y coeficiente de correlación de Pearson buenos como se muestra en la tabla 15. Esto quiere decir que la simulación representa mejor a la serie observada que el caudal medio.

Tabla 15: Índices estadísticos de calibración SOCONT

Nash	0.5628
Pearson Correlation Coeff	0.8224
Kling-Gupta Efficiency	0.7200
Bias Score	0.9609
RRMSE	0.6471
Relative Volume Bias	0.1976
Normalized Peak Error	-0.0841

Fuente: Elaboración propia (2016)

Los caudales obtenidos mediante el modelado lluvia-escorrentía SOCONT, empleando como datos de entrada de precipitación, evapotranspiración y temperatura, concuerdan bien con los datos Observados. Los picos fueron bien estimados, sin embargo, los caudales representaron entre los meses de octubre y diciembre del 2015 están desfasados, las fluctuaciones fueron bien representadas como se muestra en la figura 36.

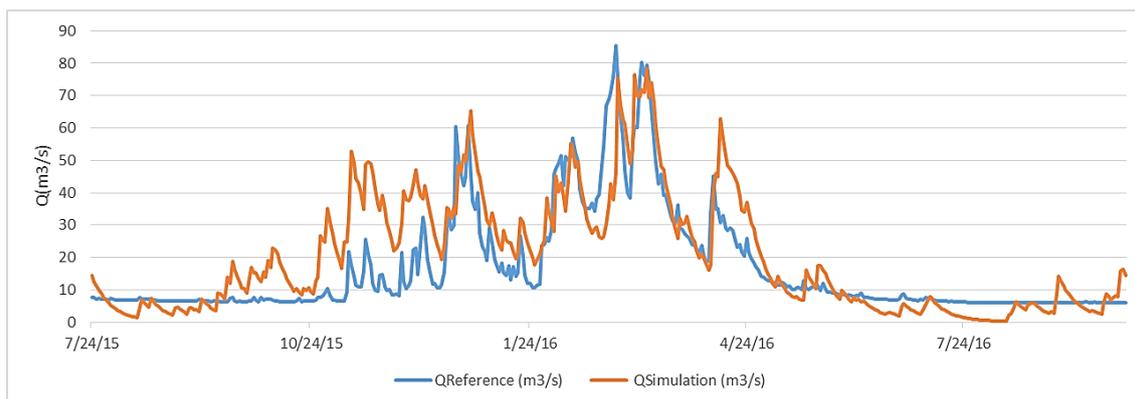


Figura 36: Calibración del modelo SOCONT

Fuente: Elaboración propia (2016)

Los valores de los 11 parámetros calibrados de las 16 sub cuencas en las 5 zonas, para el periodo de calibración de Julio del 2015 a Septiembre del 2016, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 16: Parámetros calibrados del modelo SOCONT

NOMBRE	UNIDADES	ZONAS				
		A	B	C	D	E
Asn	mm/°C/día	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
AsnInt	mm/°C/día	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
AsnPh	d	80.0000	100.0000	160.0000	80.0000	90.0000
ThetaCri	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
bp	d/mm	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
Tcp1	°C	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Tcp2	°C	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
Tcf	°C	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
HGR3Max	mm	1.1250	0.8500	0.9000	0.9500	0.9000
KGR3	1/s	0.0023	0.0061	0.0044	0.0057	0.0060
L	m	1500.0000	1500.0000	1500.0000	1500.0000	1500.0000
J0	-	0.0200	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
Kr	m³/s	30.0000	30.0000	30.0000	30.0000	30.0000

Fuente: Elaboración propia (2016)

5.2.2 Validación

Se consideró un periodo de simulación de marzo de 1996 a Diciembre de 1999, este periodo corresponde a la estación el Puente Raquia que cuenta con una frecuencia de salida a nivel mensual. En la tabla 17 se muestra los índices estadísticos para la validación como Nash que indican que el promedio de descargas observadas no es un mejor predictor que la descarga simulada. Es decir, la simulación es aceptable ya que la variación en la media no es significativa.

Tabla 17: Índices estadísticos de validación SOCONT

Nash	0.5231
Pearson Correlation Coeff	0.8165
Kling-Gupta Efficiency	0.6858
Bias Score	0.9457
RRMSE	0.6647
Relative Volume Bias	0.2331
Normalized Peak Error	-0.0437

Fuente: Elaboración propia (2016)

En este caso la simulación representa bien los picos a nivel mensual, como se observa en la figura 37 el periodo de validación. Además, representa muy bien la fluctuación y los caudales bajos.

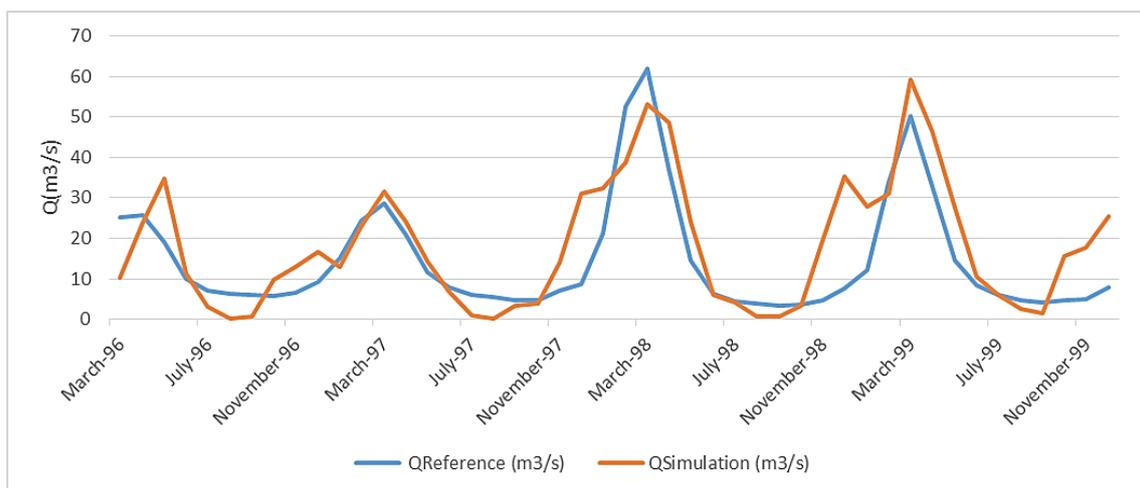


Figura 37: Validación del modelo SOCONT

Fuente: Elaboración propia (2016)

5.3 Modelo HBV

5.3.1 Calibración

Se procedió a calibrar el modelo de forma manual de prueba y error, posteriormente se ejecutó la calibración automática con el método Coupled Latin Hypercube and Rosenbrock. Este método de calibración realizó más de 1570 búsquedas automáticas globales de optimización por zona para una calibración eficiente y eficaz del modelo hidrológico HBV. En la tabla 18 se muestran los índices estadísticos de Nash y coeficiente de correlación de Pearson muy buenos. Esto quiere decir que la simulación representa mejor a la serie observada que el promedio de descargas observadas. Con el coeficiente de correlación de Pearson muy cercano a uno, esto quiere decir que la existe una relación lineal positiva.

Tabla 18: Índices estadísticos de calibración HBV

Nash	0.6906
Pearson Correlation Coeff	0.8826
Kling-Gupta Efficiency	0.7170
Bias Score	0.8798
RRMSE	0.5444
Relative Volume Bias	-0.2575
Normalized Peak Error	-0.2334

Fuente: Elaboración propia (2016)

Los caudales obtenidos mediante el modelado lluvia-escorrentía HBV, empleando como datos de entrada de precipitación, evapotranspiración y temperatura, concuerdan bien con los datos Observados como se muestran en la figura 38. Los picos fueron bien estimados, los caudales mínimos se representaron bien y las fluctuaciones fueron bien representadas.

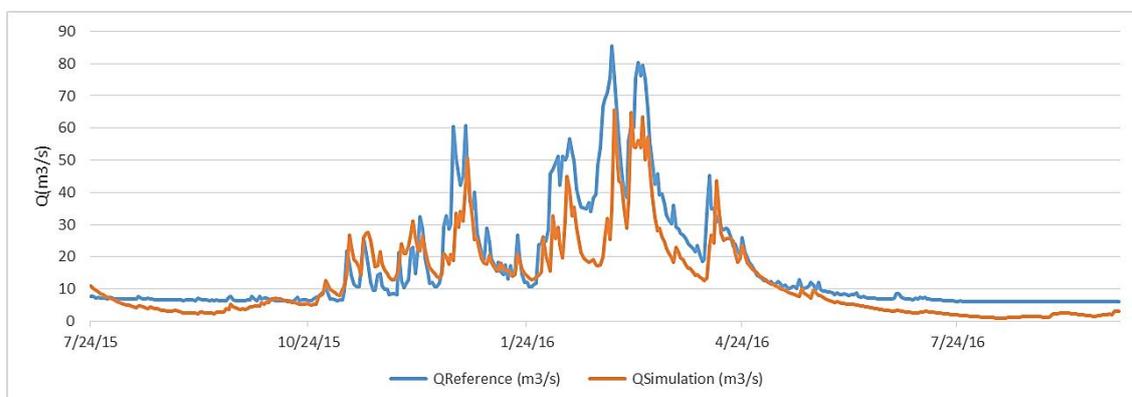


Figura 38: Calibración del modelo HBV

Fuente: Elaboración propia (2016)

5.3.2 Validación

Se consideró un periodo de simulación de marzo de 1996 a Diciembre de 1999, este periodo corresponde a la estación del puente Raquia que cuenta con una frecuencia de salida a nivel mensual. Los índices estadísticos para la validación como Nash que es positivo indican que la simulación es buena como se muestran en la tabla 19.

Tabla 19: Índices estadísticos de validación HBV

Nash	0.7199
Pearson Correlation Coeff	0.8621
Kling-Gupta Efficiency	0.7979
Bias Score	0.9722
RRMSE	0.5094
Relative Volume Bias	-0.1429
Normalized Peak Error	-0.1817

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la figura 39 se muestra la simulación, que representa bien los picos a nivel mensual. Además, representa bien la fluctuación y los caudales bajos.

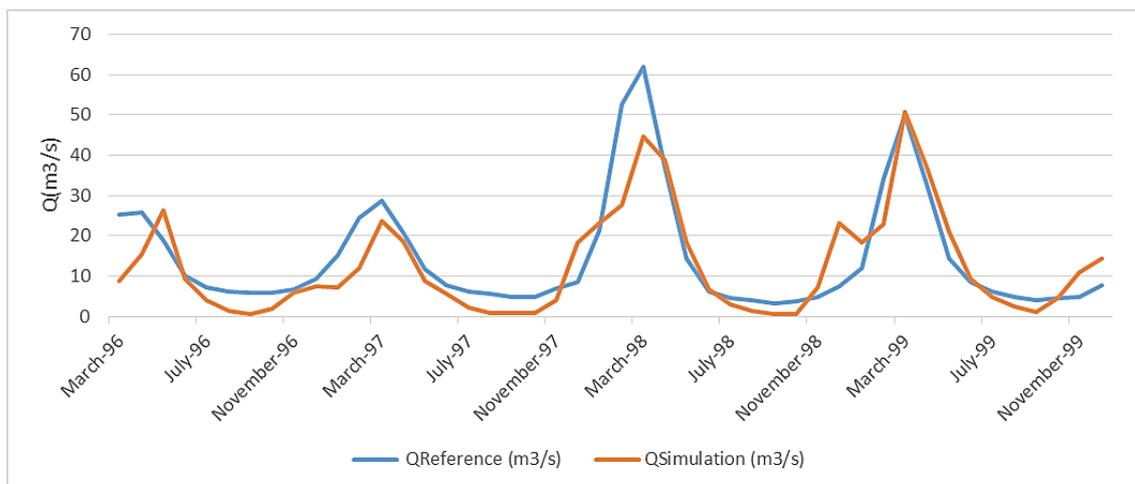


Figura 39: Validación del modelo HBV

Fuente: Elaboración propia (2016)

Los valores de los 14 parámetros calibrados de las 16 sub cuencas, para el periodo de calibración de Julio del 2015 a Diciembre del 2016, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 20: Parámetros calibrados del modelo HBV

NOMBRE	UNIDADES	ZONAS				
		A	B	C	D	E
CFMax	mm/°C/day	14.4285714	16.8163265	15.6224490	15.6300662	3.2933315
CFR	-	0.1602041	0.4816327	0.4173469	0.3530612	0.1877551
CWH	-	0.1195349	0.0923074	0.1160418	0.1061224	0.0800000
TT	°C	2.9954219	2.8746173	2.9994382	1.2040816	1.1224490
TTInt	°C	1.9956331	1.9703125	1.9981642	0.0816327	0.4897959
TTSM	°C	0.8163265	0.7551020	0.9591837	0.1224490	0.4081633
Beta	-	1.0000000	1.0000016	1.0000090	1.0000000	1.0001844
FC	mm	50.0080211	50.0057599	50.0019058	50.0080211	50.0010516
PWP	-	1.0000000	0.9999992	0.9999960	1.0000000	0.9999288
SUMax	mm	14.4558289	27.2653061	36.9378129	71.7142857	23.2244898
Kr	1/d	0.0683673	0.0867347	0.3324150	0.0683673	0.2244898
Ku	1/d	0.0101481	0.1343240	0.0100000	0.1621039	0.3431138
Kl	1/d	0.1242771	0.0322794	0.0352515	0.0223209	0.0238749
Kperc	1/d	0.1148912	0.2655261	0.0196859	0.1865513	0.0080796

Fuente: Elaboración propia (2016)

5.4 Modelo GR4J

5.4.1 Calibración

Se ejecutó una calibración manual de prueba y error, posteriormente se ejecutó la calibración automática con el método Coupled Latin Hypercube and Rosenbrock. Se llegó a unos índices estadísticos de Nash y coeficiente de correlación de Pearson muy buenos como se muestra en la tabla 21. Esto quiere decir que la simulación representa mejor a la serie observada que el promedio de descargas observadas. Con el coeficiente de correlación de Pearson muy cercano a uno, esto quiere decir que la existe una relación lineal positiva.

Tabla 21: Índices estadísticos de calibración GR4J

Nash	0.7618
Pearson Correlation Coeff	0.8912
Kling-Gupta Efficiency	0.7548
Bias Score	0.9653
RRMSE	0.4777
Relative Volume Bias	-0.1570
Normalized Peak Error	0.1098

Fuente: Elaboración propia (2016)

Los caudales obtenidos mediante el modelo lluvia-escorrentía GR4J, empleando como datos de entrada de precipitación, evapotranspiración y temperatura, concuerdan bien con los datos Observados. Los picos fueron bien estimados, sin embargo, los caudales representaron entre los mes de febrero del 2016 están desfasados como se muestra en la figura 40, las fluctuaciones fueron bien representadas.

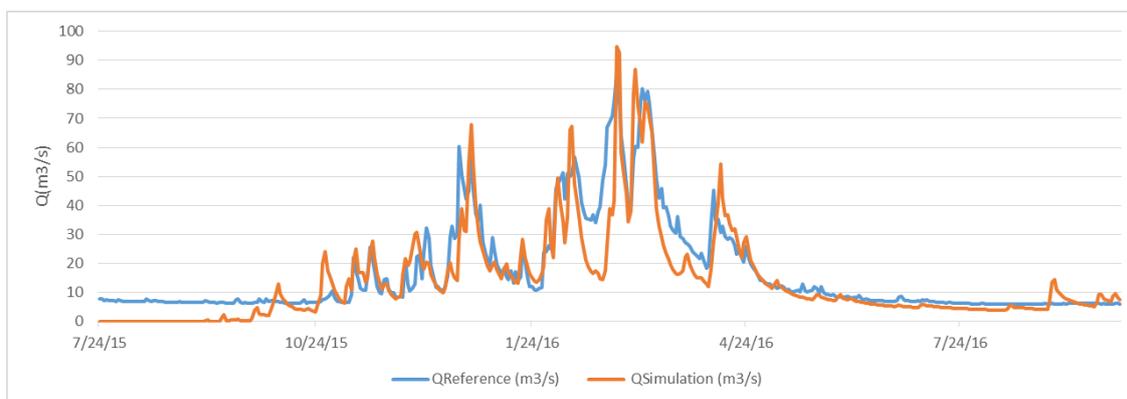


Figura 40: Calibración del modelo GR4J
Fuente: Elaboración propia (2016)

5.4.2 Validación

Se consideró un periodo de simulación de marzo de 1996 a Diciembre de 1999, este periodo corresponde a la estación del Puente Raquia que cuenta con una frecuencia de salida a nivel mensual. Los índices estadísticos para la validación como Nash que es positivo indican que la simulación es buena como se muestra en la tabla GR4J.

Tabla 22: Índices estadísticos de validación GR4J

Nash	0.6368
Pearson Correlation Coeff	0.8535
Kling-Gupta Efficiency	0.8207
Bias Score	0.9963
RRMSE	0.5801
Relative Volume Bias	0.0610
Normalized Peak Error	0.0921

Fuente: Elaboración propia (2016)

En este caso la simulación representa bien los picos a nivel mensual. Además, representa bien la fluctuación y los caudales bajos como se muestra en la figura 41.

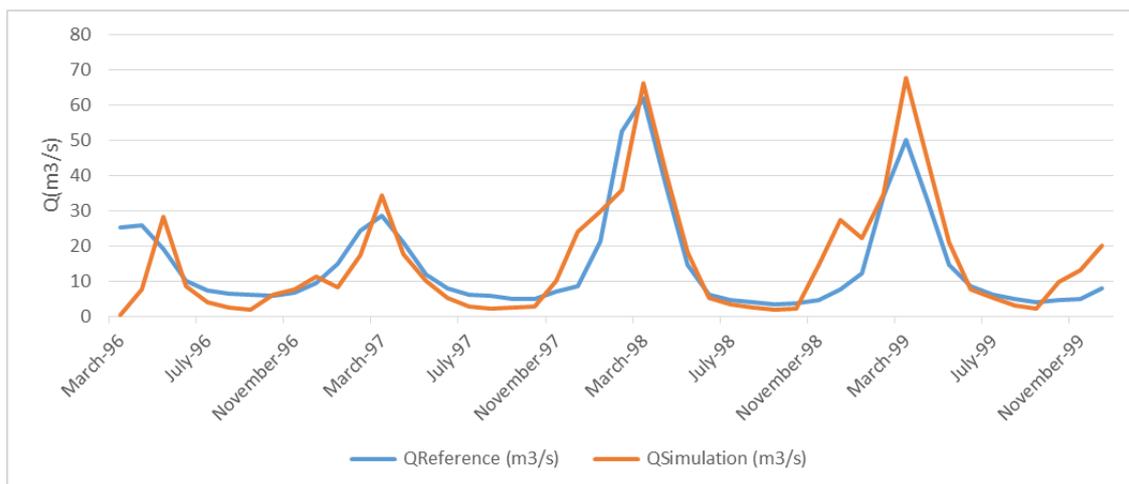


Figura 41: Validación del modelo GR4J
Fuente: Elaboración propia (2016)

Los valores de los 4 parámetros calibrados de las 16 sub cuencas con franjas altitudinales, para el periodo de calibración de Julio del 2015 a Diciembre del 2016, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 23: Parámetros calibrados del modelo GR4J

NOMBRE	UNIDADES	ZONAS				
		A	B	C	D	E
X1	mm	1.0000	40.0000	50.0000	38.0000	30.0000
X2	mm	2.1077	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
X3	mm	53.5132	30.0000	90.0000	20.0000	30.0000
X4	d	1.1420	1.1000	2.0000	1.7000	1.5000

Fuente: Elaboración propia (2016)

5.5 Comparación de los modelos

En el presente trabajo de investigación, se han utilizado cuatro modelos hidrológicos lluvia-escorrentía. Conviene subrayar, los modelos GR4J, SOCONT, HBV son muy similares en la calibración; sin embargo, en el caso del modelo SCA-SMA tiene un coeficiente de Nash inferior al 50%. Esto quiere decir, que el promedio de los datos reales es un mejor predictor que los datos simulados. De los modelos GR4J y HBV, como se puede observar en la tabla 24 en la parte de validación, el modelo HBV es el que tiene mejores índices estadísticos de ajuste de bondad. Sin embargo el modelo GR4J tiene mejores índices de calibración, más aun, es un modelo que solo tiene 4 parámetros.

Tabla 24: Comparación de los índices estadísticos

CALIBRACIÓN	HBV	SAC-SMA	SOCONT	GR4J	referencial
Nash	0.6906	0.4852	0.5628	0.7618	1
Pearson Correlation Coeff	0.8826	0.8894	0.8224	0.8912	1
Kling-Gupta Efficiency	0.7170	0.4019	0.7200	0.7548	1
Bias Score	0.8798	0.0427	0.9609	0.9653	1
RRMSE	0.5444	0.7022	0.6471	0.4777	0
Relative Volume Bias	-0.2575	-0.4945	0.1976	-0.1570	0
Normalized Peak Error	-0.2334	-0.3250	-0.0841	0.1098	0

VALIDACIÓN	HBV	SAC-SMA	SOCONT	GR4J	referencial
Nash	0.7199	0.6712	0.5231	0.6368	1
Pearson Correlation Coeff	0.8621	0.8918	0.8165	0.8535	1
Kling-Gupta Efficiency	0.7979	0.5691	0.6858	0.8207	1
Bias Score	0.9722	0.7542	0.9457	0.9963	1
RRMSE	0.5094	0.5520	0.6647	0.5801	0
Relative Volume Bias	-0.1429	-0.3314	0.2331	0.0610	0
Normalized Peak Error	-0.1817	-0.2198	-0.0437	0.0921	0

Fuente: Elaboración propia (2016)

5.6 Disponibilidad Hídrica

5.6.1 Disponibilidad mensualizada

El modelo Hidrológico GR4J es el que se ajusta satisfactoriamente tanto en la calibración y validación. Para caracterizar la disponibilidad hídrica a nivel mensual, se generó una simulación de caudales en cuenca del río Huallaga aguas arriba de la estación hidrométrica Santa Lorenza, utilizando los registros disponibles de precipitación desde marzo de 1996 a septiembre del 2016. En la tabla 25 se muestran los datos mensuales de caudales generados en el punto de control estación hidrométrica Santa Lorenza, se observa que la cuenca tiene un caudal medio de 26.85 m³/s. Además, este caudal medio solo se obtendrá en los meses de avenidas (diciembre a mayo).

Tabla 25: Caudales generados en el punto de control

AÑO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	promedio
1996				14.99	43.03	11.85	6.19	4.26	3.55	8.17	10.49	16.30	13.20
1997	12.55	27.37	44.14	23.97	13.04	7.32	4.62	3.69	4.19	4.22	12.43	31.02	15.71
1998	38.06	60.59	92.32	55.65	21.74	7.40	5.20	4.04	3.42	3.59	16.60	39.50	29.01
1999	39.37	50.74	97.90	63.56	26.77	10.18	7.04	4.89	3.92	11.88	16.24	24.28	29.73
2000	34.96	61.35	56.42	79.59	23.82	10.38	6.00	4.59	6.19	6.16	16.25	11.24	26.41
2001	40.96	70.43	61.94	69.12	36.30	13.88	6.83	7.46	5.92	5.25	13.70	40.62	31.03
2002	65.62	18.15	45.69	71.22	26.87	14.61	7.32	9.93	5.41	6.95	29.99	38.53	28.36
2003	48.24	39.27	38.84	66.59	51.58	10.30	7.62	5.32	6.99	7.29	7.81	19.70	25.80
2004	55.60	28.52	49.03	19.96	22.64	15.54	8.20	7.00	6.32	21.68	24.92	35.85	24.61
2005	60.79	39.02	59.38	63.58	19.09	8.65	4.87	4.06	3.89	6.16	13.19	23.36	25.50
2006	23.29	38.60	39.10	55.19	41.28	7.74	8.48	4.77	4.09	9.94	26.72	44.16	25.28
2007	44.97	44.95	20.46	70.67	31.58	17.09	6.98	8.75	6.18	6.55	16.57	29.09	25.32
2008	40.70	49.38	58.64	27.95	15.03	9.74	7.28	5.14	4.56	16.09	27.12	24.57	23.85
2009	26.35	43.58	43.50	70.54	32.62	13.94	10.56	6.61	11.06	6.76	10.15	34.89	25.88
2010	72.70	74.25	60.21	58.05	35.82	15.22	5.52	4.32	3.62	4.49	12.88	14.27	30.11
2011	43.79	68.51	77.94	55.69	44.05	10.16	5.54	5.10	4.47	6.81	20.29	16.54	29.91
2012	70.30	48.94	75.95	40.45	38.78	18.90	8.23	5.18	4.10	6.01	22.54	33.01	31.03
2013	100.61	60.90	72.30	78.99	34.42	12.15	6.83	5.83	5.68	10.62	39.02	37.82	38.76
2014	65.51	63.53	85.13	76.59	21.48	18.04	8.03	6.89	4.45	17.45	12.95	16.14	33.01
2015	29.29	43.32	34.28	41.94	36.46	20.45	8.69	6.48	4.80	7.19	12.46	21.16	22.21
2016	30.65	21.32	36.71	41.95	24.95	9.60	6.40	4.82	4.69				20.12
promedio	47.22	47.64	57.49	54.58	30.54	12.53	6.97	5.67	5.12	8.66	18.12	27.60	26.85
max	100.61	74.25	97.90	79.59	51.58	20.45	10.56	9.93	11.06	21.68	39.02	44.16	46.73
min	12.55	18.15	20.46	14.99	13.04	7.32	4.62	3.69	3.42	3.59	7.81	11.24	10.07

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la figura 42 se muestra el histograma de caudales generados en el punto de control estación hidrométrica Santa Lorenza.

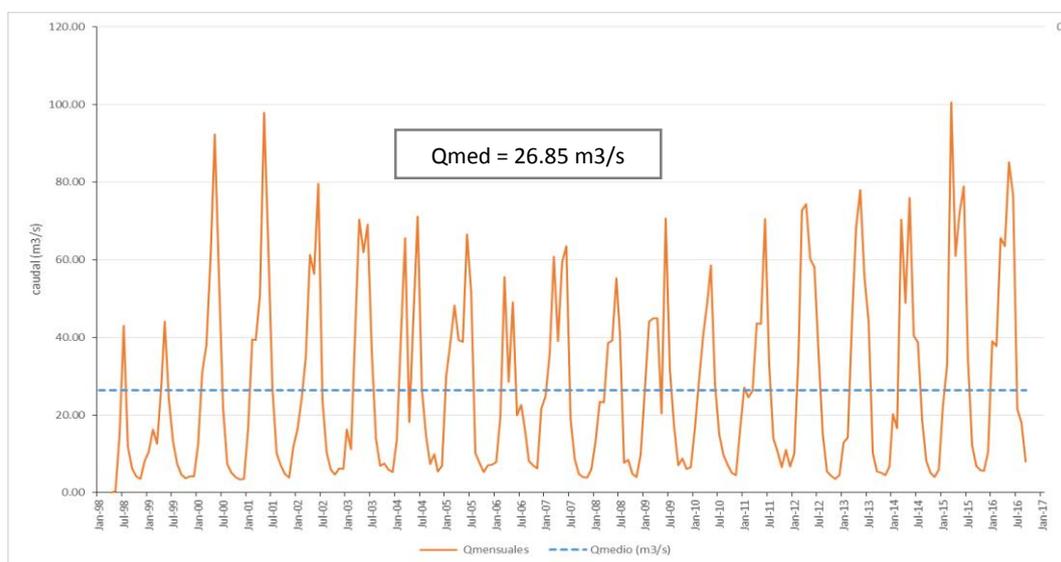


Figura 42: Histograma de caudales generados en el punto de control

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la figura 43 se muestran el histogramas de caudales generados en cada zona de la cuenca. En el anexo 3 se muestran las tablas de los caudales generados para cada zona de la cuenca.

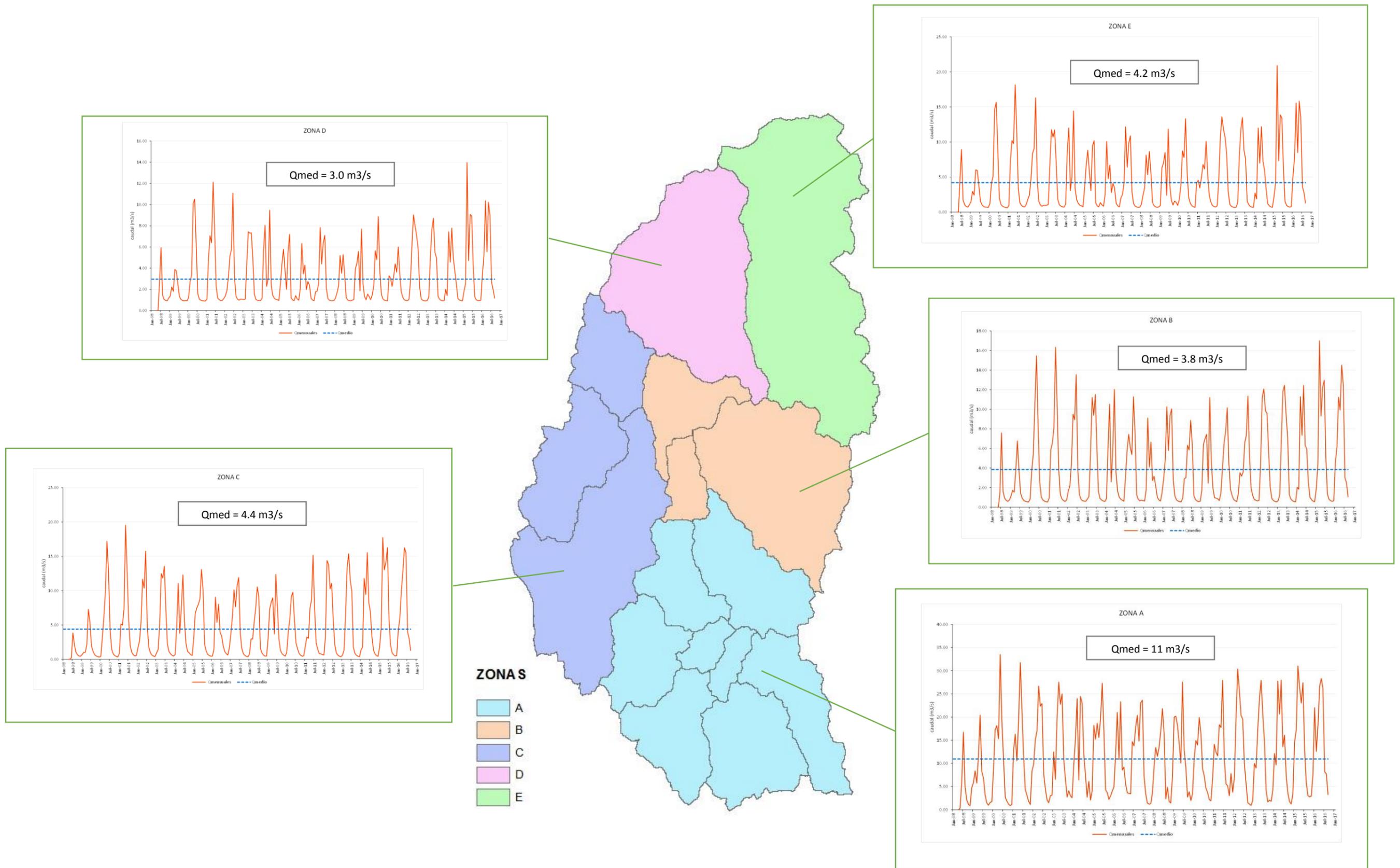


Figura 43: Histograma de caudales generados por zonas
Fuente: Elaboración propia (2016)

5.6.2 Análisis de persistencia

El análisis de persistencia curva de duración de caudales, expresado mediante un análisis de frecuencias de los caudales simulados con el modelo GR4J a nivel mensual en el punto de control (estación hidrométrica Santa Lorenza). En este análisis se usa la metodología de Weibull para definir la oferta hídrica de un río para satisfacer una demanda. Para ello, se realizó un análisis para determinar que distribución probabilística se ajusta, resultando ser la distribución L-momentos exponencial a 1% de significancia. En este análisis se indica el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales han sido igualados o excedidos. La determinación de las curva de duración se ha basado en la información contenida en la tabla 25, referente a los caudales medios mensuales generados al punto de Control de la estación hidrométrica Santa Lorenza, para el periodo de marzo de 1995 a septiembre de 2016. En la figura 44 se muestra la curva de duración.

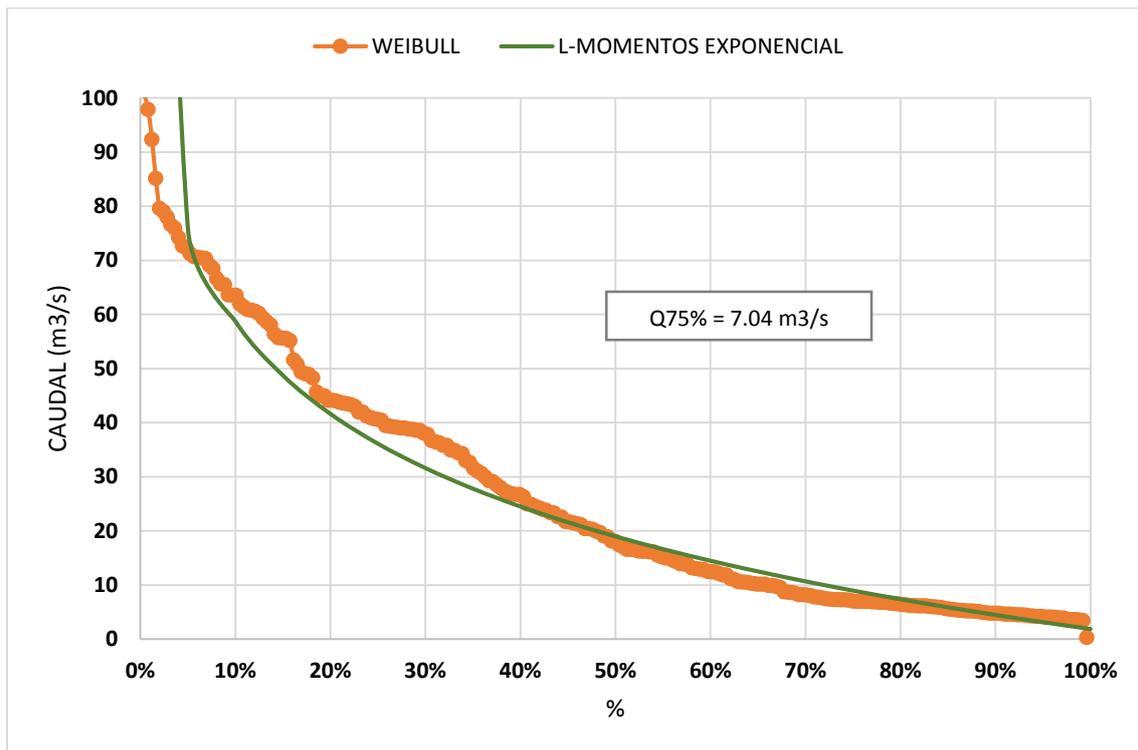


Figura 44: Curva duración de caudales
Fuente: Elaboración propia (2016)

En la figura 45 se muestra los análisis de persistencia por zonas. Las distribuciones probabilísticas que mejor se ajustan para la zona A, D y E, es L-momentos Pareto a 1% significancia; así mismo, para la zona C la distribución L-momentos exponencial a 1% significancia.

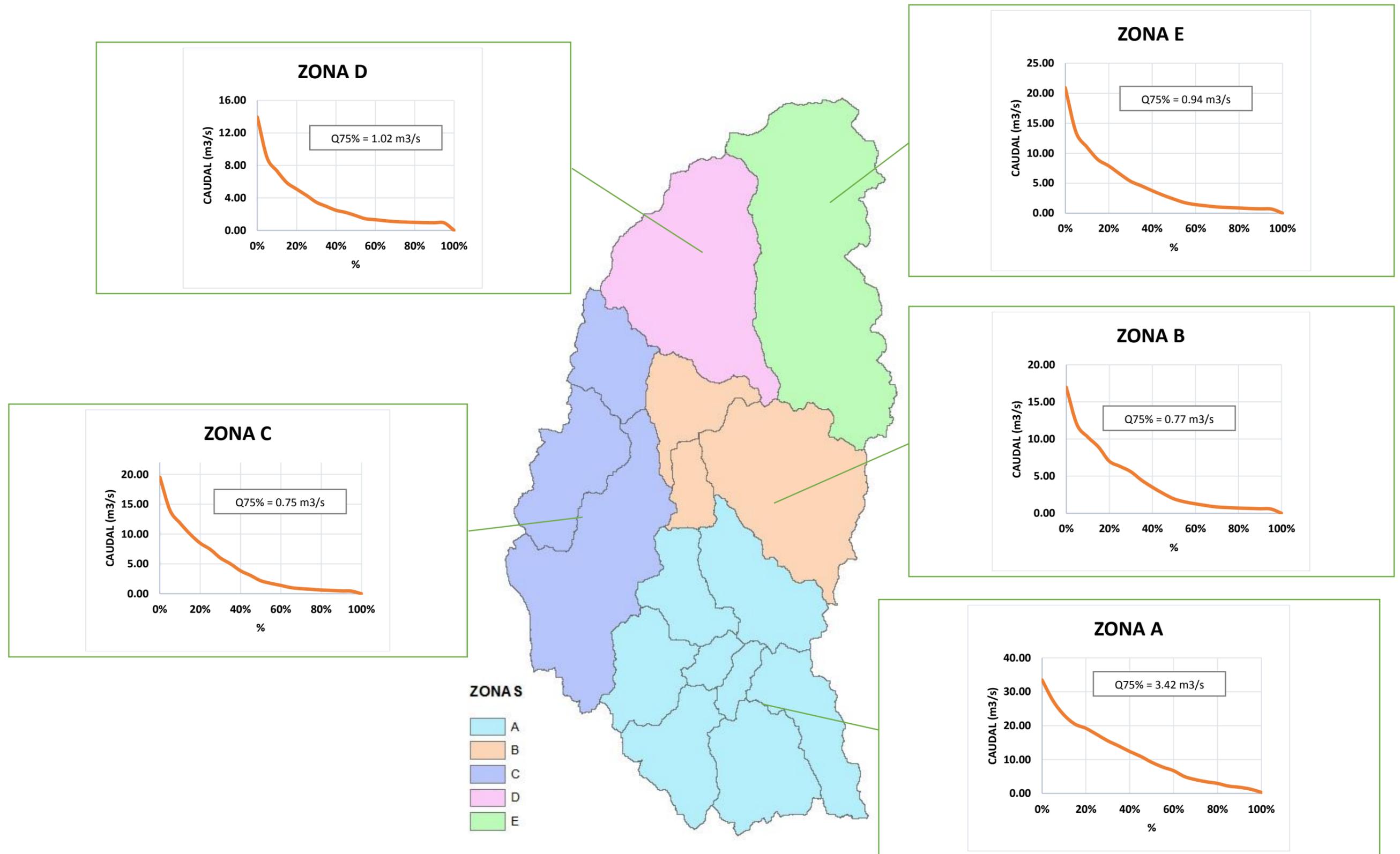


Figura 45: Curva de duración de caudales por zonas

Fuente: Elaboración propia (2016)

La curva de duración nos permite determinar por ejemplo que el caudal al 75% de persistencia es 7.04 m³/s, esto quiere decir que en 9 de los 12 meses del año este caudal ha sido igualado o excedido. Aunque, no nos dice en que meses este caudal al 75% ocurrió y si ocurrieron en periodos consecutivos. Es por eso que se hace un cuadro de caudales mensualizados para diferentes persistencias como se muestra en la tabla 26.

Tabla 26: Caudales mensualizados para diferentes persistencias

PERSISTENCIA	%	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	95%	13.08	18.31	21.15	20.16	15.23	7.41	4.88	4.04	3.55	3.62	7.93	11.40
	90%	23.60	21.93	34.52	24.36	19.33	7.83	5.23	4.08	3.65	4.25	10.18	14.46
	85%	26.79	27.54	37.03	29.83	21.52	8.79	5.52	4.27	3.90	4.60	10.78	16.17
	80%	29.56	30.54	38.89	40.75	21.92	9.63	5.63	4.37	3.95	5.40	12.44	16.35
75%	31.73	38.70	40.20	41.94	22.93	9.85	6.05	4.64	4.09	6.05	12.56	17.33	
Caudal Medio (m ³ /s)		47.22	47.64	57.49	54.58	30.54	12.53	6.97	5.67	5.12	8.66	18.12	27.60

Fuente: Elaboración propia (2016)

En el punto de control estación hidrométrica Santa Lorenza, no se ha identificado ningún tipo de infraestructura de captación del recurso hídrico, esto es, con fines de consumo poblacional, agrícola o industrial. Esta información fue verificada en el ALA Alto Huallaga ya que no contaban con información de estructuras construidas en el cauce del río Huallaga o con licencias entregadas para esta zona. En la figura 46 se representan los caudales mensualizados a diferentes persistencias y el caudal medio.

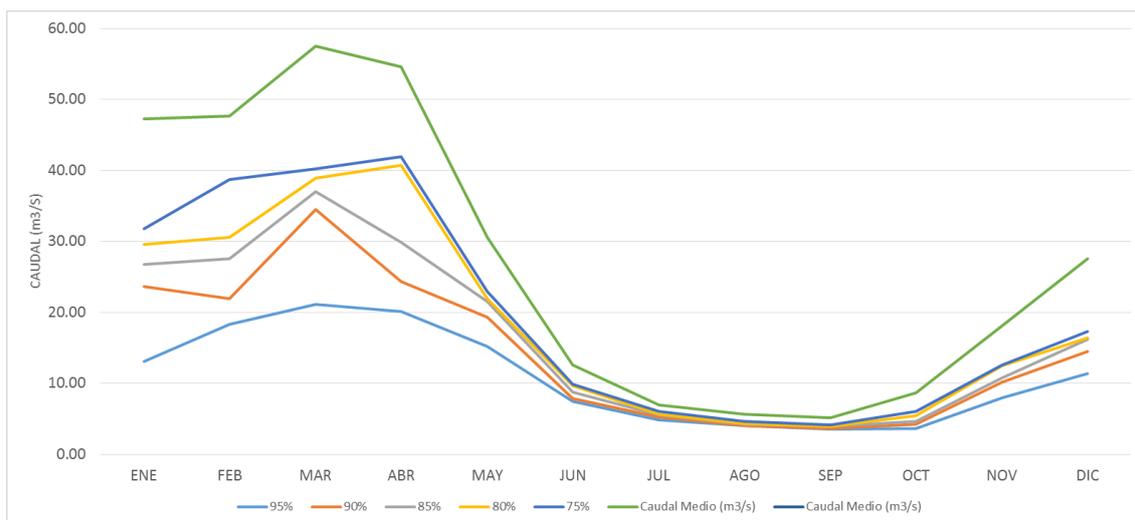


Figura 46: Grafica de caudales mensualizados

Fuente: Elaboración propia (2016)

Así mismo, la única demanda de agua para poder conservar el ecosistema fluvial es el caudal ecológico. Según resolución del ANA 2016, el caudal ecológico mínimo será el equivalente al caudal determinado al 95% de persistencia en el punto de interés de la fuente natural del agua. De igual manera, el reglamento del ANA dice que la oferta de agua serán los caudales al 75% de persistencia.

En la tabla 27 se muestra el balance hídrico.

Tabla 27: Balance hídrico en el punto de interés.

		UND	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
OFERTA	Q 75%	m3/s	31.73	38.70	40.20	41.94	22.93	9.85	6.05	4.64	4.09	6.05	12.56	17.33	19.67
DEMANADA	Q ecologico	m3/s	13.08	18.31	21.15	20.16	15.23	7.41	4.88	4.04	3.55	3.62	7.93	11.40	10.90
	Otros Usos	m3/s	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BALANCE	Deficit	m3/s													
	Superavit	m3/s	18.64	20.40	19.05	21.78	7.70	2.43	1.16	0.60	0.54	2.43	4.64	5.93	8.78

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la figura 47 se muestra el balance hídrico mensualizado en el punto de interés.

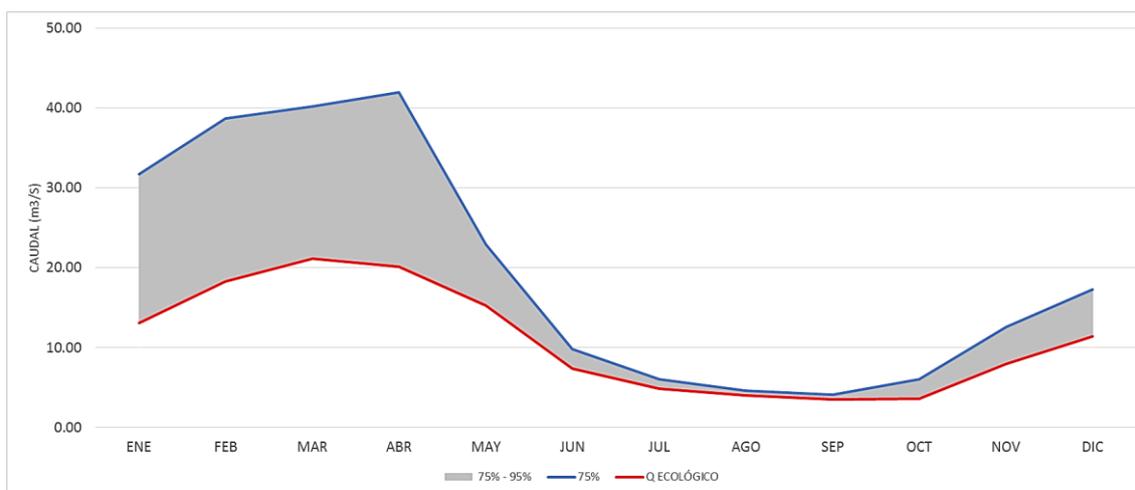


Figura 47: Grafica del balance hídrico.

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la figura 48 se muestra los balances hídricos mensualizados por zonas.

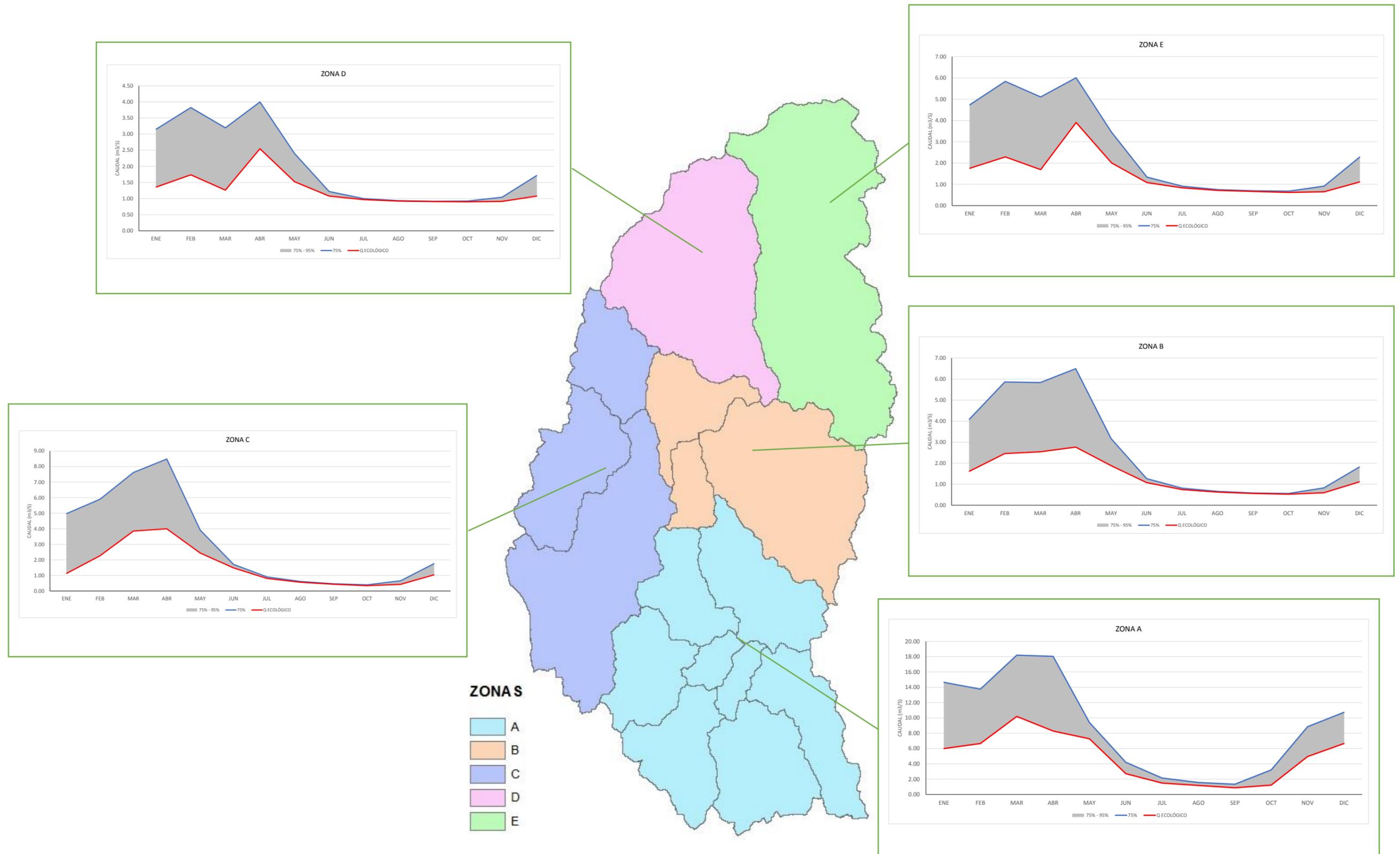


Figura 48: Balance hídrico por zonas
Fuente: Elaboración propia (2016)

VI. CONCLUSIONES

1. Se evaluó y cuantificó de manera satisfactoria los modelos hidrológicos de precipitación-escorrentía, permitiendo así, realizar un balance hídrico tanto en el punto de control Santa Lorenza como en las 5 zonas consideradas en el proceso del modelamiento.
2. En el análisis gráfico y estadístico, no se encontró inconsistencia en la serie de precipitaciones por lo cual, se puede afirmar que las series de tiempo son lo suficientemente confiables para emplearlas en el proceso del modelamiento hidrológico.
3. Los modelos GR4J y HBV son muy similares en la calibración, obteniendo valores del coeficiente de Nash mayores a 0.68; es decir, son considerados niveles aceptables de desempeño y que las descargas simuladas son mejores predictores que el promedio de las descargas observadas. Por otro lado, estos modelos tienen el coeficiente de correlación de Pearson mayor a 0.87, indicando que existe una relación lineal aceptable entre los datos simulados y observados.
4. Para la prueba de validación, los modelos HVB y GR4J, obtuvieron los mejores índices estadísticos de bondad de ajuste, obteniendo en coeficiente de Nash mayores a 0.63 y el coeficiente de correlación de Pearson mayores a 0.85. Cabe resaltar, que la estación que se usó para la validación solo cuenta con datos mensuales y se aplicaron a 3 zonas; por este motivo, los índices estadísticos disminuyeron.
5. Se selecciona el modelo GR4J considerando que, en la calibración los estadísticos de bondad de ajuste del modelo GR4J son mejores. Así mismo, los estadísticos en la validación son mejores los del modelo HVB pero esto, solo demuestra la estabilidad y la representatividad del conjunto de parámetros calibrados por lo que, son aceptables para ambos modelos de precipitación escorrentía. En resumen, el modelo GR4J es el que mejor describe el comportamiento de la cuenca del río Huallaga aguas arriba del punto de control Santa Lorenza.
6. El modelo GR4J, es sencillo y de fácil implementación debido a sus 4 parámetros lo cual, facilita cualquier procediendo de optimización de parámetros. Caso contrario con el modelo HBV, puesto que es difícil tener control total sobre sus 14 parámetros.

7. Se evaluó la disponibilidad hídrica el punto de control Santa Lorenza y en las 5 zonas de contribución para un periodo de marzo de 1996 a septiembre de 2016. En el punto de control se obtuvo un caudal medio multianual de 26.8 m³/s y una un caudal de ocurrencia al 75% de 7.04 m³/s.
8. La oferta hídrica media mensual en el punto de control Santa Lorenza, varía desde 4.09 m³/s (Septiembre) hasta 41.94 m³/s (Abril) y considerando una demanda hídrica (caudal ecológico) que varía desde 3.55 m³/s (Septiembre) hasta 21.15 m³/s (Marzo), se tiene un superávit de agua en la fuente que varía desde 0.54 m³/s en el mes de Septiembre hasta 21.78 m³/s en el mes de Abril y un superávit de agua en la fuente en promedio anual de 8.78 m³/s.
9. Los resultados obtenidos en el presente estudio, permitirán en trabajos posteriores simular caudales en zonas dentro de la cuenca del río Huallaga, que posean características geomorfológicas y climáticas similares a las de una o varias de las cuencas calibradas. De esta forma se podrán analizar escenarios climáticos probables y reconstrucción de caudales en sitios con escasez de información.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se debe continuar con la investigación en el cuenca del rio Huallaga aguas arriba del punto de control Santa Lorenza, por la importancia de poder evaluar y cuantificar los recursos hídricos en cantidad y oportunidad, estableciéndose el balance hídrico para escenarios en situación actual y futura.
2. Optimizar la red de estaciones pluviométricas e hidrométricas en cuenca del rio Huallaga aguas arriba del punto de control Santa Lorenza. Automatizarlas de manera que se pueda contar con información actualizada y así poder garantizar un buen resultado en el análisis de la cuenca en estudio.
3. Se recomienda la continuación de las lecturas de mira de la estación hidrométrica Santa Lorenza; puesto que, se podrá obtener un periodo más largo para la calibración. Por consiguiente el modelo se ajustara mejor en la validación.
4. Realizar las investigaciones en cuencas similares, que cuenten con una amplia información de datos hidrométricos y pluviométricos.
5. Se recomienda el mantenimiento y activación de las estaciones hidrométrica San Rafael; a fin de poder aumentar la información en el área de estudio.
6. Se recomienda realizar la simulación utilizando otras fórmulas de evapotranspiración potencia que ofrece el sistema informático RS-Minerve, con el fin de verificar si hay variaciones significantes en el balance hídrico.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Abbaspour K.C. 2005. Calibration of Hydrologic Models: When is a Model Calibrated? Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology.
2. Ahmat Nor N.I, Harun S, Ariffin J, Abdul-Talib S. Sediment Transport Prediction by using 3-Layer Feedforward MLP Networks.
3. Albuja Edgar C., Tenelanda Daniel O.. 2014. Desarrollo de un modelo conceptual de lluvia-escorrentía para interpretación de procesos hidrológicos en la cuenca Altoandina del río Zhurucay. Tesis para el grado de Ing.Civil. Universidad de Cuenca. Ecuador.
4. Aliaga Araujo Vito. 1983. Tratamiento de datos Hidrometeorológicos. Perú.
5. ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2012. Estudio de Aprovechamiento Hídrico del río Huallaga para el desarrollo del proyecto central hidroeléctrica Santa Lorenza I.
6. Aparicio Mijares Francisco J.. 1989. Fundamentos de Hidrología de Superficies. Editorial LIMUSA SA. 1ra edición. México.
7. Argota Quiroz Trinidad. 2011. Simulación Hidrológica de la cuenca del Rio Amajac, Estado de Hidalgo aplicando el modelo SWAT. Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias en Hidráulica. México. Instituto Politécnico Nacional.
8. Cabrera Juan, CIV. ENG. Calibración de modelos Hidrológicos. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú
9. Cardenas Gaudry María Magdalena. 1997. Modelamiento Hidrológico de la cuenca del rio Huancabamba con fines de operación en Épocas de Avenidas. Tesis para optar el título de ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Agraria la Molina
10. Chereque Wendor Morán. Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. Concytec. Pontificia Universidad Católica del Perú.
11. Chong-Yu Xu. 2002. Hydrology Models. Uppsala University Department of Earth Sciences Hydrology.
12. Davie Tin. 2008. Fundamentals of Hydrology. Taylor & Francis e-Library. 2nd edition.
13. Dawei Han. 2010. Concise Hydrology. Edición digital Dawei Han & Ventus Publishing ApS.

14. Dhemi Harlan, Muljana Wangsadipura, Cecep Muhtaj Munajat. 2010. Rainfall-Runoff Modeling of Citarum Hulu River Basin by using GR4J. Proceedings of the World Congress on Engineering, London, U.K.
15. Driessen T. L. A., Hurkmans R. T. W. L., Hazenberg P., Torfs P. J. J. F., R. Uijlenhoet. 2010. The hydrological response of the Ourthe catchment to climate change as modelled by the HBV model. Hydrology and Earth System Sciences.
16. Eslamian Saeid. 2014. Handbook of Engineering Hydrology Modeling, Climate Change, and Variability. CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group.
17. Fattorelli Sergio, Fernández Pedro C. 2011. Diseño Hidrológico. Edición Digital Water Assessment and advisory global network. 2da Edición.
18. Fonseca Salazar Sigfredo Ernesto. 2002. Modelamiento Hidrológico con HEC-HMS y Sistemas de información geográfica. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Recursos Hídricos. Universidad Nacional Agraria la Molina.
19. Hernández Javier G., Arquiola Javier P., Foehn Alain, Roquier Bastien. 2015. RS MINERVE – Technical manual v2.1. RS MINERVE Group, Switzerland.
20. Lavado Pedro Rau, Condom Thomas. 2010. Análisis espacio temporal de la precipitación en las zonas de montaña de Perú. revista peruana geo-atmosférica.
21. Moriasi D. N., Arnold J. G., M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, T. L. Veith. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in Watershed simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
22. Nieto Melgarejo Herminio. 2007. Comparación de los modelos Hidrológicos Precipitación – Escorrentía Determinísticos conceptuales con y sin uso de Modelo Estocástico. Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería Hidráulica. Perú. Universidad Nacional de Ingeniería.
23. Organización Meteorológica Mundial. 1994. Guía de Prácticas hidrológicas. 5ta Edición.
24. Ortiz Enrique. Memoria-Informe sobre modelos de previsión Hidrológica empleados en otras Organizaciones.
25. Pechlivanidis I.G., Jackson B.M., McIntyre N.R., Wheeler H.S.. 2011. Catchment Scale Hydrological Modelling: a review of model types, Calibration Approaches and Uncertainty Analysis Methods in the context of recent developments in technology and applications. Global NEST Journal.

26. Ponce Victor Miguel. 1989. Engineering Hydrology Principles and Practices. Editorial Prentice Hall.
27. Raghunath H. M.. 2006. Hydrology principles, analysis and design. New Age International (P) Limited, Publishers.2nd Edition.
28. Spikanth Koka. 2004. Integration of Stream and Watershed data for Hidrologic Modeling. Thesis for the degree of Master of Science. USA. A&M University
29. Toro Trujillo Ana M., Ramirez Ramón A., Vázquez Peña Mario A., Ibáñez Castillo Laura Alicia. 2015. Relleno de series diarias de precipitación, temperatura mínima máxima de la región norte del Urabá Antioqueño. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.
30. Valenzuela Miguel A., Hernández Javier G., Suarez Wilson, Felipe Oscar, Huggel Christian, Molina Walter. 2015. Modelización hidrológica con un enfoque semidistribuido en la cuenca del rio Chillón, Perú. Revista Peruana GEO-Atmosferica RPGA.
31. Velásquez Chávez Armando Alonso. 2015. Modelamiento Hidrológico e Hidráulico del rio Santa , Tramo asentamiento humano Las Flores, Distrito de Carhuaz, Ancash. Tesis para optar el título de ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Agraria la Molina.
32. Zubieta Barragán Ricardo. 2013. Modelado Hidrológico Distribuido de la cuenca Amazónica Peruana utilizando precipitación Obtenida por satélite. Tesis para optar el grado de Magister. Universidad Nacional Agraria la Molina.

IX. ANEXOS

9.1 ANEXO 1

ESTACIÓN CERRO DE PASCO (mm)

2011												
DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	0.0	3.2	2.3	2.1	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	2.2	1.3	1.5
2	7.2	8.0	3.6	0.5	12.0	0.0	2.6	0.0	0.0	8.6	0.0	0.0
3	4.6	8.3	1.8	15.0	0.0	0.0	1.5	3.9	0.0	15.0	0.0	0.0
4	4.3	9.0	4.4	1.5	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	2.2	1.2	0.0	24.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	0.0
6	1.2	0.0	4.7	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	2.0	3.5
7	6.2	13.5	14.5	4.7	0.0	0.0	0.6	0.0	3.6	5.3	1.2	0.0
8	2.1	4.2	8.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0	2.8
9	7.4	7.3	4.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	1.6	16.0	0.0	9.0
10	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	15.0
11	2.8	10.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	3.0	5.0
12	10.7	10.1	2.5	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.6
13	1.5	0.0	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.0	10.1
14	6.5	0.0	7.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.1
15	2.5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	8.0
16	4.0	0.0	2.8	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.7	1.1
17	0.0	11.7	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	24.0
18	0.0	0.0	0.5	0.0	1.6	0.0	4.2	0.0	1.4	0.0	21.0	7.0
19	9.7	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.0	2.3	3.2
20	1.4	2.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	4.0	6.7
21	2.8	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	3.0	0.0	16.0
22	20.5	12.0	3.1	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	8.3	0.0	4.6	5.8
23	5.9	16.3	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	5.2
24	3.4	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	0.0	0.0	4.0
25	4.4	3.3	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	16.0
26	8.4	5.2	13.7	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	2.1	0.0
27	3.3	2.1	3.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.1	1.0
28	9.3	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3
29	16.0		8.7	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2
30	4.0		20.8	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	4.0	0.0	3.6
31	13.5		11.0		0.0		0.0	0.0		0.9		2.0

AÑO 2012												
1	2.0	1.3	0.0	0.0	6.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.6
2	0.0	10.0	0.7	2.8	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	3.2	4.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	5.8	3.4
4	0.0	12.0	12.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	5.8
5	6.7	6.6	9.6	7.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	25.4	3.4	2.1
6	18.2	18.4	15.0	3.4	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.7	10.0	11.2
7	4.7	11.6	9.4	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	10.6	1.5	12.7
8	5.1	8.8	6.2	8.2	0.0	3.5	3.5	0.0	0.0	0.0	2.2	1.7
9	2.0	1.6	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	2.4	0.7
10	4.4	9.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
11	6.6	5.2	5.2	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0
12	0.0	1.5	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.0
13	0.5	0.0	2.2	3.2	6.8	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	4.3
14	0.0	0.0	2.0	3.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	5.0
15	1.0	0.0	0.0	2.5	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	11.3	0.0
17	0.0	7.3	0.0	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	9.8	0.0	17.9
18	12.9	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	15.2	6.6
19	20.0	6.5	1.4	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	6.1
20	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	10.0
21	0.0	1.0	0.0	4.4	7.3	1.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.8	10.1
22	0.0	11.7	0.0	8.0	5.7	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	0.0	15.7
23	1.7	0.0	0.0	3.5	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	7.0
24	6.0	2.2	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	1.2	12.6
25	0.0	7.3	0.0	3.4	2.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.6	9.2	8.6
26	8.1	20.7	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	7.4	4.7
27	8.2	4.3	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	1.5	0.0	12.0
28	6.0	0.8	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.8	6.3	18.0	8.1
29	15.0	4.8	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	0.5	0.0	7.2
30	10.5		0.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.6	0.2	4.5
31	11.5		0.0		0.0		0.0	0.0		6.0		0.0

AÑO 2013												
1	0.0	10.0	19.3	0.0	15.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	2.0
2	6.6	0.0	14.9	2.4	6.8	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	5.0
3	4.0	3.0	1.6	13.2	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	0.0	7.0
4	0.5	5.0	10.0	8.9	0.0	0.0	8.0	2.4	0.0	2.0	5.0	12.6
5	5.5	1.3	9.1	2.5	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	5.0	5.7	5.0
6	0.0	1.3	1.6	0.0	1.1	1.1	0.0	0.0	0.0	20.5	1.8	12.0
7	3.0	2.4	7.0	4.3	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	1.5
8	2.3	7.5	5.0	3.4	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	3.0
9	0.0	0.0	0.0	9.8	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	10.0
10	11.7	6.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	3.0	1.0
11	8.4	7.7	5.0	5.7	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	4.6	3.4
12	4.0	15.0	1.7	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	7.5	2.4	6.0
13	2.4	8.8	20.3	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	10.6	10.5	6.0
14	1.2	9.7	4.2	3.8	0.0	2.0	0.0	0.0	12.0	15.0	0.0	6.0
15	12.0	2.3	8.5	6.9	1.9	0.0	5.4	0.6	0.0	14.1	0.0	16.0
16	25.8	2.2	16.4	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0
17	10.2	10.0	6.8	14.0	1.0	0.0	0.8	0.0	17.6	2.8	1.0	1.4
18	5.0	6.0	7.3	1.0	8.6	4.0	1.1	0.0	1.4	2.4	5.0	0.0
19	0.0	8.8	1.0	3.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.4	0.0	2.6	3.0
20	1.1	7.1	9.5	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0
21	11.8	3.9	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.4	11.6	6.0
22	20.3	5.2	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.0	0.0	3.1	0.0
23	1.6	0.7	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	7.0	11.0	3.2
24	3.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	9.2	0.0	1.0
25	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	13.3	0.0	5.0
26	15.4	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	2.0	0.0	0.0
27	3.0	2.0	11.3	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	7.1	5.6	1.2	0.0
28	0.0	6.5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	0.0	11.0	0.0	0.0
29	9.1		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	11.5		0.0	0.0	1.4	2.2	0.0	0.0	0.0	6.5	1.8	3.1
31	3.6		0.0		0.0		0.0	0.0		0.0		0.0

AÑO 2014												
1	8.0	0.0	3.5	0.0	5.8	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2
2	0.0	7.4	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	2.0
3	3.0	13.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
4	16.0	1.0	10.0	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.8	0.0	4.0
5	5.0	2.1	2.3	4.0	5.6	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	10.0	7.0
6	11.0	10.5	5.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.5	3.5	2.7	0.0
7	16.0	2.6	6.7	0.0	4.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	5.5
8	12.3	2.6	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	1.2	3.5	25.6
9	12.6	6.9	6.6	3.6	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	6.0	0.0	9.4
10	4.0	4.2	7.5	2.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	0.0
11	2.8	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	19.8	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	1.0	0.0	0.0
13	0.0	5.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	3.3	0.0	2.2	0.0
14	1.8	11.3	7.6	2.5	4.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0
15	3.3	9.8	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	6.0
16	7.1	6.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.6	5.0	0.0	1.2
17	3.0	0.0	15.2	0.0	7.3	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	12.2
18	3.3	7.1	18.8	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	3.0	2.2	0.0
19	3.7	1.0	1.6	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	15.0	17.5	0.0
20	7.7	1.0	0.7	0.0	7.0	0.0	0.7	0.0	14.0	7.0	6.1	0.0
21	1.0	0.0	20.0	1.7	2.0	0.0	0.0	0.0	3.3	3.4	2.2	1.6
22	0.0	3.0	1.0	1.2	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0
23	15.0	12.6	1.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	9.0
24	6.4	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	4.6	0.0
25	5.0	7.3	1.6	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	2.0	2.0	0.0	4.0
26	0.0	0.0	8.2	24.7	0.0	1.0	4.2	0.0	0.0	0.0	4.5	10.7
27	17.0	4.6	0.0	0.0	0.0	7.5	0.8	2.6	0.0	1.6	10.0	0.0
28	26.2	13.0	0.0	2.5	0.0	10.0	0.7	0.0	6.7	3.7	12.7	1.3
29	0.0		0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	2.2	1.5	0.0
30	0.0		0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	5.2
31	8.8		0.0		0.0		0.0	0.0		4.6		13.0

AÑO 2015												
1	14.8	2.3	6.1	15.2	1.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7
2	2.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0
3	5.9	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
4	7.8	0.0	15.0	3.0	1.0	1.3	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0
5	4.0	0.0	17.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	10.3	12.2	14.0
6	2.1	3.0	18.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	1.0	4.6
7	4.6	9.0	6.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	13.0	0.0	0.0
8	8.2	10.0	2.5	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	7.0	5.5
9	3.1	3.4	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	2.0
10	2.0	4.7	1.4	3.8	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.7
11	1.0	1.6	1.2	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.8
12	7.4	2.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	8.2	0.0
13	1.7	5.4	0.0	0.0	10.3	0.6	0.0	0.0	12.5	0.0	2.1	0.0
14	1.0	2.7	0.0	0.8	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
15	4.0	6.3	4.8	14.2	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0
16	10.5	0.0	4.2	7.1	1.0	0.0	9.0	1.5	0.0	0.0	10.0	0.0
17	3.6	0.0	0.0	2.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	7.0	0.0
18	8.4	0.0	4.8	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	1.3	11.3
19	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	2.0	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	4.2
20	14.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	1.7
21	0.0	0.0	1.7	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	1.0
22	0.0	3.2	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	25.1	2.8
23	0.0	2.0	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.4
24	0.0	5.2	15.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	2.5
25	0.0	2.1	7.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	1.5	3.8
26	2.4	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.3	0.0	3.0
27	4.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.4	4.2	6.0	4.7
28	0.0	1.0	4.7	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	3.2	0.0	11.1
29	15.0		1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	3.1	0.0	3.6
30	11.3		2.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	1.8	17.0	0.0
31	0.0		15.3		0.0		0.0	0.0		0.0		2.0

ESTACIÓN SAN RAFAEL (mm)

AÑO 2011												
DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	0.0	1.9	4.5	0.4	2.6	0.0	0.0	0.0	0.3	20.1	0.0	4.4
2	16.4	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.2
3	7.1	4.0	4.2	4.4	0.0	0.2	0.2	4.5	0.0	2.6	7.7	0.0
4	10.2	0.2	3.3	0.7	0.0	0.0	1.4	0.2	0.0	4.9	0.0	0.0
5	3.7	4.9	1.0	13.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0
6	0.3	3.4	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	1.2	1.4
7	0.9	11.8	8.2	21.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	3.8
8	0.6	1.5	8.0	1.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9
9	0.0	1.4	3.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.9	0.0	2.7
10	1.0	18.2	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	16.1
11	1.9	10.5	-888.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.3	1.7	1.1	0.8
12	7.1	5.5	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	-888.0	0.0	0.4	6.1
13	13.7	4.6	8.3	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4
14	1.8	0.7	0.7	1.1	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.7
15	0.0	1.8	6.8	-888.0	5.9	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	7.2
16	0.1	0.0	1.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	6.3	0.3
17	0.0	2.2	-888.0	-888.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	3.7	9.5
18	0.0	0.9	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	8.9
19	0.3	14.2	6.4	-888.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	10.2
20	0.9	0.3	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	3.9	4.0
21	6.1	5.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	1.1	1.1	1.2	9.1
22	15.8	4.8	0.7	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	3.6	12.4
23	3.4	3.3	10.4	1.3	0.0	0.8	0.0	0.0	4.3	0.6	2.0	2.2
24	2.5	6.8	4.1	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	10.3	1.5	0.0	0.1
25	1.8	5.5	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.2	13.9
26	1.2	0.3	9.2	0.2	2.1	0.0	0.0	0.0	0.3	1.7	3.3	0.1
27	13.3	0.1	4.1	0.9	2.3	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	-888.0	2.4
28	1.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	7.3
29	6.5		3.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.9	8.1
30	3.4		5.6	-888.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	0.2	0.5
31	4.7		6.0		0.0		0.0	0.5		0.0		2.6

AÑO 2012												
1	6.1	0.2	1.2	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	6.4
2	2.1	4.5	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.1
3	0.0	3.4	1.6	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	6.4
4	0.6	0.0	0.0	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	23.9
5	0.0	15.3	6.2	0.2	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.1	4.9	0.2
6	7.5	15.8	15.3	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.7	5.6	7.4
7	6.3	4.3	14.8	8.4	0.0	6.1	1.7	0.0	0.0	14.8	0.6	21.7
8	4.8	11.2	1.0	1.9	0.0	5.0	1.6	0.0	0.0	8.8	-888.0	2.0
9	0.3	-888.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	12.4	0.0	0.6
10	0.0	5.1	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.2	0.1
11	0.0	3.4	0.0	15.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	2.8
12	0.0	0.1	5.1	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	10.8
13	0.0	0.0	0.9	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	4.6
14	3.2	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7
15	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	-888.0
16	1.1	0.0	1.1	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	9.4	0.0
17	2.6	6.4	0.7	2.1	2.2	0.0	0.0	6.4	1.2	8.0	0.2	6.4
18	3.0	14.2	0.0	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	1.5	0.6	3.4	9.8
19	6.8	1.1	0.5	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.7	15.0
20	0.3	4.1	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	13.3
21	9.9	0.0	2.5	0.5	1.7	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	33.5
22	0.8	2.1	0.0	24.3	1.9	0.3	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	8.2
23	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	4.5
24	0.0	1.1	0.0	0.2	5.0	2.9	0.0	2.6	0.0	3.4	0.0	11.9
25	0.0	1.4	1.5	3.7	0.0	1.8	0.0	2.2	0.3	0.6	2.9	0.3
26	6.2	19.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	9.6	-888.0
27	1.8	9.8	2.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	5.2
28	1.6	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	9.0	21.3	9.1
29	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.0	9.6
30	0.1		0.3	18.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	2.9	0.0	2.0
31	0.1		0.0		0.0		0.0	0.0		0.0		0.5

AÑO 2013												
1	0.7	6.7	3.9	0.0	0.1	0.0			4.7	0.0	0.0	4.6
2	4.8	0.0	2.3	0.2	0.0	1.2			0.0	3.5	0.0	0.9
3	2.4	2.1	2.0	5.8	0.0	0.0			0.0	1.2	1.9	4.5
4	2.1	2.6	15.5	1.8	-888.0	0.0			0.0	0.1	9.1	19.1
5	2.5	0.4	0.2	2.6	0.9	0.0			0.0	3.6	27.0	2.8
6	0.0	2.3	2.8	12.2	0.5	1.9			0.0	3.0	0.3	3.7
7	3.0	6.1	15.9	11.3	1.2	0.1			0.0	4.6	0.0	1.2
8	0.8	5.1	0.5	11.2	0.0	0.3			0.4	0.0	0.0	1.7
9	1.4	24.8	6.2	-888.0	0.0	-888.0			0.0	0.0	0.1	0.0
10	0.1	2.9	3.5	0.0	0.0	0.8			0.0	0.0	8.4	1.4
11	6.8	16.4	0.7	6.4	0.0	0.0			0.0	13.1	0.6	2.3
12	0.8	0.9	6.0	0.3	0.0	0.4			0.0	0.8	8.5	3.0
13	3.7	2.9	10.0	4.0	1.5	0.0			0.0	2.6	4.0	17.2
14	5.1	4.2	0.8	0.4	0.0	0.0			0.0	24.6	0.0	0.1
15	0.0	0.9	3.1	1.0	0.2	0.0			0.0	0.9	0.9	12.8
16	12.3	0.8	15.7	1.0	0.0	0.0			0.0	0.1	0.0	0.0
17	0.6	4.1	4.0	2.7	2.2	0.0			0.0	2.2	0.3	0.9
18	0.0	8.9	0.8	8.8	0.6	9.9			6.6	0.0	1.7	0.0
19	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0			3.7	11.6	12.7	2.5
20	0.0	5.9	10.7	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	2.9	10.4
21	10.5	1.5	2.1	0.0	0.0	-888.0			0.0	0.1	4.6	41.1
22	5.5	2.1	2.0	0.0	0.0	2.3			0.0	0.0	3.7	36.8
23	2.1	0.9	0.0	1.7	0.0	0.0			9.1	0.5	0.6	2.9
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	10.6	1.2	0.0
25	3.2	3.8	0.1	0.0	0.0	0.0			0.0	9.2	0.0	2.5
26	0.0	10.3	10.5	0.0	0.0	0.0			0.0	0.6	0.0	0.0
27	0.0	7.2	3.8	0.0	0.0	0.0			0.0	0.5	0.0	0.0
28	0.0	4.9	-888.0	0.0	0.0	0.0			0.0	9.7	1.0	0.1
29	15.6		0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	1.4	0.0
30	0.4		0.0	0.0	4.7	0.0			0.0	0.1	5.6	0.7
31	9.6		0.0		-888.0					1.1		2.4

AÑO 2014												
1	18.5	1.2	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	2.0	1.1	0.0	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	1.2
3	1.1	4.8	6.7	0.6	2.7	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	3.0	9.2
4	8.0	3.2	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	5.2
5	1.2	8.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	3.8	0.4
6	11.7	0.1	0.8	-888.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.7	1.5	0.0
7	6.8	1.9	8.9	0.0	1.8	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0.6	11.2
8	1.5	0.8	10.2	0.0	3.8	0.0	0.0	1.2	0.0	1.9	0.0	3.7
9	0.0	15.4	-888.0	0.0	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	2.3
10	1.4	14.1	0.2	12.4	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	4.3	0.1
11	1.5	0.9	-888.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	-888.0	2.3	0.0	0.0
12	2.4	4.4	4.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	4.0	0.3	0.3	0.0
13	0.0	15.8	4.8	0.8	0.0	-888.0	0.0	0.0	3.3	0.2	9.2	2.5
14	1.2	2.5	4.0	0.8	0.0	-888.0	0.0	0.0	-888.0	0.0	0.6	0.0
15	0.0	0.9	4.0	1.6	3.4	-888.0	0.0	0.0	1.9	0.0	1.0	0.0
16	5.8	9.4	7.9	0.0	0.9	0.3	0.0	0.0	12.5	0.0	2.8	10.5
17	9.9	5.8	15.8	0.0	6.8	-888.0	0.0	0.0	-888.0	0.0	0.0	0.3
18	3.5	5.9	0.7	0.9	0.6	0.0	0.0	0.0	20.5	0.0	1.3	2.2
19	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5	4.4	0.0
20	9.6	1.1	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	8.9	0.0	7.5	0.0
21	0.2	12.7	25.7	3.7	0.4	0.0	0.0	0.0	21.3	0.9	0.0	4.5
22	0.0	0.7	2.8	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2
23	0.7	16.9	4.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1.3
24	4.3	10.2	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	3.5	0.0	0.0
25	0.2	0.7	4.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	1.7	0.0	7.9
26	0.0	5.9	16.0	10.4	0.0	2.7	0.0	1.5	0.1	0.0	2.3	2.1
27	6.4	10.4	1.1	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.3
28	0.8	0.5	0.0	9.2	0.0	0.0	0.0	1.6	0.6	0.0	0.0	1.9
29	1.7		0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	3.2	0.0	1.0
30	0.3		9.7	0.1	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.4	0.0
31	9.3		0.0		0.0		0.0	2.4		0.1		4.4

AÑO 2015												
1	-888	0.3	9.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-888.0	0.0	-888.0
2	1.3	0.0	-888.0	-888.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0
3	9.4	0.0	0.0	0.0	-888.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1
4	1.9	0.0	10.9	3.7	-888.0	0.0	6.9	0.0	0.0	0.3	0.0	8.0
5	8.4	0.0	13.0	2.5	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	1.9	7.7
6	3.3	0.2	2.7	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	2.0	15.6
7	-888.0	1.9	0.0	0.9	-888.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	10.0	0.0
8	1.3	2.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	12.1	0.3
9	-888.0	5.5	0.5	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	3.9
10	0.7	0.6	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.7
11	1.5	1.1	0.0	0.5	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	1.9	2.1	0.0	4.7	-888.0	0.0	0.0	2.0	0.1	0.0	0.0	0.0
13	0.2	0.1	-888.0	-888.0	13.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	9.7	0.0	1.7	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6	-888.0
15	0.0	3.6	0.2	12.1	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
16	0.0	0.0	0.2	1.8	10.3	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	1.2	0.2
17	5.3	0.0	0.1	0.0	7.7	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	2.6	1.7
18	3.4	0.7	1.5	0.0	1.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5
19	0.3	0.0	0.5	10.3	-888.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	1.5
20	7.5	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.5	2.1	0.1
21	0.2	2.1	1.4	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.6
22	1.6	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.1	6.2
23	1.4	-888.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	7.1
24	3.7	5.8	0.5	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	2.6
25	2.5	2.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4
26	10.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	4.9	0.0	1.1
27	8.1	9.0	8.6	3.7	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	-888.0	0.0	0.2
28	3.8	2.4	16.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	8.3
29	5.5		1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
30	13.4		0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	10.9	11.9	0.0
31	0.2		4.6		0.0		0.0	0.0		0.0		0.0

ESTACIÓN YANAHUANCA(mm)

AÑO 2011												
DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
2	17.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	2.1	0.0	1.0
3	0.0	4.0	14.8	4.2	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	4.2	4.8	0.0
4	21.2	0.0	17.6	5.2	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	5.0	7.3	0.0
5	0.0	0.0	5.2	21.5	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	10.0	1.3	4.7	15.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2
7	0.0	0.0	22.9	6.7	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	11.0	0.0	4.7
8	9.8	8.5	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	7.0
9	0.0	0.0	3.0	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	10.3	0.0	7.3
10	9.8	12.1	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0
11	12.2	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6
12	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	6.4
13	7.2	0.0	25.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	1.2
14	10.0	0.0	0.0	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	28.0
15	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	4.8	4.7
16	0.0	4.7	9.5	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	0.0
17	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	11.2
18	1.8	10.0	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.1	12.4
19	6.8	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	4.9	11.9
20	13.2	3.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	3.9	12.0
21	17.8	21.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	13.0
22	6.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	0.0
23	0.0	10.1	7.0	2.1	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	2.7	6.0
24	16.2	7.7	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	2.2	14.0
25	5.8	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	7.2
26	7.1	0.0	19.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	5.7	0.0	13.0
27	12.3	0.0	6.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	10.7
28	10.5	7.4	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	0.0	0.0
29	9.9		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.7
30	7.2		11.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	3.8	0.0	10.0
31	4.8		18.8		0.0		0.0	0.0		0.0		0.0

AÑO 2012												
1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	7.5
2	10.0	13.4	4.9	12.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3
3	0.0	8.9	7.2	7.2	0.0	7.3	0.0	0.0	3.5	0.0	9.2	7.3
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	2.2	0.0	0.0	0.0	10.2	5.6
5	1.3	17.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	3.6
7	0.0	12.0	10.0	0.0	0.0	2.2	5.8	0.0	0.0	6.8	4.5	9.2
8	0.0	9.8	9.8	6.4	0.0	15.8	5.0	0.0	0.0	3.1	7.0	15.6
9	0.0	14.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	5.0	4.2	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0
11	0.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0
12	4.0	0.0	8.9	14.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
13	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0
15	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	0.0
16	0.0	12.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	9.1
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0
18	5.4	0.0	5.8	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.8
19	10.0	10.1	0.0	8.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	5.8
20	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	23.4	33.0
21	9.8	4.8	0.0	11.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
22	3.7	12.1	0.0	15.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2
23	0.0	15.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	20.0	7.8
24	0.0	6.7	3.0	12.3	0.0	2.2	0.0	2.2	0.0	0.0	10.0	0.0
25	10.0	7.1	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	13.0	14.0	0.0
26	0.0	4.8	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	4.0
27	13.7	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2	1.3	4.0	8.8
28	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	0.8	0.0	0.0
29	6.2	0.0	11.9	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	4.7	0.0	12.3
30	3.0		9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0
31	0.0		0.0		0.0		0.0	0.0		0.0		8.8

AÑO 2013												
1	12.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	15.2	6.1
2	0.0	0.0	4.3	1.5	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5
3	0.0	7.0	16.3	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7
4	0.0	0.0	11.0	4.5	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	4.1	3.4	10.6
5	4.8	5.8	0.0	1.3	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	3.9	8.0	2.2
6	2.7	0.0	16.7	2.3	0.8	2.8	0.0	0.0	0.0	7.4	4.0	0.0
7	0.0	0.0	10.5	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0
8	0.0	3.0	4.1	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	2.9
9	4.5	8.1	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	2.1	12.0
10	2.7	0.0	11.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0
11	4.7	4.3	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0
12	0.0	8.5	8.2	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2
13	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	8.4	2.6
14	0.0	17.4	15.8	1.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0	8.9
15	10.2	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	3.3	6.9
16	9.9	0.0	11.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0
17	8.7	0.0	5.7	0.0	3.6	0.0	1.9	0.0	4.1	3.5	2.1	6.1
18	0.0	11.6	1.0	1.9	3.0	3.1	0.0	0.0	3.5	0.0	8.3	0.0
19	0.0	0.0	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0
20	10.2	17.2	10.9	0.0	1.9	4.1	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	7.3
21	17.8	19.2	0.4	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	2.8	6.2	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0
23	11.0	5.9	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	4.0	8.0
24	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0
25	8.0	3.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1
26	0.0	14.0	3.1	0.0	4.3	0.0	0.0	1.2	0.0	3.8	0.0	0.0
27	11.7	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	0.0	10.8	0.0	0.0
28	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	0.0	7.2	0.0	0.0
29	16.4		2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.0		3.2	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31	5.0		0.0		0.0		0.0	0.0		0.0		0.0

AÑO 2014												
1	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.1	10.5
2	2.1	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	5.8
3	3.3	7.7	7.8	2.9	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	8.2	0.0	11.8	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5
5	7.2	9.8	6.7	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	19.2
6	8.7	4.3	17.8	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	14.8	0.0	9.9	3.6	9.1	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	4.7	0.0
8	13.1	5.8	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	3.7	0.0	7.1
9	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	15.7
10	3.8	3.2	5.2	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	15.8	6.5
11	14.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0
12	4.4	17.9	4.1	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	3.6	12.1
13	3.2	8.6	8.1	0.0	7.1	0.0	0.0	0.0	4.1	8.1	0.0	0.0
14	4.2	10.1	0.0	0.0	6.8	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	3.1	0.0	0.0	3.2	2.8	3.1	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	8.2
16	8.4	9.9	11.9	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	4.2	0.0	3.9	10.2
17	13.1	6.1	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	10.9	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0
19	12.0	0.0	7.5	2.9	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	10.1	0.0	0.0
20	2.3	4.9	0.0	0.0	3.8	0.0	3.0	0.0	0.0	5.6	0.0	0.0
21	0.0	9.7	13.1	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0	12.0	0.0
22	4.0	6.3	0.0	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0
23	11.9	17.2	3.1	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1
24	6.7	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0
25	7.9	0.0	4.1	4.9	0.0	0.0	4.8	0.0	12.0	0.0	7.8	18.2
26	0.0	4.7	6.8	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8
27	10.3	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9
28	2.6	6.8	0.0	7.4	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	12.7	10.0
29	0.0		0.0	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	10.1	3.7
30	4.9		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	17.0
31	10.1		0.0		0.0		0.0	0.0		0.0		10.9

9.2 ANEXO 2

ESTACIÓN HIDROMÉTRICA SANTA LORENZA(m3/s)

AÑO 2015												
DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1								7.38	6.5	6.86	8.19	21.41
2								7.09	6.53	6.43	6.97	12.67
3								6.94	6.61	7.81	6.86	10.48
4								6.86	6.64	6.86	6.56	11.52
5								6.97	6.64	7.21	6.46	12.87
6								6.94	6.48	7.21	6.7	22.34
7								6.9	7.13	7.01	6.61	22.98
8								6.8	6.9	6.76	9.26	14.71
9								6.8	6.56	6.67	21.87	23.79
10								6.9	6.7	6.48	17.42	32.37
11								6.83	6.56	6.37	14.26	28.7
12								6.94	6.39	6.39	11.43	19.34
13								7.71	6.56	6.27	10.81	15.29
14								7.13	6.48	6.29	10.81	11.7
15								7.01	6.61	6.22	15.77	12.08
16								7.05	6.39	6.27	25.64	10.73
17								7.17	6.41	6.24	20.95	10.73
18								7.01	6.37	6.61	17.69	11.79
19								6.8	6.41	7.42	12.08	15.53
20								6.76	7.38	6.35	9.77	29.26
21								6.58	7.66	6.61	9.7	32.77
22								6.67	6.56	6.53	14.37	28.7
23								6.61	6.39	6.67	14.82	30.02
24							7.73	6.64	6.48	6.46	10.98	60.47
25							7.66	6.67	6.36	6.46	9.92	50.59
26							7.25	6.67	6.35	6.83	10	45.52
27							7.42	6.73	6.33	7.61	8.42	42.16
28							7.17	6.64	6.67	7.66	8.48	45.03
29							7.09	6.67	6.67	8.25	8.67	60.76
30							7.09	6.61	7.76	8.99	8.3	45.52
31							6.9	6.58		10.48		37.18

ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PUENTE RAQUIA (m3/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	26.20	45.30	46.90	16.70	7.70	5.20	4.00	4.20	3.70	6.40	7.80	11.80
1981	21.60	39.30	66.50	29.90	11.40	7.50	5.80	5.50	5.00	9.10	17.60	28.40
1982	33.20	56.30	45.30	26.90	14.20	9.00	6.20	5.60	5.50	8.80	23.10	26.10
1983	27.20	21.60	41.40	47.30	14.70	9.90	5.50	3.30	2.50	3.10	2.50	18.00
1984	29.30	87.80	79.70	43.70	15.80	11.80	8.60	7.10	5.20	10.30	11.40	24.40
1985	23.20	39.40	34.30	34.60	14.40	10.10	7.50	6.00	10.30	9.30	14.10	22.70
1986	44.00	67.40	84.20	38.20	11.00	10.30	7.40	6.00	6.00	7.40	9.20	11.50
1987	62.30	45.80	34.80	17.20	10.00	8.00	7.40	4.30	4.40	7.10	11.20	19.00
1988	95.49	162.32	31.05	40.40	14.76	9.41	6.60	5.34	4.50	5.35	5.00	8.58
1989	32.71	41.64	61.73	34.77	15.30	10.58	5.84	5.26	6.13	8.56	11.46	11.54
1990	32.86	26.28	28.16	12.91	10.66	14.19	6.76	4.74	4.90	14.65	28.11	22.72
1991	25.15	19.42	50.39	23.02	14.68	7.83	5.55	4.28	1.77	2.95	4.98	8.86
1992	7.92	14.14	30.33	10.54	6.02	4.96	3.37	4.11	3.81	8.46	4.82	9.35
1993	31.39	69.03	51.42	49.55	21.61	7.81	5.43	3.73	4.73	8.91	46.33	77.62
1994	71.21	185.05	102.88	64.28	19.11	7.37	5.40	3.65	3.66	8.87	10.37	12.05
1995	32.02	33.93	83.91	47.74	18.48	11.38	9.67	7.10	7.28	8.07	10.91	13.31
1996	25.30	25.63	25.26	26.18	12.30	7.94	6.55	5.98	5.92	5.92	7.46	11.03
1997	18.81	29.73	27.72	14.39	9.29	6.41	5.87	5.46	4.10	5.51	8.47	8.82
1998	32.82	71.16	53.32	21.55	7.81	4.74	4.43	3.47	3.19	3.99	5.35	9.58
1999	14.41	52.54	47.81	18.87	10.33	6.58	5.61	4.16	4.02	5.21	4.65	10.74

9.3 ANEXO 3

CAUDALES GENERADOS PARA CADA ZONA DE LA CUENCA (m3/s) ZONA A

AÑO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	promedio
1996			0.31	5.92	16.73	4.98	2.14	1.17	0.86	4.74	5.82	8.39	5.1
1997	5.75	11.48	20.41	8.27	6.79	3.13	1.48	0.98	1.60	1.77	8.74	17.25	7.3
1998	18.18	15.31	33.48	19.44	11.08	2.70	1.85	1.22	0.87	1.19	12.79	16.30	11.2
1999	10.56	19.07	31.77	21.28	11.45	4.34	3.15	1.84	1.15	8.36	9.79	15.11	11.5
2000	17.02	26.69	22.35	22.92	7.75	4.48	2.16	1.50	3.04	3.14	12.48	6.56	10.8
2001	19.60	27.54	22.76	25.01	10.91	6.69	2.76	4.10	3.00	2.58	9.82	15.38	12.5
2002	23.97	6.44	24.46	22.97	11.95	7.45	2.70	6.13	2.10	4.10	18.18	15.22	12.1
2003	18.67	15.57	19.60	27.28	16.61	4.30	3.71	2.24	2.94	4.03	4.90	11.85	11.0
2004	21.00	10.83	23.31	8.57	9.20	5.55	3.64	3.55	3.41	14.70	13.79	17.87	11.3
2005	20.41	14.81	23.06	23.64	7.27	3.47	1.44	1.21	1.30	3.59	9.19	13.46	10.2
2006	11.52	13.52	16.94	21.83	16.62	2.34	4.86	1.82	1.45	7.13	19.99	20.19	11.5
2007	18.19	14.46	10.06	27.55	12.96	9.19	2.72	3.86	2.00	3.42	10.95	14.94	10.9
2008	13.96	19.92	16.52	8.82	7.28	4.65	3.74	2.20	1.95	6.73	14.12	12.42	9.4
2009	11.62	18.34	17.72	27.94	11.00	5.55	5.18	3.03	7.81	3.78	6.86	19.88	11.6
2010	30.38	25.71	20.38	19.57	9.96	5.75	1.51	1.22	0.93	2.00	9.98	9.00	11.4
2011	17.43	23.98	27.91	20.46	14.55	4.17	1.68	2.08	1.81	4.26	12.14	9.66	11.7
2012	27.80	20.63	27.97	13.59	16.10	7.21	3.50	1.75	1.25	3.40	14.67	17.20	12.9
2013	31.02	26.55	23.02	27.42	13.05	5.90	3.06	2.77	2.96	7.65	22.02	12.58	14.8
2014	18.34	26.73	28.33	26.12	8.18	7.74	3.26	3.50	1.62	8.30	6.82	10.36	12.4
2015	17.39	19.57	12.60	17.96	15.41	7.85	3.11	2.91	1.89	4.54	9.67	12.97	10.5
2016	16.70	11.16	23.12	18.25	11.03	3.94	2.74	1.87	2.06				10.1
	18.5	18.4	21.2	19.8	11.7	5.3	2.9	2.4	2.2	5.0	11.6	13.8	11.0

AÑO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	promedio
1996			0.00	1.53	7.59	1.60	0.92	0.69	0.60	0.74	1.16	1.73	1.7
1997	1.54	3.78	6.77	3.82	1.44	0.93	0.69	0.60	0.56	0.53	0.82	3.69	2.1
1998	5.38	10.60	15.46	8.41	2.65	1.07	0.74	0.62	0.56	0.53	0.96	5.86	4.4
1999	6.55	8.14	16.33	10.35	3.87	1.31	0.86	0.67	0.59	0.74	1.63	2.19	4.4
2000	4.55	9.50	8.94	13.54	3.76	1.29	0.82	0.66	0.63	0.60	0.83	1.10	3.9
2001	5.38	11.21	9.37	11.51	6.07	1.57	0.88	0.74	0.64	0.58	0.87	6.14	4.6
2002	10.52	2.60	5.83	12.03	3.63	1.68	1.04	0.82	0.71	0.61	3.06	5.75	4.0
2003	7.44	6.11	5.38	11.27	7.50	1.27	0.82	0.66	0.73	0.66	0.63	1.81	3.7
2004	9.11	4.09	6.66	2.71	3.16	2.18	1.02	0.75	0.63	1.49	2.93	4.87	3.3
2005	10.26	5.78	9.37	10.04	2.86	1.19	0.77	0.63	0.57	0.55	0.95	2.89	3.8
2006	3.04	6.33	5.85	8.88	6.38	1.17	0.78	0.64	0.57	0.61	1.71	6.40	3.5
2007	6.99	7.44	2.46	11.20	4.67	1.96	0.97	0.93	0.85	0.68	1.43	4.02	3.6
2008	6.53	7.77	10.15	4.48	1.84	1.22	0.81	0.66	0.58	1.41	3.54	3.18	3.5
2009	3.60	6.61	7.34	11.34	5.26	1.94	1.20	0.79	0.71	0.64	0.72	4.48	3.7
2010	11.19	12.07	9.84	9.59	5.75	2.10	0.89	0.68	0.59	0.55	0.67	1.28	4.6
2011	6.90	11.82	12.45	9.44	7.06	1.29	0.84	0.66	0.58	0.55	2.03	1.84	4.6
2012	11.29	7.35	12.44	6.32	5.96	2.58	1.04	0.76	0.63	0.57	1.93	4.45	4.6
2013	16.99	9.31	12.25	12.97	5.10	1.34	0.82	0.67	0.60	0.66	4.54	6.19	6.0
2014	11.24	9.92	14.51	12.48	3.01	2.48	1.06	0.74	0.62	1.72	1.52	1.41	5.1
2015	3.42	7.24	5.61	6.60	5.58	3.03	1.25	0.79	0.64	0.58	0.59	2.02	3.1
2016	3.94	2.45	4.11	6.47	3.19	1.27	0.81	0.65	0.58				2.6
	7.3	7.5	8.6	8.8	4.6	1.6	0.9	0.7	0.6	0.8	1.6	3.6	3.8

ZONA B

ZONA C

AÑO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	promedio
1996			0.00	0.23	3.85	2.09	1.03	0.65	0.48	0.47	0.69	1.02	1.1
1997	1.03	2.19	7.30	5.47	1.95	1.17	0.70	0.50	0.40	0.34	0.42	3.19	2.1
1998	6.08	9.91	17.20	12.74	4.42	1.48	0.80	0.56	0.43	0.36	0.85	5.15	5.0
1999	4.98	7.36	19.53	12.72	5.72	2.01	1.05	0.67	0.49	0.58	1.68	2.72	5.0
2000	5.55	11.68	10.36	15.74	4.74	1.74	0.96	0.62	0.49	0.41	0.93	1.41	4.6
2001	4.97	12.49	11.82	13.56	7.34	2.24	1.14	0.81	0.60	0.48	0.71	4.75	5.1
2002	11.06	3.79	7.40	12.31	5.56	2.30	1.15	0.96	0.68	0.56	2.97	6.68	4.6
2003	7.51	8.02	8.80	13.09	10.08	2.22	1.21	0.75	0.56	0.46	0.47	1.42	4.6
2004	9.07	5.38	8.05	3.92	3.43	1.99	1.14	0.84	0.62	1.70	3.85	6.35	3.9
2005	10.12	7.66	10.74	11.92	3.89	1.61	0.82	0.57	0.44	0.39	0.77	2.98	4.3
2006	2.94	5.41	7.48	10.55	9.18	1.62	0.94	0.63	0.47	0.49	3.04	7.32	4.2
2007	8.30	8.96	3.71	12.37	7.57	2.94	1.27	0.83	0.61	0.48	0.97	4.00	4.3
2008	5.83	9.14	9.76	5.66	2.39	1.55	0.86	0.61	0.46	0.53	1.86	3.25	3.5
2009	3.07	7.43	8.67	15.16	7.52	2.36	1.48	0.84	0.81	0.69	0.64	3.36	4.3
2010	14.38	13.84	10.24	11.09	5.90	2.19	0.94	0.62	0.47	0.38	0.60	1.34	5.2
2011	6.49	13.30	15.36	11.53	9.92	1.79	0.89	0.60	0.46	0.39	1.40	1.76	5.3
2012	11.78	9.43	15.54	8.26	6.98	3.32	1.34	0.78	0.54	0.45	1.88	4.71	5.4
2013	17.73	13.03	14.09	16.27	5.88	2.09	0.98	0.67	0.51	0.55	4.15	6.05	6.8
2014	10.00	12.86	16.25	15.55	3.99	3.06	1.27	0.79	0.55	0.72	1.07	1.75	5.7
2015	5.44	9.52	8.20	8.33	8.06	3.58	1.53	0.84	0.58	0.47	0.64	2.07	4.1
2016	4.51	3.75	6.59	8.95	3.62	1.70	0.89	0.60	0.46				3.5
	7.5	8.8	10.3	10.7	5.8	2.1	1.1	0.7	0.5	0.5	1.5	3.6	4.4

AÑO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	promedio
1996			0.00	2.68	5.94	1.45	1.06	0.95	0.92	1.18	1.37	2.23	1.8
1997	1.81	3.88	3.73	2.54	1.32	1.05	0.95	0.92	0.93	0.92	1.25	2.76	1.8
1998	3.35	10.11	10.51	6.14	1.59	1.08	0.97	0.92	0.91	0.90	1.08	4.84	3.5
1999	7.06	6.40	12.12	7.68	2.34	1.19	1.02	0.94	0.96	1.13	1.37	1.85	3.7
2000	3.15	5.12	5.75	11.08	3.09	1.34	1.06	0.98	1.08	1.06	1.04	1.07	3.0
2001	4.30	7.43	7.30	7.33	4.87	1.54	1.05	0.97	0.93	0.93	1.18	5.71	3.6
2002	8.05	2.28	2.97	9.48	2.37	1.43	1.18	1.05	1.03	0.94	2.42	4.31	3.1
2003	5.79	3.80	2.00	5.51	7.21	1.21	0.99	0.93	1.41	1.10	0.98	2.08	2.8
2004	6.34	3.45	4.30	1.97	2.75	2.39	1.17	0.98	0.93	1.78	1.84	2.56	2.5
2005	7.84	4.39	6.37	7.10	2.14	1.15	0.97	0.92	0.92	0.95	1.18	1.67	3.0
2006	2.31	5.20	3.51	5.28	3.45	1.24	1.00	0.93	0.91	0.98	1.04	3.94	2.5
2007	4.46	5.58	1.85	7.70	2.48	1.32	1.02	1.55	1.32	1.03	1.45	2.33	2.7
2008	5.65	4.79	8.88	3.67	1.52	1.10	0.97	0.93	0.91	3.28	3.05	2.28	3.1
2009	3.16	4.41	3.62	6.00	3.52	1.74	1.26	1.01	0.94	0.93	1.04	2.73	2.5
2010	6.29	9.04	7.97	7.11	5.90	2.23	1.09	0.97	0.92	0.91	0.94	1.31	3.7
2011	5.04	7.65	8.72	5.48	4.95	1.35	1.08	0.96	0.92	0.92	2.01	1.42	3.4
2012	7.44	4.56	7.79	4.99	3.74	2.48	1.14	0.99	0.93	0.91	1.85	2.50	3.3
2013	13.96	4.69	9.07	8.93	4.23	1.32	1.02	0.94	0.92	0.98	3.33	5.17	4.5
2014	10.37	5.55	10.21	8.98	2.67	1.99	1.18	0.98	0.93	2.92	1.59	1.22	4.0
2015	1.34	2.41	3.09	3.46	2.82	2.42	1.31	1.01	0.94	0.91	0.91	1.85	1.9
2016	2.18	1.71	1.23	3.07	2.95	1.27	1.02	0.94	0.91				1.7
	5.5	5.1	5.8	6.0	3.4	1.5	1.1	1.0	1.0	1.2	1.5	2.7	3.0

ZONA D

ZONA E

AÑO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	promedio
1996			0.00	4.62	8.92	1.73	1.03	0.80	0.69	1.04	1.45	2.94	2.3
1997	2.41	6.03	5.93	3.87	1.53	1.03	0.80	0.69	0.70	0.66	1.20	4.13	2.4
1998	5.08	14.66	15.67	8.93	2.01	1.07	0.83	0.71	0.65	0.61	0.91	7.35	4.9
1999	10.21	9.76	18.16	11.52	3.39	1.33	0.96	0.77	0.73	1.06	1.78	2.40	5.2
2000	4.68	8.36	9.03	16.32	4.46	1.52	1.00	0.83	0.96	0.95	0.97	1.10	4.2
2001	6.71	11.76	10.67	11.72	7.09	1.83	1.01	0.85	0.75	0.69	1.13	8.63	5.2
2002	12.02	3.05	5.03	14.43	3.36	1.76	1.24	0.96	0.89	0.74	3.36	6.57	4.5
2003	8.83	5.77	3.05	9.43	10.18	1.31	0.89	0.74	1.35	1.03	0.83	2.53	3.8
2004	10.08	4.77	6.71	2.79	4.09	3.44	1.24	0.88	0.73	2.01	2.52	4.20	3.6
2005	12.16	6.39	9.84	10.88	2.93	1.23	0.86	0.73	0.67	0.69	1.11	2.36	4.2
2006	3.47	8.14	5.32	8.65	5.64	1.36	0.90	0.75	0.67	0.73	0.93	6.30	3.6
2007	7.03	8.51	2.37	11.85	3.89	1.68	1.00	1.58	1.39	0.94	1.77	3.81	3.8
2008	8.73	7.77	13.33	5.33	2.00	1.22	0.89	0.75	0.67	4.15	4.54	3.44	4.4
2009	4.89	6.79	6.15	10.09	5.31	2.34	1.44	0.94	0.79	0.72	0.89	4.44	3.7
2010	10.46	13.59	11.79	10.69	8.31	2.96	1.09	0.83	0.71	0.65	0.69	1.34	5.3
2011	7.94	11.76	13.49	8.78	7.57	1.55	1.06	0.81	0.70	0.68	2.71	1.85	4.9
2012	12.00	6.97	12.20	7.30	5.99	3.31	1.20	0.90	0.75	0.67	2.21	4.16	4.8
2013	20.91	7.31	13.87	13.41	6.16	1.49	0.94	0.78	0.70	0.78	4.97	7.83	6.6
2014	15.56	8.48	15.83	13.46	3.62	2.78	1.26	0.87	0.73	3.78	1.95	1.40	5.8
2015	1.72	4.58	4.78	5.58	4.59	3.57	1.49	0.93	0.76	0.68	0.65	2.25	2.6
2016	3.32	2.25	1.65	5.22	4.16	1.42	0.94	0.76	0.68				2.3
	8.4	7.8	8.8	9.3	5.0	1.9	1.1	0.9	0.8	1.2	1.8	4.0	4.2