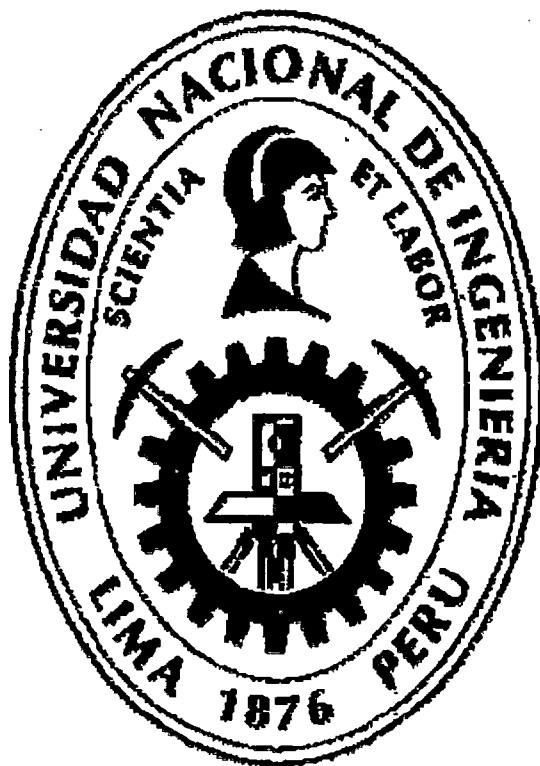


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**IMPLEMENTACIÓN DE REDES NEURONALES EN EL
MODELO DE GENERACIÓN DE CAUDALES DE SCHOLZ
APLICADO EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS DEL PERÚ**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

JUAN CARLOS TICONA GUTIERREZ

Lima – Perú

2013

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

Dedico este trabajo a mi familia y a los amigos, que siempre confían en que puedo llegar más lejos.

También dedico este trabajo a mis alumnos, para que sepan que nada es imposible de realizar, sigan sus sueños.

ÍNDICE

RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS.....	5
LISTA DE SÍMBOLO Y SIGLAS.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	10
1.1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES NEURONALES	10
1.1.1. DEFINICIÓN	10
1.1.2. BREVE HISTORIA.....	10
1.1.3. APLICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES NEURONALES 11	
1.2. FUNCIONAMIENTO Y MODELOS DE REDES NEURONALES	13
1.2.1. DESCRIPCIÓN DE UNA RED NEURONAL BIOLÓGICA	13
1.2.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE UNA NEURONA ARTIFICIAL.....	15
1.2.3. ARQUITECTURAS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES	16
1.2.4. PROCESOS DE APRENDIZAJE DE UNA RNA.....	20
1.2.5. APRENDIZAJE POR CORRECCIÓN DE ERROR	22
CAPITULO II: BASE TEÓRICA DEL MODELO DE SCHOLZ.....	25
2.1. INTRODUCCIÓN.....	25
2.2. METODOLOGÍA DEL MODELO	25
2.2.1. ECUACIÓN GENERAL DEL BALANCE HIDROLÓGICO DEL MODELO 25	
2.2.2. PRECIPITACIÓN SOBRE LA CUENCA.....	26
2.2.3. TRATAMIENTO DE DATOS METEOROLÓGICOS	26
2.2.3.1. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN	27
2.2.4. CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA	28

2.3. GENERACIÓN DE CAUDALES MENSUALES PARA PERIODOS EXTENDIDOS	30
CAPITULO III: ELABORACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL PROGRAMA DE COMPUTADORA USANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES	32
3.1. INFORMACIÓN EMPLEADA.....	32
3.2. LOS PRIMEROS RESULTADOS	35
3.3. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED NEURAL EN EL MODELO	36
3.4. ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL.....	38
CAPITULO IV: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	44
4.1. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE LUTZ-SCHOLZ	44
4.2. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED NEURONAL....	45
4.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	46
4.3.1. CUENCA SAN GABÁN	46
4.3.2. CUENCA DEL RIO CHANCAY	53
4.3.3. CUENCA DEL RIO CALLAZAS	56
4.3.4. CUENCA DEL RIO CHILI	61
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
ANEXOS	76
BIBLIOGRAFÍA	143

RESUMEN

El modelo de Scholz, se utiliza para generar caudales en zonas donde no se tiene información, parte del concepto de Balance Hídrico a nivel mensual de una cuenca. Se estima la precipitación efectiva a partir de la precipitación total mensual, mediante unas curvas determinadas por el Bureau of Reclamation de los Estados Unidos, en función al coeficiente de escurrimiento, con estas precipitaciones efectivas y los caudales se realiza una correlación lineal múltiple para obtener los coeficientes de la ecuación característica de Scholz.

Para el estudio se toma como referencia cuatro cuencas, con información hidrométrica y pluviométrica disponible, dos de las cuales se ubican en el altiplano del sur del Perú, una cuenca pertenece a la selva sur y la última se ubica en el norte, abarca en su extensión parte de la costa.

En este trabajo se incorpora la aplicación de los principios de una RNA, con la cual se pretende mejorar el resultado obtenido inicialmente con el modelo de Scholz.

De los resultados obtenidos se concluye que la Red Neuronal mejora los caudales en época húmeda, en cuencas con precipitaciones totales mensuales por debajo de los 121 mm/mes. Por otro lado determinar ecuaciones como las presentadas por el Bureau of Reclamation de los Estados Unidos, para la realidad del país ayuda a mejorar la efectividad del uso de la red neuronal.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 2.1 Coeficientes a_i para el cálculo de la Precipitación Efectiva	31
Cuadro N° 2.2 Límite Superior para la Precipitación Efectiva (PE).....	31
Cuadro N° 3.1 Información hidrométrica disponible por cuenca	35
Cuadro N° 3.2 Estaciones pluviométricas por cuenca	36
Cuadro N° 3.3 Parametros de la ecuacion del modelo de Scholz.....	37
Cuadro N° 3.4 Coeficientes B_1 , B_2 y B_3 obtenidos en al experimentación	44
Cuadro N° 3.5 Error Cuadrático Medio.....	45
Cuadro N° 4.1 Cuenca del río San Gabán. Modelo Lutz-Scholz sin RNA.	46
Cuadro N° 4.2 Cuenca del río Chancay. Modelo Lutz-Scholz sin RNA.	46
Cuadro N° 4.3 Cuenca del río Callazas. Modelo Lutz-Scholz sin RNA.....	46
Cuadro N° 4.4 Cuenca del río Chili. Modelo Lutz-Scholz sin RNA.....	47
Cuadro N° 4.5 Cuenca del río San Gabán. Modelo Lutz-Scholz con RNA.	47
Cuadro N° 4.6 Cuenca del río Chancay. Modelo Lutz-Scholz con RNA.	47
Cuadro N° 4.7 Cuenca del río Callazas. Modelo Lutz-Scholz con RNA.....	48
Cuadro N° 4.8 Cuenca del río Chili. Modelo Lutz-Scholz con RNA.	48
Cuadro N° 4.9 Cuenca del río San Gabán. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos. Periodo húmedo	49
Cuadro N° 4.10 Cuenca del río San Gabán. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos. Periodo seco.....	50
Cuadro N° 4.11 Cuenca del río San Gabán. Variación volumétrica anual.....	51
Cuadro N° 4.12 Cuenca del río San Gabán. Modelo Lutz-Scholz con RNA.	52
Cuadro N° 4.13 Cuenca del río San Gabán. Variación de los caudales nueva serie generada respecto de los caudales Históricos Período húmedo	53
Cuadro N° 4.14 Cuenca del río San Gabán. Variación de los caudales nueva serie generada respecto de los caudales Históricos Período seco.....	53
Cuadro N° 4.15 Cuenca del río San Gabán. Variación volumétrica anual. Nueva serie generada	54
Cuadro N° 4.16 Cuenca del río Chancay. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos Periodo húmedo	55
Cuadro N° 4.17 Cuenca del río Chancay. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos. Periodo seco.....	56
Cuadro N° 4.18 Cuenca del río Chancay. Variación volumétrica anual.....	57

Cuadro N° 4.19 Cuenca del río Callazas. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos. Período húmedo	58
Cuadro N° 4.20 Cuenca del río Callazas. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos. Período seco	60
Cuadro N° 4.21 Cuenca del río Callazas. Variación volumétrica anual	61
Cuadro N° 4.22 Cuenca del río Chili. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos Período húmedo	64
Cuadro N° 4.23 Cuenca del río Chili. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos. Período seco	65
Cuadro N° 4.24 Cuenca del río Chili. Variación volumétrica anual	67
Cuadro N° 4.25 Resumen de resultados.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1 Modelo simplificado de una neurona biológica	14
Figura N° 1.2 Neurona Artificial.....	14
Figura N° 1.3 Modelo de McCulloch-Pitts de una RNA.....	15
Figura N° 1.4 Neurona con múltiples entradas	16
Figura N° 1.5 Neurona con múltiples entradas, notación abreviada	17
Figura N° 1.6 Capa de S neuronas	19
Figura N° 1.7 Capa de S neuronas con notación abreviada	19
Figura N° 1.8 Clasificación de las Redes Neuronales.....	20
Figura N° 1.9 Disposición de una red sencilla monocapa	23
Figura N° 3.1 Ubicación de cuencas a nivel departamental.....	33
Figura N° 3.2 Esquema de la red empleada en el modelo.....	37
Figura N° 3.3 Diagrama de flujo del modelo de Lutz Scholz	39
Figura N° 3.4 Diagrama de flujo del modelo de Lutz Scholz con la RNA.....	40
Figura N° 3.5 Proceso de entrenamiento de la red neuronal	41
Figura N° 4.1 Cuenca del río San Gabán. Comparación de los modelos	68
Figura N° 4.2 Cuenca del río Chancay. Comparación de los modelos	69
Figura N° 4.3 Cuenca del río Callazas. Comparación de los modelos.....	70
Figura N° 4.4 Cuenca del río Chili. Comparación de los modelos	71
Figura N° 4.5 Cuenca del río San Gabán corregido. Comparación de los modelos	72

LISTA DE SÍMBOLO Y SIGLAS

- a: Coeficiente de agotamiento por día.
- $a_0 - a_5$: Coeficientes para un polinomio de quinto grado
- a_i : Cuota del abastecimiento mensual.
- b: Relación entre el caudal del mes actual y el anterior.
- c' : Coeficiente para la conversión del tiempo.
- f, g: Funciones.
- g_i : Cuota de gasto mensual de la retención.
- l, j: Índices.
- m: Número de meses de la estación seca.
- n: Número de valores.
- r: coeficiente de regresión.
- s: Desviación estándar.
- t: índice del tiempo.
- t: variable aleatoria normal ($t = 0$; $S_t = 1$)
- t: Valor de límite en el test de Student.
- \bar{x} : Promedio de valores x.
- A: lámina mensual de abastecimiento de la retención.
- B_i : Coeficientes en la ecuación de regresión.
- C: Coeficiente de escurrimiento anual observado.
- CM: Caudal mensual en mm/mes.
- D: déficit de escurrimiento observado.
- F: Valor límite en el test de Fisher.
- P: Precipitación por lo general, precipitación anual total.
- P_i : Precipitación total del mes i.
- PE: Precipitación efectiva.
- Q: Caudal (m^3/s).
- S: Desviación de los residuos.

INTRODUCCIÓN

En el Perú, en la década de los 80, el experto Lutz Scholz desarrolló el modelo matemático "Transformación de Precipitación en Descarga" para el Ministerio de Agricultura, a través del Plan Meris II, para cuencas de la sierra peruana. Éste modelo presenta una serie de expresiones empíricas que en teoría permiten estimar los valores de los caudales a escala mensual en cuencas que carecen de información hidrométrica, en la actualidad este modelo es usado por especialistas e instituciones, como la Autoridad Nacional del Agua, para el estudio del manejo de los recursos hídricos de algunas cuencas del país, pero debido a la compleja diversidad climática del Perú, no es posible aplicar el modelo en todo el país. En la presente tesis, se pretende poder mejorar la estimación de estos caudales, mediante el uso de una herramienta matemática conocida como Red Neuronal, la cual ha tenido variadas aplicaciones en el campo de los modelos hidrológicos.

CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. Introducción a las redes neuronales

1.1.1. Definición

Las redes neuronales artificiales (RNA) son arreglos de elementos de procesamiento llamados neuronas, las cuales tratan de imitar el funcionamiento de la estructura nerviosa biológica de un cerebro humano. Estos arreglos entre neuronas, también llamados nodos, son interconectados entre sí, los cuales cooperan para formar un sistema de procesamiento en paralelo capaz de llevar a cabo algunas tareas.

Su desarrollo se basa en las siguientes reglas:

- El procesamiento de información ocurre en muchos elementos individuales llamados nodos, también denominado como unidades, células, o neuronas,
- Las señales pasan entre nodos a través de enlaces de conexión.
- Cada enlace de conexión tiene un peso asociado que representa la intensidad de la conexión.
- A cada nodo normalmente se aplica una transformación no lineal, llamado función de activación, a su entrada de la red para determinar su señal de salida.

Una red neuronal se caracteriza por su arquitectura que representa el patrón de conexión entre los nodos, su método de determinar los pesos de conexión, y la función de activación (Fausett, 1994).

1.1.2. Breve historia

El desarrollo de las redes neuronales artificiales (RNA) se inició en la década de los 50 (McCulloch y Pitts 1943), inspirado por el deseo de entender el cerebro humano y emular su funcionamiento. En 1969 Minsky-Papert publica un libro llamado "Perceptrons" en donde mostraba con pesimismo la teoría de redes neuronales, ocasionando un desinterés por el estudio de éstas.

Matemáticamente, una RNA es a menudo vista como un aproximador universal. Su capacidad de identificar una relación entre datos, hace posible que las RNA puedan ser útiles para resolver problemas complejos de gran escala tales como el reconocimiento de patrones, modelado no lineal, clasificación, asociación y etc.

A principios de los años 80, las Redes Neuronales experimentaron un resurgimiento debido al esfuerzo de Hopfield (1982). Un gran crecimiento en el interés de este mecanismo computacional se ha producido desde que Rumelhart et al. (1986) redescubrió un marco matemático riguroso para las redes neuronales, es decir, un nuevo algoritmo de propagación. En consecuencia, las RNA han encontrado aplicaciones en áreas tan diversas como la neurofisiología, la física, la ingeniería biomédica, ingeniería eléctrica, ciencias de la computación, la acústica, la cibernética, la robótica, el procesamiento de imágenes, financiamiento, entre otros.

Desde principios de los años 90, las RNA se han utilizado con éxito en las áreas relacionadas con la hidrología tales como el modelado de precipitación-escorrentía, la previsión de flujo de corriente, el modelado de aguas subterráneas, calidad del agua, la política de gestión del agua, los pronósticos de precipitación, series hidrológicas de tiempo y operaciones de almacenamiento.

1.1.3. Aplicación y características de las redes neuronales

Las redes neuronales son buenas herramientas para atacar problemas no lineales. Sus usos se han extendido en muchas áreas en donde se requiere determinar comportamientos, patrones desconocidos, secuencias, etc. sin necesidad de conocer como lo hace, importando solo el resultado. La idoneidad de los diversos campos de aplicación de las redes neuronales es materia de arduas investigaciones, una de ellas es la que se presenta en este trabajo.

Entre los usos específicos a los cuales se puede hacer referencia se tienen:

- Bombeo de agua subterránea.
- Discriminación de señales sísmicas.

- Monitoreo de señales acústicas, sísmicas o médicas.
- Estimación de la magnitud de un movimiento sísmico.
- Usos en mapas y características geológicas.
- Alerta temprana de terremotos.
- Cambios climáticos y pronóstico del clima.
- Modelamiento de sistemas estructurales desconocidos.
- Predicción en un modelo híbrido del comportamiento de una estructura.
- Simulación de distintos niveles de daños después de un desastre.
- Predicción en la bolsa de valores.
- Usos diversos en predicción y monitoreo en plantas industriales.
- Reconocimiento óptico de caracteres.

Las redes neuronales tienen estos usos gracias a que poseen las siguientes características:

- **Adaptabilidad:** las redes neuronales pueden aprender de los datos que se les proporciona. Pueden llegar a soluciones por lo general basándose en lo que parece ser relaciones ocultas entre los datos y grupos de datos que hacen al problema de posible solución. Esta es la principal ventaja que tienen sobre los programas de cómputo comunes. Las redes neuronales no se rigen por reglas ya prescritas para dichos programas ya que elaboran sus propias reglas durante el proceso de aprendizaje.
- **Capacidad de generalizar:** las RNA tienen la capacidad de procesar datos no necesariamente parecidos a los datos que usó para el entrenamiento o aprendizaje. Además pueden manejar datos incompletos y por lo tanto pueden manejar datos con distorsiones llamados ruidos.
- **No Linealidad:** Las RNA pueden captar problemas de relaciones muy complejas a partir de los datos de entrada. Los sistemas lineales relacionan de la forma que la salida depende proporcionalmente a los valores de entrada. En cambio, en los sistemas no lineales las salidas dependen de los valores de entrada y de las relaciones de interacción que se generan. Esto es muy parecido a lo que ocurre con frecuencia en la realidad.

- **Procesamiento en Paralelo:** Las RNA son altamente paralelas. Si se implantan los programas en sistemas con procesadores en paralelo, estos son compatibles con las redes neuronales e incrementan notablemente su rendimiento debido a la naturaleza paralela de las redes neuronales.
- **Modularidad:** Una vez que la red ha sido entrenada, su tamaño y su funcionalidad se reducen al valor y estructura de sus pesos. Esto hace que sean portables y puedan ser insertados en otros sistemas de mayor tamaño. Además cuando la naturaleza del problema es similar, la red puede ser actualizada con nuevos datos y seguir manteniendo su modularidad.

1.2. Funcionamiento y modelos de redes neuronales

1.2.1. Descripción de una red neuronal biológica

El cerebro puede considerarse un sistema altamente complejo. Su unidad básica, la neurona, está masivamente distribuida con conexiones entre ellas (se calcula que hay aproximadamente 10 billones de neuronas en la corteza cerebral y 60 trillones de conexiones neuronales).

Si bien hay distintos tipos de neuronas biológicas, en la Figura N° 1.1 se muestra un esquema simplificado de un tipo particular que es muy común.

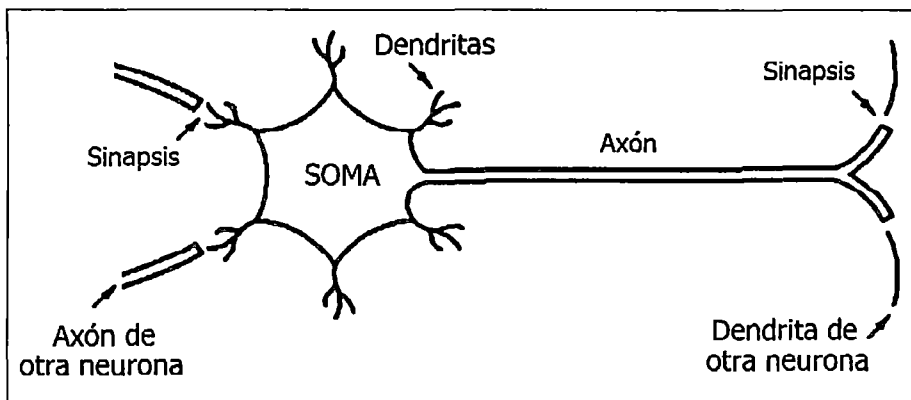
Vemos que la misma está compuesta por:

Soma o cuerpo celular: corresponde a la parte más voluminosa de la neurona. Aquí se puede observar una estructura esférica llamada núcleo. Éste contiene la información que dirige la actividad de la neurona.

Dendritas: son prolongaciones cortas que se originan del soma neuronal. Su función es recibir impulsos de otras neuronas y enviarlas hasta el soma de la neurona.

Axón: es una prolongación única y larga. En algunas ocasiones, puede medir hasta un metro de longitud. Su función es sacar el impulso desde el soma neuronal y conducirlo hasta otro lugar del sistema.

Figura N° 1.1 Modelo simplificado de una neurona biológica

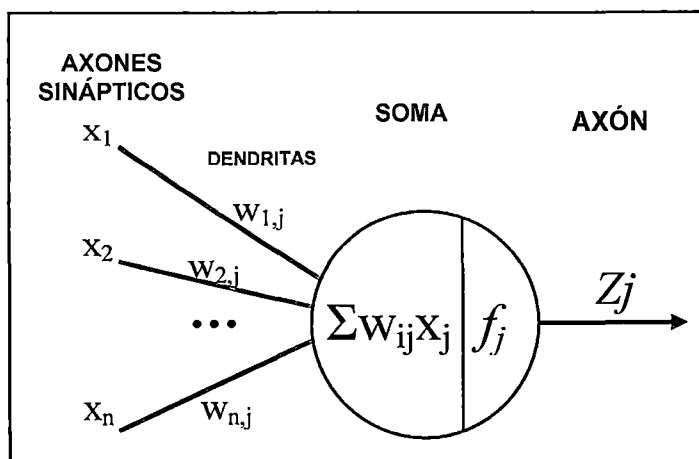


Fuente: Elaboración propia.

La función principal de las neuronas es la transmisión de los impulsos nerviosos. Estos viajan por toda la neurona comenzando por las dendritas hasta llegar a las terminaciones del axón, donde pasan a otra neurona por medio de la conexión sináptica.

La manera en que respondemos ante los estímulos del mundo exterior y nuestro aprendizaje del mismo está directamente relacionada con las conexiones neuronales del cerebro, y las RNA son un intento de emular este hecho (ver figura N°1.2).

Figura N° 1.2 Neurona Artificial



Fuente: Elaboración propia.

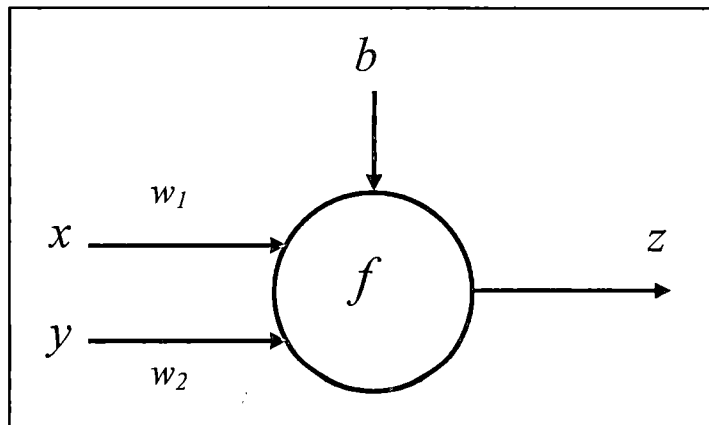
1.2.2. Descripción del modelo de una neurona artificial

El primer modelo matemático de una neurona artificial, creado con el fin de llevar a cabo tareas simples, fue presentado en el año 1943 en un trabajo conjunto entre el psiquiatra y neuroanatomía Warren McCulloch y el matemático Walter Pitts (ver figura N° 1.3).

El mismo consta de:

- Las entradas x e y , representan las señales que provienen de otras neuronas y que son capturadas por las dendritas.
- Los pesos sinápticos w_1 y w_2 son la intensidad de la sinapsis que conecta cada entrada.
- Un término aditivo b .
- Una función "f", de activación o umbral, que la neurona debe sobrepasar para activarse, la cual puede ser lineal o no lineal.
- Una salida z , que representa la salida del estímulo.

Figura N° 1.3 Modelo de McCulloch-Pitts de una RNA



Fuente: Elaboración propia

La neurona se adapta al medio circundante y aprende de él modificando el valor de sus pesos sinápticos w_1 y w_2 y su término aditivo b .

Tanto x , y y b son valores reales, y son conocidos como los parámetros libres del modelo, pues los mismos pueden ser modificados y adaptados para realizar una tarea determinada.

En este modelo, la salida neuronal Z está dada por:

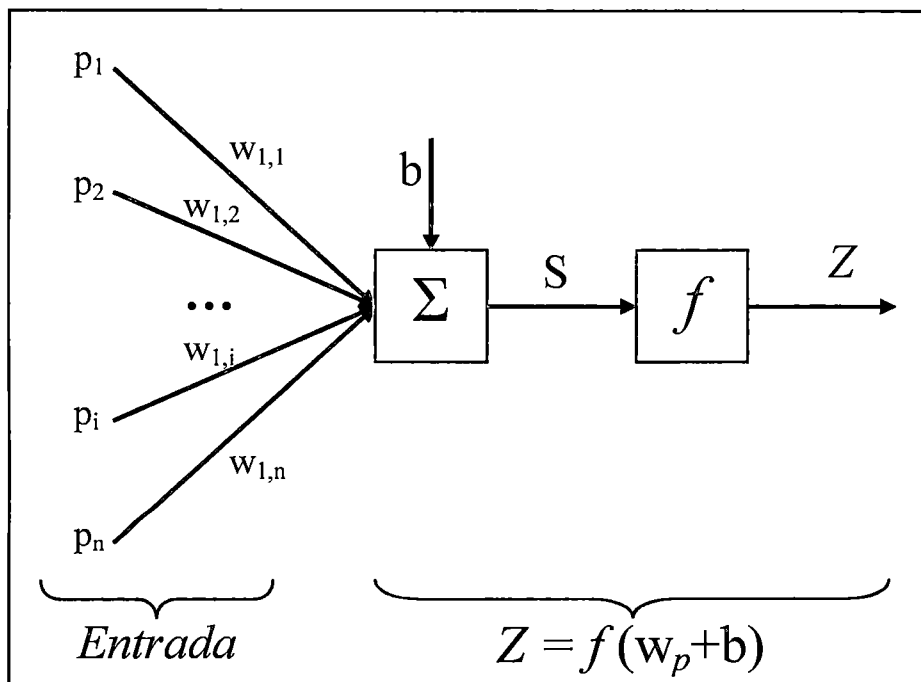
$$z = f(w_1x + w_2y + b)$$

La función de activación o de transferencia "f" es seleccionada de acuerdo a la tarea realizada por la neurona.

1.2.3. Arquitecturas de Redes Neuronales Artificiales

Típicamente una neurona tiene más de una entrada; en la figura N° 1.4 se observa una neurona con n entradas; las entradas individuales p_1, p_2, \dots, p_n son multiplicadas por los pesos correspondientes $w_{1,1}, w_{1,2}, \dots, w_{1,n}$ pertenecientes a la matriz de pesos W.

Figura N° 1.4 Neurona con múltiples entradas



Fuente: Elaboración propia

La neurona tiene una ganancia b , la cual llega al mismo sumador al cual llegan las entradas multiplicadas por los pesos, para formar la salida S .

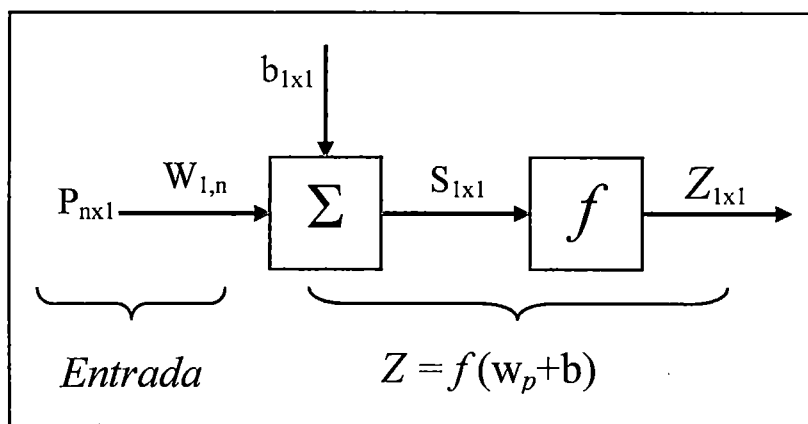
$$S = w_{1,1}x_1 + w_{1,2}x_2 + \dots + w_{1,n}x_n + b$$

Esta expresión puede ser escrita en forma matricial

$$S = W_p + b$$

Los subíndices de la matriz de pesos representan los términos involucrados en la conexión, el primer subíndice representa la neurona destino y el segundo representa la fuente de la señal que alimenta a la neurona. Por ejemplo, los índices de $w_{1,2}$ indican que este peso es la conexión desde el segundo elemento del vector de entrada a la primera neurona. Esta convención se hace más útil cuando hay más de una neurona, o cuando se tiene una red con demasiados parámetros, en este caso la notación de la figura N° 1.4 puede resultar inapropiada y se prefiere emplear la notación compacta de la figura N° 1.5.

Figura N° 1.5 Neurona con múltiples entradas, notación abreviada



Fuente: Elaboración Propia

El vector de entrada P es representado por la barra sólida vertical a la izquierda, las dimensiones de P son mostradas en la parte inferior de la variable como "n x 1" indicando que el vector de entrada es un vector fila de "n" elementos. Las entradas van a la matriz de pesos W , la cual tiene "n" columnas y sólo una fila para el caso de una sola neurona. La ganancia escalar "b" entra a la neurona. La salida de la red Z es en este caso un escalar, si la red tuviera más de una neurona Z , sería un vector.

Dentro de una red neuronal, los elementos de procesamiento se encuentran agrupados por capas, una capa es una colección de neuronas; de acuerdo a la ubicación de la capa en la RNA, ésta recibe diferentes nombres

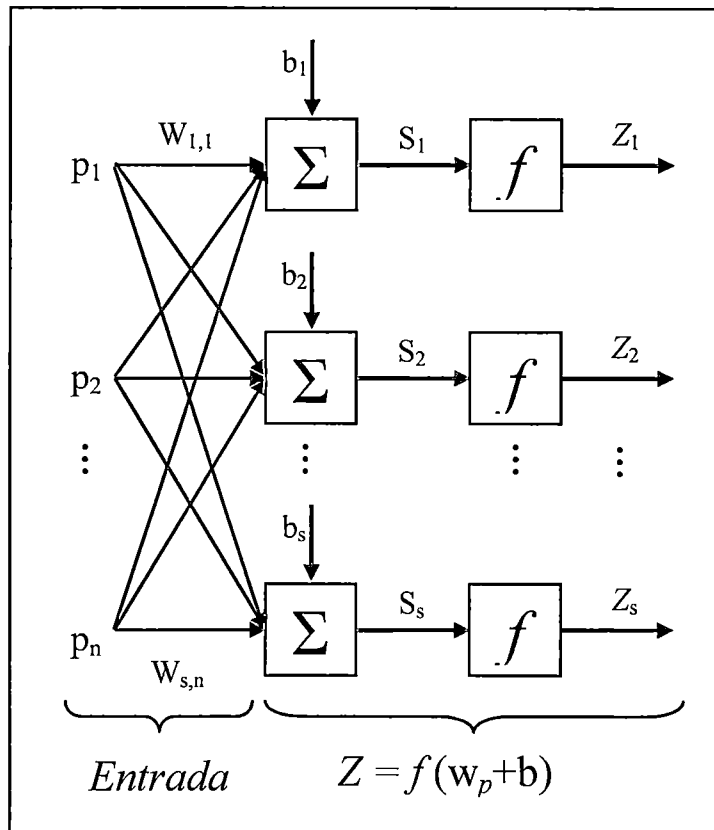
Capa de entrada: Recibe las señales de la entrada de la red, algunos autores no consideran el vector de entrada como una capa pues allí no se lleva a cabo ningún proceso, en este trabajo se seguirá este criterio.

Capas ocultas: Estas capas son aquellas que no tienen contacto con el medio exterior, sus elementos pueden tener diferentes conexiones y son éstas las que determinan las diferentes topologías de la red.

Capa de salida: Recibe la información de la capa oculta y transmite la respuesta al medio externo.

Una red de una sola capa con un número "s" de neuronas, se observa en la figura N° 1.6 en la cual, cada una de las "n" entradas es conectada a cada una de las neuronas, la matriz de pesos tiene ahora "s" filas.

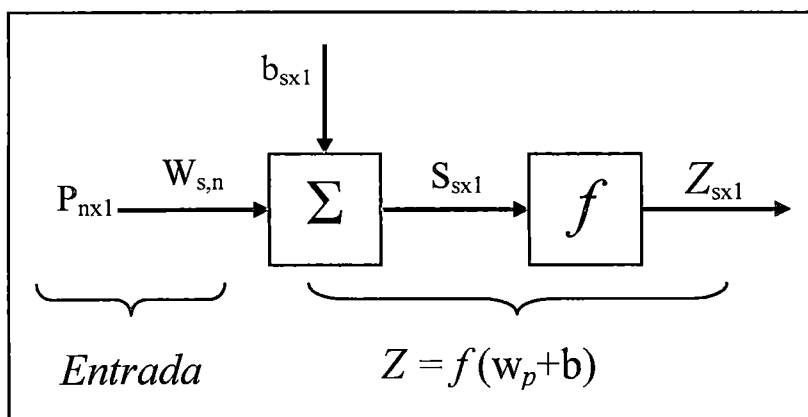
Figura N° 1.6 Capa de S neuronas



Fuente: Elaboración Propia

La capa incluye la matriz de pesos, los sumadores, el vector de ganancias, la función de transferencia y el vector de salida. Esta misma capa se observa en notación abreviada en la figura N° 1.7.

Figura N° 1.7 Capa de S neuronas con notación abreviada

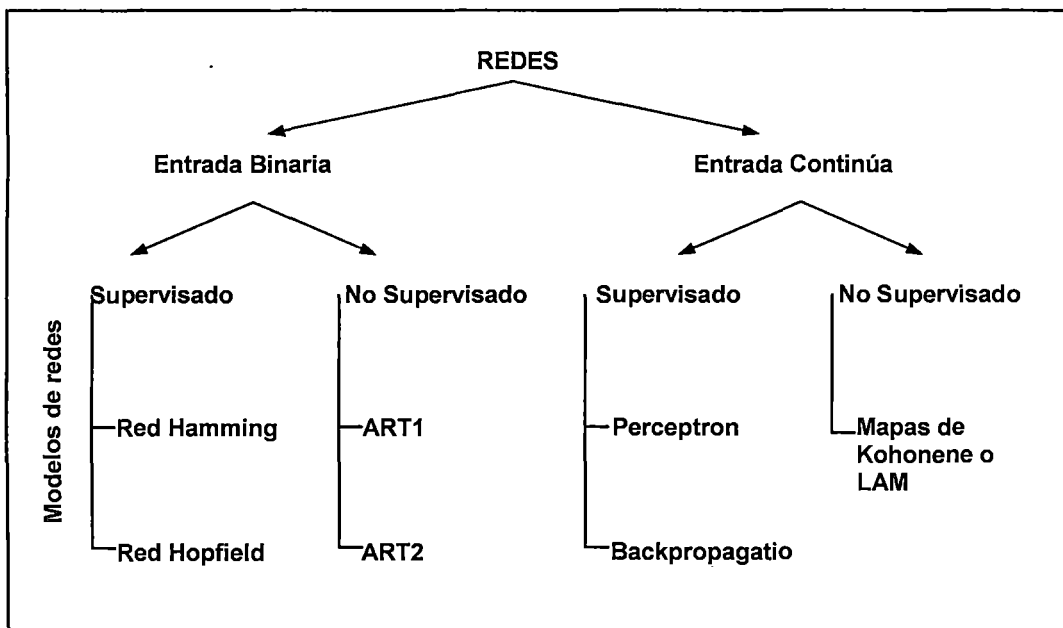


Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 1.7 se han dispuesto los símbolos de las variables de tal manera que describan las características de cada una de ellas, por ejemplo la entrada a la red es el vector P cuya longitud "n" aparece en su parte inferior, W es la matriz de pesos con dimensiones $s \times n$ expresadas debajo del símbolo que la representa dentro de la red, Z y b son vectores de longitud "s" el cual, como se ha dicho anteriormente representa el número de neuronas de la red.

En general las redes neuronales se pueden clasificar de diversas maneras, según su topología, forma de aprendizaje (supervisado o no supervisado), tipos de funciones de activación, valores de entrada (binarios o continuos); un resumen de esta clasificación se observa en la figura N° 1.8.

Figura N° 1.8 Clasificación de las Redes Neuronales



Fuente: Elaboración propia

1.2.4. Procesos de aprendizaje de una RNA

Es importante señalar que la propiedad más importante de las redes neuronales artificiales es su capacidad de aprender a partir de un conjunto de patrones de entrenamientos, es decir, es capaz de encontrar un modelo que ajuste los datos. El proceso de aprendizaje también conocido como entrenamiento de la red puede ser supervisado o no supervisado.

a. Aprendizaje Supervisado

Se asemeja al método de enseñanza tradicional con un profesor que indica y corrige los errores del alumno hasta que éste aprende la lección. Si la red utiliza un tipo de aprendizaje supervisado debemos proporcionarle parejas de patrones entrada-salida y la red neuronal aprende a asociarlos.

En terminología estadística equivale a los modelos en los que hay vectores de variables independientes y dependientes: técnicas de regresión, análisis discriminante, análisis logit, modelos de series temporales, etc. En aprendizaje automático y minería de datos, el aprendizaje supervisado es una técnica para deducir una función a partir de datos de entrenamiento. Los datos de entrenamiento consisten de pares de objetos (normalmente vectores): una componente del par son los datos de entrada y el otro, los resultados deseados. La salida de la función puede ser un valor numérico (como en los problemas de regresión) o una etiqueta de clase (como en los de clasificación).

A través del aprendizaje supervisado es la de crear una función capaz de predecir el valor correspondiente a cualquier objeto de entrada válida después de haber visto una serie de ejemplos, los datos de entrenamiento.

Para ello, tiene que generalizar a partir de los datos presentados a las situaciones no vistas previamente, cabe destacar que en otros términos consiste en entrenar la red a partir de un conjunto de datos o patrones de entrenamiento compuesto por patrones de entrada y salida.

El objetivo del algoritmo de aprendizaje es ajustar los pesos de la red w_{ij} de manera tal que la salida generada por la RNA sea lo más cercanamente posible a la verdadera salida dada una cierta entrada. Es decir, la red neuronal trata de encontrar un modelo al proceso desconocido que generó la salida y . Este aprendizaje se llama supervisado pues se conoce el patrón de salida el cual hace el papel de supervisor de la red.

b. El aprendizaje no supervisado

No hay un profesor que corrija los errores al alumno; recuerda más al auto aprendizaje. El alumno dispone del material de estudio pero nadie lo controla. Si el entrenamiento es no supervisado, únicamente debemos suministrar a la red

los datos de entrada para que extraiga los rasgos característicos esenciales. En terminología estadística equivale a los modelos en los que sólo hay vectores de variables independientes y buscan el agrupamiento de los patrones de entrada: análisis de conglomerados o clúster, escalas multidimensionales, etc.

Aprendizaje no supervisado se presenta sólo un conjunto de patrones a la RNA, y el objetivo del algoritmo de aprendizaje es ajustar los pesos de la red de manera tal que la red encuentre alguna estructura o configuración presente en los datos.

Algunas de sus aplicaciones más importantes son:

Asociadores de patrones, esto es asocia dos patrones y permite recuperar la información a pesar de errores en la capa de entrada.

Modeladores funcionales, las redes neuronales permiten, gracias a su capacidad de ajustar el error dar los valores más cercanos a una función de la que solo sabemos algunos puntos por los que pasa

1.2.5. Aprendizaje por corrección de error

El entrenamiento de una red neuronal monocapa se realiza mediante un proceso de aprendizaje, para realizar este proceso se debe inicialmente tener definida la topología de la red esto es: número de neuronas en la capa de entrada el cual depende del número de componentes del vector de entrada, cantidad de capas ocultas y número de neuronas de cada una de ellas, número de neuronas en la capa de la salida el cual depende del número de componentes del vector de salida o patrones objetivo, con base en la topología escogida se asignan valores iniciales a cada uno de los parámetros que conforma la red.

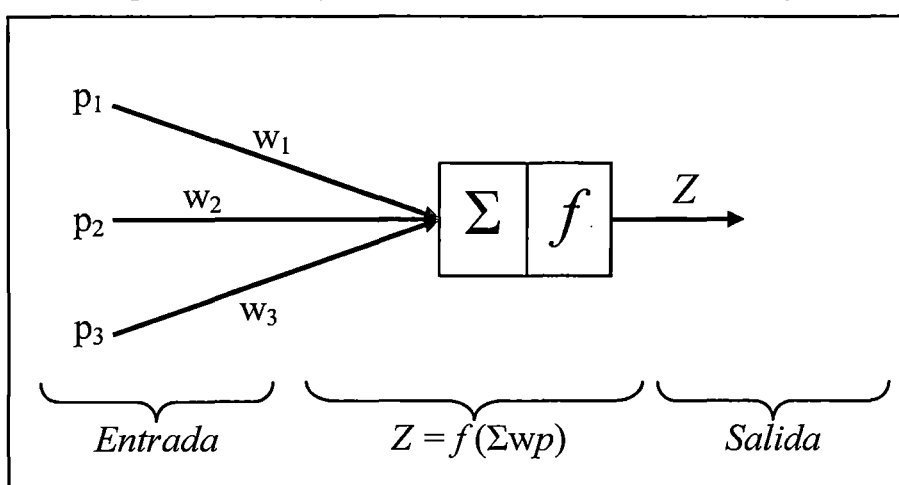
Es importante recalcar que no existe una técnica para determinar el número de capas ocultas, ni el número de neuronas que debe contener cada una de ellas para un problema específico, esta elección es determinado por la experiencia del diseñador.

Cada patrón de entrenamiento se propaga a través de la red y sus parámetros para producir una respuesta en la capa de salida, la cual se compara con los

patrones objetivo o salidas deseadas para calcular el error en el aprendizaje, este error marca el camino más adecuado para la actualización de los pesos que al final del entrenamiento producirán una respuesta satisfactoria, esto se logra minimizando el error medio cuadrático en cada iteración del proceso de aprendizaje.

La deducción matemática de este procedimiento se realizará para una red con una capa de entrada, una capa oculta y una capa de salida, como la mostrada en la figura N° 1.9.

Figura N° 1.9 Disposición de una red sencilla monocapa



Fuente: Elaboración propia

Para iniciar el entrenamiento se le presenta a la red un patrón de entrenamiento, el cual tiene 3 componentes como se describe en la ecuación siguiente:

$$P = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix}$$

La salida Z de la neurona de la capa oculta, está descrito por la ecuación:

$$Z = w_1 p_1 + w_2 p_2 + w_3 p_3$$

Conociendo el valor de la salida deseada (Y), se encuentra el error (ϵ):

$$\varepsilon = |Y - Z|$$

El criterio para minimizar el error, es distribuirlo hacia atrás en la capa de entrada, modificando de esta manera los pesos, un criterio usualmente aplicado es distribuirlo ponderadamente en función a las componentes de entrada, obteniendo así los nuevos pesos de entrada:

$$w_i^1 = w_i^0 + \varepsilon_i p_i$$

Con lo cual se obtiene la nueva salida Z de la neurona de la capa oculta, está descrito por la ecuación:

$$Z = w_1^1 p_1 + w_2^1 p_2 + w_3^1 p_3$$

Este proceso se repite de manera que se obtenga una reducción en el valor del error (ε), un proceso similar se sigue para mejorar los resultados obtenidos con el modelo de Lutz Scholz.

CAPITULO II: BASE TEÓRICA DEL MODELO DE SCHOLZ

2.1. Introducción

Este modelo hidrológico, es combinado ya que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (balance hídrico – modelo determinístico); y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (proceso markoviano – modelo estocástico). Fue desarrollado por el experto Lutz Scholz para cuencas de la sierra peruana, entre los años 1979-1980, en el marco de Cooperación Técnica de la Republica de Alemania a través del Plan Meris II.

Determinado el hecho de la ausencia de registros de caudal en la sierra peruana, el modelo se desarrolló tomando en consideración parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas, que puedan ser obtenidos a través de mediciones cartográficas y de campo. Los parámetros más importantes del modelo son los coeficientes para la determinación de la precipitación efectiva, obtenido a partir del déficit de escurrimiento.

Este modelo fue implementado con fines de pronosticar caudales a escala mensual, teniendo una utilización inicial en estudios de proyectos de riego y posteriormente extendiéndose el uso del mismo a estudios hidrológicos.

2.2. Metodología del modelo

2.2.1. Ecuación general del Balance hidrológico del modelo

Para la obtención de los parámetros de esorrentía del año promedio en la cuenca de interés, se aplica el método propuesto por Fisher denominado Balance Hídrico Mensual expresado en mm/mes, el cual tiene la siguiente forma:

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i$$

Donde:

CM_i: Caudal mensual, en mm/mes.

P_i : Precipitación total mensual, en mm/mes.

D_i = Déficit de escorrentía, en mm/mes.

G_i = Aporte del acuífero (salida), en mm/mes.

A_i = Abastecimiento del acuífero (entrada), en mm/mes.

Asumiendo que en periodos largos el aporte del acuífero y el abastecimiento del acuífero son iguales, o sea que la retención de la cuenca no cambie y que para el año promedio, entonces reemplazando $P_i - D_i$ por PE_i , la ecuación fundamental del balance hídrico por meses se puede escribir en la forma siguiente:

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

En donde:

PE_i : Precipitación efectiva mensual sobre la cuenca, en mm/mes.

2.2.2. Precipitación sobre la cuenca

La precipitación como parámetro meteorológico es muy importante en la hidrología, se origina parcialmente por las corrientes húmedas que suben a través de la evaporación a la atmósfera, donde las temperaturas predominantes son frías, lo que provoca la caída de las lluvias, por efecto del enfriamiento brusco de éste. Las lluvias entre los 3500 a 5000 msnm pueden ser de características sólidas o líquidas, usualmente a mayores alturas las precipitaciones generalmente son sólidas.

De acuerdo con la metodología usada en el Plan Meris II, para la determinación de la precipitación promedio sobre la cuenca se utilizó el método de Thiessen, las áreas de influencia correspondientes a cada estación pluviométrica empleada para cada cuenca se muestran en el Anexo B.1.

2.2.3. Tratamiento de datos meteorológicos

Basándose en los registros hidrometeorológicos disponibles, precipitación total mensual y caudal medio mensual de las estaciones ubicadas en las cuencas estudiadas, se efectúa el análisis de consistencia de la información.

La información hidrometeorológica de las cuencas empleadas en este estudio fue recopilada de diferentes tesis anteriores, en las cuales la información ya había recibido previamente el análisis que se describe a continuación.

2.2.3.1. Análisis de consistencia de la información

Para este análisis se han considerado estaciones pluviométricas, tanto dentro como fuera de la cuenca.

a. Análisis de Doble Masa

El análisis de doble masa se ha desarrollado siguiendo los siguientes pasos:

- Cálculo de los valores de precipitación total mensual y caudales medios mensuales acumulados de cada una de las estaciones, y obtención de la estación promedio.
- Luego se realizaron los gráficos de doble masa, entre los datos de precipitación mensual acumulada y de la estación promedio del grupo, contra los datos de cada estación.
- Se seleccionó la estación modelo, la cual presenta menores saltos dentro de cada grupo.
- Se realizaron los gráficos de doble masa de cada una de las estaciones contra los datos de la estación modelo. En caso de mostrar quiebres bruscos, se procedió a contrastar con otras estaciones para identificar correctamente la confiabilidad de la estación modelo en dicho período, pero no ha sido necesario hacer una corrección a la estación modelo.

b. Análisis Estadístico

El análisis de doble masa ha permitido la identificación de algunos saltos, lo que se traduce en la separación de los periodos con información confiable, de aquellos que presentan deficiencias.

El análisis estadístico es un proceso de inferencia en relación al comportamiento homogéneo de la media y varianza de los diferentes periodos de información, utilizando para ello las pruebas estadísticas "T" y "F", respectivamente.

Mediante dichas pruebas es posible establecer si existe diferencia estadística a un nivel de significación de 95% entre la media y la desviación estándar de los dos periodos de información considerados.

Para estas pruebas se establecen los parámetros estadísticos T_c y F_c , como descriptores del comportamiento comparativo entre las muestras de longitud N_1 y N_2 , de los periodos en análisis. Los valores de T_c y F_c son comparados con los valores teóricos límites esperados, obtenidos de las tablas estadísticas con una probabilidad del 95% (o un grado de significancia de 5%), con N_1 , N_2 , 2 grados de libertad para la prueba T Student, y con N_1+N_2-1 grados de libertad para la prueba del estadístico F de Fisher.

Si $|T_c| < T_t$ y $F_c < F_t$, entonces el salto en la media y desviación estándar, respectivamente, no es significativo, aun presentando quiebres en el diagrama doble masa; pero si el resultado es contrario a lo anterior, entonces sí es necesario realizar la corrección respectiva.

c. Análisis de Tendencias

Para calcular la existencia de tendencias lineales en la serie anual, se evalúa el coeficiente de correlación lineal entre la precipitación total mensual - años, a efecto de verificar si resulta significativa o no la relación.

Para esto se compara el estadístico "T" de Student para un nivel de significancia del 95% y $N-2$ grados de libertad, (siendo N el número de años de registro), contra el estadístico calculado " T_c ". Si se cumple que $T_c < T_t$, para $\alpha = 0,05$ de significación y $N-2$ grados, entonces " r " no es significativamente diferente de cero y por lo tanto no existe tendencia.

2.2.4. Cálculo de la precipitación efectiva

La precipitación efectiva se calculó para el coeficiente de escurrimiento promedio, de manera que la relación entre precipitación efectiva y total sea igual al coeficiente de escurrimiento. Para este cálculo se optó por el método del United States Bureau of Reclamation (USBR), para la determinación de la

precipitación efectiva que indica la cuota del agua de lluvias que genera el escurrimiento superficial.

Para facilitar el cálculo de la precipitación efectiva se determina un polinomio de quinto grado:

$$PE = a_0 + a_1 P + a_2 P^2 + a_3 P^3 + a_4 P^4 + a_5 P^5$$

En donde:

PE: Precipitación efectiva para esorrentía, en mm/mes.

P: Precipitación total mensual, en mm/mes.

a_i : Coeficiente del polinomio.

En el cuadro N° 2.1, se indica tres juegos de los coeficientes a_i , que permiten alcanzar cada valor C predeterminado entre 0.15 y 0.45 por interpolación.

Cuadro N° 2.1 Coeficientes a_i para el cálculo de la Precipitación

Coeficientes	Curva I	Curva II	Curva III
a_0	-0.018	-0.021	-0.028
a_1	-0.0185	0.1358	0.2756
a_2	0.001105	-0.002296	-0.004103
a_3	-1.204E-05	4.349E-05	5.534E-05
a_4	1.44E-07	-8.90E-08	1.24E-07
a_5	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

Fuente: Plan Meris II, 1980

No obstante estos polinomios tienen un límite de aplicación, en el cuadro N° 2.2, se muestra los valores límite superior de estos polinomios.

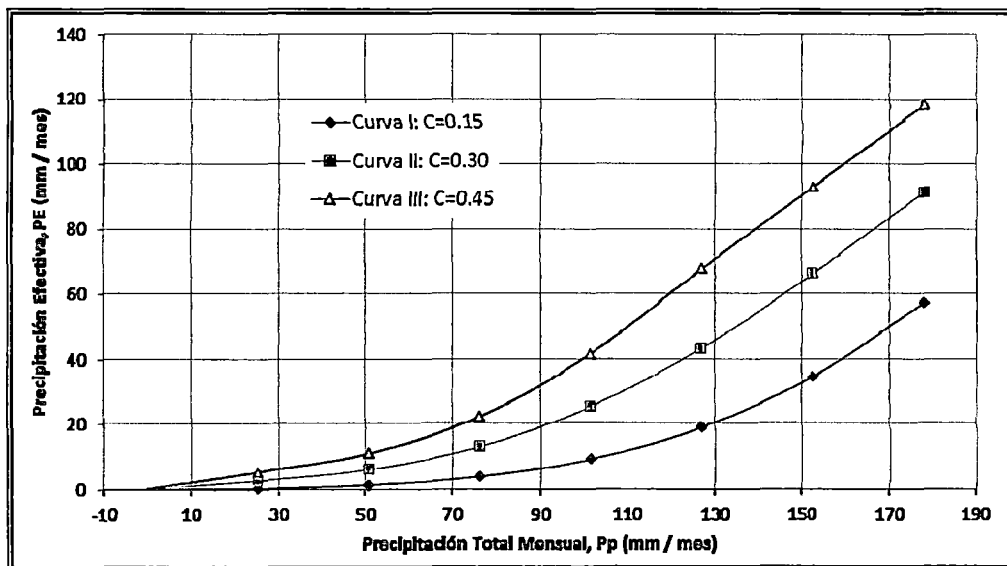
Cuadro N° 2.2 Límite Superior para la Precipitación Efectiva (PE)

Curva #	Ecuación	Rango
CURVA I	PE = P - 120.6	P >= 177.8 mm / mes
CURVA II	PE = P - 86.4	P >= 152.4 mm / mes
CURVA III	PE = P - 59.7	P >= 127.0 mm / mes

Fuente: Plan Meris II, 1980

En el gráfico N° 2.1, se puede observar la relación precipitación efectiva versus la total, dependiendo del coeficiente de escurrimiento, según el USBR.

Gráfico N° 2.1: Porción de la Precipitación Efectiva que produce Escurrimiento



Fuente: Elaboración propia

De este modo es posible llegar a la relación entre la precipitación efectiva y total de manera que el volumen anual de la precipitación efectiva sea igual al caudal anual de la cuenca respectiva.

$$C = \frac{Q}{P} = \sum_{i=1}^{12} \frac{PE_i}{P}$$

Dónde:

C: Coeficiente de escurrimiento.

Q: Caudal anual.

P: Precipitación total anual.

PE_i: Precipitación efectiva mensual

2.3. Generación de caudales mensuales para periodos extendidos

A fin de generar una serie sintética de caudales para períodos extendidos, se ha implementado un modelo estocástico que consiste en la combinación de un proceso markoviano de primer orden, según la ecuación siguiente:

$$Q_t = f(Q_{t-1})$$

Con una variable de impulso, que en este caso es la precipitación efectiva en la ecuación:

$$Q_t = g(PE_t)$$

Con la finalidad de aumentar el rango de valores generados y obtener una óptima aproximación a la realidad, se utiliza además una variable aleatoria:

$$Z = t S \sqrt{1-r^2}$$

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales es:

$$Q_t = B_1 + B_2 Q_{t-1} + B_3 PE_t + t S \sqrt{1-r^2}$$

Donde:

Q_t : Caudal del mes t

Q_{t-1} : Caudal del mes anterior

PE_t : Precipitación efectiva del mes

B_i : Parámetros encontrados por regresión.

Se calculan los parámetros B_1 , B_2 , B_3 , r y S , sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio, por un cálculo de regresión lineal múltiple teniendo a Q_t como valor dependiente y Q_{t-1} y PE_t como valores independientes.

El proceso de generación requiere de un valor inicial, el cual puede ser obtenido en una de las siguientes formas:

- Empezar el cálculo en el mes para el cual se dispone de un aforo.
- Tomar como valor inicial el caudal promedio de cualquier mes.
- Empezar con un caudal cero, calcular un año y tomar el último valor como valor Q_0 , sin considerar estos valores en el cálculo de los parámetros estadísticos del período generado.

CAPITULO III: ELABORACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL PROGRAMA DE COMPUTADORA USANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES

3.1. Información empleada

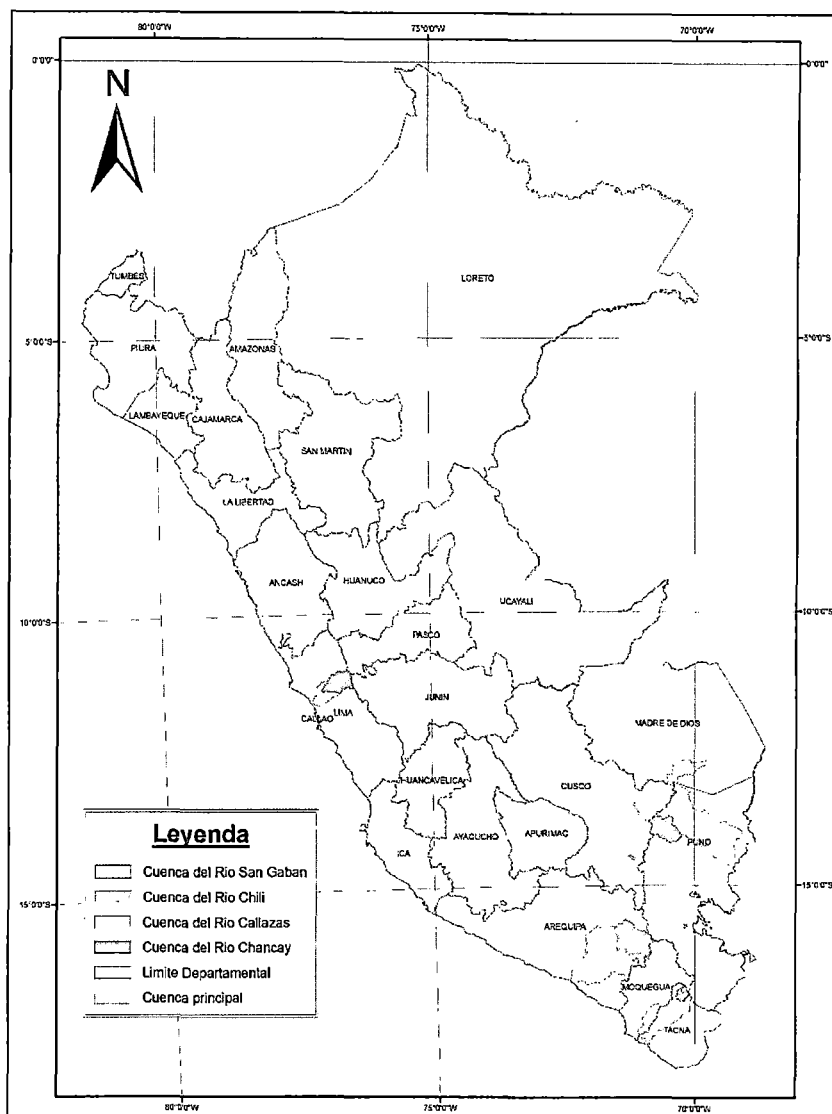
El procesamiento de la información se hizo de forma digital, para lo cual se desarrolló el programa "UNI-SCHOLZ", el cual fue elaborado en lenguaje de programación del software MATLAB, e incorpora la metodología del modelo de Scholz descrita en el Capítulo 2. La información de entrada del programa corresponde a los caudales medios mensuales registrados en campo y las precipitaciones medias para el registro de precipitaciones totales mensuales en cada estación pluviométrica.

La información de entrada del modelo procede de 4 cuencas hidrográficas, ubicadas en diferentes zonas del Perú.

- Cuenca del río San Gabán, subcuenca del río Inambari.
- Cuenca del río Chancay-Huaral.
- Cuenca del río Callazas, subcuenca del río Locumba.
- Cuenca del río Chili, subcuenca del río Quilca.

La ubicación de las cuencas estudiadas, se muestra en la Figura N° 3.1.

Figura N° 3.1 Ubicación de cuencas a nivel departamental



Fuente: Elaboración propia

El rango de información hidrométrica disponible en cada cuenca y la ubicación de sus respectivas estaciones de aforo, se muestran en el cuadro N° 3.1:

Cuadro N° 3.1 Información hidrométrica disponible por cuenca

Cuenca	Rango de registro	Estación Hidrométrica	Número de años	Latitud	Longitud	Cota (msnm)	Departamento
Río San Gabán	1997-2008	Ollachea	12	13°48'	70°29'	2690	Puno
Río Chancay	1987-1998	Santo Domingo	12	11°23'	77°3'	697	Lima
Río Callazas	1961-2008	Candarave	48	17°16'	70°15'	3415	Tacna

Cuenca	Rango de registro	Estación Hidrométrica	Número de años	Latitud	Longitud	Cota (msnm)	Departamento
Río Chili	1964-2000	Embalse Aguada Blanca	37	16°15'	71°20'	3796	Arequipa

Fuente: Elaboración propia

Para cada cuenca se determinó el valor de la precipitación media mediante el polígono de Thiessen, empleando para esto las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas pertenecientes a cada cuenca, la relación de estaciones empleadas para cada cuenca se observa en el cuadro N° 3.2.

Cuadro N° 3.2 Estaciones pluviométricas por cuenca

Cuenca	Cota mínima (msnm)	Cota máxima (msnm)	Área de cuenca (km ²)	Estación Pluviométrica	Área por polígono (km ²)
Río San Gabán	2690	5000	2171.9	Ollachea	94.7
				Corani Pueblo	1271.4
				Macusani	805.7
Río Chancay	697	5000	1862.2	Carac	367.9
				Huaros	106.4
				Huayan	60.2
				Pachamachay	78.5
				Pallac	498.2
				Pirca	218.6
				Santa Cruz	359.1
Tupe	173.4				
Río Callazas	3415	5500	448.2	Candarave	1.3
				Suches	151.3
				Tacalaya	117.5
				Vilacota	49.5
				Vizcachas	117.8
Río Chili	3796	5000	1100.0	Aguada Blanca	61.5
				El Fraile	219.1
				Imata	283.9
				Las Salinas	102.9
				Pampa de Arrieros	7.8
				Pillones	123.0
Sumbay	301.8				

Fuente: Elaboración propia

La información usada para la obtención de la precipitación media y los caudales registrados a la salida de las cuencas, proceden de las siguientes referencias bibliográficas 4, 13 y 14, los registros se presentan en los Anexos A.1 y A.2.

- Cuenca del río San Gabán, referencia bibliográfica N° 14.
- Cuenca del río Chancay-Huaral, referencia bibliográfica N° 16.
- Cuenca del río Callazas, referencia bibliográfica N° 4.
- Cuenca del río Chili, referencia bibliográfica N° 13.

3.2. Los primeros resultados

Para la generación de caudales mensuales se requiere de los parámetros presentados en la ecuación integral del modelo de Scholz:

$$Q_t = B_1 + B_2 Q_{t-1} + B_3 PE_t + t S \sqrt{1-r^2}$$

Donde:

Q_t : Caudal del mes t

Q_{t-1} : Caudal del mes anterior

PE_t : Precipitación efectiva del mes

B_i : Parámetros encontrados por regresión.

Los resultados de efectuar la regresión lineal múltiple, entre el caudal histórico promedio de cada mes (Q_t) con las precipitaciones efectivas de cada mes (PE_t) y los caudales del mes anterior (Q_{t-1}), en cada cuenca de estudio, se presentan en el Anexo A.4. El resumen de estos resultados se presenta en el cuadro N° 3.3.

Cuadro N° 3.3 Parámetros de la ecuación del modelo de Scholz

Cuenca	Área de cuenca (km ²)	Parámetros de la ecuación de Scholz			
		$Q_t = B_1 + B_2 Q_{t-1} + B_3 PE_t + t S \sqrt{1-r^2}$			
Río San Gabán	2171.9	$B_1 =$	1.45	$r^2 =$	0.985
		$B_2 =$	0.45	$S =$	4.248
		$B_3 =$	0.57	$Z =$	0.513

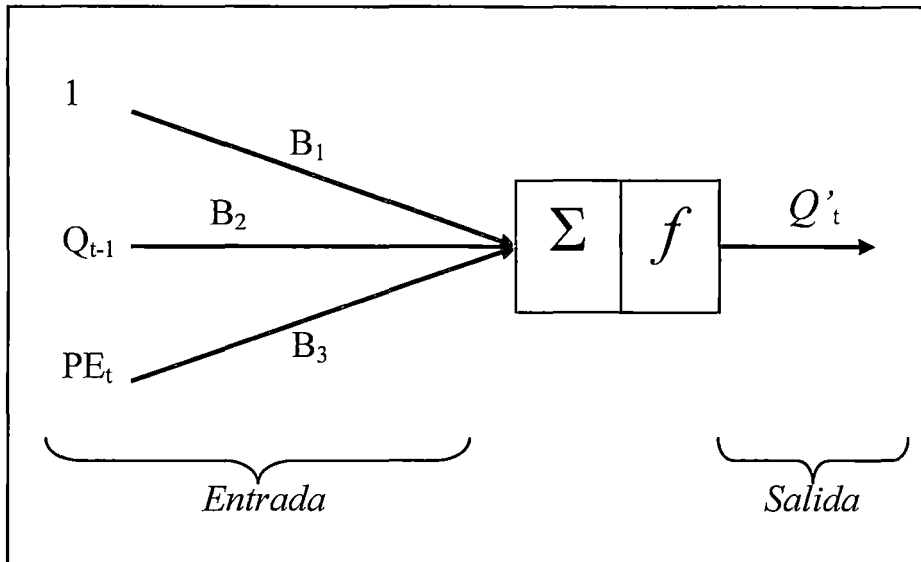
Cuenca	Área de cuenca (km ²)	Parámetros de la ecuación de Scholz	
		$Q_t = B_1 + B_2 Q_{t-1} + B_3 PE_t + t S \sqrt{1-r^2}$	
Río Chancay	1862.2	B ₁ =	2.21
		B ₂ =	0.37
		B ₃ =	0.74
Río Callazas	448.2	r ² =	0.99
		S =	2.05
		Z =	0.24
Río Chili	1100.0	B ₁ =	3.09
		B ₂ =	0.58
		B ₃ =	0.17
Río Chili	1100.0	r ² =	0.852
		S =	1.517
		Z =	0.583
Río Chili	1100.0	B ₁ =	2.66
		B ₂ =	0.39
		B ₃ =	0.46
Río Chili	1100.0	r ² =	0.998
		S =	0.113
		Z =	0.005

Fuente: Elaboración propia

3.3. Implementación de la red neural en el modelo

Como se explicó en el capítulo I, la red neuronal es un arreglo matemático que permite encontrar una relación entre términos independientes. En la aplicación del modelo de Scholz, los términos que se pretenden asociar son el caudal histórico promedio de cada mes (Q_t) con las precipitaciones efectivas de cada mes (PE_t) y los caudales del mes anterior (Q_{t-1}). Para aclarar esto se muestra en la figura N° 3.2, la cual explica la forma como se emplea la red neuronal en este modelo.

Figura Nº 3.2 Esquema de la red empleada en el modelo



Fuente: Elaboración propia

Como se observa producto de la entrada de datos a la neurona (1 , Q_{t-1} , PE_t), se obtiene un caudal de salida (Q'_t) de un mes específico, el cual inicialmente no es el caudal medio mensual deseado (Q_t), para lo cual como se explicó en el ítem 1.2.5, se determina un error inicial (ϵ), el cual se minimizará modificando los pesos iniciales (B_1 , B_2 , B_3).

Para la reducción del error inicial, se procede con la fase de entrenamiento, la cual consiste inicialmente en una modificación en el procedimiento de obtención de los pesos iniciales, descrito en el modelo de Scholz.

Esta modificación propone una reducción sustancial del error inicial, realizando el siguiente cambio:

- Para la determinación de las precipitaciones efectivas de cada mes, originalmente se calculaba el promedio de las precipitaciones totales mensuales de cada mes y luego se aplicaba el polinomio característico, para obtener las precipitaciones efectivas (PE_t).
- La modificación consiste en determinar inicialmente las precipitaciones efectivas de cada mes, posteriormente se determina el promedio de cada mes, con esto se consigue un mejor ajuste en la regresión lineal múltiple.

Luego de este proceso, se procede a generar los pesos mediante la regresión lineal múltiple, pero con el siguiente criterio:

En el método propuesto por Lutz Scholz, la regresión se hace para todos los meses del año promedio, aunque debido a que en las cuencas del Perú la variación de los caudales a nivel mensual, se manifiestan de una forma muy diferenciada, los caudales mensuales se pueden agrupar en dos grupos, los cuales tienen cierta similitud con el año hidrológico. Por lo que si al momento de efectuar la regresión lineal múltiple, se empieza a omitir algunos meses de la estación húmeda, el ajuste de los demás meses mejora, hasta el límite en que se puede realizar la regresión solo considerando a los meses con de la estación seca. Este proceso ayuda a que los caudales generados para estos meses se ajusten mejor a los caudales deseados, pero producto de no haber considerado a los meses con caudales mayores, la generación de los caudales para estos meses provoca un aumento en el error.

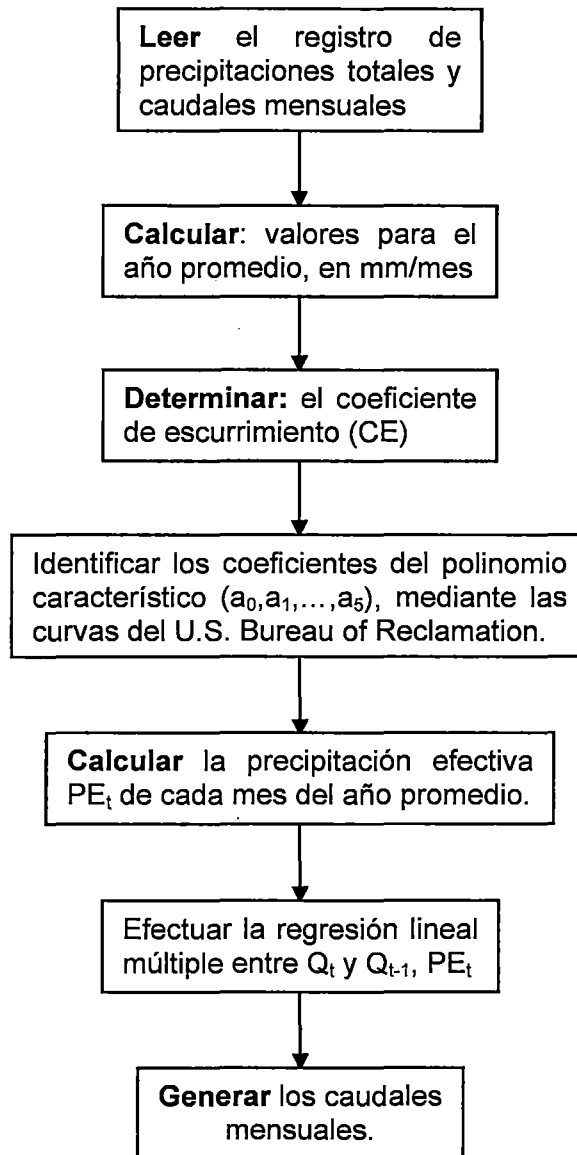
En la temporada de caudales bajos el proceso de entrenamiento es el planteado anteriormente y para la temporada de caudales mayores o máximos, se aplica el criterio de distribuir el error en cada peso (B_1 , B_2 , B_3), explicado en el ítem 1.2.5.

Los resultados de aplicar este proceso de entrenamiento se observan en el Anexo C.1.

3.4. Entrenamiento de la red neuronal

La finalidad de la implementación de la red neuronal en el modelo de Scholz es mejorar la precisión del modelo, para esto la red requiere de un adiestramiento o fase de entrenamiento, que en este caso consistirá en plantear un criterio que permita mejorar el resultado final. En la figura N° 3.3 se presenta el diagrama de flujo del programa empleando solo el modelo de Scholz.

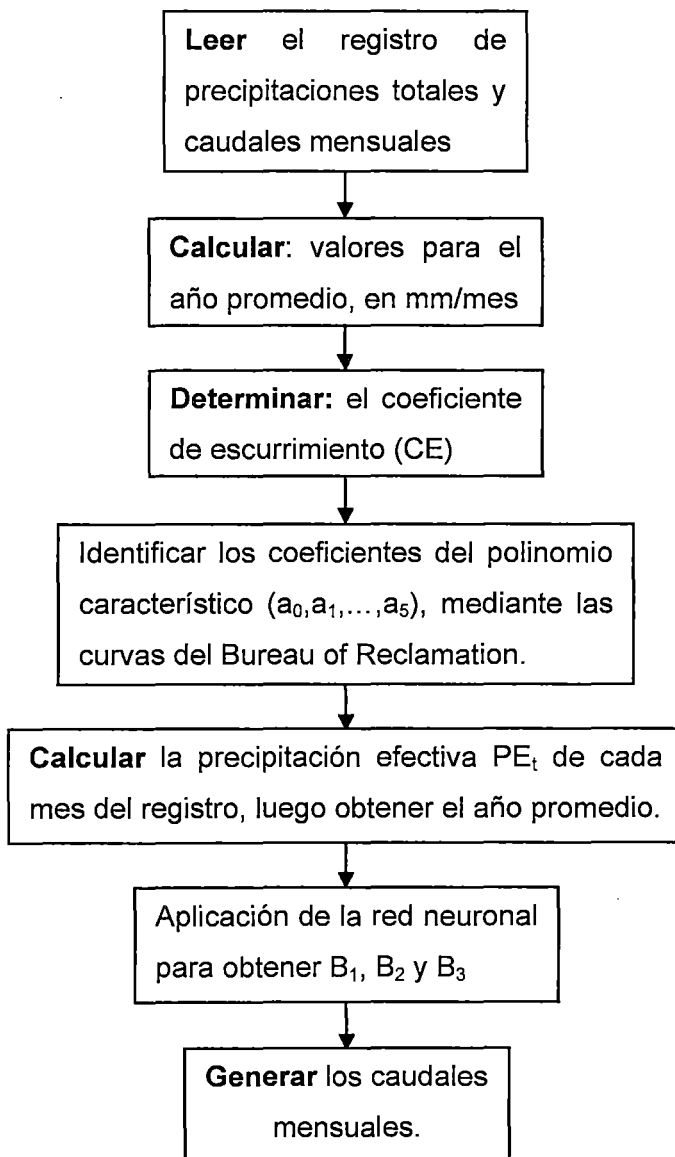
Figura N° 3.3 Diagrama de flujo del modelo de Lutz Scholz



Fuente: Elaboración propia.

En el ítem 3.3 se explicó el criterio planteado para entrenar la red neuronal, en la figura N° 3.4 se muestra de qué forma se incorpora al modelo de Scholz.

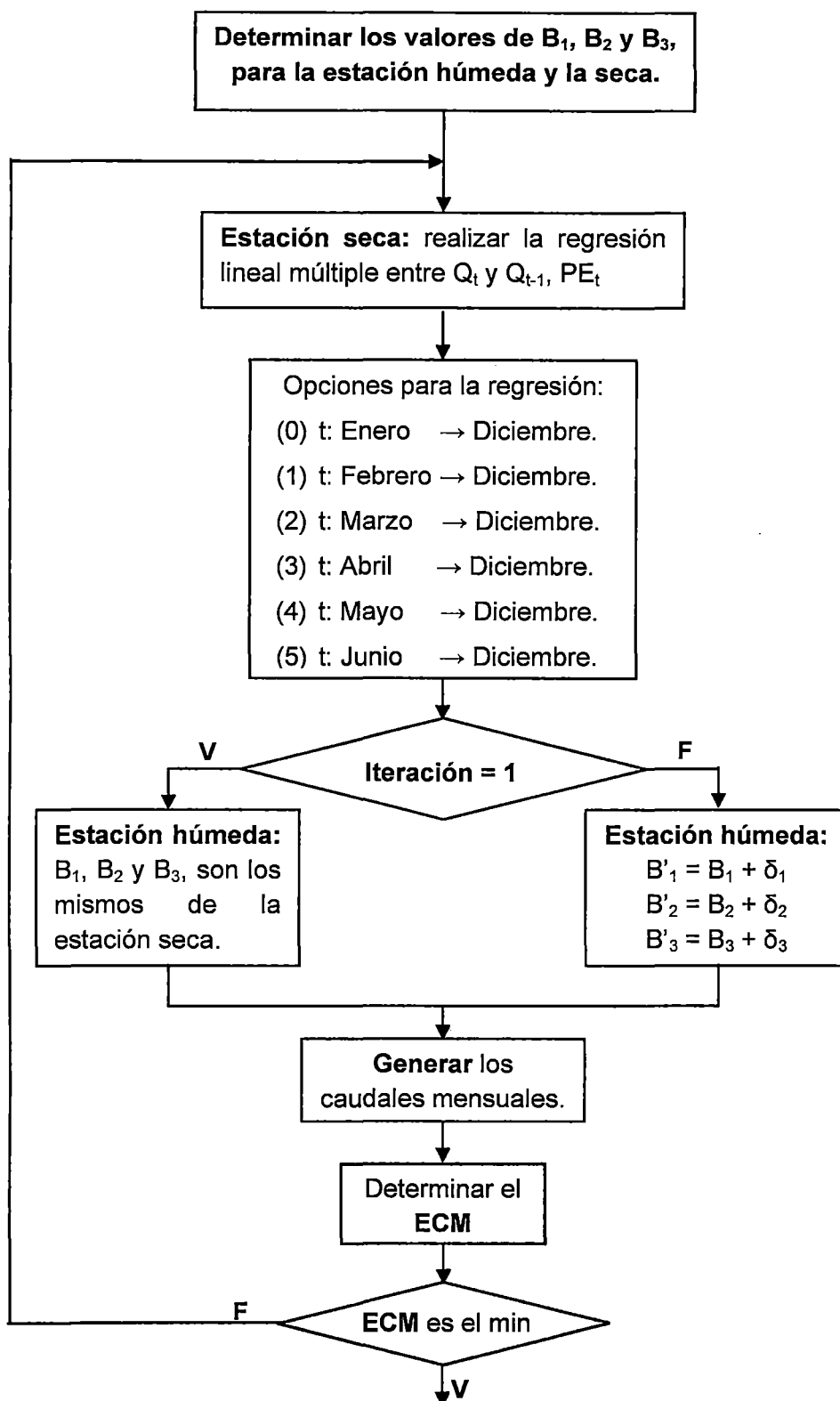
Figura N° 3.4 Diagrama de flujo del modelo de Lutz Scholz con la RNA



Fuente: Elaboración propia.

El esquema del proceso de entrenamiento de la red neuronal se muestra en la figura N° 3.5.

Figura N° 3.5 Proceso de entrenamiento de la red neuronal



Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 3.5 se debe aclarar que:

ECM: es el error cuadrático medio, entre los caudales generados y los caudales históricos, para los “n” años del registro.

$$ECM = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{his_i} - Q_{gen_i})^2}{n}$$

δ_1 , δ_2 y δ_3 : correcciones de los coeficientes de B_1 , B_2 y B_3 respectivamente, los cuales varían cada ± 0.01 , dependiendo del ECM en cada iteración.

Estación Seca: en la tesis se considera al intervalo entre abril y diciembre.

Estación Húmeda: en la tesis se considera al intervalo entre enero y marzo.

Una vez entrenada e incorporada la red neuronal al modelo, se obtienen los nuevos valores de los coeficientes B_1 , B_2 y B_3 , en el cuadro N° 3.4 y 3.5 se observa la variación de estos coeficientes con y sin la implementación de la red neuronal artificial (RNA).

Cuadro N° 3.4 Coeficientes B_1 , B_2 y B_3 obtenidos en la experimentación

Cuenca	Área de cuenca (km ²)	Coeficientes B_1 , B_2 y B_3		
		Modelo de Scholz	Modelo de Scholz + RNA	
		Para todo el año	Estación húmeda	Estación seca
Río San Gabán	2305.2	1.45	1.40	3.46
		0.45	0.44	0.39
		0.57	0.53	0.48
Río Chancay	1862.2	2.21	2.79	2.14
		0.37	0.65	0.41
		0.74	0.40	0.50
Río Callazas	448.2	3.09	2.80	5.57
		0.58	0.61	0.32
		0.17	0.15	0.10
Río Chili	1100.0	2.66	2.70	2.80
		0.39	0.40	0.39
		0.46	0.33	0.32

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro Nº 3.5 Error Cuadrático Medio

Cuenca	Área de cuenca (km ²)	Número de años del registro histórico	Error Cuadrático Medio (ECM)	
			Modelo de Scholz	Modelo de Scholz + RNA
Río San Gabán	2171.9	12	86.3	61.0
Río Chancay	1862.2	12	94.4	46.0
Río Callazas	448.2	48	0.63	0.48
Río Chili	1100.0	37	2.94	0.03

Fuente: Elaboración propia.

Estos cálculos fueron automatizados, mediante la elaboración de un programa desarrollado en Matlab, pero para facilitar el análisis del proceso de cálculo paso a paso también se desarrolló en un Excel, donde se analizaron los resultados obtenidos en cada iteración hecha con la red neuronal.

Es preciso aclarar que el uso del ECM, para el proceso de entrenamiento de la red neuronal, es solo una de las maneras que se conocen dentro de las aplicaciones existentes, se empleo está por ser la más usada en aplicaciones hidrológicas.

CAPITULO IV: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Resultados de la aplicación del modelo de Lutz-Scholz

Con la aplicación del modelo de Lutz Scholz, se determinaron los caudales mensuales de las cuencas en estudio, a continuación se presenta los cuadros del resumen de los parámetros estadísticos.

Cuadro N° 4.1 Cuenca del río San Gabán. Modelo Lutz-Scholz sin RNA.

Parámetros estadísticos de la serie generada

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	63.0	73.3	60.6	36.6	19.4	11.5	7.6	6.4	6.8	13.1	17.6	33.1
Máx.	94.8	103.6	90.4	52.1	26.3	14.8	10.7	9.3	9.3	28.2	33.4	70.5
Mín.	34.3	43.2	35.5	22.8	12.9	7.9	4.8	3.7	4.0	7.8	8.2	19.3
Desv. Est.	22.8	17.4	19.6	10.9	5.0	2.5	1.9	1.6	1.5	5.6	7.3	14.1

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.2 Cuenca del río Chancay. Modelo Lutz-Scholz sin RNA.

Parámetros estadísticos de la serie generada

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	27.3	49.3	53.9	27.8	12.6	6.7	4.3	3.6	4.2	6.3	8.0	15.0
Máx.	101.6	149.3	169.2	73.8	33.5	15.3	8.0	7.1	12.1	18.4	22.2	91.4
Mín.	11.9	12.8	18.9	12.2	7.2	5.4	4.3	3.9	4.5	4.6	5.2	7.4
Desv. Est.	25.1	40.3	40.2	16.4	6.7	2.6	1.0	0.7	1.5	3.2	4.2	15.6

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.3 Cuenca del río Callazas. Modelo Lutz-Scholz sin RNA.

Parámetros estadísticos de la serie generada

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	2.9	3.8	3.1	2.6	2.1	1.9	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.8
Máx.	5.8	8.1	5.3	3.9	2.7	2.3	2.0	1.8	1.8	1.7	2.1	2.6
Mín.	1.6	1.8	1.6	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.3	1.4	1.5
Desv. Est.	1.1	1.4	0.9	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.4 Cuenca del río Chili. Modelo Lutz-Scholz sin RNA.

Parámetros estadísticos de la serie generada

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	4.6	5.8	5.0	3.4	2.4	2.2	1.9	2.0	2.1	2.1	2.3	2.8
Máx.	10.9	14.0	10.9	5.9	3.3	2.8	2.2	3.6	2.8	2.4	5.1	6.7
Mín.	2.3	2.7	2.3	2.2	2.0	2.0	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	2.0
Desv. Est.	2.2	2.5	2.2	1.0	0.4	0.2	0.1	0.4	0.2	0.1	0.5	1.1

Fuente: Elaboración propia

4.2. Resultados de la implementación de la Red Neuronal

Una vez que la red neuronal ha sido implementada y entrenada en el modelo de Lutz Scholz, se determinaron los caudales mensuales de las cuencas en estudio, a continuación se presenta los cuadros del resumen de los parámetros estadísticos.

Cuadro N° 4.5 Cuenca del río San Gabán. Modelo Lutz-Scholz con RNA.

Parámetros estadísticos de la serie generada

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	55.3	66.1	55.8	30.4	15.8	10.1	7.8	7.3	7.9	13.1	16.3	28.3
Máx.	82.5	92.1	81.7	42.6	19.9	11.9	9.9	9.1	9.7	25.5	29.2	57.9
Mín.	31.1	40.3	33.6	20.0	11.4	7.8	5.9	5.1	5.6	8.5	8.9	17.2
Desv. Est.	19.3	14.7	16.8	8.1	3.2	1.4	1.2	1.2	1.1	4.6	5.8	11.2

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.6 Cuenca del río Chancay. Modelo Lutz-Scholz con RNA.

Parámetros estadísticos de la serie generada

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	19.9	36.0	42.4	23.2	11.4	6.6	4.3	3.5	3.8	5.2	6.4	11.1
Máx.	73.1	99.6	122.5	58.1	28.7	14.2	8.2	6.4	9.6	13.8	16.5	63.3
Mín.	11.3	13.7	18.9	11.9	7.2	5.5	4.6	4.2	4.3	4.5	4.8	6.6
Desv. Est.	15.9	24.8	27.5	12.2	5.4	2.3	1.0	0.5	1.0	2.2	2.9	10.6

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.7 Cuenca del río Callazas. Modelo Lutz-Scholz con RNA.

Parámetros estadísticos de la serie generada

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	2.5	3.3	2.8	1.9	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
Máx.	4.9	7.0	4.8	2.6	1.7	1.5	1.4	1.4	1.5	1.5	1.7	2.0
Mín.	1.4	1.5	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.4	1.3	1.4	1.3
Desv. Est.	0.9	1.2	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.8 Cuenca del río Chili. Modelo Lutz-Scholz con RNA.

Parámetros estadísticos de la serie generada

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	3.9	4.8	4.1	3.0	2.3	2.2	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.6
Máx.	8.3	10.6	8.4	4.8	2.9	2.6	2.1	3.2	2.6	2.3	4.3	5.4
Mín.	2.2	2.5	2.2	2.2	2.0	2.0	1.9	1.9	2.0	1.9	2.0	2.0
Desv. Est.	1.6	1.8	1.6	0.7	0.3	0.1	0.0	0.3	0.2	0.1	0.4	0.8

Fuente: Elaboración propia

4.3. Análisis y Discusión de los resultados

De manera global, realizando una comparación gráfica de los parámetros estadísticos, se encontró una mejoría en el ajuste entre la data histórica y la generada, como se puede observar en las gráficas del Anexo C.3. Adicionalmente se presentan las gráficas de comparación entre los caudales históricos y los generados con el modelo de Scholz y el implementado con la Red Neuronal (ver figura N° 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4).

De manera individual, se analiza los resultados de cada cuenca de manera independiente.

4.3.1. Cuenca San Gabán

Esta cuenca se encuentra ubicada en la cabecera de cuenca del río Inambari, en el departamento de Puno. Es la única de las cuatro cuencas estudiadas, que pertenece a la vertiente del Atlántico, cuyo comportamiento de formación de

lluvias es del tipo convectivo, altitudinalmente la cuenca se encuentra por encima de 2690 msnm, con precipitaciones totales mensuales que llegan a los 177.2 mm/mes, comprendidas en el mismo período de los caudales históricos.

Los caudales del registro histórico de la estación Ollachea, están comprendidos entre 4.4 a 89.5 m³/s. Además en el año más seco del registro histórico los caudales varían de 6.6 a 54.9 m³/s y en el año más húmedo los caudales varían de 7.2 a 82.1 m³/s.

Para analizar la efectividad de los resultados del modelo de Scholz y el de Red Neuronal, se hace un análisis de los caudales pico (período húmedo) y caudales críticos (período seco) de cada año de la serie histórica, como se observa en los cuadros N° 4.9 y 4.10.

Cuadro N° 4.9 Cuenca del río San Gabán. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos.

Periodo húmedo

Año	Caudal Pico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)		
		Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal	
1	1997	84.65	-5.78	2.51	-6.82	2.96
2	1998	56.25	-15.49	-7.96	-27.53	-14.16
3	1999	87.00	6.46	15.66	7.42	18.00
4	2000	54.86	-15.81	-9.55	-28.82	-17.41
5	2001	82.14	1.71	8.33	2.08	10.14
6	2002	80.57	-3.79	4.32	-4.71	5.37
7	2003	67.78	-13.70	-2.87	-20.22	-4.23
8	2004	89.51	13.10	22.55	14.64	25.19
9	2005	81.38	7.15	15.64	8.78	19.22
10	2006	68.05	6.66	14.05	9.79	20.65
11	2007	59.87	5.05	11.40	8.43	19.04
12	2008	70.98	1.56	9.95	2.20	14.01

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro anterior se observa que el modelo de Scholz en el modelamiento de los caudales máximos en el período húmedo, 8 de los 12 casos presenta diferencias de +/- 7.2 m³/s (menores que el 10% del valor histórico), con la

inclusión de la Red Neuronal únicamente se mejora los resultados del modelo de Scholz en 4 casos, pero en términos generales su implementación no es relevante pues en otros casos incrementa la diferencia relativa al valor registrado.

Cuadro N° 4.10 Cuenca del río San Gabán. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos.

Periodo seco

Año	Caudal crítico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)		
		Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal	
1	1997	5.97	-1.87	-2.03	-31.25	-33.99
2	1998	7.38	-0.74	-0.32	-10.06	-4.40
3	1999	4.43	-2.02	-2.36	-45.61	-53.16
4	2000	6.58	1.16	0.24	17.58	3.57
5	2001	7.25	-2.28	-2.43	-31.51	-33.59
6	2002	8.54	-6.34	-3.00	-74.22	-35.19
7	2003	8.76	0.52	-0.17	5.95	-1.89
8	2004	8.41	0.41	-0.23	4.89	-2.74
9	2005	7.89	3.15	1.86	39.96	23.57
10	2006	9.05	-1.00	-0.26	-11.00	-2.82
11	2007	8.36	0.67	0.48	8.01	5.79
12	2008	8.14	1.43	0.74	17.56	9.08

Fuente: Elaboración propia

En este caso el modelo de Scholz es generoso en su representatividad pues solo un caso presenta una diferencia de -6.34 m³/s respecto al valor histórico, y con la Red Neuronal mejoran los resultados obtenidos con el modelo de Scholz en 9 casos.

Dado que la efectividad de la red neuronal fue mayor en la época seca que en la época húmeda, se analiza si esto es compensado en el volumen anual generado por la cuenca.

Cuadro N° 4.11 Cuenca del río San Gabán. Variación volumétrica anual

Año		Volumen Histórico Anual (MMC)	Volumen generado (MMC)		Variación (%)	
			Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal
1	1997	885.3	1128.2	995.6	27.4	12.5
2	1998	721.1	870.1	771.1	20.7	6.9
3	1999	824.1	887.8	787.5	7.7	-4.4
4	2000	653.9	927.5	848.4	41.8	29.7
5	2001	961.5	1113.6	988.8	15.8	2.8
6	2002	956.8	1048.4	914.1	9.6	-4.5
7	2003	931.6	998.0	885.8	7.1	-4.9
8	2004	867.4	820.2	752.7	-5.4	-13.2
9	2005	769.8	703.1	653.7	-8.7	-15.1
10	2006	912.3	956.8	855.2	4.9	-6.3
11	2007	761.4	634.3	602.5	-16.7	-20.9
12	2008	771.2	829.2	756.8	7.5	-1.9
Total		10016.5	10917.1	9812.2	9.0	-2.0

Fuente: Elaboración propia

A pesar de que la red neuronal no pudo mejorar los caudales pico de la mayoría de años generados por Scholz, en los volúmenes anuales generados con los históricos, a nivel anual, la red neuronal pudo mejorar los resultados del modelo de Scholz en 8 de los 12 años, lo cual indica que a pesar de que la precisión en los picos no pudieron ser mejoradas significativamente, a nivel de volúmenes anuales se obtiene un mejor ajuste con la red neuronal que con el modelo de Scholz.

Si esta información se emplease para estimar la regulación de agua para fines de irrigación, en los 12 años se presenta un error del 2% respecto al histórico.

Como medida para mejorar esta variación, si se analiza la metodología del modelo de Scholz, presentada en el capítulo 2, las variables usadas en la generación de caudales son las precipitaciones efectivas y el caudal del mes anterior, el proceso que se usó para el cálculo de la precipitación efectiva, fue el uso de unas curvas empíricas del U.S. Bureau of Reclamation, las cuales no representan de manera real el comportamiento de retención de la cuenca.

Una forma para mejorar la precisión del modelo, es generar una ecuación que represente las precipitaciones efectivas en la zona, para esto se realizó el siguiente proceso:

A partir de la ecuación de Scholz determinada mediante el uso de la red neuronal, se despeja el valor de las precipitaciones efectivas de cada mes, del registro histórico disponible.

Graficar los valores de la precipitación efectiva versus la precipitación total, como se mencionó anteriormente, el modelo presenta las mayores deficiencias en la época húmeda, por lo que de la gráfica se analizan los valores de precipitación máximas.

Se busca el mejor ajuste, que represente mejor esta relación, si se observa en cuadro N° 2.2, el límite superior de aplicación de los polinomios del U.S. Bureau of Reclamation, es de 150 mm de precipitación total mensual, por encima del cual el comportamiento de la precipitación efectiva es lineal.

Para el caso de la cuenca de San Gabán, este límite inferior hallado por tanteo, fue 150 mm y la ecuación lineal resultante es:

$$PE_i = P_i - 80\text{mm / mes} \qquad PE_i \geq 150 \text{ mm/mes}$$

Aplicando esta restricción se vuelve a calcular los caudales, en la figura N° 4.5 se observan los nuevos resultados, así mismo se tiene los nuevos valores estadísticos de la nueva serie generada.

Cuadro N° 4.12 Cuenca del río San Gabán. Modelo Lutz-Scholz con RNA.

Parámetros estadísticos de la nueva serie generada

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	52.5	67.9	60.4	32.3	16.5	10.4	7.8	7.2	8.0	13.0	16.3	28.4
Máx.	74.6	97.5	88.6	44.5	21.0	12.3	9.9	9.5	9.7	25.2	29.3	57.6
Mín.	33.1	46.7	39.4	20.7	11.4	8.0	6.0	5.3	6.0	8.2	9.0	17.0
Desv. Est.	15.4	13.3	16.7	8.0	3.2	1.5	1.3	1.2	1.1	4.6	5.8	11.1

Fuente: Elaboración propia

Repitiendo el cálculo hecho en los cuadros N° 4.9, 4.10 y 4.11, se presentan los cuadros N° 4.13, 4.14 y 4.15 respectivamente.

Cuadro N° 4.13 Cuenca del río San Gabán. Variación de los caudales nueva serie generada respecto de los caudales Históricos

Período húmedo

Año	Caudal Pico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)	
		Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal
1 1997	84.65	-5.32	-3.93	-6.28	-4.64
2 1998	56.25	-15.37	-10.90	-27.32	-19.37
3 1999	87.00	6.58	13.39	7.56	15.39
4 2000	54.86	-15.47	0.12	-28.21	0.22
5 2001	82.14	1.75	9.72	2.13	11.84
6 2002	80.57	-3.77	0.13	-4.68	0.16
7 2003	67.78	-14.07	-4.08	-20.77	-6.03
8 2004	89.51	13.35	21.82	14.91	24.37
9 2005	81.38	7.56	12.30	9.29	15.12
10 2006	68.05	6.50	13.19	9.56	19.39
11 2007	59.87	4.93	8.14	8.24	13.60
12 2008	70.98	1.59	9.03	2.24	12.72

Fuente: Elaboración propia

El nuevo resultado de la aplicación del modelo de Scholz muestra 8 casos donde la diferencia de caudales es +/- 7.56 m³/s, y la aplicación de la red Neuronal disminuye la diferencia en 5 casos y en los 7 casos restantes lo incrementa, no siendo trascendental su aplicación.

Cuadro N° 4.14 Cuenca del río San Gabán. Variación de los caudales nueva serie generada respecto de los caudales Históricos

Período seco

Año	Caudal crítico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)	
		Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal
1 1997	5.97	-2.00	-1.96	-33.43	-32.77
2 1998	7.38	-0.65	-0.25	-8.83	-3.35
3 1999	4.43	-1.63	-2.17	-36.88	-48.99

Año		Caudal crítico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)	
			Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal
4	2000	6.58	1.34	0.09	20.31	1.44
5	2001	7.25	-2.22	-2.27	-30.64	-31.26
6	2002	8.54	-5.88	-3.40	-68.90	-39.81
7	2003	8.76	0.69	-0.45	7.86	-5.12
8	2004	8.41	0.96	0.00	11.47	-0.01
9	2005	7.89	3.75	1.67	47.56	21.22
10	2006	9.05	-1.09	-0.53	-12.08	-5.85
11	2007	8.36	0.81	0.05	9.64	0.56
12	2008	8.14	1.19	0.83	14.67	10.15

Fuente: Elaboración propia

El cuadro precedente muestra que la generación de los valores de la época seca tienen diferencias de +/- 5.88 m³/s, y la aplicación de la red neuronal mejora la generación en 10 de los 12 casos.

Finalmente se analizan los resultados de la variación volumétrica a nivel anual.

**Cuadro N° 4.15 Cuenca del río San Gabán. Variación volumétrica anual.
Nueva serie generada**

Año		Volumen Histórico Anual (MMC)	Volumen generado (MMC)		Variación (%)	
			Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal
1	1997	885.3	1129.1	1043.8	27.54	17.90
2	1998	721.1	872.2	811.2	20.95	12.49
3	1999	824.1	890.3	826.6	8.03	0.30
4	2000	653.9	931	749.1	42.38	14.56
5	2001	961.5	1115.5	887.4	16.02	-7.71
6	2002	956.8	1044.8	940.3	9.20	-1.72
7	2003	931.6	1002.3	931	7.59	-0.06
8	2004	867.4	820.2	794.6	-5.44	-8.39
9	2005	769.8	697.9	690.9	-9.34	-10.25
10	2006	912.3	959.6	894.1	5.18	-1.99
11	2007	761.4	637	652.9	-16.34	-14.25
12	2008	771.2	827.2	794	7.26	2.96
Total		10016.5	10927.3	10015.8	9.09	-0.01

A nivel anual los volúmenes generados por el modelo de Scholz, fueron mejorados en 11 de los 12 años, con variaciones menores respecto del cuadro N° 4.11.

Luego de haber corregido la ecuación que representa las precipitaciones efectivas para precipitaciones totales mayores a 150 mm/mes, se consigue una mejoría en la implementación de la Red Neuronal, pudiendo mediante un mayor estudio, reducir aún más las variaciones.

4.3.2. Cuenca del río Chancay

A diferencia de las demás cuencas analizadas en el presente estudio, la cuenca del río Chancay se encuentra ubicado por encima de los 697 msnm, geográficamente se encuentra ubicado en la zona norte del territorio peruano, hidrográficamente pertenece a la vertiente del Pacífico, con formación de lluvias del tipo orográfico, que en el registro histórico llegan a 260.3 mm por mes.

Los caudales históricos registrados por la estación Santo Domingo, están comprendidos entre 2.4 a 77.8 m³/s. Además en el año más seco del registro históricos los caudales varían de 2.4 a 9.7 m³/s y en el año más húmedo los caudales varían de 4.3 a 74.2 m³/s.

Se puede observar en la figura N° 4.2 una tendencia del modelo de Scholz a superar los valores históricos, mientras que con la red neuronal hay una tendencia a estar por debajo de estos valores, para analizar qué tan efectivo es la aplicación de la red neuronal se presentan los cuadros N° 4.16, 4.17 y 4.18, que comparan las mejorías de la red en las épocas húmedas y secas.

Cuadro N° 4.16 Cuenca del río Chancay. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos

Periodo húmedo

Año	Caudal Pico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)	
		Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal
1 1987	77.76	40.76	43.54	52.41	56.00

2	1988	27.57	-6.58	0.54	-23.88	1.94
3	1989	48.10	-38.56	-12.36	-80.16	-25.70
4	1990	17.83	2.10	4.47	11.78	25.06
5	1991	36.33	12.17	14.77	33.49	40.64
6	1992	9.70	-6.43	-5.20	-66.28	-53.63
7	1993	28.70	-47.78	-21.54	-166.50	-75.04
8	1994	65.91	-5.52	10.60	-8.38	16.09
9	1995	15.99	-12.12	-7.58	-75.81	-47.40
10	1996	59.59	0.35	8.63	0.59	14.48
11	1997	39.12	-7.97	6.32	-20.36	16.16
12	1998	74.17	-12.86	2.11	-17.33	2.84

Fuente: Elaboración propia

El modelo de Scholz presenta 6 casos donde los caudales generados difieren en +/- 7.97 m³/s y la Red Neuronal mejora los resultados del modelo de Scholz en 7 años.

Cuadro N° 4.17 Cuenca del río Chancay. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos. Periodo seco

Año	Caudal crítico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)		
		Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal	
1	1987	4.52	1.27	1.18	28.04	26.05
2	1988	4.20	-4.19	-3.14	-99.84	-74.69
3	1989	3.55	-1.92	-1.63	-54.02	-45.83
4	1990	2.92	-0.01	-0.21	-0.29	-7.26
5	1991	4.14	1.08	0.83	26.01	20.04
6	1992	2.35	-0.54	-0.57	-22.98	-24.41
7	1993	3.36	-0.05	-0.19	-1.35	-5.69
8	1994	4.49	-0.02	0.39	-0.34	8.72
9	1995	2.88	-0.90	-0.92	-31.25	-31.79
10	1996	4.11	-2.53	-1.75	-61.61	-42.61
11	1997	3.58	0.17	-0.06	4.82	-1.72
12	1998	4.29	0.05	0.04	1.11	1.05

Fuente: Elaboración propia

Los caudales generados con el modelo de Scholz presentan diferencias de +/- 4.19 m³/s, en este caso la Red Neuronal mejoró los resultados del modelo de Scholz en 7 casos...

La efectividad de la red neuronal fue mayor tanto en la época húmeda como en la época seca en la mayoría de años analizados, se analiza posteriormente si este resultado también se presenta en el volumen anual generado.

Cuadro N° 4.18 Cuenca del río Chancay. Variación volumétrica anual

Año		Volumen Histórico Anual (MMC)	Volumen generado (MMC)		Variación (%)	
			Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal
1	1987	563.84	371.62	367.03	-34.09	-34.91
2	1988	305.20	452.66	391.18	48.32	28.17
3	1989	504.83	842.08	655.78	66.81	29.90
4	1990	227.94	303.91	280.06	33.33	22.87
5	1991	324.27	288.16	280.44	-11.14	-13.52
6	1992	151.00	221.94	217.14	46.98	43.80
7	1993	404.91	605.39	452.90	49.51	11.85
8	1994	613.48	686.59	554.21	11.92	-9.66
9	1995	252.06	382.40	333.95	51.71	32.49
10	1996	571.69	651.93	539.18	14.03	-5.69
11	1997	390.82	526.62	452.78	34.75	15.85
12	1998	755.28	803.30	720.33	6.36	-4.63
Total		5065.3	6136.6	5245.0	21.1	3.5

Fuente: Elaboración propia

La Red Neuronal mejoró los resultados en 10 de los 12 años de los volúmenes anuales. La respuesta del modelo de Scholz con la Red Neuronal presenta mejorías en los tres casos analizados, por lo que su uso en esta cuenca es beneficioso, aunque esto no demuestra que su uso pueda ser aplicado a cualquier cuenca.

4.3.3. Cuenca del río Callazas

Está ubicada por encima de los 3415 msnm, en el altiplano de Tacna. Al igual que la cuenca anterior, pertenece a la vertiente del Pacífico, con lluvias del tipo orográfica, a pesar de estar altitudinalmente ubicada en la zona donde se generan las altas precipitaciones, que llegan hasta los 274.4 mm/mes, los caudales del registro histórico están comprendidos entre 1.03 a 11.1 m³/s. Además en el año más seco del registro históricos los caudales varían de 1.07 a 1.54 m³/s y en el año más húmedo los caudales varían de 1.9 a 11.1 m³/s.

Para analizar la efectividad de los resultados del modelo de Scholz y el de Red Neuronal, se hace un análisis de los caudales pico y críticos de cada año de la serie histórica, como se observa en los cuadros N° 4.19, 4.20 y 4.21.

Cuadro N° 4.19 Cuenca del río Callazas. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos.

Período húmedo

Año	Caudal Pico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)		
		Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal	
1	1961	3.45	-0.48	-1.08	-14.01	-31.37
2	1962	5.96	1.67	1.62	28.06	27.11
3	1963	11.10	6.91	6.53	62.26	58.79
4	1964	2.79	0.23	0.50	8.22	17.77
5	1965	2.12	-0.75	-0.34	-35.59	-16.12
6	1966	1.91	-0.05	0.16	-2.87	8.28
7	1967	3.11	-0.09	0.33	-2.98	10.71
8	1968	3.05	-0.66	-0.93	-21.51	-30.48
9	1969	1.87	-1.24	-0.89	-66.02	-47.47
10	1970	2.33	-0.91	-0.99	-38.87	-42.61
11	1971	3.29	-0.92	-1.07	-27.87	-32.56
12	1972	3.41	0.02	0.75	0.64	21.89
13	1973	8.41	3.03	2.23	36.01	26.56
14	1974	7.51	1.67	0.95	22.29	12.65
15	1975	8.14	4.30	4.25	52.79	52.16
16	1976	4.45	1.43	1.51	32.07	33.90
17	1977	6.74	3.23	3.33	47.93	49.34

Año		Caudal Pico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)	
			Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal
18	1978	2.91	-1.28	-1.33	-44.00	-45.70
19	1979	2.43	-0.12	0.13	-4.79	5.19
20	1980	1.80	-0.98	-1.18	-54.29	-65.59
21	1981	3.56	-1.92	-1.85	-53.93	-51.90
22	1982	2.13	-0.18	0.10	-8.49	4.51
23	1983	1.54	-0.01	0.12	-0.46	7.64
24	1984	3.42	-2.84	-3.14	-82.92	-91.67
25	1985	4.23	-1.83	-1.92	-43.41	-45.37
26	1986	5.19	1.09	0.50	20.94	9.69
27	1987	5.60	-0.26	-0.64	-4.65	-11.51
28	1988	1.95	-1.04	-1.32	-53.22	-67.60
29	1989	2.85	-1.44	-1.29	-50.50	-45.18
30	1990	1.54	-0.08	0.04	-5.28	2.36
31	1991	2.81	-1.07	-0.99	-38.27	-35.37
32	1992	1.59	-0.24	0.03	-15.36	1.83
33	1993	2.23	-1.38	-1.45	-62.13	-64.99
34	1994	5.92	1.68	1.25	28.29	21.02
35	1995	2.07	0.44	0.63	21.06	30.25
36	1996	2.41	0.25	0.59	10.25	24.38
37	1997	3.67	-1.97	-2.47	-53.78	-67.21
38	1998	1.99	-1.29	-1.28	-64.82	-64.50
39	1999	5.17	-0.64	-0.75	-12.35	-14.49
40	2000	3.39	-0.83	-1.44	-24.36	-42.36
41	2001	6.18	1.23	0.61	19.87	9.84
42	2002	4.41	1.46	1.99	33.16	45.06
43	2003	1.74	-0.26	0.00	-14.91	-0.03
44	2004	2.61	-1.11	-1.13	-42.68	-43.30
45	2005	3.12	-0.21	-0.39	-6.88	-12.46
46	2006	4.64	1.56	1.51	33.70	32.56
47	2007	2.76	-0.49	-0.27	-17.78	-9.96
48	2008	1.94	-0.40	-0.07	-20.81	-3.45

Fuente: Elaboración propia

El modelo de Scholz presenta diferencia de +/- 6.91 m³/s y la Red Neuronal mejora los resultados en 21 años.

Cuadro N° 4.20 Cuenca del río Callazas. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos.

Período seco

Año		Caudal Crítico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)	
			Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal
1	1961	3.45	-0.22	0.11	-14.07	6.77
2	1962	5.96	-0.03	0.02	-2.16	1.63
3	1963	11.10	-0.66	-0.29	-34.79	-15.31
4	1964	2.79	-0.15	0.05	-9.98	3.32
5	1965	2.12	-0.21	0.06	-14.49	4.06
6	1966	1.91	-0.43	-0.10	-32.20	-7.65
7	1967	3.11	-0.19	-0.08	-13.76	-6.15
8	1968	3.05	-0.17	-0.05	-13.05	-3.45
9	1969	1.87	-0.56	-0.14	-41.72	-10.22
10	1970	2.33	-0.54	-0.19	-42.03	-14.49
11	1971	3.29	-0.30	-0.05	-22.53	-3.52
12	1972	3.41	-0.27	0.01	-20.09	0.72
13	1973	8.41	-0.45	-0.03	-32.55	-1.94
14	1974	7.51	0.39	0.48	19.57	24.41
15	1975	8.14	0.45	0.49	23.62	25.83
16	1976	4.45	-0.37	-0.18	-30.03	-14.68
17	1977	6.74	-0.19	0.02	-13.43	1.66
18	1978	2.91	-0.24	-0.15	-18.78	-11.19
19	1979	2.43	-0.15	-0.01	-10.61	-1.01
20	1980	1.80	-0.33	-0.15	-25.12	-11.64
21	1981	3.56	-0.28	-0.07	-20.74	-5.00
22	1982	2.13	-0.31	-0.25	-27.33	-22.07
23	1983	1.54	-0.73	-0.45	-68.30	-42.42
24	1984	3.42	-0.65	-0.31	-59.97	-28.92
25	1985	4.23	-0.42	-0.15	-33.35	-11.79
26	1986	5.19	-0.24	-0.05	-17.77	-3.87
27	1987	5.60	-0.56	-0.24	-46.36	-19.74
28	1988	1.95	-0.53	-0.16	-41.33	-12.72
29	1989	2.85	-0.52	-0.20	-45.29	-17.19
30	1990	1.54	-0.70	-0.44	-57.74	-36.36
31	1991	2.81	-0.36	-0.10	-28.73	-8.22

Año		Caudal Crítico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)	
			Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal
32	1992	1.59	-0.26	-0.18	-21.33	-15.36
33	1993	2.23	-0.82	-0.34	-72.10	-29.80
34	1994	5.92	-0.05	0.14	-3.29	9.53
35	1995	2.07	-0.69	-0.32	-63.05	-28.70
36	1996	2.41	-0.66	-0.33	-55.77	-27.50
37	1997	3.67	-0.40	-0.26	-36.19	-22.99
38	1998	1.99	-0.45	-0.22	-38.83	-18.60
39	1999	5.17	-0.64	-0.39	-61.92	-37.53
40	2000	3.39	-0.45	-0.27	-39.22	-23.57
41	2001	6.18	-0.42	-0.28	-38.75	-26.06
42	2002	4.41	-0.59	-0.28	-46.05	-21.85
43	2003	1.74	-0.28	-0.12	-22.08	-9.03
44	2004	2.61	-0.33	-0.18	-27.55	-14.77
45	2005	3.12	-0.48	-0.23	-38.72	-19.02
46	2006	4.64	-0.23	-0.18	-18.66	-14.39
47	2007	2.76	-0.34	-0.21	-30.01	-18.50
48	2008	1.94	-0.28	-0.23	-24.25	-19.39

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la generación con el modelo de Scholz difieren en +/- 0.82 con el valor registrado, y la Red Neuronal mejora los resultados del modelo en 45 años.

Dado que la efectividad de la Red Neuronal fue mayor en la época seca que en la época húmeda, se analiza en cuanto afecta esto al volumen anual generado en la cuenca.

Cuadro N° 4.21 Cuenca del río Callazas. Variación volumétrica anual

Año		Volumen Histórico anual (MMC)	Volumen generado (MMC)		Variación (%)	
			Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal
1	1961	62.79	72.88	66.75	16.07	6.32
2	1962	74.66	71.41	61.51	-4.35	-17.62
3	1963	107.05	75.82	66.75	-29.18	-37.65
4	1964	60.29	59.38	50.47	-1.51	-16.28

Año	Volumen Histórico anual (MMC)	Volumen generado (MMC)		Variación (%)		
		Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal	
5	1965	52.94	56.47	49.11	6.66	-7.23
6	1966	49.37	54.75	47.13	10.89	-4.54
7	1967	53.88	66.74	53.85	23.87	-0.05
8	1968	52.35	69.84	62.57	33.40	19.51
9	1969	46.73	64.54	54.65	38.11	16.95
10	1970	49.22	65.41	58.16	32.91	18.17
11	1971	51.30	69.83	61.67	36.13	20.21
12	1972	64.64	88.98	88.86	37.65	37.47
13	1973	89.62	97.98	97.87	9.33	9.21
14	1974	98.74	83.74	79.84	-15.19	-19.14
15	1975	97.92	76.14	69.81	-22.25	-28.70
16	1976	70.14	69.76	64.67	-0.54	-7.81
17	1977	67.08	66.25	59.12	-1.24	-11.86
18	1978	51.39	66.32	61.16	29.07	19.01
19	1979	50.31	60.19	49.72	19.63	-1.18
20	1980	44.97	58.77	51.23	30.70	13.93
21	1981	52.77	75.14	64.44	42.39	22.13
22	1982	44.34	56.30	48.90	26.96	10.27
23	1983	40.11	50.68	43.99	26.35	9.67
24	1984	50.96	86.76	76.63	70.26	50.39
25	1985	64.33	81.76	68.72	27.10	6.82
26	1986	78.46	73.01	66.63	-6.95	-15.08
27	1987	61.51	79.05	72.57	28.51	17.97
28	1988	45.67	64.68	57.17	41.62	25.17
29	1989	50.26	70.50	63.77	40.29	26.89
30	1990	43.37	54.00	47.41	24.50	9.31
31	1991	53.68	75.64	66.70	40.91	24.25
32	1992	44.28	51.19	45.24	15.61	2.17
33	1993	43.81	62.54	59.46	42.78	35.73
34	1994	65.61	69.10	63.60	5.32	-3.07
35	1995	48.64	56.44	48.95	16.02	0.62
36	1996	47.56	60.29	54.90	26.77	15.44
37	1997	52.24	77.80	71.84	48.94	37.53
38	1998	44.51	64.39	58.77	44.67	32.05
39	1999	57.36	83.32	71.42	45.27	24.52

Año		Volumen Histórico anual (MMC)	Volumen generado (MMC)		Variación (%)	
			Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal
40	2000	50.24	70.64	66.02	40.61	31.41
41	2001	68.39	84.48	76.79	23.52	12.28
42	2002	68.22	69.00	61.90	1.13	-9.27
43	2003	45.47	53.33	46.31	17.30	1.86
44	2004	45.91	65.71	59.88	43.12	30.42
45	2005	46.65	56.16	54.33	20.39	16.48
46	2006	60.39	60.98	53.64	0.96	-11.18
47	2007	45.19	66.54	60.29	47.22	33.40
48	2008	40.77	54.43	47.86	33.52	17.39
Total		2756.1	3269.1	2933.0	18.6	6.4

Fuente: Elaboración propia

A pesar de que la red neuronal no pudo mejorar los caudales pico de la mayoría de años generados por Scholz, en los volúmenes anuales generados con los históricos, a nivel anual, la red neuronal pudo mejorar los resultados del modelo de Scholz en 37 de los 48 años, lo cual indica que a pesar de que la precisión en los picos no pudieron ser mejoradas significativamente, a nivel anual estos se compensan generando un mejor ajuste con la red neuronal que con el modelo de Scholz.

4.3.4. Cuenca del río Chili

Ubicado en la zona sur al igual que la cuenca de Callazas, se encuentra por encima de los 3796 msnm. Está localiza por encima de los 3796 msnm, en el departamento de Arequipa y al igual que la cuenca anterior, pertenece a la vertiente del Pacífico, con lluvias del tipo orográfica que en el registro histórico llegan a los 120.72 mm por mes, los caudales del registro histórico están comprendidos entre 1.7 a 10.6 m³/s. Además en el año más seco del registro históricos los caudales varían de 1.8 a 2.5 m³/s y en el año más húmedo los caudales varían de 2.0 a 10.6 m³/s.

Además de analizar los cuadros estadísticos, en la evaluación de los resultados del modelo de Scholz y el de Red Neuronal, se hace un análisis de los caudales

pico y críticos de cada año de la serie histórica, como se observa en los cuadros N° 4.22, 4.23 y 4.24.

Cuadro N° 4.22 Cuenca del río Chili. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos

Período húmedo

Año	Caudal Pico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)		
		Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal	
1	1964	3.27	-0.36	0.10	-10.98	2.95
2	1965	3.42	-0.48	-0.03	-13.97	-0.95
3	1966	2.95	-0.39	-0.09	-13.28	-2.98
4	1967	8.42	-2.25	0.24	-26.75	2.87
5	1968	6.15	-1.50	0.17	-24.39	2.80
6	1969	3.32	-0.57	-0.11	-17.18	-3.25
7	1970	3.53	-0.46	0.01	-13.13	0.34
8	1971	4.01	-0.43	0.17	-10.76	4.33
9	1972	10.60	-3.37	0.05	-31.76	0.51
10	1973	4.99	-1.07	0.01	-21.45	0.26
11	1974	6.49	-1.40	0.34	-21.62	5.29
12	1975	6.25	-1.48	0.15	-23.67	2.40
13	1976	5.35	-1.56	-0.24	-29.10	-4.57
14	1977	4.42	-0.82	0.05	-18.46	1.04
15	1978	3.24	-0.38	0.07	-11.84	2.19
16	1979	4.35	-0.78	0.12	-17.86	2.83
17	1980	3.35	-0.43	0.06	-12.80	1.87
18	1981	7.19	-1.95	0.07	-27.13	1.01
19	1982	4.30	-0.44	0.26	-10.32	6.11
20	1983	3.11	-0.36	-0.02	-11.64	-0.79
21	1984	7.23	-2.02	0.03	-27.95	0.40
22	1985	7.28	-1.70	0.25	-23.41	3.38
23	1986	6.07	-3.18	-1.10	-52.31	-18.05
24	1987	3.70	-2.36	-1.24	-63.72	-33.63
25	1988	5.44	-1.13	0.21	-20.85	3.95
26	1989	4.51	-2.89	-1.37	-64.00	-30.46
27	1990	3.67	-0.51	0.12	-13.90	3.26
28	1991	6.16	-1.59	0.07	-25.82	1.21

Año	Caudal Pico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)		
		Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal	
29	1992	2.51	0.07	0.18	2.83	7.11
30	1993	7.65	-2.01	0.26	-26.29	3.44
31	1994	8.41	-2.45	0.18	-29.18	2.14
32	1995	5.67	-1.33	0.13	-23.41	2.26
33	1996	5.34	-0.97	0.22	-18.08	4.11
34	1997	5.30	-0.88	0.24	-16.65	4.47
35	1998	4.53	-0.87	0.12	-19.17	2.66
36	1999	8.48	-2.46	0.13	-29.03	1.51
37	2000	5.84	-1.15	0.21	-19.73	3.68

Fuente: Elaboración propia

El modelo de Scholz permite la generación de caudales máximos que difieren +/- 3.37 m³/s del valor histórico, y la Red Neuronal mejor los resultados del modelo de Scholz en 36 casos.

Cuadro N° 4.23 Cuenca del río Chili. Variación de los caudales Generados respecto de los caudales Históricos.

Período seco

Año	Caudal crítico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)		
		Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal	
1	1964	1.79	-0.05	-0.12	-3.00	-6.76
2	1965	1.78	-0.11	-0.16	-6.10	-9.03
3	1966	1.77	-0.11	-0.17	-6.19	-9.34
4	1967	1.85	-0.07	-0.11	-3.87	-6.08
5	1968	1.91	-0.07	-0.10	-3.81	-5.10
6	1969	1.80	-0.11	-0.16	-6.19	-8.81
7	1970	1.85	-0.06	-0.11	-3.14	-5.68
8	1971	1.78	-0.09	-0.14	-4.84	-8.10
9	1972	1.97	-0.08	-0.10	-3.83	-5.10
10	1973	1.90	-0.11	-0.12	-5.53	-6.51
11	1974	2.01	-0.12	-0.10	-6.22	-5.12
12	1975	1.76	-0.15	-0.20	-8.62	-11.13
13	1976	1.98	0.03	0.00	1.51	-0.17

Año		Caudal crítico Histórico (m ³ /s)	Variación (m ³ /s)		Variación (%)	
			Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal
14	1977	1.86	0.03	-0.04	1.86	-1.94
15	1978	1.86	-0.01	-0.07	-0.50	-3.67
16	1979	1.75	-0.13	-0.18	-7.42	-10.36
17	1980	1.84	0.03	-0.05	1.36	-2.59
18	1981	1.79	-0.11	-0.16	-5.90	-8.85
19	1982	1.73	-0.12	-0.18	-6.83	-10.59
20	1983	1.95	0.01	-0.03	0.67	-1.35
21	1984	2.11	-0.19	-0.12	-8.79	-5.63
22	1985	1.97	0.08	0.03	4.02	1.41
23	1986	1.85	-0.01	-0.07	-0.78	-3.93
24	1987	1.80	-0.08	-0.14	-4.58	-7.58
25	1988	1.90	-0.14	-0.17	-7.53	-9.09
26	1989	1.79	-0.12	-0.17	-6.88	-9.34
27	1990	1.84	-0.12	-0.15	-6.47	-8.23
28	1991	1.97	0.03	0.00	1.66	-0.15
29	1992	1.83	-0.13	-0.16	-7.07	-8.82
30	1993	1.99	0.11	0.05	5.33	2.50
31	1994	1.97	0.08	0.03	3.83	1.46
32	1995	2.03	-0.21	-0.18	-10.58	-8.76
33	1996	1.94	0.08	0.02	4.28	1.09
34	1997	1.89	-0.15	-0.18	-7.75	-9.32
35	1998	1.87	-0.12	-0.17	-6.54	-8.85
36	1999	2.11	0.05	0.05	2.54	2.34
37	2000	1.99	-0.19	-0.18	-9.42	-8.88

Fuente: Elaboración propia

La diferencia relativa de los caudales generados con el modelo de Scholz es +/- 0.21 m³/s, y en este caso la Red Neuronal mejoró los resultados del modelo de Scholz únicamente en 11 años.

Dado que la efectividad de la red neuronal fue mayor en la época húmeda que en la época seca, se analiza en cuanto afecta esto al volumen anual generado.

Cuadro N° 4.24 Cuenca del río Chili. Variación volumétrica anual

Año		Volumen Histórico Anual (MMC)	Volumen generado (MMC)		Variación (%)	
			Scholz	Red Neuronal	Scholz	Red Neuronal
1	1964	75.06	79.03	75.81	5.28	0.99
2	1965	70.26	75.41	73.07	7.33	4.00
3	1966	70.42	74.12	71.96	5.26	2.18
4	1967	102.77	117.47	102.60	14.30	-0.17
5	1968	96.69	106.20	94.75	9.85	-2.00
6	1969	74.13	78.11	74.81	5.36	0.92
7	1970	75.44	80.16	76.31	6.26	1.16
8	1971	76.67	80.63	76.70	5.17	0.04
9	1972	125.13	146.98	123.61	17.46	-1.21
10	1973	85.64	94.86	86.73	10.77	1.27
11	1974	102.07	111.36	98.54	9.10	-3.46
12	1975	94.20	108.59	96.26	15.27	2.19
13	1976	90.16	104.05	93.30	15.41	3.48
14	1977	81.34	86.41	80.63	6.23	-0.88
15	1978	72.99	75.33	72.89	3.21	-0.13
16	1979	77.65	81.66	77.20	5.17	-0.58
17	1980	75.01	76.96	73.97	2.59	-1.39
18	1981	92.91	104.51	93.56	12.48	0.70
19	1982	77.63	82.83	78.21	6.70	0.75
20	1983	75.34	75.84	73.21	0.67	-2.82
21	1984	116.45	136.01	115.74	16.80	-0.61
22	1985	102.16	112.79	99.67	10.41	-2.44
23	1986	97.15	116.44	102.54	19.86	5.54
24	1987	74.09	84.10	79.53	13.51	7.34
25	1988	81.63	86.50	80.88	5.96	-0.92
26	1989	74.40	96.96	88.08	30.31	18.38
27	1990	76.75	80.55	76.60	4.95	-0.19
28	1991	90.24	99.44	89.79	10.19	-0.50
29	1992	67.40	68.00	67.65	0.89	0.38
30	1993	94.04	101.20	91.44	7.62	-2.76
31	1994	113.58	131.90	113.05	16.13	-0.47
32	1995	88.44	95.68	87.07	8.19	-1.55
33	1996	83.48	88.71	82.39	6.26	-1.32
34	1997	87.89	93.67	85.91	6.58	-2.25

35	1998	78.59	82.36	77.97	4.80	-0.80
36	1999	105.51	119.99	104.11	13.73	-1.32
37	2000	87.99	95.17	86.91	8.17	-1.22
Total		3211.3	3530.0	3223.5	9.9	0.4

Fuente: Elaboración propia

La Red Neuronal pudo mejorar la precisión del modelo de Scholz en los caudales pico de la mayoría de años generados, comparando los volúmenes anuales generados con los históricos a nivel anual, la red neuronal pudo mejorar los resultados del modelo de Scholz en 36 de los 37 años, por lo que la magnitud de los caudales generados en la época seca no causa una variación significativa en la mayoría de los años.

Cuadro N° 4.25 Resumen de resultados

Cuenca	Área de cuenca (km ²)	Precipitación máxima registrada (mm/mes)	Número de años	Error Cuadrático Medio (ECM)		No. de casos mejorados con la Red Neuronal		
				Scholz	Red Neuronal	Época Húmeda	Época Seca	Vol. Anual
Río San Gabán	2171.9	177.2	12	86.3	61.0	5	10	11
Río Chancay	1862.2	260.3	12	94.4	46.0	7	7	11
Río Callazas	448.2	274.4	48	0.63	0.48	21	45	37
Río Chili	1100.0	120.7	37	2.94	0.03	36	11	36

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro resumen, se puede ver que para precipitaciones menores a 120.7 mm/mes la aplicación de la red mejora los resultados en la época húmeda, como en la cuenca del río Chili. Por otro lado el tamaño de la cuenca no es una variable que influye en la aplicación de la red.

Analizando los valores del Error Cuadrático Medio, se observa la ínfima magnitud de este estadístico en la aplicación de ambos modelos, Scholz y la Red Neuronal, en los casos de los ríos Callazas y Chili, efecto debido a la importante longitud de los registros (mayores de 30 años) y el muy estrecho rango de variabilidad de los caudales históricos en ambos ríos (1.03 a 11.1 m³/s en el Callazas y 1.7 a 10.6 m³/s en Chili).

Por su parte el elevado valor del ECM para las cuencas de San Gabán y Chancay se explican por la corta longitud de sus registros (ambos 12 años) y el significativo rango de variación de los caudales registrados (6.6 a 119.7 m³/s en San Gabán y 2.4 a 77.8 m³/s en Chancay).

Figura N° 4.1 Cuenca del río San Gabán. Comparación de los modelos

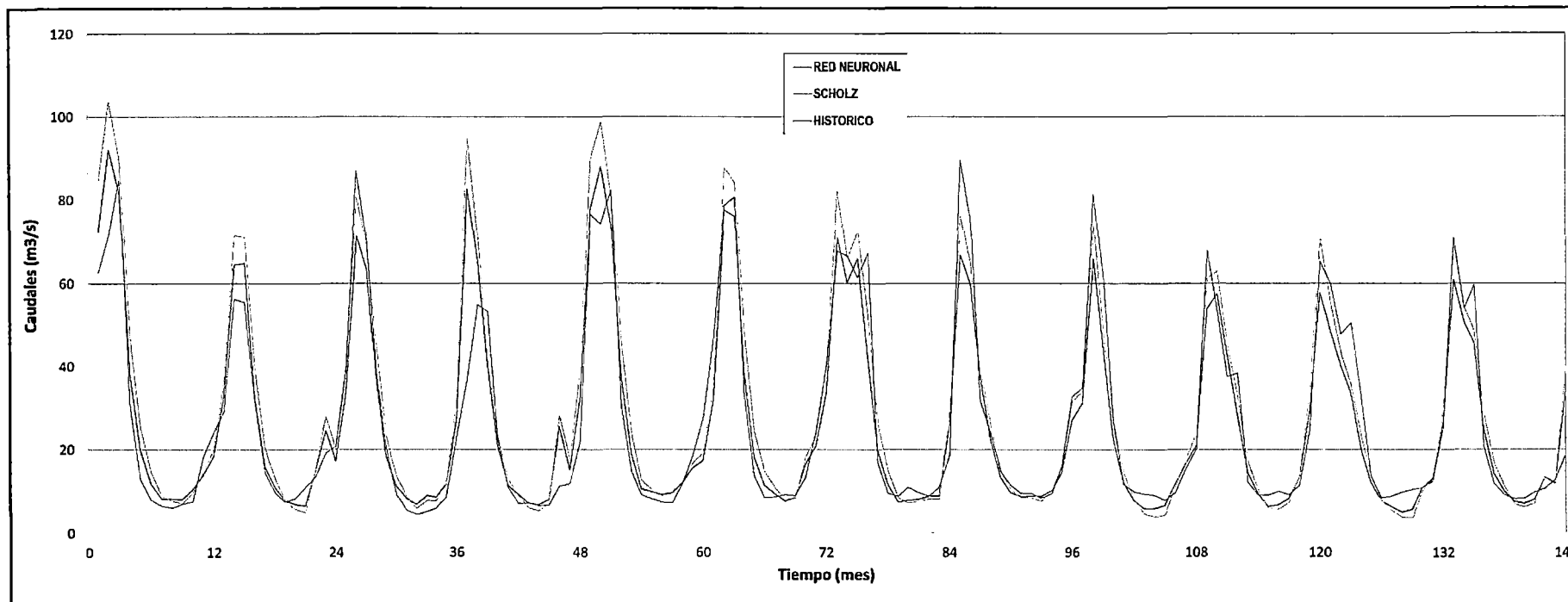


Figura N° 4.2 Cuenca del río Chancay. Comparación de los modelos

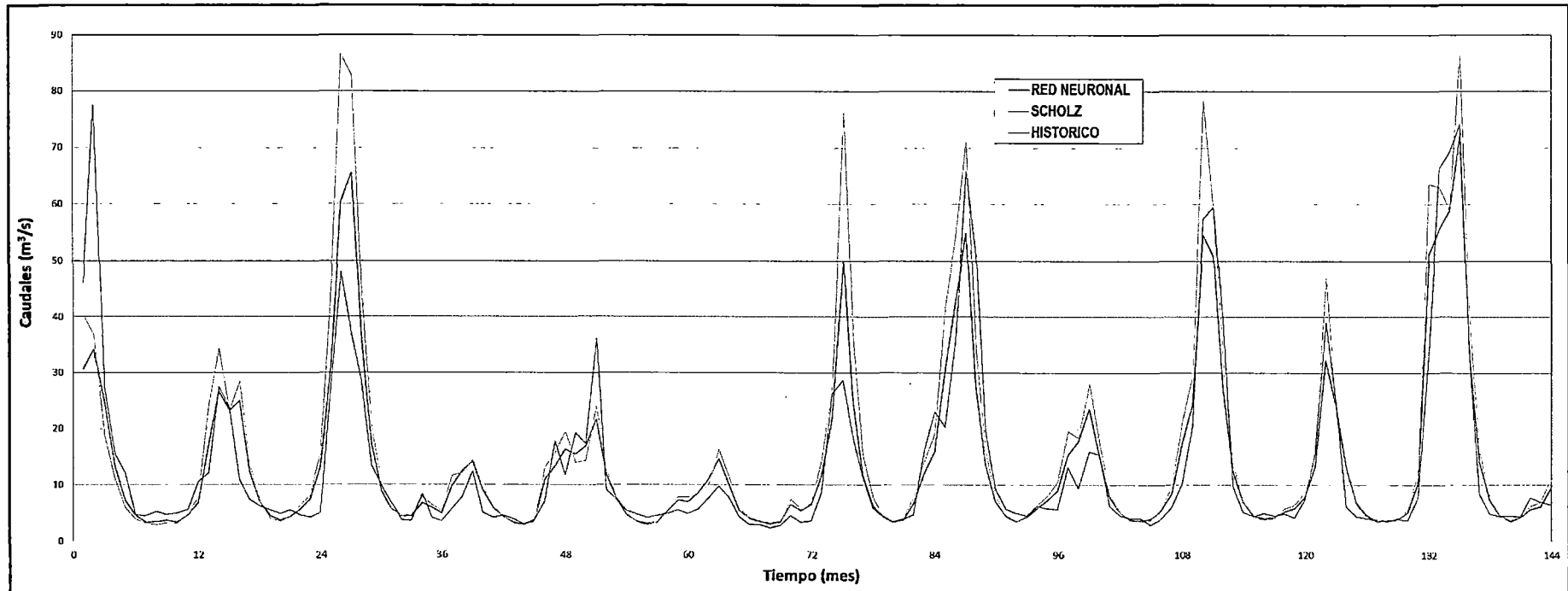


Figura N° 4.3 Cuenca del río Callazas. Comparación de los modelos

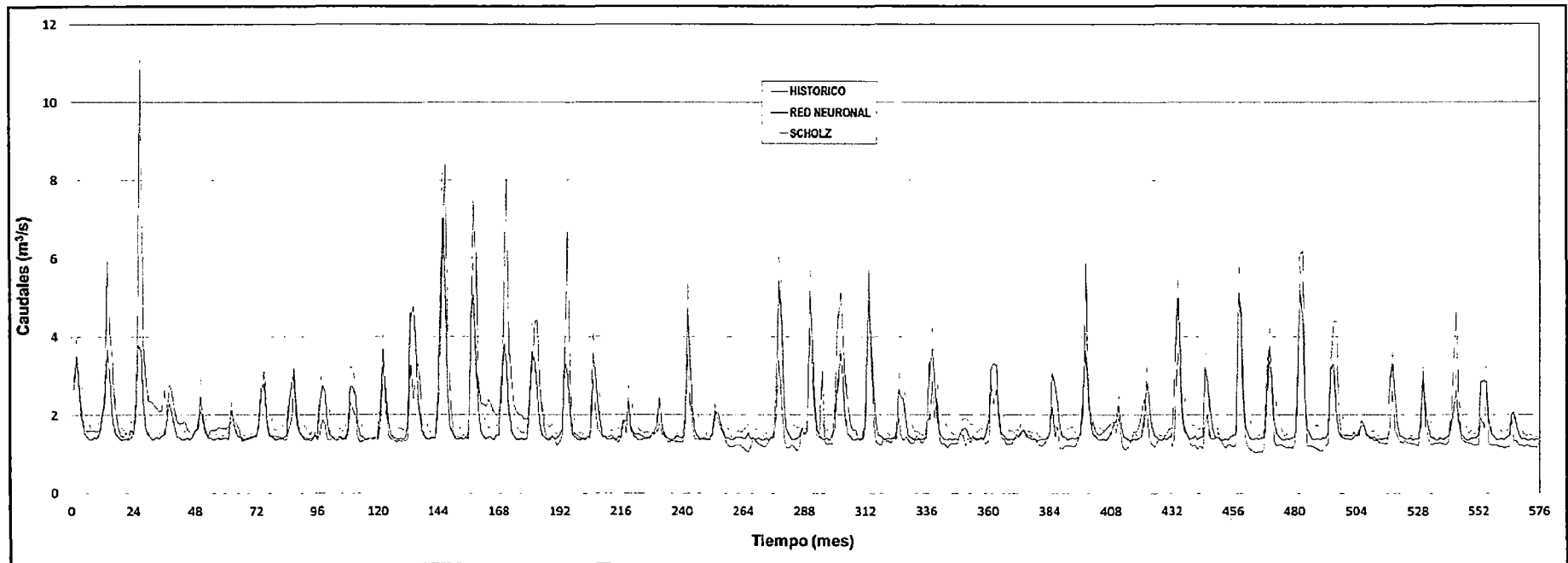


Figura N° 4.4 Cuenca del río Chili. Comparación de los modelos

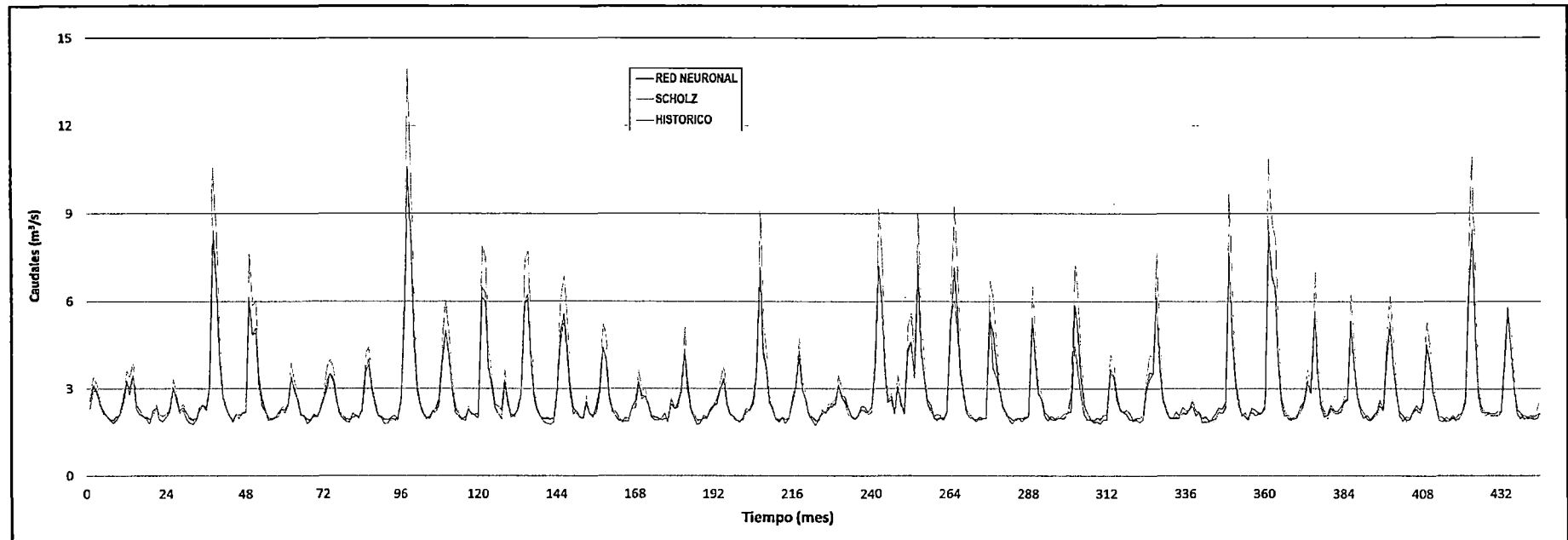
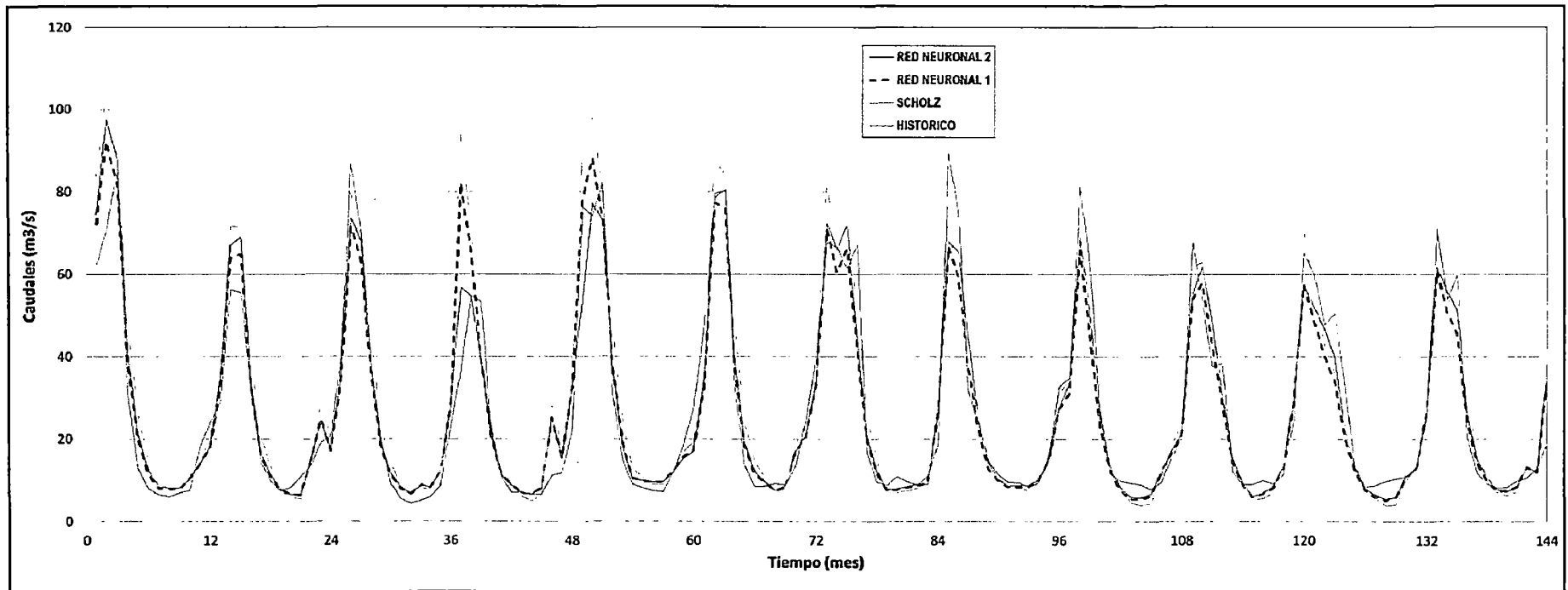


Figura N° 4.5 Cuenca del río San Gabán corregido. Comparación de los modelos



CAPITULO V: Conclusiones y Recomendaciones

El desarrollo de esta investigación permitió llegar las siguientes conclusiones:

- 1) La aplicación de la red neuronal en el modelo de Scholz, puede generar alguna mejora en el modelamiento. Cuando las precipitaciones totales son inferiores a 121 mm/mes, la influencia de la red neuronal se hace más evidente en la generación de los caudales en el período húmedo.
- 2) Como se observa en el cuadro N° 3.5, con la implementación de la RNA en el modelo de Scholz se logra una reducción del error cuadrático medio en todas las cuencas.
- 3) Del análisis de resultados se puede concluir, que uno de los factores que afectan a la precisión del modelo, es el cálculo de la precipitación efectiva, dado que si los valores de precipitaciones totales están dentro del rango establecido por el U.S. Bureau of Reclamation, por debajo de 127 mm/mes, el resultado generado se acerca más al histórico.
- 4) En el análisis de la cuenca del río San Gabán, se intentó determinar una ecuación que represente el cálculo de la precipitación efectiva para valores altos de precipitaciones totales, con lo que se pudo mejorar la generación de caudales, como se observa en la figura N° 4.5.
- 5) El modelo no es capaz de reproducir los caudales provocados por eventos extraordinarios producidos por fenómenos climáticos, como el Fenómeno El Niño o La Niña.
- 6) El modelo de Scholz no reproduce con exactitud los caudales mensuales históricos, pero los volúmenes anuales totales son comparables a los históricos.
- 7) En todos los casos estudiados se observa que la aplicación del modelo de Scholz es más eficiente en la generación de los caudales en el período seco, evidentemente influido por la poca variación de los flujos en

este período, dicha eficiencia disminuye en la generación de los flujos en épocas húmedas.

Para el uso de la metodología usada se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- 1) Investigar la aplicación del modelo utilizando el método de las isoyetas u otro método, para determinar la precipitación media de la cuenca, debido a que este método representa mejor la distribución areal de las precipitaciones respecto a la ubicación de las estaciones pluviométricas;
- 2) Usar el método de Scholz siempre y cuando se disponga de caudales mensuales históricos o naturalizados, ya que el modelo no está en condiciones de representar los efectos causados por captaciones o embalses en el curso del río;
- 3) Obtener curvas que representen las precipitaciones efectivas representativas para el país, y que dichas curvas puedan ser usadas en los casos de precipitaciones mayores a los rangos normales presentes en cada vertiente hidrográfica;
- 4) Probar la aplicabilidad del modelo en cuencas ubicadas en el norte del país, donde las precipitaciones superan los valores empleados en las cuatro cuencas estudiadas, y como ya se discutió, la eficacia del modelo es mayor para precipitaciones menores a 127 mm/mes.
- 5) El algoritmo usado en la red neuronal, usa como medida de entrenamiento el ECM de toda la serie generada, pero se deben probar diferentes alternativas de medición del error de ajuste, que puedan diferenciar los periodos seco y húmedo.
- 6) La red neuronal puede mejorar resultados de un modelo numérico, dependiendo de la aplicabilidad del modelo, por lo que se debe conocer más a detalle las limitaciones del modelo de Scholz para posteriores trabajos.

ANEXOS

Anexo A: Cuadros de datos y resultados del modelo de Lutz Scholz

Anexo A.1: Registros de precipitaciones medias mensuales obtenidas con el método de polígono de Thiessen.

Anexo A.1.1: Cuenca del Río San Gabán¹

Precipitaciones medias mensuales de la cuenca (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1965	116.1	97.6	77.1	40.6	9.4	7.2	7.1	8.7	45.4	25.1	68.8	115.8
1966	75.7	94.1	80.9	36.9	22.4	7.2	6.6	39.6	18.5	53.7	70.3	88.8
1967	83.2	93.4	137.5	47.0	28.1	17.9	16.7	45.7	34.8	51.5	32.0	104.8
1968	99.0	127.6	76.2	40.1	19.4	14.0	20.3	24.5	25.3	37.7	53.4	89.8
1969	73.7	79.3	67.0	33.4	24.9	18.8	16.8	13.6	26.8	33.3	51.6	75.9
1970	91.1	88.2	94.7	64.5	39.2	20.3	24.2	21.9	27.3	48.4	24.1	123.5
1971	113.9	139.8	62.6	42.0	14.0	11.8	5.8	11.3	16.0	50.5	63.5	103.4
1972	108.8	103.6	86.7	28.9	13.8	9.4	9.6	24.1	28.2	45.2	61.4	99.9
1973	141.0	96.7	91.8	70.6	15.5	7.4	13.3	19.2	33.9	71.7	39.9	103.1
1974	183.7	128.9	97.5	50.3	8.0	9.5	18.9	63.9	18.9	37.9	25.5	91.0
1975	116.9	100.8	86.7	31.9	27.8	11.3	6.9	8.2	34.8	51.0	63.0	122.3
1976	152.9	92.5	86.7	38.9	20.9	10.6	7.3	29.0	41.0	25.1	13.0	89.2
1977	78.8	102.1	117.6	23.2	20.4	7.4	12.9	12.1	24.0	44.6	77.5	85.2
1978	120.6	103.2	90.7	54.0	9.6	7.0	8.4	7.4	25.4	27.2	84.5	110.3
1979	156.1	84.1	126.3	49.3	13.2	6.1	13.4	10.0	20.3	54.0	66.0	96.2
1980	90.0	77.9	67.4	32.2	19.2	18.5	21.4	28.8	23.9	55.7	50.8	133.5
1981	105.6	94.8	84.2	31.2	20.0	17.3	10.1	19.3	25.2	57.7	76.8	123.9
1982	112.5	94.7	92.8	48.5	17.6	25.9	19.7	27.5	31.2	46.1	101.2	95.5
1983	93.4	85.9	69.2	53.0	39.5	30.5	53.2	27.9	28.3	53.4	65.3	84.4
1984	107.0	107.2	70.1	60.1	23.2	21.7	26.5	30.6	18.3	31.5	84.6	73.5
1985	72.6	99.7	71.8	52.6	22.2	19.6	22.9	20.4	33.3	37.2	65.9	78.1
1986	93.7	87.5	73.7	35.8	38.0	22.3	26.5	32.7	34.4	37.4	43.6	74.0
1987	174.6	111.2	107.9	73.2	41.0	19.9	26.6	10.5	27.0	76.7	105.0	136.6
1988	186.1	89.2	118.1	81.6	36.2	27.2	33.7	57.2	53.2	107.3	101.4	109.7
1989	121.5	93.0	86.6	63.9	18.8	16.3	29.8	24.9	26.5	80.0	46.8	80.3
1990	114.0	107.9	109.4	65.3	18.7	36.6	16.3	27.0	30.3	127.8	158.2	204.9
1991	194.4	140.3	154.3	46.9	21.7	18.8	16.6	12.2	48.6	53.7	80.2	114.0
1992	78.5	119.3	58.3	54.3	47.8	16.6	14.1	28.3	14.9	42.7	70.4	69.3
1993	120.4	95.1	115.5	63.8	20.0	13.4	12.6	53.7	27.2	34.4	89.9	109.1
1994	142.7	157.2	100.9	66.1	20.6	10.5	9.7	11.8	35.7	46.4	60.3	96.4

¹ Este cuadro se determino a partir del método de polígono de Thiessen y la data corregida, completada y extendida de las estaciones pluviométricas obtenidas de la referencia bibliográfica N° 14.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	85.7	68.9	145.2	25.7	15.1	6.2	7.5	5.8	8.0	18.2	31.6	63.4
1996	95.2	122.1	100.2	57.1	31.4	5.5	7.2	22.1	19.3	32.1	121.9	121.5
1997	135.6	137.5	126.1	18.9	19.5	6.1	5.8	16.6	13.2	39.7	53.3	67.7
1998	96.4	128.2	118.8	30.5	5.5	12.7	5.4	6.0	6.9	66.4	83.2	44.4

Anexo A.1.2: Cuenca del Río Chancay²

Precipitaciones medias mensuales de la cuenca (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1967	141.3	215.7	135.3	21.0	3.1	0.2	0.9	0.4	4.5	42.8	19.2	14.3
1968	47.9	48.6	85.7	41.1	1.8	0.0	0.0	1.7	4.2	14.2	11.3	20.4
1969	34.4	75.0	110.1	35.2	2.5	0.0	0.3	2.5	14.2	45.7	27.2	67.3
1970	157.0	49.7	74.4	46.7	11.5	0.0	0.3	0.1	18.3	14.0	25.8	60.4
1971	62.8	74.5	132.3	27.2	0.4	0.1	1.1	2.7	2.2	8.0	8.4	72.5
1972	79.6	106.5	260.3	51.0	1.1	0.0	1.8	0.8	2.7	13.6	20.9	60.3
1973	111.5	77.3	175.1	69.9	3.6	0.3	1.3	3.6	9.1	23.1	14.0	98.9
1974	87.1	112.9	110.7	24.4	4.9	2.6	2.3	1.2	5.1	5.1	7.4	26.1
1975	59.9	92.5	159.0	23.3	18.6	7.1	0.0	3.9	5.1	9.4	18.8	59.4
1976	120.7	152.7	98.3	31.2	5.6	2.5	0.2	2.8	2.8	2.4	3.4	26.0
1977	59.4	171.8	111.4	23.7	9.6	0.0	0.0	0.0	4.4	3.5	51.3	42.7
1978	46.4	61.4	64.4	13.2	0.1	0.8	4.4	0.0	8.2	15.1	21.4	35.0
1979	45.6	103.4	144.3	18.4	0.0	0.0	0.1	0.0	2.4	5.0	3.3	21.1
1980	62.9	33.1	52.2	12.5	0.6	1.0	1.8	0.1	1.3	44.6	44.0	36.0
1981	78.9	160.9	174.5	14.4	0.0	0.0	1.8	4.9	1.5	16.7	55.4	73.6
1982	108.9	131.2	88.8	42.0	0.0	0.0	1.4	0.9	4.0	57.5	45.7	32.2
1983	51.1	71.4	162.7	56.7	4.7	1.9	0.1	0.0	9.7	21.8	12.6	91.0
1984	84.0	196.4	195.8	43.3	18.3	0.5	0.0	0.3	3.4	32.7	47.0	49.2
1985	32.1	122.1	134.5	34.2	6.0	0.8	0.1	1.4	3.7	6.0	10.2	62.4
1986	130.8	125.2	117.1	47.7	10.7	0.0	3.7	1.2	0.5	13.1	12.2	87.2
1987	108.8	82.3	36.7	13.0	2.2	0.0	0.1	0.8	2.5	1.9	13.3	34.5
1988	89.2	90.2	63.4	83.6	10.7	0.0	0.0	1.7	6.8	21.1	30.7	66.8
1989	121.4	152.2	141.4	65.0	18.8	1.1	2.6	2.6	7.8	33.1	10.5	7.7
1990	55.6	37.2	58.0	13.9	5.5	1.2	0.0	0.1	2.6	63.2	58.9	69.8
1991	37.2	45.9	84.7	10.5	10.2	0.1	0.0	0.1	2.4	19.9	29.6	25.2
1992	26.4	32.8	67.3	22.2	0.9	0.0	0.1	0.2	2.4	34.5	5.3	24.5
1993	63.9	84.9	161.4	33.9	5.1	0.0	0.5	0.3	4.4	35.0	60.4	70.9
1994	114.0	110.9	140.4	40.6	11.5	0.0	0.2	0.6	7.9	21.7	27.2	44.2
1995	75.6	54.0	90.4	37.0	3.2	0.1	0.7	2.4	3.4	18.4	41.4	80.9
1996	90.3	149.9	110.3	47.9	4.2	0.3	0.0	2.7	5.4	17.2	16.9	36.4
1997	68.8	115.7	37.2	14.3	1.8	0.0	0.0	3.5	5.4	17.4	55.3	149.3
1998	120.3	105.2	161.1	29.9	0.4	0.3	0.0	0.9	5.7	20.7	19.7	49.7
1999	75.5	226.3	104.5	52.6	19.4	2.1	2.5	1.4	23.8	21.7	24.4	61.4
2000	128.6	171.2	116.1	46.9	8.5	0.1	0.4	9.2	37.2	29.5	30.2	104.1

² Este cuadro se determino a partir del método de polígono de Thiessen y la data corregida, completada y extendida de las estaciones pluviométricas obtenidas de la referencia bibliográfica N° 16.

Anexo A.1.3: Cuenca del Río Callazas³

Precipitaciones medias mensuales de la cuenca (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1956	58.4	119.0	31.1	10.4	0.1	0.0	0.0	5.5	2.3	0.8	38.6	22.4
1957	45.8	82.7	85.2	6.3	0.3	7.5	0.0	0.0	2.3	14.1	4.4	90.4
1958	87.7	87.3	76.6	1.5	0.1	0.0	0.0	0.0	16.2	6.0	13.7	15.6
1959	41.3	135.7	81.2	56.2	3.0	1.6	0.0	1.6	2.0	2.4	13.8	119.4
1960	140.8	44.9	19.7	19.2	0.0	0.0	0.0	3.7	9.8	7.3	26.0	40.6
1961	144.0	121.7	87.1	17.5	13.0	0.0	0.0	4.9	12.3	23.5	63.3	110.3
1962	101.1	145.0	87.1	25.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	77.8	45.9
1963	112.9	151.3	127.0	58.2	9.2	0.0	1.1	0.9	19.8	8.5	38.5	58.1
1964	92.6	88.4	76.1	27.7	2.3	0.0	0.0	13.8	0.0	1.8	29.7	75.9
1965	60.9	110.0	49.9	6.9	0.3	0.0	0.0	3.7	15.0	0.1	4.5	33.1
1966	14.4	99.5	45.5	2.6	33.7	0.0	0.0	1.9	0.0	38.0	22.5	45.6
1967	87.4	114.7	114.5	29.1	4.0	0.0	4.6	0.0	5.4	25.3	17.0	59.9
1968	121.9	102.0	132.5	4.6	7.9	11.4	0.4	0.0	0.1	20.5	45.1	32.9
1969	117.2	103.2	99.4	11.7	0.0	0.0	0.0	2.0	24.6	0.8	11.5	86.7
1970	135.7	75.0	92.5	3.1	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	13.9	46.7
1971	119.5	144.9	73.5	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	23.1	114.5
1972	273.0	126.0	113.3	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	20.3	1.9	122.2
1973	274.4	215.1	87.1	36.4	0.0	0.0	0.0	6.7	6.9	6.3	6.2	17.6
1974	244.9	137.7	47.6	19.3	0.0	1.1	0.0	46.1	3.0	0.1	48.2	49.3
1975	142.4	137.7	107.7	31.9	4.8	1.3	0.0	0.0	0.0	0.6	1.9	121.1
1976	164.7	78.1	74.5	17.4	2.7	0.0	0.0	2.1	40.7	0.1	0.3	66.4
1977	65.3	152.3	104.8	9.3	1.0	0.0	0.0	0.0	2.2	7.7	35.3	44.1
1978	177.5	33.9	62.3	25.7	0.0	0.0	1.3	2.0	0.2	1.4	34.5	21.8
1979	92.5	29.2	114.1	2.2	0.0	0.0	0.0	5.1	0.5	15.4	9.5	66.3
1980	47.8	51.0	123.5	2.5	0.1	0.0	0.4	0.2	0.9	56.3	6.0	29.9
1981	97.6	193.2	72.8	30.3	0.0	0.0	0.0	22.0	1.4	0.2	26.0	65.5
1982	101.9	53.3	56.4	19.8	0.5	0.0	0.0	0.0	14.6	30.0	8.6	19.9
1983	28.0	28.0	27.2	5.8	0.5	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	8.2	39.3
1984	147.3	196.5	111.2	17.3	0.3	6.9	0.0	4.1	0.0	49.0	80.0	37.3
1985	59.5	228.2	102.0	27.4	3.8	1.8	0.2	1.8	2.8	0.0	51.7	85.3
1986	132.3	132.5	93.5	20.8	1.3	0.0	5.0	2.2	0.1	0.2	26.4	111.1

³ Este cuadro se determino a partir del polígono de Thiessen y la data corregida, completada y extendida de las estaciones pluviométricas obtenidas de la referencia bibliográfica N° 4.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1987	249.5	56.7	24.7	0.5	0.0	2.0	18.6	0.0	0.1	13.5	8.6	15.3
1988	139.9	39.2	98.6	29.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	3.0	39.0
1989	163.5	117.5	85.2	33.5	0.0	1.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	5.2
1990	61.7	37.2	71.1	20.5	2.6	30.9	0.0	0.3	28.1	7.5	37.8	110.1
1991	149.1	99.2	121.6	30.5	0.0	18.0	0.0	0.0	0.1	9.6	55.0	26.9
1992	62.3	21.2	27.6	3.0	0.0	1.3	0.0	1.4	0.1	10.0	19.9	67.2
1993	153.1	50.6	80.3	6.3	0.3	2.3	0.7	24.3	0.4	17.1	11.3	66.2
1994	123.1	140.3	53.9	43.7	7.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	8.3	70.5
1995	82.1	30.8	110.5	18.1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.3	5.6	15.7	45.6
1996	89.6	123.8	67.8	21.9	7.2	0.0	0.0	1.7	1.1	1.4	26.2	50.5
1997	142.8	183.0	77.7	10.4	7.9	0.0	0.0	21.7	32.1	0.7	8.9	41.3
1998	161.8	51.8	26.8	2.5	0.1	2.9	0.0	0.0	0.0	0.4	29.2	53.6
1999	51.8	221.2	134.2	31.9	0.1	0.1	0.0	0.0	9.4	16.7	0.0	38.7
2000	141.0	136.8	92.3	15.8	3.8	0.5	0.1	0.1	0.0	13.7	3.1	47.7
2001	134.7	193.9	127.0	34.0	0.4	1.9	0.1	4.8	1.8	7.9	8.9	25.0
2002	67.3	143.5	128.1	44.6	0.6	4.7	20.8	0.0	0.1	5.5	23.6	55.1
2003	40.2	74.9	66.1	7.0	13.0	0.0	0.0	1.7	1.8	3.6	4.4	23.5
2004	143.5	115.4	55.0	11.2	0.0	0.0	16.7	8.5	2.7	0.6	0.0	26.8
2005	92.1	124.9	37.3	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	0.0	11.4	49.4
2006	84.0	83.8	121.0	9.7	1.9	0.0	0.0	0.0	0.2	28.5	6.9	58.9
2007	143.6	83.1	110.7	16.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3	2.1	9.3	57.1
2008	102.0	57.6	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9
2009	14.7	271.8	40.8	5.1	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0

Anexo A.1.4: Cuenca del Río Chili⁴

Precipitaciones medias mensuales de la cuenca (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	20.3	35.7	32.1	7.5	1.7	0.9	0.9	0.4	4.2	5.9	24.6	51.9
1965	33.5	40.7	2.2	3.9	1.4	0.9	1.4	7.9	16.3	2.5	1.5	9.2
1966	13.6	38.0	16.4	1.6	18.2	0.9	0.9	0.9	1.1	17.5	15.5	9.6
1967	48.0	110.8	80.1	14.2	1.7	0.9	1.0	1.0	6.7	6.0	4.6	11.9
1968	99.8	43.5	73.3	0.9	3.5	1.7	1.4	1.7	1.7	6.1	13.5	11.6
1969	25.3	48.1	29.1	9.8	0.9	1.0	1.4	1.3	4.2	5.2	12.5	33.8
1970	52.2	38.9	43.7	2.4	2.8	0.9	1.1	1.5	2.0	7.0	1.7	15.4
1971	64.3	45.5	18.2	4.3	1.2	0.9	0.9	1.1	0.9	1.7	2.2	36.9
1972	96.6	119.4	91.4	6.0	1.1	0.9	1.0	0.9	3.9	14.2	3.8	26.1
1973	69.3	69.1	54.4	10.4	1.5	0.9	1.1	4.6	14.6	2.2	4.9	7.7
1974	101.9	69.4	24.5	20.0	1.2	1.6	1.0	57.1	1.2	1.3	1.1	17.8
1975	40.0	89.5	85.5	22.8	3.0	1.2	0.9	1.9	1.4	2.2	1.4	48.3
1976	83.0	71.9	61.2	2.0	2.5	1.1	3.4	1.8	30.9	1.5	1.4	10.6
1977	40.4	67.7	59.8	0.6	0.4	0.0	0.3	0.0	1.3	4.5	15.8	16.1
1978	52.6	4.3	31.2	7.3	0.0	0.5	3.7	0.0	0.5	1.7	26.3	10.1
1979	16.7	28.4	74.0	4.4	0.2	0.0	0.0	1.4	1.2	6.8	9.5	22.4
1980	20.0	31.7	51.7	2.8	0.5	0.0	0.0	0.0	0.4	15.2	8.3	25.4
1981	58.0	99.3	32.3	43.3	1.2	0.0	0.2	1.1	2.1	1.7	1.7	34.7
1982	45.6	58.0	18.4	12.8	0.3	0.0	0.0	0.4	14.2	8.4	14.4	17.4
1983	20.6	37.8	23.7	11.0	0.3	1.3	2.2	9.5	10.3	10.5	1.4	12.6
1984	67.7	98.7	74.7	6.0	0.3	21.0	0.0	52.0	0.2	7.6	74.6	69.7
1985	26.6	98.1	34.1	23.6	3.4	3.0	0.0	0.6	2.3	1.5	8.1	90.1
1986	99.5	55.2	27.3	1.4	4.6	0.9	0.9	0.6	2.8	3.3	1.2	93.4
1987	66.1	20.1	24.1	2.3	1.0	1.0	0.9	1.1	1.6	3.5	1.7	5.8
1988	91.8	11.8	15.9	13.0	1.3	0.9	0.9	0.9	1.2	4.0	1.3	12.8
1989	39.3	89.4	68.6	9.4	1.1	0.0	0.0	0.0	2.2	2.3	5.4	8.1
1990	64.8	27.6	13.1	2.6	7.2	2.0	0.0	1.7	1.0	4.1	6.2	51.2
1991	56.1	33.4	96.5	10.0	0.1	2.0	0.9	1.7	1.5	4.1	7.4	7.7
1992	13.5	13.5	8.1	5.1	0.7	2.5	0.0	0.9	0.5	15.7	2.9	19.3
1993	113.3	11.7	13.0	0.5	1.8	0.9	0.9	14.6	0.6	8.9	4.1	19.6
1994	120.7	67.7	85.5	12.3	0.5	0.0	0.0	0.9	0.2	5.9	11.4	29.0
1995	50.6	8.5	92.9	2.0	2.1	0.9	0.0	21.5	2.0	7.7	7.0	29.7
1996	25.1	80.4	42.8	1.3	8.6	0.9	0.9	0.2	2.6	9.7	18.6	9.0

⁴ Este cuadro se determinó a partir del método de polígono de Thiessen y la data corregida, completada y extendida de las estaciones pluviométricas obtenidas de la referencia bibliográfica N° 13.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1997	74.3	69.1	41.6	1.1	1.1	0.0	0.0	2.6	7.2	19.0	0.8	26.6
1998	78.1	34.8	17.3	3.6	0.3	0.9	0.0	1.0	3.0	1.3	1.1	13.2
1999	29.7	94.6	109.5	10.6	0.3	0.0	0.9	8.1	1.3	5.9	2.2	14.5
2000	70.1	79.6	53.1	2.2	1.1	2.6	0.9	2.9	1.2	2.6	0.5	12.5

Anexo A.2: Registros de caudales mensuales históricos.

Anexo A.2.1: Cuenca del Río San Gabán

Estación: Ollachea⁵

Caudales mensuales - históricos (m³/s)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
1997	62.5	71.5	84.7	31.0	12.9	8.0	6.5	6.0	7.0	7.5	18.2	24.0
1998	29.1	56.3	55.6	31.9	14.4	9.7	7.4	8.3	11.0	13.5	19.2	20.8
1999	39.6	87.0	71.1	37.9	20.8	9.2	5.5	4.4	5.2	5.9	8.5	23.0
2000	36.7	54.9	53.3	22.6	11.0	7.1	7.2	6.6	6.7	11.2	11.8	22.1
2001	76.5	74.3	82.1	30.6	14.8	9.1	8.2	7.4	7.2	12.1	18.5	27.6
2002	47.2	78.6	80.6	33.7	13.7	8.5	8.6	9.3	8.9	13.3	24.5	40.4
2003	67.8	66.6	61.4	67.4	17.0	9.4	8.8	11.0	9.7	8.8	10.9	18.6
2004	89.5	75.4	31.7	24.3	14.9	11.5	9.6	9.4	8.4	9.5	16.1	32.8
2005	34.9	81.4	60.8	27.1	11.7	9.8	9.4	9.0	7.9	9.6	15.4	20.3
2006	68.1	53.8	37.5	38.5	12.2	9.1	9.1	10.0	9.1	11.4	24.5	65.3
2007	59.9	47.8	50.6	32.4	13.7	8.4	8.8	9.8	10.4	10.9	13.3	25.1
2008	71.0	54.0	59.7	20.8	11.8	9.2	8.1	8.3	9.8	10.7	12.8	18.7
Media	56.9	66.8	60.8	33.2	14.1	9.1	8.1	8.3	8.4	10.4	16.1	28.2
DesvStd	19.0	13.0	16.8	12.1	2.7	1.1	1.2	1.9	1.7	2.2	5.1	13.3
Mínima	29.1	47.8	31.7	20.8	11.0	7.1	5.5	4.4	5.2	5.9	8.5	18.6
Máxima	89.5	87.0	84.7	67.4	20.8	11.5	9.6	11.0	11.0	13.5	24.5	65.3

⁵ La data corregida completada y extendida, de la estación hidrométrica mostrada fue obtenida de la referencia bibliográfica N° 14. Los valores de caudales medios, solo serán considerados hasta el 2008, ya que posteriormente a esta fecha la construcción de la carretera Transoceánica ha alterado la configuración del cauce, alterando la sección de medición.

Anexo A.2.2: Cuenca del Río Chancay

Estación: Santo Domingo⁶

Caudales mensuales - históricos (m³/s)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
1987	46.1	77.8	27.4	15.5	12.1	4.6	4.5	5.3	4.7	4.9	5.6	10.6
1988	12.1	27.6	23.7	10.9	7.4	6.2	5.5	4.9	5.5	4.6	4.2	5.1
1989	27.8	48.1	36.6	28.6	13.4	9.9	6.8	3.7	3.6	8.4	4.2	3.6
1990	5.7	7.9	12.4	5.1	4.2	4.5	3.9	2.9	3.8	7.1	17.8	11.7
1991	19.3	17.4	36.3	9.1	7.4	5.4	4.8	4.1	4.5	4.9	5.5	4.9
1992	5.7	7.7	9.7	7.8	4.4	3.0	2.9	2.4	2.8	4.5	3.3	3.6
1993	8.7	26.3	28.7	18.6	11.4	6.0	4.3	3.4	3.9	4.7	16.3	23.1
1994	20.3	35.9	65.9	50.9	19.7	9.3	5.7	4.9	4.5	6.2	5.8	5.7
1995	13.1	9.4	16.0	15.5	6.2	4.6	4.1	4.1	2.9	3.9	6.1	10.2
1996	20.4	57.4	59.6	38.1	9.8	5.1	4.4	4.9	4.6	4.9	4.1	7.4
1997	15.6	39.1	24.3	6.2	4.4	4.1	3.9	3.6	4.0	3.7	7.7	34.0
1998	66.4	69.3	74.2	32.8	8.4	4.8	4.4	4.5	4.3	7.7	7.0	6.5
Media	21.7	35.3	34.6	19.9	9.1	5.6	4.6	4.1	4.1	5.4	7.3	10.5
DesvStd	17.9	23.9	21.2	14.6	4.6	2.1	1.0	0.9	0.8	1.5	4.7	9.1
Mínima	5.7	7.7	9.7	5.1	4.2	3.0	2.9	2.4	2.8	3.7	3.3	3.6
Máxima	66.4	77.8	74.2	50.9	19.7	9.9	6.8	5.3	5.5	8.4	17.8	34.0

⁶ La data corregida completada y extendida, de la estación hidrométrica mostrada fue obtenida de la referencia bibliográfica N° 16.

Anexo A.2.3: Cuenca del Río Callazas

Estación: Candarave⁷

Caudales mensuales - históricos (m³/s)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
1961	2.65	3.45	2.64	1.97	1.67	1.57	1.60	1.59	1.59	1.58	1.60	2.10
1962	2.51	5.96	4.15	3.50	2.11	1.66	1.49	1.44	1.55	1.36	1.40	1.58
1963	1.90	5.00	11.10	3.82	3.00	2.35	2.35	2.25	2.18	2.09	2.11	2.64
1964	2.00	2.79	2.65	2.04	1.82	1.76	1.79	1.82	1.68	1.55	1.49	1.62
1965	1.72	2.12	1.85	1.54	1.47	1.60	1.61	1.61	1.69	1.67	1.65	1.66
1966	1.70	1.81	1.91	1.80	1.66	1.33	1.34	1.39	1.44	1.46	1.45	1.52
1967	1.71	2.54	3.11	1.78	1.45	1.47	1.47	1.44	1.45	1.41	1.35	1.36
1968	1.70	1.93	3.05	1.76	1.54	1.48	1.43	1.41	1.34	1.35	1.58	1.37
1969	1.51	1.87	1.75	1.36	1.34	1.40	1.42	1.43	1.45	1.39	1.35	1.54
1970	2.33	2.15	1.94	1.41	1.29	1.34	1.35	1.39	1.38	1.42	1.42	1.35
1971	1.78	3.29	2.34	1.50	1.37	1.37	1.31	1.33	1.32	1.32	1.32	1.40
1972	3.27	2.41	2.91	3.41	1.91	1.50	1.45	1.37	1.39	1.43	1.41	2.17
1973	2.60	6.61	8.41	4.03	2.47	1.57	1.42	1.45	1.38	1.50	1.41	1.51
1974	4.03	7.51	6.15	2.73	2.28	2.28	2.21	2.39	2.26	2.05	1.98	2.02
1975	2.72	5.80	8.14	3.67	2.83	2.25	2.09	1.99	1.98	1.91	1.89	2.17
1976	3.17	4.37	4.45	2.86	2.20	1.62	1.39	1.41	1.45	1.40	1.22	1.32
1977	1.48	3.14	6.74	2.58	1.59	1.51	1.48	1.41	1.42	1.39	1.43	1.41
1978	2.91	2.23	1.64	1.54	1.42	1.46	1.42	1.48	1.44	1.33	1.30	1.42
1979	1.89	1.53	2.43	1.57	1.52	1.50	1.52	1.48	1.42	1.42	1.40	1.46
1980	1.50	1.55	1.80	1.49	1.57	1.32	1.31	1.33	1.32	1.31	1.32	1.31
1981	1.58	3.56	2.38	1.60	1.38	1.39	1.36	1.38	1.34	1.38	1.36	1.53
1982	2.13	1.86	1.65	1.53	1.32	1.21	1.19	1.19	1.23	1.23	1.23	1.15
1983	1.10	1.07	1.19	1.43	1.32	1.26	1.23	1.18	1.21	1.32	1.40	1.54
1984	1.96	3.42	2.37	1.44	1.16	1.15	1.24	1.19	1.08	1.21	1.65	1.64
1985	1.65	4.23	2.95	2.10	1.49	1.43	3.13	1.32	1.25	1.28	1.26	2.53
1986	4.41	5.19	4.14	3.02	2.22	1.76	1.62	1.62	1.47	1.40	1.38	1.81
1987	5.60	3.96	1.91	1.34	1.27	1.22	1.39	1.32	1.33	1.28	1.40	1.51
1988	1.95	1.44	1.34	1.45	1.33	1.27	1.30	1.48	1.39	1.28	1.34	1.82

⁷ La data corregida completada y extendida, de la estación hidrométrica mostrada fue obtenida de la referencia bibliográfica N° 4.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
1989	1.90	2.85	1.94	2.44	1.34	1.26	1.28	1.15	1.25	1.28	1.26	1.30
1990	1.54	1.48	1.21	1.41	1.30	1.41	1.40	1.39	1.39	1.40	1.26	1.34
1991	2.81	2.27	2.65	1.89	1.44	1.39	1.25	1.25	1.26	1.37	1.42	1.45
1992	1.59	1.57	1.50	1.50	1.44	1.34	1.30	1.22	1.20	1.27	1.39	1.55
1993	2.23	1.45	1.73	1.15	1.14	1.22	1.21	1.22	1.18	1.20	1.36	1.57
1994	2.02	5.92	2.18	2.07	1.81	1.58	1.50	1.50	1.58	1.64	1.72	1.78
1995	1.83	1.54	1.99	1.33	1.14	1.10	1.23	1.36	1.57	1.57	1.76	2.07
1996	2.41	2.06	1.43	1.26	1.18	1.30	1.35	1.34	1.46	1.49	1.68	1.18
1997	1.38	3.67	2.92	1.84	1.55	1.50	1.29	1.20	1.23	1.11	1.21	1.14
1998	1.81	1.99	1.40	1.39	1.40	1.56	1.35	1.26	1.16	1.24	1.25	1.18
1999	1.24	5.17	4.67	2.07	1.32	1.17	1.10	1.06	1.03	1.06	1.04	1.15
2000	2.05	3.39	2.81	1.34	1.21	1.24	1.24	1.20	1.15	1.19	1.14	1.28
2001	2.21	6.09	6.18	2.57	1.21	1.21	1.19	1.15	1.12	1.08	1.10	1.21
2002	1.29	3.47	4.38	4.41	2.08	1.50	1.49	1.48	1.48	1.48	1.56	1.48
2003	1.57	1.72	1.74	1.50	1.45	1.41	1.45	1.34	1.30	1.29	1.28	1.28
2004	1.64	2.61	1.59	1.47	1.32	1.28	1.34	1.30	1.27	1.27	1.25	1.21
2005	1.52	3.12	1.75	1.38	1.23	1.25	1.28	1.27	1.29	1.24	1.24	1.32
2006	2.17	3.60	4.64	2.40	1.40	1.33	1.30	1.27	1.28	1.23	1.23	1.25
2007	1.95	1.67	2.76	1.26	1.22	1.23	1.23	1.20	1.18	1.14	1.17	1.18
2008	1.94	1.33	1.32	1.23	1.22	1.20	1.24	1.20	1.17	1.20	1.16	1.30
Media	2.1	3.1	3.1	2.0	1.6	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
DesvStd	0.8	1.6	2.1	0.8	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3
Mínima	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.0	1.1
Máxima	5.6	7.5	11.1	4.4	3.0	2.4	3.1	2.4	2.3	2.1	2.1	2.6

Anexo A.2.4: Cuenca del Río Chili

Estación: Embalse Aguada Blanca⁸

Caudales mensuales naturalizados - históricos (m³/s)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
1964	2.3	2.9	3.0	2.4	2.2	2.1	2.0	1.8	1.9	2.1	2.7	3.3
1965	2.8	3.4	2.3	2.1	2.1	2.0	1.8	2.3	2.3	1.9	1.9	2.0
1966	2.2	3.0	2.7	2.2	2.3	2.0	1.8	1.8	1.9	2.4	2.4	2.3
1967	3.0	8.4	6.7	4.1	2.7	2.3	2.1	1.9	2.1	2.0	2.2	2.2
1968	6.2	4.9	5.1	3.4	2.7	2.3	1.9	1.9	2.0	2.2	2.3	2.2
1969	2.4	3.3	3.0	2.6	2.1	2.1	1.8	1.9	2.1	2.1	2.3	2.7
1970	3.0	3.5	3.4	2.6	2.1	2.0	1.9	1.9	2.1	2.1	2.0	2.3
1971	3.7	4.0	3.0	2.4	2.1	2.0	1.8	1.8	2.0	2.1	1.9	2.6
1972	5.9	10.6	8.2	4.7	3.0	2.4	2.1	2.0	2.0	2.2	2.3	2.7
1973	4.1	5.0	4.2	2.9	2.2	2.1	1.9	1.9	2.3	2.1	2.1	2.0
1974	6.5	6.3	3.7	3.3	2.5	2.4	2.3	3.3	2.5	2.0	2.1	2.2
1975	2.8	6.0	6.3	4.0	2.6	2.3	2.1	1.9	1.8	1.8	1.9	2.8
1976	4.6	5.4	4.4	2.8	2.1	2.2	2.0	2.0	2.5	2.1	2.0	2.4
1977	3.0	4.4	4.0	2.6	2.2	2.2	2.0	1.9	1.9	1.9	2.4	2.6
1978	3.2	2.6	2.8	2.4	2.0	1.9	1.9	2.0	2.2	1.9	2.7	2.3
1979	2.5	2.9	4.4	3.2	2.3	2.0	1.8	1.8	2.1	2.0	2.3	2.4
1980	2.6	3.0	3.4	2.5	2.1	2.0	1.9	1.8	2.0	2.3	2.2	2.6
1981	3.5	7.2	4.2	3.7	2.5	2.3	2.0	1.9	2.0	1.8	2.0	2.7
1982	3.0	4.3	2.9	2.7	2.1	1.9	1.7	1.9	2.1	2.2	2.3	2.5
1983	2.4	3.1	2.8	2.7	2.3	2.0	2.0	2.1	2.4	2.4	2.2	2.4
1984	3.8	7.2	5.9	3.5	2.6	2.7	2.2	3.0	2.5	2.1	4.4	4.6
1985	3.4	7.3	4.4	3.3	2.6	2.5	2.0	2.1	2.1	2.0	2.2	5.4
1986	6.1	5.1	3.5	2.8	2.2	2.0	2.0	1.9	1.9	2.0	2.0	5.6
1987	3.7	3.4	3.0	2.4	2.2	1.9	1.8	2.0	2.0	1.9	2.0	2.0
1988	5.4	3.9	2.8	2.6	2.0	1.9	2.1	2.0	2.1	2.0	2.2	2.2
1989	2.2	4.5	3.7	2.8	2.1	1.9	1.9	1.8	1.9	1.8	1.9	1.9
1990	3.7	3.5	2.8	2.3	2.2	2.3	2.1	1.9	1.9	1.8	1.9	2.9
1991	3.3	3.5	6.2	3.7	2.7	2.2	2.0	2.0	2.2	2.1	2.4	2.2

⁸ La data corregida completada y extendida, de la estación hidrométrica mostrada fue obtenida de la referencia bibliográfica N° 13.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
1992	2.3	2.4	2.1	2.2	1.8	1.9	1.8	2.0	2.1	2.3	2.3	2.5
1993	7.7	4.8	3.3	2.7	2.1	2.2	2.0	2.3	2.3	2.2	2.1	2.4
1994	8.4	6.9	6.4	4.0	2.5	2.1	2.1	2.0	2.0	2.1	2.4	2.6
1995	3.3	3.0	5.7	3.5	2.4	2.0	2.1	2.4	2.3	2.2	2.4	2.6
1996	2.7	5.3	3.8	2.7	2.3	2.0	2.1	1.9	2.1	2.2	2.6	2.3
1997	4.4	5.3	3.8	2.7	2.1	1.9	2.0	2.0	2.2	2.4	2.3	2.5
1998	4.5	4.1	2.9	2.4	1.9	1.9	2.0	1.9	2.1	2.0	2.1	2.2
1999	2.7	6.6	8.5	4.8	2.8	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.2	2.2
2000	4.0	5.8	4.3	3.0	2.1	2.0	2.1	2.0	2.1	2.0	2.1	2.1
Media	2.1	3.1	3.1	2.0	1.6	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
DesvStd	0.8	1.6	2.1	0.8	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3
Mínima	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.0	1.1
Máxima	5.6	7.5	11.1	4.4	3.0	2.4	3.1	2.4	2.3	2.1	2.1	2.6

Anexo A.3: Parámetros característicos de la cuenca y coeficiente de escurrimiento promedio en el modelo de Lutz Scholz.

Anexo A.3.1: Cuenca del Río San Gabán

Mes		Precipitación mensual promedio		Descarga promedio	
		Total (P)	Efectiva (Pe)	Q	
		(mm)		m ³ /s	mm/mes
Ene	31	125.09	92.90	56.89	70.16
Feb	28	109.32	70.15	66.79	74.39
Mar	31	97.70	55.16	60.76	74.92
Abr	30	37.46	11.45	33.16	39.57
May	31	11.05	4.18	14.06	17.34
Jun	30	6.34	2.59	9.08	10.83
Jul	31	8.35	3.30	8.10	9.99
Ago	31	10.86	4.12	8.27	10.20
Set	30	16.18	5.68	8.44	10.07
Oct	31	51.23	16.69	10.35	12.77
Nov	30	53.12	17.59	16.15	19.27
Dic	31	89.83	46.13	28.21	34.79
Total		616.53	329.94		384.30

Coefficiente de escorrentía: $C = Q/P = 0.623$

Coefficientes del Polinomio de quinto grado para el cálculo de la precipitación efectiva:

$$PE = a_0 + a_1 P + a_2 P^2 + a_3 P^3 + a_4 P^4 + a_5 P^5$$

$$a_0 = -2.72E-02 \quad a_1 = 4.68E-01 \quad a_2 = -9.59E-03$$

$$a_3 = 1.62E-04 \quad a_4 = -5.85E-07 \quad a_5 = 3.20E-10$$

Anexo A.3.2: Cuenca del Río Chancay

Mes		Precipitación mensual promedio		Descarga promedio	
		Total (P)	Efectiva (Pe)	Q	
		(mm)		m ³ /s	mm/mes
Ene	31	80.97	31.08	21.75	31.28
Feb	28	88.43	37.40	35.32	45.88
Mar	31	96.02	44.65	34.57	49.72
Abr	30	34.31	8.60	19.91	27.71
May	31	6.20	2.05	9.05	13.02
Jun	30	0.26	0.07	5.62	7.83
Jul	31	0.36	0.11	4.60	6.62
Ago	31	1.34	0.47	4.05	5.83
Set	30	4.72	1.60	4.08	5.68
Oct	31	25.35	6.58	5.44	7.82
Nov	30	30.76	7.77	7.30	10.16
Dic	31	55.00	15.34	10.52	15.13
Total		423.72	155.72		226.67

Coefficiente de escorrentía: $C = Q/P = 0.53$

Coefficientes del Polinomio de quinto grado para el cálculo de la precipitación efectiva:

$$PE = a_0 + a_1 P + a_2 P^2 + a_3 P^3 + a_4 P^4 + a_5 P^5$$

$$a_0 = -2.55E-02 \quad a_1 = 3.77E-01 \quad a_2 = -7.59E-03$$

$$a_3 = 1.30E-04 \quad a_4 = -4.49E-07 \quad a_5 = 2.07E-10$$

Anexo A.3.3: Cuenca del Río Callazas

Mes		Precipitación mensual promedio		Descarga promedio	
		Total (P)	Efectiva (Pe)	Q	
		(mm)		m ³ /s	mm/mes
Ene	31	119.48	37.01	2.14	12.77
Feb	28	109.06	29.67	3.12	16.83
Mar	31	83.97	15.99	3.08	18.41
Abr	30	18.23	1.91	2.00	11.58
May	31	2.85	0.34	1.57	9.38
Jun	30	1.84	0.22	1.45	8.37
Jul	31	1.47	0.17	1.46	8.71
Ago	31	3.84	0.46	1.41	8.40
Set	30	5.20	0.62	1.40	8.07
Oct	31	9.77	1.11	1.38	8.27
Nov	30	20.48	2.12	1.41	8.14
Dic	31	53.97	6.58	1.53	9.17
Total		430.15	96.21		128.10

Coefficiente de escorrentía: $C = Q/P = 0.30$

Coefficientes del Polinomio de quinto grado para el cálculo de la precipitación efectiva:

$$PE = a_0 + a_1 P + a_2 P^2 + a_3 P^3 + a_4 P^4 + a_5 P^5$$

$$a_0 = -2.09E-02 \quad a_1 = 1.33E-01 \quad a_2 = -2.23E-03$$

$$a_3 = 4.24E-05 \quad a_4 = -8.36E-08 \quad a_5 = -9.61E-11$$

Anexo A.3.4: Cuenca del Río Chili

Mes		Precipitación mensual promedio		Descarga promedio	
		Total (P)	Efectiva (Pe)	Q	
		(mm)		m ³ /s	mm/mes
Ene	31	56.46	9.36	3.81	9.28
Feb	28	55.18	9.01	4.78	10.51
Mar	31	46.52	6.95	4.14	10.09
Abr	30	7.97	1.34	2.99	7.05
May	31	2.13	0.38	2.29	5.57
Jun	30	1.48	0.26	2.10	4.96
Jul	31	0.81	0.13	1.98	4.81
Ago	31	5.56	0.96	2.02	4.93
Set	30	4.07	0.72	2.11	4.98
Oct	31	6.19	1.06	2.07	5.03
Nov	30	8.66	1.44	2.25	5.31
Dic	31	25.45	3.61	2.63	6.39
Total		220.46	35.22		78.90

Coefficiente de escorrentía: $C = Q/P = 0.36$

Coefficientes del Polinomio de quinto grado para el cálculo de la precipitación efectiva:

$$PE = a_0 + a_1 P + a_2 P^2 + a_3 P^3 + a_4 P^4 + a_5 P^5$$

$$a_0 = -2.20E-02 \quad a_1 = 1.95E-01 \quad a_2 = -3.59E-03$$

$$a_3 = 6.46E-05 \quad a_4 = -1.76E-07 \quad a_5 = -1.93E-11$$

Anexo A.4: Coeficientes del modelo en base a un análisis de regresión lineal múltiple con los valores del año promedio.

Anexo A.4.1: Cuenca del Río San Gabán

Valores de precipitación efectiva mensual y caudales mensuales para el año promedio

Mes		Caudal promedio del mes	Caudal promedio del mes anterior	Precipitación promedio	Precipitación Efectiva promedio
		Q_t	Q_{t-1}	P_t	PE_t
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Ene	31	70.16	34.79	125.09	92.90
Feb	28	74.39	70.16	109.32	70.15
Mar	31	74.92	74.39	97.70	55.16
Abr	30	39.57	74.92	37.46	11.45
May	31	17.34	39.57	11.05	4.18
Jun	30	10.83	17.34	6.34	2.59
Jul	31	9.99	10.83	8.35	3.30
Ago	31	10.20	9.99	10.86	4.12
Set	30	10.07	10.20	16.18	5.68
Oct	31	12.77	10.07	51.23	16.69
Nov	30	19.27	12.77	53.12	17.59
Dic	31	34.79	19.27	89.83	46.13

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales:

$$Q_t = B_1 + B_2 Q_{t-1} + B_3 PE_t + t S \sqrt{1-r^2}$$

Resultado de la regresión lineal múltiple:

$$\begin{aligned} B_1 &= 0.75 & r^2 &= 0.99 \\ B_2 &= 0.47 & S &= 3.43 \\ B_3 &= 0.59 & Z &= 0.40 \end{aligned}$$

Anexo A.4.2: Cuenca del Río Chancay

Valores de precipitación efectiva mensual y caudales mensuales para el año promedio

Mes		Caudal promedio del mes	Caudal promedio del mes anterior	Precipitación promedio	Precipitación Efectiva promedio
		Q_t	Q_{t-1}	P_t	PE_t
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Ene	31	31.28	15.13	80.97	31.08
Feb	28	45.88	31.28	88.43	37.40
Mar	31	49.72	45.88	96.02	44.65
Abr	30	27.71	49.72	34.31	8.60
May	31	13.02	27.71	6.20	2.05
Jun	30	7.83	13.02	0.26	0.07
Jul	31	6.62	7.83	0.36	0.11
Ago	31	5.83	6.62	1.34	0.47
Set	30	5.68	5.83	4.72	1.60
Oct	31	7.82	5.68	25.35	6.58
Nov	30	10.16	7.82	30.76	7.77
Dic	31	15.13	10.16	55.00	15.34

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales:

$$Q_t = B_1 + B_2 Q_{t-1} + B_3 PE_t + t S \sqrt{1-r^2}$$

Resultado de la regresión lineal múltiple:

$$\begin{aligned} B_1 &= 2.21 & r^2 &= 0.99 \\ B_2 &= 0.37 & S &= 2.05 \\ B_3 &= 0.74 & Z &= 0.24 \end{aligned}$$

Anexo A.4.3: Cuenca del Río Callazas

Valores de precipitación efectiva mensual y caudales mensuales para el año promedio

Mes		Caudal promedio del mes	Caudal promedio del mes anterior	Precipitación promedio	Precipitación Efectiva promedio
		Q_t	Q_{t-1}	P_t	PE_t
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Ene	31	12.77	9.17	119.48	37.01
Feb	28	16.83	12.77	109.06	29.67
Mar	31	18.41	16.83	83.97	15.99
Abr	30	11.58	18.41	18.23	1.91
May	31	9.38	11.58	2.85	0.34
Jun	30	8.37	9.38	1.84	0.22
Jul	31	8.71	8.37	1.47	0.17
Ago	31	8.40	8.71	3.84	0.46
Set	30	8.07	8.40	5.20	0.62
Oct	31	8.27	8.07	9.77	1.11
Nov	30	8.14	8.27	20.48	2.12
Dic	31	9.17	8.14	53.97	6.58

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales:

$$Q_t = B_1 + B_2 Q_{t-1} + B_3 PE_t + t S \sqrt{1-r^2}$$

Resultado de la regresión lineal múltiple:

$$\begin{aligned} B_1 &= 3.09 & r^2 &= 0.85 \\ B_2 &= 0.58 & S &= 1.52 \\ B_3 &= 0.17 & Z &= 0.58 \end{aligned}$$

Anexo A.4.4: Cuenca del Río Chili

Valores de precipitación efectiva mensual y caudales mensuales para el año promedio

Mes		Caudal promedio del mes	Caudal promedio del mes anterior	Precipitación promedio	Precipitación Efectiva promedio
		Q_t	Q_{t-1}	P_t	PE_t
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Ene	31	12.77	9.17	119.48	37.01
Feb	28	16.83	12.77	109.06	29.67
Mar	31	18.41	16.83	83.97	15.99
Abr	30	11.58	18.41	18.23	1.91
May	31	9.38	11.58	2.85	0.34
Jun	30	8.37	9.38	1.84	0.22
Jul	31	8.71	8.37	1.47	0.17
Ago	31	8.40	8.71	3.84	0.46
Set	30	8.07	8.40	5.20	0.62
Oct	31	8.27	8.07	9.77	1.11
Nov	30	8.14	8.27	20.48	2.12
Dic	31	9.17	8.14	53.97	6.58

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales:

$$Q_t = B_1 + B_2 Q_{t-1} + B_3 PE_t + t S \sqrt{1-r^2}$$

Resultado de la regresión lineal múltiple:

$$\begin{aligned} B_1 &= 2.66 & r^2 &= 1.00 \\ B_2 &= 0.39 & S &= 0.11 \\ B_3 &= 0.46 & Z &= 0.0054 \end{aligned}$$

Anexo A.5: Caudales generados en m^3/s con el modelo de Lutz Scholz

Anexo A.5.1: Cuenca del Río San Gabán

Caudales generados en la estación Ollachea con el Modelo de Lutz Scholz

(m³/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1965	52.4	57.5	41.5	27.1	15.0	10.0	6.9	5.5	10.6	9.8	19.5	47.7
1966	38.7	47.9	38.7	25.5	16.3	10.4	7.2	10.4	8.9	13.8	21.7	32.5
1967	35.1	46.1	73.9	44.4	25.0	16.1	10.9	12.9	12.2	14.7	13.1	37.6
1968	45.9	76.2	48.9	30.4	17.8	12.2	9.9	9.3	9.7	10.6	15.0	29.6
1969	29.3	35.0	28.2	19.4	13.4	10.9	8.8	7.3	8.9	9.6	14.1	23.2
1970	34.8	42.5	44.0	34.4	22.2	15.1	11.8	9.7	9.6	12.7	10.9	49.1
1971	60.7	94.1	51.5	32.5	18.3	12.0	7.3	6.7	7.2	12.3	18.7	39.0
1972	52.7	61.6	47.6	28.5	16.4	10.4	7.3	8.3	9.7	11.9	17.9	37.1
1973	74.3	68.0	52.6	40.2	22.0	13.0	8.9	8.2	10.1	19.6	16.2	37.7
1974	100.2	105.3	72.1	43.8	22.2	13.4	10.4	17.0	12.6	12.3	10.8	28.9
1975	53.6	60.3	46.8	28.2	17.7	11.9	7.8	6.4	9.4	13.2	19.1	52.1
1976	90.0	73.9	52.9	32.7	19.4	12.4	8.2	9.1	11.6	9.8	7.9	26.5
1977	29.9	48.7	61.1	34.1	19.7	12.2	8.8	7.4	8.1	11.3	23.1	31.0
1978	56.8	63.4	50.5	34.0	18.0	10.9	7.4	5.6	7.8	8.3	24.8	46.2
1979	89.7	68.7	75.8	45.5	24.0	14.1	9.3	7.3	8.0	13.5	20.0	35.9
1980	40.3	40.5	30.6	20.7	13.5	10.7	8.9	9.3	9.5	14.4	16.3	59.1
1981	59.9	59.4	45.5	27.7	16.6	11.7	8.3	8.2	9.1	14.9	25.1	56.3
1982	63.3	61.1	50.7	33.0	18.8	13.8	10.4	9.9	10.5	12.4	36.6	42.6
1983	44.7	46.7	33.9	26.1	18.3	14.4	15.7	12.3	11.1	14.4	20.4	29.9
1984	46.8	61.1	40.5	31.2	18.6	13.8	11.2	11.0	9.7	10.2	25.9	27.7
1985	28.0	45.9	34.1	26.0	16.5	12.1	10.0	8.7	10.5	11.0	19.0	25.9
1986	37.1	43.3	34.1	22.8	16.6	12.9	11.0	10.7	11.3	11.2	12.9	21.6
1987	88.8	85.9	70.3	50.3	29.5	18.4	13.5	8.9	9.1	21.3	43.4	73.8
1988	117.7	86.5	76.9	57.2	32.0	20.7	15.0	17.7	18.5	41.7	50.5	57.7
1989	69.9	63.4	48.5	36.0	20.1	13.7	11.7	10.0	9.6	22.8	19.2	27.2
1990	50.3	63.0	61.1	42.9	23.4	17.9	11.7	10.7	11.0	52.2	97.1	129.1
1991	145.4	137.9	125.1	68.8	35.6	21.5	13.5	9.5	13.1	15.3	26.7	50.0
1992	40.9	67.1	39.2	29.2	21.4	14.2	9.6	9.9	8.6	11.3	20.7	23.2
1993	52.8	56.0	62.4	42.7	23.3	14.7	9.8	14.4	12.3	11.8	29.3	48.0
1994	80.7	118.1	79.3	51.6	27.9	16.4	10.0	7.8	10.0	12.6	17.4	34.8
1995	37.6	35.0	75.0	41.2	22.0	12.7	7.9	5.7	5.2	6.1	8.9	16.3
1996	33.5	65.4	56.3	38.2	22.6	13.0	8.2	8.0	8.2	9.5	49.3	65.6
1997	84.2	103.8	90.0	47.8	25.9	14.8	8.7	8.0	6.9	10.0	14.3	19.8
1998	35.9	71.4	71.4	40.3	20.3	13.3	8.0	5.8	5.2	15.2	27.9	20.2
1999	37.4	80.3	70.1	44.5	23.4	13.8	8.7	5.8	7.9	7.5	11.8	31.5
2000	94.8	70.6	41.2	23.6	12.9	9.2	6.4	5.3	6.6	28.4	17.2	38.7
2001	89.4	98.4	80.0	45.5	23.7	12.6	10.5	9.0	9.6	12.6	16.7	19.4
2002	34.8	87.6	84.6	48.0	24.1	14.2	10.5	7.3	7.7	17.7	23.8	40.2
2003	81.4	65.6	72.5	52.4	26.2	14.6	8.4	7.5	7.3	8.0	8.0	29.9
2004	76.7	65.0	38.9	25.8	15.1	10.5	8.0	8.2	7.6	10.1	15.8	31.7
2005	34.3	74.4	47.0	26.6	14.0	7.8	4.8	3.8	4.7	11.4	18.1	24.1
2006	61.3	63.3	45.0	32.9	16.9	10.0	5.4	5.9	6.9	13.1	33.0	70.8

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	55.1	43.0	35.5	23.1	14.1	8.2	5.4	3.6	3.8	10.2	13.0	30.4
2008	69.3	54.2	48.6	29.1	16.9	11.2	7.2	6.0	6.8	13.1	12.3	40.2
Media	59.9	67.3	56.2	36.0	20.4	13.1	9.3	8.6	9.1	14.4	22.3	39.5
Máx.	145.4	137.9	125.1	68.8	35.6	21.5	15.7	17.7	18.5	52.2	97.1	129.1
Mín.	28.0	35.0	28.2	19.4	12.9	7.8	4.8	3.6	3.8	6.1	7.9	16.3
Desv. Están.	26.2	22.0	19.5	10.8	5.1	2.9	2.4	3.0	2.6	8.3	15.1	19.7

Anexo A.5.2: Cuenca del Río Chancay

Caudales generados en la estación Santo Domingo con el Modelo de Lutz Scholz (m³/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1967	57.7	114.9	88.1	38.6	16.1	8.1	4.8	3.4	4.0	8.9	8.1	6.7
1968	10.6	13.5	24.2	16.6	7.9	4.7	3.3	3.2	3.9	5.2	5.5	6.4
1969	8.5	20.6	39.8	21.8	10.1	5.6	3.8	3.5	5.2	9.6	9.2	16.3
1970	70.6	38.6	28.1	19.0	10.3	5.8	3.9	3.0	5.7	5.9	7.4	13.7
1971	16.7	23.7	55.4	26.8	11.4	6.0	3.9	3.7	3.7	4.3	4.8	16.2
1972	23.4	43.5	47.5	27.5	11.8	6.4	4.5	3.7	3.8	5.2	6.6	13.2
1973	38.6	34.2	86.7	47.7	19.7	9.5	5.2	4.2	4.8	6.5	6.5	28.5
1974	31.1	51.0	50.3	24.7	11.5	6.6	4.4	3.5	4.2	4.1	4.5	6.7
1975	13.3	31.0	76.0	34.2	16.8	9.4	4.9	4.4	4.5	5.0	6.3	13.1
1976	44.3	86.6	55.3	27.3	12.4	7.1	4.4	3.9	3.6	3.5	3.7	6.4
1977	13.0	86.6	62.6	29.0	13.6	7.1	4.2	3.1	3.6	3.6	10.5	11.2
1978	12.1	17.2	17.6	10.7	5.5	3.9	3.8	3.2	4.5	5.5	6.8	8.8
1979	11.0	36.4	68.1	30.6	12.8	6.5	4.1	3.2	3.4	3.7	3.7	6.1
1980	13.7	12.2	13.1	8.8	5.0	3.9	3.4	3.0	3.3	9.0	11.1	10.4
1981	20.8	82.8	102.8	43.6	17.3	8.3	5.1	4.5	3.6	5.3	12.0	19.3
1982	39.2	67.7	43.8	24.4	10.4	5.8	4.1	3.3	3.7	11.7	12.6	10.3
1983	12.8	20.8	75.1	39.3	16.6	8.4	4.8	3.6	4.7	6.3	6.1	24.4
1984	28.2	103.4	117.6	53.0	23.3	11.0	5.5	3.9	3.9	7.4	11.0	12.4
1985	10.5	49.1	65.6	31.8	14.3	7.3	4.3	3.6	3.7	4.2	5.0	13.3
1986	51.4	68.2	60.2	31.6	14.7	7.3	4.9	3.8	3.2	4.9	5.6	22.6
1987	40.2	36.8	18.8	11.1	6.2	4.1	3.3	2.9	3.3	3.2	4.9	8.0
1988	24.4	34.3	23.4	28.4	13.5	7.1	4.2	3.5	4.2	6.3	8.5	15.7
1989	45.9	86.8	83.0	44.7	20.4	9.7	5.6	4.2	4.7	7.7	6.3	5.2
1990	11.6	11.9	14.4	9.5	6.2	4.4	3.4	2.9	3.4	12.8	16.0	19.4
1991	13.8	14.3	24.1	12.9	8.0	5.0	3.6	3.1	3.3	5.6	8.0	8.1
1992	8.3	9.9	16.1	11.2	5.8	3.9	3.0	2.7	3.3	7.5	5.6	7.0
1993	14.6	27.6	76.6	35.8	15.6	7.7	4.5	3.4	3.9	7.6	14.3	19.1
1994	42.2	54.3	71.3	34.8	15.9	7.9	4.4	3.4	4.5	6.3	8.0	10.6
1995	19.5	18.4	28.2	17.6	8.5	5.1	3.8	3.5	3.7	5.7	9.6	21.2
1996	29.8	78.2	59.3	31.3	13.7	6.9	4.2	3.7	4.1	5.8	6.6	8.6
1997	16.5	46.9	22.4	12.6	6.5	4.1	3.2	3.5	4.1	5.7	12.2	63.5
1998	62.9	59.1	86.9	39.4	16.1	7.9	4.4	3.6	4.2	6.1	7.0	11.2
1999	19.6	93.8	60.9	32.9	16.3	8.3	5.2	3.9	6.6	6.9	7.7	13.9
2000	50.0	101.5	70.6	35.6	15.9	8.0	4.7	5.0	8.7	8.7	9.0	32.4
Media	27.3	49.3	53.9	27.8	12.6	6.7	4.3	3.6	4.2	6.3	8.0	15.0
Máx.	101.6	149.3	169.2	73.8	33.5	15.3	8.0	7.1	12.1	18.4	22.2	91.4
Mín.	11.9	12.8	18.9	12.2	7.2	5.4	4.3	3.9	4.5	4.6	5.2	7.4
Desv. Están.	25.1	40.3	40.2	16.4	6.7	2.6	1.0	0.7	1.5	3.2	4.2	15.6

Anexo A.5.3: Cuenca del Río Callazas

Caudales generados en la estación Candarave con el Modelo de Lutz Scholz
(m³/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	3.2	4.0	3.2	2.5	2.0	1.9	1.6	1.5	1.5	1.4	1.7	2.4
1962	2.7	4.4	3.3	2.7	2.2	2.0	1.7	1.5	1.4	1.4	1.9	1.8
1963	2.7	4.5	4.2	3.4	2.6	2.2	1.9	1.6	1.6	1.5	1.7	1.8
1964	2.2	2.7	2.5	2.1	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.7	1.8
1965	2.0	2.8	2.2	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5	1.6	1.5	1.4	1.5
1966	1.6	2.5	2.1	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6	1.6
1967	2.0	3.1	3.3	2.7	2.2	2.0	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7
1968	2.7	3.2	3.6	2.7	2.2	1.9	1.7	1.5	1.5	1.6	1.7	1.6
1969	2.6	3.2	3.0	2.4	2.0	1.7	1.6	1.6	1.6	1.4	1.5	1.9
1970	3.2	3.1	2.8	2.3	2.0	1.8	1.5	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6
1971	2.7	4.2	3.1	2.5	2.0	1.8	1.6	1.5	1.5	1.4	1.5	2.5
1972	5.3	5.3	4.3	3.3	2.4	1.9	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	2.6
1973	5.4	8.1	5.3	3.9	2.7	2.2	1.9	1.7	1.5	1.5	1.6	1.6
1974	5.4	5.8	3.7	2.8	2.3	1.9	1.7	1.8	1.7	1.6	1.8	1.7
1975	3.3	4.4	3.7	2.9	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.4	2.5
1976	4.2	3.8	3.0	2.5	2.0	1.8	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.8
1977	1.8	3.9	3.4	2.8	2.2	2.0	1.6	1.5	1.6	1.6	1.8	1.8
1978	4.2	3.5	2.7	2.4	2.0	1.8	1.5	1.5	1.5	1.4	1.6	1.5
1979	2.1	2.0	2.6	2.1	1.8	1.6	1.6	1.6	1.7	1.6	1.7	1.9
1980	1.9	2.1	2.8	2.2	1.9	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7	1.6	1.6
1981	2.1	5.3	3.7	3.1	2.4	2.1	1.7	1.7	1.7	1.5	1.5	1.7
1982	2.3	2.3	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7	1.7	1.6	1.5
1983	1.6	1.8	1.6	1.6	1.4	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.6	1.6
1984	3.4	6.3	4.7	3.5	2.5	2.2	1.8	1.7	1.7	1.7	2.1	1.9
1985	1.9	6.0	4.5	3.4	2.5	2.1	1.7	1.7	1.6	1.5	1.8	2.1
1986	3.1	4.2	3.5	2.8	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.4	1.5	2.4
1987	5.8	4.7	3.1	2.4	2.0	1.8	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6
1988	3.1	2.9	2.7	2.2	1.8	1.8	1.6	1.5	1.6	1.5	1.6	1.6
1989	3.8	4.1	3.2	2.7	2.2	1.9	1.6	1.6	1.7	1.6	1.6	1.5
1990	1.7	2.0	1.9	1.9	1.6	1.7	1.5	1.4	1.5	1.5	1.6	2.4
1991	3.9	3.8	3.8	2.9	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.6	1.5
1992	1.8	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
1993	3.5	3.2	2.7	2.3	1.9	1.8	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6	1.7
1994	2.8	4.2	3.0	2.6	2.1	1.9	1.6	1.6	1.7	1.4	1.6	1.8
1995	2.1	2.1	2.7	2.2	1.8	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.6	1.6
1996	2.2	3.4	2.7	2.2	1.9	1.8	1.6	1.6	1.7	1.5	1.6	1.8
1997	3.2	5.9	4.0	3.0	2.4	2.1	1.8	1.7	1.7	1.5	1.6	1.6
1998	3.8	3.2	2.3	2.0	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.6
1999	1.7	5.7	5.0	3.6	2.7	2.3	2.0	1.7	1.8	1.7	1.6	1.7
2000	3.1	4.3	3.4	2.8	2.2	2.0	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6
2001	3.0	6.0	5.0	3.7	2.6	2.3	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5
2002	1.8	3.7	3.8	3.1	2.4	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.7	1.8

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	1.7	2.1	2.0	1.8	1.7	1.6	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6
2004	3.1	3.7	2.7	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.6	1.6
2005	2.2	3.4	2.5	2.2	1.8	1.7	1.6	1.4	1.5	1.4	1.4	1.6
2006	2.0	2.5	3.0	2.5	2.0	1.9	1.6	1.5	1.6	1.6	1.5	1.6
2007	3.1	3.1	3.1	2.5	2.1	2.0	1.6	1.5	1.6	1.5	1.6	1.7
2008	2.3	2.3	1.9	1.7	1.5	1.5	1.4	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5
Media	2.9	3.8	3.1	2.6	2.1	1.9	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.8
Máx.	5.8	8.1	5.3	3.9	2.7	2.3	2.0	1.8	1.8	1.7	2.1	2.6
Mín.	1.6	1.8	1.6	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.3	1.4	1.5
Desv. Están.	1.1	1.4	0.9	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3

Anexo A.5.4: Cuenca del Río Chili

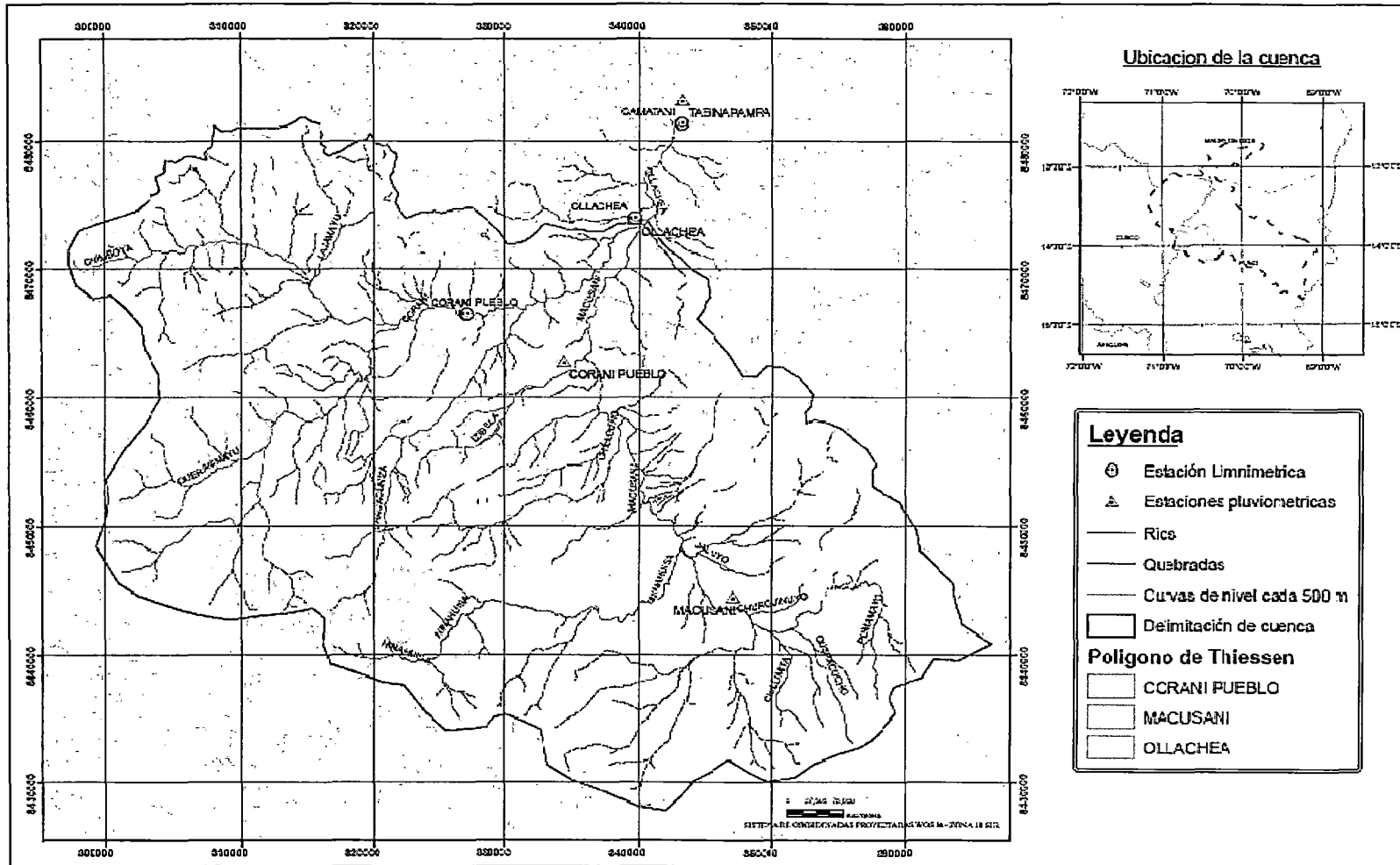
Caudales generados en la estación Embalse Aguada Blanca con el Modelo de Lutz Scholz (m³/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	2.7	3.4	3.1	2.6	2.2	2.0	1.9	1.8	2.0	2.0	2.6	3.6
1965	3.4	3.9	2.5	2.3	2.0	2.0	1.9	2.1	2.5	2.1	2.0	2.2
1966	2.3	3.3	2.7	2.3	2.5	2.2	1.9	1.9	1.9	2.3	2.5	2.3
1967	3.4	10.7	8.3	4.9	3.0	2.4	2.0	1.9	2.1	2.1	2.1	2.3
1968	7.6	5.8	6.0	3.6	2.6	2.2	2.0	1.9	2.0	2.0	2.4	2.3
1969	2.7	3.9	3.2	2.7	2.2	2.0	1.9	1.9	2.0	2.0	2.3	2.9
1970	3.8	4.0	3.7	2.7	2.2	2.1	1.9	1.9	2.0	2.1	2.0	2.3
1971	4.2	4.4	3.2	2.6	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	2.8
1972	7.5	14.0	10.7	5.6	3.3	2.5	2.1	1.9	2.0	2.3	2.2	2.6
1973	4.7	6.1	4.9	3.4	2.4	2.1	1.9	2.0	2.4	2.1	2.1	2.1
1974	7.9	7.5	4.4	3.5	2.4	2.2	1.9	3.6	2.6	2.1	2.0	2.4
1975	3.1	7.5	7.7	4.9	3.0	2.4	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	3.2
1976	6.1	6.9	5.6	3.4	2.5	2.2	2.0	1.9	2.8	2.2	2.1	2.2
1977	3.0	5.2	4.9	3.1	2.3	2.1	1.9	1.8	1.9	2.0	2.4	2.5
1978	3.6	2.9	3.0	2.6	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	2.6	2.4
1979	2.5	3.1	5.1	3.4	2.4	2.1	1.9	1.9	1.9	2.0	2.3	2.6
1980	2.6	3.3	3.8	2.8	2.2	2.0	1.8	1.8	1.9	2.2	2.3	2.6
1981	4.0	9.1	5.2	4.4	2.8	2.3	2.0	1.9	2.0	1.9	2.0	2.8
1982	3.4	4.7	3.3	2.8	2.2	2.0	1.9	1.8	2.3	2.2	2.5	2.5
1983	2.6	3.5	3.0	2.7	2.1	2.0	1.9	2.1	2.3	2.3	2.1	2.3
1984	4.4	9.3	7.4	4.3	2.7	2.8	2.2	3.5	2.5	2.3	5.1	5.6
1985	4.0	9.0	5.2	3.9	2.7	2.3	2.0	1.9	2.0	1.9	2.2	6.4
1986	9.2	7.1	4.3	2.9	2.4	2.1	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	6.7
1987	6.1	4.4	3.3	2.5	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0
1988	6.6	4.5	3.1	2.8	2.2	2.0	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.2
1989	3.0	7.4	6.2	3.9	2.6	2.2	1.9	1.8	2.0	1.9	2.1	2.1
1990	4.2	3.8	2.8	2.4	2.2	2.1	1.9	1.9	1.9	2.0	2.1	3.4
1991	4.2	4.0	7.7	4.6	2.8	2.3	2.0	1.9	2.0	2.0	2.2	2.2
1992	2.3	2.7	2.3	2.2	2.0	2.0	1.9	1.8	1.9	2.3	2.1	2.4
1993	9.7	5.8	3.5	2.6	2.1	2.0	1.9	2.3	2.1	2.1	2.1	2.4
1994	10.9	8.6	8.1	4.8	2.9	2.3	2.0	1.9	1.9	2.0	2.3	2.7
1995	3.6	3.1	7.0	4.0	2.7	2.2	1.9	2.4	2.2	2.2	2.2	2.7
1996	2.8	6.3	4.5	3.0	2.5	2.2	1.9	1.9	2.0	2.1	2.5	2.3
1997	5.0	6.2	4.4	2.9	2.2	2.0	1.9	1.9	2.1	2.4	2.1	2.6
1998	5.4	4.6	3.2	2.5	2.1	2.0	1.8	1.8	2.0	1.9	1.9	2.2
1999	2.7	8.0	10.9	5.9	3.3	2.5	2.1	2.2	2.0	2.1	2.0	2.3
2000	4.6	7.0	5.2	3.3	2.4	2.2	1.9	2.0	2.0	1.9	1.9	2.2
Media	4.6	5.8	5.0	3.4	2.4	2.2	1.9	2.0	2.1	2.1	2.3	2.8
Máx.	10.9	14.0	10.9	5.9	3.3	2.8	2.2	3.6	2.8	2.4	5.1	6.7
Mín.	2.3	2.7	2.3	2.2	2.0	2.0	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	2.0
Desv. Están.	2.2	2.5	2.2	1.0	0.4	0.2	0.1	0.4	0.2	0.1	0.5	1.1

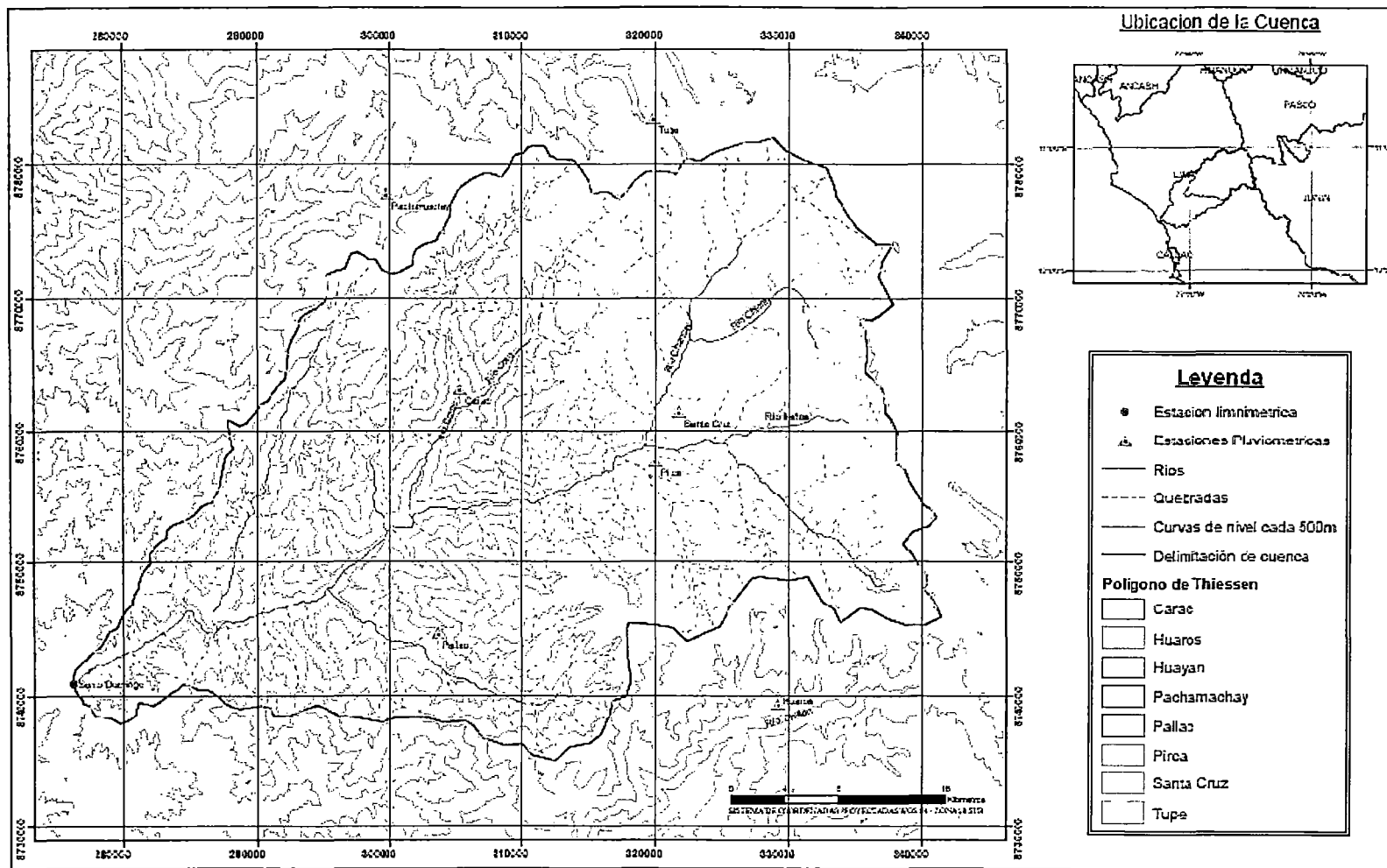
Anexo B: Mapas y gráficos resultados del modelo de Lutz Scholz

Anexo B.1: Mapas de ubicación de estaciones pluviométricas.

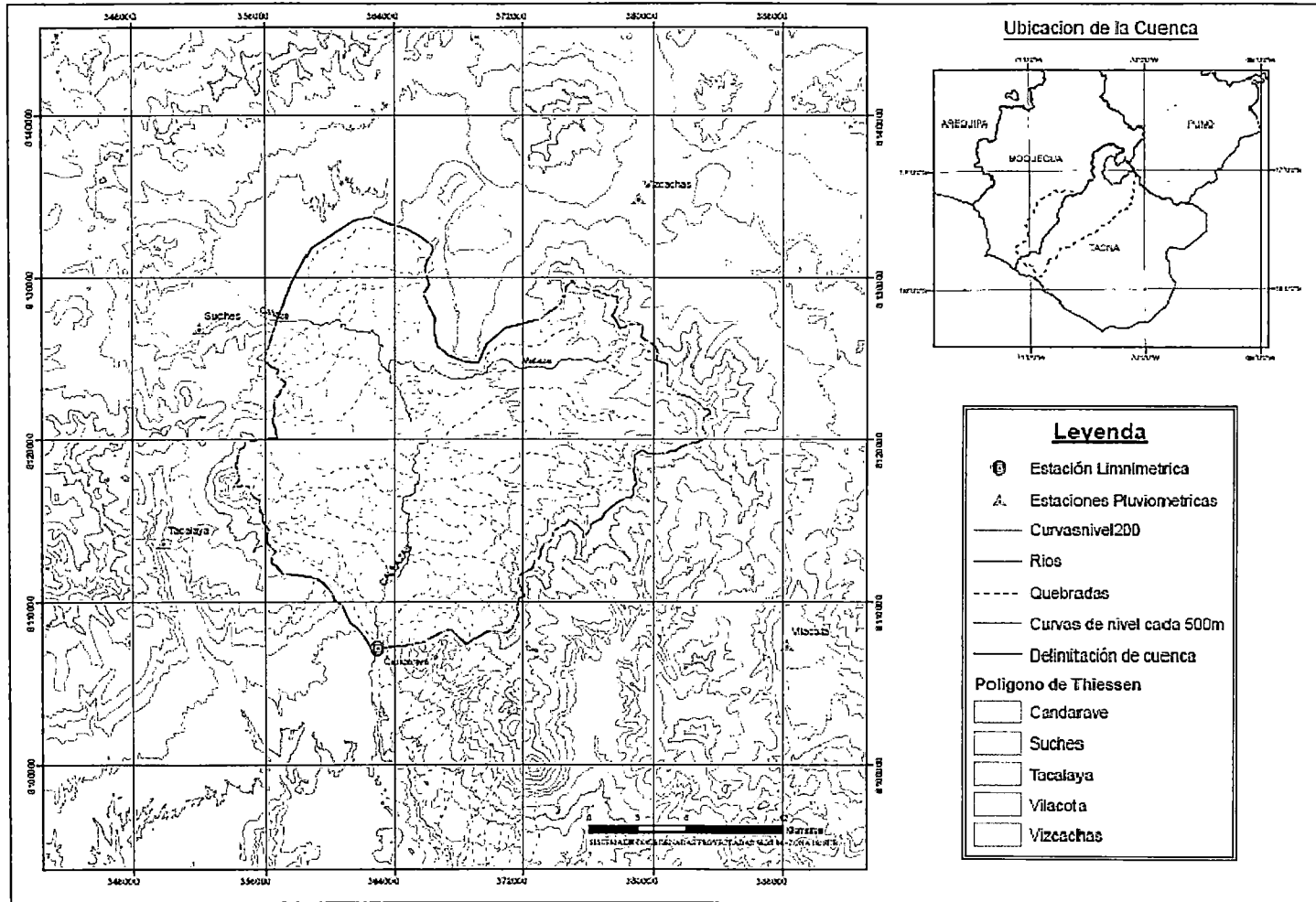
Anexo B.1.1: Cuenca del Río San Gabán



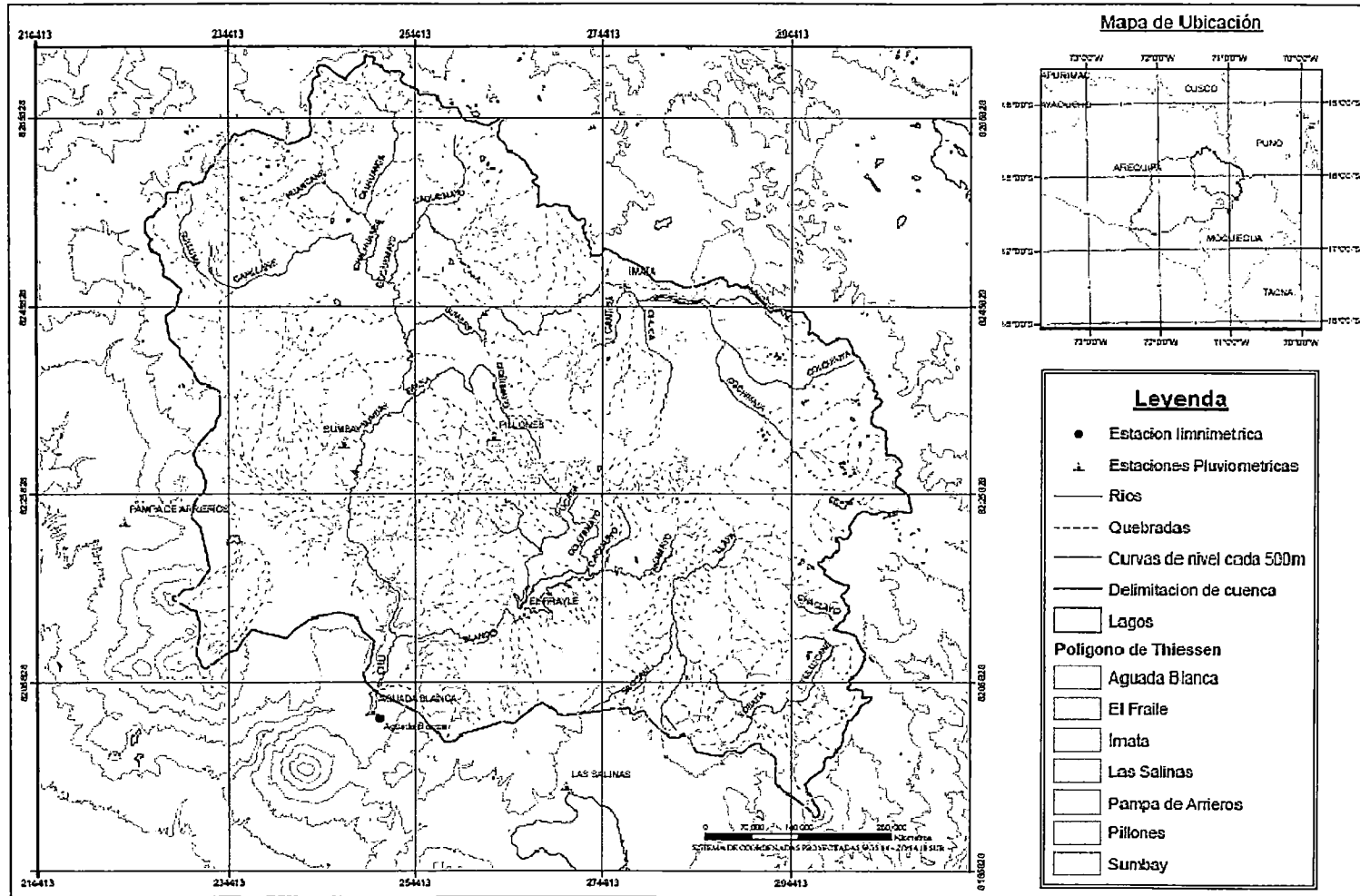
Anexo B.1.2: Cuenca del Río Chancay



Anexo B.1.3: Cuenca del Río Callazas



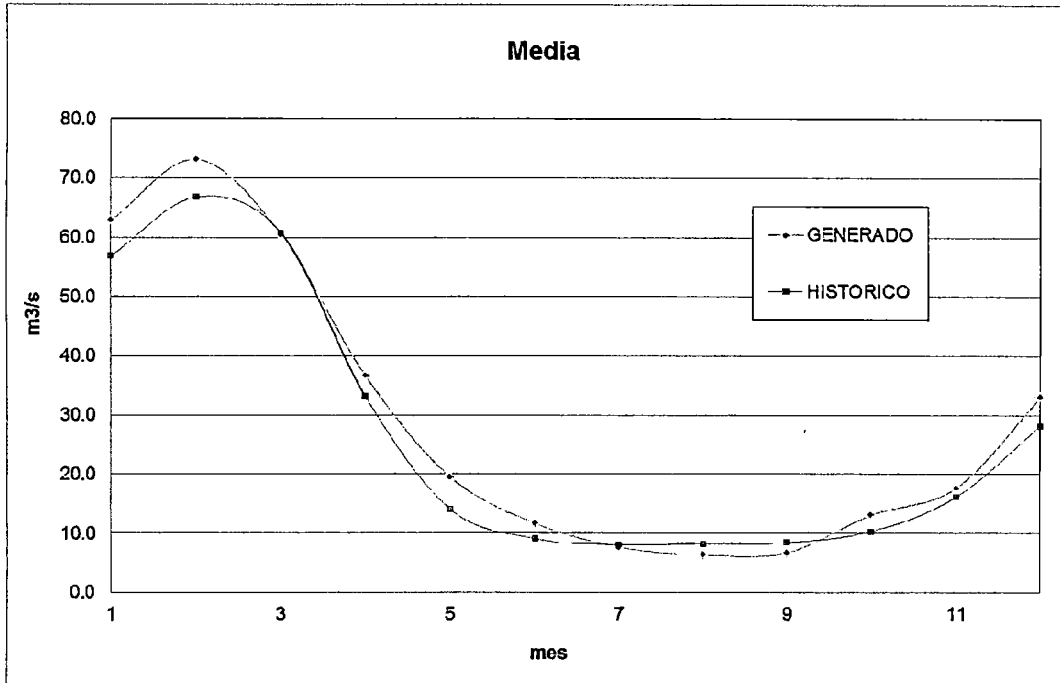
Anexo B.1.4: Cuenca del Río Chili



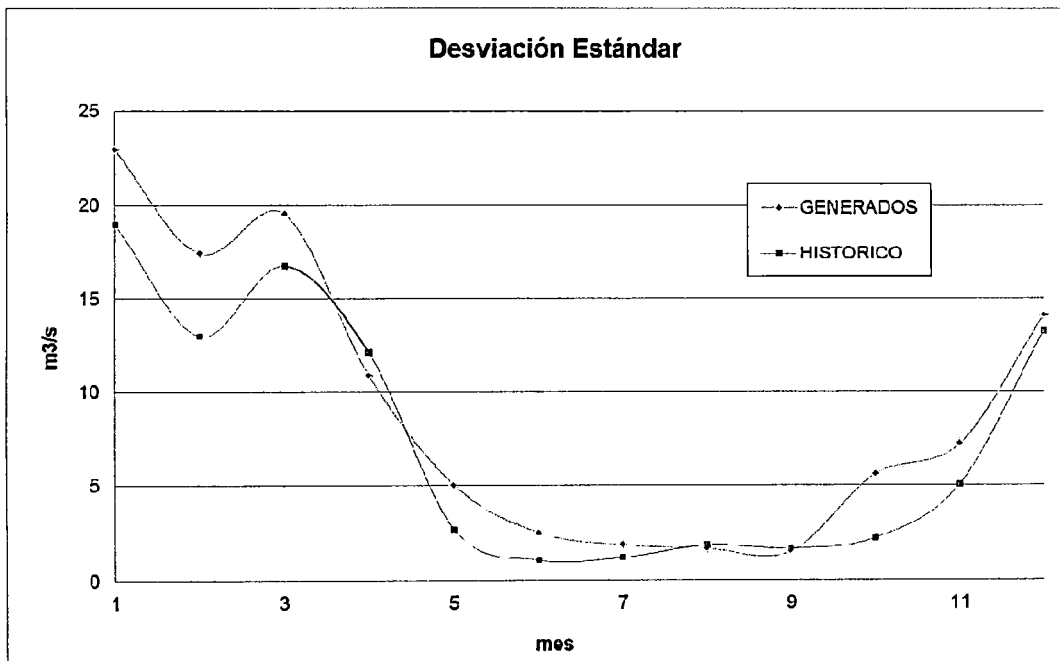
Anexo B.2: Gráficos de resultados estadísticos.

Anexo B.2.1: Cuenca del Río San Gabán

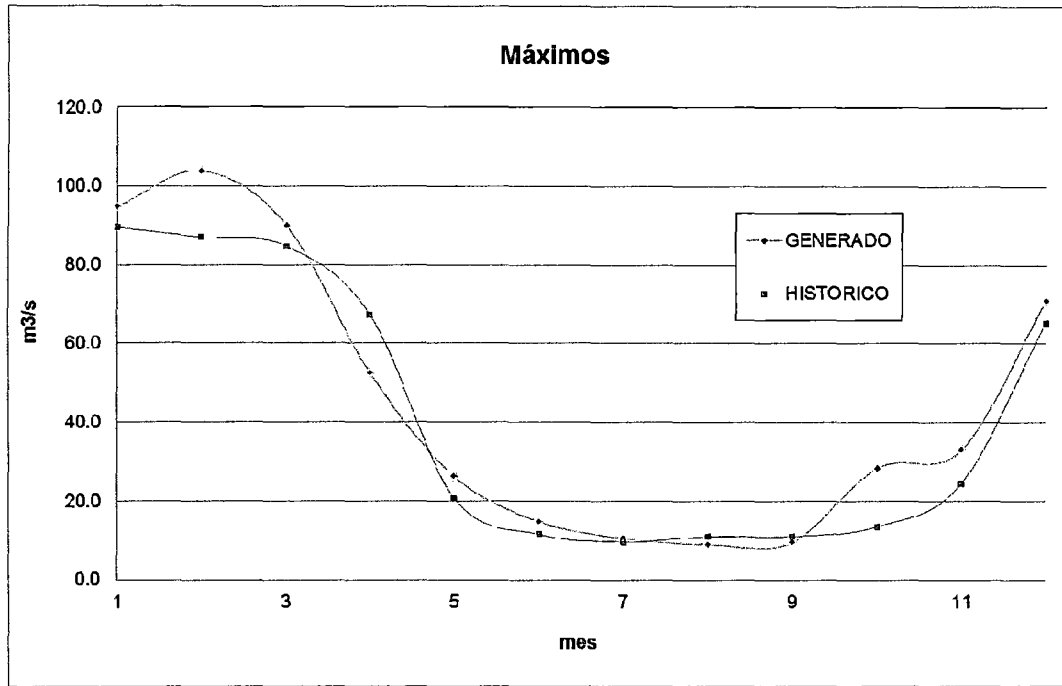
Comparación de la media de los caudales medios mensuales, en la estación Ollachea, 1997-2008.



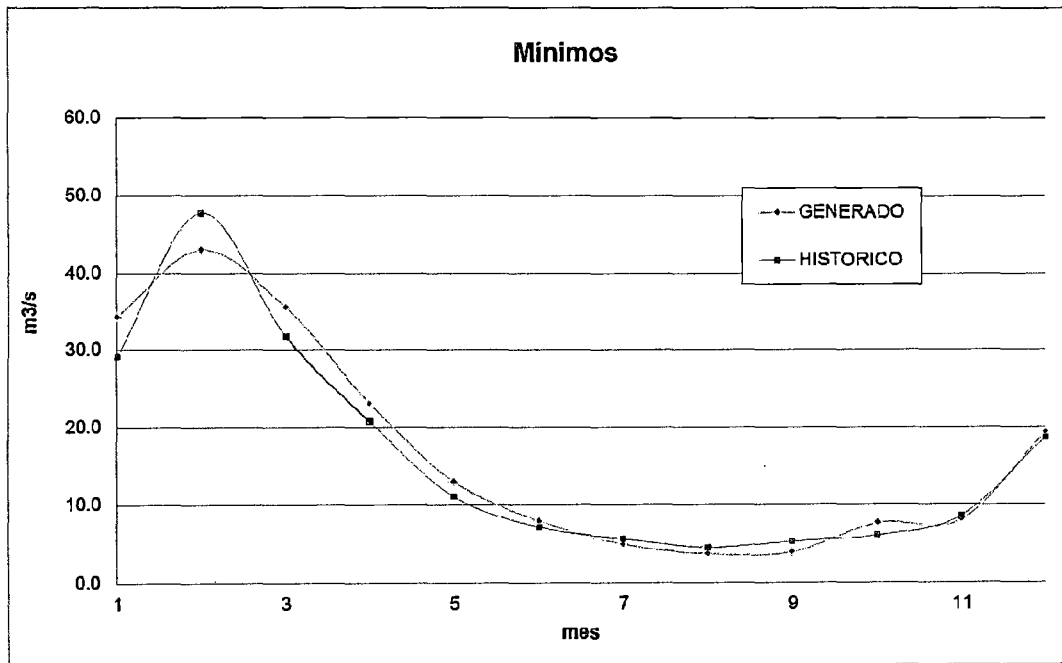
Comparación de la desviación típica de los caudales medios mensuales, en la estación Ollachea, 1997-2008.



Comparación de los máximos de los caudales medios mensuales, en la estación Ollachea, 1997-2008.

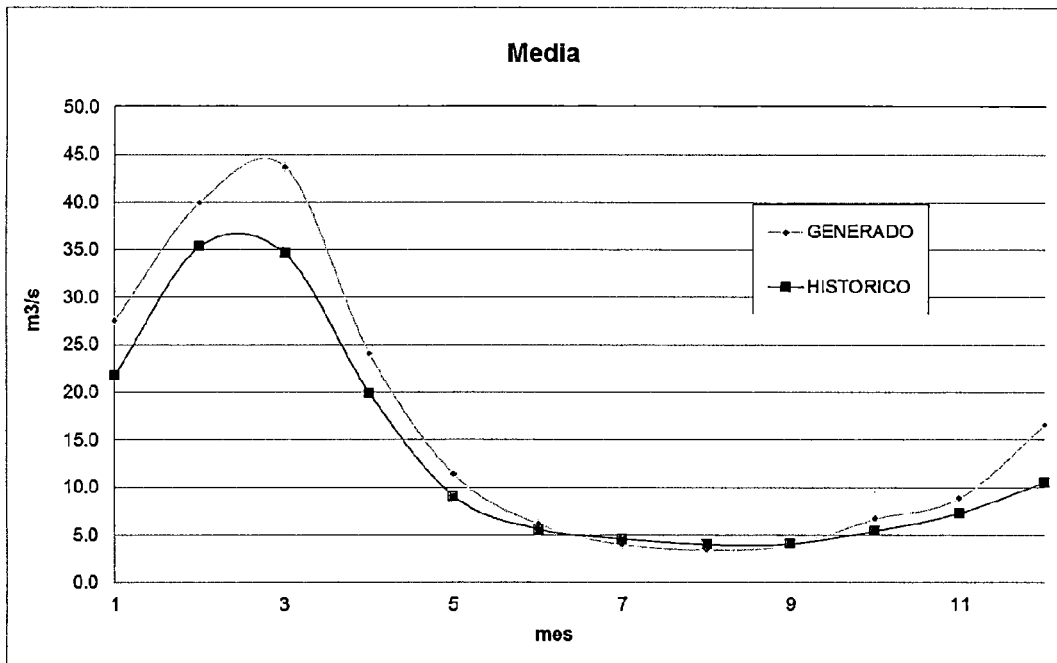


Comparación de los mínimos de los caudales medios mensuales, en la estación Ollachea, 1997-2008.

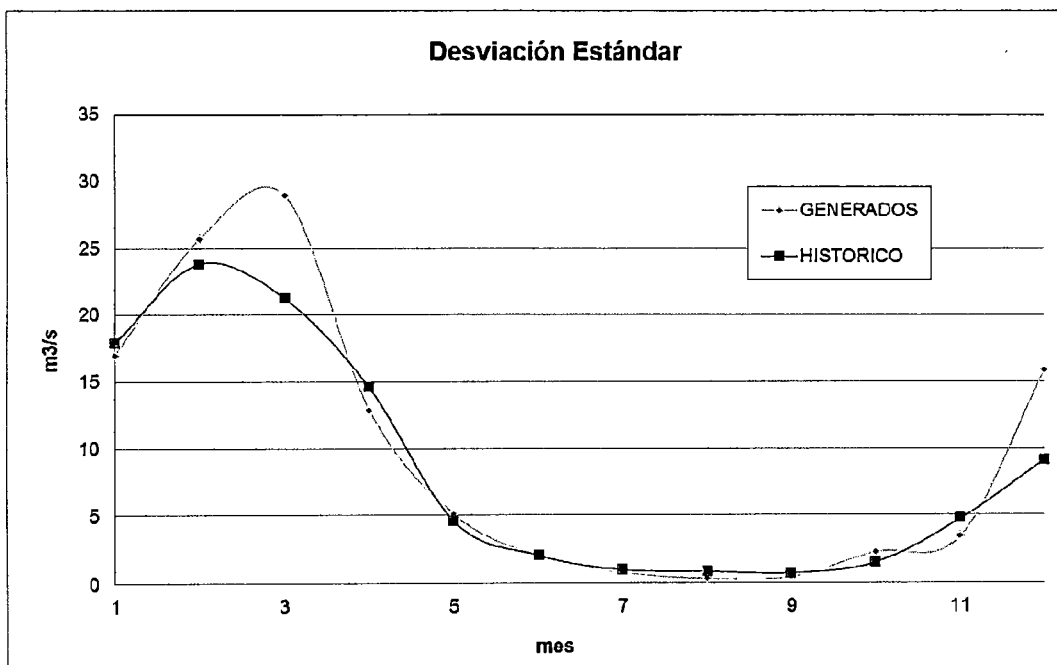


Anexo B.2.2: Cuenca del Río Chancay

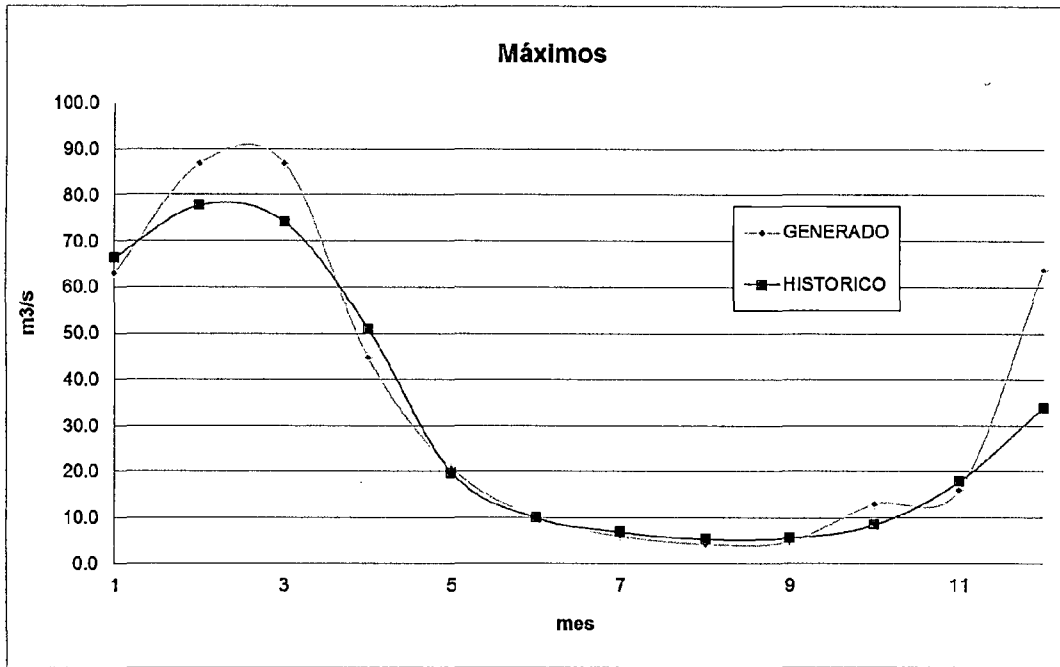
Comparación de la media de los caudales medios mensuales, en la estación Santo Domingo, 1987-1998.



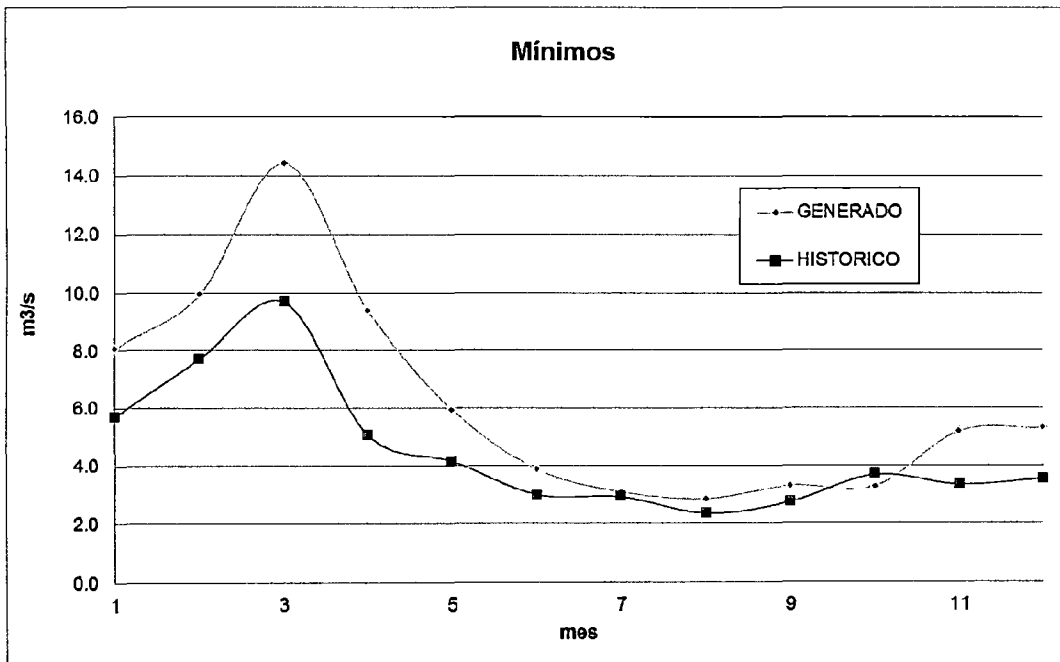
Comparación de la desviación típica de los caudales medios mensuales, en la estación Santo Domingo, 1987-1998.



Comparación de los máximos de los caudales medios mensuales, en la estación Santo Domingo, 1987-1998.

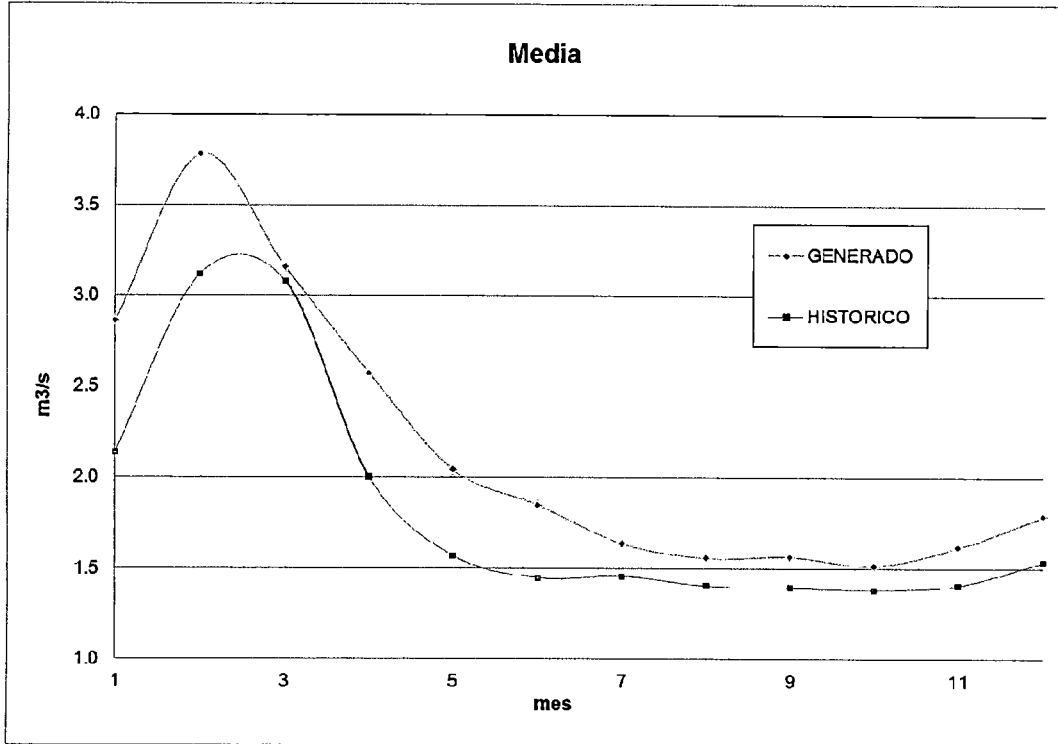


Comparación de los mínimos de los caudales medios mensuales, en la estación Santo Domingo, 1987-1998.

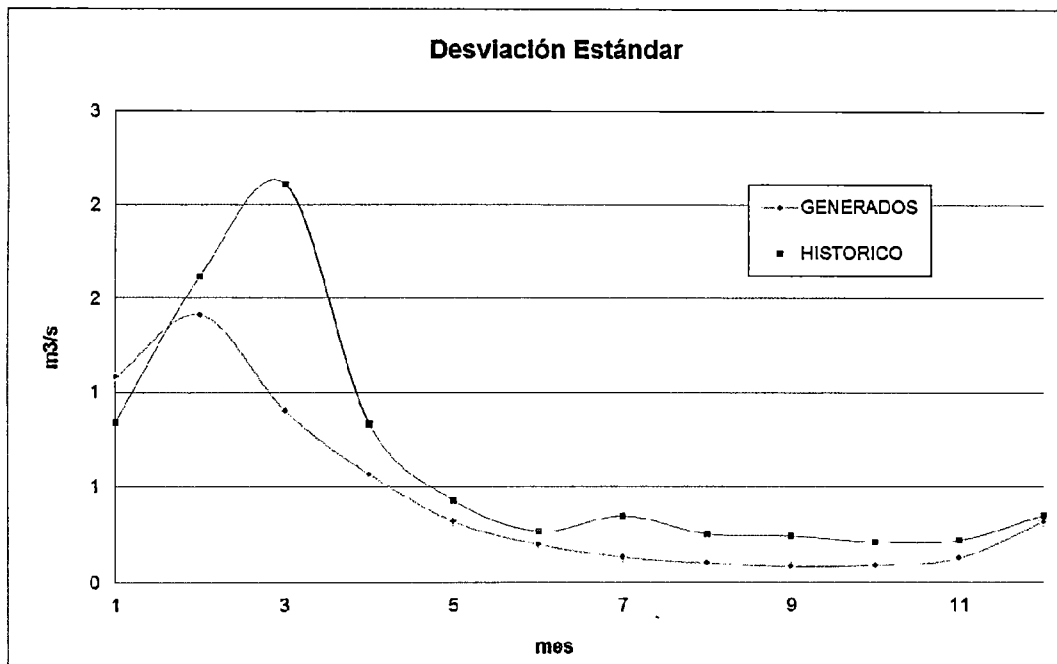


Anexo B.2.3: Cuenca del Río Callazas

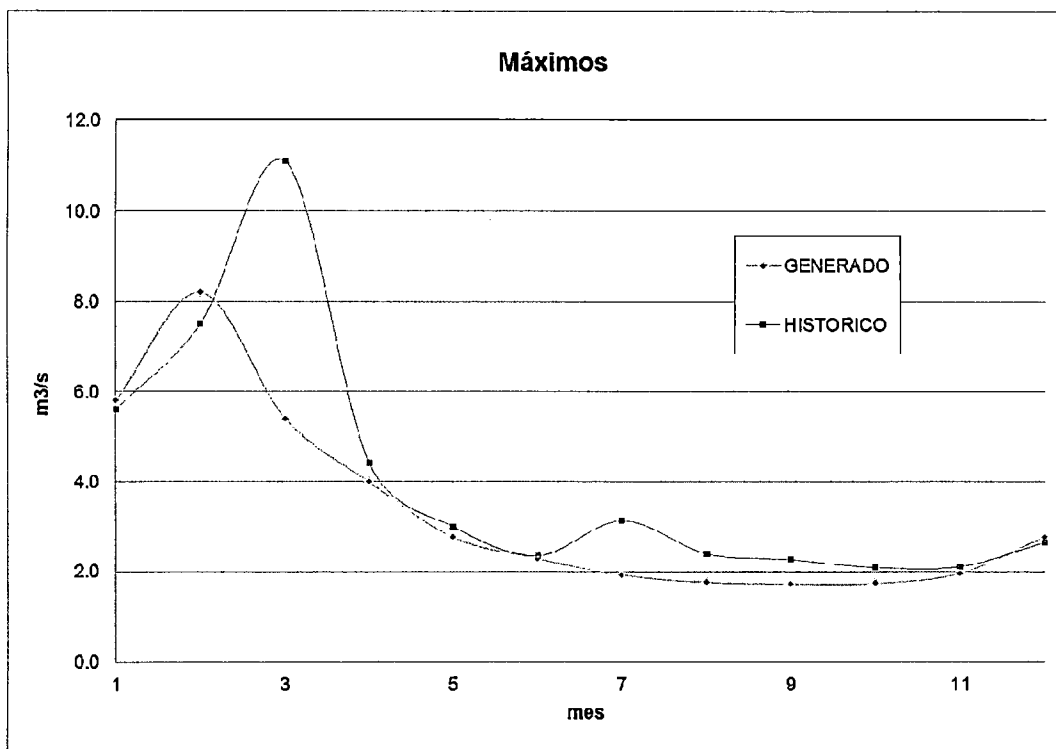
Comparación de la media de los caudales medios mensuales, en la estación Candarave, 1961-2008.



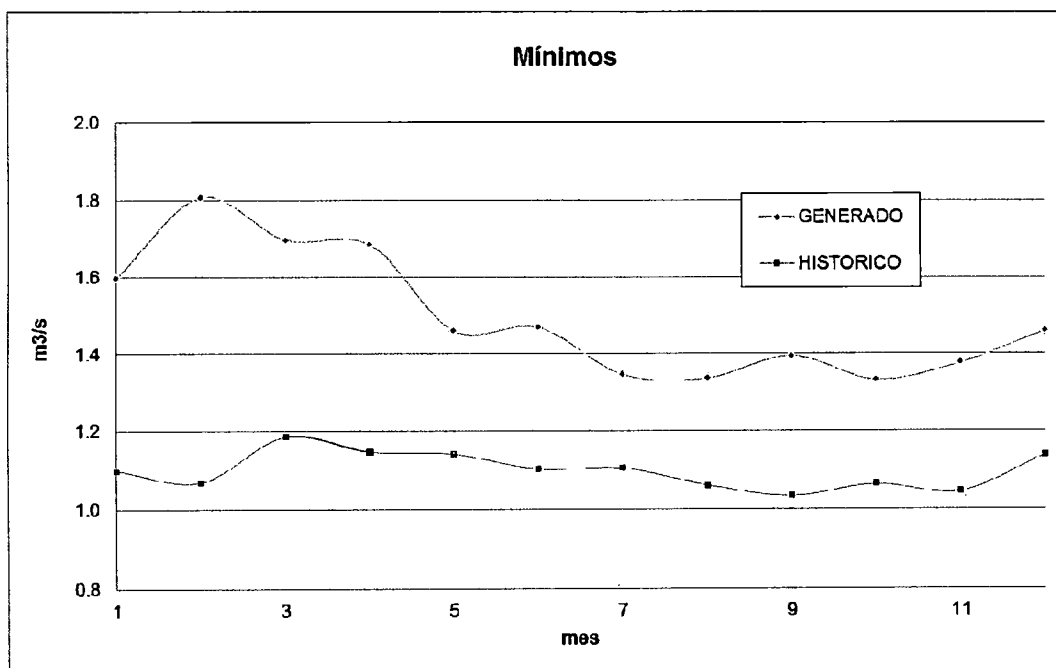
Comparación de la desviación típica de los caudales medios mensuales, en la estación Candarave, 1961-2008.



Comparación de los máximos de los caudales medios mensuales, en la estación Candarave, 1961-2008.

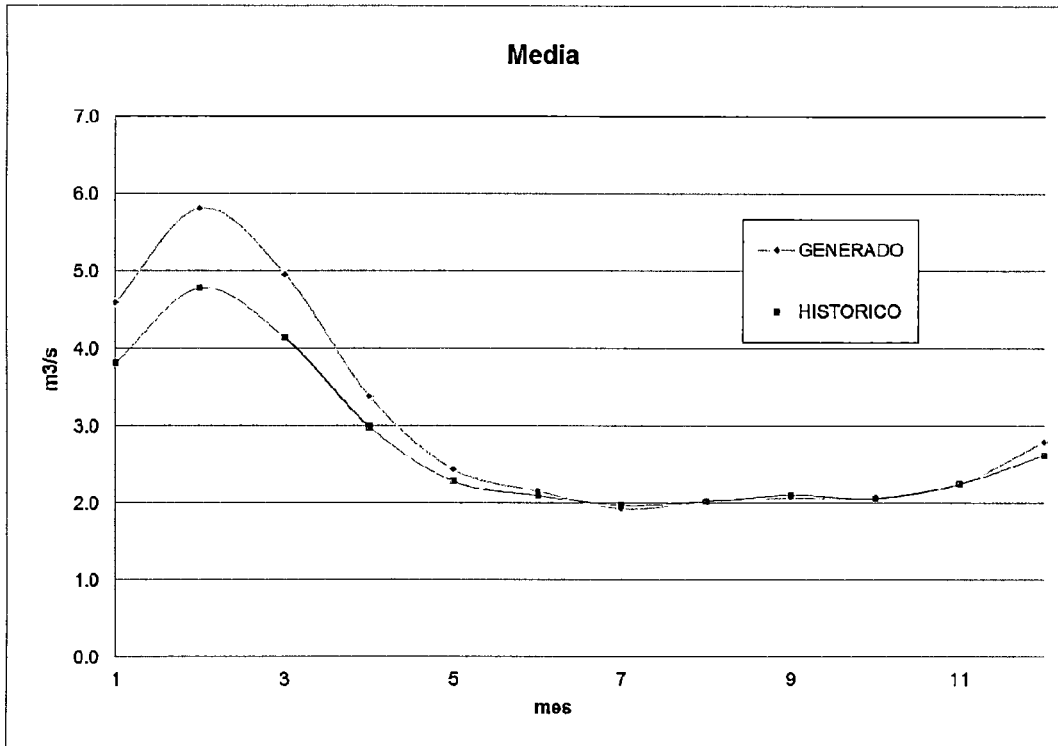


Comparación de los mínimos de los caudales medios mensuales, en la estación Candarave, 1961-2008.

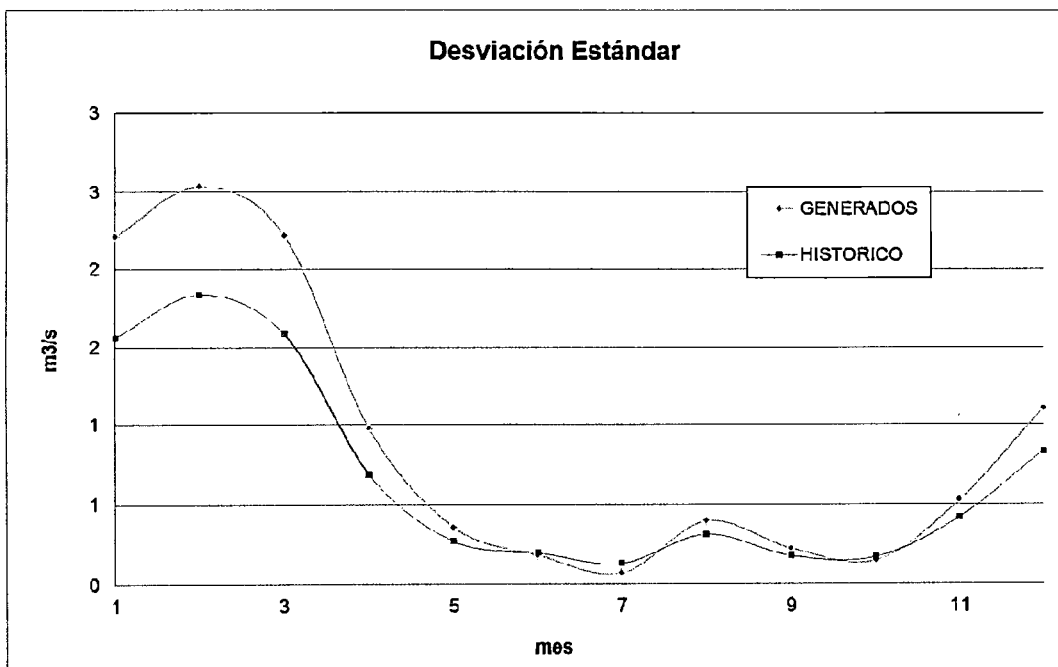


Anexo B.2.4: Cuenca del Río Chili

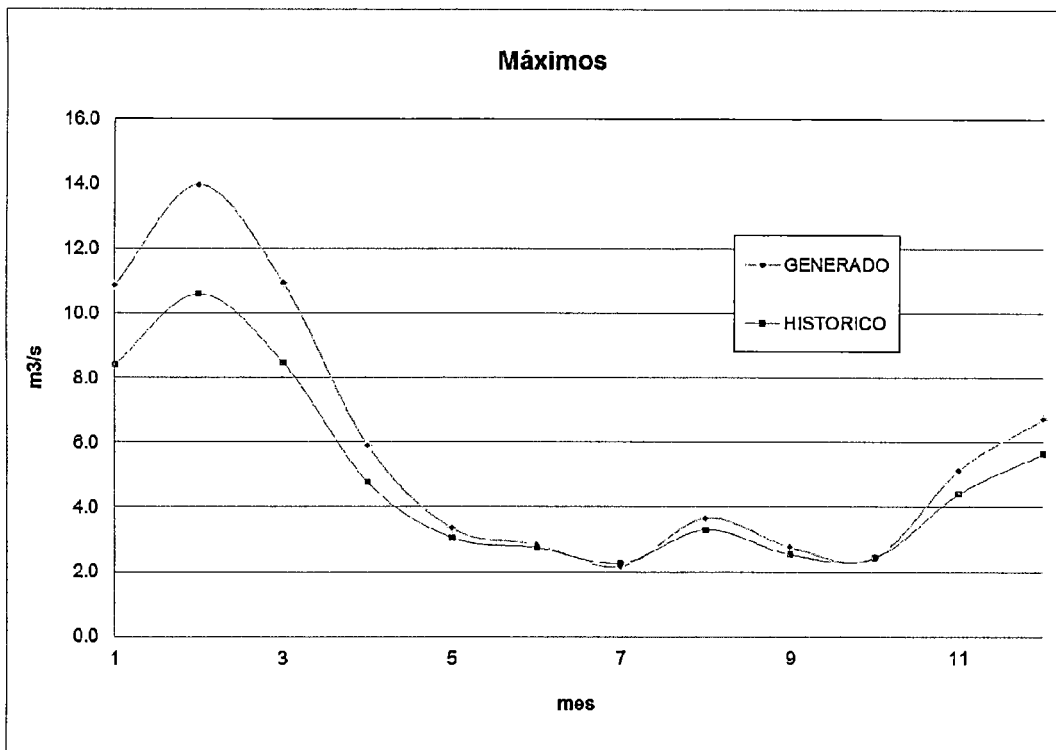
Comparación de la media de los caudales medios mensuales, en la estación Embalse Aguada Blanca, 1964-2000.



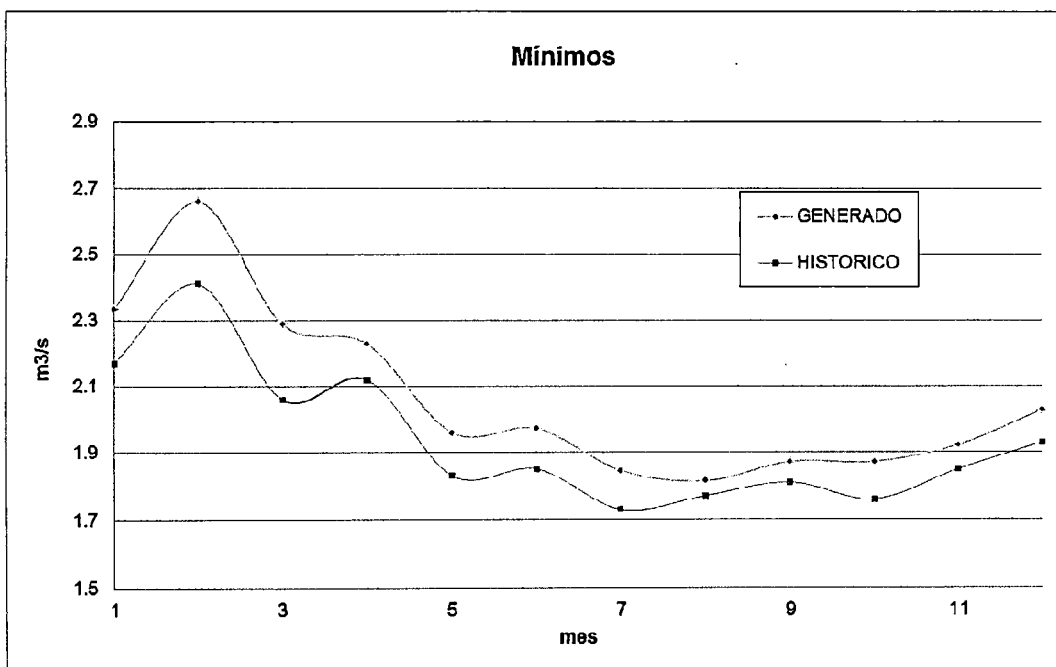
Comparación de la desviación típica de los caudales medios mensuales, en la estación Embalse Aguada Blanca, 1964-2000.



Comparación de los máximos de los caudales medios mensuales, en la estación Embalse Aguada Blanca, 1964-2000.



Comparación de los mínimos de los caudales medios mensuales, en la estación Embalse Aguada Blanca, 1964-2000.



Anexo C: Implementación de la red neuronal en el modelo de Lutz Scholz

Anexo C.1: Coeficientes del modelo en base a un análisis de regresión lineal múltiple con los valores del año promedio.

Anexo C.1.1: Cuenca del Río San Gabán

Valores de precipitación efectiva promedio de la cuenca y caudales mensuales promedio de la estación hidrométrica Ollachea.

Mes		Caudal promedio del mes	Caudal promedio del mes anterior	Precipitación promedio
		Q_t	Q_{t-1}	P_t
		(mm)	(mm)	(mm)
Ene	31	70.16	34.79	94.74
Feb	28	74.39	70.16	74.40
Mar	31	74.92	74.39	59.55
Abr	30	39.57	74.92	12.85
May	31	17.34	39.57	4.08
Jun	30	10.83	17.34	2.47
Jul	31	9.99	10.83	3.04
Ago	31	10.20	9.99	3.94
Set	30	10.07	10.20	5.56
Oct	31	12.77	10.07	19.09
Nov	30	19.27	12.77	20.83
Dic	31	34.79	19.27	50.35

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales:

$$Q_t = B_1 + B_2 Q_{t-1} + B_3 PE_t + t S \sqrt{1-r^2}$$

Valores generados de la aplicación de la red neuronal:

Estación Húmeda		Estación Seca	
B1 =	2.00	B1 =	2.96
B2 =	0.50	B2 =	0.39
B3 =	0.50	B3 =	0.48

Estación húmeda: enero a marzo.

Estación Seca: abril a diciembre.

Anexo C.1.2: Cuenca del Río Chancay

Valores de precipitación efectiva promedio de la cuenca y caudales mensuales promedio de la estación hidrométrica Santo Domingo.

Mes		Caudal promedio del mes	Caudal promedio del mes anterior	Precipitación promedio
		Q_t	Q_{t-1}	P_t
		(mm)	(mm)	(mm)
Ene	31	31.28	15.13	37.38
Feb	28	45.88	31.28	46.64
Mar	31	49.72	45.88	55.31
Abr	30	27.71	49.72	10.24
May	31	13.02	27.71	1.92
Jun	30	7.83	13.02	0.07
Jul	31	6.62	7.83	0.10
Ago	31	5.83	6.62	0.46
Set	30	5.68	5.83	1.57
Oct	31	7.82	5.68	6.92
Nov	30	10.16	7.82	8.52
Dic	31	15.13	10.16	22.38

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales:

$$Q_t = B_1 + B_2 Q_{t-1} + B_3 PE_t + t S \sqrt{1-r^2}$$

Valores generados de la aplicación de la red neuronal:

Estación Húmeda		Estación Seca	
B1 =	2.79	B1 =	2.14
B2 =	0.65	B2 =	0.41
B3 =	0.40	B3 =	0.50

Estación húmeda: enero a marzo.

Estación Seca: abril a diciembre.

Anexo C.1.3: Cuenca del Río Callazas

Valores de precipitación efectiva promedio de la cuenca y caudales mensuales promedio de la estación hidrométrica Candarave.

Mes		Caudal promedio del mes	Caudal promedio del mes anterior	Precipitación promedio
		Q_t	Q_{t-1}	P_t
		(mm)	(mm)	(mm)
Ene	31	13.08	9.40	43.29
Feb	28	17.25	13.08	40.56
Mar	31	18.86	17.25	20.66
Abr	30	11.87	18.86	2.04
May	31	9.62	11.87	0.33
Jun	30	8.58	9.62	0.20
Jul	31	8.92	8.58	0.15
Ago	31	8.61	8.92	0.43
Set	30	8.27	8.61	0.58
Oct	31	8.48	8.27	1.12
Nov	30	8.34	8.48	2.60
Dic	31	9.40	8.34	9.71

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales:

$$Q_t = B_1 + B_2 Q_{t-1} + B_3 PE_t + t S \sqrt{1-r^2}$$

Valores generados de la aplicación de la red neuronal:

Estación Húmeda		Estación Seca	
B1 =	2.80	B1 =	5.57
B2 =	0.61	B2 =	0.32
B3 =	0.15	B3 =	0.10

Estación húmeda: enero a marzo.

Estación Seca: abril a diciembre.

Anexo C.1.4: Cuenca del Río Chili

Valores de precipitación efectiva promedio de la cuenca y caudales mensuales promedio de la estación hidrométrica Embalse Aguada Blanca.

Mes		Caudal promedio del mes	Caudal promedio del mes anterior	Precipitación promedio
		Q_t	Q_{t-1}	P_t
		(mm)	(mm)	(mm)
Ene	31	9.28	6.39	12.76
Feb	28	10.51	9.28	12.53
Mar	31	10.09	10.51	9.65
Abr	30	7.05	10.09	1.26
May	31	5.57	7.05	0.35
Jun	30	4.96	5.57	0.23
Jul	31	4.81	4.96	0.13
Ago	31	4.93	4.81	0.90
Set	30	4.98	4.93	0.65
Oct	31	5.03	4.98	1.01
Nov	30	5.31	5.03	1.48
Dic	31	6.39	5.31	4.52

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales:

$$Q_t = B_1 + B_2 Q_{t-1} + B_3 PE_t + t S \sqrt{1-r^2}$$

Valores generados de la aplicación de la red neuronal:

Estación Húmeda		Estación Seca	
B1 =	2.70	B1 =	2.80
B2 =	0.40	B2 =	0.39
B3 =	0.33	B3 =	0.32

Estación húmeda: enero a marzo.

Estación Seca: abril a diciembre.

Anexo C.2: Caudales generados en m³/s con la implementación de la Red Neuronal en el método de Lutz Scholz.

Anexo C.2.1: Cuenca del Río San Gabán

Caudales generados en la estación Ollachea (m³/s), con la implementación de la Red Neuronal en el método de Lutz Scholz.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1965	39.4	48.6	37.3	22.9	12.6	8.9	7.4	6.7	10.9	10.0	17.8	39.9
1966	35.0	44.2	37.2	22.4	13.7	9.4	7.1	10.3	9.3	13.3	19.5	27.2
1967	31.3	41.9	66.0	35.3	19.5	12.8	9.8	12.2	12.2	13.6	12.4	32.0
1968	41.1	68.0	46.2	26.0	15.2	11.0	9.3	9.3	9.6	10.8	14.2	25.9
1969	27.4	33.0	27.2	18.0	12.4	10.6	9.0	8.3	9.8	10.2	13.5	20.6
1970	31.5	39.4	40.6	28.6	18.0	12.8	10.3	9.2	10.0	12.2	10.7	41.6
1971	53.7	83.4	48.7	27.5	14.9	10.8	7.9	7.3	8.0	12.2	17.0	33.4
1972	46.9	56.1	44.8	24.2	14.0	10.1	7.8	8.6	9.7	11.8	16.6	31.1
1973	65.1	62.5	49.8	34.5	18.0	11.0	8.6	8.8	10.5	18.2	14.8	32.0
1974	86.7	94.4	67.0	36.2	17.4	11.3	9.5	15.6	11.5	11.8	10.9	25.3
1975	47.3	54.8	43.8	24.1	15.4	10.6	8.0	7.0	10.0	12.9	17.0	43.2
1976	78.2	67.5	49.9	27.6	15.7	10.9	8.0	9.3	11.4	10.2	8.6	23.6
1977	28.2	45.1	55.6	28.4	16.1	10.5	8.3	7.8	8.9	11.2	21.2	26.5
1978	50.2	57.9	47.4	28.9	14.8	9.7	7.6	6.8	8.8	9.5	22.7	39.0
1979	77.9	63.2	68.9	36.6	18.2	11.2	8.7	7.7	8.4	13.1	18.0	29.9
1980	35.6	37.3	29.2	18.3	12.1	10.4	9.2	9.4	9.7	13.5	15.0	49.0
1981	52.8	54.3	42.7	23.8	14.3	11.1	8.5	8.6	9.4	14.2	22.1	46.3
1982	55.5	56.2	47.2	27.7	15.7	12.1	10.0	10.1	10.5	12.5	31.3	34.7
1983	39.6	42.7	32.4	22.6	15.9	12.9	14.4	11.4	10.9	13.9	17.9	25.3
1984	41.6	55.3	38.4	26.7	15.8	12.2	10.7	10.6	9.7	10.0	23.0	23.2
1985	25.4	42.0	32.7	22.8	14.2	10.9	9.9	9.0	10.3	11.0	17.4	22.9
1986	34.0	40.8	32.9	20.4	15.1	12.0	10.3	10.7	11.5	11.3	12.5	19.6
1987	77.2	77.7	64.9	41.3	23.4	14.8	11.8	8.6	9.4	18.9	36.1	58.8
1988	100.7	78.1	70.5	46.4	24.5	16.0	12.7	15.4	16.3	34.8	40.9	45.3
1989	60.1	57.7	45.2	30.6	16.7	11.7	10.5	10.1	10.1	20.4	16.6	23.0
1990	44.4	57.3	56.5	35.2	18.7	14.9	10.8	9.9	10.2	44.2	77.5	99.3
1991	122.7	122.2	112.8	54.2	26.0	15.6	10.5	8.5	12.3	14.3	23.1	41.2
1992	36.6	60.0	37.5	25.4	17.9	12.2	9.2	10.0	8.7	11.0	18.6	20.4
1993	47.0	51.3	57.0	35.0	18.7	12.4	9.0	13.1	11.7	11.4	25.7	39.2
1994	70.1	104.0	73.1	42.1	21.2	13.0	9.1	8.2	10.4	12.5	16.6	29.8
1995	34.0	33.0	66.7	33.2	17.3	10.5	7.7	6.8	6.9	7.5	9.5	15.1
1996	30.4	58.4	51.7	31.5	18.4	11.1	7.9	8.5	8.8	10.0	42.3	52.5
1997	72.3	92.2	81.7	38.0	19.8	12.1	8.0	8.0	7.7	10.6	14.0	18.1
1998	32.6	63.9	64.9	32.6	15.9	11.1	7.7	6.8	6.8	15.0	24.3	17.3
1999	33.5	71.3	63.4	36.1	18.5	11.0	8.1	6.8	9.0	8.3	11.8	27.8
2000	82.4	64.8	40.4	20.9	11.6	9.3	7.0	6.7	8.4	25.3	15.4	32.9
2001	77.8	88.1	73.3	36.8	18.7	10.2	9.8	9.3	9.9	12.2	15.3	16.9
2002	31.7	77.8	76.2	38.4	18.5	11.9	10.0	7.9	8.7	16.8	20.6	33.2
2003	70.7	60.4	66.2	42.3	19.6	11.7	7.7	8.0	8.4	8.9	9.2	26.2
2004	66.8	59.7	38.1	23.2	13.3	10.0	8.4	8.8	8.5	10.3	14.7	27.4
2005	31.2	65.9	44.1	22.9	12.6	7.7	5.4	5.3	6.2	11.5	16.7	20.8
2006	54.3	57.7	42.5	28.2	14.5	8.9	6.0	6.5	8.2	13.2	29.2	57.9

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	48.3	40.0	33.8	20.0	12.0	7.4	6.4	5.1	5.6	10.7	12.8	26.6
2008	60.8	50.5	45.6	24.5	14.3	10.3	7.3	7.0	8.3	13.7	12.1	34.3
Media	52.5	60.9	52.1	30.1	16.6	11.3	8.9	8.9	9.6	13.8	19.9	33.1
Máx.	122.7	122.2	112.8	54.2	26.0	16.0	14.4	15.6	16.3	44.2	77.5	99.3
Mín.	25.4	33.0	27.2	18.0	11.6	7.4	5.4	5.1	5.6	7.5	8.6	15.1
Desv. Están.	21.9	19.1	17.0	8.0	3.3	1.8	1.7	2.2	1.8	6.6	11.8	14.9

Anexo C.2.2: Cuenca del Río Chancay

Caudales generados en la estación Santo Domingo (m³/s), con la implementación de la Red Neuronal en el método de Lutz Scholz.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1967	36.8	76.7	72.7	34.5	15.7	8.4	4.9	3.7	3.7	6.9	6.5	5.5
1968	9.0	12.7	19.1	13.5	7.2	4.7	3.4	3.1	3.4	4.4	4.7	5.3
1969	7.8	16.1	28.2	16.8	8.5	5.2	3.7	3.3	4.4	7.4	7.2	12.0
1970	43.6	37.7	31.5	19.4	10.5	6.1	4.1	3.2	4.7	4.8	6.1	10.3
1971	14.0	20.4	38.6	20.5	9.8	5.8	4.0	3.5	3.4	3.9	4.2	11.9
1972	18.1	32.5	37.8	22.6	10.6	6.1	4.2	3.4	3.4	4.3	5.5	9.9
1973	25.6	29.3	58.9	34.9	15.9	8.4	5.1	4.1	4.4	5.4	5.4	20.3
1974	25.2	39.9	42.4	21.9	10.9	6.6	4.5	3.5	3.7	3.6	4.0	5.5
1975	10.5	22.5	49.7	25.0	13.4	8.2	4.8	4.0	3.9	4.2	5.2	9.6
1976	28.6	58.5	49.4	25.5	12.3	7.1	4.4	3.7	3.5	3.3	3.4	5.3
1977	10.3	52.5	50.0	25.1	12.6	6.9	4.4	3.3	3.5	3.3	7.9	8.5
1978	11.0	15.8	16.8	10.2	5.6	4.2	3.7	3.1	3.8	4.6	5.7	6.9
1979	9.8	25.4	46.0	23.0	10.7	6.2	4.0	3.2	3.4	3.5	3.6	5.0
1980	10.6	12.3	13.2	8.5	5.0	3.9	3.4	3.0	3.1	6.8	8.6	8.1
1981	15.5	52.3	72.1	33.8	15.0	7.9	5.0	4.1	3.6	4.7	9.2	14.2
1982	27.5	48.9	41.1	23.0	10.8	6.2	4.2	3.3	3.5	8.7	9.5	8.2
1983	11.2	17.7	48.1	27.9	13.3	7.5	4.6	3.4	4.2	5.2	5.2	17.5
1984	22.7	67.1	85.1	41.8	20.0	10.2	5.7	3.9	3.8	6.0	8.6	9.6
1985	10.4	32.8	46.7	24.5	12.0	6.8	4.3	3.5	3.5	3.6	4.3	9.9
1986	32.5	49.8	50.4	27.5	13.6	7.4	5.0	3.7	3.3	4.2	4.7	16.1
1987	28.8	32.8	23.9	13.2	7.1	4.7	3.5	3.1	3.2	3.1	4.4	6.3
1988	16.7	26.2	22.8	23.3	12.0	6.8	4.2	3.5	3.9	5.2	6.6	11.6
1989	30.2	59.5	64.9	36.5	17.9	9.4	5.6	4.2	4.3	6.2	5.4	4.6
1990	9.4	11.8	13.6	8.9	5.8	4.2	3.3	3.0	3.2	9.6	11.9	14.4
1991	13.9	16.0	20.9	11.7	7.4	4.8	3.5	2.9	3.2	4.7	6.3	6.3
1992	8.0	10.5	14.2	9.8	5.6	4.0	3.2	3.0	3.1	5.8	4.7	5.6
1993	11.2	20.8	49.5	25.7	12.4	6.8	4.4	3.4	3.6	6.1	10.6	14.1
1994	29.3	42.1	54.3	28.5	14.1	7.6	4.6	3.6	4.1	5.2	6.3	8.0
1995	14.7	17.4	23.2	14.8	7.8	5.0	3.6	3.3	3.4	4.7	7.4	15.3
1996	22.9	53.2	50.1	27.4	13.0	7.2	4.4	3.7	3.8	4.7	5.3	6.9
1997	12.7	32.0	23.5	13.1	7.0	4.6	3.4	3.4	3.7	4.8	9.2	44.0
1998	50.8	55.5	69.9	34.0	15.1	8.0	4.7	3.6	3.8	5.1	5.8	8.4
1999	14.9	58.1	51.1	28.5	14.8	8.1	5.1	3.8	5.4	5.7	6.4	10.6
2000	32.1	67.9	60.7	31.9	15.2	8.0	4.7	4.5	6.9	7.0	7.3	23.0
Media	19.9	36.0	42.4	23.2	11.4	6.6	4.3	3.5	3.8	5.2	6.4	11.1
Máx.	73.1	99.6	122.5	58.1	28.7	14.2	8.2	6.4	9.6	13.8	16.5	63.3
Mín.	11.3	13.7	18.9	11.9	7.2	5.5	4.6	4.2	4.3	4.5	4.8	6.6
Desv. Están.	15.9	24.8	27.5	12.2	5.4	2.3	1.0	0.5	1.0	2.2	2.9	10.6

Anexo C.2.3: Cuenca del Río Callazas

Caudales generados en la estación Candarave (m³/s), con la implementación de la Red Neuronal en el método de Lutz Scholz.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	2.9	3.5	2.9	1.9	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.6	1.9
1962	2.3	3.7	2.9	1.9	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.6	1.5
1963	2.2	3.8	3.6	2.3	1.6	1.5	1.4	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5
1964	1.9	2.3	2.1	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.6
1965	1.6	2.5	2.0	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
1966	1.4	2.1	1.8	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.5	1.4
1967	1.8	2.7	2.8	1.9	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
1968	2.4	2.8	3.2	2.0	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.4
1969	2.2	2.7	2.6	1.8	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.6
1970	2.7	2.7	2.5	1.8	1.5	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4
1971	2.3	3.7	2.8	1.9	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.9
1972	4.6	4.8	3.9	2.3	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	2.0
1973	4.6	7.0	4.8	2.6	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
1974	4.6	5.1	3.4	2.1	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5
1975	2.8	3.8	3.3	2.1	1.6	1.5	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4	2.0
1976	3.6	3.4	2.6	1.8	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.5
1977	1.6	3.4	3.0	2.0	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.4
1978	3.6	3.1	2.4	1.8	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.4
1979	1.8	1.8	2.3	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
1980	1.5	1.7	2.4	1.7	1.4	1.4	1.3	1.3	1.4	1.5	1.4	1.4
1981	1.9	4.7	3.4	2.1	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
1982	2.0	2.1	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4
1983	1.4	1.5	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4
1984	2.9	5.4	4.3	2.4	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.7	1.5
1985	1.6	5.2	3.9	2.3	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.7
1986	2.7	3.6	3.0	2.0	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.9
1987	4.9	4.0	2.8	1.8	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
1988	2.7	2.4	2.4	1.8	1.5	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4	1.4
1989	3.2	3.7	2.9	2.0	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3
1990	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.9
1991	3.2	3.3	3.3	2.1	1.5	1.5	1.4	1.3	1.4	1.4	1.5	1.4
1992	1.6	1.6	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5
1993	3.1	2.7	2.3	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
1994	2.4	3.6	2.7	1.9	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
1995	1.8	1.8	2.2	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
1996	1.8	2.9	2.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5
1997	2.8	5.0	3.6	2.2	1.6	1.5	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4
1998	3.2	2.9	2.1	1.7	1.4	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5
1999	1.5	5.1	4.5	2.5	1.7	1.5	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4
2000	2.7	3.8	3.0	2.0	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
2001	2.6	5.2	4.4	2.4	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
2002	1.6	3.2	3.3	2.1	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	1.5	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4
2004	2.7	3.3	2.5	1.8	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
2005	1.8	2.9	2.2	1.7	1.4	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5
2006	1.8	2.2	2.6	1.8	1.5	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5
2007	2.8	2.8	2.8	1.9	1.5	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5
2008	2.0	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4
Media	2.5	3.3	2.8	1.9	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
Máx.	4.9	7.0	4.8	2.6	1.7	1.5	1.4	1.4	1.5	1.5	1.7	2.0
Mín.	1.4	1.5	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.4	1.3	1.4	1.3
Desv. Están.	0.9	1.2	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2

Anexo C.2.4: Cuenca del Río Chili

Caudales generados en la estación Embalse Aguada Blanca (m^3/s), con la implementación de la Red Neuronal en el método de Lutz Scholz.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	2.6	3.1	2.8	2.5	2.1	2.1	1.9	1.9	2.1	2.1	2.5	3.2
1965	3.0	3.4	2.4	2.2	2.0	2.0	1.9	2.1	2.4	2.1	2.1	2.1
1966	2.2	3.0	2.5	2.2	2.4	2.2	2.0	1.9	2.0	2.2	2.4	2.3
1967	3.0	8.2	6.5	4.1	2.7	2.3	2.0	2.0	2.1	2.1	2.1	2.2
1968	6.0	4.8	4.9	3.2	2.4	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.3
1969	2.5	3.4	2.9	2.6	2.1	2.1	2.0	1.9	2.1	2.0	2.3	2.6
1970	3.3	3.5	3.2	2.5	2.2	2.1	2.0	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2
1971	3.6	3.8	2.8	2.4	2.1	2.0	1.9	1.9	2.0	1.9	2.0	2.6
1972	5.9	10.6	8.2	4.6	2.9	2.4	2.1	2.0	2.1	2.2	2.2	2.5
1973	3.9	5.0	4.1	3.1	2.3	2.1	2.0	2.0	2.3	2.1	2.1	2.1
1974	6.2	6.0	3.7	3.1	2.3	2.2	2.0	3.2	2.5	2.1	2.1	2.3
1975	2.8	5.9	6.1	4.1	2.8	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.9
1976	4.9	5.6	4.6	3.1	2.4	2.2	2.0	2.0	2.6	2.2	2.1	2.2
1977	2.7	4.4	4.1	2.8	2.2	2.1	1.9	1.9	2.0	2.0	2.3	2.3
1978	3.2	2.7	2.7	2.4	2.1	2.0	2.0	1.9	2.0	1.9	2.5	2.3
1979	2.4	2.9	4.2	3.0	2.3	2.1	1.9	1.9	2.0	2.1	2.2	2.4
1980	2.5	3.0	3.3	2.6	2.1	2.0	1.9	1.9	2.0	2.2	2.3	2.5
1981	3.4	7.1	4.3	3.8	2.6	2.2	2.0	1.9	2.0	1.9	2.0	2.6
1982	3.0	4.0	2.9	2.6	2.1	2.0	1.9	1.9	2.3	2.2	2.4	2.4
1983	2.5	3.1	2.7	2.5	2.1	2.1	2.0	2.1	2.3	2.2	2.1	2.2
1984	3.7	7.2	5.8	3.7	2.5	2.6	2.1	3.1	2.4	2.2	4.3	4.6
1985	3.4	7.0	4.3	3.4	2.5	2.3	2.0	1.9	2.0	1.9	2.2	5.1
1986	7.2	5.7	3.7	2.7	2.3	2.1	2.0	1.9	2.0	2.0	2.0	5.4
1987	4.9	3.8	3.0	2.4	2.1	2.0	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0
1988	5.3	3.8	2.8	2.6	2.2	2.1	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	2.2
1989	2.7	5.9	5.0	3.4	2.5	2.2	2.0	1.9	2.0	2.0	2.1	2.1
1990	3.6	3.4	2.6	2.3	2.2	2.1	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1	3.0
1991	3.6	3.5	6.1	3.9	2.6	2.3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2	2.1
1992	2.2	2.5	2.2	2.2	2.0	2.0	1.9	1.9	2.0	2.2	2.1	2.3
1993	7.4	4.8	3.1	2.4	2.1	2.1	1.9	2.2	2.1	2.1	2.1	2.3
1994	8.3	6.8	6.4	4.0	2.7	2.3	2.0	1.9	2.0	2.0	2.3	2.5
1995	3.2	2.8	5.6	3.5	2.5	2.2	2.0	2.3	2.2	2.1	2.2	2.5
1996	2.6	5.1	3.8	2.7	2.4	2.2	2.0	1.9	2.0	2.1	2.4	2.3
1997	4.1	5.1	3.7	2.7	2.2	2.1	1.9	2.0	2.1	2.3	2.1	2.5
1998	4.4	3.9	2.9	2.4	2.1	2.0	1.9	1.9	2.0	1.9	2.0	2.2
1999	2.5	6.3	8.4	4.8	2.9	2.4	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2
2000	3.9	5.6	4.3	3.0	2.3	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2
Media	3.9	4.8	4.1	3.0	2.3	2.2	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.6
Máx.	8.3	10.6	8.4	4.8	2.9	2.6	2.1	3.2	2.6	2.3	4.3	5.4
Mín.	2.2	2.5	2.2	2.2	2.0	2.0	1.9	1.9	2.0	1.9	2.0	2.0
Desv. Están.	1.6	1.8	1.6	0.7	0.3	0.1	0.0	0.3	0.2	0.1	0.4	0.8

Anexo C.3: Comparación gráfica entre los parámetros estadísticos resultantes, en cada cuenca.

Anexo C.3.1: Cuenca del Río Chancay

Gráfico N° 1 Comparación de variación de la media, 1987 - 2008

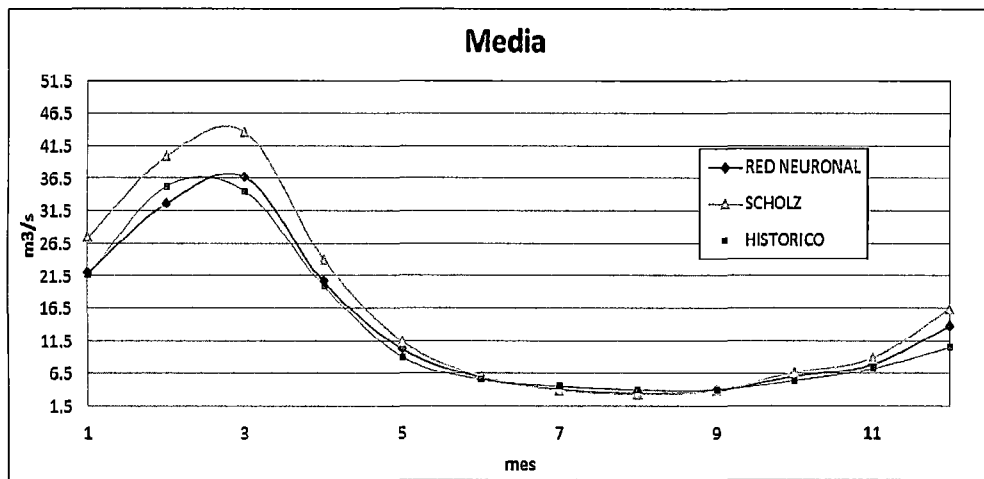
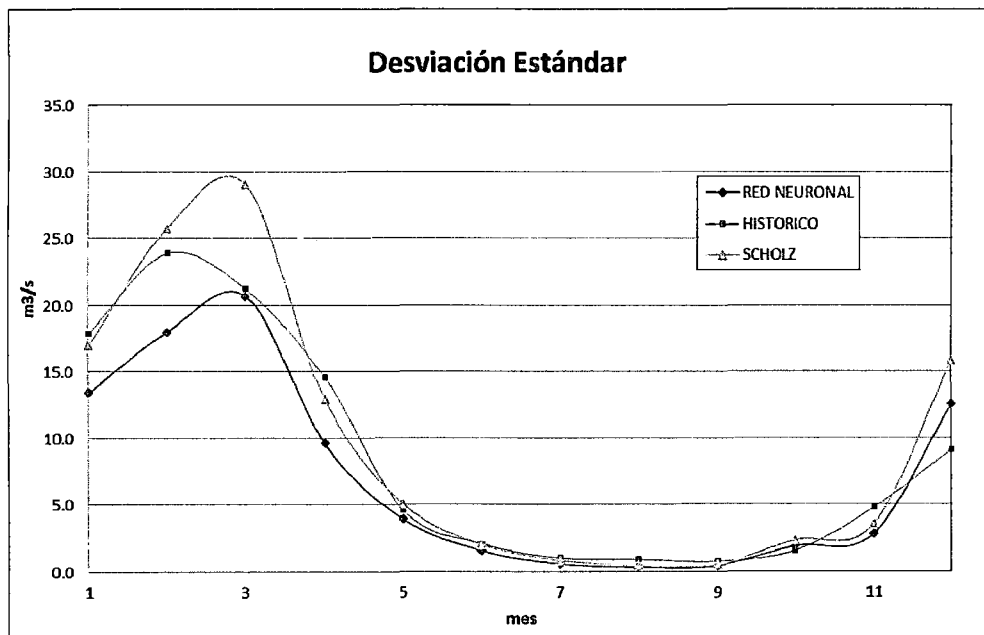


Gráfico N° 2 Comparación de variación de la desviación estándar, 1987 - 2008



Anexo C.3.2: Cuenca del Río San Gabán

Gráfico N° 3 Comparación de variación de la media, 1997 – 2008

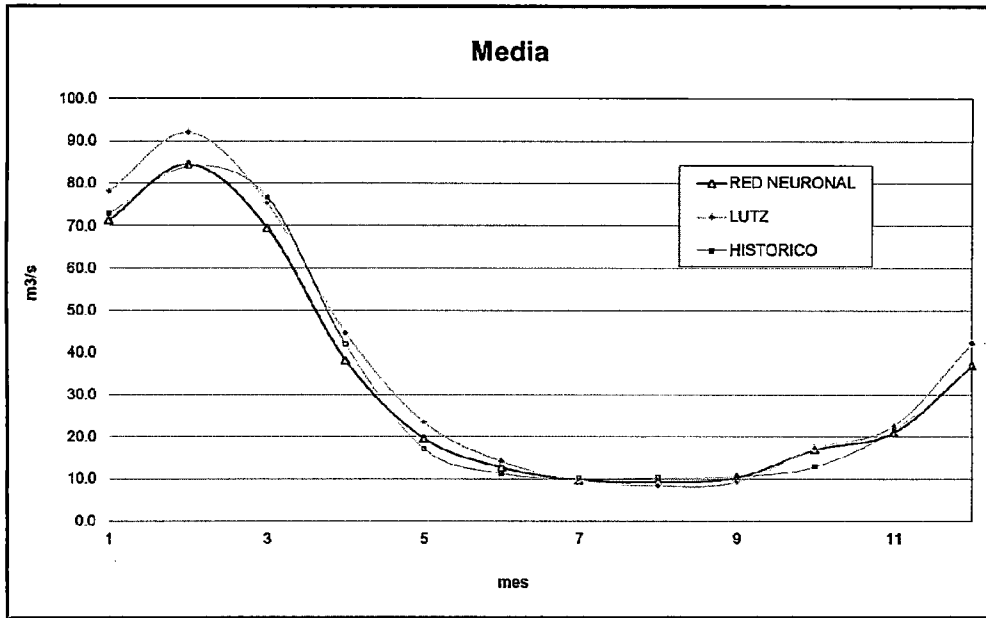
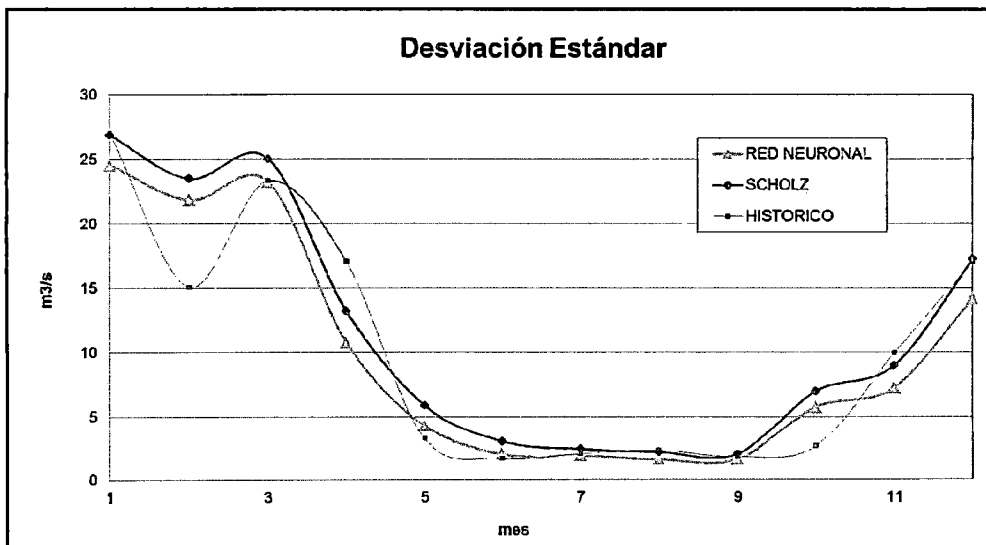


Gráfico N° 4 Comparación de variación de la desviación estándar, 1997 – 2008



Anexo C.3.3: Cuenca del Río Callazas

Gráfico N° 5 Comparación de variación de la media, 1961 – 2008

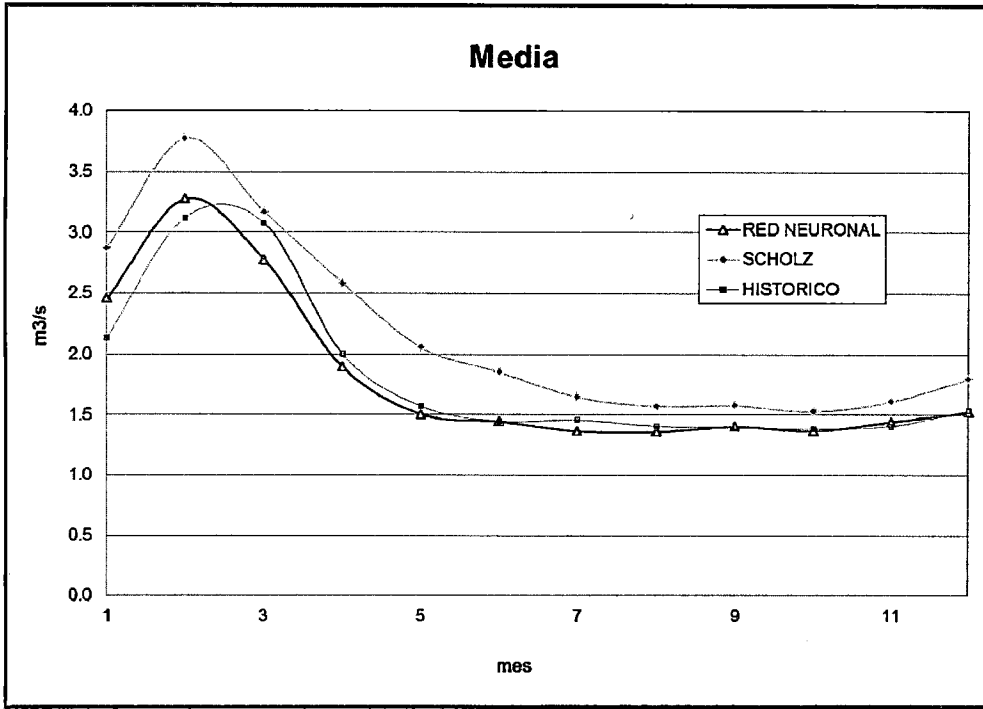
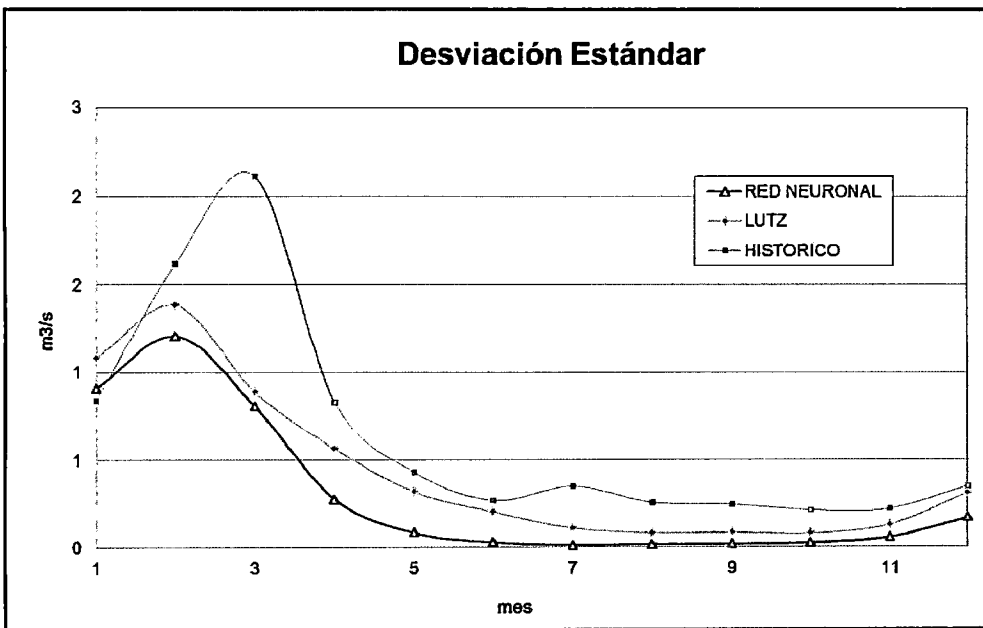


Gráfico N° 6 Comparación de variación de la desviación estándar, 1961 - 2008



Anexo C.3.4: Cuenca del Río Chili

Gráfico N° 7 Comparación de variación de la media, 1964 - 2000

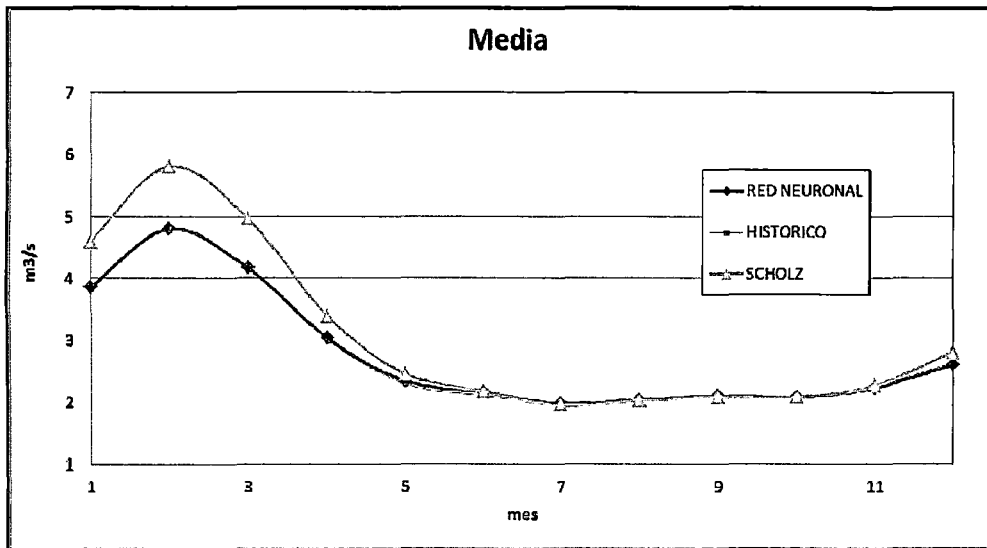
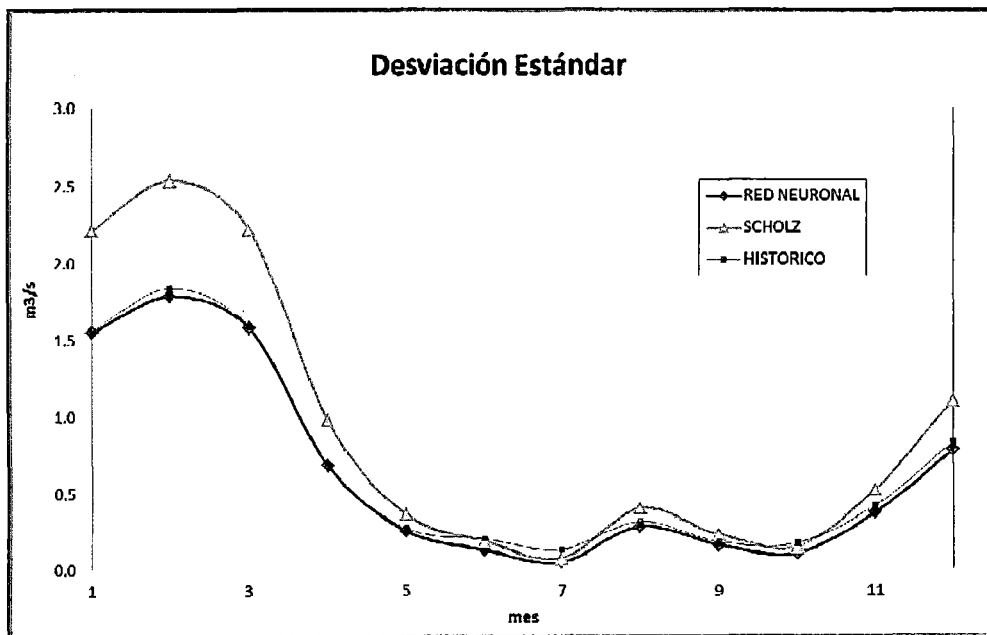


Gráfico N° 8 Comparación de variación de la desviación estándar, 1964 - 2000



BIBLIOGRAFÍA

1. **Aparicio Mijares, Francisco Javier.** "Fundamentos de Hidrología de Superficie". Primera Edición, Editorial LIMUSA-NORIEGA EDITORES. Cuernavaca-México 1987.
2. **Autoridad Nacional del Agua ANA.** "Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Tablachaca". Ancash 2007.
3. **Basogain Olabe, Xabier.** "Redes Neuronales Artificiales y sus Aplicaciones". Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, EHU, 1998.
4. **Cabrera Cabrera, Juan W.** "Statistical Analysis of Climate Change Effects on Agricultural Drought occurrence: The Case of Candarave Village, Tacna – Perú". Tesis presentada para el grado de Maestría en Estudios Avanzados en Recursos Hídricos Sostenibles, ETH Zurich, 2011.
5. **Chow, V; Maidment, D; Mays, L.** Hidrología Aplicada. Santa Fé de Bogotá, CO, Mc Graw Hill. 1994.
6. **Govindaraju, Rao S.** "Artificial Neural Networks in Hydrology". Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, April 2000.
7. **INRENA.** "Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa". Juliaca, Diciembre 2007.
8. **INRENA.** "Estudio Integral de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Acarí y Yauca". Lima, Diciembre 2003.
9. **Laqui V., Wilber F.** "Aplicación de Redes Neuronales Artificiales a la Modelización y Previsión de Caudales Medios Mensuales del Río Huancané". Revista peruana geo-atmosférica, Lima, 2010.
10. **Laurene, F.** "Fundamentos de Redes Neuronales", Prentice-Hall, 1994.
11. **Linsley, Ray K. y Franzini, Joseph B.** Ingeniería de los Recursos Hidráulicos. Compañía Editorial Continental, México 1967.
12. **Obando L., Walter.** "Redes neuronales artificiales en hidrología". Apuntes de clase de Hidrología Avanzada, Lima 2012.

13. **Obando L., Walter.** "Modelación Determinística Hidrológica modelo de Lutz - Scholtz". Apuntes de clase de Hidrología Avanzada, Lima 2012.
14. **O&L CONSULTORES INGENIERÍA Y GESTIÓN.** "Proyecto Central Hidroeléctrica Limbani - Margen Izquierda Río Inambari". Lima, enero 2013:
15. **Quispe G., Mirla G.** "Generación de caudales medio mensuales por el método estocástico de Lutz Scholtz en la Cuenca del Río Chacco de la Región Ayacucho". Universidad Nacional Agraria La Molina, UNALM, Escuela de Post Grado, Maestría en Ingeniería de Recursos Hídricos-Lima, 2010.
16. **Reyes Olivera, Rene M.** "Análisis del modelo precipitación-descarga MHC, aplicación cuenca del rio Chancay-Huaral", tesis presentada para el título de Ingeniero Civil, Lima – Perú, 2010.
17. **Scholtz, Lutz.** "Generación de Caudales Medios Mensuales en la Sierra Peruana". Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones, Plan MERISS, 1980.
18. **The MathWorks, Inc.** "Guía de usuario de Neural Network Toolbox", 2008.