

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
SECCIÓN DE POSTGRADO
ESPECIALIDAD DE INGENIERIA HIDRAULICA**



**COMPARACIÓN DE MODELOS HIDROLOGICOS
PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA DETERMINISTICOS
CONCEPTUALES CON Y SIN USO DE MODELO
ESTOCASTICO**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
CON MENCIÓN EN INGENIERIA HIDRAULICA**

PRESENTADO POR:

Ing. Herminio Nieto Melgarejo

**LIMA – PERU
2007**

**COMPARACIÓN DE MODELOS HIDROLOGICOS
PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA DETERMINISTICOS
CONCEPTUALES CON Y SIN USO DE MODELO
ESTOCASTICO**

Ing. Herminio Nieto Melgarejo

Presentado a la sección de Post-Grado de la Facultad de Ingeniería Civil en
cumplimiento parcial de los requerimientos para el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN
INGENIERIA HIDRAULICA**

de la

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Marzo del 2007

©2007 Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los Derechos Reservados.

Autor: HERMINIO NIETO MELGAREJO
Facultad de Ingeniería Civil

Recomendado por: Phd. JULIO KUROIWA ZEVALLOS
Asesor de Tesis

Aceptado por: Phd. JORGE ALVA HURTADO
Jefe de Post-Grado

A mi Familia:

Por ofrecerme amor y paciencia.

Por creer en mi desarrollo personal.

Por ser mis amigos.

Y principalmente por ser mi motivación en la vida.

A mis Profesores:

Por ser los instrumentos que Dios
puso en la tierra, para el desarrollo
personal de todo estudiante que
quiso escuchar y aprender.

RESUMEN

La tesis presenta la aplicación de tres modelos hidrológicos precipitación-escorrentía: TANQUE, NAM, SMA trabajados en la cuenca del río Cañete durante el periodo del primero de agosto de 1973 al primero de abril de 1976; los cuales fueron calibrados (del 01/08/1973 al 31/07/1974), simulados (del 01/08/1974 al 31/07/1975) y validados (del 01/08/1975 al 01/04/1976), posteriormente a estos tres modelos se les agrego modelos estocástico para mejorar la aproximación, es así que primero se agrego un modelo autoregresivo AR(1), y después se aplico el filtro de Kalman. La metodología para evaluar una mejor aproximación, con los datos reales y calculados por las diferentes variantes de los modelos, fue el uso de índices, para la tesis estos son la raíz del error cuadrático normalizado, el índice de eficiencia y el error medio normalizado, obteniéndose resultados satisfactorios para los modelos TANQUE y NAM.

ABSTRACT

This thesis presents the application of three watershed hydrological models: TANK, NAM, SMA performed in Cañete river basin from August 1, 1973 to April 1, 1976; which were calibrated (from 08/01/1973 to 07/31/1974), simulated (from 01/08/1974 to 31/07/1975) and validated (from 01/08/1975 to 01/04/1976), after that stochastic models were joined to the three models in order to improve the accounting, therefore, first, an AR autoregressive model (1) was joined and then the Kalman filter was applied. The method to assess the best accounting with the real data calculated by the diverse models was to use the indexes - i.e., for the purposes of this thesis, they are the normalized square error root- the efficiency index and the normalized mean error so satisfactory results on TANK and NAM models were obtained.

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Necesidad y motivación de la investigación	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Descripción de Tesis	3
2.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.	DESARROLLO TEÓRICO	7
3.1	Modelos hidrológicos conceptuales	7
3.1.1	Modelo TAMQUE	7
3.1.2	Modelo NAM	20
3.1.3	Modelo SMA (HEC-HMS)	25
3.1.4	Modelo de TEMEZ	30
3.2	Modelos estocástico	32
3.2.1.	AR	32
3.2.2.	Filtro de KALMAN	34
4.	DESCRIPCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	39
4.1	Descripción de la cuenca	39
4.2	Descripción de datos	42
4.3	Procesamiento de datos	48
4.3.1	Precipitación media	49
4.3.2	Evapotranspiración	51
5.	APLICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS HIDROLÓGICOS CONCEPTUALES A LA CUENCA DEL RÍO CAÑETE	53
5.1	Modelamiento de la cuenca del río cañete	53

5.1.1	Modelo tanque con y sin uso de Modelo estocástico	54
5.1.1.1	Calibración	54
5.1.1.2	Simulación	57
5.1.1.3	Validación	59
5.1.2	Modelo NAM con y sin uso de Modelo estocástico	61
5.1.2.1	Calibración	61
5.1.2.2	Simulación	63
5.1.2.3	Validación	65
5.1.3	Modelo SMA con y sin uso de Modelo estocástico	67
5.1.3.1	Escala diaria	67
5.1.3.1.1	Calibración	67
5.1.3.1.2	Simulación	69
5.1.3.1.3	Validación	71
5.1.3.2	Escala disgregada de tiempo	72
5.1.3.2.1	Calibración	72
6.	ANÁLISIS, COMPARACIÓN Y RESULTADOS DE LOS MODELOS	75
6.1	Análisis y comparación del modelo TANQUE	76
6.2	Análisis y comparación del modelo NAM	76
6.3	Análisis y comparación del modelo SMA	77
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
7.1	Conclusiones	79
7.2	Recomendaciones	80
8.	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	81
9.	ANEXOS	
9.1	Datos hidrometeorológicos	83
9.1.1	Datos de entrada para la calibración	83

9.1.1.1 Datos de entrada de precipitación diaria para la calibración.	83
9.1.1.2 Datos de entrada de caudal para la calibración.	97
9.1.2 Datos de entrada para la simulación	99
9.1.2.1 Datos de entrada de precipitación diaria para la simulación y validación.	99
9.1.2.2 Datos de entrada de caudal para la simulación y validación.	112
9.1.3 Otros datos meteorológicos	114
9.1.4 Datos de entrada y de salida del modelo Témez	117
9.2 Estación de aforos	121

INDICE DE FIGURAS

N°	Ítem	Pág.
1	Ejemplo de un tanque.	7
2	Representación de un tanque con una sola toma.	8
3	Tanque con toma de escorrentía por encima del fondo.	10
4	Escorrentía vs. Altura de reservorio.	11
5	Modelo Tanque con 4 reservorios.	15
6	Idealización del modelo físico del modelo.	15
7	El modelo tanque para escorrentía de avenidas en Río Kanna cuatro tanques a la izquierda representan la cuenca y el tanque a la derecha representa el cauce del río).	19
8	Esquema de la evapotranspiración en el modelo NAM.	21
9	Esquema del flujo superficial u overland flow del modelo NAM.	22
10	Esquema del flujo subsuperficial o interflow del modelo NAM.	23
11	Esquema de la recarga del acuífero del modelo NAM.	24
12	Esquema del flujo base del modelo NAM.	25
13	Diagrama del modelo de humedad de suelo (SMA).	26
14	Evapotranspiración real de la zona de tensión del perfil de suelo.	28
15	Ciclo de pronóstico y corrección del filtro de Kalman.	36
16	Una visión completa del filtro de Kalman.	38
17	Cuenca del río Cañete y ubicación de las estaciones pluviométricas e hidrométricas.	40
18	Temperatura media mensual estación YAUYOS	43
19	Temperatura media mensual estación PACARAN	43
20	Temperatura media mensual estación CAÑETE	43
21	Evaporación media mensual estación YAUYOS	44
22	Evaporación media mensual estación PACARAN	44

23	Evaporación media mensual estación CAÑETE	45
24	Humedad relativa media mensual estación YAUYOS	45
25	Humedad relativa media mensual estación PACARAN	46
26	Velocidad del viento media mensual estación YAUYOS	46
27	Velocidad del viento media mensual estación PACARAN	47
28	Precipitación total media mensual periodo 1964 al 2000	47
29	Caudal observado en la estación Socsi del 01/08/1973 al 01/04/1976	48
30	Mapa de polígonos de Thiessen	50
31	Configuración del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete.	55
32	Calibración del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974).	55
33	Ei vs. Ei-1 (Modelo TANQUE)	56
34	Calibración del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974).Usando modelo estocástico AR(1)	56
35	Calibración del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974). Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman	57
36	Simulación del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975).	58
37	Simulación del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975).Usando modelo estocástico AR(1)	58
38	Simulación del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975).Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman	59
39	Validación del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976).	59
40	Validación del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976).Usando modelo estocástico AR(1)	60
41	Validación del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976).Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman	60
42	Calibración del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974).	61
43	Ei vs. Ei-1 (Modelo NAM)	62

44	Calibración del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974).Usando modelo estocástico AR(1)	62
45	Calibración del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974). Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman	63
46	Simulación del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975).	64
47	Simulación del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975).Usando modelo estocástico AR(1)	64
48	Simulación del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975).Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman	65
49	Validación del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976).	65
50	Validación del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976).Usando modelo estocástico AR(1)	66
51	Validación del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976).Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman	66
52	Calibración del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974).	67
53	Ei vs. Ei-1 (Modelo SMA)	68
54	Calibración del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974).Usando modelo estocástico AR(1)	68
55	Calibración del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974). Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman	69
56	Simulación del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975).	70
57	Simulación del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975).Usando modelo estocástico AR(1)	70
58	Simulación del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975).Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman	71
59	Validación del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976).	71
60	Validación del modelo SMA en la cuenca del río Cañete	72

(01/08/1975-01/04/1976).Usando modelo estocástico AR(1)

- | | | |
|----|---|----|
| 61 | Validación del modelo SMA en la cuenca del río Cañete
(01/08/1975-01/04/1976).Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman | 72 |
| 62 | Calibración del modelo SMA Disgregado en la cuenca del
Río Cañete. (01/08/1973-31/07/1974) | 74 |

INDICE DE CUADROS

N°	Ítem	Pág.
1	Evapotranspiración potencial para el año promedio	51
2	Regionalización de la evaporación total anual	52
3	Coefficientes para la disgregación de precipitación y evaporación	73
4	Índices obtenidos en el período de calibración para el modelo TANQUE	76
5	Índices obtenidos en el período de simulación para el modelo TANQUE	76
6	Índices obtenidos en el período de validación para el modelo TANQUE	76
7	Índices obtenidos en el período de calibración para el modelo SMA	77
8	Índices obtenidos en el período de simulación para el modelo SMA	77
9	Índices obtenidos en el período de validación para el modelo SMA	77
10	Índices obtenidos en el período de calibración para el modelo SMA	77
11	Índices obtenidos en el período de simulación para el modelo SMA	77
12	Índices obtenidos en el período de validación para el modelo SMA	78
13	Estación TANTA, precipitación diaria (mm.) 1973 – 1974	83
14	Estación VILCA, precipitación diaria (mm.) 1973 – 1974	85
15	Estación CARANIA, precipitación diaria (mm.) 1973 – 1974	87
16	Estación YAUYOS, precipitación diaria (mm.) 1973 – 1974	89
17	Estación HUANTAN, precipitación diaria (mm.) 1973 – 1974	91
18	Estación COLONIA, precipitación diaria (mm.) 1973 – 1974	93
19	Estación HUANGASCAR, precipitación diaria (mm.) 1973–1974	95
20	Estación SOCSI, caudal medio diario (m ³ /s) 1973–1974	97
21	Estación TANTA, precipitación diaria (mm.) 1975 – 1976	99
22	Estación VILCA, precipitación diaria (mm.) 1975, 1976	101
23	Estación CARANIA, precipitación diaria (mm.) 1975, 1976	103
24	Estación YAUYOS, precipitación diaria (mm.) 1975, 1976	105

25	Estación HUANTAN, precipitación diaria (mm.) 1975, 1976	107
26	Estación COLONIA, precipitación diaria (mm.) 1975, 1976	109
27	Estación HUANGASCAR, precipitación diaria (mm.) 1975, 1976	111
28	Estación SOCSI, caudal medio diario (m ³ /s) 1975,1976	113
29	Temperatura media mensual periodo 1996 al 2000	115
30	Evaporación media total mensual periodo 1996 al 2000	115
31	Humedad relativa media mensual periodo 1996 al 2000	115
32	Velocidad media del viento mensual periodo 1996 al 2000	116
33	Precipitación áreal media mensual (mm.)	117
34	Evapotranspiración potencial total media mensual (mm./mes)	118
35	Generación de caudales medios mensuales (m ³ /s)	119
36	Evapotranspiración real total media mensual (mm./mes)	120

COMPARACIÓN DE MODELOS HIDROLOGICOS PRECIPITACIÓN ESCORRENTÍA DETERMINISTICOS CONCEPTUALES CON Y SIN USO DE MODELO ESTOCASTICO

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 NECESIDAD Y MOTIVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En nuestro país la investigación se ha dejado a menos en los últimos años, así como también la prevención. Cuando existe un desastre natural; los gastos de rehabilitación, producido el desastre, son mucho mayores que los gastos de prevención que se hubieran hecho antes del desastre, tal vez la razón sea la falta de sensibilidad o memoria que nos afecta a todos.

La prevención es una actividad muy importante y a la larga más económica, que la rehabilitación o reparación de daños producidos por un fenómeno natural, que en este caso consiste en los fenómenos relacionados con la precipitación. Es por ello que la presente investigación se basa en modelos hidrometeorológicos que pueden simular eventos extremos; pero que en el caso específico de la tesis a consecuencia de la información diaria sólo se obtendrá un caudal medio diario, pero estos modelos podrían tener intervalos de menor tiempo, para obtener un caudal máximo instantáneo, o se podría tener una relación caudal máximo diario versus caudal medio diario; para que estos modelos sirvan para generar caudales máximos diarios.

La motivación en el desarrollo de los modelos hidrológicos surgió en el 2000; cuando el autor de esta tesis, era practicante en el Instituto Geofísico del Perú (IGP) en el área de pronóstico numérico de tiempo y clima; en el verano de ese año se realizó un curso auspiciado por el Banco Mundial referente al fenómeno de El Niño; el cual estaba orientado a que las principales instituciones del Perú tales como el IGP, SENAMHI, IMARPE, y otras; se capaciten con el fin de generar modelos atmosféricos de predicción; así como también modelos hidrológicos. La investigación se dividió en dos partes de igual importancia, una sobre los fenómenos atmosféricos que dan origen a los hidrometeoros o precipitación, los modelos atmosféricos; y la otra aún tan o más importante es el producto de estos hacia una cuenca hidrográfica que puede ser

simulada por un modelo hidrológico determinado, para una cuenca con determinadas características. Los modelos matemáticos atmosféricos e hidrológicos son de gran importancia; un avance cualitativo y cuantitativo se debe tener de estos; en la actualidad se tiene un avance mayor con respecto a la variable precipitación.

Actualmente en Iberoamerica se ha formado un grupo en pronóstico hidrometeorológico, con financiamiento del CYTED, que se inició en el 2005 y finalizará en el 2008; afortunadamente SouthernPeru es parte de este grupo de trabajo Iberoamericano; teniendo dos cuencas experimentales ubicadas en Uruguay y Colombia, respectivamente siendo la presente tesis un apoyo a la evolución de los modelos en estas cuencas pilotos; y el deseo de seguir investigando y desarrollando así modelos que consideren los procesos hidrológicos ideales, en las cuencas.

1.2 OBJETIVOS

En un futuro no muy lejano se espera un gran avance de los modelos atmosféricos y enlazarlos con los modelos hidrológicos para generar hidrogramas de predicción de caudal.

Esta investigación es un avance hacia el gran objetivo final que es la predicción de hidrogramas; se modelará la cuenca del río Cañete, utilizando los modelos precipitación-escorrentía TANQUE, NAM y SMA; los cuales se analizarán a escala diaria, dado que se cuenta con información de precipitación acumulada en veinticuatro (24) horas. Existen muy pocas estaciones en el país, con pluviógrafos que proporcionen la intensidad de la precipitación; y menos aún estaciones telemétricas que proporcionen información en tiempo real.

Se hallará un caudal medio diario en la aplicación de los modelos para la cuenca del río Cañete. El objetivo es generar caudales en forma continua (diaria) en base a la precipitación de la cuenca, tanto en los meses secos como húmedos. Estos modelos se calibran como mínimo con un año hidrológico y siendo preferible disponer de varios años; una vez calibrados estos darán, el caudal en función a la precipitación; así también los modelos servirán para verificar que los datos tomados en campo guarden un valor cercano a los valores modelados; así como también servirá para un análisis de completación y extensión de datos faltantes. Por otra parte se podría comparar con modelos a escala mensual como son los modelos de Témez y Shultz; así como otros de escala mensual.

La tesis sirve como base metodológica para la generación de modelos de precipitación escurrentía de tipo conceptual o también llamados modelos de caja gris. Existen muchos modelos de diferentes tipos; algunos como el de redes neuronales que desnaturalizan el modelamiento de los procesos hidrológicos (modelo de caja negra) pero un modelo conceptual a diferencia del anterior toma en cuenta los procesos hidrológicos; como una cuenca es diferente a otra y en cada una de éstas algunos procesos cobran más importancia que otros, el modelo a generar sólo tendría que modelar los procesos más representativos, por ejemplo una cuenca donde exista gran cantidad de nevados y en otra en la que no; entonces en ésta se debe considerar el aporte de escurrentía de los nevados, el llamado proceso de fusión (derretimiento de nieve); tal vez un claro ejemplo en el modelamiento hidrológico es el llamado modelo Europeo SHE; desarrollado en 1986 por el Danish Hydraulic Institute (DHI), United Kingdom Institute of Hydrology y SOGREAH en Francia, y optimizado en MIKE-SHE por el DHI.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LA TESIS

La presente Tesis consta de seis capítulos, en el primero, se trata la motivación, necesidad y objetivos de la tesis; el segundo, representa la revisión de literatura, que tiene que ver con el tema de la Tesis; el tercero, el desarrollo teórico de los modelos, es decir la descripción teórica de los modelos precipitación-escurrentía y los estocásticos; el cuarto, la descripción y procesamiento de datos, en el cual se describe los datos utilizados en la simulación de los tres modelos utilizados en la cuenca; el quinto, la aplicación de los tres modelos a la cuenca con y sin uso de los modelos estocásticos; en el sexto, se describe la comparación de los resultados de los distintos modelos y sus variaciones; finalmente, en el séptimo, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo se hará referencia de los antecedentes en la aplicación de modelos similares, así también como en la cuenca del río Cañete, los cuales sirven de apoyo, en el desarrollo de la presente Tesis.

2.1 MODELOS HIDROLOGICOS

- **Simulated real time intercomparison of hydrological models**

Este es el reporte operacional de hidrología N° 38, publicado en 1992, de la Organización Mundial de Meteorología (Ref. 16). En este reporte se presentan los resultados de 15 modelos de todo el mundo, mostrando las graficas y comparación por medio de índices definidos; este trabajo no tuvo como objetivo escoger el mejor modelo, sino que fue la oportunidad de los modeladores, de probar los modelos bajo diferentes datos de cuencas de otros países.

- **Models used for forecasting snowmelt and rainfall runoff**

Este es el reporte operacional de hidrología N° 27, publicado en 1989, por la Organización Mundial de Meteorología (Ref. 17). En este informe se trata la descripción matemática de los modelos, en esta Tesis el modelo Tanque.

- **Intercomparison of conceptual models used in operational hydrological forecast**

Este es el reporte operacional de hidrología N° 7, publicado en 1975, por la Organización Mundial de Meteorología (Ref. 15); y constituye el informe final del proyecto iniciado en 1968 y terminado en 1974, en el cual se utilizaron 10 modelos hidrológicos de diferentes países, en este también se explican los requerimientos mínimos para el funcionamiento de los modelos pero no se entra en la teoría del modelamiento, con seis diferentes cuencas.

- **Run off Calculation Method (Ref. 9)**

Este es una guía de clase del curso de Ingeniería de ríos, publicada por ministerio de la construcción de Japón en 1987. Esta publicación da los conceptos físicos y matemáticos para la aplicación del modelo Tanque.

- **Computer models of watershed Hydrology (Ref. 18)**

Este libro es editado por el Dr. Vijay P. Singh y publicado por la Water Resource Publications, en 1995. Esta publicación cuenta con un capítulo del Modelo Tanque escrito por el creador del método Dr. Masami Sugawara; también el programa MIKE 11, que tiene como modelo precipitación escorrentía el NAM.

- **NAM, Technical reference and Model documentation (Ref. 3)**

Este libro es publicado por el Instituto Danés de Hidráulica, en 1999. Esta publicación presenta los conceptos físicos y matemáticos para la aplicación del modelo NAM.

- **Technical reference Manual, HEC-HMS (2.2.2) (Ref. 4)**

Este es un manual del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, en el cual es utilizado en detalle el modelos de transformación precipitación escorrentía SMA, creado por Fleming.

2.2 ESTUDIOS EN LA CUENCA DEL RÍO CAÑETE

- **Inventarío, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa, cuenca del río Cañete (Ref. 8)**

Publicación de 1970 de la ONERN, donde se presenta en detalle la descripción de la cuenca del río Cañete, como mapas temáticos de usos de suelos, infraestructura de riego, información hidrometeorológica, censos, diagnósticos, etc.

- **Desarrollo integral de recursos hídricos en la cuenca del río Cañete en la República del Perú (Ref. 12)**

Es una publicación reciente del 2001, realizado por la empresa NIPPON KOEI CO. LTD, para SEDAPAL. En este informe se observa el desarrollo del estudio Hidrológico de la cuenca del río Cañete, así como la descripción en detalle de la cuenca.

- **Aplicación del modelo tanque a nivel diario en la cuenca del río Cañete (Ref. 11)**

Trabajo realizado por el autor de esta tesis de maestría, que tuvo la finalidad de utilizar el modelo original del Dr. Sugawara, en la cuenca del río Cañete; fue desarrollada como tesis para la obtención del título profesional de Ingeniero civil en la Universidad Nacional de Ingeniería el 2003.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO TEORICO

En este capítulo se hace referencia en detalle del desarrollo, tanto matemático como físico, de los modelos, así como del modelo AR y del filtro de Kalman.

3.1 MODELOS HIDROLOGICOS CONCEPTUALES

3.1.1 MODELO TANQUE

El modelo Tanque (Tank model) es un método de cálculo de escorrentía, que relaciona el área de almacenamiento de un río, con un número de recipientes de almacenamiento (llamados tanques). Este modelo fue propuesto por el Dr. Masami Sugawara (1970, Ref. 9).

Cálculo de escurrimiento e infiltración de Tanque

A continuación se muestra un tanque en la Fig.1.; en el cual se calcula la escorrentía y la infiltración.

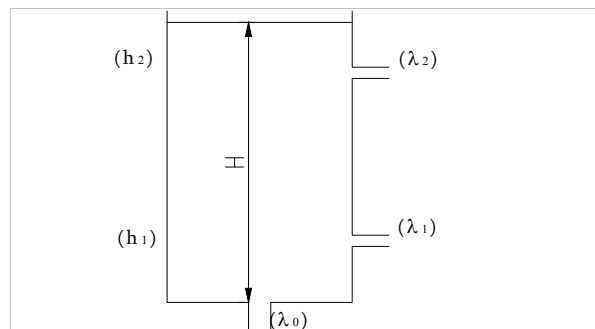


Figura 1. Ejemplo de un tanque

El volumen de agua introducido a través de la infiltración de un tanque superior o directamente de la precipitación (primer tanque), se aumenta a la altura de agua del tanque.

La escorrentía y la infiltración, producto de las tomas, se obtienen multiplicando la profundidad de almacenamiento que se encuentra encima de estas tomas por las constantes multiplicativas de estas.

Así, en el tanque de la Fig. 1

$$E = (H - h1) \cdot \lambda_1 + (H - h2) \cdot \lambda_2$$

$$I = H \cdot \lambda_0$$

Donde:

E = Escorrentía.

H = Altura de agua del reservorio.

h1 = Profundidad umbral de Escorrentía uno.

h2 = Profundidad umbral de Escorrentía dos.

λ_0 = Coeficiente de Infiltración.

λ_1 = Coeficiente de escorrentía uno.

λ_2 = Coeficiente de escorrentía dos.

La escorrentía, la infiltración y la evapotranspiración son reducidas a la altura de reservorio para generar el contenido de reservorio remanente de escorrentía e infiltración, así se completa el cálculo de la escorrentía. Sin embargo, el procedimiento debe ser repetitivo para el cálculo de las subsiguientes escorrentías.

Características de la escorrentía en el Tanque

La escorrentía que se produce en el tanque es proporcional a la altura de reservorio por encima de la toma.

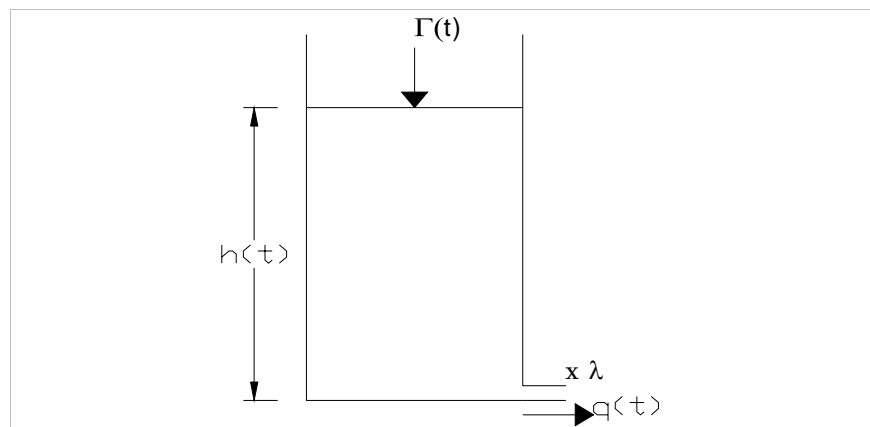


Figura 2 Representación de un tanque con una sola toma.

En la Fig. 2 se muestra un tanque; la escorrentía $q(t)$ es dada por la ecuación:

$$q(t) = h(t) \cdot \lambda \dots \dots \dots (3.1.1)$$

Donde:

λ = Constante de toma (hr^{-1} , día^{-1} , etc.)

h = Profundidad de reservorio del tanque (mm.)

Si no existiera un aporte de agua por encima del tanque, la relación de continuidad será:

$$-q = \frac{dh}{dt} \dots\dots\dots(3.1.2)$$

Así las ecuaciones 3.1.1 y 3.1.2, se tiene:

$$q = q_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \dots\dots\dots(3.1.3)$$

$q_0 : q \text{ para } t = 0$

Con esta ecuación se muestra que la escorrentía decrece exponencialmente con respecto al tiempo.

Para un caso más real, en el cual se considera un aporte de agua por encima del tanque ya sea por la precipitación (primer tanque), infiltración o percolación (para tanques inferiores), la ecuación de continuidad se escribirá como sigue:

$$r(t) - q = \frac{dh}{dt} \dots\dots\dots(3.1.4)$$

Donde:

$r(t)$ = Precipitación o infiltración proveniente de un tanque superior.

Resolviendo la ecuación anterior se tendrá.

$$q(t) = \int_0^{\infty} r(t - \tau) \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot d\tau \dots\dots\dots(3.1.5)$$

La ecuación (3.1.5) no es más que el cálculo de la escorrentía por el método del hidrograma unitario en el cual un hidrograma es expresado por una disminución exponencial. En otras palabras el cálculo del hidrograma unitario es similar al cálculo de la escorrentía de un tanque en el modelo.

Si se considera un tanque con una toma ligeramente por encima del fondo; como se muestra en la Fig. 3.

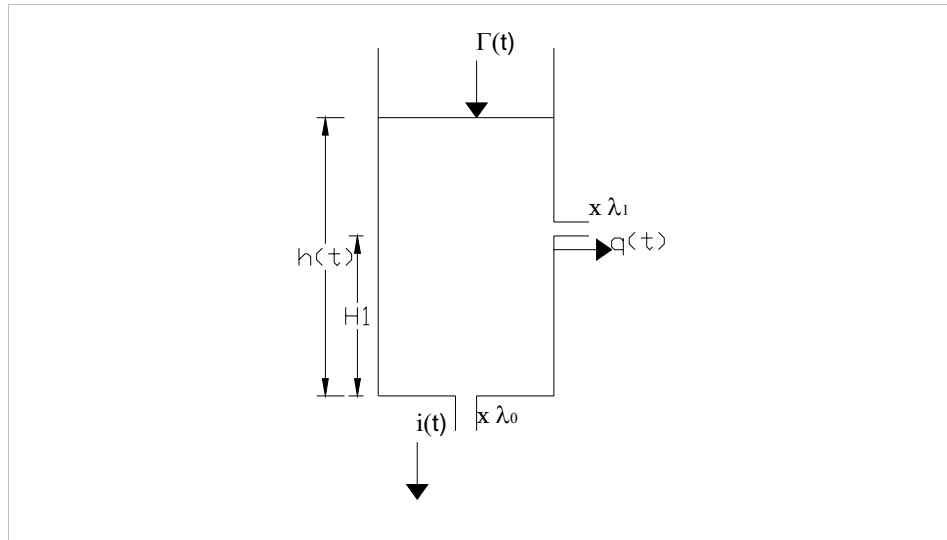


Figura 3. Tanque con toma de escorrentía por encima del fondo.

Con la toma de escorrentía a una profundidad de reservorio $H1 = 15 \text{ mm.}$, el escurrimiento no se producirá hasta alcanzar una profundidad mayor a 15 mm. , y solo se infiltrara para alturas inferiores. Por lo tanto, el valor de 15 mm. puede expresar una pérdida inicial o una disminución en la retención de humedad del suelo. Este tipo de tanque es utilizado en el primer y segundo reservorio.

La escorrentía $q(t)$ y la infiltración $i(t)$ del tanque de la Fig. 3, se expresan como:

$$\begin{cases} q(t) = (h(t) - H1) \cdot \lambda_1 \\ i(t) = h(t) \cdot \lambda_0 \end{cases} \dots\dots\dots(3.1.6)$$

Si $h(t)$ es mayor que $H1$, la ecuación de continuidad es:

$$r(t) - q(t) - i(t) = \frac{dh}{dt} \dots\dots\dots(3.1.7)$$

Resolviendo la ecuación (3.1.7) en función de $q(t)$ y $i(t)$ se tiene.

Si $r(t) = 0$

$$\begin{cases} q(t) = c \cdot \lambda_1 \cdot e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)t} - \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot H_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \\ i(t) = c \cdot \lambda_0 \cdot e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)t} + \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot H_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \end{cases} \dots\dots\dots(3.1.8)$$

Si $r(t) \neq 0$

$$\begin{cases} q(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \cdot K(t) - \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot H_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \\ i(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \cdot K(t) + \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot H_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \end{cases} \dots\dots\dots(3.1.9)$$

Donde:

$$K(t) = \int_0^{\infty} r(t - \tau) \cdot (\lambda_0 + \lambda_1) \cdot e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)\tau} \cdot d\tau \dots\dots\dots(3.1.10)$$

Las ecuaciones 3.1.8 y 3.1.9 muestran que la escorrentía $q(t)$ y la infiltración $i(t)$ tienen el coeficiente de disminución expresado por la suma de los términos de la función exponencial $(\lambda_0 + \lambda_1)$ y una constante de la misma forma.

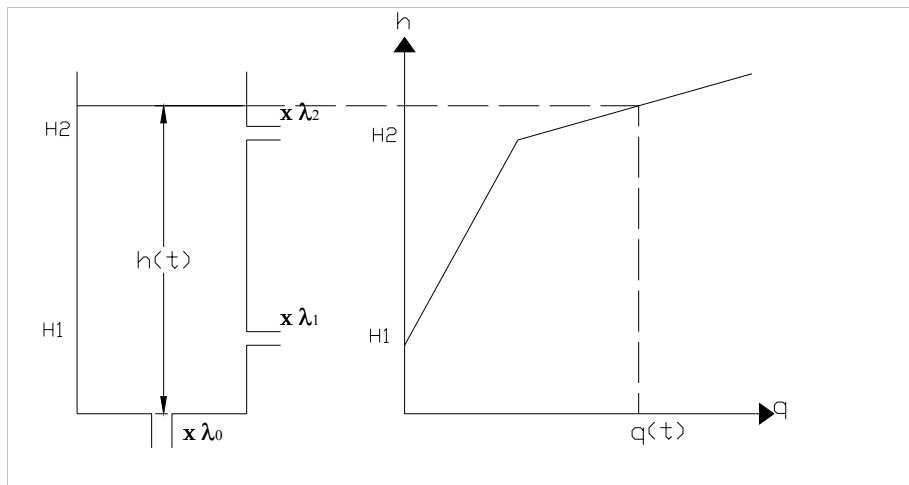


Figura 4 Escorrentía vs. Altura de reservorio.

Algo similar sucedería en el caso que se tenga dos tomas de escorrentía con constantes λ_1, λ_2 (como se muestra en la Fig. 4). Si se considera que $h(t) > H_2$, la escorrentía $q(t)$ y la infiltración $i(t)$ tienen el coeficiente de disminución expresado por la suma de los términos de la función exponencial $(\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2)$.

De esta manera, la escorrentía y la infiltración disminuyen en función de los coeficientes exponenciales, los cuales incrementan su magnitud como $\lambda_0, \lambda_0 + \lambda_1, \lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2, \dots\dots\dots$, esto de acuerdo al incremento de la profundidad de l reservorio. De acuerdo con la configuración del modelo Tanque, la escorrentía de los diferentes reservorios es expresada por la suma de las funciones exponenciales, las cuales tienen diferentes coeficientes de disminución dependiendo de cada tanque.

Normalmente, en el reservorio superior los valores de las constantes de tomas son mayores que en el último reservorio. Por lo tanto, en una lluvia la escorrentía del tanque superior es predominante y durante un lapso de tiempo en que no se produce lluvia, el tanque superior se descarga totalmente primero, y luego se produce la escorrentía de los tanques inferiores que predominarán gradualmente.

Estimación de la evapotranspiración en el cálculo de la escorrentía de flujo de estiaje

El cálculo de escorrentía de flujo de aguas bajas es realizado todos los días desde un período de uno a muchos años. Sin embargo, las pérdidas en la cuenca (diferencia entre la precipitación anual y la escorrentía anual, atribuible en gran parte a la evapotranspiración en dicha área) deben ser estimadas.

Desafortunadamente, existen diferentes métodos para calcular o estimar la evapotranspiración del suelo o de la vegetación de la cuenca. Sin embargo, algunas suposiciones son hechas del balance de agua observada anteriormente en el área.

Métodos como la fórmula de Hamon, la de Thornthwaite y la de Jensen-Haise han sido propuestos para estimar la evapotranspiración. La primera y segunda fórmula estiman la evapotranspiración potencial en función de la temperatura y la última, en función de la intensidad solar. En el cálculo de flujo de aguas bajas, es importante usar una evapotranspiración real a lo largo de un período de tiempo, en lugar de una evapotranspiración diaria.

El promedio diario de evapotranspiración es normalmente mayor que la escorrentía diaria en épocas de estiaje.

En el modelo tanque la evapotranspiración es reducida del tanque superior. Si este tanque no tiene almacenada agua, esta será reducida del siguiente tanque en el segundo reservorio. Si el segundo tanque no tiene agua se deducirá del tercero. De esta manera, la evapotranspiración es reducida del primer tanque que sea capaz de reducir el agua.

Estimación de la cobertura de nieve y derretimiento de nieve en el cálculo de la escorrentía de estiaje

El derretimiento o fusión de nieve es un fenómeno en el cual la precipitación caída como nieve cubre el suelo de la cuenca, y la escorrentía producto del derretimiento comienza en otoño. Por lo tanto en las cuencas en donde se tiene cobertura de nieve, se considera la fusión de nieve en el cálculo de la escorrentía. El promedio de cobertura y fusión de nieve en una cuenca se estiman diariamente en función de la temperatura media diaria.

Se considera que la temperatura varía según la altitud en la cuenca, para lo cual el área de la cuenca es dividida de acuerdo a la altitud. Luego, se estima el promedio de temperatura de las zonas, las cuales disminuyen al crecer la altitud. En general se puede tomar como gradiente de temperatura de 5° a 6° por cada Km. de altitud.

- 1) Si la temperatura esta por encima de 0°C , la fusión es calculada como una constante por cada grado de temperatura ($+1^{\circ}\text{C}$). Si existiera o se produjese una lluvia, la temperatura de la lluvia se asume igual a la temperatura atmosférica, y se produce fusión de nieve debido a la lluvia. Así, la suma de la fusión producida por la temperatura de la lluvia y la atmosférica nos dará la fusión en la zona.
- 2) Si la temperatura está por debajo de 0°C , se asume que no existe fusión de nieve y la profundidad de cobertura de nieve se incrementa cuando precipita.

El derretimiento o fusión de las zonas se obtiene multiplicando la relación de las áreas de dichas zonas, y el total la cual nos proporciona el promedio de fusión de nieve en la cuenca, este volumen se introduce al primer tanque como si fuera una precipitación líquida.

Las constantes a ser asumidas en el cálculo de la fusión son relaciones entre la disminución de temperatura con respecto a la elevación y la cantidad de fusión por grado centígrado de temperatura.

Fecha y unidades para cálculo de la escorrentía de aguas bajas

En el cálculo de la escorrentía de aguas bajas por el método del modelo Tanque, el ciclo del tiempo de cálculo es de un (1) día. Así el cálculo no es capaz de proporcionar escorrentía en un período más corto.

Para el cálculo de la descarga de un día, se usa la precipitación del día precedente. Por ejemplo, la precipitación del 9 de enero se usa para obtener la descarga del 10 de enero. Para el cálculo de la fusión de nieve, se considera la temperatura del día precedente; en el caso del río Cañete este aporte no es significativo.

En el cálculo de la escorrentía de aguas bajas por el método del modelo Tanque, se expresan los valores en las siguientes unidades.

- La precipitación, escorrentía, infiltración, evapotranspiración y fusión: mm./d
- El nivel del almacenamiento, altura de tomas y capa de nieve: mm.
- El número multiplicativo de la vertiente o toma: 1/d

Para la conversión de la escorrentía q (mm./d) en la descarga Q (m^3/s) de una cuenca que tiene una área A (Km^2); se expresa como:

$$q = \frac{86.4Q}{A} (mm / d) \dots\dots\dots(3.1.13)$$

$$Q = \left(q \times \frac{10^{-3}}{86400} \right) \times \left(A \times (10^3)^2 \right) = \frac{q}{86.4} A (m^3 / s) \dots\dots\dots(3.1.12)$$

O recíprocamente

Significado físico de parámetros

Si se considera una configuración del modelo con cuatro tanques (Fig. 5), las tomas laterales que se encuentran a la derecha representan la escorrentía mientras las tomas que se encuentran en el fondo representan la infiltración o percolación.

La precipitación se da en función del tiempo $R(t)$, que se agrega al tanque superior V1. El agua almacenada en el tanque V1 escurre a través de la toma de la derecha y se infiltra a través de la toma de fondo, que ingresa al tanque V2. El agua

almacenada en el tanque V2, abastecida por el tanque V1, escurre posteriormente por las tomas laterales de la derecha, así como también se infiltra a través de la toma de fondo, que ingresa al tanque V3. Este proceso se repite para el último tanque.

El modelo es rápidamente entendido, cuando se considera como referencia un esquema de escorrentía de la cuenca (Fig. 6). Al llover la capa superior del suelo se humedece. Cuando la capa superficial del suelo incrementa su volumen de agua, el agua de la lluvia comienza a escurrir sobre la superficie del suelo. En el modelo de la Figura 5, la toma que se encuentra ligeramente superior al agujero de fondo en el Tanque V1, corresponde a dicha escorrentía.

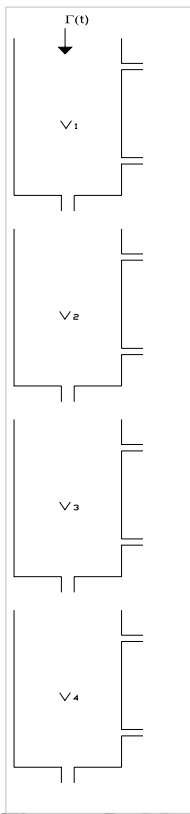


Figura 5 Modelo Tanque con 4 reservorios.

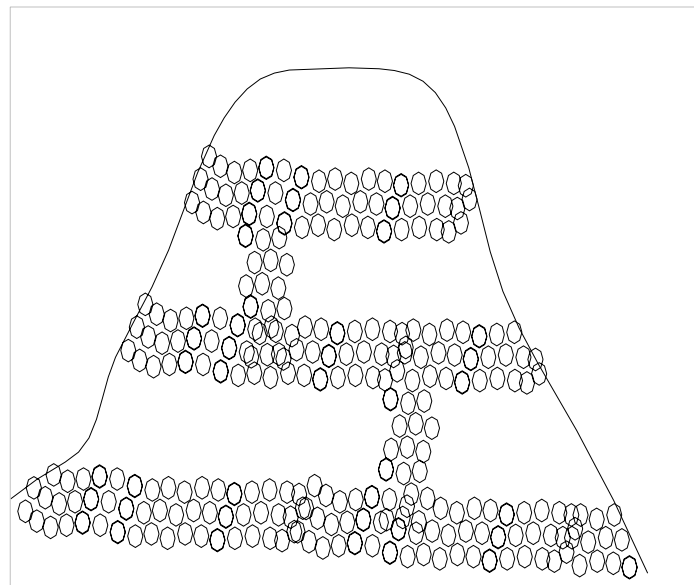


Figura 6 Idealización del modelo físico del modelo.

Cuando la lluvia continua, la capa superficial de suelo contiene mucha más agua (saturada), por consiguiente la escorrentía superficial aumenta. Esto hace que la toma superior del tanque V1, aporte escorrentía.

El contenido de agua que se encuentra en la capa superior del suelo continúa infiltrándose a través del suelo; lo que se representa en el modelo como la toma de fondo del tanque (V1).

El agua infiltrada de la capa superficial del suelo permanece en el primer acuífero o segundo tanque (V2). Cuando el agua acumulada excede cierto límite, comienza la escorrentía en este acuífero, tal como el agua que sale a pie de montaña (manantial). Esto correspondería a la escorrentía del segundo tanque (V2).

El agua es nuevamente infiltrada del primer acuífero (V2) hacia la del segundo acuífero o tercer tanque (V3), en el que se presenta un comportamiento similar al primer acuífero. Esto correspondería a la escorrentía del tercer tanque (V3).

El agua es nuevamente infiltrada y estabilizada en forma de agua subterránea; la escorrentía se muestra suave en tiempos de estiaje y sequía. Esto correspondería a la escorrentía del cuarto tanque (V4).

La escorrentía total de las tomas del lado derecho de los tanques dan un valor para el cálculo de la escorrentía total en el área de almacenamiento.

Así, el tanque V1 corresponde aproximadamente a la escorrentía superficial; el tanque V2, a la escorrentía intermedia y los tanques V3 y V4, a la descarga del flujo base.

En el modelo Tanque generalmente se adoptan tres a cuatro reservorios; sin embargo se pueden considerar otro tipo de configuración de acuerdo a las características de la cuenca.

Proceso de modelamiento

No hay ningún procedimiento cuantitativo disponible para la preparación del modelo Tanque (determinación del número multiplicativo y altura de las tomas en cada tanque). Con el cambio de constantes (el número multiplicativo y altura) de una de las tomas, se dan cambios en el hidrograma de escorrentía calculado de acuerdo con cierta tendencia.

Para el cálculo de ensayo y error del modelo, primero se compara como prueba el hidrograma de escorrentía calculado con el hidrograma de escorrentía observado, para encontrar porciones a ser corregidas en las pruebas de los hidrogramas de escorrentía calculados y luego señalar las tomas del tanque que corresponden a tales porciones.

Luego, usando una relación cualitativa, en la cual los cambios en el hidrograma de escorrentía calculado, dependen de como cambien las constantes de toma, las constantes de las tomas correctas señalan que los cambios en el hidrograma de escorrentía calculado están en la dirección deseada.

Por ejemplo, si se aumentan los números multiplicativos de la toma en el primer tanque, la descarga de avenida será representada con un valor mayor. Por consiguiente, si se desea aumentar la descarga en el momento de avenida, tal tendencia se aplica convenientemente al aumentar el número multiplicativo de la toma de escorrentía, en el primer tanque. Se corrigen las constantes de toma una por una, de esta manera los hidrogramas de escorrentía calculados pueden estar cerca del hidrograma de escorrentía observado.

Para la calibración del modelo, es importante realizar varios cálculos de ensayo y error, y establecer exactamente la tendencia de los cambios de los hidrogramas de escorrentía calculadas en respuesta al aumento o disminución de los valores de las constantes de toma.

(1) Relación entre el Tanque y su componente de escorrentía

En los modelos de tres a cuatro tanques, la relación entre estos tanques y sus componentes de escorrentía son controladas, tal como se describe a continuación:

Primer tanque:	Escorrentía en tiempo de avenida.
Segundo tanque:	Escorrentía en tiempo de transición de avenida a aguas bajas (escorrentía intermedia).
Tercer tanque :	Escorrentía en tiempo de estiaje.
Cuarto tanque :	Escorrentía en tiempo de estiaje.

Por consiguiente, las siguientes formas de corrección deben ser tomadas en cuenta, comparando el hidrograma de escorrentía calculado con el hidrograma de escorrentía observado.

- 1) Si se desea corregir los valores calculados en tiempo de avenida, se corrigen las constantes (número multiplicativo y altura) de la toma del primer tanque.
- 2) Si se desea corregir los valores de cálculo en tiempo de transición de avenida a estiaje, se corrigen las constantes de toma del segundo tanque o el número multiplicativo de la toma de la infiltración del primer tanque.
- 3) Si se desea corregir los valores de cálculo en tiempo de aguas bajas, se corrigen las constantes de la toma en el tercer y cuarto tanque o el número

multiplicativo de la toma de infiltración del tanque inmediato superior (el segundo o tercero).

Si la toma de infiltración de un tanque tiene su número multiplicativo corregido, ésta afecta al tanque, así como la escorrentía del tanque inmediatamente debajo de este. Como resultado, se requiere a menudo cambiar las constantes del tanque que afectan al tanque más bajo.

(2) Magnitud de las constantes de toma del Tanque

Un modelo es preparado a través de repetidas pruebas de ensayos y error para la obtención de valores apropiados; en el caso de las constantes de tomas con la relación cualitativa entre el aumento o disminución de las constantes de la toma y el cambio producido en el hidrograma de escorrentía calculado. De esta manera, el número multiplicativo y altura de toma no se colocan al azar.

Los números multiplicativos y alturas de las tomas pueden definirse aproximadamente como sigue:

Primer tanque

El número multiplicativo de la toma: 0.1 - 0.5 (tal que la suma de los números = <1).

Altura de la toma de escorrentía: Tomás bajas (más-bajo) 10 - 20 mm.

Toma altas (más-arriba) 30 - 60 mm.

Segundo tanque

El número multiplicativo de la toma: 0.03 - 0.1

Altura de la toma de escorrentía: 0 - 50 mm.

Tercer tanque

El número multiplicativo de la toma: 0.005 - 0.05

Altura de la toma de escorrentía: 0 - 30 mm.

Cuarto tanque

El número multiplicativo para la toma de escorrentía: 0.0005 - 0.005

El número multiplicativo para la toma de infiltración: 0 - 0.005

La altura de la toma de escorrentía: 0 - 10 mm.

Los valores listados son generales, con excepciones para cuencas que comprenden gran área de tierra llana baja o que tienen alta infiltración. El modelo

tanque para la esorrentía de avenidas en el Río de Kanna se muestra en Fig. 7 (calculado por el Dr. Sugawara). El tanque en el lado derecho es un modelo para el flujo de cauce del río.

Cuando un tanque tiene dos o más tomas de esorrentía, el número multiplicativo de la toma superior es generalmente es igual o mayor que el de la toma inferior.

Así también, los números multiplicativos de las tomas son generalmente mayores para los tanques superiores y menor para los tanques inferiores.

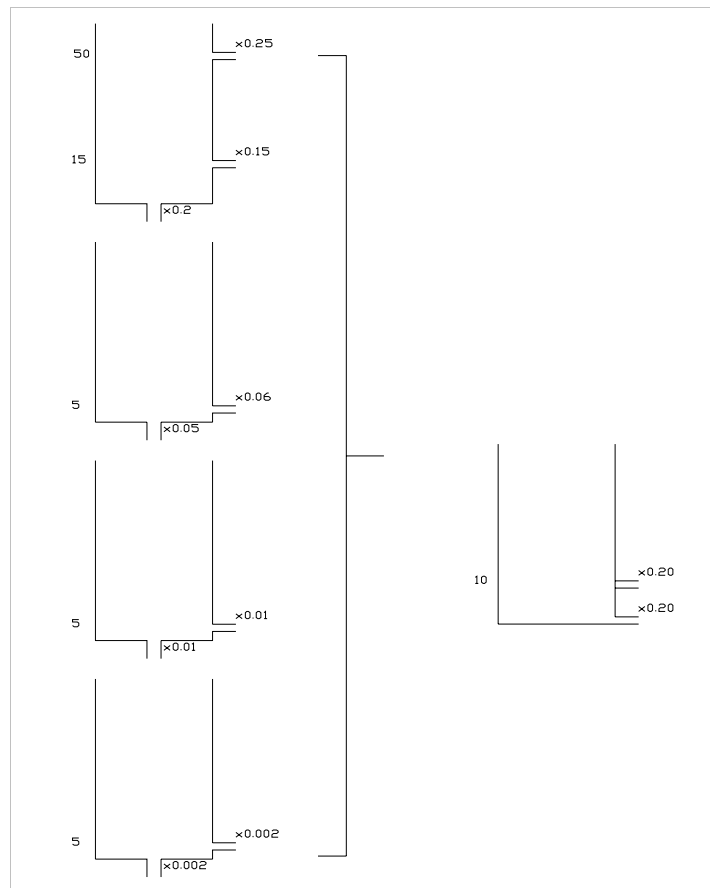


Figura 7 El modelo tanque para esorrentía de avenidas en el Río de Kanna, los cuatro tanques de la izquierda representan la cuenca y el tanque de la derecha representa el cauce del río).

La altura de la toma de esorrentía de los tanques es generalmente más baja en tercer y cuarto tanque.

3.1.2 MODELO NAM

El modelo NAM, fue desarrollado en el departamento de hidrodinámica y recursos hidráulicos de la universidad Técnica de Dinamarca; por Nielsen y Hansen; en el 1973. Sus sigla significa modelo precipitación escurrentía, en Danés.

Este modelo describe en forma matemática el comportamiento de las fases de suelo correspondiente al ciclo hidrológico (es decir estados de humedad del suelo); se puede decir también que se clasifica como un modelo determinístico del tipo conceptual.

COMPONENTES BÁSICAS DEL MODELO

Reservorio superficial (surface storage)

La humedad interceptada por la vegetación, así como el agua atrapada en las depresiones del suelo, y parte del agua de cultivo es representada por el reservorio superficial.

El total de agua (U), disminuye continuamente por efecto de la evapotranspiración y del llamado flujo subsuperficial (interflow). Cuando se produce el máximo almacenamiento de agua (U_{max}); el agua excedente a este límite (P_n), entra como parte del flujo superficial (overland), así también parte de este se infiltra en los subsiguientes reservorios.

Reservorio de la zona baja o de raíces (root zone storage)

Esta zona es la siguiente a la zona o reservorio superficial, en la cual la vegetación usa el agua para la transpiración, el contenido máximo de agua en esta zona es L_{max} .

En este reservorio las pérdidas de agua son producto de la transpiración; el contenido de agua de este reservorio controla en cierta forma todas las componentes del sistema.

Evapotranspiración

La evapotranspiración demanda al primer reservorio el potencial de evapotranspiración, si el contenido de agua del reservorio superficial U es menor que lo

requerido ($U < E_p$), la parte remanente se asume que es absorbida en el reservorio de la zona de raíces y la evapotranspiración en esta zona es E_a . Donde E_a es proporcional a la evapotranspiración potencial remanente y varía linealmente en relación a L/L_{max} .

$$E_a = (E_p - U) \cdot L / L_{max}$$

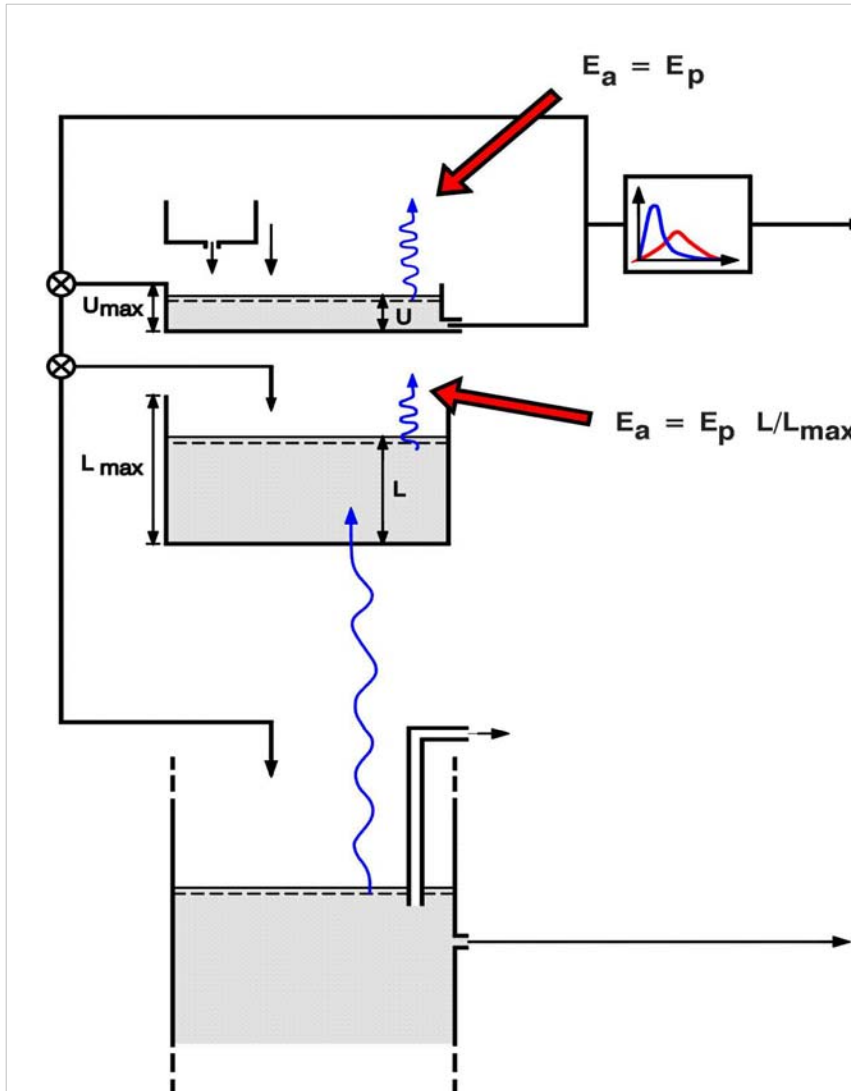


Figura 8 Esquema de la evapotranspiración en el modelo NAM

Flujo superficial (Overland Flow)

Cuando el reservorio superficial se encuentra lleno, es decir $U > U_{max}$, el exceso de agua P_n se hace parte del flujo superficial (overland flow) así como la infiltración. Se asume que ésta varía linealmente a P_n ; así como la relación de humedad en el segundo reservorio L/L_{max} .

$$QOF = \begin{cases} CQOF \frac{L/L_{max} - TOF}{1 - TOF} P_N & \text{Si } L/L_{max} > TOF \\ 0 & \text{Si } L/L_{max} \leq TOF \end{cases}$$

Donde:

CQOF = Coeficiente de flujo superficial (overland flor).

TOF = Valor umbral para el flujo superficial (overland flor).

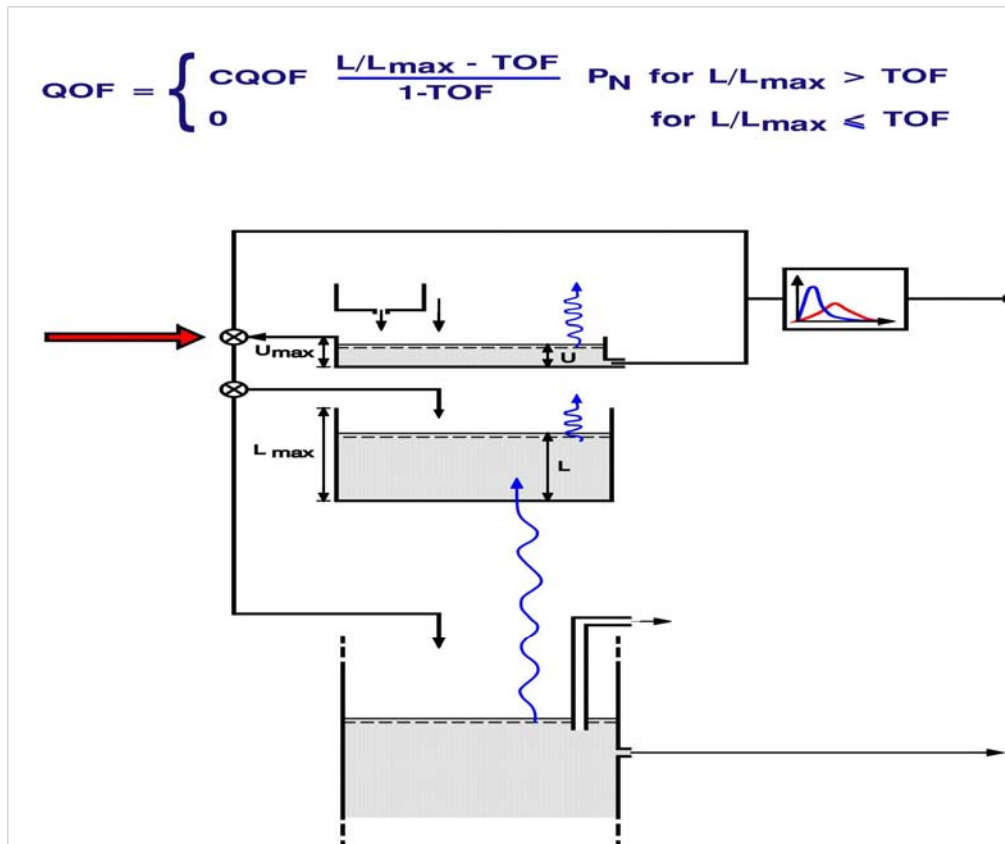


Figura 9 Esquema del flujo superficial u overland flow del modelo NAM.

Flujo subsuperficial (Interflow)

Este flujo se asume que varía linealmente según el valor de U ; así como de la relación del segundo reservorio L/L_{max} .

$$QOF = \begin{cases} (CKIF)^{-1} \frac{L/L_{max} - TIF}{1 - TIF} U & \text{Si } L/L_{max} > TIF \\ 0 & \text{Si } L/L_{max} \leq TIF \end{cases}$$

Donde:

CKIF = Coeficiente de flujo subsuperficial (interflow).

TIF = Valor umbral para el flujo subsuperficial (interflow).

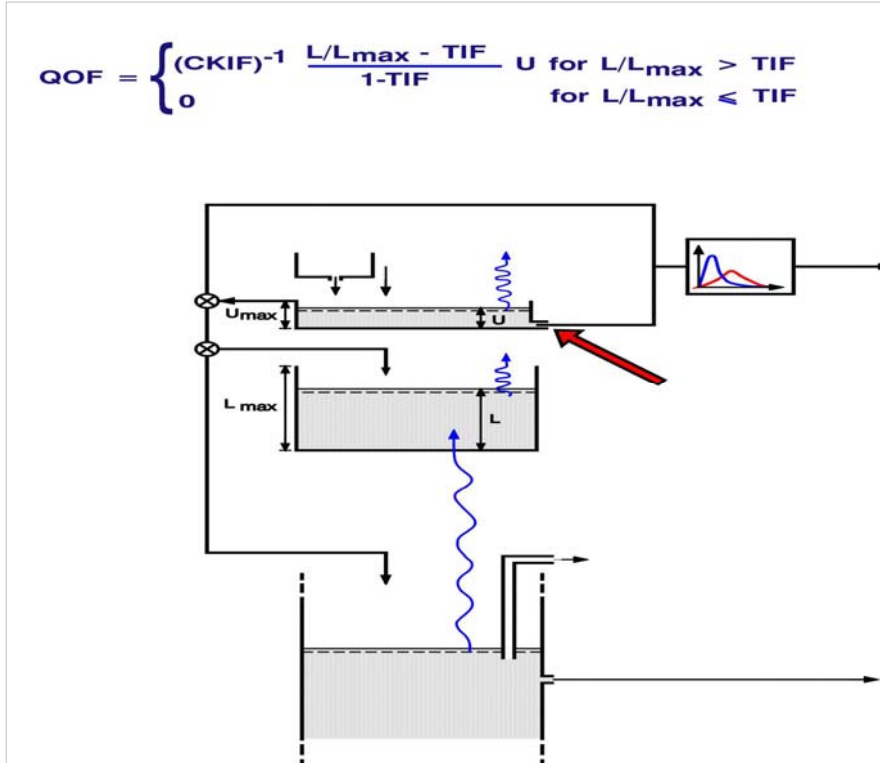


Figura 10 Esquema del flujo subsuperficial o interflow del modelo NAM.

Recarga del acuífero (groundwater recharge G) y contenido de humedad (DL)

Parte del agua en exceso P_n , recarga el acuífero (G), esto varía según el agua contenida en el segundo reservorio. Así también la parte del exceso de agua P_n que llena el segundo reservorio, haciendo incrementar L, DL lo que hace variar la relación L/L_{max} .

$$G = \begin{cases} (P_n - QOF) \frac{L/L_{max} - TG}{1 - TG} & \text{Si } L/L_{max} > TG \\ 0 & \text{Si } L/L_{max} \leq TG \end{cases}$$

$$DL = (P_n - QOF) - G$$

Donde:

QOF = Flujo subsuperficial.

TG = Valor umbral para la recarga del acuífero.

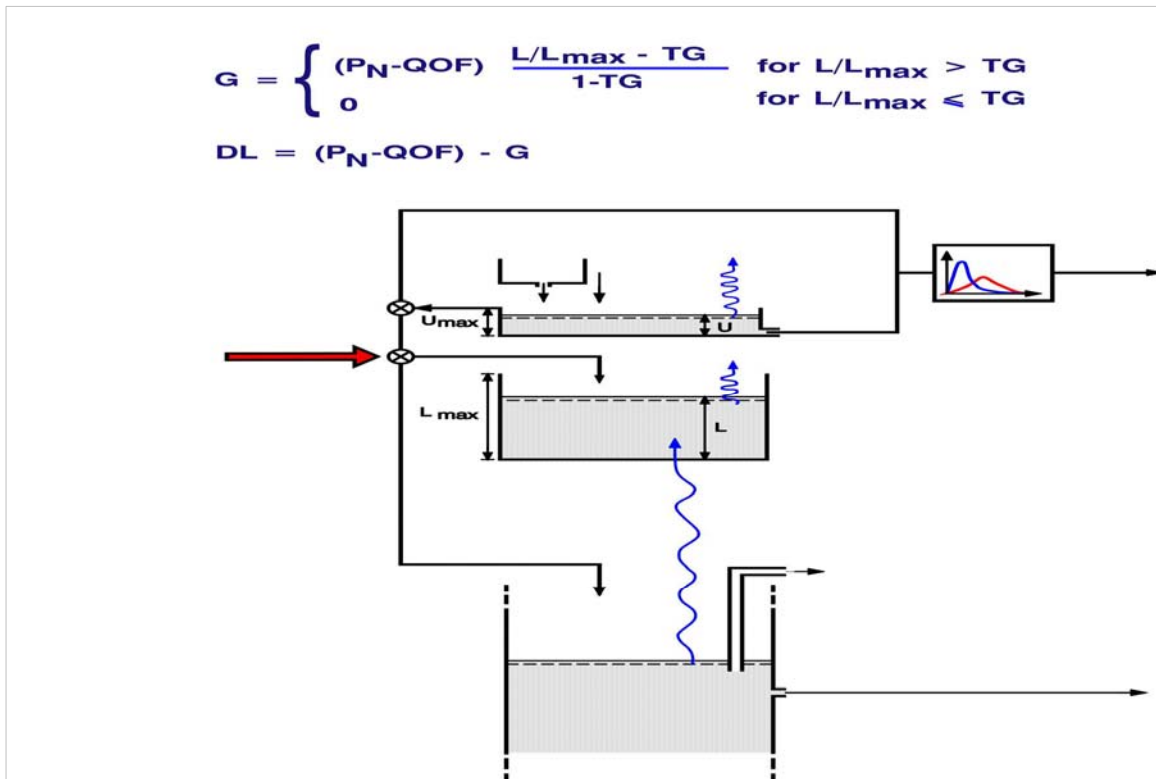


Figura 11 Esquema de la recarga del acuífero del modelo NAM.

Flujo base o escurrimiento del acuífero

El flujo base es calculado como el flujo de salida de un reservorio lineal con constante de tiempo CK_{BF} .

$$BF = \begin{cases} (GWLBF_0 - GWL) S_y (CK_{BF})^{-1} & \text{Si } GWL \leq GWLBF_0 \\ 0 & \text{Si } GWL > GWLBF_0 \end{cases}$$

Donde:

$GWLBF_0$ = Es la máxima profundidad del acuífero la cual causa el flujo base.

S_y = Capacidad de campo del reservorio acuífero.

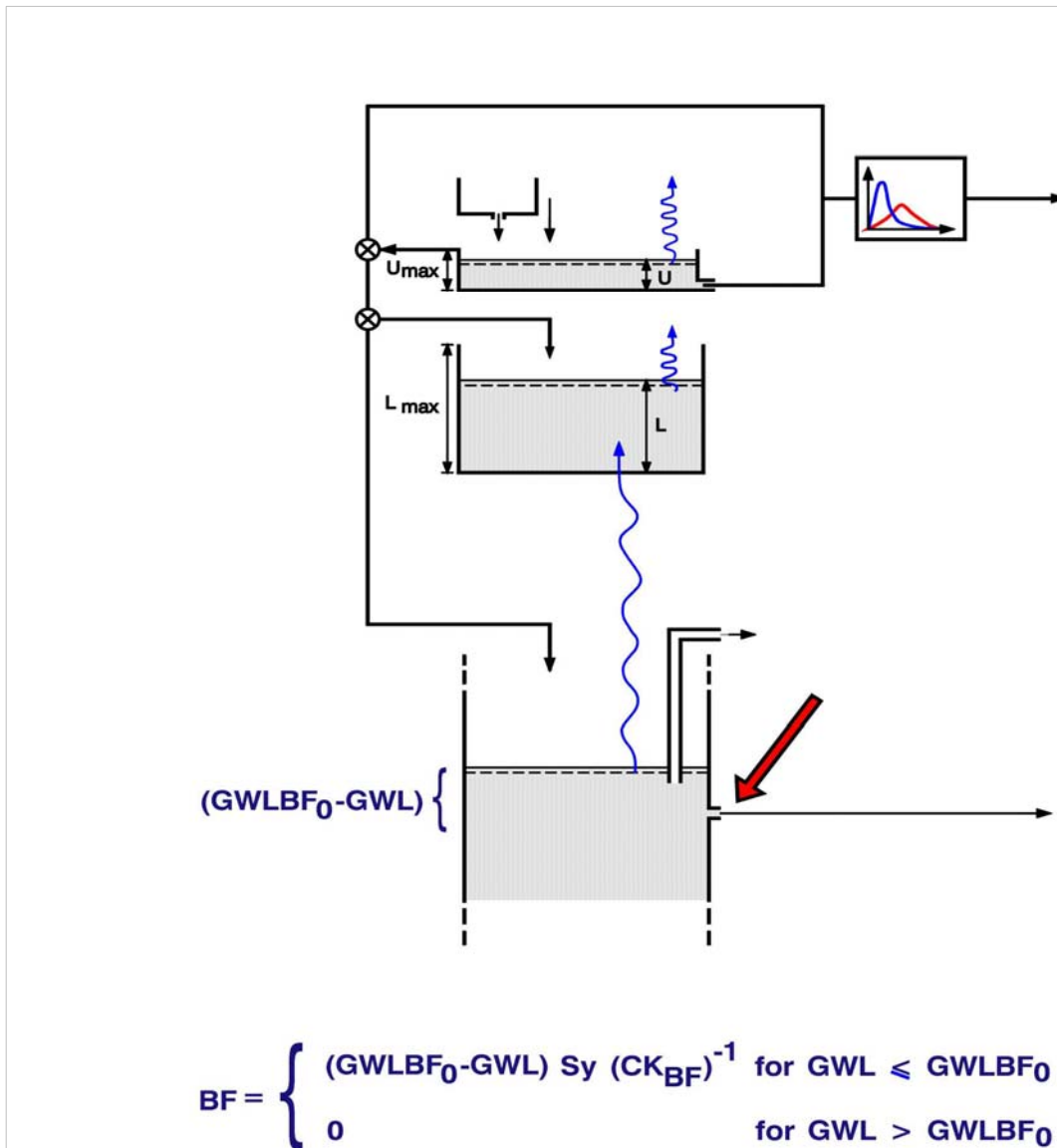


Figura 12 Esquema del flujo base del modelo NAM.

3.1.3 MODELO SMA (HEC-HMS)

Conceptos básicos y ecuaciones

El modelo SMA estima el exceso de precipitación rastreando la interceptación, infiltración, percolación, y evapotranspiración usando un modelo de almacenamiento de cinco capas tal como se muestra en la Figura 13, los almacenes incluyen interceptación de vegetación, depresión de superficie, perfil de suelo, agua subterránea superior y agua subterránea inferior.

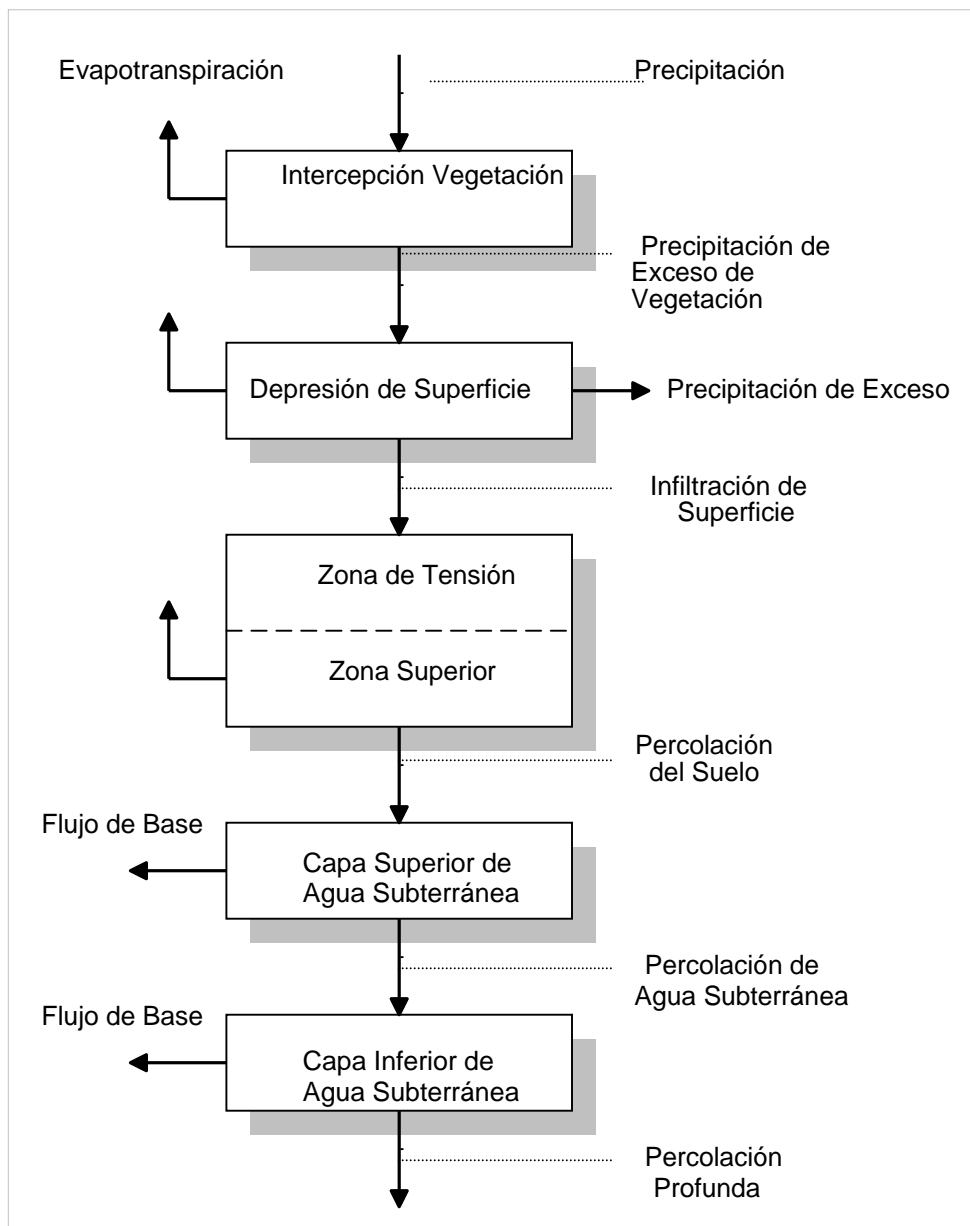


Figura 13 Diagrama del modelo de aproximación de humedad de suelo.

La intercepción de la vegetación representa la precipitación que es capturada en árboles, arbustos, y hierbas, y no llega a la superficie del suelo. La precipitación es el único flujo entrante para este volumen de almacenamiento. Cuando ocurre la precipitación, se llena el primer almacenamiento por vegetación. Sólo después que este almacenamiento se llena la precipitación está disponible para la infiltración y llenar otros volúmenes de almacenamiento. El agua se mantiene en el almacenamiento “intercepción de vegetación” hasta que es removida por la evaporación.

El almacenamiento “depresión de superficie” es el volumen del agua almacenada en las depresiones de la superficie, poco profundas. Está disponible tanto para infiltración como para la evaporación. Los flujos entrantes para el volumen de almacenamiento vienen del agua disponible para la infiltración en el perfil de suelo que excede el índice de infiltración. Los flujos salientes son la infiltración al perfil de suelo, la precipitación excesiva para la escorrentía superficial, o evapotranspiración después que el almacenamiento “intercepción de vegetación” está vacío.

Cualquier contenido en el almacenamiento depresión de superficie al principio del intervalo de tiempo contribuye al agua disponible para infiltración. La cantidad de infiltración es menor que el agua disponible para infiltración y la infiltración potencial. Sólo si el agua disponible para infiltración sobrepasa el índice de infiltración potencial hace que el agua que no se ha infiltrado llene el almacenamiento depresión de superficie. En cuanto el volumen de la “intercepción de superficie” es excedido entonces ocurre precipitación excesiva, que contribuye a la escorrentía superficial.

El almacenamiento “perfil de suelo” representa el agua almacenada en la capa superficial del suelo. El agua se infiltra en el perfil del suelo pasando de precipitación combinada más allá de intercepción de vegetación y cualquier agua en el almacenamiento “depresión de superficie”. El índice de infiltración potencial es el siguiente:

$$I_{soil}^{pot} = I_{soil}^{max} - \frac{S_{soil}(t)}{S_{soil}^{max}} I_{soil}^{max}$$

Donde I es la infiltración potencial o máxima para el suelo y S es el almacenamiento actual o máximo. La infiltración real es el menor valor entre el agua disponible para la infiltración y la infiltración potencial. Los flujos de salida son la percolación de la capa de agua subterránea superior y la evapotranspiración. El índice de percolación

para la capa de agua subterránea superior es como se muestra:

$$P_{soil}^{pot} = P_{soil}^{max} \left(\frac{S_{soil}(t)}{S_{soil}^{max}} \right) \left(1 - \frac{S_{up\ gw}(t)}{S_{up\ gw}^{max}} \right)$$

Donde P es el índice de percolación máximo o potencial fuera de la capa de suelo y S el almacenamiento actual o máximo en la tierra o en la capa de agua subterránea superior. La evapotranspiración fuera del perfil de suelo es calculada del perfil de suelo, el almacenamiento “zona de tensión”, y evapotranspiración potencial es calculado por el modelo meteorológico de la siguiente manera:

$$\frac{E_{soil}^{act}}{E_{soil}^{pot}} = f \left(\frac{S_{soil}(t)}{S_{tension}^{max}} \right)$$

Donde E es la evapotranspiración real o potencial del perfil de suelo y S es la tensión máxima o almacenamiento perfil de suelo. La función de relación de almacenamiento se muestra en la Figura 14.

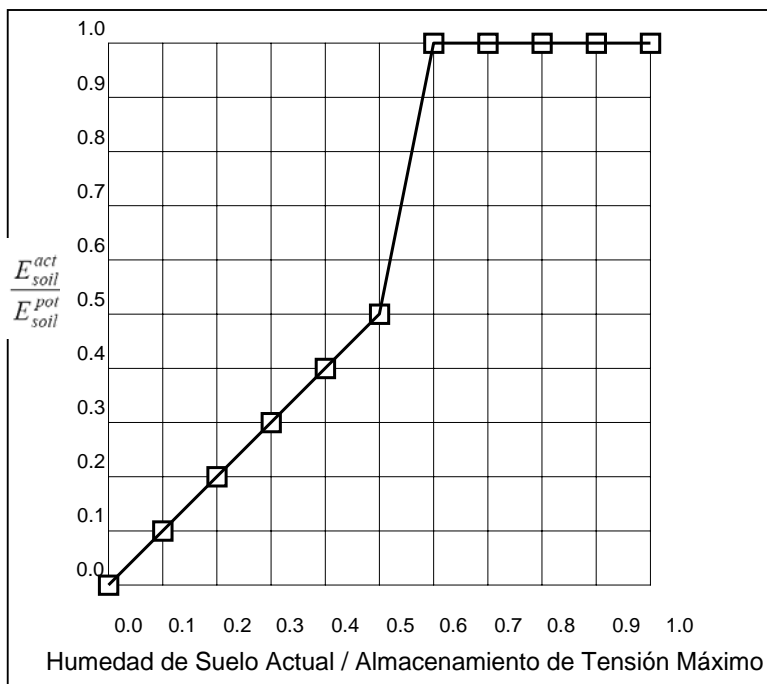


Figura 14 Evapotranspiración real de la zona de tensión del perfil de suelo.

El perfil del suelo es dividido en dos regiones: la zona superior y la zona de tensión. La zona superior es definida como la parte del perfil de suelo que perderá el agua debido a evapotranspiración y percolación, mientras que la zona de tensión es

definida como el área que perderá el agua sólo por evapotranspiración. La zona superior representa el agua almacenada en los poros del suelo. La zona de tensión representa el agua unida a partículas de suelo.

Los índices de evapotranspiración del perfil del suelo disminuyen cuando el volumen del perfil de suelo actual cae debajo de la tensión máxima de profundidad de zona. Mientras el almacenamiento actual en el perfil del suelo sobrepasa el almacenamiento de la zona de tensión máximo, el agua es retirada de la zona superior en proporción de uno a uno, igual que las pérdidas de “intercepción de vegetación” y “depresión de superficie”. En cuanto el volumen del agua en el perfil de suelo llega a la zona de tensión, entonces la evapotranspiración real es determinada usando la función de relación indicada en la Figura 14. Esto representa el índice decreciente de pérdida de evapotranspiración del perfil de suelo cuando la cantidad del agua almacenamiento decrece y se vuelve cada vez más difícil extraer el agua de las partículas del suelo. La evapotranspiración también puede estar limitada al volumen disponible en la zona superior durante meses específicos de invierno representando el fin de transpiración de plantas anuales.

El agua percola de la capa de agua subterránea superior del perfil de suelo, a la capa de agua subterránea inferior, y de la capa de agua subterránea inferior fuera del sistema. El agua almacenada en una capa de agua subterránea puede pasar lateralmente fuera del sistema al modelo de reservorio lineal flujo de base. La percolación de la capa de agua subterránea superior a la capa de agua subterránea inferior es calculada de la siguiente manera:

$$P_{up\ gw}^{pot} = P_{up\ gw}^{max} \left(\frac{S_{up\ gw}(t)}{S_{up\ gw}^{max}} \right) \left(1 - \frac{S_{low\ gw}(t)}{S_{low\ gw}^{max}} \right)$$

Donde P es la percolación máxima o potencial y S es el almacenamiento máximo o actual en la capa de agua subterránea superior o inferior. La percolación de la capa de agua subterránea inferior fuera del sistema, a veces llamada percolación profunda, es calculada de la siguiente manera:

$$P_{low\ gw}^{pot} = P_{low\ gw}^{max} \left(\frac{S_{low\ gw}(t)}{S_{low\ gw}^{max}} \right)$$

Donde P es la percolación máxima o potencial fuera de la capa de agua subterránea inferior y S es el almacenamiento máximo o actual en la capa de agua subterránea inferior. El agua pasa lateralmente fuera del almacén usando un reservorio lineal. El flujo fuera de la capa de agua subterránea superior es calculado de la siguiente manera:

$$Q(t+0.5) = \frac{P_{soil}^{act} + S_{up\ gw}(t) - P_{up\ gw}^{pot} - (0.5 \Delta t Q_{up\ gw}(t-0.5))}{0.5 \Delta t R_{up\ gw}}$$

Donde Q (t + 0.5) es el flujo al final del intervalo de tiempo, Q (t - 0.5) es el flujo al inicio del intervalo de tiempo, P es la percolación real o potencial del suelo o de la capa de agua subterránea superior, Δt es el intervalo de tiempo, y R es el coeficiente de almacenamiento. El flujo fuera de la capa de agua subterránea inferior se calcula de la siguiente manera:

$$Q(t+0.5) = \frac{P_{up\ gw}^{act} + S_{low\ gw}(t) - P_{low\ gw}^{pot} - (0.5 \Delta t Q_{low\ gw}(t-0.5))}{0.5 \Delta t R_{low\ gw}}$$

Donde los parámetros son definidos en forma similar a la capa de agua subterránea superior.

3.1.4 MODELO TÉMEZ

Este conocido modelo determinístico, reproduce los procesos esenciales de transporte de agua que tienen lugar en las diferentes fases del ciclo hidrológico. Considera que el terreno se divide en dos zonas: (1) La superior no saturada, o de humedad del suelo, y (2) la inferior o acuífero, que funciona como un embalse subterráneo con desagüe a la red superficial de drenaje.

Según las fases del ciclo hidrológico, una parte T de agua precipitada P, acaba siendo drenada y sale por el río, mientras el resto, después de almacenarse en la zona de humedad del suelo, alimenta la evapotranspiración en fechas posteriores. El excedente T se descompone en una parte que discurre en superficie (E) y otra parte que infiltra hasta el acuífero (I). La primera evacua por el cauce dentro del período de tiempo presente, mientras que el agua infiltrada se incorpora al acuífero, desaguando parte en el presente intervalo y permaneciendo el resto en el embalse subterráneo que discurre en fechas posteriores.

- H_{\max} : Capacidad máxima de humedad del suelo (mm).
 C : Parámetro de excedente (1).
 I_{\max} : Capacidad máxima de infiltración (mm).
 α : Coeficiente de la rama de descarga (1/días).

$$T_i = 0, \quad \text{si } P_i \leq P_0; \quad P_0 = C(H_{\max} - H_{i-1})$$

$$T_i = \frac{(P_i - P_0)^2}{P_i + \delta - 2P_0}, \quad \text{si } P_i > P_0; \quad \delta = H_{\max} - H_{i-1} + EP_i$$

Una vez estimado el excedente, la humedad en el suelo (H) al final del período resultará:

$$H_i = \max(0; H_{i-1} + P_i - T_i - EP_i)$$

Habiéndose producido una evapotranspiración real (E) igual a:

$$E_i = \min(H_{i-1} + P_i - T_i; EP_i)$$

Esta última expresión indica que se puede evapotranspirar toda el agua disponible con el límite superior de la evapotranspiración potencial.

El modelo adopta una ley de infiltración al acuífero (I) función del excedente y del parámetro de infiltración máxima (I_{\max}):

$$I_i = I_{\max} \frac{T_i}{T_i + I_{\max}}$$

La infiltración aumenta con el excedente, siendo asintótica para valores altos del mismo al valor límite I_{\max} .

Esta infiltración (I) se admite que se convierte en recarga al acuífero (R), en tanto que el resto del excedente (T-I) será drenado por el cauce. Para ello se ha supuesto que el tiempo de paso por la zona no saturada es inferior al intervalo de tiempo de simulación. La ley de los caudales subterráneos resulta:

$$Q_i = Q_{i-1} \cdot e^{-\alpha t} + \alpha R_i \cdot e^{-\alpha t/2}$$

La aportación a lo largo del período t (i-1, i) A_{SUBi} , resulta:

$$A_{SUBi} = V_{i-1} - V_i + R_i \cdot t$$

La relación entre el caudal de descarga (Q) y el volumen (V) almacenado en el acuífero es: $Q_i = \alpha \cdot V_i$.

La aportación total (A) será la suma de la escorrentía superficial (excedente menos infiltración) y la aportación subterránea:

$$A_i = T_i - I_i + A_{SUBi}$$

Calibración del modelo de Témez

La Calibración ha consistido en la determinación de los parámetros del modelo que conducen a una reproducción adecuada del funcionamiento observado del sistema. La fase de calibración del modelo tiene como objetivo minimizar los errores del mismo, comparando los valores observados (Q_o) y simulados (Q_s) mediante una función objetivo (F.O.), que para el presente caso ha sido de tipo cuadrático:

$$F.O. = \frac{\sum (Q_o - Q_s)^2}{n}$$

3.2 MODELOS ESTOCASTICOS

3.2.1 MODELOS AR

El modelo autorregresivo AR de orden “m” de una serie periódica, según Salas (1980), se representa mediante las siguientes ecuaciones:

$$Y_{p,\tau} = M_\tau + S_\tau \cdot X_{p,\tau} \quad (3.2.1)$$

$$X_{p,\tau} = \sum_{k=1}^m \alpha_{k,\tau-k} \cdot X_{p,\tau-k} + b_\tau \cdot \xi_{p,\tau} \quad (3.2.2)$$

$$Y_{p,\tau} = M_\tau + S_\tau \left(\sum_{k=1}^m \alpha_{k,\tau-k} \cdot X_{p,\tau-k} + b_\tau \cdot \xi_{p,\tau} \right) \quad (3.2.3)$$

$$b_\tau = \left(1 - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_{i,\tau-i} \cdot \alpha_{j,\tau-j} \cdot \rho_{r,\tau-1} \right)^{1/2} \quad (3.2.4)$$

$$f(\xi) = f(a, b, c, \xi)$$

Donde:

- $Y_{p,\tau}$ = Serie hidrológica para el año p y mes τ .
- M_τ = Media de $Y_{p,\tau}$ para el mes τ .
- S_τ = Desviación estándar de $Y_{p,\tau}$ para el mes τ .
- $\alpha_{k,\tau-k}$ = Coeficiente de autorregresión de orden k y mes $\tau-k$.
- $\rho_{r,\tau-l}$ = Coeficiente de autocorrelación de orden r y mes $\tau-l$.
 $r=|i-j|$ y $l=\max(i,j)$
- m = Orden de la estructura del modelo.
- $X_{p,\tau}$ = Variable estocástica dependiente.
- $\xi_{p,\tau}$ = Variable estocástica independiente.
- $f(\xi)$ = Función de densidad de probabilidad de ξ_t .
- a,b,c = Parámetros de la función $f(\xi)$.
- τ = Mes, semana, día. $\tau = 1, \dots, w$ y $w = 12, 52$ o 365 .
- p = Año, $p = 1, \dots, N$.
- N = Tamaño del registro.

Para estimar los parámetros del modelo, asumiendo que se tiene N años de la serie histórica observada.

$$\begin{matrix} Y_{1,1} , Y_{1,2} , \dots , Y_{1,w} \\ Y_{2,1} , Y_{2,2} , \dots , Y_{2,w} \\ \vdots \\ Y_{N,1} , Y_{N,2} , \dots , Y_{N,w} \end{matrix}$$

En este caso, se realizará con solo un año, por lo tanto el valor de N será igual a

1. La periodicidad en la media M_τ y la desviación estándar S_τ , se pueden estimar mediante:

$$M_\tau = \frac{1}{N} \cdot \sum_{p=1}^N Y_{p,\tau} \quad (3.2.5)$$

$$S_\tau = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{p=1}^N (Y_{p,\tau} - M_\tau)^{1/2} \quad (3.2.6)$$

Los parámetros periódicos $\alpha_{k,\tau}$; $k=1, \dots, m$; $\tau = 1, \dots, w$ se estiman, a partir de los coeficientes de autocorrelación $\rho_{k,\tau}$ de la variable dependiente $X_{p,\tau}$.

La serie $X_{p,\tau}$ se obtiene por estandarización o remoción de la media y desviación periódicas desde la serie original $Y_{p,\tau}$.

$$X_{p,\tau} = \frac{Y_{p,\tau} - M\tau}{S_\tau} \quad (3.2.7)$$

Los coeficientes de autocorrelación periódicas de la serie $X_{p,\tau}$ se estiman mediante la siguiente ecuación.

$$\rho_{k,\tau} = \frac{\frac{1}{N^*} \sum_{p=1}^{N^*} X_{p^*,\tau^*} - \frac{1}{N^{*2}} \sum_{p=1}^{N^*} X_{p,\tau} \cdot \sum_{p=1}^{N^*} X_{p^*,\tau^*}}{\left[\frac{1}{N^*} \sum_{p=1}^{N^*} X_{p,\tau}^2 - \left(\frac{1}{N} \sum_{p=1}^N X_{p,\tau} \right)^2 \right]^{1/2} \cdot \left[\frac{1}{N^*} \sum_{p=1}^{N^*} X_{p^*,\tau^*}^2 - \left(\frac{1}{N^*} \sum_{p=1}^{N^*} X_{p^*,\tau^*} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (3.2.8)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \text{Si } \tau + k \leq w ; & \quad N^* = N, \quad p^* = p, \quad \tau^* = \tau + k \\ \text{Si } \tau + k > w ; & \quad N^* = N - 1, \quad p^* = p + 1, \quad \tau^* = \tau + k - w \end{aligned}$$

Los coeficientes de autocorrelación del modelo teórico, se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$\rho^*_k = \sum_{j=1}^m \alpha_j \rho^*_{k-j}, \quad k > 0 \quad (3.2.9)$$

Las series de precipitación tienen una baja dependencia con el tiempo, razón por la cual el modelo autorregresivo que lo representa es sólo de Orden (1), cuyas ecuaciones son las siguientes:

$$X_{p,\tau} = \alpha_{1,\tau-1} \cdot X_{p,\tau-1} + (1 - \alpha_{1,\tau-1}^2)^{1/2} \cdot \xi_{p,\tau} \quad (3.2.10)$$

$$\alpha_{1,\tau} = \rho_{1,\tau} \quad (3.2.11)$$

$$\xi_{p,\tau} = \frac{X_{p,\tau} - \alpha_{1,\tau-1} \cdot X_{p,\tau-1}}{(1 - \alpha_{1,\tau-1}^2)^{1/2}} \quad (3.2.12)$$

3.2.2 FILTRO DE KALMAN

El filtro de Kalman consiste en un conjunto de ecuaciones matemáticas que proveen una solución recursiva óptima, por el método de mínimos cuadrados. La meta de esta solución consiste en calcular un estimador lineal, insesgado y óptimo del estado de un sistema en t con base en la información disponible en t-1, y actualizar, con la información adicional disponible en t, dichas estimaciones. El filtro se desempeña suponiendo que el sistema puede ser descrito a través de un modelo estocástico lineal,

en donde el error asociado tanto al sistema como a la información adicional que se incorpora en el mismo tiene una distribución normal con media cero y varianza determinada.

La solución es óptima por cuanto el filtro combina toda la información observada y el conocimiento previo acerca del comportamiento del sistema para producir una estimación del estado de tal manera que el error es minimizado estadísticamente. El término recursivo significa que el filtro recalcula la solución cada vez que una nueva observación o medida es incorporada en el sistema.

El filtro de Kalman es el principal algoritmo para estimar sistemas dinámicos representados en la forma de estado-espacio. En esta representación el sistema es descrito por un conjunto de variables denominadas de estado. El estado contiene toda la información relativa al sistema a un cierto punto en el tiempo. Esta información debe permitir la inferencia del comportamiento pasado del sistema, con el objetivo de predecir su comportamiento futuro.

Lo que hace al filtro tan interesante es precisamente su habilidad para predecir el estado de un sistema en el pasado, presente y futuro, aún cuando la naturaleza precisa del sistema modelado es desconocida. En la práctica, las variables estado individuales de un sistema dinámico no pueden ser exactamente determinadas por una medición directa. Dado lo anterior, su medición se realiza por medio de procesos estocásticos que involucran algún grado de incertidumbre en la medición.

El filtro de Kalman tiene como objetivo resolver el problema general de estimar el estado $X \in \mathfrak{R}_n$ de un proceso controlado en tiempo discreto, el cual es dominado por una ecuación lineal en diferencia estocástica de la siguiente forma:

$$X_t = AX_{t-1} + w_{t-1} \dots\dots\dots 3.2.13$$

con una medida $Z \in \mathfrak{R}_m$, que es

$$Z_t = HX_t + v_t \dots\dots\dots 3.2.14$$

Las variables aleatorias w_t y v_t representan el error del proceso y de la medida respectivamente. Se asume que son independientes entre ellas, que son ruido blanco y con distribución de probabilidad normal:

$$\begin{aligned} p(w) &\cong N(0, Q) \\ p(v) &\cong N(0, R) \dots\dots\dots 3.2.15 \end{aligned}$$

El filtro de Kalman estima el proceso anterior utilizando una especie de control de retroalimentación, esto es, estima el proceso a algún momento en el tiempo y entonces obtiene la retroalimentación por medio de los datos observados. Desde este punto de vista las ecuaciones que se utilizan para derivar el filtro de Kalman se pueden dividir en dos grupos: las que actualizan el tiempo o ecuaciones de predicción y las que actualizan los datos observados o ecuaciones de actualización. Las del primer grupo son responsables de la proyección del estado al momento t tomando como referencia el estado en el momento $t-1$ y de la actualización intermedia de la matriz de covarianza del estado. El segundo grupo de ecuaciones son responsables de la retroalimentación, es decir, incorporan nueva información dentro de la estimación anterior con lo cual se llega a una estimación mejorada del estado.

Las ecuaciones que actualizan el tiempo pueden también ser pensadas como ecuaciones de pronóstico, mientras que las ecuaciones que incorporan nueva información pueden considerarse como ecuaciones de corrección. Efectivamente, el algoritmo de estimación final puede definirse como un algoritmo de pronóstico-corrección para resolver numerosos problemas. Así el filtro de Kalman funciona por medio de un mecanismo de proyección y corrección al pronosticar el nuevo estado y su incertidumbre y corregir la proyección con la nueva medida. Este ciclo se muestra en la figura 15.

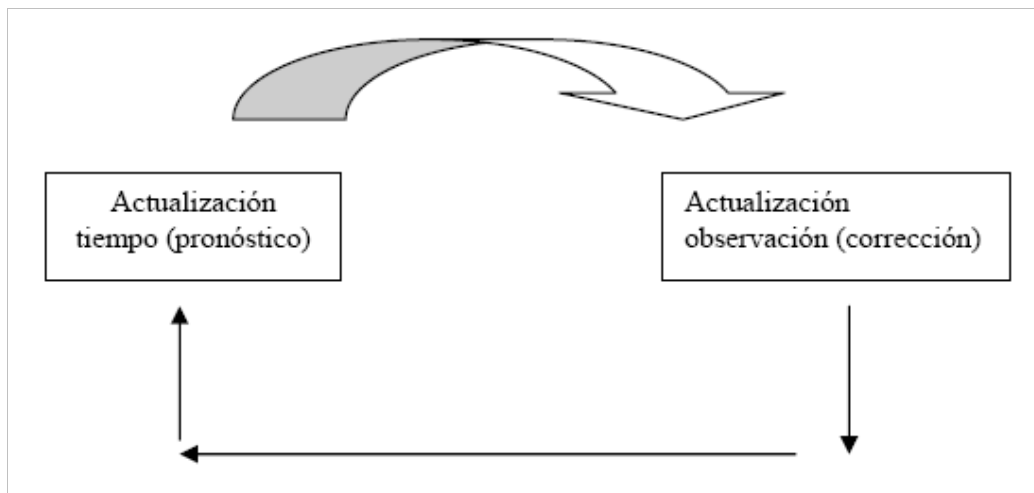


Fig.15 Ciclo de pronóstico y corrección del filtro de Kalman.

El primer paso consiste en generar un pronóstico del estado hacia adelante en el tiempo tomando en cuenta toda la información disponible en ese momento y en un segundo paso, se genera un pronóstico mejorado del estado, de tal manera que el error es minimizado estadísticamente.

Las ecuaciones 3.2.16 y 3.2.17 son específicas para el pronóstico y las ecuaciones 3.2.18, 3.2.19 y 3.2.20 de corrección del estado son detalladas respectivamente.

Ecuaciones de pronóstico del filtro de Kalman discreto

$$\hat{X}_t^* = A\hat{X}_{t-1} \dots\dots\dots 3.2.16$$

$$P_t^* = AP_{t-1}A^T + Q \dots\dots\dots 3.2.17$$

Se observa cómo las ecuaciones pronostican las estimaciones del estado y la covarianza hacia delante desde t-1 a t. La matriz A relaciona el estado en el momento previo t-1 con el estado al momento actual t, esta matriz podría cambiar para los diferentes momentos en el tiempo (t). Q representa la covarianza de la perturbación aleatoria del proceso que trata de estimar el estado.

Ecuaciones de corrección del filtro de Kalman discreto

$$K_t = P_t^* H^T (HP_t^* H^T + R)^{-1} \dots\dots\dots 3.2.18$$

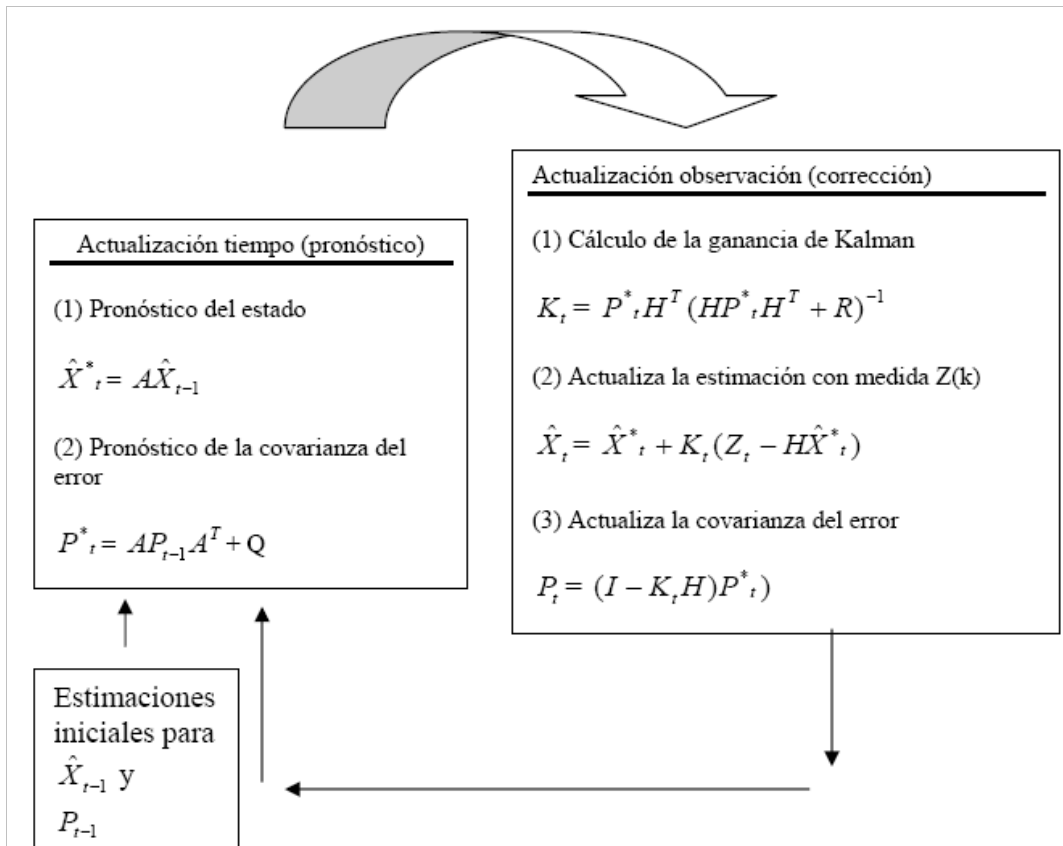
$$\hat{X}_t = \hat{X}_t^* + K_t (Z_t - H\hat{X}_t^*) \dots\dots\dots 3.2.19$$

$$P_t = (I - K_t H) P_t^* \dots\dots\dots 3.2.20$$

La primera tarea durante la corrección de la proyección del estado es el cálculo de la ganancia de Kalman, K_t (ecuación 3.2.18). Este factor de ponderación o ganancia es seleccionado de tal forma que minimice la covarianza del error de la nueva estimación del estado. El siguiente paso es realmente medir el proceso para obtener Z_t y entonces generar una nueva estimación del estado que incorpora la nueva observación como en la ecuación (3.2.19). El paso final es obtener una nueva estimación de la covarianza del error mediante la ecuación (3.2.20).

Después de cada par de actualizaciones, tanto del tiempo como de la medida, el proceso es repetido tomando como punto de partida las nuevas estimaciones del estado y de la covarianza del error. Esta naturaleza recursiva es una de las características llamativas del filtro de Kalman.

La figura 16 ofrece un cuadro completo de la operación del filtro, combinando la figura 15 con las ecuaciones 3.2.16 a la 3.2.20



FUENTE: BANCO CENTRAL DE COSTA RICA, DIE-02-2003-NT

Figura 16 Una visión completa del filtro de Kalman.

CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CAÑETE

4.1.1 Descripción hidrográfica

El Cañete es uno de los 52 ríos costeros de importancia, que se encuentra en la vertiente del Pacífico u Occidental, en la región central de esta vertiente, en cuya parte inferior se encuentra el valle agrícola, limitado por el norte con la cuenca del río Omas, por el sur con la quebrada Topará y por el oeste con el Océano Pacífico. La parte superior de la cuenca se conforma por montañas que constituyen la cuenca alta y cuya línea de cumbres lo separa, por el Norte y Este, de la cuenca del río Mantaro; por el Sur, de la cuenca del río San Juan (Chincha) y, por el Oeste, de las cuencas de los ríos Omas y Mala.

El río Cañete nace en la Laguna Ticllacocha (aprox. 4600 m.s.n.m); hasta su desembocadura en el mar. Inicialmente, discurre en dirección Sur-Norte hasta la laguna de Paucarcocha, recibiendo en este tramo el aporte de las lagunas de Unca, Pomacocha, Llica, Pescacocha y Chuspicocha, principalmente. Luego, cambia de dirección bruscamente discuriendo de Oeste a Este hasta llegar a la localidad de Vilca, incrementando su caudal con los aportes de las lagunas Pariachata, Pilicocha, Suerococha y Mollococha, alimentadas por los deshielos de los nevados Azulcocha y Escalera. Nuevamente, cambia de dirección siguiendo el rumbo NNE-SSO hasta su intersección con la quebrada Aucampi, punto a partir del cual discurre siguiendo un alineamiento NNO-SSE, hasta su confluencia con el río Caca, afluente de su margen izquierda. Aguas abajo de este punto, el río Cañete discurre con un rumbo sensiblemente NE-SO hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, ver figura 17.

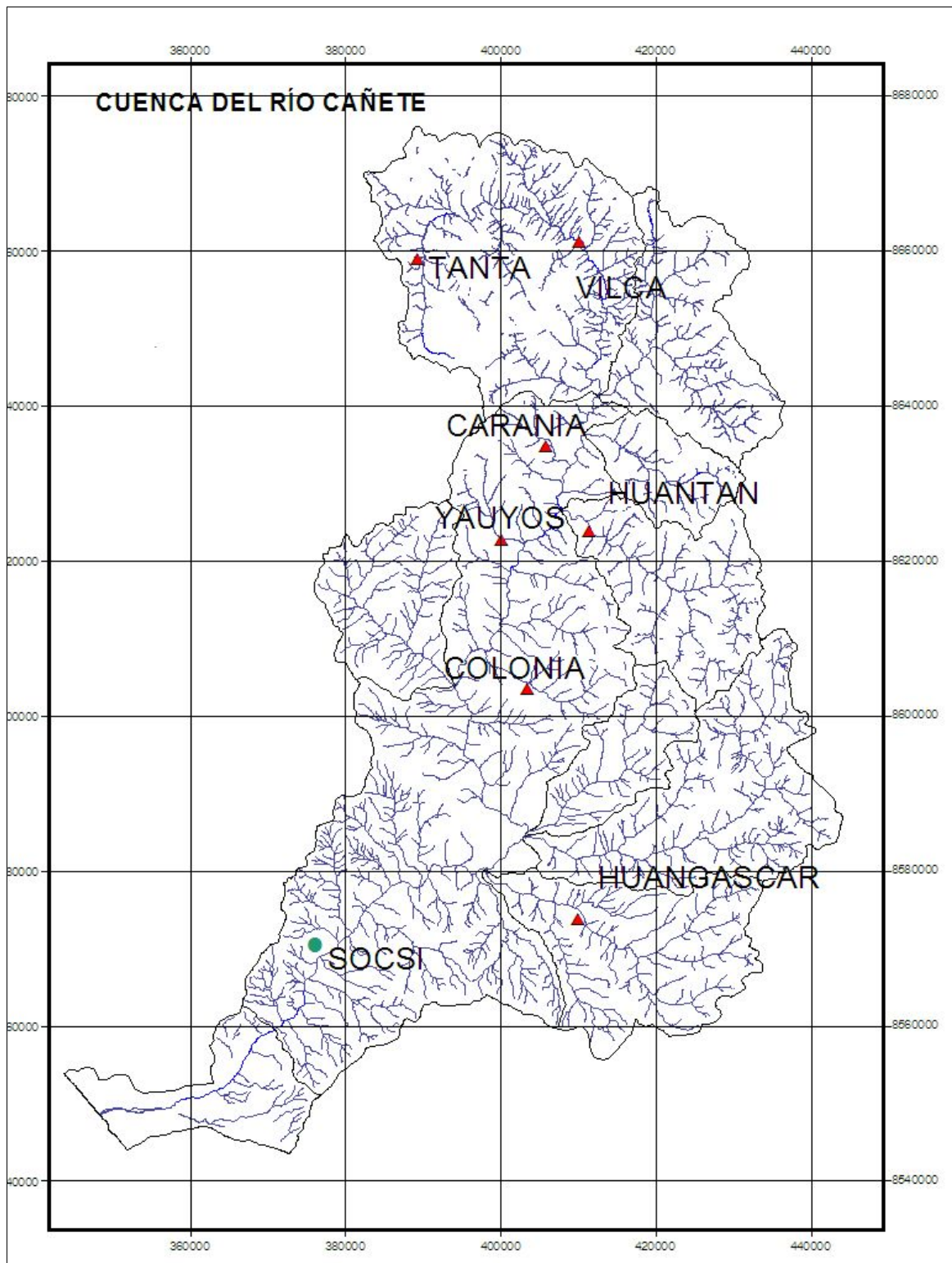


Figura 17 Cuenca del río Cañete y ubicación de las estaciones pluviométricas e hidrométricas.

A lo largo de su recorrido, el río Cañete recibe el aporte de numerosos afluentes, entre los cuales cabe mencionar, por la margen derecha, los ríos Miraflores (120 Km²) y

Yauyos (102 Km²); las quebradas Huantuya (Carania, 54 Km²) y Aucampi (343 Km²) y, por la margen izquierda, los ríos Tomás (450 Km²), Laraos (180 Km²) y Cakra (635 Km²) y las quebradas de Tinco (Huantán, 424 Km²), Pampas (133 Km²) Tupe (224 Km²), principalmente.

4.1.2 Descripción fisiográfica

El relieve de la cuenca presenta el aspecto típico de la mayoría de las cuencas de la Costa; es de forma alargada, de fondo profundo y pronunciada pendiente, que presenta una fisiografía escarpada y en partes abrupta, cortada frecuentemente por quebradas profundas y estrechas gargantas.

La parte superior de la cuenca presenta, por efecto de la glaciación numerosos nevados, lagunas y glaciares. En dirección al Océano Pacífico, la cuenca se encuentra limitada por cadenas de cerros cuyas cumbres muestran un sostenido y rápido descenso de nivel. En la parte inferior de la cuenca, como resultado de la disminución brusca de la pendiente y de la velocidad del agua, se ha producido la deposición del material aluviónico formando una pequeña llanura. En este sector, debido a la acción erosiva del viento, se presentan cerros bajos redondeados, a veces aislados, y colinas.

De acuerdo a estas características, la cuenca presenta dos zonas perfectamente diferenciadas: una montañosa, que cubre aproximadamente el 95 % del área total y un llano aluvial (valle del río Cañete), localizado en la zona baja y que cubre el 5 % restante.

Fisiografía de la zona Montañosa

a) Paisaje montañoso Árido-Andino

Comprende las grandes cadenas de cerros que constituyen los contrafuertes occidentales de la Cordillera de los Andes. Desde el litoral hasta los alrededores de Putinza y Puente Auco, situadas a una cota aproximada de 2000 m.s.n.m., el paisaje presenta evidencias típicas de notable aridez, encontrándose el valle enmarcado por grandes cadenas, montañosas de relieve escarpado. Desde los 2000 hasta los 4400 m.s.n.m., el relieve se hace progresivamente más escarpado y en partes abrupto,

ocasionando la formación de estrechas y profundas quebradas y una típica forma de V para el valle.

Las áreas situadas por encima de los 4200 m. s. n. m. están cubiertas por una vegetación bastante homogénea, conformada por gramíneas, festuca y calamagrostis spp, que forman un manto denso y uniforme y constituyen las llamadas praderas naturales. A menor altura y hasta los 3800 m.s n.m., la vegetación está constituida por los pajonales de puna, formados en base a gramíneas (stipa ichus) .

b) Paisaje montañoso Glacial

Está comprendido entre las alturas de 4400 y 5800 m. s. n. m., constituido por un conjunto de nevados, glaciares y lagunas de evidente origen glacial, que le confiere un aspecto y características muy particulares.

Se encuentra ubicado en la parte más alta de la cuenca y fisiográficamente es menos accidentado que la zona del Paisaje Montanoso Árido-Andino pues, aunque presenta cumbres más elevadas, existen también sectores bastante abiertos y con áreas relativamente planas. Se encuentra totalmente comprendida dentro de la cuenca húmeda, con numerosas lagunas que son alimentadas en forma permanente por las precipitaciones y los deshielos de los nevados vecinos.

4.2 DESCRIPCIÓN DE DATOS

Se presentan a continuación algunos datos meteorológicos, de las estaciones Yauyos (2290 m.s.n.m.), Pacarán (700 m.s.n.m.), Cañete (150 m.s.n.m.), del periodo comprendido entre 1996 al 2000.

4.2.1 Temperatura Media Mensual

Como se puede apreciar en la Fig. 18, para el caso de Yauyos la temperatura tiene poca variabilidad entre el máximo y mínimo promedio mensual registrado, y a la vez la temperatura se muestra poco variable en el transcurso de los meses; esto último no ocurre en las estaciones de Pacarán (Fig. 19) y Cañete (Fig. 20) donde se observa que la temperatura se incrementa desde Julio llegando a su pico en Marzo y descendiendo nuevamente.

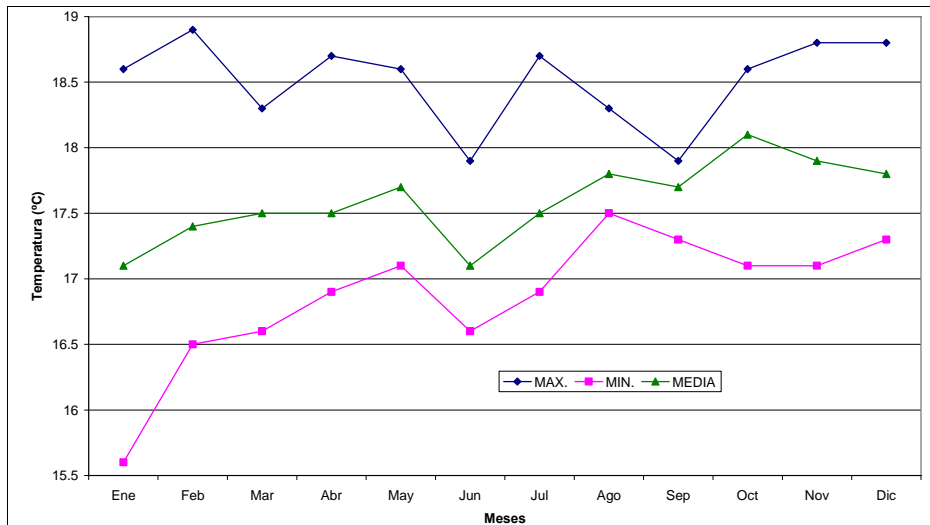


Figura 18 Temperatura media mensual estación YAUYOS

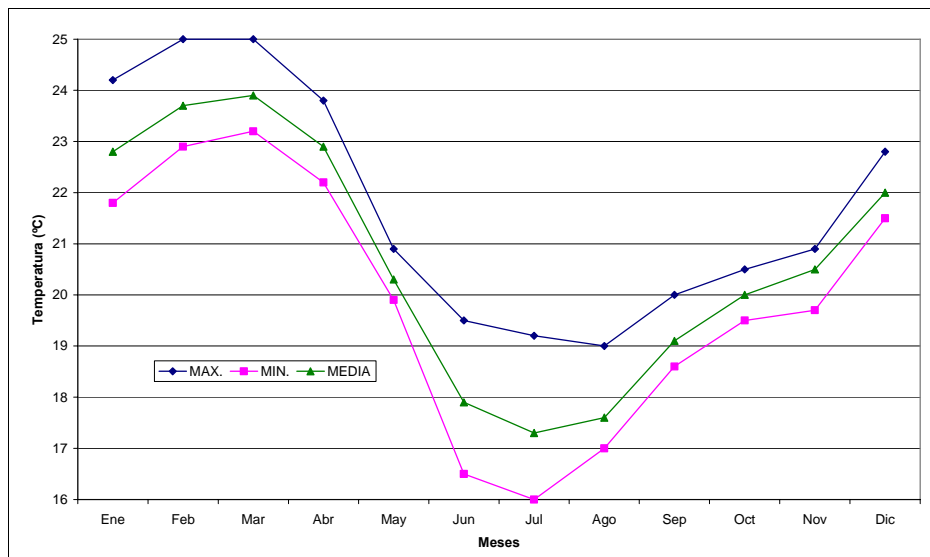


Figura 19 Temperatura media mensual estación PACARAN

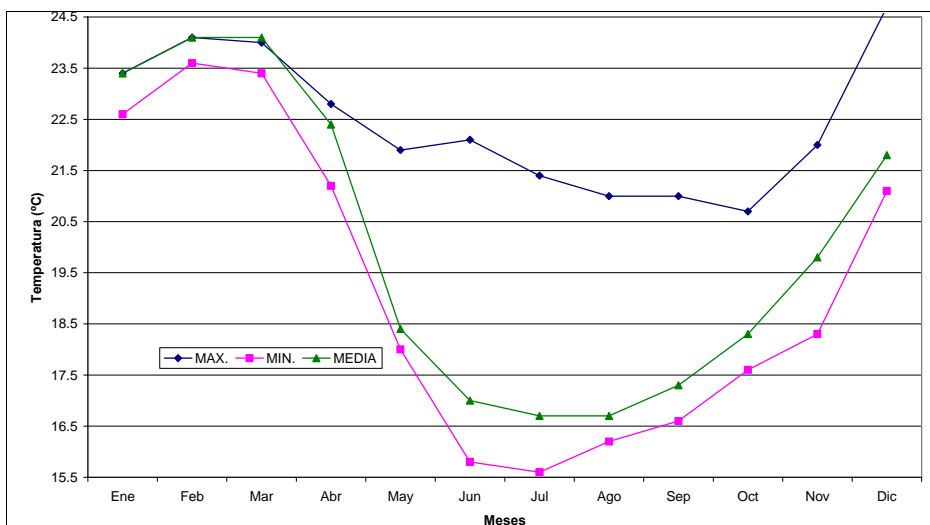


Figura 20 Temperatura media mensual estación CAÑETE

4.2.2 Evaporación Media Total Mensual

En la estación Yauyos (Fig. 21), se observa que existe menor evaporación entre enero y abril, a consecuencia de haber mayor nubosidad y lluvias lo que disminuye la radiación solar, caso contrario ocurre en los demás meses; para el caso de las estaciones Pacaran (Fig. 22) y Cañete (Fig. 23) se observa una tendencia igual, pero en la estación Cañete por estar a menor cota existe una mayor evaporación.

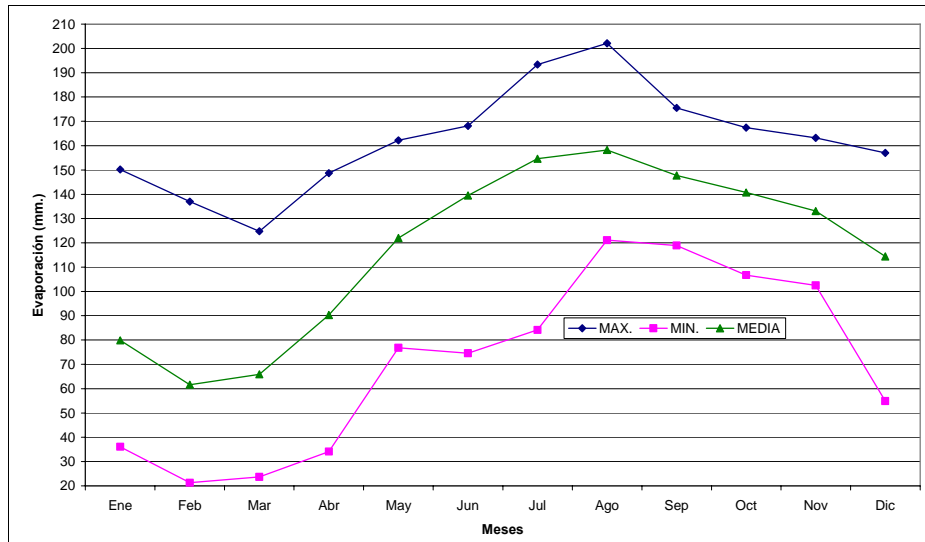


Figura 21 Evaporación media mensual estación YAUYOS

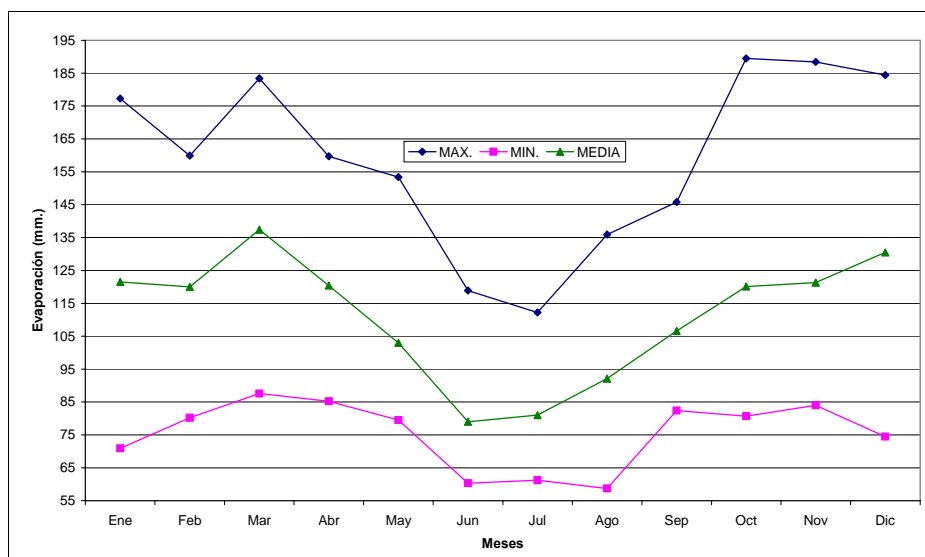


Figura 22 Evaporación media mensual estación PACARAN

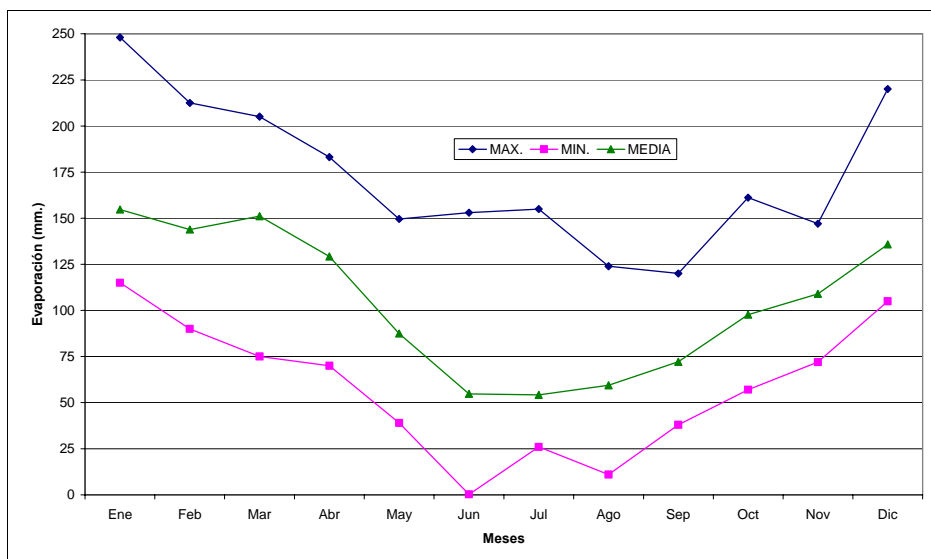


Figura 23 Evaporación media mensual estación CAÑETE

4.2.3 Humedad Relativa Media Mensual

Para el caso de la estación Yauyos (Fig. 24), al contrario que en la evaporación en los meses húmedos existe mayor humedad relativa y en los secos lo contrario, lo que es característico de la zona de sierra; todo lo contrario ocurre en Pacaran (Fig. 25) ya que tiene características de costa.

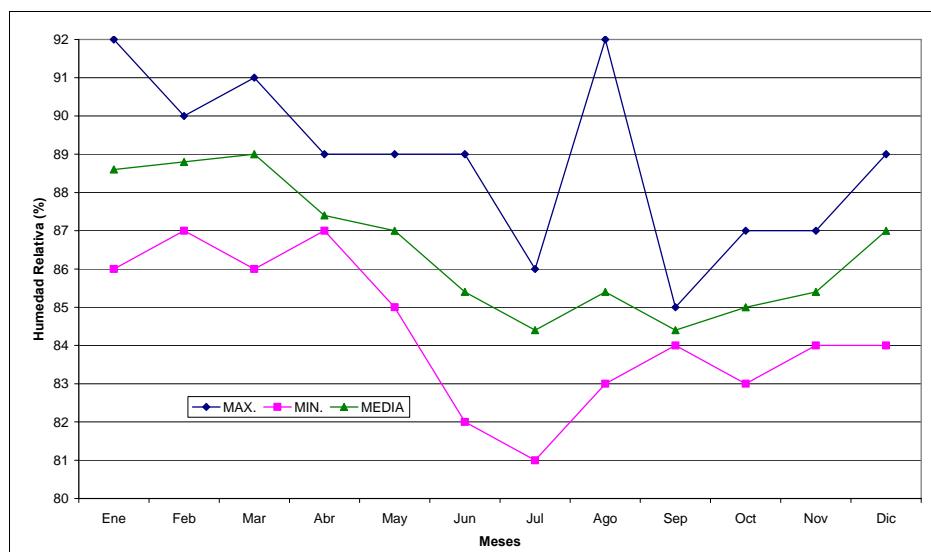


Figura 24 Humedad relativa media mensual estación YAUYOS

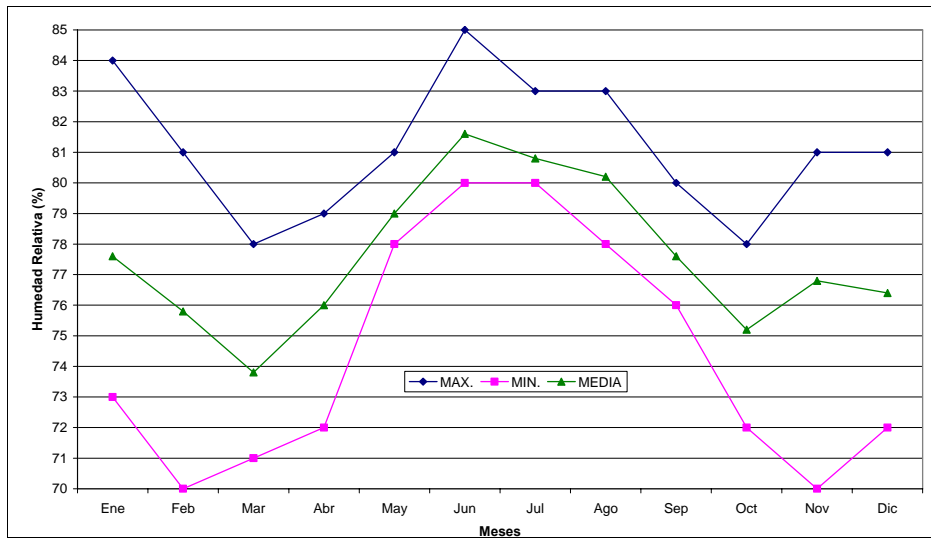


Figura 25 Humedad relativa media mensual estación PACARAN

4.2.4 Velocidad del viento media mensual

En la estación Yauyos (Fig. 4.10); se observa que la velocidad del viento aumenta de febrero a agosto, lo que se observa en forma diferente en la estación Pacaran que asciende desde Julio a febrero.

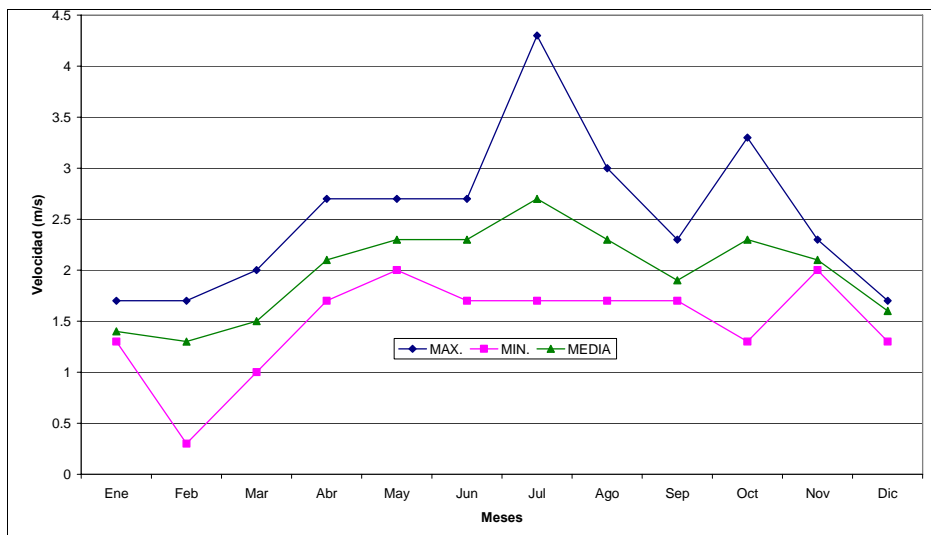


Figura 26 Velocidad del viento media mensual estación YAUYOS

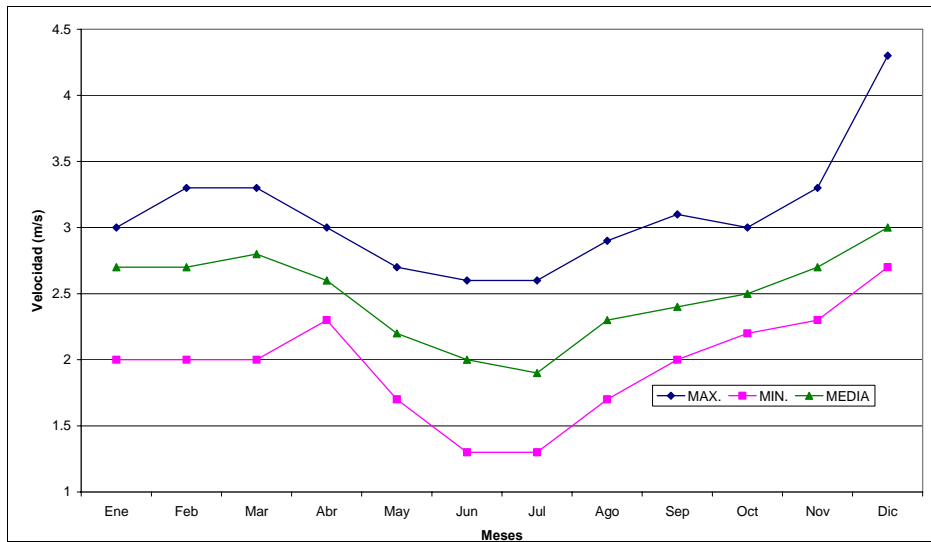


Figura 27 Velocidad del viento media mensual estación PACARAN

4.2.5 PRECIPITACIONES

Las estaciones de la cuenca del río Cañete, con excepción de la estación de Cañete muestran una precipitación anual con una mayor concentración en el periodo de diciembre a marzo; en la estación de Cañete se observa mayores valores de lluvia entre los meses de mayo a octubre. En las zonas altas, sobre los 4000 msnm, se tiene con igual recurrencia tanto precipitaciones líquidas como sólidas en forma de granizo y nieve

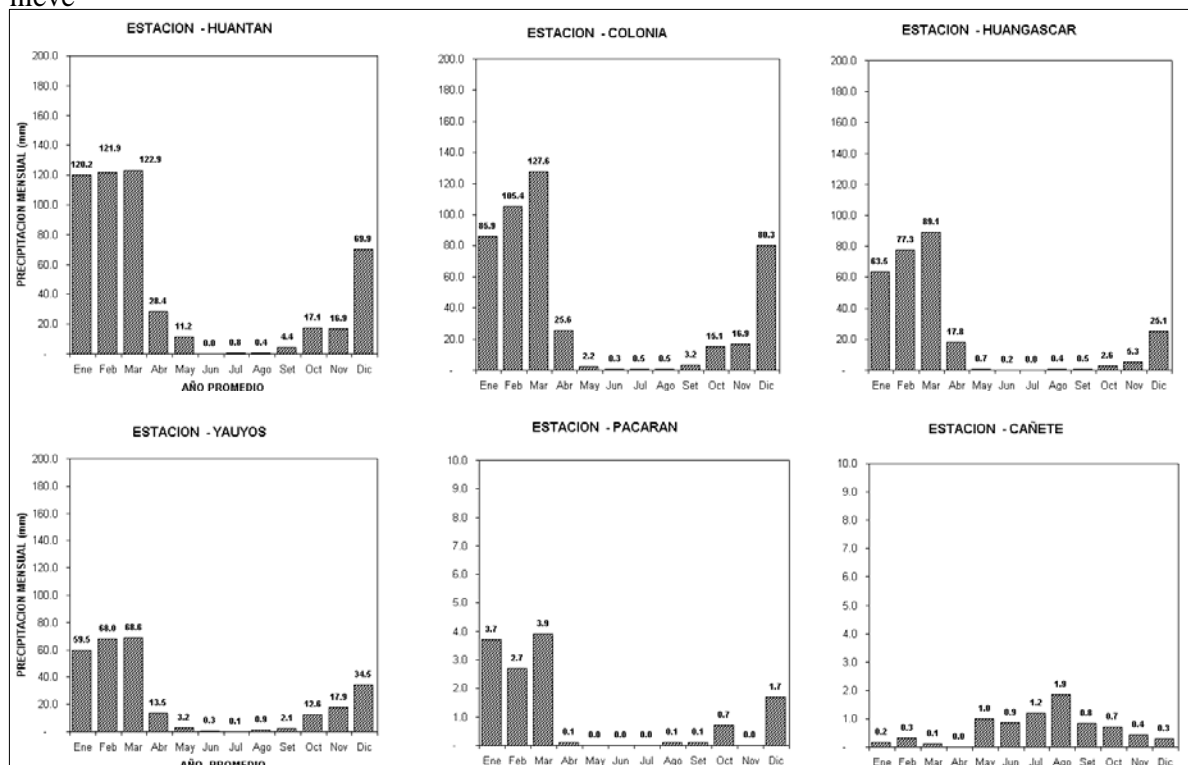


Figura 28 Precipitación total media mensual periodo 1964 al 2000

4.2.6 CAUDALES

Para la tesis se usó la serie hidrológica de la estación Sosci en el periodo del 01/08/1973 al 01/04/1976 (Fig. 29), a consecuencia que las siete estaciones involucradas en el análisis tienen datos, en este periodo, lo que permite calibrar, simular y validar los modelos precipitación.escorrentía.

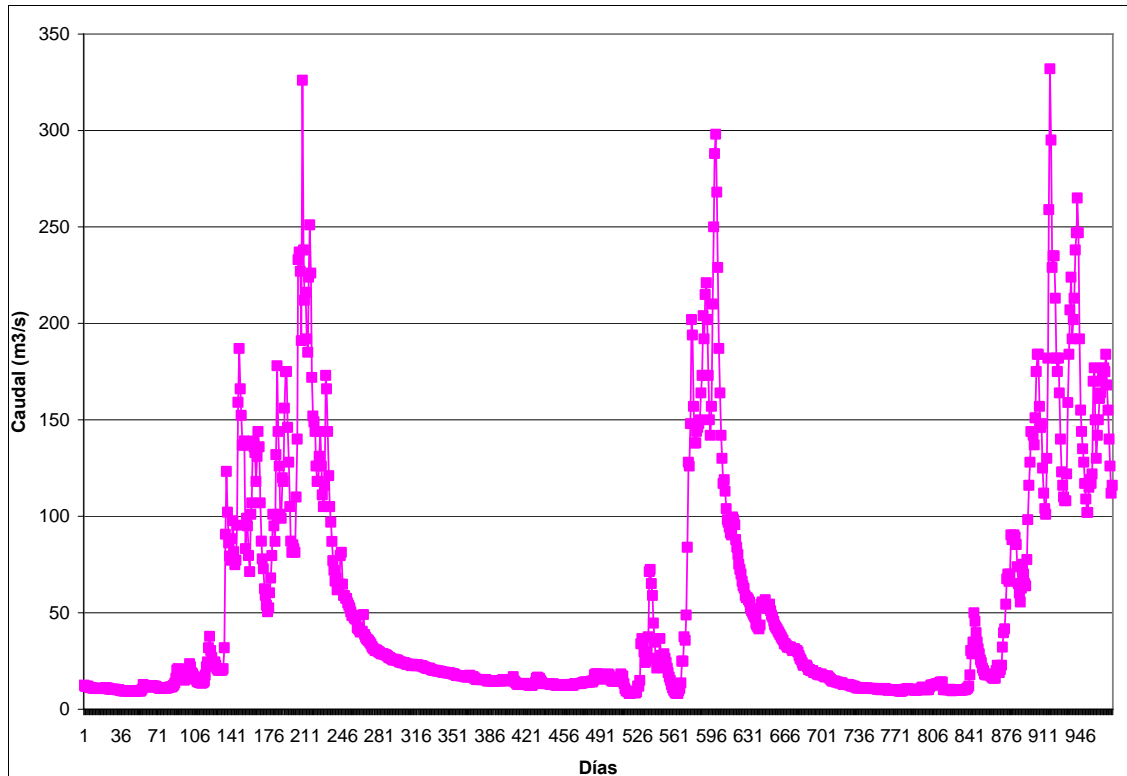


Figura 29 Caudal observado en la estación Sosci del 01/08/1973 al 01/04/1976

4.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

Para comenzar a iterar las constantes y parámetros del modelo precipitación escorrentía tanque, se debe tener como datos la precipitación a nivel diario en toda la cuenca; el caudal en la estación de aforo a nivel diario y por último la evapotranspiración real que puede ser a nivel mensual y asumirse que la distribución a través del mes es uniforme.

Los dos primeros fueron conseguidos como información básica; es decir datos que no se les ha hecho ningún tratamiento para hallarlos; pero el último dato es tal vez el más complicado de encontrar dado que depende de muchos parámetros; acerca de cómo estimar la evapotranspiración potencial; pero encontrar la evapotranspiración real; corresponde a modelos de precipitación esorrentía a nivel mensual los cuales se basan en el balance hídrico.

También se debe tener en cuenta que el aporte de agua que hace la cuenca predominantemente es de la cuenca húmeda; y el resto de la cuenca muestra un aporte que no es representativo; es por esto que para el modelo sólo se tomará la cuenca húmeda; es por esto que cuando se halle la evapotranspiración real será sólo de esta parte de la cuenca.

4.3.1 PRECIPITACIÓN MEDIA

La precipitación media se halló por pesos es decir por el método del polígono de Thiessen (Fig. 30); los pesos que se dan en función de las áreas y el porcentaje de cada estación se presentan a continuación:

ESTACIONES	%
TANTA	8.11
VILCA	14.23
CARANIA	9.86
YAUYOS	9.44
HUANTAN	15.85
COLONIA	23.70
HUANGASCAR	18.81

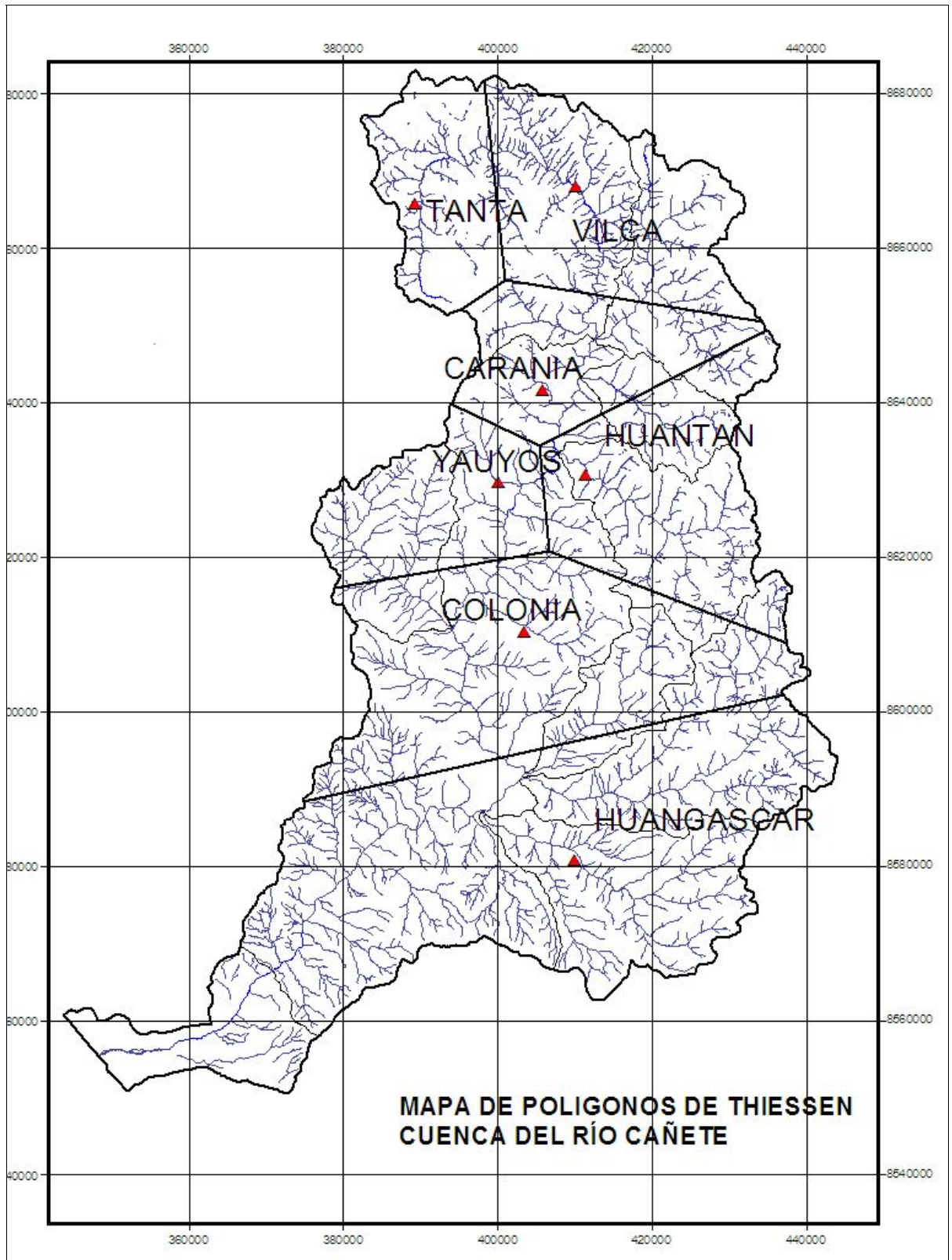


Figura 30 Mapa de polígonos de Thiessen

4.3.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Para hallar la evapotranspiración potencial se ha realizado la regionalización de la evaporación, con estaciones que se encuentran cercanas en función de la altitud, estas estaciones se ubican entre las cotas 2871 m.s.n.m. y 4529 m.s.n.m. Así también se tiene definida que la altitud media de la cuenca húmeda es de aproximadamente 4200 m.s.n.m; siendo este parámetro el representativo para hallar una evapotranspiración representativa en toda la cuenca húmeda.

Cuadro 1
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (DE REFERENCIA) PARA EL AÑO PROMEDIO - mm/mes
CUENCA DEL RIO CAÑETE

MES	EVAPORACION MENSUAL			Kp	EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA - Eto	
	YAUYSO **	CUENCA HUMEDA *	SUBCUENCA ALTA *		CUENCA HUMEDA	SUBCUENCA ALTA
SET	147.7	128.7	123.5	0.75	96.0	92.2
OCT	140.7	122.6	117.7	0.74	90.6	87.0
NOV	133.1	116.0	111.3	0.74	86.3	82.8
DIC	114.4	99.7	95.7	0.76	75.8	72.7
ENE	79.9	69.6	66.8	0.77	53.5	51.3
FEB	61.6	53.7	51.5	0.77	41.4	39.7
MAR	65.9	57.4	55.1	0.77	44.0	42.2
ABR	90.3	78.7	75.5	0.75	58.9	56.5
MAY	122.0	106.3	102.0	0.74	79.0	75.8
JUN	139.5	121.5	116.7	0.74	89.9	86.3
JUL	154.6	134.7	129.3	0.73	97.9	94.0
AGO	158.2	137.8	132.3	0.74	101.9	97.9
TOTAL	1407.9	1226.7	1177.4	0.75	915.2	878.4

(*) = ESTIMACIÓN CON LA ECUACION DE REGIONALIZACION

(**) = EVAPORACION DE TANQUE TIPO A - ESTACION METEOROLOGICA DE YAUYSO (DE REFERENCIA)

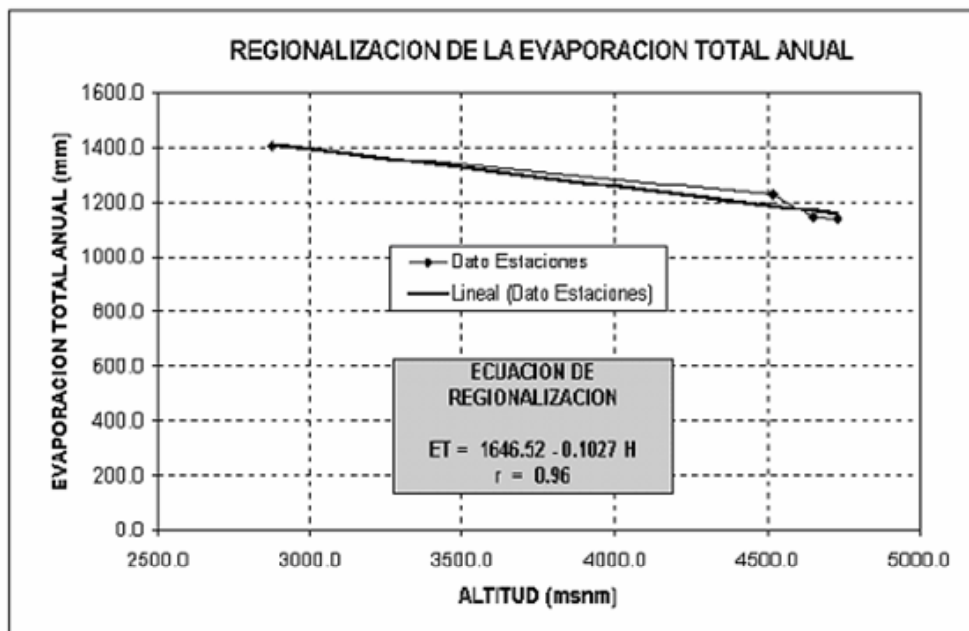
Fuente: Estudio Hidrológico realizado por INRENA, en la cuenca del río Cañete (2001)

Cuadro 2
REGIONALIZACION DE LA EVAPORACION TOTAL ANUAL
EVAPORIMETRO DE TANQUE CLASE A

Nº	ESTACION	ALTITUD m.s.n.m.	EVAPORACION TOTAL (mm)		PARAMETROS DE ECUACION DE REGRES.
			ESTACION	ECUACION	
1	Yauyos	2871.0	1407.9	1411.94	Estimación : LINEAL Variable (B) : -0.1371 Constante (A) : 1805.52 Coef. Correl. (r) : 0.970
2	Acnacocha (*)	4520.0	1230.0	1185.87	
3	Yanacocha (*)	4650.0	1145.0	1168.05	
4	Cochapata (*)	4730.0	1140.0	1157.08	
5	Túnel Cerro (*) (**)	4529.0	1314.0	1184.64	
	Cuenca Cañete	3637.9	---	1306.80	
	Cuenca Húmeda	4222.2	---	1226.70	
	Cuenca Alta	4581.8	---	1177.40	
	Cuenca Sosci	3789.8	---	1285.98	

(*) = Estaciones de las cuencas vecinas de los ríos Mantaro y Pisco.

(**) = Estación no considerada en el análisis regresivo.



Fuente: Estudio Hidrológico realizado por INRENA, en la cuenca del río Cañete (2001)

Con este dato base de evapotranspiración potencial se puede hacer uso del modelo precipitación aportación de TÉMEZ; el cual se describió en el capítulo 3; para fines de encontrar la evapotranspiración real.

CAPÍTULO 5

APLICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS CONCEPTUALES A LA CUENCA DEL RÍO CAÑETE

5.1 MODELAMIENTO DE LA CUENCA DEL RÍO CAÑETE

Para la calibración se ha utilizado un año hidrológico que va desde el primero (01) de agosto de 1973 (01/08/1973) hasta el treinta y uno (31) de julio de 1974 (31/07/1974); se debe tener en cuenta que el modelo es a nivel diario; así que a diferencia de un modelo a nivel mensual la información hidrométrica en un año tendrá 365 datos observados y no solo doce datos observados.

Los datos que se tienen para la calibración son los siguientes:

- Precipitación media calculada en la cuenca húmeda por el método de Thiessen, de las 7 estaciones pluviométricas considerada; período desde 01/08/1973 al 31/07/1974.
- Evapotranspiración real a nivel mensual calculada por el modelo TÉMEZ, en el período desde 01/08/1973 al 31/07/1974; se ha utilizado este modelo ya que ha calibrado a escala mensual la evapotranspiración real y con este dato de entrada se puede aproximar más la evapotranspiración real, pero en la práctica se puede emplear como valor de entrada la evapotranspiración potencial.
- Caudal de la estación Socsi a nivel medio diario, en el período desde 01/08/1973 al 31/07/1974.

Como se puede observar el único dato que no es a nivel diario es la evapotranspiración real, se puede considerar esta pérdida uniforme en todo el mes; así que en resumen el valor mensual se dividirá entre el número de días del mes; y así se encontrará la evapotranspiración a nivel diario.

Cuando se hace la calibración se debe tener un parámetro que indique cuando es lo óptimo; este parámetro puede ser en forma visual o se puede usar un parámetro estadístico. Se tiene que elegir uno de los dos para hacer la calibración, se analizará el parámetro estadístico factor de calidad, que se define como sigue.

$$E = \frac{\sum |Q_c - Q_o|}{\sum Q_o} \cdot 100$$

Donde:

Q_c = Caudal calculado o generado por el modelo.

Q_o = Caudal observado en campo en la estación hidrométrica.

Para la simulación se ha utilizado el año hidrológico que va desde el primero de agosto de 1974 (01/08/1974) hasta el 31 de Julio de 1975; y para la validación desde el primero de agosto de 1975 hasta el primero de marzo de 1976 (01/03/1976); lamentablemente el segundo año hidrológico no es completo, a consecuencia que en el mes de marzo de 1976 la estación pluviométrica Huangascar no tiene información; por esto no se pudo hallar la precipitación media requerida en el modelo.

5.1.1 TANK MODEL CON Y SIN USO DE MODELO ESTOCASTICO

5.1.1.1 CALIBRACION

Después de continuos ensayos obtuvo las variables que mejor se adecuan a la serie de calibración del 01/08/1973 al 31/07/1974; obteniéndose como resultado la siguiente configuración de tanques. Como se puede observar en la Figura 31, se ha trabajado con tres tanques, los dos primeros tanques con dos tomas de escorrentía cada uno, y el ultimo con una sola toma de escorrentía; así el resultado de los datos reales con los calculados se puede observar en la Fig. 32.

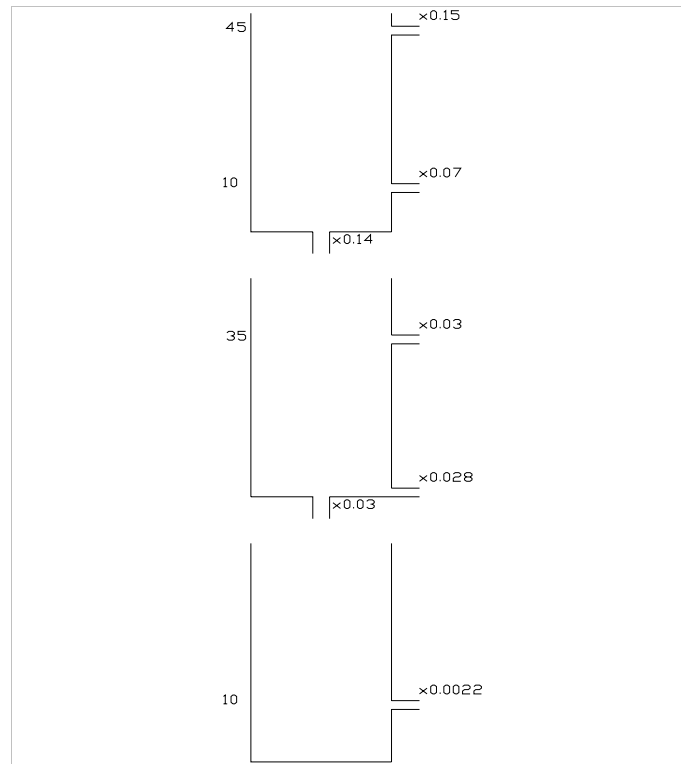


Figura 31 Configuración del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete.

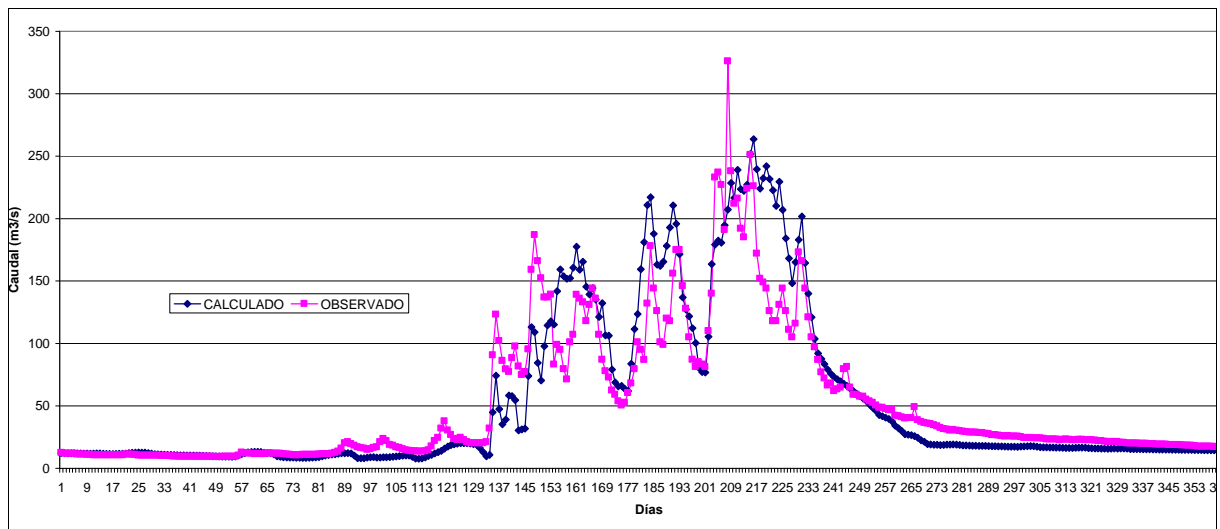


Figura 32 Calibración del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974).

Para la calibración del modelo estocástico, se ha realizado una correlación entre el error del paso anterior con el paso actual (con un desfase de una posición) es decir un modelo autorregresivo de primer orden AR(1), el resultado de esta correlación se muestra en la Figura 33 (E_{i-1} : Error del paso anterior, E_i : Error del paso actual), como se ve en las líneas de tendencias se obtiene una buena correlación aún sin normalizar la

muestra, es por esto que no se considera necesario normalizar la muestra, y el coeficiente del modelo AR(1) es 0.863; así al valor calculado por el modelo Tanque se le agrega el valor del error del paso anterior multiplicado por el coeficiente de correlación, obteniéndose así un valor mejorado, el cual se observa en la Fig. 34 (la aproximación mejora considerablemente, respecto a los datos reales); esta metodología se observa en el artículo “Application of combined Tank Model and AR model in flood forecasting”; escrito por el Dr. Tawatchai Tingsanchali (2005).

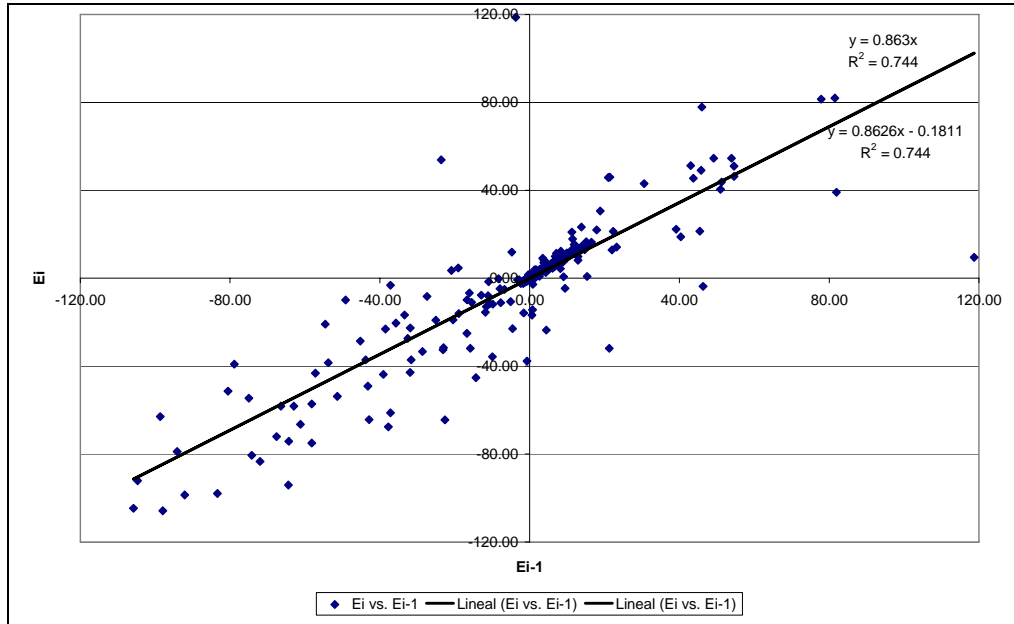


Figura 33 Ei vs. Ei-1 (Modelo TANQUE)

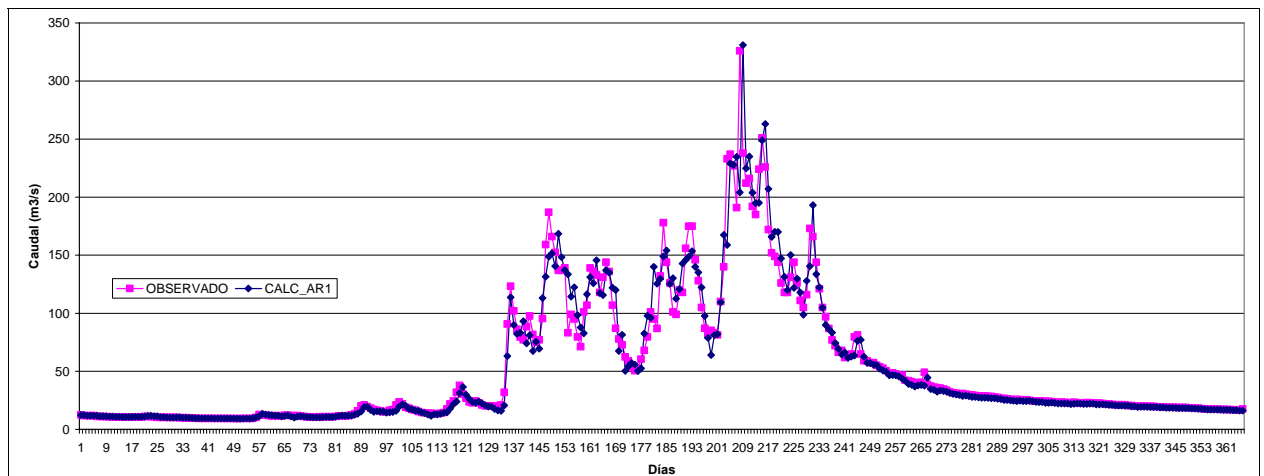


Figura 34 Calibración del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974). Usando modelo estocástico AR(1)

Finalmente se hace uso del filtro de Kalman, para esto se definen las variables de las ecuaciones 3.2.13 y 3.2.14; Z_t es el error actual medido, H es el error medido del

paso anterior, X_t es un coeficiente variable que correlaciona el error del paso anterior con el del paso actual, para $t = 0$, X_0 es igual al coeficiente del modelo AR(1) (0.863); y el valor de A es constante e igual a la unidad; así una vez definidas estas variables para la serie de calibración se calcula el valor de R (covarianza de la perturbación de la medida) y Q (covarianza de la perturbación del proceso) igual a 13.29 y 10.55 respectivamente; despejando estos valores de las ecuaciones 3.2.14 (para R), y la ecuación 3.2.13 (para Q); finalmente para comenzar con el algoritmo recursivo se inicia con un valor de P_0 (covarianza del error) igual a 1.

Finalmente se realizan las iteraciones utilizando el algoritmo de la Figura 16, realizando este procedimiento el valor que se actualiza será el coeficiente X_t ; así también para dar un límite a la corrección por efecto del filtro, se considera que el valor corregido por el filtro a lo más será 25% más del valor obtenido con el modelo AR (1) y a lo menos un 25% de este.

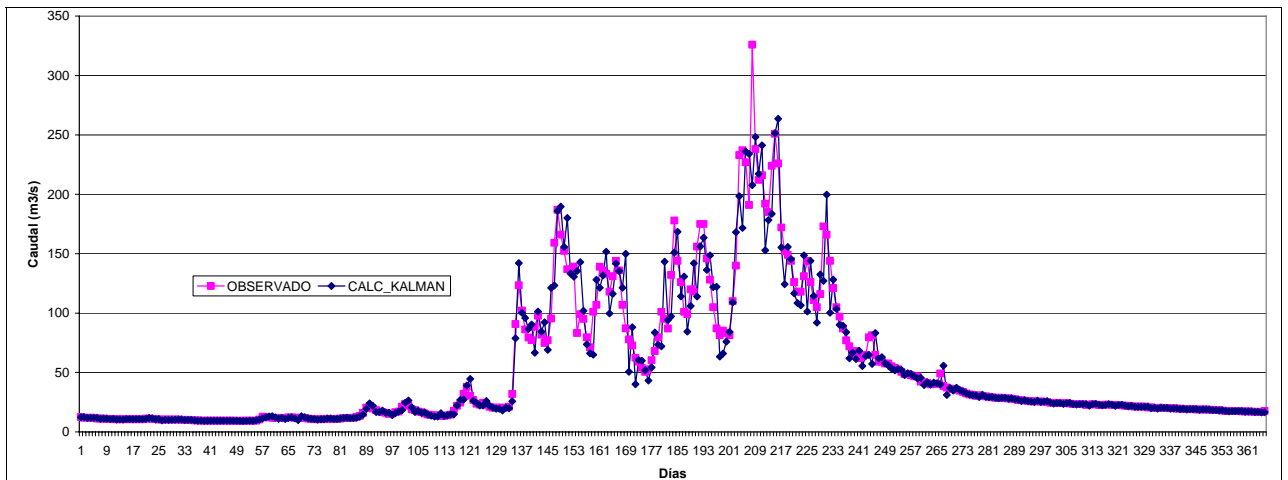


Figura 35 Calibración del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974). Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman

5.1.1.2 SIMULACIÓN

Una vez calculado los parámetros del modelo Tanque (Fig. 32) en la etapa de calibración, se procede a simular la serie del 01/08/1974 al 31/07/1975. Los resultados obtenidos con estos parámetros se observan en las Figuras 36 a 39.

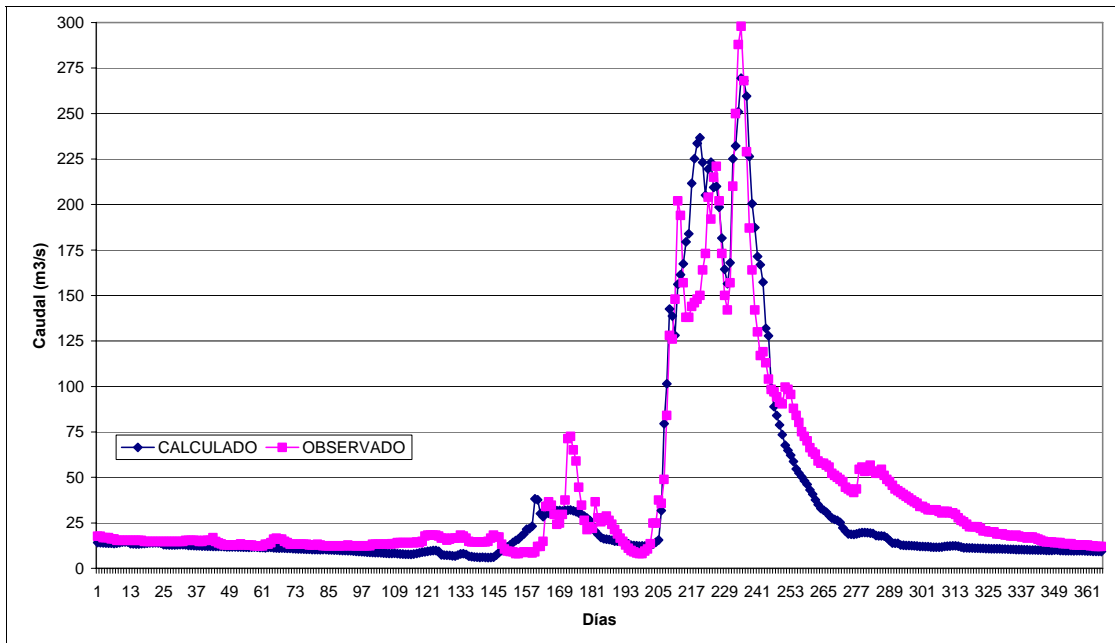


Figura 36 Simulación del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975).

Así también en la simulación se calcula el modelo tanque con el modelo estocástico AR(1), con los mismo coeficiente autoregresivo para el error, dando como resultado la Fig. 37.

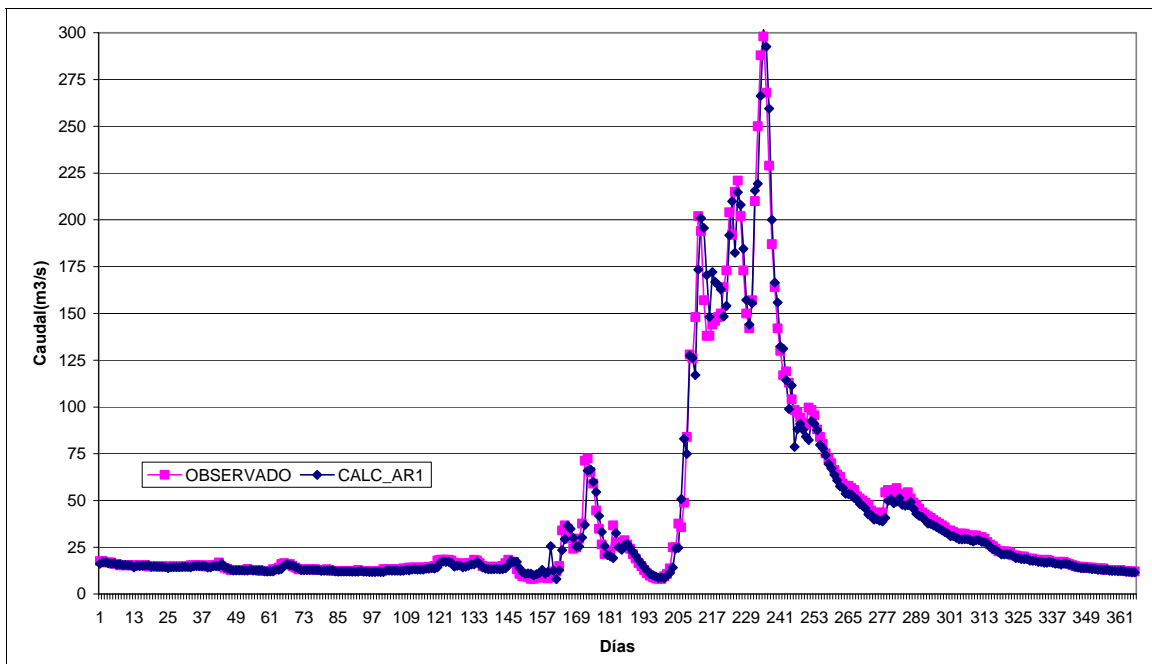


Figura 37 Simulación del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975). Usando modelo estocástico AR(1)

Para la simulación del modelo Tanque+AR(1)+Filtro de Kalman, al igual que en el caso anterior se reemplaza la serie de datos del 01/08/1974 al 31/07/1975; obteniéndose los valores mostrados en las Fig. 38.

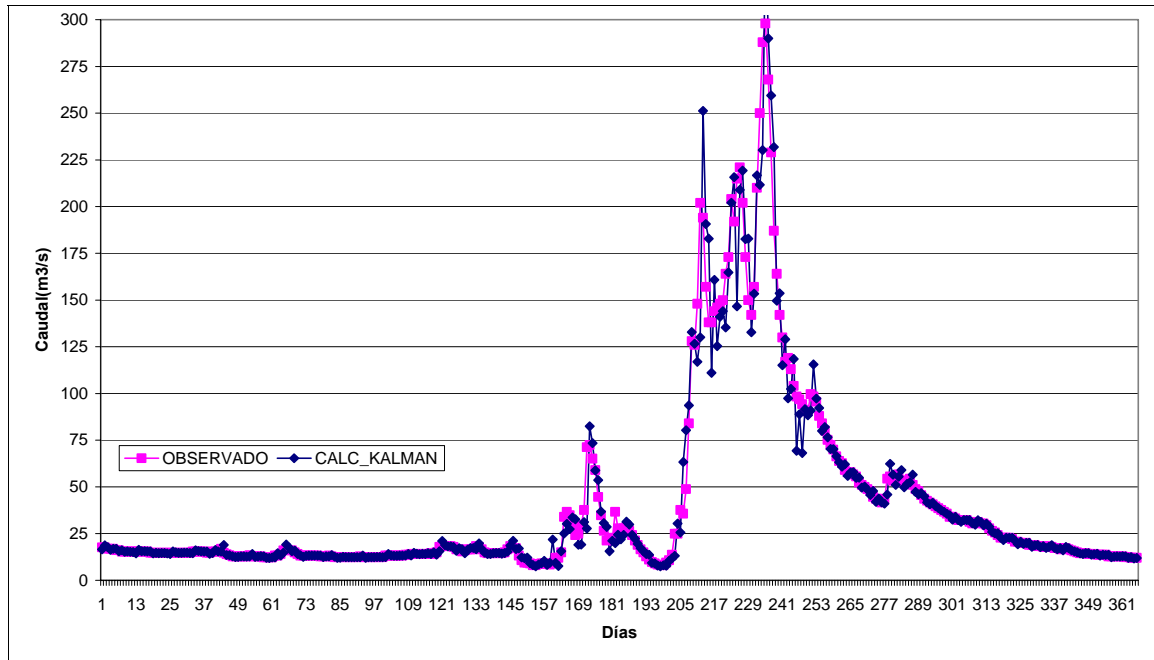


Figura 38 Simulación del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975). Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman

5.1.1.3 VALIDACIÓN

Para la validación se utiliza la serie del 01/08/1974 al 01/03/1975, se usan los parámetros calibrados en los modelos, los resultados se observan en las Fig. 39 a 41.

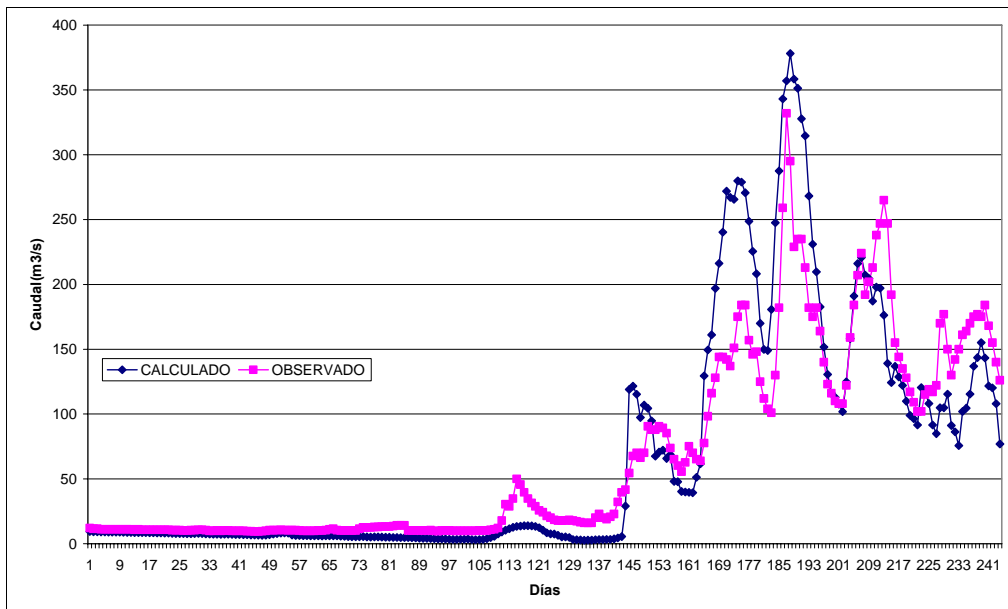


Figura 39 Validación del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976).

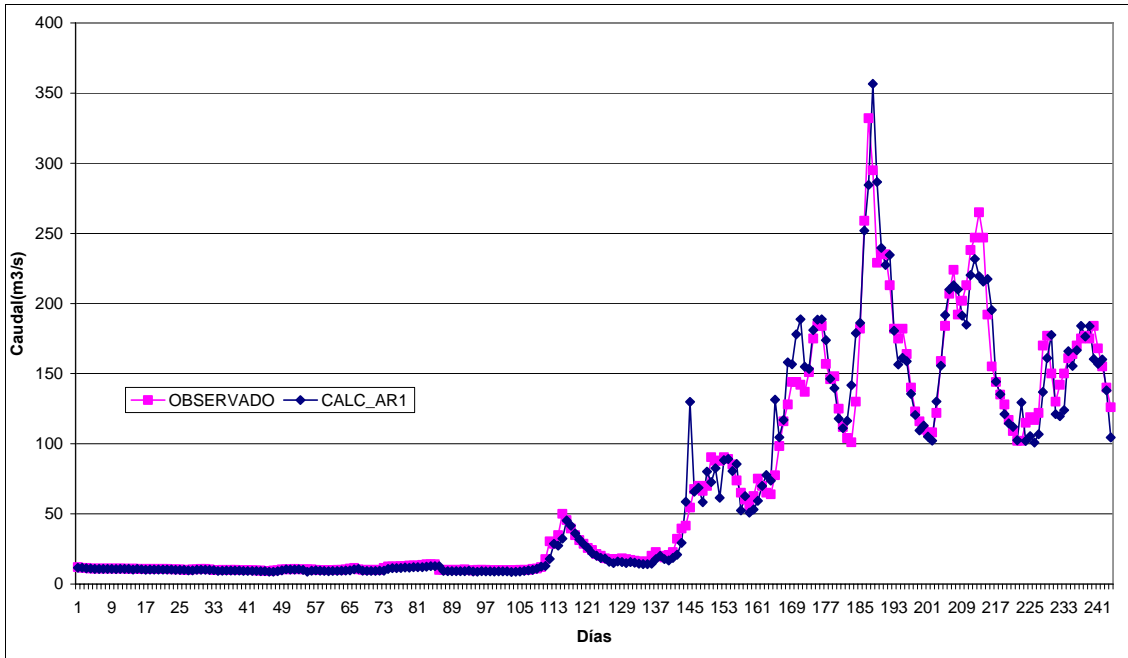


Figura 40 Validación del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976). Usando modelo estocástico AR(1)

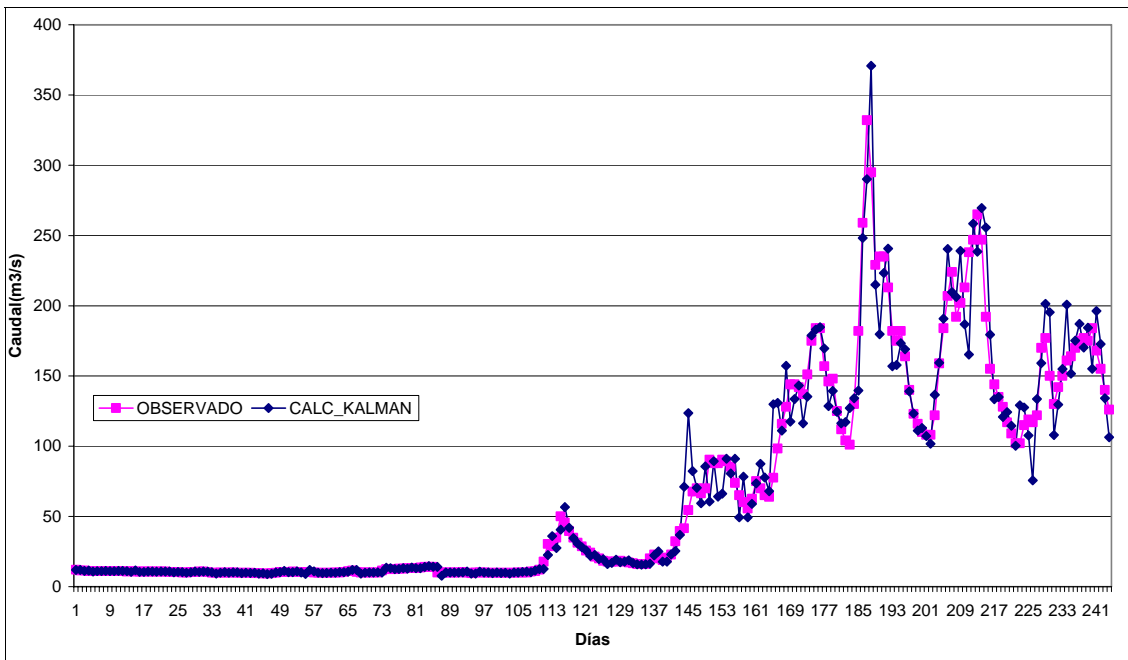


Figura 41 Validación del modelo Tanque en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976). Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman

5.1.2 MODELO NAM CON Y SIN USO DE MODELO ESTOCASTICO

5.1.2.1 CALIBRACION

Después de continuos ensayos se obtuvo las variables que mejor se adecuan a la serie de calibración del 01/08/1973 al 31/07/1974; estos parámetros son:

Umax=	10
Lmax=	150
CQof=	0.8
TOF=	0
Ckif=	480
TIF=	0.4

TG=	0.6
GWL=	0
Sy=	0.5
CKbf=	2400
CK1=	48
CK2=	3

El resultado de los datos reales con los calculados por este modelo se pueden observar en la Fig. 42.

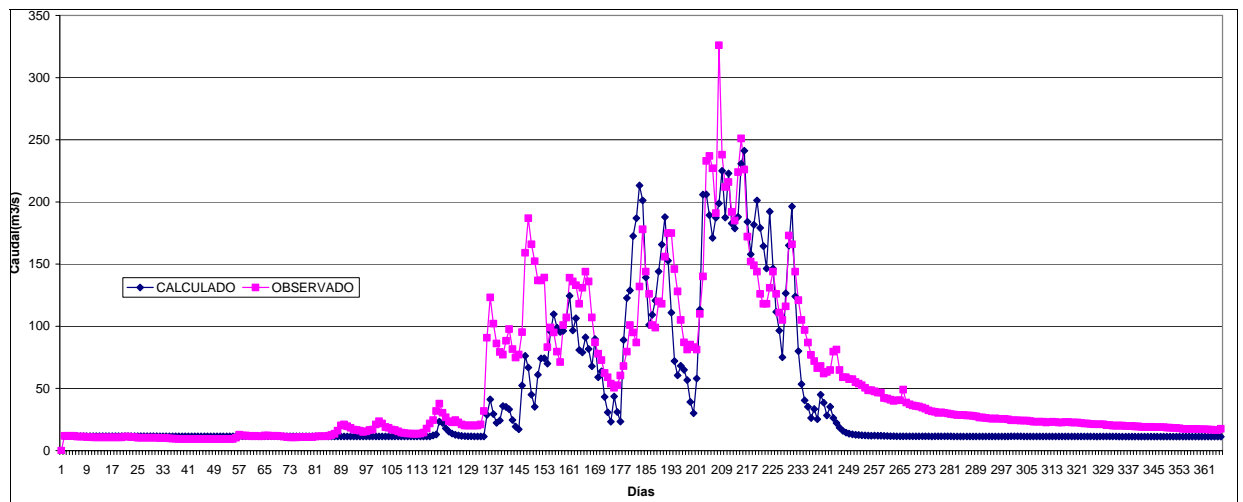


Figura 42 Calibración del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974).

Para la calibración del modelo estocástico, se ha realizado una correlación entre el error del paso anterior con el paso actual (con un desfase de una posición) es decir un modelo autorregresivo de primer orden (AR(1)), cuyo resultado se muestra en la Figura 43 (E_{i-1} : Error del paso anterior, E_i : Error del paso actual), como se ve en las líneas de tendencias se obtiene una buena correlación aún sin normalizar la muestra, es por esto que no se considera necesario normalizar la muestra, y el coeficiente del modelo AR(1) es 0.8309; así al valor calculado por el modelo Tanque se le agrega el valor del error del paso anterior multiplicado por el coeficiente de correlación, obteniéndose así un valor mejorado, el cual se observa en la Fig. 44 (la aproximación mejora considerablemente, respecto a los datos reales).

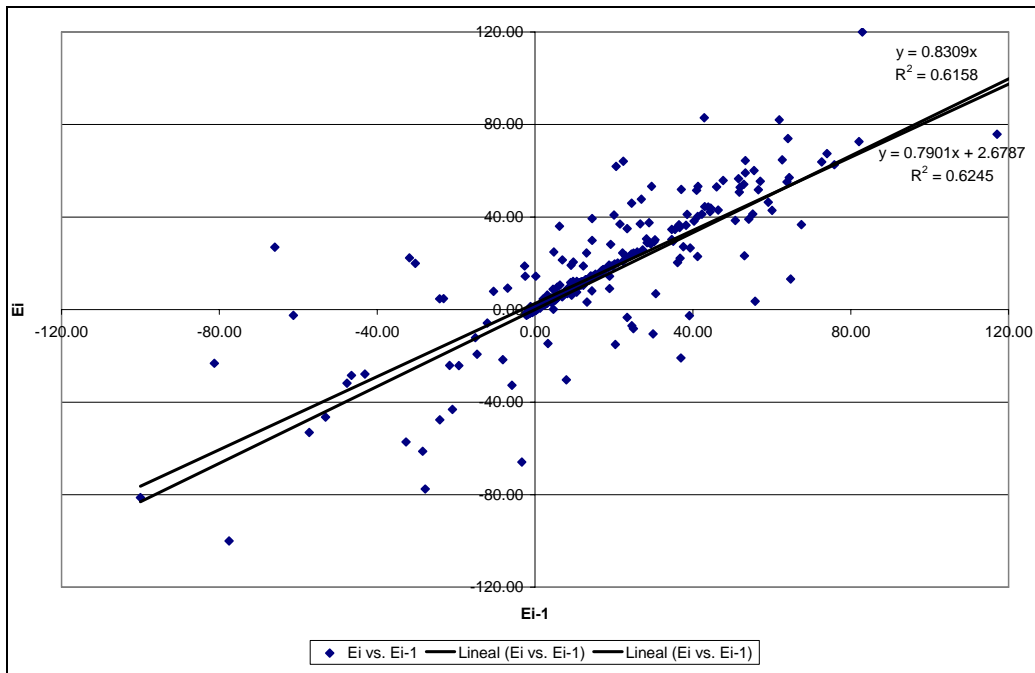


Figura 43 Ei vs. Ei-1 (Modelo NAM)

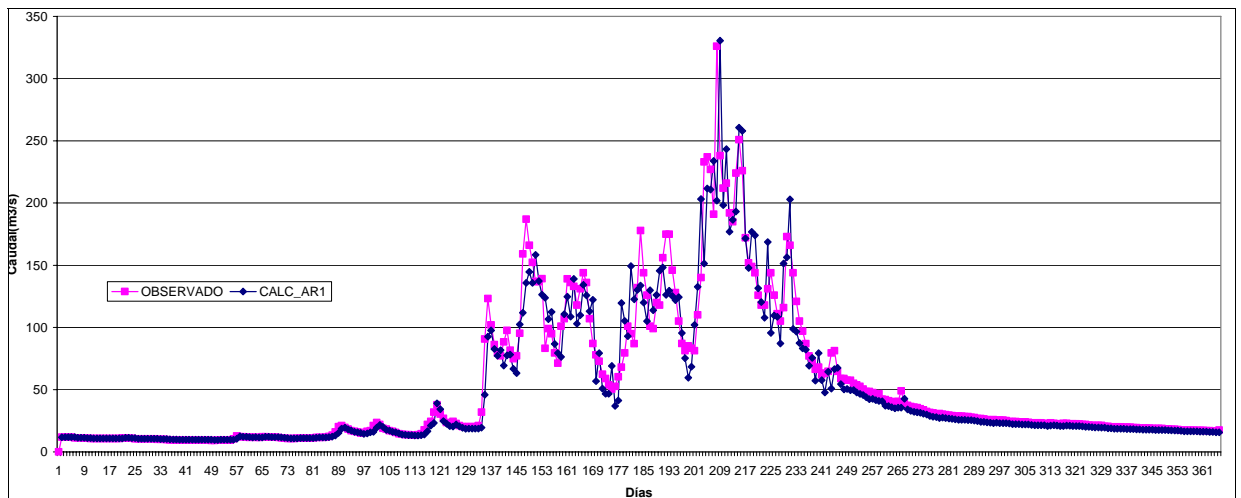


Figura 44 Calibración del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974). Usando modelo estocástico AR(1)

Finalmente se hace uso del filtro de Kalman, para esto se definen las variables de las ecuaciones 3.2.13 y 3.2.14; Z_t es el error actual medido, H es el error medido del paso anterior, X_t es un coeficiente variable que correlaciona el error del paso anterior con el del paso actual, para $t = 0$, X_0 es igual al coeficiente del modelo AR(1) (0.8309); y el valor de A es constante e igual a la unidad; así una vez definidas estas variables para la serie de calibración se calcula el valor de R (covarianza de la perturbación de la medida) y Q (covarianza de la perturbación del proceso) igual a 15.95 y 5.16 respectivamente; despejando estos valores de las ecuaciones 3.2.14 (para R), y la

ecuación 3.2.13 (para Q); finalmente para comenzar con el algoritmo recursivo se inicia con un valor de P_0 (covarianza del error) igual a 1. Finalmente se realizan las iteraciones utilizando el algoritmo para usar el filtro de Kalman, que se muestra en la Figura 16, realizando este procedimiento el valor que se actualiza será el coeficiente X_t ; así también para dar un límite a la corrección por efecto del filtro, se considera que el valor corregido por el filtro tendrá como limite superior un valor equivalente a un 25% del valor obtenido con el modelo AR(1) y un límite inferior del 25% de este, a consecuencia que se obtienen valores negativos y valores muy grandes sin usar esta restricción.

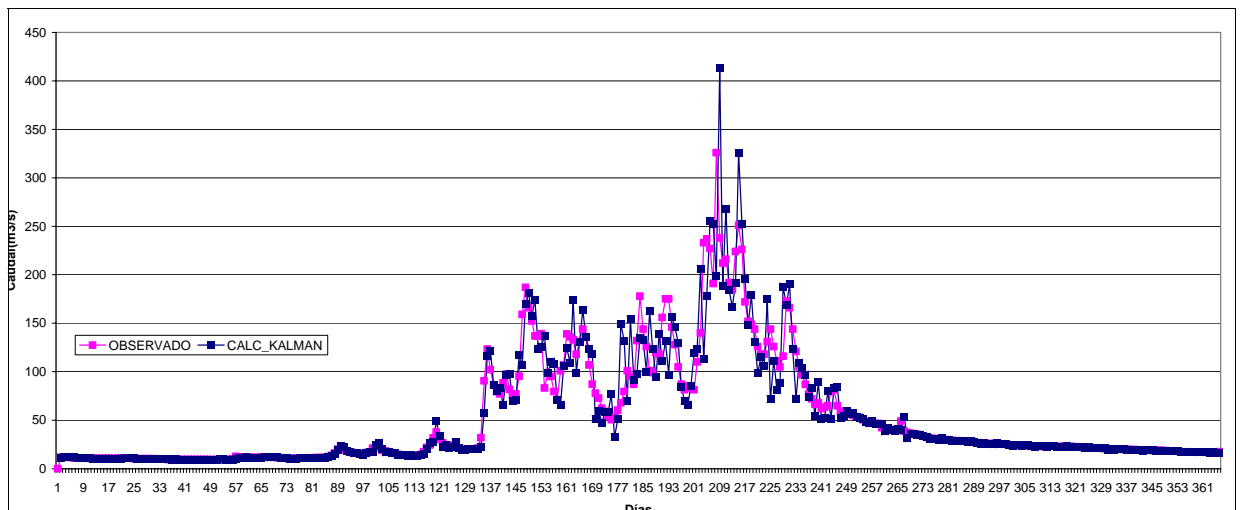


Figura 45 Calibración del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974). Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman

5.1.2.2 SIMULACIÓN

En las figuras 46 a 48, se muestran los resultados obtenidos con los parámetros de la calibración, para el modelo NAM y los dos modelos compuestos a éste.

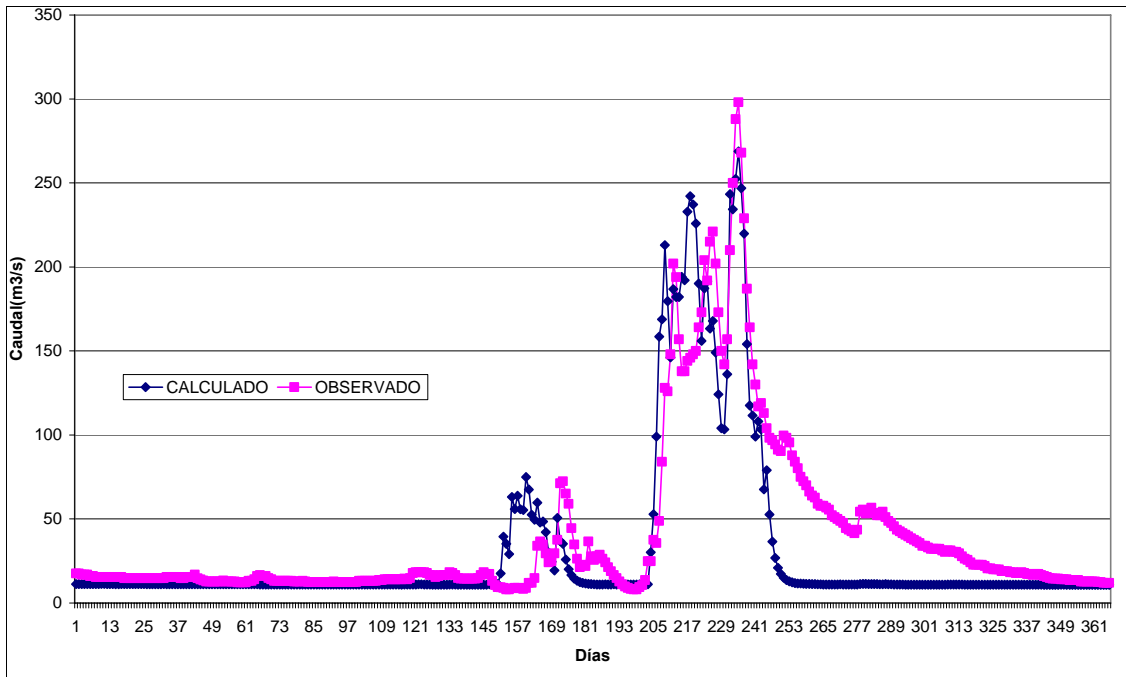


Figura 46 Simulación del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975).

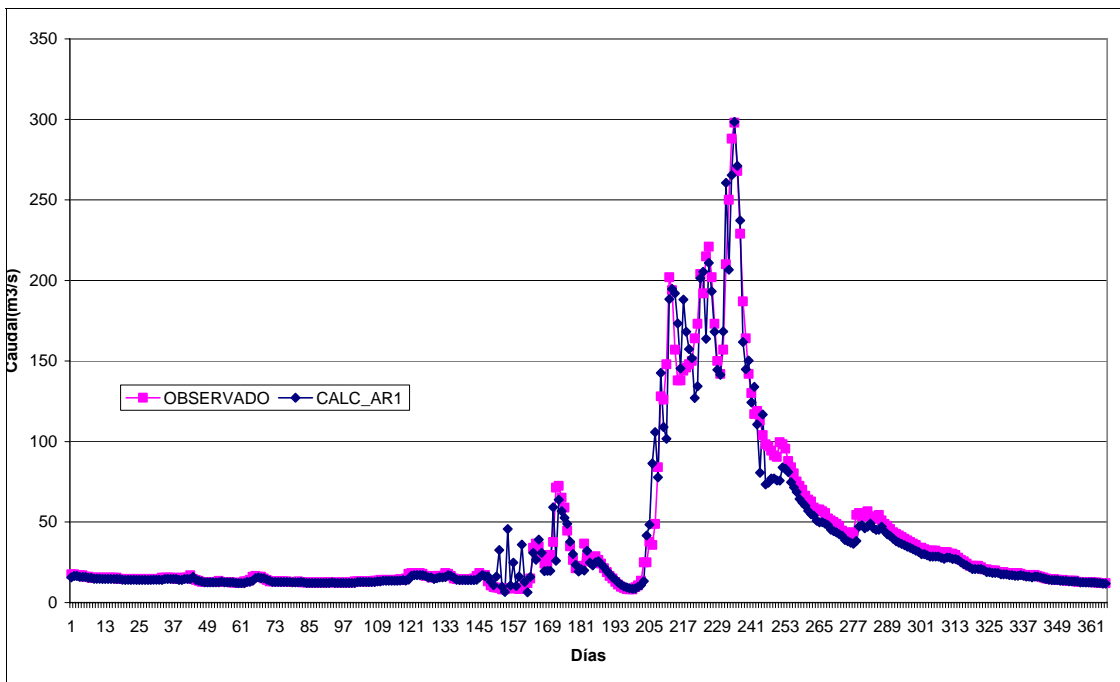


Figura 47 Simulación del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975). Usando modelo estocástico AR(1)

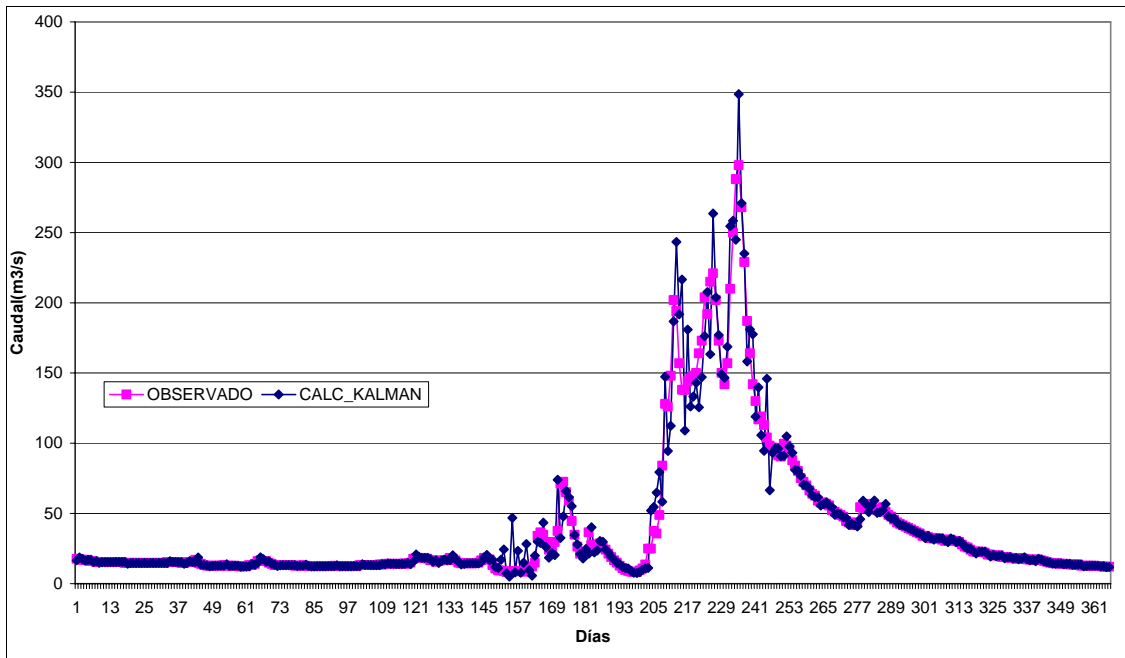


Figura 48 Simulación del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975). Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman

5.1.2.3 VALIDACIÓN

Para la validación se usa la serie de datos del 01/08/1975 al 01/03/1976; los resultados obtenidos con los parámetros de calibración, para el modelo NAM, NAM+AR(1) y NAM+AR(1)+Kalman; se observan en las Figuras 49 a 51.

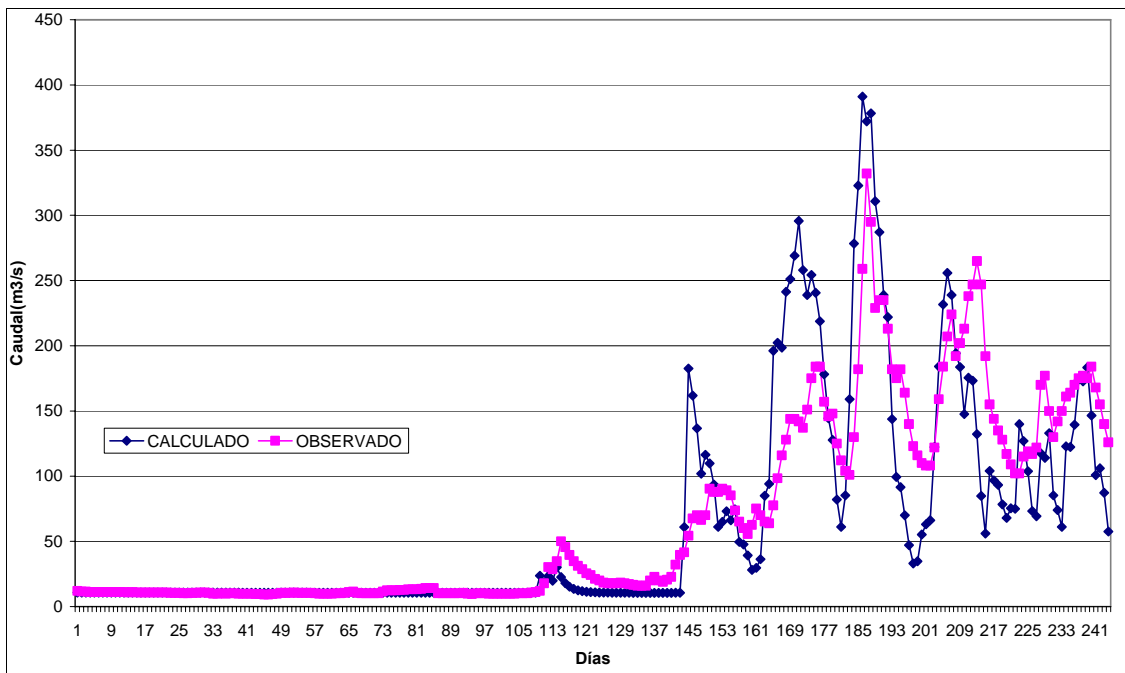


Figura 49 Validación del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976).

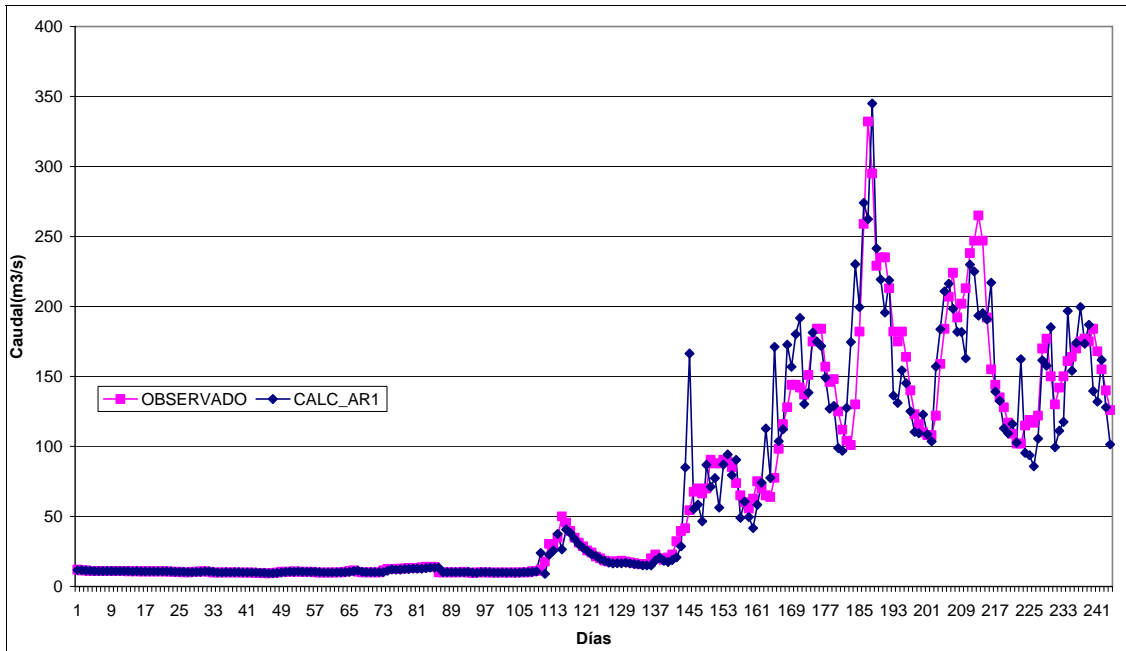


Figura 50 Validación del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976). Usando modelo estocástico AR(1)

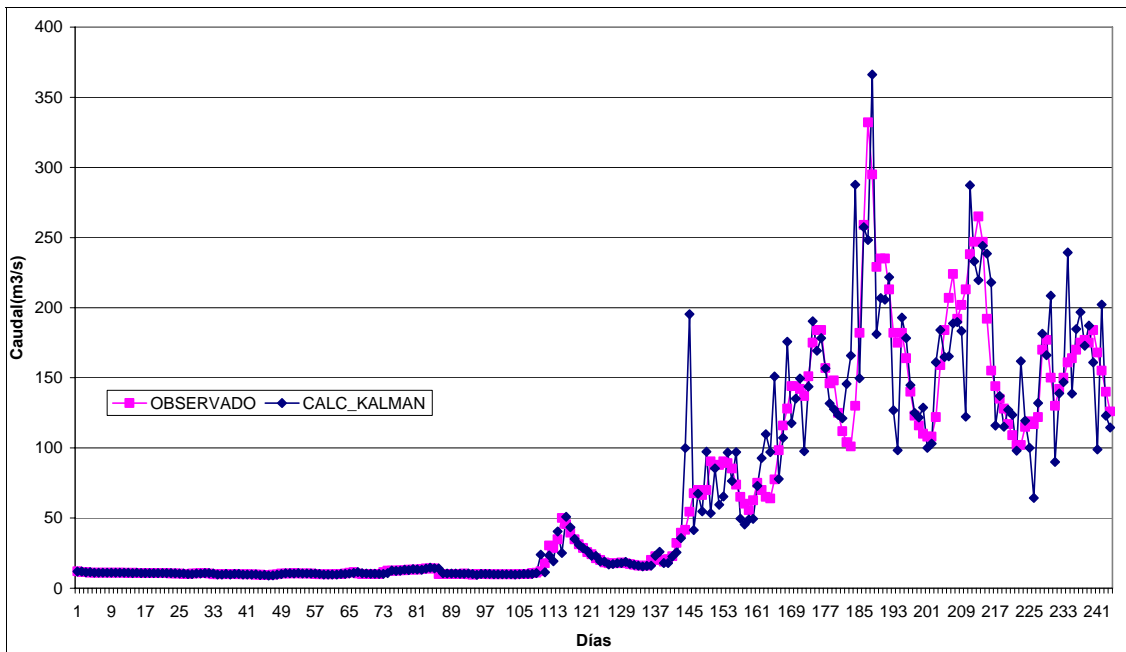


Figura 51 Validación del modelo NAM en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976). Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman

5.1.3 MODELO SMA CON Y SIN USO DE MODELO ESTOCASTICO

Para la aplicación del modelo SMA, se realizara dos tipos de análisis con los datos que se tiene, en primer lugar en escala diaria y en segundo lugar disgregando la información diaria, en cada 15 minutos asumiendo para esto una tormenta tipo I (SCS) y una evaporación constante entre las 6 a.m. y 6 p.m. solo se toma las mañanas ya que en las noches la presencia de radiación solar es menor.

5.1.3.1 ESCALA DIARIA

5.1.3.1.1 CALIBRACION

Después de continuos ensayos se han obtenido las variables que mejor se adecuan a la serie de calibración del 01/08/1973 al 31/07/1974; obteniéndose como resultado los siguientes parámetros:

Canopy Storage(mm.) =	3.0	I max. Suelo (mm.) =	19.5
Surface Storage (mm.) =	3.5	Perc max GW UPPER (mm.) =	3.0
Tensión Storage(mm.) =	55.0	S max GW UP (mm.) =	25.0
S max Suelo (mm.) =	82.0	GW UPPER Coefficient =	0.350

Coefficiente de Reservorio Lineal, para flujo Base =	0.002
---	-------

El resultado de los datos reales con los calculados para el modelo SMA, se observan en la Fig. 52.

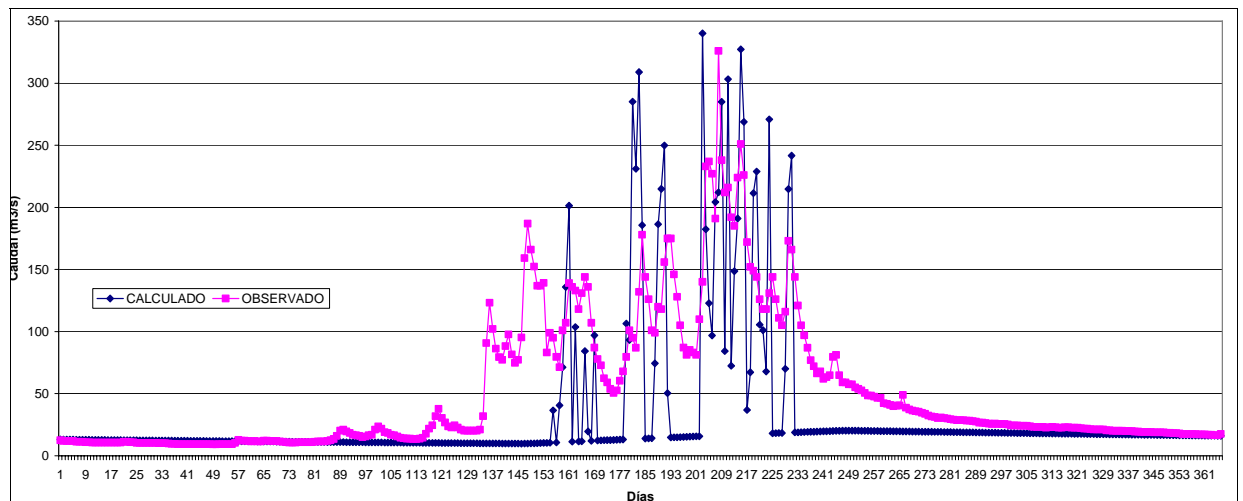


Figura 52 Calibración del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974).

Para la calibración del modelo estocástico, se ha realizado una correlación entre el error del paso anterior con el paso actual (con un desfase de una posición) es decir un modelo autorregresivo de primer orden (AR(1)), el resultado de esta correlación se

muestra en la Figura 53 (E_{i-1} : Error del paso anterior, E_i : Error del paso actual), como se ve en las líneas de tendencias se obtiene una buena correlación aún sin normalizar la muestra, es por esto que no se considera necesario normalizar la muestra, y el coeficiente del modelo AR(1) es 0.5556; así al valor calculado por el modelo Tanque se le agrega el valor del error del paso anterior multiplicado por el coeficiente de correlación, obteniéndose así un valor mejorado, el cual se observa en la Fig. 54 (la aproximación mejora considerablemente, respecto a los datos reales).

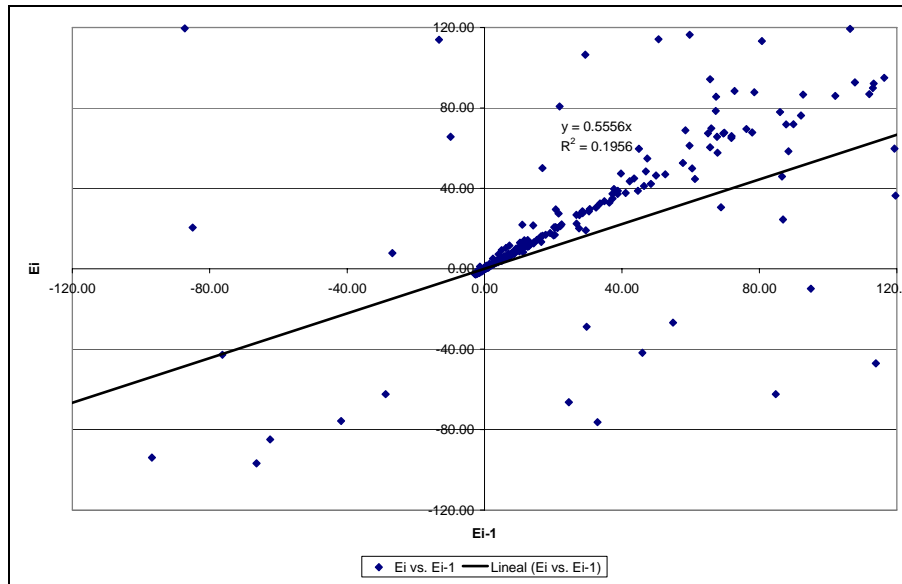


Figura 53 E_i vs. E_{i-1} (Modelo SMA)

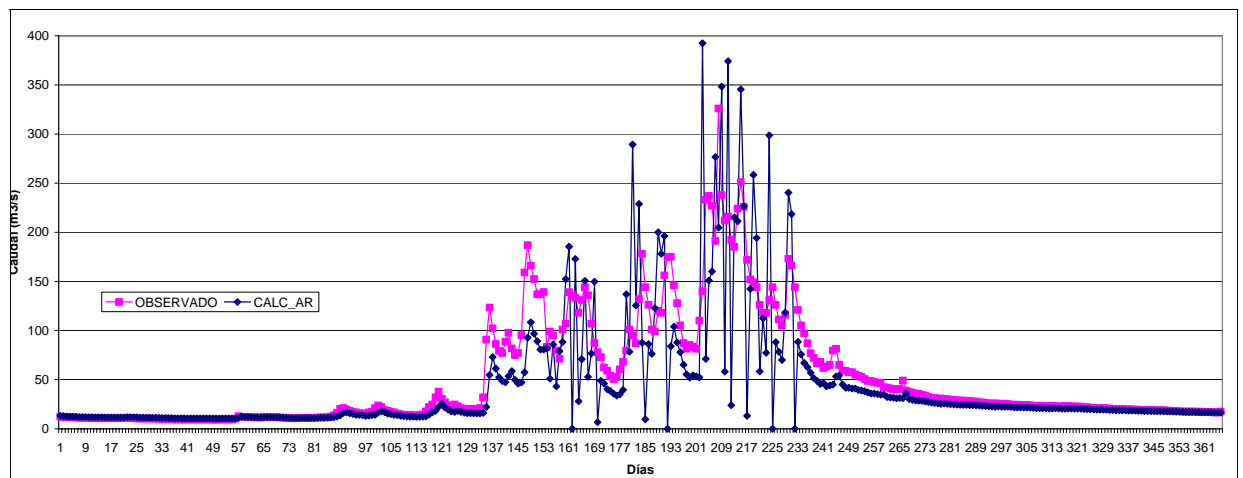


Figura 54 Calibración del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974). Usando modelo estocástico AR(1)

Finalmente se hace uso del filtro de Kalman, para esto se definen las variables de las ecuaciones 3.2.13 y 3.2.14; Z_t es el error actual medido, H es el error medido del paso anterior, X_t es un coeficiente variable que correlaciona el error del paso anterior

con el del paso actual, para $t = 0$, X_0 es igual al coeficiente del modelo AR(1) (0.5556); y el valor de A es constante e igual a la unidad; así una vez definidas estas variables para la serie de calibración se calcula el valor de R (covarianza de la perturbación de la medida) y Q (covarianza de la perturbación del proceso) igual a 41.70 y 3.23, respectivamente; despejando estos valores de las ecuaciones 3.2.14 (para R), y la ecuación 3.2.13 (para Q). Finalmente para comenzar con el algoritmo recursivo se inicia con un valor de P_0 (covarianza del error) igual a 1. Finalmente se realizan las iteraciones utilizando el algoritmo de la Figura 16, realizando este procedimiento el valor que se actualiza será el coeficiente X_t ; así también para dar un límite a la corrección por efecto del filtro, se considera que el valor corregido por el filtro tendrá como limite superior un valor equivalente a un 25% del valor obtenido con el modelo AR (1) y un límite inferior del 25% de este, a consecuencia que se obtienen valores negativos y valores muy grandes sin usar esta restricción.

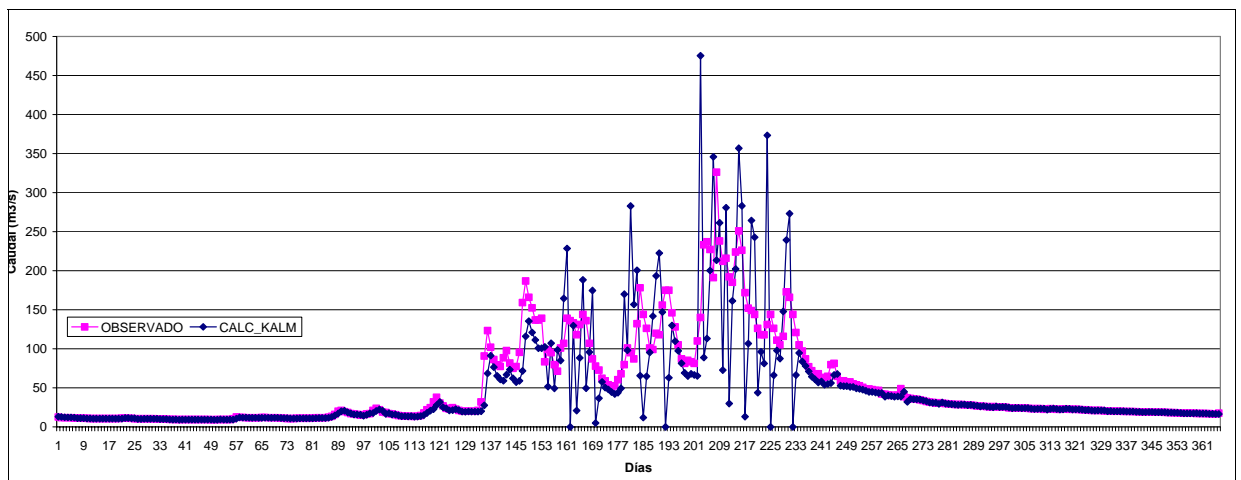


Figura 55 Calibración del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974). Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman

5.1.3.1.2 SIMULACIÓN

Se muestran los resultados obtenidos con los parámetros de la calibración en las figuras 56 a 58

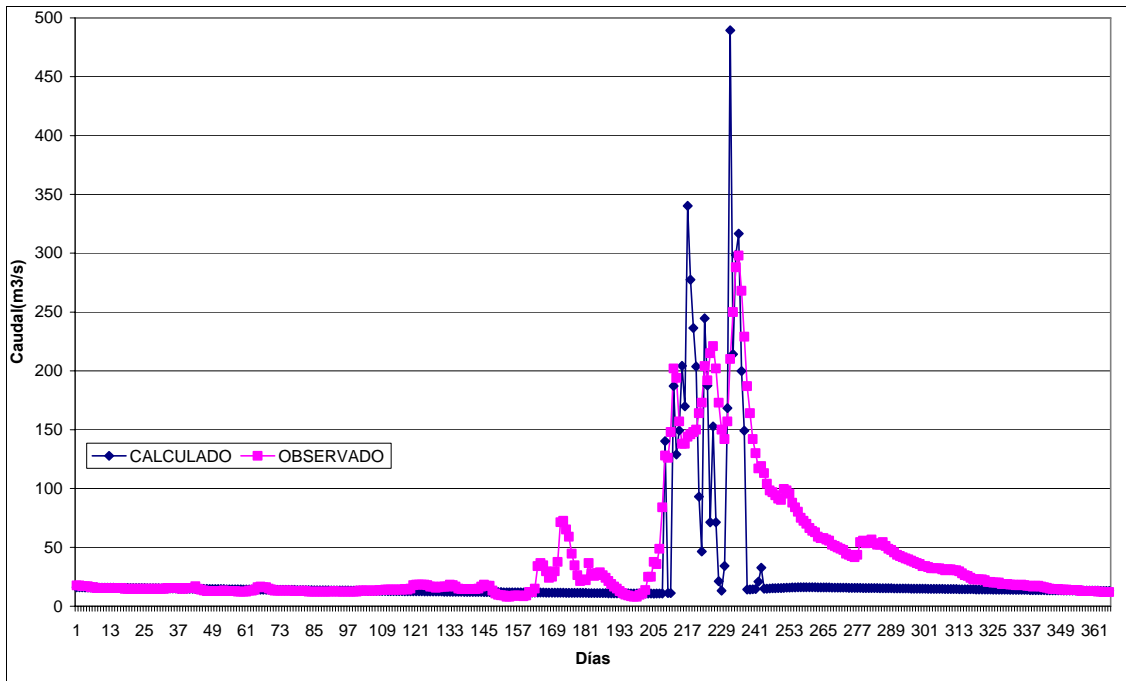


Figura 56 Simulación del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975).

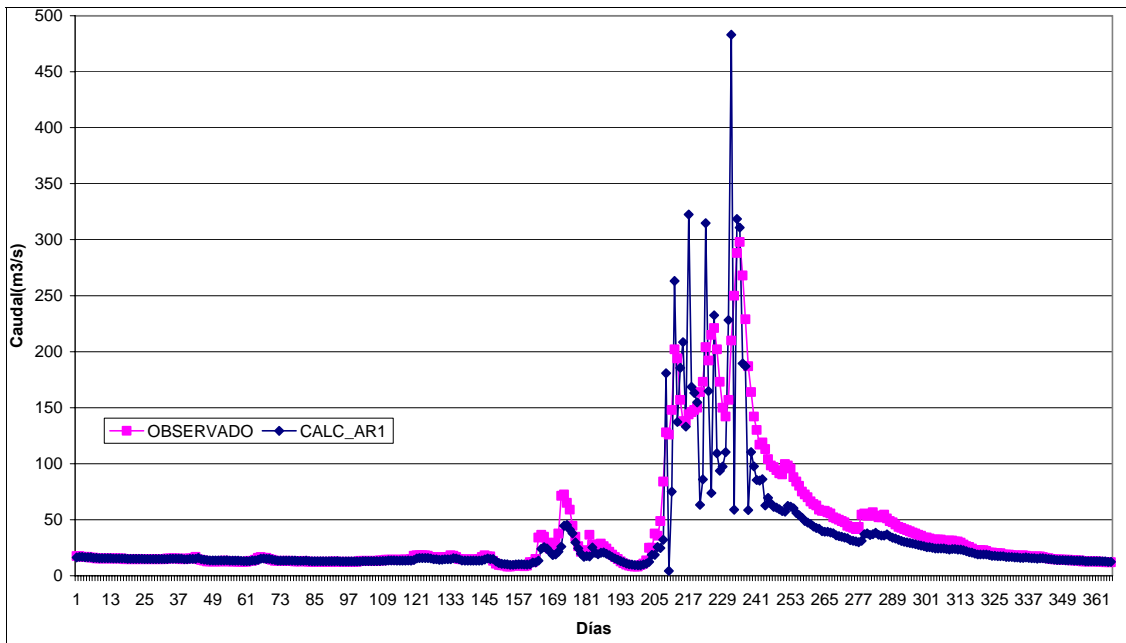


Figura 57 Simulación del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975). Usando modelo estocástico AR(1)

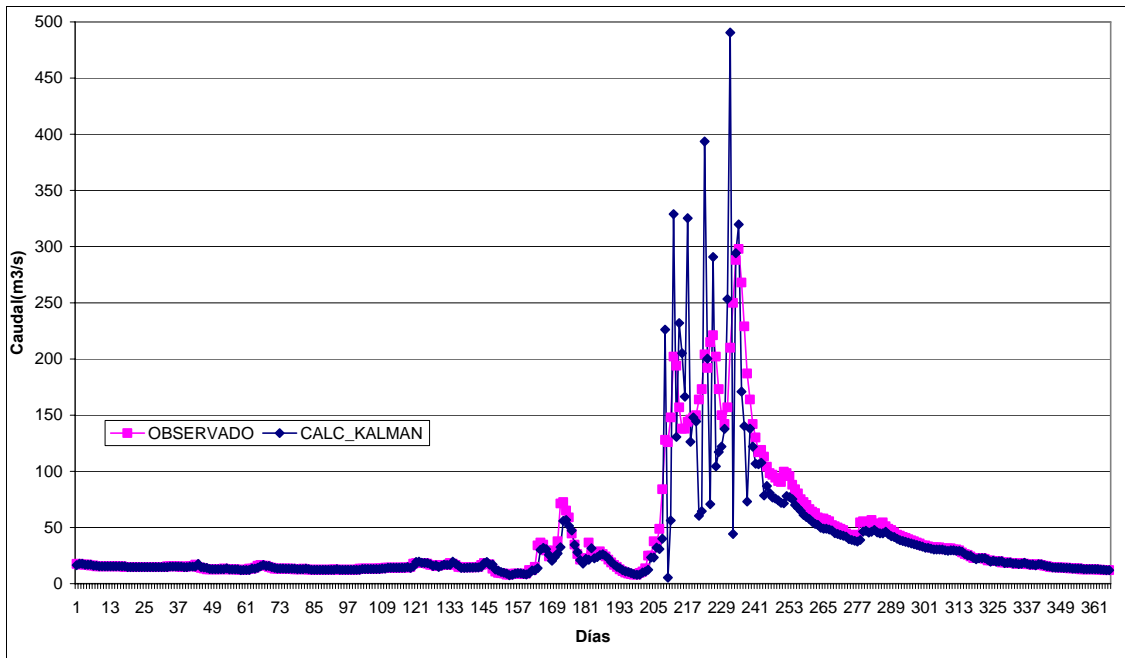


Figura 58 Simulación del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1974-31/07/1975). Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman

5.1.3.13 VALIDACIÓN

Se muestran los resultados obtenidos con los parámetros de la calibración en las figuras 59 a 61.

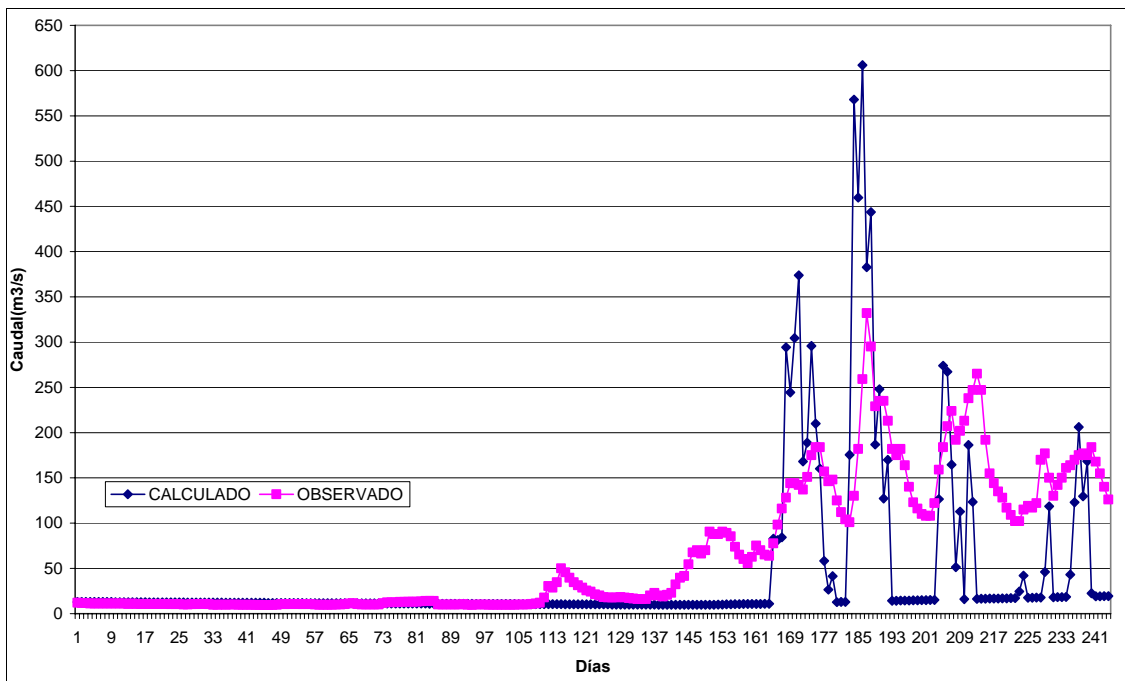


Figura 59 Validación del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976).

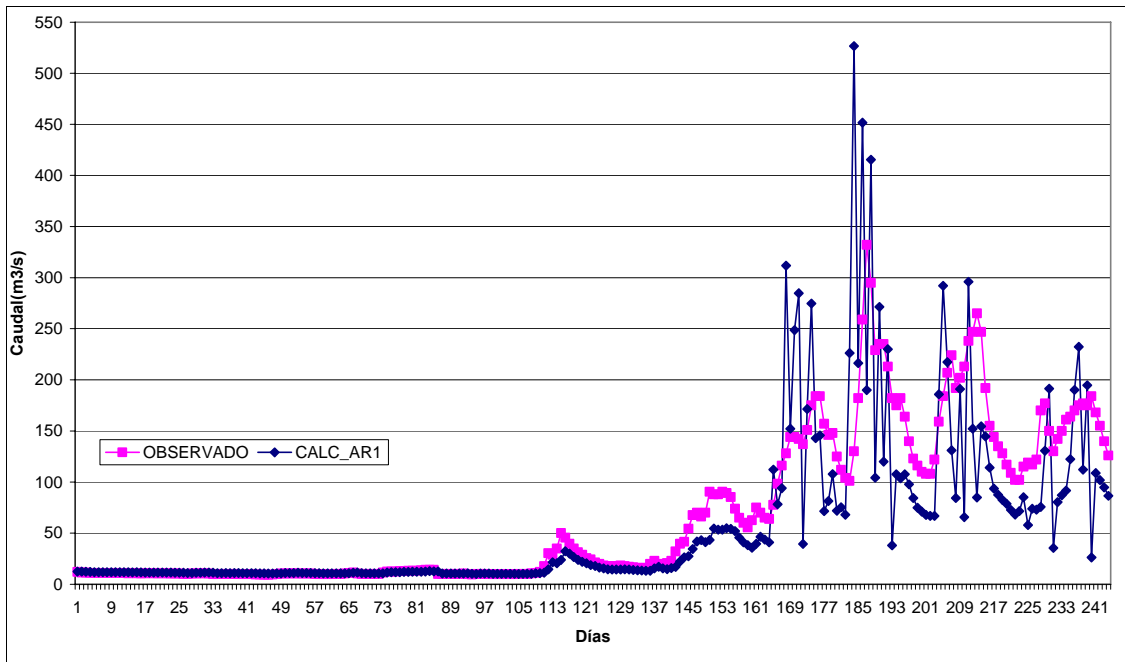


Figura 60 Validación del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976). Usando modelo estocástico AR(1)

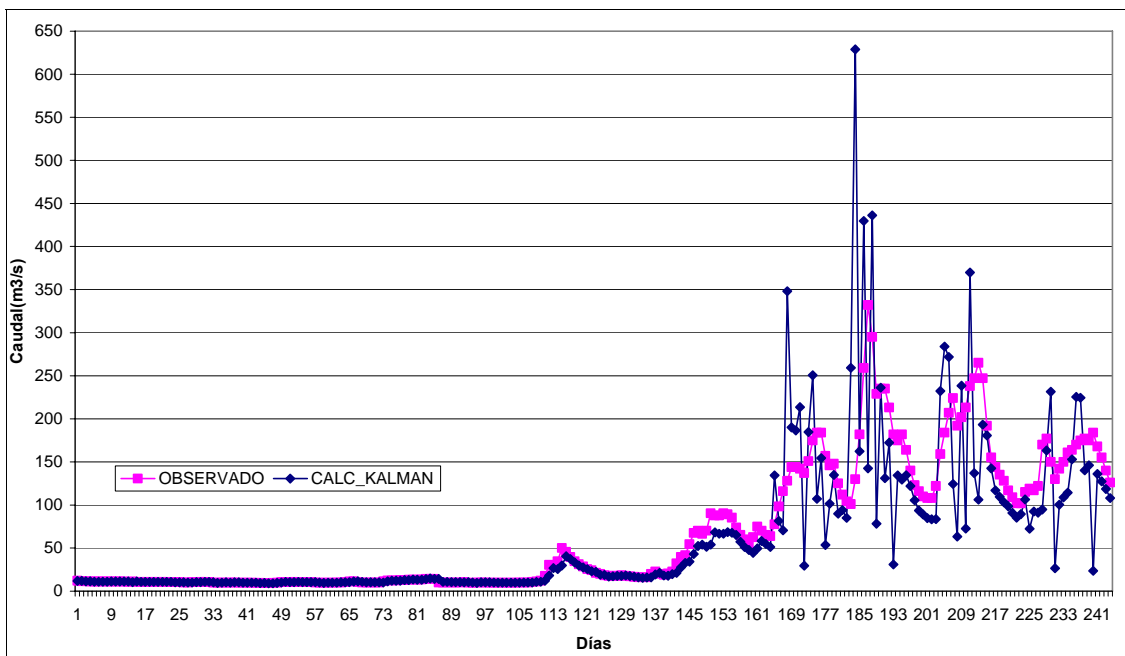


Figura 61 Validación del modelo SMA en la cuenca del río Cañete (01/08/1975-01/04/1976). Usando modelo estocástico AR(1)+Filtro de Kalman

5.1.3.2 ESCALA DISGREGADA DE TIEMPO

5.1.3.2.1 CALIBRACION

Se disgrega la escala de tiempo diaria a intervalos de media hora, y para la disgregación de la precipitación se utiliza la curva de la tormenta tipo I del SCS, los

coeficientes de precipitación mostrados abajo, son multiplicados a la precipitación diaria para que se disgregue la información, así también para la evaporación se considera 12 horas de 6 a.m. a 6 p.m. debido a la presencia de radiación solar.

Cuadro 3 Coeficientes para la disgregación de precipitación y evaporación

COEF. EVAP.		COEF. PRECIP.	
06:00	0.040	00:30	0.0087
06:30	0.040	01:00	0.0087
07:00	0.040	01:30	0.0088
07:30	0.040	02:00	0.0088
08:00	0.040	02:30	0.0092
08:30	0.040	03:00	0.0098
09:00	0.040	03:30	0.0107
09:30	0.040	04:00	0.0113
10:00	0.040	04:30	0.0118
10:30	0.040	05:00	0.0122
11:00	0.040	05:30	0.0123
11:30	0.040	06:00	0.0127
12:00	0.040	06:30	0.0141
12:30	0.040	07:00	0.0169
13:00	0.040	07:30	0.0186
13:30	0.040	08:00	0.0194
14:00	0.040	08:30	0.025
14:30	0.040	09:00	0.035
15:00	0.040	09:30	0.049
15:30	0.040	10:00	0.212
16:00	0.040	10:30	0.068
16:30	0.040	11:00	0.04
17:00	0.040	11:30	0.0325
17:30	0.040	12:00	0.0285
18:00	0.040	12:30	0.0252
		13:00	0.0228
		13:30	0.0203
		14:00	0.0177
		14:30	0.0162
		15:00	0.0158
		15:30	0.0153
		16:00	0.0147
		16:30	0.0142
		17:00	0.0138
		17:30	0.0133
		18:00	0.0127
		18:30	0.0122
		19:00	0.0118
		19:30	0.0112
		20:00	0.0108
		20:30	0.0103
		21:00	0.0097
		21:30	0.0093
		22:00	0.0087
		22:30	0.0083
		23:00	0.0077
		23:30	0.0073
		24:00	0.0067

Después de continuos ensayos se han obtenido las variables que mejor se adecuan a la serie de calibración del 01/08/1973 al 31/07/1974; obteniéndose como resultado los siguientes parámetros:

Canopy Storage(mm.) =	0.0	I max. Suelo (mm.) =	0.1
Surface Storage (mm.) =	0.0	Perc max GW UPPER (mm.) =	1.0
Tensión Storage(mm.) =	2.0	S max GW UP (mm.) =	50.0
S max Suelo (mm.) =	4.0	GW UPPER Coefficient =	0.300

Coefficiente de Reservorio Lineal, para flujo Base =	0.002
--	-------

El resultado de los datos reales con los calculados para el modelo SMA, se observan en la Fig. 62, como se ve no existe una calibración satisfactoria debido a que los datos de entrada no son reales, así también cada punto en la grafica representa el promedio de 48 puntos hallados cada media hora, estos pueden tener picos, pero siendo este el promedio el valor se reduce.

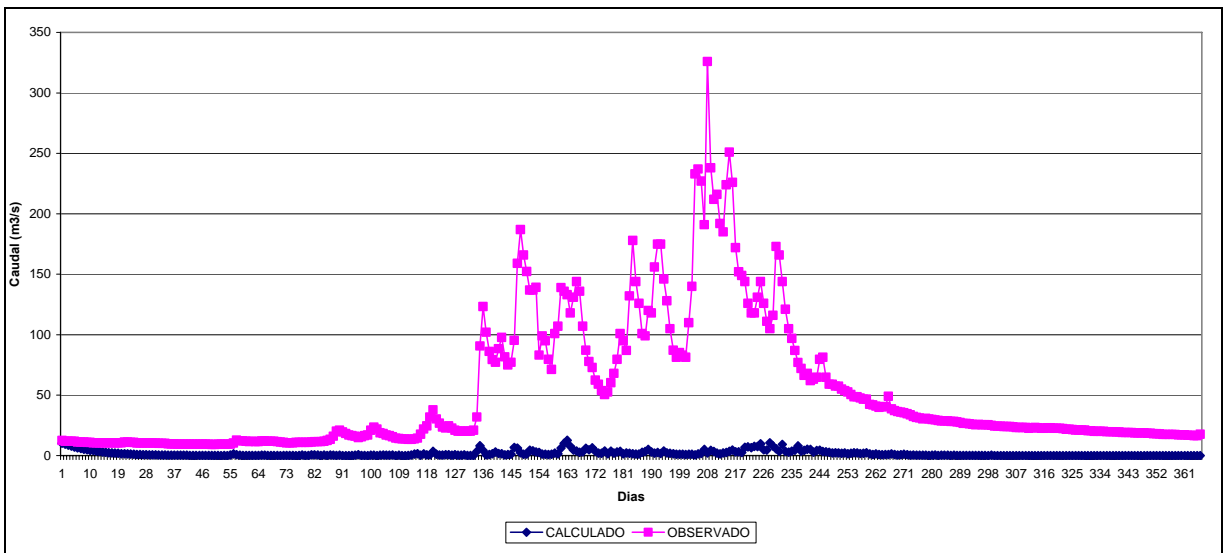


Figura 62 Calibración del modelo SMA Disgregado en la cuenca del río Cañete (01/08/1973-31/07/1974)

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS, COMPARACIÓN Y RESULTADOS DE LOS MODELOS

Para el análisis y comparación de resultados se ha utilizado criterios de evaluación de funcionamiento; estos son seleccionados de tal manera que incorporen errores sistemáticos así como aleatorios. Los criterios usados son la Raíz del Error Cuadrático Normalizado (REMCN), Índice de Eficiencia (IE), y Error Medio Normalizado (EMN), a continuación se describen dichos criterios.

Raíz del Error Medio Cuadrático Normalizado (REMCN)

$$\text{Raíz del Error Medio Cuadrático Normalizado (REMCN)} = \frac{(EMC)^{1/2}}{\bar{Q}} \dots\dots\dots 6.1$$

$$\bar{Q} = \sum \frac{Q_i}{n} \dots\dots\dots 6.2$$

$$EMC = \text{Error Medio Cuadrático} = \sum \frac{(QF_i - Q_i)^2}{n} \dots\dots\dots 6.3$$

Donde:

Q_i = Descarga observada en el tiempo $i=1,2,..n$.

QF_i = Descarga calculada en el tiempo $i=1,2,..n$.

Índice de Eficiencia (IE)

$$IE = \frac{F_0^2 - F_1^2}{F_0^2} = 1 - \frac{F_1^2}{F_0^2} \dots\dots\dots 6.4$$

F_0^2 = Variación Total de descarga de río con respecto a la descarga media.

$$= \sum (Q_i - \bar{Q})^2 \dots\dots\dots 6.5$$

F_1^2 = Suma de errores cuadrados de la simulación de pronóstico.

$$= \sum (Q_i - QF_i)^2 \dots\dots\dots 6.6$$

Error Medio Normalizado (EMN)

$$\text{Error Medio Normalizado (EMN)} = \frac{EM}{\bar{Q}} \dots\dots\dots 6.7$$

$$\text{Error Medio (EM)} = \overline{QF} - \bar{Q} \dots\dots\dots 6.8$$

$$\overline{QF} = \sum \frac{QF_i}{n} \dots\dots\dots 6.9$$

6.1 ANALISIS y COMPARACIÓN DEL MODELO TANQUE

En los cuadros 4 al 6 se muestran los resultados de los índices (REMCN, IE, EMN), como se puede apreciar el mejor en estos tres casos, el modelo Tanque unido al modelo estocástico autoregresivo AR(1), seguido por el modelo que incluye a la vez el filtro de Kalman. En realidad, la diferencia entre la calidad de estos es insignificante, cabe señalar que la calidad de estos últimos, son gracias al que el modelo Tanque original sin variación tiene unos índices muy aceptables, y similitud gráfica aceptable ya que esto fue base principal en la calibración por ensayo y error.

Cuadro 4 Índices obtenidos en el período de calibración para el modelo TANQUE

Periodo	CALIBRACION		
1973/1974	IE	REMCN	EMN
Modelo Tanque	0.777	0.508	0.027
Tanque+AR(1)	0.943	0.257	0.003
Tanque+AR(1)+Kalman	0.936	0.272	-0.009

Cuadro 5 Índices obtenidos en el período de simulación para el modelo TANQUE

Periodo	SIMULACION		
1974/1975	IE	REMCN	EMN
Modelo Tanque	0.880	0.453	-0.132
Tanque+AR(1)	0.981	0.178	-0.018
Tanque+AR(1)+Kalman	0.958	0.268	-0.004

Cuadro 6 Índices obtenidos en el período de validación para el modelo TANQUE

Periodo	VALIDACION		
1975/1976	IE	REMCN	EMN
Modelo Tanque	0.756	0.553	0.011
Tanque+AR(1)	0.967	0.204	-0.001
Tanque+AR(1)+Kalman	0.958	0.230	0.010

6.2 ANALISIS y COMPARACIÓN DEL MODELO NAM

En los cuadros 7 al 9 se muestran los resultados de los índices, el modelo NAM+AR(1) es el mejor que satisface en los tres casos el índice de eficiencia (IE) y el error cuadrático medio normalizado (NRMSE), solo en el caso del error medio normalizado (NME), el modelo que incluye a la vez el filtro de Kalman es el mejor, pero en general como en el modelo Tanque, estos dos modelos tienen una buena aproximación; y esto es producto como en el caso anterior de la buena calibración del modelo original, sin variantes.

Cuadro 7 Índices obtenidos en el período de calibración para el modelo NAM

Periodo	CALIBRACIÓN		
1973/1974	IE	REMCN	EMN
Modelo NAM	0.731	0.557	-0.245
NAM+AR(1)	0.917	0.310	-0.042
NAM+AR(1)+Kalman	0.855	0.409	0.004

Cuadro 8 Índices obtenidos en el período de simulación para el modelo NAM

Periodo	SIMULACIÓN		
1974/1975	IE	REMCN	EMN
Modelo NAM	0.722	0.689	-0.218
NAM+AR(1)	0.960	0.260	-0.037
NAM+AR(1)+Kalman	0.953	0.284	0.015

Cuadro 9 Índices obtenidos en el período de validación para el modelo NAM

Periodo	VALIDACIÓN		
1975/1976	IE	REMCN	EMN
Modelo NAM	0.668	0.645	-0.038
NAM+AR(1)	0.924	0.309	-0.010
NAM+AR(1)+Kalman	0.887	0.376	0.008

6.3 ANÁLISIS y COMPARACIÓN DEL MODELO SMA

En los cuadros 10 al 12 se muestran los resultados de los índices; en general este modelo para la escala de tiempo diaria en la cual se trabajó es muy insensible, sólo se muestra similitud en algunos eventos máximos, en los meses secos como en cualquier modelo existe una buena calibración por la poca variabilidad; pero en la época húmeda donde realmente se aprecia la validez de un modelo, este falla rotundamente, no es problema de la calibración, sino del modelo no es bueno para datos diarios; ya que éste simula los procesos de precipitación, infiltración con escalas de tiempo menores que la información disponible.

Cuadro 10 Índices obtenidos en el período de calibración para el modelo SMA

Periodo	CALIBRACIÓN		
1973/1974	IE	REMCN	EMN
Modelo SMA	0.154	0.989	-0.370
SMA+AR(1)	0.447	0.800	-0.159
SMA+AR(1)+Kalman	0.388	0.841	-0.077

Cuadro 11 Índices obtenidos en el período de simulación para el modelo SMA

Periodo	SIMULACIÓN		
1974/1975	IE	REMCN	EMN
Modelo SMA	0.405	1.008	-0.351
SMA+AR(1)	0.673	0.747	-0.156
SMA+AR(1)+Kalman	0.628	0.797	-0.066

Cuadro 12 Índices obtenidos en el período de validación para el modelo SMA

Periodo	VALIDACIÓN		
	IE	REMCN	EMN
1975/1976			
Modelo SMA	-0.085	1.165	-0.353
SMA+AR(1)	0.521	0.774	-0.160
SMA+AR(1)+Kalman	0.471	0.814	-0.086

6.4 ANALISIS y COMPARACIÓN ENTRE MODELOS

Se han utilizado tres modelos de los cuales el modelo SMA, es muy poco sensible para la escala de tiempo diaria es decir no muestra una respuesta real, esto también se debe a que en su concepción no existe escorrentía subsuperficial o de pie de monte, sólo la del acuífero; que tiene una respuesta muy lenta; así pues este modelo queda desestimado para la escala de tiempo diaria. El modelo NAM y el modelo Tanque son muy similares, pero en el caso del modelo NAM, los coeficientes de las salidas de los tanques son variables, y varían según la humedad del suelo; en el análisis se trabajo con la cuenca húmeda del río Cañete; y como se ve en los índices el modelo tanque es el que tiene mejores valores, y para la cuenca húmeda es el mejor modelo.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

1. Si el modelo original sin variantes, fuera el TANQUE, NAM o SMA; tienen una muy buena calibración, las variantes con los modelos AR(1) y el filtro de Kalman, tendrán aún mejores resultados que los originales.
2. El modelo SMA, no es un buen modelo para la escala diaria con la que se trabaja, como consecuencia de que cuenta, con un solo tanque de escurrimiento superficial, a diferencia de los otros dos modelos.
3. Se puede decir que el modelo NAM en el período entre el estiaje y avenidas, es decir el período de transición es mucho más sensible, es decir se observan valores mayores; a diferencia que en los meses húmedos o de avenida en que el modelo TANQUE da valores más altos los cuales no varían mucho al descender las precipitaciones de un día a otro, lo cual si ocurre en el modelo NAM.
4. Conceptualmente existe una diferencia entre el modelo Tanque y NAM; en el primer reservorio para el caso del modelo NAM, para que exista infiltración primero debe existir escurrimiento superficial, y el resto se reparte en recarga del acuífero y la zona vadosa o segundo reservorio. Para el modelo TANQUE no es necesario que se produzca escurrimiento superficial para que se pueda producir infiltración.
5. La representatividad de los modelos es mucho mayor en los períodos de aguas bajas o de estiaje, en razón de la poca variabilidad de los flujos, pero esta variabilidad no se mantiene en los períodos de avenidas por la variación del flujo, así también se debe considerar como área colectora o receptora de precipitación; es la cuenca húmeda.

6. El concepto de fases de humedad del suelo; es un concepto importante y real en el modelo; el cual toma a la geomorfología de la cuenca constante e invariante y lo único que varía es la humedad del suelo producto de la precipitación como variable de entrada.
7. Los modelos TANQUE y NAM son modelos de pronóstico, en razón que con la información pluviométrica del día anterior se puede obtener el caudal del día actual; uniendo el modelo con otro de generación de precipitación se podría tener pronósticos no solo para el día actual sino para dos o tres días después según el modelo de generación de precipitación.
8. El modelo AR(1), considera la correlación de errores un paso adelante, la buena correlación, confirma a la vez una relación entre los errores antecedente y presente. En el caso de este modelo el coeficiente se considera fijo y estable; para el caso del filtro de Kalman, este algoritmo modifica este coeficiente, con el valor real en el paso anterior, pero como se obtuvo una alta correlación, los valores en los índices de análisis, no muestran mucha variación pero si se observa una mejora en forma gráfica, que es la forma más representativa o real, de medir la fiabilidad de un modelo.

7.2 RECOMENDACIONES

1. Es recomendable colocar más estaciones pluviométricas para densificar la red pluviométrica, debido a que los polígonos de Thiessen tienen áreas de influencia muy grandes, lo que haría a la precipitación media diaria más representativa; con lo que se podría alcanzar una mayor aproximación.
2. Es recomendable que se utilicen la metodología de los modelos hidrológicos conceptuales presentados en la tesis, cuando exista facilidad de información, en razón que se muestra buenos resultados, en la cuenca del río Cañete.
3. Debido a la tecnología actual, es recomendable recolectar la información por medio de estaciones telemétricas a tiempo real, con intervalos de tiempo representativos (cada 15 minutos), siendo la variable más importante la precipitación.

CAPITULO 8

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Chow V. T. , “Handbook of applied hydrology”, McGraw Hill, USA 1964.
2. Chow V. T. y Maidment D., “Hidrología aplicada”, McGraw Hill, Colombia 1994.
3. Danish Hydraulic Institute, “NAM, Technical reference and model documentation”, Danish Hydraulic Institute, Dinamarca, 1999.
4. Hydrologic Engineer Center, “Technical reference manual, HEC-HMS (2.2.2)”, USA, 2000.
5. Linsley R. K. , “Hidrología para ingenieros”, McGraw Hill, USA 1994.
6. Maidment D. , “Handbook of applied hydrology”, McGraw Hill, USA 1994.
7. Ministerio de Agricultura, “Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos de la cuenca del río cañete”, INRENA, Lima-Perú, 2001.
8. Ministerio de Agricultura, “Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa, cuenca del río cañete”, ONERN, Lima-Perú, 1975.
9. Ministry of construction Japan international cooperation agency, “Run-off calculation method”, Ministry of construction Japan international cooperation agency, 1987.
10. Monsalve Sáenz G., “Hidrología en la ingeniería”, Alfaomega, Colombia 1999.
11. Nieto Melgarejo, H., “Aplicación del modelo tanque a nivel diario en la cuenca del río cañete”, Tesis de Titulación FIC-UNI, Lima-Perú, 2003.
12. NIPPON KOEI CO. LTD, “Desarrollo integral de recursos hídricos en la cuenca del río Cañete en la República del Perú”, SEDAPAL, Lima-Perú, 2001.
13. Ponce, V. M. , “Engineering Hydrology”, Prentice Hall, USA 1989.
14. Reyes Carrasco L., “Hidrología básica”, CONCYTEC, Lima-Perú, 1992.
15. World Meteorological Organization, “Intercomparison of conceptual models used in operational hydrological forecast”, World Meteorological Organization, 1975.
16. World Meteorological Organization, “Simulated real time intercomparison of hydrological models”, World Meteorological Organization, 1992.

17. World Meteorological Organization, “Models used for forecasting snowmelt and rainfall runoff”, World Meteorological Organization, 1989.
18. Singh V. P. , “Computer models of watershed Hydrology”, Water Resource Publication, Colorado-USA, 1995.

CAPITULO 9

ANEXOS

9.1 DATOS HIDROMETEOROLOGICOS

9.1.1 DATOS DE ENTRADA PARA LA CALIBRACIÓN

9.1.1.1 Datos de entrada de precipitación diaria para la calibración

Cuadro 13 Estación TANTA, precipitación diaria (mm.) 1973 – 1974
1973

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	0.3	8.3	4.3	0	1.2	0	0	0	0	7.8	0	8.9
2	4.8	3.4	5.4	0.2	0	0	0	0	0	8	0	4.3
3	6.1	10.6	6.2	3.6	0	0	0	0	2.1	3.4	0	8.5
4	7.4	4.6	10.8	7.8	0	0	0	0	1.3	4.6	0	4.5
5	5.2	6.1	6.1	3.9	0	0	6.3	0	0	3.7	0	5.1
6	9.5	0	10.4	4.8	12.3	0	0	0	0	4.5	2	0
7	6.2	0	12.3	17.7	1.3	0	0	0	7.2	4.8	5.6	0
8	9.5	0	8.1	8.9	3.4	0	0	0	5.3	0	6.9	0
9	10	0	3.4	3	4.2	0	0	0	8.8	0	4.5	0
10	15.6	0	2.8	2.7	2.4	0	0	12	4.9	0	10.7	0
11	11.7	0	0	0	7	0	0	0	3.3	0	3.9	0
12	7.2	0	11	0	0	0	0	0	4.8	10	2.6	3.8
13	4.1	0	8.5	0	0	0	0	0	5.6	8	7.4	7.3
14	18.2	0	3.6	1	0	0	0	0	0	8	0	12.6
15	12.5	5.9	8.4	3.4	0	0	0	0	0	9.5	0	5.6
16	4.9	3	3.4	4	0	0	0	0	0	8.5	0	6.8
17	5.1	0	5.9	5.7	0	0	0	0	0	5.6	0	4.9
18	9.5	0	12.3	7.6	3.3	0	0	0	0	3.8	0	8.9
19	3.1	0	9.8	3	6	0	0	0	0	10.7	0	10.8
20	2.2	0	14.6	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0
21	4	0	3.2	0	0	0	0	0	10.9	0	0	0
22	7.2	9.5	3.9	0	0	0	0	0	4.4	0	0	0
23	13.5	6.1	6.7	4.1	0.4	0	0	0	12.1	0	0	0
24	4.2	16.5	0	14.4	3.1	0	0	0	10.7	0	0	4
25	9.9	9.6	0	4.4	4.2	0	0	0	5.6	8	0	9.3
26	8.9	3.8	0	7	0	0	0	0	0	3.4	1.7	13.4
27	3	8.6	0	9.1	4.1	0	0	0	2.8	4.5	17.4	2.1
28	6.3	12	11.4	17.7	0	0	0	0	3	8.7	12.5	5.5
29	3.4		3	9.4	0	0	0	0	7.9	0	3.8	10.2
30	10.7		6.9	10.5	0	0	0	0	3.9	0	8.2	10.8
31	6.2		3.3		0		0	0		0		12.4

Cuadro 13 (Continuación)
1974

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	9.9	2.8	8.8	0	10.5	0	0	0	0	0	0	14.2
2	6.2	8.1	14.2	0	12.3	0	0	0	0	0	0	3.7
3	9	7.3	4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	9.7	9.8	8.3	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5.8	10.4	16.4	4.8	0	0	0	0	0	3.6	0	0
6	9.6	4.9	3.8	10.7	0	0	0	0	0	7.5	0	0
7	5.9	8.7	4.2	7.5	0	0	0	0	0	2.7	0	0
8	8.3	9.6	11.2	5.3	0	0	0	0	0	0	5.2	0
9	14.2	8.5	11.1	5.3	0	0	0	0	0	0	3	10.7
10	10.3	15	3.9	0	0	6.9	0	0	3	0	8.5	7.9
11	8.3	9	16.7	0	0	3	0	0	2.2	0	6.6	0
12	4.8	2.7	3.8	1	0	7.6	0	0	4	0	2.2	0
13	3.9	16.2	8.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	10.8	3.5	6.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	14.6	7.1	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	9.7	8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	12.2	19.3	4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	7.7
18	3.3	12.3	9.2	0	0	0	0	0	0	5	0	16.3
19	4.5	6.7	3.9	5	0	0	0	0	0	4.4	8	4
20	7.8	12.6	9.5	8.9	0	0	0	0	0	0	3.1	0
21	13.3	5.8	5	7.5	0	0	0	1.9	0	0	3.9	0
22	13.9	4.4	8.2	7.8	0	0	0	2	0	0	4.6	0
23	3.8	10.7	9.2	12.5	0	0	0	0	2.5	0	5.8	0
24	5.7	11	15.3	6.5	0	0	0	0	3	0	0	3.8
25	5.9	7	5.2	13.1	0	0	0	0	1	0	0	7.5
26	8.6	17.4	4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	4.7
27	10.4	11	11.1	0	0	0	0	4.8	0	0	0	5.1
28	4.9	9.7	4.1	0	0	0	0	4.4	0	0	10.5	1
29	4.8		10.7	4.4	0	0	0	5	0	0	14.1	9.3
30	7.6		9	5.9	0	0	0	10.1	0	0	9.4	5.2
31	11.5		4.5		0		0	2.6		3.6		2.7

Cuadro 14 Estación VILCA, precipitación diaria (mm.) 1973 – 1974
1973

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	9.3	8	0	3	0	0	0	0	0	0	8	6.1
2	3.9	7	5	5.1	0	0	0	0	0	0	11.7	3
3	0	3.3	6.1	0	0	0	0	0	0	3.9	9.1	0
4	0	0	1.9	0	0	0	0	0	0	4.1	0	16.1
5	0	2.8	0	3	0	0	0	0	0	0	0	4.5
6	0.3	1.4	2	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0
7	13.1	0	8.6	0	0	0	0	0	0	4.1	10.8	13.3
8	13	0	9	0	0	0	0	0	0	3.3	9.4	0
9	6.4	0	11.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	1.9	1.2	0	0	0	0	5.2	5.9	0
11	8	6.1	3.5	0	0	0	0	0	0	0	12.2	14.1
12	6.1	6.7	3.3	5.1	0	0	0	0	0	0	8.3	21.1
13	0	5.1	0	0	0	0	0	0	0	1.2	8.2	5.9
14	0	6.2	0	0	0.5	0	0	0	0	0	14.5	0
15	0	2	6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	4.2	0	0	2.2	0	0	0	0	0	3.1	9.9	5.4
17	9.7	0	7.1	0	0	0	0	0	0	0	0	6.1
18	0	13.3	0.3	2.9	0	0	0	0	0	0	0	18.6
19	0	0	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0.4	8.2
20	0	11.8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	15.6	7.2	0	0	0	0	0	5.7	0	9.2	18.8	8.1
22	0	0	3.3	0	0	0	0	3.1	0	0	0	0
23	4.9	0.5	0	0	0	0	0	0	1.9	0	0	7.4
24	0	2.2	12	1	0	0	0	0	0	6.2	8.3	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	2.2	0	0
26	11	0	3	2.1	0	0	0	0	4	5	0	0
27	0	8.8	6.9	0	0	0	0	0	0	0	22.9	0.3
28	5.8	12.6	0	0	0	0	0	0	0	7.1	10.8	18.2
29	2.5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.9
30	6.6		4.2	0	0	0	0	0	0	1.9	0	10.9
31	3.1		8.1		0		0	0		0		0

Cuadro 14 (Continuación)
1974

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	9.8	0	0	2.9	0	0	0	0	0	9	0	0
2	13.7	8.8	9.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	15.1	15	17.8	6	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3.5	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5.2	9.9	12.4	0	0	0	0	0	0	0	0	2.9
6	0	19	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	4.5
7	12.8	6	12.4	5	0	0	0	6.8	0	0	0	0
8	0	9.8	13.8	0	0	0	0	9	0	0	0	0
9	15	0.3	5.2	0	0	0	0	7.8	0	0	0	0
10	6.1	4.4	4.1	0.9	0	0	0	0	0	0	0	3.1
11	0	17.1	3.2	0	0.3	0	0	0	0	0	0	1.4
12	15.1	10.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4
13	14.3	0	3.3	0.4	0	0	0	0	0	0	0.9	0
14	9	0	8	6.3	3.1	0	0	0	0	0	0	0
15	25.1	10.3	2.8	3.3	0	0	0	4.4	0	0	2	0
16	0	0	10.3	0	0	0	0	7.9	0	2.1	3.2	0
17	13	0	15.2	0	0	0	0	7.1	0	0	0	4
18	0	15.3	14.1	1.8	0	0	0	1.9	0	0	0	2.9
19	0	10.2	0	0	0	0	0	10.2	0	0	1.8	0
20	9.8	9.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	23	8.7	4.7	4.2	0	0	0	2	0	4	0	9
22	0	18.7	2.9	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0
23	0	0	7.3	0.4	0	0	0	3.1	0	0	0	0
24	9.8	10.2	0	0	0	0	0	0	0	2.9	0	4.1
25	18.1	3.1	1.4	0	0	4	0	0	0	0	1.5	5
26	10.8	9.8	0	1.9	0	2.2	0	2.8	0	0	0	1.2
27	16.2	8.4	0.4	0	2.1	0	0	0	0	0	0	0
28	0	5.7	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
29	6.2		0	5	0	0	0	4.1	0	0	0	0
30	3.1		1.4	0	0	3.1	0	0	0	0	0	3.9
31	0		0		0		0	0		0		2.5

Cuadro 15 Estación CARANIA, precipitación diaria (mm.) 1973 – 1974
1973

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	0	0	16.7	6.8	5.2	0	0	0	0	0	0	6.6
2	0	14.2	12.7	4.2	0	0	0	0	0	0	0	4.8
3	4.8	6.5	6.9	0	0	0	0	0	0	6.4	9.7	0
4	0	8.2	7.7	5.5	6.1	0	0	0	0	4.8	0	0
5	17	7.7	17	0	0	0	0	0	0	1.4	0	0
6	6.3	8.6	8.2	5.4	0	0	0	0	0	0	0	8.5
7	14.4	16.8	10.4	8.2	10	0	0	0	0	0	0	2.9
8	20.1	6.9	3.7	7.9	0	0	0	0	0.3	0	0	0
9	15	10.9	0	0	2.2	0	0	0	0	0	1.4	0
10	8.5	0	0	4.8	3.3	0	0	0	0	0	0	0
11	4.6	0	0	6.2	0	0	0	0	0.9	8.2	0	6.4
12	6.8	0	17.5	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5
13	7.4	0	12.6	4.8	5.1	0	0	0	0	0	0	9.4
14	9.6	0	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	22.6	0	4.7	0	2	0	0	0	0	0	0	0
16	8.8	1.9	3.9	5.4	0	0	0	0	0	0	0	4.9
17	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.9
18	14.8	0	5.8	5.7	2.1	0	0	1.6	0	6.6	0	0
19	0	0	15.8	0	0	0	0	0	0	0	0	12.7
20	8.6	0	6.6	0	0	0	0	11.3	0	4.8	0	4.4
21	13	6.8	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	6.8
22	0	7.5	0	2.1	3.4	0	0	0	0	0	4.2	8.9
23	17	6.6	0	8.8	0	0	0	0	0	0	0	11.7
24	5.6	13.5	10.6	0	0	0	0	0	0	0	0	8.5
25	12.4	10.4	5.7	0	3.6	0	0	0	0	1.4	0	6.8
26	12.5	4.4	0	0	0	0	0	0	0	3.7	0	2.7
27	2.2	0	12.2	0	0	0	0	0	1.4	0	0	0
28	0	0	6.7	0	0	0	0	0	0	0	0	14.3
29	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.1
30	0		1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	6.4
31	0		0		0		0	0		0		0

Cuadro 15 (Continuación)
1974

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	10.4	0	4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	4.8	0.3	9.5	4.8	0	0	0	0	0	0	3.2	0
3	9.6	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	6.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4.8	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0
6	10.5	0.3	0	0	2	0	0	4.1	0	0	0	0
7	7.7	0.2	0	0	0	0	0	3.4	0	0	0	0
8	8.5	2.9	0	0	0	0	0	2.8	0	0	0	4.8
9	6.3	0.1	0	0	1.3	0	0	0	0	0	0	0
10	4.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.4	9.2
11	6	0	1.2	0	0	4.2	0	0	0	0	0	0
12	4	6.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	8	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	2.4	3.5	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6
17	0	1	0	0	0	0	0	0	2.4	0	0	0
18	0	14.1	16.6	0	0	0	0	0	4.7	0	0	0
19	0	5.7	3.3	0	0	0	0	0	2.8	0	0	0
20	4.8	9.8	8.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	1.7	2.8	0	0	0	0	0	0	0	2.4	0
22	0	2	0	1.2	2.4	6.2	0	0	0	0	0	0
23	0	3.7	0	0	0	0	0	0	0	0	4.4	0
24	0	16.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	1.8	0.3	0	0	0	0	0	0	6.2	0	0	0
26	0	2.2	6.1	0	0	0	0	0.4	3.8	0	0	0
27	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
29	7.7		0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.4
30	6.8		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0		0		0		0	0		0		0

Cuadro 16 Estación YAUYOS, precipitación diaria (mm.) 1973 – 1974
1973

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	4.6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7
3	0	7.4	12.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3.4	11.2	14.2	4.4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	10.4	1.4	6.2	11.2	0	0	0	0	0	0	0	0
6	2.8	4.8	0	6.8	0	0	0	0	0	0	0	0
7	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	3.6	0	10.8	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	6	12.8	0	6.8	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	8.8	28.2	0	2.8	0	0	0	0	0	0	0
11	0	11.6	11.8	5.2	1.6	0	0	0	0	0	0	12.6
12	3.4	12	25.2	7.2	0	0	0	0	0	0	0	13.9
13	0	0	18.2	2.8	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	1.4	2.4	8.4	0	0	0	0	0	0	0	0
15	15.4	6.4	23.2	13.3	0	0	0	0	0	0	0	0
16	6.8	7.8	10.8	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0
17	21.2	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.3
18	10.6	2.8	4.9	0	0	0	0	0	6.3	0	0	5.2
19	0	0	21.4	0	0	0	0	1.9	0	1.7	0	2
20	0	19.8	8.2	0	0	0	0	0	0	6.2	0	0
21	13	14.2	2.2	8.4	4.2	0	0	0	0	0	0	0
22	9.8	15.8	8.4	5.6	0	0	0	0	0	1	7.8	0
23	2.4	3.2	11.2	12.4	0	0	0	0	0	0	0	9
24	0	0.4	4.9	2.8	0	0	0	0	0	0	0	13.9
25	1.8	2.4	0	0	3.8	0	0	0	0	1.5	0	7.3
26	13	0	0.6	2	0	0	0	0	0	0	3.5	0
27	1.6	0	5.5	0	0	0	0	0	0	0	1.2	0
28	6.4	7.8	17.2	4	0	0	0	0	0	0	0	5.2
29	20.6		20.8	0	1.8	0	0	0	0	0	0	2.5
30	3.2		18.2	2.2	0	0	0	0	0	0	0	0.5
31	6.8		4		0		0	0		0		0

Cuadro 16 (Continuación)
1974

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	6.8	6	8.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	4	10.8	17.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	11.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	10.9	0	3.7	0	0	0	0	0	0	0	0
5	6.7	0	0	0	0	0	0	2.5	0	0	4.3	0.7
6	7.3	6.7	5.3	0	0	0	0	0	0	0	7.7	0
7	9.7	0	5.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	15	0	2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	11.6
10	0	13.2	5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0
11	4.2	2.5	12.8	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0
12	14.4	5	8.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	10.5	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	3.9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	7.4	3.7	8.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	5.8	7.3	5.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	2.4	10.8	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	8.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8
21	7.2	3.2	0	1.5	0	0	0	4.6	0	5.7	0	0
22	0	9.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8
23	5.9	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	7.5	10
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.5
25	3.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.5	0
26	0	21.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8	0
27	7.8	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	5.9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0
29	8.2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	7.9		7.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0		0		0		0	0		0		0

Cuadro 17 Estación HUANTAN, precipitación diaria (mm.) 1973 – 1974
1973

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	0	0	1.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0.1	10.2	6.4	0	0	0	0	0	0	0	4.7
3	0	5.4	10.3	10.8	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	8.2	4.2	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.5	6.2	3.8	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.3	5.3	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	14	5.6	16.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	30.2	1.3	20.1	8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	13.1	12.7	20.1	3	0	0	0	0	0	0	0	0.6
10	13	8.2	16.2	6.6	0	0	0	0	0.2	0	0	0
11	13.3	0	23.5	7.3	0	0	0	0	0.1	0	0	8
12	16.8	0	16.3	2.9	0	0	0	0	0.2	0.1	0	8
13	10	0	6	11.3	0	0	0	0	0	0.4	0	9.5
14	13.8	0	14.2	8.2	0	0	0	0	0	0.5	0	0
15	20.6	0	24.5	10.7	0	0	0	0	0	0.8	0	3.2
16	26	0	30.1	4.3	0	0	0	0	0	7.1	0	0
17	13.6	0	17.1	0.1	0	0	0	5	0	4.2	0	0
18	4.6	0	7.8	7.2	0	0	0	0	0	0	0.1	0
19	0	0	11	5.5	0	0	0	0	0	0	5.8	0
20	0	0	5	3.2	0	0	0	0	0	0	1.5	2
21	0	0	4.3	7.4	0	0	0	0	0	1.2	4.3	3
22	0	0	7.7	8.2	0	0	0	0	0	4.1	7.1	7.2
23	5.1	0	8.5	6.3	0	0	0	0	4.2	3.1	2.7	10.3
24	7.1	0	12.1	0.4	0	0	0	0	3.2	0	0.4	10.2
25	6.5	0	9.3	0.2	0	0	0	0	0.4	0	7.3	10.9
26	4.5	0	13.8	7.2	0	0	0	0	0	0	8.1	3
27	0	0	12.5	14.6	0	0	0	0	0	0	9.3	4
28	11.1	0	1.1	2.4	0	0	0	0	0	0	0	5
29	0		2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	7
30	0		9	0.1	0	0	0	0	0	0	0	4
31	0		7.2		0		0	0		0		1

Cuadro 17 (Continuación)
1974

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	10	6	4.6	12.1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3.1	5.1	7	1	0	0	0	0	0	0	0	1.2
3	5.5	1	9	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.4
4	7	10	8	1	0	0	0	0	0	0	0	1.1
5	3	9.1	0.2	3	0	0	0	0	0	0	0	2.8
6	12	8.2	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0.1	7.1	10.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0.2	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0.6	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	4.1	0	10.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	2.1	0	4.9	2.1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1.7	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0
13	3.8	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
14	5.1	0.1	3	2	0	0	0	1	0	0	1.2	0
15	2.6	0.3	3.2	0	0	0	0	2.4	0	0	4.5	0
16	2.8	8	17	0	0	0	0	0	0	0	6.7	0
17	3.2	15	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	15	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	4	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	2
21	0	0.6	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	3
22	0.3	5	3.7	1	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1
23	0.7	11	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	4.2
24	14.8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
25	11.7	6	0	0	11.2	0	0	0	0	0	0	1
26	9.7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1
27	9	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.2
28	13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.3
29	18		0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	4.1
30	12.8		2	0	0	0	0	1.2	0	0	0	0.1
31	0		0		0		0	0		0		1

Cuadro 18 Estación COLONIA, precipitación diaria (mm.) 1973 – 1974
1973

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	0	0	16.7	6.8	5.2	0	0	0	0	0	0	6.6
2	0	14.2	12.7	4.2	0	0	0	0	0	0	0	4.8
3	4.8	6.5	6.9	0	0	0	0	0	0	6.4	9.7	0
4	0	8.2	7.7	5.5	6.1	0	0	0	0	4.8	0	0
5	17	7.7	17	0	0	0	0	0	0	1.4	0	0
6	6.3	8.6	8.2	5.4	0	0	0	0	0	0	0	8.5
7	14.4	16.8	10.4	8.2	10	0	0	0	0	0	0	2.9
8	20.1	6.9	3.7	7.9	0	0	0	0	0.3	0	0	0
9	15	10.9	0	0	2.2	0	0	0	0	0	1.4	0
10	8.5	0	0	4.8	3.3	0	0	0	0	0	0	0
11	4.6	0	0	6.2	0	0	0	0	0.9	8.2	0	6.4
12	6.8	0	17.5	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5
13	7.4	0	12.6	4.8	5.1	0	0	0	0	0	0	9.4
14	9.6	0	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	22.6	0	4.7	0	2	0	0	0	0	0	0	0
16	8.8	1.9	3.9	5.4	0	0	0	0	0	0	0	4.9
17	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.9
18	14.8	0	5.8	5.7	2.1	0	0	1.6	0	6.6	0	0
19	0	0	15.8	0	0	0	0	0	0	0	0	12.7
20	8.6	0	6.6	0	0	0	0	11.3	0	4.8	0	4.4
21	13	6.8	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	6.8
22	0	7.5	0	2.1	3.4	0	0	0	0	0	4.2	8.9
23	17	6.6	0	8.8	0	0	0	0	0	0	0	11.7
24	5.6	13.5	10.6	0	0	0	0	0	0	0	0	8.5
25	12.4	10.4	5.7	0	3.6	0	0	0	0	1.4	0	6.8
26	12.5	4.4	0	0	0	0	0	0	0	3.7	0	2.7
27	2.2	0	12.2	0	0	0	0	0	1.4	0	0	0
28	0	0	6.7	0	0	0	0	0	0	0	0	14.3
29	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.1
30	0		1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	6.4
31	0		0		0		0	0		0		0

Cuadro 18 (Continuación)
1974

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	10.7	0	9.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	15.3	0	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.5	9	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	6.4	11.1	0	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	7.5	11	0	5.9	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4.7	8.6	9.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	8.6	3.2	7.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	6.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0.3	0	3.1	3.2	0	0	0	0	0	0	0	8.4
10	0	0	2.3	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0
11	8.4	0	13.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	3.2	0	3.5	4.3	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	2.1	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	9.7	11.9	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	13.4	4.3	2.1	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	7.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1
20	0	3.3	0	5.4	0	0	0	0	0	0	0	3
21	0	11.6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
23	0	14.8	0	0	0	0	0	0	0	0	3.4	8.3
24	15.36	9.3	0	0	0	0	0	0	0	0	5.2	0
25	7.3	9.5	4.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	8.8	7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	4.3	5.1
27	8.5	6.1	6.1	0	0	0	0	0	0	0	3.4	3.4
28	15.7	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.3
29	12.7		0	4	0	0	0	0	0	0	0	2
30	8.1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.2
31	7.2		2		0		0	0		0		3.1

Cuadro 19 Estación HUANGASCAR, precipitación diaria (mm.) 1973–1974
1973

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	0	0	6.5	7.2	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	9.4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	4.8	0	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	10.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.5	4.1	0	4.2	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.1	0	0	4.3	0	0	0	0	0	0	0	0
7	7.9	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	3.7	0.7	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0
9	27.2	3.3	0	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0
10	24	2.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	6.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.6
12	0	0	9.2	9.1	1.5	0	0	0	0	0	0	4.8
13	5.7	0	2	0	0.2	0	0	0	0	0	0	3.1
14	1.6	0	4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
15	0	0	5.1	0	0	0	0	0	0	0	0	6.8
16	0	0	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1
17	0	0	5.3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
18	0	0	5.2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
19	2.6	0	4.8	0	0	0	0	0	0	2.6	0	0
20	1.7	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0	1.3	0
21	3.2	2.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	16.7	2.7	0	0	0	0	0	0	0	1.3	0.2
23	0	6.3	2	0	0	0	0	0	0	0.6	0	6.1
24	0	19	2.9	2.3	0	0	0	0	0.5	0	1.1	6.4
25	0	14.6	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	3.6
26	0	9.2	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5
28	0	1.8	10.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1
29	0		1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1
30	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0		4		0		0	0		0		0

Cuadro 19 (Continuación)
1974

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	0	3.4	7.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	5.2	5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.6	0.9	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3.2	2	4.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4.6	3.2	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4.6	2.2	2.5	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0
7	7.3	2.5	5.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	0	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2.5	0	2.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0.8	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0.1	0	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	6.3	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0
14	0	0	4.2	0	0	0	0	0	2.3	0	0	0
15	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	3.2	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0	0	0.8
23	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.7
24	6.8	3.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	1.8	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	1.5	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	1.4	1.3	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	1.9	1.1	7.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	2.8		2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	6.9
30	2.5		2.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0.2		0		0		0	0		0		1.1

9.1.1.2 Datos de entrada de caudal para la calibración

Cuadro 20 Estación SOCSI, caudal medio diario (m³/s) 1973–1974
1973

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1		136.88	230	324.82	112.52	33.36	16	12.48	10.08	11.84	17	23.64
2		132.4	271.92	278.2	106.24	31.88	15.5	11.84	10.08	11.52	16.5	22.78
3		173.56	268.78	265.64	100	30.4	15.5	11.84	10.08	11.52	16	24.5
4		218.8	271.92	262.5	97.68	29.22	15	11.84	9.8	12.16	15	22.78
5		373.3	262.5	268.78	102.08	28.04	16	11.84	9.6	12.16	15.5	21.06
6		484.2	253.08	268.78	93.04	26.86	16.5	11.2	9.6	11.84	16.5	20.2
7		401.6	376.8	271.92	90.72	25.68	16.5	11.2	9.4	11.84	17	20.2
8	90.72	328.2	369.8	241.2	86.16	24.5	16.5	11.2	9.4	11.84	21.06	20.2
9	154.5	246.8	298.02	230	79.44	23.64	16.5	10.92	9.4	11.52	23.64	20.2
10	206.2	241.2	288.1	216.28	74.88	24.5	16.5	10.92	9.4	11.2	21.92	20.2
11	203.46	314.68	265.78	224.4	74.88	24.5	16	10.64	9.4	10.92	18.92	21.06
12	112.52	338.52	291.4	216.28	74.88	23.64	15.5	10.64	9.4	10.64	18.28	31.88
13	159.1	246.8	253.08	235.6	70.24	23.64	15.5	10.64	9.4	10.64	17	90.72
14	176.08	206.2	227.2	235.6	67.92	23.64	15	10.64	9.4	10.64	16.5	123.28
15	168.52	176.08	218.8	232.8	65.6	22.78	14.5	10.64	9.4	10.92	15.5	102.08
16	154.5	156.8	224.4	238.4	65.6	21.92	14.5	10.64	9.4	10.92	14.5	86.16
17	147.96	145.78	218.8	208.72	63.68	21.06	14.5	10.64	9.4	10.92	14.16	79.44
18	166	136.88	259.36	189.72	57.92	21.06	14.16	10.64	9.2	10.92	13.82	77.2
19	206.2	130.12	256.22	176.08	56	20.2	14.16	10.64	9.2	10.92	13.82	88.4
20	244	123.28	324.82	168.52	54.16	20.2	14.16	10.64	9.4	11.2	13.48	97.68
21	235.6	118.88	324.82	161.4	52.32	19.56	13.82	11.2	9.4	11.52	13.48	81.68
22	200.72	130.12	288.1	150.14	50.48	19.56	13.82	11.2	9.4	11.52	13.82	74.88
23	150.14	173.56	268.78	141.36	46.8	18.92	13.82	10.92	9.4	11.52	14.5	77.2
24	152.32	176.08	281.5	132.4	45	19.56	13.48	10.92	9.4	11.84	17.64	95.36
25	178.6	213.76	281.5	132.4	43.2	19.56	13.14	10.36	10.36	12.48	21.92	159.1
26	178.6	221.6	262.5	125.56	41.4	18.92	13.14	10.36	12.8	13.48	24.5	186.94
27	186.94	232.8	301.34	123.28	39.6	18.92	13.14	10.36	12.16	16	31.88	166
28	186.94	208.72	324.82	121	37.8	18.28	13.14	10.36	12.16	20.2	37.8	152.32
29	224.4		446.2	112.52	36.32	17	13.14	10.36	11.84	21.06	30.4	136.88
30	195.24		450.1	114.64	34.84	16.5	13.14	10.36	11.52	19.56	26.8	136.88
31	156.8		331.64		33.36		13.14	10.36		18.28		139.12

Cuadro 20 (Continuación)
1974

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	83.2	144	185	79.6	32.4	24.1	20.1	17.6	14.7	13.2	12.4	18.3
2	99	126	224	81.3	31.6	23.7	19.8	17.6	15.4	13.2	12.4	18.3
3	95	101	251	64.8	31.2	23.3	19.8	16.9	15.4	14.1	12.4	17.8
4	79.6	99	226	59	30.3	23.3	19.8	16.9	15.4	16	12.4	16.6
5	71.23	120	172	59	30.8	23.3	19.5	16.9	15.4	16.6	12.4	16.6
6	101	118	152	57.5	30.3	23.3	19.5	16.1	15.4	16	12.4	15.5
7	107	156	149	57.5	29.9	22.6	19.1	16.1	14.7	16	12.4	16
8	139	175	144	55.1	29.5	23	19.1	15.4	14.7	14.9	12.4	16.6
9	136	175	126	53.8	29.1	23.3	19.1	15.4	15.4	14.1	13.2	16.6
10	133	146	118	52.6	28.7	23	19.1	15.4	15.4	13.2	13.2	16.6
11	118	128	118	50.5	28.7	22.6	18.8	15.4	15.4	13.2	13.2	18.3
12	131	105	131	48.6	28.7	22.6	18.8	15.4	16.9	13.2	13.2	17.8
13	144	87.1	144	48.6	28.3	23	18.8	15.4	14.7	13.2	13.2	16.6
14	136	81.3	126	47.6	28.3	23	18.8	15.4	14	13.2	13.2	14.9
15	107	85.2	111	46.7	27.9	22.6	18.5	15.4	13.4	13.2	13.2	14.5
16	87.1	83.2	105	46.7	27.5	22.6	18.4	15.4	12.8	13.2	13.6	14.5
17	77.9	81.3	116	42.3	26.7	22.6	18.2	15.4	12.8	12.8	13.6	14.5
18	72.8	110	173	41.9	26.7	22.3	18.2	14.7	12.8	12.8	14.1	14.5
19	62.4	140	166	41	26.3	21.9	17.9	14.7	12.8	12.8	14.1	14.5
20	59	233	144	40	25.9	21.9	17.5	14.7	12.8	13.2	14.1	14.5
21	53.8	237	121	40.4	25.5	21.5	17.5	14.7	12.8	12.8	14.1	14.9
22	50.5	227	105	40.4	25.9	21.2	17.5	14.7	13.4	12.4	14.1	16.6
23	52.6	191	97	49.1	25.5	21.2	17.5	14.7	12.8	12.4	14.1	18.3
24	60.4	326	87	38.7	25.5	21.2	17.5	14.7	12.8	12.4	14.1	17.2
25	68	238	77	37.3	25.5	21.2	17.2	14.7	12.8	12.4	14.5	17.2
26	79.6	212	72	36.4	25.1	20.5	17.2	14.7	12.8	12.4	14.1	13.2
27	101	216	66.4	35.9	24.4	20.5	17.2	14.7	12.3	12.4	14.9	10.7
28	95	192	68	35.5	24.4	20.1	16.9	14.7	12.3	12.4	17.8	9.5
29	87		61.9	34.6	24.4	20.1	16.9	14.7	12.3	12.4	18.3	9.3
30	132		63.3	33.7	24.1	20.1	16.6	14.7	12.3	12.4	18.3	9
31	178		64.8		24.1		16.6	14.7		12.8		8.1

9.1.2 DATOS DE ENTRADA PARA LA SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN

9.1.2.1 Datos de entrada de precipitación diaria para la simulación y validación

Cuadro 21 Estación TANTA, precipitación diaria (mm.) 1975 – 1976
1975

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	7.3	3.6	0	12.9	15.1	0	0	0	0	5.6	0	0
2	7.4	4.8	0	3	8.7	0	0	0	0	10.8	0	0
3	4.4	1.4	3	5.7	6	0	0	0	0	4.5	0	0
4	4.5	0	4.2	9.8	4.3	0	0	0	3	5	0	0
5	0	0	5.3	3.3	0	0	0	0	2.3	4.3	0	0
6	0	0	5.7	4.7	0	2.1	0	0	4.4	0	0	0
7	0	0	5.6	3.9	0	1.5	0	0	10.8	0	5.5	0
8	11.7	0	4.6	12.7	0	0	0	0	0	0	4.2	0
9	7.8	0	8	9.6	0	0	0	0	0	0	9.7	0
10	6.1	0	3.8	2.2	0	0	0	0	0	0	0	3.7
11	5.7	0	7.6	0	4.4	0	0	0	0	0	0	4.5
12	3.1	0	13.6	10.4	9.7	0	0	0	0	0	0	5
13	1.8	1.2	8.2	5.9	0	0	0	0	0	0	0	7.3
14	0	2	8.9	2.8	0	0	0	0	0	0	0	5.5
15	0	2.4	9	8.4	0	0	0	0	0	3	0	3.4
16	0	4.8	6.1	8.1	0	0	0	0	0	9.8	0	7.9
17	0	7.6	10.3	3.5	0	0	0	0	5.3	4.6	0	5.7
18	0	8.1	10.9	8	3.2	0	0	0	3.6	3.9	0	0
19	0	11.6	9.7	10.1	0	0	0	0	7.8	5.7	0	0
20	2.3	9.3	12.4	5.6	0	0	0	0	4.9	8.3	0	0
21	12.7	11	5.6	6.5	4.8	0	0	0	5.1	6.2	0	0
22	6.8	5.8	8.7	5.8	12	0	0	0	0	2.9	3.8	0
23	3.4	6.9	5	3.7	0	4.1	0	0	0	7.6	3.7	0
24	4.6	3.7	7.9	8.9	0	3	0	3.1	0	7.7	2.9	1.8
25	8.5	8.7	4.8	0.9	0	0	0	0	0	1.2	7.3	7.6
26	2.8	7.5	3.7	11.6	0	0	0	0	0	0	5.1	5.6
27	0	9.2	10.7	7	7.9	0	0	7.7	0	0	0	8.8
28	0	0	11.3	1.8	3.5	0	0	5.3	0	0	0	3.9
29	0		9.4	9.2	4.7	0	0	0	6.3	0	0	2.8
30	7.9		5.2	10.6	0	0	0	0	4.7	0	0	6.3
31	2.2		9.2		0		0	0		0		5

Cuadro 21 (Continuación)
1976

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	7.8	4.3	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0
2	5	5.5	10.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3.4	5.1	2.4	0	0	2	0	0	0	0	0	0
4	5.2	3.5	4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4.4	4.4	5	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5.8	12.5	4.3	2.1	0	0	0	0	0	3.7	0	0
7	7.8	6.1	8.5	9.9	0	0	0	0	0	6.7	0	2
8	2.9	8.1	8.5	0	0	0	0	0	0	5	3.4	11.6
9	3	9	5.5	0	0	0	0	0	0	0	2.9	5.1
10	11.4	6	3.6	0	0	0	0	2	0	0	7.8	1.6
11	6.9	7.8	11	0	0	0	0	0	0	0	4.6	0
12	8.6	5.2	1.6	0	0	11.3	0	0	0	0	5	10.2
13	7.9	5.8	4.8	0	9.8	5.1	4.3	0	0	0	0	0
14	14.7	4.2	14.2	0	0	0	3	0	0	0	0	0
15	2.2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	3.5	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.5
17	5.1	4	0	1.9	0	0	0	0	0	0	0	3.8
18	4	2.2	0	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0
19	5.3	7.9	0	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0
20	7.4	8.6	0	11.2	0	0	0	0	0	0	0	0
21	4.6	5.9	0	0	5	0	0	0	0	3	0	0
22	3.3	9.2	0	0	4.3	0	0	0	0	2.6	7.1	0
23	0.4	6.6	5.9	0	3.2	0	0	3	0	0	0	0
24	0	0	12.4	0	0	0	0	1.3	0	0	0	0
25	0	0	17.5	0	0	0	2.2	0	0	0	0	5.6
26	0	0	3.4	0	0	0	3.4	0	0	0	0	7
27	0	0	0	0	0	0	1.9	0	0	0	9.7	2.2
28	0	11.2	3.9	0	0	0	0	1.9	0	0	0	0
29	6.3	4.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	12.8		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	10		0		0		0	0		0		0

Cuadro 22 Estación VILCA, precipitación diaria (mm.) 1975, 1976
1975

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	9.2	15.3	9.2	15.5	0	0	0	0	0	0	0	10.5
2	0	4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	4.2	17.3
3	3.3	0	12.1	7.1	0	0	0	0	1.9	0	3	5
4	0	0	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	4.9
5	0	20.9	14.3	0	0	0	0	0	3.5	0	0	7.7
6	13.4	6.1	7.3	0	0	0	0	0	0	0	5	0
7	5.1	15.5	9.7	1.2	0	0	0	0	0	0	7.1	3.5
8	0	0	13	3.9	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0.4	9.9	0	0	1.9	0	0	0	4	0	0	6.4
10	8.3	7.5	12.6	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0
11	0	15.6	10.1	4.3	0	0	0	0	0	0	0	11.1
12	9.7	0	1.9	3.9	0	0	0	0	0	0	9.2	9.6
13	7	3.9	9.8	0	0	0	0	0	0	0	5.2	12.4
14	0	13.3	6.6	0.5	0	0	0	0	0	0	6.5	0
15	0	3.5	8.3	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0
16	0	12.8	0.4	0	0	0	0	0	2.3	0	12.6	0
17	16	0	0	6	0	0	0	0	0	0	19.4	3
18	0	7.2	5.9	0	3.1	0	0	0	0	0	0	3.9
19	7.5	0	4.1	0	0	0	0	0	0	0	4.9	9.8
20	0	3.3	13	2.1	0	0	0	0	2.1	0	0	0.4
21	0	8.9	0	0	0	0	0	0	2.7	0	7.1	6.2
22	2.4	9.4	24.8	0	0	0	0	0	0	0	0	20.1
23	0	0	16.1	1.4	0	0	0	0	0	0	0	3.7
24	5.6	8.2	6.4	0	0	0	0	0	3.5	0	10.1	4.2
25	0	0.5	0	1.8	0	0	0	0	0	0	0	5.3
26	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	14	7.5	0	0	0	0	0	4.1	0	0	0
28	0	9.1	5	0	0	0	0	3.4	0	0	1.9	7.5
29	4.2		0	0	0	0	0	2.9	0.5	0	1.4	0
30	0		15.1	0	0	0	0	0	5.2	0	0	11.4
31	6.8		0		0	0	0	0		0		3.9

Cuadro 22 (Continuación)
1976

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	0	9	6	7	0	0	0	0	3.8	0	0.6	0
2	8.1	11.1	11.9	9.3	0	0	0	0	2.1	0	3	0
3	0	12.1	0	10.7	0	0	0	0	4.9	0	0	1.5
4	14.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.9
5	9	9.7	0	4.4	0	0	0	0	0	0	0	0.7
6	0	0	4.4	0	0	0	0	0	11.3	0	0	0
7	18	9.5	12.3	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	7.1	0	0	0	0	6.3	0	0	0
9	9.8	0	22.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	12.5	14	7.8	0	0	0	0	0	3.8	0	0	0
11	22.3	4.9	0.5	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0
12	23.6	3.3	0	0	0	0	0	0	1.8	0	0	0
13	0.5	8.7	5.1	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0
14	13.7	6.1	6.9	5.5	0	0	0	0	0	0	0	1.9
15	0	13.6	11.8	0	0	0	0	0	2	0	1.5	0
16	8.7	10.2	15	0	0	0	0	0	0.7	0	0	2.8
17	18.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	9.1	5	0.3	0.5	0	0	0	0	4	0	0	0
19	12.5	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	6.2	8.5	11.3	0	0	0	0	0	1.1	0	0	0
21	21.5	0.4	6.7	0.6	0	0	0	0	5	0	0	0
22	0.6	5.9	15.1	0	0	0	0	1.8	0	0	0	0
23	19.5	0	9.5	0	0	0	0	3.5	0	0	0	0
24	12	1.4	0	1.5	0	0	0	7	0	0	0	3
25	14.1	1.8	11.2	7.7	0	0	0	0.4	0	0	0	4.1
26	0	6.8	4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	7.3	6.3	0	0	0	0	7.5	0	0	0	0
28	0	0	7	3.9	0.9	0	0	0	0	0	0	0
29	2.5	0	4.7	0.5	0	0	0	0	0	0	0	5
30	23		0	0	0	0	0	5.2	0	0	0	5.4
31	13.4		3.9		0		0	4.4		0		0

Cuadro 23 Estación CARANIA, precipitación diaria (mm.) 1975, 1976
1975

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	4.9	0	13.2	4.6	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5.7	0	13	4.4	6.4	4.4	0	0	0	0	0	0.4
3	13.3	0	5.7	0	7.6	8.2	0	0	4.4	0	0	1.8
4	0	0	0	0	8.5	7.3	0	0	0	8.6	0	4.8
5	2.8	0	10.4	0	3.3	0	0	0	8.4	2.7	0	6.6
6	0	0	15.8	0	0	0	0	0	0	0	0	11.4
7	11.4	0	6.8	0	0	0	0	6.4	0	0	2.4	2.8
8	0	0	4.9	0	0	0	0	4.4	0	0	6.1	0
9	0	0	0	0	0	0	2.4	0	0	0	4.7	0
10	0	1.4	8.4	0	0	0	0	0	1.2	6.6	0	0
11	2.5	4.9	16	0	0	0	0	0	6.8	5.2	0	0
12	8.8	15	0	0	0	0	0	0	7.7	0	0	0
13	8.1	0	8.2	6.2	0	0	4.6	0	7.8	0	8.4	4.4
14	6.2	0	4.2	4.4	0	0	2.4	7.2	0	0	7.6	8.6
15	1.3	0	6.6	12	0	0	0	5.8	0	0	6.6	9.6
16	0	0	12.4	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8
17	0	4.4	8.8	0	10.2	0	0	0	0	0	10.5	0
18	0	1.6	6.7	0	1.6	0	0	0	0	0	0	0
19	4.4	0	4.5	0	0	0	2.2	0	0	0	5.4	0
20	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	4.2	0
21	0	6.2	0	12.1	0	0	0	0	0	0	6.8	4.7
22	0.4	4.5	0	7	0	0	6.2	0	0	0	0	8.8
23	6.6	0	14.8	4.3	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	4.4	8.7	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5
25	0	6.7	1.4	0	0	0	0	0	1.8	1.4	0	8.2
26	0	5.6	0	0	0	0	0	0	4.8	0	0	14.4
27	0	12.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	7.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0		2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0		0		0		0	0		0		0

Cuadro 23 (Continuación)
1976

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	4.2	18.6	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	13.2	8.8	6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	7.3	0	2.8	4.6	0	0	0	0	0	0	0	0
4	4.2	4.8	9.5	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5.6	14.3	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2
6	4.4	0	4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	11.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	6.6	0	2.8	0	0	0	0	0	0	0	1.9	0
9	11.6	6.2	0	4.8	0	0	0	0	0	1.4	0	0
10	7.6	5.6	18.6	10.5	3.8	4.1	0	0	0	0	0	0
11	14.8	0	7.7	0	1.4	0	0	0	0	0	0	0
12	2.4	0	4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	6.9	9.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	19.3	6.3	0	0	0	0	0	0	6.4	0	0	0
16	14.2	8.2	0	0	0	0	0	0	4.8	0	0	4.8
17	0	7.7	0	1.6	0	0	0	0	9.8	0	0	6.5
18	16.4	7.6	14.3	0	0	0	0	0	0	0	0	7.1
19	0	13.4	4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	4.9	13.5	3.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	6.2	15.4	6.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	9.3	2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	3.4	6.4	8.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	3.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	15.3	0	2.6	4.4	0	0	0	0	0	0	0	0
26	6.9	0	0	0	0	0	0	6.2	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	4.4	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	4.9	0	0	0	6.2
29	7.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.4
30	5.8		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	4.8		0		0		0	0		0		0

Cuadro 24 Estación YAUYOS, precipitación diaria (mm.) 1975, 1976
1975

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	8.7	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5	0
2	0	0	3.7	0	0	0	0	0	0	6.7	0	0
3	0	0	0	2.4	3.2	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	8.8	0	7.6	4.8	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	7.8
6	0	0	6.1	2.8	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	5.4	0	2.3	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	8.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	5	0	1.6	0	0	0	0	0	0	1.3
12	0	0	3.5	0	3.3	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4.1
14	0	6.8	8.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.6	0	0
16	0	0	5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8
17	0	7.8	6.9	0	0	0	0	0	1.9	0	0	0
18	5.5	8.7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4.6
19	4.6	1.4	8.8	0	0	0	0	0	0	0	7	5.3
20	0	0	11.2	3.2	0	0	0	0	0	0	6.6	2
21	0	5.7	19	1.8	0	0	0	0	0	0	5.7	6.9
22	0	4.8	8.9	0	0	0	0	0	0	0	0	8.8
23	0	10.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	16.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	15.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	16.2
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
29	0		10.2	0	0	0	0	0	0	0	0	5.1
30	0		0	1.1	0	0	0	0	0	0	0	7.5
31	0		0		0		0	0		0		8.3

Cuadro 24 (Continuación)
1976

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	6	19.8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	4.1	11.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	6.6	0	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	14	0	12.7	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	3
10	1.8	0	2.3	0	0	1.6	0	0	0	0	0	0
11	17	7.6	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	4.9
12	10.8	1.9	7.1	0	0	0	0	0	0	0	0	5.7
13	13.3	0	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	3
14	4.7	0	14.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	7.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	10.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	6	6.5	8	0	0	0	0	0	0	0	0	5.8
19	0	12.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5
20	5.8	9	17.7	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5
21	0	16.6	7.9	0	0	0	0	0	3.8	0	0	0
22	3.9	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0.6	0	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	5.3	6	2.1	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	5.4	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	8.3	8.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0.8	5.4	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	20	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	7.7
30	3.3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.7
31	1.9		0		0		0	0		0		0

Cuadro 25 Estación HUANTAN, precipitación diaria (mm.) 1975, 1976
1975

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	3.2	0	4.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.1	0	9.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	4.1	0	12.8	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1.8	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3.1	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4.1	0	5.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1.2	0	3.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	3.1	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	4.2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	11.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	4.3	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	4.2	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.6
16	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1.2	8.1
17	0	6.8	4.2	0	0	0	0	0	0	0	4.1	4.2
18	0	4.2	6.6	0	0	0	0	0	0	0	5.6	3.1
19	0	5.7	5.1	0	0	0	0	0	0	0	0.2	5.1
20	0	7	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0.9	13.4
21	0	2.9	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0.7	30.3
22	0	12.9	5.1	0	0	0	0	0	0	0	0.2	40.1
23	0	4.8	1.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0.5	20.6
24	0	6.8	2.1	3.5	0	0	0	0	0	0	0	9.8
25	0	0	5.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	5.7
26	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	5.4
27	0	0	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	4.8
28	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	5
29	0	0	12.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
30	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0		0		0		0	0		0		0

Cuadro 25 (Continuación)
1976

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	0	2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	15.1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	17.1	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	13	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	17.2	7.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	17.7	1	10.2	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	15.6	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	12.2	3.7	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	22.1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	6.1	0	1.6	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0
11	19	0	2.1	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0
12	2	0	3.2	0	0	0	2.3	0	0	0	0	0
13	18.3	0	4.2	0	0	0	4	0	0	0	0	0
14	20	0	5.1	0	0	0	5.9	0	0	0	0	0
15	20	0	7	32.4	0	0	0	0	0	0	0	0
16	12.7	0	4.1	4.2	0	0	0	0	0	0	0	0
17	17.1	0.5	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	19.1	1.2	4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	11.9	7.5	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	15.3	3	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	7.9	4.7	4.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	24.2	10.3	6.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	5.6	7.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	8.3	8.2	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0.3	1.1	4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	3
26	0	0.5	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2
27	0.2	0	4.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4
28	19.8	0	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
29	19.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4
30	11.2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
31	0		0		0		0	0		0		0.3

Cuadro 26 Estación COLONIA, precipitación diaria (mm.) 1975, 1976
1975

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	4.4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	0	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	0	4.2	0	6.5	0	0	0	0	0	0	0
4	7.2	4.1	9.7	2.1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	8.3	0	9	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0
6	2.1	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	6.1	0	2.3	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	3.1	0	3.1	0	0	0	0	0	0	0
9	4.3	0	4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	5.4	0	6.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	4.2	0	3	0	2.1	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	3.1	4.1	4.2	0	0	0	0	6.5	0	0
13	0	1.2	7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	1.3	3	0	0	0	0	0	0	0	6.8	0
15	8.1	0	3.3	0	0	0	0	0	0	0	7.1	0
16	0	0	1	0	0	0	0	0	4.3	0	3.2	0
17	7.3	0	3.2	0	0	0	0	0	6.1	0	7.7	0
18	0	2.4	6.3	0	0	0	0	0	8.4	0	0	9.8
19	0	6.4	7.4	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1
20	0	3.4	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	4.2
21	0	9.5	4.4	0	0	0	0	0	0	0	0	7.4
22	0	10.9	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	14.1
23	0	11.6	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5
24	0	13.4	4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	5.1
25	0	11.1	3.2	7.3	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	2.1	5.3	5.3	0	0	0	0	0	0	0	12.3
27	0	12.5	6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	7.2
28	0	11.3	2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	5.6
29	0		2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2
30	0		3.1	0	0	0	0	0	0	1.2	0	4.8
31	0		2.9		0		0	0		0		5

Cuadro 26 (Continuación)
1976

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	0	23.2	2.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	11.2	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	11.4	6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.2
6	0	0	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	2
7	0	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	7.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	11.1	2.2	0	5.2	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	6.3	0	0	0	0	0	0	0	0
11	7.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	5.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.5
13	6.3	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1
14	9.1	0	5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	9.5	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	14.3	0	9.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	15.7	0	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.2
19	12.2	10.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.4
20	13.1	14.6	11.2	0.3	0	0	0	0	0	0	0	1
21	5.1	15	4.3	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	9.8	8.3	2.2	0	0	0	0	0	0	0	0
23	4.5	8.8	11.6	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0
24	3.4	8.3	11.5	9.2	0	0	0	0	0	0	0	0
25	2.3	9.1	8.2	8.7	3.5	0	0	0	0	0	0	0
26	2	14.7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	7.9	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	2.2	0	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	7.6
29	4.7	0	6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5
30	11		0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.3
31	13.3		0		0		0	0		0		0

Cuadro 27 Estación HUANGASCAR, precipitación diaria (mm.) 1975, 1976
1975

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1.1	0	12.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.3	5.5	14.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	2.9	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	9.9	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1.9	11.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	7.4	0	11.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	3.8	0	9.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2.2	0	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	2.2	0	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0.8	0	5.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
16	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	6.1	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	4.6	0	4.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
19	0	0	34.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	2.5	8.7	0	0	0	0	0	0	0	0	4
21	0	2.7	24	1.2	0	0	0	0	0	0	0	8
22	0	8.6	12.9	0.8	0	0	0	0	0	0	0	2.3
23	0	9.4	8.4	0	0	1.2	0	0	0	0.2	0	4
24	0	10.4	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	2.3	1.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	4.2	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	11.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1
31	0		0		0		0	0		0		6.8

Cuadro 27 (Continuación)
1976

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	8	14.2		0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	6.6	10		0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1.2	15.8		0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	8.1		0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	4.8		0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0.5		0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	2.5		0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	3		0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.4	0.4		0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	2.9	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	3.8	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	3.4	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	3.4	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	4	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	7.4	1.7		0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1.2	9.2		0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0.2	12.9		0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0.6	6.4		0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	4.6	3.2		0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	4.2	2.1		0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	4.6	2.4		0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	1.4	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0.2	6.6		0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	1.5		0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0.4	6		0	0.8	0	0	0	0	0	0	0
27	14.1	10		0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	4.8	7.4		0	0	0	0	0	0	0	0	3.6
29	4.8	0.2		0	0	0	0	0	0	0	0	2.3
30	20.6			0	0	0	0	0	0	0	0	1.4
31	26.5				0		0	0		0		1.6

9.1.2.2 Datos de entrada de caudal para la simulación y validación

Cuadro 28 Estación SOCSI, caudal medio diario (m³/s) 1975,1976
1975

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	8.1	27.8	194	113	43.6	32.2	18.3	12	10.4	10.1	9.83	21.3
2	8.7	28.7	157	104	42.6	32.2	17.8	11.5	9.83	10.1	9.54	20
3	9	26.4	138	98.3	41.6	31.3	17.2	11.5	9.83	10.4	10.1	18.3
4	9	24.2	138	96.9	43.6	30.4	17.2	11.1	10.1	11.1	10.1	17.8
5	8.7	21.3	144	94.3	54.4	31.3	16.6	11.1	9.83	11.5	10.1	17.8
6	8.4	18.9	146	91.3	55.6	31.3	17.2	11.1	10.1	10.4	9.83	17.8
7	9	16.6	148	90.4	53.3	30.4	17.2	11.1	10.1	10.1	9.83	18.3
8	12	14.9	150	99.6	54.4	30.4	16.6	11.1	9.83	10.1	9.83	17.8
9	12	12.8	164	98.3	56.7	29.6	16	11.1	9.83	10.1	9.83	17.2
10	14.9	11.1	173	95.6	53.5	27.8	15.5	11.1	9.83	10.1	9.83	16.6
11	34	9.8	204	87.9	52.2	26.4	14.9	11.1	9.83	10.1	9.83	16
12	36.6	9	192	84	52.2	25.6	14.5	11.1	9.54	11.5	9.83	16
13	34.8	8.4	215	80.2	54.4	24.2	14.5	10.7	9.54	12.4	10.1	16
14	29.6	8.1	221	75.1	51.1	22.8	14.5	11.1	9.25	12.4	10.1	20
15	24.2	8.1	202	72.5	48.8	22.8	14.1	10.7	9.25	12.4	10.1	22.8
16	24.9	9.5	173	70	47.7	22.8	14.1	10.7	9.54	12.8	10.7	20
17	29.6	10.7	150	66.3	45.6	22.8	14.1	10.7	9.83	12.8	11.1	18.9
18	37.6	13.6	142	63.9	43.6	22	13.6	10.74	10.4	13.2	12	20.6
19	71.3	24.9	157	62.7	42.6	20.6	13.6	10.7	10.4	13.2	17.8	22.8
20	72.5	24.9	210	59	41.6	20.6	13.6	10.7	10.4	13.2	30.4	32.2
21	65.1	37.6	250	57.8	40.6	20	13.6	10.7	10.7	13.6	28.7	39.6
22	59	35.7	288	57.8	39.6	20	12.8	10.7	10.4	14.1	34.8	41.6
23	44.6	48.8	298	56.7	38.6	20	12.8	10.4	10.4	14.1	50	54.4
24	34.8	84	268	55.6	37.6	18.9	12.8	10.4	10.4	14.1	45.6	67.6
25	26.4	128	229	52.2	36.6	18.9	12.8	10.4	10.4	10.1	39.6	70
26	21.3	126	187	51.1	35.7	18.9	12.8	10.1	10.1	10.1	34.8	66.3
27	22.8	148	164	50	34	18.3	12.8	10.1	9.83	10.1	31.3	70
28	22	202	142	48.8	34	18.3	12.4	10.4	9.83	10.1	28.7	90.4
29	36.6		130	47.7	33.1	17.8	12.4	10.4	9.83	10.1	25.6	87.9
30	27.8		117	44.6	32.2	17.8	12	10.7	9.83	10.1	24.2	87.9
31	25.6		119		32.2		12	10.7		10.4		90.4

Cuadro 28 (Simulación)
1976

Días	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	89.2	182	247	112	42.5	27.9	21.4	15.4	13.2	14.6	13.2	14.6
2	85.3	259	192	116	41.7	27.9	20.9	15	12.8	14.5	12.8	13.7
3	73.8	332	155	91.4	41	27.9	20.9	15	12.8	14.6	12.8	13.7
4	65.1	295	144	81.7	40.2	27.3	20.4	15	12.8	14.6	12.8	13.7
5	60.2	229	135	80	39.4	26.1	19.8	15	12.2	14.6	12.8	15.4
6	55.6	235	128	81.7	37.8	25.5	19.8	14.6	11.8	14.1	12.8	15.9
7	62.7	235	117	106	37.1	25.5	19.3	14.6	11.8	14.1	12.8	16.8
8	75.1	213	109	106	36.6	24.9	19.3	14.6	11.8	14.1	13.2	16.8
9	70	182	102	97.2	35.5	24.9	19.3	14.6	11.8	13.7	13.2	15.9
10	65.1	175	102	86.5	35.5	24.9	18.8	14.1	11.8	13.7	13.2	15.9
11	63.9	182	115	80	34.1	25.5	18.8	14.1	11.8	13.7	13.7	17.2
12	77.6	164	119	75.5	33.4	26.7	18.8	14.1	11.8	13.7	14.1	20.9
13	98.3	140	117	70.2	32.7	27.9	18.3	14.1	11.5	13.2	14.6	23.7
14	116	123	122	66.2	32.7	26.7	18.3	14.1	11.5	13.2	14.6	24.9
15	128	116	170	62.5	32.7	25.5	18.3	14.1	11.8	13.2	14.1	24.3
16	144	110	177	60.3	32	25.5	17.7	14.1	11.8	13.2	13.7	22.5
17	144	108	150	58.2	32	24.9	17.2	14.1	11.8	13.2	13.7	19.8
18	142	108	130	54.9	31.3	24.3	17.2	13.7	11.8	13.2	13.7	19.3
19	137	122	142	52.7	29.9	23.7	17.2	13.7	11.8	13.2	13.2	21.4
20	151	159	150	50.8	29.9	23.7	17.2	13.7	11.5	13.2	13.2	27.3
21	175	184	161	49.9	29.2	23.1	17.2	13.7	11.5	13.2	13.2	30.6
22	184	207	164	48	29.2	22.5	16.8	13.7	10.9	13.2	13.2	28.5
23	184	224	170	48	29.2	22.5	17.2	13.7	12.8	13.7	13.2	24.9
24	157	192	175	49.9	29.2	22.5	17.2	13.7	16.3	13.7	13.7	22.5
25	146	202	177	49.9	29.2	22.5	16.8	14.1	16.8	13.7	13.7	22
26	148	213	175	51.8	28.5	22.5	16.3	13.7	17.2	13.2	13.7	21.4
27	125	238	184	48.9	28.5	22.5	16.3	13.7	15.4	13.2	13.7	20.9
28	112	247	168	47.1	28.5	22.5	15.9	13.7	15	13.7	14.6	20.4
29	104	265	155	45.2	27.9	22.5	15.4	13.2	14.6	13.7	15	19.8
30	101		140	45.2	27.9	22	15.4	13.2	14.6	13.7	14.1	19.8
31	130		126		27.9		15.4	13.2		13.7		24.3

9.1.3 OTROS DATOS METEOROLOGICOS

Cuadro 29 Temperatura media mensual periodo 1996 al 2000

ESTACIÓN : YAUYOS ALTITUD:2290 m.s.n.m												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máx.	18.6	18.9	18.3	18.7	18.6	17.9	18.7	18.3	17.9	18.6	18.8	18.8
Min.	15.6	16.5	16.6	16.9	17.1	16.6	16.9	17.5	17.3	17.1	17.1	17.3
Prom.Mes	17.1	17.4	17.5	17.5	17.7	17.1	17.5	17.8	17.7	18.1	17.9	17.8
ESTACIÓN : PACARAN ALTITUD:700 m.s.n.m												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máx.	24.2	25	25	23.8	20.9	19.5	19.2	19	20	20.5	20.9	22.8
Min.	21.8	22.9	23.2	22.2	19.9	16.5	16	17	18.6	19.5	19.7	21.5
Prom.Mes	22.8	23.7	23.9	22.9	20.3	17.9	17.3	17.6	19.1	20.0	20.5	22.0
ESTACIÓN : CAÑETE ALTITUD:150 m.s.n.m												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máx.	23.4	24.1	24	22.8	21.9	22.1	21.4	21	21	20.7	22	24.7
Min.	22.6	23.6	23.4	21.2	18.4	15.8	15.6	16.2	16.6	17.6	18.3	21.1
Prom.Mes	23.4	24.1	24.1	22.4	18.0	17.0	16.7	16.7	17.3	18.3	19.8	21.8

Cuadro 30 Evaporación media total mensual periodo 1996 al 2000

ESTACIÓN : YAUYOS ALTITUD:2290 m.s.n.m												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máx.	150.2	137	124.8	148.7	162.2	168.1	193.4	202.1	175.5	167.4	163.2	157
Min.	36.1	21.3	23.7	34.1	76.8	74.6	84.2	121.1	118.9	106.7	102.5	54.9
Prom.Mes	79.9	61.6	65.9	90.3	122.0	139.5	154.6	158.2	147.7	140.7	133.1	114.4
Prom.Día	2.6	2.2	2.1	3	3.9	4.7	5	5.1	4.9	4.5	4.4	3.7
ESTACIÓN : PACARAN ALTITUD:700 m.s.n.m												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máx.	177.3	159.9	183.4	159.7	153.4	118.9	112.2	135.9	145.8	189.5	188.4	184.4
Min.	70.9	80.2	87.6	85.2	79.5	60.3	61.2	58.7	82.4	80.7	84	74.5
Prom.Mes	121.5	120.0	137.4	120.4	103.0	79.0	81.0	92.1	106.6	120.1	121.3	130.5
Prom.Día	3.9	4.2	4.4	4	3.3	2.6	2.6	3	3.6	3.9	4.4	4.2
ESTACIÓN : CAÑETE ALTITUD:150 m.s.n.m												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máx.	248	212.5	205.1	183.1	149.6	153	155	124	120	161.2	147	220.1
Min.	115	90	75	70	39	0.3	26	11	38	57	72	105
Prom.Mes	154.7	143.9	151.1	129.3	87.5	54.8	54.2	59.4	72.2	97.7	109.0	135.8
Prom.Día	5	5.1	4.9	4.3	2.8	1.8	1.7	1.9	2.4	3.2	3.6	4.4

Cuadro 31 Humedad relativa media mensual periodo 1996 al 2000

ESTACIÓN : YAUYOS ALTITUD:2290 m.s.n.m												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máx.	92	90	91	89	89	89	86	92	85	87	87	89
Min.	86	87	86	87	85	82	81	83	84	83	84	84
Prom.Mes	88.6	88.8	89.0	87.4	87.0	85.4	84.4	85.4	84.4	85.0	85.4	87.0
ESTACIÓN : PACARAN ALTITUD:700 m.s.n.m												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máx.	84	81	78	79	81	85	83	83	80	78	81	81
Min.	73	70	71	72	78	80	80	78	76	72	70	72
Prom.Mes	77.6	75.8	73.8	76.0	79.0	81.6	80.8	80.2	77.6	75.2	76.8	76.4

Cuadro 32 Velocidad media del viento mensual periodo 1996 al 2000

ESTACIÓN : YAUYOS												ALTITUD:2290 m.s.n.m	
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Máx.	1.7	1.7	2	2.7	2.7	2.7	4.3	3	2.3	3.3	2.3	1.7	
Min.	1.3	0.3	1	1.7	2	1.7	1.7	1.7	1.7	1.3	2	1.3	
Prom.Mes	1.4	1.3	1.5	2.1	2.3	2.3	2.7	2.3	1.9	2.3	2.1	1.6	
ESTACIÓN : PACARAN												ALTITUD:700 m.s.n.m	
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Máx.	3	3.3	3.3	3	2.7	2.6	2.6	2.9	3.1	3	3.3	4.3	
Min.	2	2	2	2.3	1.7	1.3	1.3	1.7	2	2.2	2.3	2.7	
Prom.Mes	2.7	2.7	2.8	2.6	2.2	2.0	1.9	2.3	2.4	2.5	2.7	3.0	

9.1.4 DATOS DE ENTRADA Y DE SALIDA DEL MODELO TEMEZ

Cuadro 33

PRECIPITACION AREAL MEDIA MENSUAL (mm)

Cuenca Húmeda del Río Cañete

AREA DE LA CUENCA HUMEDA : 4830.91 Km2

AREA DE LA CUENCA TOTAL (SOCS):5800.11 Km2

AÑO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	TOTAL
1963/1964	---	---	---	---	78.3	136.3	147.4	79.2	25.9	1.2	0.0	0.4	---
1964/1965	14.2	28.6	32.1	64.3	80.8	186.4	100.5	26.7	10.3	0.6	6.3	8.5	572.4
1965/1966	18.1	28.8	23.0	80.1	121.5	93.6	135.8	48.5	10.1	1.4	0.8	0.8	558.1
1966/1967	30.1	101.4	48.9	105.2	178.6	242.8	134.6	31.7	13.1	4.0	7.4	8.5	808.4
1967/1968	24.0	49.4	47.8	34.5	99.7	88.2	100.8	28.8	8.8	8.1	8.0	17.2	508.1
1968/1969	28.8	45.7	45.7	51.8	50.5	80.2	105.8	50.8	1.7	2.4	3.0	8.5	474.8
1969/1970	17.8	56.5	63.5	152.8	213.6	53.3	80.0	80.7	30.8	0.4	3.6	1.5	734.6
1970/1971	43.9	30.3	38.9	78.8	105.7	122.0	189.8	48.3	3.5	1.7	0.0	6.4	886.5
1971/1972	2.5	9.0	15.4	122.3	121.0	85.5	301.3	70.0	1.5	0.5	8.5	2.0	737.4
1972/1973	10.8	38.3	35.4	78.2	150.0	86.3	200.0	81.7	18.4	0.1	1.2	7.2	730.7
1973/1974	24.8	51.4	48.8	117.9	177.3	152.0	140.4	45.8	8.0	8.4	1.0	20.7	785.3
1974/1975	8.8	13.3	38.8	88.1	81.8	88.8	180.7	54.7	28.4	7.7	6.2	14.4	588.6
1975/1976	31.7	32.6	39.0	111.7	182.0	157.0	143.7	31.8	8.4	8.8	4.8	10.5	781.0
1976/1977	14.1	5.9	12.5	42.5	83.7	188.3	139.3	34.8	8.4	2.3	3.8	2.3	497.7
1977/1978	13.8	21.6	51.8	37.7	117.4	80.8	88.2	62.0	14.5	2.1	1.8	6.7	518.6
1978/1979	15.4	59.7	35.8	68.2	51.0	153.0	191.8	33.7	8.1	8.4	1.8	4.5	628.1
1979/1980	8.0	9.8	22.0	30.2	96.1	49.9	115.0	21.9	7.9	2.5	14.8	8.1	383.8
1980/1981	12.6	85.3	76.9	78.8	135.0	173.2	158.7	56.3	3.0	2.8	5.1	15.0	803.8
1981/1982	8.5	24.8	44.8	72.3	104.8	127.4	100.0	51.4	5.0	3.3	4.8	5.7	552.8
1982/1983	12.4	78.8	97.8	54.4	88.7	45.8	158.0	34.9	15.3	11.9	49.2	10.5	635.0
1983/1984	14.4	20.8	28.7	77.9	138.3	215.5	140.1	80.0	85.3	33.0	2.1	4.8	788.7
1984/1985	10.9	33.4	43.2	78.8	107.7	107.8	148.5	78.2	21.2	18.8	12.7	9.3	688.3
1985/1986	8.0	27.0	32.8	61.7	138.8	166.8	130.5	67.7	22.5	8.5	2.5	6.8	674.7
1986/1987	32.8	70.8	37.4	110.3	189.3	88.3	55.3	23.0	7.2	9.1	18.0	8.8	681.2
1987/1988	8.9	21.8	45.3	84.8	158.8	124.8	182.1	84.8	9.9	4.3	0.7	3.2	684.8
1988/1989	10.7	15.7	38.3	140.1	158.8	117.7	176.1	37.3	8.8	7.0	2.3	18.1	733.0
1989/1990	18.5	27.8	53.7	66.5	87.2	81.1	80.5	81.0	18.1	12.8	10.3	10.7	525.7
1990/1991	28.9	35.8	58.3	93.8	108.2	112.5	132.2	82.4	19.8	9.5	4.1	9.0	670.2
1991/1992	8.6	37.7	35.1	48.2	68.2	46.8	85.6	32.0	3.7	3.8	7.2	8.0	387.8
1992/1993	10.3	57.7	44.0	89.7	114.8	141.3	151.4	70.7	15.3	3.3	7.5	10.3	688.1
1993/1994	16.0	44.2	70.5	110.8	151.1	207.8	160.3	47.8	18.5	8.6	4.8	12.5	852.8
1994/1995	48.2	44.8	40.7	61.3	88.8	78.0	120.1	83.2	8.0	0.8	5.8	1.1	588.0
1995/1996	19.5	33.8	38.5	70.0	185.9	127.8	93.9	49.4	5.5	0.2	0.3	9.4	612.1
1996/1997	14.3	28.7	24.3	82.8	120.2	123.8	54.2	47.7	7.6	1.2	0.8	13.1	518.7
1997/1998	25.8	36.0	88.2	188.4	187.2	127.7	132.7	80.4	0.5	2.0	0.2	2.3	780.5
1998/1999	12.5	25.0	38.5	88.0	99.8	198.1	112.8	70.8	28.3	1.5	2.0	1.8	654.8
1999/2000	12.8	52.5	47.8	175.8	151.3	157.3	177.8	40.0	17.0	0.3	5.6	3.4	841.8
MEDIA	17.8	38.3	43.2	83.2	121.8	124.5	138.4	51.8	13.7	5.3	5.8	7.9	649.4
MAX	45.2	101.4	87.6	175.8	213.6	242.8	301.3	83.2	65.3	33.0	49.2	20.7	808.4
MIN	2.5	5.9	12.5	30.2	50.5	45.8	54.2	21.9	0.5	0.1	0.0	0.4	383.8
DES.VEST.	10.1	21.8	17.1	35.8	42.4	49.8	45.9	18.3	11.8	8.3	8.4	5.1	127.9

Fuente: Estudio Hidrológico realizado por INRENA, en la cuenca del río Cañete (2001)

Cuadro 34

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (DE REFERENCIA - ETo) TOTAL MEDIA MENSUAL (mm/mes)

Cuenca del Río Cañete

AREA DE LA CUENCA HUMEDA: 4830.91 Km2

AREA DE LA CUENCA TOTAL (SOCS): 600.11 Km2

METODO DE ESTIMACION (ETo): TANQUE EVAPORIMETRO (Clase A)

AÑO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	TOTAL
1983/1984	----	---	—	—	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	101.9	—
1984/1985	86.0	90.6	86.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	101.9	915.2
1985/1986	98.0	90.6	88.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.9	79.0	89.9	97.9	101.9	915.2
1986/1987	86.0	90.6	86.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	101.9	915.2
1987/1988	86.0	90.6	86.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	101.9	915.2
1988/1989	98.0	90.6	88.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.9	79.0	89.9	97.9	101.9	915.2
1989/1990	86.0	90.6	86.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	101.9	915.2
1990/1991	86.0	90.6	86.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	101.9	915.2
1991/1992	86.0	90.6	86.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	101.9	915.2
1992/1993	86.0	90.6	86.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	101.9	915.2
1993/1994	86.0	90.6	86.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	101.9	915.2
1994/1995	98.0	90.6	88.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.9	79.0	89.9	97.9	101.9	915.2
1995/1996	86.0	90.6	86.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	101.9	915.2
1996/1997	86.0	90.6	86.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	101.9	915.2
1997/1998	98.0	90.6	88.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.9	79.0	89.9	97.9	101.9	915.2
1998/1999	86.0	90.6	86.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	101.9	915.2
1999/2000	86.0	90.6	86.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	101.9	915.2
MEDIA	86.0	90.6	86.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	102.0	915.2
MAX	98.0	90.6	88.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.9	79.0	89.9	97.9	102.0	915.2
MIN	86.0	90.6	86.3	75.8	53.5	41.4	44.0	58.0	78.0	88.0	87.9	102.0	915.2
DES.VEST.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Estudio Hidrológico realizado por INRENA, en la cuenca del río Cañete (2001)

Cuadro 35

GENERACION DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES [m³/s] - Cuenca Río Cúcuta / Estación Imperial-Socsi

MODELO MATEMATICO DETERMINISTICO -TEMEZ-

AREA DE LA CUENCA HUMEDA : 4830.91 Km²
 AREA DE LA CUENCA TOTAL (SOCSI) 5800.11 Km²

AÑO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	TOTAL
1963/1964	—	—	—	—	40.60	124.37	142.48	56.81	25.58	21.76	18.41	15.53	—
1964/1965	13.21	12.14	11.78	23.47	43.04	230.02	87.65	28.65	24.00	20.32	17.18	14.51	43.83
1965/1966	12.40	11.30	10.14	33.22	88.36	71.33	124.50	35.66	25.76	21.81	18.45	15.66	38.04
1966/1967	14.20	61.34	22.13	83.78	177.67	382.23	148.08	38.30	32.48	27.63	23.28	18.88	78.30
1967/1968	17.12	19.99	18.84	18.81	64.05	65.21	78.48	28.81	22.52	18.08	18.12	13.74	31.85
1968/1969	12.58	14.85	15.73	18.83	21.44	51.48	78.13	31.00	21.72	18.38	15.55	13.12	26.17
1969/1970	11.27	17.89	23.34	117.48	229.13	42.24	59.30	42.04	28.83	24.38	20.81	17.38	62.81
1970/1971	18.28	15.50	15.41	38.88	72.48	112.48	213.48	38.77	28.10	24.81	20.82	17.58	51.38
1971/1972	14.86	12.58	10.75	75.48	80.29	63.75	388.17	58.24	30.86	26.18	22.15	18.88	67.88
1972/1973	15.83	18.01	14.97	35.41	129.52	83.15	227.70	79.84	32.85	27.90	23.81	19.92	58.88
1973/1974	17.37	20.81	20.88	78.57	173.84	171.58	148.75	43.25	32.50	27.50	23.28	18.80	84.78
1974/1975	16.86	14.41	14.43	24.66	28.17	88.36	188.47	38.78	27.01	22.82	18.38	16.43	40.34
1975/1976	15.18	14.25	14.71	88.20	177.72	177.74	153.14	38.18	28.82	25.23	21.34	18.02	82.48
1976/1977	15.33	13.02	11.06	13.33	26.74	178.58	135.97	28.17	23.50	18.88	16.82	14.18	41.47
1977/1978	12.07	10.81	15.74	13.08	81.41	88.15	73.91	39.57	24.34	20.85	17.47	14.74	32.48
1978/1979	12.57	20.18	14.32	27.77	23.09	156.83	218.51	31.80	25.88	21.73	18.38	15.51	48.82
1979/1980	13.12	11.11	8.81	8.72	54.28	24.16	87.72	20.54	17.51	14.81	12.61	10.70	23.84
1980/1981	9.09	33.28	32.30	38.71	110.80	198.17	174.43	48.41	32.04	27.10	22.93	19.43	82.22
1981/1982	18.50	14.53	18.80	31.35	71.08	120.07	84.35	37.82	28.91	22.78	19.28	18.25	38.80
1982/1983	13.78	30.81	52.42	26.41	38.74	28.47	152.82	28.33	23.80	20.33	22.16	16.80	38.02
1983/1984	14.38	12.53	11.50	32.85	112.57	288.42	147.28	48.84	44.23	31.19	28.29	22.18	84.42
1984/1985	18.78	17.44	18.41	37.88	76.23	83.42	148.70	80.54	31.28	28.82	22.85	18.32	47.84
1985/1986	16.35	14.58	14.01	23.78	112.31	184.84	128.78	53.38	30.78	26.18	22.16	18.70	53.81
1986/1987	17.20	28.98	18.73	88.28	207.10	78.42	43.38	29.02	24.88	20.88	17.85	15.17	47.58
1987/1988	12.84	11.21	14.00	24.08	136.26	118.46	172.15	51.15	28.84	25.25	21.36	18.02	52.87
1988/1989	15.28	13.04	13.89	99.00	145.59	113.21	198.15	37.81	29.97	25.38	21.45	18.27	80.73
1989/1990	15.75	14.24	18.56	28.05	82.40	38.23	84.81	38.22	24.22	20.82	17.50	14.79	28.85
1990/1991	13.24	13.21	20.45	48.56	73.76	88.37	125.81	47.47	28.52	25.11	21.25	17.83	44.52
1991/1992	15.18	15.12	14.31	18.03	33.47	24.45	54.93	21.87	18.05	15.27	12.92	10.90	21.19
1992/1993	8.24	18.42	13.74	27.25	80.42	140.17	155.51	55.23	28.78	25.27	21.38	18.05	48.37
1993/1994	15.40	16.88	28.43	68.84	135.36	263.67	182.68	45.76	33.64	28.58	24.18	20.44	72.06
1994/1995	21.58	20.78	19.40	27.45	86.84	53.81	102.79	72.18	28.31	24.79	20.97	17.88	38.81
1995/1996	15.20	14.54	14.37	28.83	151.34	128.75	78.78	37.70	27.43	23.20	18.83	16.57	48.23
1996/1997	14.10	12.80	11.58	38.58	87.88	114.10	88.19	31.30	29.32	18.72	18.88	14.13	35.04
1997/1998	12.82	12.59	25.38	138.31	158.48	131.13	134.88	44.11	31.73	28.84	22.71	19.18	83.18
1998/1999	16.25	14.35	14.47	27.72	64.36	232.12	106.02	54.56	30.73	26.06	22.05	18.60	52.27
1999/2000	15.78	19.85	19.22	150.08	198.90	177.48	208.47	42.08	33.11	28.11	23.78	20.08	72.74
MEDIA	14.76	17.34	17.74	45.41	96.89	125.04	138.64	42.28	28.07	23.82	20.13	18.97	48.74
MAX	21.56	51.34	52.43	150.08	228.13	332.23	388.17	79.84	44.23	31.19	26.28	22.18	78.30
MIN	8.08	10.81	8.81	8.72	21.44	24.16	38.18	20.54	17.51	14.81	12.61	10.70	21.18
DES.VEST.	2.54	7.94	7.88	34.80	54.57	75.18	88.85	13.04	4.85	3.74	3.13	2.83	14.48
VOL (MMC)	38.22	46.45	45.88	121.61	258.50	306.10	365.88	108.60	75.18	61.23	53.82	45.44	1,528.25

Cuadro 36

EVAPOTRANSPIRACION REAL TOTAL MEDIA MENSUAL (mm/mes)

Cuenca del Río Cañete

AREA DE LA CUENCA HUMEDA : 4630.91 Km2
 AREA DE LA CUENCA TOTAL (SOCS) : 5800.11 Km2

METODO DE ESTIMACION (ETP) : BALANCE HIDROLOGICO

AÑO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	TOTAL
1983/1984	—	—	—	—	53.5	41.4	44.0	53.2	22.8	1.2	0.0	0.4	—
1984/1985	13.7	25.1	27.3	43.1	44.4	41.4	44.0	32.0	10.2	0.6	6.3	8.4	287.5
1985/1986	15.4	29.8	20.9	48.9	52.7	41.4	44.0	40.7	10.0	1.4	0.8	0.8	300.5
1986/1987	26.2	58.4	37.7	58.1	53.5	41.4	44.0	38.4	12.7	4.0	7.4	8.4	389.2
1987/1988	21.8	37.8	36.5	28.4	48.8	41.4	44.0	25.3	8.6	6.1	6.0	16.4	320.8
1988/1989	25.2	35.7	35.4	37.7	34.8	41.1	44.0	37.8	1.7	2.4	3.0	8.5	308.8
1989/1990	18.9	41.3	44.1	85.8	53.5	40.3	41.8	39.3	26.3	0.4	3.6	1.5	374.6
1990/1991	36.0	28.3	30.4	48.8	50.0	41.4	44.0	44.7	3.6	1.7	0.0	8.4	332.0
1991/1992	2.5	9.0	14.7	80.1	52.8	41.4	44.0	54.4	1.5	0.5	8.5	2.0	289.2
1992/1993	10.7	32.0	28.5	48.2	53.5	41.4	44.0	57.3	17.2	0.1	1.2	7.2	342.3
1993/1994	22.3	38.8	37.1	59.1	53.5	41.4	44.0	43.9	9.0	8.4	1.0	19.3	375.2
1994/1995	8.7	13.0	30.2	42.8	38.8	41.4	44.0	48.1	24.8	7.7	5.2	14.0	318.2
1995/1996	27.3	27.8	31.6	57.7	53.5	41.4	44.0	37.5	8.3	6.6	4.8	10.3	352.0
1996/1997	13.8	5.9	12.2	33.0	39.4	41.4	44.0	38.0	8.4	2.3	3.8	2.3	244.3
1997/1998	13.5	19.9	38.8	30.3	52.1	41.4	44.0	41.8	14.0	2.1	1.8	6.7	308.0
1998/1999	14.8	42.8	28.5	44.8	34.8	41.4	44.0	40.2	8.1	8.4	1.8	4.5	313.1
1999/2000	8.0	9.5	20.1	25.7	48.0	32.8	44.0	23.4	7.9	2.5	14.1	6.1	241.9
2000/2001	12.4	53.2	48.5	48.8	53.5	41.4	44.0	48.2	3.0	2.9	5.1	14.5	376.3
1981/1982	8.4	22.4	34.8	48.2	49.8	41.4	44.0	40.1	5.0	3.3	4.8	5.7	305.9
1982/1983	12.2	50.0	58.4	38.8	41.0	31.0	44.0	35.5	14.8	11.7	38.2	10.3	383.7
1983/1984	13.8	18.2	23.6	48.1	53.5	41.4	44.0	48.2	43.8	28.0	2.1	4.8	371.7
1984/1985	10.7	28.3	34.0	48.4	50.3	41.4	44.0	51.3	19.4	17.5	12.4	9.2	387.1
1985/1986	8.0	23.9	27.8	42.0	53.5	41.4	44.0	49.8	20.4	8.4	2.5	6.9	328.8
1986/1987	28.1	47.7	30.7	57.4	53.5	41.4	38.2	20.3	7.2	8.0	17.0	8.7	361.1
1987/1988	8.9	19.8	35.2	43.3	53.5	41.4	44.0	50.1	9.8	4.3	0.7	3.2	312.1
1988/1989	10.5	15.0	31.8	63.6	53.5	41.4	44.0	40.6	8.7	7.0	2.3	17.1	335.6
1989/1990	17.5	24.4	39.8	44.0	48.2	38.2	44.0	39.4	15.3	12.3	10.1	10.8	341.8
1990/1991	24.0	29.8	41.8	53.0	50.1	41.4	44.0	48.4	18.3	8.4	4.1	8.9	371.2
1991/1992	8.5	31.0	28.2	36.4	41.2	31.5	43.0	26.0	3.7	3.8	7.2	7.8	270.5
1992/1993	10.2	41.9	34.5	45.2	51.8	41.4	44.0	51.2	14.7	3.3	7.5	10.2	355.8
1993/1994	15.3	34.9	47.0	57.5	53.5	41.4	44.0	48.1	17.2	8.8	4.8	12.2	382.5
1994/1995	36.4	35.3	32.6	41.8	48.8	40.2	44.0	51.8	8.0	0.8	5.8	1.1	346.3
1995/1996	18.3	28.5	30.1	45.3	53.5	41.4	44.0	39.8	5.5	0.2	0.3	9.3	315.9
1996/1997	13.8	25.1	21.8	48.7	52.5	41.4	38.5	34.0	7.8	1.2	0.8	12.8	300.3
1997/1998	23.3	28.4	48.1	88.2	53.6	41.4	44.0	43.7	0.6	2.0	0.2	2.3	354.4
1998/1999	12.2	22.4	30.1	44.8	48.8	41.4	44.0	49.8	24.5	1.5	2.0	1.8	323.2
1999/2000	12.5	38.3	36.6	68.2	53.5	41.4	44.0	42.8	16.1	0.3	5.6	3.4	364.8
MEDIA	16.1	28.7	33.0	47.8	48.8	40.4	43.7	41.8	12.4	5.1	5.4	7.8	332.8
MAX	36.4	68.4	68.4	88.2	53.6	41.4	44.0	67.3	43.8	28.0	38.2	18.3	388.2
MIN	2.5	5.9	12.2	25.7	34.8	31.0	38.2	20.3	0.5	0.1	0.0	0.4	241.9
DES.VEST.	7.8	12.4	8.2	10.7	5.6	2.8	1.1	8.8	8.7	5.6	6.8	4.9	37.8

Fuente: Estudio Hidrológico realizado por INRENA, en la cuenca del río Cañete (2001)

- **9.2 ESTACIÓN DE AFORO (Ref. 8)**

El río Cañete dispone de una estación de aforos localizada 20 metros aguas abajo del puente Socsi, sobre la carretera Cañete-Lunahuaná y aproximadamente a un kilómetro aguas arriba de la bocatoma del canal Nuevo de Imperial. Fue instalada en el año 1964 por el Servicio de Agrometeorología e Hidrología (SAH). En anteriores, las mediciones del caudal del río se realizaban en la llamada “estación Toma Imperial” .

La estación de Socsi se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 76°10' de longitud Oeste y 13°00' de latitud Sur y a una altura de 350 m.s.n.m., dominando un área de cuenca de 5792 Km²., de la que corresponde a la cuenca húmeda o área sobre los 2500 m.s.n.m., una extensión de 4856 Km².

En ella, por lo tanto, se registra en forma completa el rendimiento hídrico total de la cuenca. Además, todas las tomas más importantes que captan las aguas del río para el riego del valle están ubicadas aguas abajo de Socsi, siendo poca significativa el área bajo riego que se encuentra aguas arriba.

Antes de la instalación de la estación Socsi, la Administración de Aguas del Valle controlaba las descargas del río Cañete, en las coordenadas geográficas 76°11' de longitud Sur, a una altura de 250 m.s.n.m., y a pie de la carretera Cañete - Lunahuaná.

El control por la Administración de Aguas se efectuaba, en época de avenidas, en la estructura de captación del Canal Nuevo de Imperial y, en época de estiaje, en secciones de control instaladas en todos los canales que derivan los recursos disponibles del río, a lo largo del curso del mismo, desde el canal Nuevo de Imperial hasta el Océano Pacífico; este sistema de control se estableció en el 1926 y ha seguido funcionando hasta 1964, año en que entra en funcionamiento la estación Socsi.

Actualmente, la Administración de Aguas del Valle sigue efectuando mediciones diarias del caudal del río en la indicada estación, pero sólo en época de estiaje y cuando el total de la descarga del río es captada por las tomas existentes en el valle.

El procedimiento que se sigue es el de sumar los caudales parciales controlados en los siguientes canales o acequias: Acequia Maria Angola, Canal Nuevo de Imperial, Acequia Vieja de Imperial, Acequia San Miguel y Acequia Palo Herbay.

- **ESTACIÓN SOCSI**(Ref. 7, p.144)

La estación limnigráfica de Socsi está localizada 20 metros aguas arriba del puente Socsi, y aproximadamente a un kilómetro aguas arriba de la bocatoma del canal Nuevo Imperial. Fue instalada en el año 1964 por el Servicio de Agrometeorología e Hidrología (SAH) y viene operando desde enero de 1965 a la fecha, actualmente operada por el SENAMHI; geográficamente se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 76°10' de Longitud Sur y a una altitud de 350 m.s.n.m., el área de cuenca o de influencia de la estación es de 5800.1 K m².

En esta estación se registra prácticamente la totalidad del caudal drenado por la cuenca; teniendo además la particularidad de estar ubicada aguas arriba de todas las captaciones de aprovechamiento hídrico del río Cañete. La estación Imperial tiene un periodo común de observaciones de cuarenta meses (enero/65 – abril/68) con la estación Socsi.

Debido a la cercanía con la antigua estación de Imperial y a la particularidad de no existencia en el tramo comprendido de fuentes que aporten o extraigan caudal del río Cañete, es que se asume que ambas como una misma estación. En la actualidad las mediciones son efectuadas controlando la altura de la lámina de agua en un limnómetro ubicado al lado de la caseta limnigráfica (margen derecha aguas arriba del puente) que no cuenta con un limnígrafo; aguas abajo, en el puente Socsi, es aforado el río con un correntómetro Universal en forma diaria en la época de estiaje, con lo cual se calibra continuamente la curva altura-caudal. En época de lluvias se realiza aforos solamente hasta que el caudal lo permita, puesto que la estación no cuenta con los respectivos equipos accesorios (contrapesas, carro huaro, etc).

El emplazamiento de la estación no es el más adecuado, se ubica inmediatamente aguas abajo de una curva, además que en la sección de control se produce acumulación de material sólido de arrastre (margen izquierda). Otro gran inconveniente es que dicha sección no controla el total del ancho del cauce.

Se nombrará como estación Imperial/Socsi a la estación que contiene los registros de caudal del río Cañete entre los periodos 1926–2000, correspondiéndole el periodo de 1926–1964 a la estación Imperial, y el periodo de 1964–2000 a la estación Socsi.