



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**MODELO DE SIMULACIÓN DE ESCORRENTÍA
DIARIA PARA CUENCAS PLUVIALES
SIMED**

**Calibración y Validación en la cuenca
del río Purapel, VII REGIÓN**

INFORME TÉCNICO

REALIZADO POR:

**DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN
DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

S.I.T. N° 93

SEPTIEMBRE 2004

EQUIPO DE TRABAJO

**Dirección General de Aguas
Departamento Estudios y Planificación (DEP)**

Ing. Jefe Depto.: Sr. Carlos Salazar M.

Ing. Jefe Area Modelación: Sra. Ana María Gangas P.

Ing. Civil. Sr. Mauricio Zambrano B.

Ing Civil (E) U. Chile: Miguel Ángel Caro Hernández.

INDICE

1.	Introducción.....	1
2.	Datos de entrada del Modelo.....	3
3.	Archivos de datos.	5
3.1	Archivo de precipitaciones.....	5
3.2	Archivo de Evaporaciones de bandeja.....	14
3.3	Archivo de datos del hidrograma unitario.....	14
3.4	Archivo de distribuciones horarias de lluvia y evaporación.....	19
4.	Condiciones iniciales del modelo SIMED	21
4.1.	Grado de saturación inicial.....	21
4.2.	Flujo subterráneo inicial.....	21
5.	Parámetros de Calibración del modelo SIMED.	22
5.1	Determinación del coeficiente de precipitación, A.	22
5.2	Determinación del coeficiente de evaporación B.....	23
5.3	Determinación de la porosidad efectiva $PorEf$	24
5.4.	Determinación de la altura capilar $Hcap$	24
5.5.	Determinación de la conductividad hidráulica $Khid$	25
5.6.	Determinación de la capacidad de campo Sc , del punto de marchitez permanente S_{min} y del parámetro $Scrit$	25
5.7.	Determinación de la máxima lámina de agua contenida en el suelo saturado H_{max}	28
5.8.	Determinación de la constante de embalse subterráneo K	28
5.9.	Determinación del área de la cuenca.....	33
6.	Calibración.....	34
6.1.	Grado de Saturación inicial.....	37
6.2.	Flujo Subterráneo Inicial.....	52
6.3.	Coeficiente de precipitación A.....	66
6.4.	Coeficiente de evaporación B.....	76
6.5.	Porosidad Efectiva $PorEf$	78
6.6.	Altura Capilar $Hcap$	88
6.7.	Conductividad hidráulica $Khid$	90
6.8.	Capacidad de Campo Sc	105
6.9.	Punto de marchitez permanente S_{min}	115

6.10.	Máxima lámina de agua contenida en el suelo saturado H_{max}	117
6.11.	Constante de embalse subterráneo K	130
6.12.	Resumen	142
6.13.	Calibración final	143
7.	Validación.....	153
8.	Conclusiones.....	154
9.	Recomendaciones y comentarios	158
	Bibliografía.....	160
Anexo A:	Datos de Precipitaciones y caudales, usados para la Modelación de SIMED de Purapel en Nirivilo.	
Anexo B:	Código fuente y funciones del programa para estimar la distribución de lluvia diaria.	

1. Introducción.

El presente trabajo corresponde al informe de práctica profesional en el área de modelación del Departamento de Estudios y Planificación del Ministerio de Obras Públicas y tiene por objetivo presentar la calibración del modelo matemático desarrollado para la simulación de caudales medios diarios en una cuenca de régimen pluvial. La generación de estos caudales medios diarios se realiza a través de un programa computacional desarrollado por el Departamento de Estudios de la DGA a través del asesor Ingeniero civil Sr. Pablo Isensee Martínez en lenguaje *turbo Pascal* y adaptado al lenguaje *Delphi7.0* por el Ingeniero Civil Sr. Mauricio Zambrano Bigiarinni.

El modelo utiliza como datos de entrada la precipitación diaria y evapotranspiración mensual sobre la cuenca, los cuales son convertidos en magnitudes horarias a través de tablas de distribución horarias para la lluvia y evaporación de la cuenca. Además, se requieren un conjunto de parámetros cuyos valores dependen de las propiedades físicas más comunes del suelo. Una descripción detallada del modelo SIMED, donde se explica el funcionamiento, la forma en que se relacionan los distintos parámetros, junto con las ecuaciones que gobiernan los fenómenos físicos involucrados, se encuentra en el informe final del modelo realizado por el consultor ingeniero civil Sr. Pablo Isensee Martínez, para la Dirección General de Aguas (Diciembre, 2003).

Lo anterior hace que el número de parámetros por conocer sea considerablemente menor comparado con otros modelos como por ejemplo el *modelo Sacramento*, el cual es modelo de simulación de caudales medios diarios, realizado en conjunto con el *Federal state river forecast center, National weather service, and the State of California Department of water resources*, la versión original data de 1973.

Para determinar la lluvia efectiva, el modelo calcula en cada intervalo de tiempo la infiltración a través del método de *Green Ampt*. Este método modela la humedad en la zona no saturada a través de ecuaciones diferenciales de fácil integración. Este hecho se traduce en un código más robusto en donde la convergencia para cada intervalo de tiempo está asegurada desde un principio, de manera que no se realizará un análisis de convergencia de la solución entregada por el algoritmo.

Para la calibración del modelo se determina un conjunto de valores válidos para cada uno de los parámetros utilizando información existente para la cuenca en estudio. Luego se realiza un análisis de sensibilidad para cada uno de los parámetros y a continuación se procede a variar los parámetros para su calibración final.

Para establecer los valores adecuados de los parámetros se deben seguir algunos pasos como:

- Establecer los valores iniciales de los parámetros lo más fielmente posible a la realidad del terreno, apoyado con estudios experimentales y técnicos.
- De acuerdo a los estudios anteriores, establecer un rango válido para cada uno de los parámetros.
- Identificar el efecto de cada parámetro sobre el conjunto restante para distintos escenarios.
- Mover los parámetros dentro del rango de validez de cada uno de ellos, para obtener una señal semejante.
- Realizar ajuste final optimizando el valor de los estadísticos de la muestra.

2. Datos de entrada del Modelo.

Para el correcto funcionamiento del modelo, el programa computacional requiere los archivos con los datos de lluvias diarias, de los promedios mensuales de evaporación, de las ordenadas del Hidrograma Unitario y de las distribuciones horarias de lluvias y evaporación.

Junto con los archivos anteriores se deben proporcionar las condiciones iniciales de grado de saturación inicial del suelo y de flujo subterráneo inicial, además del área de la cuenca.

Los anteriores archivos junto con las condiciones iniciales y el área de la cuenca, constituyen los datos fijos, es decir, aquellos datos que no están sujetos a calibración. Sin embargo, como sabemos que los valores actuales de escurrimiento subterráneo y saturación del suelo, y más aún, el tiempo de respuesta de la cuenca frente a distintas situaciones de humedad, dependen de las condiciones antecedentes del suelo, se procede también a variar el grado de saturación inicial y el valor del flujo subterráneo inicial, para cuantificar su efecto en la salida final.

Por otra parte, el programa precisa además de los siguientes parámetros:

A : Coeficiente que multiplica el dato de lluvia con el fin de obtener la lluvia media sobre la cuenca en $^{\circ}/1$.

B : Coeficiente que multiplica el dato de evaporación de bandeja con el fin de obtener la evaporación potencial media sobre la cuenca en $^{\circ}/1$.

PorEf : Porosidad efectiva de la masa de suelo en $^{\circ}/1$.

Hcap : Altura de ascensión capilar de la masa de suelo en *mm*.

Khid : Conductividad hidráulica de la masa de suelo en *mm/h*.

Sc : Grado de humedad correspondiente a la capacidad de campo en $^{\circ}/1$.

Scrit : Grado de humedad crítico bajo el cual la tasa de evapotranspiración real decrece linealmente en $^{\circ}/1$.

S min : Grado de humedad correspondiente al punto de marchitez permanente en $^{\circ}/1$.

Hsuelo : Máxima lámina de agua contenida en el suelo saturado en *mm* .

K : Constante de tiempo de embalse subterráneo en *horas* .

Los parámetros anteriores están sujetos a variación y cuyo proceso involucrado constituye la calibración del modelo pluvial diario.

A continuación se analiza en detalle la obtención de cada uno de estos parámetros y archivos de datos.

3. Archivos de datos.

3.1 Archivo de precipitaciones.

La cuenca del río Purapel posee dos estaciones pluviométricas (Nirivilo y Huerta del Maule) cuyos datos podemos utilizar como datos de entrada para el modelo, sin embargo es necesario realizar un análisis de consistencia de los datos para determinar si existen errores de medición, o tal vez cambios en la metodología de medición o incluso cambios tecnológicos. El análisis arrojará el rango de datos de mayor confiabilidad.

Para este fin se han elegido cuatro estaciones (Pencahue, La Estrella, Gualleco y Tutuven Embalse) que se agregan a las dos anteriores (Nirivilo y Huerta del Maule). Las cuatro primeras, están a una distancia que oscila en torno a los 30 Km. a excepción de Tutuven Embalse que se encuentra a 47.2 Km. de Nirivilo pero que posee un régimen pluviométrico similar a las anteriores, pues, se ubica en la masa montañosa costera casi en la misma posición relativa con respecto a la línea del litoral, al igual que las estaciones La Estrella, Pencahue, Nirivilo y Gualleco. Estas cinco estaciones se ubican en una línea casi paralela al litoral, y además a una altura similar.

Las estaciones de mayor longitud de estadísticas (mas de 40 años) son Nirivilo y Gualleco. Las otras, tienen longitud de estadística significativamente inferior, por lo que se hace necesario agregar una tercera estación con longitud de datos similar a Nirivilo y Gualleco con el fin de aprovechar los datos para generar las tendencias pluviométricas adecuadas. Se ha elegido la estación Melozal a pesar que se interna a comienzos del valle, recordemos que las precipitaciones en esta zona son de origen ciclónico y la orografía del sector juega un papel importante, pues, se incrementa la precipitación desde el litoral aumentando progresivamente en la masa montañosa costera disminuyendo posteriormente cuando se llega al valle, en donde se produce una sombra pluvial y luego aumenta en dirección de la cordillera de Los Andes. Por lo tanto Melozal parece una estación muy atractiva por la longitud de su estadística pero sólo lo sabremos cuando veamos su efecto en el patrón.

El Cuadro 3.1-1 muestra un resumen de la información obtenida del Banco Nacional de Aguas (B.N.A).

La Figura 3.1-1 muestra la ubicación de las estaciones.

Se han elegido tres estaciones base para conformar el patrón considerando la abundante información disponible y la aceptable cercanía relativa entre ellas. Cabe notar que las estaciones Nirivilo y Gualleco tienen régimen pluviométrico similar, sin embargo se ubica en la sombra pluvial que se desarrolla al otro lado de la masa montañosa costera a comienzos del valle.

Cuadro 3.1-1
Densidad de información de precipitación media diaria

Estación Meteorológica	Años de información																																																							
	1950										1960										1970										1980										1990										2000					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3		
Nirivilo						1	9				5	C	1	C	1	C	C	C	C	C	C	C	C	2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	4				
Huerta del Maule																																																			4					
Pencahue																																																			4					
Melozal	8	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	1	C	1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	3					
La Estrella																																																			2	3				
Gualleco											8	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	4					
Tutuvén Embalse																											4	11	4	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	1	3	C	C	C	C	C	C	2	C	1	C	1	C	C	C	3

Simbología

Números en rojo: indican la cantidad de meses sin información.

Números en azul: indican la cantidad de meses con información incompleta.

Letra C: Indica información anual completa.

Figura 3.1-1



Para rellenar los meses faltantes de las estaciones utilizaremos el promedio ponderado de las precipitaciones de las estaciones base, usando los módulos pluviométricos anuales como factores de ponderación, luego:

$$P_x = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{N_x}{N_a} \cdot P_a + \frac{N_x}{N_b} \cdot P_b \right] \quad (3.1-1)$$

Donde:

P_x : Precipitación a determinar de la estación x .

P_a : Precipitación de la estación a .

P_b : Precipitación de la estación b .

N_x : Módulo pluviométrico de la estación x .

N_a : Módulo pluviométrico de la estación a .

N_b : Módulo pluviométrico de la estación b .

Según “Espildora, (1975) el módulo pluviométrico calculado a través del promedio geométrico es el adecuado dado el régimen orográfico que se tiene en esta zona.

Los módulos pluviométricos obtenidos se muestran en el Cuadro 3.1-2 siguiente:

Cuadro 3.1-2
Módulos pluviométricos.

	Estaciones		
	Gualleco	Nirivilo	Melozal
Pp Normal Anual (mm)	752,0	768,6	712,7

Con estos módulos se rellenan los meses faltantes para las tres estaciones dadas las precipitaciones simultáneas de las otras dos.

Los datos rellenos se muestran en el Cuadro 3.1-3:

Cuadro 3.1-3
Datos rellenados

Año	Gualleco (mm)	Nirivilo (mm)	Melozal (mm)
1962	3,4	Marzo 7,7	11
1965	97	Mayo 111,1	114
1966	12	18	Febrero 14,0
1973	0	Noviembre 0	0
1973	6	Diciembre 4,7	3
1979	Agosto 122,3	116	124,2
1995	0	0	Sep-31 0
1995	0	0	Oct-31 0
1995	0	0	Dic-31 0
1999	29	41	Feb-29 32,7
2001	Nov-22 6,4	6,1	6,5
2001	0	May-05 1,1	2

Con estos datos rellenados se procede a determinar la consistencia del patrón a través de la curva de doble acumulación.

El Cuadro 3.1-4 muestra el promedio de las precipitaciones acumuladas de las estaciones Gualleco y Melozal y las precipitaciones acumuladas de la estación Nirivilo para los años comunes de estadística.

Cuadro 3.1-4
Curva doble acumulada

Años	Pp acumulada Gualleco Melozal <i>mm</i>	Pp acumulada Nirivilo <i>mm</i>
	0	0
2002	1130	1233,1
2001	2191,65	2333,1
2000	3047,55	3195,9
1999	3731,9	3776,3
1998	4056	4134,6
1997	5043,95	5146,5
1996	5459,1	5625,8
1995	6163,95	5827,7
1994	6766,65	6659,4
1993	7481,6	7351,4
1992	8618,1	8551,4
1991	9488,2	9539,9
1990	9920,3	9974
1989	10538,25	10609
1988	11229,6	11344,7
1987	12245,9	12456,5
1986	13338,6	13617
1985	13919,15	14243,5
1984	15070,35	15603,5
1983	15800,85	16416,5
1982	16997,75	17838
1981	17693	18613,5
1980	18749,35	19845,5
1979	19551,8	20690,5
1978	20482,75	21626,5
1977	21379,45	22622
1976	21934,4	23332,5
1975	22727,15	24173,5
1974	23678,3	25109,5
1973	24282,25	25793,2
1972	25666,55	27176,2
1971	26331,8	27750,2
1970	26975,3	28524,7
1969	27654,05	29466,2
1968	28012,05	29787,7
1967	28532,55	30145,2
1966	29454,05	31234,7
1965	30568,3	32066,8
1964	31032,05	32512,8
1963	31921,1	33653,8
1962	32223,55	34103,5

El gráfico 3.1-1 muestra los resultados obtenidos. Se puede notar que la correlación es perfecta hasta el año 1996 en donde se produce un quiebre entre el año 1996 y 1995 para después tomar tendencia única hasta 1962, de manera que podemos pensar que entre 1995 y 1996 hay un posible cambio en la tecnología de los instrumentos o tal vez un cambio en la metodología de medición. Sin embargo al realizar una regresión lineal para los tramos de mayor longitud se puede notar que las pendientes son similares, estos datos se muestran en el cuadro 3.1-5:

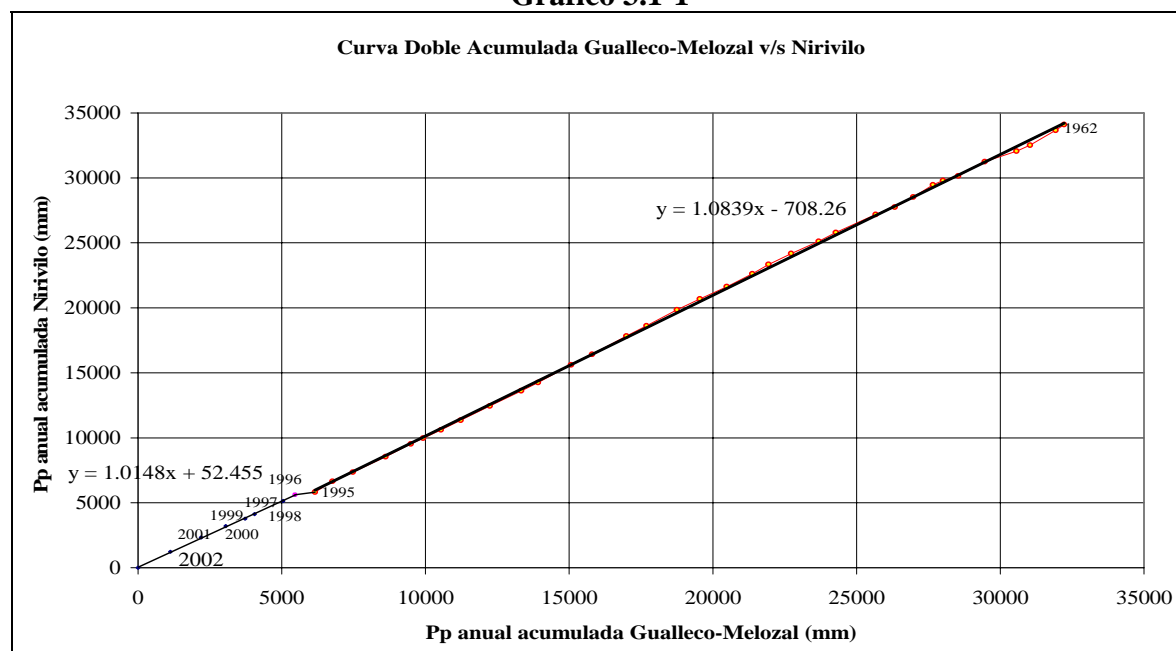
Cuadro 3.1-5
Pendiente curva doble acumulada

Tramo	Pendiente
2002-1996	1.0148
1995-1962	1.0839

La similitud en las pendientes establece necesariamente que las correcciones a los datos estadísticos para formar el patrón serán leves (recordemos que las pendientes son los factores de ponderación de los datos para el ajuste final).

Debido a lo anterior parece conveniente usar para la calibración y validación del modelo el tramo entre los años 1996-2002, sin embargo podemos notar que entre los años con estadística completa está el año 1982, el cual fue un año muy lluvioso en todo el país, sería por tanto muy interesante, incluirlo en la calibración.

Gráfico 3.1-1



El año hidrológico para esta región comienza en Abril, los datos de lluvia para el año 1982 se presentan en el cuadro 3.1-6 y para el año 1999 se presentan en el cuadro 3.1-7

Cuadro 3.1-6
Precipitaciones diarias Purapel en Nirivilo 1982

Cuenca Purapel en Nirivilo Lluvias diarias observados (mm).Fuente BNA.													
Año	día	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1982	1	0.00	0.00	0.00	10.00	4.00	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	2	0.00	0.00	43.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	3	0.00	0.00	0.00	12.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	4	0.00	0.00	29.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	5	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	6	0.00	33.00	9.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	7	0.00	66.00	34.00	0.00	0.00	21.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	8	0.00	76.00	14.00	2.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	9	0.00	3.50	2.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	10	4.00	70.00	10.00	8.00	15.00	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	11	0.00	45.00	60.00	0.00	70.00	38.00	0.00	0.00	0.00	5.50	0.00	0.00
1982	12	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00
1982	13	0.00	0.00	0.00	38.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	14	0.00	0.00	0.00	85.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	15	2.00	0.00	0.00	31.00	0.00	0.00	14.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	16	0.00	0.00	2.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	17	3.50	0.00	0.00	8.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	18	0.00	5.00	2.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	19	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	2.00	38.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	22	0.00	0.00	28.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00
1982	23	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	13.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00
1982	24	0.00	0.00	30.00	5.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	25	0.00	0.00	25.00	30.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	26	0.00	0.00	0.00	3.00	15.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	27	0.00	0.00	2.00	0.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	0.00	0.00
1982	28	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00
1982	30	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00
1982	31	-1.00	5.00	-1.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	-1.00	0.00

En donde el número -1 se utiliza para rellenar los días faltantes para meses con menos de 31 días.

Cuadro 3.1-7
Precipitaciones diarias Purapel en Nirivilo 1999

Cuenca Purapel en Nirivilo Lluvias diarias observados (mm).Fuente BNA.													
Año	día	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1999	1	0.00	0.00	0.00	5.2	0.00	11.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	2	0.00	40.6	0.00	0.00	0.00	10.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	3	0.00	20.9	0.00	0.00	0.00	10.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	5	0.00	0.00	0.00	0.00	5.3	20.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	10	0.00	0.00	16.2	20.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	11	0.00	0.00	7.4	16.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.8	0.00
1999	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	13	0.00	0.00	10.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	14	0.00	0.00	6.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	16	0.00	0.00	8.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	18	0.00	0.00	0.00	0.00	15.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	19	0.00	0.00	0.00	0.00	40.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	20	0.00	0.00	20.5	1.6	11.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	21	0.00	0.00	15.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	23	0.00	0.00	10.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	25	7.9	0.00	25.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.2	0.00
1999	27	0.00	0.00	10.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	28	0.00	0.00	12.6	18.9	6.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	29	0.00	0.00	11.4	0.00	15.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	30	0.00	0.00	15.7	0.00	5.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	-1.00	0.00
1999	31	-1.00	0.00	-1.00	0.00	12.6	-1.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	-1.00	0.00

3.2 Archivo de Evaporaciones de bandeja.

Como no existe una estación meteorológica que mida la variable de evaporación dentro de la cuenca del río Purapel, se utilizaron los datos de evaporación mensual de la estación Tutuven Embalse, la cual se encuentra en similar régimen hidrológico. Los datos obtenidos se muestran en el Cuadro 3.2-1 y 3.2-2:

Cuadro 3.2-1

Cuenca Tutuven Embalse. Evaporación mensual Pan A (mm). Promedio de los evaporímetros.													
AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	SUMA
1982	62.9	29.9	16.6	15.2	27	36	109	148.3	227.6	184.5	166.8	121.1	1144.9

Fuente *Banco Nacional de Aguas (BNA)*.

Cuadro 3.2-2

Cuenca Tutuven Embalse. Evaporación mensual Pan A (mm). Promedio de los evaporímetros.													
AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Suma
1999	90.8	77.6	44.3	37.7	38.9	55.6	67.9	96.6	138.4	198.6	150.4	124.9	1121.7

Fuente *Banco Nacional de Aguas (BNA)*.

3.3 Archivo de datos del hidrograma unitario.

Como no se tienen antecedentes horarios de caudales y precipitaciones, no se puede determinar el hidrograma de la cuenca, en consecuencia se determinará el hidrograma unitario sintético de F. J. Arteaga y A. Benítez dándole la forma de GRAY.

Según F. J. Arteaga y A. Benítez para:

Zona I Aconcagua Maule

$$t_p = 0.386 \cdot \left(\frac{L \cdot L_g}{\sqrt{S}} \right)^{0.397} \quad (3.3-1)$$

Donde:

t_p = Tiempo de retardo de la cuenca o tiempo al peak en horas.

L = Longitud del cauce principal desde el punto de desagüe de la cuenca hasta la divisoria de aguas en Km.

L_g = Distancia desde el desagüe de la cuenca hasta el punto sobre la corriente que sea más cercano al centroide de la cuenca en Km.

S = Pendiente media de la cuenca calculada según la fórmula de *Mociornita*.

Pendiente media de la cuenca: se calcula como la media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales en las que la línea de máxima pendiente es constante. Se define matemáticamente como sigue:

$$S = \frac{h \left(\frac{L_o}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} L_i + \frac{L_n}{2} \right)}{A} \quad (3.3-2)$$

Donde:

S = pendiente media de Mociornita;

h = diferencia de alturas entre curvas de nivel;

L_o = longitud de la curva de nivel de menor cota (m);

$\sum_{i=1}^{n-1} L_i$ = suma de las longitudes de las curvas de nivel intermedias (m);

L_n = longitud de la curva de nivel de mayor cota (m);

A = superficie de la cuenca (m²).

El cuadro 3.3-1 muestra el valor de la pendiente media de Mociornita, junto a la información reunida para su cálculo.

Cuadro 3.3-1

Parámetro	Valor
A [m ²]	276090602
h [m]	25
Lo [m]	8241,429
Ln [m]	229,2439
Suma Li [m]	3037998,724
S	0,27547425
L [Km]	37,2821391
Lg [Km]	16,0731764

Además se tiene que:

$$q_p = 355.2 \cdot t_p^{-1.220} \quad (3.3-3)$$

Donde:

$$q_p = \text{Caudal al peak por } Km^2 \text{ por } mm \text{ de agua caída } ls/seg/Km^2/mm.$$

Por otra parte:

$$Q_p = q_p \cdot A \quad (3.3-4)$$

Donde:

$$Q_p = \text{Caudal al peak por mm de agua caída } m^3/seg/mm.$$

El tiempo base T_b se determina a través de la siguiente expresión:

$$T_b = 2.70 \cdot t_p^{1.104} [hrs] \quad (3.3-5)$$

El tiempo unitario se determina como:

$$t_u = \frac{t_p}{5.5} [hrs] \quad (3.3-6)$$

El tiempo de retardo modificado esta dado por:

$$t_s = \frac{t_u}{2} + t_p [hrs] \quad (3.3-7)$$

El cuadro 3.3.2 muestra los principales valores adoptados para los parámetros necesarios.

Cuadro 3.3-2

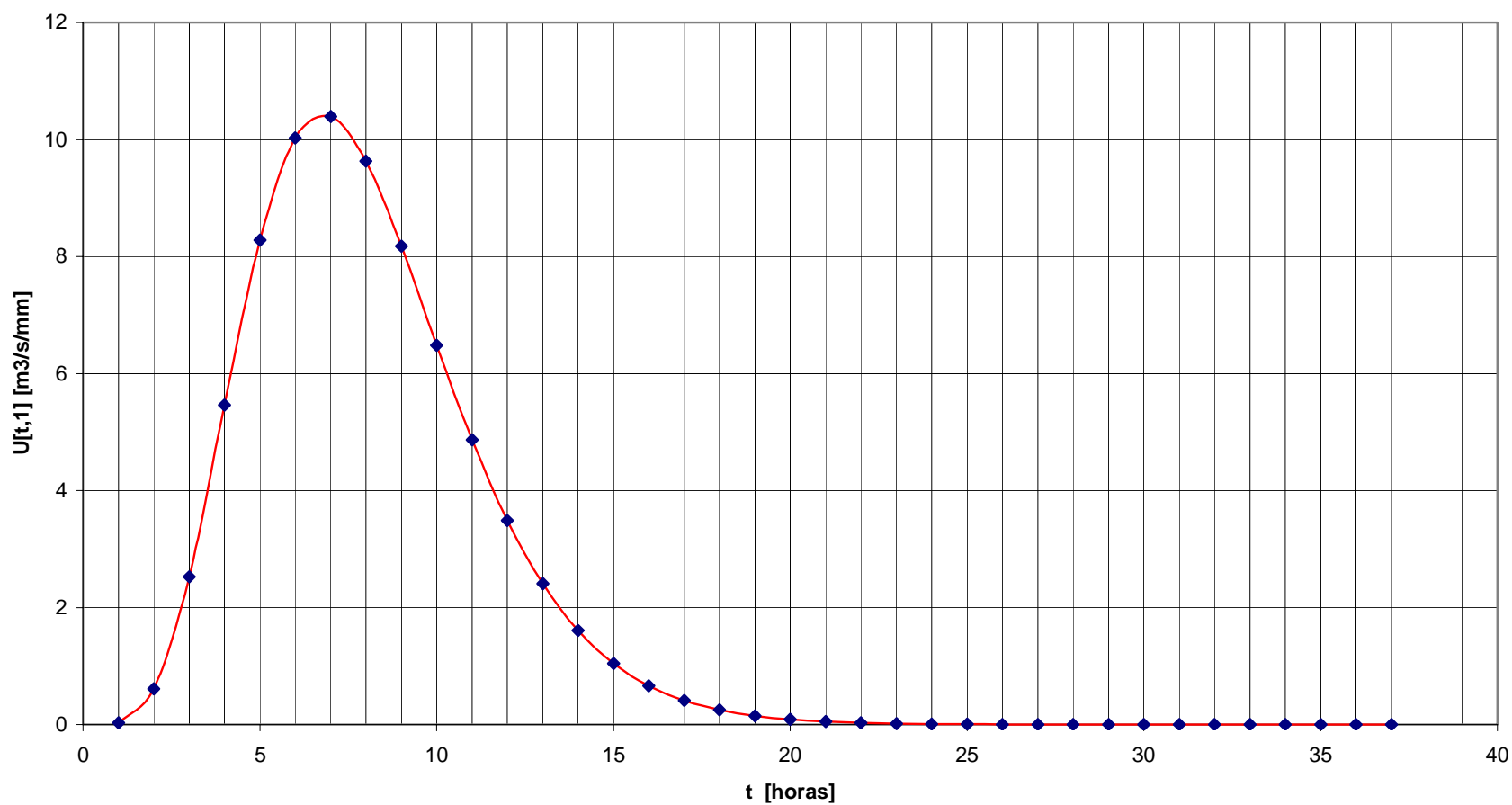
Cuenca	Río Purapel en Nirivilo						
Zona =	1						
$t_p =$	6,316	horas	$t_p' =$	6,278871731	horas	$t_p/\gamma =$	1,141664716
$q_p =$	37,492	lt/s/Km ² /mm	$q_p' =$	37,762	lt/s/Km ² /mm	$\gamma =$	5,499751058
$Q_p =$	10,351	m ³ /s/mm	$Q_p' =$	10,4257910149	m ³ /s/mm	$q =$	6,499751058
$T_b =$	20,656	horas	$T_b' =$	20,522	horas	$\Gamma(q) =$	2,877568E+02
$t_u =$	1,148	horas	$t_u' =$	1,000	horas	$t_u' =$	1,000
$t_s =$	6,890	horas	$t_s =$	6,779	horas	$t_s =$	6,779

Los datos anteriores generan el siguiente HUS dado en el cuadro 3.3-3 y Gráfico 3.3-1

Cuadro 3.3-3

t horas	U[t, 1.0] m3/s/mm
1	0,03042
2	0,61145
3	2,52622
4	5,46079
5	8,27733
6	10,02354
7	10,39597
8	9,62631
9	8,17409
10	6,48258
11	4,86464
12	3,48764
13	2,40640
14	1,60705
15	1,04346
16	0,66112
17	0,40995
18	0,24941
19	0,14918
20	0,08788
21	0,05106
22	0,02930
23	0,01662
24	0,00933
25	0,00519
26	0,00286
27	0,00156
28	0,00085
29	0,00046
30	0,00024
31	0,00013
32	0,00007
33	0,00004
34	0,00002
35	0,00001

Gráfico 3.3-1
HUS Purapel en Nirivilo



3.4 Archivo de distribuciones horarias de lluvia y evaporación.

Para obtener los valores de las distribuciones de lluvia, se ha generado un programa en *MATLAB* que analiza la estadística de precipitaciones horarias a partir de los datos de pluviógrafos ubicados en la zona.

El programa selecciona el tipo de tormenta, según el siguiente criterio establecido por el trabajo denominado “*Caracterización de condiciones meteorológicas durante eventos de precipitación a la latitud 33° Sur en Chile*”, Cristian Soto T y Ludwig Stöwhas B. Noviembre 2003:

- Lloviznas lluvias inferiores a 1 mm.
- Normales lluvias mayores a 1 mm. e inferiores a 10 mm.
- Intensas lluvias superiores a 10

Luego determina la duración promedio de cada tipo de tormenta y finalmente se determina la distribución promedio de agua caída durante la tormenta y la probabilidad de ocurrencia para una hora determinada del día. El código fuente del programa principal desarrollado con estos fines y sus funciones se encuentra en el ANEXO B.

Debido a que sólo 4 estaciones cuentan con datos horarios de precipitación, se escogió la estación Pencahue por su cercanía con Nirivilo. Esta estación cuenta con estadística revisada desde 1986 hasta 1992 generando 8401 datos válidos para efectuar el análisis. Por otro lado por razones de tiempo no se intentó desarrollar un programa que permita determinar la distribución horaria de la evaporación sobre la cuenca, por tanto se emplean los datos de la memoria de título del ingeniero civil de la Universidad de Chile Sr. Luis Soto Álvarez para los valores de la distribución de la evapotranspiración. La duración de las tormentas se muestra en el cuadro 3.4-1. El cuadro 3.4-2 muestra los resultados de las distribuciones.

Cuadro 3.4-1
Duración de las tormentas

Tormenta	Duración [hrs]
Llovizna	1
Normal	5
Intensa	13

Cuadro 3.4-2
Distribuciones horarias de la lluvia y la evaporación

hora	Yuv d1	Yuv d2	Yuv d3	Evap
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.1837	0.0000	0.0000
7	0.0000	0.2278	0.0000	0.0000
8	0.0000	0.2281	0.0581	0.0000
9	1.0000	0.2139	0.0723	0.0200
10	0.0000	0.1465	0.0878	0.0500
11	0.0000	0.0000	0.0888	0.1000
12	0.0000	0.0000	0.0924	0.1600
13	0.0000	0.0000	0.1067	0.2000
14	0.0000	0.0000	0.0978	0.1800
15	0.0000	0.0000	0.0782	0.1400
16	0.0000	0.0000	0.0754	0.0900
17	0.0000	0.0000	0.0720	0.0500
18	0.0000	0.0000	0.0705	0.0100
19	0.0000	0.0000	0.0564	0.0000
20	0.0000	0.0000	0.0436	0.0000
21	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

4. Condiciones iniciales del modelo SIMED

4.1. Grado de saturación inicial.

El grado de saturación inicial es una condición de borde del modelo, de acuerdo al *Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Maule (prefactibilidad) (CEDEC 1977)*, la serie de suelo de Purapel corresponde a un suelo *Franco arenoso*, debido principalmente a la elevada pendiente promedio de la cuenca ($S=27\%$) y los depósitos aluviales que a través del tiempo generaron la geomorfología presente. En este trabajo se considera que un grado de saturación inicial de 0.03 (3%).

4.2. Flujo subterráneo inicial.

Análogamente y por las mismas razones expuestas en el punto 4.1 se supone un flujo subterráneo inicial de $0.100 \text{ m}^3/\text{seg}$.

5. Parámetros de Calibración del modelo SIMED.

5.1 Determinación del coeficiente de precipitación, A.

En general se cuenta con los valores medidos en alguna estación pluviométrica cercana, de tal forma que estos valores puntuales no tienen porque coincidir con el promedio espacial a nivel de toda la cuenca. Debido a este hecho se puede considerar que:

$$P_M = A \cdot P_E \quad (5.1-1)$$

Donde:

P_M = Precipitación mensual en la zona.

P_E = Precipitación medida en la estación.

A = Coeficiente de precipitación.

De la definición anterior se deduce que el parámetro A se puede determinar como:

$$A = \frac{P_M}{P_E} \quad (5.1-2)$$

Para este fin se utiliza un plano de isoyetas de precipitaciones máximas en 24 horas con periodo de retorno de 100 años facilitado por el ingeniero civil Sr. Pablo Isensee M. este plano está en formato digital de manera que es muy fácil determinar la precipitación media de la cuenca a través de los polígonos de Thiessen usando ArcView. Cabe notar que se debe transformar esta precipitación máxima en 24 horas de periodo de retorno de 100 años en precipitación media mensual, para esto se calcula el factor de conversión realizando un análisis de frecuencia. Este factor normalmente es constante así es que no es necesario su cálculo debido a que se simplifica en la fracción de la ecuación (5.1-2).

El cuadro 5.1-1 muestra los parámetros.

Cuadro 5.1-1

Isoyeta mm	Area encerrada Km2
170	344,35
160-170	121,26
150-160	26,68

$$P_M = \frac{170 \cdot 344.35 + \frac{(160+170)}{2} \cdot 121.26 + \frac{(150+160)}{2} \cdot 26.68}{344.35 + 121.26 + 26.68} = 167.955 \text{ mm}$$

Además $P_E = 177 \text{ mm}$, entonces se tiene que:

$$A = \frac{167.955}{177} = 0.949 \approx 0.95 \quad (\text{valor de inicio para la calibración})$$

5.2 Determinación del coeficiente de evaporación B.

Análogamente la evapotranspiración medida se corrige a través de la siguiente expresión:

$$E_{TP} = B \cdot E_M \quad (5.2.1)$$

Donde:

E_{TP} = Evapotranspiración potencial mensual mm/mes .

E_M = Evaporación medida en el evaporímetro mm/mes .

B = Coeficiente.

De aquí se tiene que el coeficiente B queda determinado por la ecuación (5.2.2).

$$B = \frac{E_{TP}}{E_M} \quad (5.2.2)$$

Para este efecto se dispone del balance hídrico nacional que posee isolíneas de evapotranspiración anual, sin embargo no se cuenta con una estación meteorológica que mida esta variable en la cuenca del río Purapel. Utilizando los datos de evaporación anual de la estación Tutuven embalse para generar el cociente, se tiene que:

$$B = \frac{1138}{1339.9} = 0.85$$

Entonces $B = 0.85$, se utiliza como valor inicial para la calibración.

5.3 Determinación de la porosidad efectiva $PorEf$.

Para determinar la porosidad efectiva del suelo se utilizó la referencia bibliográfica [1], tabla 4.3.1, pagina 115. El cuadro 5.3-1 muestra un resumen de esta información.

De la referencia [7] se infiere que la textura de la serie de suelos de Purapel clasifica como Marga arenosa, de modo que la porosidad efectiva inicial adoptada será de:

$$PorEf = 0.412$$

Cuadro 5.3-1
Parámetros de Infiltración de Green Ampt para varios tipos de suelo

Clase de suelo	Porosidad Efectiva %1	Ascensión Capilar Hcap (cm)	Conductividad Hidráulica K (cm/hr)
Arena	0.417	4.95	11.78
Arena Margosa	0.401	6.13	2.99
Marga Arenosa	0.412	11.01	1.09
Marga	0.434	8.89	0.34
Marga limosa	0.486	16.68	0.65
Marga areno Arcillosa	0.330	21.85	0.15
Marga Arcillosa	0.309	20.88	0.10
Marga Limo Arcillosa	0.432	27.30	0.10
Arcilla Arenosa	0.321	23.90	0.06
Arcilla limosa	0.423	29.22	0.05
Arcilla	0.385	31.63	0.03

5.4. Determinación de la altura capilar $Hcap$.

Análogamente para la determinación de la altura capilar se utiliza el cuadro 5.3-1, y dado que la textura del suelo es Margo arenosa se tiene:

$$Hcap = 110.1 \text{ mm.}$$

5.5. Determinación de la conductividad hidráulica K_{hid} .

También se usa el cuadro 5.3-1 para adoptar el valor de la conductividad hidráulica del suelo, en el caso de Marga arenosa el valor correspondiente de conductividad hidráulica es:

$$K_{hid} = 10.9 \text{ mm/hr}$$

Cabe notar que existe el estudio para la gestión de los recursos hídricos de la cuenca del río Maule, referencia [8], el cual considera varias pruebas de agotamiento para determinar las propiedades elásticas del muchos suelos de la cuenca del río Maule, con el fin de tener un antecedente extra para manejar el rango de validez de la conductividad hidráulica se muestra en el Cuadro 5.5-1 las constantes elásticas determinadas para la cuenca del río Maule.

5.6. Determinación de la capacidad de campo S_{cc} , del punto de marchitez permanente S_{min} y del parámetro S_{crit} .

La capacidad de campo S_{cc} , el punto de marchitez permanente S_{min} y S_{crit} , según la referencia [9], están relacionados a través de la siguiente expresión:

$$S_{crit} = 0.40 \cdot S_{cc} + 0.60 \cdot S_{min} \quad (5.6-1)$$

Luego una vez determinado S_{cc} y S_{min} para el tipo de suelo, S_{crit} queda determinado por la ecuación (5.6-1).

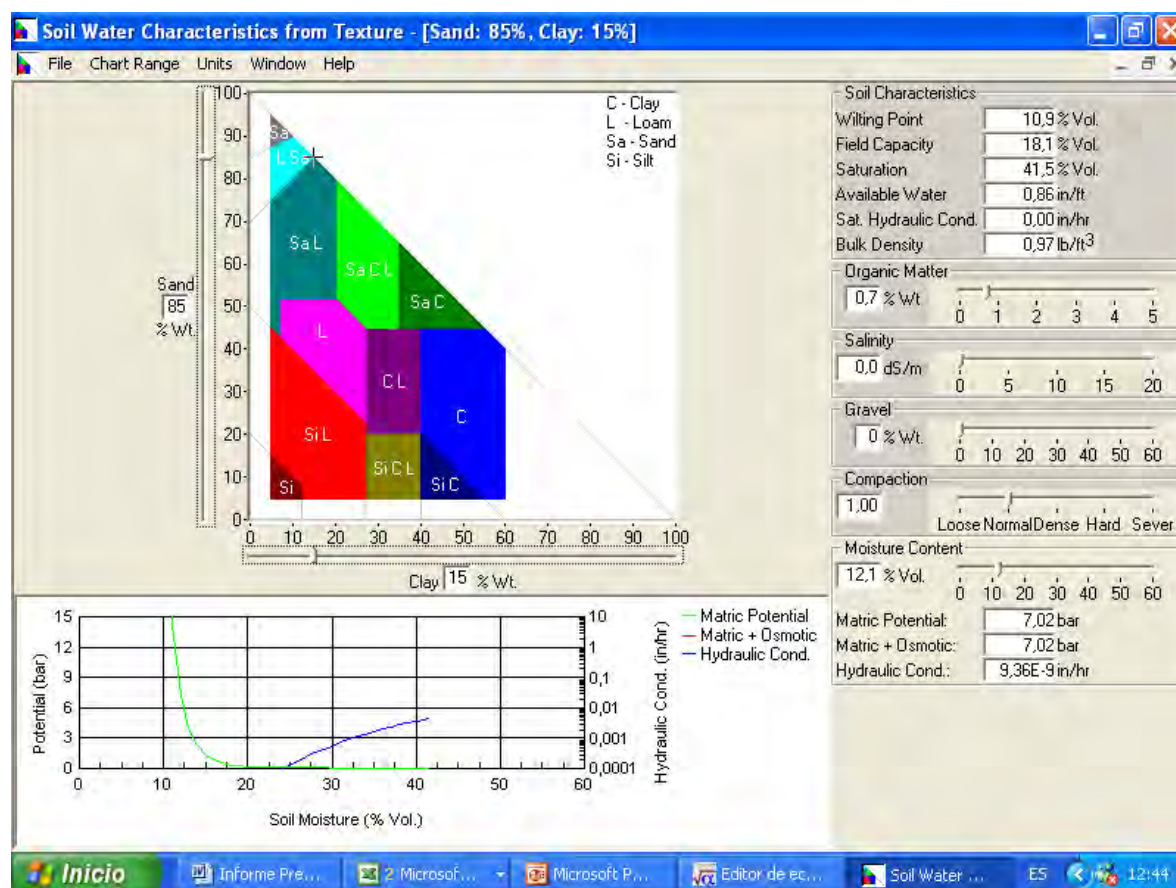
Para determinar S_{cc} y S_{min} se utiliza el programa para Windows del Departamento de Agricultura de Estados Unidos denominado “*Soil Water Characteristics from Textura*”. Los valores de estos parámetros están referidos al volumen de suelo por lo que deben ser divididos por el porcentaje de saturación para convertirlos en grado de saturación.

La figura 5.6-1 muestra una pantalla con los valores de los parámetros para una de las opciones del suelo (“*Franco Arenoso*”).

Cuadro 5.5-1
Constantes elásticas Maule

Lugar	T (m2/s)	T (m2/día)	K (m/s)	K(mm/h)
Pelarco	0,001967	170	0,00005460	196,560
Constitución	0,002853	247	0,00013600	489,600
Piedra del lobo Constitución	0,000762	66	0,00076200	2743,200
Puico alto Comuna empedrado	0,000275	24	0,00004300	154,800
Linares de Perales	0,001305	113	0,00003180	114,480
Pencahue	0,001984	171	0,00006840	246,240
APR Provincia de Talca	0,018395	1589	0,00046000	1656,000
APR Provincia de Talca	0,002400	207	0,00008000	288,000
Villa los Robles	0,002161	187	0,00006970	250,920
APR Provincia de Talca	0,000568	49	0,00001550	55,800
Talpdem	0,000817	71	0,00011300	406,800
APR Provincia de Talca	0,002780	240	0,00005130	184,680
APR VII región	0,007229	625	0,00013800	496,800
A.PR Yervas Buenas	0,005950	514	0,00019700	709,200
APR Retiro	0,000352	30	0,00001760	63,360
Fundo el álamo	0,000102	9	0,00000486	17,496
Bodega	0,001566	135	0,00013000	468,000
San Isidro Comuna de Retiro	0,003940	340	0,00035800	1288,800
Llanos las piedras	0,009987	863	0,00020000	720,000
San Gabriel	0,000454	39	0,00004540	163,440
APR Yervas Buenas	0,005192	449	0,00013700	493,200
APR Los Maitenes	0,002152	186	0,00014300	514,800
Mesamavida	0,000846	73	0,00003850	138,600
Higuerillas comuna de retiro	0,003320	287	0,00011900	428,400
Sta Inés Comuna de Retiro	0,003972	343	0,00008280	298,080
Maitenes Comuna de Retiro	0,001032	89	0,00003330	119,880
Marimaura	0,000735	64	0,00006390	230,040
A.PR San Antonio	0,001161	100	0,00006450	232,200
APR Curtiduría	0,022041	1904	0,00091800	3304,800
A.P.R Paso Nevado, Talca	0,002452	212	0,00006450	232,200
Molina Porvenir	0,025206	2178	0,00315100	11343,600
San Rafael	0,007320	632	0,00061000	2196,000
APR Fundo Sto Tomás Retiro	0,003934	340	0,00028100	1011,600
Fundo el tunal Parral	0,004393	380	0,00011300	406,800
APR Villa Reina	0,009206	795	0,00023000	828,000
San Juan	0,020426	1765	0,00170200	6127,200
Colbun	0,012355	1067	0,00100300	3610,800
			Khid Min	17,496
			Khid Max	11343,600

Figura 5.6-1



De acuerdo al tipo de suelo “*Marga Arenosa*” corresponde al trapecio calipso designado por “*L Sa*” desde aquí se pueden obtener los valores máximos y mínimos para cada uno de los parámetros. El cuadro 5.6-1 muestra estos rangos.

Cuadro 5.6-1

Parámetro	Mínimo	Máximo
FC	13,000	18,100
WP	5,700	10,900
S	35,100	41,500
Scc	0,370	0,436
Smin	0,162	0,263
Scrit	0,287	0,367

5.7. Determinación de la máxima lámina de agua contenida en el suelo saturado H_{\max} .

De acuerdo al tipo de suelo “*Franco arenoso*” de depósito aluvial dominado por la fuerte pendiente media (27%) , según la experiencia del consultor, ingeniero Sr. Pablo Isensee Martínez, esta máxima lámina de agua puede oscilar entre 450 y 800 mm.

5.8. Determinación de la constante de embalse subterráneo K .

Recordemos que el cálculo de la escorrentía subterránea está basado en el supuesto de que el estanque de embalse subterráneo tiene comportamiento lineal, es decir se satisface la siguiente ecuación:

$$S = K \cdot Q \quad (5.8-1)$$

Donde:

S = Almacenamiento en m^3

Q = Caudal en m^3/s

K = Constante de embalse subterráneo *seg*

La ecuación de continuidad exige que el cambio temporal del volumen embalsado esté dado por la diferencia entre lo que entra menos lo que sale, es decir se cumple:

$$\frac{dS}{dt} = P_p(t) - Q(t) \quad (5.8-2)$$

Donde:

$P_p(t)$ = Percolación profunda en m^3/s

$Q(t)$ = Caudal que sale desde el embalse subterráneo en m^3/s

Diferenciando la función de almacenamiento $S = K \cdot Q$ resulta:

$$\frac{dS}{dt} = K \cdot \frac{dQ(t)}{dt} \quad (5.8-3)$$

luego la ecuación (5.8.2) toma la siguiente forma:

$$K \cdot \frac{dQ(t)}{dt} = P_p(t) - Q(t) \quad (5.8-4)$$

Es decir:

$$\frac{dQ(t)}{dt} + \frac{1}{K} \cdot Q(t) = \frac{1}{K} \cdot P_p(t)$$

Esta es una ecuación diferencial de primer orden y puede ser resuelta multiplicando ambos lados por el factor integrante $e^{t/K}$:

$$e^{t/K} \cdot \frac{dQ(t)}{dt} + e^{t/K} \cdot \frac{1}{K} \cdot Q(t) = e^{t/K} \cdot \frac{1}{K} \cdot P_p(t) \quad (5.8-5)$$

La ecuación anterior se puede escribir como:

$$\frac{d(Q(t) \cdot e^{t/K})}{dt} = \frac{1}{K} \cdot e^{t/K} \cdot P_p(t) \quad (5.8-6)$$

Integrando la ecuación (5.8-6) con las condiciones iniciales:

$$Q = Q(t_0) \quad \text{en} \quad t = t_0$$

Se tiene:

$$\int_{Q(t_0)}^{Q(t)} d(Q(t) \cdot e^{t/K}) = \int_{t_0}^t \frac{1}{K} \cdot e^{t/K} \cdot P_p(t) dt \quad (5.8-7)$$

Si la percolación profunda es constante entre t_0 y t entonces se tiene:

$$Q(t) \cdot e^{t/K} - Q(t_0) \cdot e^{t_0/K} = P_p \cdot e^{t/K} - P_p \cdot e^{t_0/K}$$

Reuniendo términos:

$$(Q(t) - P_p) \cdot e^{t/K} = (Q(t_0) - P_p) \cdot e^{t_0/K}$$

$$\ln(Q(t) - P_p) + \frac{t}{K} = \ln(Q(t_0) - P_p) + \frac{t_0}{K}$$

De donde finalmente se obtiene:

$$K = \frac{t - t_0}{\ln\left(\frac{Q(t_0) - P_p}{Q(t) - P_p}\right)} \quad (5.8-8)$$

En tiempos de estiaje la percolación profunda se anula, luego la ecuación (5.8-8) se reduce a la siguiente expresión:

$$K = \frac{t - t_0}{\ln\left(\frac{Q(t_0)}{Q(t)}\right)} \quad (5.8-9)$$

K se puede obtener a partir de la ecuación (5.8-9) si se conocen los caudales instantáneos en tiempos de estiaje para dos instantes de tiempo conocidos:

De acuerdo al cuadro 3.1-6 no se registran precipitaciones desde el 21 de Octubre de 1982 hasta el 10 de Enero de 1983. Con el fin de establecer la condición de percolación profunda nula conviene estudiar la recesión durante el mes de Diciembre de 1982.

Los datos de caudales instantáneos altura limnigráfica y hora para este mes se muestra en el cuadro 5.8-1.

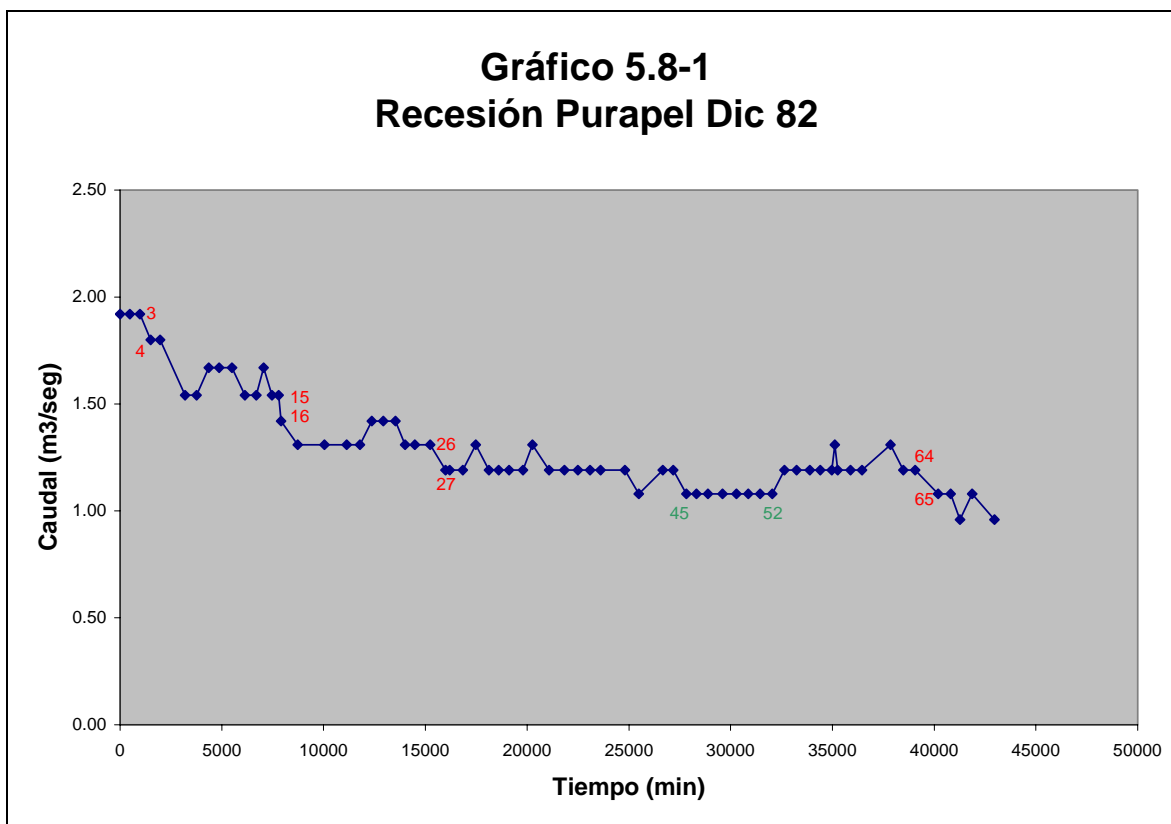
Cuadro 5.8-1
Altura Limnigráfica y Caudal Instantáneo
Purapel en Nirivilo Dic 82

numero orden	Dia	Hora	Altura limnigráfica (m)	Caudal instantáneo (m3/s)
1	1	16:05	1,38	1,92
2	1	23:56	1,38	1,92
3	2	08:18	1,38	1,92
4	2	17:06	1,37	1,8
5	3	00:46	1,37	1,8
6	3	21:27	1,35	1,54
7	4	06:49	1,35	1,54
8	4	16:35	1,36	1,67
9	5	01:12	1,36	1,67
10	5	11:44	1,36	1,67
11	5	22:12	1,35	1,54
12	6	07:34	1,35	1,54
13	7	01:36	1,36	1,67
14	7	08:36	1,35	1,54
15	7	13:53	1,35	1,54
16	7	15:51	1,34	1,42
17	8	05:29	1,33	1,31
18	8	17:37	1,33	1,31
19	9	11:51	1,33	1,31
20	9	22:26	1,33	1,31
21	10	08:15	1,34	1,42

numero orden	Día	Hora	Altura limnigráfica (m)	Caudal instantáneo (m3/s)
22	10	17:37	1,34	1,42
23	11	03:32	1,34	1,42
24	11	11:35	1,33	1,31
25	11	19:36	1,33	1,31
26	12	08:05	1,33	1,31
27	12	20:34	1,32	1,19
28	13	09:07	1,32	1,19
29	13	19:47	1,32	1,19
30	14	06:31	1,33	1,31
31	14	17:23	1,32	1,19
32	15	01:14	1,32	1,19
33	15	09:48	1,32	1,19
34	15	21:11	1,32	1,19
35	16	04:56	1,33	1,31
36	16	18:35	1,32	1,19
37	17	07:07	1,32	1,19
38	17	18:03	1,32	1,19
39	18	04:40	1,32	1,19
40	18	13:20	1,32	1,19
41	19	09:13	1,32	1,19
42	19	20:27	1,31	1,08
43	20	16:11	1,32	1,19
44	21	00:48	1,32	1,19
45	21	11:41	1,31	1,08
46	21	19:44	1,31	1,08
47	22	05:09	1,31	1,08
48	22	17:08	1,31	1,08
49	23	04:28	1,31	1,08
50	23	14:14	1,31	1,08
51	23	23:51	1,31	1,08
52	24	09:52	1,31	1,08
53	24	19:57	1,32	1,19
54	25	05:55	1,32	1,19
55	25	16:35	1,32	1,19
56	26	01:12	1,32	1,19
57	26	10:40	1,32	1,19
58	26	13:05	1,33	1,31
59	26	15:30	1,32	1,19
60	27	02:04	1,32	1,19
61	27	11:17	1,32	1,19
62	28	10:39	1,33	1,31

numero orden	Dia	Hora	Altura limnigráfica (m)	Caudal instantáneo (m3/s)
63	28	21:11	1,32	1,19
64	29	07:03	1,32	1,19
65	30	01:35	1,31	1,08
66	30	12:06	1,31	1,08
67	30	19:36	1,3	0,96
68	31	05:31	1,31	1,08
69	31	23:54	1,3	0,96
MINIMO			1.3	0.96
MAXIMO			1.38	1.92

Graficando la información proporcionada por el cuadro 5.8-1 se obtiene el siguiente gráfico:



Cabe notar que la generación de información se obtiene midiendo la altura limnigráfica dos o tres veces al día. Como se puede apreciar la gráfica muestra algunos peaks anómalos que indican un aumento en el caudal, esto tiene atisbos de rareza debido a que la cuenca se está

vaciando y no existen elementos de control (como embalses) en la zona que aporten caudal a través del riego. Debido al estrecho rango limnigráfico manifestado en el Cuadro 5.8-1 se puede concluir que se trata de un error sistemático producido tal vez durante el cambio del papel del limnigrama, esto se puede apreciar por ejemplo entre los puntos 45 a 52 del Gráfico 5.8-1 en donde la altura limnigráfica asociada es de 1.31 m. mientras que antes y después de este conjunto de medidas las respectivas alturas son de 1.32 m, se deduce que la tendencia de altura debería ser de 1.32 m.

Lo anterior induce a elegir los puntos de recesión con sumo cuidado. Se han elegido los puntos 3-4, 15-16, 26-27 y 64-65 donde se puede establecer claramente la tendencia y la diferencia entre los tiempos es mínima para asegurar nuestra hipótesis de percolación profunda constante. Los puntos elegidos junto con el cálculo de la constante de embalse a través de la fórmula (5.8-9) se muestran en el cuadro 5.8-2.

Cuadro 5.8-2
Constante de embalse

Punto	Tiempo (min)	Caudal (m3/s)	K (hrs)
3	973	1,92	136,4
4	1501	1,8	
15	8508	1,54	24,2
16	8626	1,42	
26	15480	1,31	129,9
27	16229	1,19	
64	39898	1,19	191,1
65	41010	1,08	

De acuerdo a lo mostrado en el cuadro 5.8-2 parece razonable tomar un K de embalse de 7 días es decir $K = 168 \text{ hrs}$.

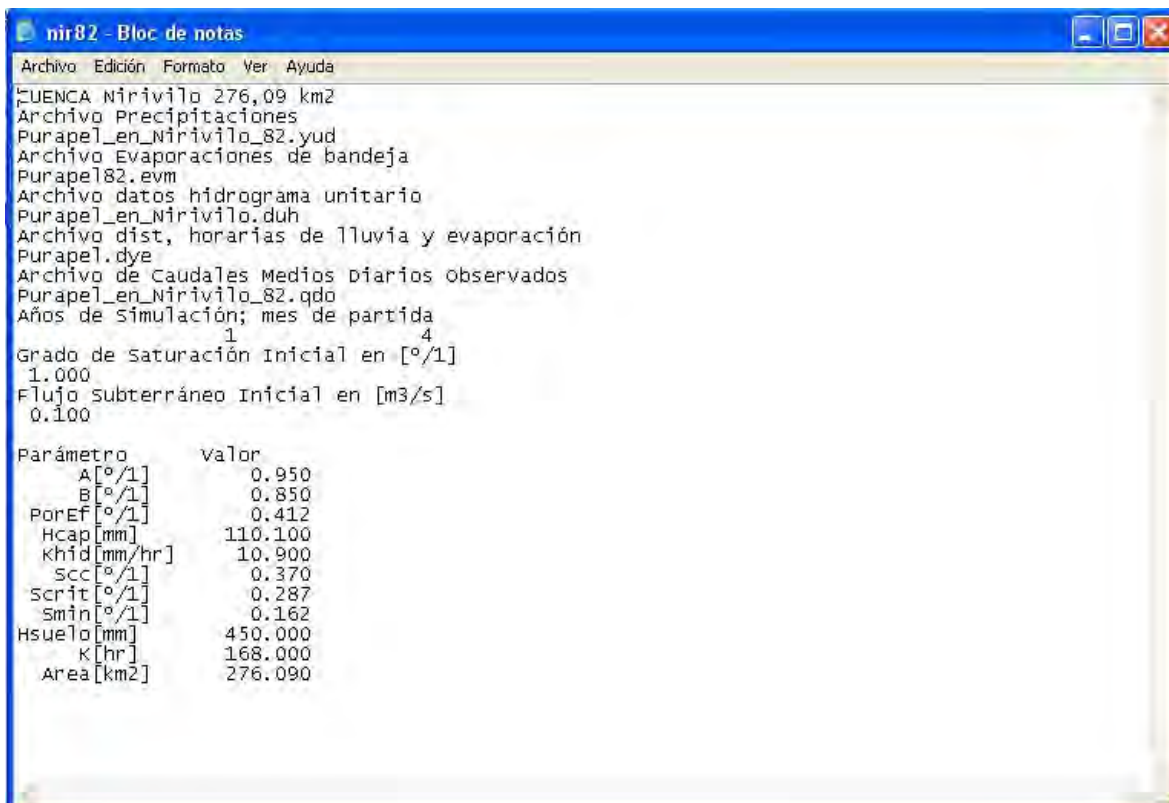
5.9. Determinación del área de la cuenca.

El área de la cuenca se determina a través de las coberturas existentes utilizando ArcView.

$$A = 276.090 \text{ km}^2$$

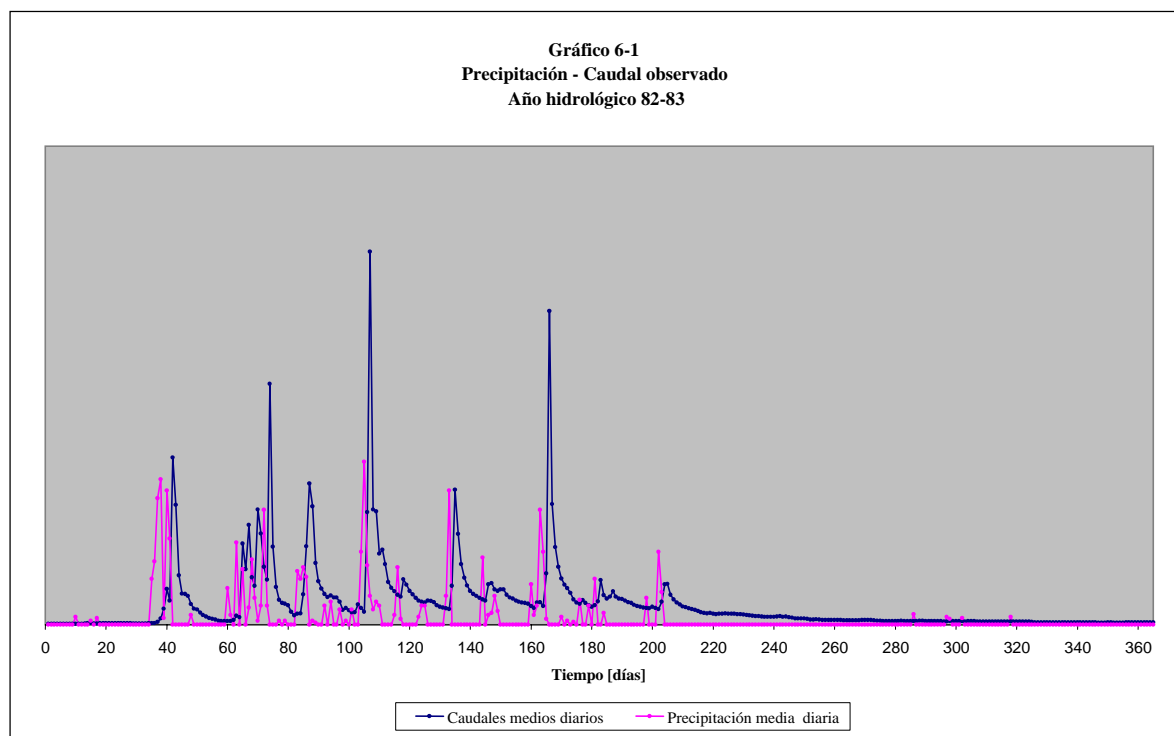
6. Calibración.

Con los datos anteriores y el archivo de caudales observados se puede rellenar el archivo principal para el año 1982.



Con estos datos parte la calibración la cual consiste en mover este conjunto de parámetros adecuadamente y en forma lógica sin perder de vista el aspecto físico de la situación. Finalmente se obtiene otro conjunto de valores tal que hace posible reproducir la señal de caudales medios diarios observados para otro año cualquiera.

Antes de calibrar los parámetros, se grafican los datos de precipitación con los datos de caudales observados para el año 1982 en Nirivilo, con el objetivo de establecer si existe consistencia entre el pulso de precipitación aplicado con la respuesta de caudal observada. Como los mm de precipitación no son comparables con los m^3/seg amplificaremos los datos de caudales observados por 2 para visualizar la señal, estos datos se muestran en el gráfico 6-1.



Como se puede apreciar el pulso de precipitación se corresponde con la señal de caudales. Se puede observar incluso que los peaks de precipitación están adelantados exactamente en 2 días. Por todo lo anterior se puede deducir que los datos no adolecen de errores de gabinete.

Como primer paso se estudiará el comportamiento de todos los parámetros por separado incluyendo las condiciones iniciales. En ocasiones los valores adoptados de los parámetros no serán físicamente posibles pero tendrán el valor de decirnos como reacciona el conjunto de ecuaciones utilizadas por el programa. Después de saber cuales son los límites y los distintos comportamientos de los parámetros se procederá a la realización de la calibración final.

Estimadores de la bondad de ajuste

Para la bondad de las estimaciones llevadas a cabo en la simulación de resultados, fueron evaluados a través de:

Raíz del error cuadrático medio RMS.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - Q_{si})^2}{N}} \left[\frac{m^3}{seg} \right] \quad (6-1)$$

donde:

$$\begin{aligned} Q_{oi} &= \text{Caudal observado } i \text{ } m^3/seg . \\ Q_{si} &= \text{Caudal simulado } i \text{ } m^3/seg . \\ N &= \text{Numero de datos.} \end{aligned}$$

RMS normalizado.

$$RMS \text{ normalizado} = \frac{RMS}{(Q_{s \text{ máx}} - Q_{s \text{ mín}})} \quad (6-2)$$

donde:

$$\begin{aligned} Q_{s \text{ máx}} &= \text{Caudal máximo del periodo simulado } m^3/seg . \\ Q_{s \text{ mín}} &= \text{Caudal mínimo del periodo simulado } m^3/seg . \end{aligned}$$

Error promedio $\mu(error)$

$$\mu(error) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (Q_{oi} - Q_{si}) \left[\frac{m^3}{seg} \right] \quad (6-3)$$

Desviación estándar del error $\sigma(error)$

$$\sigma(error) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N ((Q_{oi} - Q_{si}) - \mu(error))^2} \quad \left[\frac{m^3}{seg} \right] \quad (6-4)$$

Coefficiente de determinación R.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o) \cdot (Q_{si} - \bar{Q}_s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_{si} - \bar{Q}_s)^2}} \quad (6-5)$$

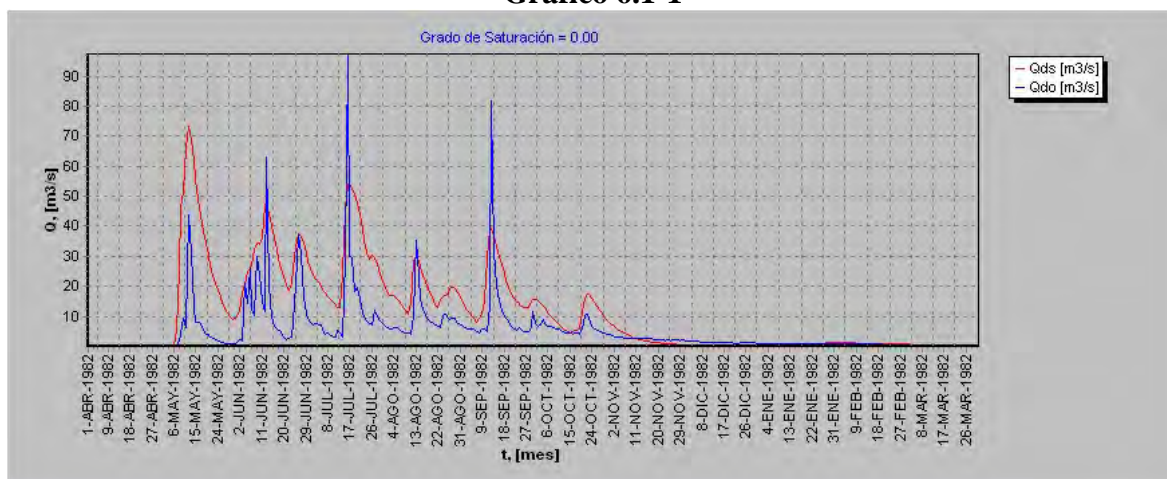
6.1. Grado de Saturación inicial.

Los siguientes gráficos junto a sus respectivas tablas muestran cual es el efecto de variar el grado de saturación inicial del suelo.

Cuadro 6.1-1

Grado de Saturación 0,000			
R	0,970	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,051
RMS	0,640	$\sigma(error)$	10,702

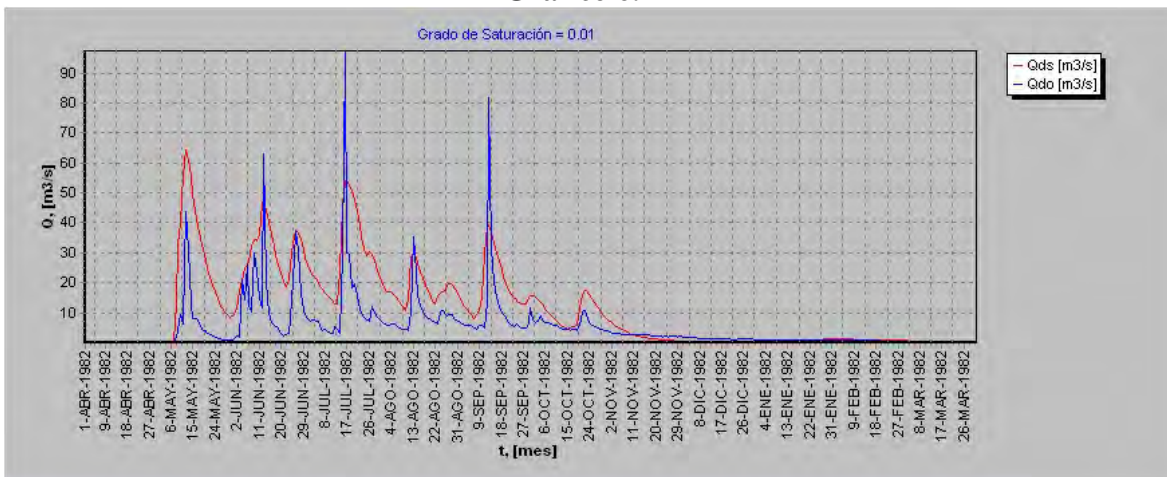
Gráfico 6.1-1



Cuadro 6.1-2

Grado de Saturación 0,010			
R	0,975	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,725
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,926

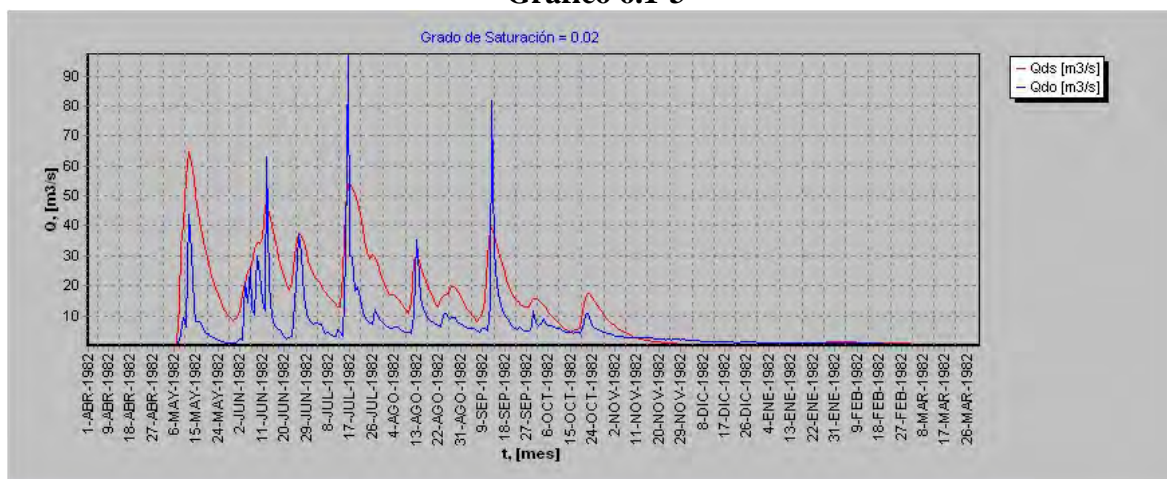
Gráfico 6.1-2



Cuadro 6.1-3

Grado de Saturación 0,020			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,741
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,962

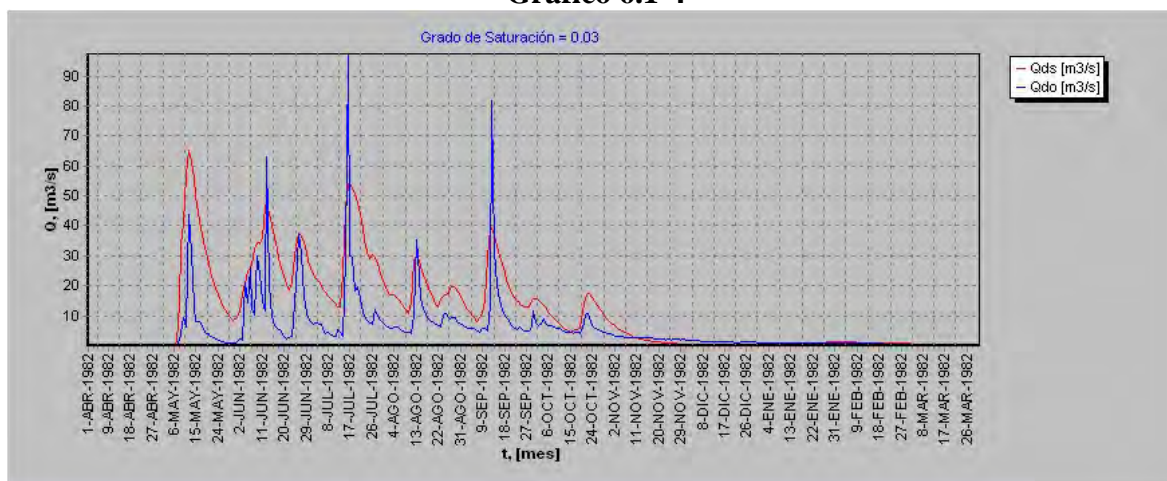
Gráfico 6.1-3



Cuadro 6.1-4

Grado de Saturación 0,030			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,758
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,998

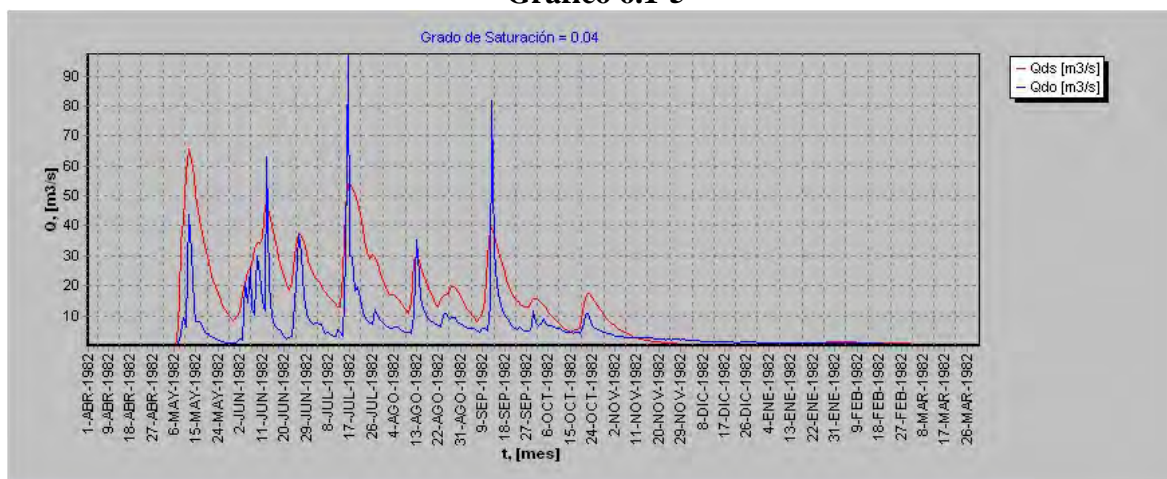
Gráfico 6.1-4



Cuadro 6.1-5

Grado de Saturación 0,040			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,774
RMS	0,610	$\sigma(error)$	10,035

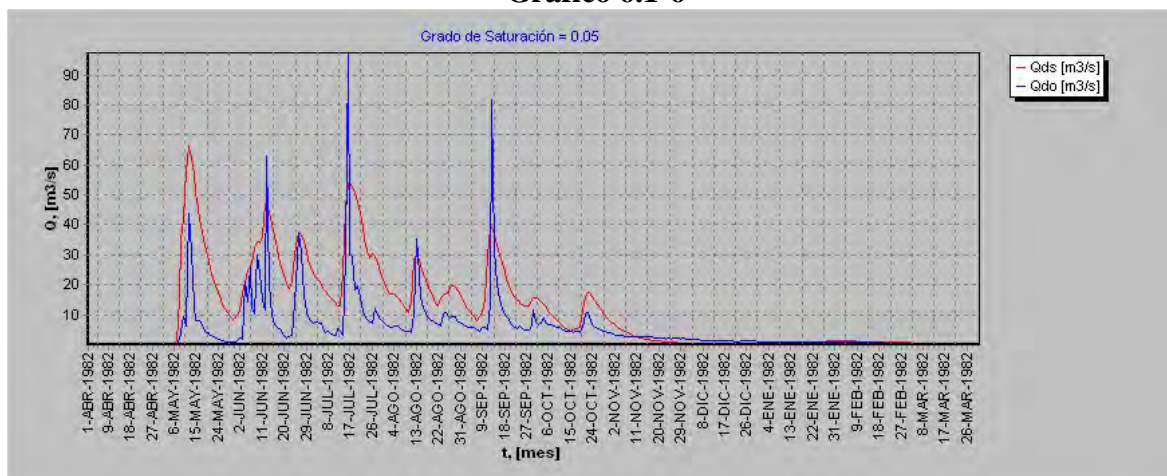
Gráfico 6.1-5



Cuadro 6.1-6

Grado de Saturación 0,050			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,790
RMS	0,610	$\sigma(error)$	10,071

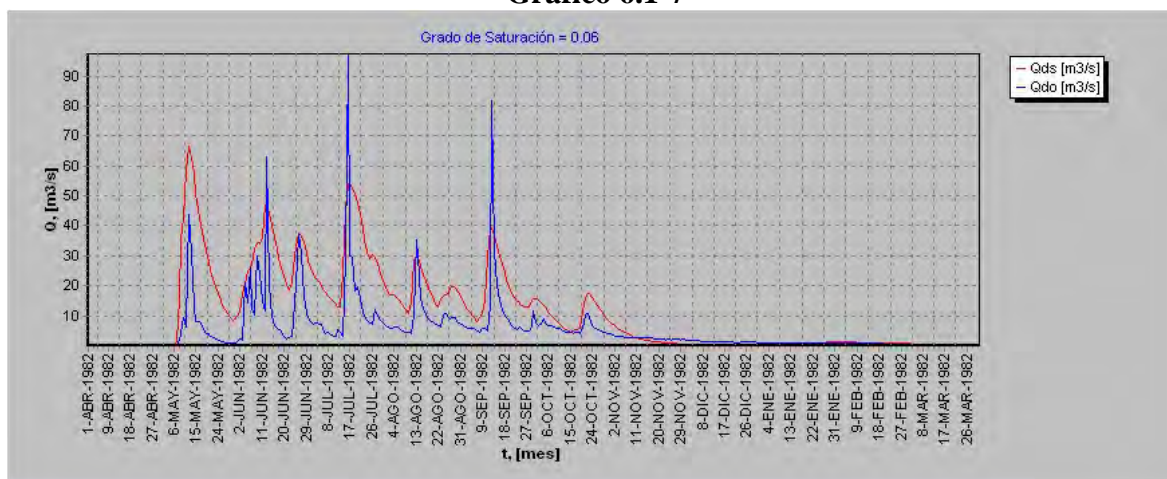
Gráfico 6.1-6



Cuadro 6.1-7

Grado de Saturación 0,060			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,806
RMS	0,610	$\sigma(error)$	10,108

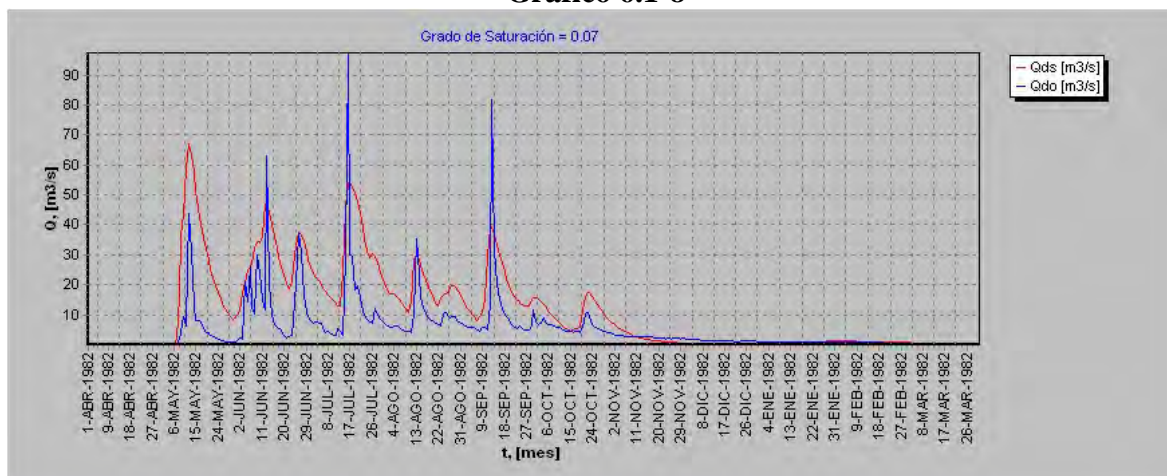
Gráfico 6.1-7



Cuadro 6.1-8

Grado de Saturación 0,070			
R	0,973	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,823
RMS	0,610	$\sigma(error)$	10,146

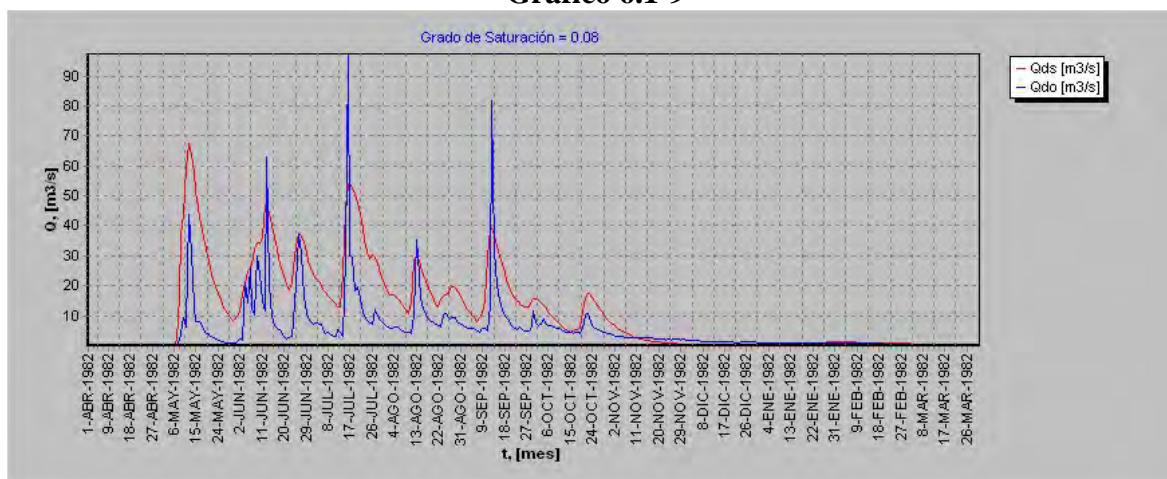
Gráfico 6.1-8



Cuadro 6.1-9

Grado de Saturación 0,080			
R	0,973	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,839
RMS	0,610	$\sigma(error)$	10,184

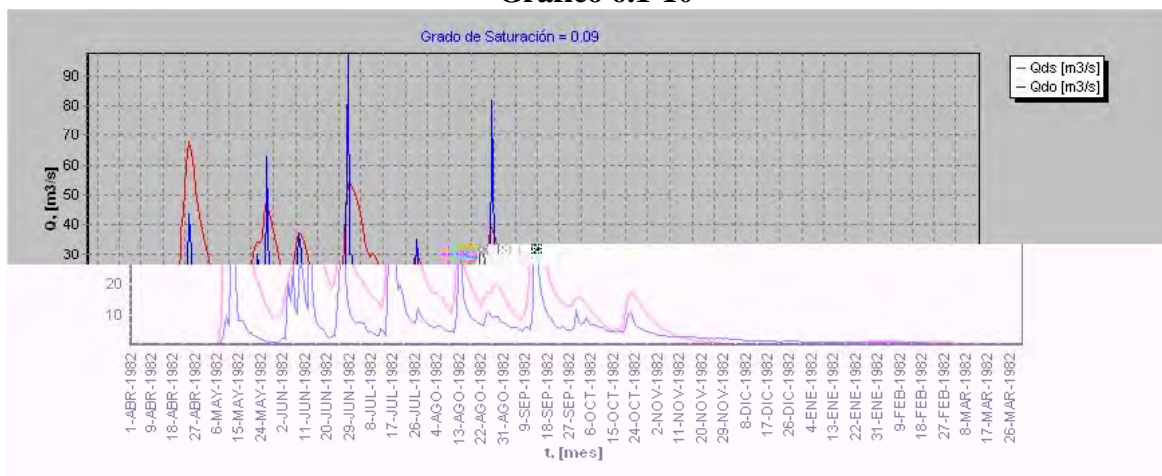
Gráfico 6.1-9



Cuadro 6.1-10

Grado de Saturación 0,090			
R	0,973	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,855
RMS	0,620	$\sigma(error)$	10,222

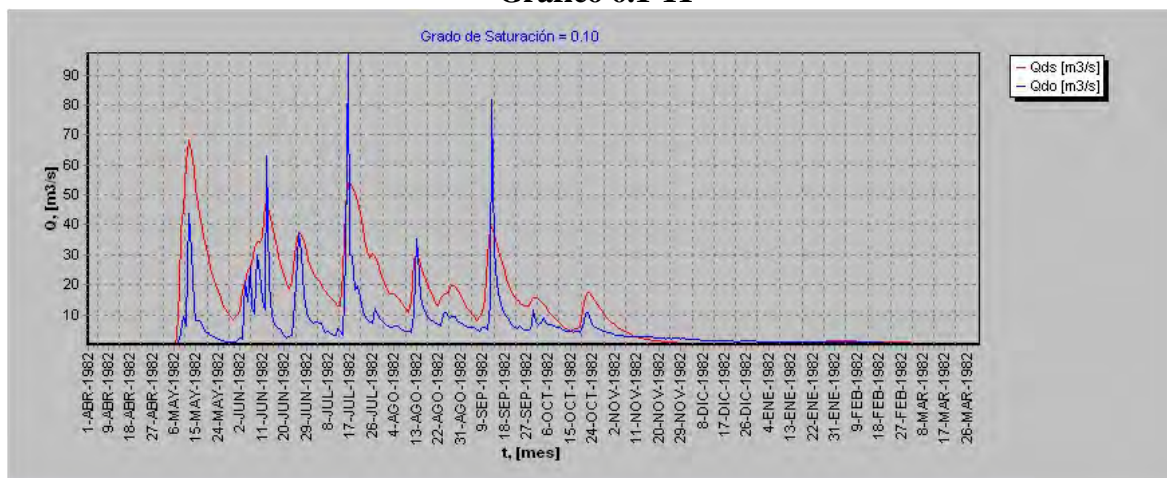
Gráfico 6.1-10



Cuadro 6.1-11

Grado de Saturación 0,100			
R	0,973	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,871
RMS	0,620	$\sigma(error)$	10,260

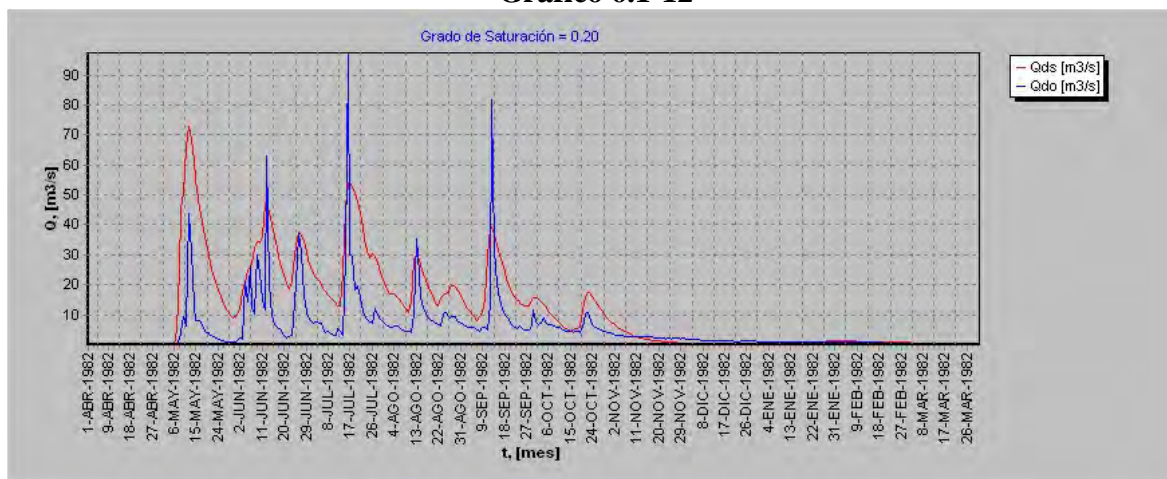
Gráfico 6.1-11



Cuadro 6.1-12

Grado de Saturación 0,200			
R	0,970	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,034
RMS	0,640	$\sigma(error)$	10,657

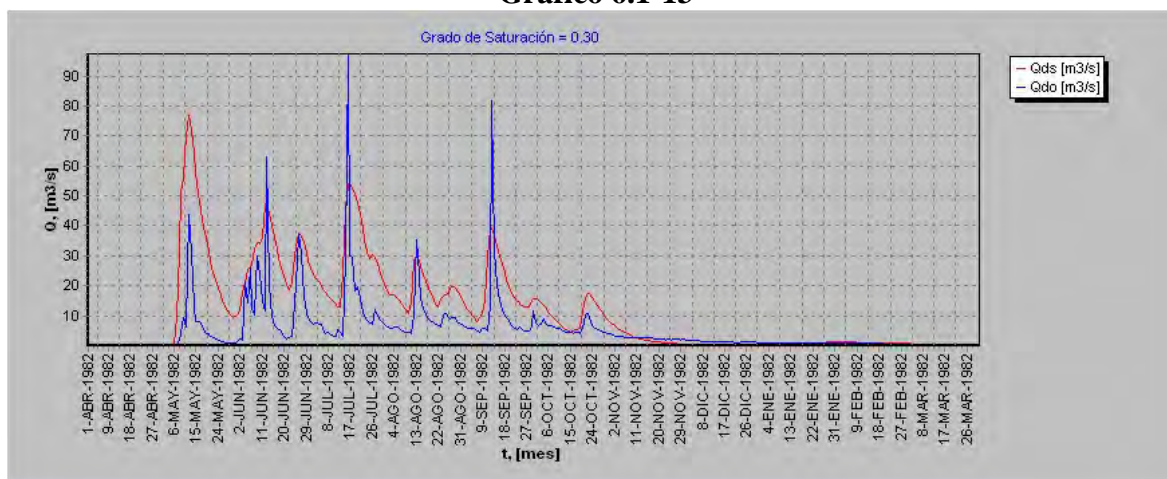
Gráfico 6.1-12



Cuadro 6.1-13

Grado de Saturación 0,300			
R	0,968	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,196
RMS	0,660	$\sigma(error)$	11,072

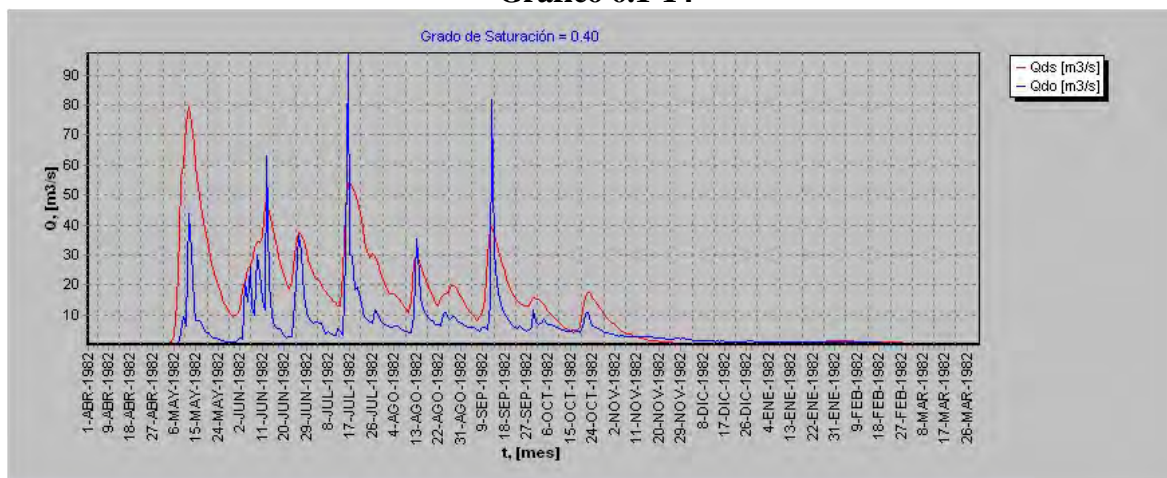
Gráfico 6.1-13



Cuadro 6.1-14

Grado de Saturación 0,400			
R	0,965	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,358
RMS	0,680	$\sigma(error)$	11,375

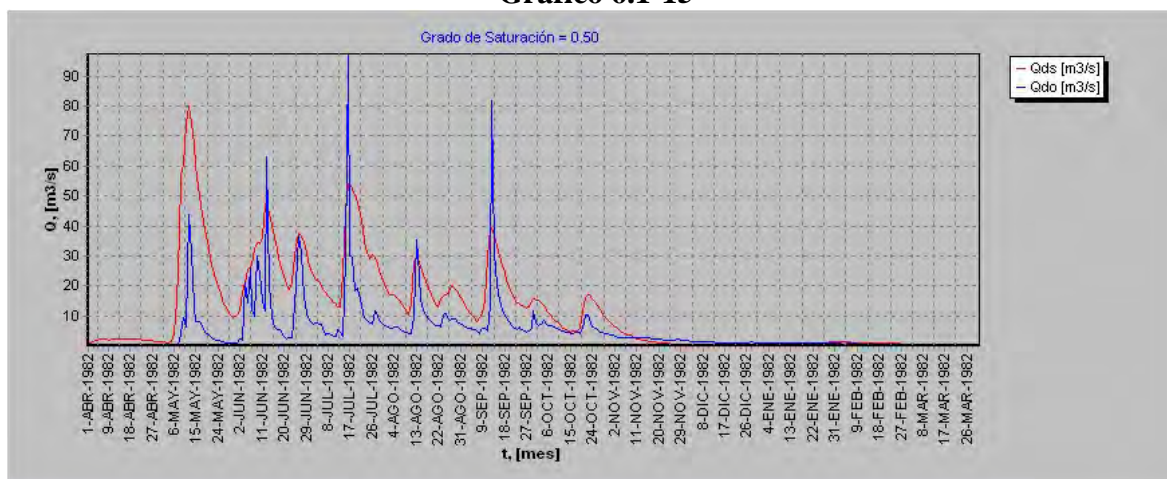
Gráfico 6.1-14



Cuadro 6.1-15

Grado de Saturación 0,500			
R	0,965	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,521
RMS	0,680	$\sigma(error)$	11,358

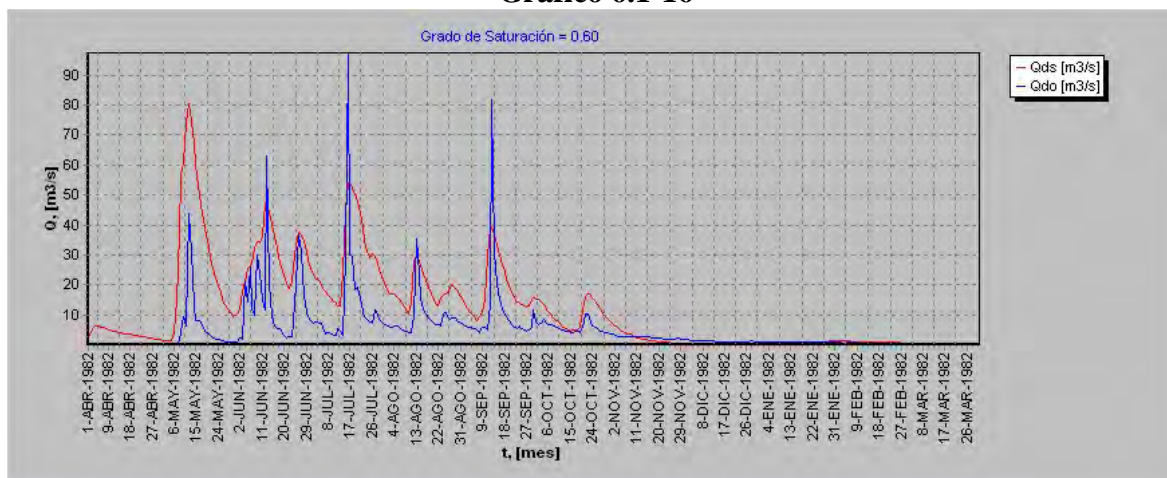
Gráfico 6.1-15



Cuadro 6.1-16

Grado de Saturación 0,600			
R	0,965	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,683
RMS	0,690	$\sigma(error)$	11,319

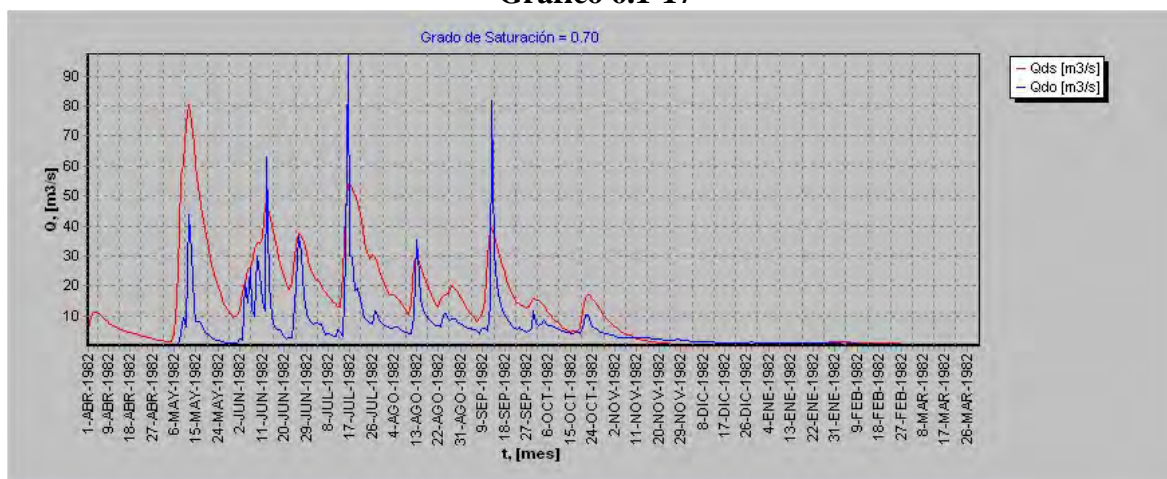
Gráfico 6.1-16



Cuadro 6.1-17

Grado de Saturación 0,700			
R	0,966	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,845
RMS	0,690	$\sigma(error)$	11,317

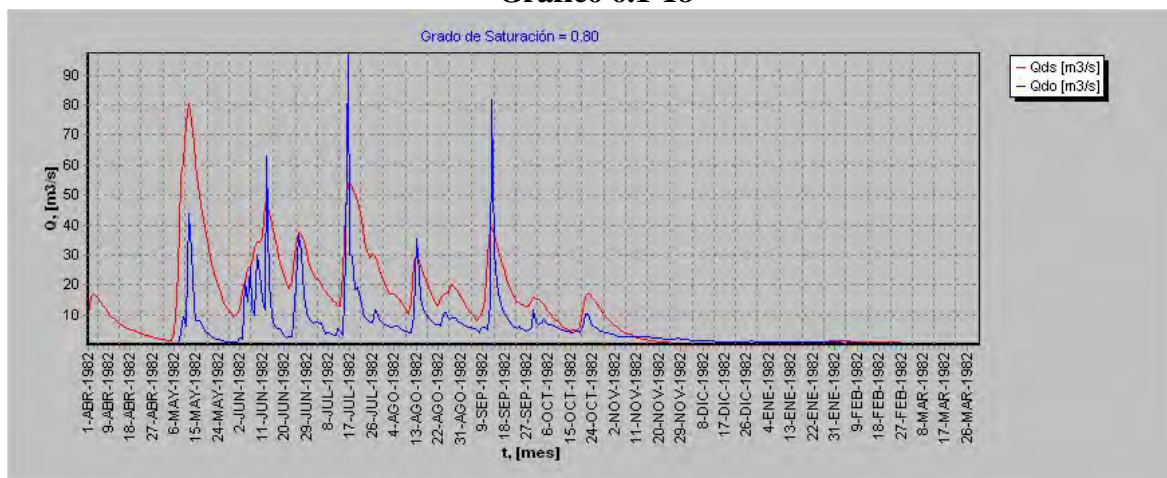
Gráfico 6.1-17



Cuadro 6.1-18

Grado de Saturación 0,800			
R	0,961	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	7,007
RMS	0,700	$\sigma(error)$	11,363

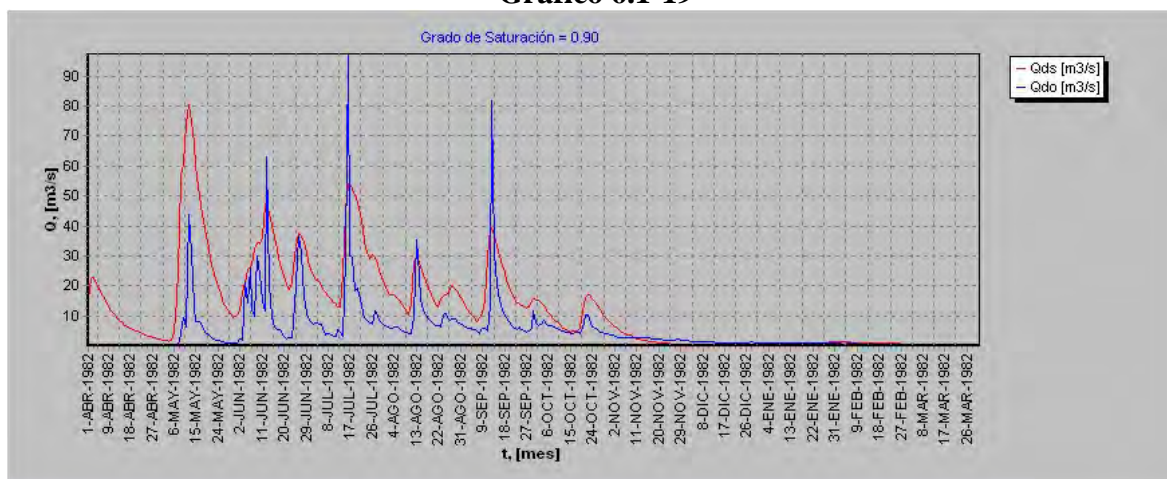
Gráfico 6.1-18



Cuadro 6.1-19

Grado de Saturación 0,900			
R	0,951	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	7,170
RMS	0,710	$\sigma(error)$	11,461

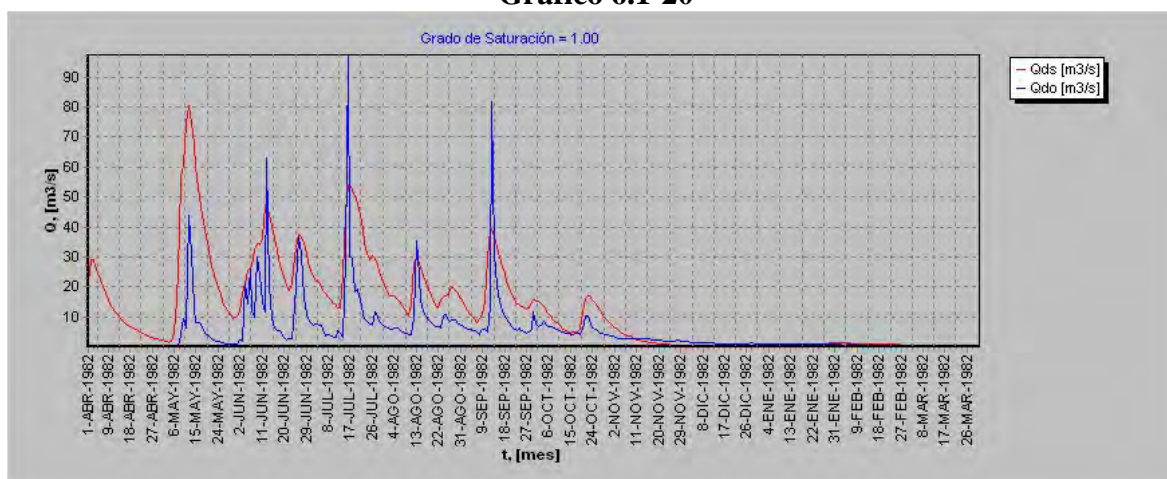
Gráfico 6.1-19



Cuadro 6.1-20

Grado de Saturación 1,000			
R	0,939	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	7,332
RMS	0,720	$\sigma(error)$	11,610

Gráfico 6.1-20



Cuadro 6.1-21

G. Sat	R	RMS	RMS Normalizado	$\mu(error)$	$\sigma(error)$
0,000	0,970	0,640	0,010	6,051	10,702
0,010	0,975	0,600	0,010	5,725	9,926
0,030	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,040	0,974	0,610	0,010	5,774	10,035
0,050	0,974	0,610	0,010	5,790	10,071
0,060	0,974	0,610	0,010	5,806	10,108
0,070	0,973	0,610	0,010	5,823	10,146
0,080	0,973	0,610	0,010	5,839	10,184
0,090	0,973	0,620	0,010	5,855	10,222
0,100	0,973	0,620	0,010	5,871	10,260
0,200	0,970	0,640	0,010	6,034	10,657
0,300	0,968	0,660	0,010	6,196	11,072
0,400	0,965	0,680	0,010	6,358	11,375
0,500	0,965	0,680	0,010	6,521	11,358
0,600	0,965	0,690	0,010	6,683	11,319
0,700	0,966	0,690	0,010	6,845	11,317
0,800	0,961	0,700	0,010	7,007	11,363
0,900	0,951	0,710	0,010	7,170	11,461
1,000	0,939	0,720	0,010	7,332	11,610

Gráfico 6.1-21
Grado de Saturación v/s R

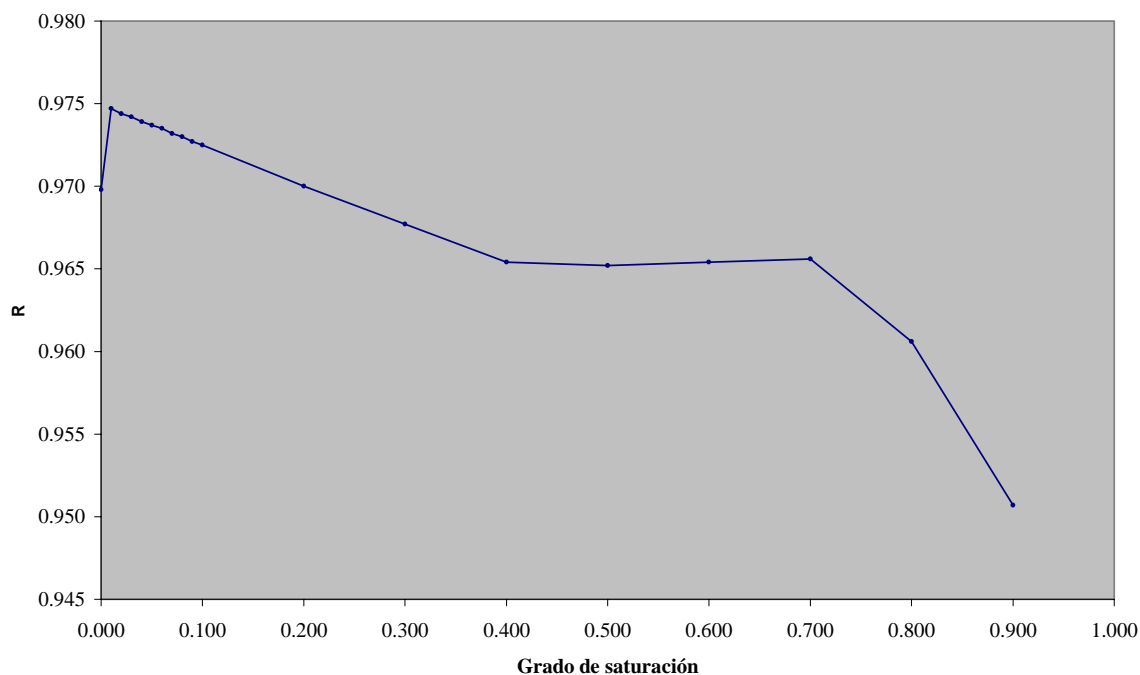


Gráfico 6.1-22
Grado de Saturación v/s RMS

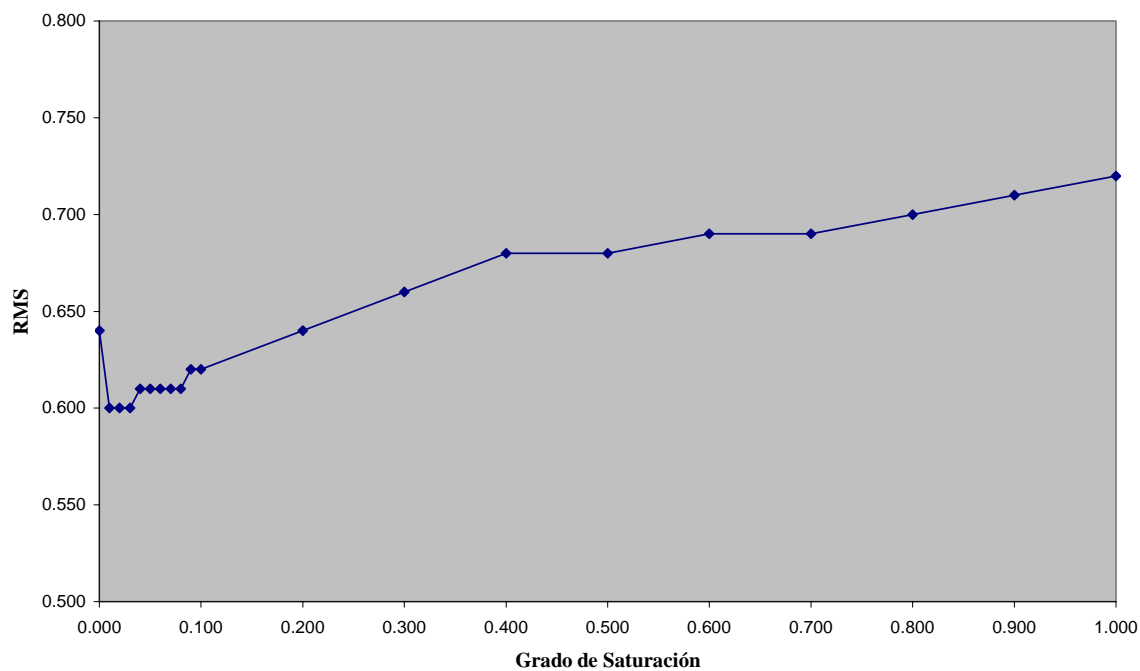


Gráfico 6.1-23
Grado de Saturación v/s RMS Normalizado

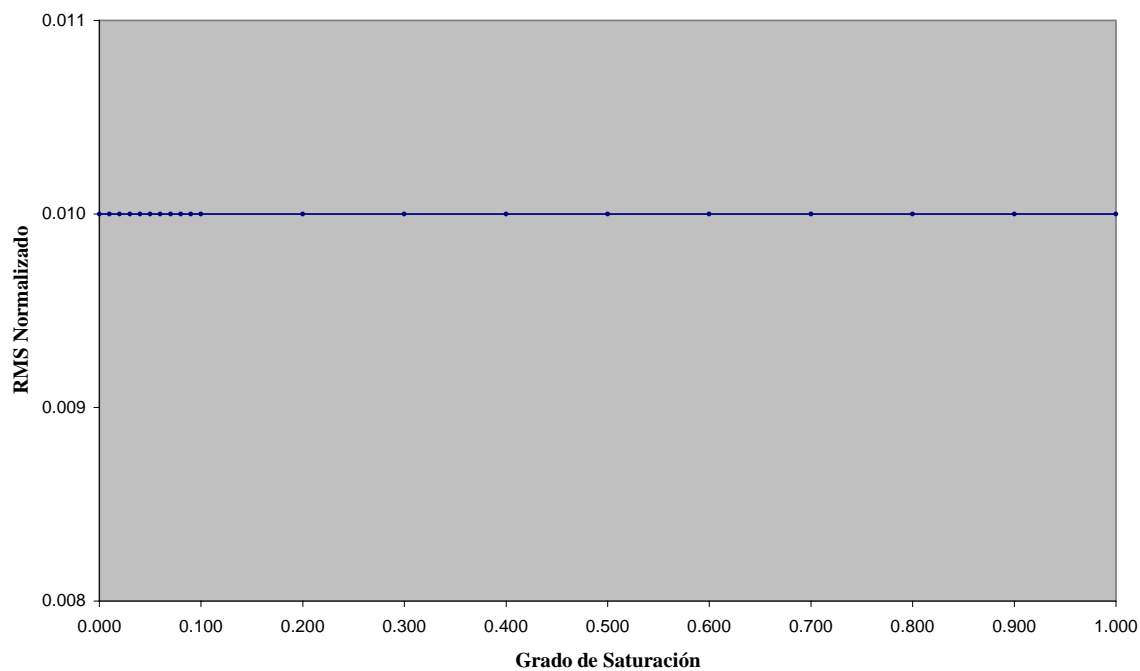


Gráfico 6.1-24
Grado de Saturación v/s Mu(error)

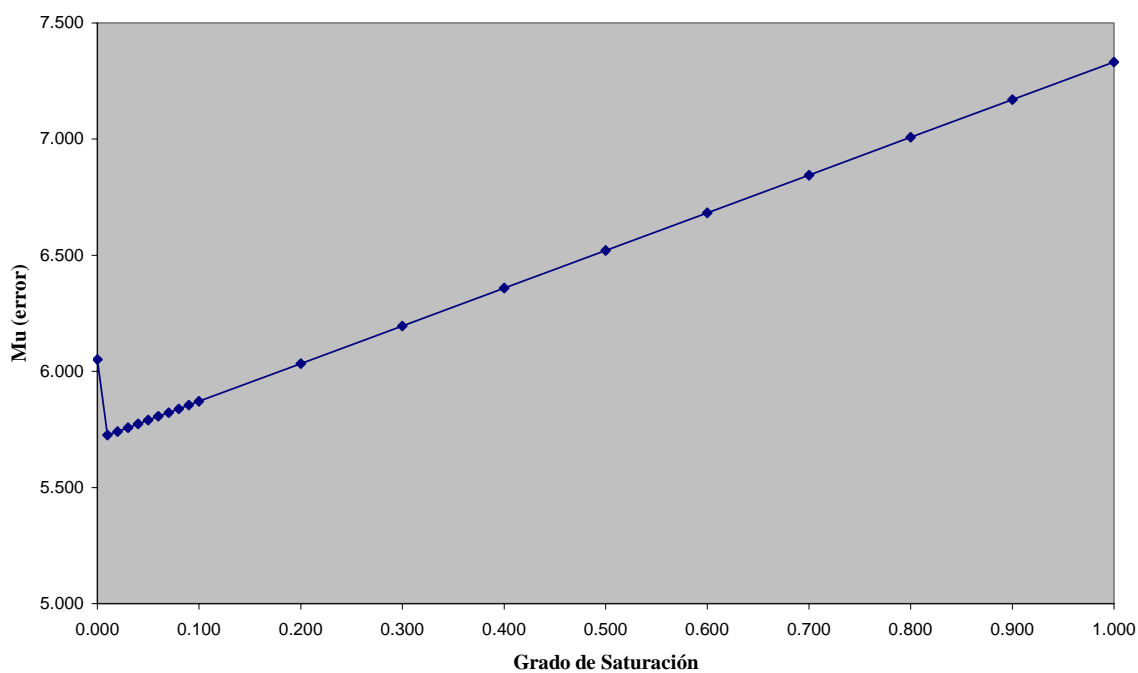


Gráfico 6.1-25
Grado de Saturación v/s Sigma(error)

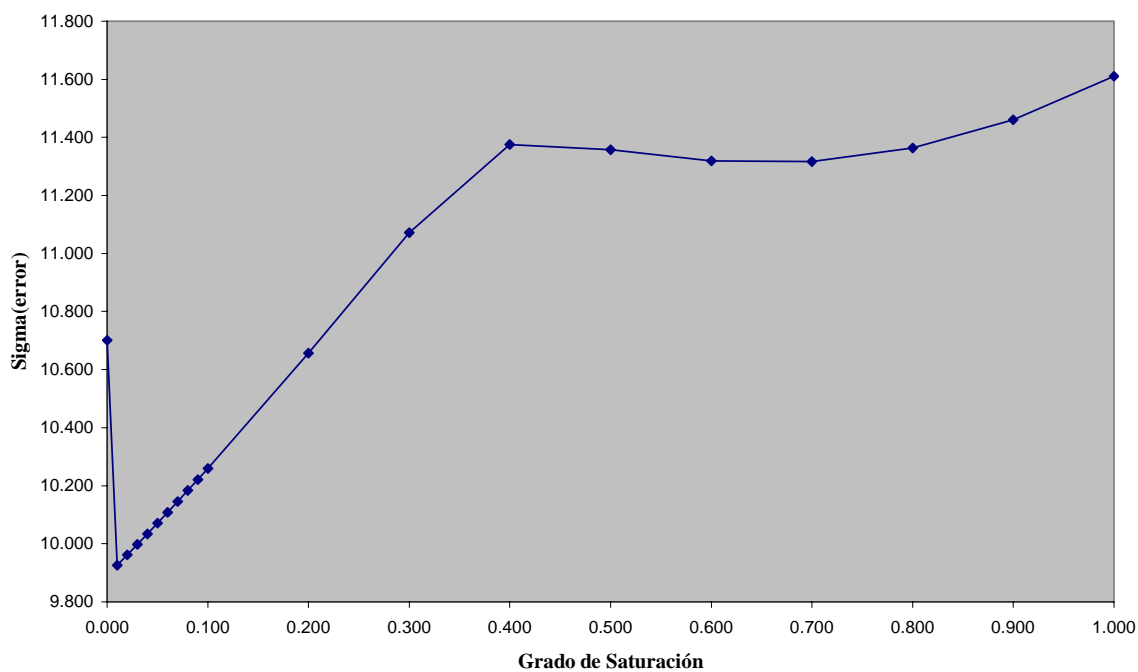
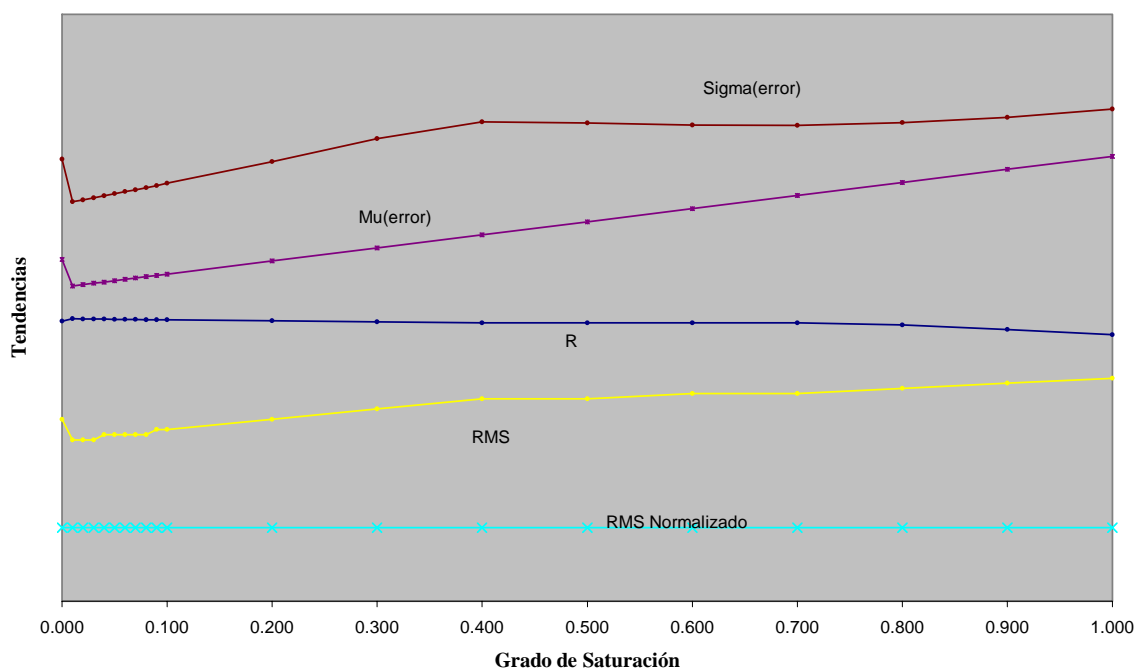


Gráfico 6.1-26
Tendencias de los estadísticos



Como se puede ver al variar el *Grado de saturación inicial* el comienzo de la señal simulada se ve afectado, esto se traduce en un aumento del peak inicial el cual alcanza un valor máximo de $80 \text{ m}^3/\text{seg}$ cuando el grado de saturación está en un 40% luego de esto comienza a aparecer un peak anómalo que crece junto con el grado de saturación, esto trae como consecuencia que el error medio EM crezca positivamente indicando que se esta sobreestimando los valores de caudales simulados. El RMS normalizado permanece constante indicando una variación del 1% con respecto al rango efectivo de la muestra. Por otra parte $R = 0.975$ es el valor máximo de este estadístico el cual se alcanza cuando el grado de saturación inicial es de un 1%. Los demás estadísticos tienen un mínimo en 0.01 (grado de saturación = 1%) y crecen junto con el grado de saturación.

Ciertamente el grado de saturación es una condición inicial inherente al estado del suelo antes de la precipitación, un aumento del grado de saturación tiene como efecto una rápida transformación de la precipitación efectiva en escorrentía directa, sin embargo parece conveniente establecer un grado de saturación inicial inferior al 40% para tener mejor control sobre el principio de la señal simulada.

Cabe notar que el gráfico 6.1-27 resume la tendencia de los distintos estadísticos considerados en el cuadro 6.1-21, para ello se han usado ponderadores para ajustar sus respectivos valores a una escala única.

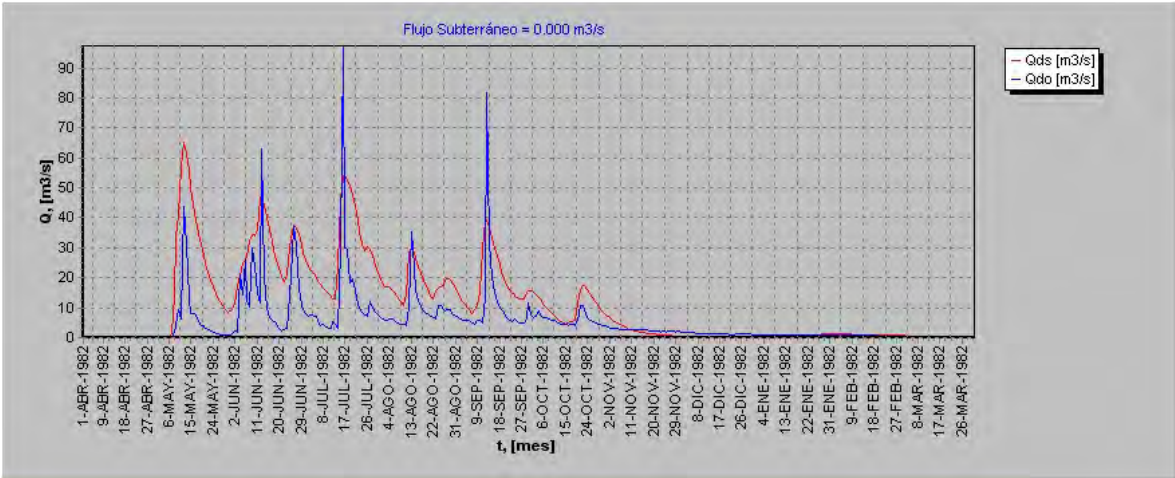
6.2. Flujo Subterráneo Inicial.

Los siguientes gráficos y tablas muestran el efecto sobre la señal simulada y sus estadísticos cuando se varía el *Flujo subterráneo inicial*.

Cuadro 6.2-1

Flujo subterráneo inicial 0,000 m ³ /seg			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,756
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,999

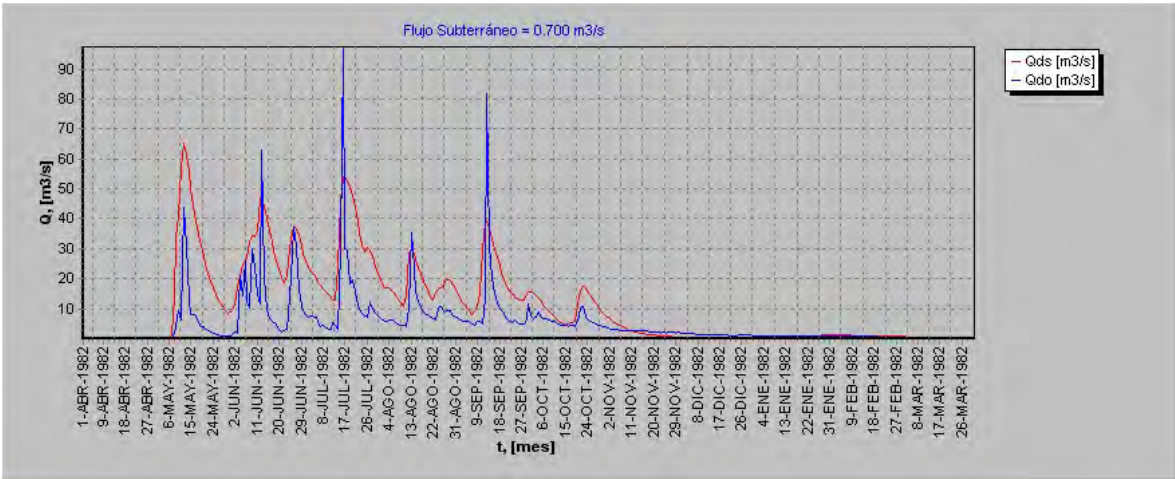
Gráfico 6.2-1



Cuadro 6.2-2

Flujo subterráneo inicial 0,700 m ³ /seg			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,769
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,992

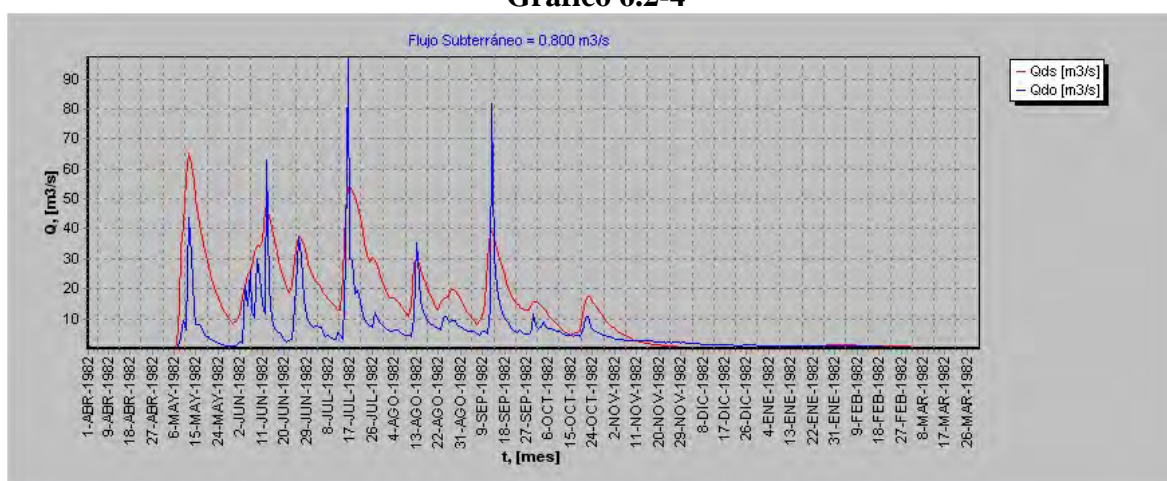
Gráfico 6.2-2



Cuadro 6.2-3

Flujo subterráneo inicial $0,800 \text{ m}^3/\text{seg}$			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(\text{error})$	5,771
RMS	0,600	$\sigma(\text{error})$	9,991

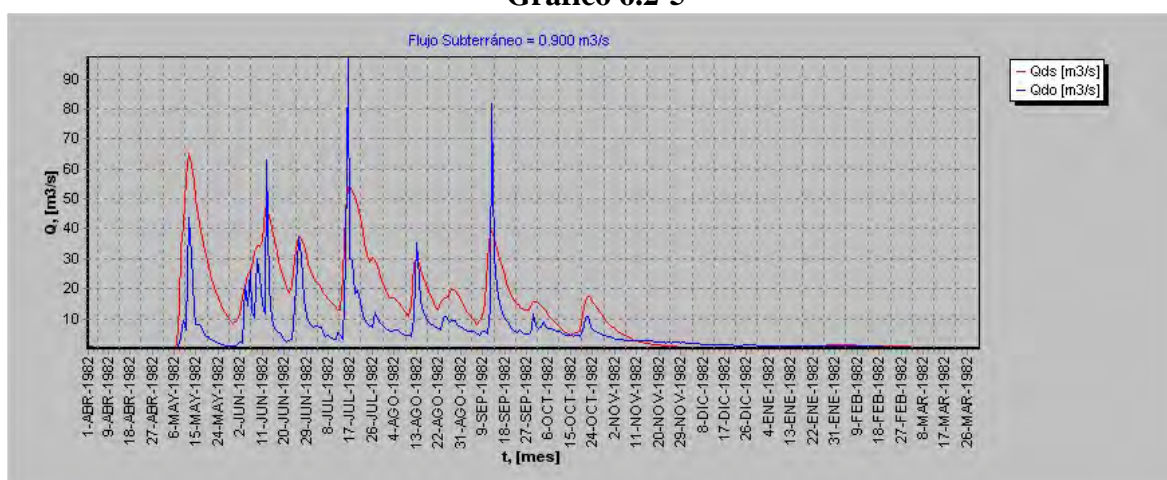
Gráfico 6.2-4



Cuadro 6.2-5

Flujo subterráneo inicial $0,900 \text{ m}^3/\text{seg}$			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(\text{error})$	5,773
RMS	0,600	$\sigma(\text{error})$	9,989

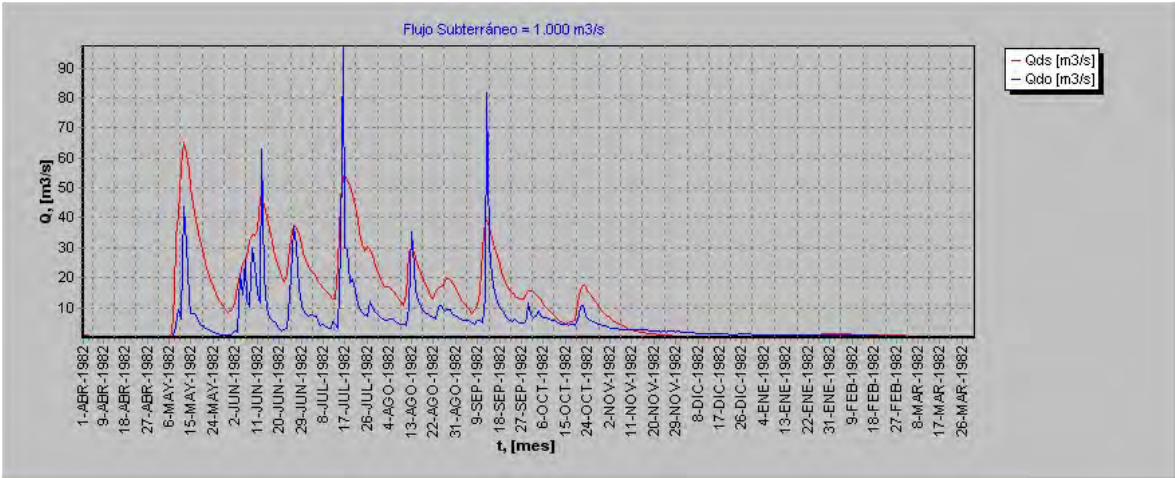
Gráfico 6.2-5



Cuadro 6.2-6

Flujo subterráneo inicial 1,000 m ³ /seg			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,775
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,988

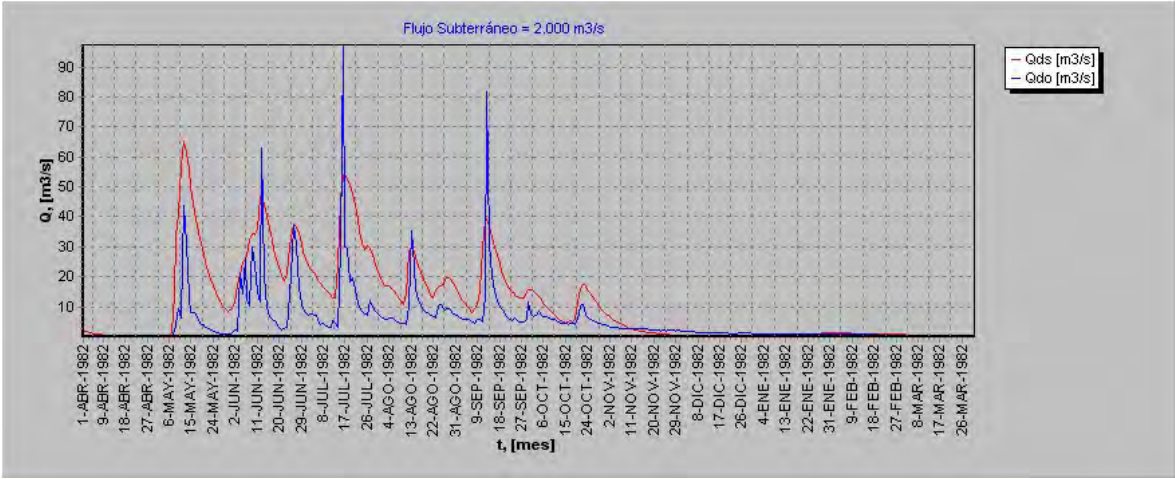
Gráfico 6.2-6



Cuadro 6.2-7

Flujo Subterráneo inicial 2,000 m ³ /seg			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,794
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,978

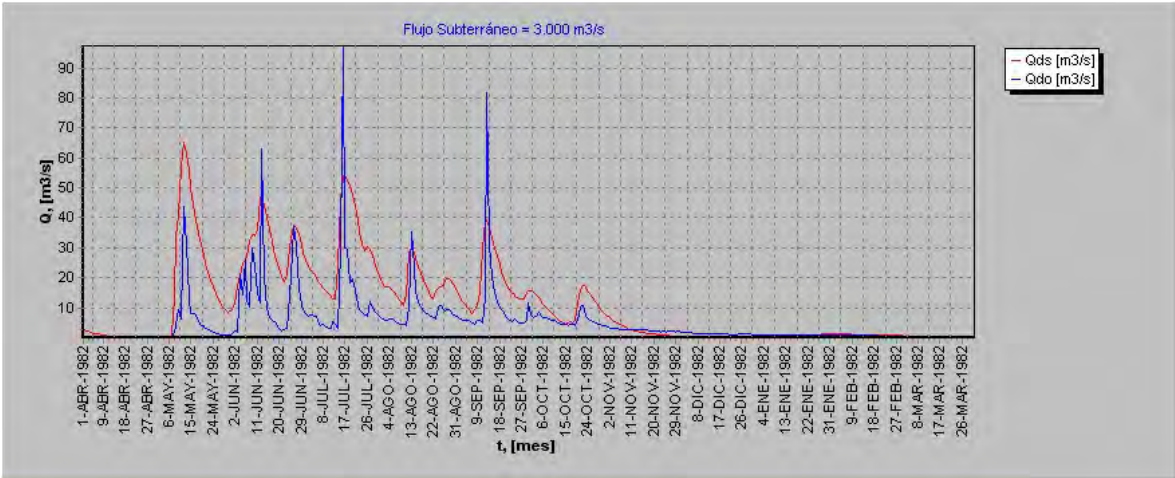
Figura 6.2.7



Cuadro 6.2-8

Flujo Subterráneo inicial 3,000 m ³ /seg			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,813
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,970

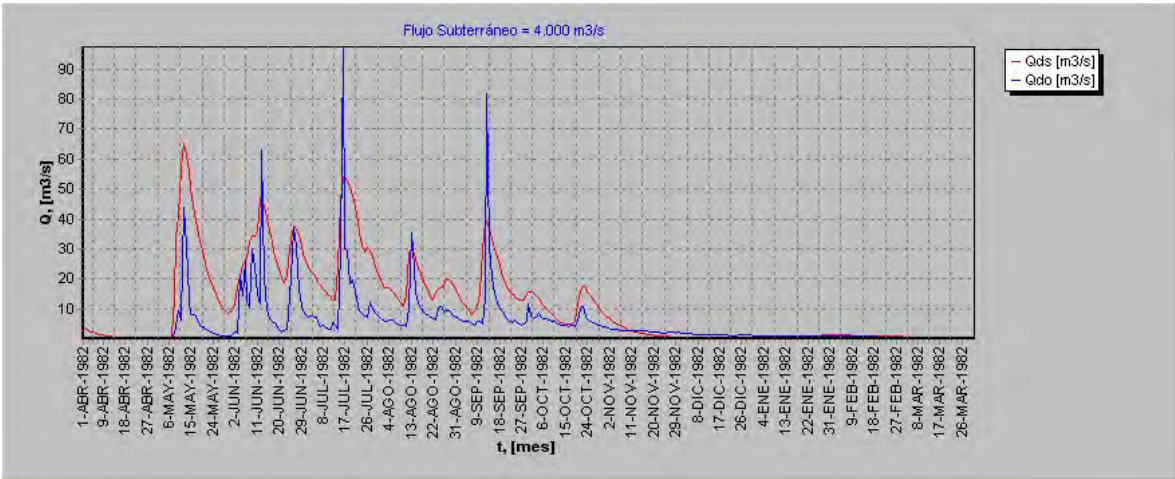
Gráfico 6.2-8



Cuadro 6.2-9

Flujo Subterráneo inicial 4,000 m ³ /seg			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,832
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,961

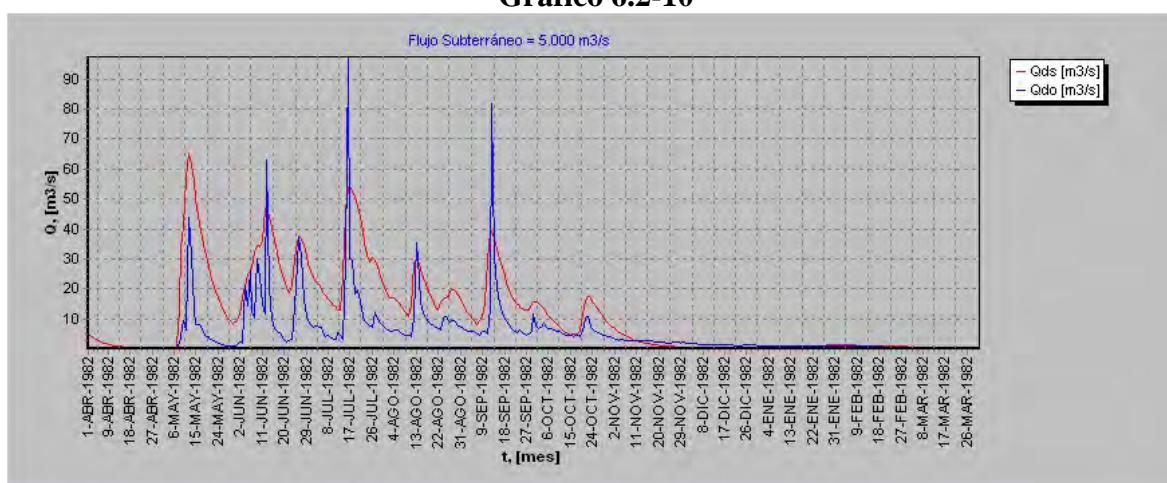
Gráfico 6.2-9



Cuadro 6.2-10

Flujo Subterráneo inicial $5,000 \text{ m}^3/\text{seg}$			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(\text{error})$	5,851
RMS	0,600	$\sigma(\text{error})$	9,954

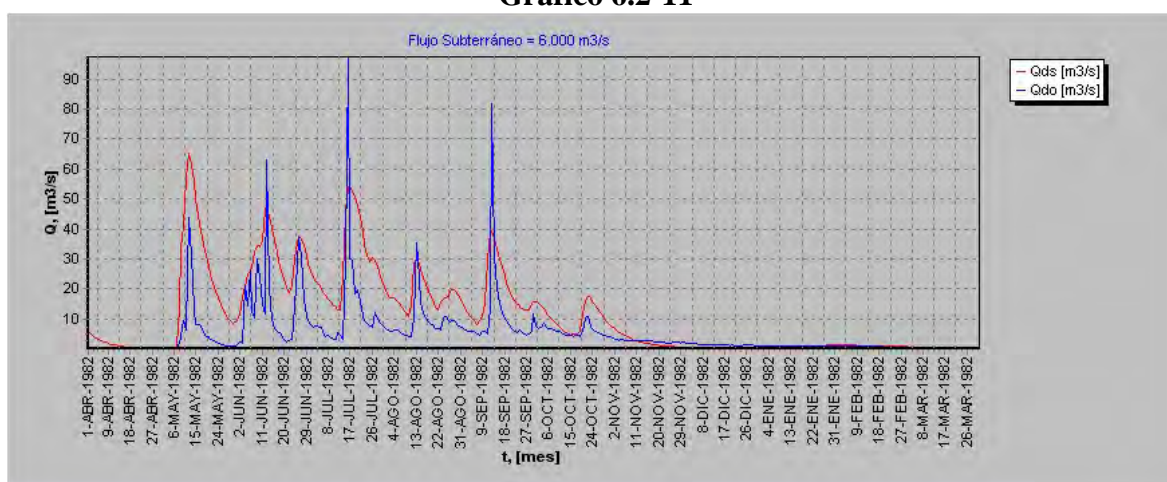
Gráfico 6.2-10



Cuadro 6.2-11

Flujo Subterráneo inicial $6,000 \text{ m}^3/\text{seg}$			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(\text{error})$	5,870
RMS	0,600	$\sigma(\text{error})$	9,948

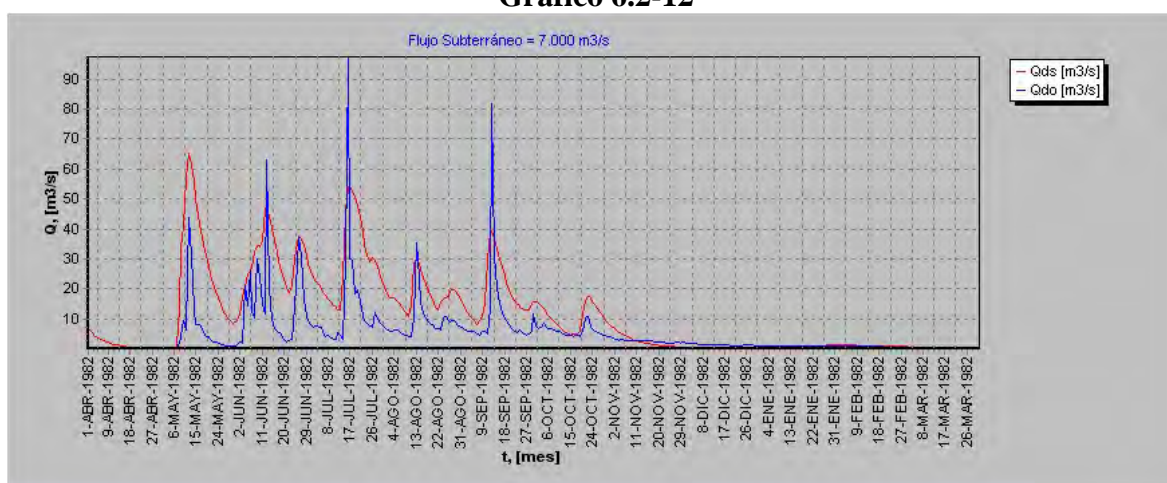
Gráfico 6.2-11



Cuadro 6.2-12

Flujo Subterráneo inicial $7,000 \text{ m}^3/\text{seg}$			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(\text{error})$	5,890
RMS	0,600	$\sigma(\text{error})$	9,943

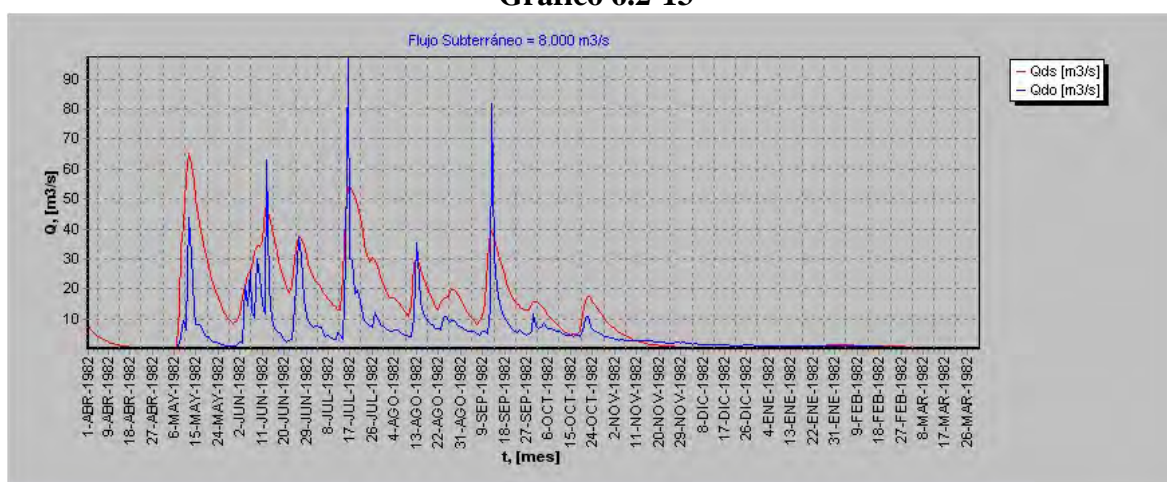
Gráfico 6.2-12



Cuadro 6.2-13

Flujo Subterráneo inicial $8,000 \text{ m}^3/\text{seg}$			
R	0,975	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(\text{error})$	5,909
RMS	0,600	$\sigma(\text{error})$	9,938

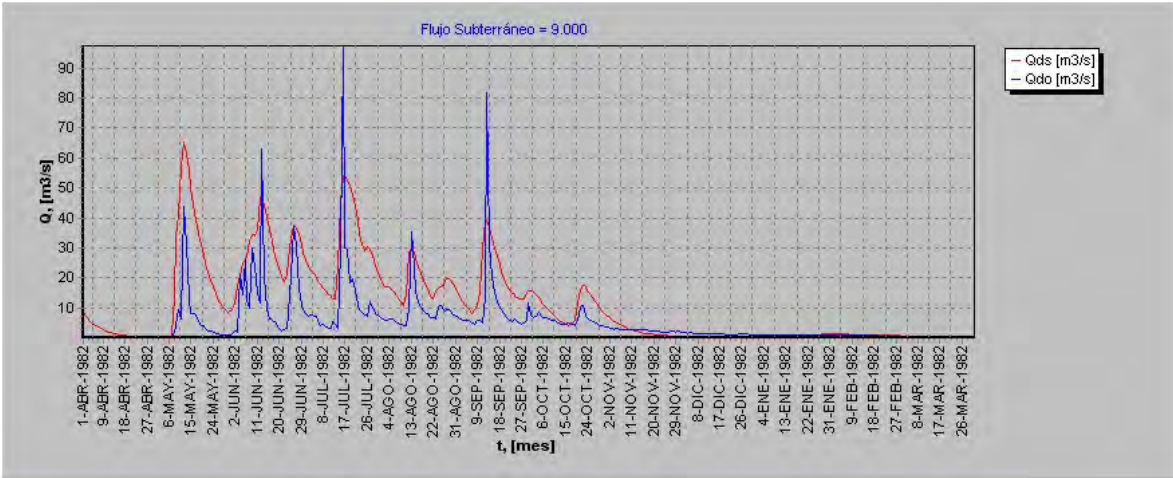
Gráfico 6.2-13



Cuadro 6.2-14

Flujo Subterráneo inicial 9,000 m ³ /seg			
R	0,975	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,928
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,935

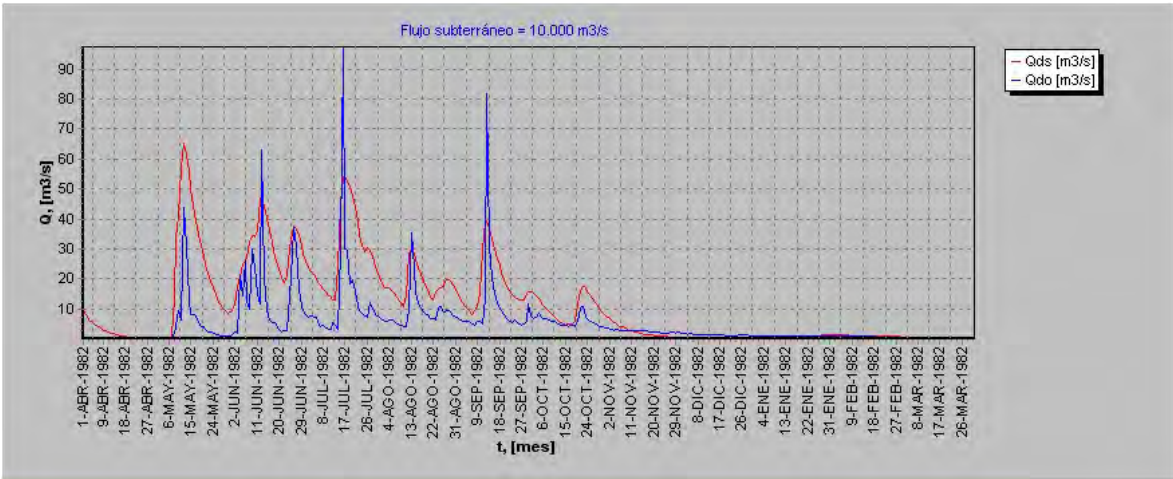
Gráfico 6.2-14



Cuadro 6.2-15

Flujo Subterráneo inicial 10,000 m ³ /seg			
R	0,975	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,947
RMS	0,610	$\sigma(error)$	9,932

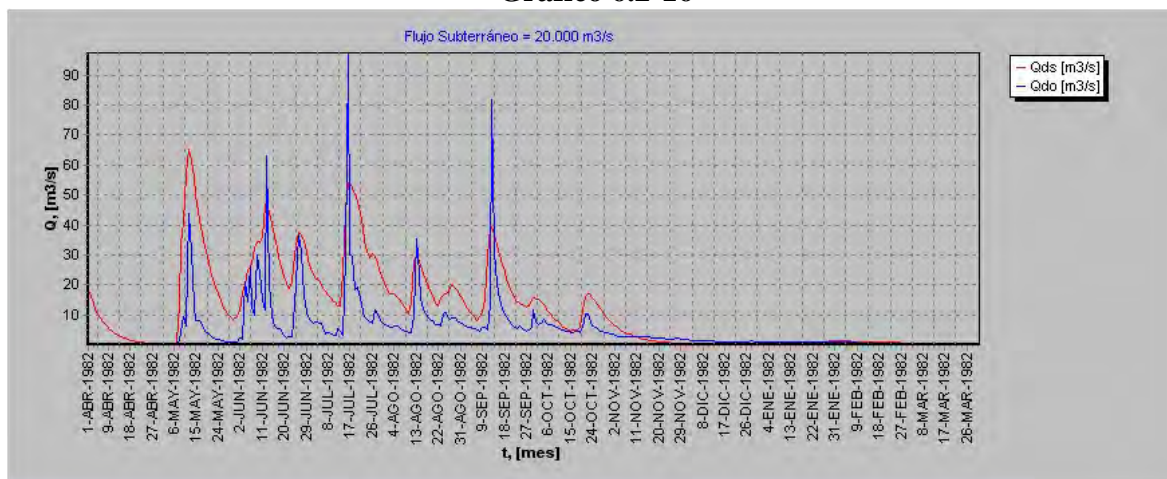
Gráfico 6.2-15



Cuadro 6.2-16

Flujo Subterráneo inicial 20,000 m ³ /seg			
R	0,971	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,138
RMS	0,610	Sig(error)	9,958

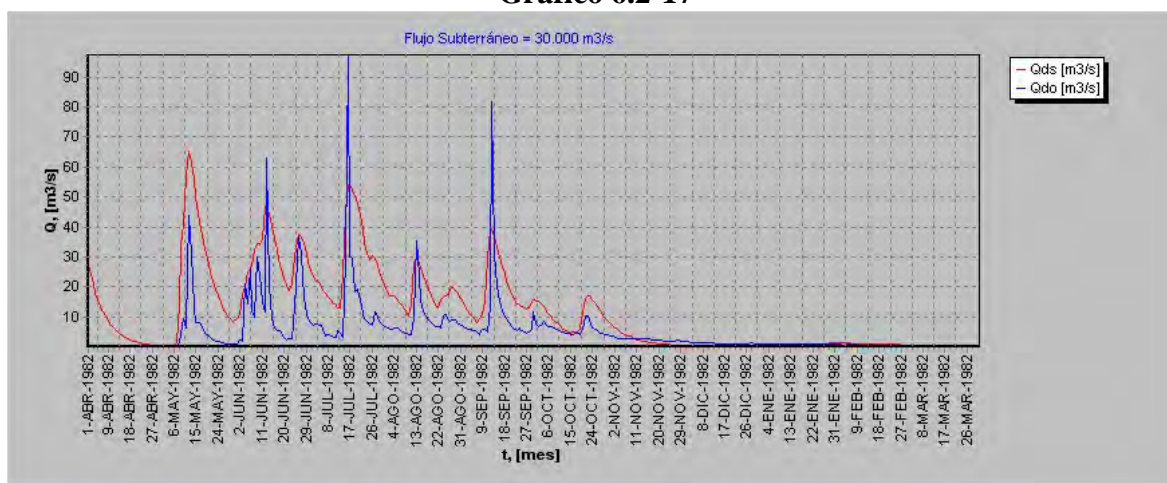
Gráfico 6.2-16



Cuadro 6.2-17

Flujo Subterráneo inicial 30,000 m ³ /seg			
R	0,961	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,329
RMS	0,620	$\sigma(error)$	10,074

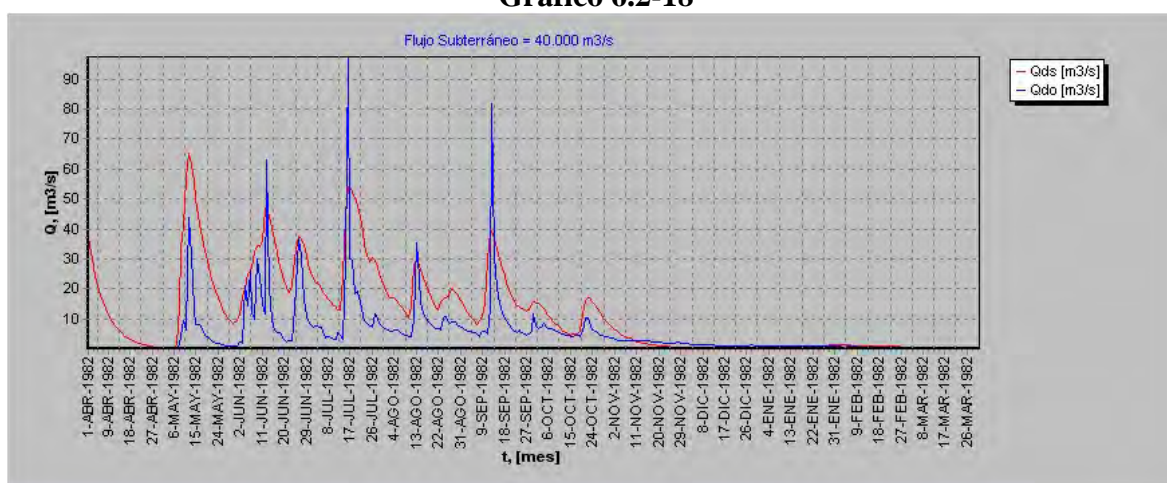
Gráfico 6.2-17



Cuadro 6.2-18

Flujo Subterráneo inicial 40,000 m ³ /seg			
R	0,948	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,521
RMS	0,640	$\sigma(error)$	10,279

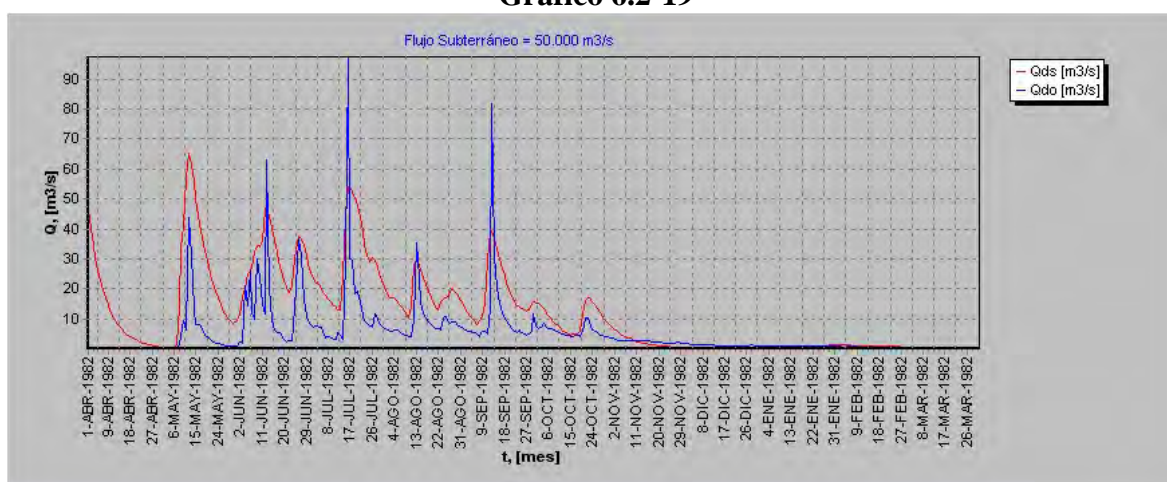
Gráfico 6.2-18



Cuadro 6.2-19

Flujo Subterráneo inicial 50,000 m ³ /seg			
R	0,934	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,712
RMS	0,650	$\sigma(error)$	10,567

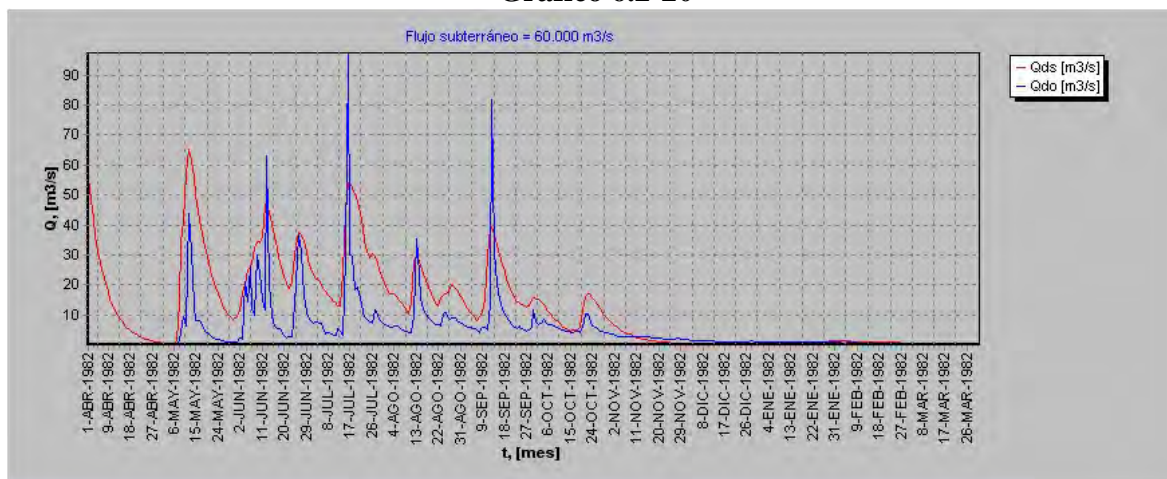
Gráfico 6.2-19



Cuadro 6.2-20

Flujo Subterráneo inicial 60,000 m ³ /seg			
R	0,919	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,903
RMS	0,680	Sig(error)	10,932

Gráfico 6.2-20



Cuadro 6.2-21

Flujo subt	R	RMS	RMS Normalizado	$\mu(error)$	$\sigma(error)$
0,000	0,974	0,600	0,010	5,756	9,999
0,700	0,974	0,600	0,010	5,769	9,992
0,800	0,974	0,600	0,010	5,771	9,991
0,900	0,974	0,600	0,010	5,773	9,989
1,000	0,974	0,600	0,010	5,775	9,988
2,000	0,974	0,600	0,010	5,794	9,978
3,000	0,974	0,600	0,010	5,813	9,970
4,000	0,974	0,600	0,010	5,832	9,961
5,000	0,974	0,600	0,010	5,851	9,954
6,000	0,974	0,600	0,010	5,870	9,948
7,000	0,974	0,600	0,010	5,890	9,943
8,000	0,975	0,600	0,010	5,909	9,938
9,000	0,975	0,600	0,010	5,928	9,935
10,000	0,975	0,610	0,010	5,947	9,932
20,000	0,971	0,610	0,010	6,138	9,958
30,000	0,961	0,620	0,010	6,329	10,074
40,000	0,948	0,640	0,010	6,521	10,279
50,000	0,934	0,650	0,010	6,712	10,567
60,000	0,919	0,680	0,010	6,903	10,932

Gráfico 14.2.21
Flujo Subterráneo inicial v/s R

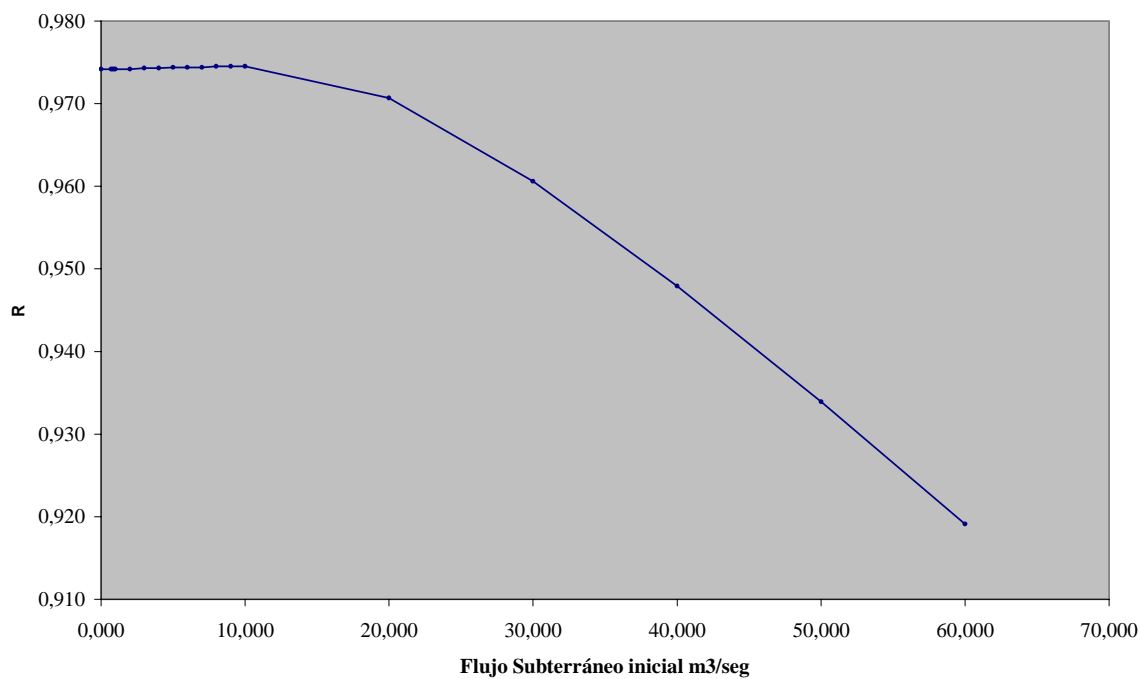


Gráfico 14.2.22
Flujo Subterráneo inicial v/s EM

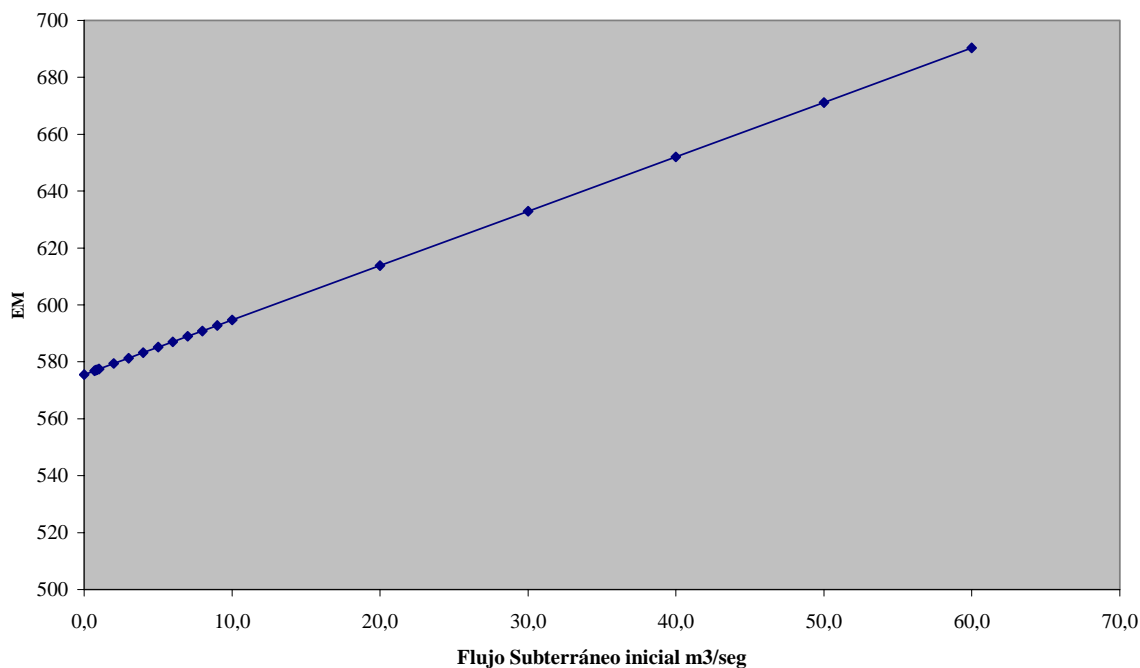


Gráfico 14.2.23
Flujo Subterráneo inicial v/s RMS

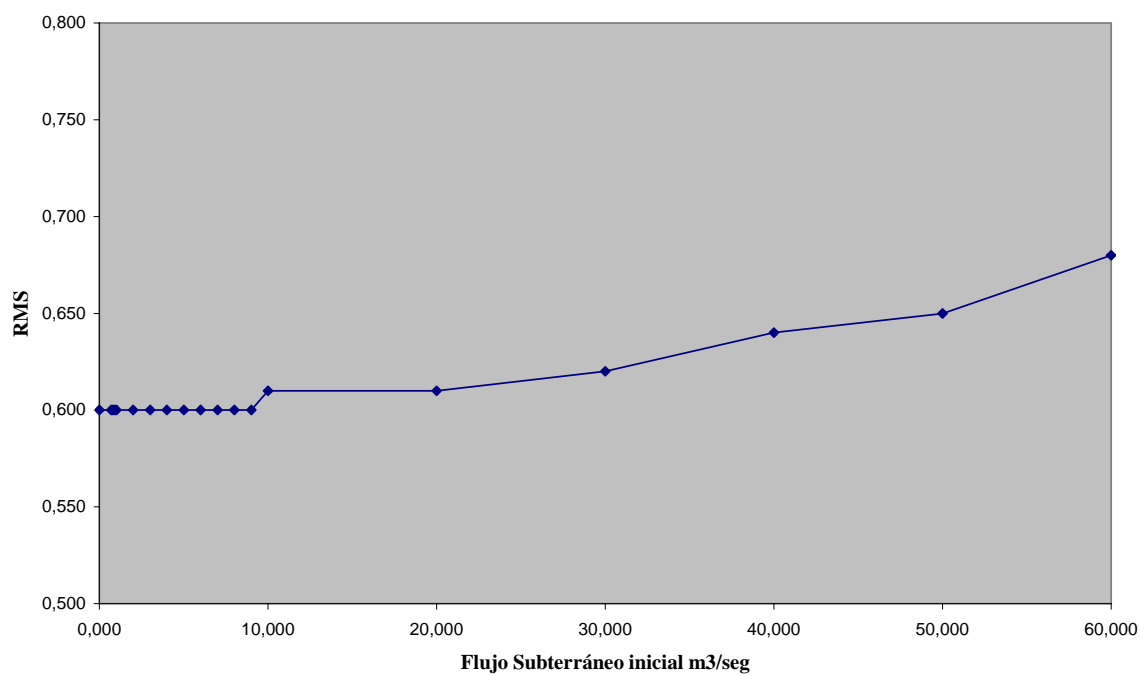


Gráfico 14.2.24
Flujo Subterráneo inicial v/s RMS Normalizado

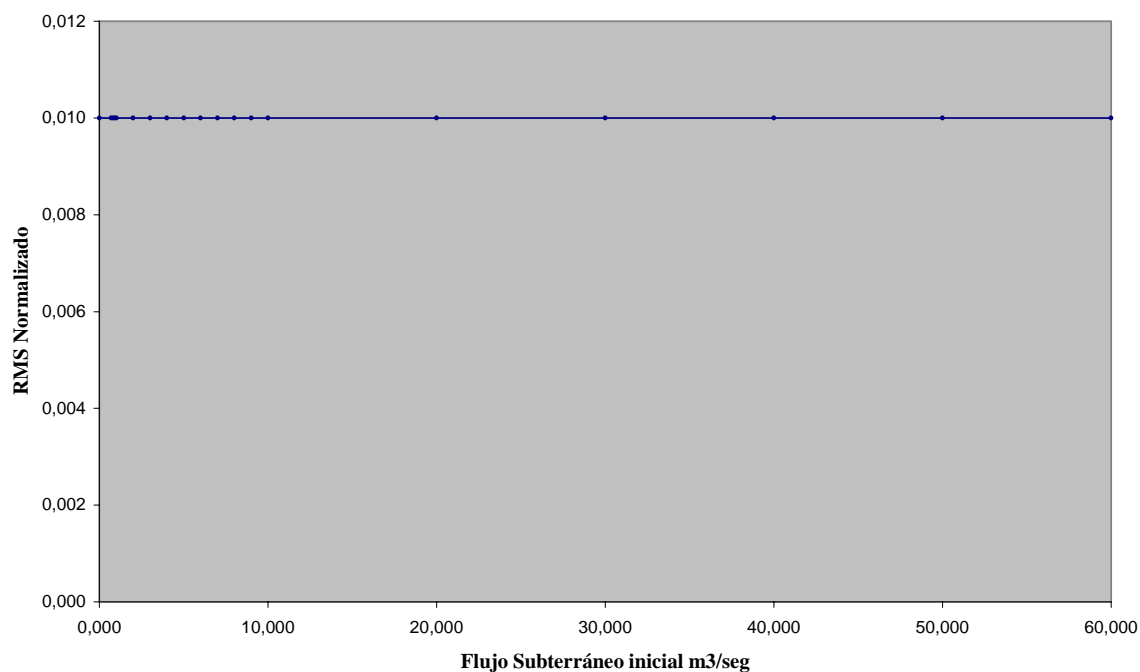


Gráfico 14.2.25
Flujo Subterráneo inicial v/s Mu(error)

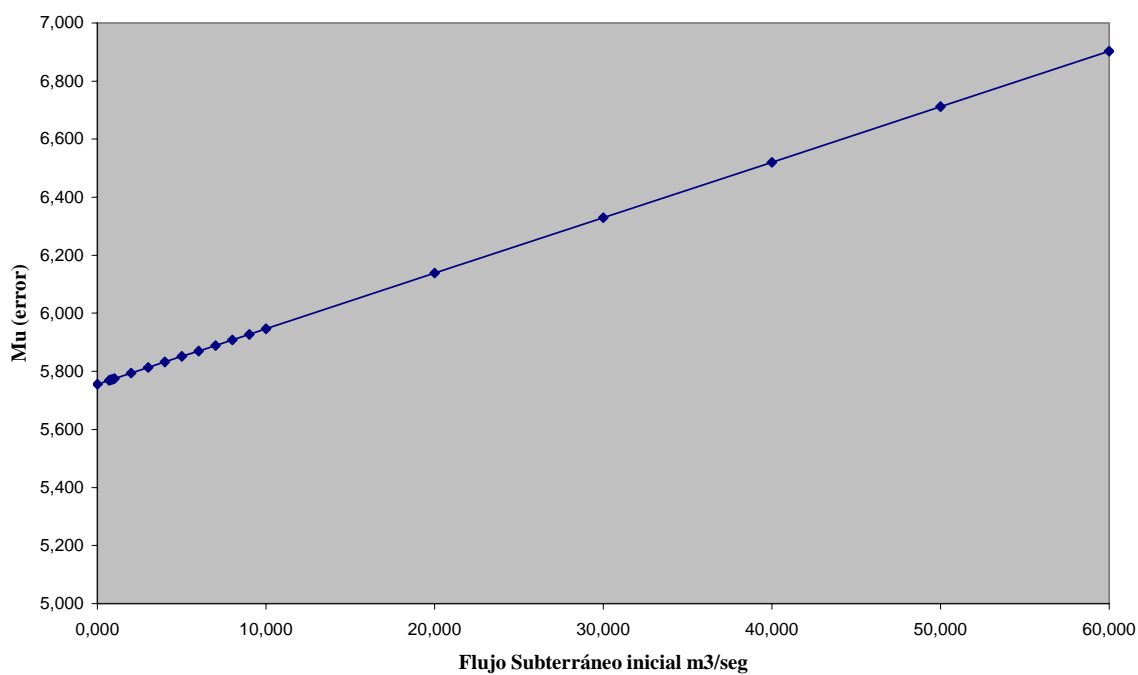


Gráfico 14.2.26
Flujo Subterráneo inicial v/s Sigma(error)

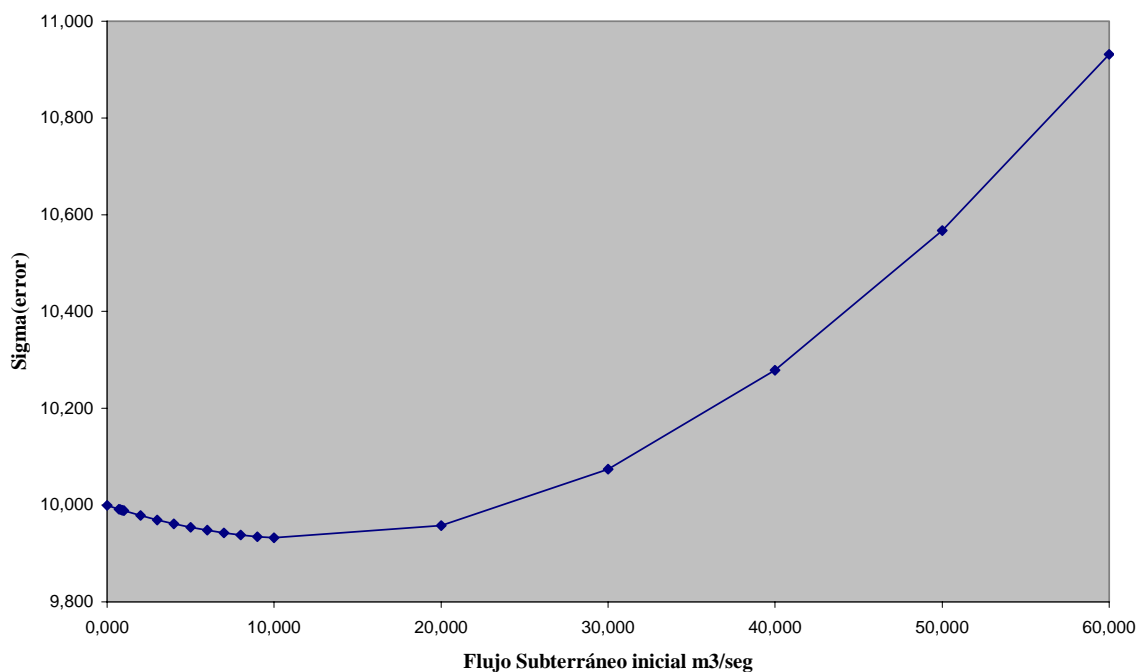
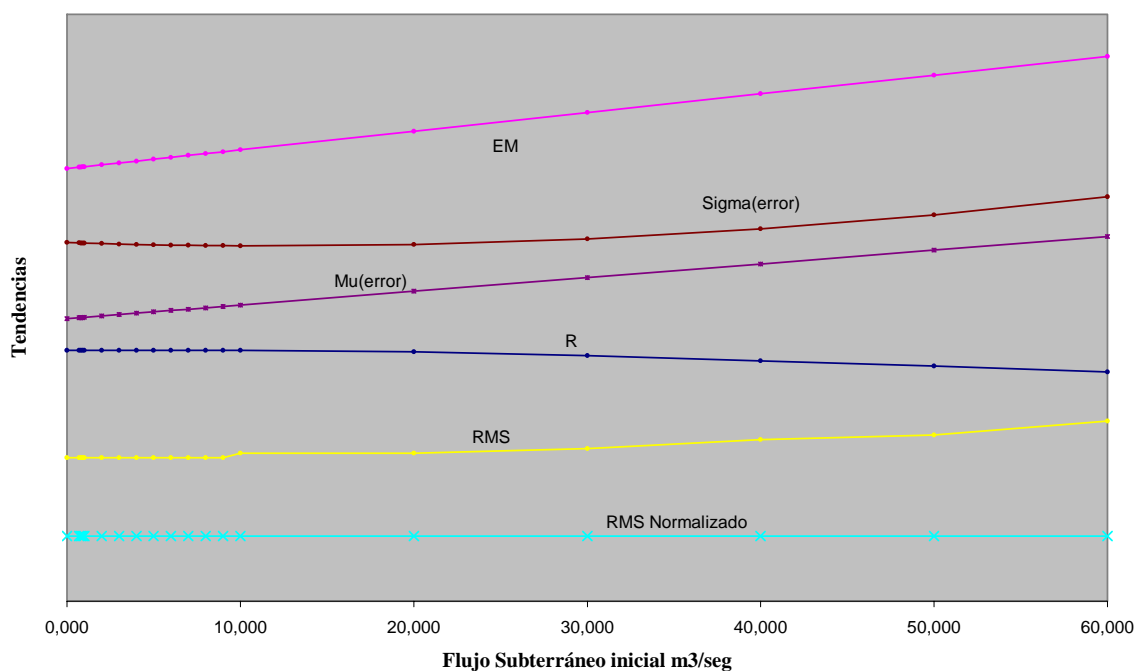


Gráfico 14.2.27
Tendencias de los estadísticos



Un aumento del flujo subterráneo por sobre $1 \text{ m}^3/\text{seg}$ produce una distorsión a la entrada de la señal, la cual aumenta en la medida que el flujo subterráneo aumenta. Cabe notar que el resto de la señal no siente este efecto, esto es explicado en razón de que el flujo subterráneo natural en nuestro caso tiene efectos en la escorrentía sub-superficial, la cual se presenta tempranamente cuando el flujo subterráneo crece, sin embargo esta componente disminuye en importancia durante el transcurso de una tormenta donde se privilegian los flujos superficiales y el amortiguamiento subterráneo como generadores de escorrentía directa. Dado que en general los flujos subterráneos son muy lentos se deduce que esta condición inicial no es crítica.

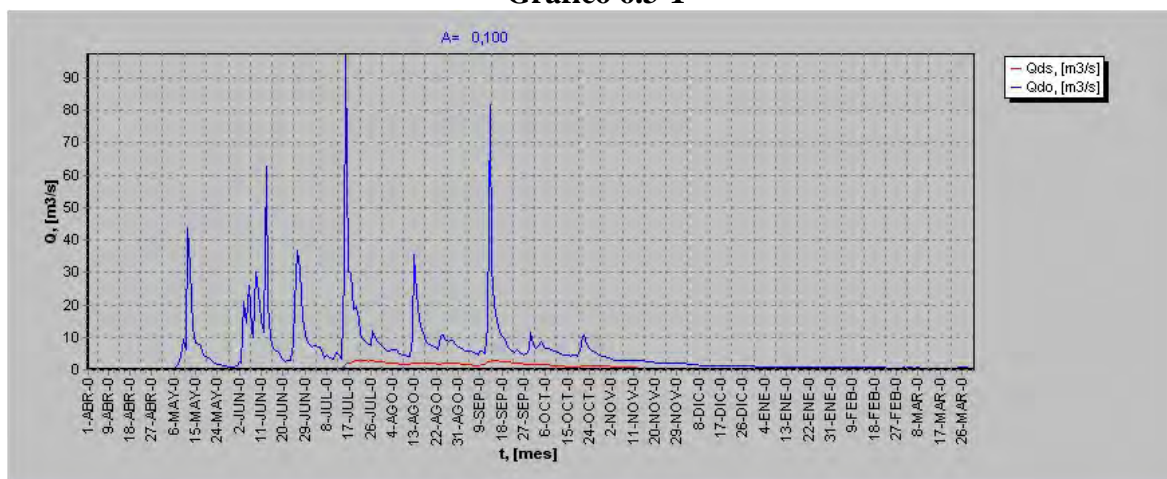
6.3. Coeficiente de precipitación A.

A continuación se presentan las tablas y gráficos que permiten observar los efectos sobre los caudales simulados cuando el parámetro A varía entre el rango 0.1 – 1.0 con un paso de 0.1.

Cuadro 6.3-1

A 0,100			
R	0,656	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	-4,800
RMS	0,550	$\sigma(error)$	9,310

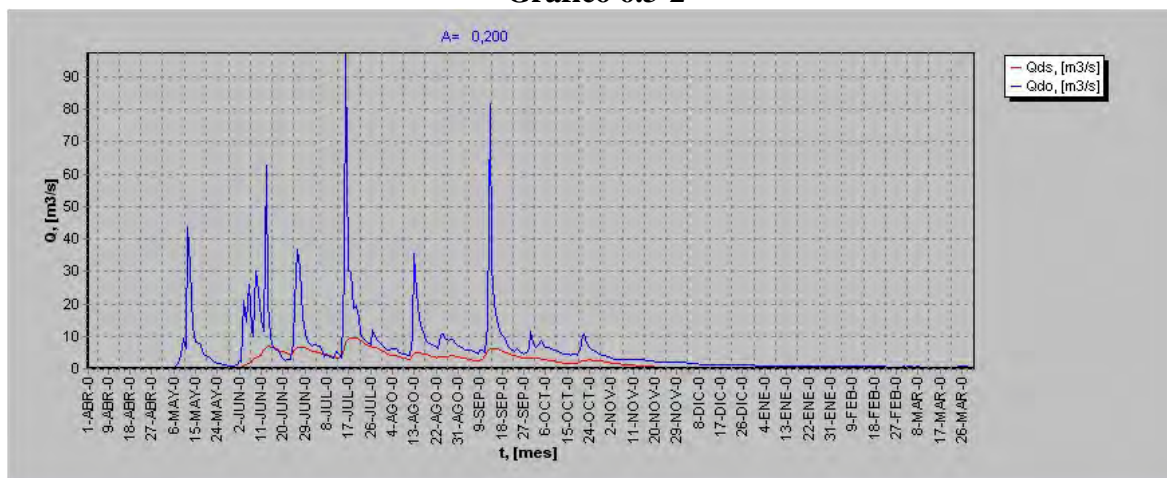
Gráfico 6.3-1



Cuadro 6.3-2

A 0,200			
R	0,901	RMS Normalizado	0,000
		$\mu(error)$	-3,562
RMS	0,480	$\sigma(error)$	8,438

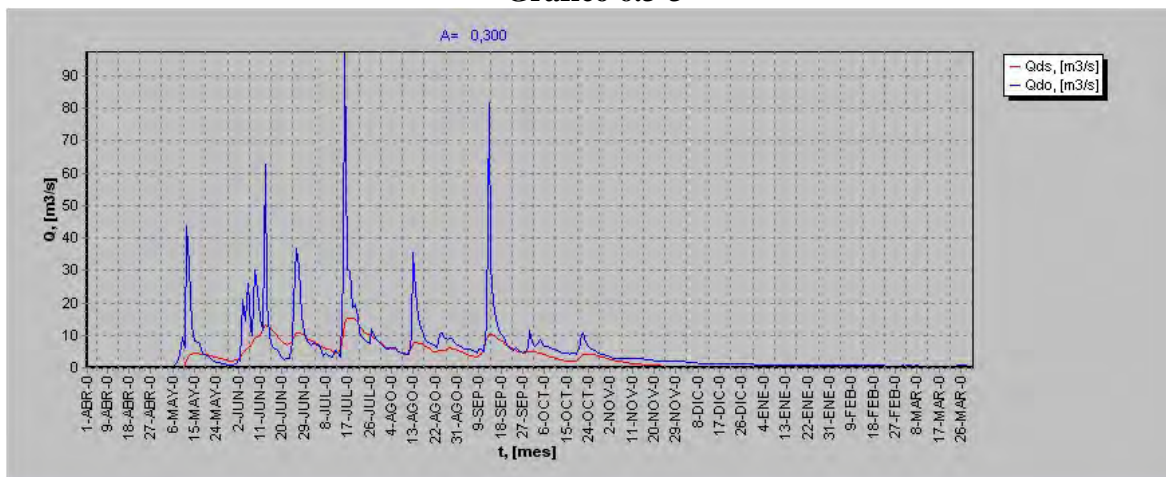
Gráfico 6.3-2



Cuadro 6.3-3

A 0,300			
R	0,969	RMS Normalizado	0,000
		$\mu(error)$	-2,321
RMS	0,420	$\sigma(error)$	7,706

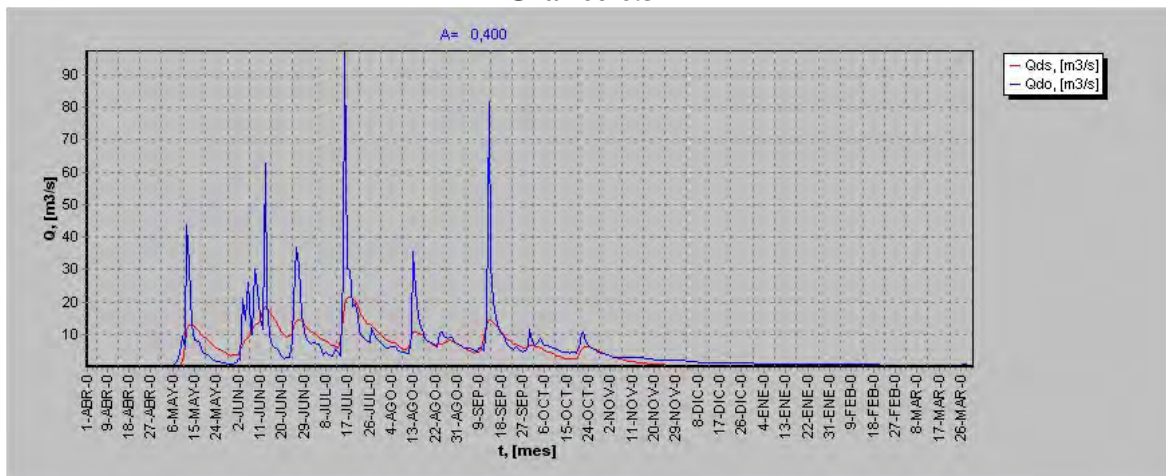
Gráfico 6.3-3



Cuadro 6.3-4

A 0,400			
R	0,973	RMS Normalizado	0,000
		$\mu(error)$	-1,079
RMS	0,380	$\sigma(error)$	7,130

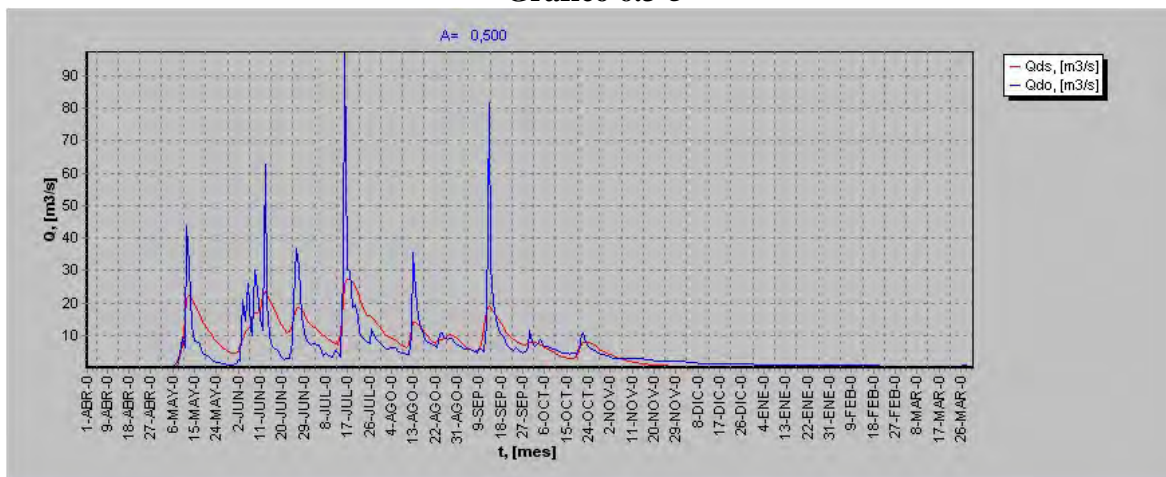
Gráfico 6.3-4



Cuadro 6.3-5

A 0,500			
R	0,975	RMS Normalizado	0,000
		$\mu(error)$	0,163
RMS	0,360	$\sigma(error)$	6,842

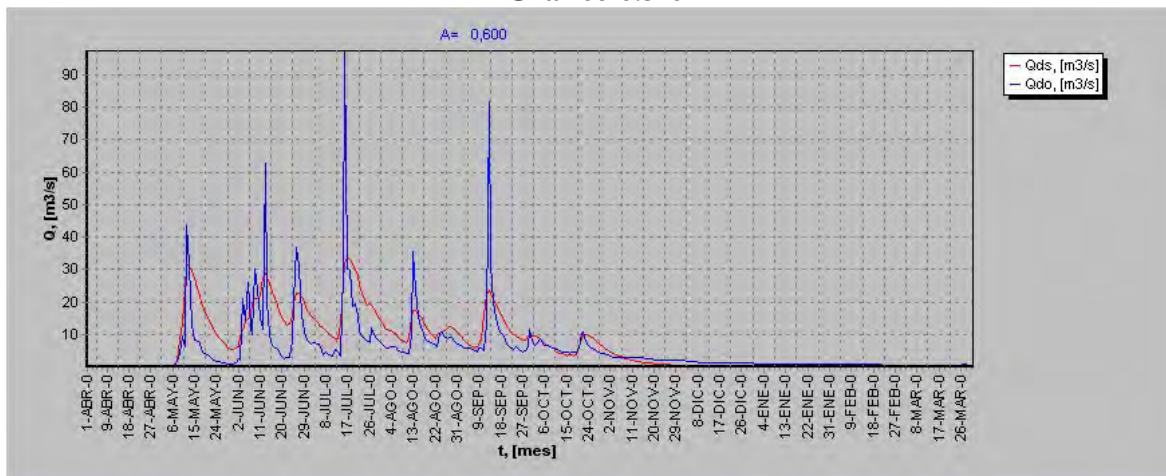
Gráfico 6.3-5



Cuadro 6.3-6

A 0,600			
R	0,975	RMS Normalizado	0,000
		$\mu(error)$	1,406
RMS	0,370	$\sigma(error)$	6,956

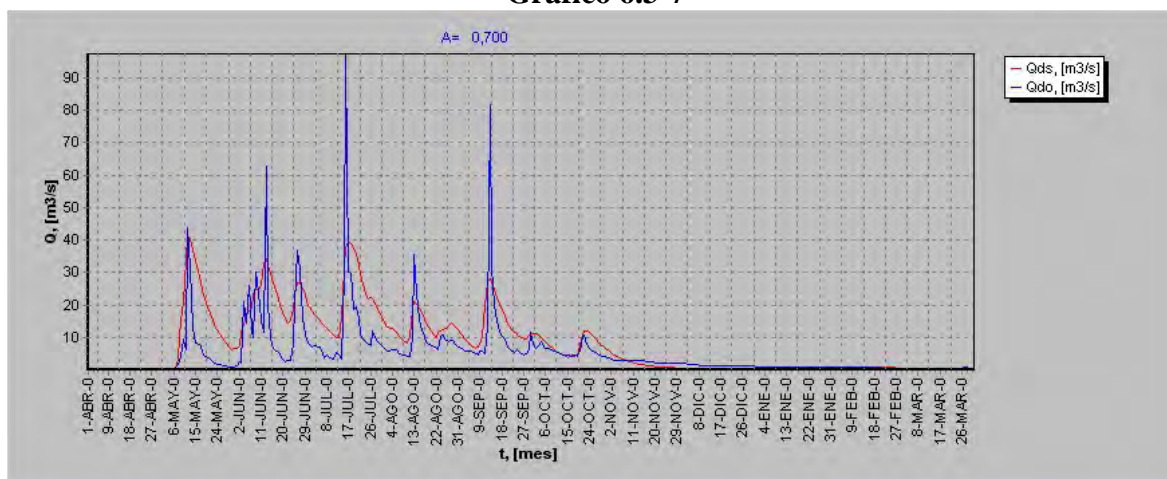
Gráfico 6.3-6



Cuadro 6.3-7

A 0,700			
R	0,975	RMS Normalizado	0,000
		$\mu(error)$	2,649
RMS	0,410	$\sigma(error)$	7,481

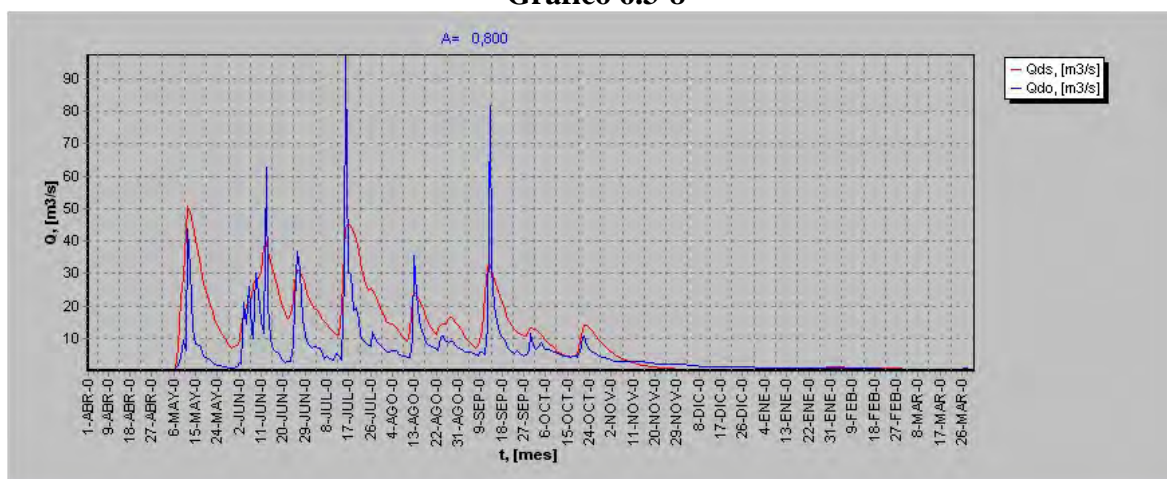
Gráfico 6.3-7



Cuadro 6.3-8

A 0,800			
R	0,975	RMS Normalizado	0,000
		$\mu(error)$	3,892
RMS	0,480	$\sigma(error)$	8,319

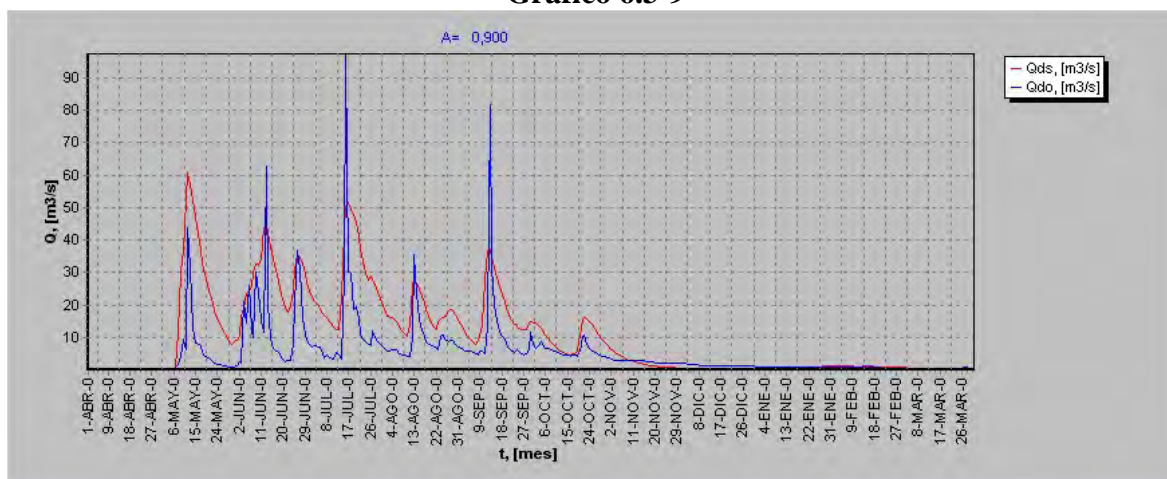
Gráfico 6.3-8



Cuadro 6.3-9

A 0,900			
R	0,975	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,136
RMS	0,560	$\sigma(error)$	9,393

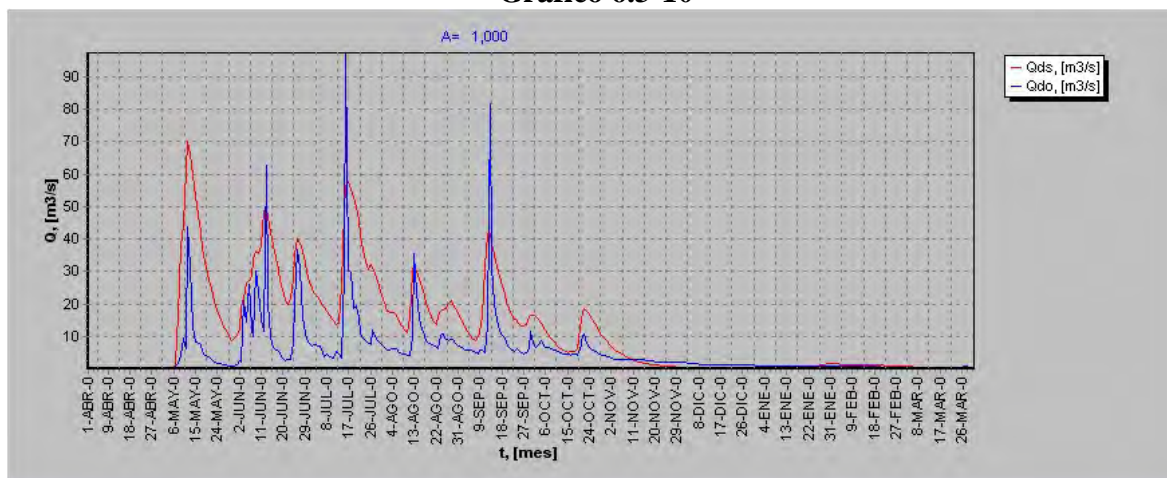
Gráfico 6.3-9



Cuadro 6.3-10

A 1,000			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,379
RMS	0,650	$\sigma(error)$	10,633

Gráfico 6.3-10



Cuadro 6.3-11

A	R	RMS	<i>RMS Normalizado</i>	$\mu(error)$	$\sigma(error)$
0,100	0,656	0,550	0,010	-4,800	9,310
0,200	0,901	0,480	0,000	-3,562	8,438
0,300	0,969	0,420	0,000	-2,321	7,706
0,400	0,973	0,380	0,000	-1,079	7,130
0,500	0,975	0,360	0,000	0,163	6,842
0,600	0,975	0,370	0,000	1,406	6,956
0,700	0,975	0,410	0,000	2,649	7,481
0,800	0,975	0,480	0,000	3,892	8,319
0,900	0,975	0,560	0,010	5,136	9,393
1,000	0,974	0,650	0,010	6,379	10,633

Gráfico 6.3.11
A v/s R

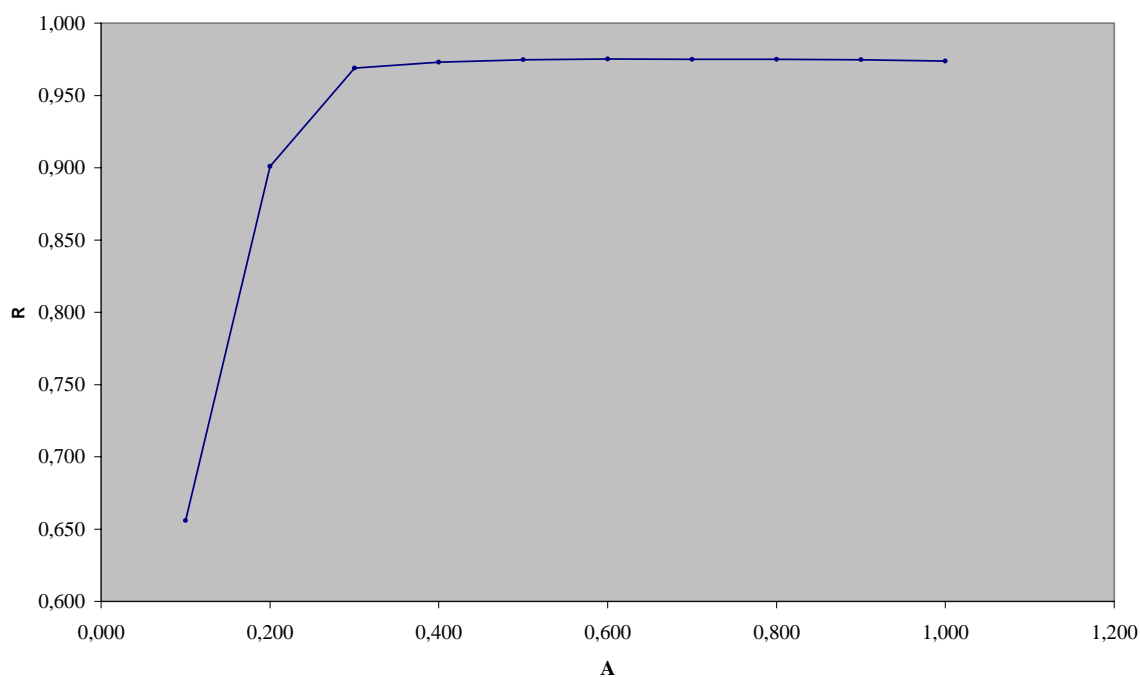


Gráfico 6.3.12
A v/s EM

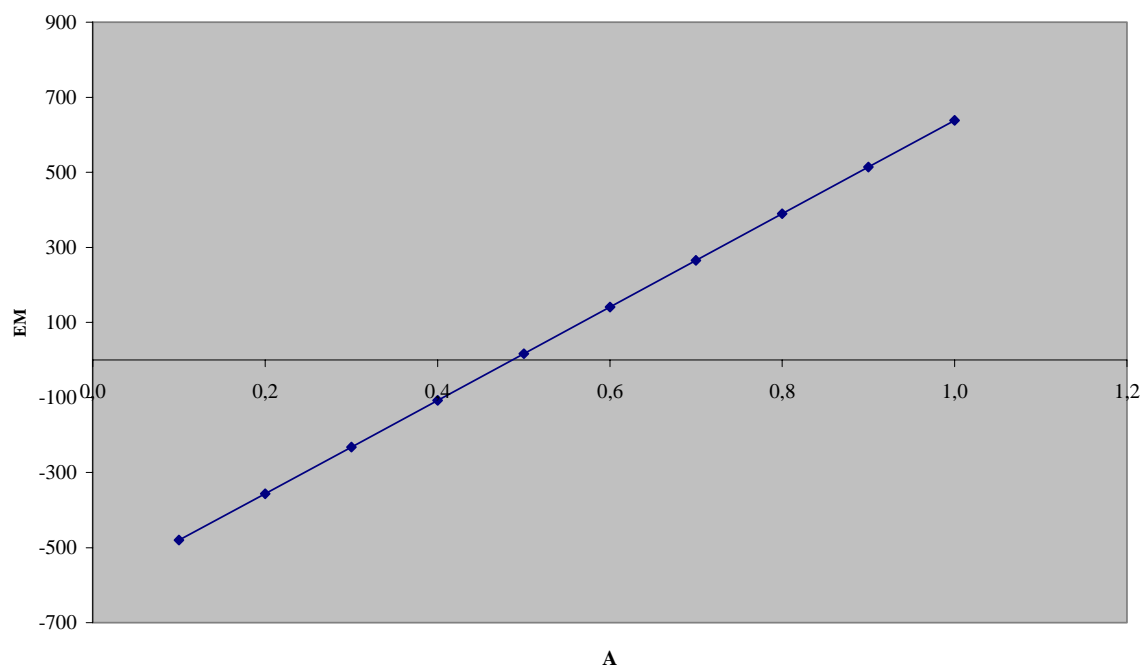


Gráfico 6.3.13
A v/s RMS

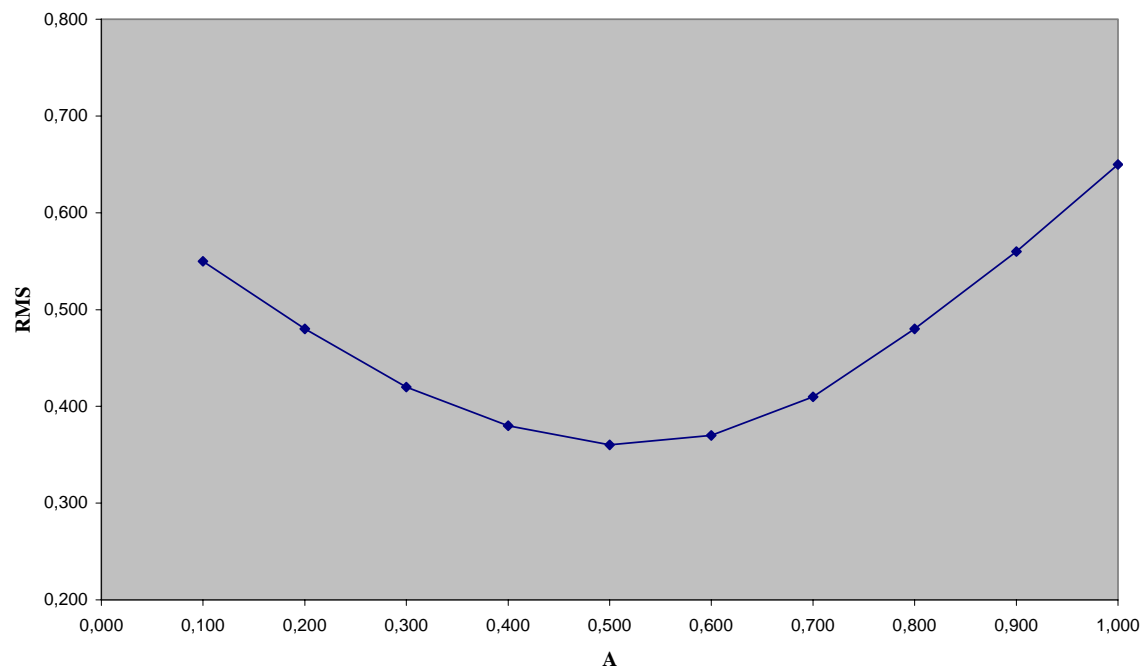


Gráfico 6.3.14
A v/s RMS Normalizado

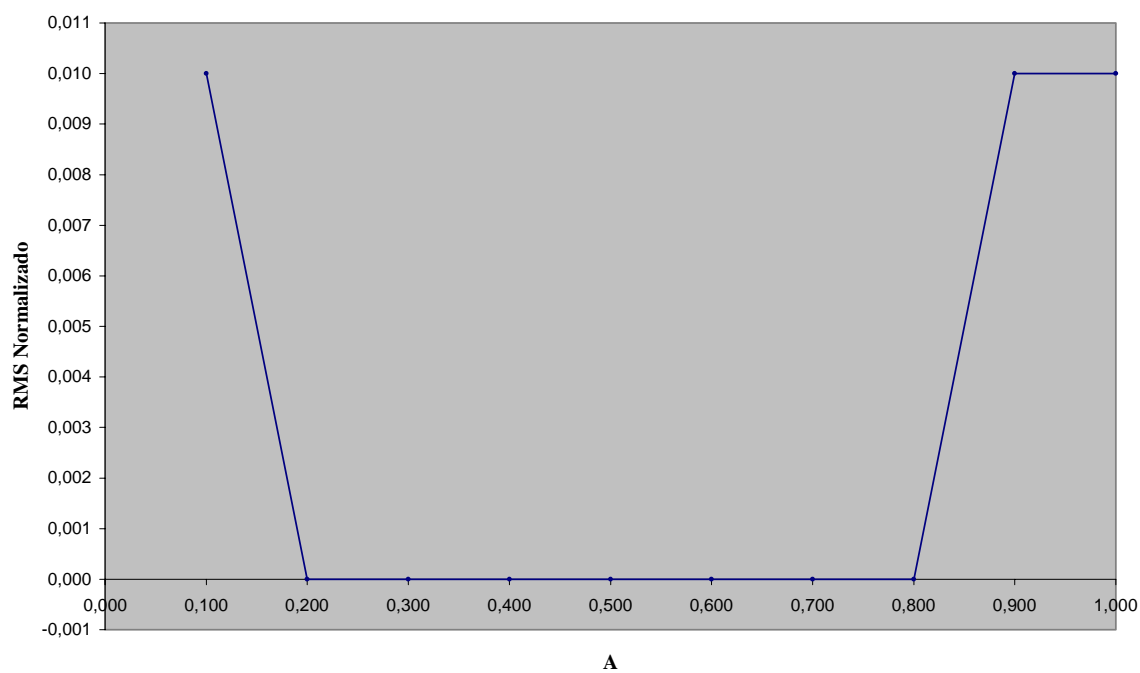


Gráfico 6.3.15
A v/s Mu(error)

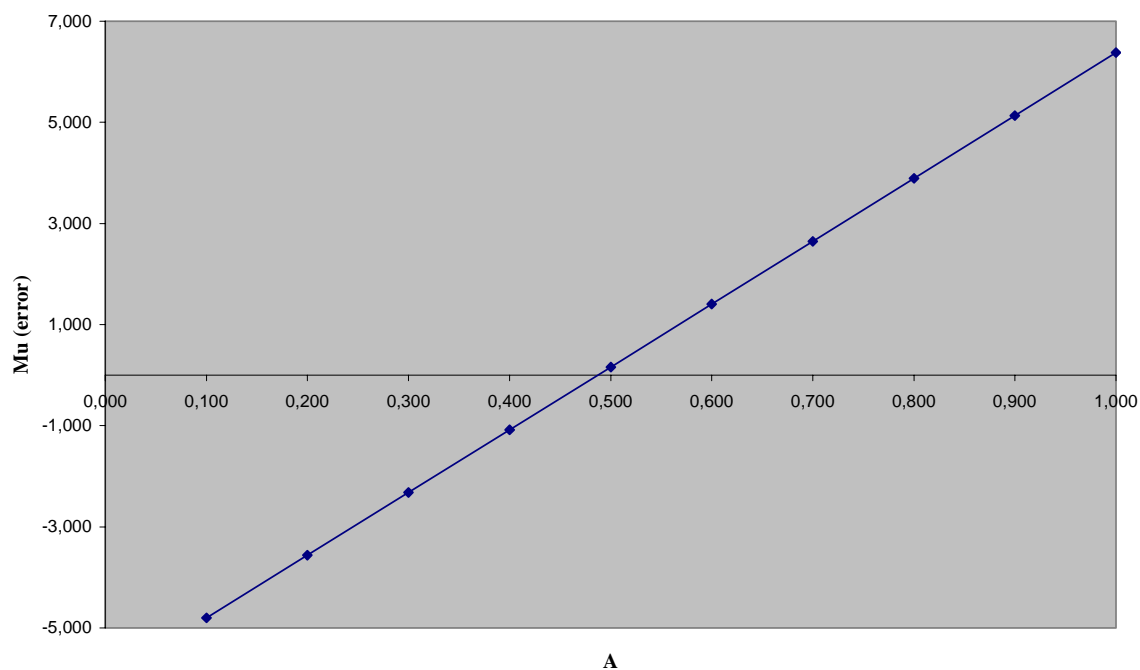


Gráfico 6.3.16
A v/s Sigma(error)

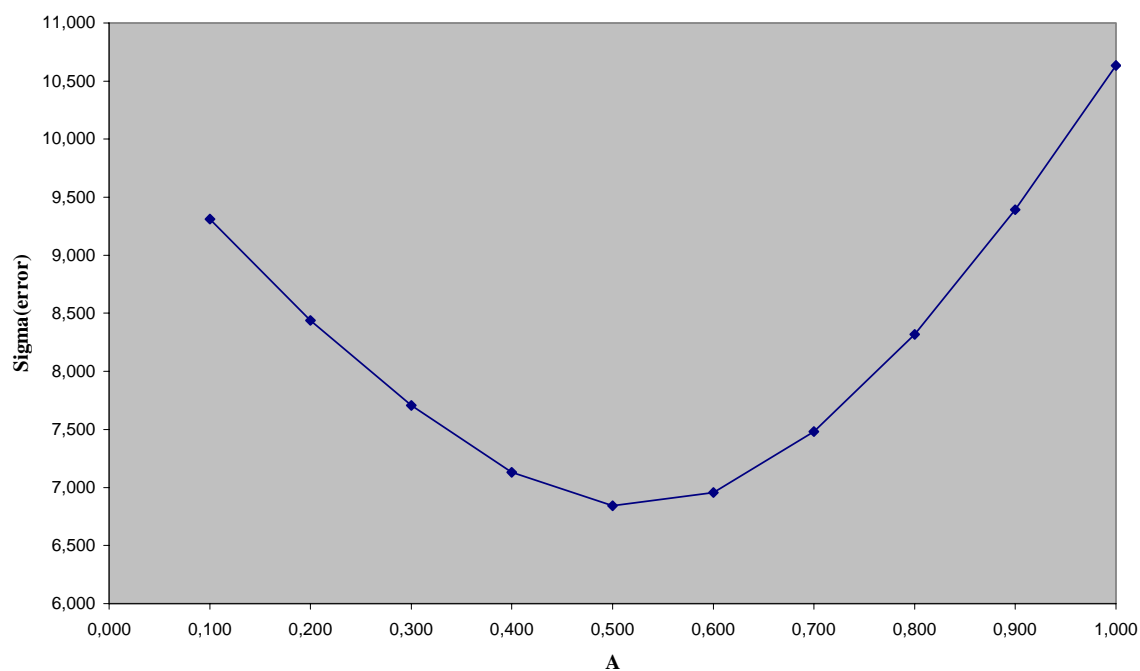
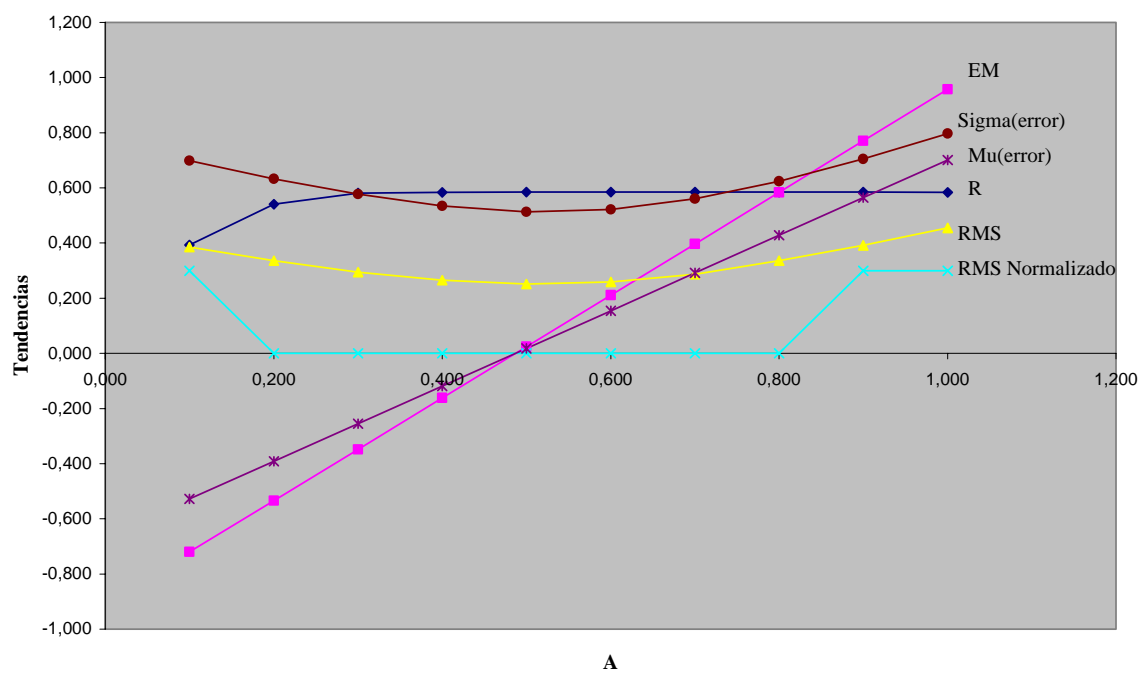


Gráfico 6.3.17
Tendencias parámetros v/s A



Se puede notar que el programa es extremadamente sensible al valor de este parámetro que modera la precipitación de entrada. El parámetro A no mejora ni disminuye la definición de la señal sino más bien controla la amplitud de la señal. Es importante decir que se alcanza un valor máximo de correlación ($R = 0.75$) cuando $A = 0.5$, este valor de R nos sugiere que la solución es aceptable pero si observamos la señal nos damos cuenta que no estamos aún cerca de la señal observada. Se concluye por tanto que un alto valor de R no implica una solución aceptable para el conjunto de parámetros. Se requiere además que la formas de las señales sean similares. De acuerdo al grafico 6.3.17 valores adecuados para A serian valores sobre 0.5 (aquí R es alto y se minimizan RMS , $\mu(error)$ y $\sigma(error)$ y la desviación estándar del error es mínima).

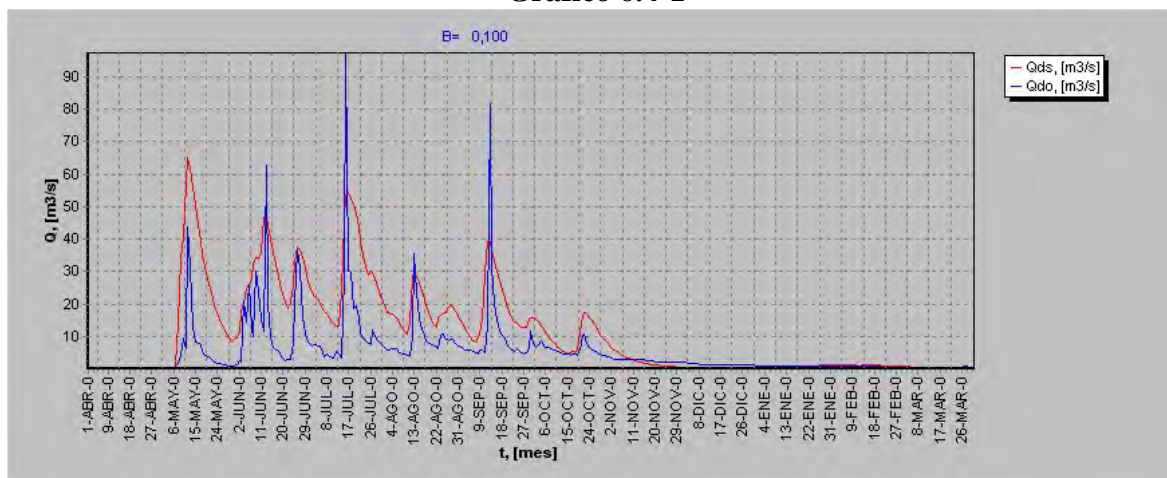
6.4. Coeficiente de evaporación B .

A continuación se presentan los gráficos y tablas con los distintos estadísticos que dan cuenta del efecto que se tiene al variar el parámetro B , entre 0.1 y 1 con un paso de 0.1. Se muestran sólo 2 gráficos, pues no existe variación de la forma de la señal simulada.

Cuadro 6.4-1

B 0,100			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,758
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,998

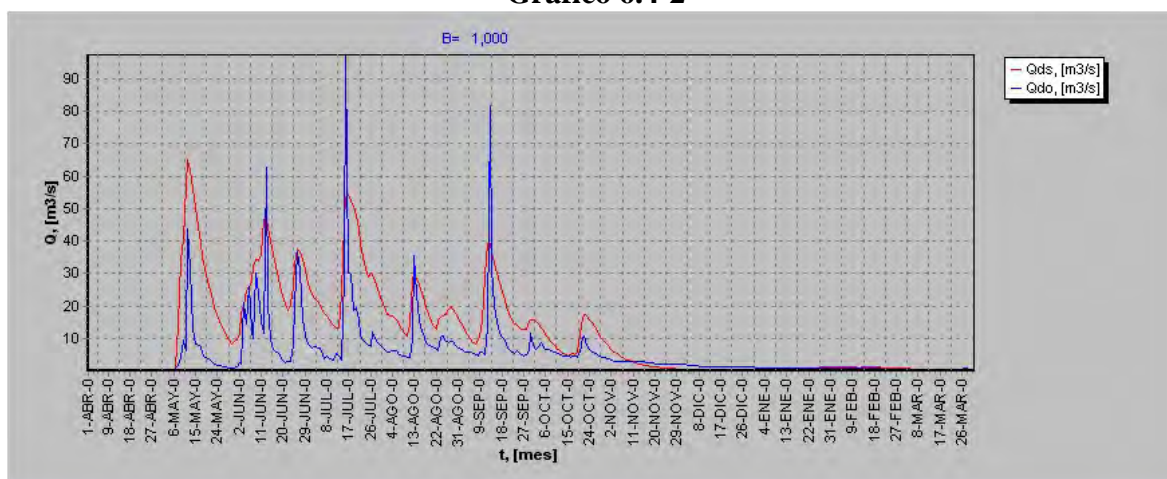
Gráfico 6.4-1



Cuadro 6.4-2

B 1,000			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,758
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,998

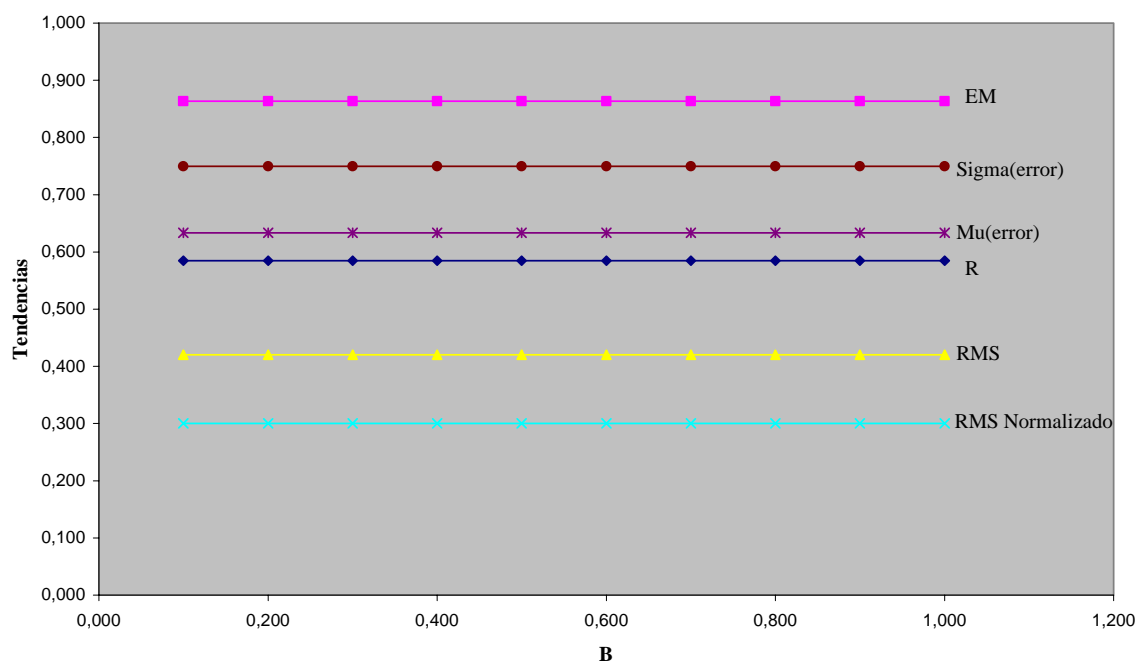
Gráfico 6.4-2



Cuadro 6.4-3

B	R	RMS	RMS Normalizado	$\mu(error)$	$\sigma(error)$
0,100	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,200	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,300	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,400	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,500	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,600	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,700	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,800	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,900	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
1,000	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998

Gráfico 6.4.3
Tendencias parámetros v/s B



Como se puede observar mover este parámetro no afecta la señal.

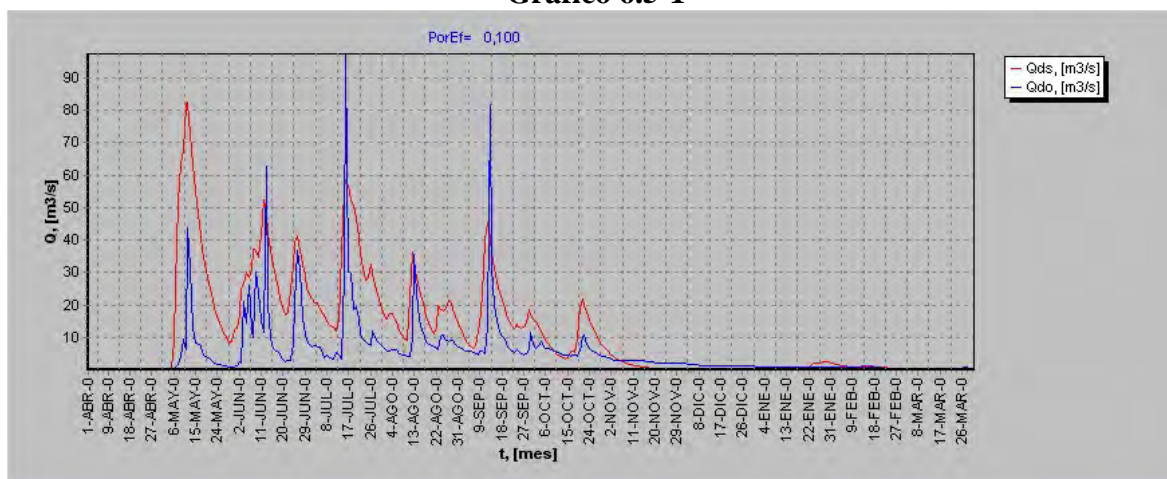
6.5. Porosidad Efectiva $PorEf$.

Las siguientes tablas y gráficos muestran el efecto que se tiene al variar la porosidad efectiva entre el rango de 0.1 – 1.0 con un paso de 0.1

Cuadro 6.5-1

PorEf = 0,100			
R	0,960	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,232
RMS	0,700	$\sigma(error)$	11,765

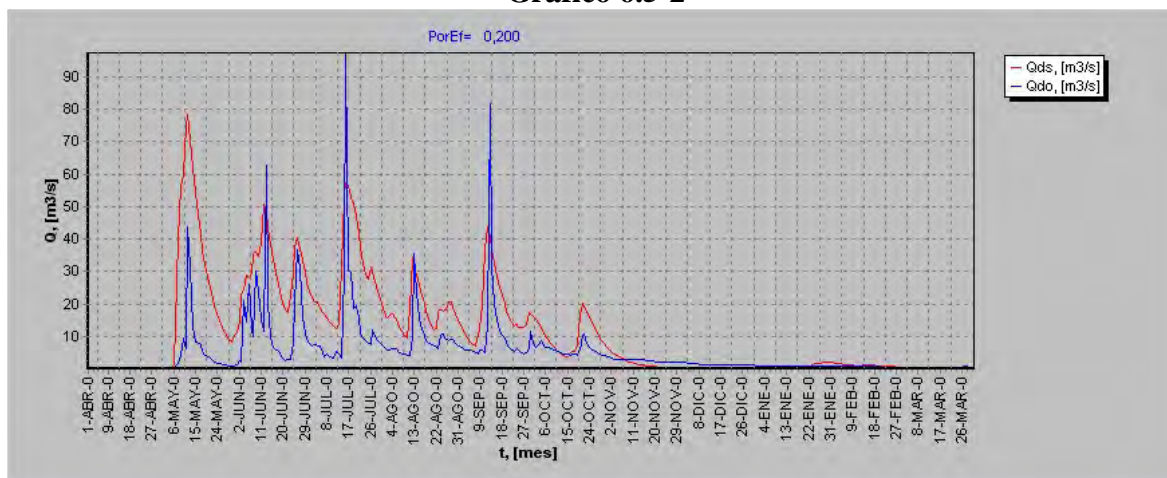
Gráfico 6.5-1



Cuadro 6.5-2

PorEf = 0,200			
R	0,967	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,083
RMS	0,660	$\sigma(error)$	11,140

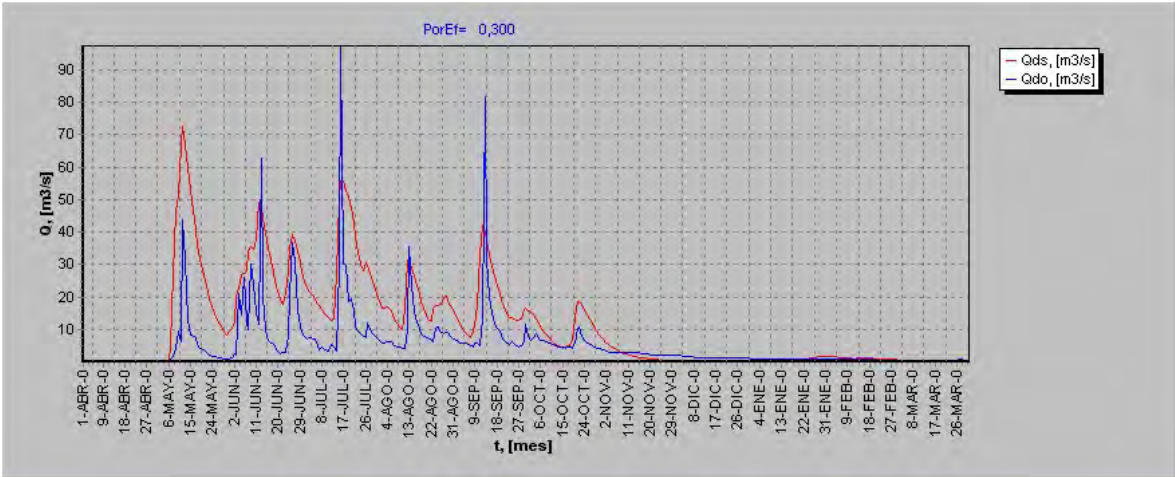
Gráfico 6.5-2



Cuadro 6.5-3

PorEf = 0,300			
R	0,971	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,930
RMS	0,630	$\sigma(error)$	10,552

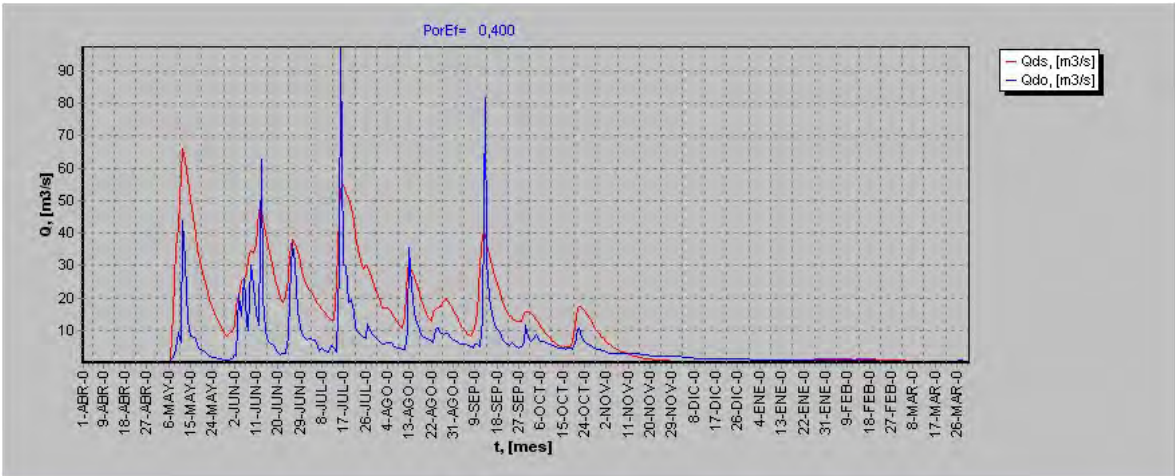
Gráfico 6.5-3



Cuadro 6.5-4

PorEf = 0,400			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,776
RMS	0,610	$\sigma(error)$	10,051

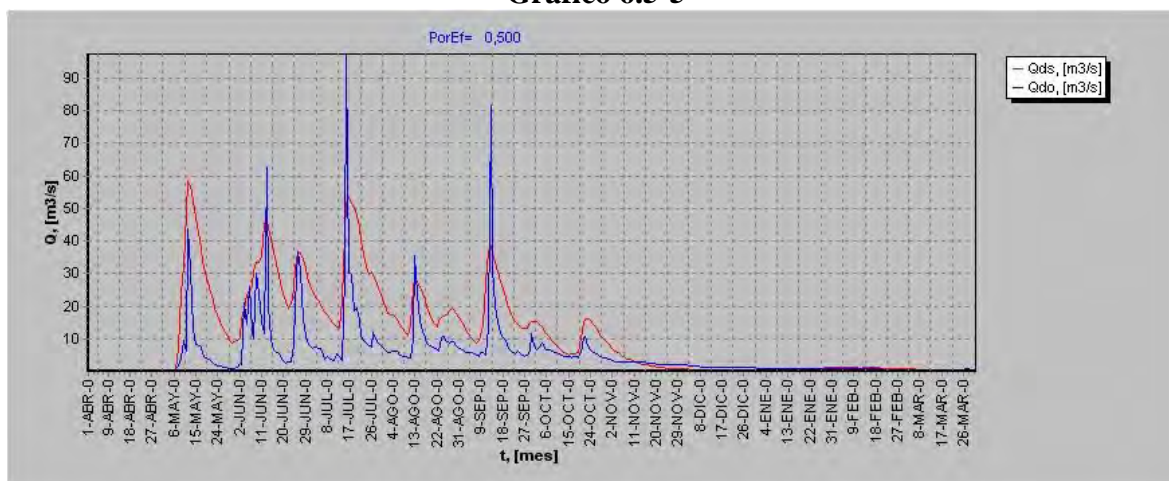
Gráfico 6.5-4



Cuadro 6.5-5

PorEf = 0,500			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,621
RMS	0,580	$\sigma(error)$	9,661

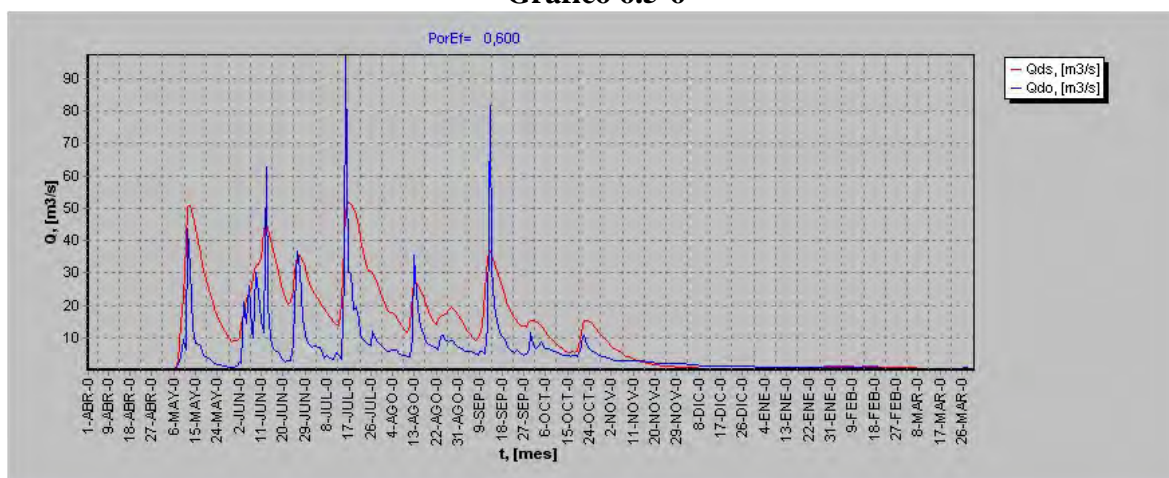
Gráfico 6.5-5



Cuadro 6.5-6

PorEf = 0,600			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,465
RMS	0,570	$\sigma(error)$	9,382

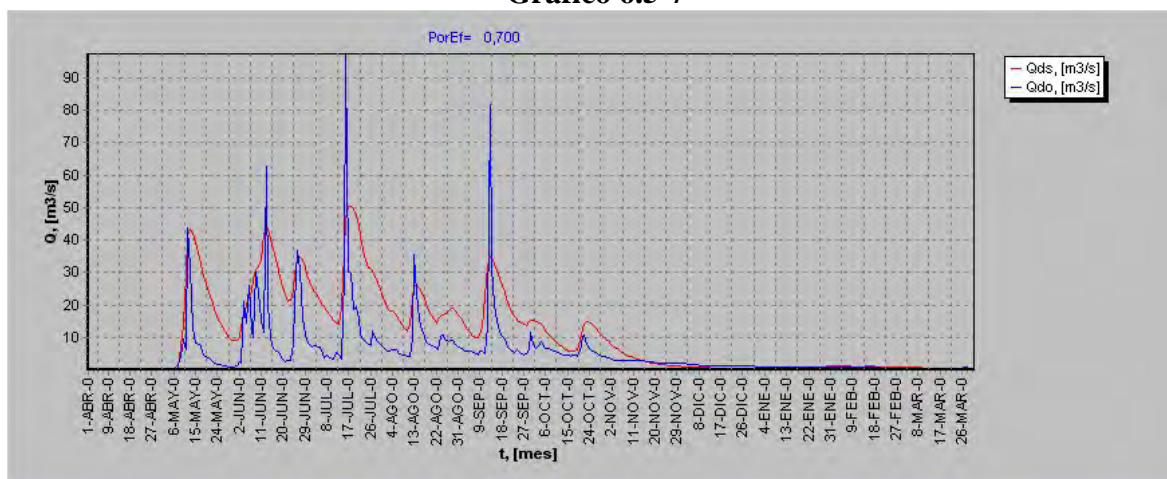
Gráfico 6.5-6



Cuadro 6.5-7

PorEf = 0,700			
R	0,972	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,308
RMS	0,560	$\sigma(error)$	9,208

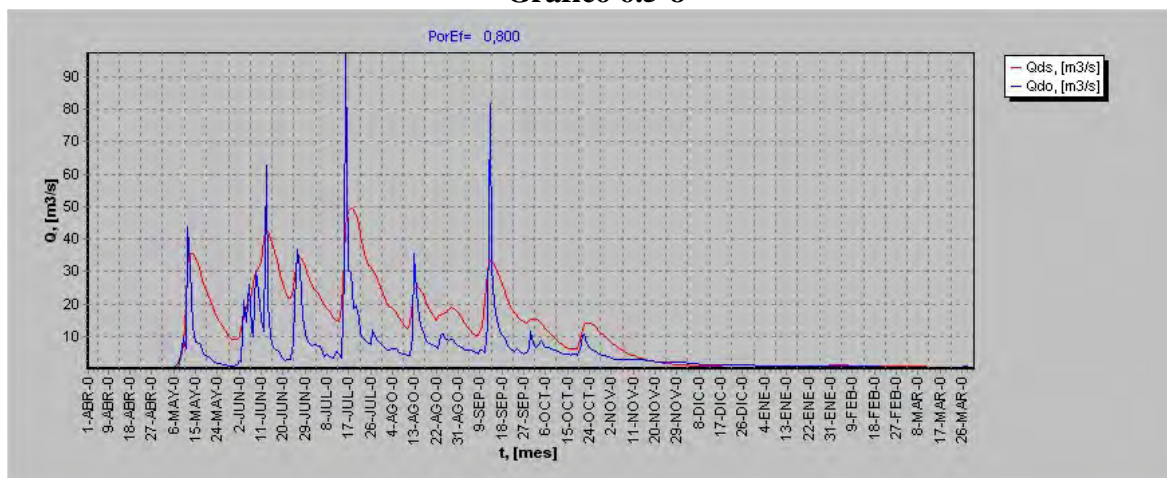
Gráfico 6.5-7



Cuadro 6.5-8

PorEf = 0,800			
R	0,970	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,151
RMS	0,550	$\sigma(error)$	9,126

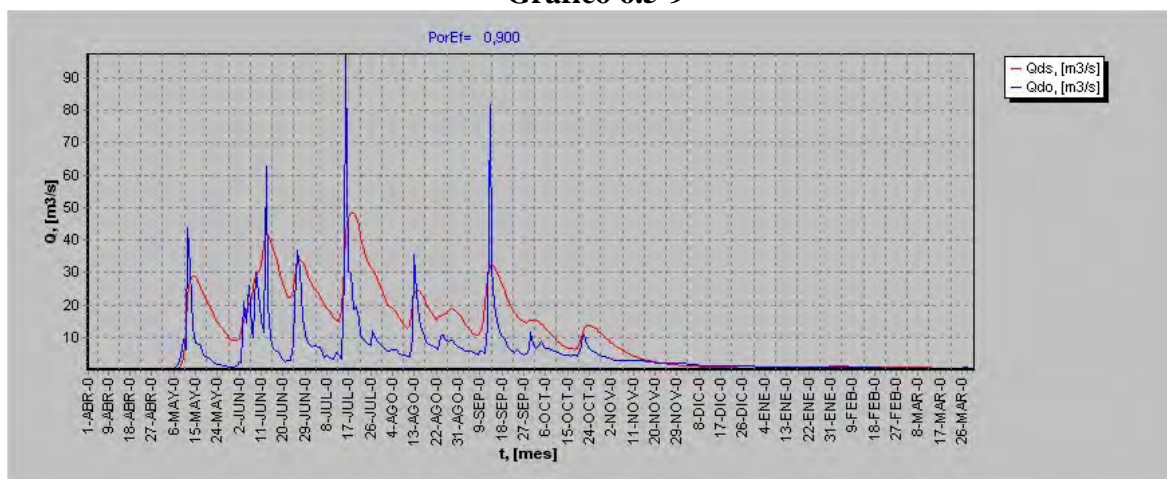
Gráfico 6.5-8



Cuadro 6.5-9

PorEf = 0,900			
R	0,969	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	4,993
RMS	0,540	$\sigma(error)$	9,120

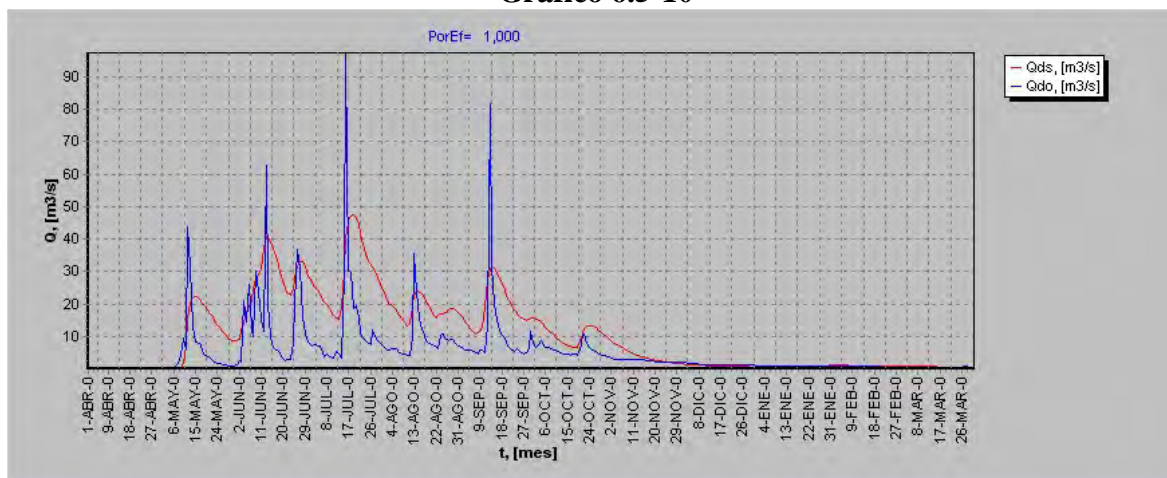
Gráfico 6.5-9



Cuadro 6.5-10

PorEf = 1,000			
R	0,968	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	4,835
RMS	0,540	$\sigma(error)$	9,173

Gráfico 6.5-10



Cuadro 6.5-11

PorEf	R	RMS	<i>RMS Normalizado</i>	$\mu(error)$	$\sigma(error)$
0,100	0,960	0,700	0,010	6,232	11,765
0,200	0,967	0,660	0,010	6,083	11,140
0,300	0,971	0,630	0,010	5,930	10,552
0,400	0,974	0,610	0,010	5,776	10,051
0,500	0,974	0,580	0,010	5,621	9,661
0,600	0,974	0,570	0,010	5,465	9,382
0,700	0,972	0,560	0,010	5,308	9,208
0,800	0,970	0,550	0,010	5,151	9,126
0,900	0,969	0,540	0,010	4,993	9,120
1,000	0,968	0,540	0,010	4,835	9,173

Gráfico 6.5.11
Porosidad Efectiva v/s R

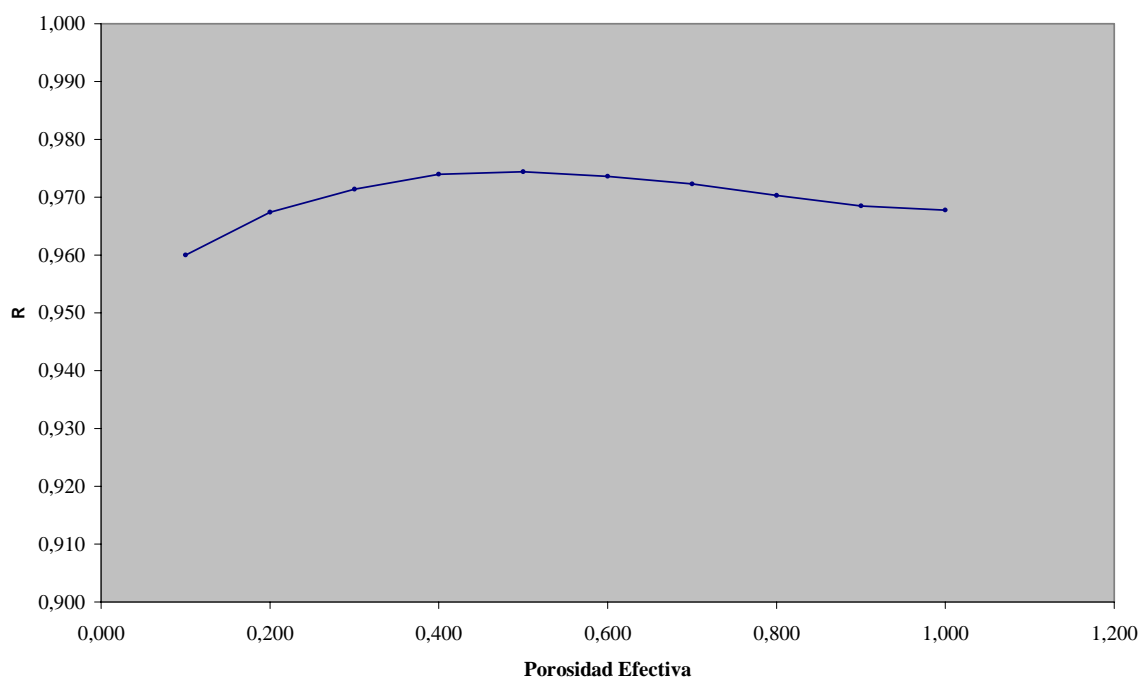


Gráfico 6.5.12
Porosidad Efectiva v/s EM

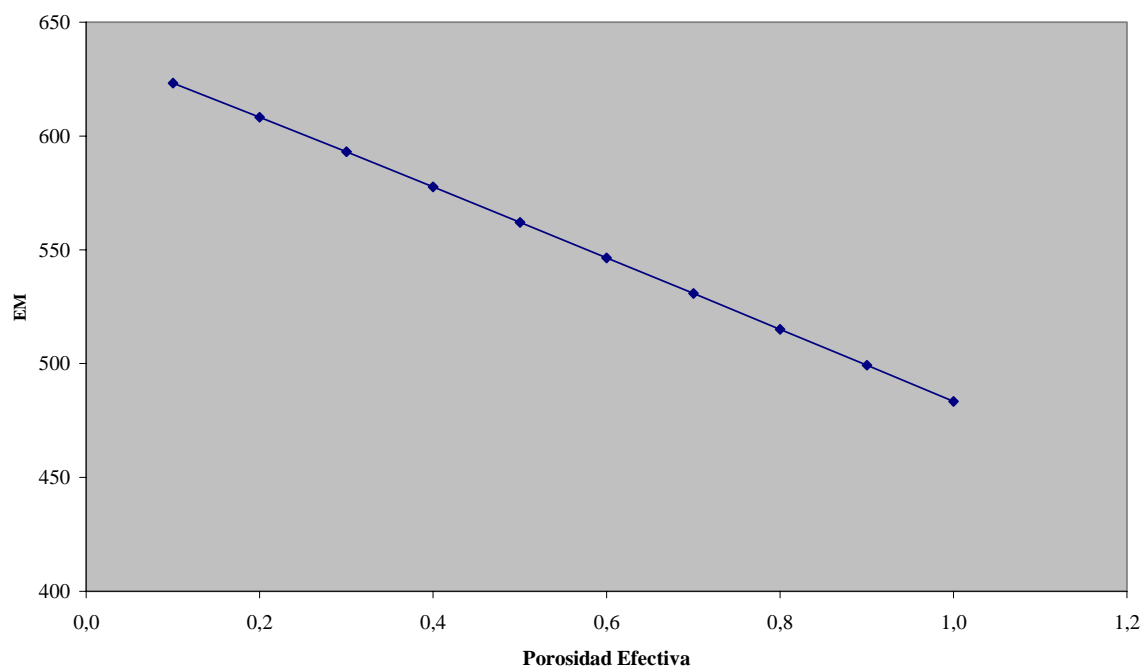


Gráfico 6.5.13
Porosidad Efectiva v/s RMS

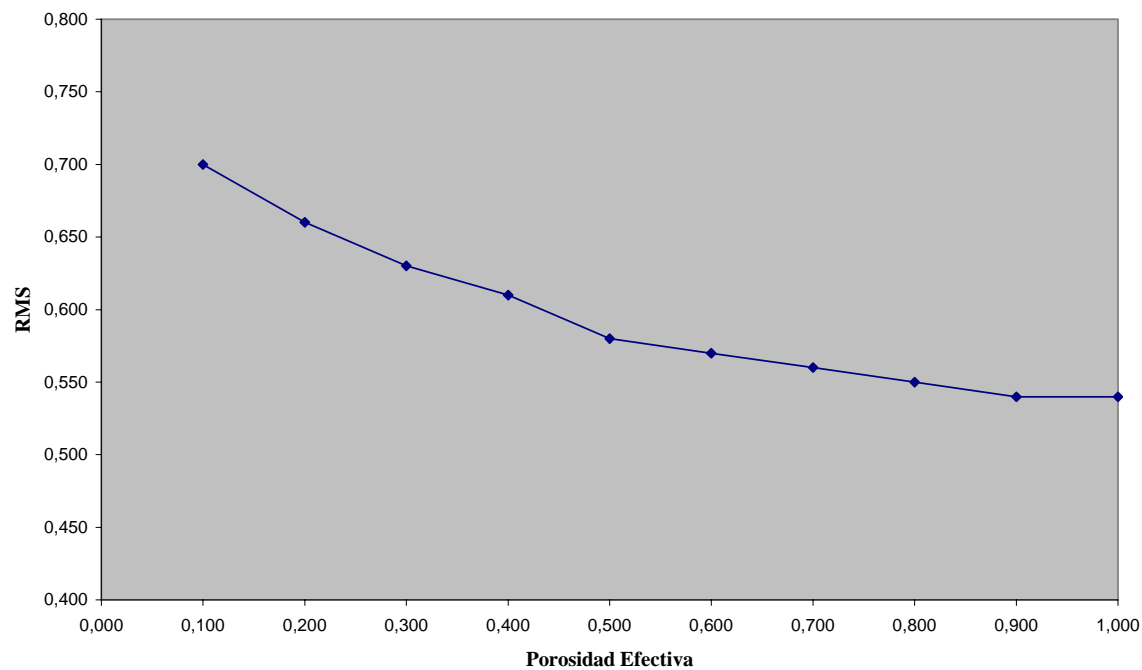


Gráfico 6.5.14
Porosidad Efectiva v/s RMS Normalizado

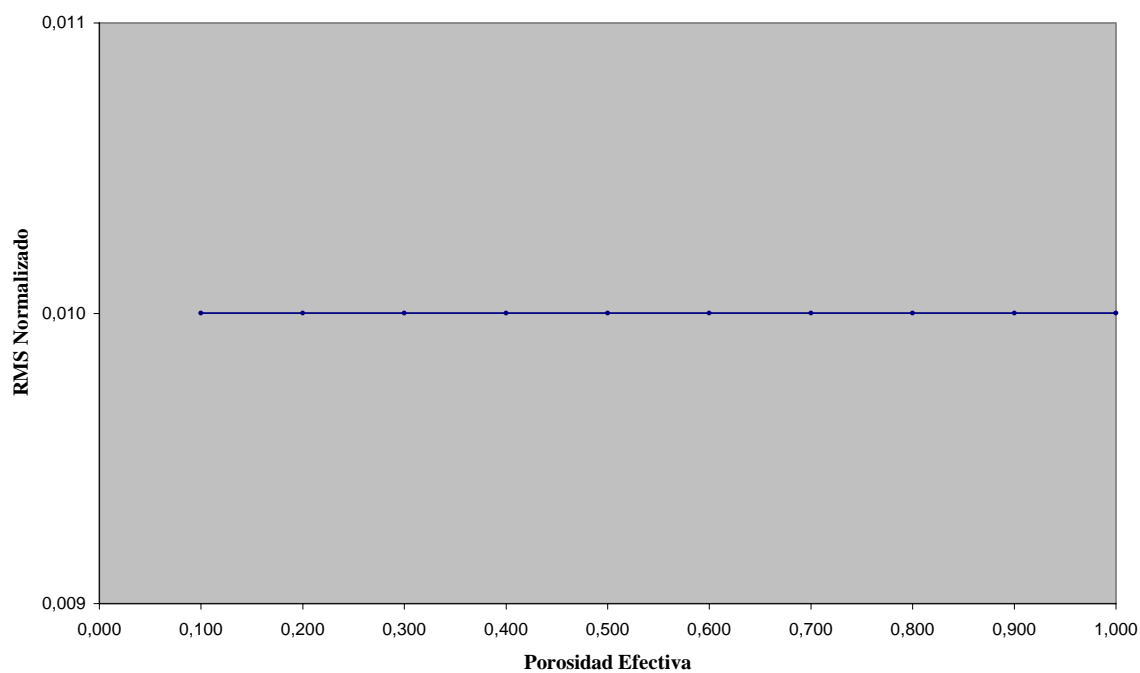


Gráfico 6.5.15
Porosidad Efectiva v/s Mu(error)

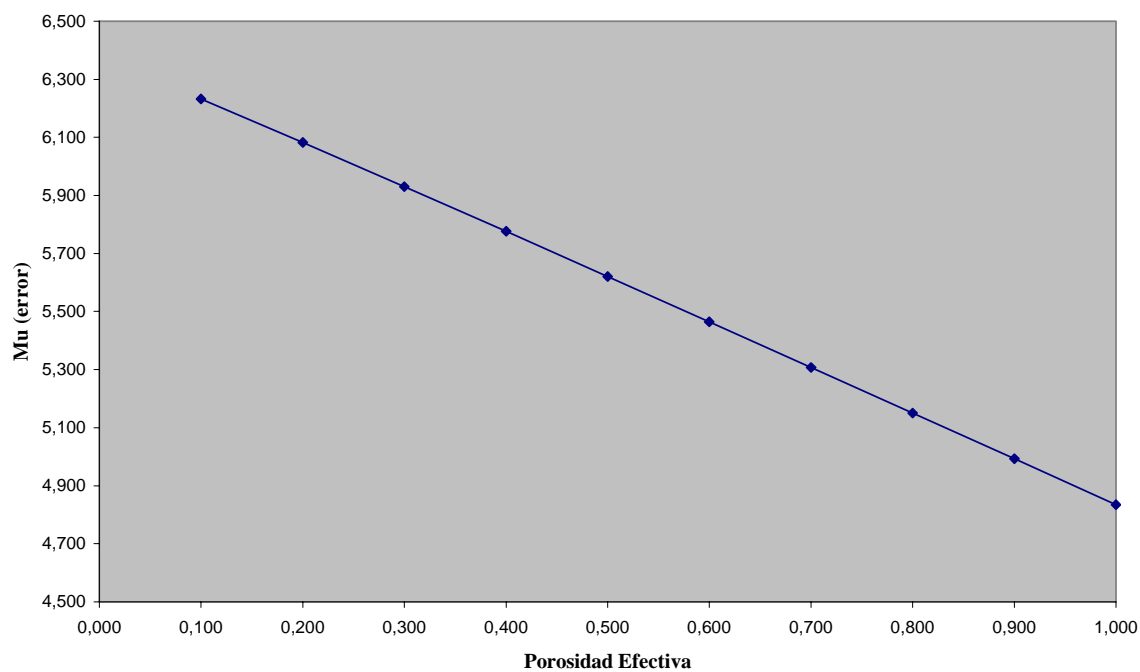


Gráfico 6.5.16
Porosidad Efectiva v/s Sigma(error)

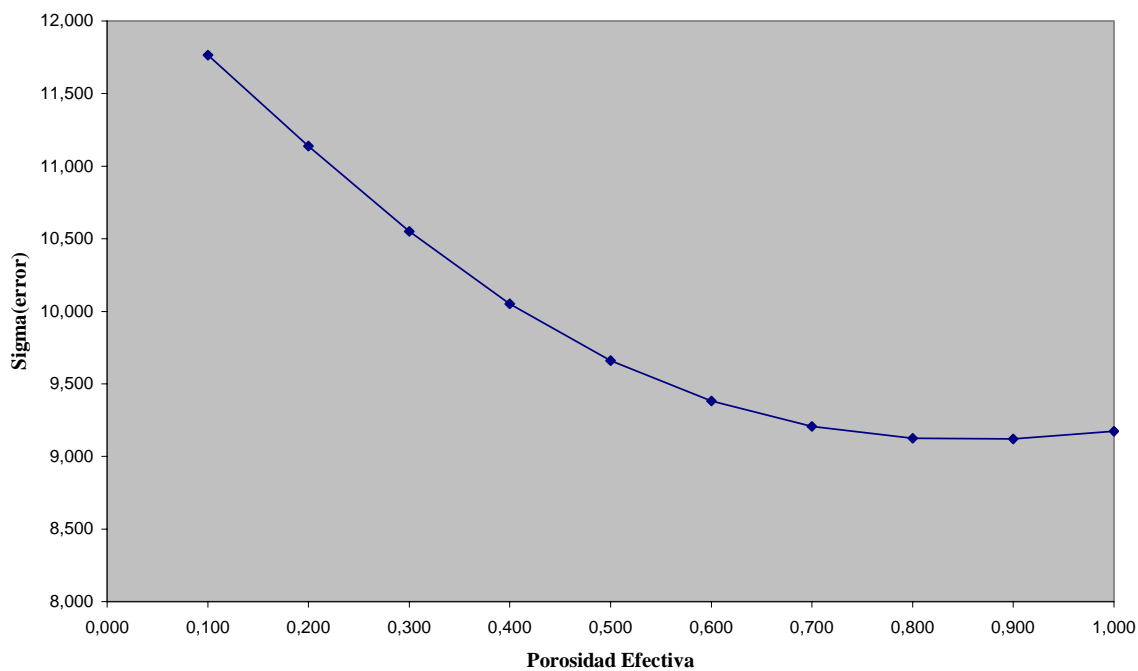
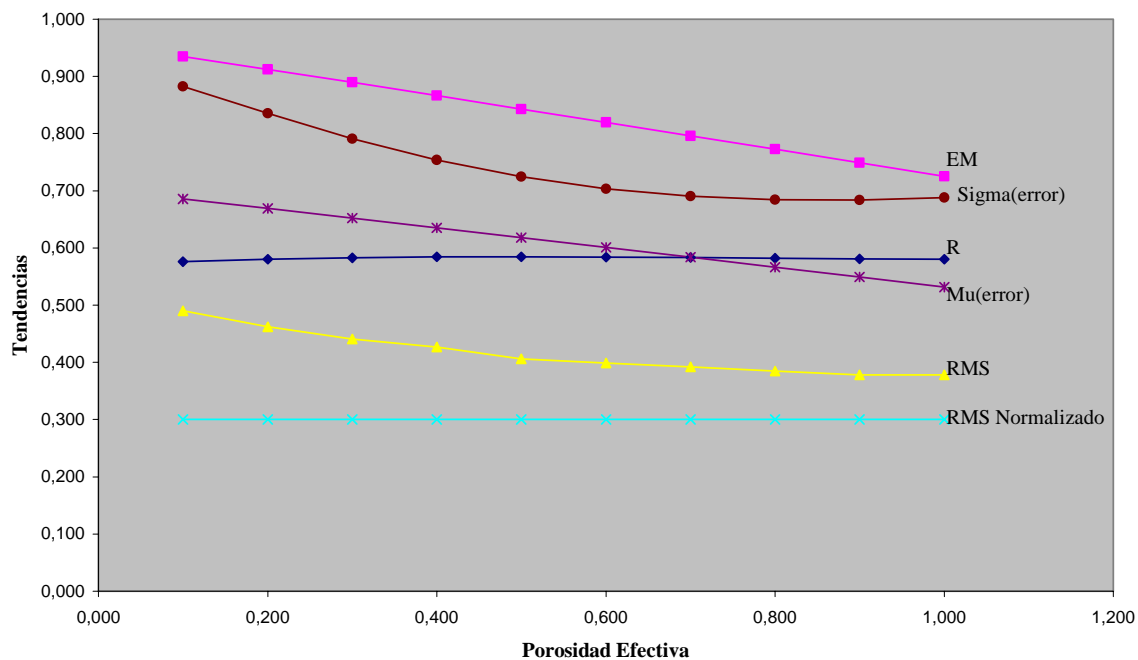


Gráfico 6.5.17
Tendencias parámetros v/s Porosidad Efectiva



A medida que aumentamos la porosidad disminuye la definición y la amplitud de la señal, se puede notar que esta disminución es más rápida al comienzo de la señal, de manera que este parámetro nos permite equilibrar la proporción de los peaks para acercarnos con una señal simulada semejante a la observada. Cabe notar que se produce un máximo para R cuando la porosidad está en torno a 0.4 cuyo valor es el recomendado por la literatura dado el suelo que tenemos en la cuenca.

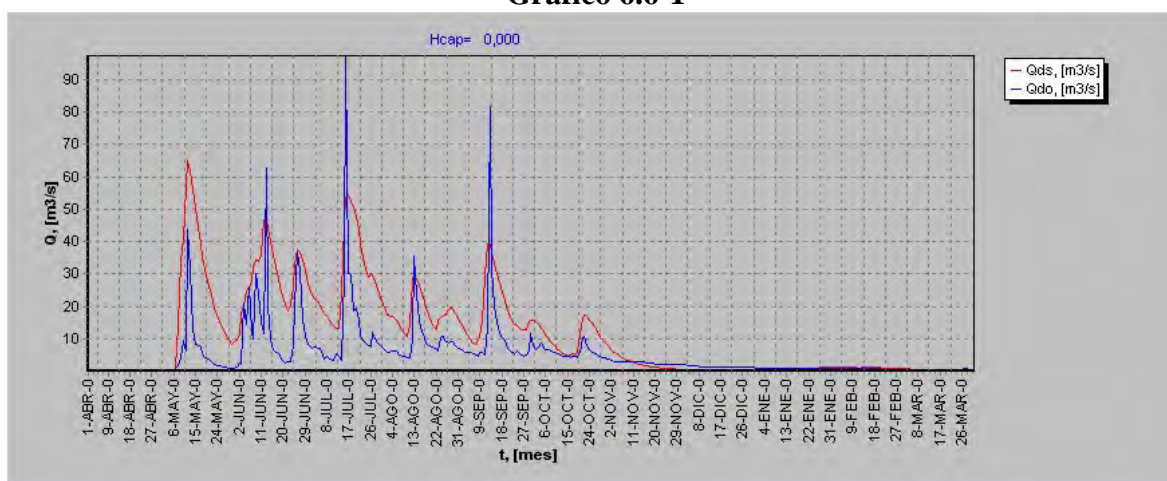
6.6. Altura Capilar H_{cap} .

A continuación se presentan los gráficos y tablas que dan cuenta de la variación del parámetro Altura Capilar, entre 0 y 1000 mm. con un paso de 10 mm.

Cuadro 6.6-1

$H_{cap} = 0,000 \text{ mm}$			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,758
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,998

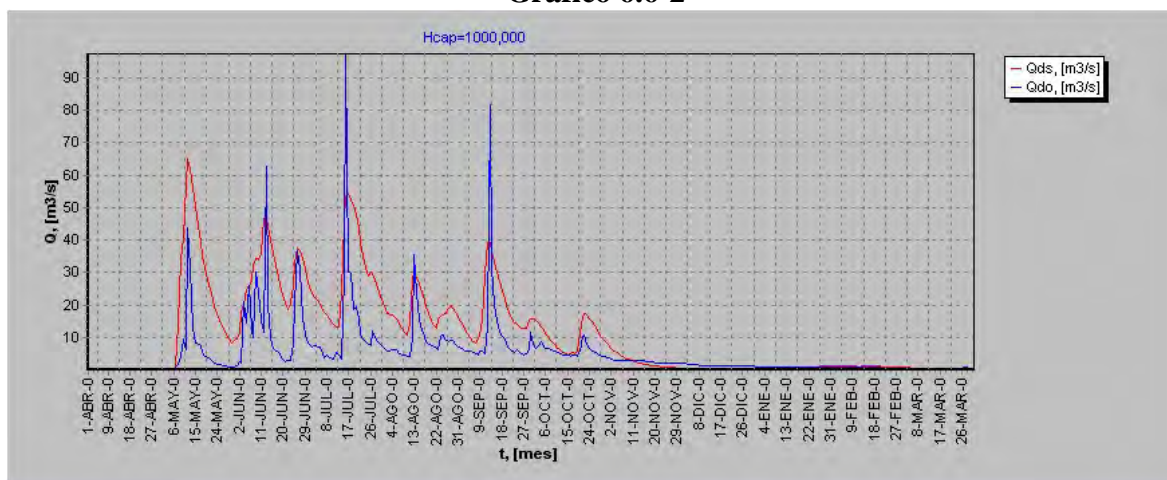
Gráfico 6.6-1



Cuadro 6.6-2

Hcap = 1000,000 mm			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,758
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,998

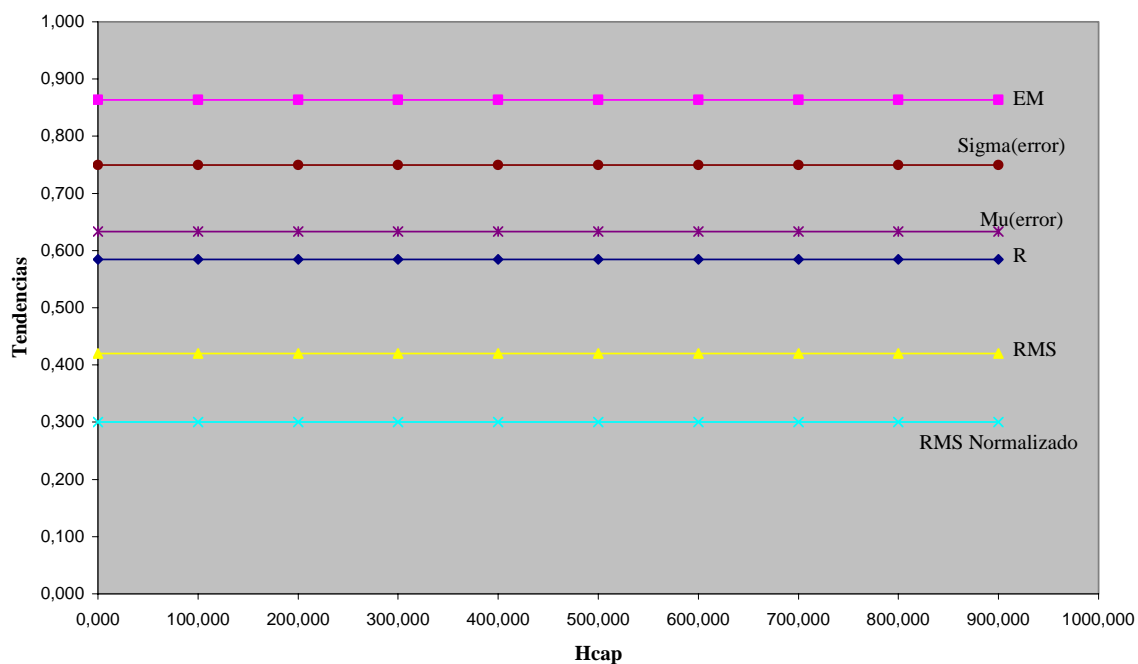
Gráfico 6.6-2



Cuadro 6.6-3

Hcap	R	RMS	<i>RMS Normalizado</i>	$\mu(error)$	$\sigma(error)$
0,000	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
100,000	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
200,000	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
300,000	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
400,000	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
500,000	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
600,000	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
700,000	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
800,000	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
900,000	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
1000,000	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998

Gráfico 6.6.3
Tendencias parámetros v/s Altura Capilar



Se puede ver que no existe efecto sobre la señal al variar la altura capilar.

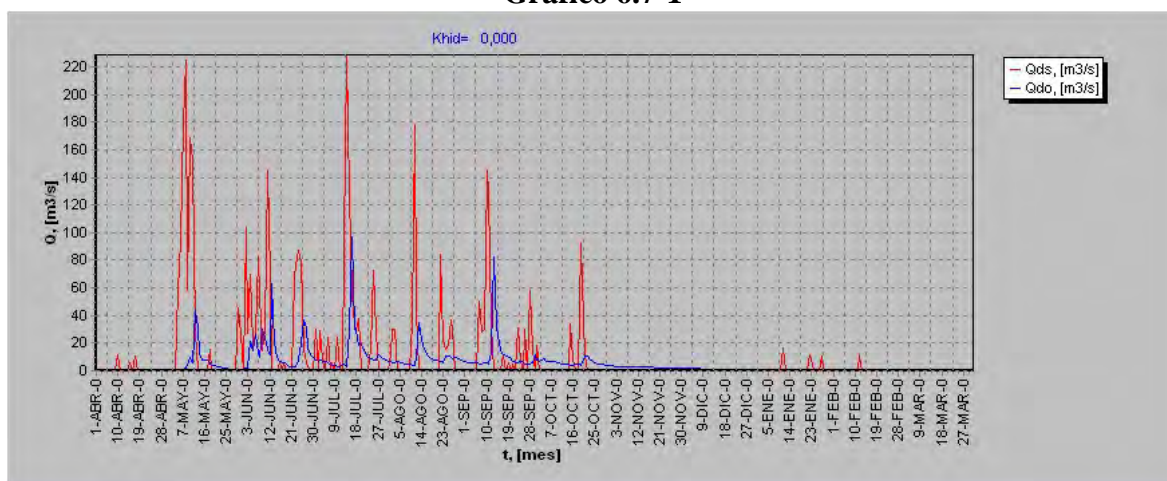
6.7. Conductividad hidráulica K_{hid} .

Las siguientes tablas y gráficos muestran el efecto sobre la señal simulada al variar la conductividad hidráulica, desde 0 a 10000 mm/h.

Cuadro 6.7-1

Khid = 0,000 mm/hr			
R	0,447	RMS Normalizado	0,020
		$\mu(error)$	6,375
RMS	1,740	$\sigma(error)$	32,604

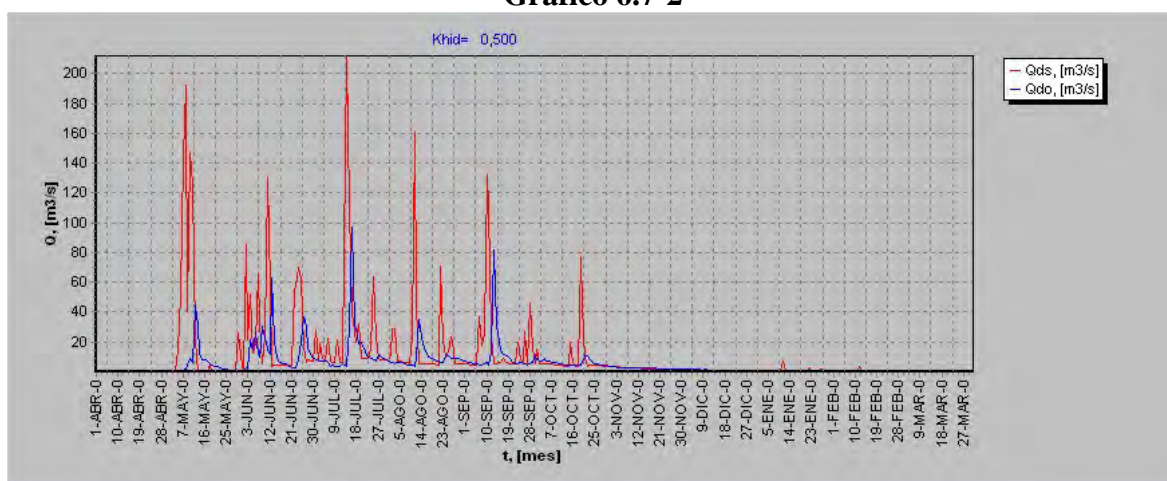
Gráfico 6.7-1



Cuadro 6.7-2

Khid = 0,500 mm/hr			
R	0,547	RMS Normalizado	0,020
		$\mu(error)$	5,598
RMS	1,460	$\sigma(error)$	27,346

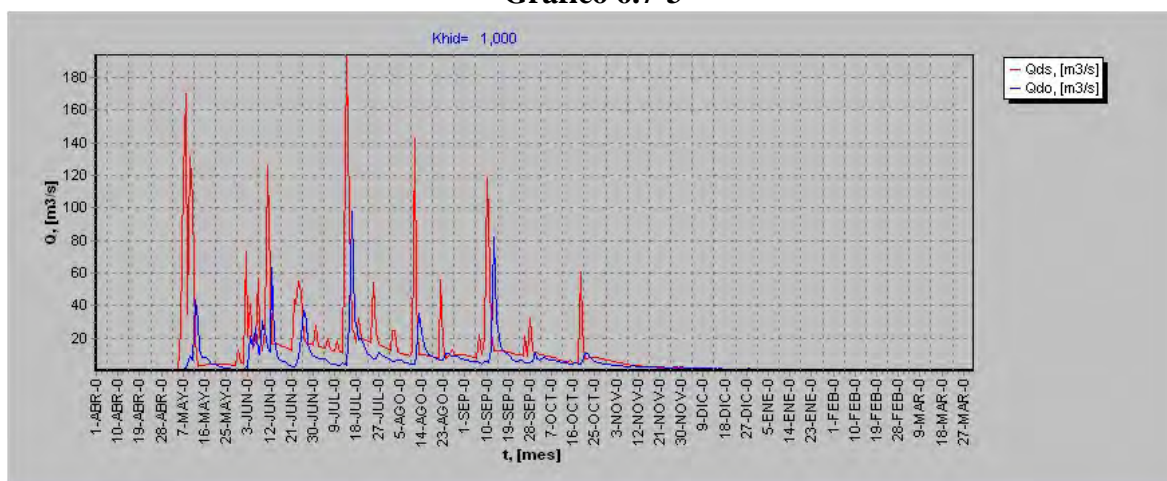
Gráfico 6.7-2



Cuadro 6.7-3

Kh_{id} = 1,000 mm/hr			
R	0,729	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,644
RMS	1,260	$\sigma(error)$	23,493

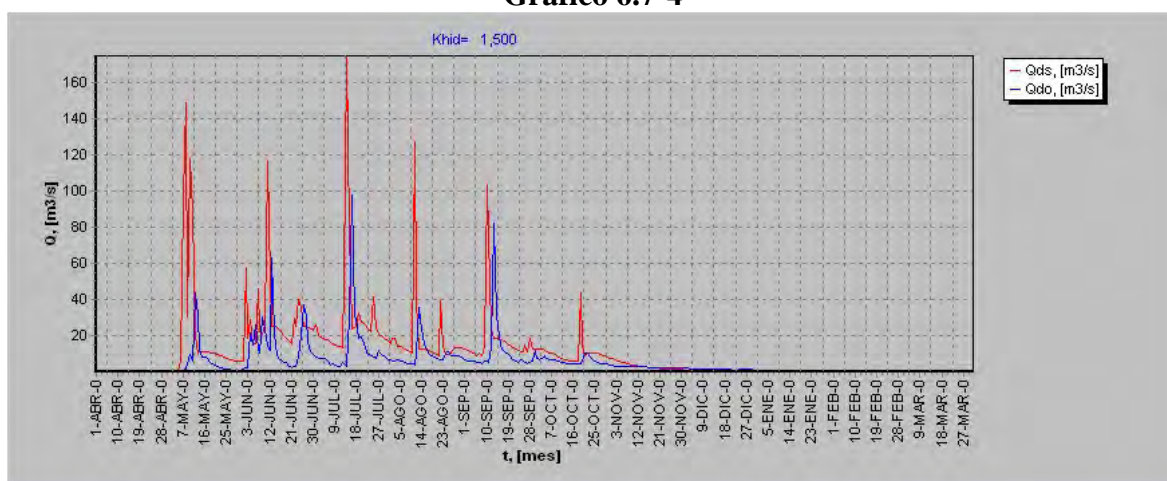
Gráfico 6.7-3



Cuadro 6.7-4

Kh_{id} = 1,500 mm/hr			
R	0,824	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,671
RMS	1,090	$\sigma(error)$	20,088

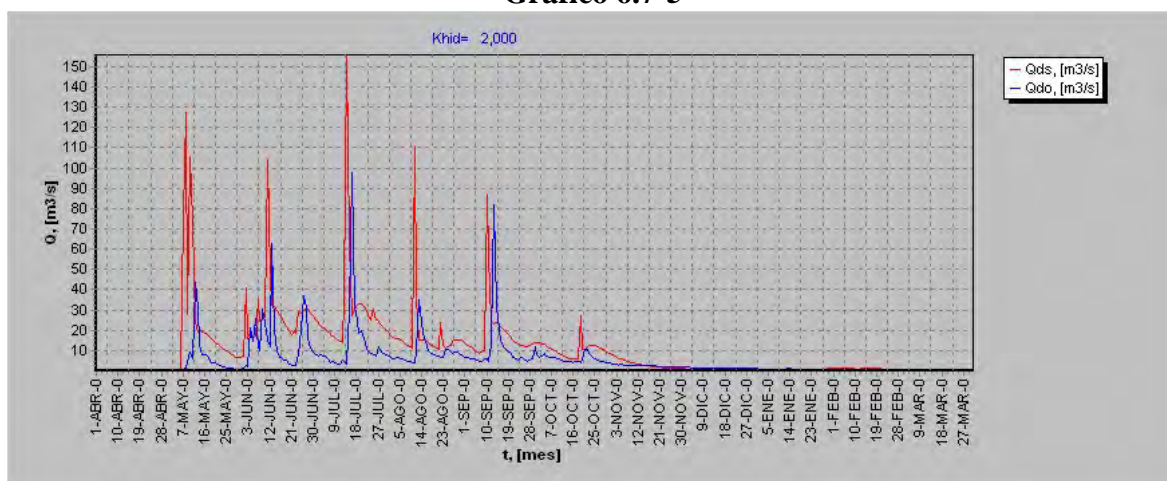
Gráfico 6.7-4



Cuadro 6.7-5

Khid = 2,000 mm/hr			
R	0,872	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,688
RMS	0,950	$\sigma(error)$	17,239

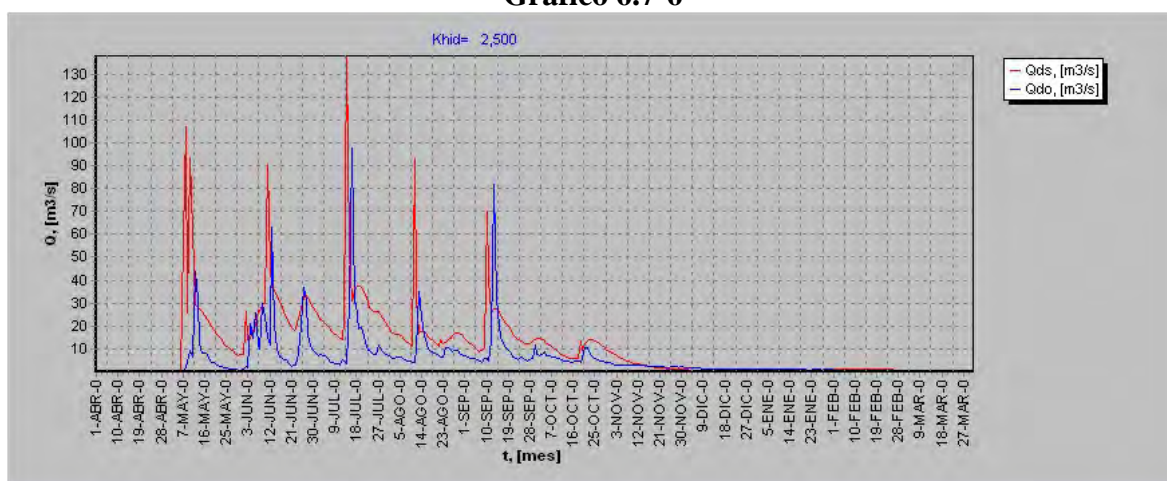
Gráfico 6.7-5



Cuadro 6.7-6

Khid = 2,500 mm/hr			
R	0,903	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,700
RMS	0,840	$\sigma(error)$	14,928

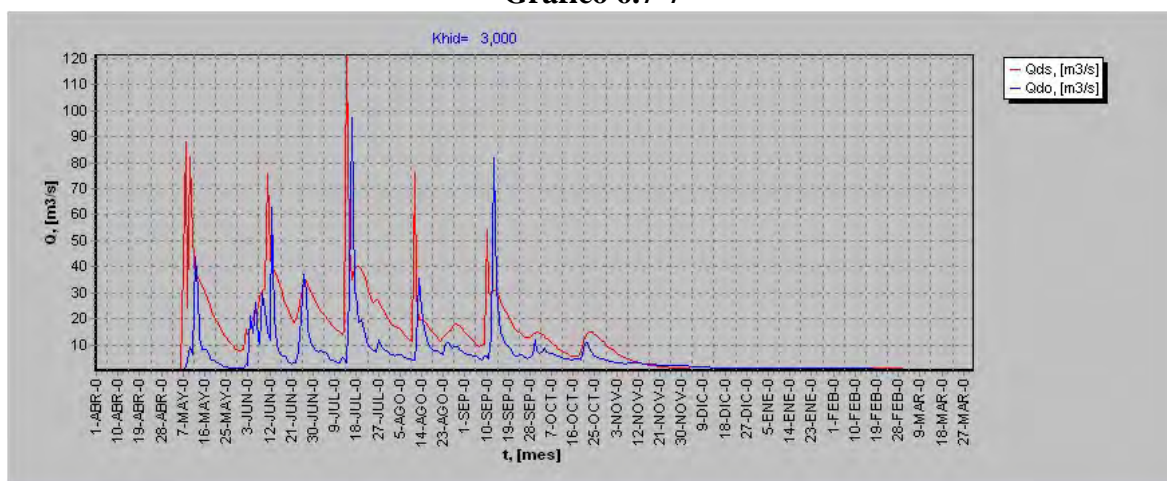
Gráfico 6.7-6



Cuadro 6.7-7

Kh_{id} = 3,000 mm/hr			
R	0,924	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,709
RMS	0,750	$\sigma(error)$	13,150

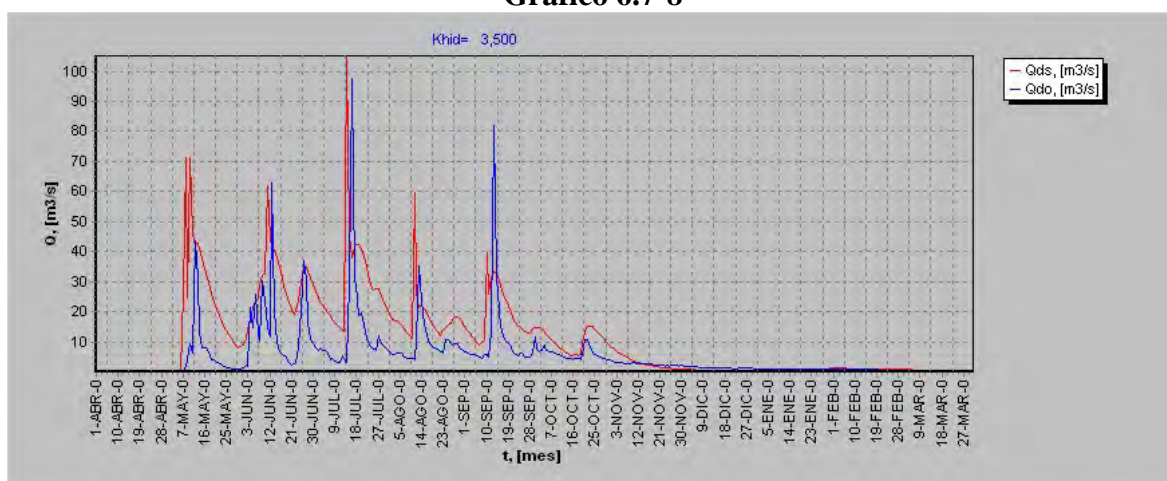
Gráfico 6.7-7



Cuadro 6.7-8

Kh_{id} = 3,500 mm/hr			
R	0,939	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,716
RMS	0,690	$\sigma(error)$	11,826

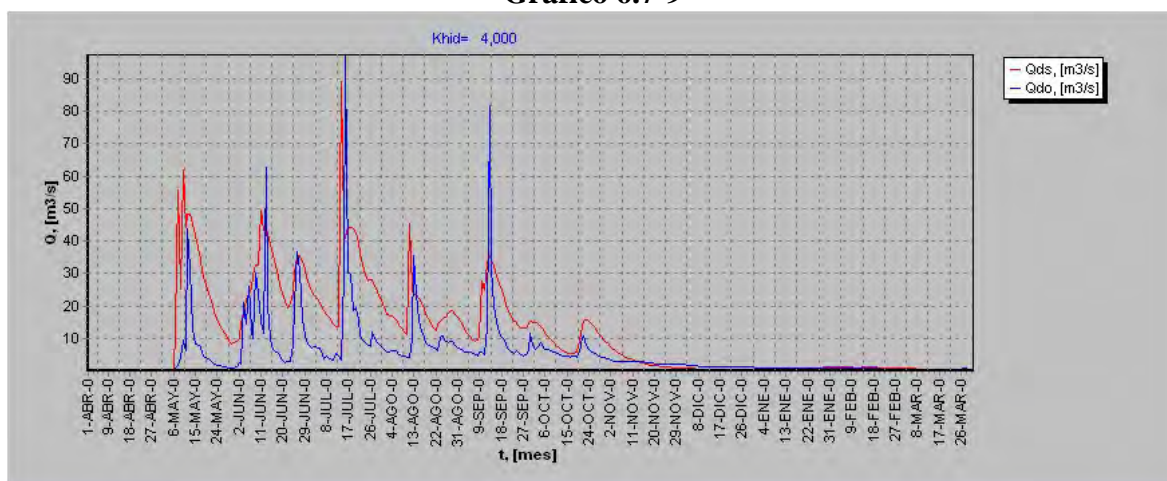
Gráfico 6.7-8



Cuadro 6.7-9

Kh_{id} = 4,000 mm/hr			
R	0,951	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,722
RMS	0,650	$\sigma(error)$	10,932

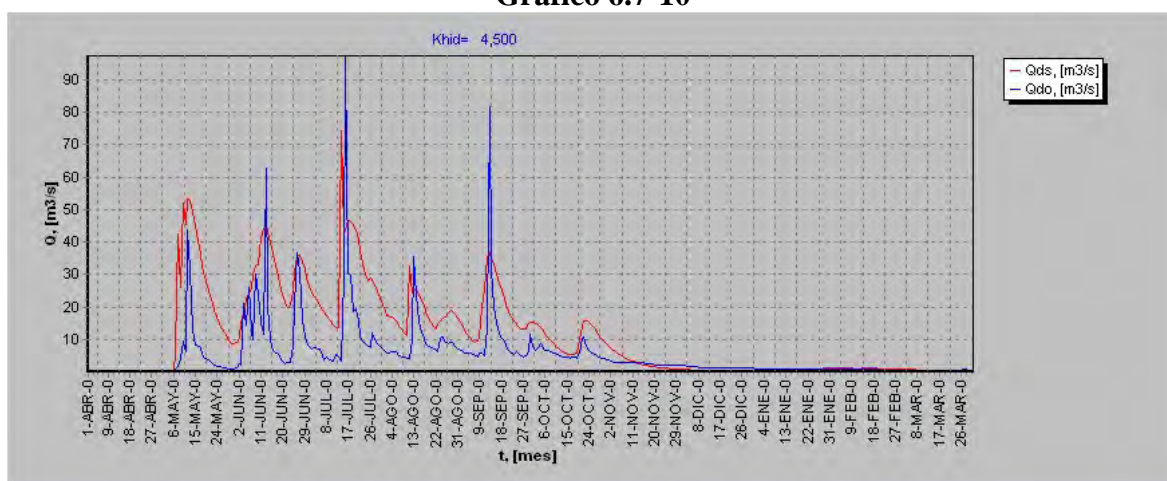
Gráfico 6.7-9



Cuadro 6.7-10

Kh_{id} = 4,500 mm/hr			
R	0,958	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,727
RMS	0,620	$\sigma(error)$	10,392

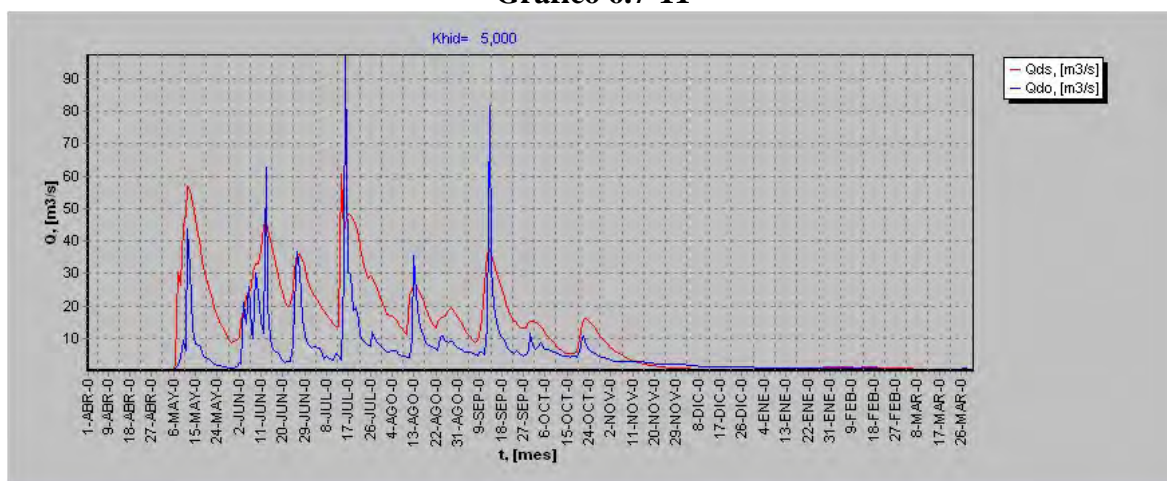
Gráfico 6.7-10



Cuadro 6.7-11

Kh_{id} = 5,000 mm/hr			
R	0,963	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,731
RMS	0,610	$\sigma(error)$	10,112

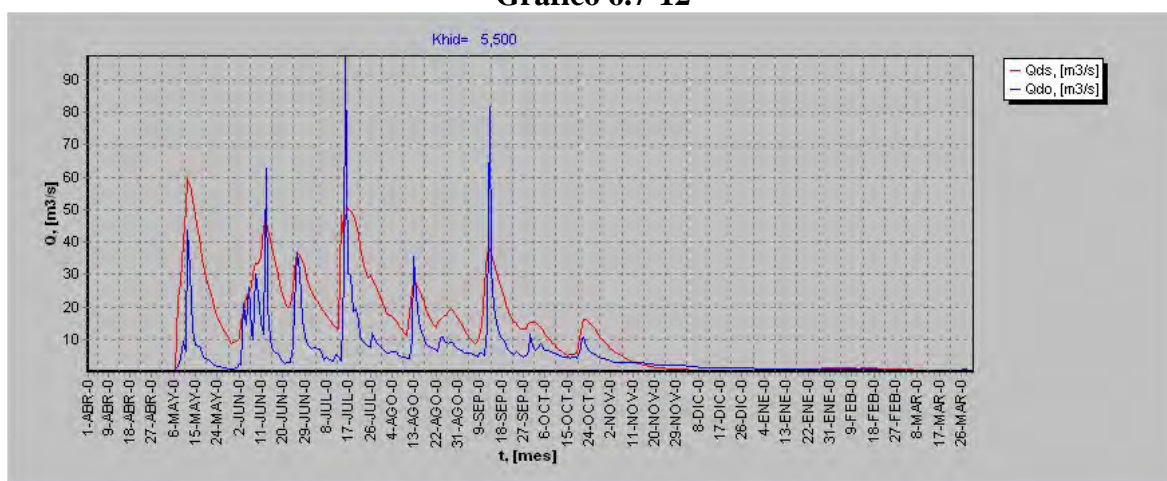
Gráfico 6.7-11



Cuadro 6.7-12

Kh_{id} = 5,500 mm/hr			
R	0,967	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,735
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,979

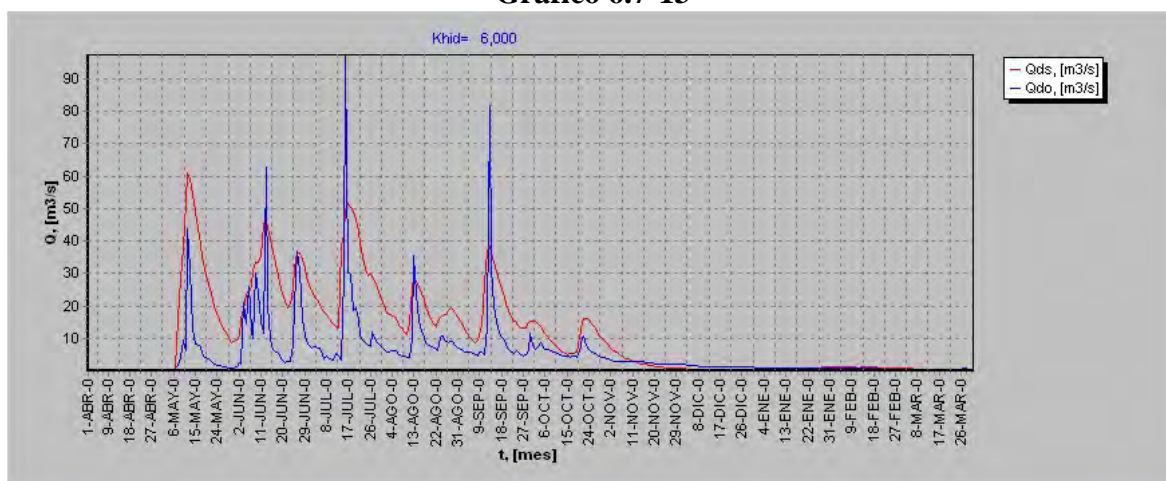
Gráfico 6.7-12



Cuadro 6.7-13

Khid = 6,000 mm/hr			
R	0,970	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,738
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,930

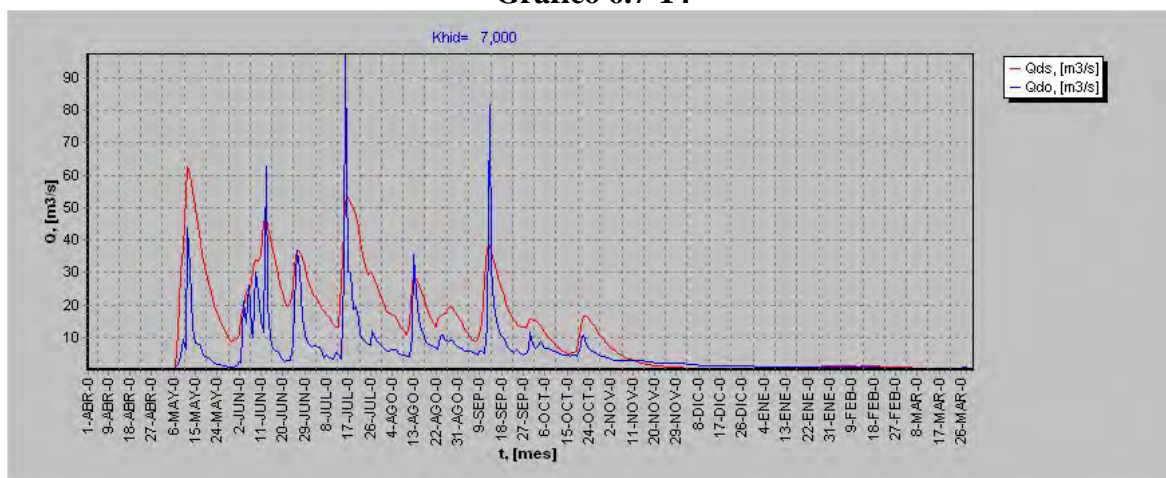
Gráfico 6.7-13



Cuadro 6.7-14

Khid = 7,000 mm/hr			
R	0,973	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,744
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,927

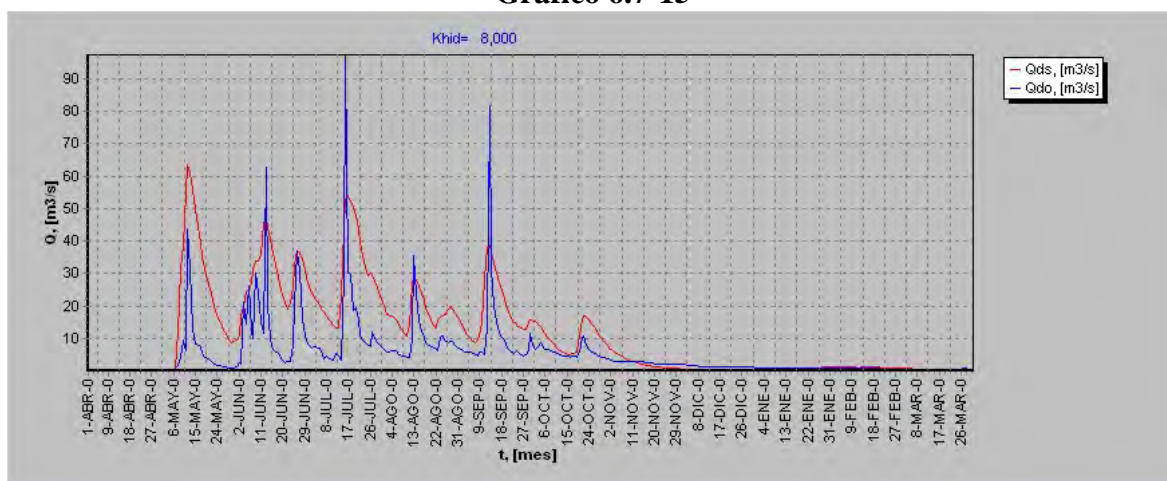
Gráfico 6.7-14



Cuadro 6.7-15

Khid = 8,000 mm/hr			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,748
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,943

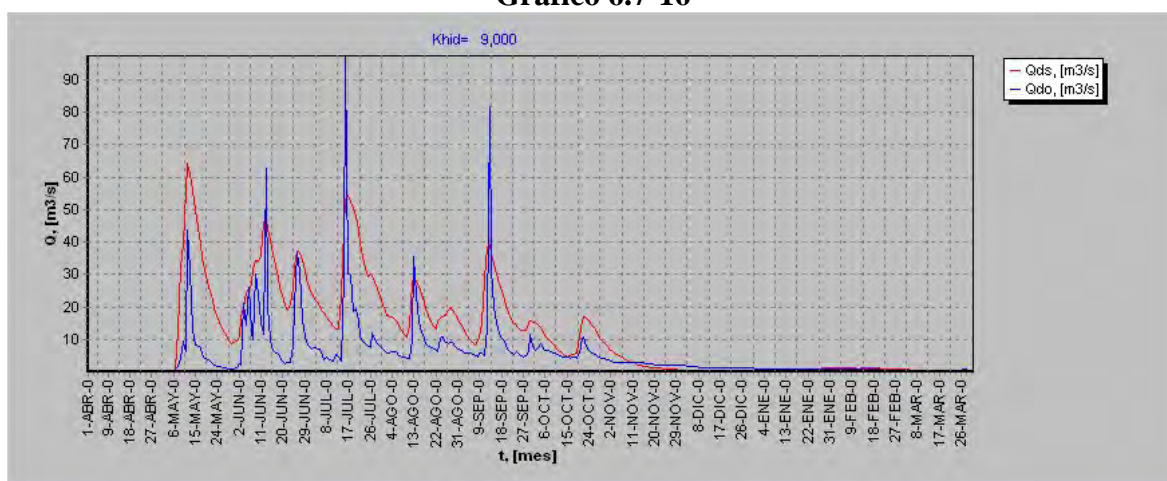
Gráfico 6.7-15



Cuadro 6.7-16

Khid = 9,000 mm/hr			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,752
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,964

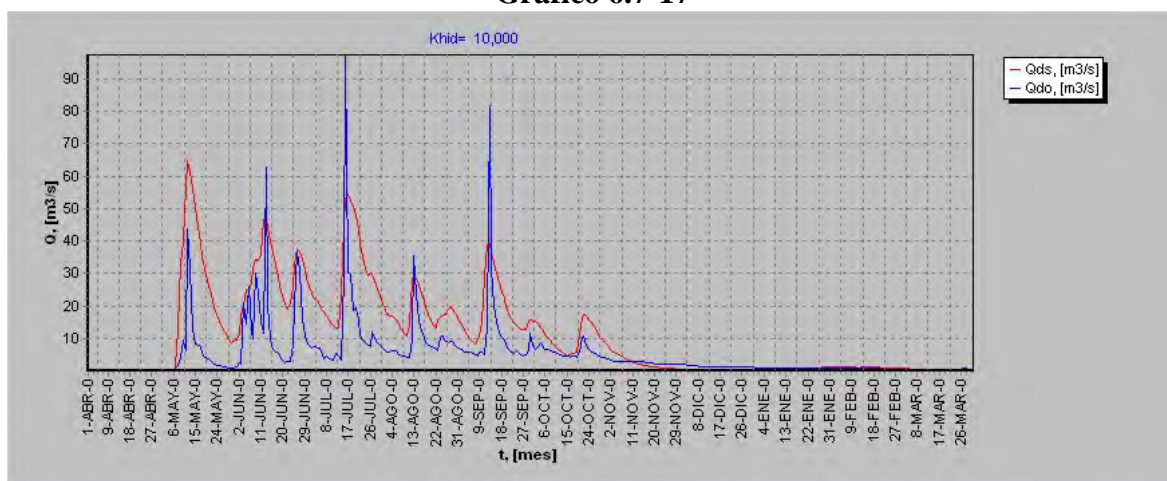
Gráfico 6.7-16



Cuadro 6.7-17

Khid = 10,000 mm/hr			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,755
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,982

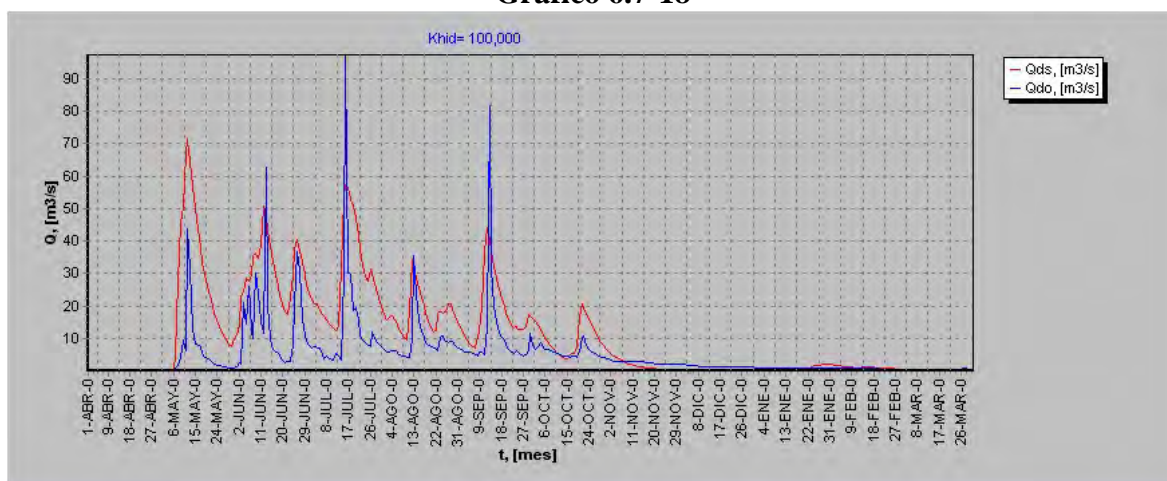
Gráfico 6.7-17



Cuadro 6.7-18

Khid = 100,000 mm/hr			
R	0,972	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,799
RMS	0,620	$\sigma(error)$	10,416

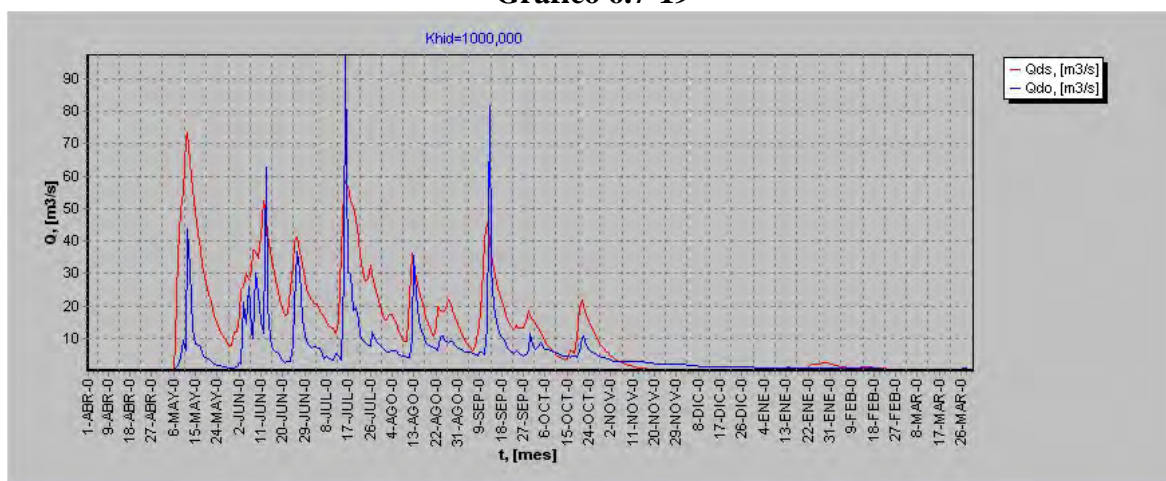
Gráfico 6.7-18



Cuadro 6.7-19

Kh_{id} = 1000,000 mm/hr			
R	0,969	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,815
RMS	0,640	$\sigma(error)$	10,709

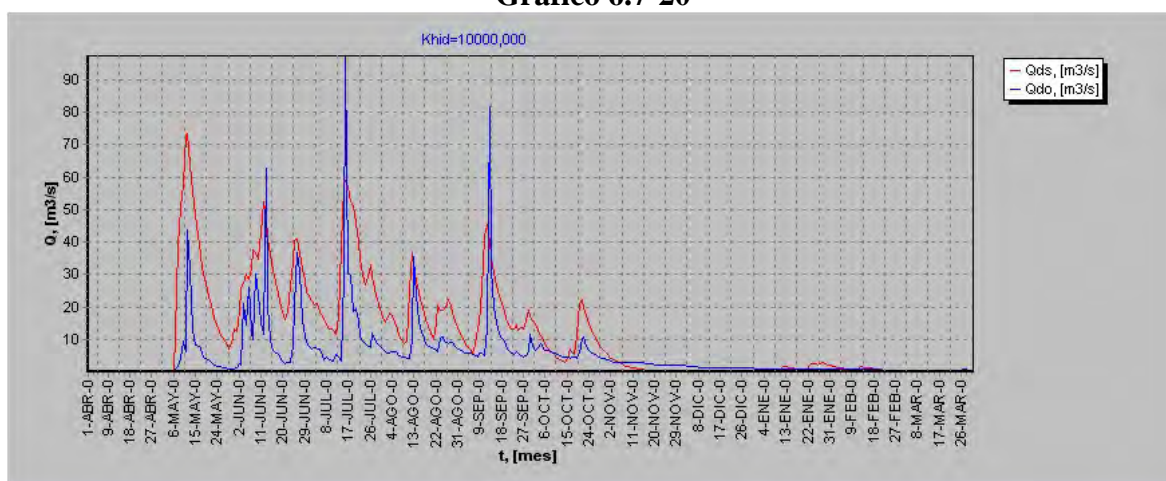
Gráfico 6.7-19



Cuadro 6.7-20

Kh_{id} = 10000,000 mm/hr			
R	0,966	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,821
RMS	0,640	$\sigma(error)$	10,857

Gráfico 6.7-20



Cuadro 6.7-21

Khid	R	RMS	RMS Normalizado	$\mu(error)$	$\sigma(error)$
0,000	0,447	1,740	0,020	6,375	32,604
0,500	0,547	1,460	0,020	5,598	27,346
1,000	0,729	1,260	0,010	5,644	23,493
1,500	0,824	1,090	0,010	5,671	20,088
2,000	0,872	0,950	0,010	5,688	17,239
2,500	0,903	0,840	0,010	5,700	14,928
3,000	0,924	0,750	0,010	5,709	13,150
3,500	0,939	0,690	0,010	5,716	11,826
4,000	0,951	0,650	0,010	5,722	10,932
4,500	0,958	0,620	0,010	5,727	10,392
5,000	0,963	0,610	0,010	5,731	10,112
5,500	0,967	0,600	0,010	5,735	9,979
6,000	0,970	0,600	0,010	5,738	9,930
7,000	0,973	0,600	0,010	5,744	9,927
8,000	0,974	0,600	0,010	5,748	9,943
9,000	0,974	0,600	0,010	5,752	9,964
10,000	0,974	0,600	0,010	5,755	9,982
100,000	0,972	0,620	0,010	5,799	10,416
1000,000	0,969	0,640	0,010	5,815	10,709
10000,000	0,966	0,640	0,010	5,821	10,857

Gráfico 6.7.21
Conductividad hidráulica v/s R

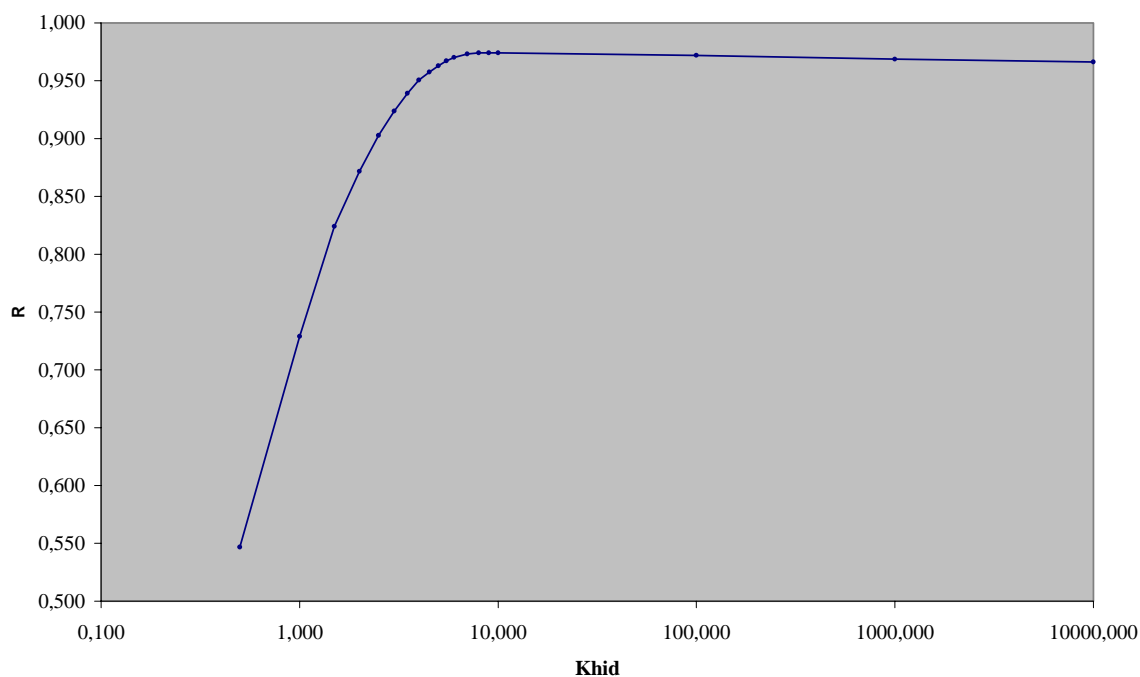


Gráfico 6.7.22
Conductividad hidráulica v/s EM

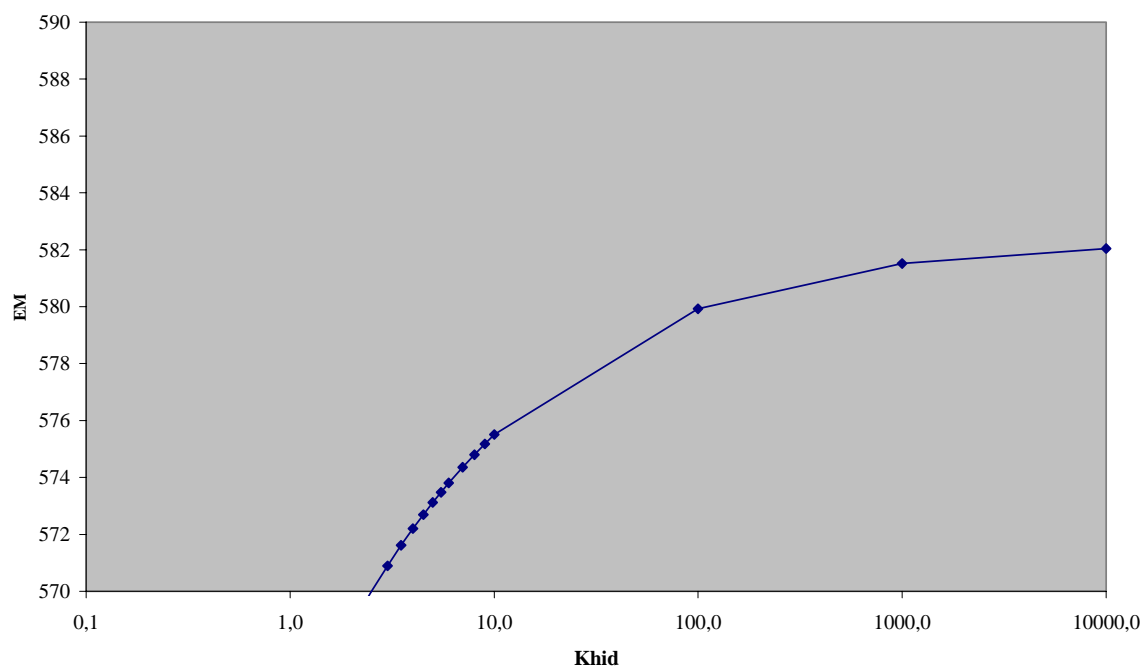


Gráfico 6.7.23
Conductividad hidráulica v/s RMS

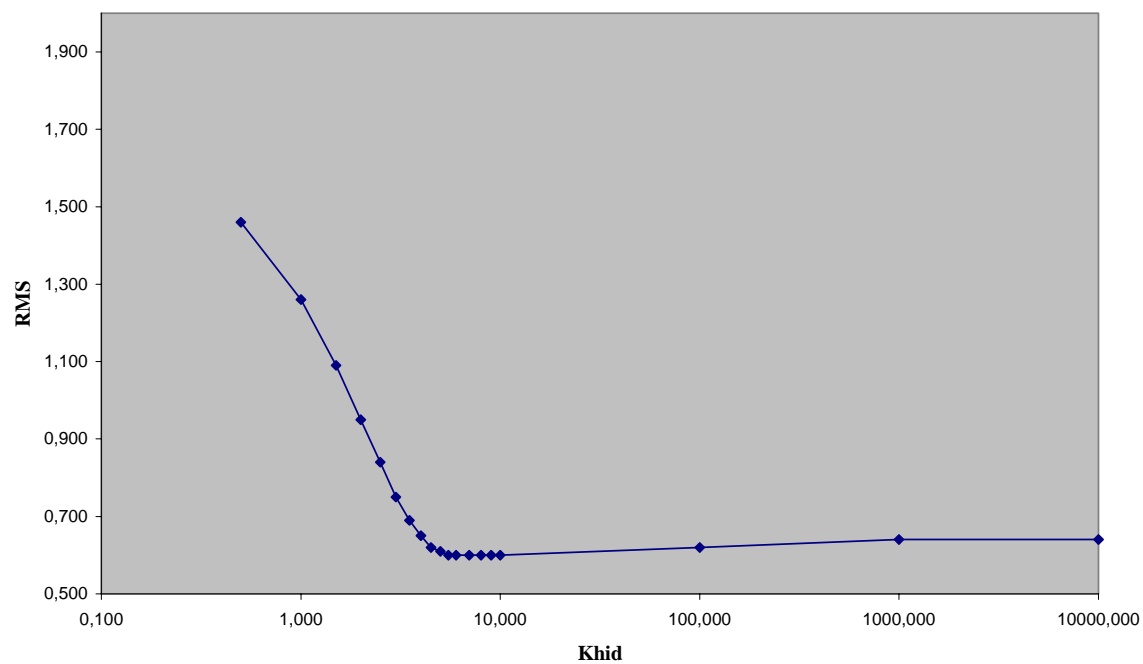


Gráfico 6.7.24
Conductividad hidráulica v/s RMS Normalizado

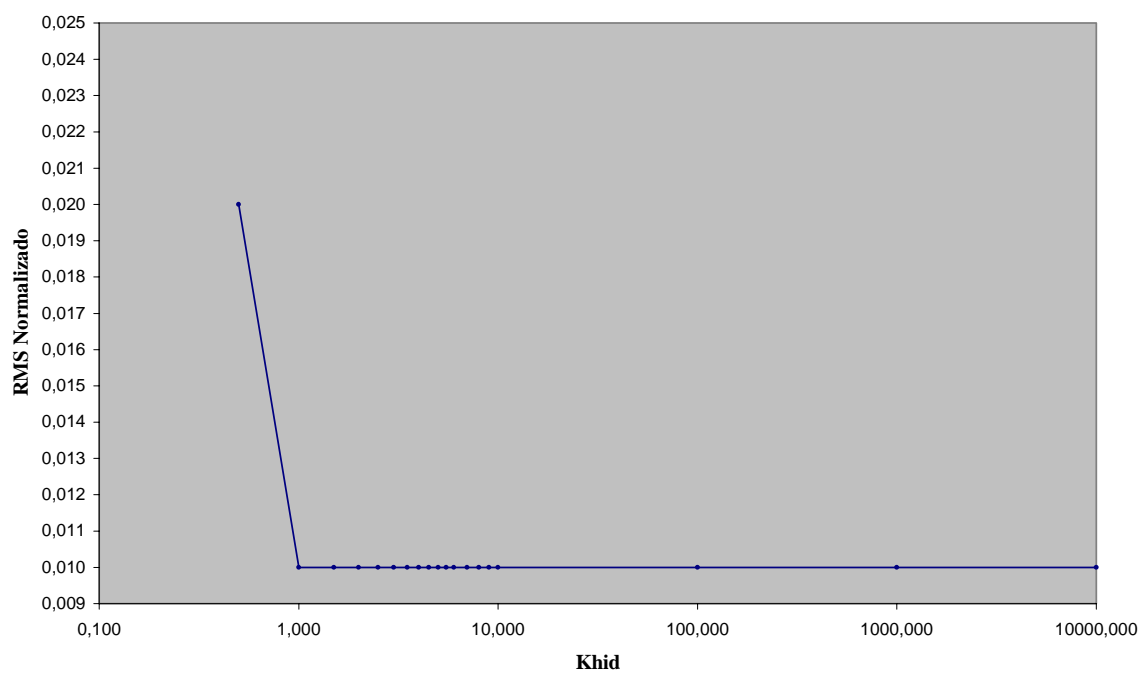


Gráfico 6.7.25
Conductividad hidráulica v/s Mu(error)

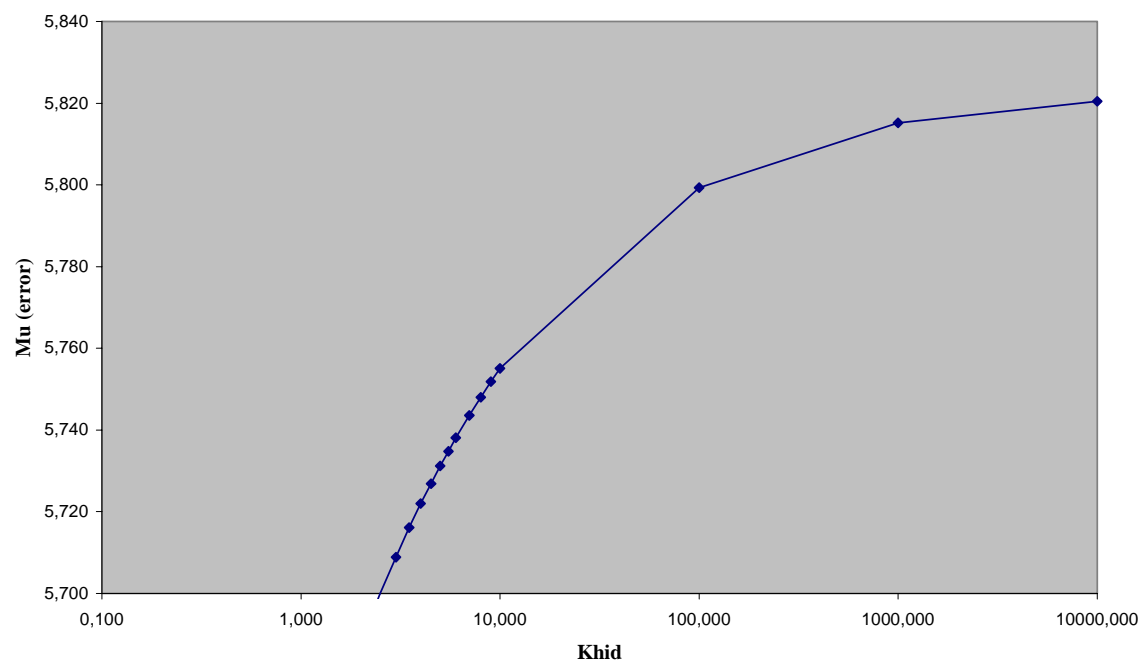


Gráfico 6.7.26
Conductividad hidráulica v/s Sigma(error)

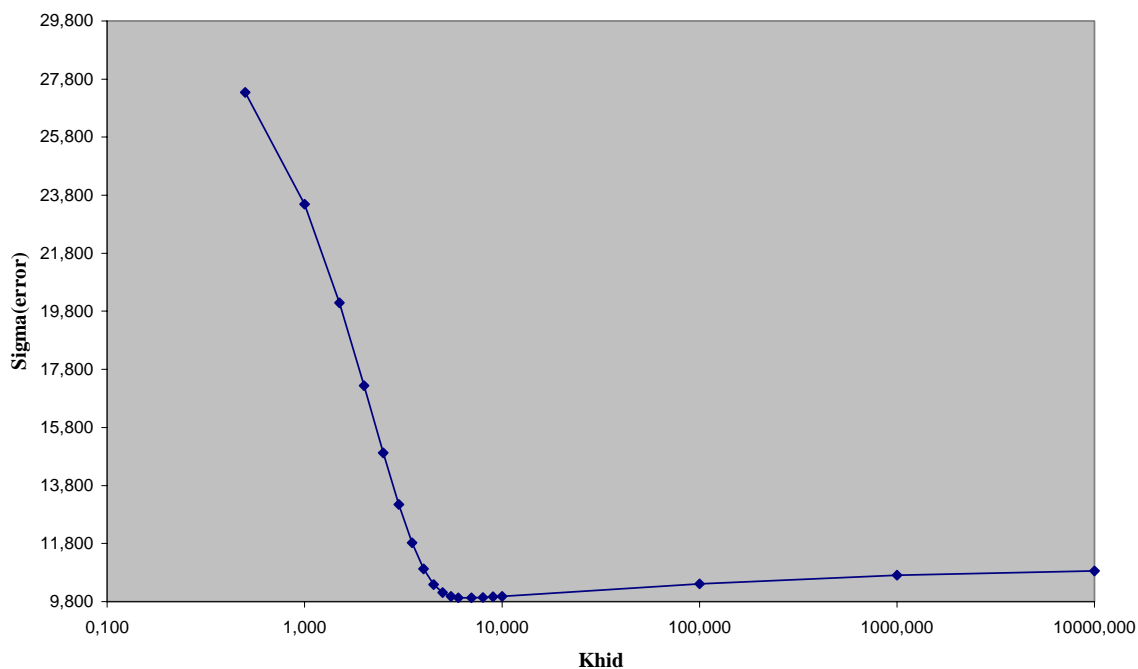
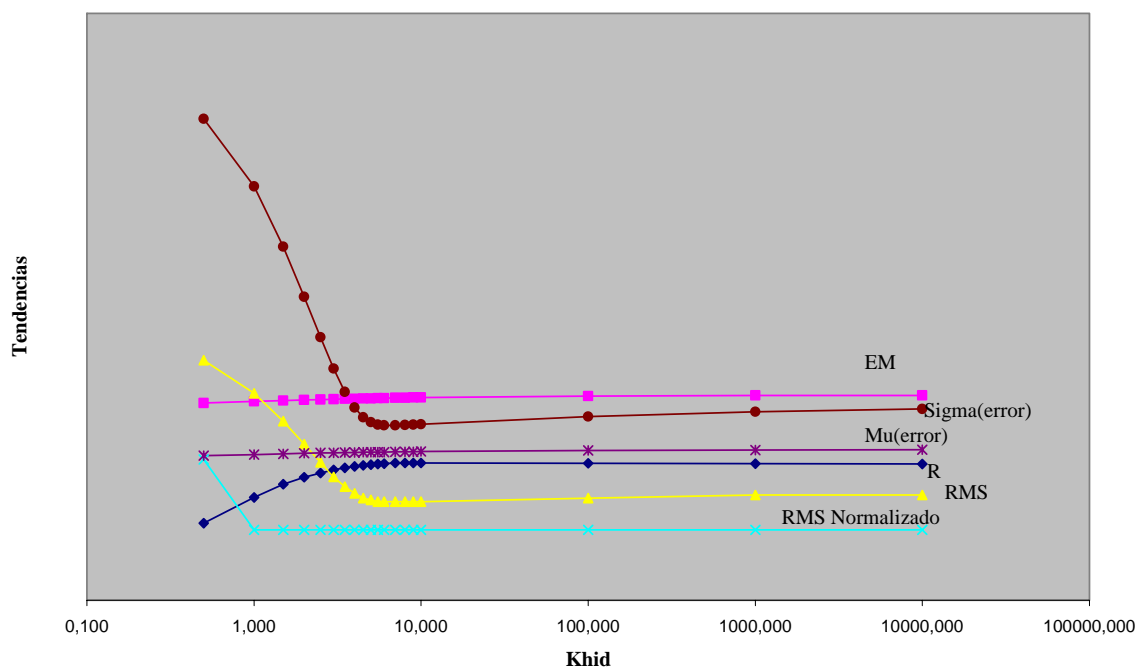


Gráfico 6.7.27
Tendencias parámetros v/s Khid



Para Khid bajo 10 el nivel de definición de la señal es excelente notándose muchos peaks con amplificación excesiva, a medida que se avanza hasta $Khid = 6$ la señal se pone más esbelta y se sincroniza de manera que el desfase aparente se anula, si se sigue aumentando el valor de Khid sobre 6 la señal aumenta su amplitud adoptando la forma final con bordes suaves (se pierden detalles). Para valores entre 100 y 1000 los cambios son imperceptibles, sube un poco la amplitud de la señal. Parece ser entonces que un valor entre 4 y 6 reproduce con un alto nivel de definición los detalles de la señal. Por otro lado el gráfico 6.7.27 sugiere que a partir de $Khid = 6$ los parámetros se estabilizan.

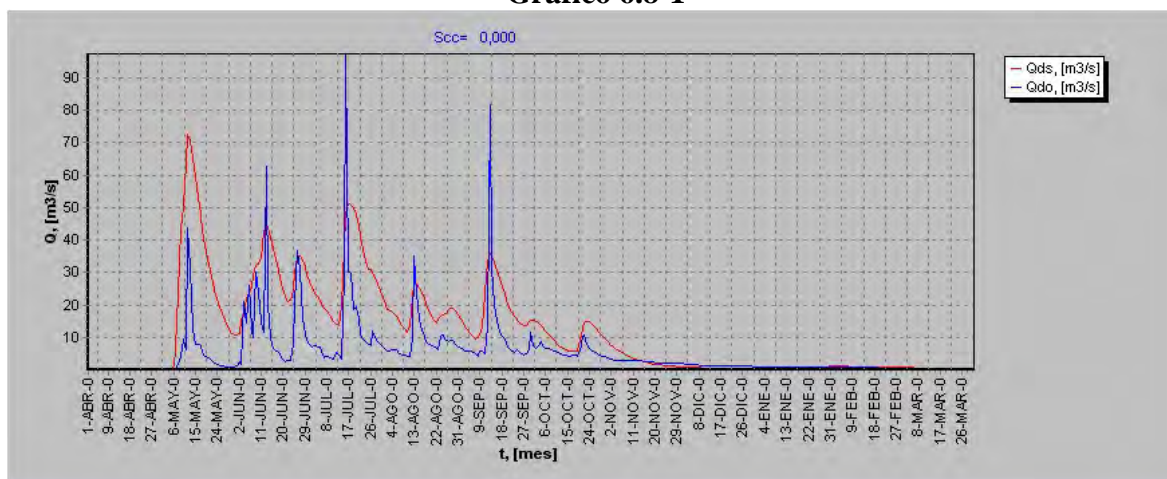
6.8. Capacidad de Campo S_{cc} .

A continuación se presentan las tablas y gráficos que permiten determinar el efecto de la capacidad de campo en la forma de la señal simulada, entre los valores de 0 y $0.9^\circ/1$ con un paso de $0.1^\circ/1$.

Cuadro 6.8-1

Scc = 0,000			
R	0,963	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,305
RMS	0,670	$\sigma(error)$	11,073

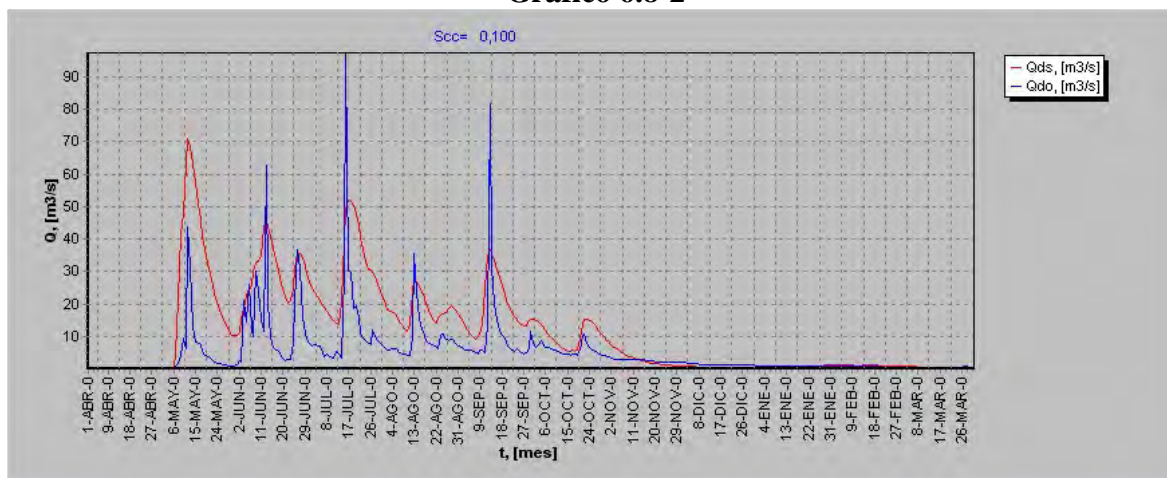
Gráfico 6.8-1



Cuadro 6.8-2

Scc = 0,100			
R	0,966	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,157
RMS	0,650	$\sigma(error)$	10,804

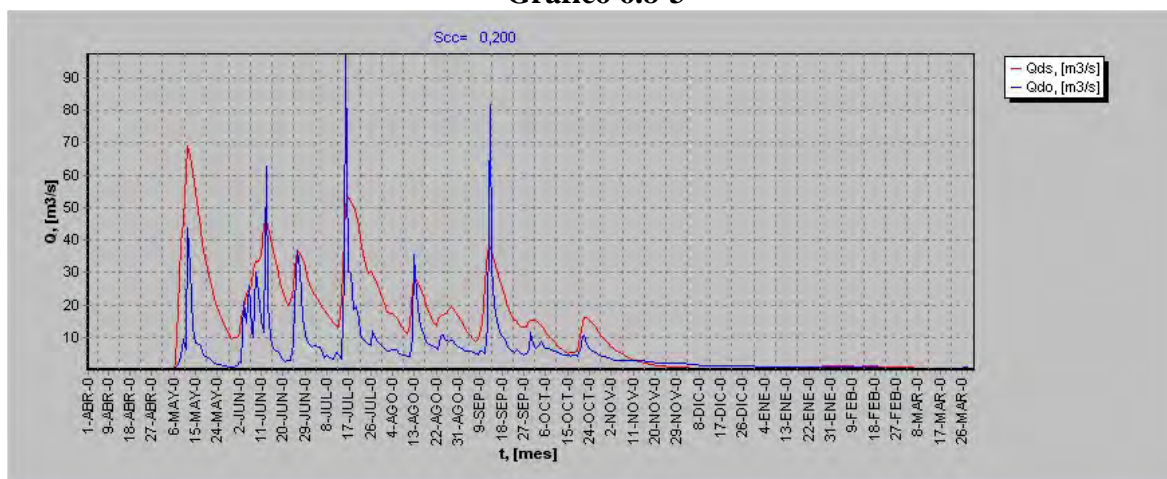
Gráfico 6.8-2



Cuadro 6.8-3

Scc = 0,200			
R	0,969	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,010
RMS	0,630	$\sigma(error)$	10,495

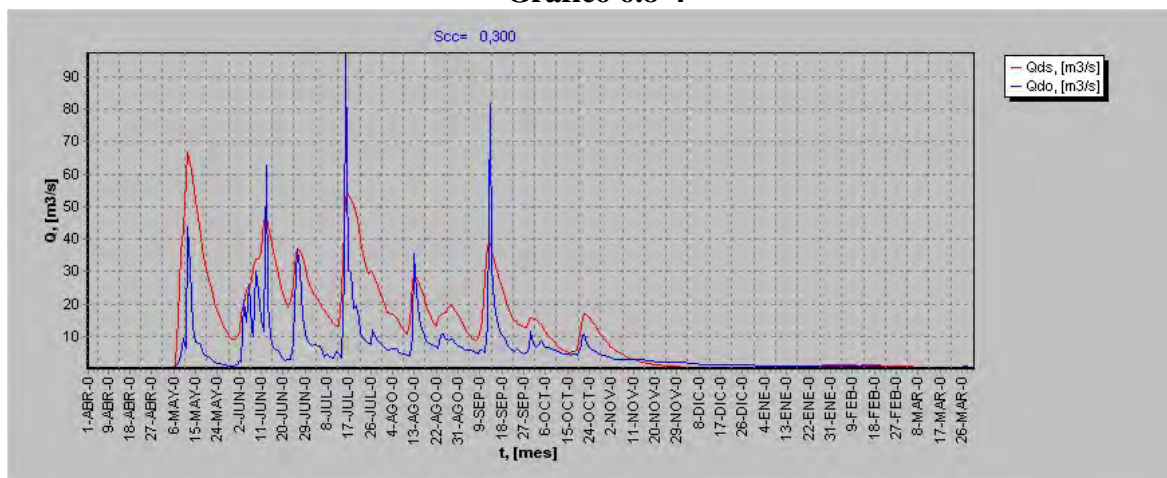
Gráfico 6.8-3



Cuadro 6.8-4

Scc = 0,300			
R	0,972	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,862
RMS	0,610	$\sigma(error)$	10,196

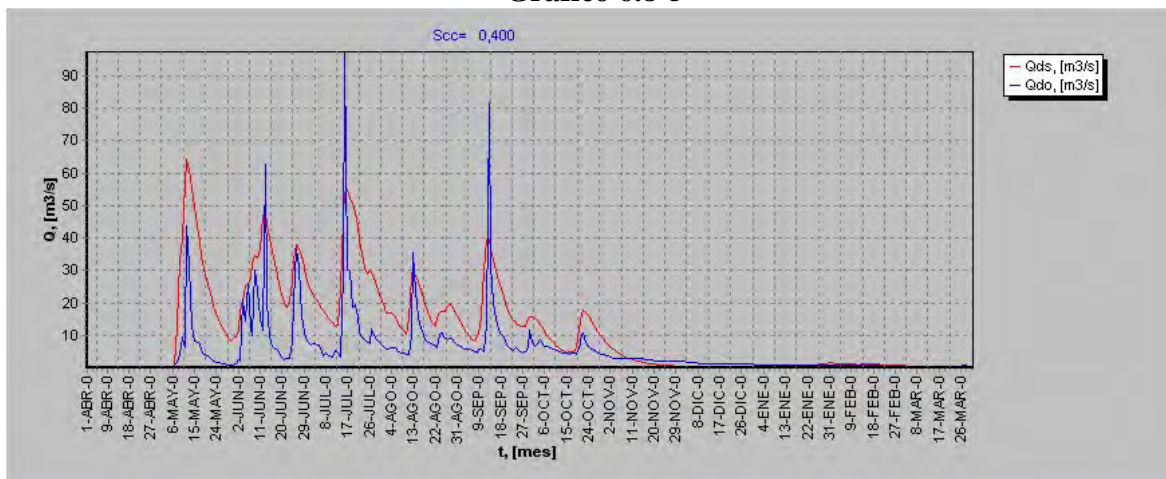
Gráfico 6.8-4



Cuadro 6.8-5

Scc = 0,400			
R	0,975	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,713
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,917

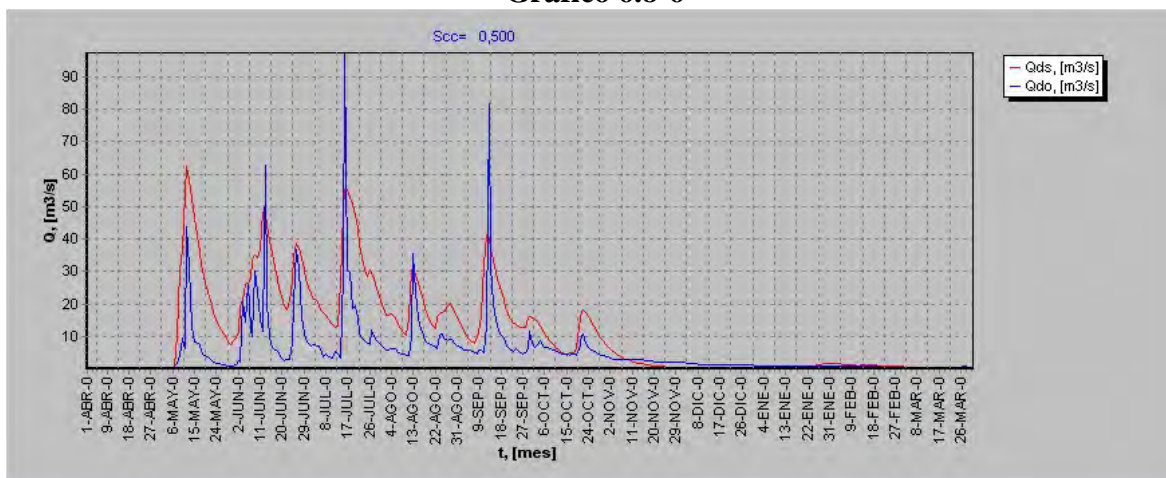
Gráfico 6.8-5



Cuadro 6.8-6

Scc = 0,500			
R	0,977	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,564
RMS	0,580	$\sigma(error)$	9,667

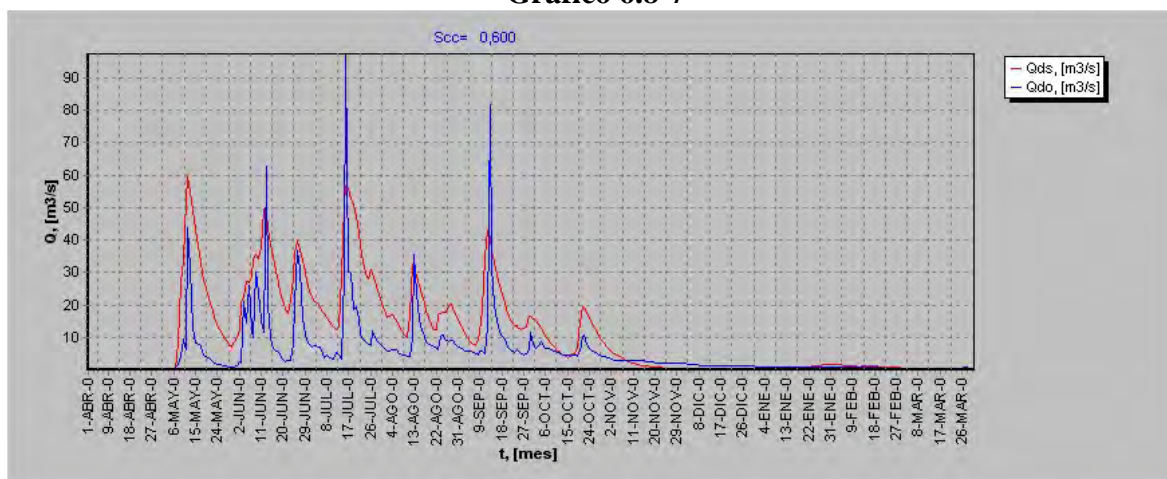
Gráfico 6.8-6



Cuadro 6.8-7

Scc = 0,600			
R	0,978	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,414
RMS	0,570	$\sigma(error)$	9,455

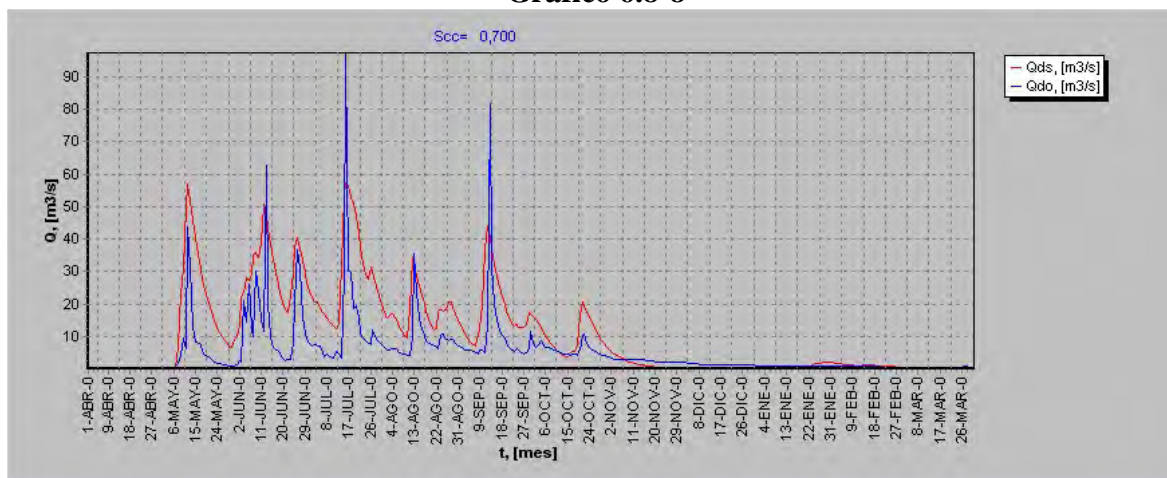
Gráfico 6.8-7



Cuadro 6.8-8

Scc = 0,700			
R	0,979	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,264
RMS	0,560	$\sigma(error)$	9,284

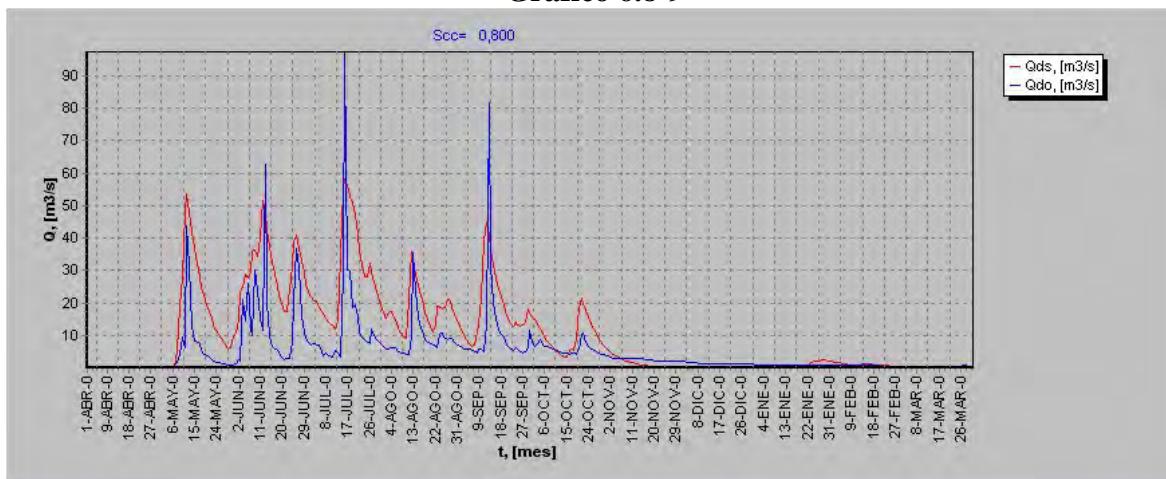
Gráfico 6.8-8



Cuadro 6.8-9

Scc = 0,800			
R	0,979	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,112
RMS	0,550	$\sigma(error)$	9,161

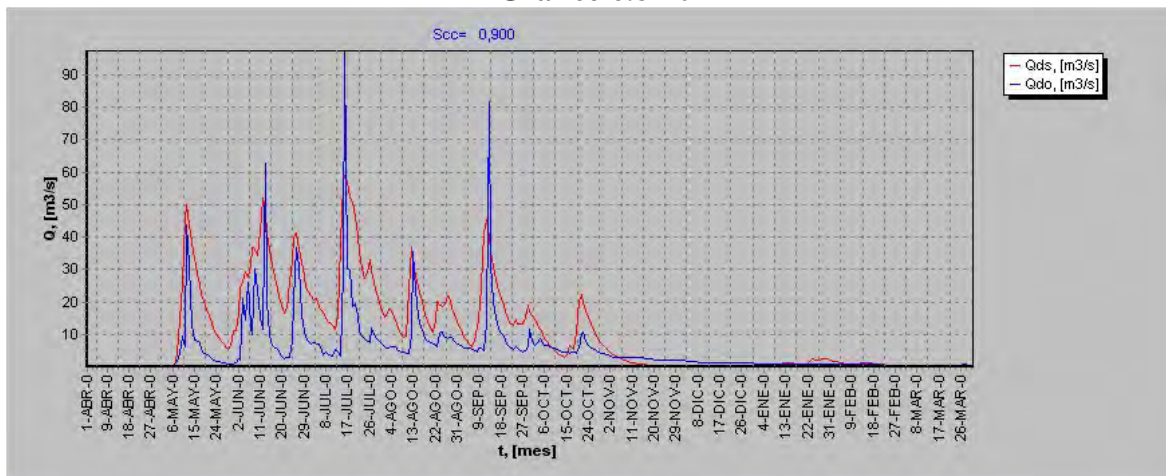
Gráfico 6.8-9



Cuadro 6.8-10

Scc = 0,900			
R	0,978	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	4,958
RMS	0,540	$\sigma(error)$	9,094

Gráfico 6.8-10



Cuadro 6.8-11

Scc	R	RMS	<i>RMS Normalizado</i>	$\mu(error)$	$\sigma(error)$
0,000	0,963	0,670	0,010	6,305	11,073
0,100	0,966	0,650	0,010	6,157	10,804
0,200	0,969	0,630	0,010	6,010	10,495
0,300	0,972	0,610	0,010	5,862	10,196
0,400	0,975	0,600	0,010	5,713	9,917
0,500	0,977	0,580	0,010	5,564	9,667
0,600	0,978	0,570	0,010	5,414	9,455
0,700	0,979	0,560	0,010	5,264	9,284
0,800	0,979	0,550	0,010	5,112	9,161
0,900	0,978	0,540	0,010	4,958	9,094

Gráfico 6.8.11
Scc v/s R

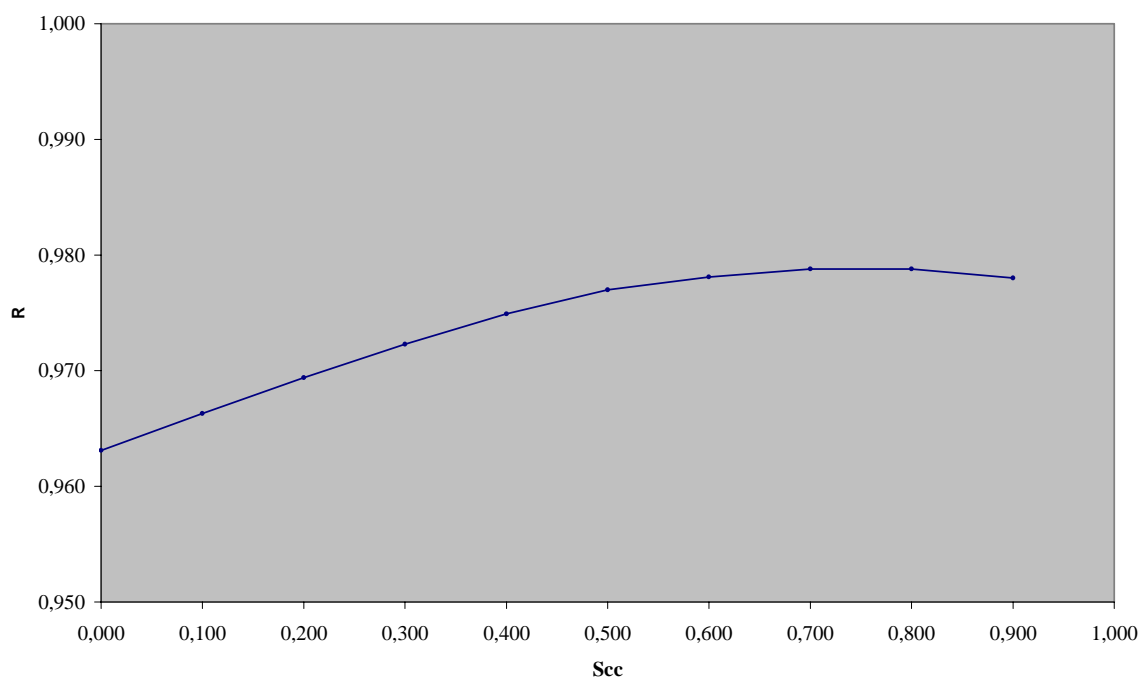


Gráfico 6.8.12
Scc v/s EM

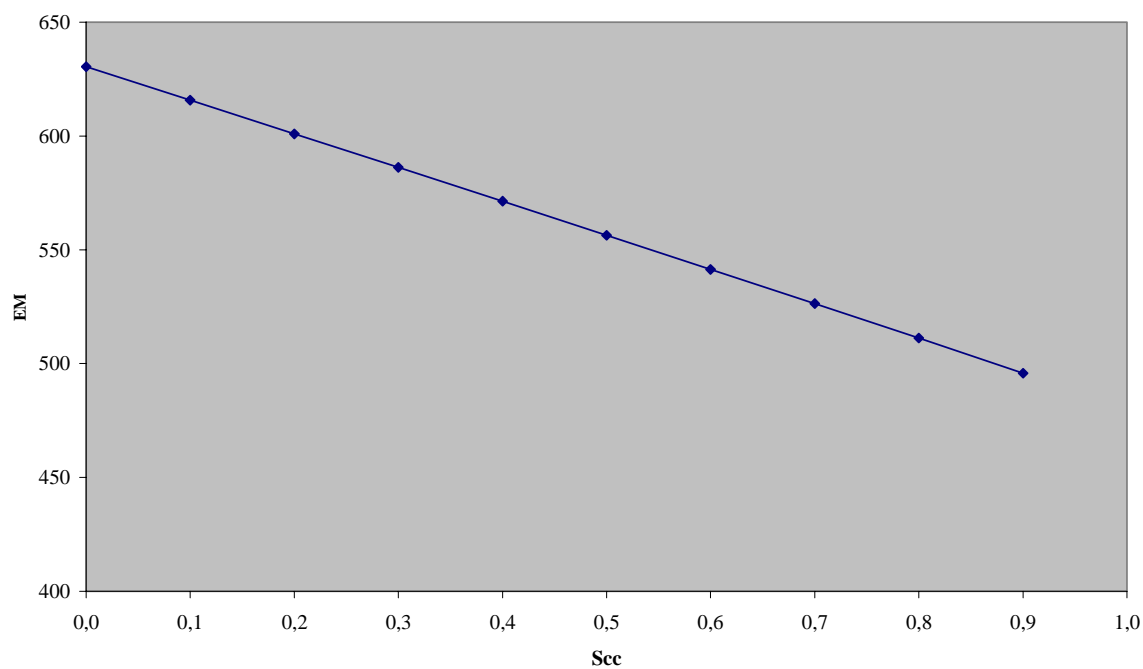


Gráfico 6.8.13
Scc v/s RMS

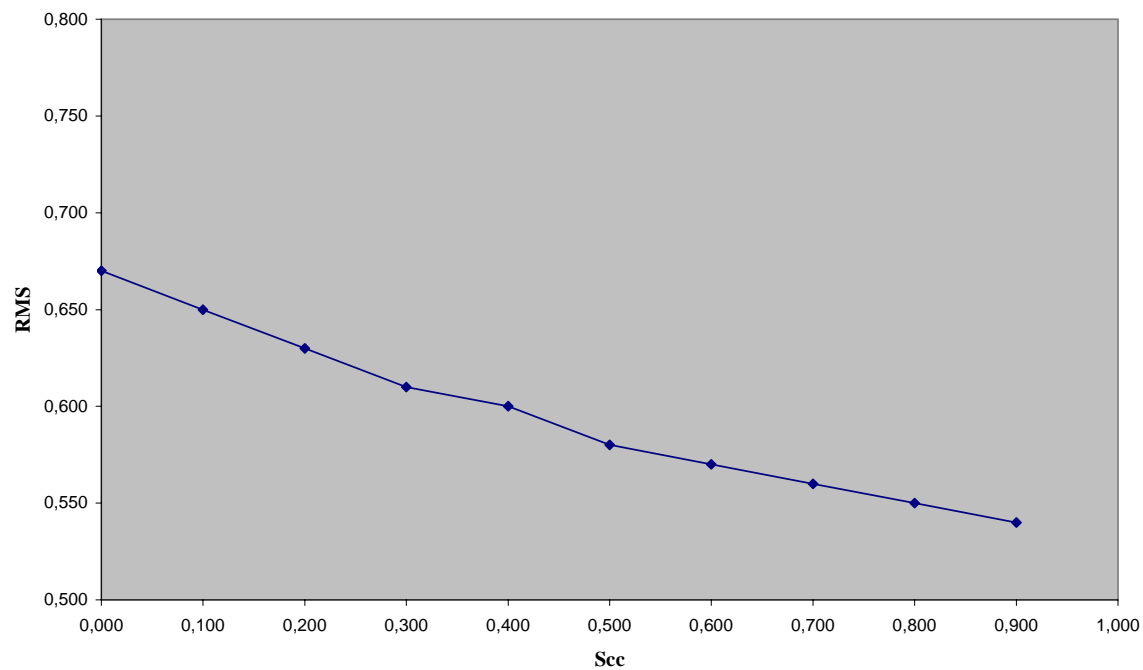


Gráfico 6.8.14
Scc v/s RMS Normalizado

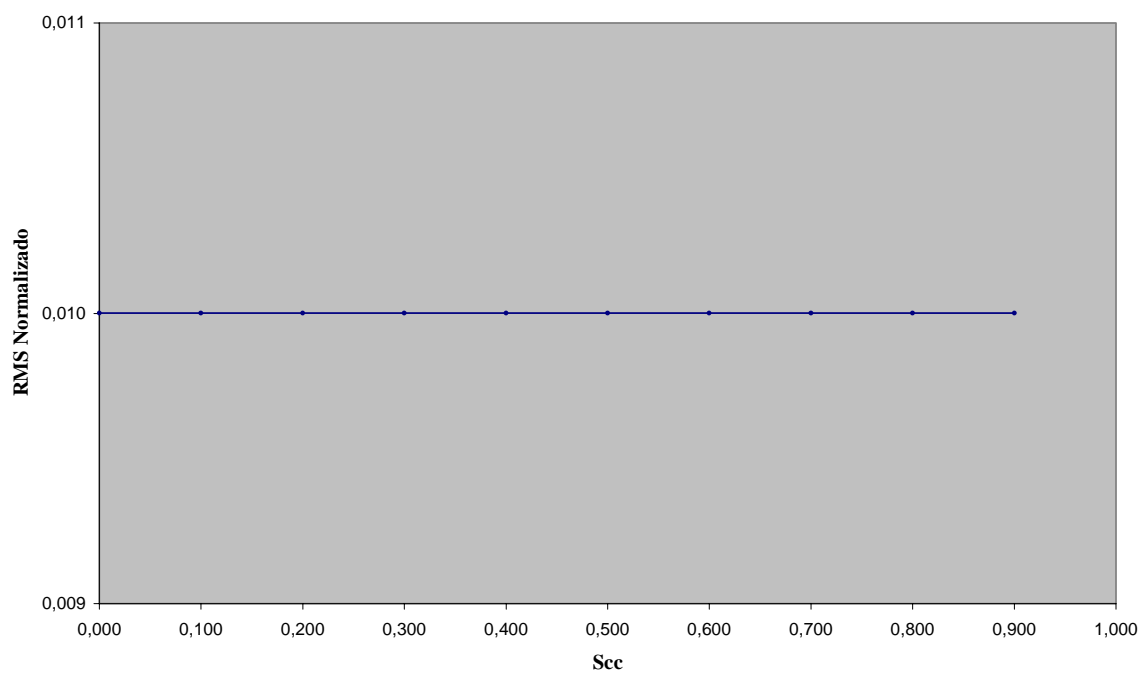


Gráfico 6.8.15
Scc v/s Mu(error)

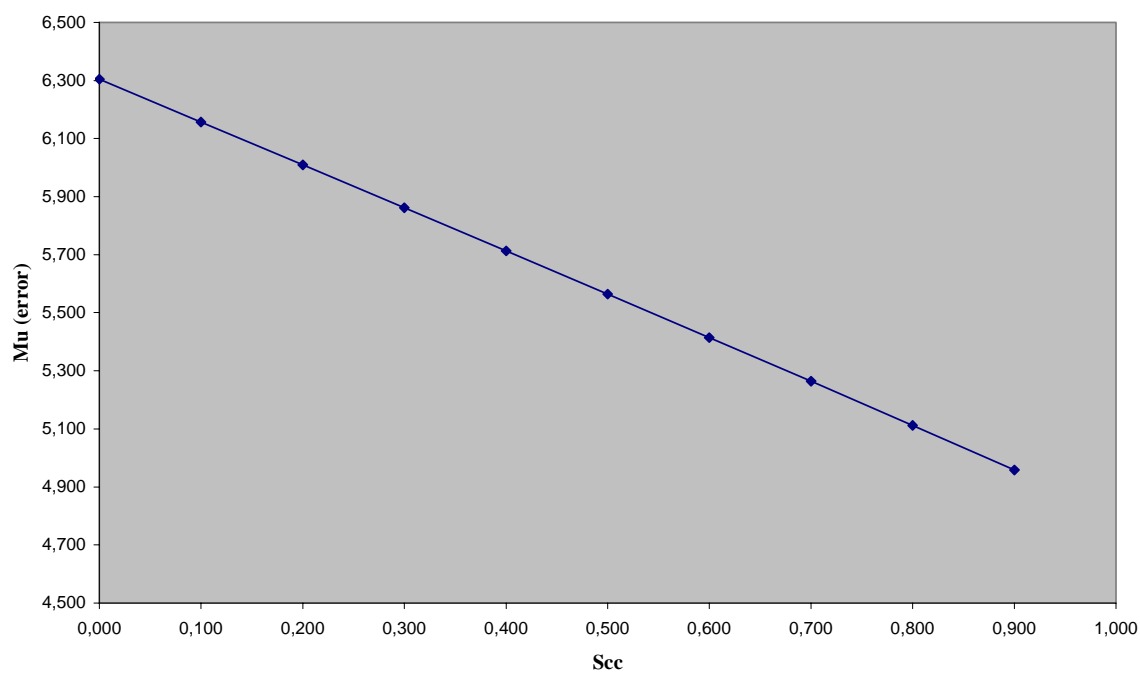


Gráfico 6.8.16
Scc v/s Sigma(error)

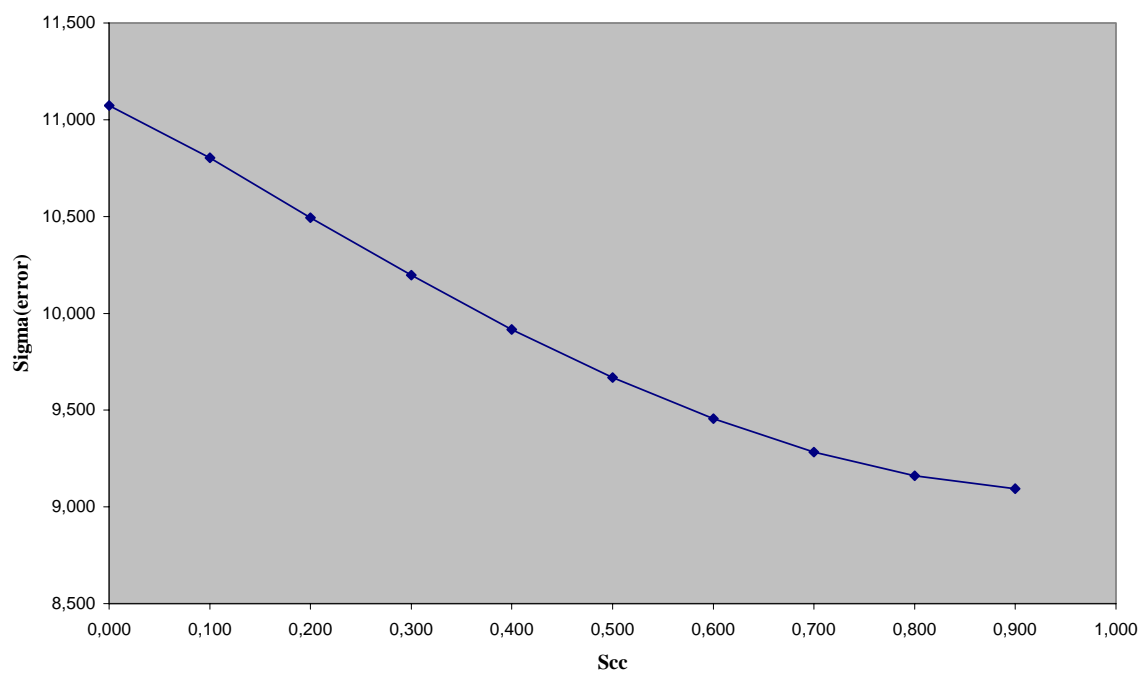
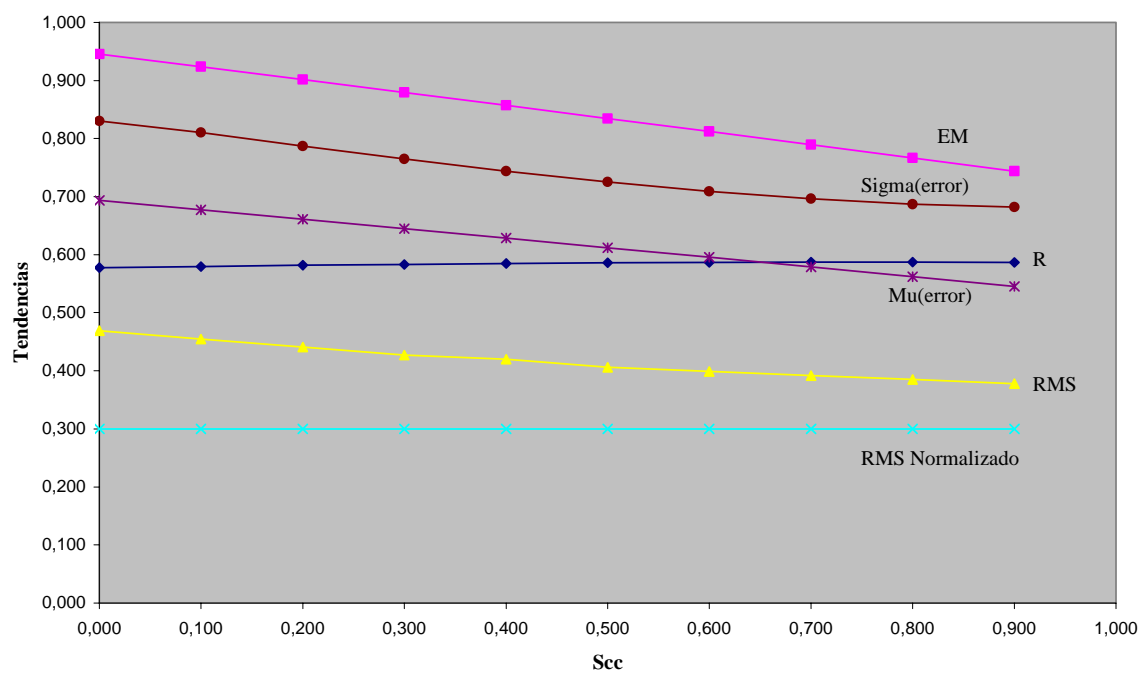


Gráfico 6.8.17
Tendencias parámetros v/s Scc



Se puede apreciar que la señal disminuye su amplitud y aumenta el nivel de detalles cuando aumenta la capacidad de campo, la disminución de la señal se produce con mayor énfasis al principio, un valor optimo parece ser entre 0.7 y 0.8 pero se ha de tener cuidado pues debido al tipo de suelo no son valores posibles, pero si debemos tener en cuenta que este parámetro ha de ser lo más alto posible para ganar en definición y forma de la señal.

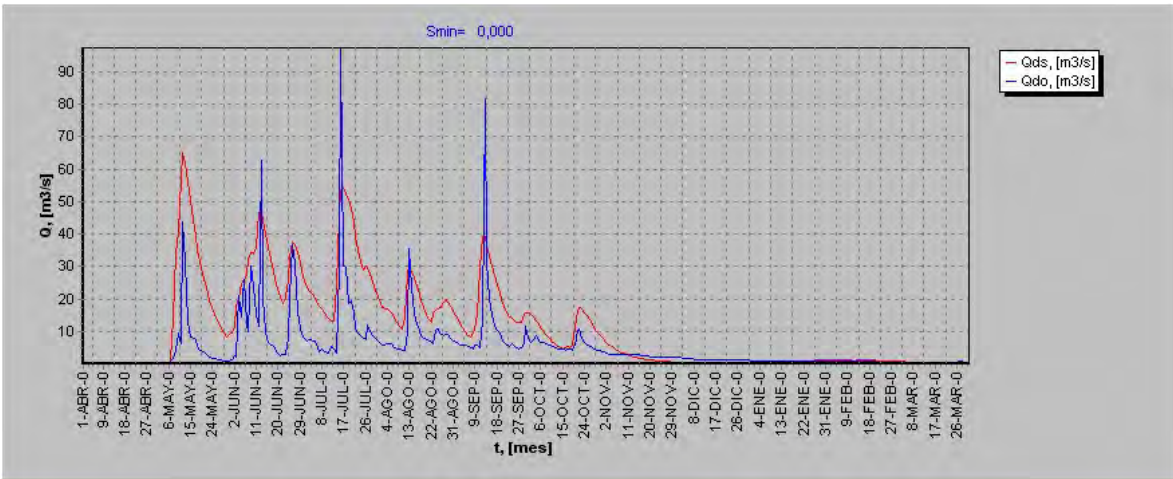
6.9. Punto de marchitez permanente S_{min} .

Las tablas y gráficos dan cuenta del efecto que tiene sobre la señal la variación del punto de marchitez permanente S_{min} , entre los valores 0–0.9 °/1 con un paso de 0.1 °/1 .

Cuadro 6.9-1

Smin = 0,000			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,758
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,998

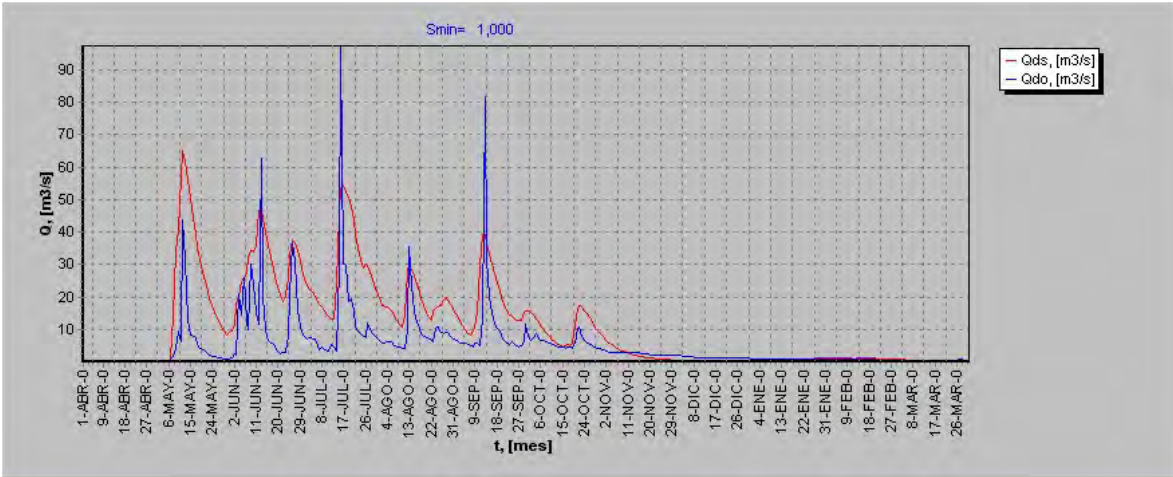
Gráfico 6.9-1



Cuadro 6.9-2

SMIN = 1,000			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,758
RMS	0,600	$\sigma(error)$	9,998

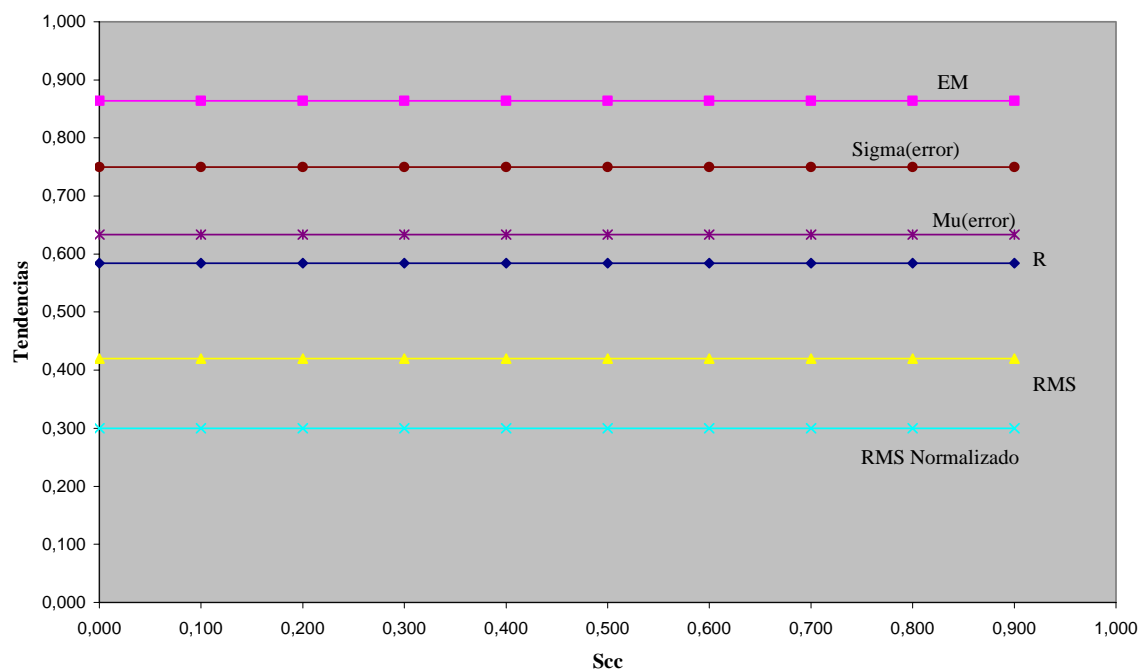
Gráfico 6.9-2



Cuadro 6.9-3

Smin	R	RMS	<i>RMS Normalizado</i>	$\mu(error)$	$\sigma(error)$
0,000	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,100	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,200	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,300	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,400	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,500	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,600	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,700	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,800	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
0,900	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
1,000	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998

Gráfico 6.9.3
Tendencias parámetros v/s Smin



Se puede notar que no hay efectos sobre la señal al variar S_{min} .

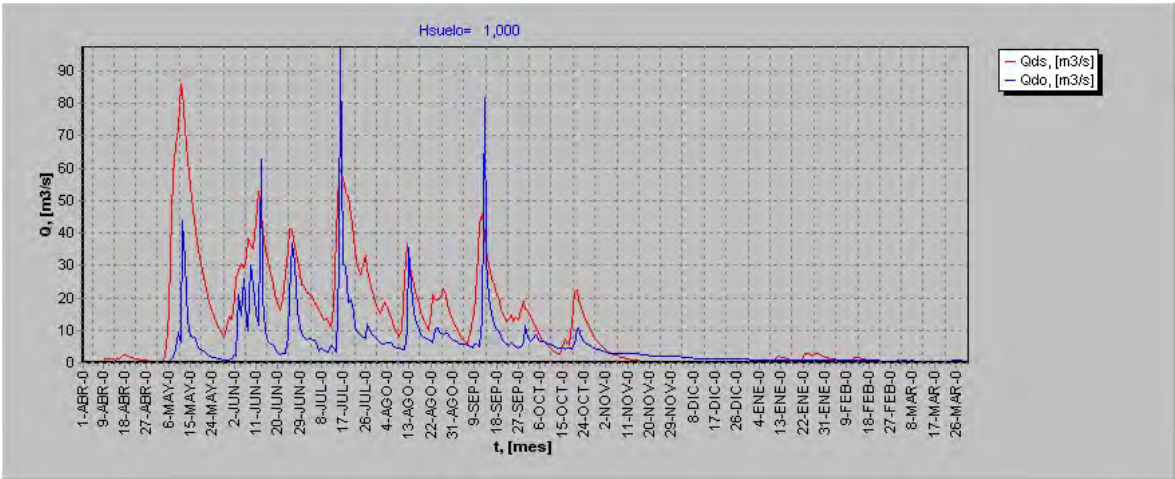
6.10. Máxima lámina de agua contenida en el suelo saturado H_{max} .

Las tablas y gráficos muestran el efecto de H_{max} sobre la señal simulada, al variar su valor entre 1 y 10001 mm.

Cuadro 6.10-1

Hsuelo = 1,000 mm			
R	0,954	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,374
RMS	0,720	$\sigma(error)$	12,110

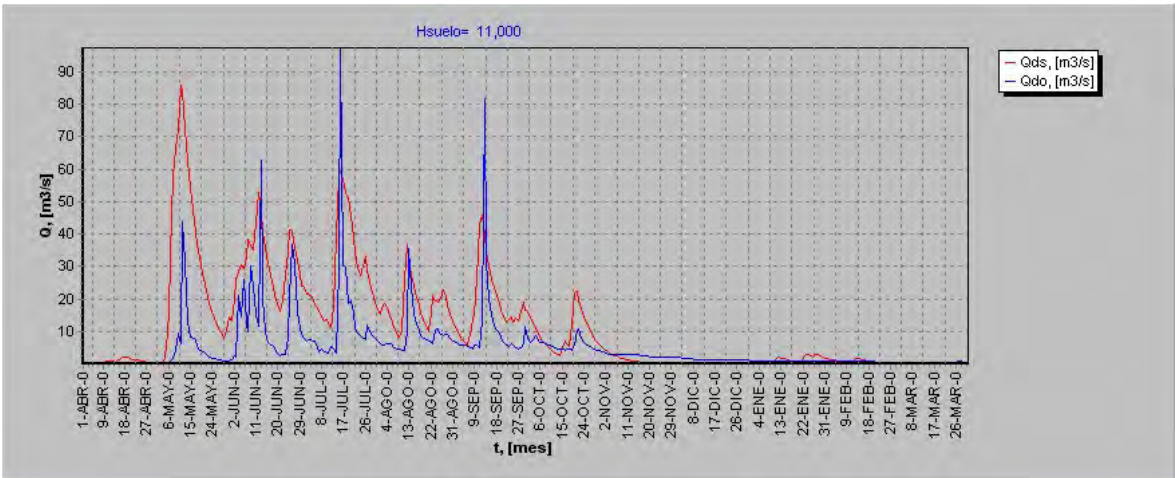
Gráfico 6.10-1



Cuadro 6.10-2

Hsuelo = 11,000 mm			
R	0,954	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,361
RMS	0,720	$\sigma(error)$	12,116

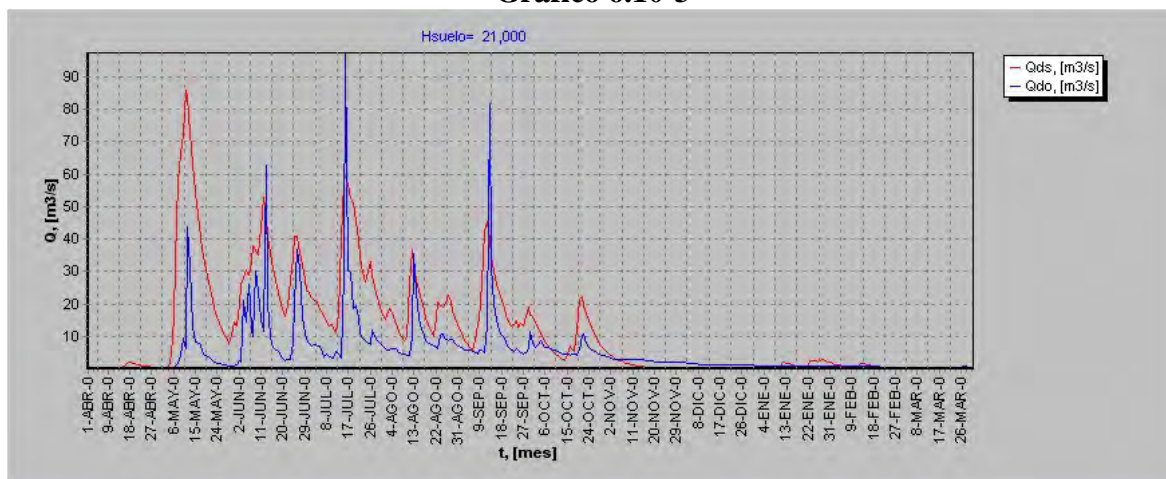
Gráfico 6.10-2



Cuadro 6.10-3

Hsuelo = 21,000 mm			
R	0,954	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,348
RMS	0,710	$\sigma(error)$	12,111

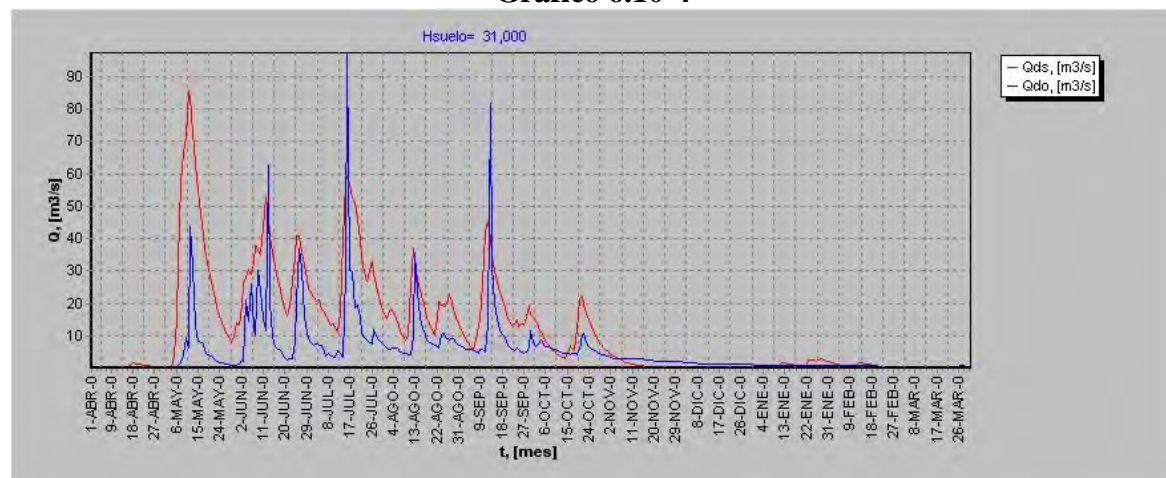
Gráfico 6.10-3



Cuadro 6.10-4

Hsuelo = 31,000 mm			
R	0,954	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,336
RMS	0,710	$\sigma(error)$	12,098

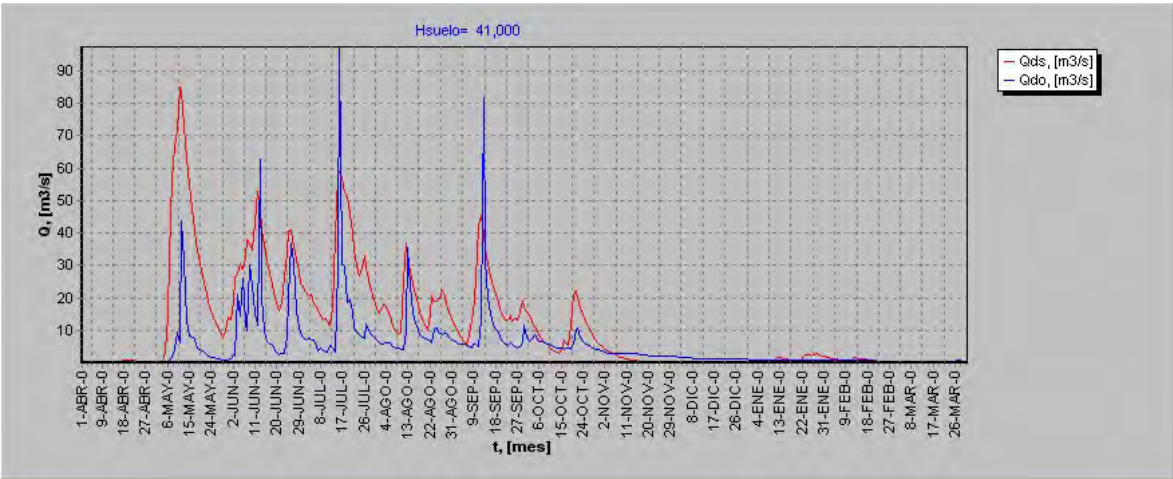
Gráfico 6.10-4



Cuadro 6.10-5

Hsuelo = 41,000 mm			
R	0,955	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,323
RMS	0,710	$\sigma(error)$	12,080

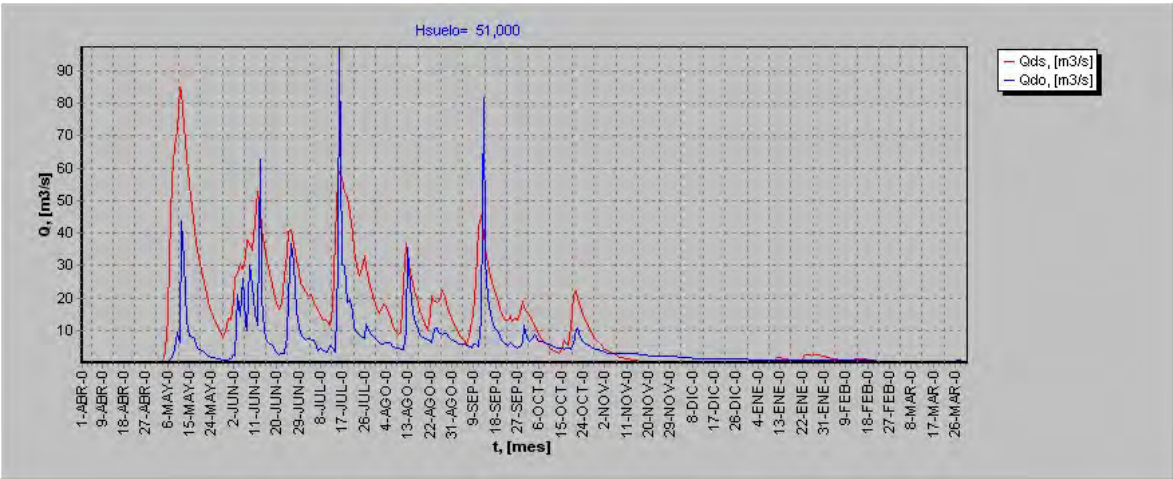
Gráfico 6.10-5



Cuadro 6.10-6

Hsuelo = 51,000 mm			
R	0,955	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,310
RMS	0,710	$\sigma(error)$	12,062

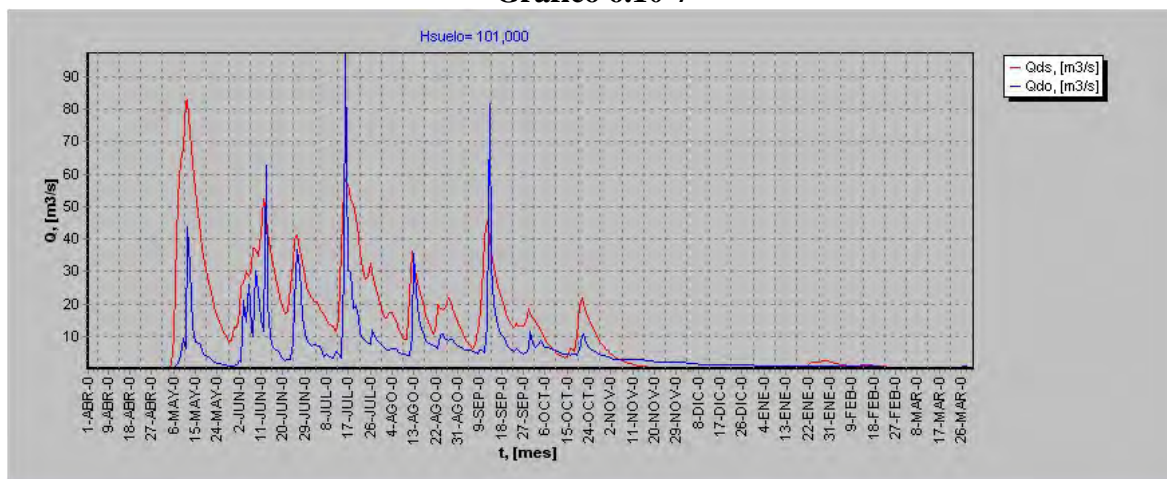
Gráfico 6.10-6



Cuadro 6.10-7

Hsuelo = 101,000 mm			
R	0,959	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	6,243
RMS	0,700	$\sigma(error)$	11,811

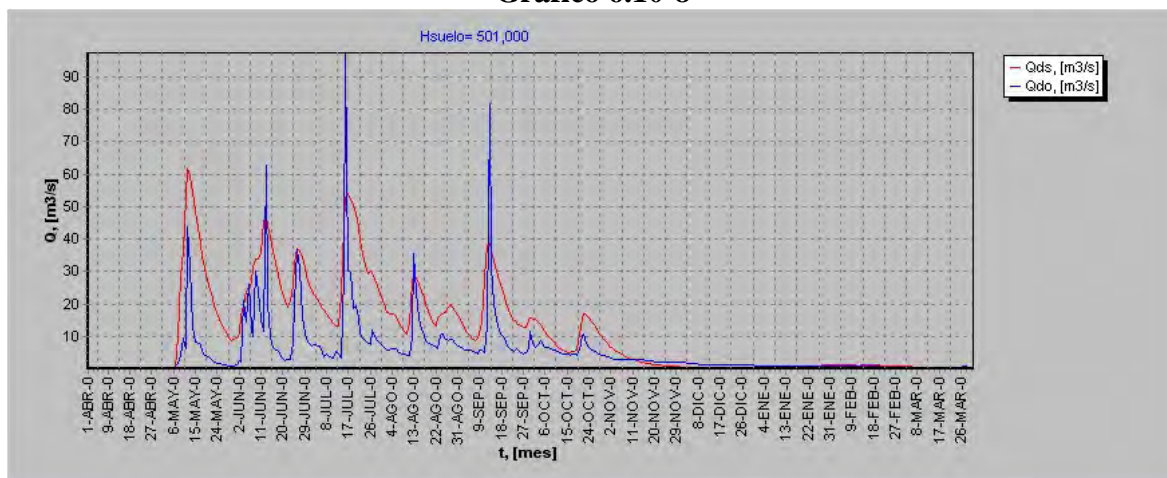
Gráfico 6.10-7



Cuadro 6.10-8

Hsuelo = 501,000 mm			
R	0,975	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,685
RMS	0,590	$\sigma(error)$	9,808

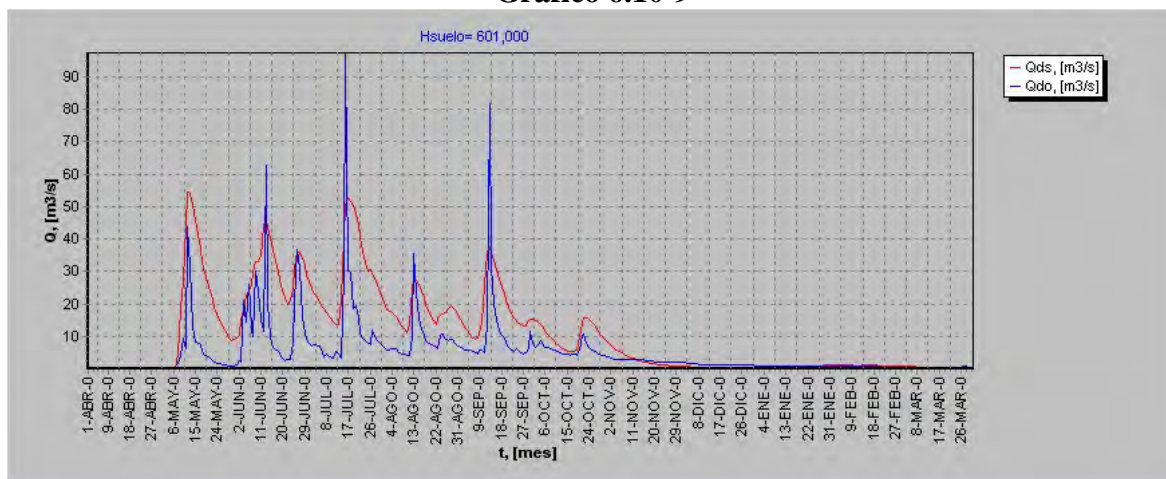
Gráfico 6.10-8



Cuadro 6.10-9

Hsuelo = 601,000 mm			
R	0,974	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,542
RMS	0,580	$\sigma(error)$	9,507

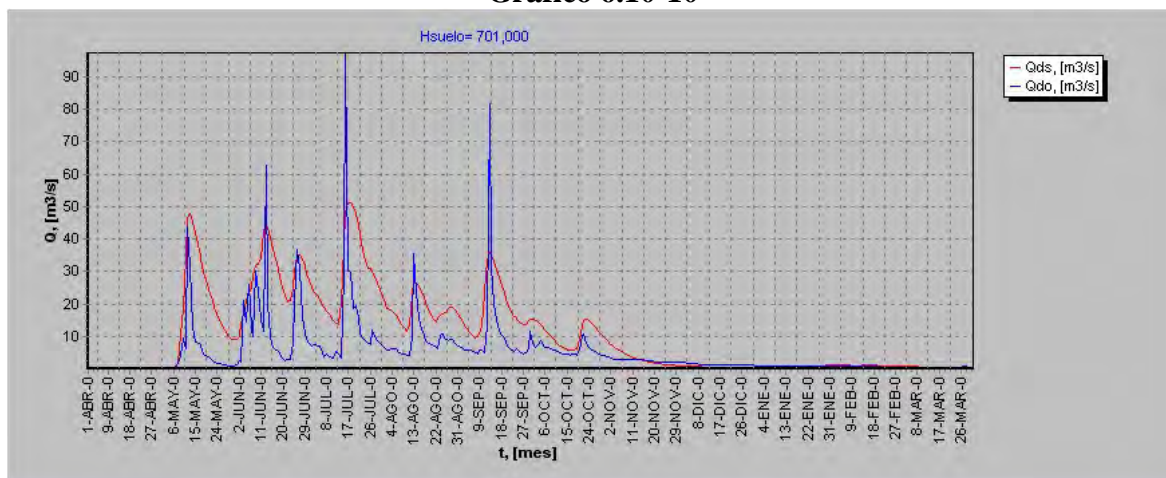
Gráfico 6.10-9



Cuadro 6.10-10

Hsuelo = 701,000 mm			
R	0,973	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,399
RMS	0,560	$\sigma(error)$	9,298

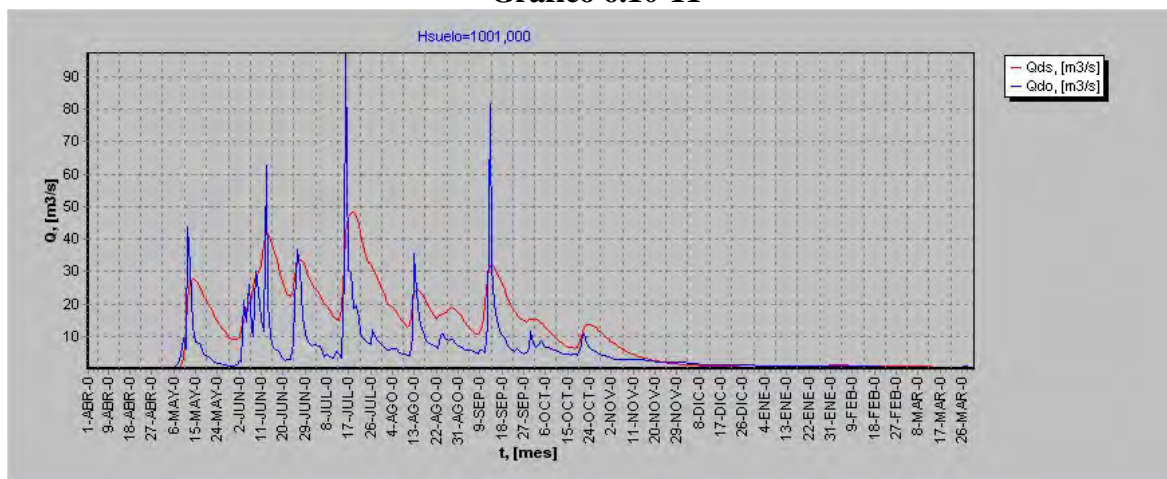
Gráfico 6.10-10



Cuadro 6.10-11

Hsuelo = 1001,000 mm			
R	0,968	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	4,967
RMS	0,540	$\sigma(error)$	9,125

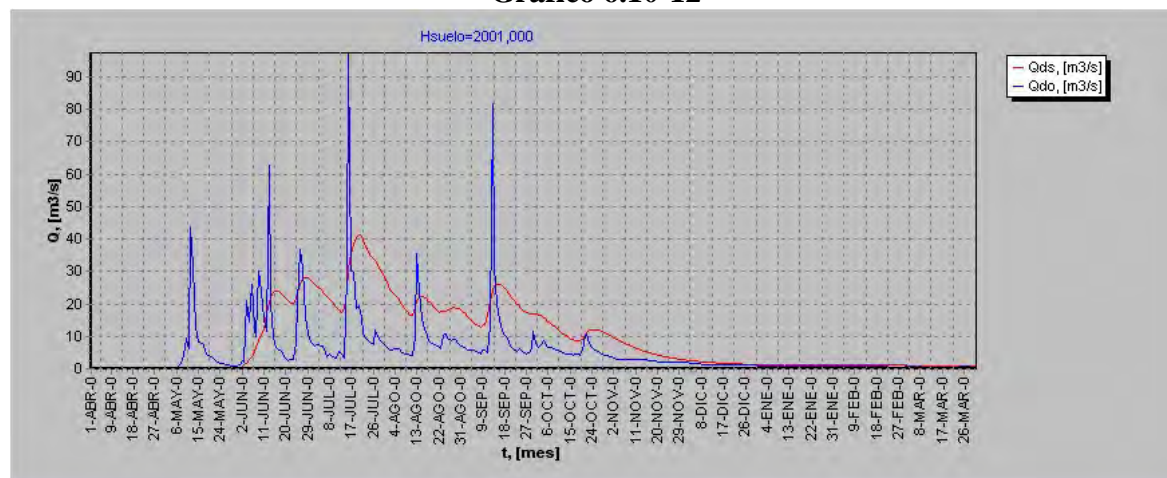
Gráfico 6.10-11



Cuadro 6.10-12

Hsuelo = 2001,000 mm			
R	0,865	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	3,497
RMS	0,550	$\sigma(error)$	9,926

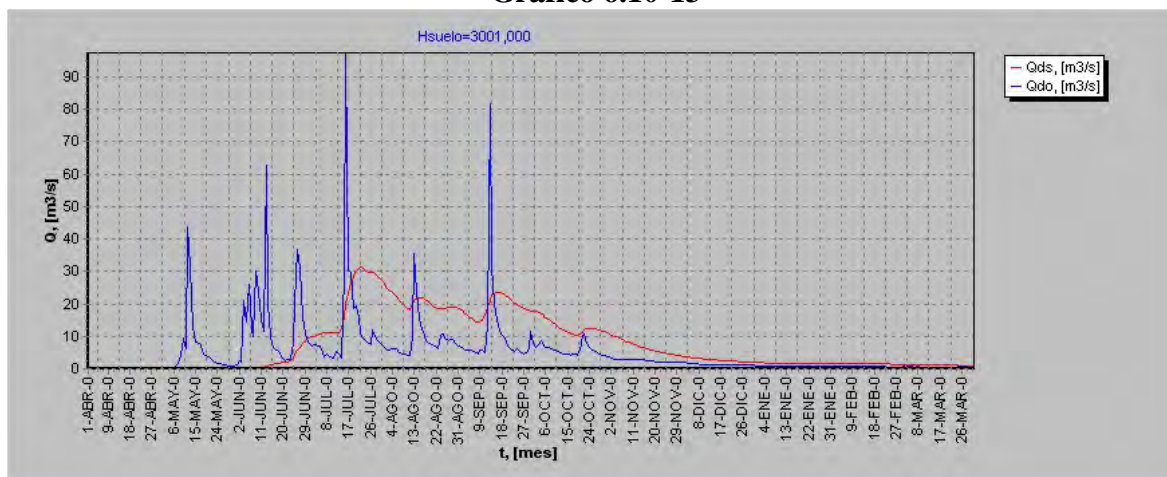
Gráfico 6.10-12



Cuadro 6.10-13

Hsuelo = 3001,000 mm			
R	0,696	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	1,984
RMS	0,550	$\sigma(error)$	10,260

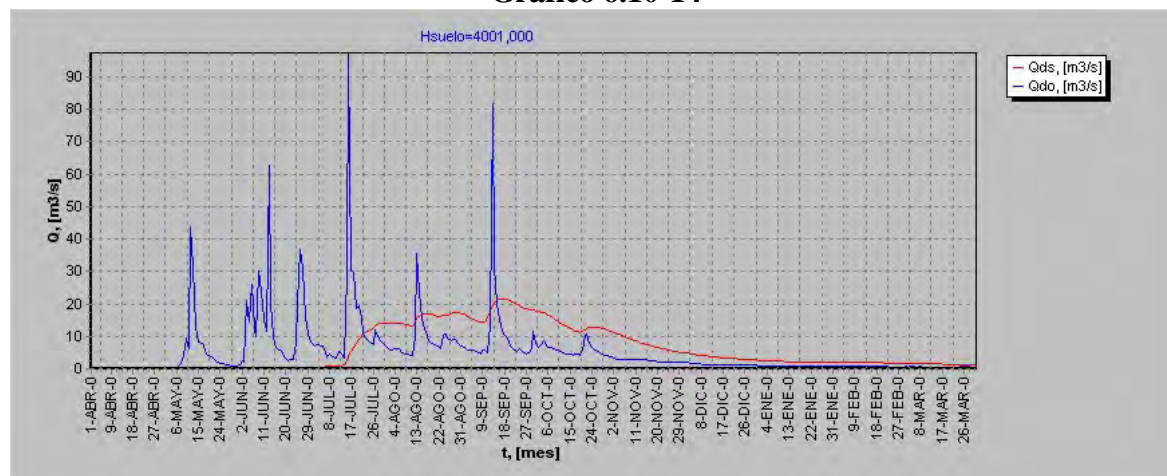
Gráfico 6.10-13



Cuadro 6.10-14

Hsuelo = 4001,000 mm			
R	0,465	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	0,434
RMS	0,540	$\sigma(error)$	10,352

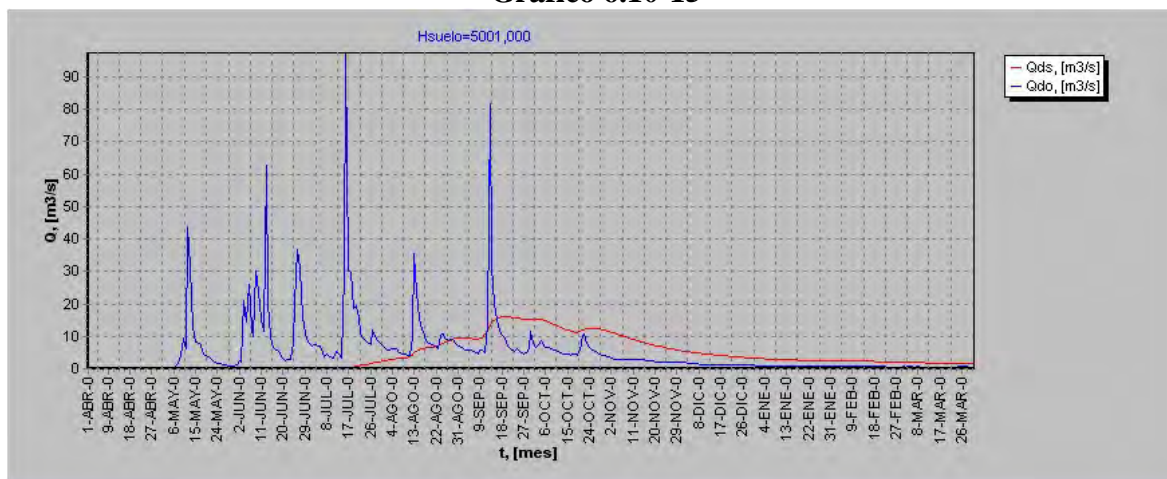
Gráfico 6.10-14



Cuadro 6.10-15

Hsuelo = 5001,000 mm			
R	0,159	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	-1,144
RMS	0,550	$\sigma(error)$	10,381

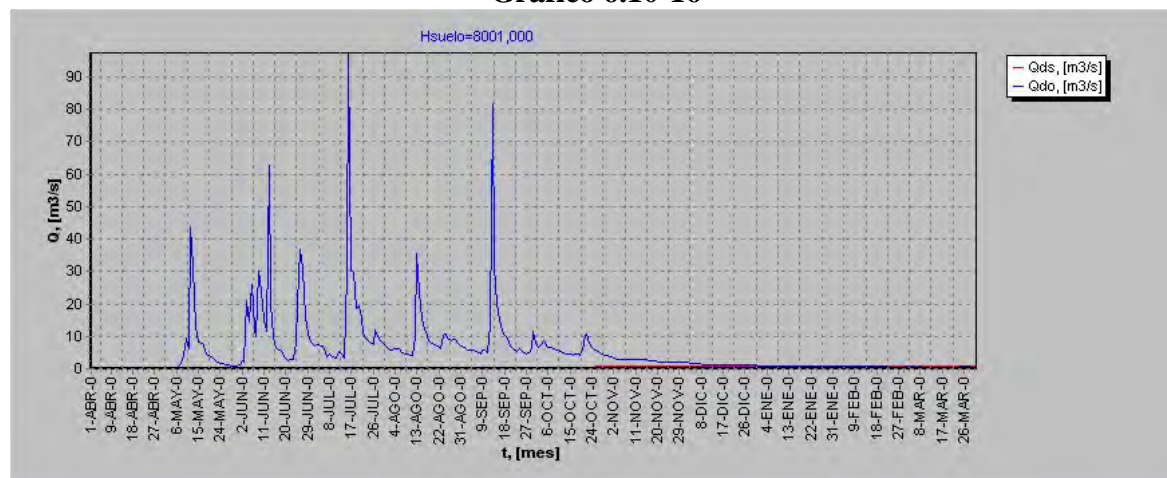
Gráfico 6.10-15



Cuadro 6.10-16

Hsuelo = 8001,000 mm			
R	-0,708	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	-5,119
RMS	0,570	$\sigma(error)$	9,701

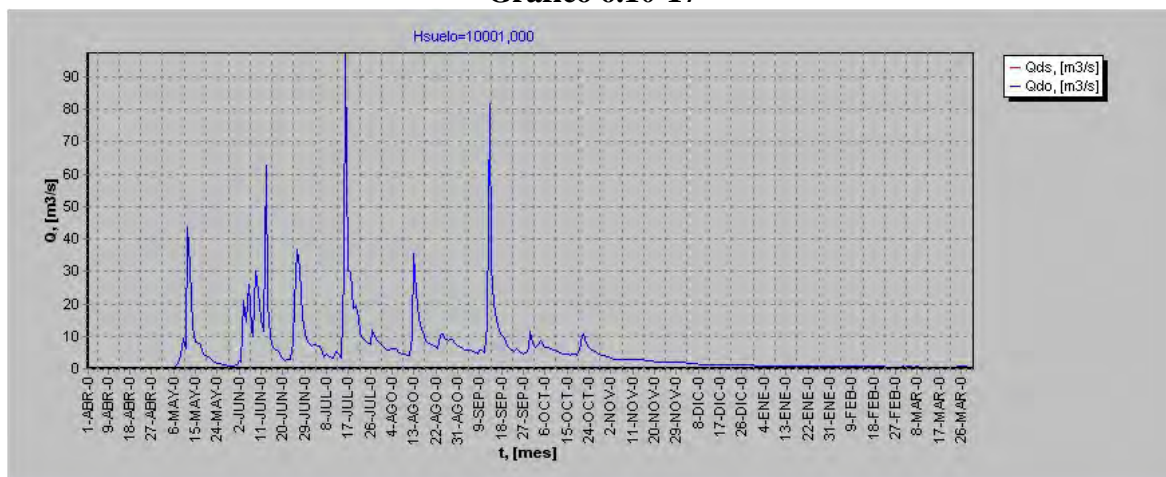
Gráfico 6.10-16



Cuadro 6.10-17

Hsuelo = 10001,000 mm			
R	-0,553	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	-5,448
RMS	0,580	$\sigma(error)$	9,568

Gráfico 6.10-17



Cuadro 6.10-18

Hsuelo	R	RMS	RMS Normalizado	$\mu(error)$	$\sigma(error)$
1,000	0,954	0,720	0,010	6,374	12,110
11,000	0,954	0,720	0,010	6,361	12,116
21,000	0,954	0,710	0,010	6,348	12,111
31,000	0,954	0,710	0,010	6,336	12,098
41,000	0,955	0,710	0,010	6,323	12,080
51,000	0,955	0,710	0,010	6,310	12,062
101,000	0,959	0,700	0,010	6,243	11,811
501,000	0,975	0,590	0,010	5,685	9,808
601,000	0,974	0,580	0,010	5,542	9,507
701,000	0,973	0,560	0,010	5,399	9,298
1001,000	0,968	0,540	0,010	4,967	9,125
2001,000	0,865	0,550	0,010	3,497	9,926
3001,000	0,696	0,550	0,010	1,984	10,260
4001,000	0,465	0,540	0,010	0,434	10,352
5001,000	0,159	0,550	0,010	-1,144	10,381
8001,000	-0,708	0,570	0,010	-5,119	9,701
10001,000	-0,553	0,580	0,010	-5,448	9,568

Gráfico 6.10-18
Hsuelo v/s R

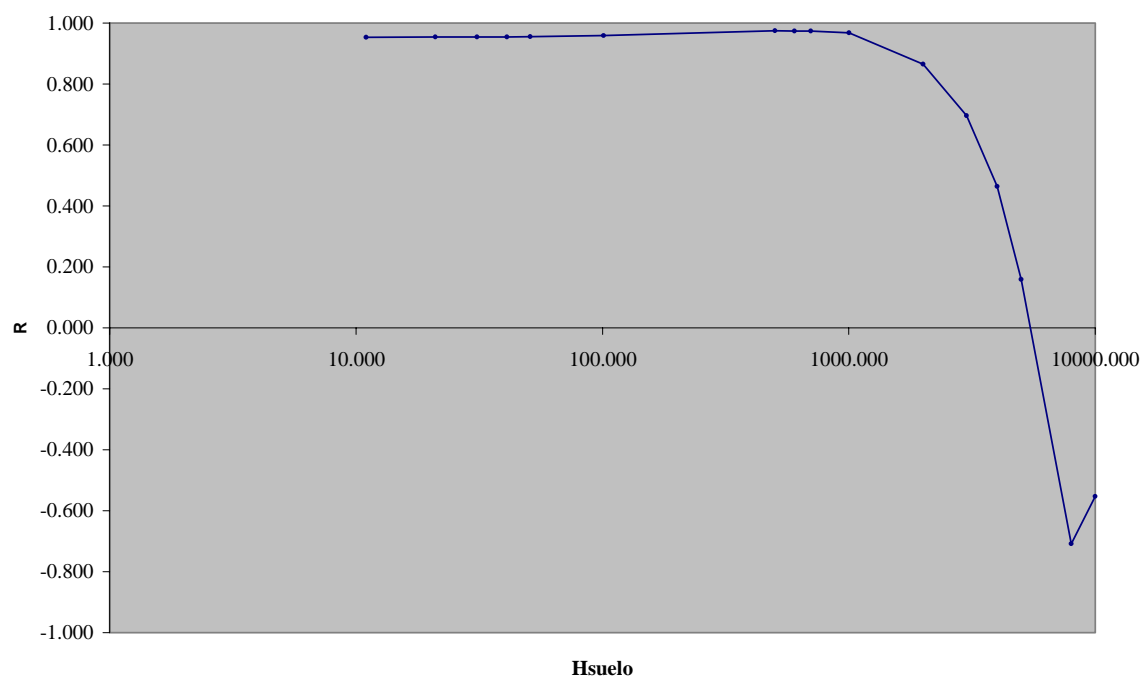


Gráfico 6.10.19
Hsuelo v/s RMS

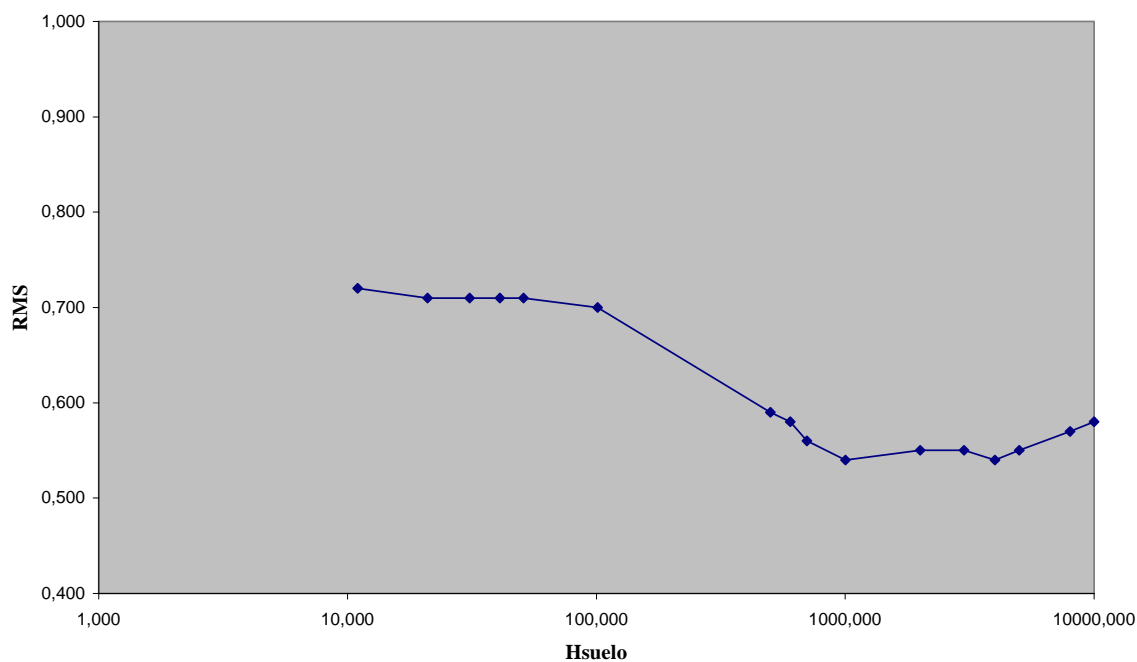


Gráfico 6.10.20
Hsuelo v/s RMS Normalizado

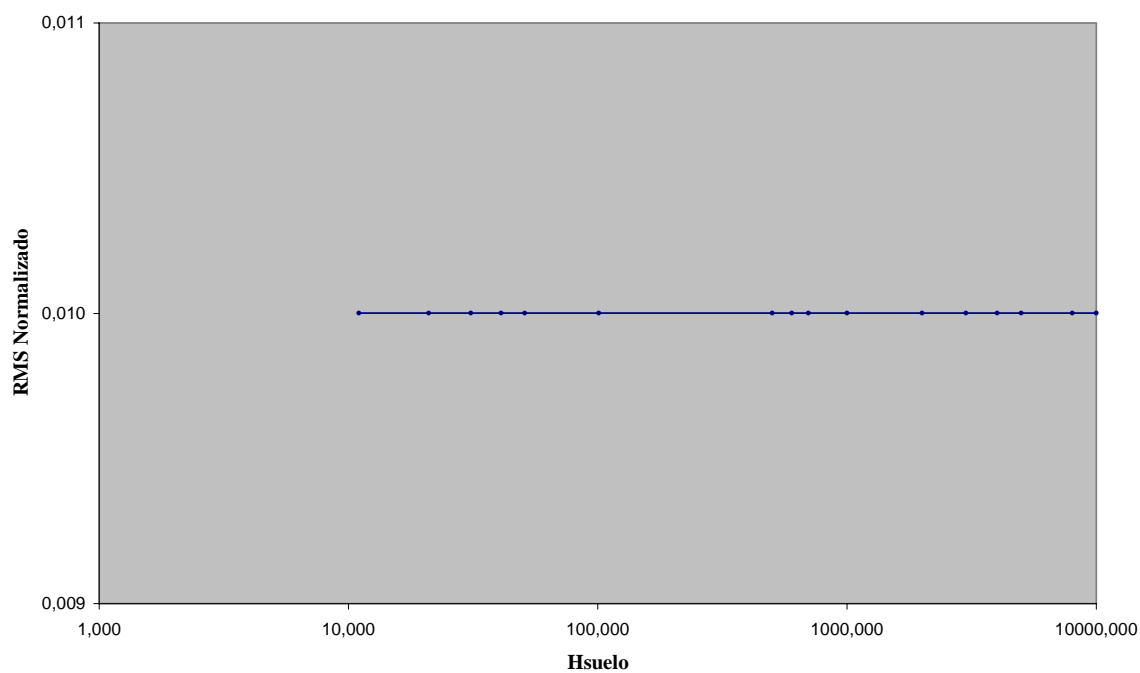


Gráfico 6.10.21
Hsuelo v/s Mu(error)

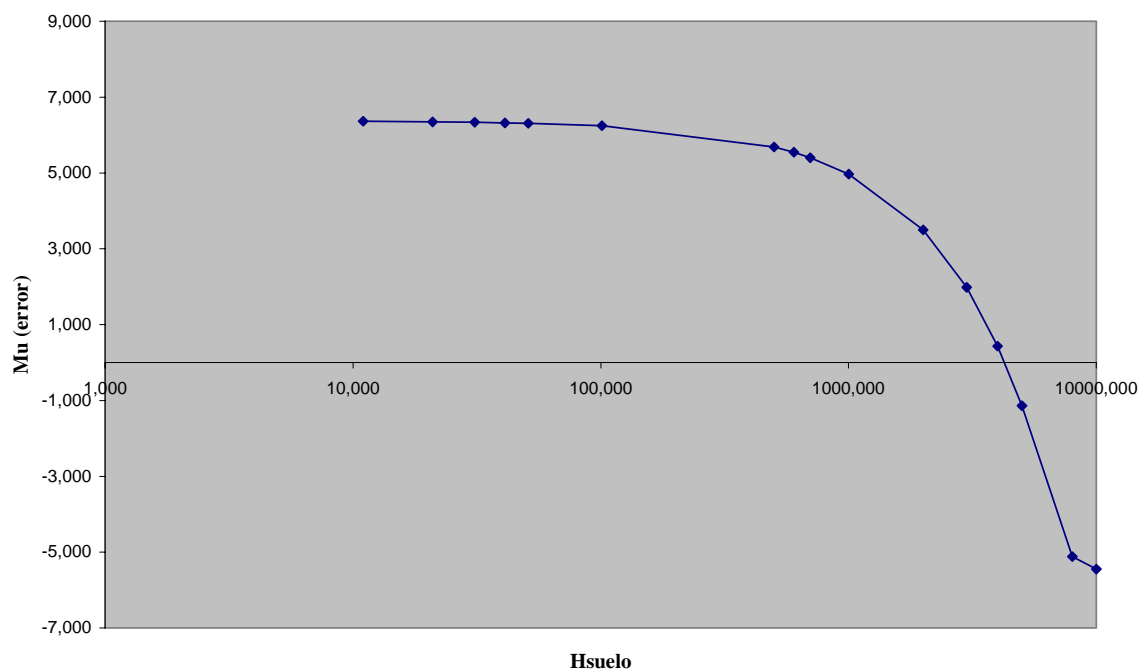


Gráfico 6.10.22
Hsuelo v/s Sigma(error)

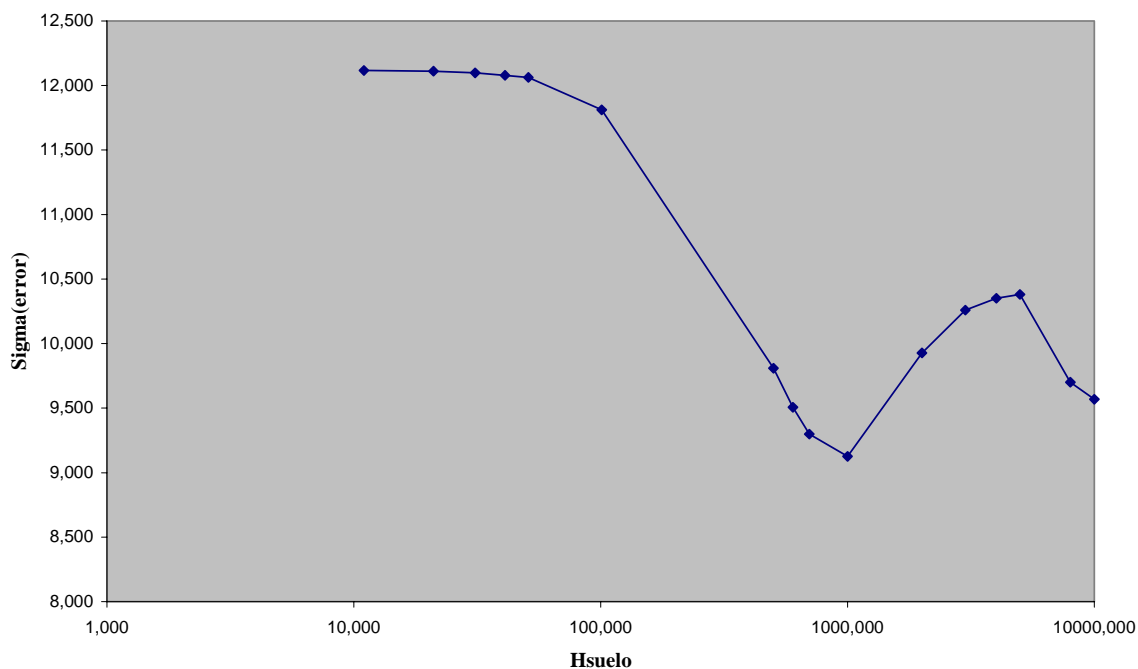
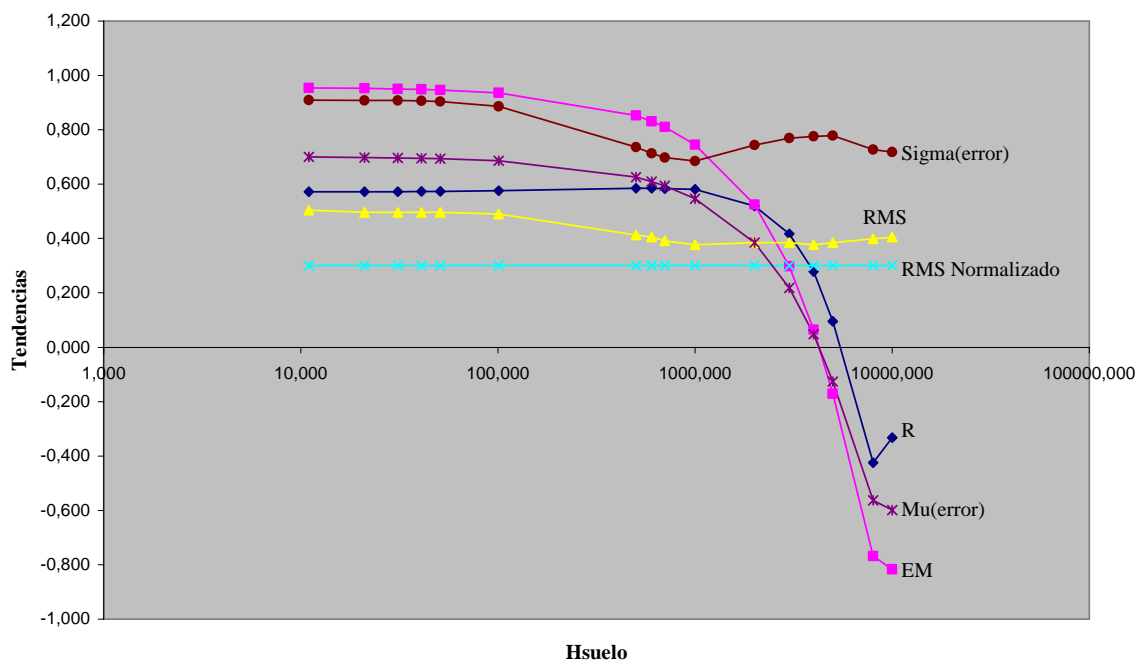


Gráfico 6.10.23
Tendencias parámetros v/s Hsuelo



A medida que aumenta Hsuelo se puede apreciar que la señal disminuye su amplitud de izquierda a derecha logrando achatar los peaks iniciales esto tiene explicación en que el Hsuelo corresponde a la altura del estanque subterráneo el cual sólo permite percolación profunda cuando rebalsa, si Hsuelo es muy grande significa que aumenta la capacidad de retención del suelo y sólo una pequeña parte de la precipitación se convertirá en escorrentía directa. Si Hsuelo aumenta por sobre los 1000 mm la señal comienza a desaparecer desde izquierda a derecha, cuando Hsuelo = 8000 mm la señal desaparece por completo, de manera que estos valores no serán posibles.

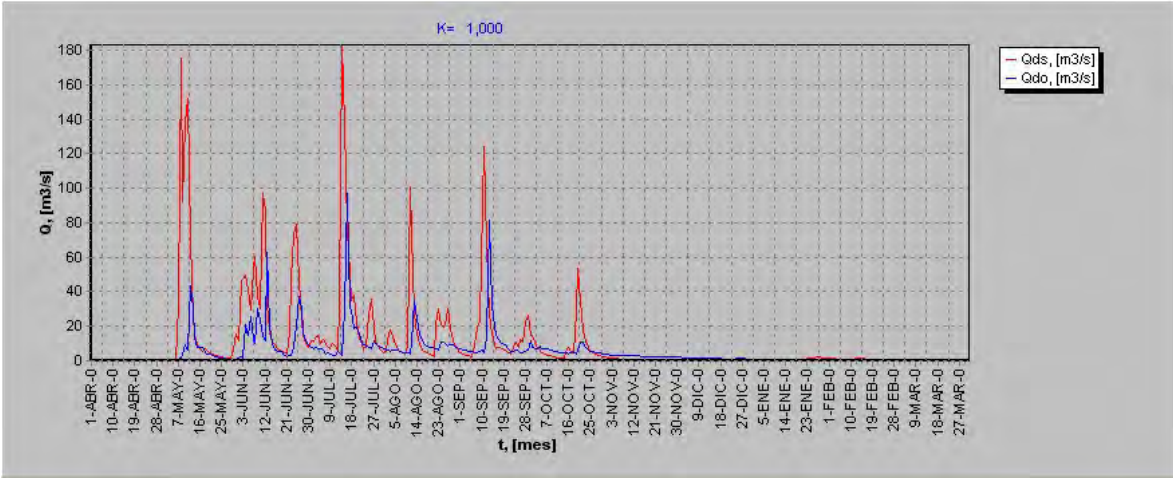
6.11. Constante de embalse subterráneo K .

A continuación se presentan las tablas y gráficos que dan cuenta de la influencia que ejerce la variación de la constante de embalse subterráneo sobre la señal simulada.

Cuadro 6.11-1

$K = 1,000 \text{ hrs}$			
R	0,874	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,760
RMS	1,250	$\sigma(error)$	23,189

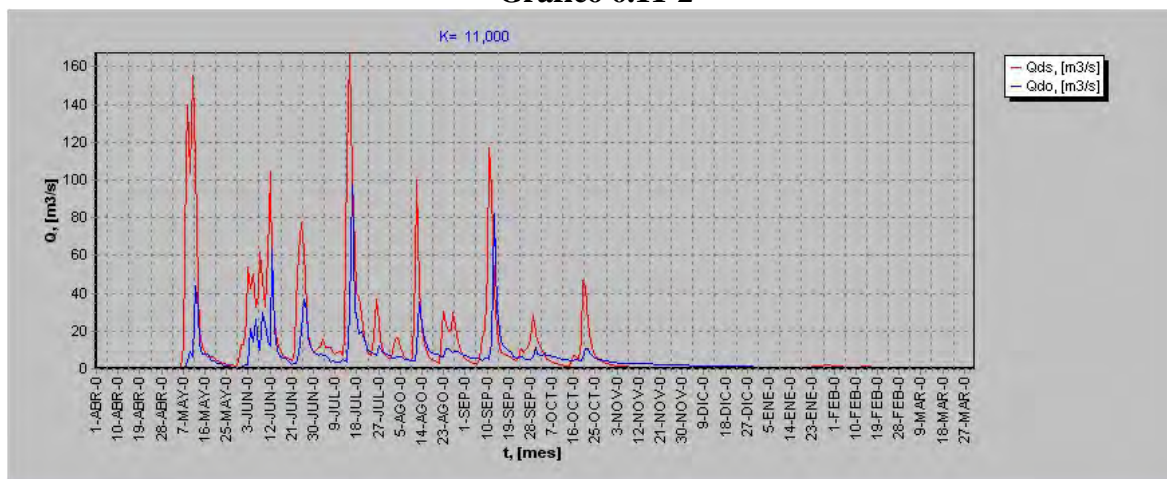
Gráfico 6.11-1



Cuadro 6.11-2

K = 11,000 hrs			
R	0,931	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,760
RMS	1,120	$\sigma(error)$	20,721

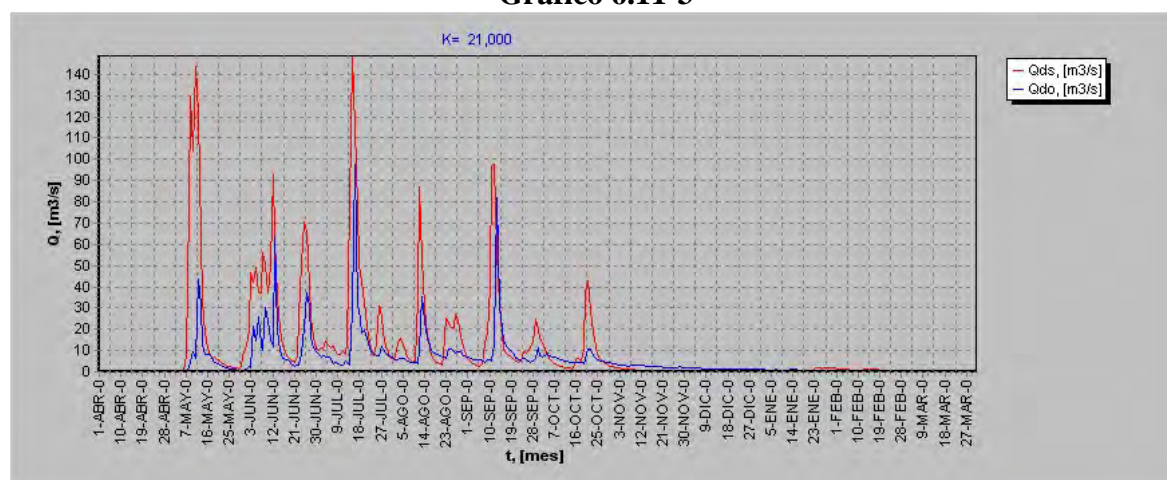
Gráfico 6.11-2



Cuadro 6.11-3

K = 21,000 hrs			
R	0,956	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,760
RMS	1,000	$\sigma(error)$	18,307

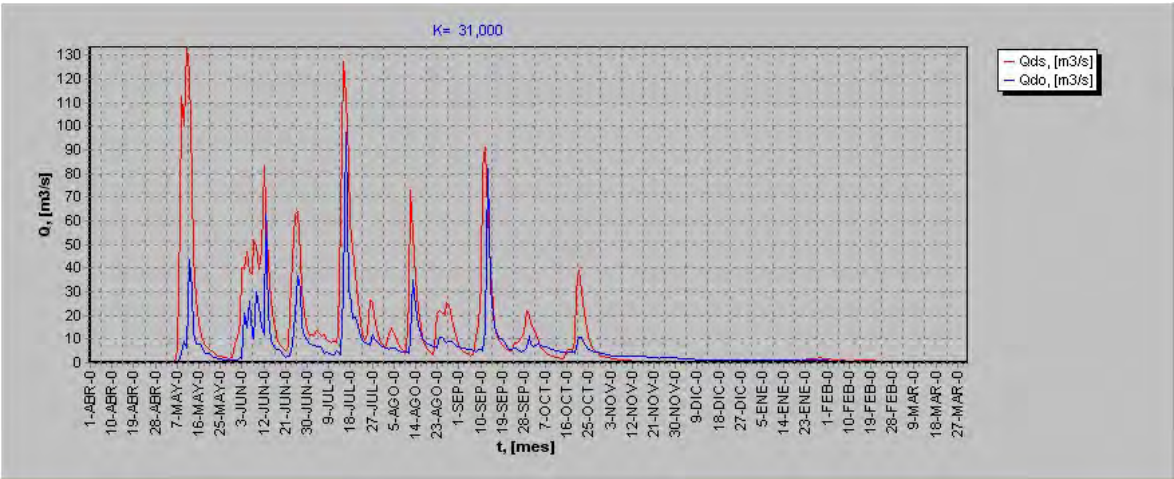
Gráfico 6.11-3



Cuadro 6.11-4

K = 31,000 hrs			
R	0,969	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,760
RMS	0,910	$\sigma(error)$	16,430

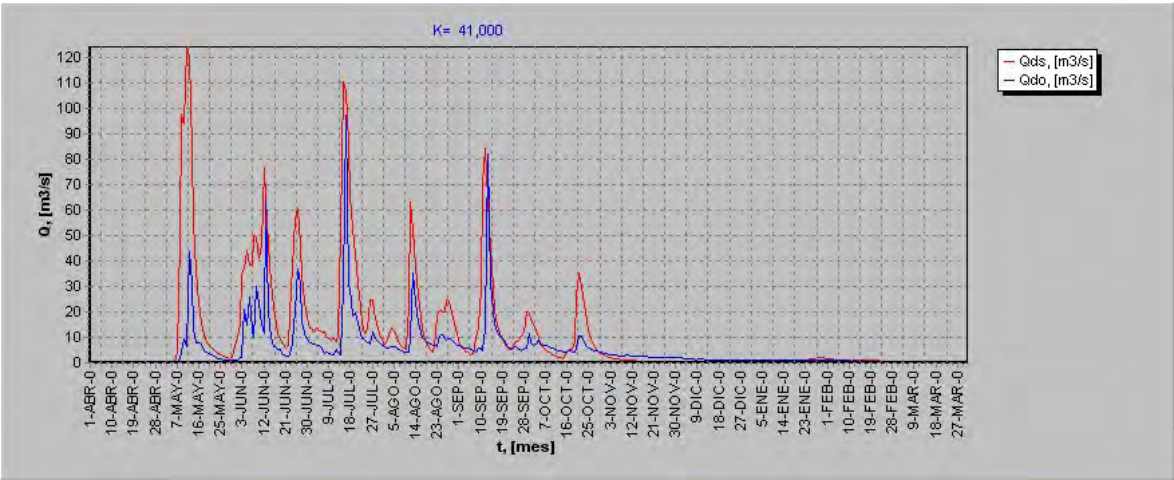
Gráfico 6.11-4



Cuadro 6.11-5

K = 41,000 hrs			
R	0,976	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,760
RMS	0,840	$\sigma(error)$	15,022

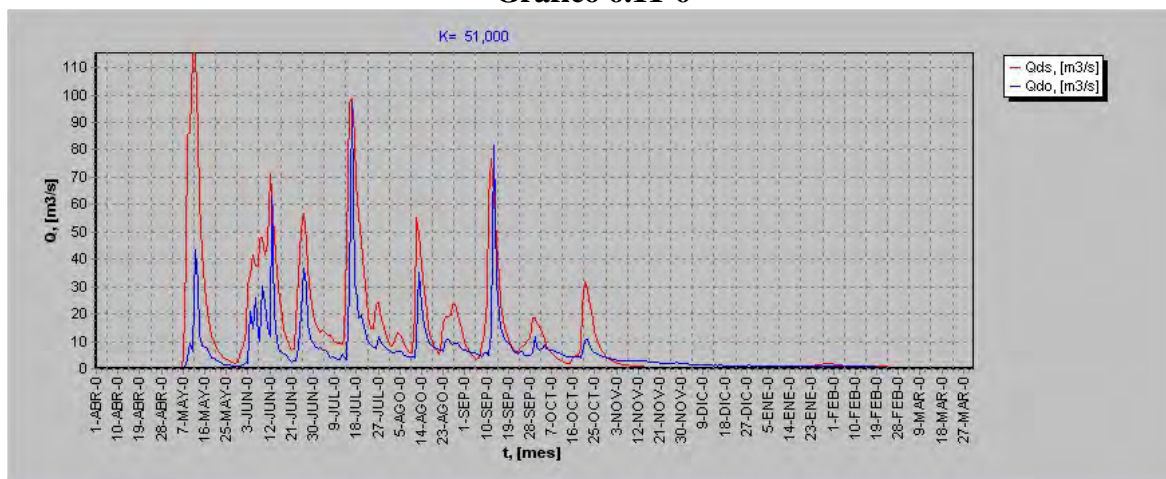
Gráfico 6.11-5



Cuadro 6.11-6

K = 51,000 hrs			
R	0,980	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,760
RMS	0,790	$\sigma(error)$	13,947

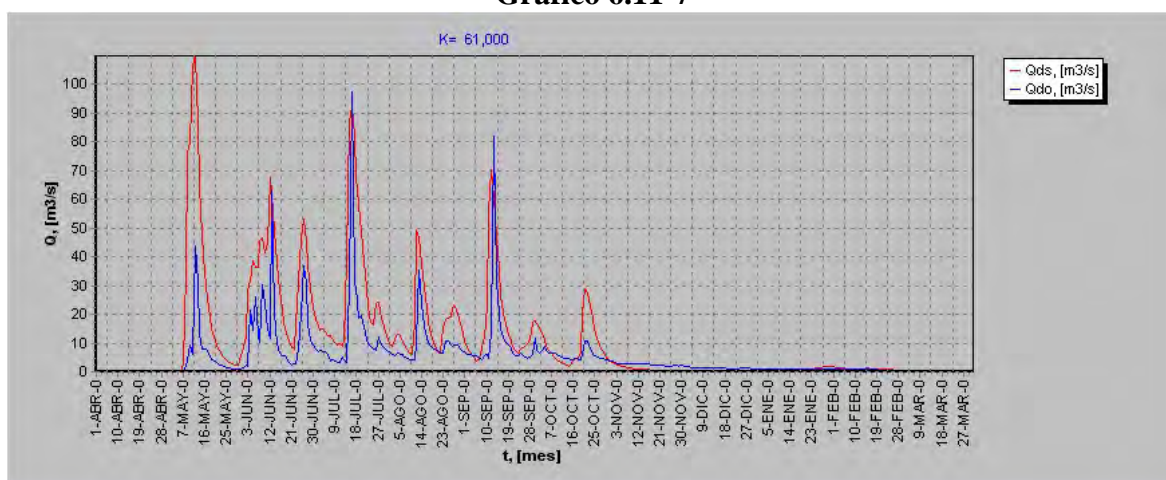
Gráfico 6.11-6



Cuadro 6.11-7

K = 61,000 hrs			
R	0,983	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,759
RMS	0,750	$\sigma(error)$	13,113

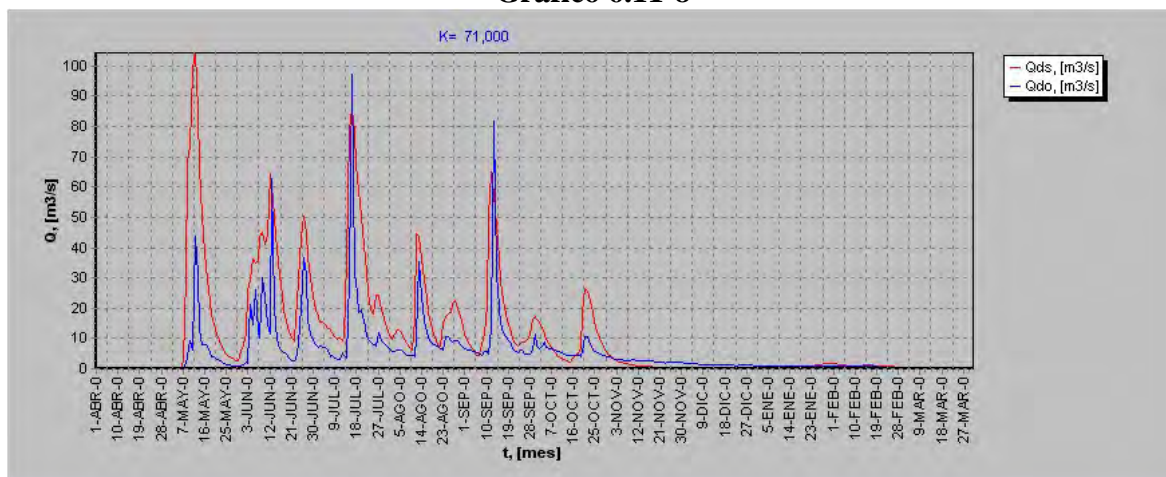
Gráfico 6.11-7



Cuadro 6.11-8

K = 71,000 hrs			
R	0,985	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,759
RMS	0,720	$\sigma(error)$	12,455

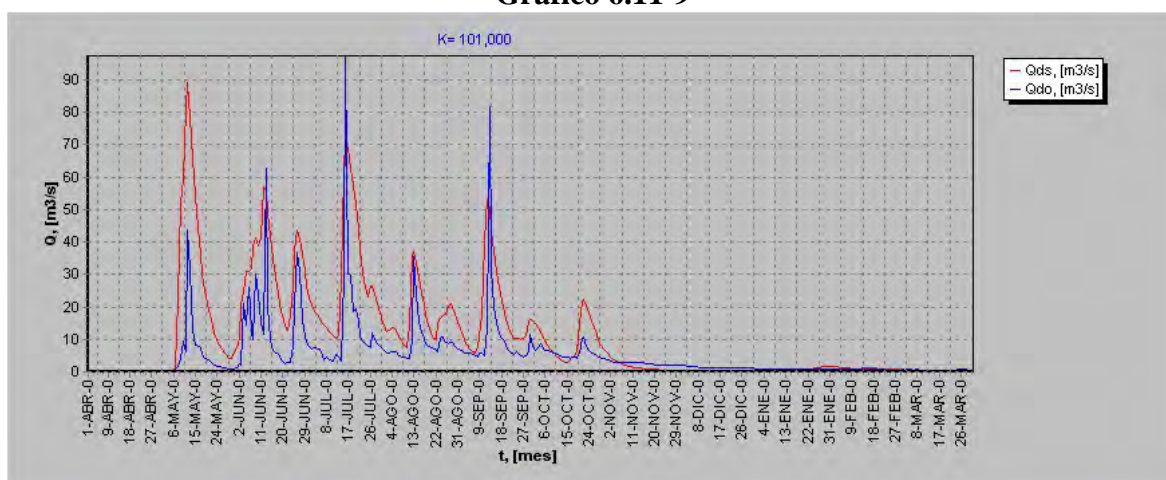
Gráfico 6.11-8



Cuadro 6.11-9

K = 101,000 hrs			
R	0,985	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,759
RMS	0,660	$\sigma(error)$	11,169

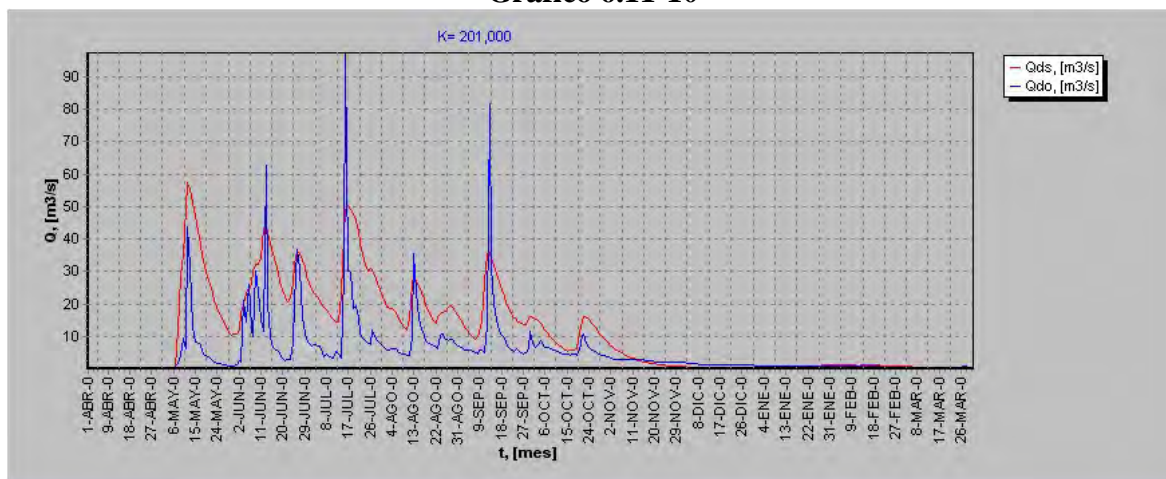
Gráfico 6.11-9



Cuadro 6.11-10

K = 201,000 hrs			
R	0,968	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,757
RMS	0,590	$\sigma(error)$	9,759

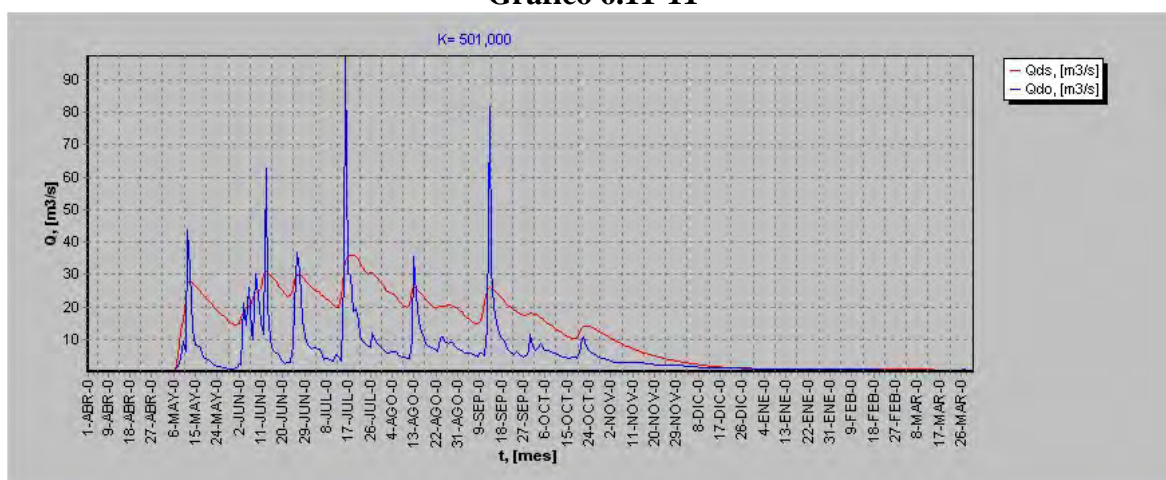
Gráfico 6.11-10



Cuadro 6.11-11

K = 501,000 hrs			
R	0,944	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,743
RMS	0,570	$\sigma(error)$	9,190

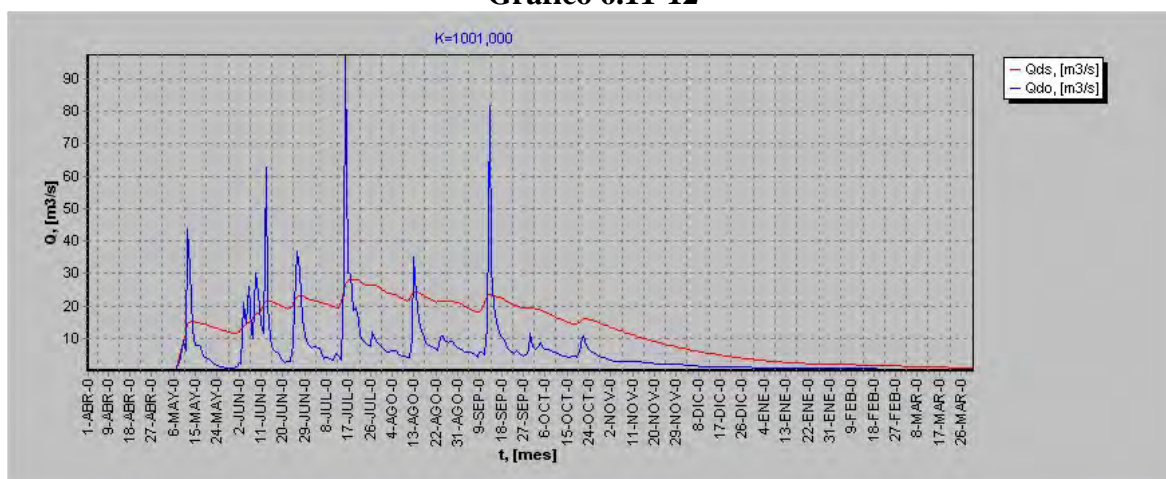
Gráfico 6.11-11



Cuadro 6.11-12

K = 1001,000 hrs			
R	0,949	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	5,672
RMS	0,550	$\sigma(error)$	8,891

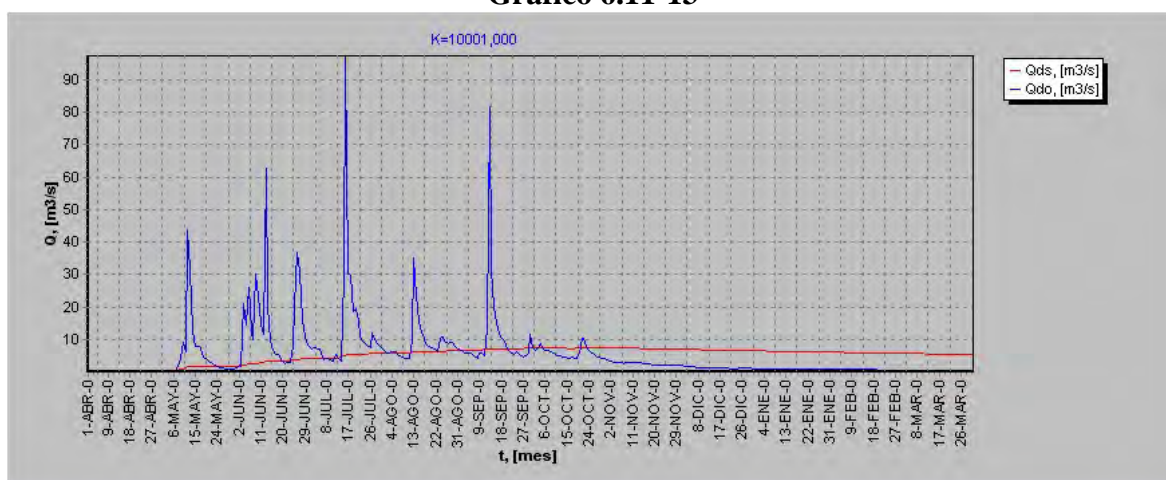
Gráfico 6.11-12



Cuadro 6.11-13

K = 10001,000 hrs			
R	0,046	RMS Normalizado	0,010
		$\mu(error)$	-0,283
RMS	0,510	$\sigma(error)$	9,804

Gráfico 6.11-13



Cuadro 6.11-14

K	R	RMS	RMS Normalizado	$\mu(error)$	$\sigma(error)$
1,000	0,874	1,250	0,010	5,760	23,189
11,000	0,931	1,120	0,010	5,760	20,721
21,000	0,956	1,000	0,010	5,760	18,307
31,000	0,969	0,910	0,010	5,760	16,430
41,000	0,976	0,840	0,010	5,760	15,022
51,000	0,980	0,790	0,010	5,760	13,947
61,000	0,983	0,750	0,010	5,759	13,113
71,000	0,985	0,720	0,010	5,759	12,455
101,000	0,985	0,660	0,010	5,759	11,169
201,000	0,968	0,590	0,010	5,757	9,759
501,000	0,944	0,570	0,010	5,743	9,190
1001,000	0,949	0,550	0,010	5,672	8,891
10001,000	0,046	0,510	0,010	-0,283	9,804

Gráfico 6.11.14
K v/s R

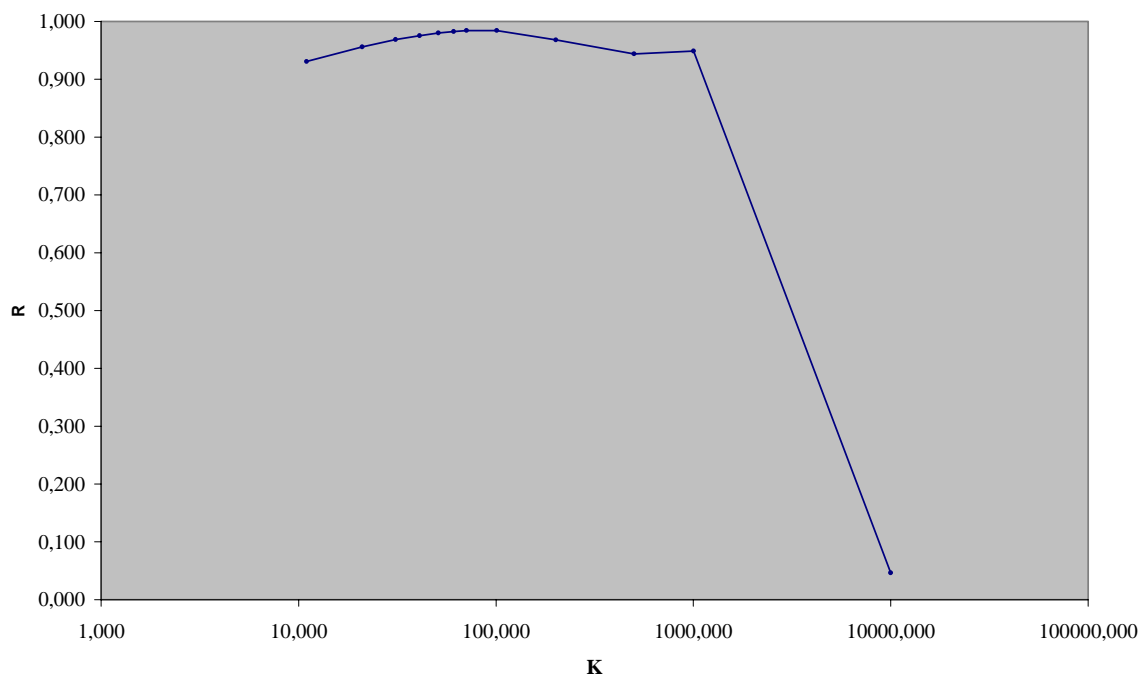


Gráfico 6.11.15
K v/s EM

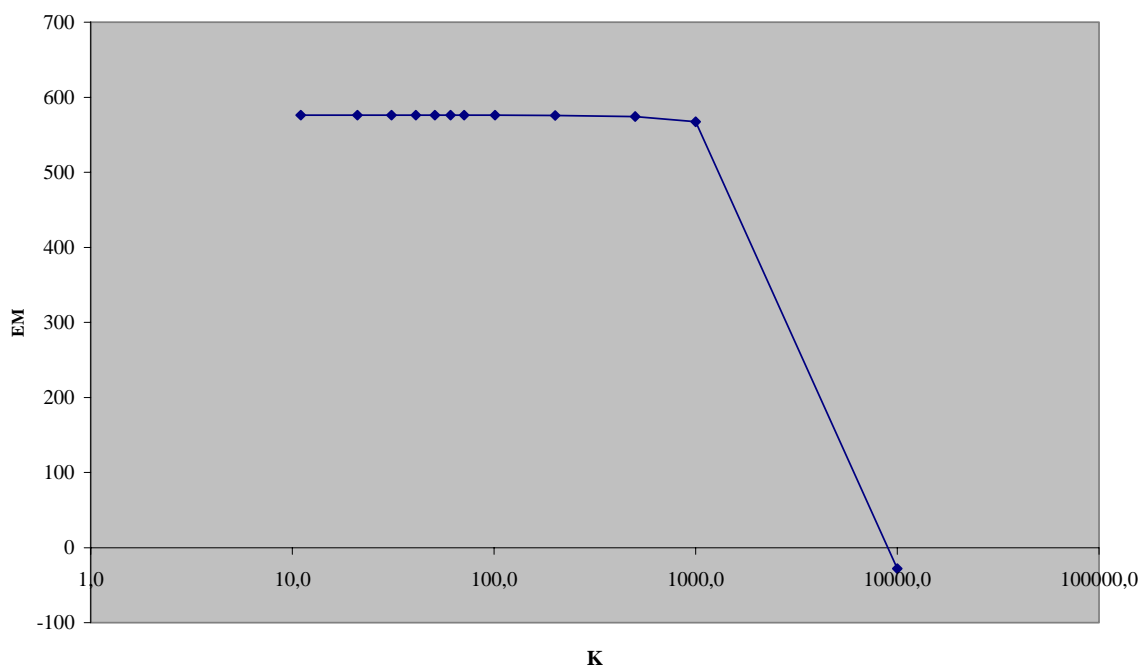


Gráfico 6.11.16
K v/s RMS

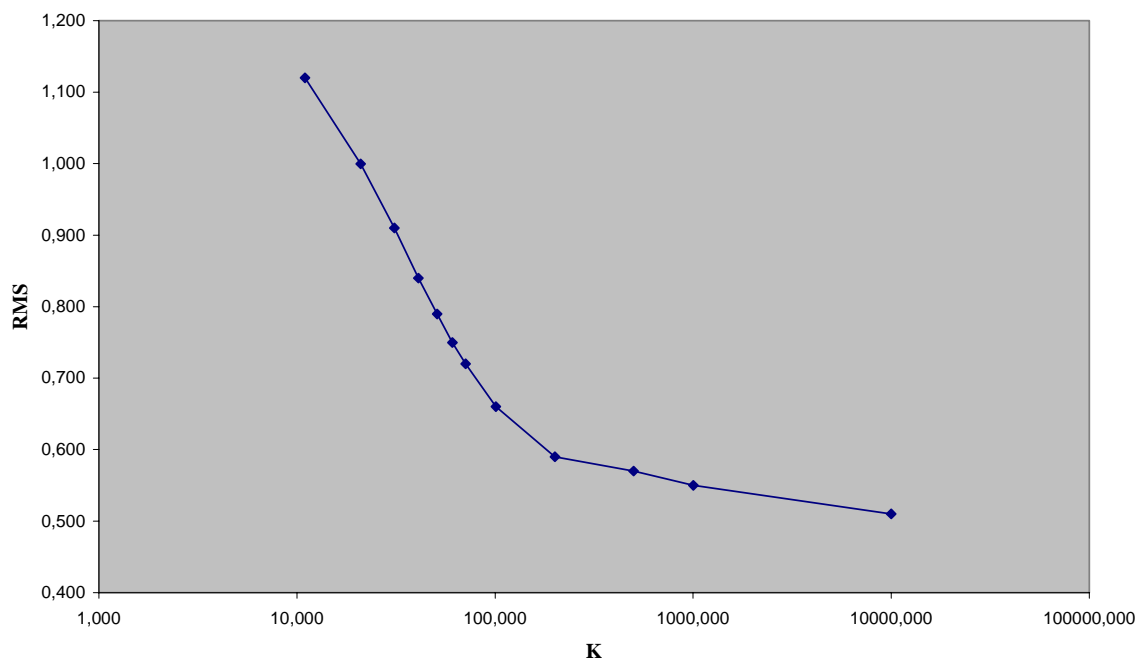


Gráfico 6.11.17
K v/s RMS Normalizado

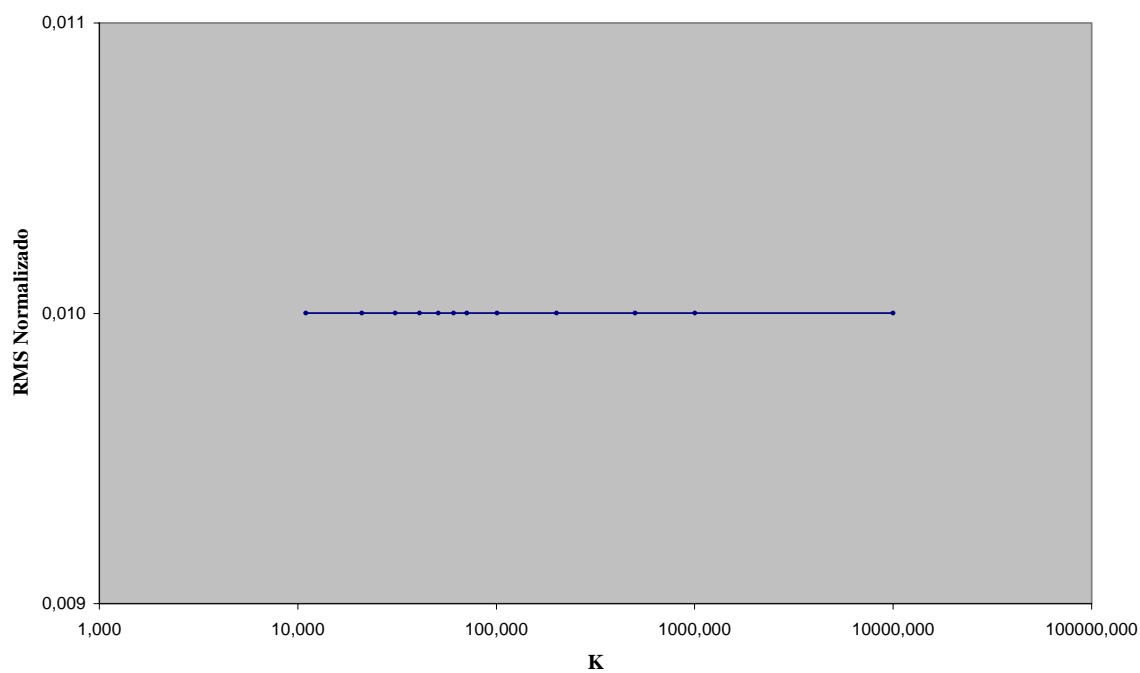


Gráfico 6.1.18
K v/s Mu(error)

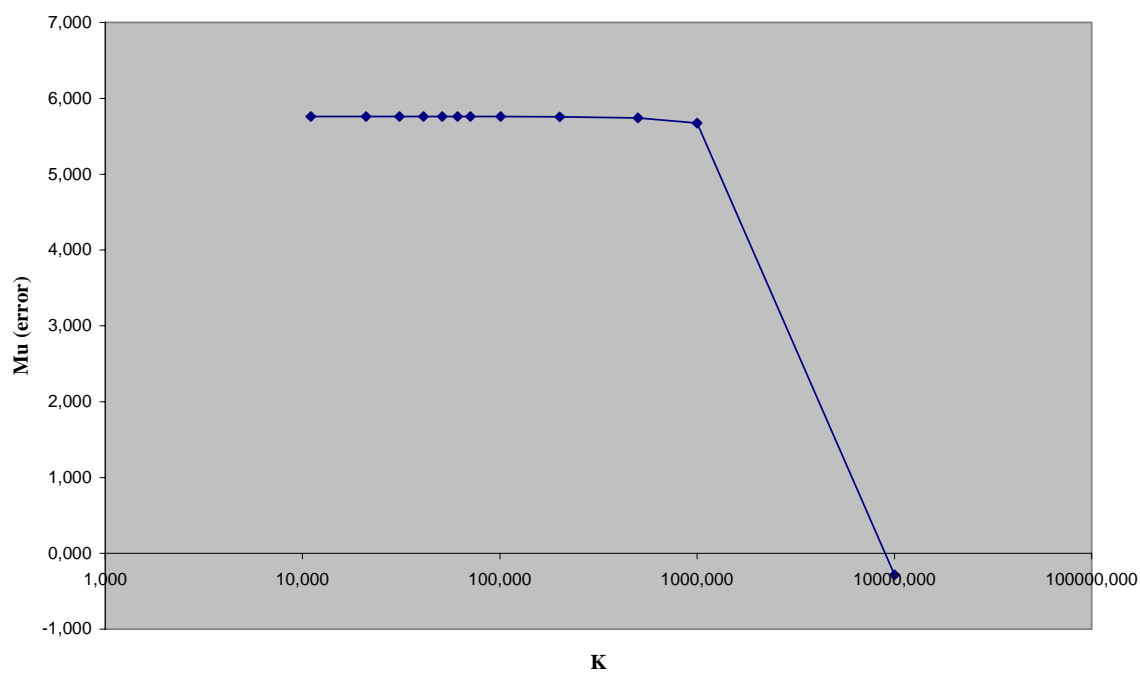


Gráfico 6.11.19
K v/s Sigma(error)

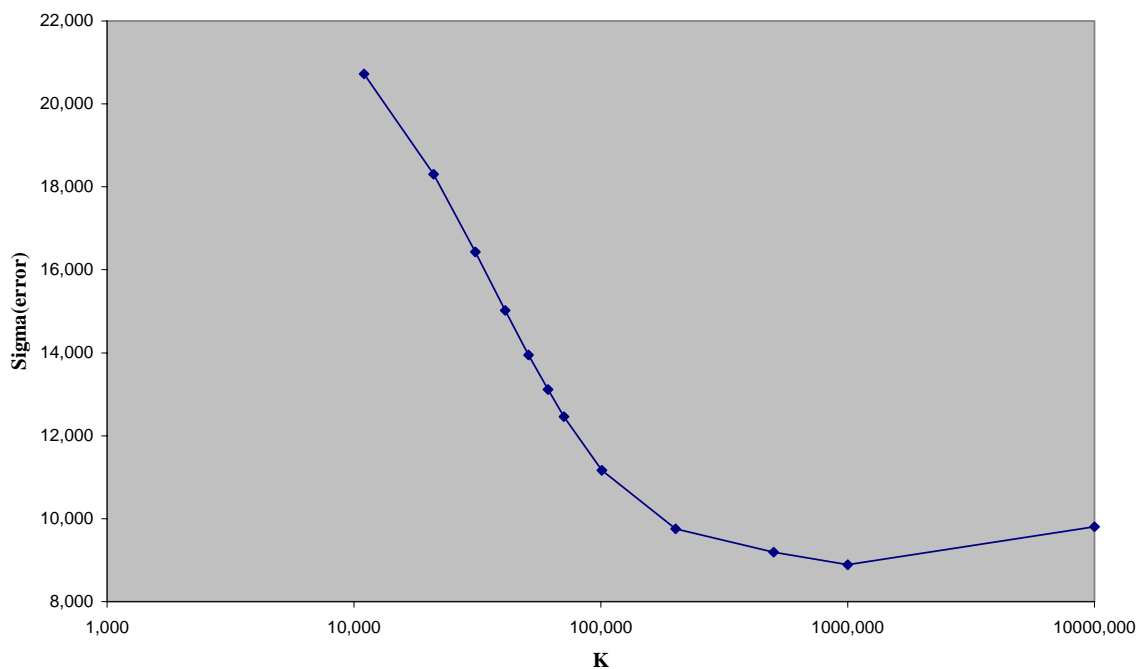
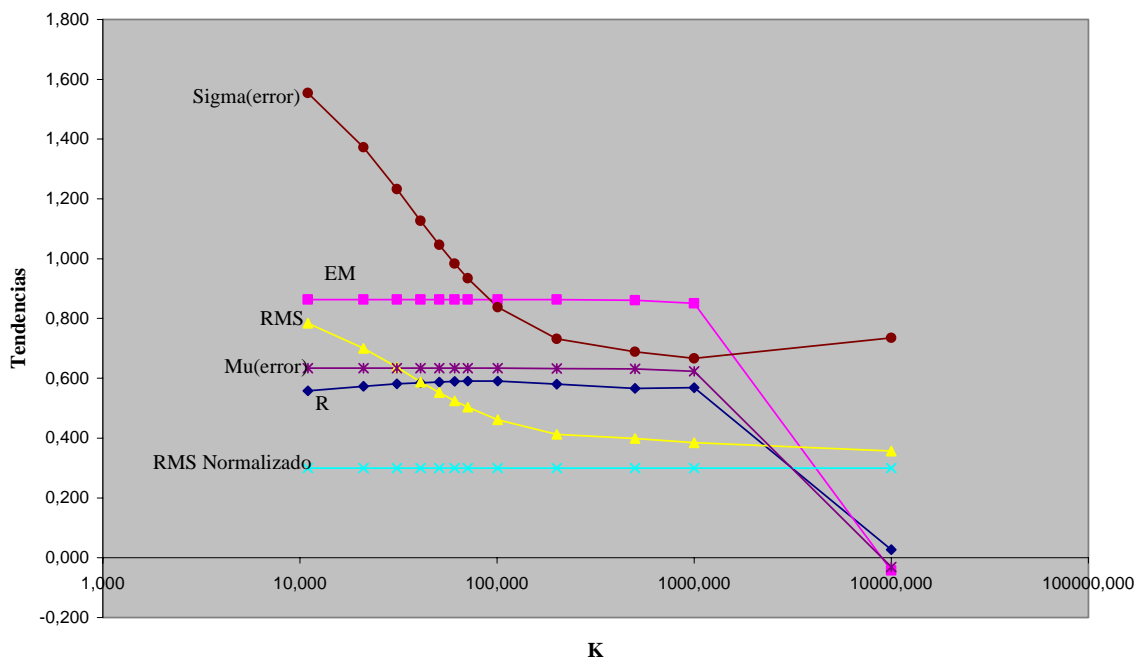


Gráfico 6.11.20
Tendencias parámetros v/s K



Como se puede notar cuando K es extremadamente pequeño ($K=1$ hora) el nivel de definición no tiene precedentes, se ajusta la forma muy bien, aunque los peaks son elevados. No debemos olvidar que $K = 1$ hora no es un valor representativo de la cuenca. Si se aumenta K los peaks comienzan a disminuir la señal se suaviza y aumenta el flujo base, sin embargo el error medio no disminuye esto quiere decir que estamos sobreestimando los valores simulados de la señal con respecto a los observados, antes de $K = 1000$, como se puede apreciar en el grafico de tendencias. Por otra parte cuando este error medio disminuye ($K>1000$) la forma de la señal no se ajusta a la señal observada y la correlación se hace mas pobre. Entonces el valor recomendado para este parámetro es de ≈ 100 horas .

6.12. Resumen

El cuadro 6.12.1 muestra el resumen de los efectos sobre la señal simulada cuando el valor del parámetro aumenta.

Cuadro 6.12-1
Resumen

Parámetro	Valor Aumenta	Valor Recomendado
Grado de Saturación	Aumenta peak inicial. Si $GS > 0,4$ aparece nuevo peak al inicio	$GS < 0,4$
Flujo Subterráneo inicial	Señal no cambia para $FS < 0,8$, si $FS > 0,8$ m ³ /s aparece peak al inicio que aumenta progresivamente	$FS < 0,8$ m ³ /s
A	Señal aumenta su amplitud y flujo base	$A > 0,5$
B	No tiene efectos	
PorEf	Disminuye definición y peak de señal Asimétricamente (mayor efecto al inicio)	$\approx 0,4$
Hcap	No tiene efectos	
Khid	Disminuye definición, suaviza y sincroniza señal, amplitud disminuye al principio y final de la señal mientras que en la parte central aumenta para $Khid < 6$. Si $Khid > 6$ señal toma forma definitiva peaks aumentan, aumenta flujo base. Si $Khid > 1000$ no hay efectos.	$4 < Khid < 6$
Scc	Disminuye peaks inicial, aumentan finales, aumenta definición	
Smin	No tiene efectos	
Hsuelo	Disminuye peaks iniciales, disminuye definición	
K	Disminuye definición, peaks, aumenta flujo base	$K \sim 100$

6.13. Calibración final

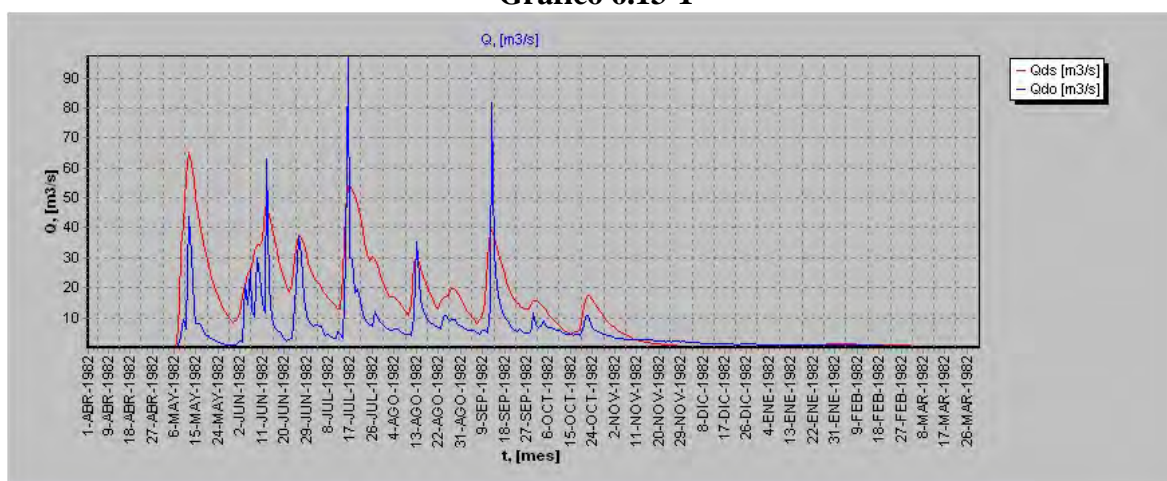
La calibración comienza con los datos determinados anteriormente en las secciones 1 a 5. Estos datos están presentados en el cuadro 6.13.1

Cuadro 6.13-1

GS	FS	A	B	PorEf	Hcap	Khid	Sc	Smin	Hsuelo	K
0,03	0,1	0,95	0,85	0,412	110,1	10,9	0,37	0,162	450	168
R		0,974	RMS Normalizado			0,010				
			$\mu(error)$			5,758				
RMS		0,600	$\sigma(error)$			9,998				

Con estos datos se genera la siguiente gráfica

Gráfico 6.13-1



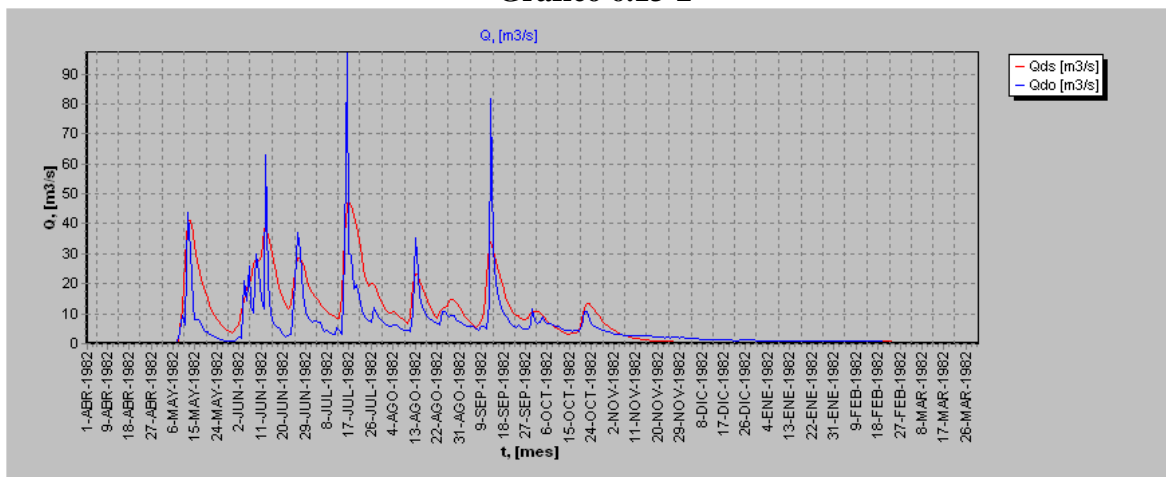
Se puede ver que no se reproducen adecuadamente los peaks, el flujo base está muy alto y no hay mucha definición de detalles en la señal. Es necesario bajar los peaks iniciales y subir el central. Para esto se recomienda $\downarrow A$, $\uparrow PorEf$, $\downarrow Khid$, $\uparrow Sc$, $\downarrow Hsuelo$ y $\downarrow K$.

Moviendo los parámetros se obtienen los siguientes resultados:

Cuadro 6.13-2

GS °/1	FS m^3/seg	A °/1	B °/1	POREF °/1	HCAP mm	KHID mm/hr	SCC °/1	SMIN °/1	SCRIT °/1	HSUELO mm	K hr
0,03	0,1	0,7	0,85	0,5	110,1	6	0,436	0,263	0.3322	450	100
R		0,987	RMS Normalizado		0,000						
			$\mu(error)$		2,375						
RMS		0,380	$\sigma(error)$		6,928						

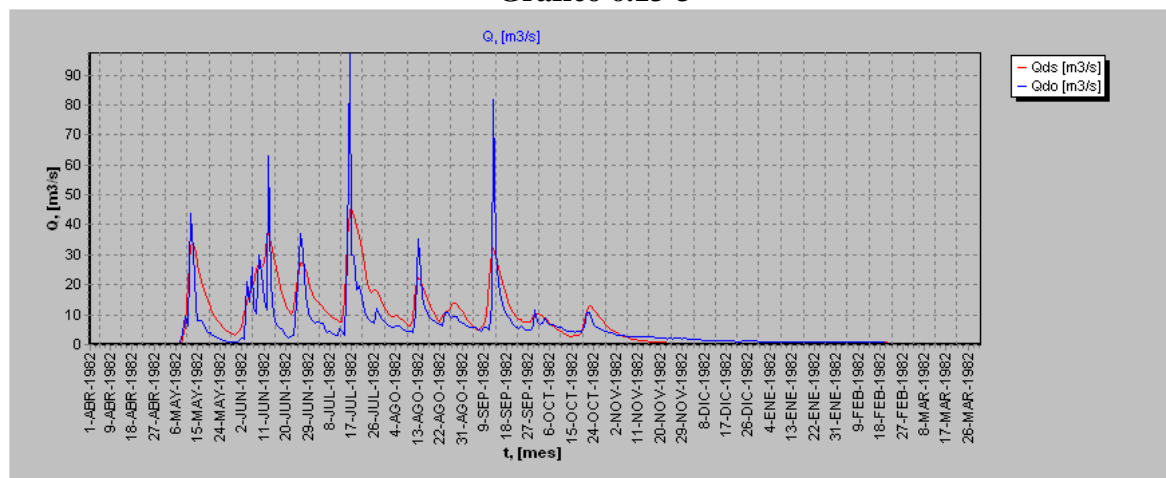
Gráfico 6.13-2



Cuadro 6.13-3

GRAF	GS	FS	A	B	PorEf	Hcap	Khid	Scs	Smin	Hsuelo	K
16.3	0,03	0,1	0,65	0,85	0,55	110,1	6	0,49	0,263	400	100
R		0,988	RMS Normalizado		0,000						
			$\mu(error)$		1,680						
RMS		0,350	$\sigma(error)$		6,446						

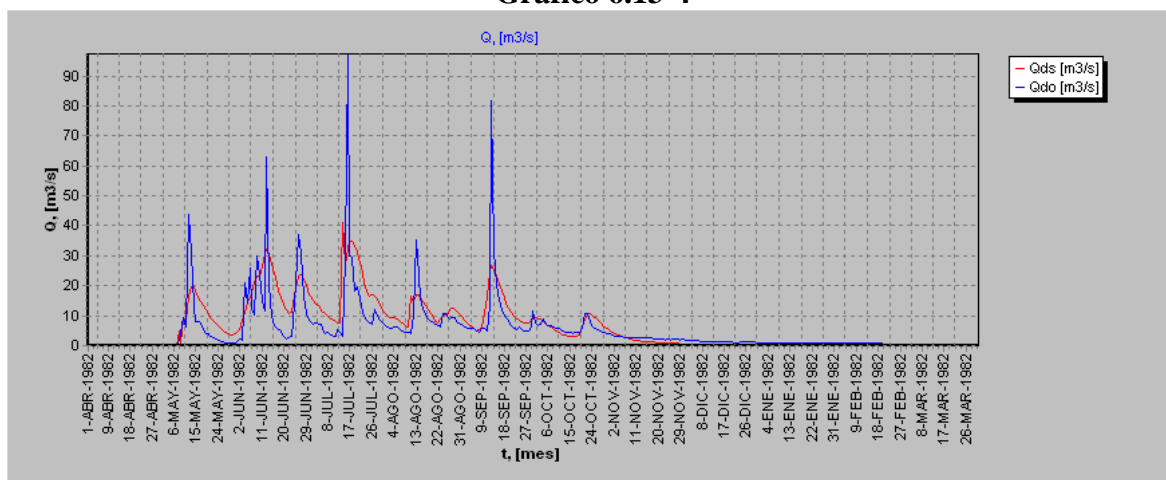
Gráfico 6.13-3



Cuadro 6.13-4

GS	FS	A	B	PorEf	Hcap	Khid	Sc	Smin	Hsuelo	K
0,03	0,1	0,6	0,85	0,58	110,1	3	0,5	0,263	380	100
R		0,978	<i>RMS Normalizado</i>				0,000			
			$\mu(error)$				1,015			
RMS		0,360	$\sigma(error)$				6,847			

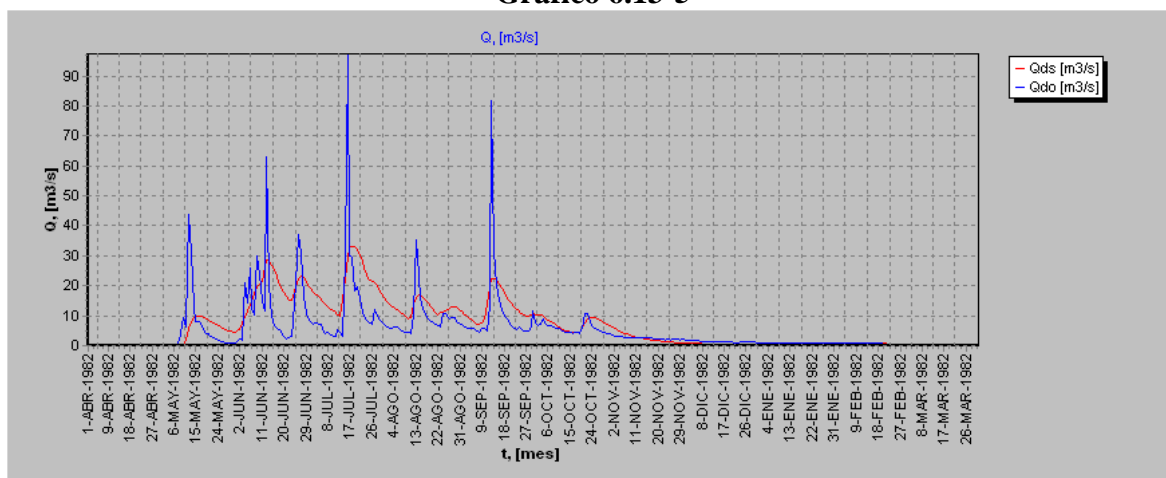
Gráfico 6.13-4



Cuadro 6.13-5

GRAF	GS	FS	A	B	PorEf	Hcap	Khid	Sc	Smin	Hsuelo	K
16.5	0,03	0,1	0,65	0,85	0,58	110,1	4,9	0,5	0,263	500	170
R		0,970		RMS Normalizado			0,000				
				$\mu(error)$			1,334				
RMS		0,400		$\sigma(error)$			7,478				

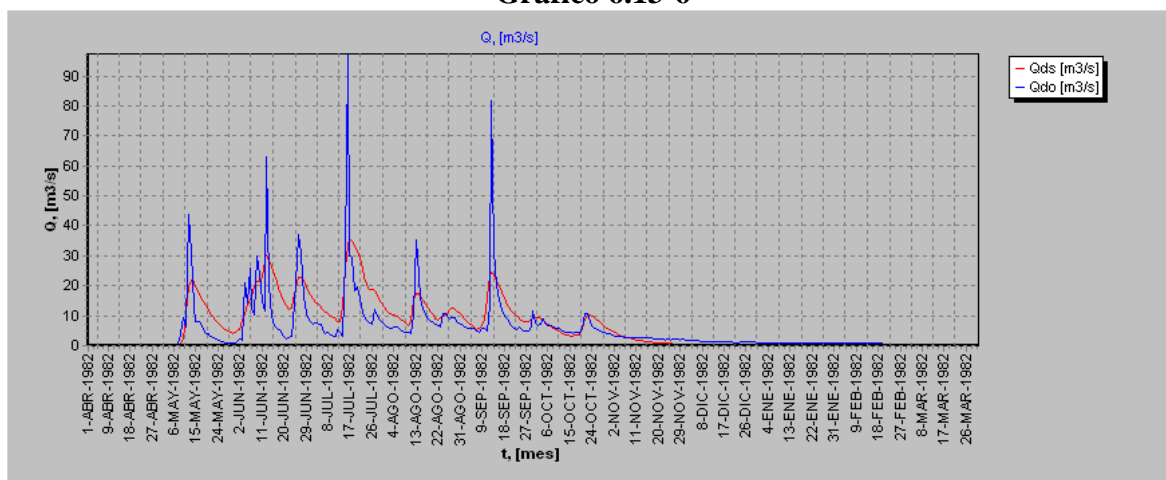
Gráfico 6.13-5



Cuadro 6.13-6

GS	FS	A	B	PorEf	Hcap	Khid	Scc	Smin	Hsuelo	K
0,03	0,1	0,6	0,85	0,55	110,1	6	0,49	0,263	400	140
R		0,980	<i>RMS Normalizado</i>		0,000					
			$\mu(error)$		1,058					
RMS		0,350	$\sigma(error)$		6,706					

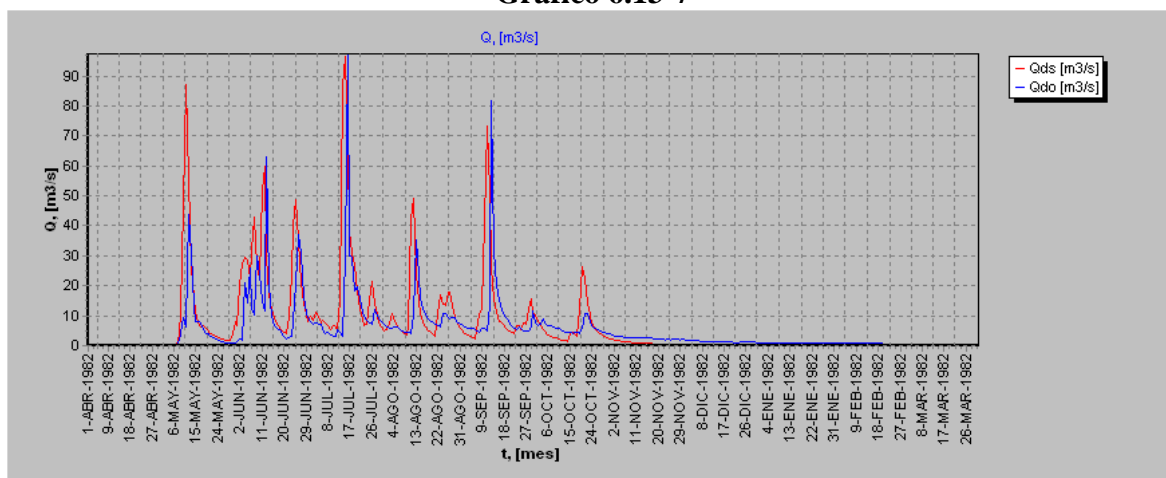
Gráfico 6.13-6



Cuadro 6.13-7

GS	FS	A	B	PorEf	Hcap	Khid	Scc	Smin	Hsuelo	K
0,03	0,1	0,65	0,85	0,55	110,1	6	0,49	0,263	400	1
R		0,961	<i>RMS Normalizado</i>		0,010					
			$\mu(error)$		1,681					
RMS		0,600	$\sigma(error)$		11,263					

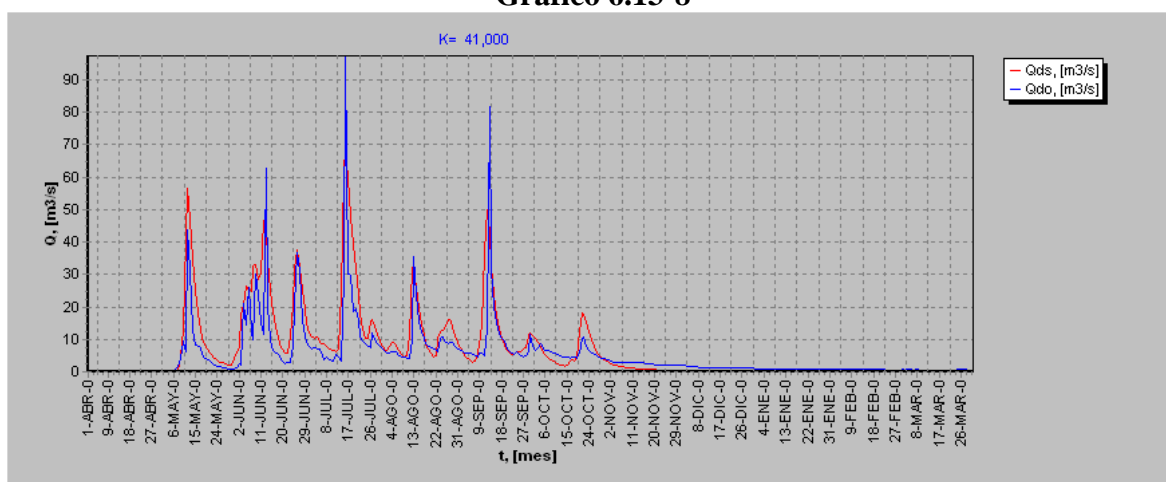
Gráfico 6.13-7



Cuadro 6.13-8

GS	FS	A	B	PorEf	Hcap	Khid	Scc	Smin	Hsuelo	K
0,03	0,1	0,65	0,85	0,55	110,1	6	0,49	0,263	400	41
R		0,991	<i>RMS Normalizado</i>			0,000				
			$\mu(error)$			1,681				
RMS		0,350	$\sigma(error)$			6,529				

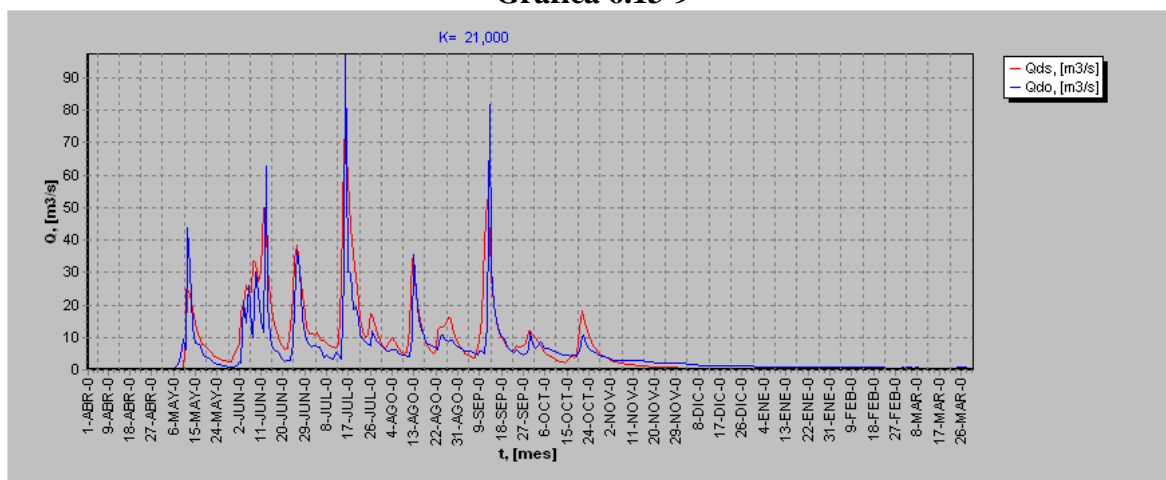
Gráfico 6.13-8



Cuadro 6.13-9

GS	FS	A	B	PorEf	Hcap	Khid	Scc	Smin	Hsuelo	K
0,03	0,1	0,65	0,85	0,3	110,1	6	0,49	0,263	1000	21
R		0,988	<i>RMS Normalizado</i>			0,000				
			$\mu(error)$			1,324				
RMS		0,340	$\sigma(error)$			6,323				

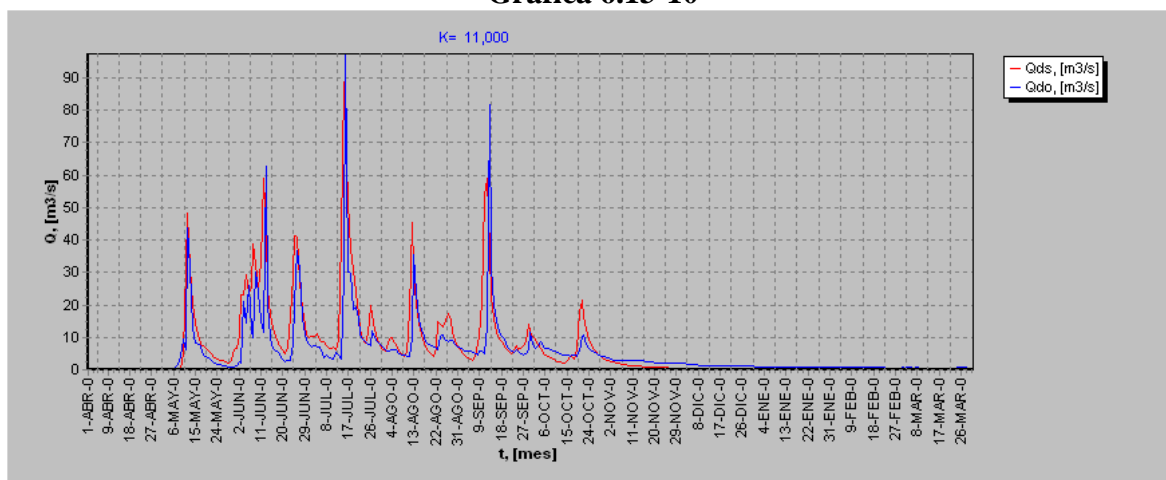
Gráfica 6.13-9



Cuadro 6.13-10

GS	FS	A	B	PorEf	Hcap	Khid	Sec	Smin	Hsuelo	K
0,03	0,1	0,65	0,85	0,3	110,1	6	0,49	0,263	900	11
R		0,983	<i>RMS Normalizado</i>		0,000					
			$\mu(error)$		1,458					
RMS		0,410	$\sigma(error)$		7,754					

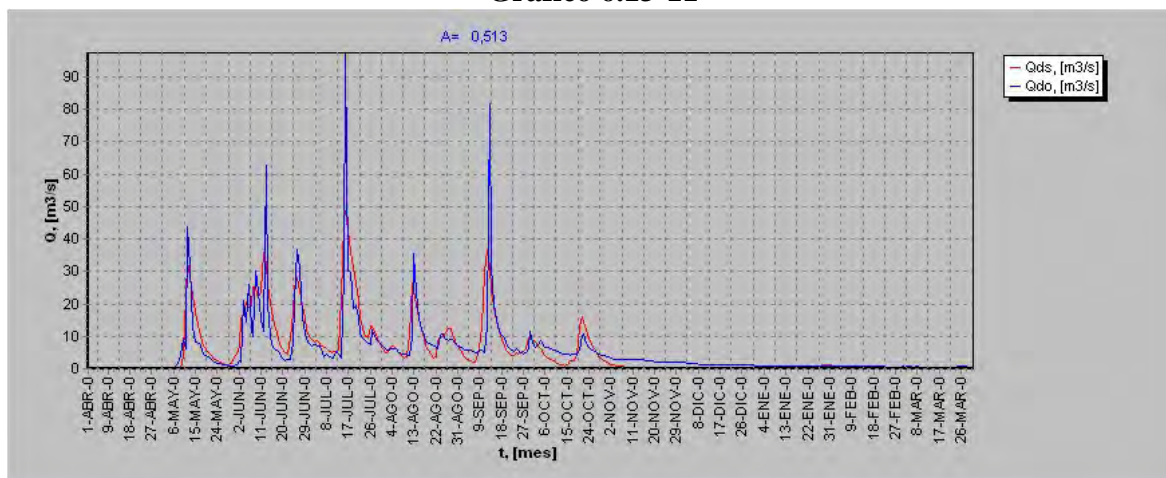
Gráfica 6.13-10



Cuadro 6.13-11

GS	FS	A	B	PorEf	Hcap	Khid	Sec	Smin	Hsuelo	K
0,03	0,1	0,513	0,85	0,33	110,1	30	0,552	0,2	600	71
R		0,988	<i>RMS Normalizado</i>		0,000					
			$\mu(error)$		0,005					
RMS		0,300	$\sigma(error)$		5,733					

Gráfico 6.13-11



Cuadro 6.13-12

Calibración	R	RMS	<i>RMS Normalizado</i>	$\mu(error)$	$\sigma(error)$
6.13.1	0,974	0,600	0,010	5,758	9,998
6.13.2	0,987	0,380	0,000	2,375	6,928
6.13.3	0,988	0,350	0,000	1,680	6,446
6.13.4	0,978	0,360	0,000	1,015	6,847
6.13.5	0,970	0,400	0,000	1,334	7,478
6.13.6	0,980	0,350	0,000	1,058	6,706
6.13.7	0,961	0,600	0,010	1,681	11,263
6.13.8	0,991	0,350	0,000	1,681	6,529
6.13.9	0,988	0,340	0,000	1,324	6,323
6.13.10	0,983	0,410	0,000	1,458	7,754
6.13.11	0,988	0,300	0,000	0,005	5,733

Gráfico 6.13.13
Calibración v/s EM

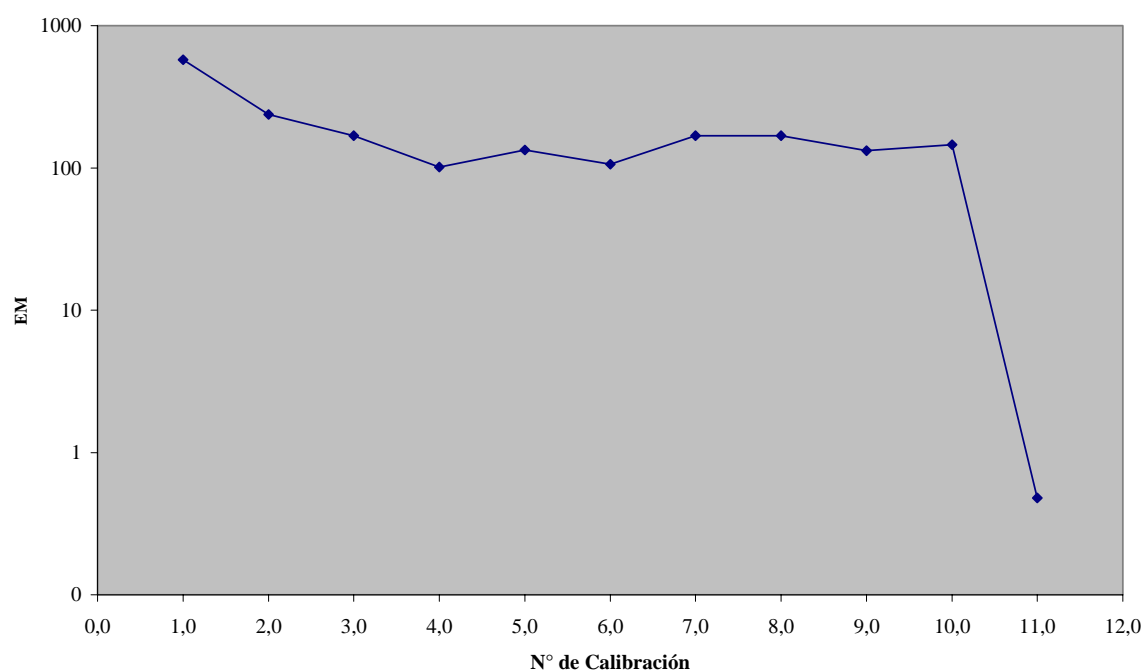


Gráfico 6.13.14
Calibración v/s RMS

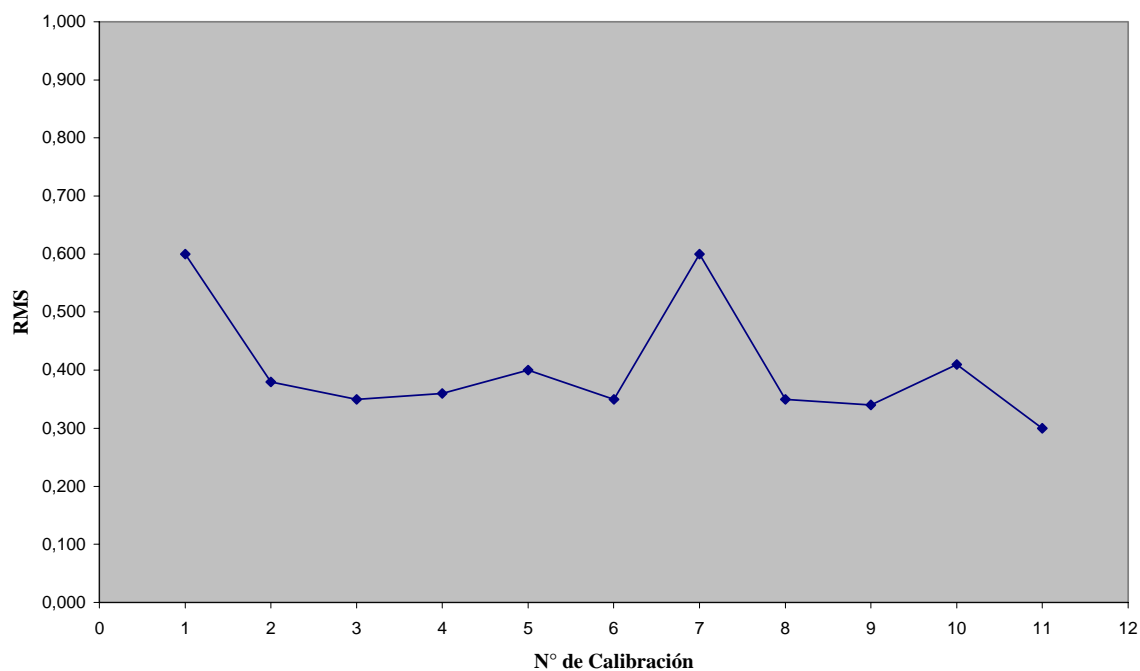


Gráfico 6.13.15
Calibración v/s RMS Normalizado

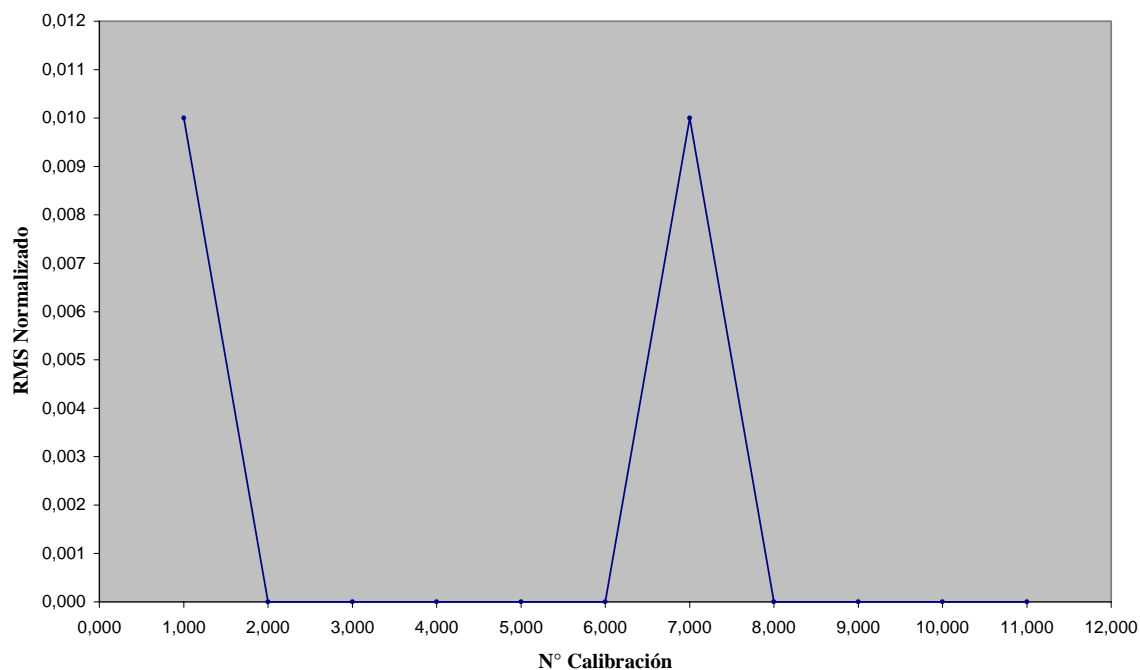


Gráfico 6.13.16
Calibración v/s Mu(error)

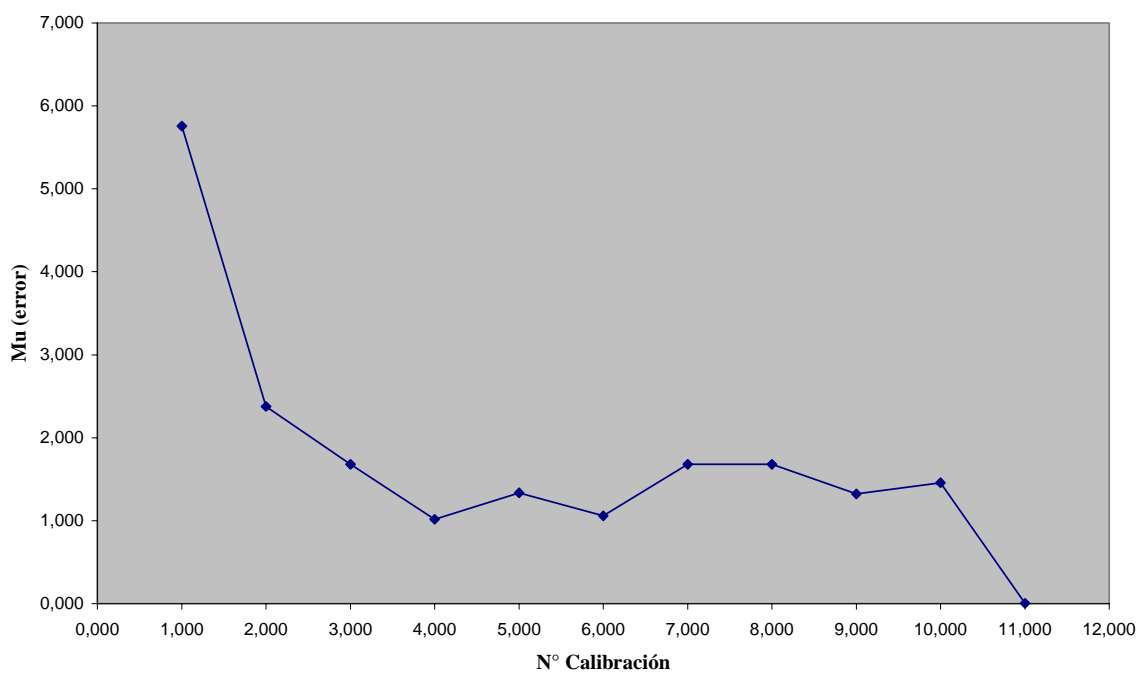


Gráfico 6.13.17
Calibración v/s Sigma(error)

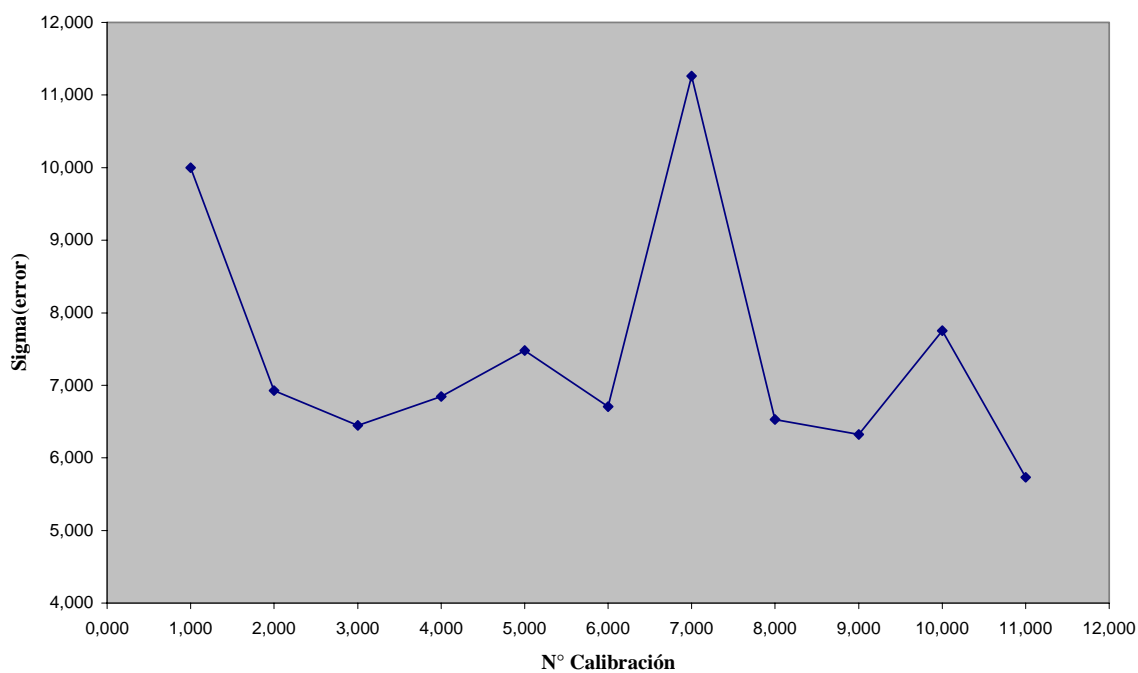
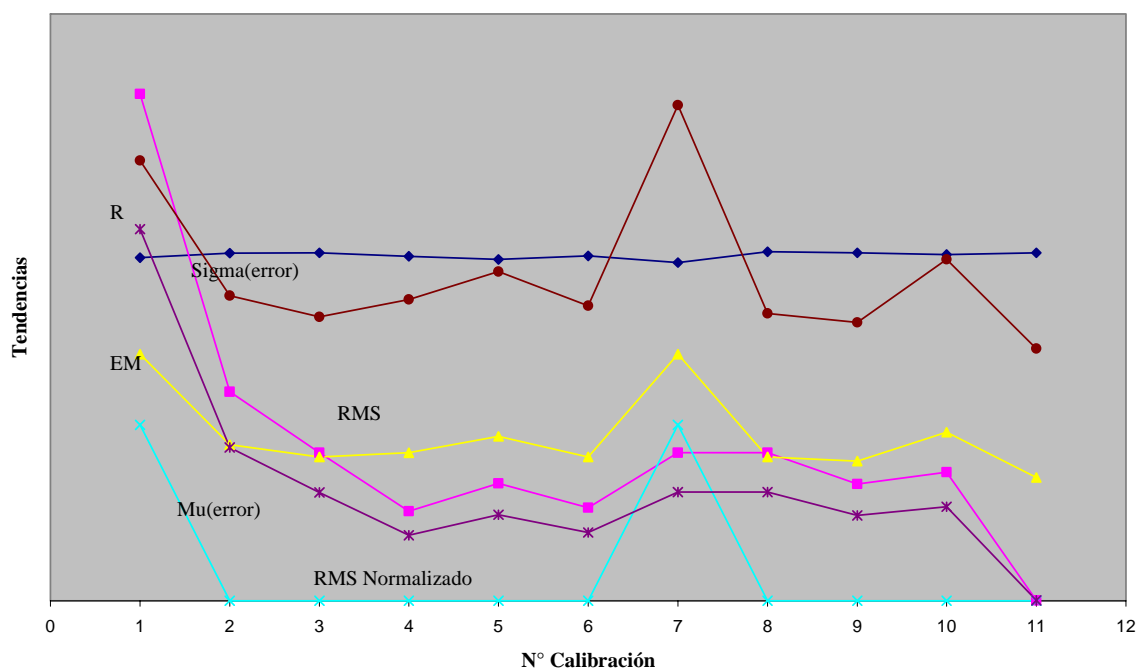


Gráfico 6.13.18
Tendencias parámetros v/s Calibraciones



Como se puede apreciar en la gráfica de tendencias los mejores valores de parámetros los tiene la calibración 11, además la forma de la señal es la más próxima a la señal observada, así se adopta este conjunto de parámetros como el resultado de la calibración final.

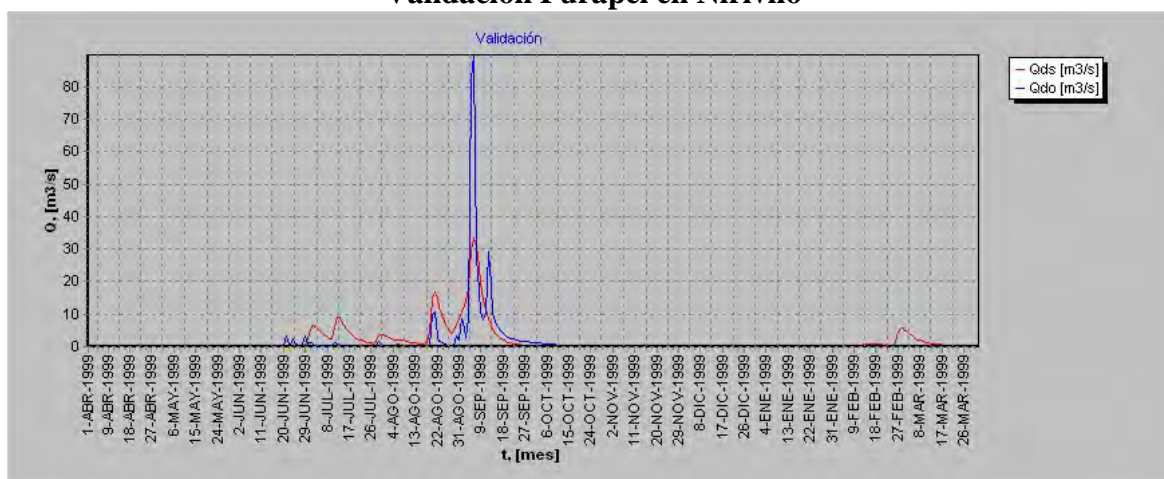
7. Validación

Para validar el estudio anterior se correrá el programa SIMED con datos del año 1999 y los parámetros obtenidos en el punto anterior. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Cuadro 7-1
Validación Purapel en Nirivilo

GS	FS	A	B	PorEf	Hcap	Khid	Sc	Smin	Hsuelo	K
0,03	0,1	0,513	0,85	0,33	110,1	30	0,552	0,2	600	71
R		0,971		RMS Normalizado			0,000			
				$\mu(error)$			0,407			
RMS		0,250		$\sigma(error)$			4,809			

Gráfico 7-1
Validación Purapel en Nirivilo



Se puede notar que el programa reproduce bien la forma de la señal para el periodo lluvioso Agosto-Septiembre, sin embargo la señal tiene problemas para reproducir el amortiguamiento de la cuenca en tiempos de escasa precipitación. Interesante es hacer notar que los parámetros estadísticos muestran una buena aproximación de la realidad sobre todo si consideramos un error medio de tan sólo 0.407 a nivel anual.

8. Conclusiones.

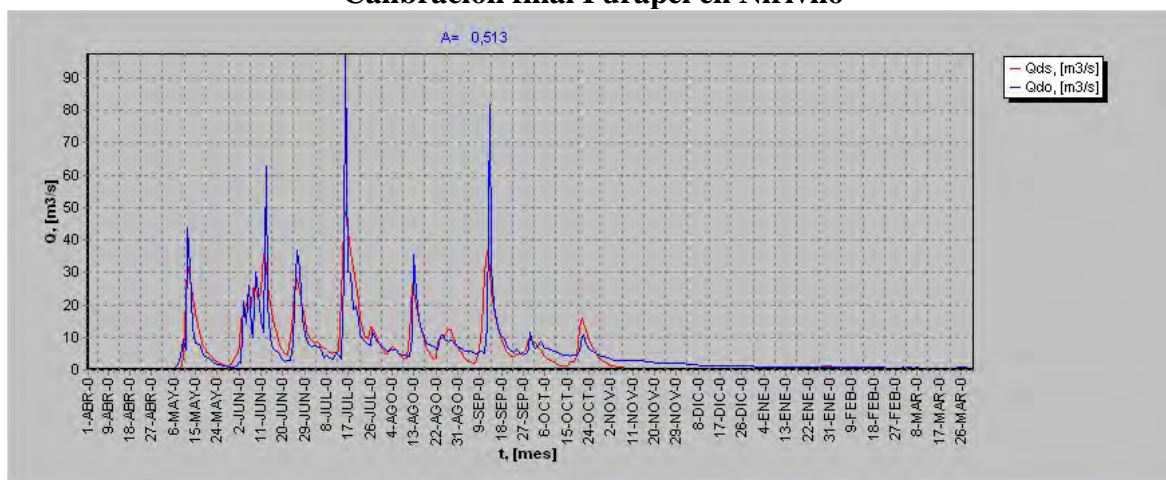
El proceso de calibración del modelo pretende encontrar los valores adecuados de un conjunto de parámetros, cuyos valores permiten en conjunto con las ecuaciones consideradas en el programa, representar fielmente el comportamiento de la cuenca en estudio.

Los parámetros establecidos para la calibración final, cuadro 8.13-11 logran representar los valores observados en los rangos físicos válidos.

Cuadro 8.13-11
Calibración final Purapel en Nirivilo.

GS	FS	A	B	PorEf	Hcap	Khid	Sc	Smin	Hsuelo	K
0,03	0,1	0,513	0,85	0,33	110,1	30	0,552	0,2	600	71
R		0,988	RMS Normalizado		0,000					
			$\mu(error)$		0,005					
RMS		0,300	$\sigma(error)$		5,733					

Gráfico 8.13-11
Calibración final Purapel en Nirivilo



Del gráfico 8.13-11, se puede notar que el modelo no es capaz de representar los peaks de caudales máximos, porque el módulo de infiltración usado por el programa esta basado en el método de Green Ampt, el cual considera un frente abrupto de humedad, donde el suelo

está húmedo sobre cierta cota y seco por debajo de ella. En tanto, se sabe que el frente de humedad en la zona no saturada, es difuso.

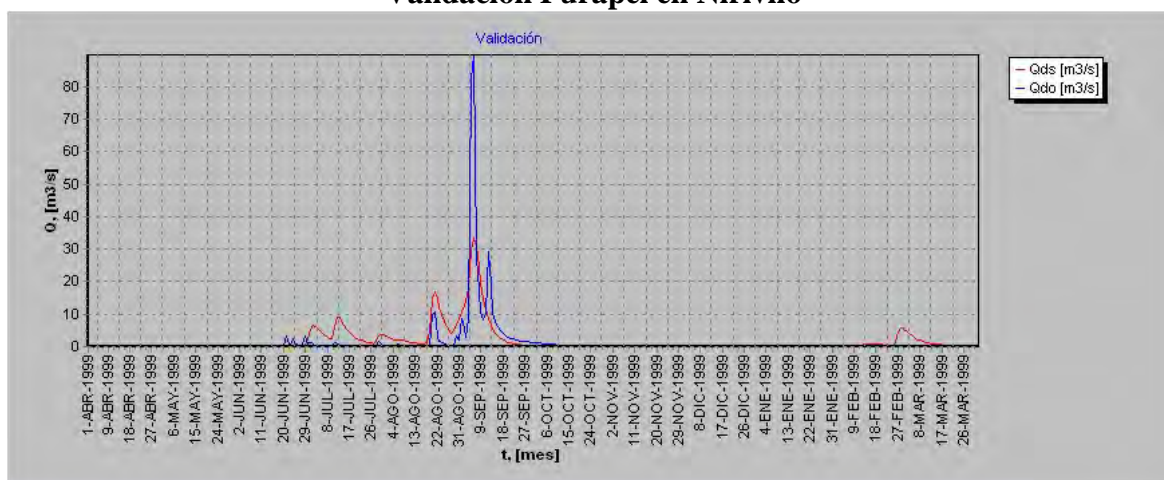
Por otra parte también es sabido que la conductividad hidráulica cambia con las condiciones antecedentes de humedad, mientras mayor es la humedad, mayor facilidad existe para transportar agua en la masa de suelo, de manera entonces que Kh_{id} es variable y no constante como se trata en el desarrollo del programa.

Por otra parte el proceso de validación no tuvo muy buen ajuste, pues, se llegó a un error medio de $0.407 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Cuadro 8-1
Validación Purapel en Nirivilo

GS	FS	A	B	PorEf	Hcap	Kh _{id}	Scc	Smin	Hsuelo	K
0,03	0,1	0,513	0,85	0,33	110,1	30	0,552	0,2	600	71
R		0,971	RMS Normalizado		0,000					
			$\mu(\text{error})$		0,407					
RMS		0,250	$\sigma(\text{error})$		4,809					

Gráfico 8-1
Validación Purapel en Nirivilo



El resumen de los efectos y valores recomendados se presentan en el cuadro 8.12-1

Cuadro 8.12-1
Resumen

Parámetro	Valor Aumenta	Valor Recomendado
Grado de Saturación °/1	Aumenta peak inicial. Si $GS > 0,4$ aparece nuevo peak al inicio	$GS < 0,4$
Flujo Subterráneo Inicial m^3/seg	Señal no cambia para $FS < 0,8$, si $FS > 0,8$ m3/s aparece peak al inicio que aumenta progresivamente	$FS < 0,8$ m3/s
A °/1	Señal aumenta su amplitud y flujo base	$A > 0,5$
B °/1	No tiene efectos	
PorEf °/1	Disminuye definición y peak de señal Asimétricamente (mayor efecto al inicio)	$\sim 0,4$
Hcap mm	No tiene efectos	
Khid mm/hr	Disminuye definición, suaviza y sincroniza señal, amplitud disminuye al principio y final de la señal mientras que en la parte central aumenta para $Khid < 6$. Si $Khid > 6$ señal toma forma definitiva peaks aumentan, aumenta flujo base. Si $Khid > 1000$ no hay efectos.	$4 < Khid < 6$
Scc °/1	Disminuye peaks inicial, aumentan finales, aumenta definición	
Smin °/1	No tiene efectos	
Hsuelo mm	Disminuye peaks iniciales, disminuye definición	
K hr	Disminuye definición, peaks, aumenta flujo base	$K \sim 100$

Además se concluye que una vez alcanzado un buen ajuste de la forma de la señal de caudal en el tiempo, se tiene que:

- Subiendo el valor de la porosidad efectiva se puede subir el valor del parámetro A
- Subiendo el valor de *Hsuelo* (máxima lámina de agua, contenida en el suelo) podemos subir el valor de la constante de embalse.

Manteniendo en ambos casos el buen ajuste de las señales, esto permite calibrar dentro de los rangos físicos válidos de estos parámetros.

Además durante el proceso de calibración, se pudo notar que un buen valor de los estadísticos típicos (R , RMS , $\mu(error)$ y $\sigma(error)$) no asegura que estemos en el ajuste correcto. Esto se puede notar en la gráfica 6.13-6 la cual no se aproxima a la señal original dejando en promedio igual número de valores observados a uno y otro lado de la señal simulada logrando con esto un valor de correlación de $R = 0.98$, valor que parece ser muy bueno, sin embargo no representa la realidad.

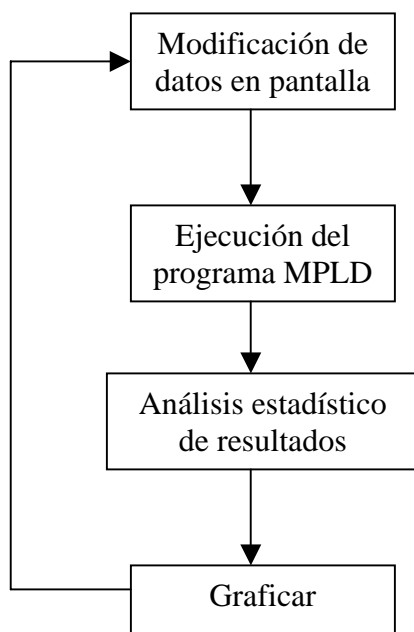
Como conclusión final acerca del programa podemos decir que este programa utiliza parámetros de suelo cuyos valores iniciales son de fácil obtención a través de campañas en terreno o estudios anteriores de suelo, además reproduce detalles de la señal con una definición sorprendente cuando se manejan adecuadamente los valores de la porosidad efectiva, la conductividad hidráulica y la constante de embalse subterráneo.

9. Recomendaciones y comentarios

Calibrar un modelo toma mucho tiempo y demanda experiencia, fue de mucha utilidad usar la modificación realizada al programa pluvial realizada por el ingeniero Sr. Mauricio Zambrano, que permitió correr un gran número de veces el programa para analizar el efecto de cada una de las variables sobre un escenario dado.

Lograr representar lo mejor posible la señal de caudal, es un paso de vital importancia, para ello se podría realizar una nueva modificación al programa que realice esta operación en tiempo real ajustando cualquier parámetro en pantalla, que permitiera encontrar mas rápidamente relaciones entre parámetros. Se puede realizar esta nueva modificación en forma modular tal que el procedimiento se pueda utilizar en otros modelos. Un sencillo diagrama de flujo lo muestra la Figura 9-1

Figura 9-1
Diagrama de Flujo



Esta modificación sería una gran herramienta para la calibración la cual ahorraría una gran cantidad de tiempo y recursos.

Continuando con la misma línea de trabajo, se recomienda realizar lo mismo anterior pero de manera automática tratando de optimizar punto a punto la diferencia entre la señal simulada y la observada, para esto se pueden definir funciones spline para un rango de puntos o tal vez simples aproximaciones lineales para definir la función objetivo adecuada. El método utilizado para optimizar podría ser el código de optimización no lineal (GRG2) desarrollado por la Universidad Leon Lasdon de Austin (Texas) y la Universidad Allan Waren (Cleveland). Si el programa se realiza en MATLAB se pueden usar funciones de biblioteca como por ejemplo la función *linprog* .

Bibliografía.

- [1] Hidrología aplicada, Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays., 1994.
- [2] Mecánica de suelos, Meter L. Berry, David Reid., 1993.
- [3] Elementos de Hidrología, Basilio Espildora, Ernesto Brown, Guillermo Cabrera, Pablo Isensee., 1975.
- [4] M.A.T.L.A.B manual de usuario, agosto 1998.
- [5] Metodología para la determinación de la precipitación efectiva en una cuenca semi-árida
Memoria de título ingeniero sr. Valentín Soto Alvarez 1995 U. de Chile.
- [6] Estimating generalized soil-water characteristics from textura, K. E. Saxton, W. J. Rawls, J. S. Romberger, and R. I. Papendick.
- [7] Estudio Integral de riego de la cuenca del río Maule. C.E.D.E.C. 1977
- [8] Plan Director de la cuenca del río Maule. , Dirección General de Aguas, Ayala y Cabrera consultores Ltda. (aún no editado).
- [9] Modelo de simulación de caudales medios diarios en cuencas pluviales, DGA-Pablo Isensee M. SIT91, 2003.

ANEXO A

**Datos de Precipitaciones y Caudales, usados para la
Modelación de SIMED en Purapel en Nirivilo**

A.1 Tormentas horarias para el cálculo de la distribución horaria de precipitación.

El Cuadro A.1-1 muestra los 8937 datos horarios de precipitación ocupados como datos de entrada para el programa computacional que determina la distribución horaria de precipitación. Estos datos fueron obtenidos en los pluviógrafos de la estación TALCA UC.

Cuadro A.1-1
Precipitación horaria, Estación Talca UC.

Año	Mes	día	hora																											
			8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7				
1986	8	8	0	0	0	0.5	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	2.8	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0				
1986	8	9	0	0.1	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1986	8	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	1.2			
1986	8	20	2.2	2.1	1.5	0	0.8	2.6	1.4	0.5	1.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.4	0.1	1.2	2.0	1.2	2.5	3.8	3.6	1.6	5.2	3.8				
1986	8	21	6.6	4.9	8.2	8.3	0.9	0	0	0	0.1	0	0	0	0.6	0.3	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0	0				
1986	8	22	0	0.1	0	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0	0.4	1.3	3.4	2.6	1.3	1.3				
1986	8	23	0.9	0.4	0.1	0.5	1.0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2				
1986	8	30	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5	0.7	0.4	0	0	0.2	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1986	9	11	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1986	9	20	0	0.1	0.1	0.3	0.2	0.6	1.1	1.0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.1	0	0	0				
1986	9	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0				
1986	9	30	0.0	0.0	0.2	1.7	4.1	2.2	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1986	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.5	0.8				
1986	10	2	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1986	10	4	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0.1	0	0	0	0	1.2	0.9	0.2	0.7	0	1.0	0.6	0	0	0				
1986	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.6	0.2				
1986	10	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0.1	0.7	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.7				
1986	10	31	0.0	0	0	0	0	0	0	0.0	4.1	2.4	1.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1986	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0				
1986	11	2	0	0	0	0	0	2.5	0.8	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0				
1986	11	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	0			
1986	11	14	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1986	11	18	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1986	11	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.4	0.6	1.0	1.3	3.6	3.9				
1986	11	26	1.1	1.6	3.4	2.5	3.6	4.1	1.0	2.7	2.8	4.1	4.3	4.6	2.0	3.8	2.3	0.8	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.5	1.2	0.4				
1987	3	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0	2.4	4.3				
1987	3	27	0.5	0.9	3.1	2.3	0.6	1.4	2.2	3.1	2.5	1.3	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0				
1987	4	14	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	7.1	6.2	1.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1				
1987	4	15	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1987	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0.8	2.3	1.6	2.2	2.6				
1987	5	6	2.8	2.4	3.3	1.9	3.2	0.5	0.5	1.8	6.5	9.4	7.8	2.9	2.0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0				
1987	5	16	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.8	0.2	1.3	0.3	0.4	0.1	1.8	0.3	0.2	0.1	1.8	3.3	2.5	2.3	1.7				
1987	5	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0.7	1.0	2.3				
1987	5	29	3.4	2.0	2.1	2.7	4.9	1.5	1.0	0.6	0.5	0.2	0.9	0.6	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1987	6	2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.2	1.8	2.4	1.3	2.7	2.0	1.4	1.4	2.4	1.6			1.1	2.7	2.4	0.6	1.0	1.6	0.4				
1987	6	3	0.1	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1987	6	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1987	6	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0.2	0	0	0	0	0	0				

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

			hora																											
Año	Mes	día	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7				
1991	5	17	0	0	0	0	0	0	0	4.2	0.6	1.3	3.0	2.1	3.1	3.5	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	5	18	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	2.2	1.8	1.8	1.2	1.0	1.0	0.1	0.0	0	0	0	0	0				
1991	5	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0				
1991	5	24	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	5	25	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.7	0.6	0.7	3.1	3.5	1.3	1.3				
1991	5	26	1.2	3.4	2.5	0.1	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	5	27	0	0	0	0	0.0	0.9	2.6	1.3	1.4	1.3	1.0	1.5	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	6	3	1.0	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	6	4	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	2.5	2.3	0.9				
1991	6	5	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	6	16	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1.0	0.6	0.7	0.4	0.5	0.6	0.4	1.2	1.2	0.4	0.1	0.5	0	0	0	0				
1991	6	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0.1	1.6	0	0.2	0	0	0	1.8	0.2	0.2	0.2	0				
1991	6	18	0.4	0.3	0.7	1.1	3.0	2.8	6.0	1.6	1.4	1.1	0.1	0	0.1	1.2	0.4	0.8	1.3	3.1	0.4	2.8	6.2	4.0	1.9	0.3				
1991	6	19	0	0.1	0	1.2	5.0	3.6	1.2	1.0	2.0	0.1	0.6	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0.4	0.5	0.1	0.4	0.3	0.1				
1991	6	20	0.5	0.2	0.2	0	0	0	0.2	0.1	0.2	0.1	0	0.3	0.2	0.1	0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.1				
1991	6	21	0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.9	1.6	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	6	25	0	0.2	0.6	0.4	0	0.1	0.2	0.4	0	0.1	0.1	0.3	1.1	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0				
1991	7	4	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	2.1	1.1	0.6	0.5	0.8	1.4	2.9	2.0	4.0				
1991	7	8	1.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	7	18	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.3	0.5	4.1	4.8	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	7	22	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	7	27	0	0	0	0	0.8	0.3	0.7	1.5	3.5	2.4	1.2	3.8	3.2	1.5	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	7	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	8	5	0	0	0	0	0	0	0	0.0	1.0	1.5	0.1	1.0	0.2	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0				
1991	8	6	0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	3.0	1.1	0	0	0	0	0	0	0				
1991	8	12	1.5	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	8	31	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	0.6	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.4	1.5	0.5				
1991	9	1	0	0	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0				
1991	9	4	0	0.5	1.0	0.3	0.6	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	9	15	0.0	0	0	0.5	0.4	0.5	0.2	0.8	1.8	4.1	2.7	3.0	1.7	0.6	0.9	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2	0.8	0.0	0	0				
1991	9	16	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0.4	0.3	0.4	0	0.2	0.2	0.2	0	0.9	1.3	1.5	0.7	0.2	0.2	0.1	0.1				
1991	9	17	1.0	0.7	1.0	0.1	0.6	0.1	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	10	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.4	0	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.5	0.9	1.6				
1991	10	12	3.3	2.7	3.0	2.1	0.9	0.1	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	10	13	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0.1	0	0.1	2.4	1.6	0.9	0.2	0.8	3.9	3.3	0	0.0	0	0	0	0	0				
1991	10	14	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1				
1991	10	15	0	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	11	22	0.2	0	0	0	0.3	3.1	1.4	0.8	0.2	0.7	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	12	8	0	0	0	0	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	1.4	3.0	3.1	0.3				
1991	12	10	0.6	0.2	0.2	0.1	0	0.3	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	12	24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	1.9	0.9	1.4	2.0	0.9	1.5	0.8	0.1	0.1	0	0.1	1.9	3.5	2.8				
1991	12	25	0.2	0.8	0.5	0.1	0	**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1991	12	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0	0	0				

			hora																											
Año	Mes	día	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7				
1992	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.3	0.7	1.0	1.6	0.0	0				
1992	3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0.9	1.5				
1992	3	9	0.3	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	3	25	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0.7	1.2	1.4	0.2	0.5	3.3				
1992	3	26	4.0	3.5	1.5	0.8	1.7	1.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0				
1992	4	1	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.8	0.2	1.0	0.5	0.1	0.9	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	4	3	0	0	0	1.0	0.5	1.4	1.0	1.0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	4	4	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	4	5	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	4	21	4.9	9.4	7.5	0.1	2.1	4.2	3.7	1.3	0.1	0.5	1.9	0.1	0.7	1.1	0.1	0	0.1	0	0.8	0.2	0.1	0.1	0	0				
1992	4	28	0.2	0.2	0	0.9	1.0	2.2	1.9	2.3	0.8	0.8	1.0	0.1	0	0	0	0.1	0.5	0	0	0	0	0	0	0				
1992	5	4	0.3	0	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1	2.0	4.8	7.1	5.8	4.6	3.3	2.3	2.6	4.6	3.4	3.2	3.4	3.6				
1992	5	5	2.6	3.2	1.7	1.5	1.6	2.3	1.7	1.6	1.2	1.4	2.1	3.3	2.0	2.2	5.0	3.3	4.8	4.0	3.6	3.6	0.6	0.2	0.9	0.2				
1992	5	6	0.3	0.2	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0				
1992	5	7	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	5	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.9	2.6	3.0	4.3	2.2	3.8	1.0				
1992	5	9	0.7	1.2	1.8	4.6	1.8	2.5	1.0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0	0.3	0	0	0	2.1	2.1	5.9	0.6				
1992	5	10	6.5	3.6	1.7	1.7	1.7	0.2	0.2	0	0.2	0.3	2.9	0.8	5.7	0.4	0.7	2.5	0.3	0	0	0	0	0.1	0	0				
1992	5	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.1	0	0	0.3	0.1	0.2	0.1	0	0.1	0	0				
1992	5	16	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.4	0.5	0.8	1.4	0.1	0.9	0.5	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0	0	0				
1992	5	20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.3	0.3	0	0	0	0.1	0	0.1	0.6	1.0	0.9	1.9	0.7	0.2	0.3	0.2				
1992	5	21	0.1	0	0	0.1	0	0	1.6	1.3	0.1	0.1	0.3	0.4	2.7	1.4	1.0	0.3	0.1	0.1	0.8	0.5	0.1	0.1	0	0				
1992	5	22	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	5	23	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0	0.1	1.1	3.5	0.4	0.9	1.4				
1992	5	24	0.3	0.1	2.2	1.1	0.2	0	0	2.1	6.7	2.6	2.0	6.6	5.7	4.9	1.1	0.4	1.2	2.1	2.9	4.3	2.6	2.0	0.1	0.1				
1992	5	25	0	0	1.5	1.4	1.5	1.2	1.8	1.2	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	6	4	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0	1.0	2.0	2.7	5.6	6.7	1.3	0	0.1	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
1992	6	5	0.7	3.3	3.4	0.0	0	0	3.0	6.7	1.7	**	0.1	1.6	1.8	1.5	1.2	0.1	0.4	2.8	0.1	0.1	0	0	3.7	1.3				
1992	6	6	0.2	0	0.9	0	0.1	3.2	5.3	0.4	5.0	0.3	0	0.2	1.1	0.2	4.2	3.1	3.5	0.2	0.1	0.2	0.6	0.8	0.2	2.3				
1992	6	7	0.9	2.6	0.1	0.1	0	0	0	5.9	1.5	0.2	0	0.8	1.3	0.5	1.4	4.4	1.9	1.0	1.4	1.5	0.1	0	0.3	0.5				
1992	6	8	0.8	2.5	0	0.1	0	0	0	1.3	0.2	0.3	0.9	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0	0	0				
1992	6	9	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0.4	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	6	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	1.7	0.6	0.6	1.3	0.4	0.6	2.0	1.5	1.5	0.1	0.3	0.1	0				
1992	6	18	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	0	0.0	1.7	3.6	2.3	5.8	2.9	2.2	2.3	2.3	2.1				
1992	6	19	1.8	2.3	2.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0				
1992	6	20	0	0	0	1.2	0.8	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	6	22	0.9	0.9	0.6	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1				
1992	6	23	0.7	0.3	0.1	0	0.2	0.3	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0.1	0	0	2.1	1.6	1.6	1.0				
1992	6	24	1.8	0.9	1.5	3.8	1.6	0.1	0.2	0.1	1.0	0.7	12.0	1.7	2.2	0.5	0.8	3.6	1.7	0.6	0	0.9	3.8	1.4	0.3	0.1				
1992	6	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	1.4	0.8	2.2	2.2	0.9	0.1				
1992	7	1	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0				
1992	7	2	0.1	0.1	0	0.1	0.3	0	0	0.7	0	0.2	0.2	0	0.1	1.6	0.1	1.3	2.6	0.9	0.4	0	0.1	0	0	0.1				
1992	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0.1	0.2	0.4	0	0.2	2.2	1.3	1.6	1.7				
1992	7	10	0.3	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1				
1992	7	16	0	0	0	0.1	0	0.1	0.1	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	8	2	0.1	0	0	0	0.1	1.0	2.6	3.6	2.7	0.8	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

			hora																											
Año	Mes	día	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7				
1992	8	6	0	0	0	4.8	2.5	0.5	1.5	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	8	21	0.1	0	6.1	5.8	2.7	3.1	3.1	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	8	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0.1	0.1				
1992	8	28	0.7	1.2	1.8	2.4	2.9	2.4	4.2	3.9	1.7	1.8	1.6	0.1	0.2	0	0	0.1	0.6	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0.5	0.3				
1992	8	29	0.4	0.2	0.1	0.3	1.7	1.4	1.4	0.9	1.4	1.6	0.8	2.0	2.2	1.1	0.8	2.6	1.8	1.4	1.0	4.7	2.4	0.0	0	0				
1992	9	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.4	1.0				
1992	9	16	0.5	0.6	1.9	2.5	3.4	5.2	9.4	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	9	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	0	0.3				
1992	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	.01	0	0	.01	0	0.1	0	0.1	0	0	0	0				
1992	10	11	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.1	0	0.2				
1992	10	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.5	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	10	15	0	0	0	0.3	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	10	18	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0.2	0.3	0.7	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1992	11	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1				
1992	11	10	0	0.1	0	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0				
1992	12	3	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

A.2 Caudales medios diarios. Purapel en Nirivilo 1996-2002

El cuadro A.2-1 muestra los datos de caudales del río Purapel en Nirivilo, la estadística considera los años sugeridos por la curva doble acumulada.

Cuadro A.2-1
Caudales medios diarios (m3/seg), Purapel en Nirivilo, 1996-2003

AÑO	DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1996	1	0.12	0.12	0.40	0.09	0.21	0.28	0.38	0.85	1.84	0.59	0.36	0.25
1996	2	0.11	0.13	0.41	0.17	0.22	0.28	0.80	0.82	1.66	0.60	0.34	0.24
1996	3	0.12	0.11	0.45	0.26	0.19	0.29	0.62	0.75	1.60	0.58	0.32	0.24
1996	4	0.13	0.09	0.48	0.32	0.14	0.25	10.00	0.83	1.55	0.68	0.33	0.20
1996	5	0.14	0.06	0.51	0.26	0.16	0.28	11.80	2.19	1.61	0.77	0.33	0.20
1996	6	0.15	0.06	0.50	0.24	0.20	0.27	3.64	2.72	1.47	0.72	0.33	0.18
1996	7	0.13	0.05	0.44	0.25	0.23	0.26	19.20	1.36	1.36	0.64	0.40	0.16
1996	8	0.12	0.06	0.41	0.24	0.22	0.24	8.76	2.36	1.27	0.61	0.39	0.18
1996	9	0.13	0.06	0.42	0.22	0.24	0.24	3.77	2.39	1.17	0.59	0.35	0.22
1996	10	0.12	0.05	0.38	0.18	0.22	0.28	2.01	1.40	1.13	0.54	0.31	0.24
1996	11	0.12	0.04	0.34	0.20	0.22	0.34	1.37	1.15	1.13	0.56		0.23
1996	12	0.12	0.03	0.34	0.21	0.20	7.08	1.12	2.48	1.11	0.57		0.21
1996	13	0.12	0.07	0.40	0.15	0.20	2.94	0.99	16.70	1.05	0.57		0.21
1996	14	0.11	0.41	0.68	0.18	0.21	5.25	1.01	36.40	1.05	0.52		0.20
1996	15	0.11	0.51	0.70	0.18	0.26	6.34	0.93	9.22	1.04	0.53		0.17
1996	16	0.11	0.50	0.61	0.17	0.37	2.24	0.94	4.47	0.95	0.52		0.17
1996	17	0.11	0.48	0.56	0.13	0.48	1.20	0.97	2.96	0.93	0.51		0.18
1996	18	0.11	0.47	0.51	0.13	0.36	0.85	0.94	2.11	1.17	0.51		0.19
1996	19	0.12	0.54	0.49	0.13	0.32	0.66	0.91	1.98	1.50	0.50		0.16
1996	20	0.13	0.58	0.48	0.15	0.29	0.52	0.90	1.86	1.05	0.45		0.15
1996	21	0.14	0.62	0.48	0.15	0.26	0.51	0.87	1.62	0.97	0.48		0.13
1996	22	0.13	0.71	0.47	0.14	0.22	0.46	0.91	1.43	0.91	0.41		0.12
1996	23	0.13	0.63	0.46	0.15	0.23	0.46	0.96	1.52	0.88	0.39		0.11
1996	24	0.14	0.58	0.44	0.17	0.29	0.42	0.96	8.34	0.84	0.45		0.10
1996	25	0.13	0.54	0.27	0.19	0.34	0.38	0.99	3.87	0.81	0.45		0.12
1996	26	0.13	0.51	0.08	0.16	0.40	0.34	0.95	2.59	0.78	0.39		0.10
1996	27	0.13	0.49	0.09	0.16	0.33	0.32	0.92	2.27	0.79	0.36		0.08
1996	28	0.13	0.41	0.10	0.16	0.30	0.28	0.83	2.06	0.66	0.35	0.22	0.07
1996	29	0.13	0.40	0.08	0.20	0.37	0.28	0.84	1.82	0.58	0.35	0.21	0.07
1996	30	0.13		0.07	0.22	0.42	0.28	0.87	1.81	0.60	0.33	0.29	0.07
1996	31	0.12		0.09		0.32		0.87	1.81		0.35		0.12
1997	1	0.10	0.01	0.01	0.01	0.13	2.67	4.79	5.10	1.82	2.17		0.86
1997	2	0.11	0.01	0.01	0.01	0.16	1.70	5.22	4.02	1.98	2.13		0.86
1997	3	0.11	0.01	0.01	0.01	0.13	11.30	3.34	3.02	8.20	2.28		0.73
1997	4	0.10	0.01	0.01	0.01	0.08	25.90	2.13	2.38	11.60	2.45		0.69
1997	5	0.11	0.01	0.01	0.01	0.07	6.81	1.86	2.10	6.13	3.48		0.79
1997	6	0.07	0.01	0.01	0.01	0.06	3.86	1.57	2.08	28.80	2.40		0.74
1997	7	0.03	0.01	0.01	0.01	0.07	2.52	1.44	2.25	24.80	1.88		0.67
1997	8	0.02	0.01	0.01	0.01	0.07	1.98	1.98	2.14	16.90	1.75		0.68

AÑO	DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1997	9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	1.74	1.67	2.07	10.50	1.82		0.59
1997	10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	1.41	1.41	1.90	7.99	1.92		0.57
1997	11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.10	17.40	1.34	1.77	6.98	3.35		0.67
1997	12	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09	57.00	1.24	1.73	6.73	2.22		0.66
1997	13	0.01	0.01	0.01	0.01	0.11	17.10	1.21	1.61	5.60	3.15		0.64
1997	14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.10	11.80	1.15	1.72	4.79	23.40		0.59
1997	15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.10	10.20	1.13	1.02	4.23	50.10		0.52
1997	16	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12	14.00	1.04	5.23	3.89	21.50		0.49
1997	17	0.01	0.01	0.01	0.01	4.23	8.81	1.03	22.30	3.58			0.51
1997	18	0.01	0.01	0.01	0.01	0.89	6.45	0.96	30.30	3.44			0.53
1997	19	0.01	0.01	0.01	0.01	0.47	39.60	1.03	10.30	3.46			0.50
1997	20	0.01	0.01	0.01	0.01	0.63	121.00	0.94	6.87	3.13			0.49
1997	21	0.01	0.01	0.01	0.01	0.68	39.50	0.87	6.34	3.05			0.49
1997	22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.38	21.50	0.85	5.35	2.55			0.51
1997	23	0.01	0.01	0.01	11.10	0.24	26.00	0.85	4.63	2.47			0.54
1997	24	0.01	0.01	0.01	5.06	0.18	31.70	0.77	4.04	2.43		0.99	0.49
1997	25	0.01	0.01	0.01	0.93	0.16	20.20	0.72	3.77	2.40		1.01	0.45
1997	26	0.01	0.01	0.01	0.42	0.14	13.90	0.73	3.47	2.39		1.03	0.47
1997	27	0.01	0.01	0.01	0.26	0.14	10.60	0.71	2.91	2.41		0.98	0.48
1997	28	0.01	0.01	0.01	0.18	0.24	8.39	0.71	2.14	2.41		0.94	0.43
1997	29	0.01		0.01	0.13	5.63	6.75	8.59	2.08	2.22		0.91	0.38
1997	30	0.01		0.01	0.11	36.10	5.55	16.50	2.07	2.16		0.87	0.36
1997	31	0.01		0.01		5.96		8.97	2.01				0.34
1998	1	0.31	0.25	0.33	0.75	0.33	0.29		0.20	0.21	0.18	0.03	0.01
1998	2	0.35	0.29	0.33	1.11	0.33	0.27		0.19	0.14	0.17	0.03	0.01
1998	3	0.37	0.27	0.33	1.63	0.34	0.24		0.18	0.15	0.17	0.03	0.01
1998	4	0.36	0.27	0.32	2.24	0.33	0.24		0.19	0.15	0.16	0.03	0.01
1998	5	0.34	0.27	0.40	2.92	0.35	1.98		0.23	0.14	0.15	0.03	0.01
1998	6	0.30	0.26	0.42	3.64	0.32			0.21	0.16	0.14	0.02	0.01
1998	7	0.29	0.23	0.30	4.50	0.32			0.26	0.16	0.13	0.02	0.01
1998	8	0.27	0.22	0.26	5.18	0.34			0.39	0.14	0.13	0.02	0.01
1998	9	0.24	0.24	0.24	6.88	0.31			0.42	0.13	0.12	0.02	0.01
1998	10	0.26	0.25	0.26	13.40	0.68			0.26	0.59	0.12	0.02	0.01
1998	11	0.28	0.25	0.21	11.00	3.35			0.24	9.08	0.12	0.02	0.01
1998	12	0.27	0.23	0.23	11.40	2.91			0.23	1.33	0.11	0.02	0.01
1998	13	0.38	0.27	0.22	11.80	0.99			0.27	0.55	0.10	0.02	0.01
1998	14	0.40	0.26	0.21	12.90	0.60			0.31	0.32	0.10	0.02	0.01
1998	15	0.39	0.32	0.22	14.00	0.38			0.27	0.28	0.09	0.02	0.01
1998	16	0.39	0.33	0.20	15.00	0.30			0.29	0.26	0.08	0.01	0.01
1998	17	0.35	0.39	0.22	16.40	0.29			0.39	0.25	0.07	0.01	0.01
1998	18	0.34	0.41	0.26	18.20	0.29			0.37	0.25	0.07	0.01	0.01
1998	19	0.30	0.39	0.27	18.20	0.28			0.30	0.24	0.06	0.01	0.01
1998	20	0.28	0.38	0.21	18.40	0.29			0.25	0.22	0.06	0.01	0.01
1998	21	0.29	0.41	0.20	18.60	0.28			0.27	0.21	0.05	0.01	0.01
1998	22	0.31	0.43	0.17		0.28		0.30	0.21	0.23	0.05	0.01	0.01
1998	23	0.36	0.43	0.17				0.30	0.21	0.24	0.05	0.01	0.01

AÑO	DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998	24	0.33	0.42	0.17				0.27	0.24	0.23	0.05	0.01	0.01
1998	25	0.33	0.40	0.19				0.27	0.18	0.22	0.04	0.01	0.01
1998	26	0.34	0.36	0.22				0.23	0.14	0.22	0.04	0.01	0.01
1998	27	0.37	0.32	0.21				0.23	0.17	0.22	0.04	0.01	0.01
1998	28	0.32	0.31	0.22	0.34			0.24	0.15	0.21	0.03	0.01	0.01
1998	29	0.27		0.25	0.31			0.24	0.19	0.19	0.03	0.01	0.01
1998	30	0.22		0.26	0.37			0.20	0.21	0.18	0.03	0.01	0.01
1998	31	0.25		0.41				0.20	0.21		0.03		0.01
1999	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	1.29	0.31	8.73	1.20	0.13	0.02
1999	2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.89	0.25	5.88	1.22	0.13	0.03
1999	3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.50	0.22	2.73	1.08	0.13	0.02
1999	4	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.37	0.21	8.67	0.96	0.12	0.02
1999	5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.30	0.37	82.40	0.90	0.11	0.01
1999	6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.25	0.91	89.80	0.83	0.10	0.01
1999	7	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.22	0.45	27.40	0.79	0.08	0.01
1999	8	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.20	0.32	17.10	0.74	0.07	0.01
1999	9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.19	0.30	10.70	0.65	0.06	0.01
1999	10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.25	0.28	8.28	0.61	0.06	0.01
1999	11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	1.06	0.22	10.30	0.57	0.04	0.01
1999	12	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.83	0.19	29.40	0.49	0.06	0.01
1999	13	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.60	0.17	19.00	0.46	0.05	0.01
1999	14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0.40	0.15	10.40	0.43	0.04	0.01
1999	15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.10	0.31	0.16	7.91	0.37	0.04	0.01
1999	16	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.11	0.28	0.13	6.21	0.32	0.04	0.01
1999	17	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.11	0.25	0.13	4.86	0.29	0.06	0.01
1999	18	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.45	0.23	0.14	3.99	0.24	0.05	0.01
1999	19	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.21	0.22	0.29	3.47	0.24	0.04	0.01
1999	20	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.12	0.21	10.00	3.01	0.24	0.04	0.01
1999	21	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	3.17	0.18	10.70	2.58	0.21	0.03	0.01
1999	22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	2.08	0.20	3.16	2.28	0.19	0.02	0.01
1999	23	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.55	0.17	1.71	2.09	0.18	0.02	0.01
1999	24	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	2.55	0.14	1.16	1.94	0.18	0.02	0.01
1999	25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.85	0.13	0.82	1.74	0.18	0.02	0.01
1999	26	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.45	0.13	0.58	1.65	0.18	0.02	0.01
1999	27	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.34	0.14	0.42	1.54	0.17	0.02	0.01
1999	28	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	1.01	0.26	0.29	1.46	0.16	0.02	0.01
1999	29	0.01		0.01	0.01	0.05	3.17	1.61	0.55	1.36	0.15	0.01	0.01
1999	30	0.01		0.01	0.01	0.09	0.92	0.79	3.16	1.31	0.13	0.01	0.01
1999	31	0.01		0.01		0.05		0.42	2.15		0.12		0.01
2000	1	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.02	56.00	0.83	0.26	3.12	0.98	
2000	2	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	23.30	0.88	0.26	3.29	0.95	
2000	3	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	13.80	0.80	0.26	3.41	0.86	
2000	4	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	9.79	0.76	0.26	2.78	0.85	
2000	5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.59	7.57	0.70	0.26	2.53	0.90	
2000	6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.29	6.30	0.75	0.26	2.53	0.85	
2000	7	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	7.05	0.81	0.18	2.44	0.79	

AÑO	DÍA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	8	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	5.24	0.77	0.20	2.39	0.74	
2000	9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	4.44	0.67	48.30	2.30	0.76	
2000	10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	3.87	0.61	112.00	2.31	0.72	
2000	11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	3.23	0.61	36.50	2.26	0.79	
2000	12	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	3.06	2.96	0.61	13.40	2.16	0.83	
2000	13	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	30.00	2.65	0.61	13.40	2.05	0.80	0.11
2000	14	0.01	0.10	0.01	0.01	0.01	15.10	2.35	0.61	25.70	1.96	0.72	0.25
2000	15	0.01	0.06	0.01	0.01	0.01	16.00	2.38	0.67	13.00	2.00	0.67	0.34
2000	16	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	3.43	2.16	0.63	10.30	1.89	0.60	0.19
2000	17	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	1.41	1.98	0.59	8.93	1.77	0.56	0.02
2000	18	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	1.09	1.79	0.56	27.10	1.68	0.50	0.01
2000	19	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.92	1.59	0.54	25.80	1.55	0.49	0.04
2000	20	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.92	1.53	0.50	42.30	1.32	0.47	0.10
2000	21	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	65.70	1.40	0.50	19.80	1.28	0.47	0.20
2000	22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	58.90	1.27	0.44	13.10	1.29	0.49	0.14
2000	23	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	126.00	1.22	0.50	10.10	1.25	0.49	0.21
2000	24	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	119.00	1.16	1.69	7.28	1.18	0.49	0.13
2000	25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	46.00	1.11	0.61	6.22	1.14		0.03
2000	26	0.01	0.01	0.01	0.01	0.26	23.50	1.03	0.50	5.14	1.11		0.14
2000	27	0.01	0.01	0.01	0.01	0.11	85.60	0.94	0.42	4.34	1.02		0.22
2000	28	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	49.00	0.91	0.35	3.97	0.93		0.12
2000	29	0.01	0.09	0.01	0.01	0.02	37.90	0.88	0.33	3.91	0.95		0.13
2000	30	0.01		0.01	0.01	0.02	143.00	0.83	0.31	3.48	0.95		0.02
2000	31	0.01		0.01		0.02		0.83	0.28		0.98		0.07
2001	1	0.08	0.11	0.02	0.07	0.15	3.36	2.22	19.40	10.30	2.16	0.96	0.61
2001	2	0.07	0.15	0.02	0.06	0.15	2.80	1.95	20.90	8.25	1.98	0.93	0.61
2001	3	0.16	0.11	0.02	0.06	0.13	2.43	2.34	12.90	6.98	1.85	0.93	0.60
2001	4	0.18	0.08	0.02	0.06	0.12	2.02	5.18	10.30	6.15	1.80	0.95	0.59
2001	5	0.05	0.06	0.02	0.05	0.13	1.75	2.81	11.20	5.50	1.70	0.98	0.60
2001	6	0.02	0.06	0.02	0.03		1.53	2.24	9.34	5.18	1.63	1.00	0.59
2001	7	0.07	0.06	0.02	0.03		1.35	1.92	7.76	4.89	1.78	0.96	0.61
2001	8	0.11	0.05	0.02	0.03		1.19	23.10	6.99	4.76	1.77	0.97	0.61
2001	9	0.10	0.05	0.02	0.03		1.03	12.50	6.32	4.65	1.66	0.93	0.62
2001	10	0.07	0.05	0.03	0.03		0.93	5.19	5.84	4.63	1.61	0.89	0.63
2001	11	0.06	0.06	0.03	0.03		0.92	3.39	5.57	4.58	1.60	0.85	0.64
2001	12	0.03	0.07	0.03	0.03		2.17	13.40	6.85	4.54	1.54	0.86	0.61
2001	13	0.02	0.06	0.05	0.04		21.20	51.80	5.45	4.43	1.52	0.85	0.57
2001	14	0.02	0.07	0.06	0.07		82.60	17.20	5.29	4.28	1.50	0.90	0.49
2001	15	0.02	0.06	0.07	0.11		16.90	9.20	5.04	4.10	1.48	0.83	0.44
2001	16	0.02	0.07	0.07	0.11		8.61	14.40	4.76	3.92	1.42	0.76	0.37
2001	17	0.02	0.05	0.04	0.09	0.75	4.68	147.00	4.61	3.81	1.40	0.73	0.48
2001	18	0.02	0.05	0.03	0.11	0.70	3.46	70.20	4.59	3.65	1.40	0.70	0.46
2001	19	0.02	0.04	0.03	0.14	0.58	3.19	103.00	4.54	3.49	1.35	0.67	0.47
2001	20	0.02	0.04	0.02	0.14	0.35	2.98	64.00	4.48	3.38	1.26	0.69	0.49
2001	21	0.02	0.05	0.03	0.14	0.74	2.65	35.80	4.37	3.21	1.23	0.74	0.48
2001	22	0.02	0.05	0.03	0.19	3.32	2.34	19.50	4.27	3.09	1.19	0.74	0.43

AÑO	DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	23	0.02	0.06	0.03	0.32	1.44	2.10	13.40	4.03	2.95	1.10	0.74	0.40
2001	24	0.02	0.05	0.04	0.37	0.83	1.95	9.58	3.96	2.86	1.07	0.75	0.38
2001	25	0.02	0.02	0.04	0.24	0.56	1.69	7.15	19.90	2.72	1.03	0.73	0.34
2001	26	0.03	0.02	0.05	0.18	39.50	1.51	5.71	24.30	2.73	1.02	0.66	0.34
2001	27	0.03	0.02	0.04	0.16	11.70	1.36	4.93	11.30	8.15	1.05	0.66	0.33
2001	28	0.03	0.02	0.05	0.15	40.60	1.20	4.44	33.90	5.82	1.07	0.64	0.32
2001	29	0.03		0.06	0.13	72.40	1.15	31.30	120.00	2.64	1.05	0.62	0.27
2001	30	0.03		0.05	0.14	12.60	1.20	83.90	26.10	2.40	1.02	0.63	0.18
2001	31	0.06		0.06		6.00		27.40	14.70		0.97		0.18
2002	1	0.17	0.16			0.26	24.40	1.98	5.69		3.73	3.34	1.85
2002	2	0.18	0.18			0.26	6.05	1.96	4.94		11.90	3.51	1.82
2002	3	0.19	0.14			0.25	16.40	1.88	4.49		6.84	3.39	1.75
2002	4	0.18	0.14			0.23	26.60	1.86	4.00		8.79	3.21	1.75
2002	5	0.18	0.13			0.23	16.40	1.85	6.44		5.49	3.14	1.75
2002	6	0.18	0.12			0.23	14.20	1.78	90.50		15.20	3.14	1.75
2002	7	0.16	0.12			0.25	24.00	1.75	89.60		10.80	3.13	1.71
2002	8	0.15	0.12			0.26	11.30	1.72	26.00		7.79	3.08	1.64
2002	9	0.16				0.26	9.65	1.64	15.10		7.42	3.77	1.64
2002	10	0.16				0.26	6.68	1.64	10.30		6.38	3.23	1.64
2002	11	0.12				0.25	5.03	1.53	8.00		5.72	3.01	1.61
2002	12	0.11			0.31	0.26	4.20	1.53	6.73	4.23		2.85	1.53
2002	13	0.11			0.38	0.26	3.60	1.53	5.94	4.06		2.67	1.53
2002	14	0.10			0.35	1.43	3.25	1.53	5.15	3.91		2.55	1.48
2002	15	0.10			0.30	25.50	2.95		4.57	3.93		2.45	1.46
2002	16	0.11			0.30	8.37	2.58		4.19	24.40		2.33	1.43
2002	17	0.12			0.30	2.34	2.30		3.85	30.40		2.33	1.43
2002	18	0.12			0.28	1.32	2.21	1.25	5.19	11.10		2.35	1.43
2002	19	0.12			0.26	0.92	2.21	3.10		8.09		2.21	1.65
2002	20	0.14			0.25	0.79	2.09	31.20		6.88		2.15	1.60
2002	21	0.14			0.23	0.76	2.08	48.20		6.13		2.08	1.46
2002	22	0.14			0.22	0.69	2.08	15.60		5.47		1.96	1.47
2002	23	0.13			0.26	0.67	1.96	49.30		4.97		1.96	1.43
2002	24	0.14			0.31	0.62	1.96	19.10		4.71	4.41	1.90	1.41
2002	25	0.14			0.39	37.00	1.94	10.40		4.53	4.35	1.86	1.35
2002	26	0.15			0.34	13.70	1.87	8.16		4.27	4.13	1.91	1.34
2002	27	0.17			0.29	10.90	6.35	6.09		4.08	4.18	1.98	1.34
2002	28	0.17			0.26	5.08	3.90	5.17		3.90	3.85	1.94	1.32
2002	29	0.17			0.26	2.93	2.35	4.71		3.76	3.59	1.85	1.25
2002	30	0.15			0.26	2.09	2.11	14.00		3.75	3.59	1.85	1.25
2002	31	0.15				23.50		8.09			3.48		1.25

El Cuadro A.2-2 muestra los caudales medios diarios para el año hidrológico de 1999.

Cuadro A.2-2
Caudales medios diarios (m3/seg) Purapel en Nirivilo, 1999

AÑO	DÍA	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1999	1	0.01	0.01	0.03	1.29	0.31	8.73	1.20	0.13	0.02	0.01	0.01	0.07
1999	2	0.01	0.01	0.02	0.89	0.25	5.88	1.22	0.13	0.03	0.01	0.01	0.04
1999	3	0.01	0.01	0.02	0.50	0.22	2.73	1.08	0.13	0.02	0.01	0.01	0.02
1999	4	0.01	0.01	0.02	0.37	0.21	8.67	0.96	0.12	0.02	0.01	0.01	0.02
1999	5	0.01	0.01	0.02	0.30	0.37	82.40	0.90	0.11	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	6	0.01	0.01	0.02	0.25	0.91	89.80	0.83	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	7	0.01	0.01	0.02	0.22	0.45	27.40	0.79	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	8	0.01	0.01	0.02	0.20	0.32	17.10	0.74	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	9	0.01	0.01	0.02	0.19	0.30	10.70	0.65	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	10	0.01	0.01	0.02	0.25	0.28	8.28	0.61	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	11	0.01	0.01	0.02	1.06	0.22	10.30	0.57	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	12	0.01	0.01	0.04	0.83	0.19	29.40	0.49	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	13	0.01	0.01	0.05	0.60	0.17	19.00	0.46	0.05	0.01	0.01	0.03	0.01
1999	14	0.01	0.01	0.06	0.40	0.15	10.40	0.43	0.04	0.01	0.01	0.10	0.01
1999	15	0.01	0.01	0.10	0.31	0.16	7.91	0.37	0.04	0.01	0.01	0.06	0.01
1999	16	0.01	0.02	0.11	0.28	0.13	6.21	0.32	0.04	0.01	0.01	0.03	0.01
1999	17	0.01	0.02	0.11	0.25	0.13	4.86	0.29	0.06	0.01	0.01	0.02	0.01
1999	18	0.01	0.02	0.45	0.23	0.14	3.99	0.24	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01
1999	19	0.01	0.02	0.21	0.22	0.29	3.47	0.24	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	20	0.01	0.02	0.12	0.21	10.00	3.01	0.24	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	21	0.01	0.02	3.17	0.18	10.70	2.58	0.21	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	22	0.01	0.02	2.08	0.20	3.16	2.28	0.19	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	23	0.01	0.02	0.55	0.17	1.71	2.09	0.18	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	24	0.01	0.02	2.55	0.14	1.16	1.94	0.18	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	25	0.01	0.02	0.85	0.13	0.82	1.74	0.18	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	26	0.01	0.02	0.45	0.13	0.58	1.65	0.18	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	27	0.01	0.02	0.34	0.14	0.42	1.54	0.17	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
1999	28	0.01	0.02	1.01	0.26	0.29	1.46	0.16	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01
1999	29	0.01	0.05	3.17	1.61	0.55	1.36	0.15	0.01	0.01	0.01	0.09	0.01
1999	30	0.01	0.09	0.92	0.79	3.16	1.31	0.13	0.01	0.01	0.01		0.01
1999	31		0.05		0.42	2.15		0.12		0.01	0.01		0.01

ANEXO B

**Código fuente y funciones del programa para
estimar la distribución de lluvia diaria.**

```
function [c]=bisiesto(año)
if mod(año,4)==0&mod(año,100)~=0|mod(año,400)==0
    c=1;
else
    c=0;
end

function [c]=Dias_Periodo(fechas)

% fechas(2)=struct('año',0,'mes',0,'dia',0);

% fechas(1).año=input('ingrese año inicial, año =');
% fechas(1).mes=input('ingrese mes inicial, mes =');
% fechas(1).dia=input('ingrese dia inicial, dia =');

% fechas(2).año=input('ingrese año final, año =');
% fechas(2).mes=input('ingrese mes final, mes =');
% fechas(2).dia=input('ingrese dia final, dia =');


fecha_inicial=fechas(1);
fecha_final=fechas(2);
fecha_inicial.año;
fecha_final.año;

dias_año=[31 28 31 30 31 30 31 31 30 31 30 31];
dias=0;
if fecha_inicial.año==fecha_final.año
    if bisiesto(fecha_inicial.año)
        dias_año(2)=29;
    else
        dias_año(2)=28;
    end
    if fecha_inicial.mes==fecha_final.mes
        dias=fecha_final.dia-fecha_inicial.dia+1;
    elseif fecha_final.mes==(fecha_inicial.mes+1)
        dias=dias_año(fecha_inicial.mes)-fecha_inicial.dia+1+fecha_final.dia;
    else
        for i=(fecha_inicial.mes+1):(fecha_final.mes-1)
            dias=dias+dias_año(i);
        end
        dias=dias+dias_año(fecha_inicial.mes)-fecha_inicial.dia+1+fecha_final.dia;
    end
else
    if bisiesto(fecha_inicial.año)
        dias_año(2)=29;
```

```

else
    dias_año(2)=28;
end
%Calcular los dias que faltan para completar el año inicial.
dias=dias_año(fecha_inicial.mes)-fecha_inicial.dia+1+fecha_final.dia;
for i=(fecha_inicial.mes+1):12
    dias=dias+dias_año(i);
end
if bisiestro(fecha_final.año)
    dias_año(2)=29;
else
    dias_año(2)=28;
end
for i=1:(fecha_final.mes-1)
    dias=dias+dias_año(i);
end
for j=(fecha_inicial.año+1):(fecha_final.año-1)
    if bisiestro(j)
        dias_año(2)=29;
    else
        dias_año(2)=28;
    end
    for i=1:12
        dias=dias+dias_año(i);
    end
end

end

c=dias;

function [c]=Distribucion2(a)
%Es importante notar que el archivo debe constar de 27 columnas
%con todas sus filas completas.
fid = fopen('Tormentas.txt');
[a, count] = fscanf(fid,'%g %g',inf); %Lee los datos del archivo de texto.
%fila a fila colocandolos en un vector.
%count entrega el número de elementos leídos.
fclose(fid);
count
N_TORMENTAS=14;
DIAS_DE_TORMENTA=14;
filas=count/27;%Máximo número de filas del cell-array.
if rem(count,27)==0

    k=DIAS_DE_TORMENTA*24;

```

```

Llovizna=cell(N_TORMENTAS*filas,4);
Normal=cell(N_TORMENTAS*filas,4);
Intensa=cell(N_TORMENTAS*filas,4);
P(k)=struct('año',0,'mes',0,'dia',0,'hora',0,'agua',0,'frecuencia',0);
%inicializando el vector de la tormenta
for i=1:k
    P(i).año=0;
    P(i).mes=0;
    P(i).dia=0;
    P(i).hora=0;
    P(i).agua=0;
    P(i).frecuencia=0;
end
%inicializando la marca de FIN de los cell-arrays.
for i=1:N_TORMENTAS*filas
    Llovizna{i,1}=0;%FIN;
    Normal{i,1}=0;%FIN';
    Intensa{i,1}=0;%FIN';
end
Fecha_Actual=struct('año',0,'mes',0,'dia',0);
Fecha_Actual.año=a(1);
Fecha_Actual.mes=a(2);
Fecha_Actual.dia=a(3);
Ll=1;%Indice cell-array Lloviznas.
N=1;%Indice cell-array Normales.
I=1;%Indice cell-array Intensas.
p=1;%Indice del vector auxiliar P(i).
duracion=0;
'comienzo la lectura'
for i=1:filas
    %recuerde que la matriz cell-array "c" tiene n filas y 4 columnas
    %columna 1 = marca de fin, columna 2 = Duración de la tormenta,
    %columna 3 = Total agua caída en la tormenta,
    %columna 4 vector con datos horarios de la tormenta.
    contador=0;
    for j=27*i-27+4:27*i %leyendo sólo los datos horarios.
        contador=contador+1;
        if a(j)~=0
            duracion=duracion+1;
            P(p).agua=a(j);
            if contador<17
                hora=contador+8;
                Fecha_Actual.año=a(27*i-27+1);
                Fecha_Actual.mes=a(27*i-27+2);
                Fecha_Actual.dia=a(27*i-27+3);
            else
                hora=contador-16;
            end
        end
    end
end

```



```

Fecha_Actual.año=a(27*i-27+1);
Fecha_Actual.mes=a(27*i-27+2);
Fecha_Actual.dia=a(27*i-27+3);
Fecha_Actual=Fecha_Siguiente_Dia(Fecha_Actual);
end
P(p).año=Fecha_Actual.año;
P(p).mes=Fecha_Actual.mes;
P(p).dia=Fecha_Actual.dia;
P(p).hora=hora;
if j==count
    agua_acumulada=0;
    for l=1:p
        agua_acumulada=agua_acumulada+P(l).agua;
    end
    for l=1:p
        P(l).frecuencia=P(l).agua/agua_acumulada;
    end
    if agua_acumulada<=1
        Llovizna{Ll,1}=1;
        Llovizna{Ll,2}=duracion;
        Llovizna{Ll,3}=agua_acumulada;
        Llovizna{Ll,4}=P;
        Ll=Ll+1;
        duracion=0;
    elseif (1<agua_acumulada)&(agua_acumulada<=10)
        Normal{N,1}=1;
        Normal{N,2}=duracion;
        Normal{N,3}=agua_acumulada;
        Normal{N,4}=P;
        N=N+1;
        duracion=0;
    elseif 10<agua_acumulada
        Intensa{I,1}=1;
        Intensa{I,2}=duracion;
        Intensa{I,3}=agua_acumulada;
        Intensa{I,4}=P;
        I=I+1;
        duracion=0;
    end
    for r=1:p    %inicializando el vector P.
        P(r).año=0;
        P(r).mes=0;
        P(r).dia=0;
        P(r).hora=0;
        P(r).agua=0;
        P(r).frecuencia=0;
    end
end

```

```

        p=1;
    elseif
        ((j==(i*27))&(a(j+4)~=0)&((a(j+1)~=Fecha_Actual.año)|(a(j+2)~=Fecha_Actual.mes)|(a(j
+3)~=Fecha_Actual.dia)))
            agua_acumulada=0;
            for l=1:p
                agua_acumulada=agua_acumulada+P(l).agua;
            end
            for l=1:p
                P(l).frecuencia=P(l).agua/agua_acumulada;
            end
            if agua_acumulada<=1
                Llovizna{Ll,1}=1;
                Llovizna{Ll,2}=duracion;
                Llovizna{Ll,3}=agua_acumulada;
                Llovizna{Ll,4}=P;
                Ll=Ll+1;
                duracion=0;
            elseif (1<agua_acumulada)&(agua_acumulada<=10)
                Normal{N,1}=1;
                Normal{N,2}=duracion;
                Normal{N,3}=agua_acumulada;
                Normal{N,4}=P;
                N=N+1;
                duracion=0;
            elseif 10<agua_acumulada
                Intensa{I,1}=1;
                Intensa{I,2}=duracion;
                Intensa{I,3}=agua_acumulada;
                Intensa{I,4}=P;
                I=I+1;
                duracion=0;
            end
            for r=1:p %inicializando el vector P.
                P(r).año=0;
                P(r).mes=0;
                P(r).dia=0;
                P(r).hora=0;
                P(r).agua=0;
                P(r).frecuencia=0;
            end
            p=1;
        elseif a(j+1)~=0;
            p=p+1;
        else
            agua_acumulada=0;
            for l=1:p

```

```

        agua_acumulada=agua_acumulada+P(l).agua;
    end
    for l=1:p
        P(l).frecuencia=P(l).agua/agua_acumulada;
    end
    if agua_acumulada<=1
        Llovizna{Ll,1}=1;
        Llovizna{Ll,2}=duracion;
        Llovizna{Ll,3}=agua_acumulada;
        Llovizna{Ll,4}=P;
        Ll=Ll+1;
        duracion=0;
    elseif (1<agua_acumulada)&(agua_acumulada<=10)
        Normal{N,1}=1;
        Normal{N,2}=duracion;
        Normal{N,3}=agua_acumulada;
        Normal{N,4}=P;
        N=N+1;
        duracion=0;
    elseif 10<agua_acumulada
        Intensa{I,1}=1;
        Intensa{I,2}=duracion;
        Intensa{I,3}=agua_acumulada;
        Intensa{I,4}=P;
        I=I+1;
        duracion=0;
    end
    for r=1:p    %inicializando el vector P.
        P(r).año=0;
        P(r).mes=0;
        P(r).dia=0;
        P(r).hora=0;
        P(r).agua=0;
        P(r).frecuencia=0;
    end
    p=1;
end

end
end

end
else
    'error de lectura de archivo'
    'faltan o sobran datos, recuerde que la tabla'
    'debe tener 27 columnas con filas completas'
end
end

```

```

'terminé de leer'
for i=1:N_TORMENTAS*filas
    if Llovizna{i,1}==0
        m=i-1;
        break
    end
end
for i=1:m
    Lloviznas{i,1}=m;
    Lloviznas{i,2}=Llovizna{i,2};
    Lloviznas{i,3}=Llovizna{i,3};
    Lloviznas{i,4}=Llovizna{i,4};
end
clear Llovizna;

for i=1:Lloviznas{1,1}
    for m=1:Lloviznas{i,2}
        g(m)=Lloviznas{i,4}(m);
    end
    Lloviznas{i,4}=g;
end

for i=1:N_TORMENTAS*filas
    if Normal{i,1}==0
        m=i-1;
        break
    end
end
for i=1:m
    Normales{i,1}=m;
    Normales{i,2}=Normal{i,2};
    Normales{i,3}=Normal{i,3};
    Normales{i,4}=Normal{i,4};
end
clear Normal;

for i=1:Normales{1,1}
    for m=1:Normales{i,2}
        g(m)=Normales{i,4}(m);
    end
    Normales{i,4}=g;
end

for i=1:N_TORMENTAS*filas
    if Intensa{i,1}==0
        m=i-1;
        break
    end
end

```

```

    end
end
for i=1:m
    Intensas{i,1}=m;
    Intensas{i,2}=Intensa{i,2};
    Intensas{i,3}=Intensa{i,3};
    Intensas{i,4}=Intensa{i,4};
end
clear Intensa;

for i=1:Intensas{1,1}
    for m=1:Intensas{i,2}
        g(m)=Intensas{i,4}(m);
    end
    Intensas{i,4}=g;
end

fechas(2)=struct('año',0,'mes',0,'dia',0);
fechas(1).año=a(1);
fechas(1).mes=a(2);
fechas(1).dia=a(3);
fechas(2).año=a(count-27+1);
fechas(2).mes=a(count-27+2);
fechas(2).dia=a(count-27+3);
dias=Dias_Periodo(fechas);

dias_año=[31 29 31 30 31 30 31 31 30 31 30 31];

suma=0;
for i=1:Lloviznas{1,1}
    suma=suma+Lloviznas{i,2};
end
duracion_promedio_Lloviznas=round(suma/Lloviznas{1,1})
suma=0;
for i=1:Normales{1,1}
    suma=suma+Normales{i,2};
end
duracion_promedio_Normales=round(suma/Normales{1,1})
suma=0;
for i=1:Intensas{1,1}
    suma=suma+Intensas{i,2};
end
duracion_promedio_Intensas=round(suma/Intensas{1,1})

%A continuación se procederá a normalizar cada tormenta a la duración promedio de cada
tipo,
%el resultado será una matriz de cell-array de 4 columnas.

```

%Columna 1 = Número de tormentas del tipo encontradas.
 %Columna 2 = duración de la tormenta original.
 %Columna 3 = arreglo con los valores de frecuencia Normalizado de la tormenta, el número de registros
 %coincide con la duración promedio de la tormenta.
 %Columna 4 = arreglo de estructura con los datos de la tormenta original del tipo siguiente
 %P(i).año=0;
 %P(i).mes=0;
 %P(i).dia=0;
 %P(i).hora=0;
 %P(i).agua=0;
 %P(i).frecuencia=0;

n=duracion_promedio_Lloviznas;%duración promedio de la tormenta.

```
for i=1:Lloviznas{1,1}
    m=Lloviznas{i,2}; %duración de la tormenta actual.
    aux=0;
    r=1;
    s=1;
    for k=1:n*m
        aux=aux+(1/n)*Lloviznas{i,4}(r).frecuencia;
        if mod(k,n)==0
            r=r+1;
        end
        if mod(k,m)==0
            N(s)=aux;
            aux=0;
            s=s+1;
        end
    end
    Lloviznas_N{i,1}=Lloviznas{i,1};
    Lloviznas_N{i,2}=Lloviznas{i,2};
    Lloviznas_N{i,3}=N;
    Lloviznas_N{i,4}=Lloviznas{i,4};
end
clear Lloviznas;
clear N;
```

%Determinación de la tormenta Lloviznas promedio

```
for j=1:n
    aux=0;
    for i=1:Lloviznas_N{1,1}
        aux=aux+Lloviznas_N{i,3}(j);
    end
end
```



```

    end
    Lprom(j)=aux/Lloviznas_N{1,1};
end
Lprom

for i=1:24
    c=0;
    for j=1:12
        for k=1:dias_año(j)
            for r=1:Lloviznas_N{1,1}
                for m=1:Lloviznas_N{r,2}
                    if
(Lloviznas_N{r,4}(m).mes==j)&(Lloviznas_N{r,4}(m).dia==k)&(Lloviznas_N{r,4}(m).ho
ra==i)
                        c=c+1;
                    end
                end
            end
        end
    end
    horasd(i)=c;
end

clear Lloviznas_N;

[maxh iH]=max(horasd);
[maxl iL]=max(Lprom);

for i=1:24
    dist_L{i,1}=i;
    dist_L{i,2}=0;
end

d=iH-iL;
for i=iL:-1:1
    if (i+d)<1
        dist_L{i+d+24,2}=Lprom(i);
    else
        dist_L{i+d,2}=Lprom(i);
    end
end
for i=iL:n
    if (i+d)>24
        dist_L{i+d-24,2}=Lprom(i);
    else
        dist_L{i+d,2}=Lprom(i);
    end
end

```

end

dist_L

%A continuación se procederá a normalizar cada tormenta a la duración promedio de cada tipo,

%el resultado será una matriz de cell-array de 4 columnas.

%Columna 1 = Número de tormentas del tipo encontradas.

%Columna 2 = duración de la tormenta original.

%Columna 3 = arreglo con los valores de frecuencia Normalizado de la tormenta, el número de registros

%coincide con la duración promedio de la tormenta.

%Columna 4 = arreglo de estructura con los datos de la tormenta original del tipo siguiente

%P(i).año=0;

%P(i).mes=0;

%P(i).dia=0;

%P(i).hora=0;

%P(i).agua=0;

%P(i).frecuencia=0;

n=duracion_promedio_Normales;%duración promedio de la tormenta.

for i=1:Normales{1,1}

 m=Normales{i,2}; %duración de la tormenta actual.

 aux=0;

 r=1;

 s=1;

 for k=1:n*m

 aux=aux+(1/n)*Normales{i,4}(r).frecuencia;

 if mod(k,n)==0

 r=r+1;

 end

 if mod(k,m)==0

 N(s)=aux;

 aux=0;

 s=s+1;

 end

 end

 Normales_N{i,1}=Normales{i,1};

 Normales_N{i,2}=Normales{i,2};;

 Normales_N{i,3}=N;

 Normales_N{i,4}=Normales{i,4};

end

clear Normales;

clear N;

%Determinación de la tormenta Normal promedio

```

for j=1:n
    aux=0;
    for i=1:Normales_N{1,1}
        aux=aux+Normales_N{i,3}(j);
    end
    Nprom(j)=aux/Normales_N{1,1};
end
Nprom

for i=1:24
    c=0;
    for j=1:12
        for k=1:dias_año(j)
            for r=1:Normales_N{1,1}
                for m=1:Normales_N{r,2}
                    if
(Normales_N{r,4}(m).mes==j)&(Normales_N{r,4}(m).dia==k)&(Normales_N{r,4}(m).ho
ra==i)
                        c=c+1;
                    end
                end
            end
        end
    end
    horasd(i)=c;
end

clear Normales_N;

[maxh iH]=max(horasd);
[maxn iN]=max(Nprom);

for i=1:24
    dist_N{i,1}=i;
    dist_N{i,2}=0;
end

d=iH-iN;
for i=iN:-1:1
    if (i+d)<1
        dist_N{i+d+24,2}=Nprom(i);
    else
        dist_N{i+d,2}=Nprom(i);
    end
end
end

```

```

for i=iN:n
    if (i+d)>24
        dist_N{i+d-24,2}=Nprom(i);
    else
        dist_N{i+d,2}=Nprom(i);
    end
end

```

```

dist_N

```

%A continuación se procederá a normalizar cada tormenta a la duración promedio de cada tipo,
 %el resultado será una matriz de cell-array de 4 columnas.
 %Columna 1 = Número de tormentas del tipo encontradas.
 %Columna 2 = duración de la tormenta original.
 %Columna 3 = arreglo con los valores de frecuencia Normalizado de la tormenta, el número de registros
 %coincide con la duración promedio de la tormenta.
 %Columna 4 = arreglo de estructura con los datos de la tormenta original del tipo siguiente
 %P(i).año=0;
 %P(i).mes=0;
 %P(i).dia=0;
 %P(i).hora=0;
 %P(i).agua=0;
 %P(i).frecuencia=0;

```

n=duracion_promedio_Intensas;%duración promedio de la tormenta.

```

```

for i=1:Intensas{1,1}
    m=Intensas{i,2}; %duración de la tormenta actual.
    aux=0;
    r=1;
    s=1;
    for k=1:n*m
        aux=aux+(1/n)*Intensas{i,4}(r).frecuencia;
        if mod(k,n)==0
            r=r+1;
        end
        if mod(k,m)==0
            N(s)=aux;
            aux=0;
            s=s+1;
        end
    end
    Intensas_N{i,1}=Intensas{i,1};
    Intensas_N{i,2}=Intensas{i,2};
    Intensas_N{i,3}=N;

```

```

    Intensas_N{i,4}=Intensas{i,4};
end
clear Intensas;
clear N;

%Determinación de la tormenta Intensa promedio

for j=1:n
    aux=0;
    for i=1:Intensas_N{1,1}
        aux=aux+Intensas_N{i,3}(j);
    end
    Iprom(j)=aux/Intensas_N{1,1};
end
Iprom

for i=1:24
    c=0;
    for j=1:12
        for k=1:dias_año(j)
            for r=1:Intensas_N{1,1}
                for m=1:Intensas_N{r,2}
                    if
(Intensas_N{r,4}(m).mes==j)&(Intensas_N{r,4}(m).dia==k)&(Intensas_N{r,4}(m).hora==
i)
                        c=c+1;
                    end
                end
            end
        end
    end
    horasd(i)=c;
end

clear Intensas_N;

[maxh iH]=max(horasd);
[maxi iI]=max(IProm);

for i=1:24
    dist_I{i,1}=i;
    dist_I{i,2}=0;
end

d=iH-iI;
for i=iI:-1:1

```

```

    if (i+d)<1
        dist_I{i+d+24,2}=Iprom(i);
    else
        dist_I{i+d,2}=Iprom(i);
    end
end
for i=iI:n
    if (i+d)>24
        dist_I{i+d-24,2}=Iprom(i);
    else
        dist_I{i+d,2}=Iprom(i);
    end
end

dist_I

c='terminé';

function [c]=Elementos_identica_fecha.fecha(vector,largo_vector)
%Esta función recibe una estructura denominada fecha de dos elementos con tres campos
cada uno.
%Fecha=struct('mes',0,'dia',0,'hora',0);
%Fecha.mes=4;(por ejemplo Abril)
%Fecha.dia=2;(por ejemplo día 2)
%Fecha.hora=8;(por ejemplo 8 de la mañana).

%fecha.mes (mes), fecha.dia (dia) y fecha.hora (hora), además recibe un cell-array
%denominado vector que contiene los datos de las precipitaciones lloviznas o Normales
%o Intensas y también recibe el largo de este vector.
%Entrega un cell array con información de los datos coincidentes
%Celda 1 = número de elementos encontrados.
%Celda 2 = Duración de la tormenta,
%Celda 3 = Total agua caída en la tormenta,
%Celda 4 vector con datos horarios de la tormenta.
%Si no existen datos coincidentes se entrega un cell array con 1 elementos con campos
nulos.

for i=1:largo_vector
    if vector{i,1}==0
        n=i-1;
        break;
    end
end

a=cell(n,4);
%recuerde que la matriz cell-array tiene n filas y 4 columnas
%columna 1 = número de elementos coincidentes con la fecha,

```



```

%columna 2 = Duración de la tormenta,
%columna 3 = Total agua caída en la tormenta,
%columna 4 = vector con datos horarios de la tormenta.
m=0;
for i=1:n
    for j=1:vector{i,2}
        if
            (((fecha.hora==vector{i,4}(j).hora)&(fecha.dia==vector{i,4}(j).dia))&(fecha.mes==vector{
i,4}(j).mes))
                m=m+1;%cuenta los elementos encontrados.
                a{m,1}=vector{i,1};
                a{m,2}=vector{i,2};
                a{m,3}=vector{i,3};
                a{m,4}=vector{i,4};
            end
        end
    end
end

c=a;

function [c]=Fecha_Siguiente_Dia(fecha)

año=fecha.año;
mes=fecha.mes;
dia=fecha.dia;

if (mes==12&dia==31)
    año=año+1;
    mes=1;
    dia=1;
elseif (mes==11&dia==30)
    mes=12;
    dia=1;
elseif (mes==10&dia==31)
    mes=11;
    dia=1;
elseif (mes==9&dia==30)
    mes=10;
    dia=1;
elseif (mes==8&dia==31)
    mes=9;
    dia=1;
elseif (mes==7&dia==31)
    mes=8;
    dia=1;
elseif (mes==6&dia==30)
    mes=7;

```

```
    dia=30;
elseif (mes==5&dia==31)
    mes=6;
    dia=1;
elseif (mes==4&dia==30)
    mes=5;
    dia=1;
elseif (mes==3&dia==31)
    mes=4;
    dia=1;
elseif (mes==2&dia==28&bisiesto(año))
    dia=29;
elseif (mes==2&dia==28)
    mes=3;
    dia=1;
elseif (mes==2)&(dia==29)
    mes=3;
    dia=1;
elseif (mes==1&dia==31)
    mes=2;
    dia=1;
else
    dia=dia+1;
end
fecha.año=año;
fecha.mes=mes;
fecha.dia=dia;
c=fecha;
```