

**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DPTO. DE ESTUDIOS Y PLANIFICACION**

**ACTUALIZACION DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA
CUENCA DEL RIO MAULE**

**MODELO DE SIMULACIÓN DE CAUDALES
MEDIOS DIARIOS EN CUENCAS PLUVIALES**

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

**PABLO ISENSEE MARTINEZ
INGENIERO CIVIL**

S.I.T. N° 91

SANTIAGO, DICIEMBRE 2003

EQUIPO DE TRABAJO

Dirección General de Aguas

Ing. Civil. Sr. Carlos Salazar M.

Ing. Civil. Sra. Ana Maria Gangas P.

Ing. Civil. Sr. Mauricio Zambrano B.

Consultor

Ing. Civil Sr. Pablo Isensee M.

INDICE

1. MODELO DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS EN CUENCAS PLUVIALES	4
1.1 Introducción	4
1.2 Base Conceptual del Modelo	5
1.2.1 Cálculo de la lluvia y evapotranspiración horaria	6
1.2.2 Cálculo de la Infiltración	7
1.2.3 Cálculo de la Evapotranspiración	11
1.2.4 Cálculo de la Percolación Profunda	12
1.2.5 Cálculo de la Escorrentía Directa	12
1.2.6 Cálculo de la Escorrentía Subterránea	12
2.- PROGRAMA DE COMPUTACIÓN.	14
2.1 Estructura del Programa	14
2.2 Archivos de datos	15
2.3 Archivos de resultados	15
3. MANUAL DE USO DEL MODELO.	16
3.1 Archivos de datos	16
3.1.1 Archivo de datos base	16
3.1.2 Otros Archivos de datos	19
3.2 Archivos de resultados	22
ANEXO N ° 1. LISTADO DEL PROGRAMA Y DE SUS UNITS	25
ANEXO N ° 2. RESULTADOS DE APLICACIÓN	
EN LA CUENCA DE LLIU LLIU	39

1. MODELO DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS EN CUENCAS PLUVIALES

1.1 Introducción

Se ha desarrollado un modelo matemático de simulación de caudales medios diarios en una cuenca de régimen pluvial. La síntesis de los caudales medios diarios se realiza mediante un programa de computación que simula el ciclo de escorrentía de la cuenca pluvial aplicando la ecuación de continuidad o balance hidrológico sobre un elemento de área o volumen de control de la cuenca.

El modelo utiliza datos de lluvias diarias y evapotranspiración mensual sobre la cuenca y un conjunto de parámetros que permiten calcular, en las expresiones matemáticas usadas, las diferentes variables que intervienen en los procesos hidrológicos, es decir, la infiltración de la lluvia, la lluvia efectiva, la evapotranspiración y percolación profunda del suelo, el flujo base, la escorrentía directa y la escorrentía total.

Internamente el modelo simula los procesos a una escala horaria, de manera que es necesario transformar los datos diarios de lluvia y los datos mensuales de evaporación a valores horarios, para lo cual se recurre a distribuciones típicas.

Con los datos horarios de la lluvia se calcula la infiltración mediante el método de Green Ampt. La lluvia efectiva, desde el punto de vista hidrológico, es la diferencia entre la lluvia horaria y la infiltración. Con la lluvia efectiva y el Hidrograma Unitario de la cuenca se calcula la escorrentía directa horaria, a la cual se le suma el flujo base horario para obtener la escorrentía total horaria. Todos estos cálculos se efectúan expresando las variables como lámina de agua las que se integran para obtener los valores diarios.

Para simular el flujo base se considera un elemento de almacenamiento de agua subterránea que recibe como recarga la percolación profunda proveniente de la capa superior del suelo y entrega como descarga un flujo que es proporcional al almacenamiento subterráneo, hipótesis de embalse lineal.

La percolación profunda se calcula como resultado del balance de la capa superior del suelo que recibe la infiltración de la lluvia y satisface las necesidades evapotranspirativas de la cubierta vegetal mediante dicha infiltración y el agua acumulada inicialmente en él. Si la lámina de agua almacenada en el suelo después de considerar la infiltración y la evapotranspiración excede el nivel correspondiente a la capacidad de campo, entonces existirá percolación profunda, la que se calcula en función del grado de saturación del suelo y se limita a la lámina que excede el nivel de capacidad de campo.

1.2 Base Conceptual del Modelo

El modelo considera que existen dos elementos de embalse:

- Un volumen de almacenamiento cercano a la superficie del suelo, cuya magnitud representa la capacidad media de retención de agua en la cuenca y desde el cual se extrae agua para satisfacer la demanda de evapotranspiración.
- La cantidad de agua almacenada en esta capa representa la humedad del suelo y se expresa como lámina de agua.
- Un volumen subterráneo que retiene el agua que percola y que al vaciarse en forma lenta contribuye al escurrimiento subsuperficial y subterráneo, y que es el que produce la escorrentía en los periodos de estiaje.

El modelo usa la ecuación de continuidad aplicada sobre un área unitaria en la zona no saturada del suelo:

$$E - S = dH/dt$$

donde:

- E** : flujo de entrada al volumen de control e igual a la tasa de infiltración desde la superficie
- S** : flujo de salida al volumen de control e igual a la evapotranspiración más la percolación profunda.
- dH/dt**: variación en el tiempo de la lámina de agua H almacenada en forma de humedad del suelo.

La lámina de agua almacenada en el suelo en un instante dado, se puede expresar como:

$$H = s * n * D$$

donde:

- D** : profundidad total del suelo, parámetro del modelo
- n** : porosidad efectiva del suelo; parámetro del modelo que representa el cociente entre el volumen efectivo de poros V_p y el volumen total V_t .
- s** : grado de saturación del suelo; cociente entre el volumen de líquido V_l y el volumen efectivo de poros V_p .

En igual forma, la humedad almacenada en el suelo se puede expresar como:

$$H = s * H_{max}$$

donde:

H_{max} : Lámina de agua correspondiente al estado de saturación

La ecuación de continuidad puede expresarse entonces en forma adimensional como :

$$(E - S)/H_{max} = ds/dt$$

1.2.1 Cálculo de la lluvia y evapotranspiración horaria

Para obtener los valores horarios de la lluvia diaria se han considerado tres distribuciones típicas que dependen de la magnitud de la lluvia diaria.

Las lluvias diarias se han clasificado en tres tipos según su magnitud :

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

De acuerdo con los resultados del trabajo “ Caracterización de Condiciones Meteorológicas durante Eventos de Precipitación a la Latitud 33 ° sur en Chile” de Cristián Soto T. y Ludwig Stöwhas B. publicado en las actas del XVI Congreso de Ingeniería Hidráulica para 10 años de registros, 1980 a 1981 en la estación UTFSM las duraciones de las lluvias son las siguientes :

Duraciones de las lluvias [horas]

	Lloviznas	Normales	Intensas
Máxima	3.75	6.83	14.10
Mínima	0.93	2.65	7.00
Media	1.92	4.63	10.80

Para las aplicaciones de prueba del modelo se ha trabajado con las duraciones siguientes .

- Lloviznas 2 horas
- Normales 6 horas
- Intensas 12 horas

Para la distribución horaria, en las aplicaciones de prueba del modelo se usaron los valores promedio del grupo I del estudio B. Espildora y A. Echavarría “Criterios para la Caracterización y Selección de Lluvias de Diseño” IV Coloquio de Ingeniería Hidráulica , 1979

Para los valores de distribución horaria de la evapotranspiración se han empleado los datos de la memoria de título del Ingeniero Civil de la Universidad de Chile Luis Soto Alvarez, 1995

Las referidas distribuciones se muestran en la Tabla que sigue

Distribuciones horarias de lluvias y evaporación

hora	Lluvia Td1	Lluvia Td2	Lluvia Td3	Evaporación
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	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.7000	0.2616	0.0916	0.0000
9	0.3000	0.2456	0.1700	0.0200
10	0.0000	0.1642	0.1366	0.0500
11	0.0000	0.1103	0.1090	0.1000
12	0.0000	0.1015	0.0841	0.1600
13	0.0000	0.1168	0.0801	0.2000
14	0.0000	0.0000	0.0576	0.1800
15	0.0000	0.0000	0.0527	0.1400
16	0.0000	0.0000	0.0511	0.0900
17	0.0000	0.0000	0.0504	0.0500
18	0.0000	0.0000	0.0693	0.0100
19	0.0000	0.0000	0.0475	0.0000
20	0.0000	0.0000	0.0000	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

1.2.2 Cálculo de la Infiltración

A continuación se presenta el planteamiento conceptual del método de Green Ampt que calcula la infiltración proveniente de la lluvia, método que se ha incorporado al modelo.

El planteamiento del método de Green Ampt se ha obtenido del libro “Hidrología Aplicada” de Ven Te Chow, David R. Maidmenty LarryW. Mays publicado por Mc Graw Hill en 1994 según se expone en el capítulos 4.3 para lluvia de intensidad constante, en el capítulo 4.4 para determinar el tiempo de encharcamiento y en el capítulo 5.4 para considerar lluvias de intensidad variable.

Los parámetros que requiere el método de Green Ampt para los diferentes tipos de textura de los suelos se presentan en la Tabla 4.3.1 pág. 117 de la referida publicación.

El atractivo del método de Green Ampt radica en que bajo ciertos supuestos físicos se puede obtener una solución analítica exacta de la ecuación diferencial que rige el fenómeno y en que los parámetros que intervienen tienen significado físico evidente, es decir, la porosidad efectiva del suelo, el coeficiente de permeabilidad vertical del suelo saturado y la altura de succión capilar y el grado de saturación inicial del suelo.

El método aplica la relación de Darcy en forma diferencial entre la superficie del suelo y el frente de mojado en un instante de tiempo dado. El frente se supone abrupto, es decir, sobre él el suelo está saturado y debajo en la condición inicial. La ecuación diferencial resultante se puede integrar analíticamente obteniéndose una ecuación implícita para la infiltración acumulada en un instante cualquiera, la que debe resolverse por aproximaciones sucesivas. (3 o 4 iteraciones).

Aplicando la ecuación de Darcy a la columna de suelo entre la superficie del terreno y la posición del frente de mojado, se tiene que el flujo vertical hacia abajo, que es la tasa de infiltración instantánea f , es igual al coeficiente de permeabilidad K por el gradiente entre ambas superficies, el cual es, a su vez, la diferencia de cotas piezométricas dividida por la diferencia de cotas entre la superficie del suelo y el frente de mojado.

La cota piezométrica en la superficie del suelo es h_0 , mientras que inmediatamente debajo del frente de mojado es $-H_{cap} - L$, siendo H_{cap} la altura de ascensión capilar y L la profundidad del frente de mojado.

Así resulta que

$$f = K * [h_0 - (-H_{cap} - L)]/L$$

Considerando que h_0 es muy pequeña comparada con H_{cap} y L , queda

$$f = K * [H_{cap} + L]/L$$

Por continuidad la infiltración acumulada F es L/D_w siendo D_w el cambio del contenido de humedad del suelo, reemplazando L queda la ecuación para la capacidad de infiltración

$$f = K * [H_{cap} * D_w + F]/F$$

o bien

$$f = K * [H_{cap} * D_w / F + 1]$$

Como $f = dF/dt$, esta ecuación es

$$dF/dt = K * [H_{cap} * D_w + F]/F$$

y su integración entre los instantes t_1 y t_2 conduce a

$$F(t_2) - F(t_1) - H_{cap} * D_w * \ln \left\{ \frac{[H_{cap} * D_w + F(t_2)]}{[H_{cap} * D_w + F(t_1)]} \right\} = K * (t_2 - t_1)$$

Esta ecuación debe resolverse en forma iterativa para calcular $F(t_2)$ conocidos los demás términos.

En la Tabla que sigue se presentan los parámetros de infiltración de Green Ampt para varias clases de suelos. Estos antecedentes se han tomado de la Tabla 4.3.1, página 117 del libro “

Hidrología Aplicada” de Ven Te Chow, David R. Maidmenty LarryW. Mays publicado por Mc Graw Hill en 1994.

Parámetros de infiltración de Green Ampt para varias clases de suelos

Clase de suelo	Porosidad efectiva %1	Ascensión capilar Hcap (cm)	Conductividad Hidráulica K (cm/h)
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

La marga, en inglés loam, es un carbonato de cal y arcilla que se usa como abono para tierras poco arcillosas.

Al considerar lluvias de intensidad variable es necesario discriminar en cada intervalo de tiempo si con la intensidad del intervalo de tiempo se produce o no el encharcamiento y calcular la infiltración acumulada antes y después del encharcamiento con la solución correspondiente.

Durante una lluvia el agua se encharcará solamente si la intensidad i de la misma supera la capacidad de infiltración del suelo. El tiempo de encharcamiento t_p es el lapso entre el inicio de la lluvia y el momento en que el agua se empieza a encharcar en el suelo.

Considerando una lluvia continua de intensidad i constante ocurre que antes de t_p la capacidad de infiltración f es mayor que la intensidad de la lluvia, pero va disminuyendo con el aumento de la infiltración acumulada, toda la lluvia se infiltra y la superficie del suelo permanece no saturada.

El encharcamiento comienza cuando la capacidad de infiltración f baja hasta llegar a igualarse con la intensidad de la lluvia i , es decir, en ese momento es $f = i$.

De acuerdo con este proceso y considerando la ecuación para capacidad de infiltración según Green Ampt

$$f = K * [Hcap * Dw / F + 1]$$

la infiltración acumulada al tiempo de encharcamiento es

$$F_p = i \cdot t_p$$

Sustituyendo tenemos

$$i = K * [H_{cap} * D_w / (i * t_p) + 1]$$

y despejando t_p resulta

$$t_p = K * H_{cap} * D_w / [i * (i - K)]$$

A partir de las relaciones anteriores se puede calcular la infiltración durante tormentas de intensidad variable pero constantes dentro del intervalo de tiempo adoptado para representar el hietograma de la tormenta.

A continuación se presenta un procedimiento de cálculo de la infiltración acumulada y parcial de cada intervalo de tiempo para estos casos de lluvias de intensidad variable.

Para el inicio del intervalo se conoce F_1 como dato o por un cálculo anterior, se calcula entonces f_1 con

$$f_1 = K * (H_{cap} * D_w / F_1 + 1.0)$$

Si $f_1 > i_1$, entonces no ocurre encharcamiento al principio del intervalo y se calcula un valor tentativo o provisional de F^2 mediante las relaciones que siguen.

$$F^2 = F_1 + i_1 * D_t;$$

$$f^2 = K * (H_{cap} * D_w / F^2 + 1.0);$$

Si $f^2 > i_1$ entonces no ocurre encharcamiento dentro del intervalo y el cálculo es definitivo, o sea, $F_2 = F^2$ y se pasa al siguiente intervalo.

En caso contrario, esto es $f^2 \leq i_1$, ocurre encharcamiento dentro del intervalo por lo que debe determinarse el tiempo de encharcamiento desde el inicio del intervalo, la infiltración acumulada hasta ese momento y con ella la del final del intervalo.

La infiltración acumulada hasta el momento del encharcamiento se calcula con

$$F_p = K * H_{cap} * D_w / (i_1 - K);$$

$$y \quad D_t' = (F_p - F_1) / i_1;$$

La infiltración acumulada F_2 debe obtenerse resolviendo por sustituciones sucesivas la ecuación de infiltración implícita

$$F2 = K*(Dt-Dt')+Fp+Hcap*Dw*Ln((F2i+Hcap*Dw)/(Fp+Hcap*Dw));$$

Para resolver esta ecuación, se parte con un valor inicial de $F2i = K*(Dt-Dt')$, luego se sustituye $F2i$ por el nuevo $F2$ y se repite el cálculo hasta que el valor absoluto de la diferencia $F2 - F2i$ es menor que un error admisible por ejemplo 0.001. El último valor de $F2$ es el $F2$ buscado, enseguida se calcula $f2$ con

$$f2 = K*(Hcap*Dw/F2+1.0)$$

La infiltración del intervalo es $Inf = F2 - F1$ y se pasa al siguiente intervalo de tiempo.

En la situación en que $f1 \leq i1$, entonces ocurre encharcamiento al principio del intervalo y $F2$ debe calcularse con la ecuación de infiltración resolviéndola por aproximaciones sucesivas

se parte con $F2i = K*Dt$ y luego se calcula

$$F2 = K*Dt+F1+Hcap*Dw*Ln((F2i+Hcap*Dw)/(F1+Hcap*Dw))$$

Se sustituye $F2i$ por el nuevo $F2$ y se repite el cálculo hasta que el valor absoluto de la diferencia $F2 - F2i$ es menor que un error admisible por ejemplo 0.001

El valor final de $F2$ es el último iterado. Luego se calcula $f2$ con

$$f2 = K*(Hcap*Dw/F2+1.0);$$

y la infiltración del intervalo es $Inf = F2 - F1$

1.2.3 Cálculo de la Evapotranspiración

La evapotranspiración ET se estima a partir del grado de saturación del suelo, para lo cual se supone una tasa de evapotranspiración igual a la potencial para humedades mayores a S_{crit} y una tasa de evapotranspiración decreciente en forma lineal hasta anularse, para una humedad equivalente al punto de marchitez permanente S_{min} .

Por lo tanto:

- $E_t = 0$ para $s < S_{min}$
- $E_t = E_{tp} * (s - S_{min}) / (S_{crit} - S_{min})$ para $S_{min} < s < S_{crit}$
- $E_t = E_{tp}$ para $s > S_{crit}$

donde S_{min} y S_{crit} son parámetros del modelo y ETP es un dato de entrada.

1.2.4 Cálculo de la Percolación Profunda

Para evaluar la percolación profunda PP se supone que ésta ocurre sólo para grados de saturación correspondientes a humedades mayores a un nivel umbral equivalente a la capacidad de campo **Sc_c**, y que aumenta en relación cúbica con la humedad, hasta alcanzar en estado de saturación en equilibrio con la tasa de infiltración asintótica definida por la conductividad hidráulica **Kh_{id}**.

- **P_p = 0** para **s < S_{min}**
- **P_p = Kh_{id} * [(s - Sc_c) / (1 - Sc_c)]³** para **s > Sc_c**

1.2.5 Cálculo de la Escorrentía Directa

La escorrentía directa se calcula para cada hora mediante el Hidrograma Unitario de la cuenca a las lluvias efectivas.

La lluvia efectiva de cada hora es la diferencia entre la lluvia horaria y la infiltración horaria.

La escorrentía directa de cada hora se determina como la sumatoria de los productos de las N ordenadas del Hidrograma Unitario por las N lluvias efectivas horarias previas, partiendo de la hora en proceso, es decir,

$$E_{dir_t} = P_t * U_1 + P_{t-1} * U_2 + P_{t-2} * U_3 + \dots + P_{t-(n-1)} * U_n$$

Las ordenadas del Hidrograma Unitario se han obtenido mediante la metodología del Hidrograma Unitario Sintético de Benítez y Arteaga dándole la forma de Gray.

1.2.6 Cálculo de la Escorrentía Subterránea

Para evaluar la escorrentía subterránea se supone que el embalse subterráneo recibe una recarga constante durante cada intervalo de tiempo, igual a la percolación profunda **P_p**, y que descarga un flujo **E_z** (escorrentía subterránea) proporcional al volumen **V** embalsado en él, hipótesis de embalse de tipo lineal

Aplicando la ecuación de continuidad se tiene:

$$P_p - E_z = dV/dt$$

La hipótesis de embalse lineal es :

$$E_z = V/k$$

Reemplazando, la ecuación de continuidad queda :

$$P_p - E_z = k * dE_z/dt$$

y separando variables e integrando, la escorrentía subterránea instantánea vale:

$$E_z (t) = P_p + (E_{z_0} - P_p) * e^{-1/k}$$

donde:

E_{z_0} : Escorrentía subterránea al inicio del intervalo

k : Constante de tiempo

La escorrentía subterránea al final del intervalo e inicial del siguiente E_{z_f} , vale:

$$E_{z_f} = P_p + (E_{z_0} - P_p) * e^{-1/k}$$

2.- PROGRAMA DE COMPUTACIÓN.

2.1 Estructura del Programa

El programa se escribió en el lenguaje Turbo Pascal y se organizó en forma modular y estructurada. Consta del programa principal denominado **MpID** y de cuatro bibliotecas o **UNITS** que contienen subprogramas como procedimientos o funciones específicas y que pueden ser invocados por otros programas o procedimientos. Esta organización permite escribir módulos más pequeños y facilita su depuración y eventual modificación posterior.

Las **UNITS** definidas son **VarsU**, **MatU**, **ReadU** y **SimU**

El listado del programa principal y de sus **UNITS** se incluye en Anexo N° 1

Gracias al uso de los subprogramas organizados en **UNITS** el programa principal **MpID** tiene la siguiente estructura modular directa y simple :

Comenzar la ejecución

Inicializar en cero las variables (función **FillChar**)

Leer valores de los parámetros (procedure **ReadParameters**)

Leer datos organizados en archivos (procedure **ReadDataFiles**)

Asignar valores iniciales y constantes a las variables (procedure **InitializeVars**)

Efectuar la simulación y grabar resultados en disco (procedure **Simulate**)

Cerrar archivos y terminar

En **VarsU** se agrupan todas las declaraciones de constantes y variables utilizadas.

En **MatU** se incluyen funciones que son de carácter general como las funciones **max**, **min**, **Pwr** para elevar a potencia y funciones para obtener el número de días del mes y si el año es bisiesto.

ReadU contiene los procedimientos de apertura y lectura de los archivos de datos requeridos, es decir, el archivo con la identificación de los nombres de los archivos de datos de evaporación de bandeja, de ordenadas del Hidrograma Unitario de la cuenca y de los datos de las distribuciones horarias de la lluvia y la evaporación y los valores de los parámetros del modelo.

Definidos los nombres de archivos de datos se les abre y se leen los datos correspondientes.

Los datos de lluvias diarias, dada su extensión, se leen en **SimU** para cada año de la simulación

SimU contiene los diferentes procedimientos requeridos para simular los procesos hidrológicos del ciclo horario de la escorrentía que luego se integra al nivel diario.

SimU incluye los procedimientos y funciones siguientes :

- Procedure InitializeVars para inicializar las variables y constantes
- Function Infiltracion para obtener la infiltración de la lluvia con el método de Green Ampt
- Function Evapotrans para calcular la evapotranspiración del suelo
- Function PerProfunda para calcularla percolación profunda
- Procedure BalanceSuelo para efectuar el balance del suelo
- Procedure FlujoBase para calcular el flujo base
- Procedure Actualizar_Vye que permite actualizar el vector de lluvia horaria efectiva que se necesita en el método del Hidrograma Unitario
- Procedure Esc_Directa para obtener la escorrentía directa con el método del Hidrograma Unitario y la lluvia efectiva.
- Procedure Simulate es el procedimiento que efectúa la simulación horaria invocando las funciones y procedimientos anteriores.

Simulate contempla los ciclos anidados anuales, mensuales, diarios y horarios, controla la lectura de los datos diarios de las lluvias y genera los archivos de caudales medios diarios en la forma vectorial y matricial. Además genera, si se ha elegido esta opción, un archivo detallado con los valores horarios de las variables hidrológicas.

2.2 Archivos de datos

El modelo requiere los siguientes archivos de datos

- Archivo con los nombres de los archivos de datos específicos y los valores de los parámetros, por ejemplo, yyc66.dat
- Archivo con los datos de lluvias diarias, por ejemplo, yyc66.yuv
- Archivo con los datos de evaporación mensual, por ejemplo, yyc.evm
- Archivo con las ordenadas del Hidrograma Unitario de la cuenca, por ejemplo, yyc.duh
- Archivo con las distribuciones horarias de las lluvias y evaporación, por ejemplo, yyc.dye

2.3 Archivos de resultados

El modelo genera los siguientes archivos de resultados

- Archivo con los caudales medios diarios en formato de matriz, por ejemplo, yyc66.qds
- Archivo con los caudales medios diarios en formato vectorial, por ejemplo, yyc66.sml
- Archivo con el detalle horario de las variables hidrológicas, si se ha elegido esta opción, en forma vectorial, por ejemplo, yyc66.shh

3. MANUAL DE USO DEL MODELO.

El modelo se procesa invocando el módulo ejecutable **MPLD.EXE** que debe residir en la carpeta donde se encuentran los archivos de datos requeridos, o bien, en una carpeta o subdirectorio especificada en la ruta o path del archivo autoexec.bat.

El programa solicita por pantalla la especificación del nombre, sin extensión, del archivo de datos que contiene los nombres de los archivos necesarios y los valores de los parámetros, por ejemplo, **YYC66**.

Enseguida el programa solicita definir si se desea obtener un archivo con los valores detallado de las variables hidrológicas. El archivo es extenso pues entrega los valores horarios, de manera que conviene pedirlo cuando se simulan 1 o 2 años solamente.

El modelo entrega los caudales medios diarios simulados mediante dos archivos, uno en la forma vectorial como columna y otro en forma matricial con 12 columnas, una para cada mes, con los valores diarios correspondientes.

3.1 Archivos de datos

El modelo trabaja con un archivo de datos base y con otros cuatro archivos que contienen los demás datos necesarios.

3.1.1 Archivo de datos base

A continuación se muestra un ejemplo del archivo de datos para el caso de la cuenca de Lliu Lliu, definido como **YYC66.DAT**.

Ejemplo del Archivo YYC66.DAT :

CUENCA embalse Lliu Lliu subcuenca vertedero Oriente 25.77 km2

Archivo Precipitaciones

yyc66.Yud

Archivo Evaporaciones de bandeja

yyc.EVM

Archivo datos hidrograma unitario

yyc.DUH

Archivo dist.horarias de yuvia y evaporación

yyc.Dye

Años de simulación; mes de partida:

1 4

Grado de saturación inicial en o/1 :

0.50

Flujo subterráneo inicial en m3/s :

0.030

Parámetro	Valor
A °/1	0.650
B °/1	0.850
PorEf °/1	0.330

Hcap	mm	218.5
Khid	mm/h	2.500
Scc	°/1	0.789
Scrit	°/1	0.596
Smin	°/1	0.469
Hsuelo	mm	750.0
K	h	1200.0
AREA	km2	25.77□

El primer registro del archivo contiene el título que se usará para identificar los resultados del análisis, luego se deben definir los nombres de los archivos con los datos de lluvias diarias, de evaporación, de ordenadas del Hidrograma Unitario, de distribuciones horarias de la lluvia y de la evaporación. Enseguida se especifica el número de años de la simulación y el mes de partida , 4 es abril. Luego las condiciones iniciales de humedad del suelo y de flujo subterráneo y finalmente los valores de los parámetros.

El parámetro **A** puede estimarse a partir de los planos de isoyetas anuales que existan en la zona y análogamente el parámetro **B** a partir de los planos de isolíneas de evaporación.

Para elegir los valores de los parámetros de porosidad efectiva **PorEf**, de ascensión capilar **Hcap**, y de conductividad hidráulica **Khid** se puede recurrir a la Tabla que sigue donde se presentan los parámetros de infiltración de Green Ampt para varias clases de suelos. Estos antecedentes se han tomado de la Tabla 4.3.1, página 117 del libro “ Hidrología Aplicada” de Ven Te Chow, David R. Maidmenty LarryW. Mays publicado por Mc Graw Hill en 1994. Es conveniente consultar los planos de suelos que existan en la cuenca para estimar las posibles texturas de los suelos.

Parámetros de infiltración de Green Ampt para varias clases de suelos

Clase de suelo	Porosidad efectiva %/1	Ascensión capilar Hcap (cm)	Conductividad Hidráulica K (cm/h)
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

La marga, en inglés loam, es un carbonato de cal y arcilla que se usa como abono para tierras poco arcillosas.

Para los parámetros característicos del suelo **Scc** y **Smin**, que definen los grados de saturación correspondientes a la capacidad de campo y al punto de marchitez permanente, se recomienda utilizar el programa en Windows del Departamento de Agricultura de USA denominado “Soil Water Characteristics from Texture” que se puede bajar desde Internet. Los valores de estos parámetros están relativos al volumen de suelo por lo que deben convertirse a grado de saturación dividiéndolos por el % de saturación. Este programa también entrega la conductividad hidráulica que puede variar de manera importante al cambiar el contenido de materia orgánica del suelo aunque no se cambien los % de arena y arcilla.

En la Figura siguiente se muestra una imagen del menu y resultados del referido programa

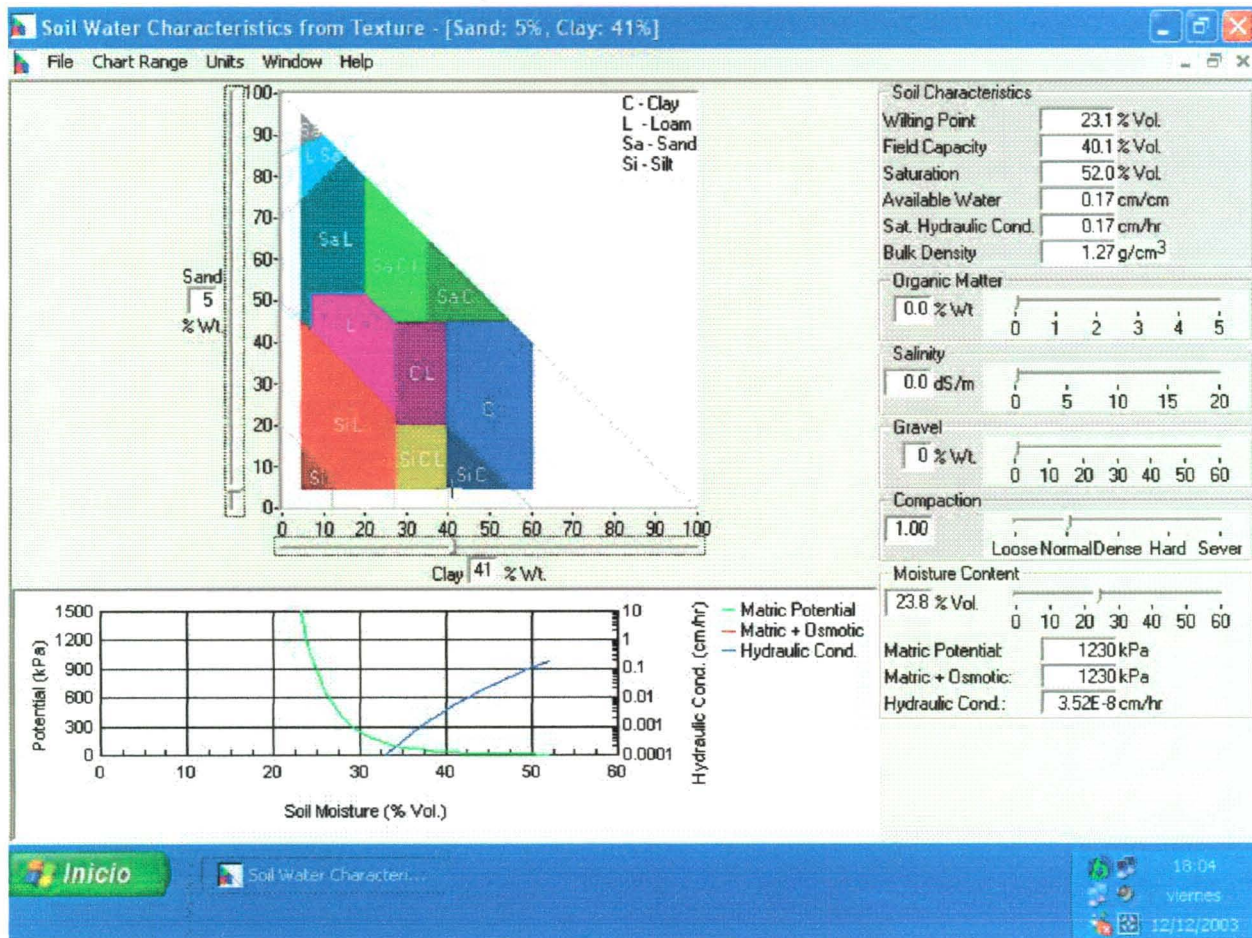
Los parámetros **Scc** y **Smin** no son independientes entre sí sino que dependen de la textura del suelo definida por los contenidos de arena y arcilla y materia orgánica.

Para el parámetro **Scrit** en las prácticas de riego se suele adoptar el valor que corresponde a una disminución de contenido de humedad de 60 % de la diferencia entre capacidad de campo y marchitez permanente, es decir,

$$\mathbf{Scrit = Scc - 0.60*(Scc - Smin)}$$

que equivale a

$$\mathbf{Scrit = 0.40 * Scc + 0.60 * Smin}$$



La profundidad del suelo **Hsuelo** también debe estimarse a partir de los estudios de suelo que puedan existir en la cuenca.

Para la constante **K** del agua subterránea conviene analizar las recesiones de las crecidas registradas en la cuenca o cuencas vecinas de características similares.

Si se va a calibrar el modelo con datos fluviométricos existentes, conviene tener presente que el modelo es bastante sensible al factor **A** que se aplica a la lluvia y a la conductividad hidráulica **K_{hid}**, por lo que se puede ajustar primero el factor **A**, luego **K_{hid}** variándolo en torno al valor según tipo de suelo y luego los demás parámetros.

3.1.2 Otros Archivos de datos

El modelo requiere los archivos con los datos de las lluvias diarias, de la evaporación, de las ordenadas del Hidrograma Unitario y de las distribuciones horarias. Ejemplos de estos archivos se presentan a continuación.

En el archivo de lluvias diarias debe ingresarse como -1.0 el dato de los días inexistentes como el del día 31 para los meses de 30 días o los de los días 29, 30 y 31 del mes de febrero.

Ejemplo archivo de datos de lluvias :YYC66.YUD

Cuenca embalse Lliu Lliu
Lluvias diarias observadas (mm).Fuente memoria Ernesto Brown F.

año	dia	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
1966	1	0	0	1	0	14.1	0	0	0	0	0	0	0
1966	2	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0
1966	3	0	1	0	0	0	0	0	0	21.6	0	0	0
1966	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1966	6	0	0	0	0	0	3.3	0	0	0	0	0	0
1966	7	0	0	0.4	0	0	0	0	10.5	0	0	0	0
1966	8	0	0	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	9	0	0	53.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	10	0	0	9.3	69.3	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	11	2.9	0	0.3	38.4	6.5	0	0	0	0	0	0	0
1966	12	0	9	2.3	4.7	2	0	0	0	2	0	0	0
1966	13	0	0	37.1	0	0.3	1.8	0	0	0	0	0	0
1966	14	0	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	15	0	0	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	16	0	0	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	17	19	0	0	0	0.6	1.5	0	0.2	0	0	0	0
1966	18	12.5	0	0	61.6	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	20	31.1	8.6	50.1	14.8	0	0	3.8	0	0	0	0	0
1966	21	13.3	0	64.4	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	24	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	25	2.2	0	1.5	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
1966	26	0	0	3.6	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1966	27	0	0	13.8	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
1966	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	29	0	0	0	0	0	1.3	0	0	0	0	-1	0
1966	30	0	0	0	0	23.3	0	0	0	0	0	-1	0
1966	31	-1	0	-1	0	0	-1	0	-1	0	0	-1	0

Ejemplo archivo de evaporación : YYC.EVM

Cuenca embalse Lliu Lliu.
Evaporación mensual Pan A (mm).Promedio de los evaporímetros.

Año	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	suma
1990	79.2	42.3	21.3	20.7	34.3	64.3	103.8	154.1	198.8	215.5	173.2	143.0	1250.5

Ejemplo archivo de distribuciones horarias :YYC.DYE

Distribuciones horarias
de la lluvia y de 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	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.7000	0.2616	0.0916	0.0000
9	0.3000	0.2456	0.1700	0.0200
10	0.0000	0.1642	0.1366	0.0500
11	0.0000	0.1103	0.1090	0.1000
12	0.0000	0.1015	0.0841	0.1600
13	0.0000	0.1168	0.0801	0.2000
14	0.0000	0.0000	0.0576	0.1800
15	0.0000	0.0000	0.0527	0.1400
16	0.0000	0.0000	0.0511	0.0900
17	0.0000	0.0000	0.0504	0.0500
18	0.0000	0.0000	0.0693	0.0100
19	0.0000	0.0000	0.0475	0.0000
20	0.0000	0.0000	0.0000	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

Ejemplo archivo de ordenadas Hidrograma Unitario :YYC.DUH

LLiuLLiu vert Oriente
Hidrograma Unitario duración 1 hora y lluvia unitaria de 1 mm

t	U[t, 1.0]
horas	m3/s/mm
1	0.04001
2	1.48831
3	3.02044
4	1.86335
5	0.59861
6	0.12728
7	0.02036
8	0.00264
9	0.00029
10	0.00003

3.2 Archivos de resultados

El modelo genera tres tipos de archivos de resultados : los caudales medios diarios en la forma de vector columna y los mismos en la forma de caudales medios diarios en columnas para cada mes, además, si se ha solicitado, el detalle con los valores horarios de las variables hidrológicas.

Ejemplo archivo de caudales medios diarios matricial : YYC66.QDS

CUENCA embalse Lliu Lliu subcuenca vertedero Oriente 25.77 km2
Caudales medios diarios simulados (m3/seg)

Año	dia	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
1966	1	0.030	0.016	0.009	0.368	0.557	0.314	0.172	0.093	0.051	0.027	0.015	0.008
1966	2	0.029	0.016	0.009	0.364	0.552	0.308	0.169	0.091	0.050	0.027	0.014	0.008
1966	3	0.029	0.016	0.008	0.360	0.546	0.302	0.165	0.089	0.049	0.026	0.014	0.008
1966	4	0.028	0.015	0.008	0.355	0.538	0.296	0.162	0.087	0.048	0.026	0.014	0.008
1966	5	0.027	0.015	0.008	0.350	0.530	0.290	0.159	0.086	0.047	0.025	0.014	0.008
1966	6	0.027	0.015	0.008	0.344	0.521	0.284	0.156	0.084	0.046	0.025	0.013	0.008
1966	7	0.026	0.014	0.008	0.338	0.511	0.278	0.153	0.082	0.045	0.024	0.013	0.007
1966	8	0.026	0.014	0.008	0.332	0.502	0.273	0.150	0.081	0.044	0.024	0.013	0.007
1966	9	0.025	0.014	1.619	0.326	0.492	0.267	0.147	0.079	0.043	0.023	0.013	0.007
1966	10	0.025	0.014	0.007	4.783	0.482	0.262	0.144	0.077	0.042	0.023	0.012	0.007
1966	11	0.024	0.013	0.007	1.184	0.473	0.257	0.141	0.076	0.042	0.022	0.012	0.007
1966	12	0.024	0.013	0.007	0.476	0.464	0.252	0.138	0.074	0.041	0.022	0.012	0.007
1966	13	0.023	0.013	0.533	0.511	0.456	0.247	0.135	0.073	0.040	0.022	0.012	0.007
1966	14	0.023	0.013	0.007	0.521	0.447	0.242	0.133	0.071	0.039	0.021	0.011	0.006
1966	15	0.022	0.012	3.918	0.523	0.439	0.237	0.130	0.070	0.038	0.021	0.011	0.006
1966	16	0.022	0.012	0.035	0.520	0.430	0.232	0.128	0.069	0.038	0.020	0.011	0.006
1966	17	0.022	0.012	0.054	0.515	0.421	0.228	0.125	0.067	0.037	0.020	0.011	0.006
1966	18	0.021	0.012	0.065	3.919	0.413	0.223	0.123	0.066	0.036	0.019	0.010	0.006
1966	19	0.021	0.011	0.072	0.574	0.405	0.219	0.120	0.065	0.035	0.019	0.010	0.006
1966	20	0.130	0.011	1.933	0.602	0.397	0.215	0.118	0.063	0.035	0.019	0.010	0.006
1966	21	0.020	0.011	4.079	0.628	0.389	0.210	0.115	0.062	0.034	0.018	0.010	0.006
1966	22	0.020	0.011	0.287	0.637	0.381	0.206	0.113	0.061	0.033	0.018	0.010	0.006
1966	23	0.019	0.010	0.323	0.637	0.374	0.202	0.111	0.060	0.033	0.018	0.009	0.005
1966	24	0.019	0.010	0.336	0.632	0.366	0.198	0.109	0.058	0.032	0.017	0.009	0.005
1966	25	0.018	0.010	0.341	0.625	0.359	0.194	0.107	0.057	0.031	0.017	0.009	0.005
1966	26	0.018	0.010	0.344	0.617	0.352	0.190	0.104	0.056	0.031	0.017	0.009	0.005
1966	27	0.018	0.010	0.350	0.607	0.345	0.187	0.102	0.055	0.030	0.016	0.009	0.005
1966	28	0.017	0.009	0.363	0.598	0.338	0.183	0.100	0.054	0.030	0.016	0.009	0.005
1966	29	0.017	0.009	0.369	0.587	0.332	0.179	0.098	0.053	0.029	0.016	-1.000	0.005
1966	30	0.017	0.009	0.370	0.577	0.325	0.176	0.096	0.052	0.028	0.015	-1.000	0.005
1966	31	-1.000	0.009	-1.000	0.566	0.319	-1.000	0.095	-1.000	0.028	0.015	-1.000	0.005

Ejemplo archivo de caudales medios diarios vectorial (sólo parte) : YYC62.sml

CUENCA embalse Lliu Lliu subcuena vertedero Oriente 25.77 km2
SIMULACION DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS (m3/s)

A	°/1	=	0.65
B	°/1	=	0.85
PorEf	°/1	=	0.33
Hcap	mm	=	218.5
Khid	mm/hr	=	2.5
Sc	°/1	=	0.789
Scrit	°/1	=	0.596
Smin	°/1	=	0.469
Hsuelo	mm	=	750
K	hr	=	1200
AREA	km2	=	25.77

CAUDALES MEDIOS DIARIOS SIMULADOS:

Año	Mes	Día	Sim
1966	abr	1	0.03
1966	abr	2	0.029
1966	abr	3	0.029
1966	abr	4	0.028
1966	abr	5	0.027
1966	abr	6	0.027
1966	abr	7	0.026
1966	abr	8	0.026
1966	abr	9	0.025
1966	abr	10	0.025
1966	abr	11	0.024
1966	abr	12	0.024
1966	abr	13	0.023
1966	abr	14	0.023
1966	abr	15	0.022
1966	abr	16	0.022
1966	abr	17	0.022
1966	abr	18	0.021
1966	abr	19	0.021
1966	abr	20	0.13
1966	abr	21	0.02
1966	abr	22	0.02
1966	abr	23	0.019
1966	abr	24	0.019
1966	abr	25	0.018
1966	abr	26	0.018
1966	abr	27	0.018
1966	abr	28	0.017
1966	abr	29	0.017
1966	abr	30	0.017
1966	may	1	0.016
1966	may	2	0.016
1966	may	3	0.016
1966	may	4	0.015
1966	may	5	0.015

Ejemplo archivo detallado : YYC66.shh

CUENCA embalse Lliu Lliu subcuena vertedero Oriente 25.77 km2
SIMULACION DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS (m3/s)

yy	mm	dd	hh	YuvD	YuvH	Inf	Etr	Perp	Hfin	GSat	YuvE	EDir	Esub	Etot	EtotD
1966	jun	21	1	41.9	0	0	0	0.51	225.59	0.911	0	0	0.02	0.02	
1966	jun	21	2	41.9	0	0	0	0.49	225.1	0.91	0	0	0.02	0.02	
1966	jun	21	3	41.9	0	0	0	0.47	224.64	0.908	0	0	0.02	0.02	
1966	jun	21	4	41.9	0	0	0	0.44	224.19	0.906	0	0	0.02	0.02	
1966	jun	21	5	41.9	0	0	0	0.42	223.77	0.904	0	0	0.02	0.02	
1966	jun	21	6	41.9	0	0	0	0.41	223.36	0.902	0	0	0.02	0.02	
1966	jun	21	7	41.9	0	0	0	0.39	222.97	0.901	0	0	0.02	0.02	
1966	jun	21	8	41.9	3.83	2.58	0	0.49	225.07	0.909	1.25	0.01	0.02	0.03	
1966	jun	21	9	41.9	7.12	2.57	0.01	0.59	227.03	0.917	4.54	0.29	0.02	0.31	
1966	jun	21	10	41.9	5.72	2.57	0.03	0.71	228.86	0.925	3.15	1.49	0.02	1.51	
1966	jun	21	11	41.9	4.56	2.56	0.06	0.82	230.53	0.931	2	2.91	0.02	2.93	
1966	jun	21	12	41.9	3.52	2.55	0.1	0.94	232.05	0.938	0.97	3.04	0.02	3.06	
1966	jun	21	13	41.9	3.35	2.55	0.12	1.06	233.42	0.943	0.8	2.27	0.02	2.3	
1966	jun	21	14	41.9	2.41	2.41	0.11	1.16	234.56	0.948	0	1.44	0.02	1.47	
1966	jun	21	15	41.9	2.21	2.21	0.08	1.25	235.44	0.951	0	0.83	0.02	0.85	
1966	jun	21	16	41.9	2.14	2.14	0.05	1.32	236.2	0.954	0	0.34	0.03	0.36	
1966	jun	21	17	41.9	2.11	2.11	0.03	1.4	236.88	0.957	0	0.09	0.03	0.12	
1966	jun	21	18	41.9	2.9	2.53	0.01	1.51	237.9	0.961	0.37	0.02	0.03	0.05	
1966	jun	21	19	41.9	1.99	1.99	0	1.56	238.33	0.963	0	0.08	0.03	0.11	
1966	jun	21	20	41.9	0	0	0	1.4	236.93	0.957	0	0.16	0.03	0.19	
1966	jun	21	21	41.9	0	0	0	1.27	235.66	0.952	0	0.1	0.03	0.13	
1966	jun	21	22	41.9	0	0	0	1.16	234.5	0.947	0	0.03	0.03	0.06	
1966	jun	21	23	41.9	0	0	0	1.06	233.44	0.943	0	0.01	0.03	0.04	
1966	jun	21	24	41.9	0	0	0	0.98	232.47	0.939	0	0	0.03	0.04	13.68

En el Anexo N ° 2 se incluyen los datos y resultados, en forma numérica y gráfica de la aplicación del modelo para el año 1966/67 en la cuenca del embalse Lliu Lliu.

ANEXO N° 1

**LISTADO DEL PROGRAMA
MPLD
Y DE SUS UNITS**

```

Program MplD;
{-----}
{ Program   : MplD.PAS           }
{ Autor    : Pablo Isensee M.   }
{ Versiøn  : 3.00 Fecha : nov/2003 }
{ Descripciøn : Simula la escorrentja en cuenca pluvial }
{           La escala es a nivel horario.           }
{           Se usa el Hidrograma Unitario.         }
{           Se entregan los caudales medios diarios simulados }
{-----}

```

```

uses
  Dos, Crt, VarsU, MatU, SimU, ReadU;
begin
  TextBackGround(LightBlue);Clrscr; TextColor(White);
  FillChar(EM, SizeOf(EM), 0);
  FillChar(Yd, SizeOf(Yd), 0);
  FillChar(Qds, SizeOf(Qds), 0);
  FillChar(UH, SizeOf(UH), 0);
  FillChar(Vuh, SizeOf(Vuh), 0);
  FillChar(DHYu, SizeOf(DHYu), 0);
  FillChar(DHEv, SizeOf(DHEv), 0);
  FillChar(VecPrm, SizeOf(VecPrm), 0);

  ReadParameters;
  ReadDataFiles;

  InitializeVars(VecPrm);
  Simulate(VecPrm, Qds, Yd, EM);

  GoToXY(2, 10);
  Writeln('Programa MPLD.pas terminado. ')
end.

```

```

Unit VarsU;
{-----}
{ Unit      : VarsU.PAS }
{ Versiçn   : 1.00      Fecha : 09/Agosto/1990 }
{ Revisiçn  : F        Fecha : ago/1999, nov2003 P. Isensee M. }
{ Descripciçn : Unit para definir los tipos, constantes y variables co- }
{             : munes de todas las Units del programa. }
{-----}

INTERFACE

const
  NumPrm = 11; { Número de par metros }
  MaxNu=120; { N max de ordenadas del UH }
  MaxSize = 60; { Tamayo max matriz de caudales, precipitaciçn }
  PrmID : array[1..NumPrm] of String[12] =
    ('A $/1 ', 'B $/1 ', 'PorEf $/1 ', 'Hcap mm ', 'Khid mm/hr ',
     'Scc $/1 ', 'Scrit $/1 ', 'Smin $/1 ', 'Hsuelo mm ',
     'K hr ', 'AREA km2 ');
  Tmes:array[1..12] of string[3]=
    ('ene','feb','mar','abr','may','jun',
     'jul','ago','sep','oct','nov','dic');
  DetHeader:string=
    ' yy mm dd hh YuvD YuvH Inf Etr Perp Hfin GSat YuvE EDir
Esub Etot EtotD';

  Fw=6;dc=2;

type
  Vector = array[1..NumPrm] of real;
  Real12Vec = array[1..12] of real;
  RealDiaMat = array[1..12,1..31] of real;
  TEmbalseSuperficial = record
    Gsat : Real; { Grado de saturaciçn instant neo del suelo }
    INF : Real; { Entrada horaria al embalse : Infiltraciçn }
    PP : Real; { Descarga horaria del embalse : percolaciçn profunda }
    ETr : Real; { Descarga horaria del embalse : evapotranspiraciçn }
    Hf : Real; { l mina de agua final en mm }
  end;
  TEmbalseSubterraneo = record
    PP : Real; { percolaciçn profunda }
    EZSal: Real; { escorrent;a subt. saliente }
  end;
  TEscorrentia = record
    Super : Real; { Escorrent;a superficial }
    Subte : Real; { Escorrent;a subterr nea }
    Total : Real; { Escorrent;a total }
  end;
var
  EmbSup : TEmbalseSuperficial;
  EmbSub : TEmbalseSubterraneo;
  Esc : TEscorrentia;
  Nmes : string[3];
  Titmes: string[5];
  MonthDays,Nu, NYearsOfSml,Stmes,meskln,
  Tdh, jj,hh,dd,mm,yy,i,j,d,dia : byte;
  Sini : real; { Grado de saturaciçn inicial en o/1 }
  EZini : real; { Flujo subterr neo inicial en mm }

```

```

Indyear:array[1..MaxSize] of integer;
DHYu:array[1..24,1..3] of real;
DHEv:array[1..24] of real;
UH,Vuh,VYe,VyeAux:array[1..MaxNu] of real;
VecPrm : Vector;

A, B, PorEf, Hcap, Khid, Scc, Scrit, Smin, Hsuelo, K, Area, Hmax,

INVHMAX, ETPd, ETPh, YuviaD, Yuviah, Yuviahe, EscTotDia,
KSBl, KET2, KPP2, KQ, Kqd : Real;

YdFile, EMFile, UHFile, DHFile,
WDetVarFile, WQdsVecFile, WQdsMatFile:text;
TpoVarSal: char;
TFName : string;
Yd,Qds : RealDiaMat;
EM : Real12Vec;
Ydfname, EMfname, UHFname, DHFname, fnm0, fnm : string[12];
Y, Hour, Minute, Second, Sec100, Year, Month, Day, DayOfWeek : word;

```

IMPLEMENTATION

```

begin
end.

```

□

```

Unit MatU;
{-----}
{   Unit           : MatU.PAS                               }
{   Descripción    : Unit con funciones y procedimientos de uso }
{                   frecuente en los programas.             }
{   Autor          : Pablo Isensee M.                       }
{   Fecha          : dic 1994, sep 1996, ago 1999           }
{-----}

```

INTERFACE

```

function Pwr(BaseArg,ExpArg:real):real;
function max(Arg1,Arg2:real):real;
function min(Arg1,Arg2:real):real;
function klndmes (Stmes,j:byte):byte;
function FBisiesto (Year:word;Stmes:byte):word;
function FDiasMes (Year:word;Stmes,j:byte):byte;

```

IMPLEMENTATION

```

function Pwr(BaseArg,ExpArg:real):real;
begin
  Pwr:=Exp(ExpArg*Ln(BaseArg))
end;

function max(Arg1,Arg2:real):real;
begin
  if Arg1>Arg2 then max:=Arg1
  else max:=Arg2;
end;{ max }

function min(Arg1,Arg2:real):real;
begin
  if Arg1<Arg2 then min:=Arg1
  else min:=Arg2;
end;{ min }

function klndmes (Stmes,j:byte):byte;
var meskln:byte;
begin
  meskln:=(Stmes-1+j) mod 12;
  if meskln=0 then meskln:=12;
  klndmes:=meskln;
end;{ klndmes }

function FBisiesto (Year:word;Stmes:byte):word;
begin
  if Stmes>1 then
    FBisiesto:=Year+1 mod 4
  else
    FBisiesto:=Year mod 4
end;

function FDiasMes (Year:word;Stmes,j:byte):byte;
const

```

```

    DiasMes:array[1..12] of byte=(31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31);
var
    Bisiesto:word;
    meskln: byte;
begin
    Bisiesto:=FBisiesto(Year,Stmes);
    meskln:=klndmes(Stmes,j);
    FDiasMes:=DiasMes[meskln];
    if(meskln=2) and (Bisiesto=0) then FDiasMes:=29
end;{ FDiasMes }

end. { MatU }□

```

```

Unit ReadU;
{-----}
{   Unit           : ReadU.PAS                               }
{   Descripci3n    : Unit con procedimientos   Read         }
{   Autor          : Pablo Isensee M.           }
{   Fecha          : nov 2003                   }
{-----}

INTERFACE
  uses Crt,VarsU;

  Procedure ReadParameters;
  Procedure ReadDataFiles;

IMPLEMENTATION
  Procedure ReadParameters;
  var
    RParFile : text;
    i : byte;
    string12:string[12];
  begin
    GoToXY(2,2);WriteLn('MplD: Simulaci3n de caudales medios diarios');
    GoToXY(2,4);write('Ingrese nombre archivo de datos (sin extensi3n) ');
    ReadLn(fnm0);
    GoToXY(2,6);
    write('Defina tipo de variable de salida ( d= detalle; r= resumen ) ');
    ReadLn(TipoVarSal);TipoVarsal:=UpCase(TipoVarSal);

    Assign(RParFile,fnm0+'.dat');
    Reset(RParFile);

    ReadLn(RParFile,TFName);          (* Nombre de la cuenca *)
    ReadLn(RParFile);
    ReadLn(RParFile,Ydfname); (* Archivo de precipitaciones diarias *)
    ReadLn(RParFile);
    ReadLn(RParFile,EMfname); (* Archivo de evaporaciones mensuales de
bandeja *)
    ReadLn(RParFile);
    ReadLn(RParFile,UHfname); (* Archivo hid unitario *)
    ReadLn(RParFile);
    ReadLn(RParFile,DHfname); (* Archivo dist. horaria yuvia y evaporacions
*)
    ReadLn(RParFile);
    ReadLn(RParFile,NyearsOfSml,Stmes); (* N3 a3os de simulaci3n;mes
inicial *)
    ReadLn(RParFile);
    ReadLn(RParFile,Sini); (* Grado de saturaci3n inicial en o/1 *)
    ReadLn(RParFile);
    ReadLn(RParFile,EZini); (* Flujo subterr neo inicial en m3/s *)
    ReadLn(RParFile);
    ReadLn(RParFile);
    for i := 1 to NumPrm do
      ReadLn(RParFile, String12, VecPrm[i]);
    Close(RParFile)
  end; { ReadParameters }

```

```

Procedure ReadDataFiles;
var
  i,j:byte;
  Y : integer;
begin
  Assign(EMFile,EMfname); { Evapotranspiraci3n mensual en mm }
  Reset(EMFile);
  Assign(UHFile,UHfname); {Hid Unitario 1 hora de duraci3n m3/s/mm }
  Reset(UHFile);
  Assign(DHFile,DHfname); {Dist.horaria yuvia y evaporaci3n }
  Reset(DHFile);

  for i := 1 to 5 do
  begin
    Readln(EMFile);
    Readln(UHFile);
    Readln(DHFile)
  end;

  Read(EMFile, Y);
  for j := 1 to 12 do
    Read(EMFile, EM[j]);
  Close(EMFile);

  while not Eof(UHFile) do
  begin
    Read(UHFile, Y);Readln(UHFile,UH[Y]);
    Nu:=Nu+1
  end;
  Close(UHFile);

  for j := 1 to 24 do
    Readln(DHFile, Y,DhYu[j,1],DhYu[j,2],DhYu[j,3],DHEv[j]);
  Close(DHFile)
end; { ReadDataFiles }
end. { RwU }□

```



```

Unit SimU;
{-----}
{ Unit      : SimU.PAS }
{ Versi n   : 1.00     Fecha : 09/Agosto/1990 }
{ }
{ Descripci n : Rutina del modelo de simulación hidrológico para }
{ cuencas pluviales. }
{ }
{ Modificaciones : Pablo Isensee M. nov96,sep97,ago99,nov03 }
{ }
{ Se simula a nivel horario el ciclo de }
{ escorren;a de la cuenca aplicando la ecuación de }
{ continuidad sobre un elemento de rea de la cuenca. }
{ Se aplica el HUS para obtener la esc. directa }
{ nov2003: se cambia infiltración por m,todo Green Ampt. }
{-----}

```

INTERFACE

```
uses MatU,VarsU;
```

```

Procedure InitializeVars(Param:Vector);
Function Infiltracion( s:Real ): Real;
Function Evapotrans( s:Real ) : Real;
Function PerProfunda( s:Real ) : Real;
procedure BalanceSuelo( s:Real ) ;
procedure FlujoBase ( var EZ,PP:Real);
Procedure Actualizar_Vye(YuvEf:Real);
Procedure Esc_Directa(var EDir:Real);

```

```

{ Simulate simula el ciclo hidrológico horario para todos }
{ los d;as y meses de todos los años de la estad;stica. }

```

```
}
```

```

Procedure Simulate(Param : Vector;
                   var Qds: RealDiaMat;
                   var Yd : RealDiaMat;
                   var EM : Real12Vec);

```

IMPLEMENTATION

```

Procedure InitializeVars(Param:Vector);
{ Inicializa las constantes y variables globales del programa }
var jj:byte;
begin
  A      := Param[1];    { Par metros del modelo }
  B      := Param[2];    { ll en total }
  PorEf := Param[3];
  Hcap  := Param[4];
  Khid  := Param[5];
  Scc   := Param[6];
  Scrit := Param[7];
  Smin  := Param[8];
  Hsuelo:= Param[9];
  K     := Param[10];
  AREA  := Param[11];

  Hmax := Hsuelo*Poref;
  INVHMAX := 1/Hmax;    { Inverso de la l mina m xima de agua }

```

```

KSBl := exp(-1/K);           { Constantes funci3n Esc_Subterr nea }
KET2 := 1 / (SCRIT - SMIN);
KPP2 := Khid / pwr(1 - SCC,3.0);{ Constante funci3n PerProfunda }
KQ  := AREA/3.6;           { Cte para transformar mm/hora a m3/seg }
Kqd := Area/86.4;
FillChar(Esc,SizeOf(Esc),0);
FillChar(EmbSup,SizeOf(EmbSup),0);
FillChar(EmbSub,SizeOf(EmbSub),0);
FillChar(VYe,SizeOf(VYe),0);
EmbSub.EZSal := EZini/Kq;
    { Escorrent;a subterr nea inicial del d;a 1 en mm/hora. }
EmbSup.Gsat := Sini;       { Grado de saturaci3n inicial del d;a 1 }
for jj:=1 to Nu do VUh[jj]:=Uh[jj]/Kq;
    { Convierte las ordenadas del Uh de m3/seg a mm/hora }
end; { InitializeVars }

Function Infiltracion( s:Real ): Real;
{ estima la infiltraci3n de una hora con el m,todo de Green Ampt }
var
    Dt,DtPr,Dw,HcapDw,f1,Fac1,fPr2,f2,Fac2,FacPr2,
    IntY1,FacIni,FacFin,FacP:Real;
begin
    { calculos auxiliares }
    Dt:=1.0;
    Dw :=(1-s)*PorEf;

    HcapDw:=Hcap*Dw;
    Fac1:= Hmax*s;
    IntY1 := Yuviah/Dt;

    { m,todo de Green Ampt }
    if Fac1 > 0.0 then
        f1 :=Khid*(HcapDw/Fac1+1.0)
    else
        f1:=100*IntY1;

    if f1 > IntY1 then
    begin
        FacPr2:=Fac1+IntY1*Dt;
        fPr2:=Khid*(HcapDw/FacPr2+1.0);
        if fPr2 > IntY1 then
            Fac2:=FacPr2
        else { fPr2 <= IntY1 }
        begin
            FacP := Khid*HcapDw/(IntY1-Khid);
            DtPr := (FacP-Fac1)/IntY1;
            {Fac2 debe obtenerse resolviendo iterativamente}
            FacFin := Khid*(Dt-DtPr);
            repeat
                FacIni:=FacFin;
                FacFin:=Khid*(Dt-
DtPr)+FacP+HcapDw*Ln((FacIni+HcapDw)/(FacP+HcapDw));
                until abs(FacFin-FacIni)< 0.001;
                Fac2:=FacFin
            end; { else fPr2 <= IntY1 }
        end { begin f1 > IntY1 }
    else { f1 <= IntY1 }

```

```

begin
  {Fac2 debe obtenerse resolviendo iterativamente}
  FacFin := Khid*Dt;
  repeat
    FacIni:=FacFin;
    FacFin:=Khid*Dt+Fac1+HcapDw*Ln((FacIni+HcapDw)/(Fac1+HcapDw));
  until abs(FacFin-FacIni)< 0.001;
  Fac2:=FacFin
end; { begin f1 <= IntY1 }
f2 :=Khid*(HcapDw/Fac2+1.0);
Infiltracion := max(0.0,Fac2-Fac1)
end; { Infiltraci3n }

Function Evapotrans( s:Real ) : Real;
{ Esta funci3n calcula la evapotranspiraci3n real instant nea en mm }
begin
  if s > Scrit then
    Evapotrans := ETPh
  else
    if Smin <= s then
      Evapotrans := (s - Smin) * KET2*ETPh
    else
      Evapotrans := 0
  end; { Evapotrans }

Function PerProfunda( s:Real ) : Real;
{ Esta funci3n calcula la percolaci3n profunda instant nea en mm }
begin
  if s > Scc then
    PerProfunda := pwr(s-Scc,3.0)* KPP2
  else
    PerProfunda := 0.0
  end; { PerProfunda }

procedure BalanceSuelo( s:Real ) ;
var
  Hfin:Real;
begin
  EmbSup.Inf := Infiltracion(s);
  Hfin:=s*Hmax+EmbSup.Inf;
  EmbSup.ETr :=min(Evapotrans(Hfin/Hmax),Hfin);
  Hfin:=Hfin-EmbSup.Etr;
  EmbSup.PP:=min(PerProfunda(Hfin/Hmax),max(Hfin-Scc*Hmax,0.0));
  { como m ximo percola el exceso sobre Capacidad de campo }
  EmbSub.PP:=EmbSup.PP;
  Hfin:=Hfin-EmbSup.PP;
  EmbSup.Gsat := Hfin/Hmax;
  EmbSup.Hf:=Hfin
end; { BalanceSuelo }

procedure FlujoBase ( var EZ,PP:Real);
{ Este procedimiento calcula la escorrent;a subterr nea
al final de la hora en mm.}
begin
  EZ := max(0.0, PP+(EZ - PP)*KSB1)
end; { FlujoBase }

```

```

Procedure Actualizar_Vye(YuvEf:Real);
{ Este procedimiento actualiza el vector de yuvia efectiva }
var jj:byte;
begin
  VyeAux:=Vye;
  for jj:=2 to Nu do
    VYe[jj]:=VyeAux[jj-1];
  VYe[1]:=YuvEf
end; { Actualizar_VYe }

Procedure Esc_Directa(var EDir:Real);
{ Este procedimiento calcula la escorrentía directa de la hora en proceso
mediante el hidrograma unitario y el vector de yuvia efectiva }
var EscDh:Real;
  jj:byte;
begin
  EscDh:=0.0;
  for jj:=1 to Nu do
    EscDh:=EscDh+VYe[jj]*VUh[jj];
  EDir:=EscDh
end; { Esc_Directa }

Procedure Simulate(Param : Vector; { par metros del modelo }
  var Qds: RealDiaMat; { Caudal medio diario simulado }
  var Yd : RealDiaMat; { yuvias diarias }
  var EM : Real12Vec); { evapotranspiración mensual }

begin { body procedure Simulate }
  Assign(YdFile,YdFname);
  Reset(YdFile);
  for j:=1 to 5 do readln(YdFile);

  if TipoVarSal = 'D' then
  begin
    Assign(WDetVarFile,fnm0+'.shh');
    Rewrite(WDetVarFile);
    writeln(WDetVarFile,TFname);
    writeln(WDetVarFile,'Detalle de variables de la simulación');
    writeln(WDetVarFile);
    writeln(WDetVarFile,DetHeader);
    writeln(WDetVarFile)
  end;

  Assign(WQdsVecFile,fnm0+'.sml');
  Rewrite(WQdsVecFile);

  Writeln(WQdsVecFile,TFName);
  Writeln(WQdsVecFile,'SIMULACION DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS (m3/s)');
  Writeln(WQdsVecFile);
  Writeln(WQdsVecFile,'PARAMETROS SIMULACION:');
  for i := 1 to NumPrm do
    Writeln(WQdsVecFile,PrmID[i]:12,' = ',VecPrm[i]:10:5);
  Writeln(WQdsVecFile);
  Writeln(WQdsVecFile,'CAUDALES MEDIOS DIARIOS SIMULADOS:');
  Writeln(WQdsVecFile,'Año':5,'Mes':5,'Día':5,'Sim':8);
  Writeln(WQdsVecFile);

```

```

Assign(WQdsMatFile,fnm0+'.qds');
Rewrite(WQdsMatFile);

    { Se graba encabezamiento de la matriz de
      los caudales medios diarios simulados }
Writeln(WQdsMatFile,TFName);
Writeln(WQdsMatFile,'Caudales medios diarios simulados (m3/seg)' );
Writeln(WQdsMatFile);
Write(WQdsMatFile,' Año',' dia');
for j:=1 to 12 do
  Write(WQdsMatFile,Tmes[klndmes(Stmes,j)]:8);
Writeln(WQdsMatFile);Writeln(WQdsMatFile);

for yy := 1 to NYearsOfSml do { Ciclo para todos los años }
begin

{ Se lee la matriz de lluvias diarias del año }
for d := 1 to 31 do
begin
  if d=1 then
    Read(YdFile, IndYear[yy],dia)
  else
    Read(YdFile,Y,dia);
  for j:= 1 to 12 do
    Read(YdFile, Yd[j,d]);
  Readln(YdFile)
end; {d for }

for mm := 1 to 12 do { Ciclo para todos los meses de cada año }
begin
  Qds[mm,29]:=-1.0;
  Qds[mm,30]:=-1.0;
  Qds[mm,31]:=-1.0;

  if Stmes > 2 then
    MonthDays:=FDiasMes(IndYear[yy]+1,Stmes,mm)
  else
    MonthDays:=FDiasMes(IndYear[yy],Stmes,mm);
  Nmes:=Tmes[klndmes(Stmes,mm)];
  ETPd := EM[mm] * B/MonthDays; { ETP diaria mm/dia }
  for dd := 1 to MonthDays do { Ciclo para los días del mes }
  begin
    Yuviad:=A*Yd[mm,dd];
    if Yuviad < 1.0 then
      Tdh:=1
    else
      if Yuviad < 10.0 then
        Tdh:=2
      else
        Tdh:=3;

    EscTotDia:=0.0;
    for hh:=1 to 24 do
    begin
      ETPh:=ETPd*DHev[hh];
      Yuviah:=DHyu[hh,Tdh]*Yuviad;

```

```

BalanceSuelo(EmbSup.Gsat);
Yuviahe:=max(0.0,Yuviah-EmbSup.Inf);
Actualizar_VYe(Yuviahe);
Esc_Directa(Esc.Super);
FlujoBase(EmbSub.EZsal,EmbSub.PP);
Esc.Subte := EmbSub.EZsal;
Esc.Total := Esc.Super + Esc.Subte;
EscTotDia:=EscTotDia+Esc.Total;

if TipoVarSal = 'D' then
begin
write(WDetVarFile,IndYear[yy]:4,Nmes:4,dd:3,hh:3,
      Yuviad:Fw:1,Yuviah:Fw:dc);
write(WDetVarFile,EmbSup.Inf:Fw:dc,EmbSup.Etr:Fw:dc,
      EmbSup.PP:Fw:dc,EmbSup.Hf:Fw+1:dc,EmbSup.Gsat:Fw:3);
write(WDetVarFile,Yuviahe:Fw:dc,Esc.Super:Fw:dc,
      Esc.Subte:Fw:dc,Esc.Total:Fw:dc);
if hh=24 then
writeln(WDetVarFile,' ',EscTotDia:Fw:dc)
else
writeln(WDetVarFile)
end {if TipoVarSal }

end; { for hh}
Qds[mm,dd]:=Kqd*EscTotDia;
Writeln(WQdsVecFile,IndYear[yy]:5,Nmes:5,dd:5,Qds[mm,dd]:8:3)
end; { for dd }
end; { for mm }

{ Se graba la matriz de caudales medios diarios del año }
for d := 1 to 31 do
begin
Write(WQdsMatFile,IndYear[yy]:5,d:5);
for j:= 1 to 12 do
Write(WQdsMatFile,Qds[j,d]:8:3);
Writeln(WQdsMatFile)
end { d for }
end; { for yy }
if TipoVarSal = 'D' then
close(WDetVarFile);
close(YdFile);
close(WQdsVecFile);
close(WQdsMatFile)
end; { procedure Simulate }

begin
end.□

```

ANEXO N ° 2

RESULTADOS DE UNA APLICACIÓN EN LA CUENCA DE LLIU LLIU

En este Anexo se presentan los resultados de la aplicación del modelo **MplD** en la cuenca del embalse Lliu Lliu del estero Limache, afluente del río Aconcagua en su curso inferior. El modelo se aplica a la subcuenca denominada Vertedero Oriente de 26 km² y se contrasta con los valores medidos tomados de la memoria del Ingeniero Ernesto Brown F. Se simula el año hidrológico 1966/67.

A continuación se incluyen los antecedentes de esta cuenca, como los datos requeridos por el modelo y los resultados de caudales medios diarios simulados y medidos, en forma numérica y gráfica. También se presentan los diferentes gráficos con los resultados de las variables hidrológicas, expresadas como lámina de agua en [mm]

Archivo YYC66.DAT :

CUENCA embalse Lliu Lliu subcuenca vertedero Oriente 25.77 km²

Archivo Precipitaciones

yyc66.Yud

Archivo Evaporaciones de bandeja

yyc.EVM

Archivo datos hidrograma unitario

yyc.DUH

Archivo dist.horarias de yuvia y evaporación

yyc.Dye

Años de simulación; mes de partida:

1 4

Grado de saturación inicial en o/1 :

0.50

Flujo subterráneo inicial en m³/s :

0.030

Parámetro		Valor
A	°/1	0.650
B	°/1	0.850
PorEf	°/1	0.330
Hcap	mm	218.5
Khid	mm/h	2.500
Scc	°/1	0.789
Scrit	°/1	0.596
Smin	°/1	0.469
Hsuelo	mm	750.0
K	h	1200.0
AREA	km ²	25.77

Archivo de evaporación : YYC.EVM

Cuenca embalse Lliu Lliu.

Evaporación mensual Pan A (mm).Promedio de los evaporímetros.

Año	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	suma
1990	79.2	42.3	21.3	20.7	34.3	64.3	103.8	154.1	198.8	215.5	173.2	143.0	1250.5

Archivo de datos de lluvias :YYC66.YUD

Cuenca embalse Lliu Lliu

Lluvias diarias observadas (mm).Fuente memoria Ernesto Brown F.

año	día	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
1966	1	0	0	1	0	14.1	0	0	0	0	0	0	0
1966	2	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0
1966	3	0	1	0	0	0	0	0	0	21.6	0	0	0
1966	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1966	6	0	0	0	0	0	3.3	0	0	0	0	0	0
1966	7	0	0	0.4	0	0	0	0	10.5	0	0	0	0
1966	8	0	0	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	9	0	0	53.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	10	0	0	9.3	69.3	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	11	2.9	0	0.3	38.4	6.5	0	0	0	0	0	0	0
1966	12	0	9	2.3	4.7	2	0	0	0	2	0	0	0
1966	13	0	0	37.1	0	0.3	1.8	0	0	0	0	0	0
1966	14	0	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	15	0	0	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	16	0	0	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	17	19	0	0	0	0.6	1.5	0	0.2	0	0	0	0
1966	18	12.5	0	0	61.6	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	20	31.1	8.6	50.1	14.8	0	0	3.8	0	0	0	0	0
1966	21	13.3	0	64.4	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	24	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	25	2.2	0	1.5	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
1966	26	0	0	3.6	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1966	27	0	0	13.8	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
1966	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	29	0	0	0	0	0	1.3	0	0	0	0	-1	0
1966	30	0	0	0	0	23.3	0	0	0	0	0	-1	0
1966	31	-1	0	-1	0	0	-1	0	-1	0	0	-1	0

Archivo de distribuciones horarias :YYC.DYE

Distribuciones horarias
de la lluvia y de 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	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.7000	0.2616	0.0916	0.0000
9	0.3000	0.2456	0.1700	0.0200
10	0.0000	0.1642	0.1366	0.0500
11	0.0000	0.1103	0.1090	0.1000
12	0.0000	0.1015	0.0841	0.1600
13	0.0000	0.1168	0.0801	0.2000
14	0.0000	0.0000	0.0576	0.1800
15	0.0000	0.0000	0.0527	0.1400
16	0.0000	0.0000	0.0511	0.0900
17	0.0000	0.0000	0.0504	0.0500
18	0.0000	0.0000	0.0693	0.0100
19	0.0000	0.0000	0.0475	0.0000
20	0.0000	0.0000	0.0000	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

Archivo de ordenadas Hidrograma Unitario :YYC.DUH

LLiuLLiu vert Oriente
Hidrograma Unitario duración 1 hora y lluvia unitaria de 1 mm

t	U[t, 1.0]
horas	m3/s/mm
1	0.04001
2	1.48831
3	3.02044
4	1.86335
5	0.59861
6	0.12728
7	0.02036
8	0.00264
9	0.00029
10	0.00003

Archivo de caudales medios diarios matricial : YYC66.QDS

CUENCA embalse Lliu Lliu subcuena vertedero Oriente 25.77 km2

Caudales medios diarios simulados (m3/seg)

Año	dia	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
1966	1	0.030	0.016	0.009	0.368	0.557	0.314	0.172	0.093	0.051	0.027	0.015	0.008
1966	2	0.029	0.016	0.009	0.364	0.552	0.308	0.169	0.091	0.050	0.027	0.014	0.008
1966	3	0.029	0.016	0.008	0.360	0.546	0.302	0.165	0.089	0.049	0.026	0.014	0.008
1966	4	0.028	0.015	0.008	0.355	0.538	0.296	0.162	0.087	0.048	0.026	0.014	0.008
1966	5	0.027	0.015	0.008	0.350	0.530	0.290	0.159	0.086	0.047	0.025	0.014	0.008
1966	6	0.027	0.015	0.008	0.344	0.521	0.284	0.156	0.084	0.046	0.025	0.013	0.008
1966	7	0.026	0.014	0.008	0.338	0.511	0.278	0.153	0.082	0.045	0.024	0.013	0.007
1966	8	0.026	0.014	0.008	0.332	0.502	0.273	0.150	0.081	0.044	0.024	0.013	0.007
1966	9	0.025	0.014	1.619	0.326	0.492	0.267	0.147	0.079	0.043	0.023	0.013	0.007
1966	10	0.025	0.014	0.007	4.783	0.482	0.262	0.144	0.077	0.042	0.023	0.012	0.007
1966	11	0.024	0.013	0.007	1.184	0.473	0.257	0.141	0.076	0.042	0.022	0.012	0.007
1966	12	0.024	0.013	0.007	0.476	0.464	0.252	0.138	0.074	0.041	0.022	0.012	0.007
1966	13	0.023	0.013	0.533	0.511	0.456	0.247	0.135	0.073	0.040	0.022	0.012	0.007
1966	14	0.023	0.013	0.007	0.521	0.447	0.242	0.133	0.071	0.039	0.021	0.011	0.006
1966	15	0.022	0.012	3.918	0.523	0.439	0.237	0.130	0.070	0.038	0.021	0.011	0.006
1966	16	0.022	0.012	0.035	0.520	0.430	0.232	0.128	0.069	0.038	0.020	0.011	0.006
1966	17	0.022	0.012	0.054	0.515	0.421	0.228	0.125	0.067	0.037	0.020	0.011	0.006
1966	18	0.021	0.012	0.065	3.919	0.413	0.223	0.123	0.066	0.036	0.019	0.010	0.006
1966	19	0.021	0.011	0.072	0.574	0.405	0.219	0.120	0.065	0.035	0.019	0.010	0.006
1966	20	0.130	0.011	1.933	0.602	0.397	0.215	0.118	0.063	0.035	0.019	0.010	0.006
1966	21	0.020	0.011	4.079	0.628	0.389	0.210	0.115	0.062	0.034	0.018	0.010	0.006
1966	22	0.020	0.011	0.287	0.637	0.381	0.206	0.113	0.061	0.033	0.018	0.010	0.006
1966	23	0.019	0.010	0.323	0.637	0.374	0.202	0.111	0.060	0.033	0.018	0.009	0.005
1966	24	0.019	0.010	0.336	0.632	0.366	0.198	0.109	0.058	0.032	0.017	0.009	0.005
1966	25	0.018	0.010	0.341	0.625	0.359	0.194	0.107	0.057	0.031	0.017	0.009	0.005
1966	26	0.018	0.010	0.344	0.617	0.352	0.190	0.104	0.056	0.031	0.017	0.009	0.005
1966	27	0.018	0.010	0.350	0.607	0.345	0.187	0.102	0.055	0.030	0.016	0.009	0.005
1966	28	0.017	0.009	0.363	0.598	0.338	0.183	0.100	0.054	0.030	0.016	0.009	0.005
1966	29	0.017	0.009	0.369	0.587	0.332	0.179	0.098	0.053	0.029	0.016	-1.000	0.005
1966	30	0.017	0.009	0.370	0.577	0.325	0.176	0.096	0.052	0.028	0.015	-1.000	0.005
1966	31	-1.000	0.009	-1.000	0.566	0.319	-1.000	0.095	-1.000	0.028	0.015	-1.000	0.005

Archivo de caudales medios diarios medidos : YYC66.QDO

CUENCA embalse Lliu Lliu subcuena vertedero Oriente 25.77 km2

Caudales medios diarios medidos (m3/seg)

		abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
1966	1	0.026	0.027	0.021	0.379	0.475	0.338	0.173	0.114	0.057	0.043	0.027	0.021
1966	2	0.026	0.027	0.021	0.357	0.502	0.317	0.171	0.105	0.055	0.039	0.026	0.021
1966	3	0.026	0.027	0.021	0.337	0.452	0.302	0.164	0.118	0.057	0.037	0.023	0.022
1966	4	0.026	0.027	0.025	0.318	0.417	0.296	0.164	0.127	0.104	0.037	0.021	0.022
1966	5	0.026	0.028	0.025	0.304	0.403	0.29	0.166	0.127	0.072	0.039	0.021	0.021
1966	6	0.026	0.028	0.025	0.292	0.382	0.29	0.158	0.122	0.072	0.038	0.027	0.017
1966	7	0.026	0.028	0.025	0.279	0.368	0.257	0.142	0.133	0.068	0.031	0.019	0.02
1966	8	0.026	0.028	0.025	0.267	0.353	0.284	0.137	0.12	0.068	0.036	0.022	0.016
1966	9	0.026	0.024	0.029	0.261	0.34	0.275	0.14	0.119	0.066	0.024	0.024	0.014
1966	10	0.026	0.026	0.224	0.291	0.334	0.272	0.16	0.114	0.06	0.029	0.022	0.015
1966	11	0.026	0.026	0.079	6.08	0.373	0.265	0.16	0.105	0.061	0.034	0.026	0.015
1966	12	0.026	0.028	0.064	5.536	0.375	0.259	0.156	0.104	0.053	0.038	0.023	0.016
1966	13	0.026	0.027	0.076	2.778	0.373	0.248	0.15	0.104	0.056	0.028	0.015	0.019
1966	14	0.026	0.026	0.203	1.862	0.359	0.245	0.14	0.092	0.055	0.023	0.019	0.018
1966	15	0.026	0.024	0.244	1.373	0.344	0.231	0.147	0.094	0.052	0.025	0.023	0.02
1966	16	0.018	0.024	0.974	1.108	0.338	0.239	0.135	0.089	0.053	0.028	0.022	0.022
1966	17	0.02	0.021	0.329	0.914	0.332	0.244	0.139	0.085	0.048	0.025	0.019	0.021
1966	18	0.046	0.024	0.222	3.167	0.325	0.242	0.135	0.099	0.047	0.021	0.022	0.02
1966	19	0.034	0.024	0.19	3.279	0.313	0.223	0.139	0.096	0.044	0.023	0.016	0.018
1966	20	0.025	0.027	0.157	2.284	0.305	0.213	0.143	0.071	0.033	0.026	0.021	0.02
1966	21	0.079	0.03	2.725	2.158	0.296	0.206	0.148	0.088	0.035	0.026	0.017	0.02
1966	22	0.046	0.026	1.906	1.758	0.292	0.198	0.148	0.086	0.05	0.016	0.022	0.021
1966	23	0.038	0.024	0.897	1.479	0.281	0.196	0.124	0.078	0.048	0.029	0.021	0.02
1966	24	0.031	0.024	0.578	1.265	0.276	0.194	0.133	0.077	0.051	0.033	0.021	0.019
1966	25	0.031	0.024	0.505	1.08	0.273	0.189	0.128	0.062	0.05	0.032	0.022	0.005
1966	26	0.031	0.024	0.486	0.945	0.268	0.189	0.129	0.051	0.045	0.027	0.024	0.015
1966	27	0.031	0.024	0.564	0.749	0.268	0.18	0.129	0.054	0.05	0.026	0.024	0.013
1966	28	0.031	0.024	0.519	0.661	0.262	0.182	0.118	0.061	0.051	0.025	0.022	0.013
1966	29	0.027	0.024	0.468	0.605	0.257	0.175	0.109	0.066	0.042	0.025		0.016
1966	30	0.027	0.024	0.417	0.556	0.332	0.175	0.118	0.057	0.048	0.028		0.016
1966	31		0.023		0.508	0.373		0.117		0.038	0.024		0.018

Figura 1. Caudales medios diarios simulados versus medidos. Año 1966/67

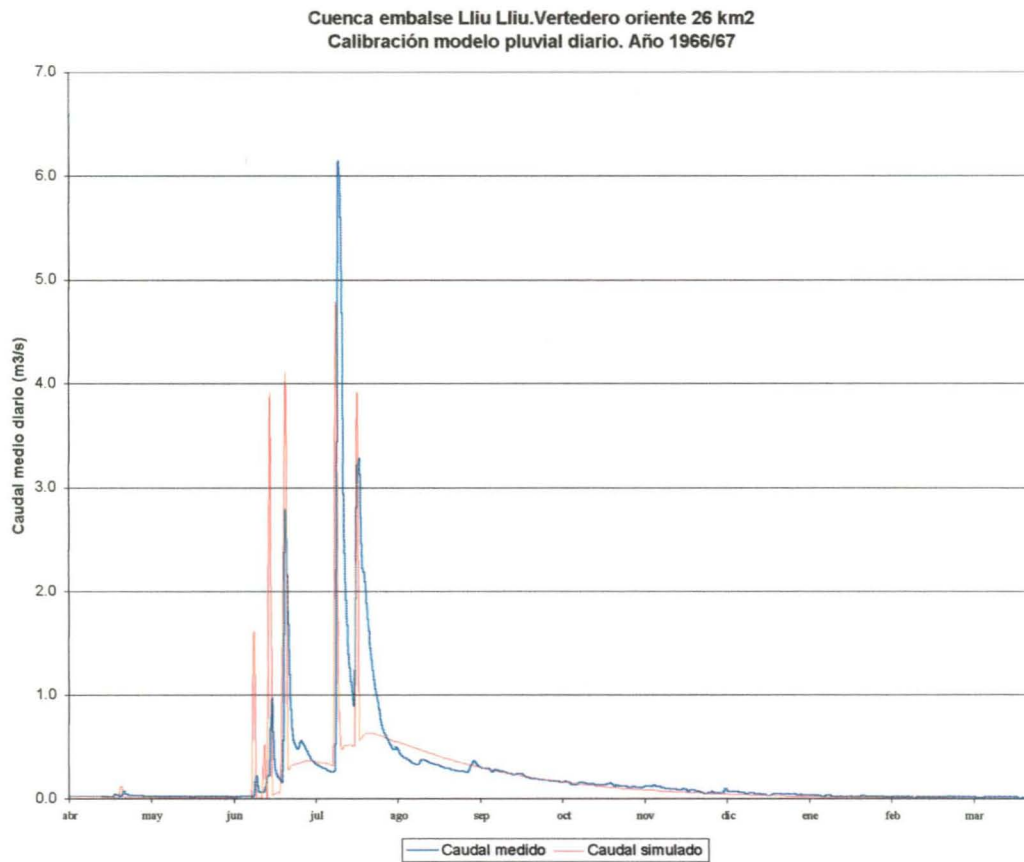


Figura 2. Lluvia, infiltración y lluvia efectiva [mm]. Año 1966/67

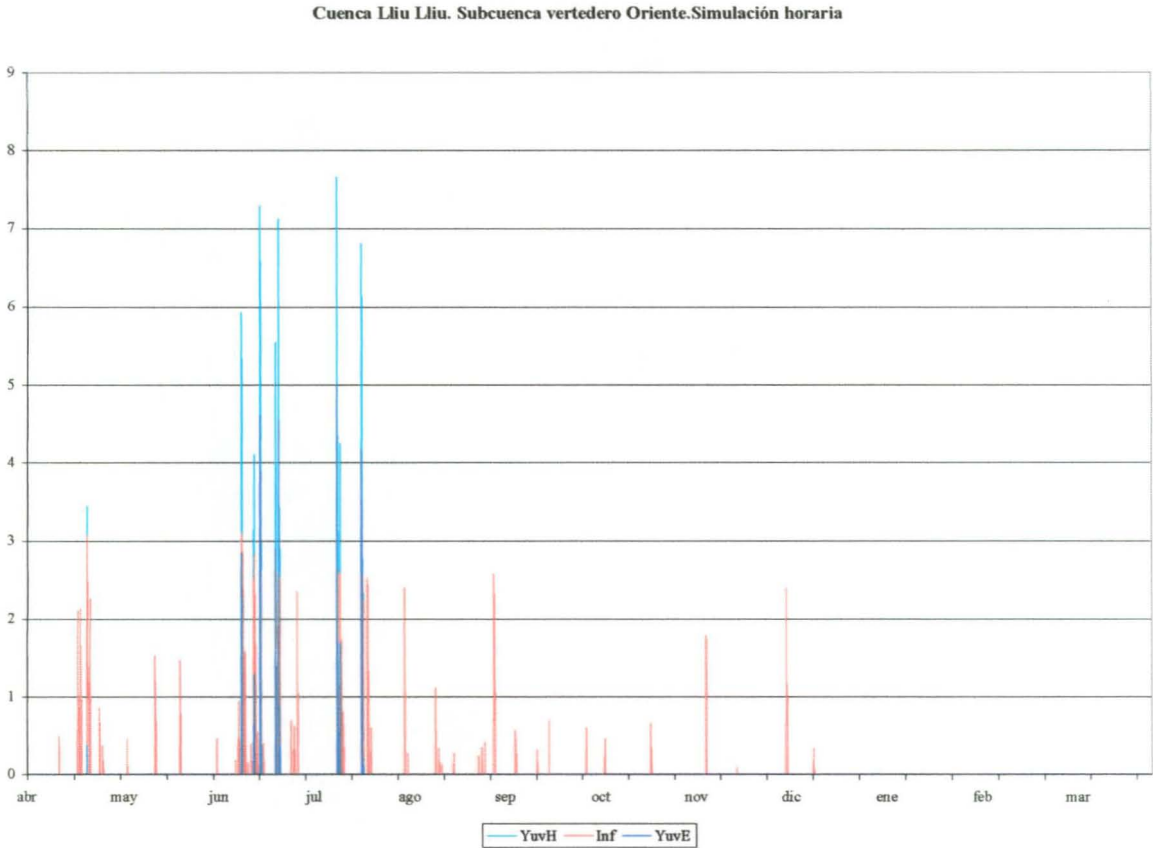
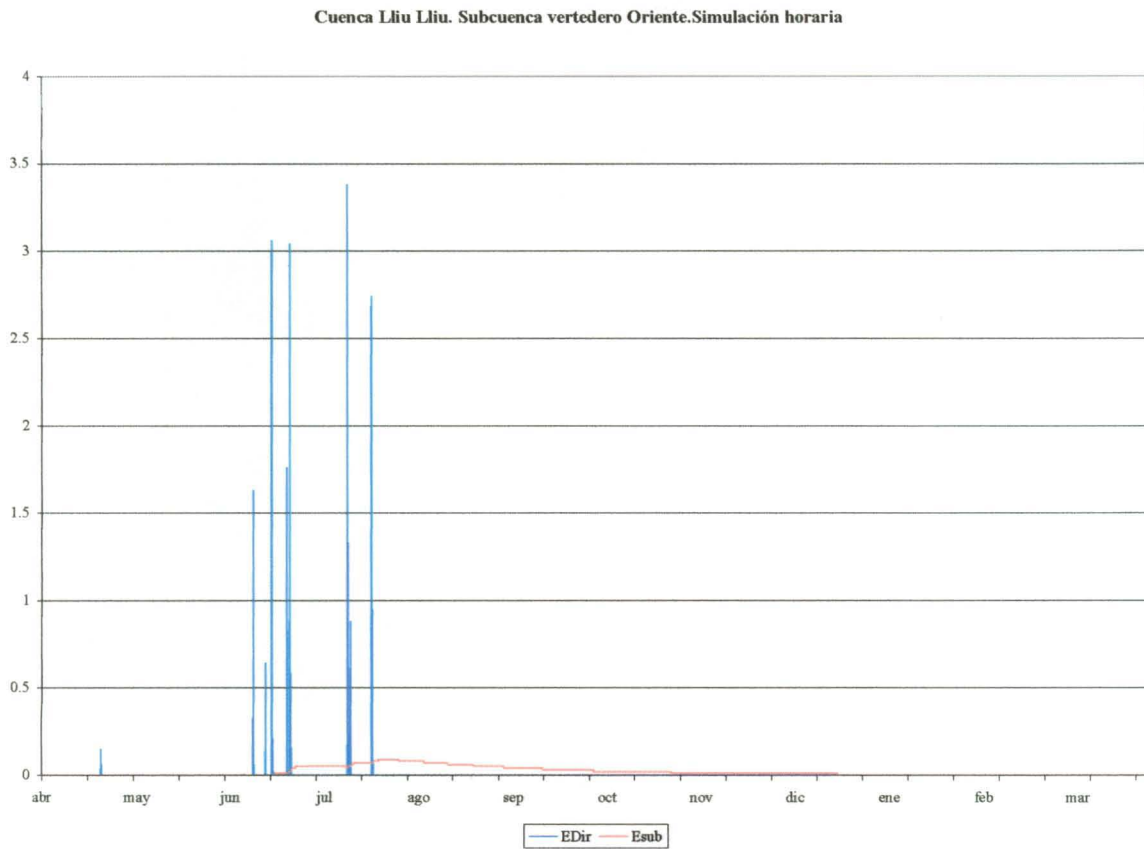


Figura 3. Escorrentía directa y subterránea [mm]. Año 1966/67



**Figura 4. Infiltración, evapotranspiración y percolación profunda [mm].
Año 1966/67**

