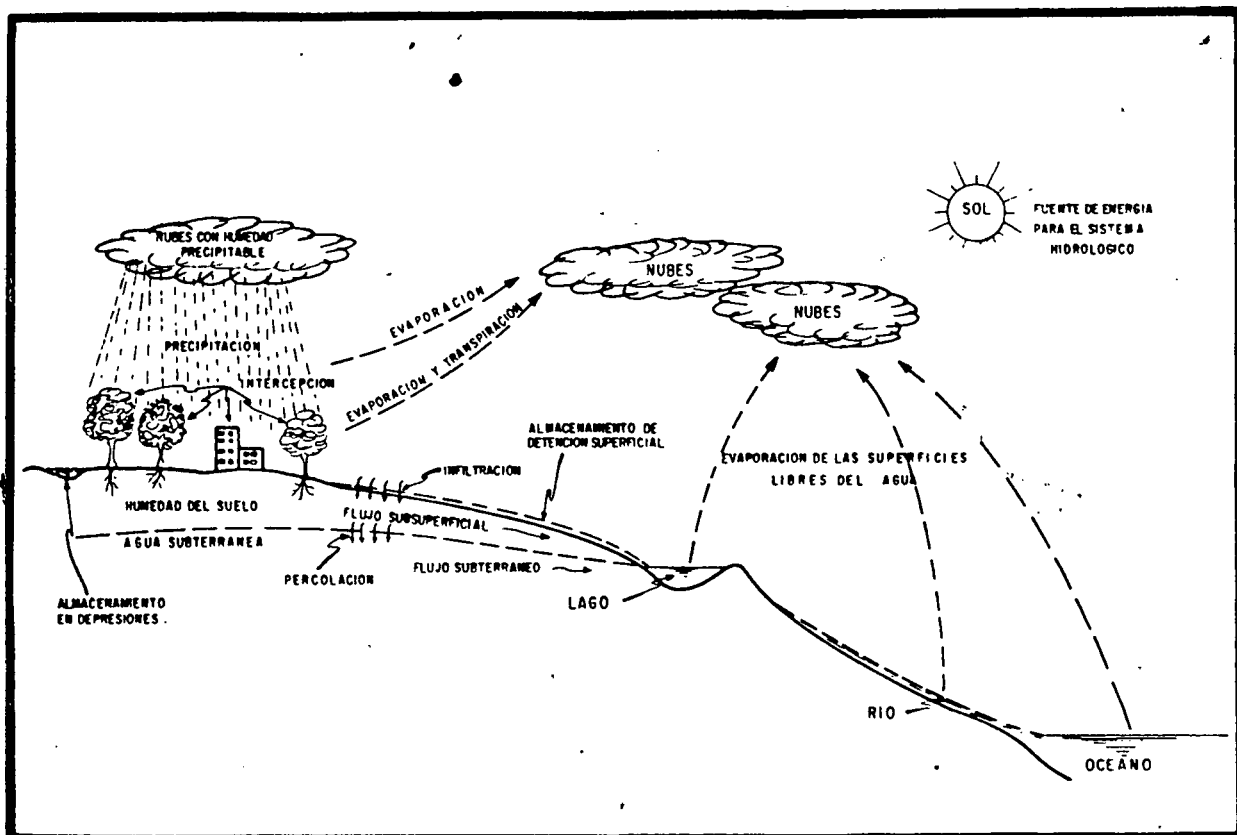


MODELO DE SIMULACION HIDROLOGICA A ESCALA MENSUAL

DESARROLLO DEL MODELO Y PROGRAMA DE COMPUTACION PARA LA AUTOCALIBRACION DE PARAMETROS

Roberto A. Duque C.

Alex G. Barrios R.



CIDIAT

Enrídice Tienúa

MODELO DE SIMULACION HIDROLOGICA A ESCALA MENSUAL

DESARROLLO DEL MODELO Y PROGRAMA DE COMPUTACION
PARA LA AUTOCALIBRACION DE PARAMETROS

Serie Hidrología

H-23

Roberto A. Duque C.

Alex G. Barrios R.

CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO INTEGRAL
DE AGUAS Y TIERRAS (CIDIAT)

Mérida - Venezuela, 1988

C O N T E N I D O

	Página
I. INTRODUCCION	1
II. SISTEMA HIDROLOGICO GENERAL Y REGIONAL	2
III. GENERALIDADES SOBRE EL MODELO Y LA AUTOCALIBRACION DE PARAMETROS.	8
IV. FORMULACION MATEMATICA DEL MODELO	11
4.1. Precipitación	11
4.2. Evapotranspiración	12
4.3. Infiltración	14
4.4. Percolación	17
4.5. Almacenamiento Superficial	19
4.6. Almacenamiento de Humedad del Suelo	20
4.7. Almacenamiento del Agua Subterránea	22
4.8. Escurrimiento	23
4.9. Caudal Base	23
4.10. Flujo Subterráneo Efluente	24
4.11. Escorrentía	24
V. ESTRUCTURA Y SOLUCION DEL MODELO	25
5.1. Estructura del Modelo	25
5.2. Solución del Modelo	26
VI. PRUEBA DE SENSIBILIDAD DE PARAMETROS	37
6.1. Prueba de Sensibilidad para el Parámetro CINF	37
6.2. Prueba de Sensibilidad para el Parámetro HSN	38

6.3.	Prueba de Sensibilidad para el Parámetro CT . . .	38
6.4.	Prueba de Sensibilidad para el Parámetro PQB . . .	38
6.5.	Prueba de Sensibilidad para el Parámetro PFSE	38
6.6.	Prueba de Sensibilidad para el Parámetro PESC	44
6.7.	Prueba de Sensibilidad para AIHS	44
6.8.	Prueba de Sensibilidad para AIAS	44
6.9.	Prueba de Sensibilidad para AISUP	48
6.10.	Prueba de Sensibilidad para FSUPA	48
6.11.	Prueba de Sensibilidad para FSUBA	48
6.12.	Prueba de Sensibilidad para FACPRE	52
6.13.	Prueba de Sensibilidad para FACEVA	52
VII.	GENERALIDADES SOBRE EL PROGRAMA DE COMPUTACION	52
7.1.	Programa Principal	57
7.2.	Subrutina ARCHIV	57
7.3.	Subrutina LECT	57
7.4.	Subrutina INIT	57
7.5.	Subrutina PREVA	57
7.6.	Subrutina ESCOR	59
7.7.	Subrutina ORO	59
7.8.	Subrutina SUELO	59
7.9.	Subrutina IMPRE	60
7.10.	Subrutina TRANSF	60
7.11.	Subrutina CORREL	60
7.12.	Subrutina DIFER	60
7.13.	Subrutina PLOTEO	60
7.14.	Subrutina REGSIM	60
7.15.	Subrutina OPTIM (Autocalibración).	60

VIII.	GUIA DEL USUARIO DEL PROGRAMA	61
8.1	Entradas	61
8.2	Salidas.	61
8.3	Opciones	71
8.4	Aspectos sobre la autocalibración del modelo . . .	71
IX.	ESTIMACION DE LOS PARAMETROS Y DE LOS VALORES INICIALES DE LOS ALMACENAMIENTOS.	74
9.1	Estimación de CINF y HSN	74
9.2	Estimación de CT	76
9.3	Estimación de PQB.	76
9.4	Estimación de PFSE y PESC.	78
9.5	Estimación de AIHS, AIAS, AISUP, FSUPA y FSUBA . .	78
X.	APLICACION DEL MODELO	78
10.1	Calibración del Modelo Mensual	79
10.2	Generación de Caudales	82
	BIBLIOGRAFIA	86
	APENDICE A: LISTADO DEL PROGRAMA SIHIM.	87
	APENDICE B: LISTADO DE LOS DATOS DE ENTRADA PARA LA CALIBRACION DEL MODELO MENSUAL.	115
	APENDICE C: LISTADO DE LOS DATOS DE ENTRADA PARA LA GENERACION DE CAUDALES	123

I. INTRODUCCION

Siempre que se quiere administrar un recurso natural, se hace necesario tener algún conocimiento tanto de su cantidad como de su calidad, razón por la cual en el desarrollo de una región se hace indispensable, como primer paso, la de terminación de las disponibilidades del recurso agua en los diferentes sitios de interés.

Debido a la falta de información sobre el recurso agua, los organismos responsables del desarrollo de las diferentes regiones, se han visto obligados a recurrir a métodos de simulación, que les permitan estimar las disponibilidades de este recurso, para así poder evaluar diferentes alternativas y seleccionar la que mejor se adapte a la región en estudio.

En hidrología, la presencia de las computadoras ha permitido que el enfoque de los problemas hidrológicos se haga a nivel superior al alcanzado con las técnicas tradicionales, por lo cual los nuevos procedimientos de análisis deben incluir intervalos de tiempo más cortos, un mayor detalle espacial y las funciones matemáticas empleadas deben diseñarse para reproducir los fenómenos hidrológicos con el mayor detalle posible.

La simulación hidrológica es la técnica que más promete en cuanto a la aplicación de las computadoras a problemas de cuencas hidrográficas, y no es más que la aplicación de un modelo a una cuenca para evaluar indirectamente su comportamiento ante ciertas funciones de entrada.

Los modelos de simulación hidrológica se pueden clasificar en paramétricos y estocásticos; en los primeros el sistema hidrológico está representado por una serie de formulaciones que describen la respuesta del sistema a ciertas funciones de entrada, mientras que los segundos se basan en los conceptos de análisis estadístico, en donde el fenómeno se considera como una variable estadística.

El modelo de simulación mensual que se presenta en esta publicación permite ob

tener información similar a la recogida en una estación de medición de caudales; información ésta sobre caudales medios y volúmenes mensuales, en los sitios de interés. Además, el modelo presenta la ventaja de tener un reducido número de parámetros, seis parámetros, y que se puede calibrar automáticamente.

II. SISTEMA HIDROLOGICO GENERAL Y REGIONAL

En la Figura 1 se muestra la representación del sistema hidrológico general, cuyo estudio es muy conveniente para la identificación de los procesos hidrológicos que intervienen en él. Es costumbre suponer que el ciclo hidrológico comienza con el paso del agua de los océanos a la atmósfera en forma de vapor de agua, este vapor es trasladado por las masas de aire en movimiento y puede enfriarse, condensarse y formar nubes, en el seno de las cuales sigue el proceso de condensación y de crecimiento de las diminutas partículas de agua, las cuales al adquirir suficiente peso se precipitan a la superficie de la corteza terrestre. Parte de esta precipitación puede evaporarse en la atmósfera antes de llegar a la superficie de la tierra, una gran parte cae directamente sobre los océanos y otra parte cae en la tierra.

El agua que llega en forma de precipitación a la superficie de la tierra se distribuye de varias maneras: parte es interceptada por la vegetación, las edificaciones y otros objetos, de donde puede evaporarse nuevamente hacia la atmósfera o deslizarse por los mismos y llegar a la superficie de la tierra; la otra parte de la precipitación llega directamente a la superficie del suelo.

Del agua que llega a la superficie del suelo, una parte se infiltra y el resto va a estar sujeto a la evaporación, al almacenamiento en las depresiones del terreno y al almacenamiento de detención superficial. De este último almacenamiento el agua puede escurrir y llegar al cauce de un río donde formará la esorrentía.

El agua que se infiltra pasa a formar parte del almacenamiento de humedad del

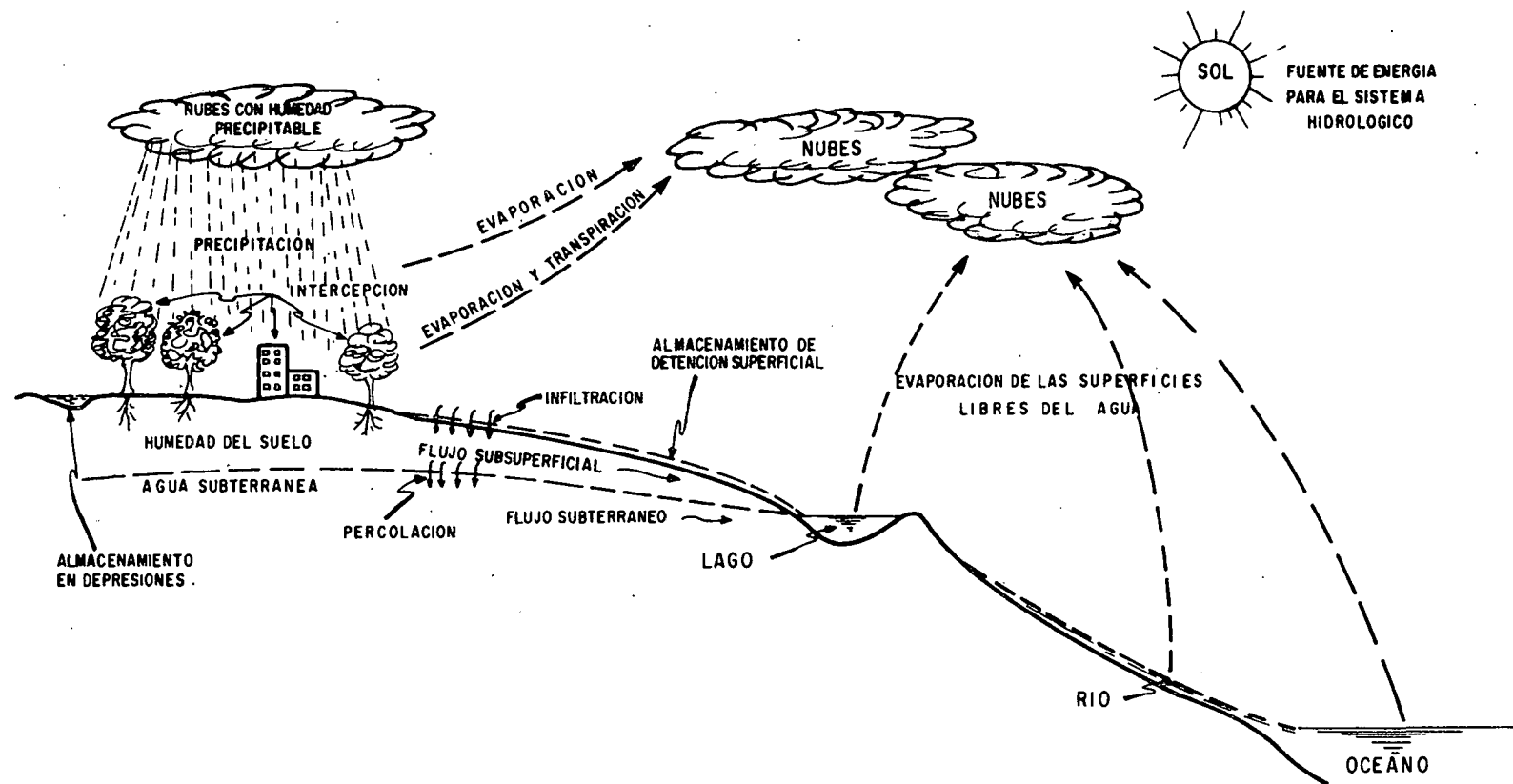


Figura 1.- Sistema hidrológico general.

suelo, de donde puede moverse por percolación hacia el almacenamiento del agua subterránea, fluir subsuperficialmente hacia el cauce de un río o hacia un punto donde puede reaparecer superficialmente, o estar sujeta a la evaporación y a la transpiración por las plantas.

El agua que llega al almacenamiento subterráneo puede salir a la superficie del suelo, al cauce de un río o a un lago como caudal base, o puede pasar por percolación profunda a un almacenamiento permanente del agua subterránea.

El escurrimiento, el flujo subsuperficial y el caudal base que forman la escorrentía de los ríos, eventualmente llega a los océanos completando de esta forma el ciclo hidrológico.

El Sistema Hidrológico General puede conceptualizarse en dos procesos fundamentales: uno de almacenamiento y el otro de transferencia de masa de agua entre los almacenamientos. En la Figura 2 se muestra la representación conceptual del Sistema Hidrológico General, en donde aparecen los procesos de almacenamiento y de transferencia de mayor interés.

Ahora bien, el Sistema Hidrológico General es aplicable a toda la tierra; sin embargo, en la mayoría de los casos el interés se centra en una región menos extensa con límites bien definidos, en cuyo caso se habla de un Sistema Hidrológico Regional. Los límites de este sistema pueden ser fisiográficos, como es el caso de una cuenca hidrográfica, políticos en el caso de un estado, o de cualquier otra índole como pueden ser los límites de un área cultivada. De acuerdo a lo anterior, es obvio que el Sistema Hidrológico Regional es un subsistema del Sistema Hidrológico General.

En la Figura 3 se presenta una cuenca dividida en tres subcuencas, siendo la de interés la subcuenca 3, Sc. 3, la cual recibe las escorrentías efluentes de las subcuencas 1 y 2, y de ella sale la escorrentía efluente producto de las tres subcuencas. Así como se presentan afluencias y efluencias en cuanto a la escorrentía, también se pueden presentar escurrimientos, flujos subsuperficiales, flujos base y flujos subterráneos afluentes y efluentes, de tal for-

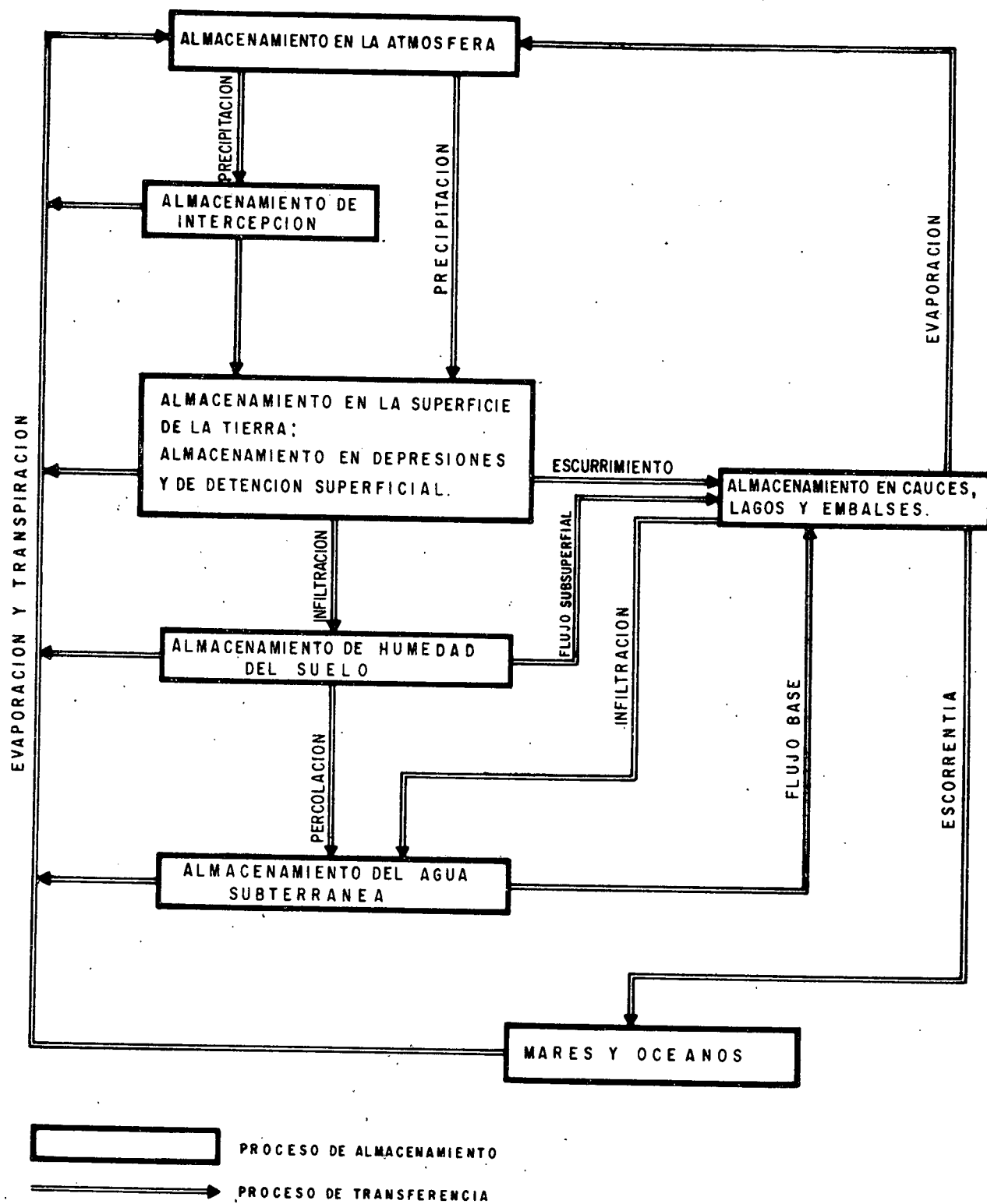


Figura 2.- Conceptualización del sistema hidrológico general.

ma que la subcuenca 3 constituye un sistema hidrológico regional.

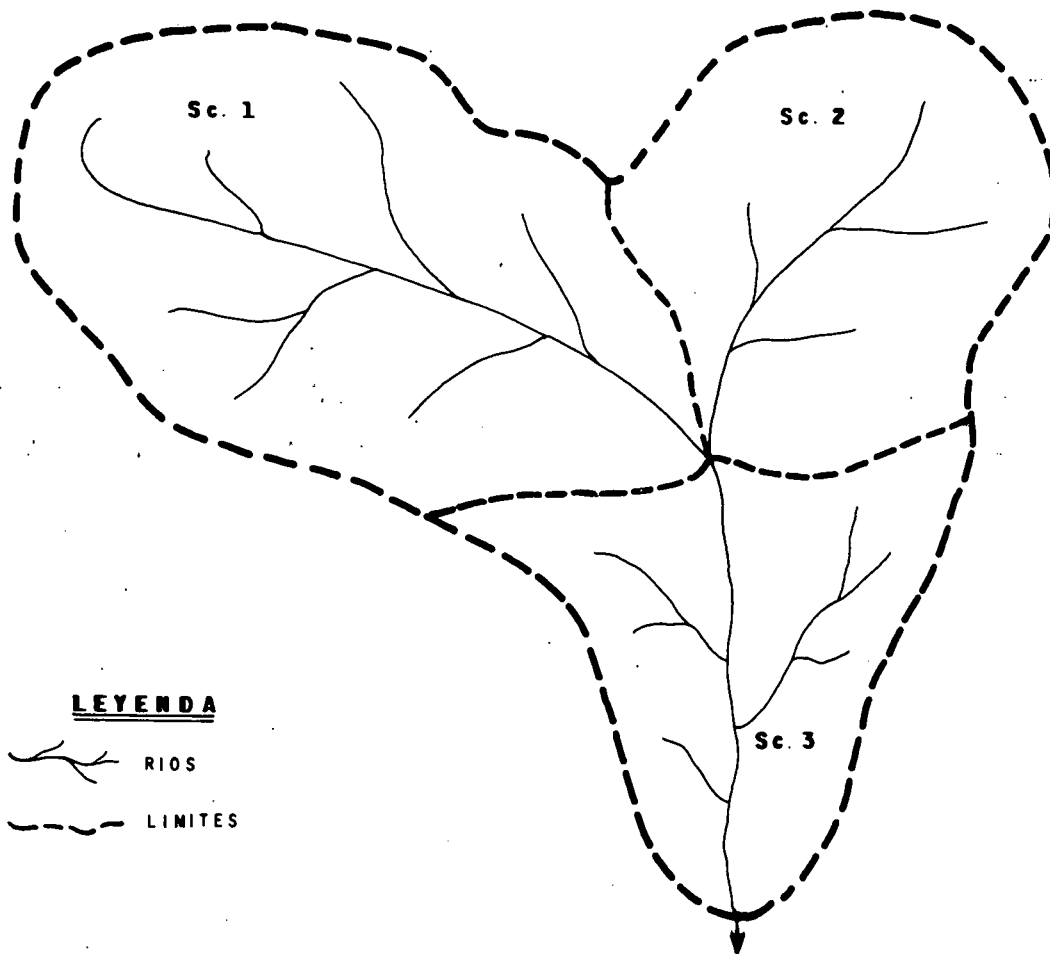


Figura 3.- Sistema hidrológico regional.

En la Figura 4 se tiene la representación conceptual del Sistema Hidrológico Regional, siendo la principal diferencia con el Sistema Hidrológico General los procesos de entrada y salida a través del sistema. Se puede ver que el sistema hidrológico es un sistema continuo regido por el principio de conservación de la masa, en donde las entradas y el sistema mismo dan cuenta de las cantidades de agua que constituyen sus salidas.

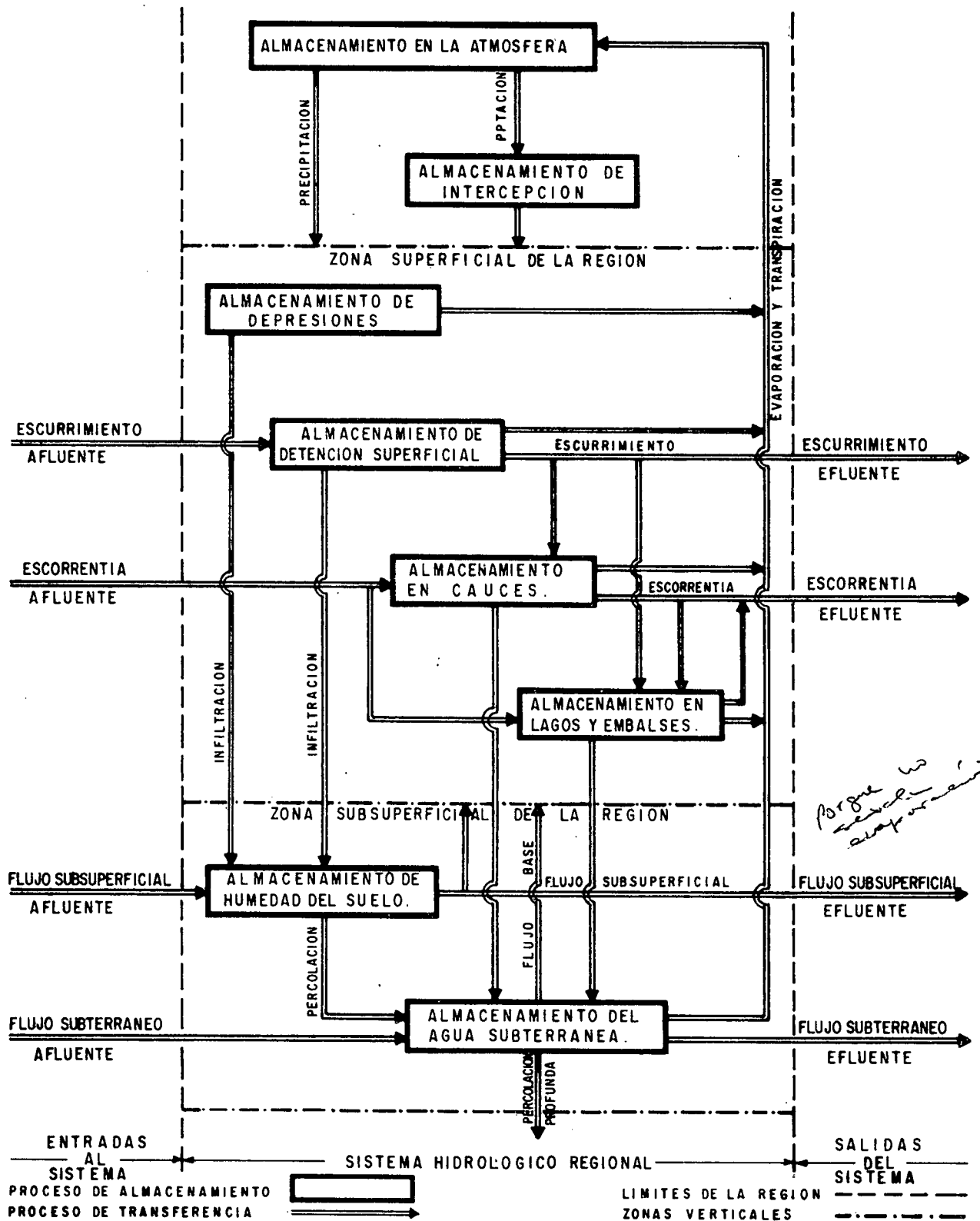


Figura 4. - Representación conceptual del sistema hidrológico regional.

Lamentablemente, no todos los procesos que se suceden en el sistema hidrológico son fácilmente medibles; de allí que procesos como el escurrimiento, la intercepción, la evapotranspiración, la infiltración y los procesos que se suceden en el subsuelo, sólo pueden ser estimados. Los procesos para los cuales generalmente se tienen registros continuos de datos son: la precipitación, la evaporación de tina, la escorrentía en algunos puntos de los ríos y a veces niveles de agua en embalses, en lagos y en pozos.

III. GENERALIDADES SOBRE EL MODELO Y LA AUTOCALIBRACION DE PARAMETROS

Este modelo ha sido desarrollado para pequeños incrementos de espacio y grandes intervalos de tiempo - intervalos mensuales -; además, en él no se considera la presencia de embalses, de lagos, ni de pantanos, y se considera la cuenca dividida en subcuencas, en las cuales se supone homogeneidad tanto en los procesos hidrológicos como en las condiciones que los afectan.

Para el desarrollo del modelo se centró la atención en determinados procesos del sistema hidrológico, simplificándose algunos de ellos y omitiéndose otros, debido esto fundamentalmente al intervalo de tiempo usado. Como el intervalo de cálculo es de un mes, se consideran solamente los procesos de larga duración, como son: la evapotranspiración, la infiltración, la percolación, el escurrimiento y el flujo base, y se omiten los de corta duración, como es el caso del flujo subsuperficial y de los almacenamientos de intercepción y en depresiones del terreno.

Como este modelo va a ser aplicado a cuencas hidrográficas con límites topográficos definidos, fue necesario trabajar en base al sistema hidrológico regional, cuya conceptualización se presenta en la Figura 5, en donde se puede observar que sólo persisten los procesos de larga duración y se omiten los de corta duración.

Los distintos procesos de almacenamiento y transferencia que se identifican en la Figura 5 son formulados matemáticamente y su solución conjunta constituye el modelo de simulación. Los seis parámetros resultantes en el modelo de

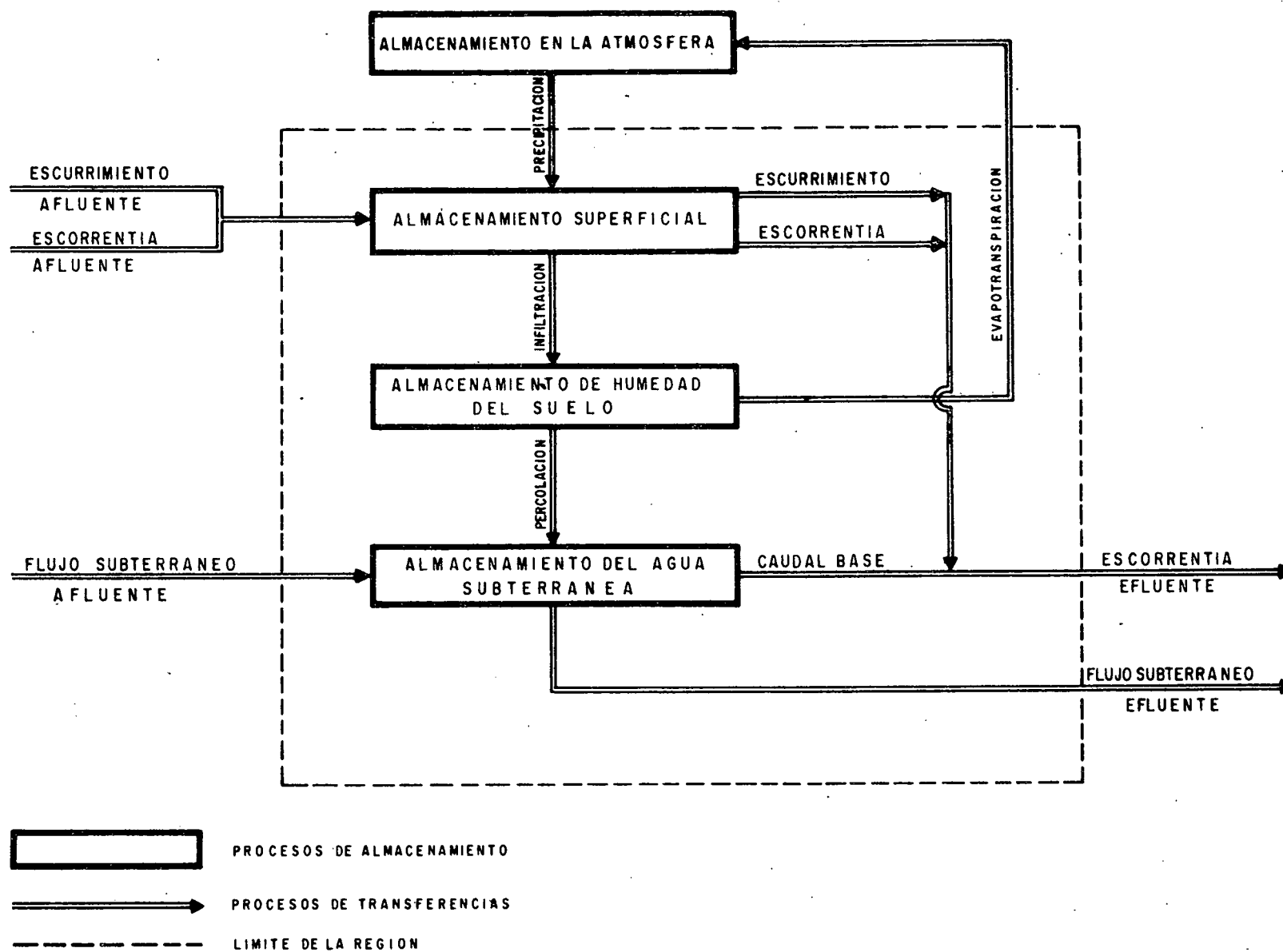


Figura 5.- Conceptualización del sistema hidrológico regional usado en el modelo .

simulación son: capacidad de infiltración, CINF; capacidad nominal del almacenamiento de humedad del suelo, HSN; coeficiente para convertir la evaporación de tina a evapotranspiración potencial, CT; fracciones del almacenamiento del agua subterránea que salen como caudal base y flujo subterráneo efluente, PQB y PFSE respectivamente; y fracciones del almacenamiento superficial que se convierte en escurrimiento mensual, PESC.

En la aplicación del modelo a cuencas hidrográficas específicas, generalmente se procede a practicar una calibración de los parámetros del modelo. Entendiéndose a ésta como el proceso iterativo de ensayo y error, durante el cual se asignan valores a los distintos parámetros del modelo, hasta que los caudales o volúmenes simulados reproduzcan lo más fiel posible el registro histórico que de ellos se tiene. La calibración implica entonces, que se debe resolver numerosas veces el modelo de simulación, variando en cada resolución únicamente el valor que se asigna a los distintos parámetros.

Tomando en cuenta la magnitud de trabajo que se requiere para dar solución al modelo durante su calibración en una cuenca hidrográfica, se ha desarrollado un programa de computación que automatiza esta labor. El Programa brinda una solución discreta y digital del modelo de simulación y se corresponde fielmente con la formulación matemática, estructura y solución del modelo que se describen en detalle en los siguientes capítulos.

Para la automatización del proceso de calibración se aplica un algoritmo o método de búsqueda directa que optimiza el valor de una función objetivo: el algoritmo modificado de Hooke y Jeeves. Una descripción general de esta técnica de optimización es presentada por Amisial y Barrios (1987).

A través del algoritmo modificado de Hooke y Jeeves se logra dar solución al modelo de manera iterativa y sistemática, variándose inteligentemente los valores de los parámetros del modelo hasta que se logra el óptimo valor de una función objetivo o criterio de evaluación de la calibración.

Para la autocalibración del modelo desarrollado se considera como criterio evaluativo la minimización de la sumatoria de las desviaciones al cuadrado de los caudales o volúmenes simulados por el modelo con respecto a los valores

históricos que se tienen registrados. Adicionalmente a los seis parámetros del modelo también se puede considerar, entre las variables que forman parte de la autocalibración, los almacenamientos iniciales: almacenamiento inicial de humedad del suelo, AIHS; almacenamiento inicial del agua subterránea, AIAS; y almacenamiento inicial superficial, AISUP. La forma en que los parámetros del modelo y los almacenamientos iniciales deben tratarse para su autocalibración se indica luego en el capítulo sobre la guía del usuario del programa de computación.

IV. FORMULACION MATEMATICA DEL MODELO

En este aparte se presenta la formulación matemática correspondiente a cada uno de los procesos que se simulan en el modelo, y los cuales se han presentado en la Figura 5.

4.1 PRECIPITACION

Es un término general que abarca todas las formas de humedad que emanan de las nubes y caen a la tierra, es una entrada al sistema que generalmente es medida en algunos puntos de la cuenca a través de pluviómetros o pluviógrafos que dan la información de la ocurrencia y del valor puntual del fenómeno.

Por ser el dato de precipitación un valor puntual se requiere hacer aproximaciones para determinar su distribución espacial y su valor medio para cada área que se considere.

En el modelo se determinan la precipitación media, para cada subcuenca, a través del método de los polígonos de Thiessen, pero como se sabe que este método, en ciertas áreas, no es el más apropiado, para la estimación de la precipitación media se usa un factor de ajuste para cada subcuenca, el cual se calcula como la relación entre la precipitación media obtenida por Isoyetas y por Thiessen.

La formulación usada para determinar la precipitación media ajustada, para cada subcuenca, es la siguiente:

$$PRE_{i,\ell} = \left(\sum_{j=1}^{NEPRE} PP_{i,j} \times PORCP_{j,\ell} \right) \times FACPRE_{\ell} \quad (1)$$

$$FACPRE_{\ell} = \frac{PMI_{\ell}}{PMT_{\ell}} \quad (2)$$

donde

$PRE_{i,\ell}$ es la precipitación media ajustada, en el mes i para la subcuenca ℓ ,

$PP_{i,j}$ es la precipitación puntual durante el mes i en la estación j ,

$PORCP_{j,\ell}$ es la fracción porcentual del área de la subcuenca ℓ dominada por la estación de precipitación j ,

$NEPRE$ es el número total de estaciones de medición de precipitación usadas,

$FACPRE_{\ell}$ es el factor de ajuste de la precipitación media sobre la subcuenca ℓ , se usa para aumentar el valor de precip. si es menor del 100%.

PMI_{ℓ} es la precipitación media estimada por el método de Isoyetas para la subcuenca ℓ , y

PMT_{ℓ} es la precipitación media estimada por el método de Thiessen para la subcuenca ℓ .

4.2 EVAPOTRANSPIRACION

Se considera como el paso del agua desde el suelo y/o a través de las plantas, a la atmósfera en forma de vapor. El valor de la evapotranspiración potencial comúnmente se toma como la evaporación medida en tina multiplicada por un cierto coeficiente.

En el modelo se considera que la demanda evaporativa sólo puede ser suplida por el almacenamiento de humedad del suelo. Al igual que para la precipitación, es necesario calcular la evaporación media ajustada para cada subcuenca. A continuación se presentan las ecuaciones que permiten el manejo de este proceso:

$$EVM_{i,\ell} = \left(\sum_{j=1}^{NEVAP} EV_{i,j} \times PORCE_{j,\ell} \right) \times FACEVA_{\ell} \quad (3)$$

$$FACEVA_{\ell} = \frac{EMI_{\ell}}{EMT_{\ell}} \quad (4)$$

isopleth

donde

$EVM_{i,\ell}$ es la evaporación media ajustada, en el mes i para la subcuenca ℓ ,

$EV_{i,j}$ es la evaporación puntual durante el mes i en la estación j ,

$PORCE_{j,\ell}$ es la fracción porcentual del área de la subcuenca ℓ , dominada por la estación de evaporación j ,

$NEVAP$ es el número total de estaciones de medición de evaporación usadas, *solo 2 est.*

$FACEVA_{\ell}$ es el factor de ajuste de la evaporación media sobre la subcuenca ℓ ,

EMI_{ℓ} es la evaporación media estimada por el método de Isopletas para la subcuenca ℓ , y

EMT_{ℓ} es la evaporación media estimada por el método de Thiessen para la subcuenca ℓ .

Para el cálculo de la evapotranspiración real, durante el mes, se toma en cuenta la humedad del suelo y el contenido límite de humedad, entendiéndose por este último, el contenido de humedad del suelo bajo el cual la evapotranspiración real es inferior a la potencial. La formulación matemática usada en el modelo para simular la evapotranspiración se presenta a continuación. La misma es válida para un instante de tiempo, no así para un intervalo discreto considerable, en donde pueden resultar valores erróneos. La manera en que se

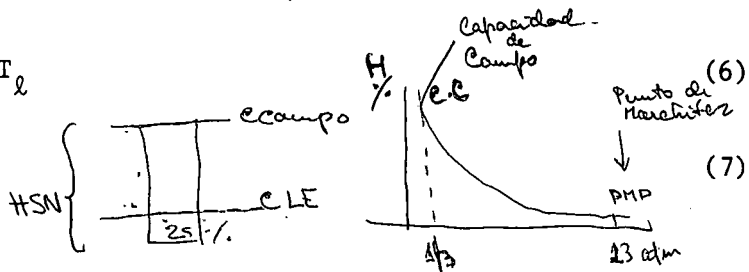
aplica la formulación matemática en cada intervalo de tiempo mensual se presenta más adelante en la solución del modelo.

$$ETR_{i,l} = \begin{cases} ETP & , \text{ si } HSM > CLE \\ ETP \times (HSM/CLE) & , \text{ si } HSM \leq CLE \end{cases} \quad (5a)$$

$$ETR_{i,l} = \begin{cases} ETP & , \text{ si } HSM > CLE \\ ETP \times (HSM/CLE) & , \text{ si } HSM \leq CLE \end{cases} \quad (5b)$$

$$ETP = EVM_{i,l} \times CT_l$$

$$CLE = 0,25 \times HSN_l$$



donde

$ETR_{i,l}$ es la evapotranspiración real en el mes i para la subcuenca l ,

ETP es la evapotranspiración potencial,

HSM es la humedad promedio del suelo para el mes,

CLE es el contenido límite de humedad,

$EVM_{i,l}$ es la evaporación media en el mes i para la subcuenca l ,

CT_l es el factor para convertir la evaporación media en evapotranspiración potencial, y

HSN_l es el almacenamiento nominal de la humedad del suelo para la subcuenca l .

4.3 INFILTRACION

Es el proceso por medio del cual el agua que llega a la superficie pasa hacia el perfil del suelo por efecto de la gravedad. La velocidad de infiltración, es decir, la velocidad con que el agua penetra en el perfil del suelo, es función de las características de la cuenca, tales como tipo de suelo, cobertura vegetal y principalmente el contenido de humedad del suelo. Cuando el sumi -

nistro de humedad, sobre la superficie del suelo, excede la velocidad de infiltración se tendrá el máximo valor de la infiltración para las condiciones existentes, el cual se denotará como infiltración potencial.

Si se toma una cuenca y se hacen mediciones de la infiltración potencial en diferentes puntos de ella, se puede obtener una curva de distribución de frecuencia acumulada similar a la curva continua que se muestra en la Figura 6. Esta curva real puede considerarse como una línea recta sin perder mucha precisión y en ese caso sólo se necesita el valor de la infiltración potencial correspondiente al 100% del área para obtener la curva.

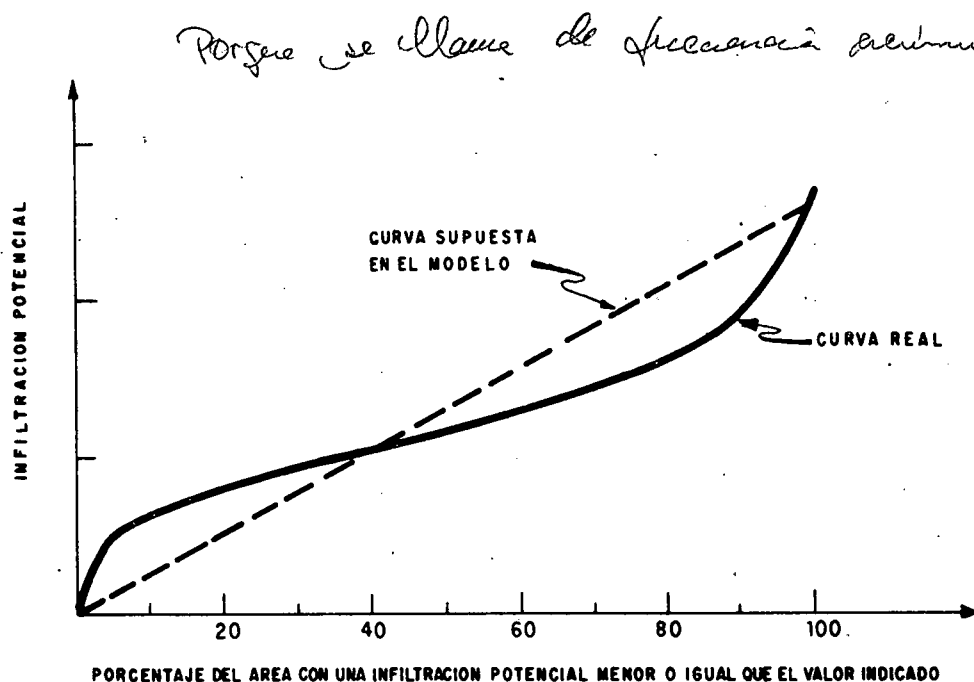


Figura 6. - Distribución de frecuencia acumulada para la infiltración potencial.

En el modelo el valor de la infiltración potencial para el 100% del área se denomina AINFP y se considera como función de la capacidad de infiltración del suelo, CINF, del almacenamiento nominal de la humedad del suelo, HSN, y de la humedad promedio del suelo para el mes, HSM.

En la Figura 7 se ilustra la forma como se simula en el modelo la infiltración. La lluvia proporciona el suministro de humedad para el mes y el área rayada de la figura representa la infiltración real, AINFRE, para ese mes. La infiltración potencial es variable en el tiempo y decrece con el incremento de humedad en el suelo, tal como se presenta en la Figura 8. El valor de la infiltración potencial, AINFP, se calcula a partir de la siguiente ecuación:

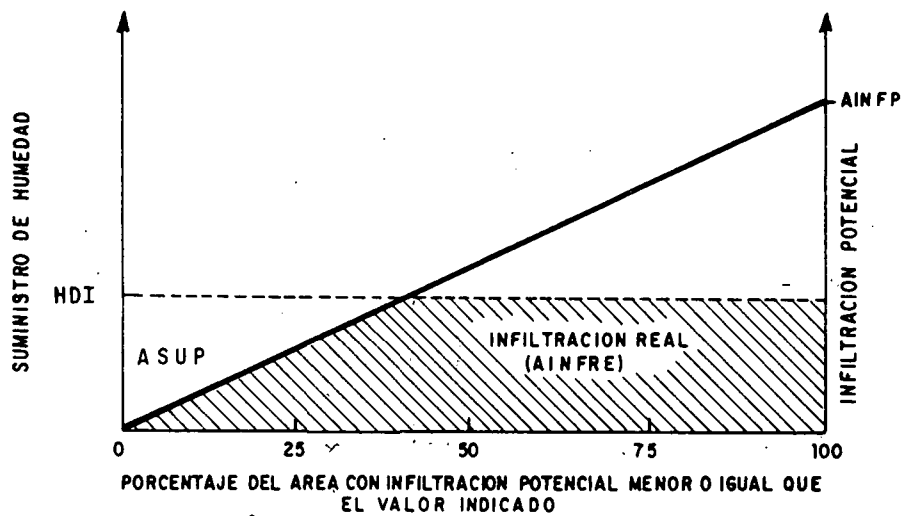


Figura 7. - Aplicación de la distribución de frecuencia acumulada de la infiltración potencial.

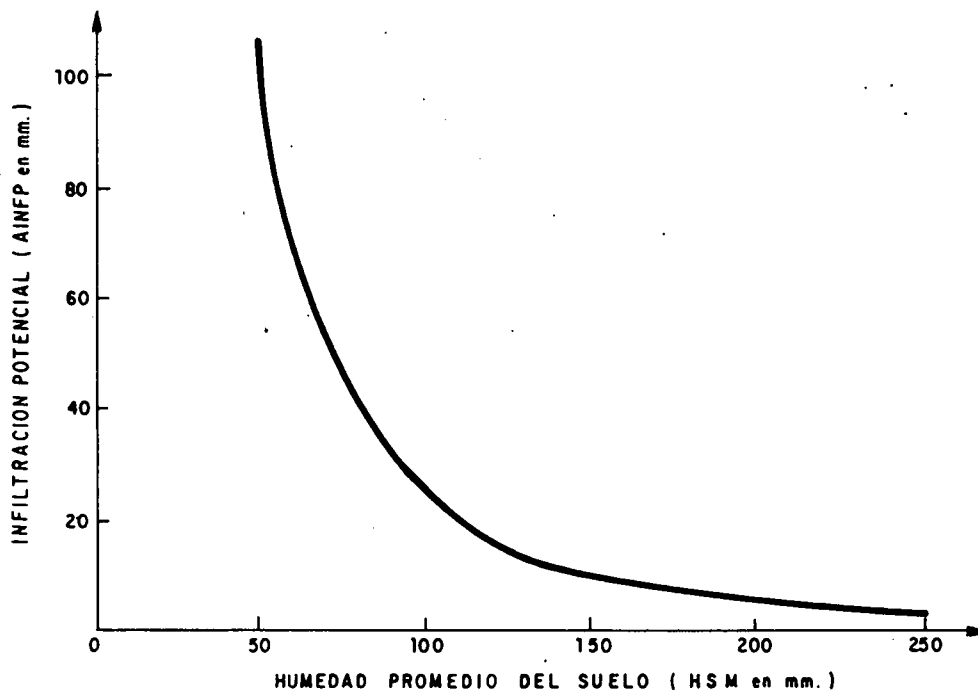


Figura 8. - Infiltración potencial como función de la humedad promedio del suelo.

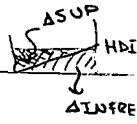
$$\frac{HDI}{AINFP} = \frac{x}{1} \Rightarrow x = \frac{HDI}{AINFP}$$

$$ASUP = \frac{1}{2} x \cdot h = \frac{1}{2} \frac{HDI}{AINFP} * HDI$$

$$ASUP = \frac{HDI^2}{2 AINFP}$$

$$AINFRE = HDI - ASUP$$

$$AINFRE = HDI - \frac{HDI^2}{2 AINFP}$$



$$AINFP = CINF \times \left(\frac{HSN_l}{HSM} \right)^{2.0}$$

donde

AINFP es la infiltración potencial,

CINF_l es la capacidad de infiltración para la subcuenca l,

? HSN_l es el almacenamiento nominal de la humedad del suelo para la subcuenca l,

HSM es la humedad promedio del suelo para el mes.

Como se aprecia en la Figura 7, se pueden presentar, dependiendo del valor del suministro de humedad, dos casos para el cálculo de la infiltración real, AINFRE, de allí que la formulación usada sea la siguiente:

$$AINFRE = \begin{cases} \frac{1}{2} b \cdot h = \frac{1}{2} 1 * AINFP & , \text{ si } HDI \geq AINFP \\ 0,5 \times AINFP & , \text{ si } HDI \geq AINFP \\ HDI - \frac{(HDI)^{2.0}}{2,0 \times AINFP} & , \text{ si } HDI \leq AINFP \end{cases} \quad (9a)$$

(9b)

$$HDI = PRE_{i,l} + ASUPI$$

$$ASUPI = ESCURT^{(i-1)} + ESCUTA$$

$$HDI - ASUP = AINFRE \quad (10)$$

$$AINFRE = \frac{AINFP}{2} \quad (11)$$

$$ASUP = HDI - AINFRE$$

donde

AINFRE es la infiltración real en el mes,

HDI es la humedad disponible para infiltrar, (Precip. + agua retenida superficial)

ASUPI es la humedad inicial en el almacenamiento superficial

ESCURT⁽ⁱ⁻¹⁾ es el escurrimiento retardado, y

ESCUTA es el escurrimiento total afluente.

4.4. PERCOLACION

Es el movimiento del agua a través del suelo y está determinada por la facilidad con la cual el suelo conduce el agua. La fracción de la infiltración que pasa por percolación al almacenamiento del agua subterránea es función de la relación del almacenamiento de humedad del suelo, tal como se muestra en la Figura 9. De acuerdo a esta figura se presentan dos casos para el cálculo de

relación del almacenamiento de humedad del suelo, tal como se muestra en la Figura 9.

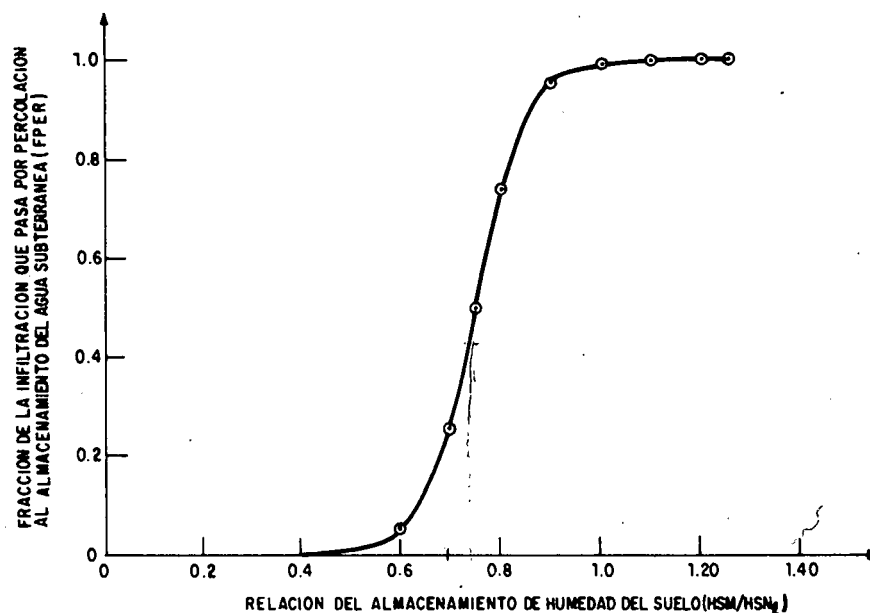


Figura 9.- Fracción que percola como función de la relación de humedad del suelo.

el 50% de lo que se infiltra, no de almacenamiento del suelo. Pero a percola cuando la relación HSM/HSN = 0.75

De acuerdo a la figura que antecede se presentan dos casos para el cálculo de la fracción de la infiltración que percola, FPER, dependiendo del valor de la relación de almacenamiento de humedad del suelo, REL. La formulación usada para la simulación de este proceso es la siguiente:

$$\text{PERC} = \text{FPER} \times \text{AINFRE} \quad \text{esto es percola por humedad tan rápido.} \quad (12)$$

$$\text{REL} = \text{HSM} / \text{HSN}_2 \quad (13)$$

$$\text{POT} = 10,0 \times |\text{REL} - 0,75| + 1,0 \quad (14)$$

$$FPER = \begin{cases} \left(\frac{1,0}{1,0 + POT} \right)^{POT} & , \text{ si } REL < 0,75 \\ 1,0 - \left(\frac{1,0}{1,0 + POT} \right)^{POT} & , \text{ si } REL \geq 0,75 \end{cases} \quad (15a)$$

donde

PERC es la percolación durante el mes,
 FPER es la fracción de la infiltración real que percola en el mes,
 REL es la relación de humedad del suelo, y
 POT es el factor para ajustar FPER y REL a la curva mostrada en la Figura 9.

4.5. ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL

Se considera en el modelo que toda la precipitación entra a este almacenamiento y de allí sólo va a ser removida por la infiltración y por el escurrimiento, y también, debido a la escala del modelo, se engloba en este almacenamiento el volumen almacenado en la vertiente y en los cauces. En la Figura 10 se presentan las afluencias y efluencias de este almacenamiento.

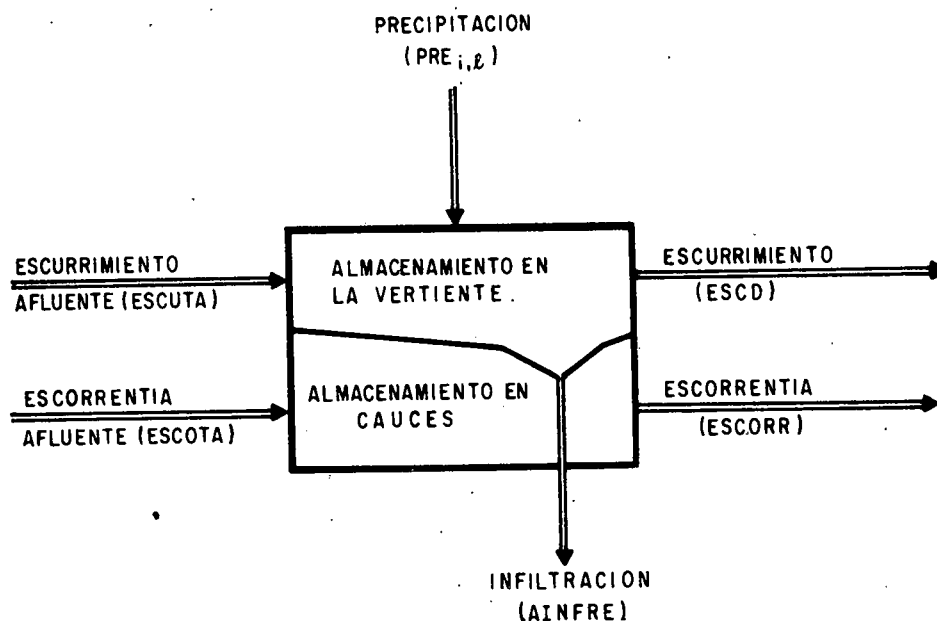


Figura 10.-Afluencias y Efluencias del almacenamiento superficial.

A continuación se presenta la formulación usada para simular este proceso de almacenamiento.

$$ASUP = PRE_{i,l} + ESCURT^{(i-1)} + ESCUTA - AINFRE \quad (16)$$

$$ASUPF = ASUP + ESCOTA + ESCORT^{(i-1)} - ESCD - ESCORR \quad (17)$$

donde

ASUPF es el almacenamiento superficial final,

ASUP es el almacenamiento superficial en el mes,

ESCOTA es la escorrentía total afluente,

ESCD es el escurrimiento,

ESCORR es la fracción de ESCOTA y $ESCORT^{(i-1)}$ que forma parte de la escorrentía que sale en el mes, y

$ESCORT^{(i-1)}$ es la escorrentía retardada del mes anterior.

4.6 ALMACENAMIENTO DE HUMEDAD DEL SUELO

Se considera como humedad del suelo el agua almacenada en el perfil, lo cual es el resultado del balance entre la humedad existente en el suelo, la infiltración, la evapotranspiración real y la percolación. En la Figura 11 se presentan las afluencias y las efluencias de este almacenamiento, y a continuación las ecuaciones usadas:

$$HSF = HIS + (FNPER \times AINFRE) - ETR_{i,l} \quad (18)$$

$$HSM = (HIS + HSF)/2,0 \quad (19)$$

$$FNPER = 1,0 - FPER \quad (20)$$

donde

HSF es la humedad final del suelo para el mes,

HIS es la humedad inicial del suelo para el mes,

FNPER es la fracción de la infiltración que no percola, y

HSM es la humedad promedio del suelo en el mes.

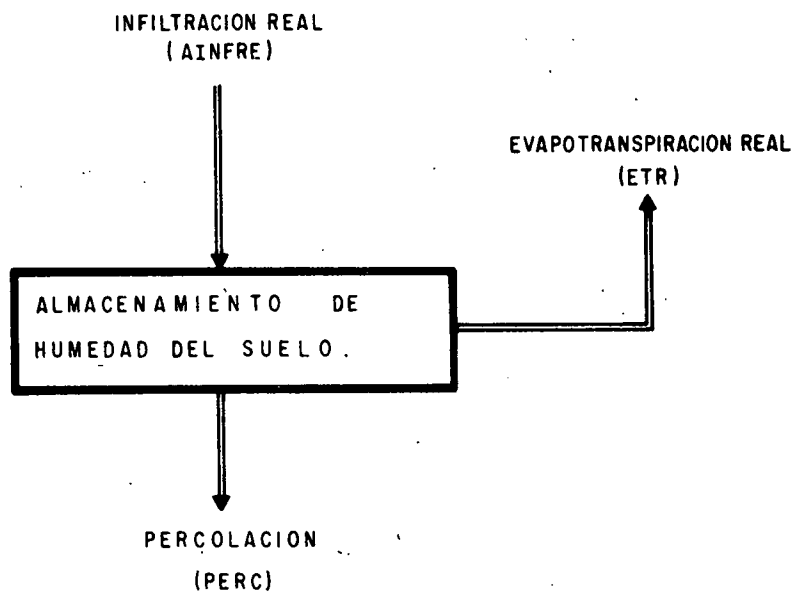


Figura 11. - Afluencias y Efluencias del almacenamiento de humedad del suelo.

4.7 ALMACENAMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA

Este almacenamiento se considera alimentado por la percolación y el flujo subterráneo afluente, proveniente de otra cuenca o subcuenca. El agua aquí almacenada puede salir, de la cuenca o subcuenca, en forma subterránea como flujo subterráneo efluente o en forma superficial como caudal base. En la Figura 12 se presenta en forma esquemática las afluencias y efluencias que se consideraran para este almacenamiento.

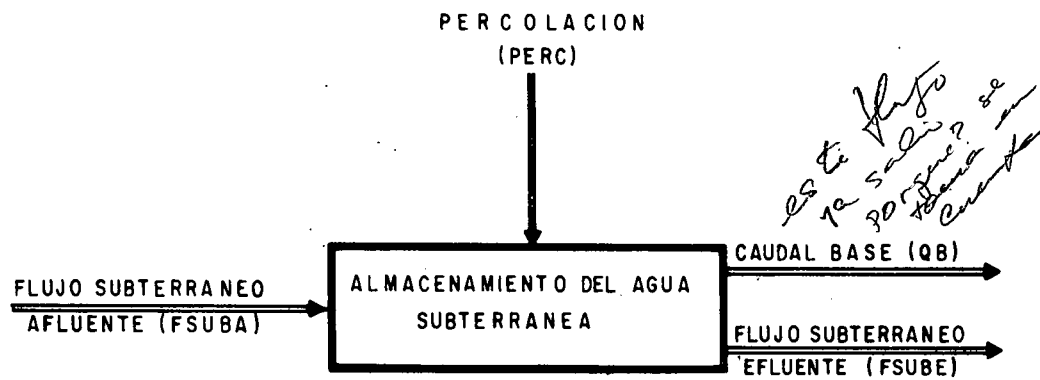


Figura 12.- Representación esquemática del almacenamiento del agua subterránea.

$$VF = AASI + PERC + FSUBA_{\ell} - QB - FSUBE_{i,\ell} \quad (21)$$

$$VM = (AASI + VF)/2,0 \quad (22)$$

donde

AASI es el almacenamiento inicial,

PERC es la percolación,

$FSUBA_{\ell}$ es el flujo subterráneo afluente a la subcuenca ℓ ,

QB es el caudal base,

- VM es el almacenamiento promedio del agua subterránea,
- FSUBE_{i,l} es el flujo subterráneo efluente en el mes i para la subcuenca l, y
- VF es el almacenamiento final del agua subterránea.

4.8 ESCURRIMIENTO

Es el agua que escurre sobre la superficie del terreno hasta los cauces, y es una fracción de la diferencia entre la humedad disponible para infiltrar, HDI, y la infiltración real, AINFRE. A continuación se presenta la formulación matemática usada;

$$ESCD = PESC_l \times ASUP \quad (23)$$

$$ESCURT^{(i)} = (1,0 - PESC_l) \times ASUP \quad (24)$$

donde

- ESCD es el escurrimiento durante el mes,
- ESCURT⁽ⁱ⁾ es el escurrimiento retardado, y
- PESC_l es la fracción del almacenamiento superficial que sale como escurrimiento durante el mes.

4.9 CAUDAL BASE

Es el flujo proveniente del almacenamiento del agua subterránea que sale a los cauces de la cuenca como caudal base, su formulación es la siguiente:

$$QB = PQB_l \times VM \quad (25)$$

donde

- QB es el caudal base, y
- PQB_l es la fracción del almacenamiento del agua subterránea que sale como caudal base.

4.10 FLUJO SUBTERRANEO EFLUENTE

Es el flujo que sale de la cuenca o subcuenca en forma subterránea, su formulación es:

$$FSUBE_{i,l} = PFSE_l \times VM \quad (26)$$

donde

$FSUBE_{i,l}$ es el flujo subterráneo efluente en el mes i proveniente de la subcuenca l , y

$PFSE_l$ es la fracción del almacenamiento del agua subterránea que sale como flujo subterráneo efluente.

no hay pérdidas del almacenamiento subterráneo, si solo sale como QB = 7 PFSE
Para calibrar el modelo se requiere que los coeficientes
 Es de hacer notar que de acuerdo a las ecuaciones (25) y (26) los coeficientes PQB_l y $PFSE_l$ deben cumplir la siguiente relación:

$$PQB_l + PFSE_l \leq 1,0 \quad (27)$$

4.11 ESCORRENTIA

Es el flujo que sale de la cuenca o subcuenca a través de los cauces, y está constituido por el escurrimiento, la escorrentía proveniente de otras cuencas o subcuencas, la escorrentía retardada y el caudal base:

$$ESCT_{i,l} = ESCD + ESCORR + QB \quad (28)$$

$$ESCORR = PESC_l \times (ESCOTA + ESCORT^{(i-1)}) \quad (29)$$

$$ESCORT^{(i)} = (1,0 - PESC_l) \times (ESCOTA + ESCORT^{(i-1)}) \quad (30)$$

donde

$ESCT_{i,l}$ es la escorrentía total en el mes i , producida por la subcuenca l ,

$ESCORR$ es la escorrentía del mes,

ESCORT⁽ⁱ⁻¹⁾ es la esorrentía retardada del mes anterior, y
 ESCORT⁽ⁱ⁾ es la esorrentía retardada del mes i.

V. ESTRUCTURA Y SOLUCION DEL MODELO

En este aparte se presenta la estructura del modelo y la solución de la formulación matemática presentada anteriormente.

5.1 ESTRUCTURA DEL MODELO

El orden o secuencia en que se calculan los diferentes procesos que conforman el sistema hidrológico, es lo que define la estructura del modelo. En este modelo, en particular, la estructura viene dada según los siguientes pasos:

1. Se calcula la precipitación media, la evaporación media y la evapotranspiración potencial.
2. Se determina la fracción del almacenamiento en la vertiente que pasa por infiltración al interior del suelo, y el almacenamiento superficial que posteriormente saldrá como escurrimiento,
3. Se determina la fracción de la infiltración que percola hacia el almacenamiento del agua subterránea y la fracción que es retenida en el almacenamiento de humedad del suelo,
4. Se calcula tanto la fracción de la humedad que sale del almacenamiento de humedad del suelo en forma de evapotranspiración, como el contenido final de este almacenamiento,
5. Considerando la percolación, el flujo subterráneo afluente y el almacenamiento inicial del agua subterránea, se calcula el caudal base, el flujo subterráneo efluente y el contenido final del almacenamiento del agua subterránea, y

6. Por último, a partir del almacenamiento superficial se determina el escu
rrimiento, que sumado al caudal base formará la es
correntía total.

En la Figura 13 se presenta un esquema, en forma de diagrama de bloque, que muestra la estructura del modelo. En esta figura se escriben los números de las ecuaciones fundamentales para cada proceso.

5.2 SOLUCION DEL MODELO

Las ecuaciones del modelo son todas de tipo algebraico y por lo tanto la so
lución se hace por simple sustitución del valor de las variables discretas.

Existe, sin embargo, una condición de dependencia entre procesos de transfe-
rencia y procesos de almacenamiento, que no permite resolver secuencialmente
las ecuaciones usadas para la simulación de los procesos.

En efecto, procesos tales como la infiltración, la percolación y la evapo-
transpiración se representan por variables discretas que indican el valor de
ellos para un intervalo discreto de tiempo. Dicho valor es, de acuerdo a la
formulación matemática, función del almacenamiento de humedad del suelo, el
cual a su vez está representado por una variable discreta que indica su va-
lor al final de cada intervalo de tiempo. Así pues, para resolver en un in-
tervalo discreto de tiempo las ecuaciones que simulan los procesos anterior-
mente señalados, es necesario conocer el valor del almacenamiento de humedad
del suelo al final del intervalo, pero éste a su vez no puede determinarse
hasta tanto no se conozca el valor de los primeros. Igual situación se pre-
senta en la formulación matemática usada para simular el caudal base y el flu
jo subterráneo efluente, cuyas expresiones dependen del valor del almacena-
miento del agua subterránea.

La dependencia recíproca entre procesos de transferencia y de almacenamiento,
señalada anteriormente, plantea la necesidad de usar algún método de solución
para resolver las diferentes expresiones matemáticas. El método general de
solución que aquí se sigue consiste en:

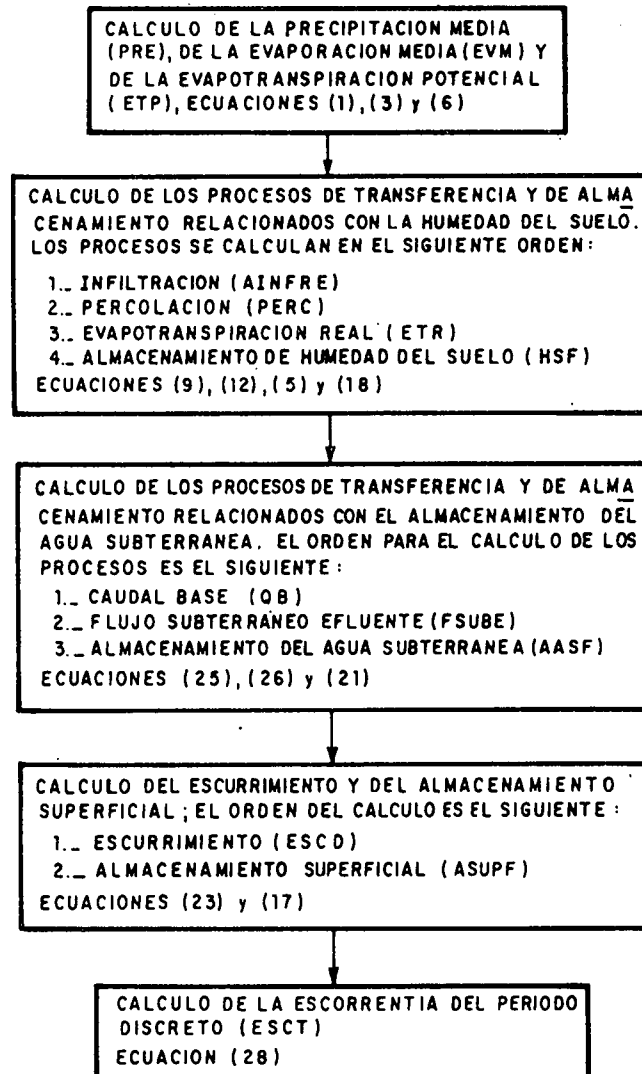


Figura. 13. Estructura del modelo de simulación mensual.

Esta estructura se adapta bastante bien a la mayoría de las cuencas, sin embargo puede haber una cuenca en particular en donde dicha estructura no funcione. Por lo tanto habrá que cambiarla.

1. Suponer un valor de almacenamiento promedio durante el intervalo de tiempo,
2. Resolver las expresiones matemáticas usadas para simular los procesos de transferencia,
3. Calcular a partir de los resultados obtenidos en el punto anterior el valor del almacenamiento final,
4. Calcular el almacenamiento promedio en el mes, y
5. Si la diferencia entre el almacenamiento calculado en el paso 4 y el asumido en el paso 1 es tolerable, se acepta el error y el proceso finaliza. Si la diferencia no es tolerable, se repite todo el proceso partiendo de un valor diferente para el paso 1.

Para asegurar que el método de solución anterior converja a una solución adecuada y que lo haga lo más rápido posible es necesario también usar algún procedimiento de convergencia. Aquí se emplean dos procedimientos diferentes, el primero para resolver las expresiones matemáticas que simulan los procesos de transferencia y de almacenamiento relacionados con la humedad del suelo y el segundo para resolver las expresiones matemáticas que simulan los procesos relacionados con el agua subterránea.

5.2.1 Método de solución y procedimiento de convergencia para resolver las expresiones matemáticas que simulan los procesos relacionados con la humedad del suelo.

Para la solución de los procesos de infiltración, percolación, evapotranspiración y almacenamiento de humedad del suelo se sigue el método general de solución presentado anteriormente, pero para lograr la convergencia se usa el método de búsqueda unidimensional denominado "Sección de Oro".

En la Figura 14 se muestra el diagrama de flujo del método de la "Sección de

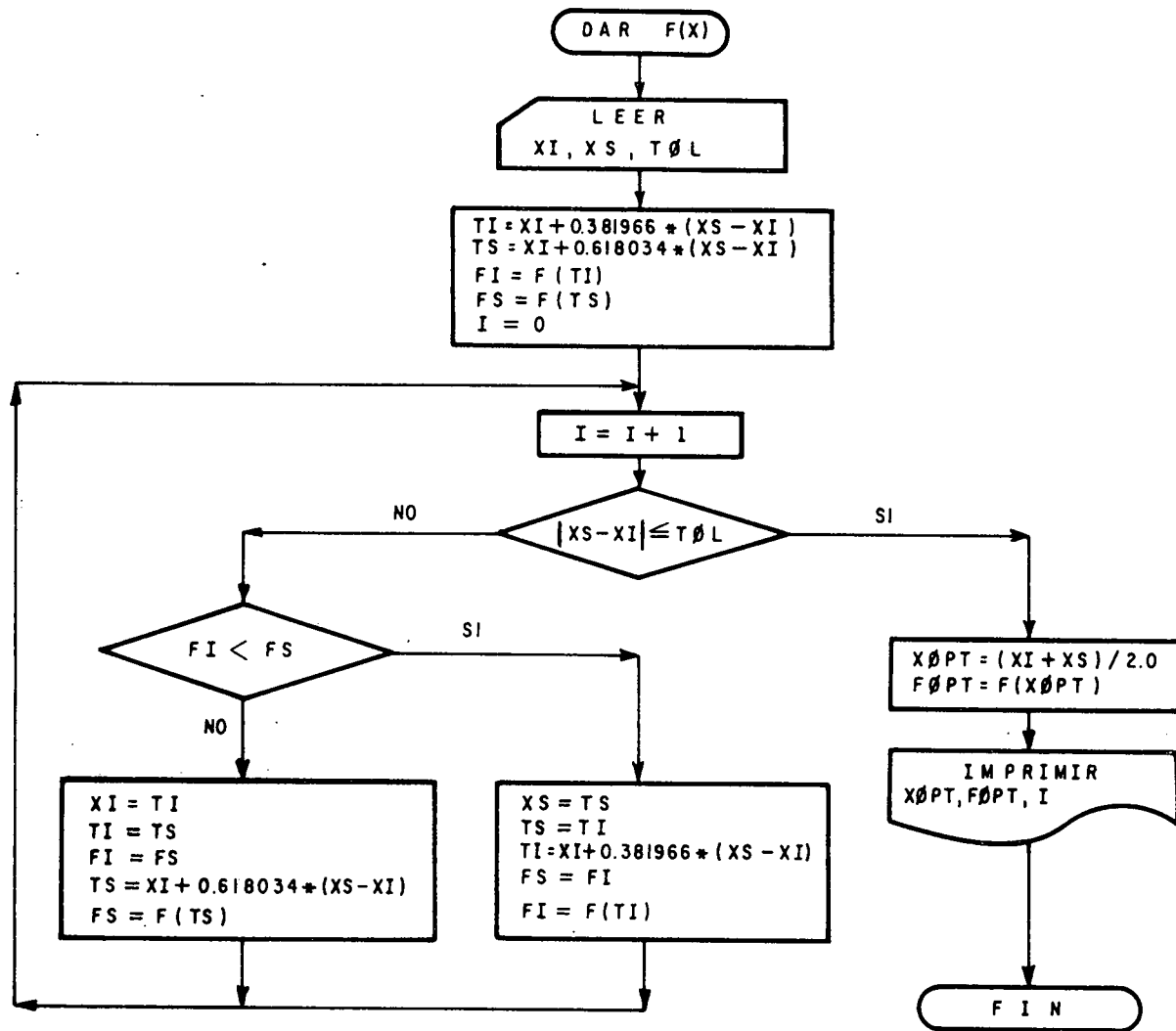


Figura. 14. Diagrama de flujo del método de búsqueda de la "Sección de Oro", para minimización de $F(x)$.

Oro", el cual consiste en minimizar o maximizar una función $F(x)$, donde el intervalo de variación de la variable independiente x es tal que:

$$XI \leq x \leq XS \quad (31)$$

donde

XI es el límite inferior de la variable independiente x , y

XS es el límite superior.

El método consiste en ir reduciendo el intervalo de variación hasta que sea inferior a un número pequeño arbitrariamente escogido. Para lograr esto se escogen dos valores tentativos para sustituir uno de los límites XI ó XS del intervalo de variación, los valores tentativos se calculan como

$$TI = XI + 0.381966 (XS - XI) \quad (32)$$

$$TS = XS + 0.618034 (XS - XI) \quad (33)$$

donde

TI es el valor tentativo para el límite inferior, y

TS es el valor tentativo para el límite superior.

Luego se calcula $F(TI)$ y $F(TS)$ y se sustituye uno de los límites del nuevo intervalo de variación de acuerdo a lo siguiente:

- Para maximización de la función $F(x)$ se tiene;

Si $F(TI) > F(TS)$ se mantiene TI, y

Si $F(TS) > F(TI)$ se mantiene TS

- Para minimización de la función $F(x)$ queda que;

Si $F(TI) < F(TS)$ se mantiene TI, y

Si $F(TS) < F(TI)$ se mantiene TS.

De acuerdo a lo anterior se presentan dos casos que permiten desechar uno u otro tramo; del intervalo de variación, a continuación se presentan cada uno de ellos y en la Figura 15 una ilustración esquemática.

1er. caso. Se desecha el tramo TS - XS

Si $F(TI) > F(TS)$ para maximización o

Si $F(TI) < F(TS)$ para minimización

El nuevo intervalo de variación es;

$$XI \leq x \leq TS \quad (34)$$

es decir

$$XS = TS \quad (35)$$

2do. caso. Se desecha el tramo XI - TI

Si $F(TS) > F(TI)$ para maximización o

Si $F(TS) < F(TI)$ para minimización

El nuevo intervalo de variación será;

$$TI \leq x \leq XS \quad (36)$$

es decir

$$XI = TI \quad (37)$$

El procedimiento se repite hasta que

$$XS - XI \leq TOL \quad (38)$$

donde

TOL es la tolerancia

Para el caso particular que aquí se estudia se desea minimizar la diferencia entre los almacenamientos promedios del suelo, asumido y calculado, es decir:

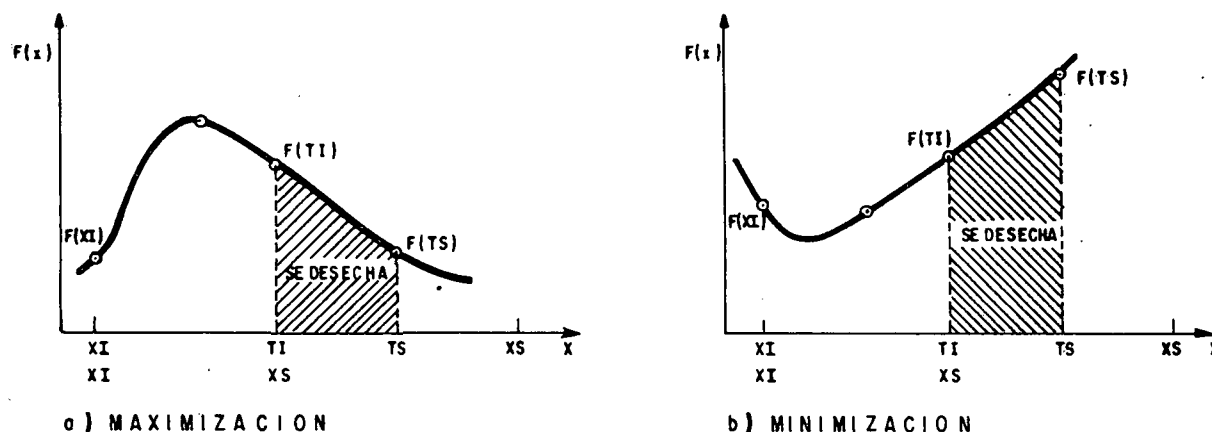


Figura 15.- Ilustración del método de búsqueda de sección de Oro .

$$F(x) = |HSM - HSME| \quad (39)$$

donde

HSM es el almacenamiento promedio supuesto, y

HSME es el almacenamiento promedio calculado.

Los valores de HSM se determinan por el método de búsqueda mientras que los de HSME son el resultado de aplicar la formulación matemática de los procesos. El intervalo de variación de HSM viene dado por:

$$0 \leq HSM \leq HSN_{\ell} \quad (40)$$

De esta forma y aplicando el procedimiento de la "Sección de Oro" para un problema de minimización se determina el valor de HSM que minimiza la función $F(x)$. Para calcular el valor de la función $F(x)$ es necesario resolver las expresiones matemáticas que simulan los procesos de infiltración, percolación, evapotranspiración y almacenamiento de humedad del suelo, y una vez obtenida la solución óptima de acuerdo al algoritmo del método de búsqueda de la "Sección de Oro", se habrá determinado también el valor correcto de las variables

discretas AINFRE, PERC, ETR y HSF. Más adelante, en la Figura 16, se presenta un diagrama de flujo que muestra la manera como se realizan los cálculos.

Un segundo aspecto adicional es la aplicación de las expresiones matemáticas para el cálculo de la evapotranspiración real, ETR. La ecuación (5) usada para simular este proceso puede aplicarse correctamente para cada instante de tiempo; ahora bien, cuando se aplica considerando un intervalo discreto de tiempo se pueden cometer errores significativos. En efecto, durante un intervalo de tiempo discreto podría ocurrir que el almacenamiento de humedad del suelo pase de la zona superior del contenido límite de humedad a la zona inferior, o viceversa.

Debido a que al aplicarse la ecuación (5) sólo es posible una de dos condiciones, $HSM > CLE$ o bien $HSM \leq CLE$, se tiene que en los casos donde el almacenamiento de humedad atraviese el límite o divisoria CLE durante un mismo intervalo discreto de tiempo, la ecuación (5) no puede aplicarse en forma directa. El procedimiento usado en este modelo para resolver de manera correcta la ecuación (5) consiste en resolverla por pasos, según se presenten los siguientes casos:

1. Si $HSM > CLE$

En este caso existe una cantidad de agua que está disponible para evapotranspirar fácilmente y es igual a la diferencia entre HSM y CLE, y se denomina HDEL.

- Si $HDEL \geq ETP$, se calcula la evapotranspiración de acuerdo a la ecuación (5a):

$$ETR = ETP \quad (41)$$

- Si $HDEL < ETP$, no se puede suplir totalmente la evapotranspiración potencial. La ETR se calcula como la suma de HDEL más la fracción de la evapotranspiración remanente que pueda ser extraída; esta última se determina aplicando la ecuación (5b). En la Figura 16 se muestra la forma como se realiza esta operación, la cual consiste en fraccionar la

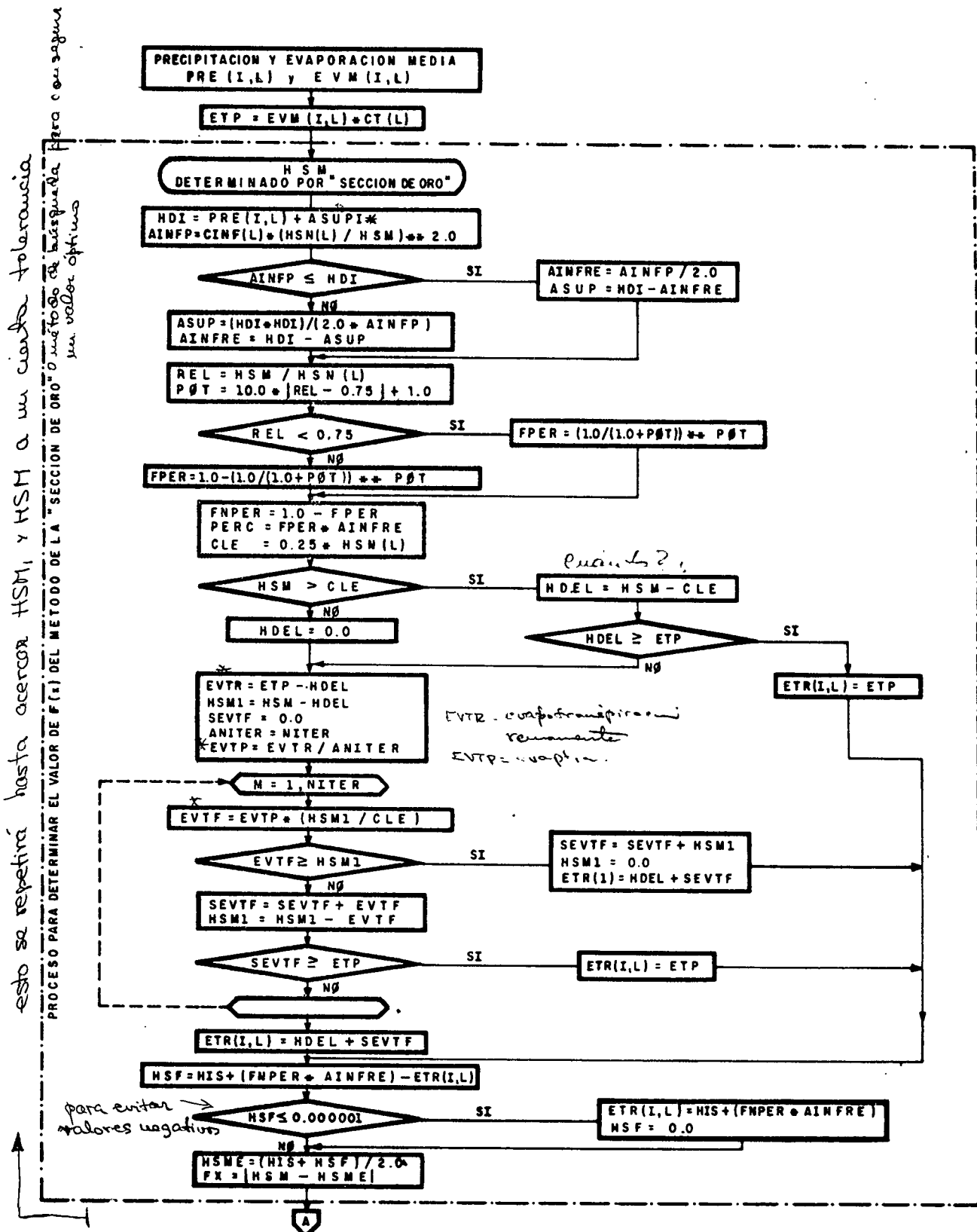


Figura 16.-Flujograma que muestra la forma como se calcula la escorrentía en el modelo de simulación mensual

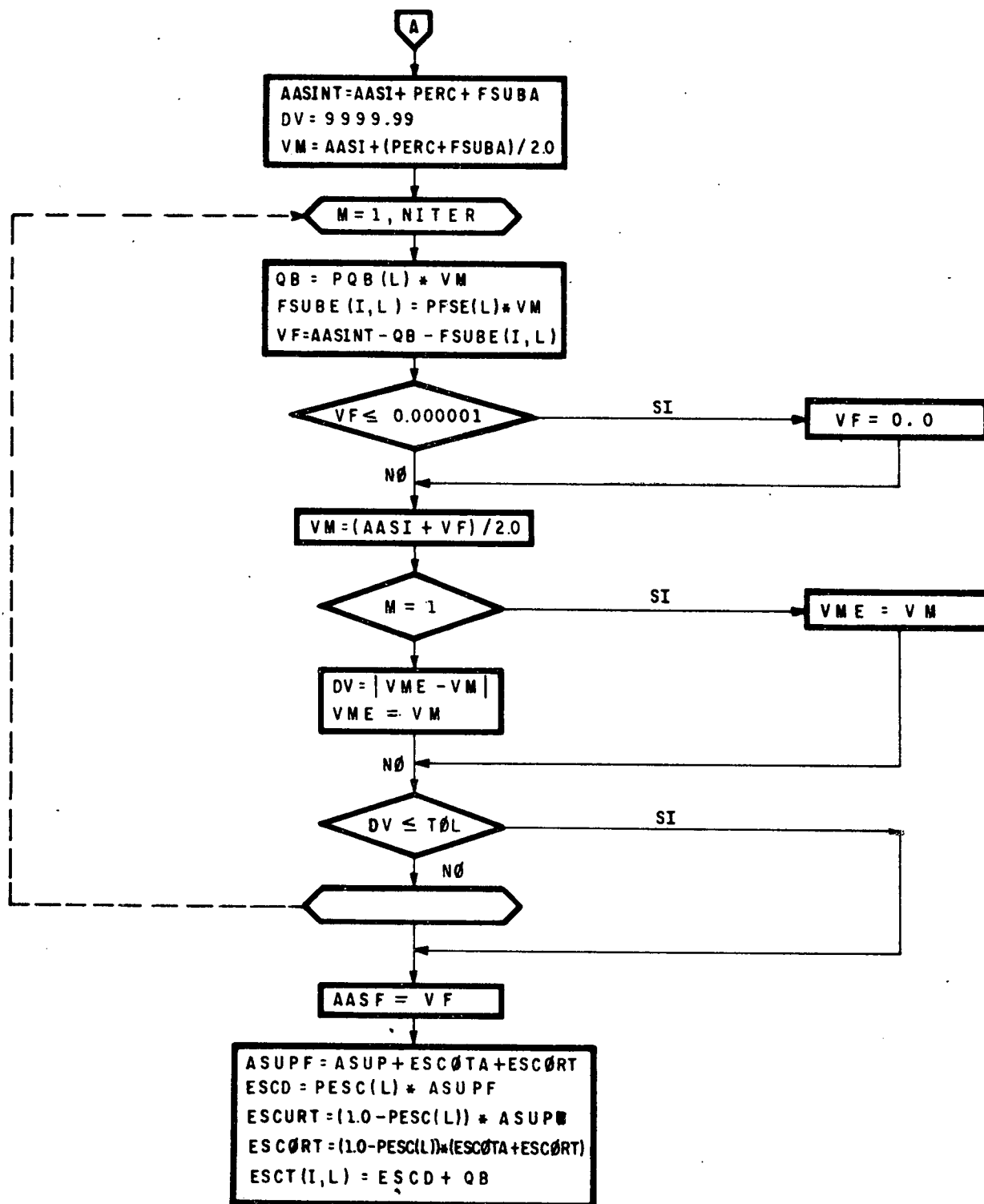


Figura 16.- continuación... Flujograma que muestra la forma como se calcula la escorrentía en el modelo de simulación mensual.

evapotranspiración remanente en un número arbitrariamente escogido de subintervalos discretos, aplicándose en cada uno de ellos la ecuación (5b).

2. Si $HSM \leq CLE$

En este caso no existe agua que la planta pueda extraer fácilmente, por lo cual no se puede suplir totalmente la evapotranspiración potencial, y la ETR se determina subdividiendo la evapotranspiración potencial en un número de subintervalos discretos escogidos arbitrariamente y aplicando a cada uno de ellos la ecuación (5b), tal como se muestra en la Figura 16.

5.2.2. Método de solución y procedimiento de convergencia para resolver las expresiones matemáticas que simulan los procesos relacionados con el agua subterránea.

Al igual que para los procesos relacionados con la humedad del suelo, el método general que se sigue consiste en suponer un almacenamiento promedio del agua subterránea, VME, resolver las ecuaciones (25) y (26) para determinar el valor de los procesos de transferencia QB y FSUBE respectivamente, calcular el almacenamiento final, VF, mediante la ecuación (21), y determinar el valor calculado del almacenamiento promedio, VM.

Si la diferencia entre VME y VM es mayor que un valor prefijado, TOL, se supone un nuevo valor de VME y se repite el proceso, en caso contrario, el proceso finaliza y los últimos valores calculados para QB, FSUBE y VF se toman como correctos.

Para lograr la convergencia del método se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se supone un VME que viene dado por

$$VME = AASI + (PERC + FSUBA)/2,0 \quad (42)$$

2. Se calcula QB, FSUBE y VF

3. Se calcula el valor medio

$$VM = (AASI + VF)/2,0 \quad (43)$$

4. Si $|VM - VME| > TOL$ se hace

$VME = VM$ y se va al paso 2

5. Si $|VM - VME| \leq TOL$ finaliza el proceso.

El procedimiento completo para dar solución al modelo se muestra en la Figura 16 en forma de diagrama de flujo, refiriéndose a la solución para un intervalo discreto en particular. El proceso se debe repetir para cada uno de los intervalos discretos a analizar, teniendo en cuenta que los almacenamientos finales de un intervalo pasan a ser iniciales para el siguiente intervalo de tiempo, es decir;

$$HIS^k = HSF^{k-1} \quad (44)$$

$$AASI^k = VF^{k-1} \quad (45)$$

$$ASUPI^k = ESCURT^{k-1} \quad (46)$$

$$ESCORT^k = ESCORT^{k-1} \quad (47)$$

$$ESCURT^k = ESCURT^{k-1} \quad (48)$$

$$K = 1, \dots, NMES \quad (49)$$

donde

K es el mes, y

$NMES$ es el número de meses.

VI. PRUEBA DE SENSIBILIDAD DE PARAMETROS

6.1 PRUEBA DE SENSIBILIDAD PARA EL PARAMETRO CINF

En la Figura 17 (a y b) se presenta la variación mensual y total de la escorrentía para diferentes valores de CINF. En ella se observa que a medida que se incrementa el valor de CINF se produce una disminución en el valor de la escorrentía simulada, tanto a nivel mensual como total.

www CINF 7 HSN

Al incrementarse el valor de CINF disminuye el escurrimiento y se incrementa el caudal base, tal como se muestra en la Figura 17 (c y d).

6.2 PRUEBA DE SENSIBILIDAD PARA EL PARAMETRO HSN

De la Figura 18 (a y b), se tiene que al incrementar el valor de HSN, se origina una disminución en la escorrentía simulada, tanto a nivel mensual como total, a la salida de la cuenca.

En la Figura 18 (c y d) se muestra la variación del escurrimiento y del caudal base para diferentes valores de HSN. En ella se observa que a medida que se incrementa el valor de HSN se produce una disminución tanto del escurrimiento directo como del caudal base.

6.3 PRUEBA DE SENSIBILIDAD PARA EL PARAMETRO CT

En la Figura 19 se puede observar que al incrementar el valor de CT se produce una disminución en la escorrentía simulada, tanto a nivel mensual como total, al igual que en el escurrimiento y en el caudal base.

6.4 PRUEBA DE SENSIBILIDAD PARA EL PARAMETRO PQB

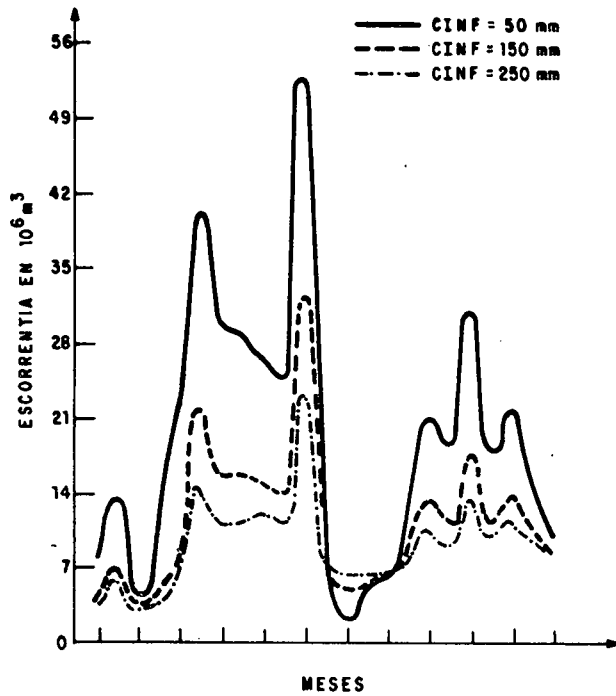
A medida que se incrementa el valor de PQB, se produce un incremento en la escorrentía mensual y en la escorrentía total simulada, tal como se muestra en la Figura 20 (a y b).

En la Figura 20 (c y d) se aprecia que el parámetro PQB no tiene influencia sobre el escurrimiento, pero sí sobre el caudal base; a medida que el valor del parámetro se incrementa, también lo hace el caudal base.

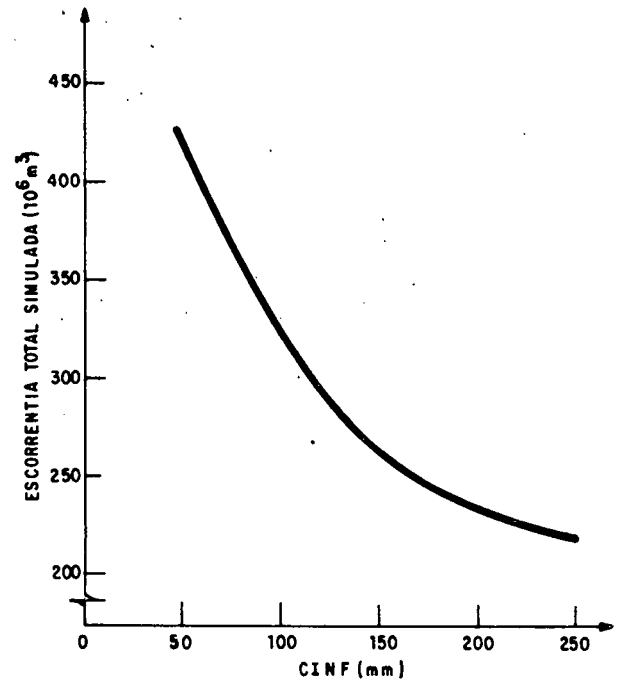
6.5 PRUEBA DE SENSIBILIDAD PARA EL PARAMETRO PFSE

De la Figura 21 (a y b) se tiene que al incrementar el valor PFSE se produce una disminución en la escorrentía simulada, tanto a nivel mensual como total,

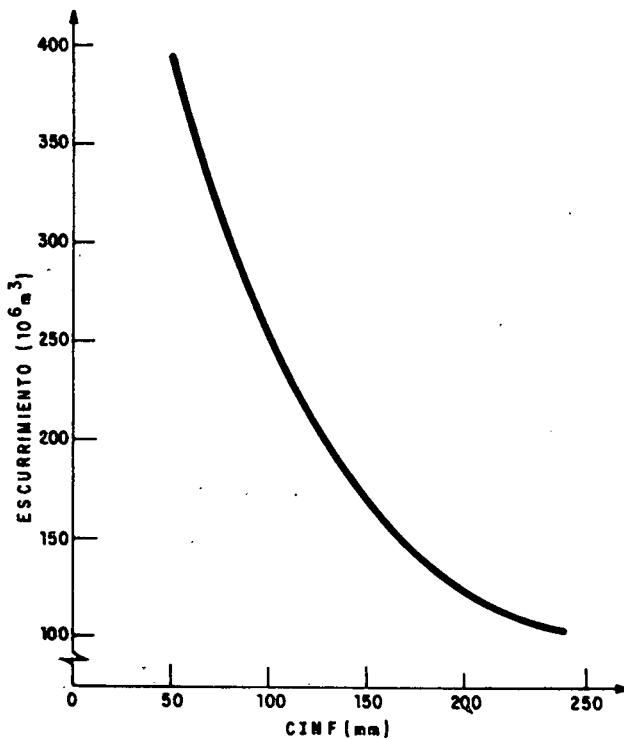
$> CINF < ESC.$
 $> CINF > QB$



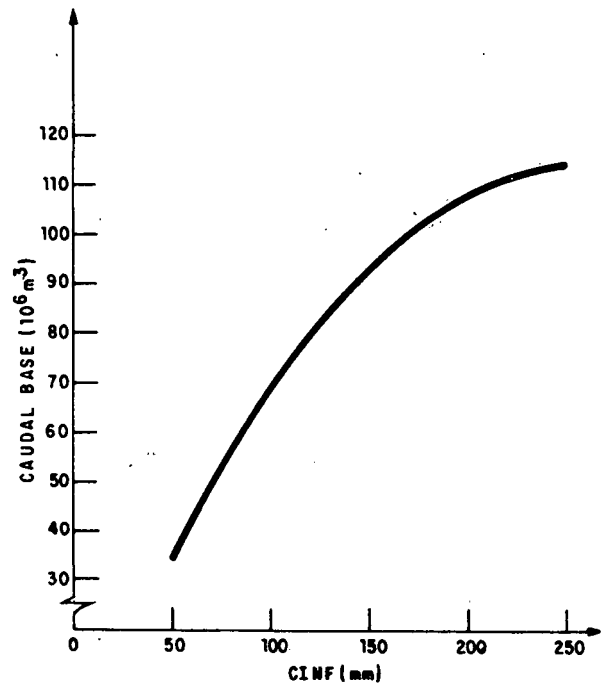
a) VARIACION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA



b) VARIACION TOTAL DE LA ESCORRENTIA



c) VARIACION DEL ESCURRIMIENTO DIRECTO

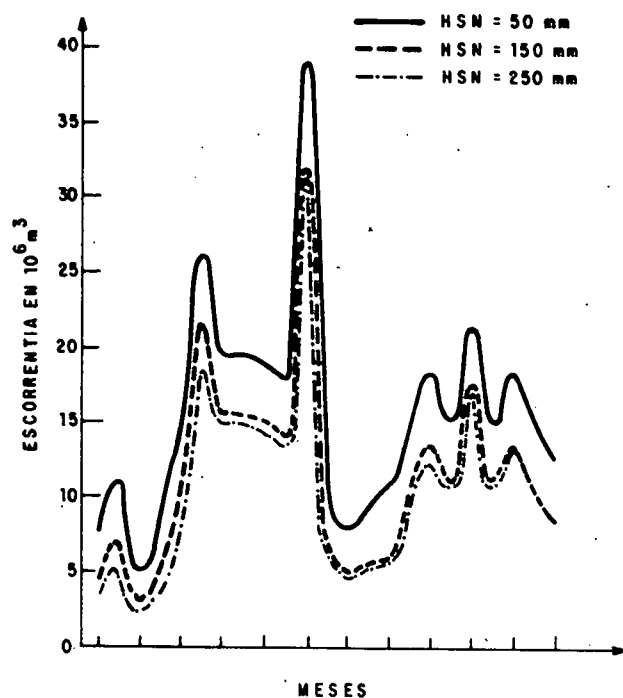


d) VARIACION DEL CAUDAL BASE

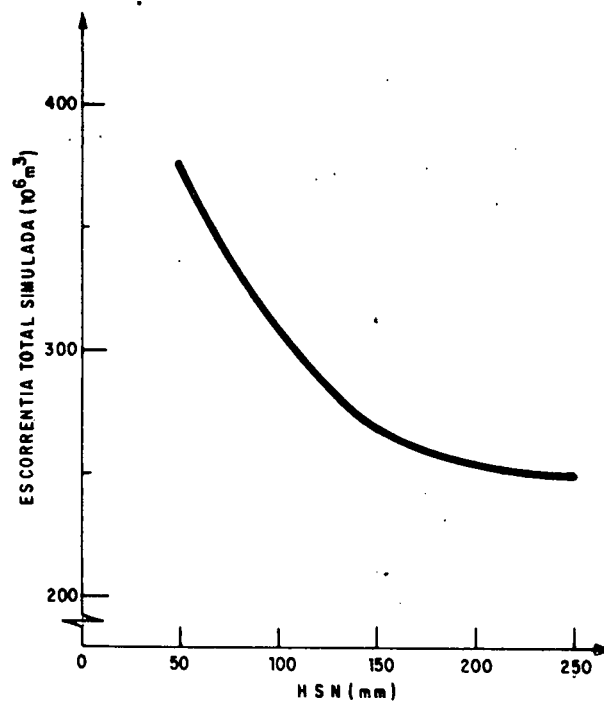
Figura 17.- Prueba de sensibilidad para el parámetro CINF.

> HSN > Infotencia

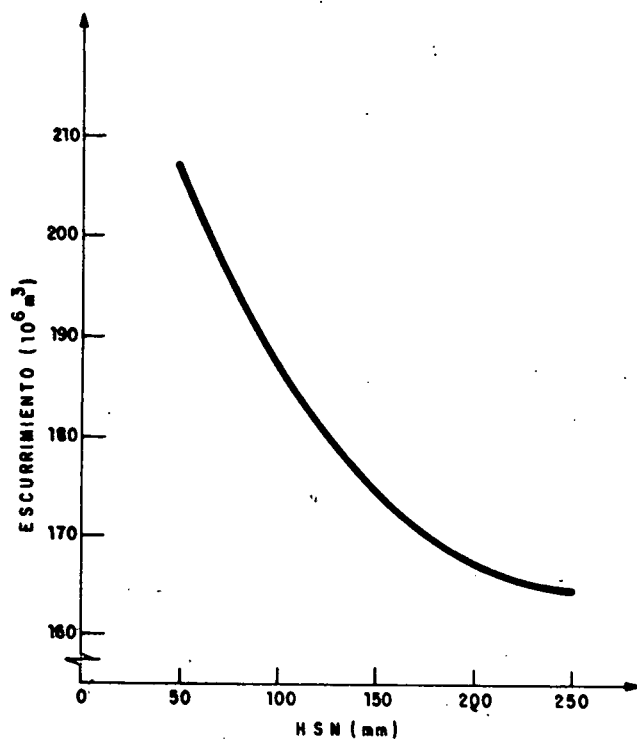
40



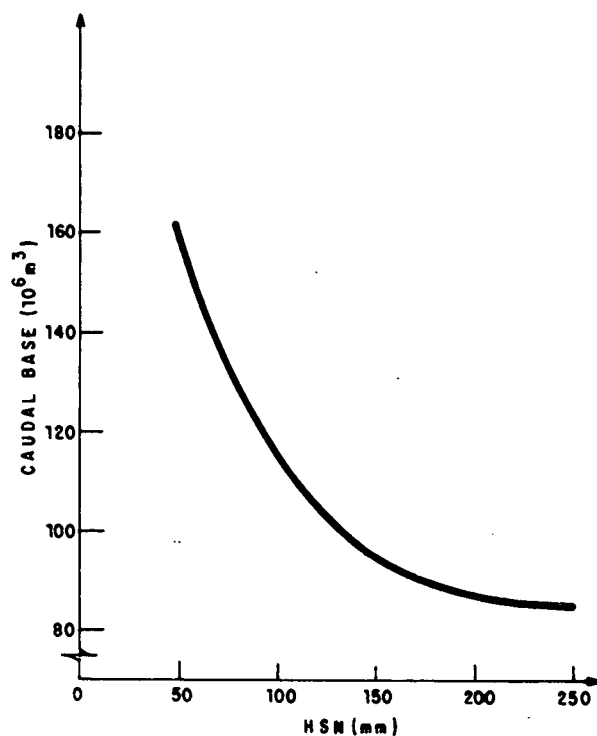
a) VARIACION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA



c) VARIACION TOTAL DE LA ESCORRENTIA

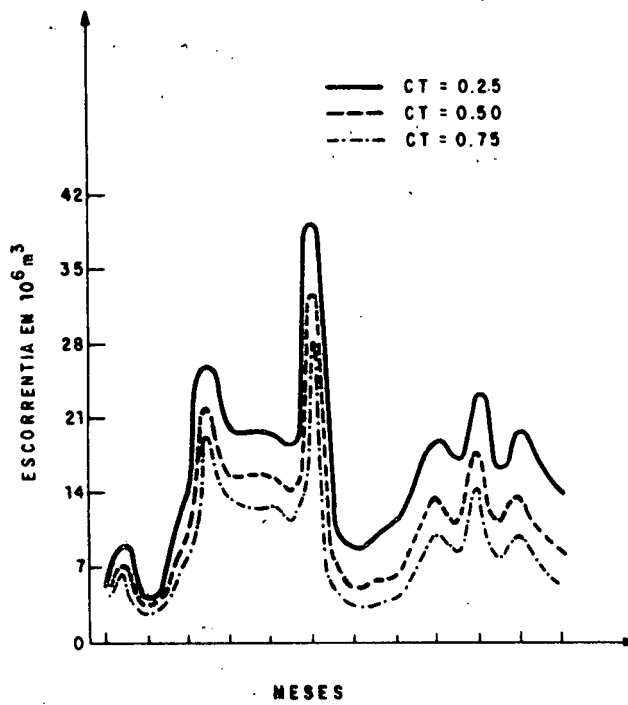


d) VARIACION DEL ESCURRIMIENTO DIRECTO

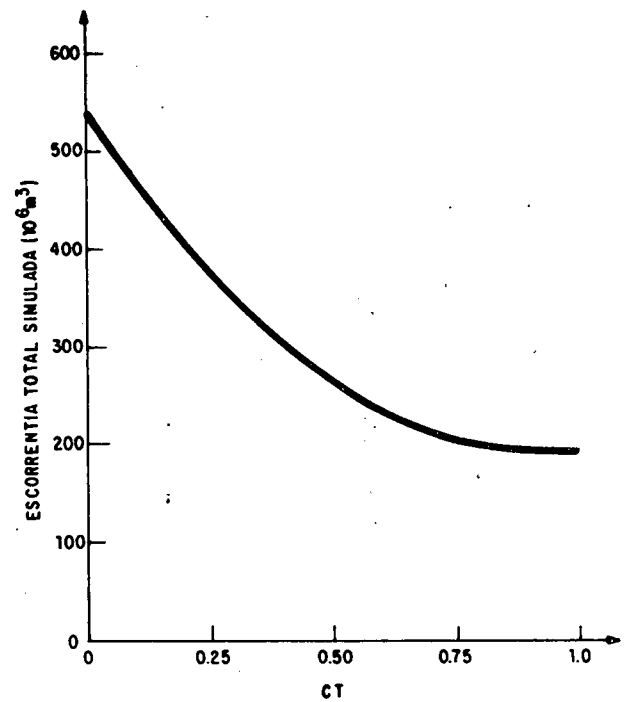


d) VARIACION DEL CAUDAL BASE

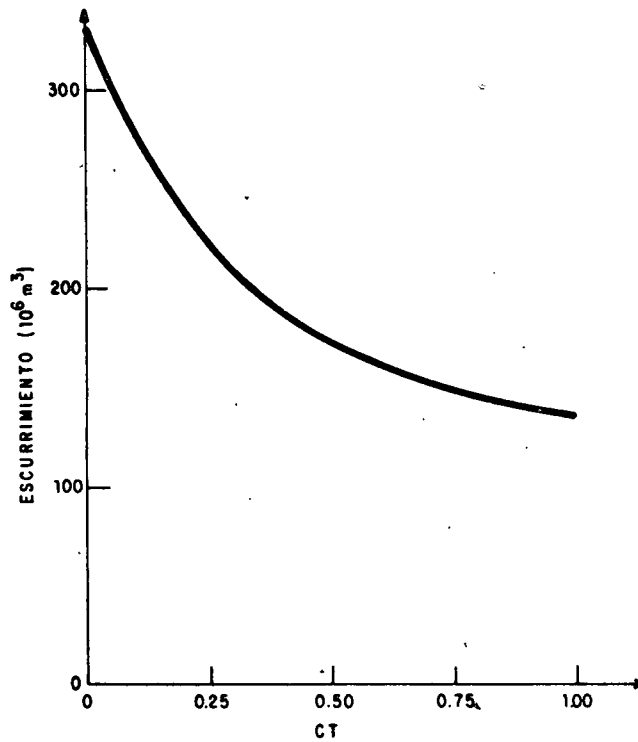
Figura 18.- Prueba de sensibilidad para el parámetro HSN.



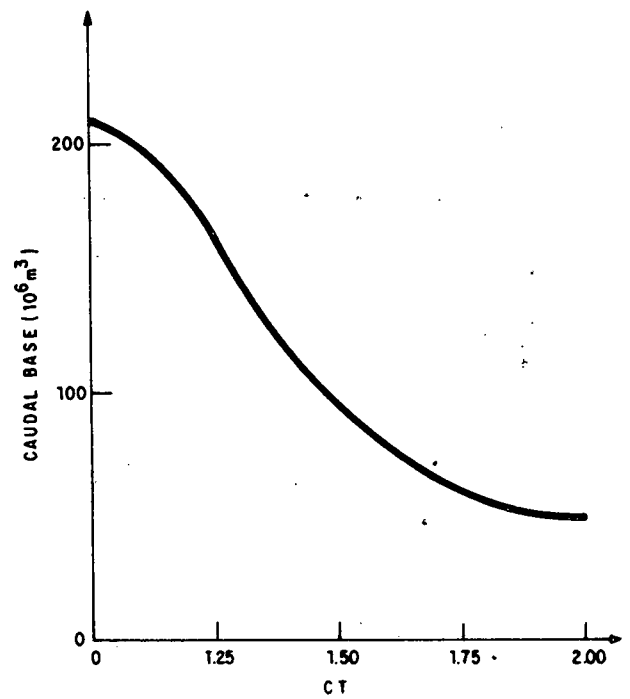
a) VARIACION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA



b) VARIACION TOTAL DE LA ESCORRENTIA

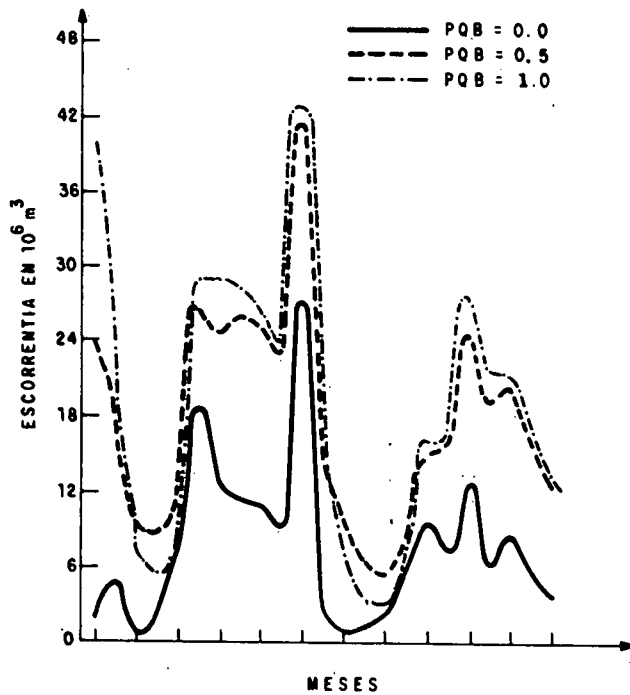


c) VARIACION DEL ESCURRIMIENTO DIRECTO

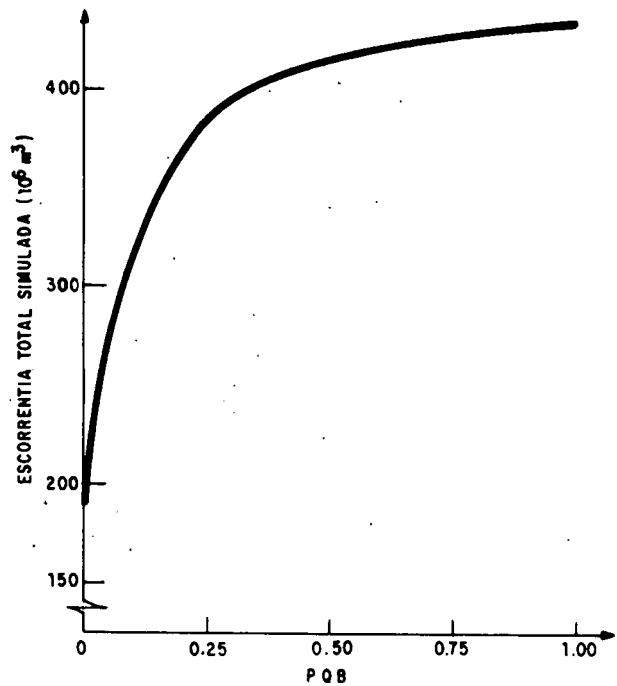


d) VARIACION DEL CAUDAL BASE

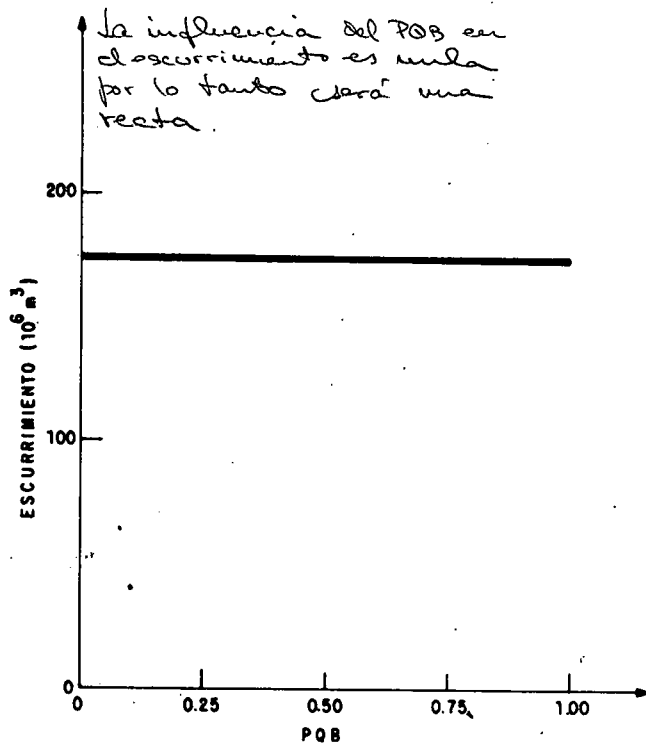
Figura 19.- Prueba de sensibilidad para el parámetro C.T.



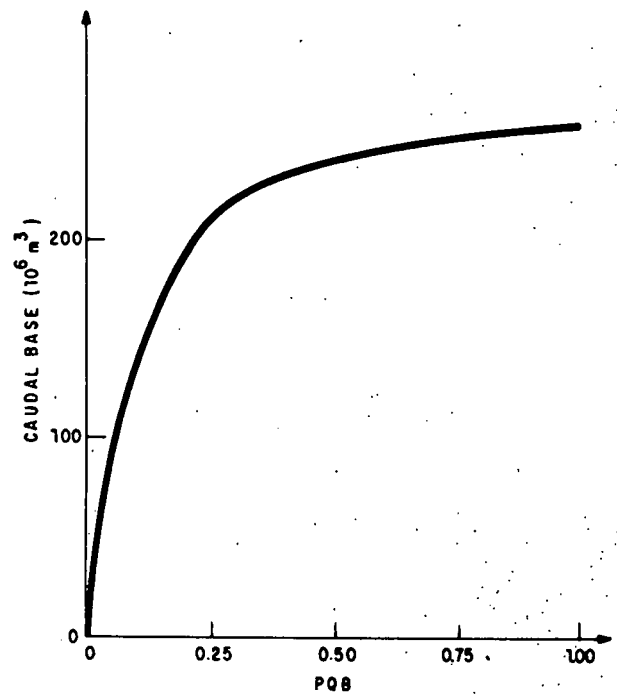
a) VARIACION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA



b) VARIACION TOTAL DE LA ESCORRENTIA

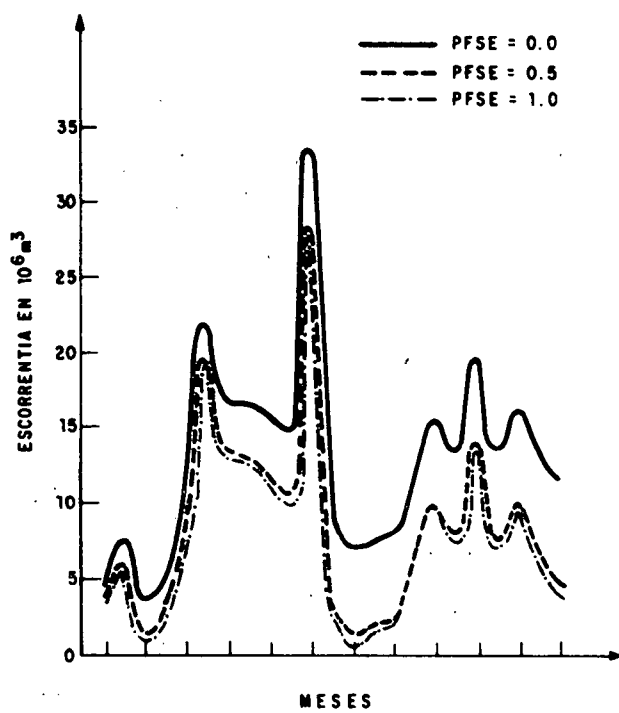


c) VARIACION DEL ESCURRIMIENTO DIRECTO

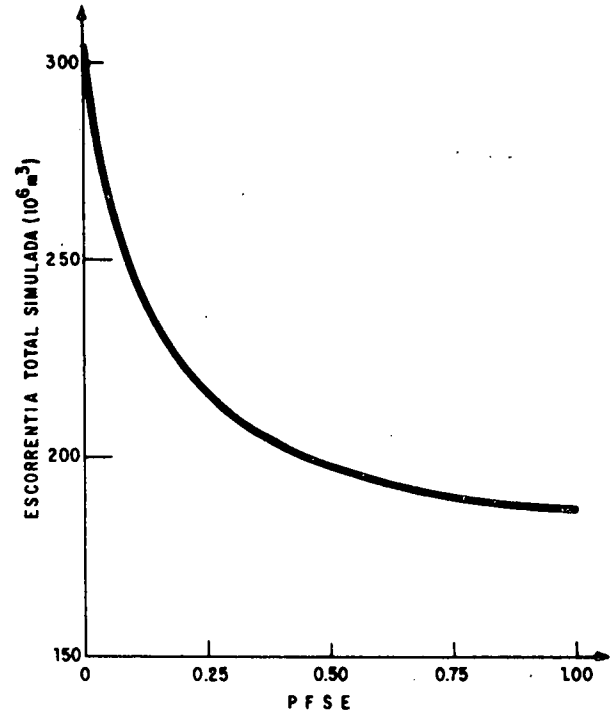


d) VARIACION DEL CAUDAL BASE

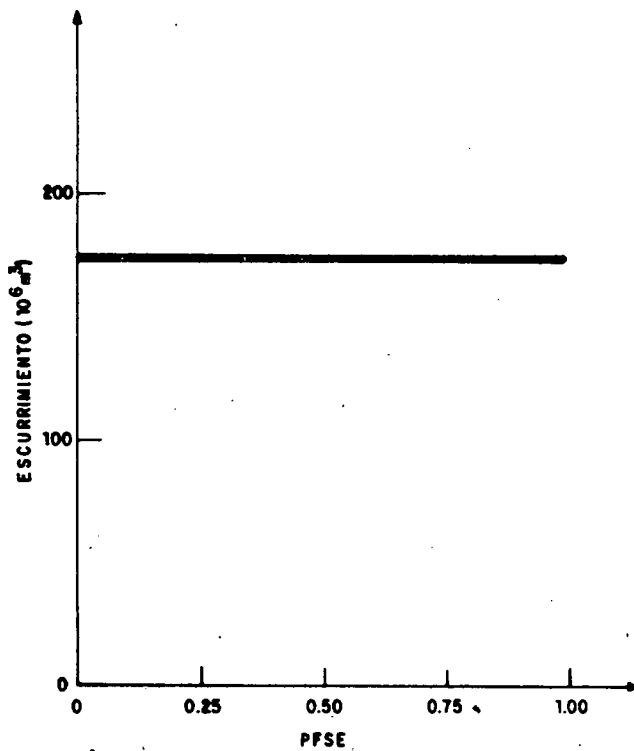
Figura 20.- Prueba de sensibilidad para el parámetro PQB



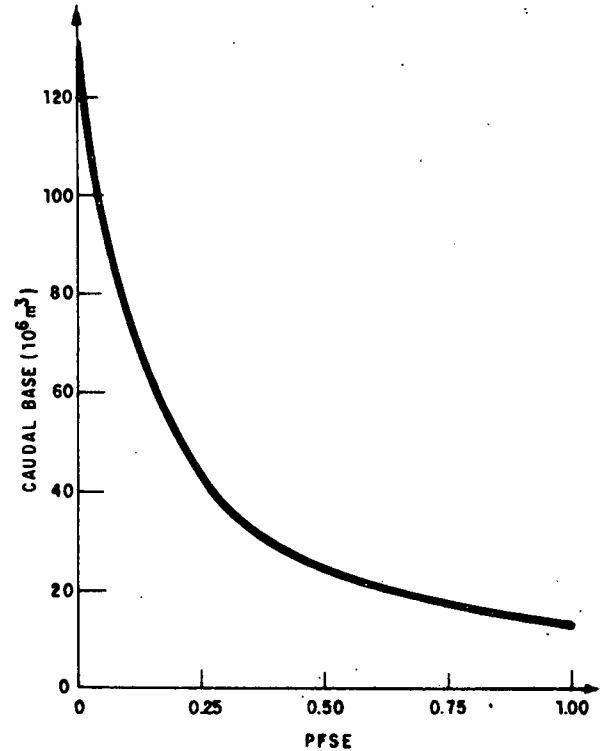
a) VARIACION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA



b) VARIACION TOTAL DE LA ESCORRENTIA



c) VARIACION DEL ESCURRIMIENTO DIRECTO



d) VARIACION DEL CAUDAL BASE

Figura 21.- Prueba de sensibilidad para el parámetro PFSE

a la salida de la cuenca.

El parámetro PFSE no tiene influencia sobre el escurrimiento, tal como se muestra en la Figura 21 (c y d), pero sí la tiene sobre el caudal base, el cual disminuye a medida que se incrementa el valor del parámetro.

6.6 PRUEBA DE SENSIBILIDAD PARA EL PARAMETRO PESC

A medida que se incrementa el valor de este parámetro se produce una variación en la forma del hidrograma, incrementándose los valores máximos y disminuyendo los mínimos, tal como se observa en la Figura 22 (a).

En la Figura 22 (b) se aprecia la variación de la escorrentía total, la cual se incrementa a medida que se incrementa el valor del parámetro. Lo mismo ocurre con el escurrimiento, tal como se observa en la Figura 22 (c).

De la Figura 22 (d), se tiene que al incrementar el valor de PESC se produce una disminución del caudal base.

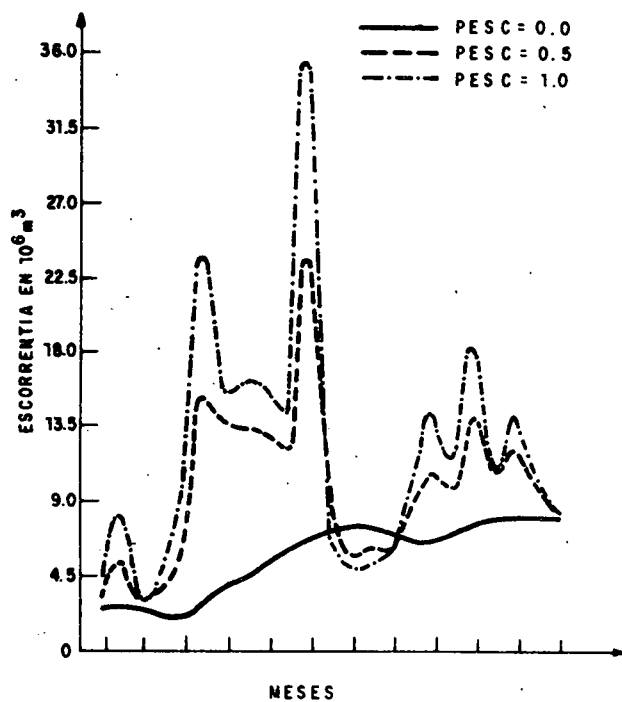
6.7 PRUEBA DE SENSIBILIDAD PARA AIHS

El valor del almacenamiento inicial de la humedad del suelo, AIHS, afecta en forma apreciable los primeros meses de la simulación tal como se observa en la Figura 23 (a). Así mismo se tiene que al incrementar el valor de AIHS se incrementa la escorrentía total simulada, como puede apreciarse en la Figura 23 (b).

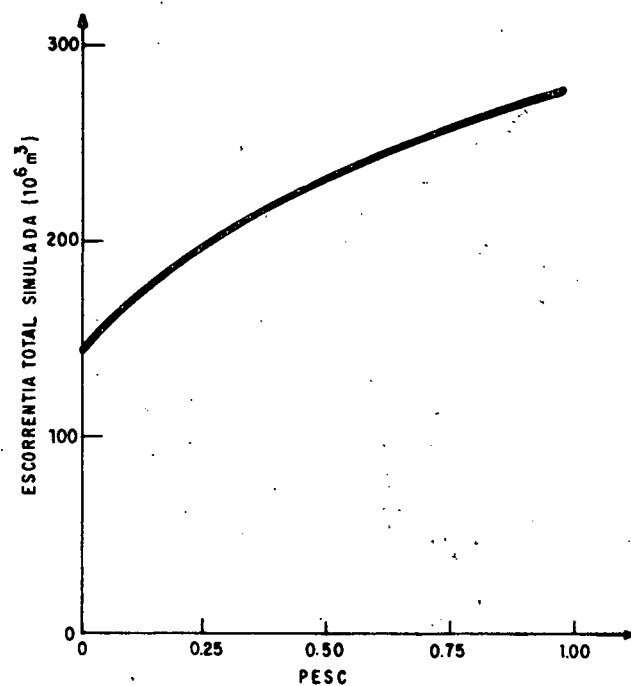
De la Figura 23 (c y d) se tiene que al incrementar el valor de AIHS se incrementa también el escurrimiento y el caudal base.

6.8 PRUEBA DE SENSIBILIDAD PARA AIAS

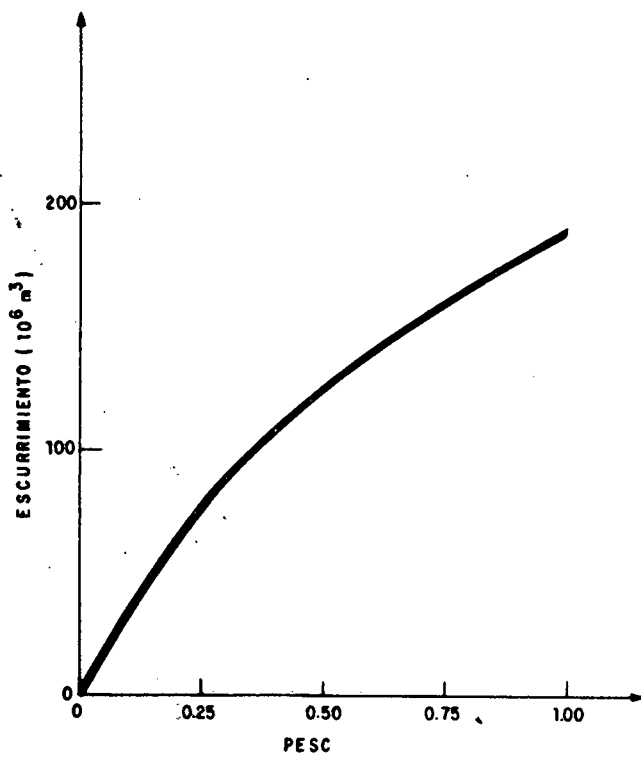
En la Figura 24 (a y b) se aprecia que el efecto del valor inicial del almacenamiento del agua subterránea, AIAS, es mayor en los meses iniciales y va disminuyendo a medida que se incrementa el valor del parámetro.



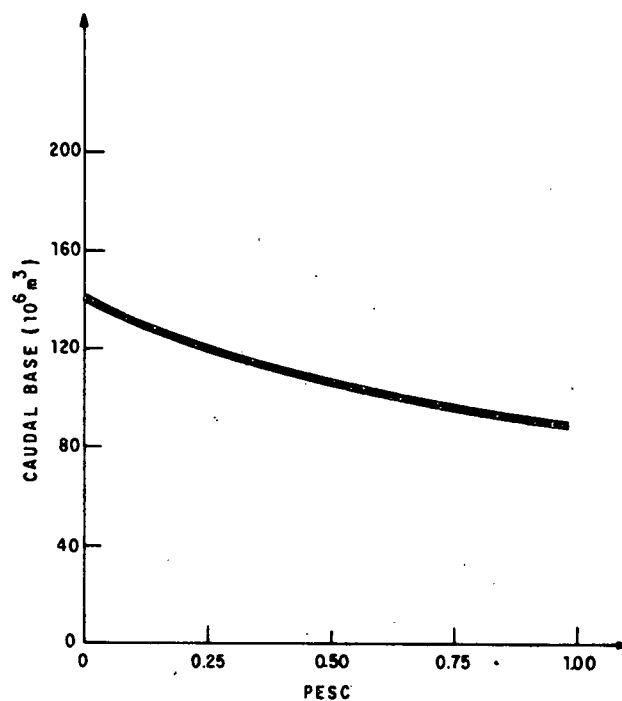
a) VARIACION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA



b) VARIACION TOTAL DE LA ESCORRENTIA

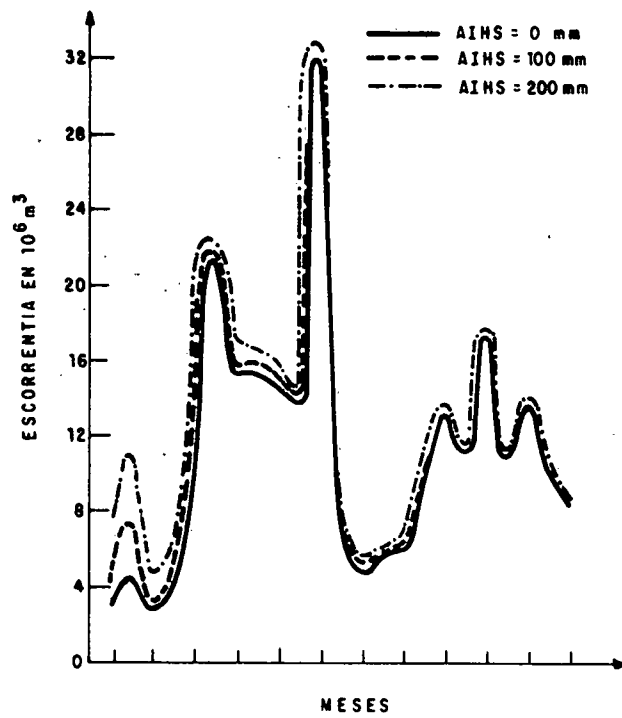


c) VARIACION DEL ESCURRIMIENTO DIRECTO

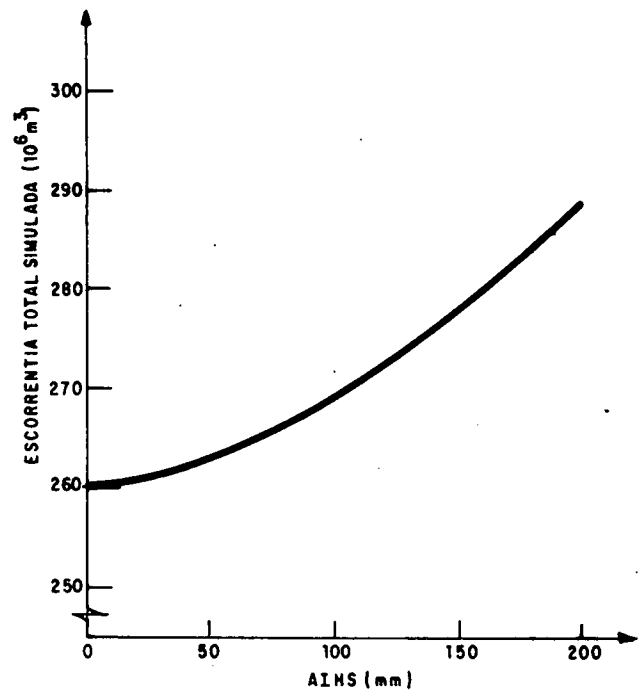


d) VARIACION DEL CAUDAL BASE

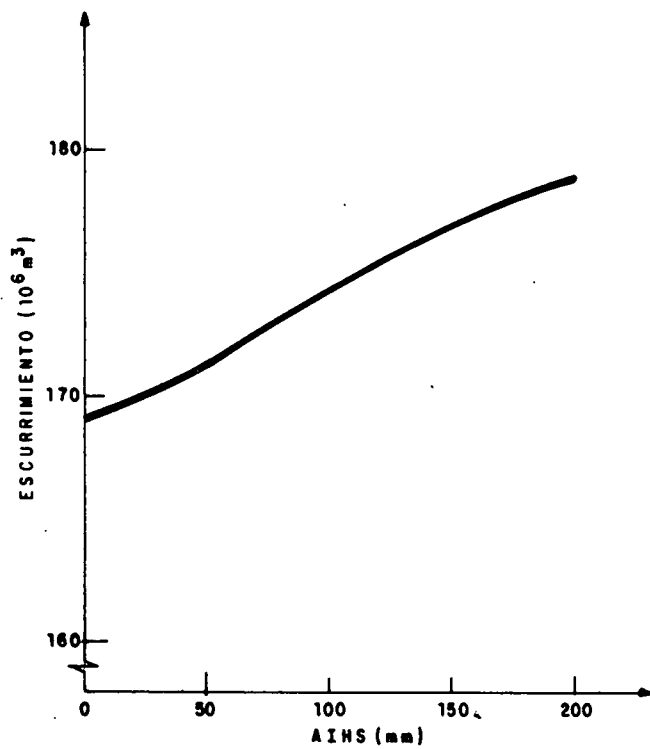
Figura 22.- Prueba de sensibilidad para el parámetro PES C



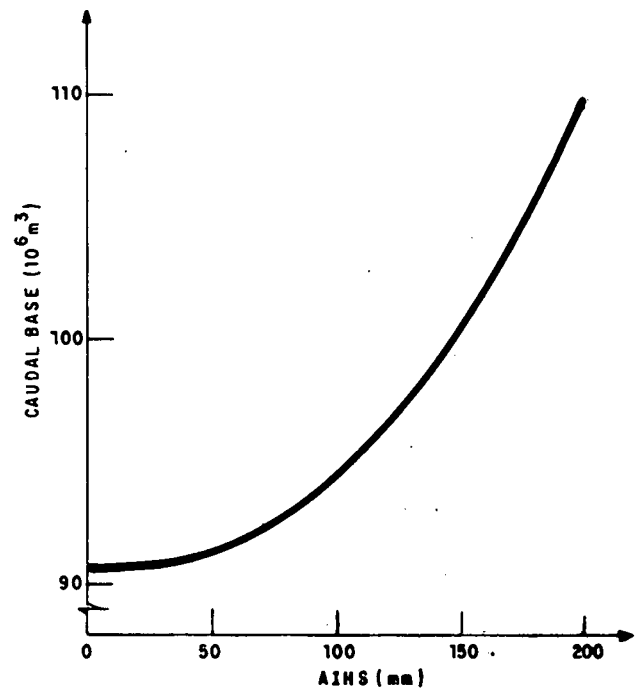
a) VARIACION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA



b) VARIACION TOTAL DE LA ESCORRENTIA

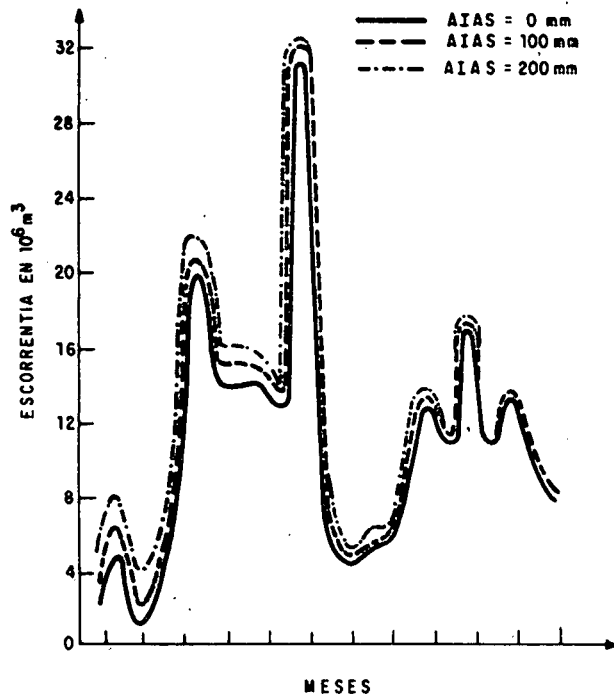


c) VARIACION DEL ESCURRIMIENTO DIRECTO

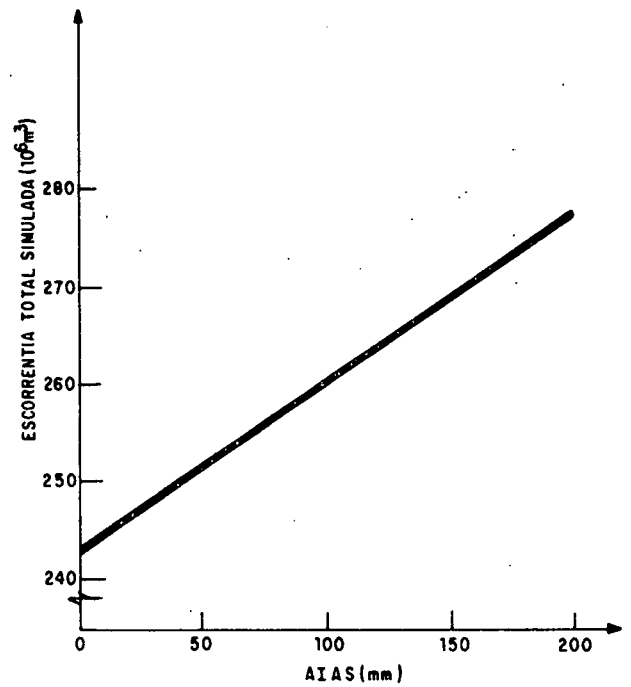


d) VARIACION DEL CAUDAL BASE

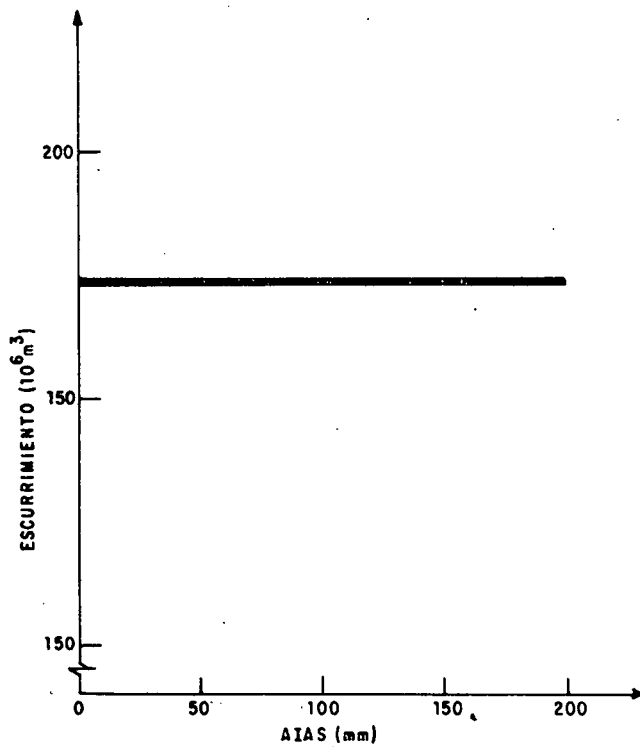
Figura 23.- Prueba de sensibilidad para el parámetro A I H S.



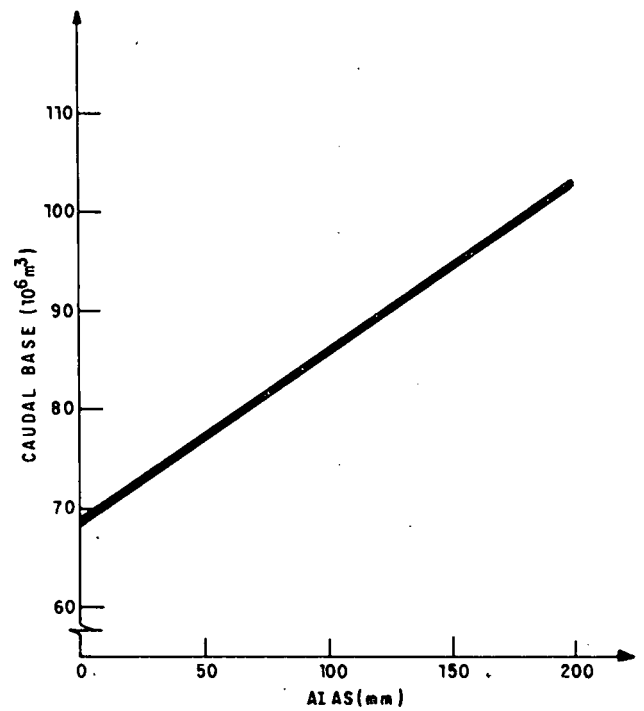
a) VARIACION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA



b) VARIACION TOTAL DE LA ESCORRENTIA



c) VARIACION DEL ESCURRIMIENTO DIRECTO



d) VARIACION DEL CAUDAL BASE

Figura 24.- Prueba de sensibilidad para el parámetro AIAS

minuyendo con el tiempo, y que la escorrentía total se incrementa a medida que se incrementa el valor de AIAS.

El valor de AIAS no afecta el escurrimiento pero sí el caudal base, el cual se incrementa a medida que el valor de AIAS aumenta, tal como se muestra en la Figura 24 (c y d).

6.9 PRUEBA DE SENSIBILIDAD PARA AISUP

El valor inicial del almacenamiento superficial, AISUP, afecta fundamentalmente los primeros meses de la simulación, tal como puede observarse en la Figura 25 (a), pero sin embargo al aumentar su valor se incrementa la escorrentía total, Figura 25 (b).

En la Figura 25 (c y d) se observa que al incrementarse el valor de AISUP, también se incrementa el escurrimiento y el caudal base.

6.10 PRUEBA DE SENSIBILIDAD PARA FSUPA

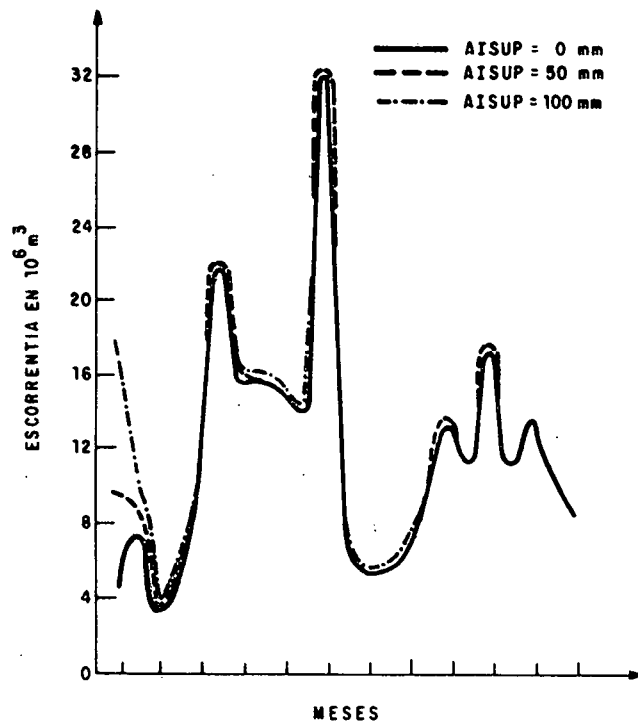
El flujo superficial afluente, FSUPA, afecta de una manera más o menos constante la escorrentía a nivel mensual, y la escorrentía total se incrementa al aumentar su valor, tal como se muestra en la Figura 26 (a y b).

En la Figura 26 (c y d) se puede observar que al incrementar el valor de FSUPA también se incrementan el escurrimiento y el caudal base.

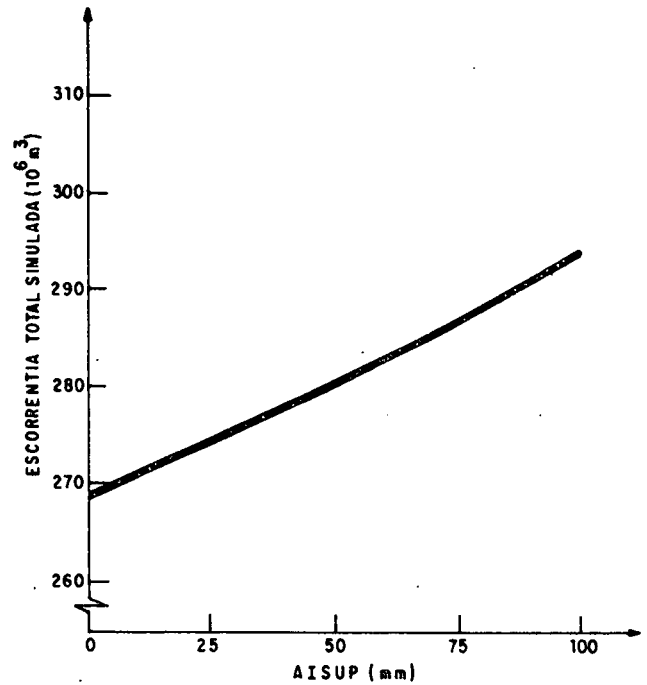
6.11 PRUEBA DE SENSIBILIDAD PARA FSUBA

De la Figura 27 (a y b) se tiene que el flujo subterráneo afluente, FSUBA, afecta de manera más o menos constante la escorrentía a nivel mensual sin cambiar la forma del hidrograma, y la escorrentía total se incrementa al aumentar el valor de FSUBA.

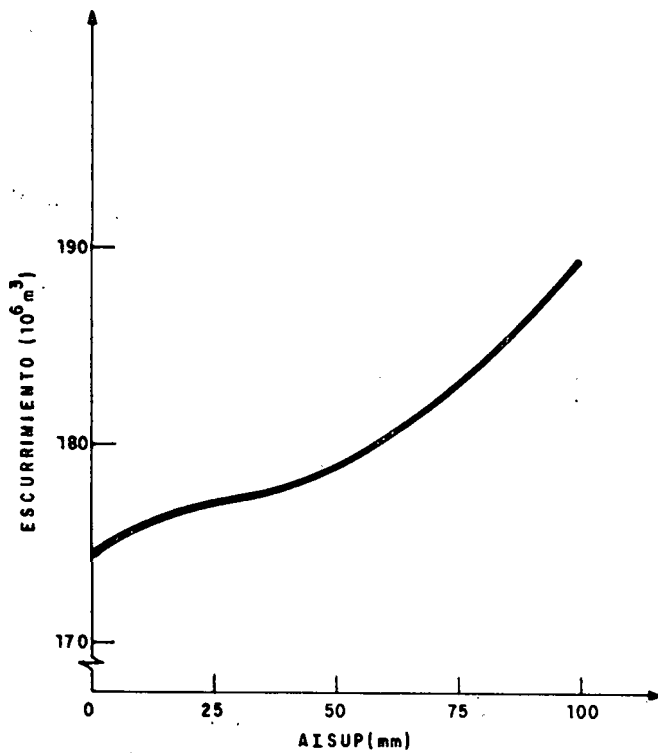
El escurrimiento no se ve afectado por el valor de FSUBA, mientras que el cau-



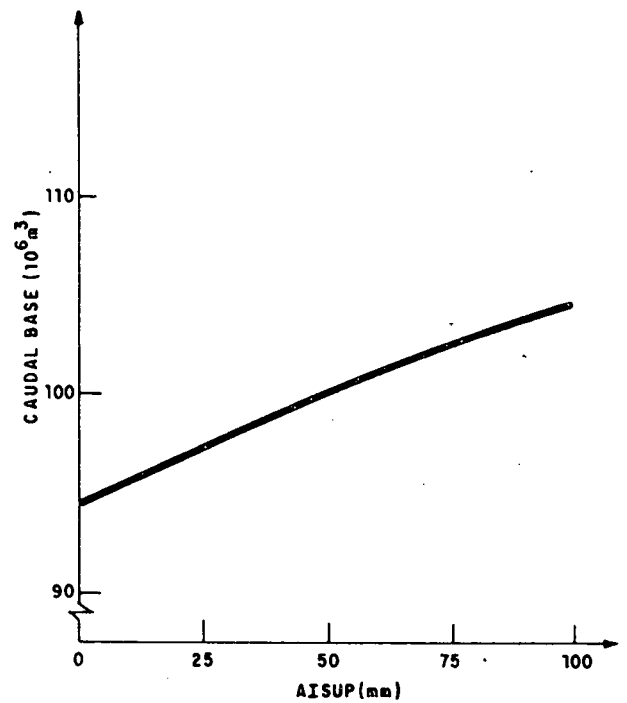
a) VARIACION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA.



b) VARIACION TOTAL DE LA ESCORRENTIA

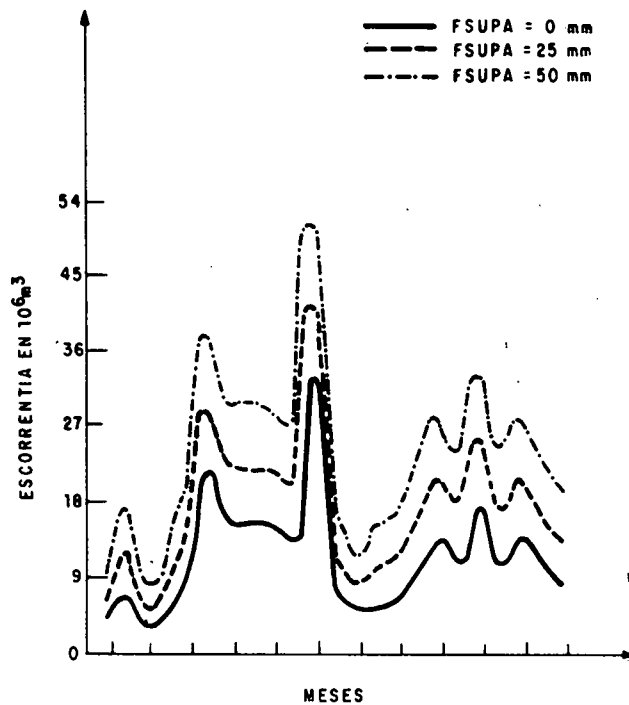


c) VARIACION DEL ESCURRIMIENTO DIRECTO

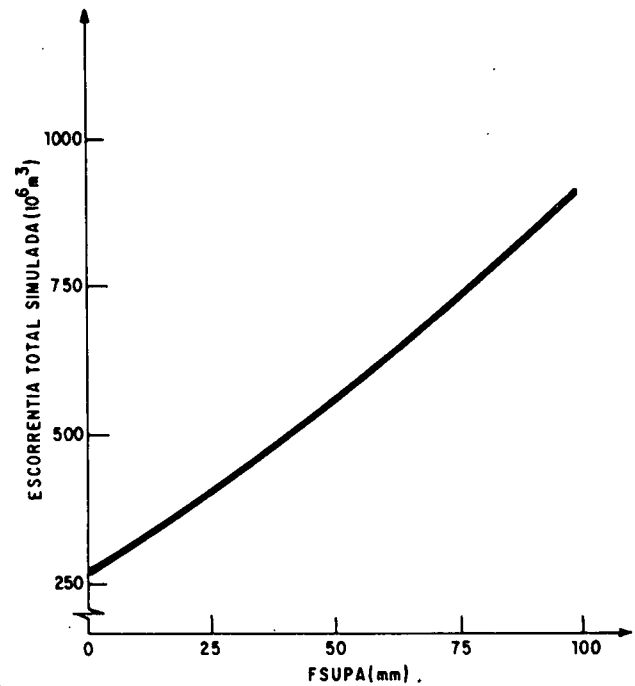


d) VARIACION DEL CAUDAL BASE

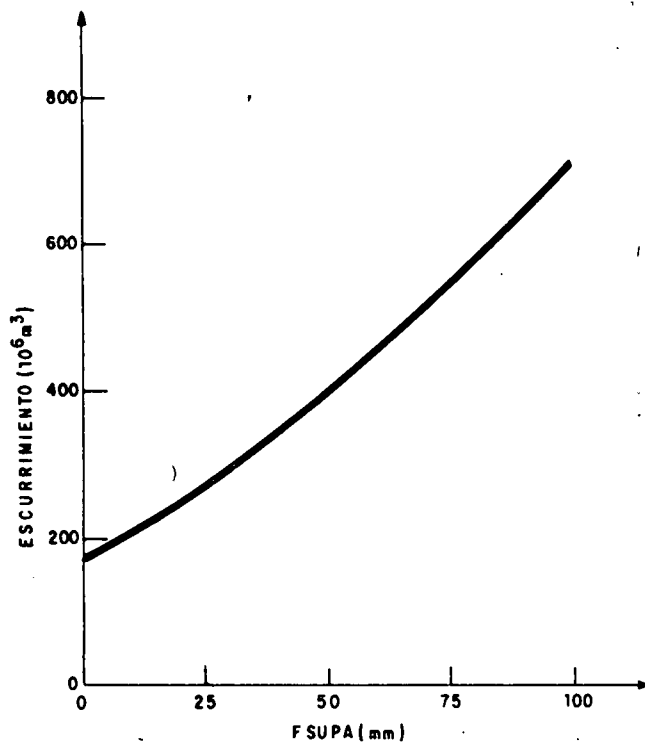
Figura 25. - Prueba de sensibilidad para el parámetro AISUP



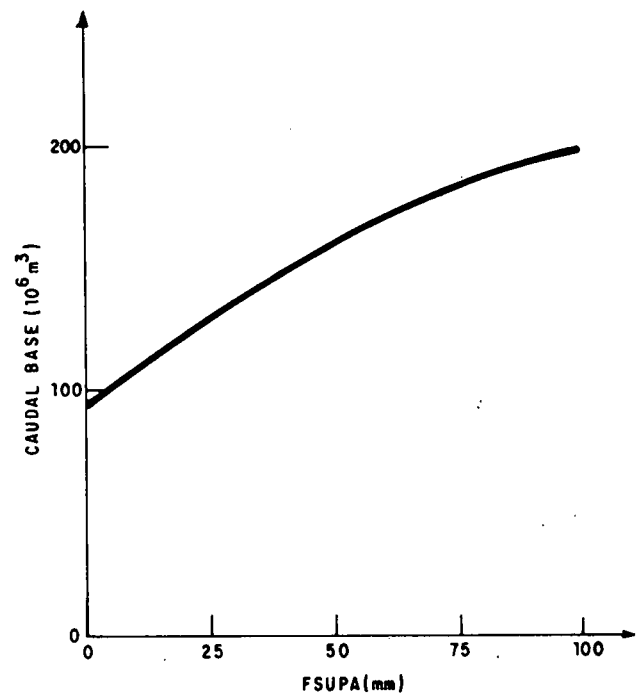
a) VARIACION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA



b) VARIACION TOTAL DE LA ESCORRENTIA

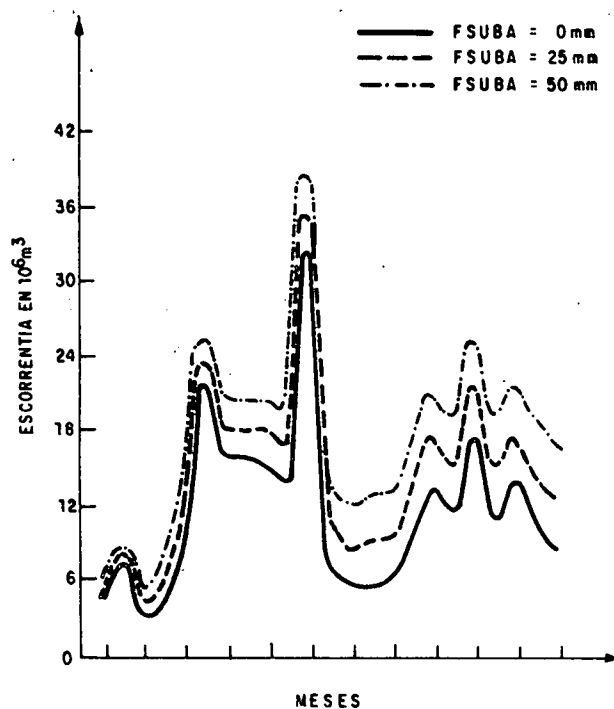


c) VARIACION DEL ESCURRIMIENTO DIRECTO

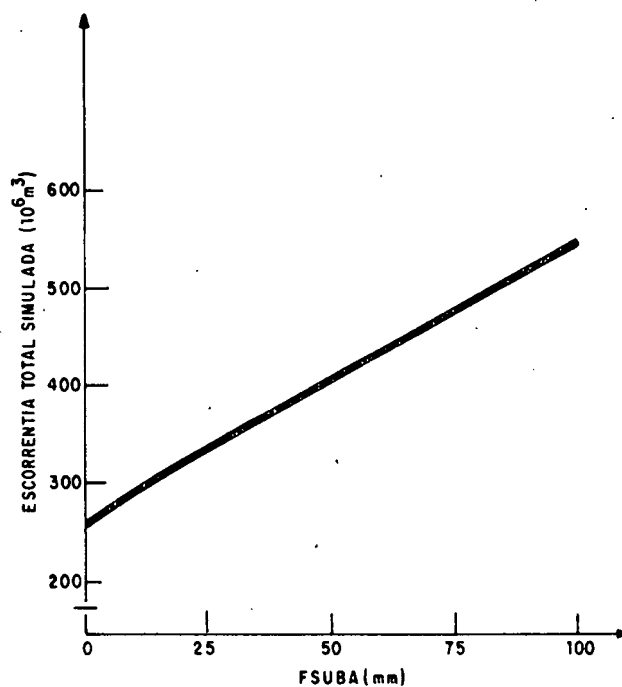


d) VARIACION DEL CAUDAL BASE

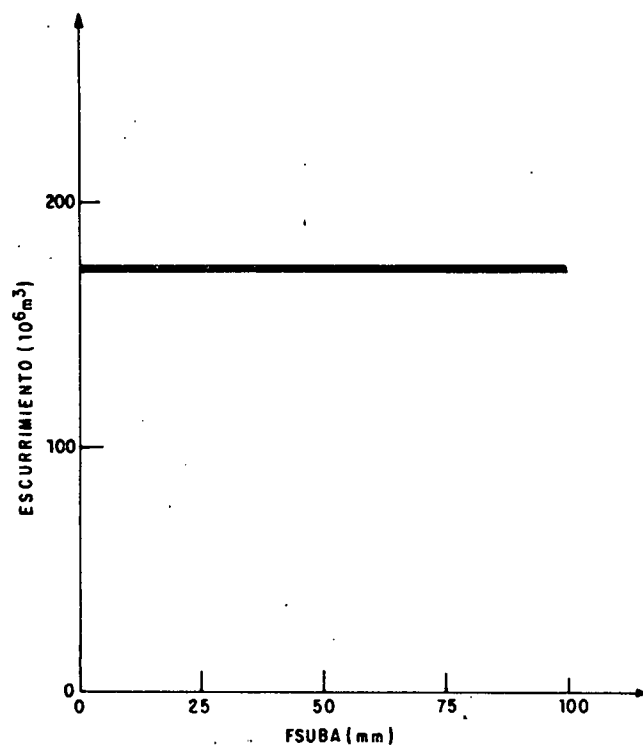
Figura 26.- Prueba de sensibilidad para el parámetro FSUPA



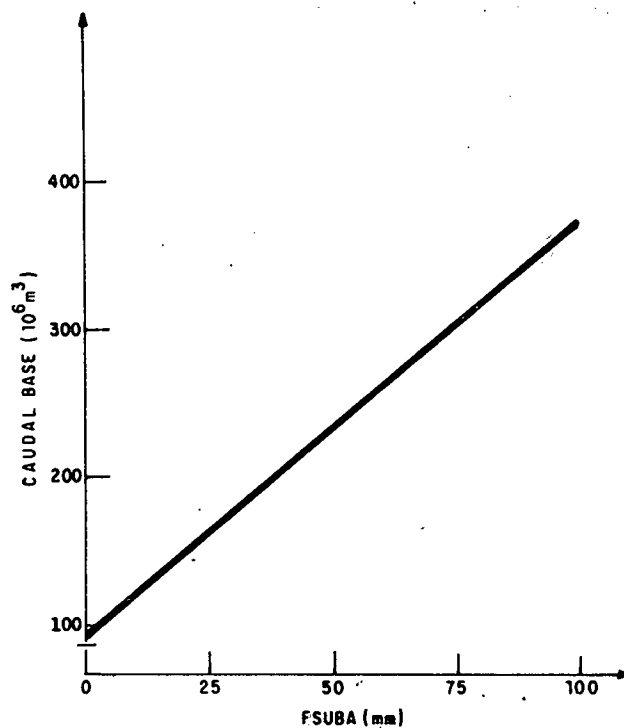
a) VARIACION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA



b) VARIACION TOTAL DE LA ESCORRENTIA



c) VARIACION DEL ESCURRIMIENTO DIRECTO



d) VARIACION DEL CAUDAL BASE

Figura 27. - Prueba de sensibilidad para el parámetro FSUBA

dal base se incrementa al aumentar el valor de este almacenamiento, tal como se observa en la Figura 27(c y d).

6.12 PRUEBA DE SENSIBILIDAD PARA FACPRE

El factor de ajuste de la precipitación, FACPRE, no afecta la forma del hidrograma pero sí la escorrentía total, la cual se incrementa al aumentar el valor de FACPRE, tal como se observa en la Figura 28 (a y b).

En la Figura 28 (c y d) se observa que tanto el escurrimiento como el caudal base se incrementan al aumentar el valor de FACPRE.

6.13 PRUEBA DE SENSIBILIDAD PARA FACEVA

La forma del hidrograma no varía al cambiar el valor del factor de ajuste de la evaporación, FACEVA, pero sin embargo la escorrentía total disminuye a medida que se incrementa su valor, tal como se observa en la Figura 29 (a y b).

A medida que se incrementa el valor de FACEVA, disminuye tanto el escurrimiento como el caudal base, según se aprecia en la Figura 29 (c y d).

VII. GENERALIDADES SOBRE EL PROGRAMA DE COMPUTACION

En la Figura 30 se presenta el diagrama de bloques que muestra de una manera general la secuencia de operaciones que se realizan en el modelo de simulación mensual. En dicha figura se presentan los pasos que se realizan en el programa para la lectura de los datos, el cálculo de la escorrentía y la impresión de los resultados.

El programa para este modelo está escrito en lenguaje FORTRAN 77 y actualmente está implementado para trabajar en un computador HP-1000, sistema RTE-6VM, y tiene una capacidad para simular 10 años de escorrentía, usando un máximo de 10 estaciones de medición de precipitación, 2 estaciones de evaporación y 10 subcuencas. En el Apéndice A se presenta el listado del programa.

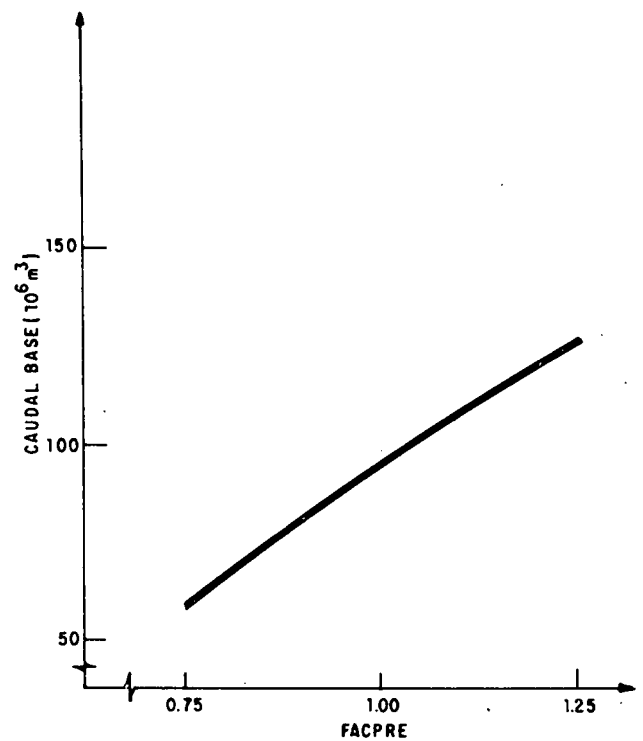
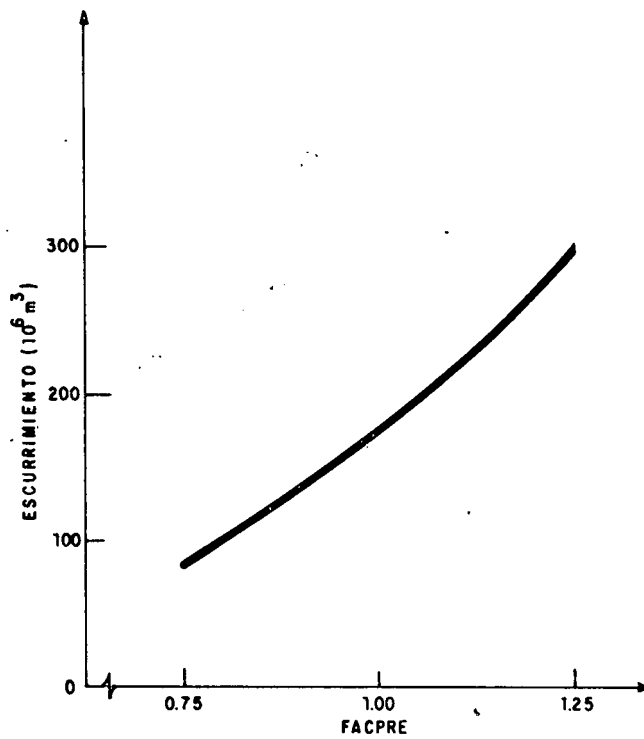
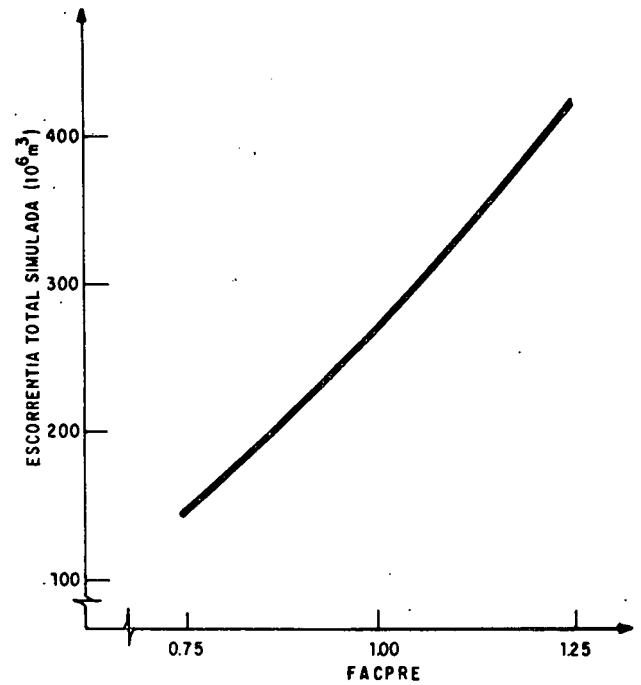
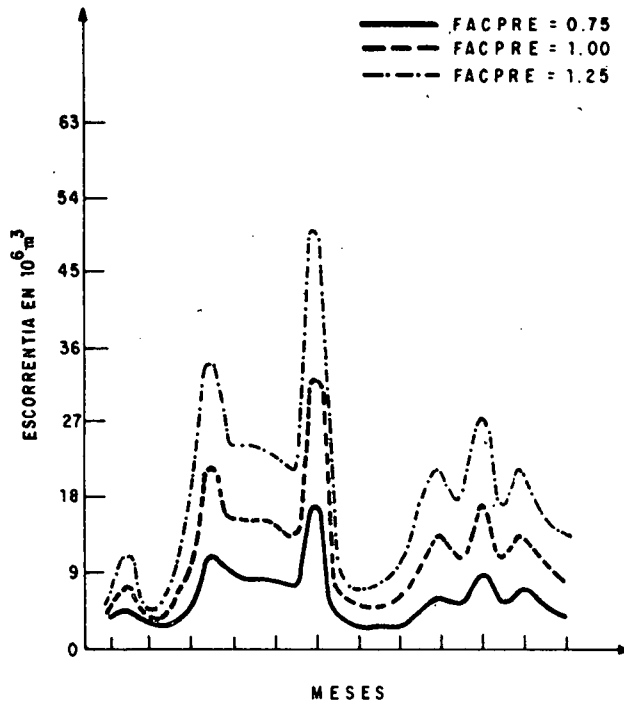
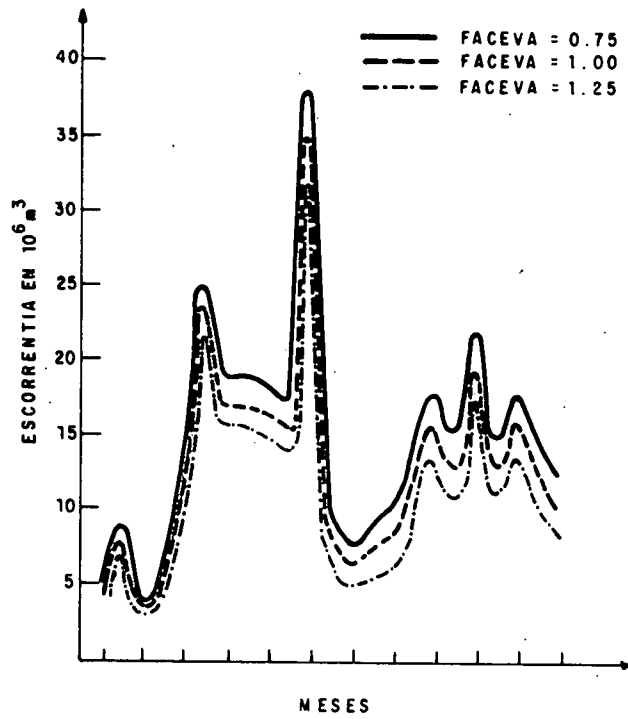
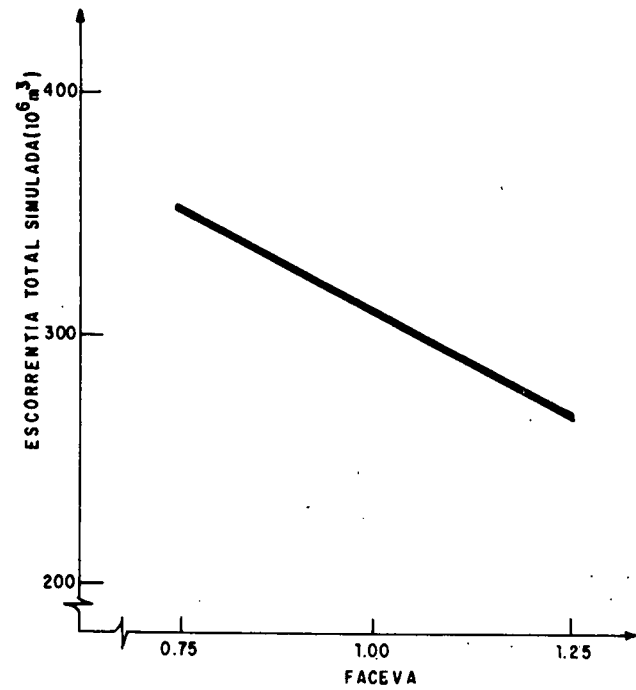


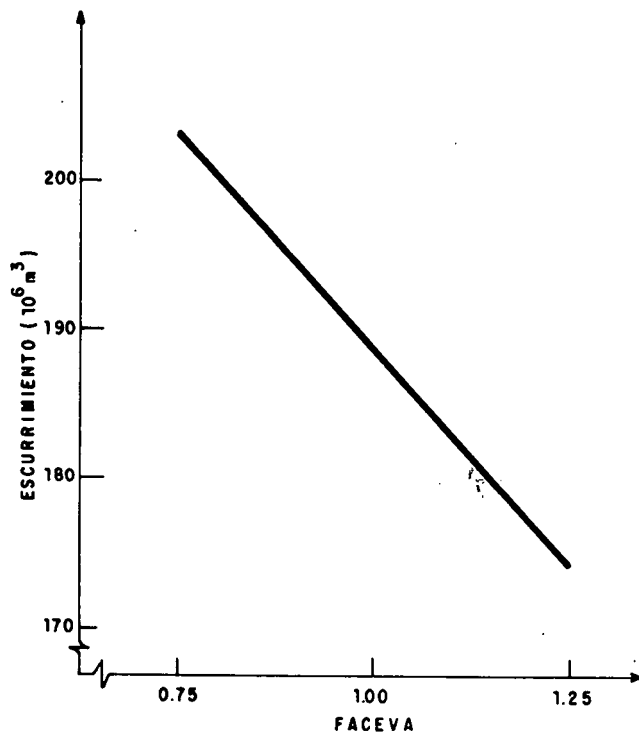
Figura 28.- Prueba de sensibilidad para el parámetro FACPRE.



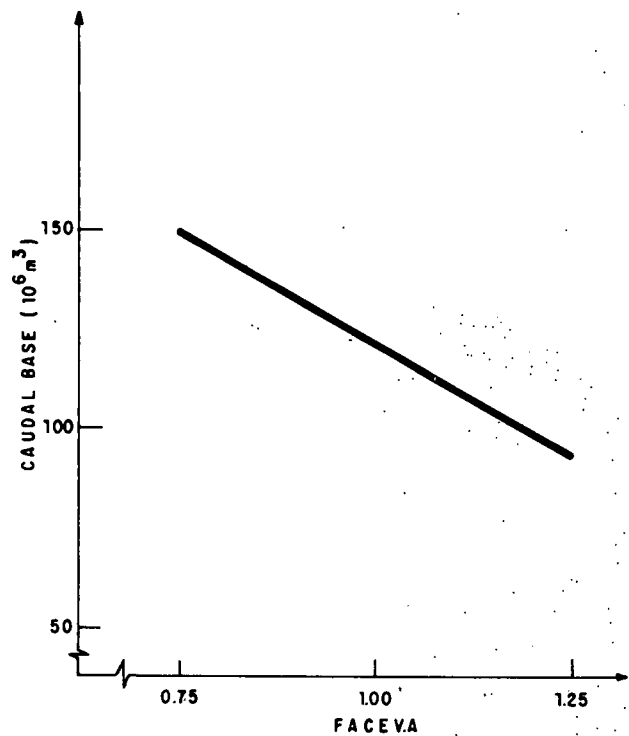
a) VARIACION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA



b) VARIACION TOTAL DE LA ESCORRENTIA



c) VARIACION DEL ESCURRIMIENTO DIRECTO



d) VARIACION DEL CAUDAL BASE

Figura 29. — Prueba de sensibilidad para el parámetro FACEVA.

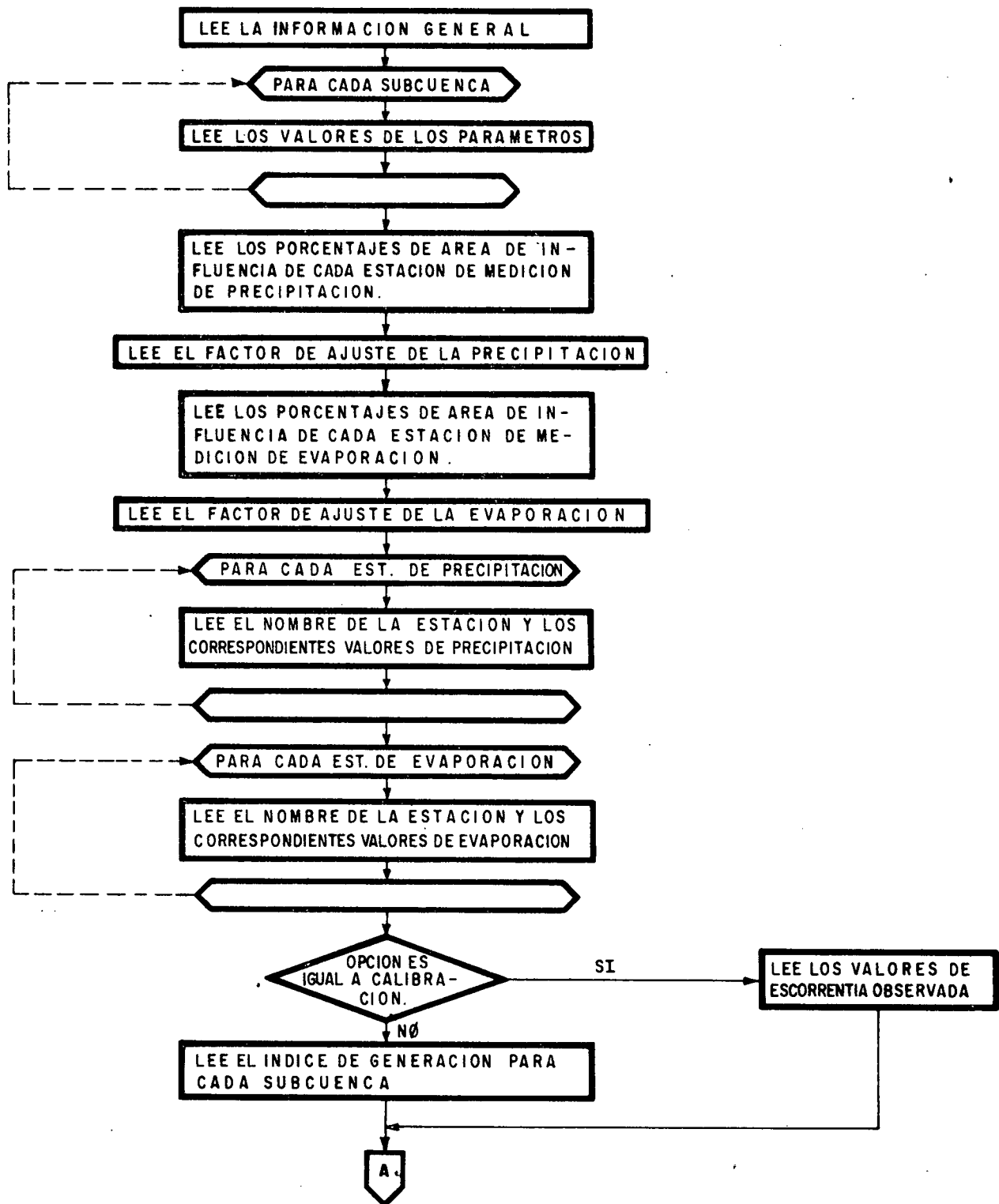


Figura 30.- Diagrama de bloques que muestra la secuencia de operaciones que se realizan en el modelo de simulación mensual

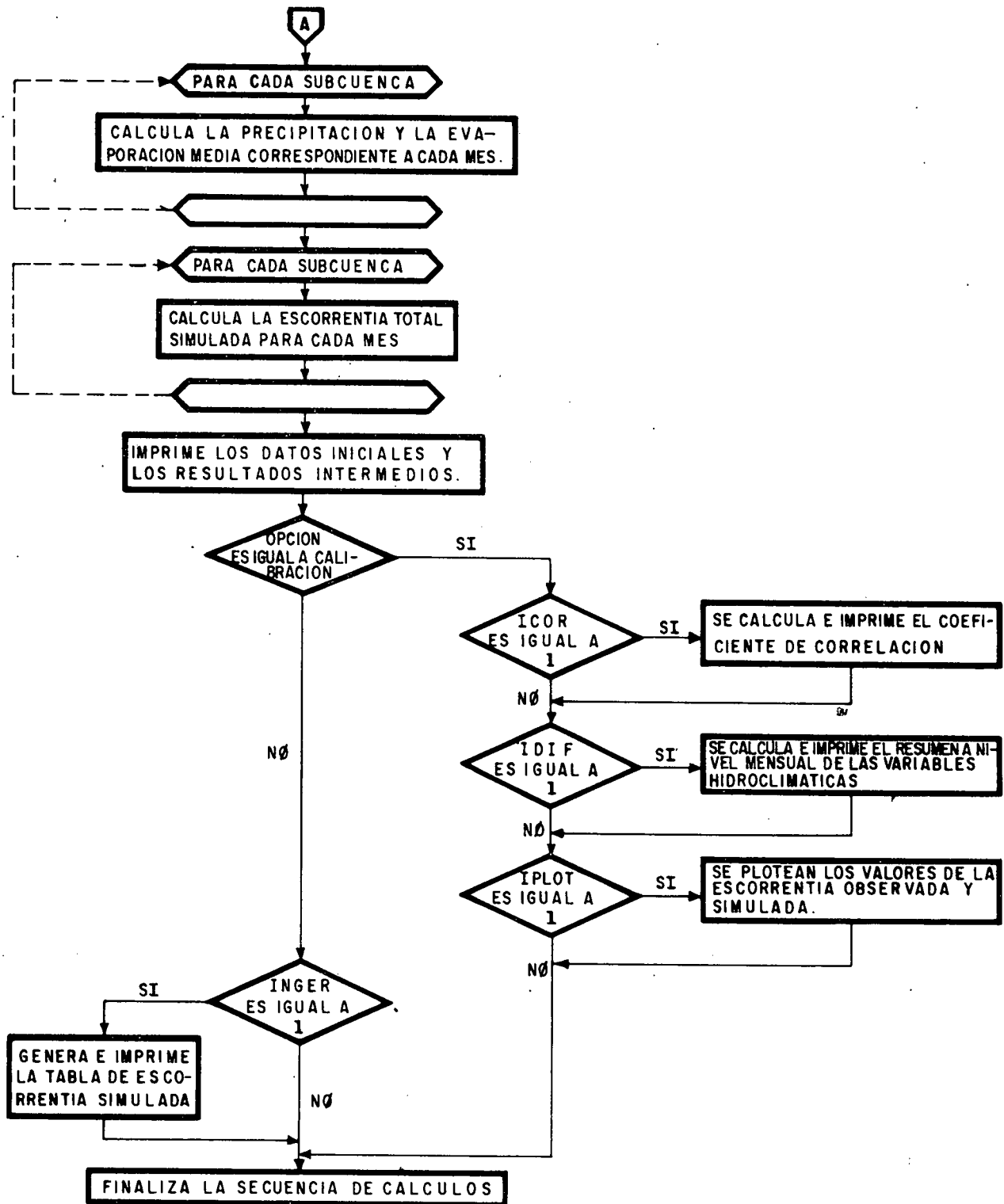


Figura 30.- (Continuación). Diagrama de bloques que muestra la secuencia de operaciones que se realizan en el modelo de simulación mensual.

El programa completo consta de un programa principal y catorce subrutinas, que son las que ejecutan las operaciones de lectura de datos, solución del modelo de simulación e impresión de resultados, tanto parciales como finales. La autocalibración del modelo se lleva a cabo a través de la subrutina OPTIM, la cual se encarga de coordinar la repetición automática de la ejecución del modelo, para diferentes valores de los parámetros y variables de almacenamiento que se quieran calibrar. A continuación se presenta la descripción y función del programa principal y las subrutinas.

7.1 PROGRAMA PRINCIPAL

El programa principal tiene por función el llamado de las principales subrutinas, tal como se observa en la Figura 31.

7.2 SUBROUTINA ARCHIV

Esta subrutina lee las unidades de entrada y de salida y abre los respectivos archivos.

7.3 SUBROUTINA LECT

Su función es leer la información general, la definición de las opciones, los valores de los parámetros para cada subcuenca, los datos de precipitación, evaporación y escorrentía.

7.4 SUBROUTINA INIT

Este subprograma se llama en la subrutina LECT y su función es la de inicializar los valores de las variables y parámetros que intervienen en la secuencia de cálculo del modelo.

7.5 SUBROUTINA PREVA

Calcula la precipitación y la evaporación media para cada una de las subcuencas en que se ha dividido la cuenca de estudio.

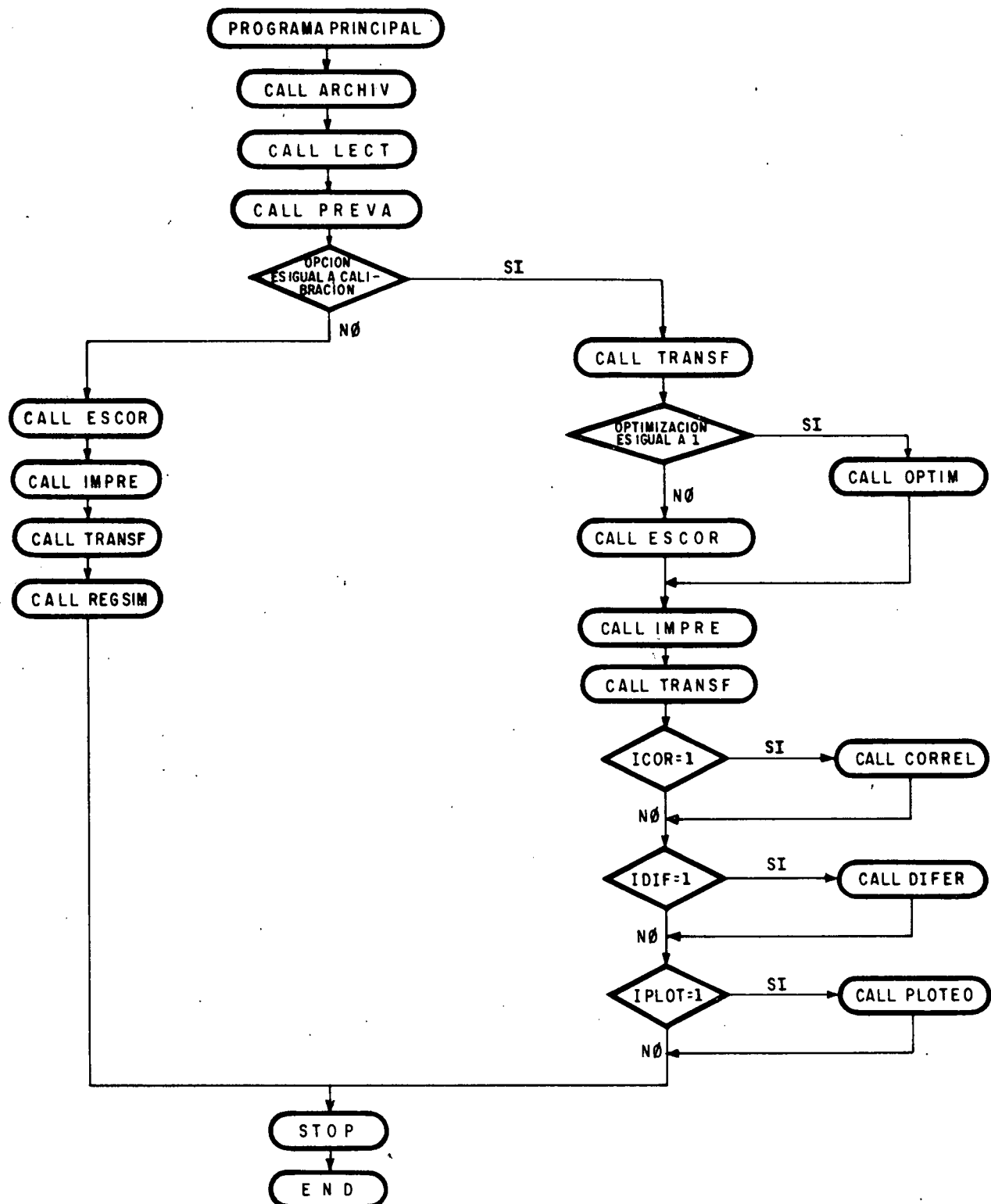


Figura 31.- Flujograma que muestra la forma como el programa principal hace el llamado de las subrutinas.

7.6 SUBROUTINA ESCOR

Es la subrutina más importante ya que es la encargada de dar solución al modelo de simulación. Adicionalmente, sirve de enlace o puente para la correcta aplicación del algoritmo de autocalibración representado por la subrutina OPTIM: a) en primer lugar se encarga de establecer la equivalencia de valores entre las variables de la subrutina OPTIM y las correspondientes al modelo de simulación; b) en segundo lugar calcula, a partir de los resultados de la simulación, el valor de la función objetivo que necesita la subrutina OPTIM para su ejecución. Esta función objetivo se define como:

$$SDC = \sum_{i=1}^{nmes} (ESCT_i - EO_i)^2$$

donde

SDC es la variable que se hace equivalente con la función objetivo utilizada por la subrutina OPTIM.

ESCT_i es la esorrentía simulada durante el mes i

EO_i es la esorrentía observada en el mes i

nmes es el número de meses para la calibración

7.7 SUBROUTINA ORO

Calcula a través del método de búsqueda de la Sección de Oro la humedad promedio del suelo para el intervalo de cálculo, que en el modelo es de un mes. Esta subrutina es llamada por el subprograma ESCOR.

7.8 SUBROUTINA SUELO

Esta subrutina se llama en el subprograma ORO y su función es la de calcular el valor de cada uno de los procesos que tienen que ver con el almacenamiento de humedad del suelo.

7.9 SUBROUTINA IMPRE

Esta subrutina es la encargada de realizar la impresión de la información general, los parámetros para cada subcuenca y los cálculos intermedios del modelo.

7.10 SUBROUTINA TRANSF

Su función es la de transformar la esorrentía, tanto observada como simulada, en m^3/seg o en millones de metros cúbicos, dependiendo esto de la opción que se haya dado.

7.11 SUBROUTINA CORREL

Calcula el coeficiente de correlación lineal entre los valores observados y simulados a la salida de la cuenca. Debido a su función, sólo se usa durante la fase de calibración del modelo.

7.12 SUBROUTINA DIFER

Calcula la diferencia entre los promedios mensuales de esorrentía observada y simulada a la salida de la cuenca. Se emplea solamente durante la fase de calibración del modelo.

7.13 SUBROUTINA PLOTEO

Presenta en forma gráfica los valores de esorrentía observados y simulados a la salida de la cuenca. Por su naturaleza, sólo debe usarse durante la fase de calibración.

7.14 SUBROUTINA REGSIM

Tiene por función presentar en forma de Tabla los valores de esorrentía simulados para cada una de las subcuencas de interés.

7.15 SUBROUTINA OPTIM (AUTOCALIBRACION)

Esta subrutina contiene el algoritmo modificado de Hooke y Jeeves, que se usa para la automatización del proceso de calibración del modelo. La subrutina OPTIM una vez que es llamada toma el control del programa, establece una permanente comunicación con la subrutina ESCOR, la cual resuelve el modelo de simulación cada vez que se requiere, hasta que el criterio de evaluación haya alcanzado su valor óptimo. La subrutina OPTIM es un algoritmo de búsqueda para minimizar el valor de una función objetivo F, la cual se calcula en la subrutina ESCOR cada vez que se resuelve el modelo. En la subrutina OPTIM también se leen los valores pertinentes a las variables necesarias para la ejecución del algoritmo de Hooke y Jeeves: valor inicial, valores máximo y mínimo posibles, e intervalos inicial y mínimo tolerable para el proceso de búsqueda del valor óptimo de las variables que se incluyen en la autocalibración.

VIII. GUIA DE USUARIO DEL PROGRAMA DE COMPUTACION

En este aparte se hace una descripción de los datos de entrada al programa, sus salidas en forma impresa y de las opciones disponibles para su ejecución. Adicionalmente se señalan los aspectos a tomar en consideración cuando se quiere utilizar la opción de autocalibración.

8.1 ENTRADAS

Las entradas son las que suplen al programa la información acerca de las características físicas de la cuenca, de la distribución espacial y temporal tanto de la precipitación como de la evaporación y el valor de los diferentes parámetros que se consideran en la formulación matemática del modelo.

En la Tabla 1 se presenta el formato y la secuencia de cada una de las entradas y en la Tabla 2 la descripción detallada de cada una de ellas.

8.2 SALIDAS

Se pueden clasificar en tres grupos: datos iniciales, resultados intermedios y salidas finales.

Tabla 1. Formato y Secuencia de cada una de las entradas al modelo

TARJETA Nº	CIDINT CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO INTEGRAL DE AGUAS Y TIERRAS BANCO DE PROGRAMAS										PROGRAMA: SIHIM										
											CODIGO:					FECHA:					
1	VARIABLE	TITULO																			
	Formato	A60																			
	Valor																				
2	VARIABLE	OPCION ICOR IDIF IPLOT IOPT IENT ISAL																			
	Formato	A12 I5 I5 I5 I5 I5 I5																			
	Valor																				
3	VARIABLE	NEPRE NEVAP NC ANOI ANOF MESI MESF NMES KULTIM PMAX TOL NITER																			
	Formato	I5 I5 I5 I5 I5 I5 I5 I5 I5 F10.3 F10.3 I5																			
	Valor																				
4	VARIABLE	A(L)																			
	Formato	F10.3 F10.3 F10.3 F10.3 F10.3 F10.3 F10.3 F10.3																			
	Valor																				
5	VARIABLE	NPOT IPAR(I)										Se lee sólo									
	Formato	I5 I5 I5 I5 I5 I5 I5 I5 I5 I5										si IOPT = 1									
	Valor																				
6	VARIABLE	CINF HSN CT PQB PFSE PESC AIHS AIAS AISUP FSUPA FSUBA																			
	Formato	F7.3 F7.3 F7.3 F7.3 F7.3 F7.3 F7.3 F7.3 F7.3 F7.3 F7.3 F7.3																			
	Valor																				
7	VARIABLE	NSCTB(L)																			
	Formato	I5 I5 I5 I5 I5 I5 I5 I5 I5																			
	Valor																				
8	VARIABLE	ISCTB(L)																			
	Formato	I5 I5 I5 I5 I5 I5 I5 I5 I5																			
	Valor																				

Tabla 1. (Continuación) Formato y secuencia de cada una de las entradas al modelo

TARJETA Nº	CIDINT CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO INTEGRAL DE AGUAS Y TIERRAS BANCO DE PROGRAMAS												PROGRAMA: SIHIM	
													CODIGO:	FECHA:
	9	VARIABLE	PORCP											
		Formato	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	
		Valor												
	10	VARIABLE	FACPRE											
		Formato	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	
		Valor												
	11	VARIABLE	PORCE											
		Formato	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	
Valor														
12	VARIABLE	FACEVA												
	Formato	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4	F8.4		
	Valor													
13	VARIABLE	ESTP												
	Formato	11A2												
	Valor													
14	VARIABLE	AÑO	PP											
	Formato	6X	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	
	Valor													
15	VARIABLE	ESTE												
	Formato	11A2												
	Valor													
16	VARIABLE	AÑO	EV											
	Formato	6X	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	
	Valor													

Tabla 1. (Continuación) Formato y secuencia de cada una de las entradas al modelo

TARJETA Nº	 CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO INTEGRAL DE AGUAS Y TIERRAS		PROGRAMA: SIHIM													
	BANCO DE PROGRAMAS		CODIGO:	FECHA:												
17	VARIABLE	AÑO	EO													
	Formato	6X	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	F6.2	
	Valor															
18	VARIABLE	INGER										Se lee sólo si				
	Formato	I5	I5	I5	I5	I5	I5	I5	I5	I5	I5	OPCION = Simulación				
	Valor															
19	VARIABLE	XG	PQN	D	XI	XS	Se lee sólo si									
	Formato	F10.3	F10.3	F10.3	F10.3	F10.3	IOPT = 1									
	Valor															
	VARIABLE															
	Formato															
	Valor															
	VARIABLE															
	Formato															
	Valor															
	VARIABLE															
	Formato															
	Valor															
	VARIABLE															
	Formato															
	Valor															

Tabla 2. Descripción detallada de las entradas al modelo

CIDIANT CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO INTEGRAL DE AGUAS Y TIERRAS BANCO DE PROGRAMAS			PROGRAMA: SIHIM CODIGO: LENGUAJE: FORTRAN 77 PAG: 1		
TARJETA	VARIABLE	FORMATO	DESCRIPCION	UNIDADES	OBSERVACIONES
1	TITULO	A60	Nombre de la cuenca <i>Guaraque en Rte. Salado</i>		
2	OPCION	1 A12	Define la fase en que se está trabajando. CALIBRACION o SIMULACION.		
	ICOR	1 I5	Si su valor es 1 se usa la subrutina CORREL		
	IDIF	1 I5	Define el uso de la subrutina DIFER. Si su valor es 1 se usa dicha subrutina.		
	IPLOT	1 I5	Cuando su valor es 1 se usa la subrutina PLOTEO.		
	IOPT	0 I5	Si su valor es 1 se usa la subrutina OPTIM		
	IENT	1 I5	Define las unidades de la escorrentía observada: = 1, la unidad es m ³ /seg = 2, la unidad es 10 ⁶ m ³		
	ISAL	1 I5	Define las unidades de la escorrentía si- mulada: = 1, la unidad es m ³ /seg = 2, la unidad es 10 ⁶ m ³		

Tabla 2 (Continuación) Descripción detallada de las entradas al modelo

CIDIAT BANCO DE PROGRAMAS			PROGRAMA: SIHIM		
			CODIGO:	LENGUAJE:	PAG:
				FORTRAN 77	2
TARJETA	VARIABLE	FORMATO	DESCRIPCION	UNIDADES	OBSERVACIONES
3	NEPRE	I5	Número de estaciones de medición de precipitación.		Máximo 10 estaciones
	NEVAP	I5	Número de estaciones de medición de evaporación		Máximo 2 estaciones
	NC	I5	Número de subcuencas		Máximo 10 subcuencas
	ANOI	1969 I5	Año de inicio		
	ANOF	1973 I5	Año de finalización		
	MESI	1 I5	Mes de inicio		
	MESF	12 I5	Mes de finalización		
	NMES	60 I5	Número de meses		Máximo 120 meses
	KULTIM	1 I5	Indicador de la subcuenca en donde se encuentra la estación fluviométrica.		
	PMAX	10 F10.3	Valor máximo de la esorrentía a ser ploteado.	(m ³ /seg 6 10 ⁶ m ³)	
	TOL	0.001 F10.3	Tolerancia permisible para el cálculo de los procesos relacionados con el suelo.	(fracción)	
	NITER	20 I5	Número de iteraciones para el cálculo del almacenamiento del agua subterránea.		

Tabla 2. (continuación). Descripción detallada de las entradas al modelo.

CIDINT BANCO DE PROGRAMAS			PROGRAMA: SIHIM CODIGO: LENGUAJE: FORTRAN 77 PAG: 3		
TARJETA	VARIABLE	FORMATO	DESCRIPCION	UNIDADES	OBSERVACIONES
4	A(L) 122.5	8F10.3	Area de cada subcuenca	(km ²)	Máximo 10 subcuencas.
5	NOPT	I5	Número de parámetros a optimizar		Se lee sólo si IOPT = 1
	IPAR	9I5	Identificación numérica de los parámetros a optimizar.		
140 6 130	CINF	F7.3	Capacidad de Infiltración	(mm)	Se debe repetir para cada subcuenca
100	HSN	F7.3	Capacidad nominal del almacenamiento de humedad del suelo.	(mm)	
0.70	CT	F7.3	Factor para convertir la evaporación de tina a evapotranspiración potencial.	(fracción)	
0.20	PQB	F7.3	Fracción del almacenamiento del agua subterránea que sale como caudal base.	(fracción)	
0.00	PFSE	F7.3	Fracción del almacenamiento del agua subterránea que sale como flujo subterráneo efluente.	(fracción)	
0.50	PESC	F7.3	Fracción del almacenamiento en superficie que sale de la subcuenca, como escurrimiento, durante el mes. (ver pag 76)	(fracción)	
20 mm	AIHS	F7.3	Almacenamiento inicial de la humedad del suelo.	(mm)	

Se repite para cada subcuenca

Tabla 2. (Continuación). Descripción detallada de las entradas al modelo.

CIDIAT CENTRO INTERAMERICANO DE DESENVOLLO INTEGRAL DE AGUAS Y TIERRAS PROGRAMA: SIHIM				CODIGO: LENGUAJE PAG: FORTTRAN 77 4		
BANCO DE PROGRAMAS						
TARJETA	VARIABLE	FORMATO	DESCRIPCION	UNIDADES	OBSERVACIONES	
6 50	AIAS	F7.3	Almacenamiento inicial del agua sub- terránea.	(mm)	Se debe repe- tir para cada subcuenca	
0	AISUP	F7.3	Almacenamiento inicial en la superficie	(mm)		
0	FSUPA	F7.3	Flujo superficial afluente	(mm)		
0	FSUBA	F7.3	Flujo subterráneo afluente	(mm)		
7 0	NSCTB	10I5	Número de subcuencas tributarias a cada subcuenca			
8 0	ISCTB	10I5	Identificación numérica de las subcuencas que son tributarias a la subcuenca consi- derada.		Se debe repetir para cada subcuenca	
9	PORCP 0.457 0.543	10F8.4	Porcentaje del área de influencia de la es- tación de medición de precipitación sobre cada subcuenca.	(fracción)	Se debe repetir para cada est. de med. de precipitación.	
10 0.95	FACPRE	10F8.4	Factor de ajuste de la precipitación			
11 1.00	PORCE	10F8.4	Porcentaje del área de influencia de la estación de medición de evaporación sobre cada sub-cuenca.	(fracción)	Se debe repetir para cada est. de med. de evaporación.	
* 12 0.85	FACEVA	10F8.4	Factor de ajuste de la evaporación			

Tabla 2. (Continuación). Descripción detallada de las entradas al modelo

CIDIAT BANCO DE PROGRAMAS CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO INTEGRAL DE AGUAS Y TIERRAS			PROGRAMA: SIHIM		
			CODIGO:	LENGUAJE: FORTRAN 77	PAG: 5
TARJETA	VARIABLE	FORMATO	DESCRIPCION	UNIDADES	OBSERVACIONES
13	ESTP	11A2	Nombre de la estación de medición de precipitación.	(mm)	Se deben repetir para cada est. de med. de precipitación.
14	AÑO	6X	Año		
	PP	12F6.2	Datos de precipitación mensual para el período correspondiente.		
15	ESTE	11A2	Nombre de la estación de medición de evaporación.	(mm)	Se deben repetir para cada est. de med. de evaporación.
16	AÑO	6X	Año		
	EV	12F6.2	Datos de evaporación mensual para el período correspondiente.		
17	AÑO	6X	Año	(m ³ /seg ó 10 ⁶ m ³)	Se lee sólo si OPCION=CALIBRACION
	EO	12F6.2	Escorrentía observada mensual para el período correspondiente.		
? 18	INGER	10I5	Indice de generación	Las correspondientes al parámetro a optimizar.	Se lee sólo si OPCION=SIMULACION
19	XG	F10.3	Valor inicial del parámetro a optimizar		Se debe repetir para cada parámetro que se quiera optimizar.
	PQN	F10.3	Tolerancia para el parámetro a optimizar		
	D	F10.3	Paso del parámetro a optimizar		
	XI	F10.3	Límite inferior		
	XS	F10.3	Límite superior.		

8.2.1 Datos iniciales

Caen dentro de este grupo la información básica de la corrida, los parámetros característicos para cada subcuenca y los valores iniciales de los diferentes almacenamientos.

8.2.2 Resultados intermedios

Se consideran como resultados intermedios los valores totales de precipitación, evaporación, evapotranspiración potencial, evapotranspiración real, flujo superficial afluente, flujo subterráneo afluente, escorrentía total, escurrimiento, caudal base, flujo subterráneo efluente, balance y los valores finales de los diferentes almacenamientos.

Los resultados intermedios se imprimen para cada subcuenca y son de gran utilidad en la fase de calibración.

8.2.3 Salidas finales

Están constituidas por los valores de la escorrentía total tanto observada como simulada, la diferencia entre ellas en porcentaje y el coeficiente de correlación lineal.

Dentro de estas salidas también se tiene el resumen a nivel mensual de las variables hidroclimáticas, es decir, Q-obs, Q-sim, Dif(%), precipitación, evaporación, evapotranspiración potencial y evapotranspiración real y, por último, la correspondiente graficación de los valores de escorrentía mensual observados y simulados.

8.3 OPCIONES

El usuario dispone de varias opciones en la utilización del modelo, son ellas:

- OPCION: Define la fase en que se está trabajando, es decir, CALIBRACION o SIMULACION.
- ICOR: Si su valor es 1, se usa la subrutina CORREL.
- IDIF: Define el uso de la subrutina DIFER. Si su valor es 1, se usa dicha subrutina.
- IPLLOT: Da la opción de usar la subrutina PLOTEO si su valor es 1.
- IENT: Si su valor es 1, los datos de escorrentía observada se dan en m^3/seg ; por el contrario, si su valor es 2, los datos se dan en millones de metros cúbicos.
- ISAL: Si su valor es 1, los valores de escorrentía observada y simulada se generan en m^3/seg , mientras que si el valor es 2, dichas escorrentías se generan en millones de metros cúbicos.
- IOPT: Define el uso de la subrutina OPTIM para la autocálibration del modelo. Si su valor es 1 se usa dicha subrutina.

8.4 ASPECTOS SOBRE LA AUTOCALIBRACION DEL MODELO

8.4.1 El uso del programa de computación

La aplicación del programa para el caso de la autocálibration del modelo implica:

- a) Haber seleccionado la opción de calibración,

OPCION = 'CALIBRACION'

- b) Tener presente que la cuenca debe considerarse como un solo segmento de es

correntía, sin divisiones por subcuencas. NC = 1

- c) Seleccionar la opción de autocalibración. IOPT = 1
- d) Definir el número de variables a optimizar, NOPT, e identificarlas numéricamente, IPAR. El orden establecido para la identificación numérica es el siguiente:

IPAR	VARIABLE	SIGNIFICADO
1	CINF	Capacidad de infiltración.
2	HSN	Capacidad nominal de almacenamiento de <u>h</u> umedad del suelo.
3	CT	Coefficiente para convertir evaporación de tina a evapotranspiración potencial.
4	PQB	Fracción del almacenamiento de agua subterránea que sale como caudal base.
5	PFSE	Fracción del almacenamiento de agua subterránea que sale como flujo subterráneo efluente.
6	PESC	Fracción del almacenamiento superficial que se convierte en escurrimiento mensual.
7	AIHS	Almacenamiento inicial de humedad del suelo.
8	AIAS	Almacenamiento inicial de agua subterránea.
9	AISUP	Almacenamiento inicial superficial.

Por ejemplo, si se van a considerar para la autocalibración solamente los parámetros CINF, PQB y PESC, se deberá indicar lo siguiente:

NOPT = 3

IPAR(1) = 1, IPAR(2) = 4, IPAR(3) = 6

- e) Definir el valor inicial, máximo y mínimo de cada variable a optimizar, así como también los intervalos inicial y mínimo para el proceso de búsqueda que ejecuta la subrutina OPTIM. Siguiendo el ejemplo de tres varia

bles estos valores podrían ser:

(Para CINF)	XG(1) = 150	PQN(1) = 1	D(1) = 5	XI(1) = 50	XS(1) = 250
(Para PQB)	XG(2) = 0.30	PQN(2) = 0.02	D(2) = 0.1	XI(2) = 0.05	XS(2) = 0.95
(Para PESC)	XG(3) = 0.95	PQN(3) = 0.05	D(3) = 0.1	XI(3) = 0.50	XS(3) = 1.00

Lo anterior significa que para el parámetro CINF, por ejemplo, la búsqueda del valor óptimo se iniciaría con 150, teniendo limitado el rango de búsqueda a valores entre un mínimo de 50 y un máximo de 250. El intervalo o salto para la búsqueda es inicialmente igual a ± 5 , posteriormente éste podrá reducirse hasta un mínimo tolerable de ± 1 .

En el programa se leen todas las variables indicadas en la Tabla 2, allí se incluye los valores de todos los parámetros del modelo y el de los almacenamientos iniciales. Esta última información no se elimina cuando se utiliza la opción de autocalibración. En lugar de ello el programa requiere información adicional, en cuanto al número e identificación de variables a optimizar, así como los rangos de variación que se van a emplear en la búsqueda de los valores óptimos. De esta manera, como ocurriría en el ejemplo anterior, los valores de los demás parámetros y almacenamientos iniciales, que no se quieren incluir en la autocalibración del modelo, ya tienen definido su valor correspondiente, siendo necesario solamente hacer referencia a las variables que se quieren optimizar.

8.4.2 Limitaciones del método usado en la autocalibración

El algoritmo modificado de Hooke y Jeeves, representado por la subrutina OPTIM, a menudo alcanza soluciones óptimas de tipo local. Es decir, el mínimo valor de la función objetivo, que retiene como solución óptima, podría no ser el mínimo absoluto que se puede lograr dado el rango o dominio permisible de valores de las variables que se están optimizando. En lugar de ello el algoritmo encuentra como óptimo un mínimo mayor al mínimo absoluto, o simplemente un óptimo local.

Para subsanar lo anterior, el procedimiento más práctico, sin tener que abandonar el empleo del algoritmo, consiste en repetir la autocalibración partiendo de diferentes valores iniciales, XG. Si diversos puntos de partida conducen a una misma solución óptima, entonces el mínimo obtenido es con certeza un óptimo global. Esta será la solución que define el óptimo juego de valores de los parámetros con los cuales se logra la mejor calibración del modelo de simulación, de acuerdo a la función o criterio evaluador de la calibración que se usa.

El mecanismo de autocalibración facilita la labor y reduce considerablemente el tiempo que se requiere para calibrar el modelo a una cuenca específica con registros históricos de escurrimiento. Sin embargo, por tratarse de un procedimiento numérico, puede llevar a la aceptación de soluciones poco probables de acuerdo a la historia de los registros de escurrimiento. Por ello, se debe comprobar siempre que la serie de escurrimiento simulada preserve la tendencia de la serie histórica, por ejemplo mediante un ajuste visual de los hidrogramas de escurrimiento simulado y observado.

IX. ESTIMACION DE LOS PARAMETROS Y DE LOS VALORES INICIALES DE LOS ALMACENAMIENTOS

En este aparte se dan algunos lineamientos generales para la estimación tanto de los valores de los parámetros como de los almacenamientos. Es necesario destacar que es una estimación inicial para la primera corrida del modelo y que según los resultados de ésta, el valor tanto de los parámetros como de los almacenamientos iniciales se variará.

9.1 ESTIMACION DE CINF Y HSN

El valor de HSN puede estimarse inicialmente a partir de la Tabla 3, en función de la clase textural y de la profundidad del suelo; el valor de la capacidad de infiltración, CINF, para la primera corrida puede considerarse igual a la capacidad nominal del suelo, HSN.

SERIAL : 33 PASO ANGOSTURA / YACAMBU

CURVA NO. 8 1PAR

CURVA NO. 8 DEL TIPO A*H**2+B*H+C

A = 55.7562 B = -96.3582 C = 38.6415 DESDE .30 HASTA 4.00 M.

PERIODO(S) DE VALIDEZ

DESDE 1/ 1/1977 HASTA 7/28/1977

AFOROS USADOS (23)

927 928 929 930 931 932 933 934 935 936,
937 938 939 940 941 942 943 944 945 946,
947 948 949

1PAR

NO.	FECHA	H(M)	OBSERV.	ESTIM.	DIF.	DIF. %
927	0/ 0	.300	1.170	14.752	13.582	1160.9
928	0/ 0	.400	1.720	9.019	7.299	424.4
929	0/ 0	.500	2.340	4.401	2.061	88.1
930	0/ 0	.600	3.120	.899	-2.221	-71.2
931	0/ 0	.700	3.980	.000	.000	.0
932	0/ 0	.800	4.950	.000	.000	.0
933	0/ 0	.900	5.980	.000	.000	.0
934	0/ 0	1.000	7.170	.000	.000	.0
935	0/ 0	1.100	8.650	.113	-8.537	-98.7
936	0/ 0	1.200	10.430	3.301	-7.129	-68.4
937	0/ 0	1.300	12.400	7.604	-4.796	-38.7
938	0/ 0	1.400	14.400	13.022	-1.378	-9.6
939	0/ 0	1.500	16.950	19.556	2.606	15.4
940	0/ 0	1.600	21.500	27.204	5.704	26.5
941	0/ 0	1.700	27.500	35.968	8.468	30.8
942	0/ 0	1.800	35.500	45.847	10.347	29.1
943	0/ 0	1.900	47.000	56.841	9.841	20.9
944	0/ 0	2.000	61.000	68.950	7.950	13.0
945	0/ 0	2.200	95.000	96.513	1.513	1.6
946	0/ 0	2.400	132.000	128.537	-3.463	-2.6
947	0/ 0	2.600	170.000	165.022	-4.978	-2.9
948	0/ 0	2.800	210.000	205.967	-4.033	-1.9
949	0/ 0	3.000	253.000	251.373	-1.627	-.6

DIF. MED.: 1.643 VARIANZA: 48.775

DESV. EST.: 6.9839

CR: .996

Tabla 3 Valores de HSN en función de la textura y la profundidad del suelo

Término general	Clase textural	Capacidad Nominal del Suelo (HSN) en mm.		
		Suelo poco profundo (0,5 m)	Suelo medianamente profundo (1,0 m)	Suelo profundo (1,5 m)
Suelos de textura arenosa (suelos arenosos)	Arenoso Areno-franco	42,5 (31,0-54,0)	85,0 (62,0-108,0)	127,5 (93,0-162,0)
✓ Suelos de textura moderadamente gruesa.	Franco-arenoso	61,0 (42,0-80,0)	122,0 (84,0-160,0)	183,0 (126,0-240,0)
Suelos de textura media	Franco Franco-limoso Limoso	86,0 (67,0-105,0)	172,5 (135,0-210,0)	259,0 (203,0-315,0)
Suelos de textura moderadamente fina	Franco-arcilloso Franco arcillo-arenoso Franco arcillo-limoso	95,0 (78,0-112,0)	190,0 (156,0-224,0)	285,0 (234,0-336,0)
Suelos de textura fina (suelos arcillosos)	Arcillo-arenoso Arcillo-limoso Arcilloso	109,0 (92,0-126,0)	218,0 (184,0-252,0)	327,0 (276,0-378,0)

Si se toma
el valor de
HSN = 122
la CInf
intuimos
que será
HSN para
ese tipo de
suelo.
75

Es de hacer notar que los suelos arenosos presentan alta capacidad de infiltración y baja capacidad de almacenamiento, mientras que los suelos arcillosos se comportan de manera inversa.

9.2 ESTIMACION DE CT

Conocida la precipitación y la evaporación total, puede determinarse el coeficiente de tina de la siguiente manera:

$$ETR = 0,8 \times \text{precipitación total} \quad (50)$$

$$CT = \frac{ETR}{\text{evaporación total}} \quad (51)$$

Inicialmente para la primera corrida puede tomarse un valor de CT igual a 0,75.

9.3 ESTIMACION DE PQB

El valor de este parámetro puede determinarse a partir de los valores de esorrentía observada y con la ayuda de la Figura 32 y de las siguientes ecuaciones:

$$q_t = q_o e^{-kt} \quad (52)$$

$$k = -\ln \left(\frac{q_t}{q_o} \right) \quad (53)$$

$$PQB = k \quad (54)$$

donde

- k es la constante de recesión del hidrograma,
- t es el intervalo de tiempo,
- q_t es el caudal correspondiente a $t+1$, y
- q_o es el caudal inicial.

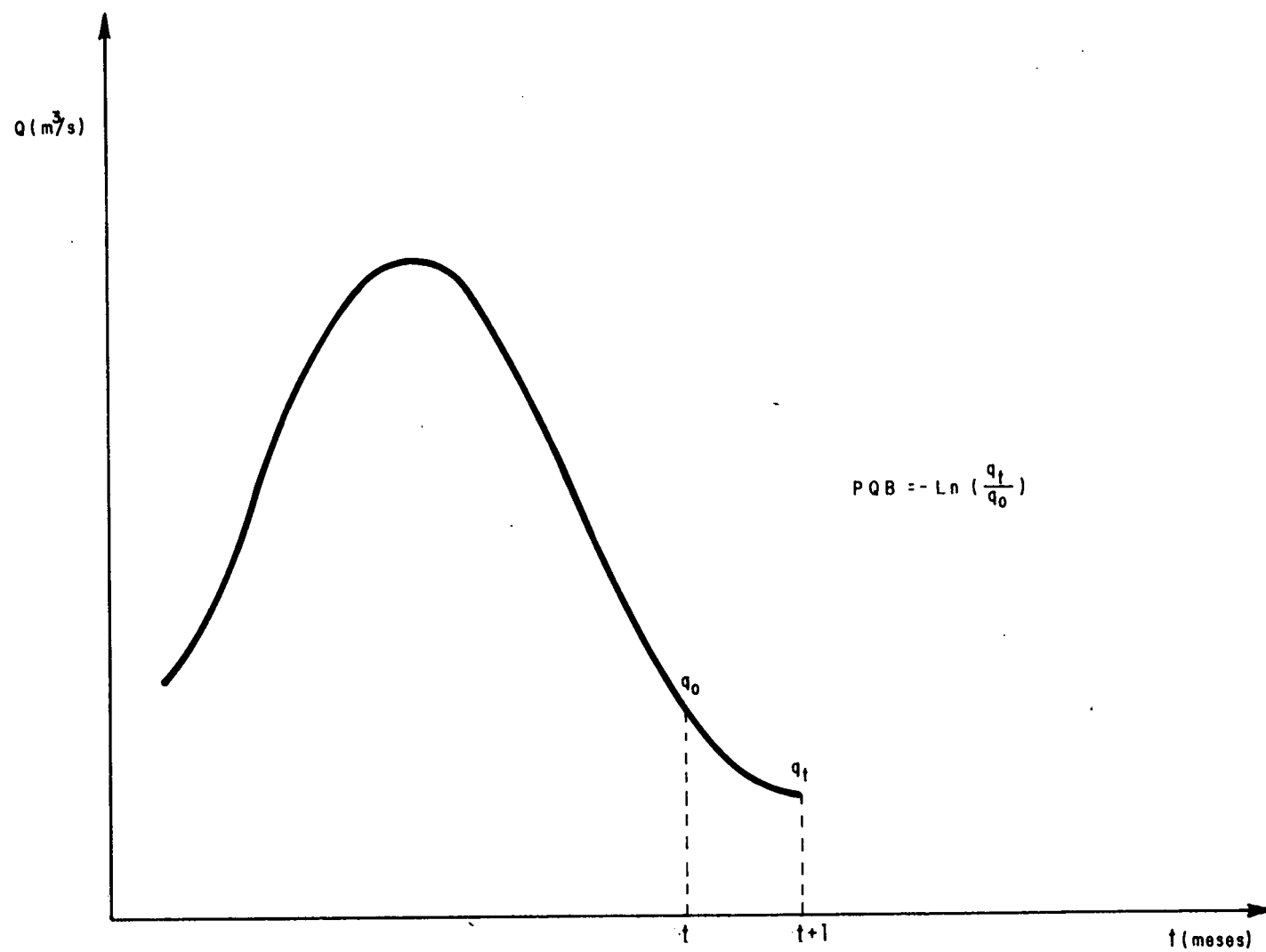


Figura 32.- Esquema que muestra la manera de determinar PQB.

9.4 ESTIMACION DE PFSE Y PESC

Los valores de estos parámetros oscilan en un rango entre 0,0 y 1,0 y su determinación se hace en base a la calibración del modelo. Inicialmente su valor se puede considerar igual a 0,5, y dependiendo de los resultados se incrementan o disminuyen según sea el caso.

9.5 ESTIMACION DE AIHS, AIAS, AISUP, FSUPA y FSUBA

Se recomienda hacer un estimado inicial basado en los registros climáticos con los cuales se inicia la calibración del modelo; si es la estación de sequía, se debe tomar un valor cercano a cero para AIHS y AISUP y un valor entre 0 y 50 mm para AIAS. Si es la estación lluviosa, el valor de AIHS puede tomarse igual a HSN, AISUP entre 0 y 10 mm, y AIAS entre 50 y 100 mm.

FSUPA y FSUBA inicialmente se consideran como cero, a menos que se sepa de antemano que en la cuenca en estudio existen afluencias superficiales o subterráneas.

Lo que se ha expuesto anteriormente es sólo una indicación de los valores que pueden tener los parámetros, pero estos valores pueden ir variando a lo largo de la calibración, según sean las diferencias entre los valores de la escorrentía observada y simulada para los primeros meses de registro usados.

X. APLICACION DEL MODELO

Para la aplicación del modelo se escogió la cuenca del río Azuero hasta la estación fluviométrica en Puente Junín, con un área de 375 km².

A manera de ilustración se presentan dos casos: el primero correspondiente a la calibración del modelo y el segundo a la generación de caudales considerando la cuenca dividida en cinco subcuencas.

10.1 CALIBRACION DEL MODELO MENSUAL

En la Figura 33 se presenta la ubicación de las estaciones pluviométricas, evaporimétricas y la subdivisión en subcuencas.

Para la calibración automática del modelo se debe considerar solamente una subcuenca. En la Tabla 4 se presentan las estaciones de precipitación usadas en la calibración y sus respectivos porcentajes de área de influencia sobre la subcuenca considerada, de acuerdo al método de los polígonos de Thiessen.

En el Apéndice B se presenta el listado de los datos de entrada y la correspondiente salida, en donde se aprecia que el coeficiente de correlación es 0,925 y la diferencia entre la escorrentía simulada y observada es de 0,31%, para el período que va de 1970 a 1974. En la Figura 34 se presenta el gráfico de los valores de escorrentía observada y simulada.

Tabla 4 Valores de PORCP para la cuenca del río Azuero

Nombre de la Estación	Serial	Número	PORCP
Palmira	4027	1	0.056
Capacho	4020	2	0.204
San Cristóbal	4038	3	0.042
El Recreo	4024	4	0.181
Sabaneta	4039	5	0.160
Bramón - Escuela	4041	6	0.264
Hacienda Unión	4053	7	0.083
Hacienda La Granadina	9054	8	0.005
La Providencia	4081	9	0.005

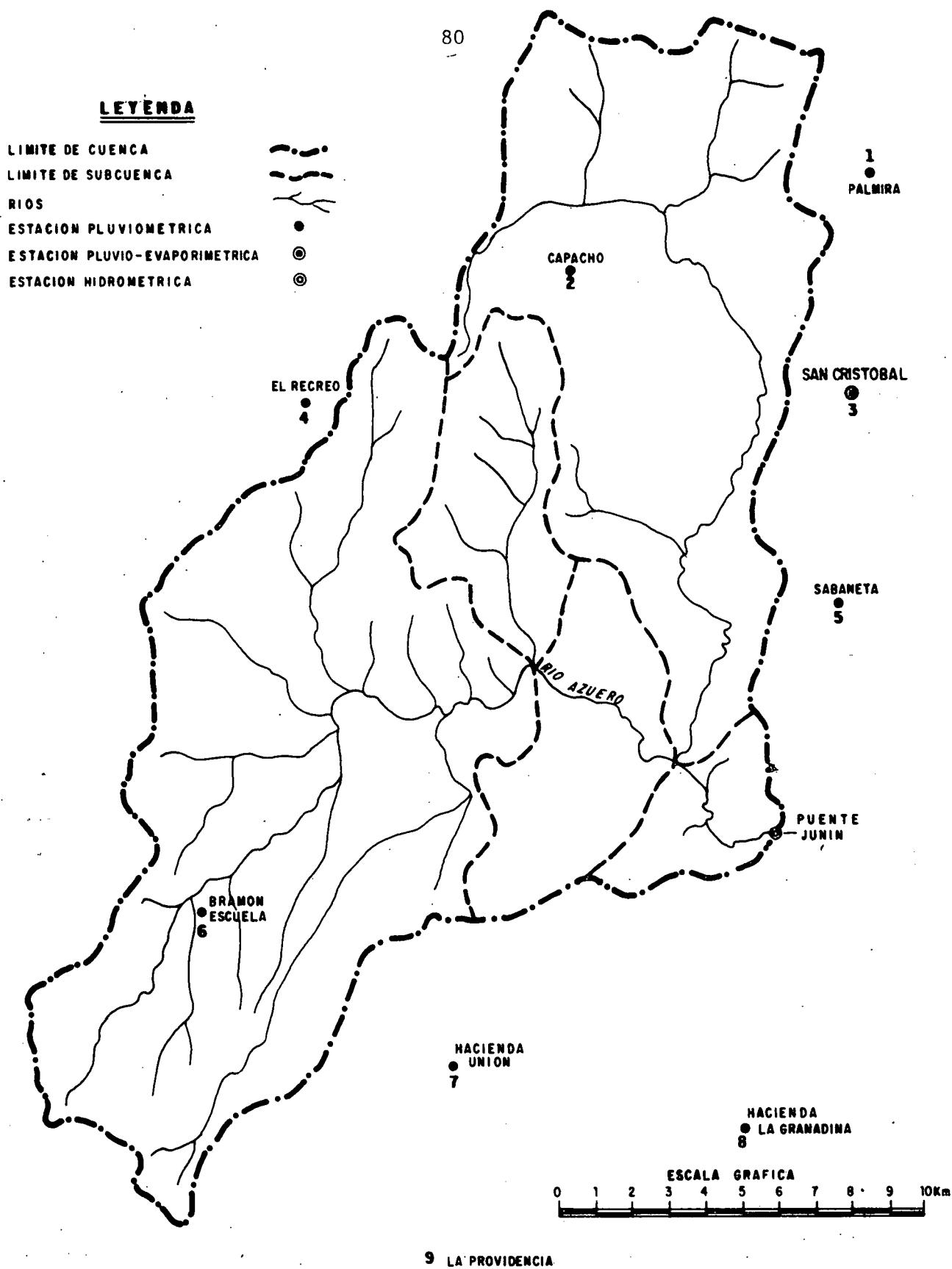


Figura 33.- Ubicación de las estaciones pluviométricas, evaporimétricas y la subdivisión en subcuencas.

CUENCA DEL RIO CARAPO O AZUERO - ESTACION PUENTE JUNIN

PERIODO 1970- 1974

PLOTEO DE LOS VALORES DE ESCORRENTIA EN MILLONES DE METROS CUBICOS

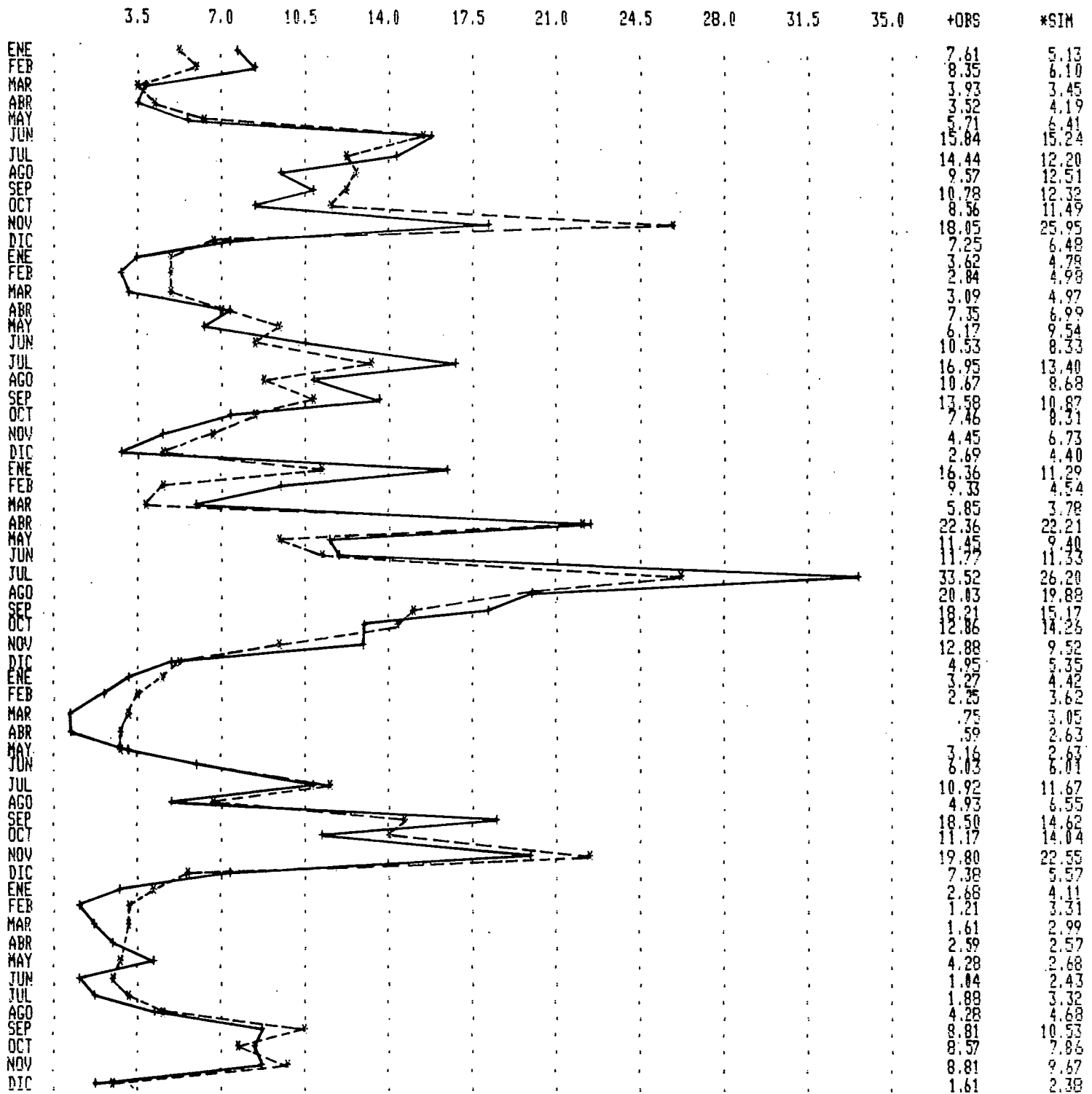


Figura 34. Escorrentía observada y simulada. Cuenca del río Azuero en Puente Junín.

10.2 GENERACION DE CAUDALES

En la Figura 35 se presentan los polígonos de Thiessen para la cuenca del río Azuero y la subdivisión en las subcuencas consideradas. En la Tabla 5 se dan los valores de PORCP correspondientes.

En la Figura 35 se presenta la división en subcuencas y el número con el cual se identifica cada una de ellas. A partir de esta figura y con la ayuda de la Figura 33 se puede determinar el número de subcuencas tributarias a cada subcuenca, tal como se muestra en la Tabla 6.

Los valores de IALIM, o sea el arreglo que contiene la identificación de las subcuencas que son tributarias de otra y el orden de alimentación, se presentan en la Tabla 7.

En el Apéndice C se presenta el listado de los datos de entrada y la salida correspondiente.

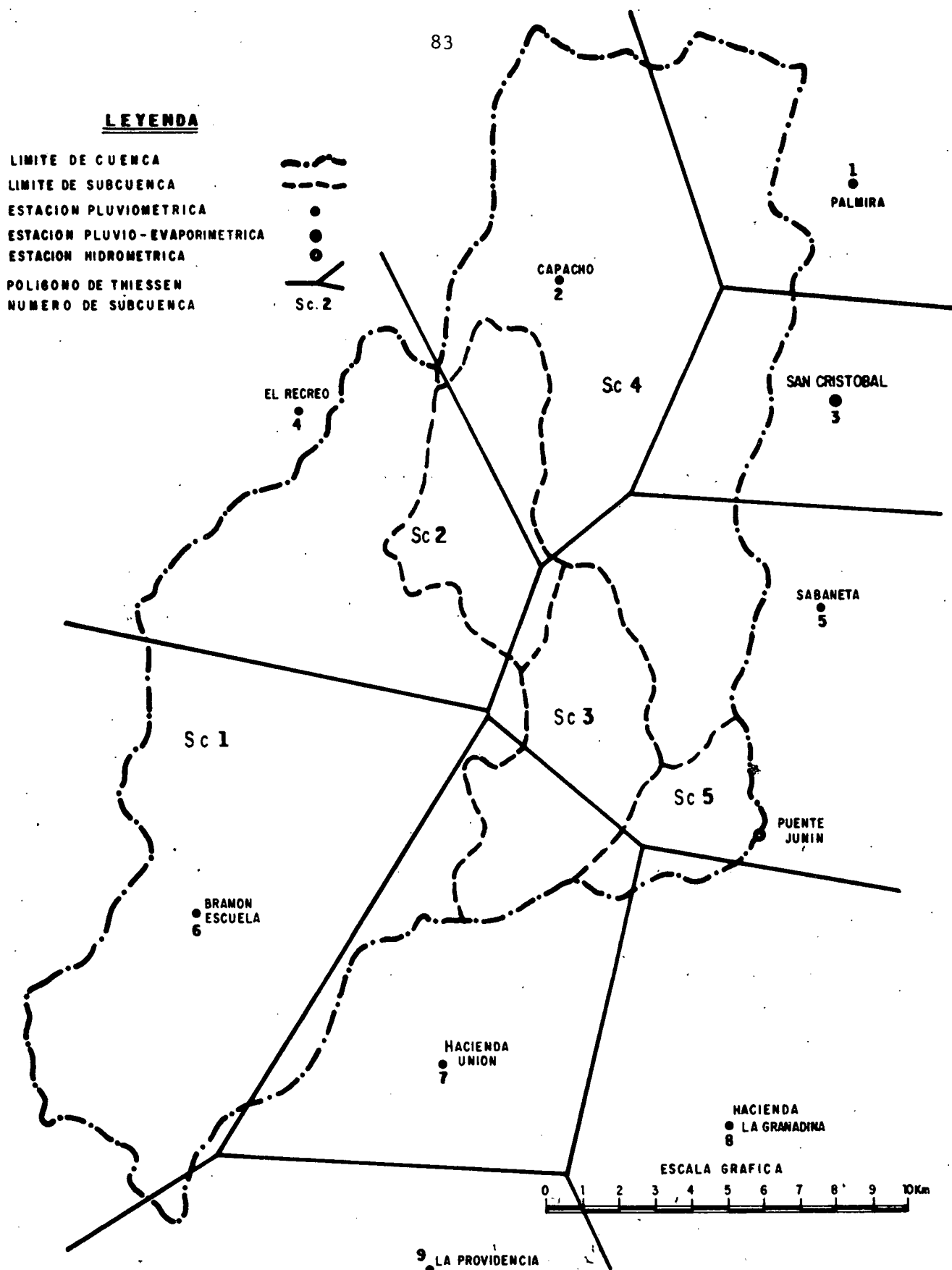


Figura 35.- Poligonos de Thiessen y subdivisión en subcuencas. Cuenca del rio Azuero en Puente Junín .

Tabla 5 Valores de PORCP para cada una de las subcuencas en que se dividió la cuenca del río Azuero hasta Puente Junín

Estación	Número	Sub-cuenca				
		1	2	3	4	5
Palmira	1				0.505	
Capacho	2		0.375		0.168	
San Cristóbal	3				0.130	
El Recreo	4	0.307	0.538		0.195	
Sabaneta	5	0.010	0.087	0.589	0.002	0.625
Bramón - Escuela	6	0.602				
Hacienda Unión	7	0.073		0.411		0.167
Hacienda La Granadina	8					0.208
La Providencia	9	0.008				
T O T A L:		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Tabla 6 Las subcuencas y sus respectivos tributarios

Subcuenca	Número de tributarios	Subcuencas tributarias
1	0	---
2	0	---
3	2	1 y 2
4	0	---
5	2	3 y 4

ISTM
 Tabla 7 Valores de IALIM para la cuenca del río Azuero

Subcuenca	Orden de alimentación de las subcuencas tributarias				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	1	2	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	3	4	0	0	0

BIBLIOGRAFIA

- Amisial, R. Sin fecha. Procedimiento de desarrollo de un modelo de simulación hidrológica. Mérida. 32 p.
- Amisial, R. y A. Barrios. 1987. Modelos de simulación de la operación de un embalse de usos múltiples. CIDIAT-OEA. Mérida. 221 p.
- Crawford, N.H. y R.K. Linsley. 1966. Digital simulation in hydrology: Stanford watershed model IV. Stanford University, Department of Civil Engineering. Technical report. N° 39. Stanford, California. 210 p.
- Duque, R.A. 1985. Desarrollo de un modelo de simulación hidrológica a escala mensual. Trabajo de Ascenso. CIDIAT. Mérida. 185 p.
- García, M. 1976. Estimación de la escorrentía en cuencas pequeñas mediante un modelo de simulación hidrológica. CIDIAT. Mérida. 167 p.
- Rao, S. 1979. Optimization theory and applications. Wiley Eastern Limited. New Delhi, India. 711 p.

APENDICE A

LISTADO DEL PROGRAMA SIHIM

```
68      CALL TRANSF(IND)
69      CALL REGSIM
70      END IF
71 C
72      CALL EXEC(11,IT2)
73      WRITE(IMP,'(3X,4(I2,""))')(IT1(J),J=4,1,-1)
74      WRITE(IMP,'(3X,4(I2,""))')(IT2(J),J=4,1,-1)
75      CLOSE(IMP)
76      CLOSE(LEC)
77      STOP
78      END
```

```

79 $ EMA /C1/
80 SUBROUTINE ARCHIV
81 CHARACTER *12 OPCION,TITULO*60
82 COMMON /C1/ PRE(120,10),EVM(120,10),ETR(120,10),ESCT(120,10),
83 1 PP(120,15),EV(120,2),ISCTR(10,10),FSUHE(120,10),
84 2 CT(10),PORCP(15,10),FACPRE(10),ESTPRE(15,11),
85 3 PORCE(2,10),FACEVA(10),ESTEVA(2,11)
86 COMMON /C2/ EO(120),A(10),CINF(10),HSN(10),AIHS(10),PFSE(10),
87 1 AIAS(10),AISUP(10),PQB(10),PESC(10),PAR(9),IPAR(9),
88 2 NSCTB(10),ESTP(11),ESTE(11),FSUPA(10),FSUBA(10)
89 COMMON /C3/ AACUM(10),SETP(10),SETR(10),SESCA(10),SESHA(10),
90 1 SQB(10),SESCD(10),SESCR(10),SESC(10),SFSUBE(10),
91 2 SPRE(10),SEVM(10),AFSUP(10),AFHS(10),AFAS(10),BAL(10),
92 3 EOM(12),ESM(12),PREPRO(12),EVAPRO(12),ETRPRO(12),
93 4 ETPPRO(12),DIFMEN(12),QSIM(12),INGER(10),SES(10)
94 COMMON /C4/ LEC,IMP,ANOI,ANOF,NEPRE,ICOR,IDIF,IPLOT,NEVAP,NMES,
95 1 NC,MESI,MESF,KULTIM,PMAX,IENT,ISAL,TOL,NITER,IOPT,NPOT
96 COMMON /C5/ TITULO,OPCION
97 CHARACTER *6 NFILE,SALI*6
98 INTEGER ANOI,ANOF,ANO
99 REAL LPE
100 C
101 WRITE(1,('("DAR UNIDAD DE ENTRADA Y SALIDA SEPARADAS POR COMA")'))
102 READ(1,*) LEC,IMP
103 IF(LEC.GT.10) THEN
104 WRITE(1,('("NOMBRE DEL ARCHIVO DE ENTRADA")'))
105 READ(1,('A6')) NFILE
106 OPEN(LEC,FILE=NFILE,STATUS='OLD')
107 END IF
108 IF(IMP.GT.10) THEN
109 WRITE(1,('("NOMBRE DEL ARCHIVO DE SALIDA")'))
110 READ(1,('A6')) SALI
111 OPEN(IMP,FILE=SALI,STATUS='NEW')
112 END IF
113 RETURN
114 END

```

```

115 * EMA /C1/
116 SUBROUTINE INIT
117 CHARACTER *12 OPCION,TITULO*60
118 COMMON /C1/ PRE(120,10),EVM(120,10),ETR(120,10),ESCT(120,10),
119 1 PP(120,15),EV(120,2),ISCTB(10,10),FSURE(120,10),
120 2 CT(10),PORCP(15,10),FACP(10),ESTPRE(15,11),
121 3 PORCE(2,10),FACEVA(10),ESTEVA(2,11)
122 COMMON /C2/ EO(120),A(10),CINF(10),HSN(10),AIHS(10),PFSE(10),
123 1 AIAS(10),AISUP(10),PQB(10),PESC(10),PAR(9),IPAR(9),
124 2 NSCTB(10),ESTP(11),ESTE(11),FSUPA(10),FSUBA(10)
125 COMMON /C3/ AACUM(10),SETP(10),SETR(10),SESCA(10),SESEA(10),
126 1 SQB(10),SESCD(10),SESCR(10),SESCT(10),SFSURE(10),
127 2 SPRE(10),SEVM(10),AFSUP(10),AFHS(10),AFAS(10),BAL(10),
128 3 EOM(12),ESM(12),PREPRO(12),EVAPRO(12),ETPRO(12),
129 4 ETPPRO(12),DIFMEN(12),QSIM(12),INGER(10),SES(10)
130 COMMON /C4/ LEC,IMP,ANOI,ANOF,NEPRE,ICOR,IDIF,ILOT,NEVAP,NMES,
131 1 NC,MESI,MESF,KULTIM,PMAX,IENT,ISAL,TOL,NITER,IOT,NPOT
132 COMMON /C5/ TITULO,OPCION
133 INTEGER ANOI,ANOF,ANO
134 REAL LPE
135 C
136 WRITE(1,('("ENTRO A INIT")'))
137 C
138 C
139 DO L=1,NC
140 DO I=1,NMES
141 PRE(I,L)=0.0
142 EVM(I,L)=0.0
143 ETR(I,L)=0.0
144 ESCT(I,L)=0.0
145 EO(I)=0.0
146 END DO
147 END DO
148 DO J=1,NEPRE
149 DO I=1,NMES
150 PP(I,J)=0.0
151 END DO
152 END DO
153 DO J=1,NEVAP
154 DO I=1,NMES
155 EV(I,J)=0.0
156 END DO
157 END DO
158 C
159 DO L=1,NC
160 A(L)=0.0
161 CT(L)=0.0
162 CINF(L)=0.0
163 AIHS(L)=0.0
164 HSN(L)=0.0
165 AIAS(L)=0.0
166 AISUP(L)=0.0
167 NSCTB(L)=0
168 SQB(L)=0.0
169 SESCO(L)=0.0

```

```

170      SESCR(L)=0.0
171      SESCT(L)=0.0
172      SETR(L)=0.0
173      SETP(L)=0.0
174      SEVM(L)=0.0
175      SPRE(L)=0.0
176      AFSUP(L)=0.0
177      AFHS(L)=0.0
178      AFAS(L)=0.0
179      AACUM(L)=0.0
180      SESCA(L)=0.0
181      SESBA(L)=0.0
182      PQB(L)=0.0
183      PESC(L)=0.0
184      PFSE(L)=0.0
185      FSUPA(L)=0.0
186      FSUBA(L)=0.0
187      BAL(L)=0.0
188      END DO
189      DO K1=1,NC
190          DO L=1,NC
191              ISCTR(K1,L)=0.0
192          END DO
193      END DO
194      DO L=1,NC
195          DO I=1,NEPRE
196              PORCP(I,L)=0.0
197          END DO
198          FACPRE(L)=0.0
199      END DO
200      DO L=1,NC
201          DO I=1,NEVAP
202              PORCE(I,L)=0.0
203          END DO
204          FACEVA(L)=0.0
205      END DO
206      DO J=1,9
207          PAR(J)=0.0
208          IPAR(J)=0
209      END DO
210      WRITE(1,('SALIO DE INIT'))
211 C
212      RETURN
213      END

```

```

214 * EMA /C1/
215 SUBROUTINE LECT
216 CHARACTER *12 OPCION,TITULO*60
217 COMMON /C1/ PRE(120,10),EVM(120,10),ETR(120,10),ESCT(120,10),
218 1 PP(120,15),EV(120,2),ISCTB(10,10),FSURE(120,10),
219 2 CT(10),PORCP(15,10),FACPRE(10),ESTPRE(15,11),
220 3 PORCE(2,10),FACEVA(10),ESTEVA(2,11)
221 COMMON /C2/ EO(120),A(10),CINF(10),HSN(10),AIHS(10),PFSE(10),
222 1 AIAS(10),AISUP(10),PQB(10),PESC(10),PAR(9),IPAR(9),
223 2 NSCTB(10),ESTP(11),ESTE(11),FSUPA(10),FSUBA(10)
224 COMMON /C3/ AACUM(10),SETP(10),SETR(10),SESCA(10),SESRA(10),
225 1 SQB(10),SESCD(10),SESCR(10),SESCT(10),SFSUBE(10),
226 2 SPRE(10),SEVM(10),AFSUP(10),AFHS(10),AFAS(10),BAL(10),
227 3 EOM(12),ESM(12),PREPRO(12),EVAPRO(12),ETRPRO(12),
228 4 ETPPRO(12),DIFMEN(12),QSIM(12),INGER(10),SES(10)
229 COMMON /C4/ LEC,IMP,ANOI,ANOF,NEPRE,ICOR,IDIF,IPLT,NEVAP,NMES,
230 1 NC,MESI,MESF,KULTIM,PMAX,IENT,ISAL,TOL,NITER,IPT,NPOT
231 COMMON /C5/ TITULO,OPCION
232 INTEGER ANOI,ANOF,AND
233 REAL LPE
234 C
235 C
236 WRITE(1,('(ENTRO A LECT'))')
237 C
238 C
239 READ(LEC,90)TITULO
240 READ(LEC,100) OPCION,ICOR,IDIF,IPLT,IPT,IENT,ISAL
241 READ(LEC,110)NEPRE,NEVAP,NC,ANOI,ANOF,MESI,MESF,NMES,KULTIM,PMAX,
242 1 TOL,NITER
243 C
244 CALL INIT
245 C
246 READ(LEC,120)(A(L),L=1,NC)
247 C
248 IF(IPT.EQ.1) THEN
249 NC=1
250 READ(LEC,125) NPOT,(IPAR(I),I=1,9)
251 END IF
252 C
253 DO L=1,NC
254 READ(LEC,130)CINF(L),HSN(L),CT(L),PQB(L),PFSE(L),PESC(L),
255 1 AIHS(L),AIAS(L),AISUP(L),FSUPA(L),FSUBA(L)
256 IF(IPT.EQ.1) THEN
257 PAR(1)=CINF(L)
258 PAR(2)=HSN(L)
259 PAR(3)=CT(L)
260 PAR(4)=PQB(L)
261 PAR(5)=PFSE(L)
262 PAR(6)=PESC(L)
263 PAR(7)=AIHS(L)
264 PAR(8)=AIAS(L)
265 PAR(9)=AISUP(L)
266 END IF
267 END DO
268 READ(LEC,150)(NSCTB(L),L=1,NC)

```

```

269      DO J=1,NC
270          READ(LEC,150)(ISCTB(1,J),I=1,NC)
271      END DO
272      DO J=1,NEPRE
273          READ(LEC,160)(PORCP(J,L),L=1,NC)
274      END DO
275      READ(LEC,160)(FACPRE(L),L=1,NC)
276      DO J=1,NEVAP
277          READ(LEC,160)(PORCE(J,L),L=1,NC)
278      END DO
279      READ(LEC,160)(FACEVA(L),L=1,NC)
280      DO J=1,NEPRE
281          READ(LEC,170)ESTP
282          DO I=1,11
283              ESTPRE(J,I)=ESTP(I)
284          END DO
285      READ(LEC,180)(PP(I,J),I=1,NMES)
286  END DO
287 C
288      DO J=1,NEVAP
289      READ(LEC,170)ESTE
290          DO I=1,11
291              ESTEVA(J,I)=ESTE(I)
292          END DO
293      READ(LEC,180)(EV(I,J),I=1,NMES)
294  END DO
295 C
296      IF(OPCION.EQ.'CALIBRACION') THEN
297          READ(LEC,180)(EO(I),I=1,NMES)
298      ELSE
299          READ(LEC,200)(INGER(I),I=1,NC)
300      END IF
301 C
302      WRITE(1,('SALIO DE LECT'))
303 C
304 C
305 C ***** FORMATOS *****
306      90 FORMAT(A60)
307      100 FORMAT(A12,6I5)
308      110 FORMAT(9I5,2F10.3,I5)
309      120 FORMAT(8F10.3)
310      125 FORMAT(10I5)
311      130 FORMAT(11F7.3)
312      150 FORMAT(10I5)
313      160 FORMAT(10F8.4)
314      170 FORMAT(11A2)
315      180 FORMAT(6X,12F6.2)
316      200 FORMAT(10I5)
317      RETURN
318      END

```

```

319 * EMA /C1/
320 SUBROUTINE PREVA
321 CHARACTER *12 OPCION,TITULO*60
322 COMMON /C1/ PRE(120,10),EVM(120,10),ETR(120,10),ESCT(120,10),
323 1 PP(120,15),EV(120,2),ISCTB(10,10),FSUBE(120,10),
324 2 CT(10),PORCP(15,10),FACPRE(10),ESTPRE(15,11),
325 3 PORCE(2,10),FACEVA(10),ESTEVA(2,11)
326 COMMON /C2/ EO(120),A(10),CINF(10),HSN(10),AIHS(10),PFSE(10),
327 1 AIAS(10),AISUP(10),PQB(10),PESC(10),PAR(9),IPAR(9),
328 2 NSCTB(10),ESTP(11),ESTE(11),FSUPA(10),FSUBA(10)
329 COMMON /C3/ AACUM(10),SETP(10),SETR(10),SESCA(10),SESBA(10),
330 1 SQB(10),SESCD(10),SESCR(10),SESCT(10),SFSUBE(10),
331 2 SPRE(10),SEVM(10),AFSUP(10),AFHS(10),AFAS(10),BAL(10),
332 3 EOM(12),ESM(12),PREPRO(12),EVAPRO(12),ETRPRO(12),
333 4 ETPPRO(12),DIFMEN(12),QSIM(12),INGER(10),SES(10)
334 COMMON /C4/ LEC,IMP,ANOI,ANOF,NEPRE,ICOR,IDIF,IPL0T,NEVAP,NMES,
335 1 NC,MESI,MESF,KULTIM,PMAX,IENT,ISAL,TOL,NITER,I0PT,NPOT
336 COMMON /C5/ TITULO,OPCION
337 INTEGER ANOI,ANOF,AND
338 REAL LPE
339 C
340 DO L=1,NC
341 DO I=1,NMES
342 SPM=0.0
343 SEM=0.0
344 DO J=1,NEPRE
345 IF (PORCP(J,L).NE.0.0) THEN
346 SPM=SPM+PP(I,J)*PORCP(J,L)
347 END IF
348 END DO
349 PRE(I,L)=SPM*FACPRE(L)
350 DO J=1,NEVAP
351 IF (PORCE(J,L).NE.0.0) THEN
352 SEM=SEM+EV(I,J)*PORCE(J,L)
353 END IF
354 END DO
355 EVM(I,L)=SEM*FACEVA(L)
356 END DO
357 END DO
358 C
359 RETURN
360 END

```

```

361 $ EMA /C1/
362 SUBROUTINE OPTIM
363 CHARACTER *12 OPCION,TITULO*60
364 COMMON /C1/ PRE(120,10),EVM(120,10),ETR(120,10),ESCT(120,10),
365 1 PP(120,15),EV(120,2),ISCTB(10,10),FSURE(120,10),
366 2 CT(10),PORCP(15,10),FACPRE(10),ESTPRE(15,11),
367 3 PORCE(2,10),FACEVA(10),ESTEVA(2,11)
368 COMMON /C2/ EO(120),A(10),CINF(10),HSN(10),AIHS(10),PFSE(10),
369 1 AIAS(10),AISUP(10),PQB(10),PESC(10),PAR(9),IPAR(9),
370 2 NSCTB(10),ESTP(11),ESTE(11),FSUPA(10),FSUBA(10)
371 COMMON /C3/ AACUM(10),SETP(10),SETR(10),SESCA(10),SESRA(10),
372 1 SQB(10),SESCD(10),SESCR(10),SESC(10),SFSURE(10),
373 2 SPRE(10),SEVM(10),AFSUP(10),AFHS(10),AFAS(10),BAL(10),
374 3 EOM(12),ESM(12),PREPRO(12),EVAPRO(12),ETPRO(12),
375 4 ETPPRO(12),DIFMEN(12),QSIM(12),INGER(10),SES(10)
376 COMMON /C4/ LEC,IMP,ANOI,ANOF,NEPRE,ICOR,IDIF,IPL0T,NEVAP,NMES,
377 1 NC,MESI,MESF,KULTIM,PMAX,IENT,ISAL,TOL,NITER,I0PT,NPOT
378 COMMON /C5/ TITULO,OPCION
379 INTEGER ANOI,ANOF,AND
380 REAL LPE
381 DIMENSION XG(11),PQN(11),X(11),D(11),XO(11),T(11),
382 1 XI(11),XS(11)
383 C
384 AA=1
385 N=NPOT
386 C
387 DO I=1,N
388 READ(LEC,100) XG(I),PQN(I),D(I),XI(I),XS(I)
389 END DO
390 100 FORMAT (5F10.3)
391 C
392 C VALORES INICIALES
393 I=0 $ IAB=0
394 CALL ESCOR(XG,PFA)
395 FG=-PFA
396 NEF=1
397 C CALCULOS
398 11 DO J=1,N $ XO(J)=XG(J) $ END DO
399 FO=FG $ IAB=IAB+1
400 21 DO J=1,N $ X(J)=XO(J) $ T(J)=X(J) $ END DO
401 FX=FO
402 31 I=I+1 $ J=0
403 41 J=J+1
404 IF(J.GT.N) GO TO 14
405 T(J)=AMIN1(XS(J),X(J)+D(J))
406 CALL ESCOR(T,PFA)
407 FT=-PFA
408 C *****

```

```

409 C      LLAMADO A SUBPROGRAMA
410      NEF=NEF+1
411      IF(FT.LE.FX) GO TO 12
412      X(J)=T(J) $ FX=FT
413      GO TO 41
414 12      T(J)=AMAX1(XI(J),X(J)-D(J))
415      CALL ESCOR(T,PFA)
416      FT=-PFA
417 C      *****
418 C      LLAMA A SUBROUTINA
419      IF(FT.LE.FX) GO TO 13
420      X(J)=T(J) $ FX=FT
421      GO TO 41
422 13      T(J)=X(J)
423      GO TO 41
424 14      IF(FX.LE.FG) GO TO 17
425      IAB=0
426      IF(FX.LE.FO) GO TO 18
427      DO J=1,N $ XO(J)=X(J)+AA*(X(J)-XG(J))
428      XO(J)=AMAX1(XO(J),XI(J)) $ XO(J)=AMIN1(XO(J),XS(J))
429      XG(J)=X(J) $ END DO
430      FG=FX
431      CALL ESCOR(XO,PFA)
432      FO=-PFA
433 C      *****
434 C      LLAMA A LA SUBROUTINA
435      NEF=NEF+1
436      GO TO 21
437 17      IF(IAB.LT.1) GO TO 11
438 18      ISO=0
439      DO 40 J=1,N
440      IF(D(J).LE.PQN(J))GO TO 40
441      ISO=1
442      D(J)=D(J)*0.5
443 40      CONTINUE
444      IF(ISO.EQ.1) GO TO 31
445      CALL ESCOR(X,PFA)
446      RETURN
447      END

```

Module OPTIM
FTN7X 2401/B40321

No errors
No warnings

Prog: 677
Save: None

Blank Common: None
Local Ema: None

```

448 $ EMA /C1/
449 SUBROUTINE ESCOR(X,PFA)
450 CHARACTER *12 OPCION,TITULO*60
451 COMMON /C1/ PRE(120,10),EVM(120,10),ETR(120,10),ESCT(120,10),
452 1 PP(120,15),EV(120,2),ISCTB(10,10),FSUBE(120,10),
453 2 CT(10),PORCP(15,10),FACPRE(10),ESTPRE(15,11),
454 3 PORCE(2,10),FACEVA(10),ESTEVA(2,11)
455 COMMON /C2/ EU(120),A(10),CINF(10),HSN(10),AIHS(10),PFSE(10),
456 1 AIAS(10),AISUP(10),PQB(10),PESC(10),PAR(9),IPAR(9),
457 2 NSCTB(10),ESTP(11),ESTE(11),FSUPA(10),FSUBA(10)
458 COMMON /C3/ AACUM(10),SETP(10),SETR(10),SESCA(10),SESBA(10),
459 1 SQB(10),SESCD(10),SESCR(10),SESCT(10),SFSUBE(10),
460 2 SPRE(10),SEVM(10),AFSUP(10),AFHS(10),AFAS(10),BAL(10),
461 3 EDM(12),ESM(12),PREPRO(12),EVAPRO(12),ETRPRO(12),
462 4 ETPPRO(12),DIFMEN(12),QSIM(12),INGER(10),SES(10)
463 COMMON /C4/ LEC,IMP,ANOI,ANOF,NEPRE,ICOR,IDIF,IPLOT,NEVAP,NMES,
464 1 NC,MESI,MESF,KULTIM,PMAX,IENT,ISAL,TOL,NITER,IOPT,NPOT
465 COMMON /C5/ TITULO,OPCION
466 DIMENSION X(11)
467 INTEGER ANOI,ANOF,AND
468 REAL LPE
469 C
470 C
471 WRITE(1,('(ENTRO A ESCOR)'))
472 C
473 DO L=1,NC
474 SES(L)=0.0
475 IF(IOPT.EQ.1) THEN
476 DO J=1,NPOT
477 IP=IPAR(J)
478 PAR(IP)=X(J)
479 END DO
480 C
481 CINF(L)=PAR(1)
482 HSN(L)=PAR(2)
483 CT(L)=PAR(3)
484 PQB(L)=PAR(4)
485 PFSE(L)=PAR(5)
486 PESC(L)=PAR(6)
487 AIHS(L)=PAR(7)
488 AIAS(L)=PAR(8)
489 AISUP(L)=PAR(9)
490 SP45=PAR(4)+PAR(5)
491 IF(SP45.GT.1.0) RETURN
492 END IF
493 SDC=0.0
494 SESTA=0.0
495 SETP(L)=0.0
496 SQB(L)=0.0
497 SESCD(L)=0.0
498 SESCR(L)=0.0
499 SESCT(L)=0.0
500 SPRE(L)=0.0
501 SEVM(L)=0.0
502 SETR(L)=0.0

```

```

503      SESCA(L)=0.0
504      SESBA(L)=0.0
505      SFSURE(L)=0.0
506      IA=NSCTB(L)
507      MES=MESI-1
508      HIS=AIHS(L)
509      AASI=AIAS(L)
510      ASUPI=ASUP(L)
511      AACUM(L)=A(L)
512 C
513      DO I=1,NMES
514          IF(I.EQ.1) ESCORT=0.0
515          MES=MES+1
516          IF(MES.EQ.13) MES=MES/13
517          SFSA=0.0
518          SESTA=0.0
519          IF(IA.GT.0) THEN
520              DO K1=1,IA
521                  LA=ISCTB(K1,L)
522                  SESTA=SESTA+ESCT(I,LA)*(A(LA)/A(L))
523                  SFSA=SFSA+FSURE(I,LA)*(A(LA)/A(L))
524                  IF(I.EQ.1) AACUM(L)=AACUM(L)+AACUM(LA)
525              END DO
526          END IF
527          ESCUTA=FSUPA(L)
528          ESCOTA=SESTA
529          FSA=SFSA+FSUBA(L)
530          SESCA(L)=SESCA(L)+ESCUTA+ESCOTA
531          SESBA(L)=SESBA(L)+FSA
532          ASUPI=ASUPI+ESCUTA
533          ETP=EVM(I,L)*CT(L)
534          SETP(L)=SETP(L)+ETP
535 C
536      CALL ORD (I,L,HSF,HIS,ASUP,ETP,PERC,FPER,ASUP1)
537 C
538      SETR(L)=SETR(L)+ETR(I,L)
539 C
540 C
541      AASINT=AASI+PERC+FSA
542      DV=9999.99
543      VM=AASI+(PERC+FSA)/2.0
544      DO M=1,NITER
545          QB=PQB(L)*VM
546          FSURE(I,L)=PFSE(L)*VM
547          VF=AASINT-QB-FSURE(I,L)
548          IF(VF.LE.0.0000001) VF=0.0
549          VM=(AASI+VF)/2.0
550          IF(M.EQ.1) THEN
551              VME=VM
552          ELSE
553              DV=ABS(VME-VM)
554              VME=VM
555          END IF
556          IF(DV.LE.TOL) GO TO 30
557      END DO

```

```

558 30      AASF=VF
559 C
560      IF (AASF.LE.0.000001) AASF=0.0
561      ASUPF=ASUP+ESCOTA+ESCORT
562      IF (ASUPF.LE.0.000001) ASUPF=0.0
563      ESCD=PESC(L)*ASUPF
564      ESCURT=(1.0-PESC(L))*ASUP
565      ESCORT=(1.0-PESC(L))*(ESCOTA+ESCORT)
566      ESCT(I,L)=ESCD+QB
567 C
568      IF (ESCT(I,L).LE.0.0) ESCT(I,L)=0.0
569 C
570      SDC=SDC+(ESCT(I,L)-EO(I))*2.0
571      SQR(L)=SQR(L)+QB
572      SFSUBE(L)=SFSUBE(L)+FSUBE(I,L)
573      SESCD(L)=SESCD(L)+ESCD
574      SESCO(L)=SESC(L)+ESCURT+ESCORT
575      SESCT(L)=SESC(L)+ESCT(I,L)
576      SPRE(L)=SPRE(L)+PRE(I,L)
577      SEVM(L)=SEVM(L)+EVM(I,L)
578 C
579      HIS=HSF
580      ASUPI=ESCURT
581      AASI=AASF
582      AFSUP(L)=ESCURT+ESCORT
583      AFHS(L)=HSF
584      AFAS(L)=AASF
585 C
586      SES(L)=SES(L)+ESCT(I,L)
587 C
588      END DO
589 C
590      BAL(L)=SPRE(L)+SESCA(L)+SESBA(L)-(SETR(L)+SESC(L)+SFSUBE(L))+
591 1      (AIHS(L)+AIAS(L)+AISUP(L))-(AFHS(L)+AFAS(L)+AFSUP(L))
592 C
593      ABAL=BAL(L)
594      END DO
595 C
596      PFA=SDC
597 C
598      WRITE(1,('("SALIO DE ESCOR",2F20.5)')PFA,ABAL
599      WRITE(1,('9(F7.2,1X)')(PAR(I),I=1,9)
600 C
601      RETURN
602      END

```

Module ESCOR
FTN7X 2401/B40321

No errors
No warnings

Prog: 1283
Save: None

Blank Common: None
Local Ema: None

```

603 $ EMA /C1/
604 SUBROUTINE ORD (I,L,HSF,HIS,ASUP,ETP,PERC,FPER,ASUPI)
605 CHARACTER *12 OPCION,TITULO*60
606 COMMON /C1/ PRE(120,10),EVM(120,10),ETR(120,10),ESCT(120,10),
607 1 PP(120,15),EV(120,2),ISCTB(10,10),FSURE(120,10),
608 2 CT(10),PORCP(15,10),FACPRE(10),ESTPRE(15,11),
609 3 PORCE(2,10),FACEVA(10),ESTEVA(2,11)
610 COMMON /C2/ EO(120),A(10),CINF(10),HSN(10),AIHS(10),PFSE(10),
611 1 AIAS(10),AISUP(10),PQE(10),PESC(10),PAR(9),IPAR(9),
612 2 NSCTB(10),ESTP(11),ESTE(11),FSUPA(10),FSUBA(10)
613 COMMON /C3/ AACUM(10),SETP(10),SETR(10),SESCA(10),SESHA(10),
614 1 SQB(10),SESCD(10),SESCR(10),SESC(10),SFSURE(10),
615 2 SPRE(10),SEVM(10),AFSUP(10),AFHS(10),AFAS(10),BAL(10),
616 3 EOM(12),ESM(12),PREPRO(12),EVAPRO(12),ETPRO(12),
617 4 ETPPRO(12),DIFMEN(12),QSIM(12),INGER(10),SES(10)
618 COMMON /C4/ LEC,IMP,ANOI,ANOF,NEPRE,ICOR,IDIF,IPLT,NEVAP,NMES,
619 1 NC,MESI,MESF,KULTIM,PMAX,IENT,ISAL,TOL,NITER,IGPT,NPOT
620 COMMON /C5/ TITULO,OPCION
621 INTEGER ANOI,ANOF,AND
622 REAL LPE
623 C
624 XI=0.0
625 XS=HSN(L)
626 TI=XI+0.381966*(XS-XI)
627 CALL SUELO (I,L,HSF,HIS,ASUP,ETP,TI,FI,PERC,FPER,ASUPI)
628 TS=XI+0.618034*(XS-XI)
629 CALL SUELO (I,L,HSF,HIS,ASUP,ETP,TS,FS,PERC,FPER,ASUPI)
630 C
631 10 IF(ABS(XS-XI).LE.TOL) GO TO 20
632 C
633 IF(FI.LT.FS) THEN
634 XS=TS
635 TS=TI
636 TI=XI+0.381966*(XS-XI)
637 FS=FI
638 CALL SUELO (I,L,HSF,HIS,ASUP,ETP,TI,FI,PERC,FPER,ASUPI)
639 ELSE
640 XI=TI
641 TI=TS
642 FI=FS
643 TS=XI+0.618034*(XS-XI)
644 CALL SUELO (I,L,HSF,HIS,ASUP,ETP,TS,FS,PERC,FPER,ASUPI)
645 END IF
646 C
647 GO TO 10
648 C
649 20 XO=(XI+XS)/2.0
650 CALL SUELO (I,L,HSF,HIS,ASUP,ETP,XO,FO,PERC,FPER,ASUPI)
651 C
652 RETURN
653 END

```

```

654 $ EMA /C1/
655 SUBROUTINE SUELO (I,L,HSF,HIS,ASUP,ETP,HSM,FX,PERC,FPER,ASUPI)
656 CHARACTER *12 OPCION,TITULO*60
657 COMMON /C1/ PRE(120,10),EVM(120,10),ETR(120,10),ESCT(120,10),
658 1 PP(120,15),EV(120,2),ISCTB(10,10),FSURE(120,10),
659 2 CT(10),PORCP(15,10),FACPRE(10),ESTPRE(15,11),
660 3 PORCE(2,10),FACEVA(10),ESTEVA(2,11)
661 COMMON /C2/ EU(120),A(10),CINF(10),HSN(10),AIHS(10),PFSE(10),
662 1 AIAS(10),AISUP(10),PQB(10),PESC(10),PAR(9),IPAR(9),
663 2 NSCTB(10),ESTP(11),ESTE(11),FSUPA(10),FSUBA(10)
664 COMMON /C3/ AACUM(10),SETP(10),SETR(10),SESCA(10),SESHA(10),
665 1 SQH(10),SESCD(10),SESCR(10),SE SCT(10),SFSURE(10),
666 2 SPRE(10),SEVM(10),AFSUP(10),AFHS(10),AFAS(10),BAL(10),
667 3 EOM(12),ESM(12),PREPRO(12),EVAPRO(12),ETRPKO(12),
668 4 ETPPRO(12),DIFMEN(12),QSIM(12),INGER(10),SES(10)
669 COMMON /C4/ LEC,IMP,ANOI,ANOF,NEPRE,ICOR,IDIF,IPL0T,NEVAP,NMES,
670 1 NC,MESI,MESF,KULTIM,PMAX,IENT,ISAL,TOL,NITER,I0PT,NPOT
671 COMMON /C5/ TITULO,OPCION
672 INTEGER ANOI,ANOF,AND
673 REAL LPE
674 C
675 HDI=PRE(I,L)+ASUPI
676 AINFP=CINF(L)*(HSN(L)/HSM)**2.0
677 IF (AINFP.LE.HDI) THEN
678 AINFRE=AINFP/2.0
679 ASUP= HDI-AINFRE
680 ELSE
681 ASUP=(HDI*HDI)/(2.0*AINFP)
682 AINFRE=HDI-ASUP
683 END IF
684 C
685 REL=HSM/HSN(L)
686 POT=10.0*ABS(REL-0.75)+1.0
687 IF (REL.LT.0.75) THEN
688 FPER= (1.0/(1.0+POT))*POT
689 ELSE
690 FPER=1.0-((1.0/(1.0+POT))*POT)
691 END IF
692 FPER=1.0-FPER
693 PERC=FPER*AINFRE
694 CLE=0.25*HSN(L)
695 IF (HSM.LE.CLE) THEN
696 HDEL=0.0
697 GO TO 100
698 END IF
699 HDEL=HSM-CLE
700 IF (HDEL.GE.ETP) THEN
701 ETR(I,L)=ETP
702 GO TO 200
703 END IF
704 C
705 100 EVTR=ETP-HDEL
706 HSM1=HSM-HDEL
707 SEVTF=0.0
708 ANITER=NITER

```

```

709      EVTP=EVTR/ANITER
710      DO M=1,NITER
711          EVTF=EVTP*(HSM1/CLE)
712          IF(EVTF.GE.HSM1) THEN
713              SEVTF=SEVTF+HSM1
714              HSM1=0.0
715              ETR(I,L)=HDEL+SEVTF
716              GO TO 200
717          END IF
718          SEVTF=SEVTF+EVTF
719          HSM1=HSM1-EVTF
720          IF(SEVTF.GE.ETP) THEN
721              ETR(I,L)=ETP
722              GO TO 200
723          END IF
724      END DO
725 C
726      ETR(I,L)=HDEL+SEVTF
727 200 HSF=HIS+(FNPER*AINFRE)-ETR(I,L)
728      IF(HSF.LT.0.000001) THEN
729          ETR(I,L)=HIS+(FNPER*AINFRE)
730          HSF=0.0
731      END IF
732 C
733      HSME=(HIS+HSF)/2.0
734      FX=ABS(HSM-HSME)
735 C
736      RETURN
737      END

```

```

738 $ EMA /C1/
739      SUBROUTINE DIFER
740      CHARACTER *12 OPCION,TITULO*60
741      COMMON /C1/ PRE(120,10),EVM(120,10),ETR(120,10),ESCT(120,10),
742 1          PP(120,15),EV(120,2),ISCTB(10,10),FSURE(120,10),
743 2          CT(10),PORCP(15,10),FACPRE(10),ESTPRE(15,11),
744 3          PORCE(2,10),FACEVA(10),ESTEVA(2,11)
745      COMMON /C2/ EO(120),A(10),CINF(10),HSN(10),AIHS(10),PFSE(10),
746 1          AIAS(10),AISUP(10),PQB(10),PESC(10),PAR(9),IPAR(9),
747 2          NSCTB(10),ESTP(11),ESTE(11),FSUPA(10),FSUBA(10)
748      COMMON /C3/ AACUM(10),SETP(10),SETR(10),SESCA(10),SESBA(10),
749 1          SQB(10),SESCD(10),SESCR(10),SESC(10),SFSURE(10),
750 2          SPRE(10),SEVM(10),AFSUP(10),AFHS(10),AFAS(10),BAL(10),
751 3          EOM(12),ESH(12),PREPRO(12),EVAPRO(12),ETPRO(12),
752 4          ETPPRO(12),DIFMEN(12),QSIM(12),INGER(10),SES(10)
753      COMMON /C4/ LEC,IMP,ANOI,ANOF,NEPRE,ICOR,IDIF,IPLT,NEVAP,NMES,
754 1          NC,MESI,MESF,KULTIM,PMAX,IENT,ISAL,TOL,NITER,IOPT,NPOT
755      COMMON /C5/ TITULO,OPCION
756      INTEGER ANOI,ANOF,AND
757      REAL LPE
758 C
759      WRITE(1,('("ENTRO A DIFER")'))
760 C
761      DO I=1,12
762          EOM(I)=0.0
763          ESH(I)=0.0
764          PREPRO(I)=0.0
765          EVAPRO(I)=0.0
766          ETPRO(I)=0.0
767          ETPPRO(I)=0.0
768          DIFMEN(I)=0.0
769      END DO

```

```

770 C
771      KK=KULTIM
772      DO 10 M=1,12
773      SEO=0.0
774      SES=0.0
775      SPREP=0.0
776      SEVAP=0.0
777      SETPP=0.0
778      SETRP=0.0
779      AK=0.0
780      J=M
781      DO 20 I=1,NMES
782      IF(J.NE.I) GO TO 20
783      SEO=SEO+EO(J)
784      SES=SES+ESCT(J, KK)
785      DO 30 L=1,NC
786      SPREP=SPREP+A(L)*PRE(J,L)
787      SEVAP=SEVAP+A(L)*EVM(J,L)
788      SETRP=SETRP+A(L)*ETR(J,L)
789      SETPP=SETPP+A(L)*EVM(J,L)*CT(L)
790 30    CONTINUE
791 C
792      AK=AK+1.0
793      J=J+12
794 20    CONTINUE
795 C
796      EOM(M)=SEO/AK
797      ESM(M)=SES/AK
798      PREPRO(M)=SPREP/(AK*AACUM(KK))
799      EVAPRO(M)=SEVAP/(AK*AACUM(KK))
800      ETPPRO(M)=SETPP/(AK*AACUM(KK))
801      ETRPRO(M)=SETRP/(AK*AACUM(KK))
802      DIFMEN(M)=ABS(EOM(M)-ESM(M))*100.0/EOM(M)
803 C
804 10    CONTINUE
805 C
806      WRITE(IMP,100)
807      IF(ISAL.EQ.1) THEN
808        WRITE(IMP,110)
809      ELSE
810        WRITE(IMP,120)
811      END IF
812      WRITE(IMP,130)
813      WRITE(IMP,200)(EOM(I),I=1,12)
814      WRITE(IMP,300)(ESM(I),I=1,12)
815      WRITE(IMP,400)(DIFMEN(I),I=1,12)
816      WRITE(IMP,450)
817      WRITE(IMP,500)(PREPRO(I),I=1,12)
818      WRITE(IMP,600)(EVAPRO(I),I=1,12)
819      WRITE(IMP,700)(ETPPRO(I),I=1,12)
820      WRITE(IMP,800)(ETRPRO(I),I=1,12)
821 C
822 C      ***** FORMATOS *****
823 100    FORMAT(1H1,////////,47X,'MODELO DE SIMULACION MENSUAL',//,34X,
824          1      'RESUMEN A NIVEL MENSUAL DE LAS VARIABLES HIDROCLIMATICAS',
825          2      //)
826 110    FORMAT(1H ,48X,"ESCORRENTIA EN M**3/SEG",//)
827 120    FORMAT(1H ,40X,"ESCORRENTIA EN MILLONES DE METROS CUBICOS",//)
828 130    FORMAT(//,11X,'ENE',6X,'FEB',6X,'MAR',6X,'ABR',6X,'MAY',6X,'JUN',
829          1      6X,'JUL',6X,'AGO',6X,'SEP',6X,'OCT',6X,'NOV',6X,'DIC',/)
830
831 200    FORMAT(1H ,5HQ-OBS,2X,12(F7.2,2X),/)
832 300    FORMAT(1H ,5HQ-SIM,2X,12(F7.2,2X),/)
833 400    FORMAT(1H ,6HDIF(2),1X,12(F7.2,2X),///)
834 450    FORMAT(1H ,//,55X,"LAMINAS EN MM",//)
835 500    FORMAT(1H ,5HPREC.,2X,12(F7.2,2X),/)
836 600    FORMAT(1H ,5HEVAP.,2X,12(F7.2,2X),/)
837 700    FORMAT(1H ,5HETP ,2X,12(F7.2,2X),/)
838 800    FORMAT(1H ,5HETR ,2X,12(F7.2,2X),/)
839 C
840      WRITE(1,('("SALIO DE DIFER")'))
841 C
842      RETURN
843      END

```

```

844 $ EMA /C1/
845 SUBROUTINE CORREL
846 CHARACTER *12 OPCION,TITULO*60
847 COMMON /C1/ PRE(120,10),EVM(120,10),ETR(120,10),ESCT(120,10),
848 1 PP(120,15),EV(120,2),ISCTB(10,10),FSURE(120,10),
849 2 CT(10),PORCP(15,10),FACPRE(10),ESTPRE(15,11),
850 3 PORCE(2,10),FACEVA(10),ESTEVA(2,11)
851 COMMON /C2/ EO(120),A(10),CINF(10),HSN(10),AIHS(10),PFSE(10),
852 1 AIAS(10),AISUP(10),PQB(10),PESC(10),PAR(9),IPAR(9),
853 2 NSCTB(10),ESTP(11),ESTE(11),FSUPA(10),FSUBA(10)
854 COMMON /C3/ AACUM(10),SETP(10),SETR(10),SESCA(10),SESHA(10),
855 1 SQR(10),SESCD(10),SESCR(10),SESC(10),SFSURE(10),
856 2 SPRE(10),SEVM(10),AFSUP(10),AFHS(10),AFAS(10),BAL(10),
857 3 EUM(12),ESM(12),PREPRO(12),EVAPRO(12),ETPRO(12),
858 4 ETPPRO(12),DIFMEN(12),QSIM(12),INGER(10),SES(10)
859 COMMON /C4/ LEC,IMP,ANDI,ANOF,NEPRE,ICOR,IDIF,IPLT,NEVAP,NMES,
860 1 NC,MESI,MESF,KULTIM,PMAX,IENT,ISAL,TOL,NITER,IOP,T,NPOT
861 COMMON /C5/ TITULO,OPCION
862 INTEGER ANDI,ANOF,AND
863 REAL LPE
864 C
865 WRITE(1,('("ENTRO A CORREL")'))
866 C
867 KK=KULTIM
868 SX=0.0
869 SY=0.0
870 SX2=0.0
871 SY2=0.0
872 SXY=0.0
873 DO I=1,NMES
874 SX=SX+ESCT(I,KK)
875 SX2=SX2+ESCT(I,KK)*ESCT(I,KK)
876 SY=SY+EO(I)
877 SY2=SY2+EO(I)*EO(I)
878 SXY=SXY+ESCT(I,KK)*EO(I)
879 END DO
880 C
881 DIV=NMES
882 CCOR=(SXY-(SX*SY/DIV))/SQRT((SX2-(SX**2.0/DIV))*(SY2-(SY**2.0/DIV)
883 1))
884 WRITE(IMP,100) CCOR
885 C
886 C ***** FORMATOS *****
887 C
888 100 FORMAT(1H ,//,47X,"COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL = ",
889 1F10.3)
890 C
891 WRITE(1,('("SALIO DE CORREL")'))
892 RETURN
893 END

```

```

894 $ EMA /C1/
895 SUBROUTINE PLOTEO
896 CHARACTER *12 OPCION,TITULO*60
897 COMMON /C1/ PRE(120,10),EVM(120,10),ETR(120,10),ESCT(120,10),
898 1 PP(120,15),EV(120,2),ISCTR(10,10),FSURE(120,10),
899 2 CT(10),PCKCP(15,10),FACPRE(10),ESTPRE(15,11),
900 3 PORCE(2,10),FACEVA(10),ESTEVA(2,11)
901 COMMON /C2/ EO(120),A(10),CINF(10),MSN(10),AIMS(10),PFSE(10),
902 1 AIAS(10),AISUP(10),PQB(10),PESC(10),PAR(9),IPAR(9),
903 2 NSCTR(10),ESTP(11),ESTE(11),FSUPA(10),FSUBA(10)
904 COMMON /C3/ AACUM(10),SETP(10),SETR(10),SESCA(10),SESBA(10),
905 1 SQB(10),SESCD(10),SESCR(10),SESC(10),SF-SUBE(10),
906 2 SPRE(10),SEVM(10),AF-SUP(10),AF-HS(10),AFAS(10),BAL(10),
907 3 EOM(12),ESM(12),PREPKO(12),EVAPRO(12),ETWPRO(12),
908 4 ETPPRO(12),DIFMEN(12),QSIM(12),INGER(10),SES(10)
909 COMMON /C4/ LEC,IMP,ANOI,ANOF,NEPRE,ICOK,IDI1,IPLOT,NEVAP,NMES,
910 1 NC,MESI,MESF,KULTIM,PMAX,IENT,ISAL,TOL,NITL,IOPT,NPOT
911 COMMON /C5/ TITULO,OPCION
912 INTEGER ANOI,ANOF,ANO
913 REAL LPE
914 C
915 REAL LINEA
916 DIMENSION LINEA(101),ESCALA(10),AMES(12)
917 DATA BLANCO,PUNTO,CRUZ,ASTE/1H,1H,1H*,1H*/
918 DATA AMES/3HNE,3HFE,3HMA,3HAB,3HMA,3HJUN,3HJUL,3HAGO,3HSEP,
919 1 3HOCT,3HNOV,3HDIC/
920 C
921 WRITE(1,('ENTRO A PLOTEO'))
922 C
923 L=KULTIM
924 MC=MESI
925 DO J=1,10
926 ESCALA(J)=J*0.1*PMAX
927 END DO
928 C
929 IF (ISAL.EQ.1) THEN
930 WRITE(IMP,100)TITULO,ANOI,ANOF
931 ELSE
932 WRITE(IMP,150)TITULO,ANOI,ANOF
933 END IF
934 WRITE(IMP,200) ESCALA
935 DO I=1,NMES
936 DO J=1,101,10
937 LINEA(J)=PUNTO
938 IF (J.NE.101) THEN
939 DO N=1,9
940 LINEA(J+N)=BLANCO
941 END DO
942 END IF
943 END DO
944 C
945 LS=(ESCT(1,L)/PMAX)*100.0+1.5
946 LU=(EO(1)/PMAX)*100.0+1.5
947 IF (LS.GT.101) LS=101
948 IF (LU.GT.101) LU=101
949 LINEA(LS)=ASTE
950 LINEA(LU)=CRUZ
951 WRITE(IMP,300)AMES(MC),LINEA,EO(1),ESCT(1,L)
952 MC=MC+1
953 IF (MC.GT.12) MC=1
954 END DO
955 C
956 C ***** FORMATS *****
957 100 FORMAT(1H1,////,15X,A60,10X,BHPERIODO,15,1H-,15,/,30X,
958 1 ' PLOTEO DE LOS VALORES DE ESCORRENTIA',
959 2 ' EN M**3/SEG',/)
960 150 FORMAT(1H1,////,15X,A60,10X,BHPERIODO,15,1H-,15,/,20X,
961 1 ' PLOTEO DE LOS VALORES DE ESCORRENTIA',
962 2 ' EN MILLONES DE MLTROS CUBICOS',/)
963 200 FORMAT(7X,F11.1,9F10.1,5X,4H*OBS,7X,4H*SIM,/)
964 300 FORMAT(1H,A3,2X,10I1,F10.2,2X,F10.2)
965 C
966 WRITE(1,('SALIO DE PLOTEO'))
967 C
968 RETURN
969 END

```

```

970 $ EMA /C1/
971 SUBROUTINE TRANSF(IND)
972 CHARACTER *12 OPCION,TITULO*60
973 COMMON /C1/ PRE(120,10),EVM(120,10),ETR(120,10),ESCT(120,10),
974 1 PP(120,15),EV(120,2),ISCTR(10,10),FSURE(120,10),
975 2 CT(10),PORCP(15,10),FACPRE(10),ESTPRE(15,11),
976 3 PORCE(2,10),FACEVA(10),ESTEVA(2,11)
977 COMMON /C2/ EO(120),A(10),CINF(10),HSN(10),ALHS(10),PFSE(10),
978 1 AIAS(10),AJSUP(10),PQR(10),PESC(10),PAR(9),IPAR(9),
979 2 NSCTB(10),ESTP(11),ESTE(11),FSUPA(10),FSUBA(10)
980 COMMON /C3/ AACUM(10),SETP(10),SETR(10),SESCA(10),SEBRA(10),
981 1 SQB(10),SESCD(10),SESCR(10),SESCT(10),SFSURE(10),
982 2 SPRE(10),SEVM(10),AFSUP(10),AFHS(10),AFAS(10),BAL(10),
983 3 EOM(12),ESH(12),PREPRO(12),EVAPRO(12),ETRPRO(12),
984 4 ETTPRO(12),DIFMEN(12),QSIM(12),INGER(10),SES(10)
985 COMMON /C4/ LEC,IMP,ANDI,ANOF,NEPRE,ICOR,1DIF,IPLOT,NEVAP,NMES,
986 1 NC,MESI,MESF,KULTIM,PMAX,IENT,ISAL,TOL,NITER,IOPT,NPOT
987 COMMON /C5/ TITULO,OPCION
988 INTEGER ANDI,ANOF,AND
989 REAL LPE
990 C
991 DIMENSION IDIA(2,12)
992 DATA IDIA/31,31,28,29,31,31,30,30,31,31,30,30,31,31,31,31,30,30,
993 1 31,31,30,30,31,31/
994 C
995 KK=KULTIM
996 SQTO=0.0
997 SQTS=0.0
998 AND=ANDI-1
999 NANO=(ANOF-ANDI)+1
1000 MES=0
1001 C
1002 DO I=1,NANO
1003 AND=AND+1
1004 INDIA=0
1005 IF(AND-4*(AND/4).EQ.0) INDIA=1
1006 DO J=1,12
1007 IF(I.EQ.1.AND.J.LT.MESI) GO TO 10
1008 IF(I.EQ.NANO.AND.J.GT.MESF) GO TO 10
1009 MES=MES+1
1010 DIAS=IDIA((INDIA+1),J)
1011 IF(IND.EQ.1) THEN
1012 IF(IENT.EQ.1) THEN
1013 EO(MES)=EO(MES)*(DIAS*86.4/A(KK))
1014 ELSE
1015 EO(MES)=EO(MES)*(1000.0/A(KK))
1016 END IF
1017 END IF
1018 C
1019 IF(IND.EQ.2) THEN
1020 SQTS=SQTS+ESCT(MES,KK)*(A(KK)/AACUM(KK))
1021 SQTO=SQTO+EO(MES)*(A(KK)/AACUM(KK))
1022 IF(ISAL.EQ.1) THEN
1023 ESCT(MES,KK)=ESCT(MES,KK)*(A(KK)/(DIAS*86.4))
1024 EO(MES)=EO(MES)*(A(KK)/(DIAS*86.4))

```

```

1025         ELSE
1026             ESCT(MES,KK)=ESCT(MES,KK)*(A(KK)/1000.0)
1027             EO(MES)=EO(MES)*(A(KK)/1000.0)
1028         END IF
1029     END IF
1030     IF (IND.EQ.0) THEN
1031         DO L=1,NC
1032             IF (INGER(L).EQ.1) THEN
1033                 IF (ISAL.EQ.1) THEN
1034                     ESCT(MES,L)=ESCT(MES,L)*(A(L)/(DIAS*86.4))
1035                 ELSE
1036                     ESCT(MES,L)=ESCT(MES,L)*(A(L)/1000.0)
1037                 END IF
1038             END IF
1039         END DO
1040     END IF
1041 10     END DO
1042     IF (IND.EQ.2) THEN
1043         DIFESC=ABS(((SQTO-SQTS)/SQTO)*100.0)
1044         WRITE(IMP,100) SQTO,SQTS,DIFESC
1045     END IF
1046
1047 C
1048 C ***** FORMATOS *****
1049 100  FORMAT(1H ,////,47X,"ESCORRENTIA TOTAL OBSERVADA EN MM = ",
1050          1F12.3,/,47X,"ESCORRENTIA TOTAL SIMULADA EN MM = ",F12.3,
1051          2//,58X,"DIFERENCIA = ",F10.2," % " )
1052     RETURN
1053     END

```

```

1054 $ EMA /C1/
1055 SUBROUTINE IMPRE
1056 CHARACTER *12 OPCION,TITULO*60
1057 COMMON /C1/ PRE(120,10),EVM(120,10),ETR(120,10),ESCT(120,10),
1058 1 PP(120,15),EV(120,2),ISCTR(10,10),FSURE(120,10),
1059 2 CT(10),PORCP(15,10),FACPRE(10),ESTPRE(15,11),
1060 3 PORCE(2,10),FACEVA(10),ESTEVA(2,11)
1061 COMMON /C2/ EO(120),A(10),CINF(10),HSN(10),AIHS(10),PFSE(10),
1062 1 AIAS(10),AISUP(10),PQB(10),PESC(10),PAR(9),IPAR(9),
1063 2 NSCTB(10),ESTP(11),ESTE(11),FSUPA(10),FSUBA(10)
1064 COMMON /C3/ AACUM(10),SETP(10),SETR(10),SESCA(10),SESBA(10),
1065 1 SQB(10),SESCD(10),SESCR(10),SESCT(10),SFSURE(10),
1066 2 SPRE(10),SEVM(10),AFSUP(10),AFHS(10),AFAS(10),BAL(10),
1067 3 EOM(12),ESM(12),PREPRO(12),EVAPRO(12),ETRPRO(12),
1068 4 ETPPRO(12),DIFMEN(12),QSIM(12),INGER(10),SES(10)
1069 COMMON /C4/ LEC,IMP,ANOI,ANOF,NEPRE,ICOR,IDIF,IPL0T,NEVAP,NMES,
1070 1 NC,MESI,MESF,KULTIM,PMAX,IENT,ISAL,TOL,NITER,I0PT,NPOT
1071 COMMON /C5/ TITULO,OPCION
1072 INTEGER ANOI,ANOF,AND
1073 REAL LPE
1074 C
1075 DIMENSION AMES(12)
1076 DATA AMES/3HENE,3HFEB,3HMAR,3HABR,3HMAY,3HJUN,3HJUL,3HAGO,3HSEP,
1077 1 3HOCT,3HNOV,3HDIC/
1078 C
1079 WRITE(IMP,100) TITULO
1080 WRITE(IMP,110) OPCION
1081 WRITE(IMP,120)
1082 MI=MESI
1083 MF=MESF
1084 WRITE(IMP,130) AMES(MI),ANOI,AMES(MF),ANOF
1085 WRITE(IMP,140) NC
1086 WRITE(IMP,150) NEPRE
1087 WRITE(IMP,160) NEVAP
1088 WRITE(IMP,170)
1089 WRITE(IMP,175)
1090 DO L=1,NC
1091 ISUBC=L
1092 WRITE(IMP,180) ISUBC,CINF(L),HSN(L),CT(L),PQB(L),
1093 1 PFSE(L),PESC(L)
1094 END DO
1095 WRITE(IMP,190)
1096 WRITE(IMP,195)
1097 WRITE(IMP,200)
1098 DO L=1,NC
1099 ISUBC=L
1100 WRITE(IMP,210) ISUBC,AIHS(L),AIAS(L),AISUP(L),FSUPA(L),FSUBA(L)
1101 1 ,A(L),AACUM(L),(ISCTB(J,L),J=1,NC)
1102 END DO
1103 WRITE(IMP,250)
1104 WRITE(IMP,255)
1105 WRITE(IMP,260)
1106 DO J=1,NEPRE
1107 WRITE(IMP,270) (ESTPRE(J,I),I=1,11),(PORCP(J,L),L=1,NC)
1108 END DO

```

```

1109      WRITE(IMP,280)
1110      WRITE(IMP,285)
1111      WRITE(IMP,260)
1112      WRITE(IMP,275) (FACPRE(L),L=1,NC)
1113      WRITE(IMP,290)
1114      WRITE(IMP,255)
1115      WRITE(IMP,260)
1116      DO J=1,NEVAP
1117      WRITE(IMP,270) (ESTEVA(J,I),I=1,11), (PORCE(J,L),L=1,NC)
1118      END DO
1119      WRITE(IMP,300)
1120      WRITE(IMP,285)
1121      WRITE(IMP,260)
1122      WRITE(IMP,295) (FACEVA(L),L=1,NC)
1123      WRITE(IMP,310) ANDI,ANOF
1124      WRITE(IMP,320)
1125      DO L=1,NC
1126      ISUBC=L
1127      WRITE(IMP,330) ISUBC,SPRE(L),SEVM(L),SETP(L),SETR(L),SESCA(L),
1128      1      SESBA(L),SESCT(L),SESCD(L),SQB(L),SFSURE(L),BAL(L)
1129      END DO
1130      WRITE(IMP,340)
1131      DO L=1,NC
1132      ISUBC=L
1133      WRITE(IMP,350) ISUBC,AFHS(L),AFAS(L),AFSUP(L)
1134      END DO
1135 C
1136 C      ***** F O R M A T O S *****
1137 100 FORMAT(1H ,,,,,,,,,,51X,"MODELO DE SIMULACION MENSUAL",
1138 1      //,60X,"SIHIM",//,34X,A60,/)
1139 110 FORMAT(58X,A12,/)
1140 120 FORMAT(50X,"INFORMACION BASICA DE LA CORRIDA",/)
1141 130 FORMAT(45X,"INICIO ",A3," DE ",I4,5X,"FINAL ",A3,
1142 1      " DE ",I4,/)
1143 140 FORMAT(51X,"NUMERO DE SUBCUENCAS =",I5,/)
1144 150 FORMAT(44X,"NUMERO DE EST. DE MED. DE PRECIPITACION =",I5,/)
1145 160 FORMAT(44X,"NUMERO DE EST. DE MED. DE EVAPORACION =",I5,/)
1146 170 FORMAT(50X,"PARAMETROS PARA CADA SUBCUENCA",/)
1147 175 FORMAT(26X,"SUBC",9X,"CINF",7X,"HSN",8X,"CT ",6X,"PQB",8X,
1148 1      "PFSE",7X,"PESC",/,39X,"(MM)",6X,"(MM)")
1149 180 FORMAT(27X,I2,9X,F6.2,5X,F6.2,3X,F6.2,3X,F6.2,6X,F6.2,5X,F6.2)
1150 190 FORMAT(1H ,//,29X,"ALMACENAMIENTOS INICIALES,FLUJOS AFLUENTES",
1151 1      " Y SUBCUENCAS TRIBUTARIAS",/)
1152 195 FORMAT(2X,"SUBC",4X,"AIHS",3X,
1153 1      "AIAS",3X,"AISUP",2X,"FSUPA",2X,"FSUBA",2X,"AREA PARC.",
1154 2      2X,"AREA ACUM.",14X,"SUBCUENCAS TRIBUTARIAS")
1155 200 FORMAT(10X,"(MM)",3X,"(MM)",3X,"(MM)",3X,"(MM)",3X,"(MM)",
1156 1      4X,"(KM**2)",5X,"(KM**2)",5X,"1 2 3 4 5",
1157 2      " 6 7 8 9 10")
1158 210 FORMAT(3X,I2,4X,F6.1,4(1X,F6.1),3X,F8.2,4X,F8.2,10(3X,I2))
1159 250 FORMAT(1H1,/,46X,"INFLUENCIA DE CADA EST. DE MED. DE PRE",
1160 1      "CIPITACION",/)
1161 255 FORMAT(8X,"NOMBRE DE LA ESTACION",36X,"S U B C U E N C A")
1162 260 FORMAT(41X,"1",7X,"2",7X,"3",7X,"4",7X,"5",7X,"6",7X,"7",7X,"8",
1163 1      7X,"9",6X,"10")

```

```

1164 270 FORMAT(8X,11A2,6X,10(2X,F6.3))
1165 275 FORMAT(/,8X,"FACPRE",21X,10(2X,F6.3))
1166 280 FORMAT(1H ,//,54X,"FACTOR DE AJUSTE DE LA PRECIPITACION")
1167 285 FORMAT(/,63X,"S U B C U E N C A")
1168 290 FORMAT(1H ,//,46X,"INFLUENCIA DE CADA EST. DE MED. DE EVA",
1169 1 "PORACION",/)
1170 295 FORMAT(/,8X,"FACEVA",21X,10(2X,F6.3))
1171 300 FORMAT(1H ,//,58X,"FACTOR DE AJUSTE DE LA EVAPORACION")
1172 310 FORMAT(1H1,////////,43X,"SUMARIO TOTAL PARA EL PERIODO ",
1173 1 I4," - ",I4,//,50X,"CALCULOS INTERMEDIOS EN",
1174 2 " MM",/)
1175 320 FORMAT(4X,"SUBC",3X,"PRECIP.",4X,"EVAP.",5X,"ETP",7X,"ETR",
1176 1 8X,"FSUPA",5X,"FSUBA",3X,"ESC TOT",3X,"ESC DIR",3X,
1177 2 "Q BASE",4X,"FSUBE",5X,"BALANCE",/)
1178 330 FORMAT(5X,I2,2X,F9.2,9(1X,F9.2),2X,F8.3)
1179 340 FORMAT(1H ,//,56X,"ALMACENAMIENTOS FINALES EN MM",//,43X,
1180 1 "SUBC",3X,"ALMAC HUM SUELO",2X,"ALMAC AGUA SUBT",2X,
1181 2 "ALMAC EN SUPERF",/)
1182 350 FORMAT(44X,I2,3(7X,F10.2))
1183 C
1184 RETURN
1185 END

```

```

1186 $ EMA /C1/
1187 SUBROUTINE REGSIM
1188 CHARACTER *12 OPCION,TITULO*60
1189 COMMON /C1/ PRE(120,10),EVM(120,10),ETR(120,10),ESCT(120,10),
1190 1 PP(120,15),EV(120,2),ISCTB(10,10),FSURE(120,10),
1191 2 CT(10),PORCP(15,10),FACPRE(10),ESTPRE(15,11),
1192 3 PORCE(2,10),FACEVA(10),ESTEVA(2,11)
1193 COMMON /C2/ EO(120),A(10),CINF(10),HSN(10),AIHS(10),PFSE(10),
1194 1 AIAS(10),AISUP(10),PQB(10),PESC(10),PAR(9),IPAR(9),
1195 2 NSCTB(10),ESTP(11),ESTE(11),FSUPA(10),FSUBA(10)
1196 COMMON /C3/ AACUM(10),SETP(10),SETR(10),SESCA(10),SESBA(10),
1197 1 SQB(10),SESCD(10),SESCR(10),SESCT(10),SFSURE(10),
1198 2 SPRE(10),SEVM(10),AFSUP(10),AFHS(10),AFAS(10),BAL(10),
1199 3 EOM(12),ESM(12),PREPRO(12),EVAPRO(12),ETAPRO(12),
1200 4 ETPPRO(12),DIFMEN(12),QSIM(12),INGER(10),SES(10)
1201 COMMON /C4/ LEC,IMP,ANOI,ANOF,NEPRE,ICOR,IDIF,IPLT,NEVAP,NMES,
1202 1 NC,MESI,MESF,KULTIM,PMAX,IENT,ISAL,TOL,NITER,IOPT,NPOT
1203 COMMON /C5/ TITULO,OPCION
1204 INTEGER ANOI,ANOF,ANO
1205 REAL LPE
1206 C
1207 NANO=(ANOF-ANOI)+1
1208 DO L=1,NC
1209 ANO=ANOI
1210 MES=1
1211 IF(INGER(L).EQ.1) THEN
1212 WRITE(IMP,100) L,ANOI,ANOF
1213 WRITE(IMP,110)
1214 IF(ISAL.EQ.1) THEN
1215 WRITE(IMP,120)
1216 ELSE
1217 WRITE(IMP,130)
1218 END IF
1219 WRITE(IMP,150)
1220 DO K=1,NANO
1221 DO I=1,12
1222 QSIM(I)=0.0
1223 IF(K.EQ.1.AND.I.LT.MESI) GO TO 10
1224 IF(K.EQ.NANO.AND.I.GT.MESF) GO TO 10
1225 QSIM(I)=ESCT(MES,L)
1226 MES=MES+1
1227 10 END DO
1228 WRITE(IMP,200)ANO,(QSIM(I),I=1,12)
1229 ANO=ANO+1
1230 END DO
1231 SES(L)=SES(L)*A(L)/1000.0
1232 WRITE(IMP,160) SES(L)
1233 END IF
1234 END DO
1235 C
1236 C ***** FORMATOS *****
1237 C
1238 100 FORMAT(1H1,////,50X,"MODELO DE SIMULACION MENSUAL",//,55X,
1239 1 "SUBCUENCA NUMERO ",I2,//,5,55X,"PERIODO ",I4,"-",I4,//,)
1240 110 FORMAT(1H ,53X,"ESCORRENTIA SIMULADA",//)
1241 120 FORMAT(1H ,59X,"M**3/SEG",////)
1242 130 FORMAT(1H ,50X,"MILLONES DE METROS CUBICOS",////)
1243 150 FORMAT(1H ,4X,"ANO",8X,"ENE",7X,"FEB",7X,"MAR",7X,"ABR",7X,
1244 1 "MAY",7X,"JUN",7X,"JUL",7X,"AGO",7X,"SEP",7X,"OCT",7X,
1245 2 "NOV",7X,"DIC",/)
1246 160 FORMAT(1H ,////,36X,"VOLUMEN ESCURRIDO = ",F10.4," MILLONES DE"
1247 1 " METROS CUBICOS")
1248 200 FORMAT(1H ,3X,I4,2X,12(F10.2))
1249 RETURN
1250 END

```

APENDICE B

- LISTADO DE LOS DATOS DE ENTRADA PARA LA CALIBRACION DEL MODELO MENSUAL
- SALIDA DEL PROGRAMA

0001	CUENCA DEL RIO CARAPO O AZUERO - ESTACION PUENTE JUNIN												
0002	CALIBRACION 1 1 1 1 2 2												
0003	9	1	1	1970	1974	1	12	60	1	35.0	0.01	10	
0004	375.00												
0005	6	1	2	3	4	5	6						
0006	220.00	150.00	0.50	0.25	0.00	0.75	130.00	175.00	0.00	0.00	0.00		
0007	0												
0008	0												
0009	0.036												
0010	0.204												
0011	0.042												
0012	0.101												
0013	0.160												
0014	0.264												
0015	0.083												
0016	0.005												
0017	0.003												
0018	0.950												
0019	1.0												
0020	1.22												
0021	PALMIRA												
0022	1970	43.0	32.0	22.4	82.4	128.5	107.2	96.6	114.4	81.1	131.2	139.6	39.5
0023	1971	24.0	20.2	39.1	136.0	70.3	43.5	94.5	87.1	98.2	59.2	52.1	45.2
0024	1972	93.2	23.1	76.1	137.7	115.6	91.8	101.6	105.8	164.9	119.5	88.6	8.4
0025	1973	5.0	0.0	0.0	125.8	12.0	136.2	93.8	130.4	175.0	85.1	195.3	17.1
0026	1974	0.0	23.5	2.4	50.1	71.0	42.5	79.4	97.3	103.5	100.2	80.5	7.5
0027	CAPACHO												
0028	1970	28.4	57.3	46.8	48.4	126.8	172.6	88.5	91.0	65.5	110.7	141.4	22.2
0029	1971	15.2	59.5	84.8	45.0	73.4	73.1	66.7	34.9	46.8	9.3	60.6	29.8
0030	1972	88.1	29.8	41.1	156.6	84.1	123.1	141.4	96.3	122.5	105.0	78.9	4.1
0031	1973	5.1	15.9	0.5	66.6	107.4	99.8	135.0	89.4	157.3	138.0	180.8	23.5
0032	1974	22.73	22.83	34.88	34.90	65.39	42.39	55.48	84.19	103.05	99.42	102.51	17.02
0033	SAN CRISTOBAL												
0034	1970	39.4	53.6	47.9	61.8	126.1	102.9	141.6	127.3	126.2	141.3	89.5	70.5
0035	1971	18.9	36.6	41.6	82.2	152.5	155.5	156.1	162.0	119.4	51.8	102.3	61.4
0036	1972	85.6	24.7	45.7	166.8	125.8	161.9	175.8	133.1	193.0	108.9	110.1	13.9
0037	1973	9.9	7.9	36.8	79.2	90.9	163.4	152.2	125.1	235.1	136.5	440.2	49.1
0038	1974	14.6	10.7	27.2	35.0	112.9	58.9	69.8	120.3	188.2	147.1	146.0	19.7
0039	FL. RECREO												
0040	1970	50.7	86.7	22.8	66.1	46.7	103.1	109.8	74.0	79.1	80.8	289.6	68.8
0041	1971	51.5	128.2	103.0	102.0	111.4	101.3	102.0	64.1	71.7	79.3	52.2	36.2
0042	1972	106.5	31.3	49.1	210.4	51.9	98.2	162.8	84.5	75.2	94.7	82.3	41.0
0043	1973	4.6	9.3	8.7	52.3	87.8	81.6	99.4	62.2	111.8	174.6	119.2	70.6
0044	1974	52.1	50.0	61.2	51.9	51.9	44.6	50.4	73.3	75.3	94.8	128.3	28.2
0045	SABANETA												
0046	1970	39.1	69.7	27.3	117.0	162.6	319.0	244.7	242.7	196.2	165.4	111.1	87.4
0047	1971	27.0	32.5	79.9	93.9	172.7	197.2	232.0	186.4	195.9	132.7	100.0	45.4
0048	1972	76.9	51.1	89.9	191.2	225.9	200.1	403.9	205.1	165.8	146.2	167.0	15.4
0049	1973	11.3	4.6	15.8	50.1	136.0	219.6	246.2	128.5	183.2	226.1	313.2	53.9
0050	1974	29.6	27.0	63.7	60.0	97.2	104.4	123.7	205.9	127.7	175.4	143.0	21.9
0051	BRAMON ESCUELA												
0052	1970	105.1	144.4	44.1	106.2	143.5	150.0	120.7	130.9	161.1	119.6	330.6	41.5
0053	1971	34.2	67.6	67.7	165.3	145.1	75.3	136.7	95.6	140.1	162.7	97.2	50.5
0054	1972	268.5	68.9	44.5	316.0	80.2	94.4	167.6	186.5	119.4	158.0	94.2	52.6
0055	1973	65.7	27.7	23.2	35.8	47.6	164.5	140.5	91.8	167.6	154.7	170.1	62.6
0056	1974	31.9	27.4	74.8	71.0	102.6	99.2	118.7	88.5	213.6	109.6	118.3	10.5
0057	HACIENDA UNION												
0058	1970	119.3	206.6	73.6	158.0	150.4	144.5	142.9	204.4	199.4	178.4	179.5	47.8

0059	1971	26.2	60.0	89.8	166.6	176.5	127.8	262.6	130.9	239.4	123.0	125.5	87.4
0060	1972	263.9	117.4	44.1	360.6	151.6	198.3	311.3	426.0	261.7	237.5	20.1	33.8
0061	1973	77.8	25.5	67.3	37.8	114.4	241.2	237.0	113.1	251.1	122.7	159.2	62.4
0062	1974	75.1	26.3	105.6	112.1	129.6	134.2	253.3	207.5	388.3	122.7	209.6	14.6
0063	HACIENDA LA GRANADINA												
0064	1970	115.2	225.7	132.5	260.1	202.0	300.8	275.9	308.3	437.3	221.6	113.7	107.8
0065	1971	36.1	69.9	97.1	230.5	228.6	217.8	472.9	228.6	387.1	225.5	163.0	113.4
0066	1972	151.0	175.0	109.1	509.8	358.2	360.6	516.3	378.0	458.5	366.4	90.5	61.3
0067	1973	41.4	20.0	57.0	91.1	191.5	248.0	346.9	242.4	301.0	208.9	167.3	72.5
0068	1974	89.9	41.4	65.1	169.2	208.7	284.7	342.8	368.4	437.2	285.7	292.9	35.4
0069	LA PROVIDENCIA												
0070	1970	139.0	164.0	152.0	201.0	131.0	258.0	167.0	182.8	226.5	120.5	121.9	136.7
0071	1971	34.7	161.0	153.2	140.1	209.2	368.9	261.7	175.0	156.9	118.5	112.0	95.4
0072	1972	401.4	186.5	68.9	398.3	157.7	324.5	347.0	379.0	192.0	204.4	84.5	83.8
0073	1973	192.0	88.1	90.0	65.1	157.6	234.0	300.7	118.9	192.5	113.0	211.0	44.7
0074	1974	113.80	71.75	140.55	113.13	142.93	157.38	235.99	216.01	350.27	146.54	223.60	38.62
0075	SAN CRISTOBAL												
0076	1970	102.5	90.8	117.7	114.6	114.7	89.8	92.0	101.0	93.5	121.4	107.3	89.5
0077	1971	93.5	85.0	106.3	104.0	102.3	80.2	74.9	101.9	103.1	107.3	91.8	78.8
0078	1972	75.3	112.1	124.0	116.1	110.8	93.5	82.8	103.6	101.2	137.4	85.5	105.1
0079	1973	149.9	147.7	155.5	148.6	121.2	102.6	85.3	129.6	114.9	128.5	93.5	100.2
0080	1974	112.0	126.5	121.0	116.0	138.7	103.6	112.0	132.1	119.7	109.1	80.6	133.3
0081	1970	7.606	8.335	3.930	3.516	5.709	15.841	14.440	9.565	10.783	8.561	18.054	7.252
0082	1971	3.616	2.843	3.086	7.348	6.168	10.527	16.949	10.675	13.579	7.460	4.451	2.686
0083	1972	16.360	9.330	5.847	22.363	11.447	11.773	33.516	20.032	18.210	12.856	12.878	4.946
0084	1973	3.266	2.246	0.752	0.590	3.155	6.027	10.923	4.933	18.504	11.175	19.798	7.379
0085	1974	2.678	1.210	1.607	2.592	4.285	1.037	1.875	4.285	8.813	8.571	8.813	1.607
0086	190.0	5.000	20.000	100.000	250.000								
0087	200.000	5.000	20.000	100.000	250.000								
0088	0.55	0.02	0.100	0.400	0.70								
0089	0.10	0.01	0.1	0.00	0.5								
0090	0.10	0.01	0.1	0.02	0.10								
0091	0.95	0.01	0.1	0.5	1.00								
0092	80.0	5.0	20.0	10.0	200.0								
0093	100.0	5.0	20.0	10.0	200.0								
0094	20.0	2.0	20.0	5.0	100.0								

SUMARIO TOTAL PARA EL PERIODO 1970 - 1974

CALCULOS INTERMEDIOS EN MM

SUBC	PRECIP.	EVAP.	ETP	ETR	FSUPA	FSUBA	ESC TOT	ESC DIR	Q BASE	FSUBE	BALANCE
1	5872.53	7931.71	4124.49	3833.31	0.00	0.00	1387.41	856.12	531.28	758.97	0.000

ALMACENAMIENTOS FINALES EN MM

SURC	ALMAC HUM SUELO	ALMAC AGUA SUBT	ALMAC EN SUPERF
1	118.35	79.46	.03

ESCORRENTIA TOTAL OBSERVADA EN MM = 1383.144

ESCORRENTIA TOTAL SIMULADA EN MM = 1387.407

DIFERENCIA = .31 %

COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL = .925

MODELO DE SIMULACION MENSUAL

RESUMEN A NIVEL MENSUAL DE LAS VARIABLES HIDROCLIMATICAS

ESCORRENTIA EN MILLONES DE METROS CUBICOS

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q-OBS	6.71	4.80	3.84	7.28	6.15	9.04	15.54	9.90	13.98	9.72	12.80	4.77
Q-SIM	5.94	4.51	3.65	7.72	6.13	8.67	13.36	10.46	12.70	11.19	14.89	4.84
DIF(%)	11.36	5.95	19.83	6.00	.33	4.14	14.05	5.68	9.13	15.09	16.30	1.34

LAMINAS EN MM

PREC.	56.48	50.16	47.68	104.91	102.29	122.05	141.90	117.41	137.49	120.22	136.43	37.49
EVAP.	130.10	137.15	152.38	146.23	143.40	114.61	109.07	138.64	129.91	147.30	113.87	123.68
ETP	67.65	71.32	79.24	76.04	74.57	59.60	56.72	72.09	67.55	76.60	59.21	64.32
ETR	64.96	60.99	61.95	59.83	64.50	58.42	56.35	71.97	67.55	76.60	59.21	64.32

CUENCA DEL RIO CARAPO O AZUERO - ESTACION PUENTE JUNIN

PERIODO 1970- 1974

PLOTED DE LOS VALORES DE ESCORRENTIA EN MILLONES DE METROS CUBICOS

	3.5	7.0	10.5	14.0	17.5	21.0	24.5	28.0	31.5	35.0	*OBS	*SIM
ENE											7.61	5.13
FEB											8.35	6.10
MAR											3.93	3.45
ABR											3.52	4.19
MAY											5.71	6.41
JUN											15.84	15.24
JUL											14.44	12.26
AGO											9.57	12.51
SEP											10.78	12.32
OCT											8.56	11.49
NOV											18.15	25.95
DIC											7.25	6.48
ENE											3.62	4.78
FEB											2.84	4.98
MAR											3.89	4.97
ABR											7.35	6.99
MAY											6.17	9.54
JUN											10.53	8.33
JUL											16.95	13.40
AGO											10.67	8.68
SEP											13.58	18.87
OCT											7.46	8.31
NOV											4.45	6.73
DIC											2.69	4.40
ENE											16.36	11.29
FEB											9.33	4.54
MAR											5.85	3.78
ABR											22.36	22.21
MAY											11.45	9.46
JUN											11.77	11.33
JUL											33.52	26.20
AGO											20.83	19.88
SEP											18.21	15.17
OCT											12.86	14.26
NOV											12.88	9.52
DIC											4.95	5.35
ENE											3.27	4.42
FEB											2.25	3.62
MAR											.75	3.85
ABR											.59	2.63
MAY											3.16	2.63
JUN											6.83	6.81
JUL											10.92	11.87
AGO											4.93	6.55
SEP											18.50	14.62
OCT											11.17	14.84
NOV											19.80	22.55
DIC											7.38	5.57
ENE											2.68	4.11
FEB											1.21	3.31
MAR											1.61	2.99
ABR											2.59	2.57
MAY											4.28	2.68
JUN											1.84	2.43
JUL											1.88	3.32
AGO											4.28	4.68
SEP											8.81	10.53
OCT											8.57	7.86
NOV											8.81	9.67
DIC											1.61	2.38

14:10:34:42:
14:10:41:18:

APENDICE C

- LISTADO DE LOS DATOS DE ENTRADA
PARA LA GENERACION DE CAUDALES
- SALIDA DEL PROGRAMA

0001	CULNCA DEL RIO CARAPO O AZUERO - ESTACION PUENTE JUNIN													
0002	SIMULACION													
0003	9	1	5	1970	1974	1	0	12	60	2	1	35.0	0.01	10
0004	170.06		30.01		32.30			128.91			13.72			
0005	185.00	250.00	0.52	0.07	0.10	0.92	130.00	80.00	0.00	0.00	0.00			
0006	185.00	250.00	0.52	0.07	0.10	0.92	130.00	20.00	0.00	0.00	0.00			
0007	185.00	250.00	0.52	0.07	0.10	0.92	130.00	450.00	4.00	0.00	0.00			
0008	185.00	250.00	0.52	0.07	0.10	0.92	130.00	10.00	0.00	0.00	0.00			
0009	185.00	250.00	0.52	0.07	0.10	0.92	130.00	1000.0	15.00	0.00	0.00			
0010	0	0	2	0	2									
0011	0													
0012	0													
0013	1	2												
0014	0													
0015	3	4												
0016	0.0	0.0	0.0	0.505	0.0									
0017	0.0	0.375	0.168	0.0	0.0									
0018	0.0	0.0	0.0	0.130	0.0									
0019	0.307	0.538	0.0	0.195	0.0									
0020	0.010	0.087	0.589	0.002	0.625									
0021	0.602	0.0	0.0	0.0	0.0									
0022	0.073	0.0	0.411	0.0	0.167									
0023	0.0	0.0	0.0	0.0	0.208									
0024	0.008	0.0	0.0	0.0	0.0									
0025	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95									
0026	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0									
0027	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22									
0028	PALMIRA													
0029	1970	43.0	32.0	22.4	82.4	128.5	107.2	96.6	114.4	81.1	131.2	139.6	39.5	
0030	1971	24.0	20.2	39.1	136.0	70.3	43.5	94.5	87.1	98.2	59.2	52.1	45.2	
0031	1972	93.2	23.1	76.1	137.7	115.6	91.8	101.6	105.8	164.9	119.5	88.6	8.4	
0032	1973	5.0	0.0	0.0	125.8	12.0	136.2	93.8	130.4	175.0	85.1	195.3	17.1	
0033	1974	0.0	23.5	2.4	50.1	71.0	42.5	79.4	97.3	103.5	100.2	80.5	7.5	
0034	CAPACHO													
0035	1970	28.4	57.3	46.8	48.4	126.8	172.6	88.5	91.0	65.5	110.7	141.4	22.2	
0036	1971	15.2	59.5	84.8	45.0	73.4	73.1	66.7	34.9	46.8	9.3	60.6	29.8	
0037	1972	88.1	29.8	41.1	156.6	84.1	123.1	141.4	96.3	122.5	105.0	78.9	4.1	
0038	1973	5.1	15.9	0.5	66.6	107.4	99.8	135.0	89.4	157.3	138.0	180.8	23.5	
0039	1974	22.73	22.83	34.88	34.90	65.39	42.39	55.48	84.19	103.05	99.42	102.51	17.02	
0040	SAN CRISTOBAL													
0041	1970	39.4	53.6	47.9	61.8	126.1	182.9	141.6	127.3	126.2	141.3	89.5	70.5	
0042	1971	18.9	36.6	41.6	82.2	152.5	155.5	156.1	162.0	119.4	51.8	102.3	61.4	
0043	1972	85.6	24.7	45.7	166.8	125.8	161.9	175.8	133.1	193.0	108.9	110.1	13.9	
0044	1973	9.9	2.9	36.8	79.2	90.9	163.4	152.2	125.1	235.1	136.5	440.2	49.1	
0045	1974	14.6	10.7	27.2	35.0	112.9	58.9	69.8	120.3	188.2	147.1	146.0	19.7	
0046	EL RECREO													
0047	1970	50.7	86.7	22.8	66.1	46.7	103.1	109.8	74.0	79.1	80.8	289.6	68.8	
0048	1971	51.5	128.2	103.0	102.0	111.4	101.3	102.0	64.1	71.7	79.3	52.2	36.2	
0049	1972	106.5	31.3	49.1	210.4	51.9	98.2	162.8	84.5	75.2	94.7	82.3	41.0	
0050	1973	4.6	9.3	8.7	52.3	87.8	81.6	99.4	62.2	111.8	174.6	119.2	70.6	
0051	1974	52.1	50.0	61.2	51.9	51.9	44.6	50.4	73.3	75.3	94.8	128.3	28.2	
0052	SABANETA													
0053	1970	39.1	69.7	27.3	117.0	162.6	319.0	244.7	242.7	196.2	165.4	111.1	87.4	
0054	1971	27.0	32.5	79.9	93.9	172.7	197.2	232.0	186.4	195.9	132.7	100.0	45.4	
0055	1972	76.9	51.1	89.9	191.2	225.9	200.1	403.9	205.1	165.8	146.2	167.0	15.4	
0056	1973	11.3	4.6	13.8	50.1	136.0	219.6	246.2	128.5	183.2	226.1	313.2	53.9	
0057	1974	29.6	27.0	63.7	60.0	97.2	104.4	123.7	205.9	122.7	175.4	143.0	21.9	
0058	BRAMON ESCUELA													
0059	1970	105.1	144.4	44.1	106.2	143.5	158.0	120.7	130.9	161.1	119.6	330.6	41.5	
0060	1971	34.2	67.6	67.7	165.3	145.1	75.3	136.7	95.6	140.1	162.7	97.2	50.5	
0061	1972	208.5	68.9	44.5	316.0	80.2	94.4	167.6	186.5	119.4	158.0	94.2	52.6	
0062	1973	65.7	27.7	23.2	35.8	47.6	164.5	140.5	91.8	167.6	134.7	170.1	62.6	
0063	1974	31.9	27.4	74.8	71.0	102.6	99.2	118.7	86.5	213.6	109.6	118.3	10.5	

0064	HACIENDA UNION												
0065	1970	119.3	200.6	73.6	158.0	150.4	144.5	142.9	204.4	199.4	178.4	179.5	47.8
0066	1971	26.2	60.0	89.8	166.6	176.5	127.8	262.6	130.9	239.4	123.0	125.5	87.4
0067	1972	263.9	117.4	44.1	360.6	151.6	198.3	311.3	426.0	261.7	237.5	20.1	33.8
0068	1973	77.8	25.5	67.3	37.8	114.4	241.2	237.0	113.1	251.1	122.7	159.2	62.4
0069	1974	75.1	26.3	105.6	112.1	129.6	134.2	253.3	207.5	388.3	122.7	209.6	14.6
0070	HACIENDA LA GRANADINA												
0071	1970	115.2	225.7	132.5	260.1	202.0	300.8	275.9	308.3	437.3	221.6	113.7	107.8
0072	1971	56.1	69.9	97.1	230.5	228.6	217.8	472.9	228.6	387.1	225.5	163.0	113.4
0073	1972	151.0	175.0	109.1	505.8	358.2	360.6	516.3	378.0	458.5	366.4	90.5	61.3
0074	1973	41.4	20.0	57.0	91.1	191.5	248.0	346.9	242.4	301.0	208.9	167.3	72.5
0075	1974	89.9	41.4	65.1	169.2	208.7	284.7	342.8	368.4	437.2	285.7	292.9	35.4
0076	LA PROVIDENCIA												
0077	1970	139.0	164.0	152.0	201.0	131.0	258.0	167.0	182.8	226.5	120.5	121.9	136.7
0078	1971	34.7	161.0	153.2	140.1	209.2	368.9	261.7	175.0	156.9	118.5	112.0	95.4
0079	1972	401.4	186.5	68.9	398.3	157.7	324.5	347.0	379.0	192.0	204.4	84.5	83.8
0080	1973	192.0	88.1	90.0	65.1	157.6	234.0	300.7	118.9	192.5	113.0	211.0	44.7
0081	1974	113.80	71.75	140.55	113.13	142.93	157.38	235.99	216.81	350.27	146.54	223.60	38.62
0082	SAN CRISTOBAL												
0083	1970	102.5	90.8	117.7	114.6	114.7	89.8	92.0	101.0	93.5	121.4	107.3	89.5
0084	1971	93.5	85.0	106.3	104.0	102.3	80.2	74.9	101.9	103.1	107.3	91.8	78.8
0085	1972	75.3	112.1	124.0	116.1	110.8	93.5	82.8	103.6	101.2	137.4	85.5	105.1
0086	1973	149.9	147.7	155.5	148.6	121.2	102.6	85.3	129.6	114.9	128.5	93.5	100.2
0087	1974	112.0	126.5	121.0	116.0	138.7	103.6	112.0	132.1	119.7	109.1	88.6	133.3
0088	1	1	1	1	1								

MODELO DE SIMULACION MENSUAL

SIHIM

CUENCA DEL RIO CARAPO O AZUERO - ESTACION PUENTE JUNIN

SIMULACION

INFORMACION BASICA DE LA CORRIDA

INICIO ENE DE 1970 FINAL DIC DE 1974

NUMERO DE SUBCUENCAS = 5

NUMERO DE EST. DE MED. DE PRECIPITACION = 9

NUMERO DE EST. DE MED. DE EVAPORACION = 1

PARAMETROS PARA CADA SUBCUENCA

SUBC	CINF (MM)	HSN (MM)	CT	PQB	PFSE	PESC
1	185.00	250.00	.52	.07	.10	.92
2	185.00	250.00	.52	.07	.10	.92
3	185.00	250.00	.52	.07	.10	.92
4	185.00	250.00	.52	.07	.10	.92
5	185.00	250.00	.52	.07	.10	.92

ALMACENAMIENTOS INICIALES, FLUJOS AFLUENTES Y SUBCUENCAS TRIBUTARIAS

SUBC	AIHS (MM)	AIAS (MM)	AISUP (MM)	FSUPA (MM)	FSURA (MM)	AREA PARC. (KM**2)	AREA ACUM. (KM**2)	SUBCUENCAS TRIBUTARIAS									
								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	130.0	80.0	0.0	0.0	0.0	170.06	170.06	0	0	0	0	0					
2	130.0	20.0	0.0	0.0	0.0	30.01	30.01	0	0	0	0	0					
3	130.0	450.0	4.0	0.0	0.0	32.30	232.37	1	2	0	0	0					
4	130.0	10.0	0.0	0.0	0.0	128.91	128.91	0	0	0	0	0					
5	130.0	1000.0	15.0	0.0	0.0	13.72	375.00	3	4	0	0	0					

INFLUENCIA DE CADA EST. DE MED. DE PRECIPITACION

NOMBRE DE LA ESTACION

	SUBCUENCA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PALMIRA	0.000	0.000	0.000	.505	0.000					
CAPACHO	0.000	.375	.168	0.000	0.000					
SAN CRISTOBAL	0.000	0.000	0.000	.130	0.000					
EL RECREO	.307	.538	0.000	.195	0.000					
SABANETA	.010	.087	.589	.002	.625					
BRAMON ESCUELA	.602	0.000	0.000	0.000	0.000					
HACIENDA UNION	.073	0.000	.411	0.000	.167					
HACIENDA LA GRANADINA	0.000	0.000	0.000	0.000	.208					
LA PROVIDENCIA	.008	0.000	0.000	0.000	0.000					

MODELO DE SIMULACION MENSUAL

SUBCUENCA NUMERO 1

PERIODO 1970-1974

ESCORRENTIA SIMULADA

MILLONES DE METROS CUBICOS

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1970	1.78	3.54	1.84	1.94	2.66	4.71	4.21	4.31	5.62	4.27	21.30	3.88
1971	2.23	2.79	2.56	5.23	5.59	3.46	5.88	3.72	5.14	5.70	3.53	2.32
1972	8.45	2.81	2.05	15.65	3.38	3.93	8.93	9.32	5.54	6.62	3.86	2.54
1973	2.08	1.58	1.33	1.13	1.02	2.13	3.78	2.18	5.32	5.48	6.44	2.38
1974	1.61	1.25	1.26	1.88	1.18	1.14	1.72	1.54	6.05	3.09	4.31	1.83

VOLUMEN ESCURRIDO = 239.5869 MILLONES DE METROS CUBICOS

SUBCUENCA NUMERO 2

PERIODO 1970-1974

ESCORRENTIA SIMULADA

MILLONES DE METROS CUBICOS

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1970	.06	.10	.04	.05	.09	.45	.47	.39	.33	.42	1.83	.32
1971	.22	.39	.42	.34	.46	.49	.55	.34	.34	.24	.21	.14
1972	.29	.11	.10	.71	.26	.51	1.32	.60	.50	.56	.46	.21
1973	.17	.14	.12	.10	.13	.19	.42	.23	.59	1.05	1.14	.31
1974	.22	.18	.16	.13	.12	.09	.09	.12	.14	.21	.41	.05

VOLUMEN ESCURRIDO = 20.9195 MILLONES DE METROS CUBICOS

SUBCUENCA NUMERO 3

PERIODO 1970-1974

ESCORRENTIA SIMULADA

MILLONES DE METROS CUBICOS

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1970	2.82	4.92	2.24	3.38	4.75	9.16	7.96	8.46	9.10	7.71	24.25	6.55
1971	4.20	4.68	4.63	7.27	8.76	7.02	18.79	7.27	9.25	8.48	6.33	4.56
1972	11.16	5.40	4.15	19.90	8.33	8.33	18.25	16.68	10.93	11.03	7.34	5.84
1973	4.32	3.63	3.19	2.83	2.79	5.46	8.63	4.64	9.21	9.65	12.29	4.72
1974	3.42	2.81	2.74	2.47	2.60	2.61	3.99	4.62	9.41	5.80	7.19	2.45

VOLUMEN ESCURRIDO = 422.4893 MILLONES DE METROS CUBICOS

FACTOR DE AJUSTE DE LA PRECIPITACION

	S U B C U E N C A									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FACPRE	.950	.950	.950	.950	.950					

INFLUENCIA DE CADA EST. DE MED. DE EVAPORACION

	S U B C U E N C A									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NOMBRE DE LA ESTACION										
SAN CRISTOBAL	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000					

FACTOR DE AJUSTE DE LA EVAPORACION

	S U B C U E N C A									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FACEVA	1.220	1.220	1.220	1.220	1.220					

SUMARIO TOTAL PARA EL PERIODO 1970 - 1974

CALCULOS INTERMEDIOS EN MM

SUBC	PRECIP.	EVAP.	ETP	ETR	FSUPA	FSUBA	ESC TOT	ESC DIR	Q BASE	FSUBE	BALANCE
1	5986.07	7931.71	4124.49	3884.06	0.00	0.00	1408.84	912.03	496.81	709.73	-.003
2	4677.46	7931.71	4124.47	3670.72	0.00	0.00	697.08	465.08	232.00	331.43	-.000
3	8726.25	7931.71	4124.49	3929.75	8065.22	4044.65	13080.16	10405.23	2674.94	3821.34	.000
4	3849.73	7931.71	4124.49	3457.55	0.00	0.00	331.75	249.05	82.70	118.15	-.003
5	8819.97	7931.71	4124.49	3908.76	33910.74	10106.41	41513.80	36328.62	5185.14	7407.34	-.001

ALMACENAMIENTOS FINALES EN MM

SUBC	ALMAC HUM SUELO	ALMAC AGUA SUBT	ALMAC EN SUPERF
1	117.49	75.94	.02
2	110.52	17.68	.04
3	128.96	456.17	3.73
4	75.20	7.08	.01
5	129.75	1003.74	18.74

SUCUENCIA NUMERO 4

PERIODO 1970-1974

ESCORRENTIA SIMULADA

MILLONES DE METROS CUBICOS

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1970	.17	.14	.07	.12	.31	.61	.75	.93	.72	1.32	2.85	.57
1971	.34	.34	.29	.65	.54	.41	.85	.82	.86	.42	.32	.20
1972	.51	.11	.16	.92	.64	.77	1.52	1.29	2.52	1.64	1.17	.44
1973	.36	.50	.25	.26	.20	.47	.59	.79	2.19	1.33	5.05	.61
1974	.43	.37	.30	.27	.26	.20	.22	.30	.46	.55	.64	.08

VOLUMEN ESCURRIDO = 42.7659 MILLONES DE METROS CUBICOS

SUCUENCIA NUMERO 5

PERIODO 1970-1974

ESCORRENTIA SIMULADA

MILLONES DE METROS CUBICOS

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1970	3.74	5.95	3.40	4.54	6.19	11.68	10.71	11.43	11.91	10.70	26.96	9.78
1971	5.96	6.10	6.06	8.94	10.79	9.33	14.05	10.25	12.30	10.71	8.40	6.32
1972	12.69	7.39	5.81	22.07	12.25	11.51	23.39	21.04	16.46	15.12	10.76	7.39
1973	6.37	5.55	4.99	4.54	4.45	7.68	11.62	7.42	13.02	12.99	19.32	7.62
1974	5.35	4.50	4.28	3.95	4.86	4.12	5.71	6.87	11.45	8.27	9.37	3.95

VOLUMEN ESCURRIDO = 569.5692 MILLONES DE METROS CUBICOS

9: 7:48:45:
9: 8: 1:56: