

**ESTIMACION DE ESCORRENTIA EN CUENCAS PEQUERAS MEDIANTE
UN MODELO DE SIMULACION HIDROLOGICA**

**Por
Martín R. García M.**

**Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en
Suelos y Riego**

www.bdigital.ula.ve

**CENTRO INTERAMERICANO DE DESAROLLO INTEGRAL DE AGUAS Y
TIERRAS
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
Mérida – Venezuela
1976**

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi sincero agradecimiento al Dr. Roger Amisial, bajo cuya dirección se realizó el presente trabajo. De igual forma a los miembros restantes del comité, Ingenieros Germán Uzcátegui y Omar Gutiérrez, por las sugerencias sobre diversos aspectos del trabajo y por la revisión del texto.

El trabajo fue realizado gracias a la participación de las siguientes instituciones: Fundación Gran Mariscal de Ayacucho, proporcionadora de la beca de estudios; Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, como organizador y ejecutor del curso de postgrado y, Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección de Planeamiento de la Dirección General de Recursos Hidráulicos, como organismo financiador de la tesis.

Gracias al personal directivo, docente, administrativo y obrero del CIDIAT, por sus esfuerzos para lograr la buena marcha de los cursos de postgrado.

Agradezco al personal de las Divisiones de Planeamiento e Información Básica de la Dirección General de Recursos Hidráulicos del Ministerio de Obras Públicas, adscrito a la Unidad Hidrográfica III, por la colaboración prestada. De igual manera para los Hidrometeorologistas Pedro Escalona y José Volcán de la Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental.

Extiendo mi agradecimiento a los colegas y amigos Roberto A. Duque y Claudio N. Vega, por su cooperación y estímulo.

Al Br. Alf Hernández por su esmero y responsabilidad en el desempeño de tareas auxiliares, relacionadas con el presente trabajo, le hago llegar mi agradecimiento.

Reitero mi sincero agradecimiento al Ingeniero Omar Gutiérrez, por su valiosa y desinteresada ayuda, al conseguirme todo tipo de facilidades con el Ministerio de Obras Públicas, para realizar el presente trabajo.

En forma muy especial agradezco a mi esposa Lilian, quien supo en todo momento, con amor y entusiasmo, ayudarme a seguir adelante.

Finalmente, agradezco a Dios, por permitirme terminar con éxito esta etapa de mi vida.



Martín R. García M.

INDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS	ii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE SIMBOLOS	viii
RESUMEN	xi
Capítulo	
I. INTRODUCCION	1
El Problema	1
Definición de Términos	2
Revisión de Literatura	3
Objetivos	5
Importancia del Estudio	6
Presentación del Trabajo	6
II. EL MODELO HIDROLOGICO	8
La Escala del Modelo	8
El Sistema Físico Hidrológico	8
El Sistema Hidrológico General	10
El Sistema Hidrológico Regional	10
Procesos	12
Precipitación	15
Promedio aritmético	15
Método de Thiessen	15
Método de las isoyetas	16
Evapotranspiración	16
Infiltración	17
Percolación y humedad del suelo	18
Esgurrimiento superficial	19
Almacenamiento base	19
Escorrentía	20
Condiciones Físicas de la Superficie de la Tierra que afectan los Procesos	20

	Página
Area	21
Altitud	21
Pendiente	21
Tipo de cobertura vegetal	22
Tipo de suelo	22
Uso de la tierra	22
Geología	22
Delimitación del Sistema Hidrológico Regional .	23
Formulaciones Matemáticas	23
Precipitación	23
Evapotranspiración	25
Infiltración	26
Percolación y humedad del suelo	26
Almacenamiento base	27
Escorrentía superficial	28
Escorrentía total	28
Síntesis	29
Solución	32
Escogencia del método de solución	32
Calibración	33
Simulación	33
III. EL PROGRAMA DE COMPUTACION	34
Generalidades	34
El Programa Principal	34
Las Subrutinas	34
Subrutina Escorr	34
Subrutina Preeva	35
Subrutina Cor	35
Subrutina Difer	36
Subrutina Regsim	36
Subrutina Ploteo	36
Subrutina Plosim	36
Flujogramas y Listado del Programa	36
Entradas, Salidas y Opciones	37
Entradas	37

	Página
Datos hidrometeorológicos.....	37
Constantes físicas de la cuenca.....	38
Parámetros de los procesos hidrológicos.....	39
Valores iniciales de variables.....	40
SROI.....	40
HSI.....	41
VOII.....	41
Datos de entrada generales.....	42
Estimación Inicial de Algunos Parámetros de los Procesos.....	43
CINF.....	43
CC.....	45
HES.....	45
Unidades.....	46
Salidas.....	46
Datos iniciales.....	46
Salidas finales.....	47
Valores finales de algunas variables.....	47
Resultados intermedios.....	47
Opciones.....	47
Instrucciones para el Uso del Programa de Computadora.....	48
Preparación de Algunos Datos de Entrada...	49
PORCE y PORCP.....	49
LTRIB.....	49
IALIM.....	51
Secuencia de Colocación de las Tarjetas de Datos.....	52
Primera tarjeta.....	52
Segunda tarjeta.....	52
Tercera tarjeta.....	53
Cuarto grupo de tarjetas.....	53
Quinto grupo de tarjetas.....	53
Sexto grupo de tarjetas.....	53
Séptimo grupo de tarjetas.....	54

	Página
Octavo grupo de tarjetas.....	54
Noveno, décimo y undécimo grupos de tarjetas.....	54
Duodécimo grupo de tarjetas.....	54
Décimo tercer grupo de tarjetas.....	54
Décimo cuarto grupo de tarjetas.....	55
Décimo quinto grupo de tarjetas.....	55
Décimo sexto grupo de tarjetas.....	55
Datos utilizados.....	56
IV. APLICACION DEL MODELO A UNA CUENCA VERTIENTE.....	59
Generalidades.....	59
Criterios para la Selección de la cuenca.....	59
Cuenca Seleccionada.....	60
Localización.....	60
Características.....	60
Uso actual de la tierra.....	60
Información hidroclimática.....	63
Recopilación de la información.....	63
Análisis de los datos hidrometeorológicos	65
Método de análisis.....	66
Procedimiento.....	67
Extensión de registros.....	67
Estimación de datos faltantes.....	68
Método de las razones.....	68
Porcentajes mensuales del total anual.	69
Aplicación de los métodos propuestos.....	70
Prueba de consistencia.....	70
Extensión de registros.....	71
Estimación de datos faltantes.....	71
Selección del Período de Aplicación.....	72
División en Subcuencas.....	72
V. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73

	Página
Resultados.....	73
Simulación de escorrentía.....	73
Parámetros y valores iniciales de algunas variables.....	78
Sensibilidad de parámetros.....	80
Generación de datos.....	82
Conclusiones.....	85
Recomendaciones.....	86
LITERATURA CITADA.....	89
APENDICE	
APENDICE 1. Listado del Programa de Computacion.....	92
APENDICE 2. Diagramas de Flujo del Programa de Computadora.....	104
APENDICE 3. Determinación del Volumen Inicial de Agua Subterránea.....	124
APENDICE 4. Consistencia de Datos.....	127
APENDICE 5. Salidas del Modelo.....	136
APENDICE 6. Prueba de Sensibilidad de Parámetros.....	153
CURRICULUM VITAE.....	168

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Valores promedio de algunas características físicas de los suelos relacionadas con la textura .	23
2	Valores de algunos parámetros de los procesos ...	44
3	Porcentaje del área de cada subcuenca influenciada por las estaciones pluviométricas	50
4	Las subcuencas y sus tributarios	51
5	Valores de IALIM	51
6	Datos de entrada del modelo. Opción calibración .	58
7	Relación de las estaciones hidrometeorológicas en el área de la cuenca del Río Turbio en San Miguel y longitud de registros obtenidos	64
8	Opción calibración	137
9	Salida subrutina Difer	142
10	Salida subrutina Regsim. Subcuenca 1	143
11	Salida subrutina Regsim. Subcuenca 2	144
12	Salida subrutina Regsim. Subcuenca 3	145
13	Salida subrutina Regsim. Subcuenca 4	146
14	Salida subrutina Regsim. Subcuenca 5	147
15	Valores de los parámetros de algunas variables ..	79
16	Generación de registros de escorrentía. Sector La Florida. Subcuenca 1	83
17	Generación de registros de escorrentía. Sector Quebrada Negra. Subcuenca 2	84

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	El sistema físico hidrológico	9
2	Representación esquemática del sistema hidrológico general	11
3	Un ejemplo de un sistema hidrológico regional: Una cuenca hidrográfica	13
4	Representación esquemática de un sistema hidrológico regional	14
5	Diagrama de flujo del modelo hidrológico propuesto para la cuenca del Río Turbio en San Miguel ..	30
6	Programa principal	105
7	Subrutina Preeva	107
8	Subrutina Escorr	109
9	Subrutina Cor	114
10	Subrutina Difer	115
11	Subrutina Regsim	117
12	Subrutina Ploteo	120
13	Subrutina Plosim	122
14	Orden de los datos de entrada	57
15	Delimitación de la cuenca del Río Turbio en San Miguel	61
16	Polígonos de Thiessen. Cuenca del Río Turbio en San Miguel	62
17	Curva doblemente másica de precipitación mensual. 2215 vs 2215+2216	128
18	Curva doblemente másica de precipitación mensual. 2216 vs 2215+2216	129

19	Curva doblemente másica de precipitación mensual. 2225 vs 2215 + 2216	130
20	Curva doblemente másica de precipitación mensual. 1220 vs 2215 + 2216	131
21	Curva doblemente másica de precipitación mensual. 1221 vs 2215 + 2216	132
22	Curva doblemente másica de precipitación mensual. 1222 vs 2215 + 2216	133
23	Curva doblemente másica de evaporación mensual. 2216 vs 2216 + 2225	131
24	Curva doblemente másica de evaporación mensual . 2225 vs 2216 + 2225	135
25	Registros observados y simulados a la salida de la cuenca. Salida subrutina Ploteo	74
26	Registros observados, simulados y precipitación .	76
27	Subcuenca 1. Registros simulados. Salida subrutina Plosim	148
28	Subcuenca 2. Registros simulados. Salida subrutina Plosim	149
29	Subcuenca 3. Registros simulados. Salida subrutina Plosim	150
30	Subcuenca 4. Registros simulados. Salida subrutina Plosim	151
31	Subcuenca 5. Registros simulados. Salida subrutina Plosim	52
32	Volumen mensual escurrido para diferentes valores de CINF. Cuenca del Río Turbio en San Miguel. Sub cuenca 4	154
33	Sensibilidad de parámetros. Cuenca del Río Turbio en San Miguel. Subcuenca 4. CINF vs Volumen total escurrido	155
34	Volumen total escurrido para diferentes valores de CC. Cuenca del Río Turbio en San Miguel. Sub- cuenca 4	156

35	Sensibilidad de parámetros. Cuenca del Río Turbio en San Miguel. Subcuenca 4. CC vs Volumen total escurrido	157
36	Volumen mensual escurrido para diferentes valores de HES. Cuenca del Río Turbio en San Miguel. Subcuenca 4	158
37	Sensibilidad de parámetros. Cuenca del Río Turbio en San Miguel. Subcuenca 4. HES vs Volumen total escurrido	159
38	Volumen mensual escurrido para diferentes valores de C3. Cuenca del Río Turbio en San Miguel. Subcuenca 4	160
39	Sensibilidad de parámetros. Cuenca del Río Turbio en San Miguel. Subcuenca 4. C3 vs Volumen total escurrido	161
40	Volumen mensual escurrido para diferentes valores de C4. Cuenca del Río Turbio en San Miguel. Subcuenca 4	162
41	Sensibilidad de parámetros. Cuenca del Río Turbio en San Miguel. Subcuenca 4. C4 vs Volumen total escurrido	163
42	Volumen mensual escurrido para diferentes valores de C7. Cuenca del Río Turbio en San Miguel. Subcuenca 4	164
43	Sensibilidad de parámetros. Cuenca del Río Turbio en San Miguel. Subcuenca 4. C7 vs Volumen total escurrido	165
44	Volumen mensual escurrido para diferentes valores de C6. Cuenca del Río Turbio en San Miguel. Subcuenca 4	166
45	Sensibilidad de parámetros. Cuenca del Río Turbio en San Miguel. Subcuenca 4. C6 vs Volumen total escurrido	167

LISTA DE SIMBOLOS

<u>Símbolo</u>	<u>Definición</u>
AINFRE	= infiltración real ocurrida durante el mes
A(L)	= área de la subcuenca L
CK3	= coeficiente de tina
C3	= fracción de VOII que sale como flujo base durante el mes
C4	= fracción de VGR que sale como flujo base durante el mes
C5	= fracción de FSU que sale como flujo base durante el mes
C6	= fracción de VOII que sale como flujo subterráneo durante el mes
C7	= fracción de VGR que sale como flujo subterráneo durante el mes
C8	= fracción de FSU que sale como flujo subterráneo durante el mes
C9	= fracción del agua disponible para escurrir superficialmente que sale durante el mes
C10	= fracción del agua disponible para escurrir superficialmente que se retarda para salir durante el mes siguiente.
C(9)	= arreglo que contiene el nombre de la cuenca
CC	= capacidad de campo
CINF	= capacidad de infiltración de la cuenca

CORR	= coeficiente de correlación lineal
ESC(I,L)	= escorrentía calculada en la subcuenca L durante el mes I
ESCO(I)	= escorrentía observada a la salida de la cuenca
EV	= evapotranspiración real
EVAP(I,IE)	= evaporación en tina en la estación IE durante el mes I
EVMC(I,L)	= evaporación media mensual para la subcuenca L
FACTOR	= factor de conversión de lámina a volumen
FSA	= flujo superficial afluente
FSU	= flujo subterráneo afluente
FSUBE	= flujo base
GR	= lámina percolada durante el mes
HES	= contenido límite de humedad del suelo
HS	= humedad del suelo
K	= indicador de opción Thiessen o isoyetas
KCONT	= indicador del mes de inicio de los registros hidrometeorológicos.
KULTIM	= indicador de la subcuenca donde se encuentra la estación de aforo
KS	= indicador de la opción ploteo
LCONT	= indicador del mes de finalización de los registros hidrometeorológicos
NANO	= número de años
NC	= número de subcuencas

NMES	= número de meses
NEPRE	= número de estaciones de precipitación
NEVAP	= número de estaciones de evaporación
PORCE(IE,L)	= fracción del área de la subcuenca L influenciada por la estación IE
PORCP(IE,L)	= fracción del área de la subcuenca L influenciada por la estación IE
PMAX	= valor máximo de escorrentía a plotear
PRE(I,IE)	= precipitación en la estación IE durante el mes I
PREM(I,L)	= precipitación media mensual en la subcuenca L durante el mes I
QB(I,L)	= flujo subterráneo en la subcuenca L durante el mes I
SR01	= agua disponible para escurrir superficialmente al inicio del mes
SR01	= agua disponible para escurrir superficialmente
SR02	= volumen de agua que sale de la cuenca durante el mes
SR03	= volumen de agua que se retarda en la subcuenca durante el mes
VOII	= volumen inicial de agua subterránea

RESUMEN

ESTIMACION DE ESCORRENTIA EN CUENCAS PEQUEÑAS MEDIANTE
UN MODELO DE SIMULACION HIDROLOGICA

Por

Martín R. García M.

Universidad de los Andes

Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras

Asesor Principal: Dr. Roger A. Amisial.

En el presente trabajo se adaptó a computador digital la formulación teórica propuesta para el sistema hidrológico Alto Apure por Amisial y Uzcátegui (1970), aplicándola a una cuenca pequeña de la Región Centro Occidental de Venezuela, con la cual se estimó el volumen mensual escurrido para cuatro años de registros hidrometeorológicos.

A partir de los resultados obtenidos se hacen recomendaciones para el mejoramiento del modelo y extensión de su campo de aplicación.

CAPITULO I

INTRODUCCION

El Problema

En Venezuela, actualmente está tomando gran importancia la planificación de los recursos hidráulicos de las cuencas pequeñas para usos muy variados, entre ellos: riego, usos domésticos y cría de animales. Para realizar este tipo de estudio es imprescindible conocer el volumen de escorrentía de las cuencas que se afecten.

El desarrollo de métodos ortodoxos para estimar la escorrentía promedio mensual o anual, para la planificación de los aprovechamientos hidráulicos, exige la recolección y procesamiento de largos períodos de registros climáticos e hidrométricos. En Venezuela, dichos registros son relativamente recientes en la mayoría de las cuencas; y a nivel de cuencas pequeñas casi inexistentes. Por esta razón, dichos métodos son incompatibles con la realidad actual del país, ya que no se puede esperar a tener un largo período de registros, para efectuar las estimaciones hidrológicas necesarias para la planificación de los recursos hidráulicos de las cuencas pequeñas, indispensables para ayudar a impulsar el desarrollo general del país.

Tomando en consideración lo expuesto anteriormente, se hace necesario dedicar algunos esfuerzos para implementar una metodología que estime con cierto grado de confianza, los rendimien-

tos de cuencas pequeñas, en base a información de fácil obtención y procesamiento.

Definición de Términos

A continuación, para una mejor comprensión del trabajo, se definen algunos términos adaptados de varios autores. De Uzcátegui y Amisial (1971) se tomó:

Sistema: puede definirse como una combinación de objetos y procesos que se interrelacionan entre sí, de manera que operan en forma colectiva como un todo.

Simulación: es una técnica de análisis que consiste en el desarrollo de un modelo para investigar indirectamente el comportamiento de un sistema dinámico, sujeto a ciertas limitaciones y funciones de entrada.

De Clarke (1972) se adaptaron los siguientes términos:

Sistema hidrológico: se define como un conjunto de procesos biológicos, físicos y/o químicos, que actúan sobre una variable o variables de entrada para convertirla en una o varias variables de salida.

Variable: característica del sistema la cual puede ser medida y que asume diferentes valores numéricos cuando se mide a diferentes tiempos.

Parámetro: cantidad característica de un sistema hidrológico la cual permanece constante en el tiempo.

Modelo: representación simplificada de un sistema hidro-

lógico; pudiendo ser físico, analógico y/o matemático.

Modelo matemático: es aquel en el cual el comportamiento del sistema se representa por un conjunto de ecuaciones, unidas por declaraciones lógicas, que expresan la relación entre los parámetros y las variables.

De Farina (1972) y García (1975) se adaptó el siguiente término:

Computador digital: es un equipo que permite realizar rápidamente y en forma secuencial, operaciones matemáticas y lógicas, aplicando las leyes formales de la aritmética y siguiendo el sistema binario de numeración.

Revisión de Literatura

Tradicionalmente se ha empleado una fórmula que incluye el coeficiente de escorrentía, para estimar el volumen escurrido en las cuencas. Dicha fórmula se expresa de la manera siguiente:

$$V = C A P_m$$

donde

C, coeficiente de escorrentía, adimensional.

A, área de la cuenca, L².

P_m, precipitación media caída sobre la cuenca, L.

Numerosos autores han utilizado la fórmula nombrada, diferenciándose básicamente en la forma de estimar el coeficiente de escorrentía, entre ellos: Posewitz (1966), Francia, Ministerio de Agricultura (presentado por Venezuela, Ministerio de Obras Pú-

blicas, 1973), López (1974), Villareal et al. (1974) y México, Secretaría de Recursos Hidráulicos (1975).

Al aparecer y hacerse popular la computadora electrónica como una herramienta de trabajo que facilita y agiliza el procesamiento de grandes cantidades de datos, se ha hecho posible el desarrollo de modelos de simulación hidrológica, los cuales permiten hacer estimaciones relativamente precisas, de los volúmenes de escorrentía que se producen en un sistema hidrológico cualquiera.

En forma general, los modelos de simulación hidrológica se pueden clasificar en dos grandes grupos: estocásticos y determinísticos. Según Chow (1964), citado por Clarke (1972), los modelos determinísticos son aquellos en los cuales no se considera la oportunidad de ocurrencia de las variables y el concepto de probabilidad no se introduce en la formulación de los mismos, su cediendo lo contrario en el caso de los modelos estocásticos.

Al revisar la literatura disponible, se encuentra que de los trabajos realizados hasta el momento con modelos mensuales de simulación hidrológica, merecen citarse los siguientes:

1. Riley et al. (1966), desarrollan el Utah Simulation Model II para la cuenca del Circle Valley River, USA. Ha sido preparado para ser procesado por computadora analógica. El modelo considera incrementos relativamente pequeños de espacio y grandes incrementos de tiempo, desarrollándose en escala mensual.

2. Riley et al. (1969), presentan un modelo mensual de si

mulación de escorrentía para la región Páez-Pedraza de Venezuela, el cual ha sido implementado para su procesamiento por medio de computadora analógica.

3. Hill et al. (1970), desarrollaron el modelo Bear River Basin, en escala mensual, para ser procesado por computadora híbrida, basándose en los postulados teóricos de Riley et al. (1969).

4. Amisial y Uzcátegui (1970), presentan el desarrollo del modelo para el sistema hidrológico Alto Apure, en escala mensual, para ser procesado por computadora híbrida. Su formulación teórica está basada principalmente en el modelo Páez-Pedraza.

5. Peña (1973), trató de adaptar el modelo Alto Apure a la cuenca del Río Torbes, utilizando una computadora digital; no obstante en su trabajo, solo publica el procedimiento utilizado y no señala resultados.

6. Porras (1974), desarrolla un modelo mensual de simulación de escorrentía presentando algunos resultados de su aplicación en la cuenca del Río Tacamahaca.

Objetivos

El estudio persigue los siguientes objetivos:

1. Implementar el modelo desarrollado para el sistema hidrológico Alto Apure (Amisial y Uzcátegui, 1970), a fin de adaptarlo a un computador digital, haciendo los cambios necesarios para ello.
2. Calibrar el modelo para una cuenca seleccionada.
3. Simular el volumen total escurrido a la salida de la

cuenca seleccionada y en cada una de las subcuencas delimitadas para la misma.

4. Analizar la sensibilidad de algunos parámetros del modelo para la cuenca seleccionada.

5. Mediante el modelo, generar datos de escorrentía mensual en pequeñas subcuencas altas de la cuenca seleccionada.

Importancia del Estudio

Se dispondrá la primera versión de un modelo de simulación hidrológica sencillo, adaptado a computadora digital, con aplicación al cálculo de escorrentía mensual para cuencas pequeñas.

Por otra parte, será posible conocer la forma en la cual algunos parámetros y variables del modelo afectan la escorrentía mensual, a partir de pruebas de sensibilidad.

Presentación del Trabajo

La presentación del trabajo se desarrolla como sigue:

En el Capítulo II se describen las funciones hidrológicas del modelo, así como las formulaciones matemáticas, incluyendo el significado de las variables.

El Capítulo III incluye la descripción del programa de computadora y diagramas de flujo utilizados. En el mismo, se definen las entradas, salidas y opciones del modelo; describiéndose también los procedimientos de estimación de algunas variables iniciales y parámetros.

En el Capítulo IV se describe la cuenca seleccionada y se detalla el procedimiento utilizado para la obtención y procesamiento de los datos hidrometeorológicos.

En el Capítulo V se presentan y discuten los resultados obtenidos de la aplicación del modelo, indicándose además las conclusiones y recomendaciones para mejorar el modelo y aplicarlo a la solución de algunos problemas encontrados en la hidrología.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO II

EL MODELO HIDROLOGICO

A continuación se describe el modelo hidrológico, considerando en primer término algunos aspectos conceptuales y luego la formulación matemática.

El modelo utilizado se puede clasificar como matemático y determinístico, basándose el mismo en el enfoque utilizado para el sistema hidrológico del Alto Apure (Uzcátegui y Amisial, 1971).

La Escala del Modelo

El modelo se ha desarrollado para pequeños incrementos de espacio y grandes incrementos de tiempo; por tanto se utiliza en el presente trabajo para estimar en una cuenca pequeña el volumen mensual escurrido.

El Sistema Físico Hidrológico

El sistema físico empleado para el desarrollo del modelo, es la cuenca hidrográfica con sus límites topográficos. Una ilustración del sistema físico hidrológico se presenta en la Figura 1.

El modelo no considera la presencia de embalses, pantanos, lagunas, ni exportación de agua. Se divide la cuenca hidrográfica en subcuencas en las cuales se asume homogeneidad en los procesos hidrológicos dominantes, así como en las condiciones físicas que los afectan, haciéndose mención más adelante de dichos procesos y

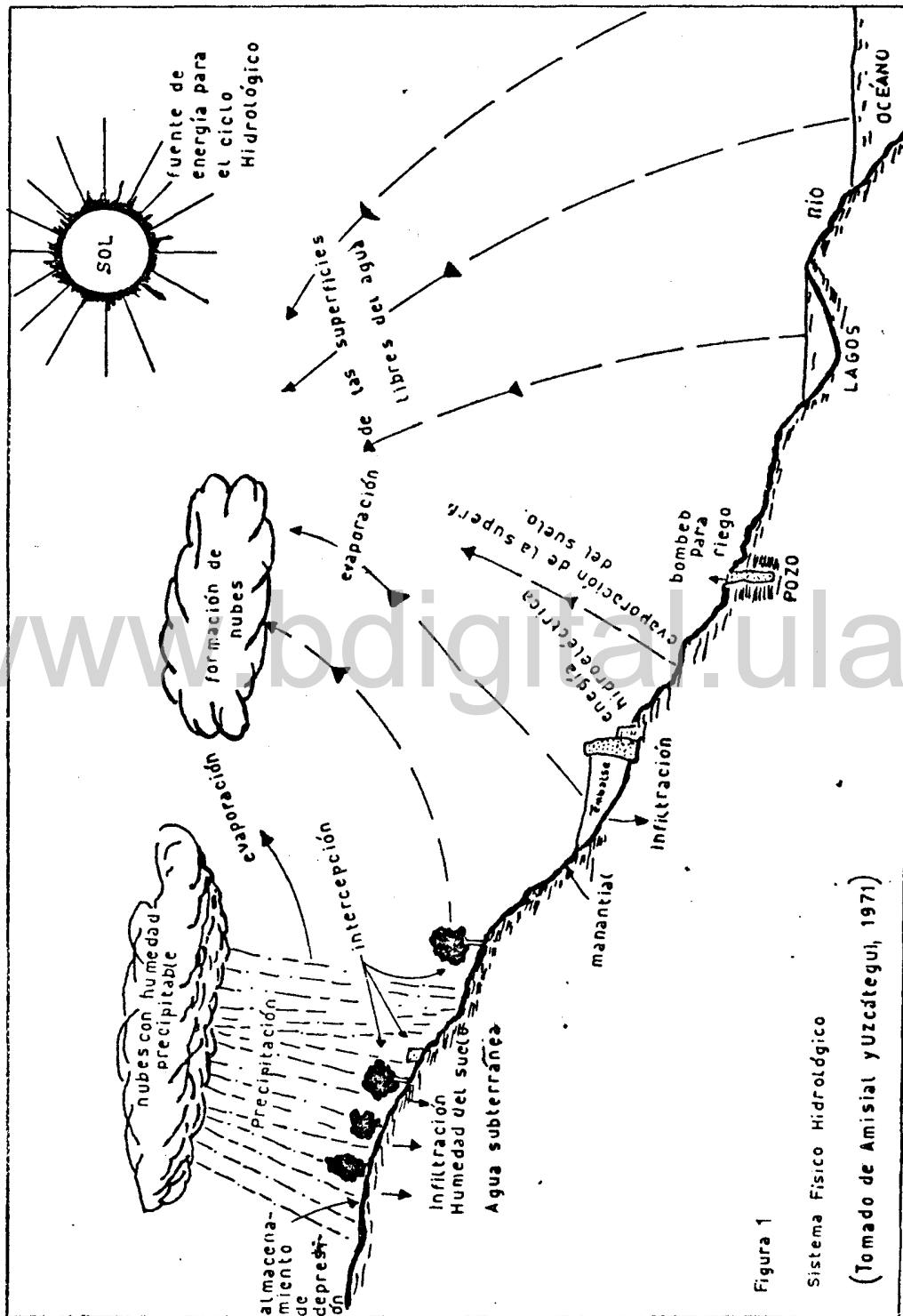


Figura 1
Sistema Físico Hidrológico
(Tomado de Amisial y Uzcátegui, 1971)

condiciones físicas.

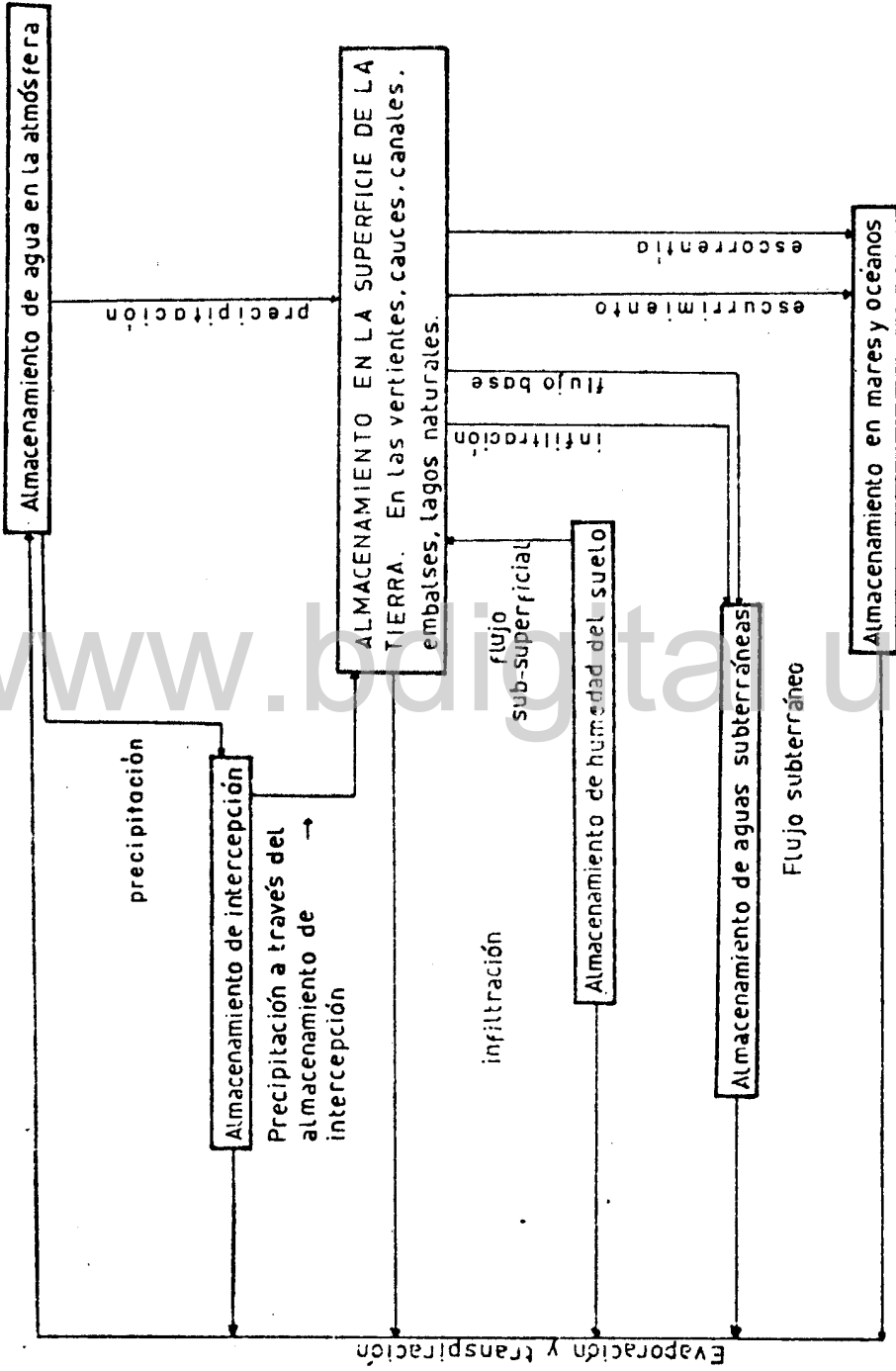
El objetivo de realizar la subdivisión de la cuenca, es obtener el máximo de precisión posible, en la representación de las condiciones físicas de la cuenca que afecten los procesos hidrológicos dominantes (Fleming, 1975)

El Sistema Hidrológico General

Para facilitar el análisis del sistema físico, se sustituye cada cuenca por unos conceptos o procesos hidrológicos, cuyo conjunto constituye el sistema hidrológico conceptual. Este último puede definirse como el ciclo que sigue el agua en su constante circulación a la superficie de la tierra. El sistema hidrológico involucra la circulación del agua desde el mar a la atmósfera, desde allí al suelo y su regreso de nuevo al mar (Uzcátegui y Amisial, 1971). La Figura 2 muestra el sistema hidrológico conceptual en forma de un flujograma en el que los rectángulos indican los procesos de almacenaje y las flechas los procesos de transferencia; aplicándose el sistema hidrológico así descrito a todo el planeta.

El Sistema Hidrológico Regional

Generalmente existe interés en determinadas regiones con límites bien definidos, haciéndose necesario para desarrollar un modelo, centrar la atención en determinados procesos, simplificar algunos y omitir otros. De esta forma, se toma en cuenta al siste-





 Elemento de almacenamiento
 Proceso de transferencia

Figura 2 Representación esquemática del sistema hidrológico general. Adaptado de Amisial (1975)

ma hidrológico regional, en el cual, las entradas, salidas y procesos internos se definen según el propósito para el cual se destine el modelo. En la Figura 3 se presenta un ejemplo de un sistema hidrológico regional y la Figura 4 lo muestra en forma conceptual mediante un flujograma.

La complejidad de un modelo hidrológico depende, en gran parte, de la magnitud de los incrementos de tiempo y espacio utilizados en el modelo (Riley et al., 1966). Estos mismos autores, consideran que cuando se aplican grandes incrementos la magnitud de escala es tal, que los efectos de fenómenos los cuales cambian con relativamente pequeños incrementos de espacio y tiempo son insignificantes.

Debido a la escala del modelo aquí utilizado, algunos procesos han sido simplificados y en algunos casos se incluyen dentro de otros considerándose, cuando esto sucede, en forma indirecta.

Procesos

Los procesos que componen el sistema hidrológico regional se pueden definir como el conjunto de factores que afectan el balance de agua y sus relaciones entre sí. Entre ellos se considera que los más importantes son los siguientes: Precipitación, evapotranspiración, infiltración, percolación, escurrimiento superficial, almacenamiento base, flujo base y flujo por cauces o escorrentía.

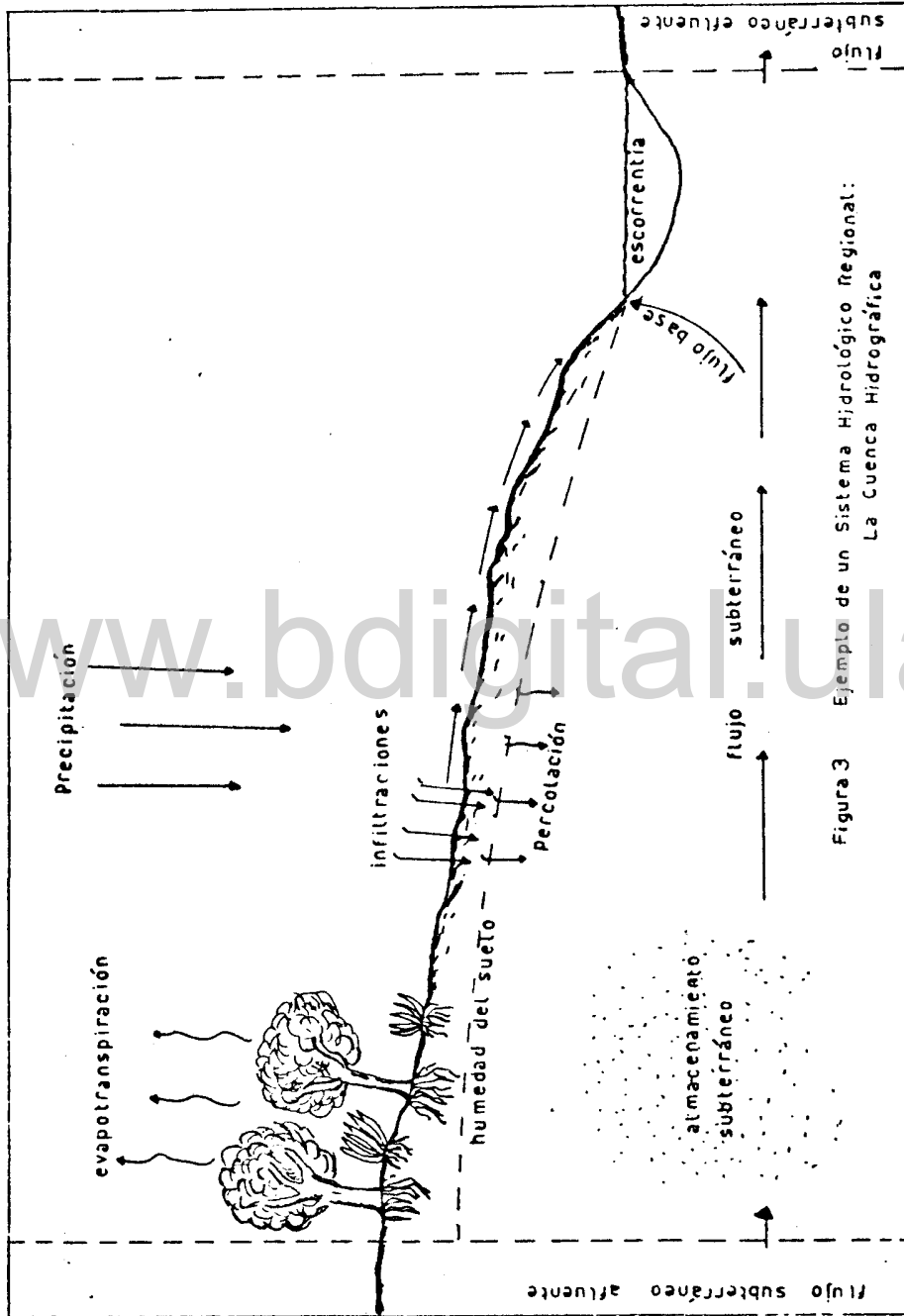


Figura 3 Ejemplo de un Sistema Hidrológico Regional:
La Cuenca Hidrográfica

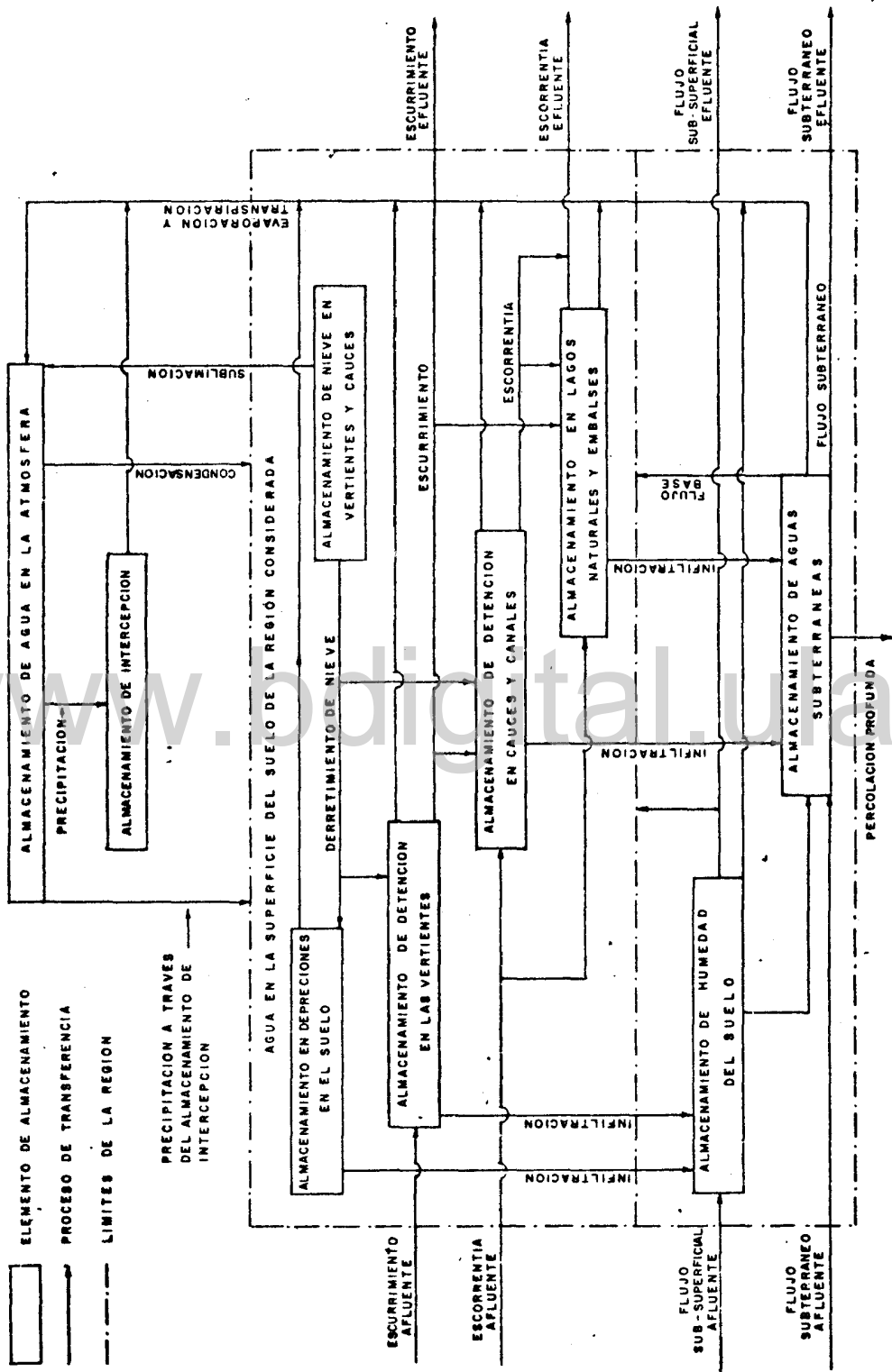


Figura 4 Representación esquemática de un Sistema Hidrológico Regional (Adaptado de Amisal 1975)

Precipitación

Se considera universalmente que la precipitación es el factor primordial que determina la escorrentía. La distribución de la precipitación tanto en el espacio como en el tiempo, se hace necesaria para lograr una determinada respuesta a la cuenca con bastante aproximación. La variabilidad de la precipitación hace necesaria su estimación promedio en el área bajo estudio, partiendo de registros de las estaciones pluviométricas que se encuentran en la zona. Los siguientes métodos se han utilizado para estimar la precipitación promedio sobre áreas bajo estudio: Promedio aritmético, método de Thiessen y método de las isoyetas.

Promedio aritmético. En este método, el promedio de precipitación caída para un intervalo de tiempo dado, es simplemente el total de la lluvia caída en todas las estaciones del área dividido entre el número de las mismas. Da igual peso a cada estación independientemente de su localización.

Método de Thiessen. Se divide el área trazando una recta entre cada estación, luego se dibujan las perpendiculares a cada recta y se forman finalmente los polígonos, los cuales contienen una estación cada uno. Luego se multiplica el área de cada polígono por la precipitación de la estación que le corresponde; finalmente se suman los productos obtenidos y se divide la suma entre el área total para obtener la precipitación promedio. Tiende a ajustar el peso de cada estación según su área de influencia; no considerando el efecto de la orografía sobre la precipitación

en forma directa.

Método de las Isoyetas. Se construyen líneas que unen los puntos de igual precipitación llamadas isoyetas. Se calcula la precipitación promedio de manera similar que en el método de Thiessen a diferencia de que el área de influencia es la comprendida entre dos isoyetas y se toma como valor de la precipitación el de la isoyeta. El método trata de incluir el efecto de la orografía sobre la precipitación.

El modelo puede admitir como dato de entrada la precipitación promedio calculada por los métodos de las isoyetas o de Thiessen, según criterio del usuario.

Evapotranspiración

La evapotranspiración se considera como el paso del agua, desde el suelo y/o a través de las plantas en forma de vapor a la atmósfera. El modelo asume que la humedad del suelo supe toda el agua disponible para evapotranspirar.

La intensidad de la evapotranspiración potencial se tomó como el valor de la evaporación en tina tipo A del U.S. Weather Bureau, multiplicado por un coeficiente de tina.

Para el cálculo de la evapotranspiración real se consideraran los siguientes casos, que dependen de la humedad del suelo durante el mes:

1. Humedad del suelo igual o inferior a la capacidad de campo pero mayor que el contenido límite de humedad; entendiéndose por tal el contenido de humedad del suelo bajo el cual la e-

vapotranspiración real es inferior a la potencial. Se considera en este caso que la evapotranspiración real es igual a la potencial.

2. Humedad del suelo menor que el contenido límite de humedad. En este caso se corrige la evapotranspiración potencial calculada como en el caso anterior, por un factor que depende de la humedad del suelo y del contenido límite de humedad; efectuándose ésto en base al criterio de que la relación entre el contenido de agua disponible en el suelo y la velocidad de transpiración es virtualmente lineal (Riley et al., 1966).

Se asume que la detención superficial y el almacenamiento de depresión forman parte de la evapotranspiración.

Infiltración

Para medir el flujo de agua dentro de un suelo idealizado se han elaborado varias expresiones, tanto empíricamente como en base a consideraciones físicas (Gavande, 1972). Las expresiones teóricas suponen que los suelos son y permanecen homogéneos durante todo el proceso de flujo no consideran generalmente el efecto de histéresis.

Entre las fórmulas más utilizadas para el cálculo de la velocidad de infiltración se encuentran:

1. Kostiakov en 1932 (citado por Gavande, 1972).

$$I = a t^n$$

donde

I, infiltración instantánea, L/T;

t, tiempo, T;

a, n, parámetros que dependen del suelo y de su condición física.

2. Philips en 1959 (citado por Gavande, 1972).

$$I = a t^n b$$

donde

a, t, n tienen el mismo significado que en la ecuación de Kostia-
kov.

Si se tiene en cuenta que n es negativo, I y t se mueven en sentido opuesto; por tanto la velocidad de infiltración tenderá a b cuando el tiempo aumente.

La infiltración depende de factores como: contenido inicial de humedad del suelo, temperatura del agua, textura, perfil y estado de los agregados del suelo.

Las fórmulas antes mencionadas no se pueden utilizar para períodos mensuales, ya que han sido desarrolladas para el cálculo de la infiltración instantánea.

El modelo calcula la infiltración según el criterio siguiente: para valores de la precipitación mensual menores que la capacidad de infiltración de la cuenca, se asume que toda la precipitación se infiltra. En caso contrario, sólo se infiltra lo equivalente a la capacidad de infiltración de la cuenca, quedando el resto sobre la superficie de la misma.

Percolación y Humedad del Suelo

La percolación depende principalmente de las características del perfil del suelo, lámina de agua existente sobre el suelo,

topografía de la cuenca y cobertura vegetal; complicándose su análisis cuando varían estos factores para un área dada.

El modelo asume que existe percolación cuando la humedad del suelo es mayor que la capacidad de campo, siendo entonces el agua que percola la diferencia entre la humedad del suelo y la capacidad de campo. En caso contrario, se considera que no hay percolación.

En cuanto a la estimación de la humedad del suelo se consideran dos situaciones:

1. Cuando el contenido límite de humedad es mayor que la humedad del suelo.

2. Cuando el contenido límite de humedad es menor que la humedad del suelo.

Esgurrimiento Superficial

Se asume que el agua que llega al suelo y no se infiltra está disponible para escurrir superficialmente. La importancia de este proceso para la formación de máximas crecidas o simplemente para alimentar a un cauce, depende de factores tales como: capacidad de infiltración de la cuenca, intensidad de la lluvia, microrelieve de la cuenca, pendiente y cobertura vegetal.

El modelo no considera el escurrimiento superficial en forma directa.

Almacenamiento Base

Se llama almacenamiento base al depósito de agua subterrá-

nea que tiene la misma extensión irreal que la cuenca hidrográfica el cual puede ser alimentado por infiltración, percolación y flujo subterráneo proveniente de otra cuenca.

En el modelo se asume que parte del almacenamiento base puede salir de la cuenca en forma subterránea o flujo subterráneo, otra fracción lo hace en forma superficial o flujo base y el resto se queda en el subsuelo.

Escorrentía

Se denomina de esta manera al flujo que sale de la cuenca por el cauce. Constituye una de las variables dependientes del modelo y su magnitud está influida por la precipitación, infiltración, escorrentía afluyente, flujo base y del agua disponible para escurrir en la superficie a principio del mes.

Constituye un proceso susceptible de ser medido a través de fluviógrafos, lecturas de mira y el método de área-velocidad, entre otros.

Condiciones Físicas de la Superficie de la Tierra que afectan los Procesos

Existen determinadas condiciones físicas de la tierra que influyen notablemente sobre la respuesta de un modelo cuando se aplica a una determinada cuenca; manifestándose dicha influencia en el valor que pueden tomar los parámetros y variables iniciales durante la fase de calibración del mismo. Entre ellas se tienen: área permeable e impermeable, tipo de cobertura vegetal y densidad, tipo

de suelo, geología y uso de la tierra.

Area

El área de la cuenca es la superficie total que contribuye a la escorrentía en el punto de salida de la misma. Puede distinguirse entre área permeable e impermeable cuando la capacidad de infiltración en ella es mayor o igual a cero respectivamente.

Altitud

Se denomina altitud a la elevación de un punto de la cuenca con referencia al nivel del mar. Las diferencias de altitud entre diversos sectores de una cuenca influyen notablemente sobre la forma como cada sector contribuye a la escorrentía total a la salida de la misma, en virtud de su efecto indirecto sobre algunos procesos tales como; la intercepción, al afectar el tipo de vegetación, o las características físicas del suelo, al influir sobre algunos factores formadores de suelo.

Pendiente

La pendiente afecta principalmente los procesos de infiltración, detención superficial, almacenamiento de depresión, escurrimiento superficial y escorrentía. Dicha influencia tiene su origen en el efecto de las diferencias de altura sobre el flujo de agua en una superficie o cauce. Cuando aumenta la pendiente, disminuye la oportunidad de que el agua infiltre en razón de que la velocidad de escurrimiento aumenta.

El modelo considera indirectamente el efecto de la pendiente al estimar el valor de la capacidad de infiltración.

Tipo de Cobertura Vegetal

Tiene marcado efecto sobre el proceso de intercepción, evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración. Los diferentes tipos de vegetación existentes sobre una cuenca, gobiernan el grado de influencia de la cobertura vegetal sobre estos procesos.

Tipos de Suelo

Influye notablemente sobre la infiltración y percolación. Dependiendo del tipo de suelo se fija el valor para el modelo de la capacidad de campo, capacidad de infiltración y contenido límite de humedad. En la Tabla 1 se presentan algunas características físicas del suelo relacionadas con la textura.

Uso de la Tierra

El uso de la tierra tiene efecto sobre la respuesta de la cuenca a los fenómenos hidrometeorológicos. A medida que se deforestan una cuenca aumentan los picos de crecida y baja el caudal de estiaje del río (Linsley et al., 1967).

Geología

La geología influye sobre los procesos hidrológicos generalmente en forma indirecta por su relación con el tipo de suelo, formas de la tierra y topografía del área.

Tabla 1. Valores Promedio de Algunas Características Físicas del Suelo relacionadas con la Textura.

TEXTURA	Peso Específico Aparente	Capacidad de Campo ow %	Punto de Marchitez Permanente ow %
Arenoso	1.65 (1.55 - 1.80)	9 (6 - 12)	4 (2 - 6)
Franco arenoso	1.50 (1.40 - 1.60)	14 (10 - 18)	6 (4 - 8)
Franco	1.40 (1.35 - 1.50)	22 (18 - 26)	10 (8 - 12)
Franco arcilloso	1.35 (1.30 - 1.40)	27 (23 - 31)	13 (11 - 15)
Arcillo arenoso	1.30 (1.25 - 1.35)	31 (27 - 35)	15 (13 - 17)
Arcilloso	1.25 (1.20 - 1.30)	35 (31 - 39)	17 (15 - 19)

Fuente: Israelsen y Hansen. (1965)

Delimitación del Sistema Hidrológico Regional

La delimitación del sistema hidrológico regional puede realizarse en base a criterios topográficos, geomorfológicos, edafológicos, de uso de la tierra y político - territoriales.

En el presente trabajo la delimitación se efectuó en base a criterios topográficos.

Formulaciones Matemáticas

Se entiende por formulaciones matemáticas a la expresión, en forma de ecuaciones y siguiendo un orden lógico, de los conceptos en los cuales se basa el modelo.

En esta sección se presentan las formulaciones matemáticas correspondientes al modelo utilizado. Los parámetros y variables se identifican por los nombres asignados a ellos en el programa, en lenguaje Fortran IV, que se ha preparado al efecto.

Por medio de la siguiente ilustración se muestra el procedimiento seguido en la presentación de las formulaciones:

FDG	FDG = Identificación de variable del programa FDG = MGM + LDT
MGM	Definición y formulación de la variable MGM y todas las variables relacionadas.

Precipitación

En caso de utilizar el método de polígonos de Thiessen:

PREM (I,L)	PREM (I,L) = precipitación promedio del mes I en la subcuenca L.
PREM (I,L) =	$\sum_{IE = 1}^{IE = NEPRE} PRE(I,IE) * PORCP (IE,L)$

PRE (I,IE)	PRE (I,IE) = precipitación del mes I en la estación IE.
------------	---

PORCP (IE,L)	PORCP (IE,L) = fracción del área de la subcuenca L influida por la estación IE.
--------------	---

NEPRE	NEPRE = número de estaciones de precipitación.
-------	--

En caso de utilizar otro método se da PREM (I,L) al modelo con los datos obtenidos de su aplicación.

Evapotranspiración

En caso de utilizar el método de los polígonos de Thiessen:

EV	EV = evapotranspiración real que ocurre durante el mes. EV = EVMC (I,L) * CK3 * HSI/HES ; si HSI < HES EV = EVMC (I,L) * CK3 ; si HSI > HES
----	---

EVMC (I,L)	EVMC (I,L) = evaporación promedio durante el mes I en la subcuenca L.
EVMC (I,L) =	$\sum_{IE = 1}^{IE = NEVAP} EVAP (I,IE) * PORCE (IE,L)$

EVAP (I,IE)	EVAP (I,IE) = evaporación medida en tina en la estación IE durante el mes I.
-------------	--

PORCE (IE,L)	PORCE (IE,L) = fracción del área de la subcuenca L influida por la estación IE.
--------------	---

NEVAP	NEVAP = número de estaciones de evaporación.
CK3	CK3 = factor para convertir la evaporación en tina a evapotranspiración potencial.
HES	HES = contenido límite de humedad del suelo.
HSI	HSI = humedad inicial del suelo para la subcuena L durante el mes I.

En caso de utilizar otro método, EVMC (I,L) se le da al modelo a partir de los datos obtenidos de su aplicación.

Infiltración

AINFRE	AINFRE = infiltración ocurrida durante el mes I. AINFRE = PREM (I,L) ; si PREM (I,L) < CINF AINFRE = CINF ; si PREM (I,L) > CINF
PREM (I,L)	PREM (I,L) = precipitación media sobre la subcuena L durante el mes I.
CINF	CINF = capacidad de infiltración de la subcuena considerada.

Percolación y Humedad del Suelo

GR	GR = percolación en la subcuena considerada durante el mes. GR = 0 ; si HS < CC GR = HS - CC ; si HS > CC
CC	CC = capacidad de campo del suelo en la subcuena considerada.
HS	HS = humedad del suelo en la subcuena durante el mes

	$HS = (AINFRE + HSI) - EV$
HSM	$HSM = (HSI + HS) / 2.$
	$HSI = HSM$

Almacenamiento Base

VOI	<p>VOI = volumen de agua almacenado en el subsuelo en la subcuenca durante el mes.</p> $VOI = VOII + VGR + FSU - FSUBE - QB$
VOII	<p>VOII = volumen de agua almacenada en el subsuelo al inicio del mes.</p>
VGR	<p>VGR = volumen de agua percolada en la subcuenca durante el mes.</p> $VGR = GR * FACTOR$ <p>GR = lámina percolada</p> <p>FACTOR = factor para transformar lámina en volumen.</p>
FSU	<p>FSU = flujo subterráneo afluente a la subcuenca durante el mes.</p>
FSUBE	<p>FSUBE = flujo base en la subcuenca durante el mes.</p> $FSUBE = C3 * VOII + C4 * VGR + C5 * FSU$ <p>C3, C4 y C5 = fracciones de VOII, VGR y FSU que salen de la subcuenca como flujo subterráneo durante el mes.</p>
QB	<p>QB = flujo que sale de la subcuenca durante el mes en forma subterránea.</p> $QB = C6 * VOII + C7 * VGR + C8 * FSU$ <p>C6, C7 y C8 = fracciones de VOII, VGR y FSU que salen de</p>

la subcuenca durante el mes en forma subterránea.

Escorrentía Superficial

SRO1	<p>SRO1 = agua disponible para escurrir en forma superficial de la subcuenca durante el mes.</p> $SRO1 = SROI + FSA + PREM(I,L) - AINFRE$
SROI	<p>SROI = agua disponible para escurrir superficialmente en la subcuenca L durante el mes I, al inicio del mismo. Variable que se da como dato de entrada el primer mes.</p> $SRO3 = C10 * SRO1$ $SROI = SRO3$ <p>C10 = fracción de SRO1 que sale de la subcuenca durante el mes</p>
FSA	<p>FSA = flujo superficial afluyente de la subcuenca durante el mes I.</p>
PREM (I,L)	<p>PREM (I,L) = precipitación promedio de la subcuenca L durante el mes I.</p>
AINFRE	<p>AINFRE = infiltración real ocurrida durante el mes en la subcuenca</p>

Escorrentía Total

ESC(I,L)	<p>ESC (I,L) = escorrentía total en la salida de la subcuenca L durante el mes I.</p> $ESC (I,L) = (FSUBE + SRO2)$
----------	--

FSUBE = flujo base en la subcuenca durante el mes.

SR02 = SR01 * C9

SR01 = agua disponible para escurrir superficialmente en la subcuenca durante el mes.

C9 = fracción del agua disponible para escurrir superficialmente que sale de la subcuenca durante el mes.

Síntesis

Las expresiones matemáticas señaladas en este capítulo se interconectan en forma lógica para simular el sistema hidrológico regional seleccionado, de la manera como se muestra a través de un flujograma en la Figura 5.

A continuación se presenta la secuencia de cálculos, junto con las formulaciones matemáticas seguidas, para calcular el volumen de esorrentía mensual:

1. Cálculo de la precipitación promedio mensual:

$$\text{PREM (I,L)} = \sum_{\text{IE} = 1}^{\text{IE} = \text{NEPRE}} \text{PRE (I,IE)} * \text{PORCP (IE,L)}$$

2. Cálculo de la evaporación promedio mensual:

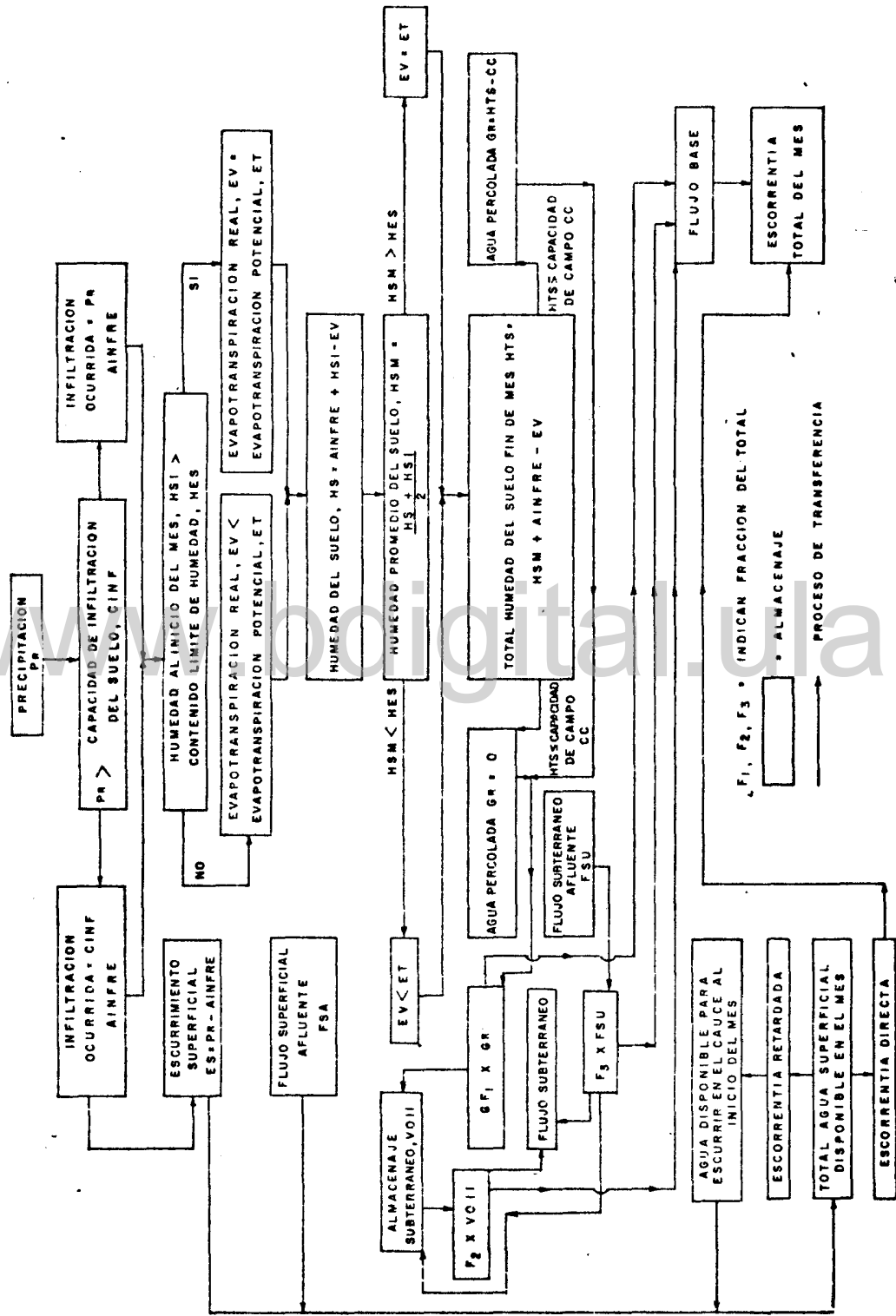


Figura 5 Diagrama de flujo para el modelo hidrológico propuesto para la Cuenca del Río Turbio en San Miguel.

$$EVMC (I,L) = \sum_{IE=1}^{IE=NEVAP} EVAP (IE,L) + PORCE (IE,L)$$

3. Infiltración real:

Se asume que la precipitación promedio es menor que la capacidad de infiltración de la subcuenca.

$$AINFRE = PREM (I,L)$$

4. Cálculo de la evapotranspiración real:

Se considera que la humedad del suelo es menor que el contenido límite de humedad.

$$EV = EVMC (I,L) * CK3 * HSI/HES$$

5. Cálculo de la humedad del suelo al inicio del mes:

$$HS = AINFRE + HSI - EV$$

Si $HS < 0$ haga $HS = 0$

6. Cálculo del agua percolada:

Se asume que la humedad del suelo es inferior a la capacidad de campo.

$$GR = 0$$

9. Cálculo del flujo base:

Se asume que no existen tributarios.

$$FSUBE = C3 * VOII + C4 * VGR + C5 * FSU$$

10. Cálculo del flujo subterráneo efluente:

$$QB (I,L) = C6 * VOII + C7 * VGR + C5 * FSU$$

11. Cálculo del almacenamiento subterráneo:

$$VOI = VOII + VGR + FSU - FSUBE - QB (I,L)$$

12. Cálculo del agua disponible para escurrir superficialmente.

Se asume que no existen tributarios.

$$SRO1 = SROI + FSA + PREM (I,L) - AINFRE$$

13. Cálculo del agua disponible para escurrir que sale durante el mes:

$$SRO2 = SRO1 * C9$$

14. Cálculo del agua disponible para escurrir que se retarda y sale durante el mes siguiente:

$$SRO3 = SRO1 * C10$$

$$SROI = SRO3$$

15. Cálculo de la escorrentía durante el mes:

$$ESC (I,L) = FSUBE + SRO2$$

Solución

El procedimiento de solución del modelo hidrológico propuesto, consiste en encontrar las salidas deseables en que el sistema hidrológico considerado transforma a las entradas seleccionadas para dicho modelo. El proceso se compone de tres fases: escogencia del método de solución, calibración y simulación.

Escogencia del método de solución:

Se escoge como herramienta de solución a la computadora digital ya que tiene ventajas operativas, entre ellas: gran capacidad de tomar decisiones lógicas, gran disponibilidad de almacenamiento, precisión de los cálculos y accesibilidad en casi cualquier

parte del mundo (Uzcátegui y Amisial, 1971).

Calibración

El modelo hidrológico se aplica a una cuenca en particular a través del proceso de calibración, el cual consiste en encontrar los valores de ciertos parámetros del modelo, los cuales logran reproducciones aceptables de la función de salida del sistema prototipo en cuestión (Hill et al., 1970), en este caso el volumen escurrido mensual.

Simulación

Es la solución directa del problema para el cual se aplica el modelo. Una vez calibrado el modelo, se generan los valores de escorrentía mensual para el período deseado.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO III

EL PROGRAMA DE COMPUTACION

Generalidades

El programa se ha elaborado en lenguaje FORTRAN IV y se pretende que pueda utilizarse, con ligeras modificaciones, en cualquier sistema de computación digital.

Este capítulo presenta en detalle el programa de computación, así como sus entradas, salidas y opciones.

El Programa Principal

Tiene función la lectura de los datos generales de entrada, definición de opciones y llamado de las subrutinas.

Las Subrutinas

Las seis subrutinas ejecutan todas las instrucciones intermedias y de salida del programa de computadora correspondiente al modelo de simulación hidrológica.

Subrutina Escorr.

En esta subrutina se leen los valores de entrada para cada subcuenca en particular y se calcula el volumen mensual escu - rrido para cada una de ellas y para la cuenca en su salida. Además tiene las siguientes salidas secundarias:

1. Valores de las variables SROI, VOII y HSI.

2. Impresión de los datos de entrada para cada subcuenca: CINF, HES, CC, CK3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 y C10.
3. Volumen total simulado
4. Volumen total observado

Subrutina Preeva

Su objeto es el cálculo de la precipitación y evaporación media para cada una de las subcuencas en las que se ha dividido la cuenca seleccionada; pudiendo efectuarse el cálculo de la evaporación media en forma opcional. Dichos cálculos se realizan por el método de los polígonos de Thiessen.

En caso de no considerar conveniente el uso de los polígonos de Thiessen, existe la opción de darle al programa como datos de entrada, la precipitación y evaporación media calculada por cualquier otro método. También existe una opción que omite el cálculo de la evaporación media para cada subcuenca; esto en el caso de que existe una sola estación evaporimétrica o se calcule por algún método diferente.

Subrutina Cor

Calcula el coeficiente de correlación lineal entre los valores de escorrentía observados y simulados a la salida de la cuenca. Debido a su función sólo se emplea durante la fase de calibración, como una ayuda en la decisión de considerar el modelo calibrado o no para la cuenca seleccionada.

Subrutina Difer

Su objetivo es calcular la diferencia existente entre los promedios mensuales de escorrentía observada y los promedios mensuales de escorrentía simulada, a la salida de la cuenca seleccionada. Se emplea solamente durante la fase de calibración del modelo.

Subrutina Regsim

Tiene por finalidad presentar en forma de cuadro los valores de escorrentía simulados, tanto en la cuenca como en cada una de las subcuencas. Además calcula el promedio mensual de dichos valores.

Subrutina Ploteo

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

Subrutina Plosim

Solamente presenta gráficamente los valores de escorrentía simulados para la cuenca y las subcuencas.

Flujogramas y Listado del Programa

En los anexos 1 y 2 se presentan respectivamente el listado del programa de computación y el flujograma utilizado para el modelo de simulación hidrológica empleado, haciéndose con el ob-

jetivo de detallar su estructura para un mejor conocimiento del modelo, lo cual será muy útil en etapas posteriores del mismo para su mejoramiento.

Entradas, Salidas y Opciones

Entradas

Las entradas pueden clasificarse en cinco grupos: Datos hidrometeorológicos, constantes físicas de la cuenca, parámetros de los procesos hidrológicos, valores iniciales de variables y datos de entrada generales.

Datos Hidrometeorológicos

Consisten en los datos de las medidas de precipitación, evaporación y escorrentía en la cuenca seleccionada. Sus entradas que se suministran al modelo en cada intervalo de tiempo en que se analiza el ciclo hidrológico. A continuación se presentan dichas entradas:

1. PRE(I,IE): Arreglo que contiene los valores de la precipitación mensual en cada estación. Se da como dato de entrada cuando se calcula la precipitación promedio por el método de los polígonos de Thiessen.

2. PREM(I,L): Arreglo que contiene los valores de la precipitación promedio mensual en cada subcuenca para el período considerado. Cuando se calcula por el método de los polígonos de Thiessen; constituyen una salida de la subrutina Preeva. En caso

de utilizarse cualquier otro método contiene la precipitación promedio calculada a partir de él y se da directamente al modelo.

3. EVAP(I,IE): Arreglo que contiene los valores de la evaporación mensual medida en tina tipo A en las estaciones evaporimétricas existentes en la cuenca. Se da como dato de entrada cuando se utiliza el método de los polígonos de Thiessen para calcular la evaporación promedio.

4. EVMC(I,L): Arreglo que contiene los valores de la precipitación promedio mensual en cada subcuenca para el período seleccionado, cuando se utiliza para su estimación el método de los polígonos de Thiessen; siendo en este caso una salida de la subrutina Preeva utilizada al efecto. En caso de utilizarse otro método de cálculo, contiene la evaporación promedio estimada a partir de él, dándose el modelo directamente como entrada.

Constantes Físicas de la Cuenca

Se definen de esta manera aquellas entradas que no pueden variarse para una cuenca y la información que de ellas se posee.

Se consideran en el modelo las siguientes:

A(L): área de la subcuenca

NEPRE: número de estaciones de precipitación.

NEVAP: número de estaciones de evaporación.

NC : número de subcuencas.

PORCE(IE,L): porcentaje de área de influencia de cada estación evaporimétrica sobre la subcuenca considerada.

PORCP(IE,L): porcentaje de área de influencia de cada estación pluviométrica sobre la subcuenca considerada.

Parámetros de los Procesos Hidrológicos

Consisten de la información sobre el orden de magnitud de los procesos que afectan el movimiento y distribución del agua en la fase terrestre del ciclo hidrológico (Fleming, 1975). El modelo considera a los siguientes:

CINF: capacidad de infiltración de la cuenca

HES: contenido límite de humedad

CC: capacidad de campo

CK3: coeficiente de tina

C3: filtración del volumen de agua almacenado en forma subterránea que sale de la cuenca como flujo base, durante el mes.

C4: fracción del agua percolada que sale de la subcuenca como flujo base, durante el mes.

C5: fracción del flujo subterráneo afluyente que sale de la cuenca como flujo base, durante el mes.

C6: fracción del agua almacenada en el subsuelo que sale de la cuenca en forma subterránea durante el mes.

C7: fracción del agua percolada que sale de la cuenca en forma subterránea durante el mes.

C8: fracción del flujo subterráneo afluyente que sale de la cuenca en forma subterránea durante el mes.

C9: fracción del agua disponible para escurrir en la cuenca que sale en forma directa, durante el mes.

C10: fracción del agua disponible para escurrir en la cuenca que se retarda para salir al mes siguiente.

En la Tabla 2, basada en la Tabla 1, se observan algunos parámetros de los procesos que considera el modelo como entradas.

Valores Iniciales de Variables

Las variables que deben ser iniciadas como datos de entrada del modelo son: SROI, VOII y HSI.

SROI

Lámina de agua disponible para escurrimiento superficial. Aunque se ha realizado algunos esfuerzos para su determinación, Izzard (1946) y Linsley et al. (1949), ambos citados por Linsley et al. (1967), no se ha desarrollado una expresión que funcione para periodos de tiempo mensuales. Se recomienda, por lo antes expuesto y además por la falta de información hidroclimática adecuada en el tipo de cuencas para los que se destina este estudio, hacer un estimado inicial basado en el período climático de los registros con los cuales se inicia la calibración del modelo; si la estación es la de sequía tomar un valor cercano a cero y si es la estación lluviosa asumir un porcentaje sobre la precipitación caída basado en la experiencia y en las características de la cuenca.

HSI

El contenido inicial de humedad del suelo es una variable cuyo valor debe ser asumido de acuerdo al período climático al cual correspondan los registros con los que se comienza la calibración; en la estación seca se puede tomar un valor inferior o igual al punto de marchitez permanente, según la Tabla 2, y en el período lluvioso su valor puede oscilar entre el intervalo estimado para la capacidad de campo según la misma tabla.

VOII

Contenido inicial de agua almacenada en forma subterránea en la subcuenca. Para su estimación inicial se utiliza un procedimiento basado en las curvas de agotamiento de los ríos.

Según varios autores, presentados por Castany (1971), la ecuación que define el agotamiento de un río tiene la expresión $y = a e^{bx}$ (1), la cual traducida a caudal toma la forma:

$$Q_t = Q_0 e^{-bt} \quad (2)$$

donde;

Q_t , caudal en un tiempo dado, L^3/T ;

Q_0 , caudal para un tiempo $t=0$, L^3/T ;

t , tiempo, T ;

b , pendiente de la curva.

Se considera que la capacidad de almacenamiento de la cuenca es el volumen que resulta de integrar la ecuación 2 entre los tiempos $t=0$ y $t= \infty$.

$$V = \int_0^{\infty} Q_t dt = Q_0 \int_0^{\infty} e^{-bt} dt \quad (3)$$

$$= Q_0 \int_0^{\infty} e^{-bt} dt = Q_0 \left[\frac{e^{-bt}}{b} \right] \quad (4)$$

$$= Q_0 \left[\frac{-e^{-x}}{b} + \frac{e^0}{b} \right] \quad (5)$$

$$V = \frac{Q_0}{b} \quad (6)$$

Para expresar V en milímetros cuando Q_0 está expresado en $m^3 \text{ sg}^{-1}$ se realiza la siguiente operación matemática:

$$V = \frac{Q_0}{b} \times 86400 \times \frac{1}{\text{Area de la cuenca, Km}^2 \times 10^3} \quad (7)$$

Para calcular los parámetros de la expresión (2) se utilizó el procedimiento seguido por Olavarrieta (1975), el cual consiste en logaritmizar la expresión $Q_t = Q_0 \times e^{-bt}$ y aplicar la técnica de los mínimos cuadrados. En el anexo 3, se encuentra detallado el proceso de cálculo empleado en la estimación de VOII para la cuenca seleccionada en el presente trabajo.

En la escogencia de los meses para emplear el procedimiento antes mencionado, se siguió el criterio sugerido por Castany (1971), el cual consiste en escoger el período más largo y crítico de sequía posible.

Datos de Entrada Generales

Se denominarán así porque son invariables para la cuenca durante el período seleccionado y, se aplica a todas las subcuencas. Entre ellos se tiene:

Nombre de río y estación de aforo de la cuenca: Entrada alfanumérica.

Periodo de estudio: Entrada numérica.

NMES : Número de meses del periodo utilizado.

NANO : Número de años que comprende el periodo.

LP y LPI : Año de comienzo y finalización, respectivamente, del periodo seleccionado.

KCONT : Indicador del mes en que se inicia el periodo estudiado. Varía de 1 a 12.

LCONT : Indicador del mes de finalización del periodo. Varía de 1 a 12.

Estimación Inicial de Algunos Parámetros de los Procesos

CINF

Se encuentra tabulado en la Tabla 2, la cual se construyó en base al contenido de la Tabla 1.

El suelo, dependiendo principalmente de su textura, tiene una determinada capacidad de retención de humedad; por ello, a capacidad de campo, se asume que toda el agua que el suelo no puede retener percola hacia los estratos inferiores del mismo.

El modelo considera, que la lámina máxima de agua que retiene el suelo, sin que haya percolación, es equivalente a la lámina correspondiente a capacidad de campo.

Tabla 2. Valores de Algunos Parámetros de los Procesos

Textura	Capacidad de Campo mm/50 cm	Punto de Marchitez Permanente mm/50 cm	CINF mm/50 cm	HES mm/50 cm
Arenosa	78 (47 - 108)	33 (11 - 54)	78 (47 - 108)	62 (38 - 86)
Franco arenoso	107 (70 - 144)	46 (28 - 64)	107 (70 - 144)	86 (56 - 115)
Franco	159 (122 - 195)	62 (54 - 70)	159 (122 - 195)	92 (98 - 86)
Franco arcilloso	184 (150 - 217)	89 (72 - 105)	184 (150 - 217)	147 (120 - 174)
Arcillo arenoso	203 (169 - 236)	98 (81 - 115)	203 (169 - 236)	162 (135 - 189)
Arcilloso	220 (186 - 254)	101 (90 - 111)	220 (186 - 254)	176 (149 - 203)

CINF se calcula según la fórmula aceptada por numerosos autores, entre ellos: Israelsen y Hansen (1965), Bukman y Brady (1966), Gavande (1972) y Norero (1975):

$$d = \frac{e \cdot w}{100} \cdot \rho_a \cdot D \quad (8)$$

donde

d, lámina de agua almacenada en el suelo, en este caso igual a CINF.

e-w, contenido gravimétrico de humedad del suelo, expresado en porcentaje.

ρ_a , peso específico aparente del suelo.

D, profundidad de suelo considerada.

Cuando se tiene información acerca de los suelos de la cuenca, se calcula CINF con los valores que arroje dicha información, utilizando la fórmula (8). En caso contrario se recomienda utilizar **directamente** los valores de la Tabla 1.

CC

La capacidad de campo es la lámina de agua que retiene el suelo una vez que todos los excesos han percolado. Según las características de la cuenca se asume un valor inicial a partir de la Tabla 1.

HES

El contenido límite de humedad del suelo es un criterio

que considera un contenido de humedad, bajo el cual la evapotranspiración real no es igual a la evapotranspiración potencial, sino inferior. Como se sabe, la evapotranspiración, tanto real como potencial, depende de numerosos factores los cuales varían constantemente; siendo muy difícil debido a la escala del modelo, un cálculo preciso y real de este parámetro.

Unidades

Las entradas del modelo se dan en unidades del sistema métrico decimal; láminas en milímetros, áreas en Km^2 , escorrentía en millones de metros cúbicos y tiempo en segundos.

Salidas

Las salidas se clasifican en cuatro grupos: Datos iniciales, salidas finales, valores finales de algunas variables y resultados intermedios.

Datos Iniciales

El programa tiene como salida las constantes de la cuenca, el período del ciclo hidrológico a reproducir, los parámetros y valores iniciales de las variables. A continuación se nombran los datos iniciales que el modelo tiene en su salida:

Parámetros : CINF, PHSI, HES, CC, CK3, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 y C10.

Valores iniciales de las variables: PHSI, PVOII, FSU, FSA, y PSROI.

Salidas Finales

El primer grupo de salidas finales lo constituye el volumen escurrido total observado y el volumen escurrido total simulado. El segundo grupo de salidas lo forman los promedios mensuales observados y simulados, la diferencia en porcentaje entre ellos, y el coeficiente de correlación lineal.

El tercer grupo de salidas está constituido por los valores de escorrentía mensual calculados, ordenados por meses y años. El cuarto grupo de salidas lo integran los valores finales de algunas variables. El quinto grupo de salidas corresponde al ploteo de los valores observados y simulados.

Valores Finales de Algunas Variables

Es útil esta salida cuando se quiere extender registros de escorrentía en base al modelo calibrado. Ellas son: HSI, VOII y SROI, las cuales se transforman en los valores iniciales PHSI, PVOI y PSROI del periodo a simular.

Resultados Intermedios

Existen algunos valores útiles de conocer durante la fase de calibración del modelo siendo éstos la suma total para el período considerado de: FSUBE, QB, SRO1 y SRO2. Pueden ser considerados como opcionales.

Opciones

El usuario dispone de varias opciones en la utilización del modelo, algunas de ellas son subrutinas las cuales ya se ex-

plicaron con anterioridad:

K: Define el uso o no de la subrutina Preeva. Cuando es igual a 1 se usa dicha subrutina y cuando es igual a 2 no se utiliza.

M: Señala la posibilidad de que la subrutina Preeva omita o no el cálculo de la evaporación media. Cuando $M = 1$ calcula dicha subrutina la evaporación media, no haciéndola cuando es igual a 2. En este caso se da como dato de entrada.

KA: Da la opción calibración cuando es igual a 1, y si es igual a 2 da la opción simulación.

K3: Define el uso o no de la subrutina Cor. Si $K3 = 1$ indica que se llamará dicha subrutina, ocurriendo lo contrario cuando $K3 = 2$.

K5: Da la opción de uso de la subrutina Difer. Cuando es igual a 1 se llama dicha subrutina y cuando es igual a 2 no se utiliza.

K6: Cuando $K6=1$ se llama la subrutina Regsim y cuando es igual a 2 no se hace.

KS: Da la opción de utilizar la subrutina Ploteo cuando toma el valor de 1, ocurriendo lo contrario cuando es igual a 2.

K7: Cuando $K7$ es igual a 1 se llama la subrutina Plosim, sucediendo lo contrario cuando es igual a 2.

Instrucciones para el Uso del Programa de Computadora

En esta sección se señalan los lineamientos generales a

seguir por el usuario, para un uso correcto del programa de computadora implementado para el modelo.

Preparación de Algunos Datos de Entrada

Se hace alusión en este aparte a la preparación de algunos datos de entrada que por su naturaleza merecen una mención más detallada.

PORCE y PORCP

Para estimar los valores correspondientes a los elementos de estos arreglos, se debe, en primer lugar, ubicar en un plano de la cuenca, escala 1:100.000 o mayor, las estaciones pluviométricas y evaporimétricas. Luego se procede a dibujar los polígonos de Thiessen tanto para las estaciones pluviométricas como evaporimétricas. El paso siguiente consiste en planimetrar el área de influencia de las estaciones para cada subcuenca y calcular la fracción de la misma que es influida por cada estación.

En la Tabla 3 se encuentran los valores correspondientes a PORCP en la cuenca seleccionada para el presente estudio. En el caso de PORCE se consideró, por existir solamente dos estaciones evaporimétricas y en base a la ubicación de las mismas, que la subcuenca 1 es afectada por la estación Cubiro 2225 y el resto de subcuencas por San Miguel 2216.

LTRIB

Se debe comenzar la numeración de las subcuencas, preferiblemente por aquellas que no tengan tributarios, procurando de-

Tabla 3. Porcentaje del Area de cada Subcuencia influenciada por las Estaciones Pluviométricas.

SUBCUENCAS	ESTACIONES											
	2225 Km ²	(1) %	2216 Km ²	(2) %	2215 Km ²	(3) %	1222 Km ²	(4) %	1221 Km ²	(5) %	1220 Km ²	(6) %
1 48.049 Km ²	10.940	22.27	0.000	0.00	0.000	0.00	29.592	61.57	0.000	0.00	7.527	15.66
2 15.404 Km ²	0.000	0.00	1.576	10.23	0.000	0.00	0.000	0.00	1.750	11.36	12.078	77.81
3 13.478 Km ²	0.000	0.00	6.214	46.10	1.400	10.39	0.000	0.00	0.088	0.65	5.170	42.86
4 26.081	0.000	0.00	3.139	31.20	0.456	1.74	0.000	0.00	17.494	67.06	0.000	0.00
5 4.988 Km ²	0.000	0.00	0.175	3.51	4.462	89.45	0.000	0.00	0.351	7.03	0.000	0.00



Nota: Los valores encerrados entre paréntesis indican la identificación de la estación en el programa de computación.

jar al final las subcuencas que sí los presenten. En la Tabla 4 se muestra la numeración seguida en este estudio, la cual se puede observar también en la Figura 16

Tabla 4. Las Subcuencas y sus Tributarios

Subcuenca	Cantidad de Tributarios	Subcuencas Tributarias
1	0	---
2	0	---
3	2	1 y 2
4	0	---
5	2	3 y 4

IALIM

En este arreglo se da al programa la identificación de las subcuencas que son tributarias de alguna otra en particular. En la Tabla 5 se señala la forma en que se utilizó este arreglo para la cuenca seleccionada.

Tabla 5. Valores de IALIM

Subcuenca	Orden de Entrada 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

Para mayor ilustración, en el caso de la subcuenca 1, se entiende que no tiene tributarios, siendo lo contrario en la subcuenca 3 que tiene como primero y segundo tributarios a las subcuencas 1 y 2 respectivamente, indicando los ceros restantes que no existen más tributarios para dicha subcuenca.

Secuencia de Colocación de las tarjetas de Datos.

A continuación se detallan las tarjetas de entradas y sus formatos respectivos.

Primera Tarjeta

Columnas	Formato	Denominación
1 - 36	9A4	C(9)

Segunda Tarjeta

Columnas	Formato	Denominación
1 - 4	I4	K
5 - 8	I4	KA
9 - 12	I4	KS
13 - 16	I4	M
17 - 20	I4	K3
21 - 24	I4	LP
25 - 28	I4	LP1
29 - 32	I4	K5
33 - 36	I4	K6
37 - 40	I4	K7

Tercera Tarjeta

Columnas	Formato	Denominación
1 - 5	I5	NEPRE
6 - 10	I5	NEVAP
11 - 15	I5	NMES
16 - 20	I5	NC
21 - 25	I5	KCONT
26 - 30	I5	LCONT
31 - 35	I5	NANO
36 - 40	I5	KULTIM
41 - 50	I5	PMAX

Cuarto Grupo de Tarjetas. Nº de Tarjetas = Depende del número de subcuencas.

Columnas	Formato	Denominación
1 - 50	5F10.3	A(L)

Quinto Grupo de Tarjetas. Nº de Tarjetas = Depende del número de estaciones y del período seleccionado.

Columnas	Formato	Denominación
1 - 72	12 F6.1	PRE(IE,I)

Sexto Grupo de Tarjetas. Nº de Tarjetas. Depende del Nº de estaciones y de subcuencas.

Columnas	Formato	Denominación
1 - 42	6F7.3	PORCP(IE,L)

Séptimo Grupo de Tarjetas. Número de Tarjetas = Depende del N° de estaciones y período escogido.

Columnas	Formato	Denominación
1 - 72	12F6.1	EVAP(1L,1)

Octavo Grupo de Tarjetas. Número de Tarjetas = Depende del N° de estaciones y subcuencas.

Columnas	Formato	Denominación
1 - 42	6F7.3	PORCE(1E,L)

Noveno, Décimo y Undécimo Grupo de Tarjetas. Depende su inclusión de las opciones escogidas por el usuario. Su número varía según la cantidad de estaciones y longitud del período seleccionado.

Columnas	Formato	Denominación
1 - 72	12F6.1	EVMC(I,L)
1 - 72	12F6.1	PREM(I,L)
1 - 72	12F6.1	EVMC(I,L)

Duodécimo Grupo de Tarjetas. Número de tarjetas = Su N° depende del período escogido.

Columnas	Formato	Denominación
1 - 72	6F12.6	ESCO(1,L)

Décimo Tercer Grupo de Tarjetas. N° de Tarjetas = Depende del N° de subcuencas.

Columnas	Formato	Denominación
1 - 25	5I5	LTRIB(L)

Décimo Cuarto Grupo de Tarjetas. Nº de Tarjetas = Depende del número de subcuencas.

Columnas	Formato	Denominación
1 - 30	5I5	IALIM(I,J)

Décimo Quinto Grupo de Tarjetas.

Columnas	Formato	Denominación
1 - 7	F7.2	CINF
8 - 14	F7.2	PHSI
15 - 21	F7.2	HES
22 - 28	F7.2	CC
29 - 35	F7.2	PVCII
36 - 42	F7.2	AS
43 - 49	F7.2	AA
50 - 57	F7.2	PSROI

Décimo Sexto Grupo de Tarjetas.

Columnas	Formato	Denominación
1 - 5	F5.2	CK3
6 - 10	F5.2	C3
11 - 15	F5.2	C4
16 - 20	F5.2	C5
21 - 25	F5.2	C6
26 - 30	F5.2	C7
31 - 35	F5.2	C8
36 - 40	F5.2	C9

Columnas	Formato	Denominación
41 - 45	F5.2	C10

A partir de aquí se alternan el décimo quinto y décimo sexto grupo de tarjetas según el número de subcuencas, comenzando por la número 1. En la Figura 14 se muestra la secuencia de colocación de las tarjetas de datos.

Datos Utilizados

En la Tabla 6 se presentan los datos utilizados en el programa, en el orden en el cual se introducen al mismo.

www.bdigital.ula.ve

CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO INTEGRAL DE AGUAS Y TIERRAS CIDIAT		HOJA DE CODIFICACION		PAIS DE	
CINCO ANOS DE INICIO		INDICADOR		DE	
PROGRAMA		IND. Agr. MAZONIA		SANCIA M.	
1	2	3	4	5	6
K	UNA	ICS	M	K3	LP
7	8	9	10	11	12
REP	REP	REP	REP	REP	REP
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126
127	128	129	130	131	132
133	134	135	136	137	138
139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156
157	158	159	160	161	162
163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174
175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186
187	188	189	190	191	192
193	194	195	196	197	198
199	200	201	202	203	204
205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216
217	218	219	220	221	222
223	224	225	226	227	228
229	230	231	232	233	234
235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246
247	248	249	250	251	252
253	254	255	256	257	258
259	260	261	262	263	264
265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276
277	278	279	280	281	282
283	284	285	286	287	288
289	290	291	292	293	294
295	296	297	298	299	300
301	302	303	304	305	306
307	308	309	310	311	312
313	314	315	316	317	318
319	320	321	322	323	324
325	326	327	328	329	330
331	332	333	334	335	336
337	338	339	340	341	342
343	344	345	346	347	348
349	350	351	352	353	354
355	356	357	358	359	360
361	362	363	364	365	366
367	368	369	370	371	372
373	374	375	376	377	378
379	380	381	382	383	384
385	386	387	388	389	390
391	392	393	394	395	396
397	398	399	400	401	402
403	404	405	406	407	408
409	410	411	412	413	414
415	416	417	418	419	420
421	422	423	424	425	426
427	428	429	430	431	432
433	434	435	436	437	438
439	440	441	442	443	444
445	446	447	448	449	450
451	452	453	454	455	456
457	458	459	460	461	462
463	464	465	466	467	468
469	470	471	472	473	474
475	476	477	478	479	480
481	482	483	484	485	486
487	488	489	490	491	492
493	494	495	496	497	498
499	500	501	502	503	504
505	506	507	508	509	510
511	512	513	514	515	516
517	518	519	520	521	522
523	524	525	526	527	528
529	530	531	532	533	534
535	536	537	538	539	540
541	542	543	544	545	546
547	548	549	550	551	552
553	554	555	556	557	558
559	560	561	562	563	564
565	566	567	568	569	570
571	572	573	574	575	576
577	578	579	580	581	582
583	584	585	586	587	588
589	590	591	592	593	594
595	596	597	598	599	600
601	602	603	604	605	606
607	608	609	610	611	612
613	614	615	616	617	618
619	620	621	622	623	624
625	626	627	628	629	630
631	632	633	634	635	636
637	638	639	640	641	642
643	644	645	646	647	648
649	650	651	652	653	654
655	656	657	658	659	660
661	662	663	664	665	666
667	668	669	670	671	672
673	674	675	676	677	678
679	680	681	682	683	684
685	686	687	688	689	690
691	692	693	694	695	696
697	698	699	700	701	702
703	704	705	706	707	708
709	710	711	712	713	714
715	716	717	718	719	720
721	722	723	724	725	726
727	728	729	730	731	732
733	734	735	736	737	738
739	740	741	742	743	744
745	746	747	748	749	750
751	752	753	754	755	756
757	758	759	760	761	762
763	764	765	766	767	768
769	770	771	772	773	774
775	776	777	778	779	780
781	782	783	784	785	786
787	788	789	790	791	792
793	794	795	796	797	798
799	800	801	802	803	804
805	806	807	808	809	810
811	812	813	814	815	816
817	818	819	820	821	822
823	824	825	826	827	828
829	830	831	832	833	834
835	836	837	838	839	840
841	842	843	844	845	846
847	848	849	850	851	852
853	854	855	856	857	858
859	860	861	862	863	864
865	866	867	868	869	870
871	872	873	874	875	876
877	878	879	880	881	882
883	884	885	886	887	888
889	890	891	892	893	894
895	896	897	898	899	900
901	902	903	904	905	906
907	908	909	910	911	912
913	914	915	916	917	918
919	920	921	922	923	924
925	926	927	928	929	930
931	932	933	934	935	936
937	938	939	940	941	942
943	944	945	946	947	948
949	950	951	952	953	954
955	956	957	958	959	960
961	962	963	964	965	966
967	968	969	970	971	972
973	974	975	976	977	978
979	980	981	982	983	984
985	986	987	988	989	990
991	992	993	994	995	996
997	998	999	1000	1001	1002
1003	1004	1005	1006	1007	1008
1009	1010	1011	1012	1013	1014
1015	1016	1017	1018	1019	1020
1021	1022	1023	1024	1025	1026
1027	1028	1029	1030	1031	1032
1033	1034	1035	1036	1037	1038
1039	1040	1041	1042	1043	1044
1045	1046	1047	1048	1049	1050
1051	1052	1053	1054	1055	1056
1057	1058	1059	1060	1061	1062
1063	1064	1065	1066	1067	1068
1069	1070	1071	1072	1073	1074
1075	1076	1077	1078	1079	1080
1081	1082	1083	1084	1085	1086
1087	1088	1089	1090	1091	1092
1093	1094	1095	1096	1097	1098
1099	1100	1101	1102	1103	1104
1105	1106	1107	1108	1109	1110
1111	1112	1113	1114	1115	1116
1117	1118	1119	1120	1121	1122
1123	1124	1125	1126	1127	1128
1129	1130	1131	1132	1133	1134
1135	1136	1137	1138	1139	1140
1141	1142	1143	1144	1145	1146
1147	1148	1149	1150	1151	1152
1153	1154	1155	1156	1157	1158
1159	1160	1161	1162	1163	1164
1165	1166	1167	1168	1169	1170
1171	1172	1173	1174	1175	1176
1177</					

Tabla 6. Datos de Entrada del Modelo. Opción Calibración.

RIO TURBIO EN SAN MIGUEL EDO. LARA												Nombre		
1	1	1	1	1	64	68	1	1	Opciones		Entradas	Salidas		
6	2	48	5	3	3	5	5	14.000	4.983		A(L)			
141.0	117.0	113.0	91.0	54.0	72.0	72.0	50.0	46.0	63.0	39.0	0.4			
38.0	142.0	152.0	127.0	41.0	59.0	74.0	137.0	40.0	15.0	5.0	25.0			
92.0	69.0	210.0	83.0	97.0	93.0	63.0	153.0	106.0	75.0	0.2	52.0			
96.0	156.0	167.0	140.0	117.0	48.0	46.0	74.0	41.0	42.0	14.0	15.0			
52.0	88.0	101.0	68.0	114.0	47.0	29.0	16.0	34.0	17.0	37.0	0.0			
18.0	117.0	54.0	61.0	59.0	36.0	125.0	41.0	21.0	4.0	5.0	7.0			
63.0	32.0	187.0	89.0	55.0	61.0	95.0	191.0	116.0	11.0	0.0	30.0			
108.0	89.0	63.0	54.0	45.0	37.0	46.0	65.0	22.0	4.0	10.0	8.0			
49.0	87.0	110.0	82.0	10.0	27.0	35.0	18.0	15.0	28.0	35.0	2.0			
11.0	100.0	44.0	42.0	55.0	21.0	171.0	50.0	23.0	5.0	13.0	4.0			
61.0	25.0	179.0	78.0	22.0	46.0	124.0	123.0	82.0	17.0	1.0	34.0			P.E(I, I)
74.0	95.0	41.0	50.0	42.0	54.0	67.0	65.0	15.0	5.0	22.0	1.0			
132.0	159.0	159.0	133.0	70.0	106.0	71.0	74.0	50.0	10.0	64.0	1.0			
35.0	148.0	192.0	208.0	65.0	79.0	159.0	100.0	27.0	17.0	4.0	20.0			
86.0	90.0	343.0	149.0	71.0	127.0	59.0	185.0	56.0	20.0	1.0	41.0			
166.0	193.0	156.0	123.0	192.0	72.0	97.0	97.0	52.0	25.0	12.0	20.0			
86.0	132.0	160.0	129.0	42.0	77.0	50.0	34.0	41.0	42.0	51.0	0.0			
32.0	181.0	146.0	166.0	55.0	76.0	188.0	25.0	33.0	13.0	3.0	14.0			
103.0	77.0	300.0	153.0	40.0	126.0	97.0	156.0	69.0	20.0	1.0	37.0			
130.0	164.0	138.0	97.0	130.0	71.0	100.0	37.0	60.0	5.0	12.0	5.0			
103.0	128.0	156.0	124.0	43.0	32.0	51.0	57.0	32.0	43.0	32.0	1.0			
29.0	192.0	146.0	194.0	48.0	89.0	153.0	38.0	24.0	9.0	3.0	22.0			
101.0	67.0	95.0	142.0	86.0	154.0	133.0	173.0	121.0	15.0	1.0	63.0			
132.0	148.0	155.0	143.0	157.0	80.0	107.0	44.0	63.0	22.0	0.0	9.0			
0.228	0.000	0.000	0.000	0.615	0.000	0.157	0.000	0.157	0.000	0.000	0.000			
0.000	0.102	0.000	0.000	0.000	0.114	0.734	0.000	0.734	0.000	0.000	0.000			
0.000	0.461	0.104	0.000	0.000	0.006	0.439	0.000	0.439	0.000	0.000	0.000			
0.000	0.312	0.017	0.000	0.000	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
0.000	0.035	0.895	0.000	0.000	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
126.0	148.0	124.0	134.0	151.0	154.0	145.0	124.0	117.0	133.0	172.0	239.0			
170.0	130.0	107.0	143.0	195.0	150.0	179.0	122.0	156.0	209.0	154.0	213.0			
168.0	177.0	159.0	137.0	172.0	157.0	158.0	104.0	95.0	120.0	144.0	143.0			
120.0	131.0	124.0	130.0	149.0	139.0	135.0	137.0	149.0	155.0	153.0	161.0			
74.0	119.0	70.0	91.0	124.0	130.0	102.0	85.0	51.0	62.0	104.0	144.0			
118.0	100.0	81.0	108.0	140.0	159.0	123.0	93.0	115.0	133.0	127.0	147.0			
141.0	138.0	116.0	115.0	167.0	112.0	134.0	77.0	71.0	135.0	117.0	111.0			
94.0	126.0	127.0	139.0	143.0	150.0	146.0	106.0	46.0	120.0	135.0	146.0			
0.000	1.000	1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
2.331		1.650		6.375		10.440		3.234		4.760				
3.098		2.845		1.890		1.884		1.747		0.707				
0.606		6.065		19.794		14.370		5.418		5.376				
7.986		9.034		3.639		1.921		0.762		0.603				
1.216		1.934		11.107		11.605		7.870		9.514				
5.817		9.281		9.381		3.525		1.205		1.271				
2.051		9.741		27.845		21.047		14.788		6.051				
5.510		4.554		3.890		1.551		1.276		0.819				
0	0	2	0	2										
0	0	0	0	0										
0	0	0	0	0										
1	2	0	0	0										
0	0	0	0	0										
3	4	0	0	0										
32.00	2.00	25.00	26.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.10						
0.60	0.05	0.85	0.05	0.02	0.05	0.02	0.90	0.10						
32.00	2.00	28.00	29.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.10						
0.60	0.10	0.85	0.05	0.05	0.05	0.05	0.90	0.10						
35.00	2.00	29.00	30.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
0.70	0.15	0.70	0.60	0.15	0.05	0.15	0.85	0.25						
32.00	2.00	26.00	27.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
0.60	0.10	0.80	0.05	0.06	0.02	0.05	0.85	0.15						
43.00	0.50	36.00	37.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
0.75	0.35	0.72	0.70	0.08	0.05	0.05	0.65	0.35						

Entradas por Subcuenca

CAPITULO IV
APLICACION DEL MODELO A UNA CUENCA VERTIENTE

Generalidades

Se pretende con el modelo hidrológico propuesto, estimar la escorrentía mensual de una cuenca pequeña. De esta manera se espera adquirir un mayor conocimiento del modelo y, a la vez, experiencia en su manejo, con el fin de poder utilizarlo en el futuro quizás con algunas modificaciones, en otras cuencas donde pueda ser de utilidad en el proceso de la planificación de los recursos hídricos.

Criterios para la Selección de la Cuenca

La cuenca seleccionada debe cumplir algunas condiciones, a fin de que pueda obtenerse un máximo de conclusiones aprovechables para su implementación definitiva. Por lo tanto, se consideraron los siguientes aspectos al seleccionar la cuenca:

1. Disponibilidad de suficientes registros hidroclimáticos aceptables, con el fin de disponer de buenos datos de entrada para el modelo.
2. Tamaño de la cuenca inferior a 300 Km². Debido a que el modelo se ha desarrollado para cuencas relativamente pequeñas.
3. Sistema físico relativamente sencillo. En virtud de no complicar, en esta etapa inicial, las formulaciones teóricas del modelo.

Cuenca Seleccionada

Una cuenca vertiente que cumple de manera satisfactoria con las condiciones anteriormente enumeradas, es la cuenca del Río Turbio hasta la estación San Miguel. La Figura 15 muestra los límites de la cuenca y la ubicación de las estaciones climáticas e hidrométrica; presentándose en la Figura 16 la subdivisión en subcuencas así como la red de Thiessen dibujada sobre las mismas.

Localización

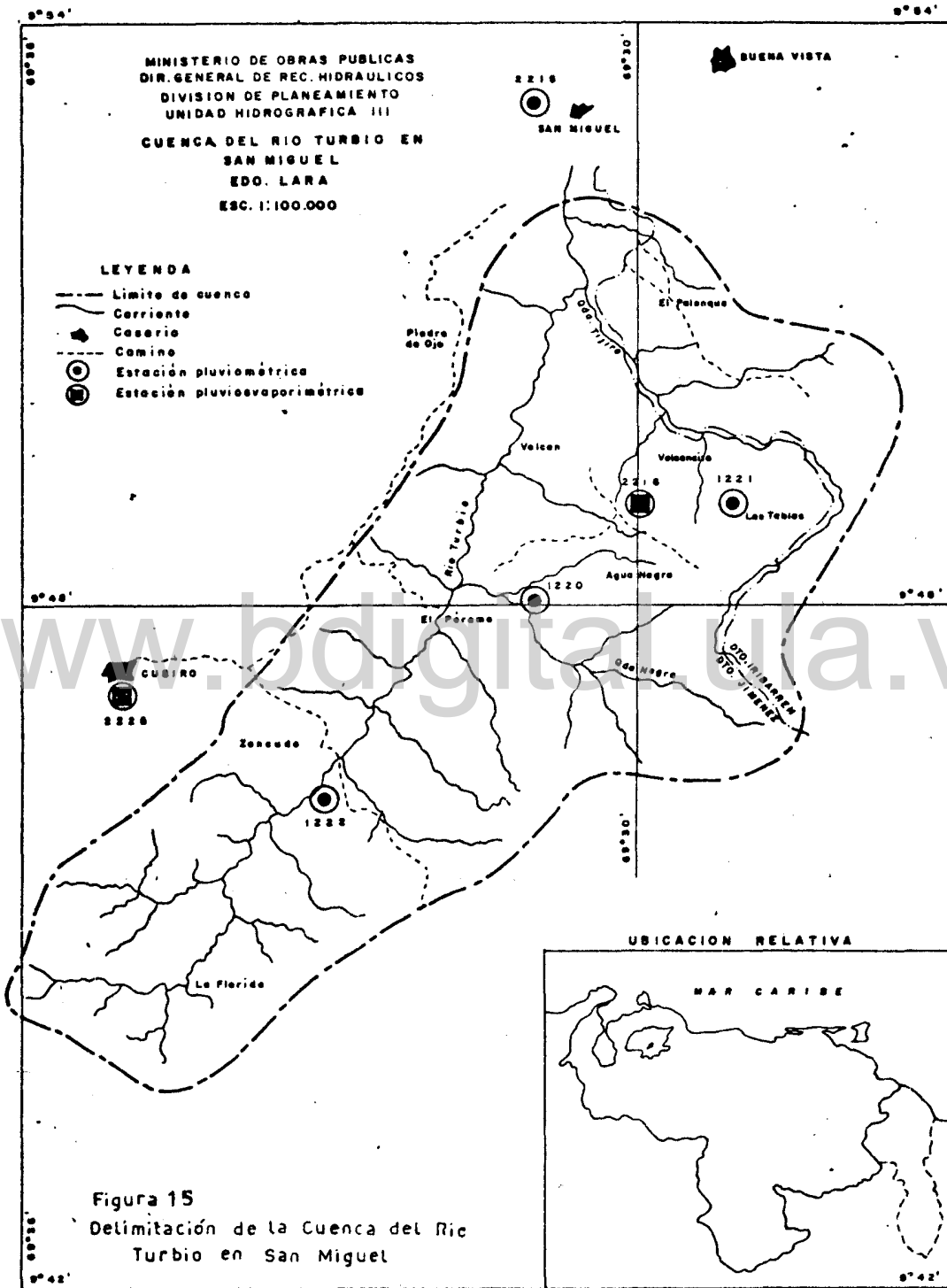
La cuenca del Río Turbio hasta la estación San Miguel está localizada aproximadamente, entre los 9° 42' y 9° 52' latitud norte y entre los 69° 27' y 69° 36' longitud oeste. Está totalmente incluida en el Estado Lara de la República de Venezuela.

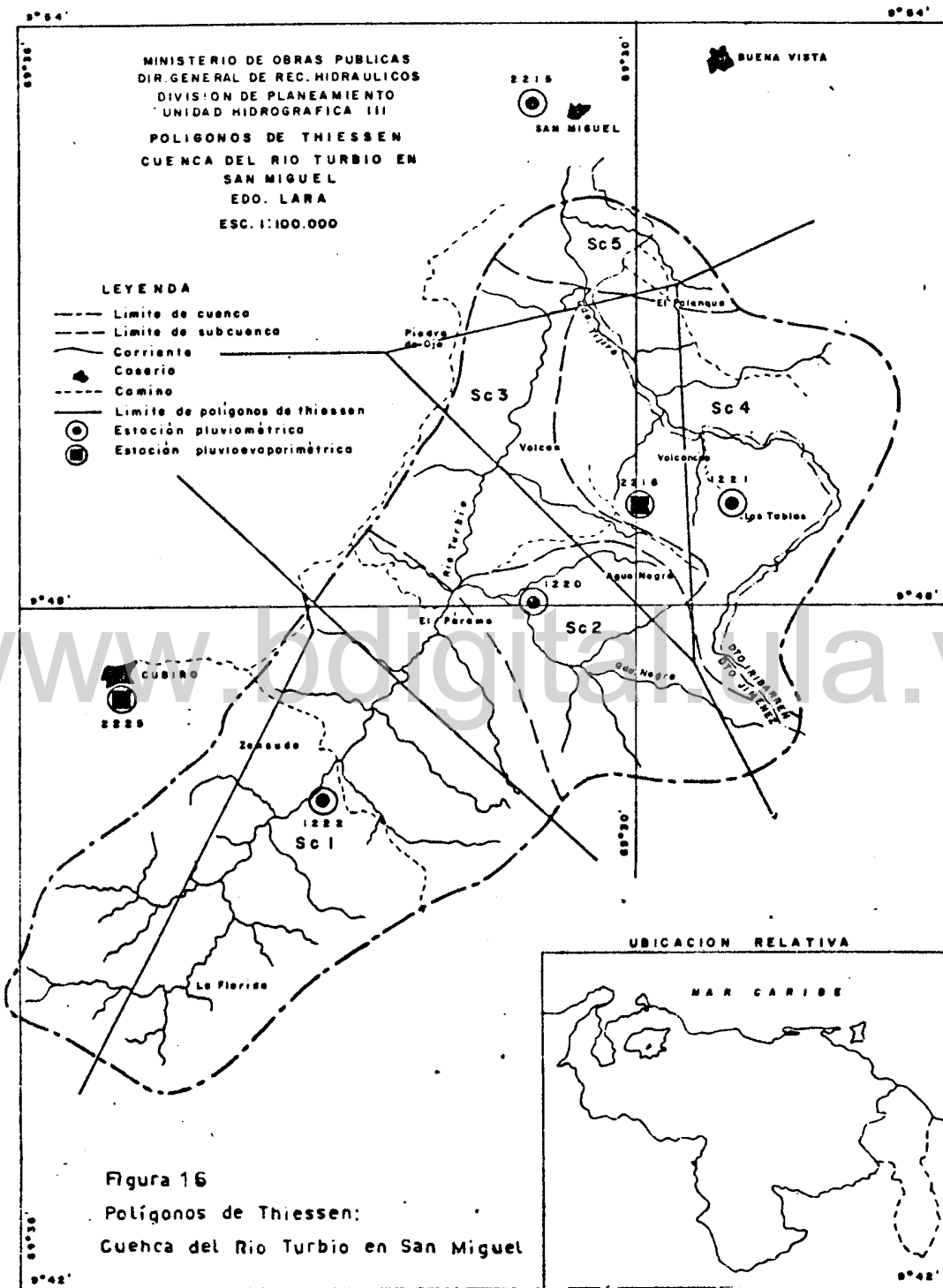
Características

Tiene un área de aproximadamente 108 Km² y se encuentra incluida totalmente entre las últimas estribaciones de la Cordillera de Los Andes, hacia la región Centro Occidental de Venezuela. Las actuales formaciones orográficas de la cuenca se formaron en el Mioplioceno, siendo las máximas alturas encontradas inferiores a 2000 m.s.n.m. (Vila, 1966). El río nace en el cerro La Triguera, situado al este de la población de Sanare, Edo. Lara; toma rumbo SW - NE, siendo el valle de relativamente poca anchura (Vila, 1966).

Uso Actual de la Tierra

Se encuentra con escaso desarrollo agropecuario y ningún





desarrollo industrial. El principal cultivo es la papa, realizándose bajo condiciones de secano en su mayoría. En cuanto a cría, se observan rebaños pequeños de bovinos, caprinos y ovinos atendidos con escaso nivel de tecnificación.

Información Hidroclimática

La información hidrometeorológica que requiere el modelo de simulación hidrológica desarrollado en el presente trabajo se refiere a los registros mensuales de precipitación, evaporación y escorrentía en la cuenca bajo estudio.

Los registros hidroclimáticos se obtuvieron de las publicaciones de la División de Hidrología de la Dirección General de Recursos Hidráulicos del Ministerio de Obras Públicas y del Instituto Nacional de Obras Sanitarias.

Recopilación de la Información

Para el desarrollo de cualquier análisis hidrológico, el primer paso a realizar, es la recopilación de la información existente al respecto. Debido a las características del modelo, toda la información hidroclimática se recopiló a nivel mensual.

Se revisó y ordenó toda la información de interés para el estudio, publicada y no publicada, que se pudo obtener en las oficinas de las instituciones competentes para ello en la región como son: la División de Hidrología de la Unidad Hidrográfica III del Ministerio de Obras Públicas y la sección de Ingeniería de la Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental, FUDE-

Tabla 7. Relación de Estaciones Hidrometeorológicas en el Área de la Cuenca del Río Turbio en San Miguel y Longitud de Registros Obtenidos.

NOMBRE	Localización		Altitud m.s.n.m.	Registro Mensual	Instituto
	Lat. Norte	Long. Oeste			
I. Estaciones Hidrométricas.					
1. Turbio en San Miguel.					
	09° 51'	69° 30'		Abril 1964 - Marzo 68	INOS
II. Este. Climáticas.					
A. Pluviométricas					
1. Arua Negra	09° 43'	69° 31'	1220 300	1964 - 1975	INOS
2. Las Tablas	09° 49'	69° 29'	1221 ---	1964 - 1971	INOS
3. El Zancudo	09° 46'	69° 34'	1222 ---	1964 - 1975	INOS
4. San Miguel #	09° 51'	69° 33'	2215 1097	1962 - 1975	MOP
5. San Miguel	09° 49'	69° 30'	2216 820	1958 - 1975	INOS.
6. Cubiro #	09° 47'	69° 35'	2225 1502	1951 - 1975	MOP
B. Evaporación					
1. San Miguel	09° 49'	69° 30'	2216 820	1965 - 1972	INOS
2. Cubiro #	09° 47'	69° 35'	2225 1502	1961 - 1975	MOP

Estaciones situadas fuera de la cuenca pero muy próximas a ella.

CO.

La información recopilada fue de tipo pluviométrica, evaporimétrica y fluviométrica; obteniéndose en todos los casos los registros mensuales existentes. En la Tabla 7 se encuentran las estaciones seleccionadas para la cuenca, así como la longitud de los registros recopilados.

Análisis de los Datos Hidrometeorológicos

En los estudios de simulación de sistemas hidrológicos, los registros de precipitación, evaporación y escorrentía imponen limitaciones serias al resultado esperado ya que, pequeños errores en los datos observados, pueden introducir desviaciones considerables en los valores de los parámetros, debido a la dependencia de la salida del modelo y de los valores de sus parámetros con respecto a dichos datos (Uzcátegui y Amisial, 1971).

Se puede dudar de la confiabilidad de los registros hidroclimáticos disponibles, debido a la falta de homogeneidad y consistencia de los mismos. El origen de esta condición se debe a un cambio de las condiciones climáticas de la cuenca y/o fallas en la instalación, mantenimiento y lectura de los instrumentos de medición hidroclimática.

En vista de la importancia que tiene el conocimiento del grado de confiabilidad de los registros hidroclimáticos disponibles surge la necesidad de realizar el análisis sistemático de los mismos, para efectuar las correcciones necesarias a los mismos, siempre que sea posible según las normas establecidas en dichos análisis.

sis.

El análisis de los registros hidroclimáticos, sirve de gran ayuda para seleccionar tanto las estaciones, como los períodos de registros a utilizar en todas las fases siguientes de un estudio hidrológico. Dicho análisis contempla consideraciones acerca de la homogeneidad, consistencia y calidad de los datos.

Para discriminar entre causas naturales o artificiales de la variación de los datos o para identificar falta de uniformidad, se debe disponer de alguna otra serie de observaciones que sirva como patrón de comparación. Por esta razón, las pruebas de homogeneidad y consistencia de los registros hidroclimáticos, solo se pueden realizar cuando existen estaciones que son confiables y cuyos registros pueden servir de base a dichas pruebas, las cuales se denominan estaciones patrón.

Método de Análisis

Se utilizó el método conocido como "curva doblemente másica" para determinar tanto el tiempo en el cual las observaciones dejaron de ser consistentes como la magnitud del cambio ocurrido. Con este método se prueba la regularidad del registro de una estación, comparando su precipitación media anual acumulada con los valores correspondientes de la media acumulada de las estaciones patrón. Al graficar dichos valores debe obtenerse una línea recta siempre que no exista inconsistencia, de lo contrario se produce un cambio de pendiente en la línea. Según Brunet-Moret (1971) un registro se

considera inconsistente, cuando es notable la distancia que existe, con respecto a la recta doblemente másica, entre las paralelas a ella trazadas en forma tal que pasen por el punto de mayor dispersión, tanto encima como debajo de la misma.

Procedimiento

En primer término se realizó la selección de las estaciones patrón. Se utilizó el criterio de elegir aquellas estaciones ubicadas cerca de los centros poblados y con períodos de registro relativamente largos; ya que se piensa que son las que tienen un mejor mantenimiento, lecturas más regulares y por consiguiente registros más confiables. Se efectuó la prueba de consistencia del grupo de estaciones seleccionadas, comprobando la consistencia de cada una con respecto al resto. Al encontrar inconsistencia en alguna de ellas, se procedió a su eliminación como estación patrón. En el anexo 4 se muestran las curvas doblemente másicas para las estaciones de la cuenca, con el ajuste propuesto, según el criterio de Brunet - Moret (1971).

Extensión de Registros

Para la extensión de registros se utiliza en el presente estudio, la ecuación de regresión polinomial de grado 2, en virtud de que se obtiene un coeficiente de correlación más alto entre las variables. Se utilizó para tal fin el programa RECOMUL preparado por la Empresa Regional de Computación, el cual se encuentra en el banco de programas de la misma.

Se siguió el procedimiento sugerido por Amisial (1975) para la aceptación o rechazo de una extensión de registros, el cual comienza con la aplicación de la fórmula de Veron:

$$E = 1 + (1 - \frac{k}{n}) \left[\frac{1 - (k - 2) r^2}{(k - 3)} \right]$$

donde

E, eficiente de la estimación;

k, periodo de registros comunes, años;

n, periodo de registros, años;

r^2 , coeficiente de correlación lineal elevado al cuadrado.

Luego se calcula la longitud arectiva del registro extendido, ne , y la ganancia de información, G;

$$ne = \frac{k}{E}$$

$$G = ne - k$$

Si G es mayor que 1 se puede decir que se ganó información y se acepta la extensión del registro, sucediendo lo contrario cuando G es inferior a 1.

Estimación de Datos Faltantes

La estimación de datos faltantes se realiza por dos métodos diferentes: Método de las razones y método de porcentajes mensuales del total anual.

Método de las Razones. Se aplicó siguiendo el procedimiento sugerido por Uzcátegui (1976) y se explica a continuación.

Suponga que $i = 1, 2, 3, \dots, n$, es la denominación de los meses o periodos de datos faltantes; N_i el promedio mensual del re-

gistro a lo largo del período; X_i el dato faltante, esto es, el subíndice j denominado todos los doce meses del año distintos a i y p es el promedio anual para todo el registro existente.

Con esto en mente, se plantea una ecuación para cada dato faltante, resultando para n datos faltantes un sistema de n incógnitas, teniendo cada una de las ecuaciones la siguiente forma:

$$\frac{\text{Registro faltante durante el mes } i \text{ del año en estudio}}{\text{Promedio del registro durante el mes } i \text{ para todos los años del registro.}} = \frac{\text{Suma de todos los registros mensuales del año en estudio}}{\text{Promedio anual para todos los años de registros.}}$$

De acuerdo a esta definición de términos, esta ecuación puede expresarse de la siguiente forma:

$$\frac{X_i}{N_i} = \frac{X_i + X_j}{P}$$

A cada dato faltante le corresponderá una ecuación y, de la solución del sistema simultáneo resultarán los valores deseados.

Este método se usó cuando no existía registro para algunos meses de un período a utilizar y había por lo menos seis meses de registros para el año en consideración.

Porcentajes Mensuales del Total Anual. El método consiste en relacionar el valor acumulado para dos o más meses, con los porcentajes mensuales en relación al total anual. Suponga que A es el

valor acumulado para los meses a y b de un año determinado, siendo α y β los porcentajes correspondientes con relación al total anual de a y b respectivamente. Los estimados para los meses a y b serían, haciendo las relaciones matemáticas correspondientes:

$$a = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} A \quad b = \frac{\beta}{\alpha + \beta} A$$

Este método se utilizó cuando no se tenía el dato individual del registro de uno o varios meses de un año en particular, pero sí se conocía al valor acumulado de los mismos. De esta manera no se pierde una información tomada en campo.

Aplicación de los Métodos Propuestos

A continuación se exponen los resultados obtenidos al procesar la información hidroclimática disponible.

Pruebas de Consistencia. Estas pruebas se realizaron solamente para los registros pluviométricos, no se tuvo a disposición otra serie de registros que sirviese como patrón de comparación.

En cuanto a precipitación, se tomó como patrón a las estaciones San Miguel 2215 y San Miguel 2216, probándose con ellas la consistencia para el resto de las estaciones. Se observa que existe marcada inconsistencia en la estación Cubiro 2225 y ligera inconsistencia en Agua Negra 1220. Para el resto de estaciones de la cuenca se aceptó el registro como consistente. Debido a desconocerse el origen de la inconsistencia en las estaciones Cubiro 2225 y Agua Negra 1220, no se realizó la corrección de los datos en las

mismas.

En cuanto a evaporación en tina, para la cuenca seleccionada existen dos estaciones cuyos registros se pueden utilizar como datos de entrada para el modelo, ellas son: Cubiro 2225 y San Miguel 2216. Se probó la consistencia contra los datos de ellas mismas, es decir, tomándolas como estaciones patrón. Se observa inconsistencia en Cubiro 2225 la cual no se corrige por desconocerse su origen.

Extensión de Registros. Se trató de extender el registro de la estación Cruz Machedena 2221, de forma tal de normalizar su extensión con el resto de estaciones, para así aumentar el número de estaciones pluviométricas con registros disponibles como datos de entrada al modelo. Se probó su correlación con el resto de estaciones, a fin de establecer la relación más conveniente para aplicar la ecuación de regresión polinomial de grado 2, y obtener los datos faltantes.

El coeficiente de correlación más alto fue obtenido entre Cruz Machedena y Las Tablas 1221, siendo igual a 0.88. Al realizar la prueba sugerida por Amisial (1975) para aceptar o rechazar registros, se consiguió que no se obtenía ganancia de información, rechazándose la extensión del registro. Por esta razón no se incluyó la estación Cruz Machedena 2221 para estimar la precipitación promedio en la cuenca seleccionada.

Estimación de Datos Faltantes. Se utilizó el método de las razones para estimar algunos datos faltantes en la estación pluvio-

métrica Cubiro 2225; aplicándose con el mismo fin el método de los porcentajes en la estación San Miguel 2215.

Selección del Período de Aplicación

Se seleccionó el período comprendido desde Abril de 1964 hasta Mayo de 1968, debido a la disponibilidad actual de registros hidrométricos, los cuales son indispensables para la calibración del modelo.

División en Subcuencas

La cuenca se dividió en cinco subcuencas básicamente según criterios topográficos y forma del drenaje. En la Figura 16 se puede observar dicha subdivisión.

CAPITULO V

RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la simulación de escorrentía en la cuenca seleccionada, además de las conclusiones y recomendaciones acerca de la aplicación, uso y mejoramiento del modelo hidrológico propuesto.

Resultados

En esta sección se discuten los resultados obtenidos en cuanto a simulación de escorrentía, parámetros y valores iniciales de algunas variables, generación de datos en pequeñas subcuencas altas y sensibilidad de parámetros.

Simulación de Escorrentía

La Figura 25 muestra de manera gráfica, los volúmenes mensuales simulados y observados a la salida de la cuenca del Río Turbio en San Miguel, para el período comprendido entre Marzo de 1964 y Febrero de 1968. Se puede apreciar que, en general, el modelo no reproduce adecuadamente la escorrentía para los meses en los cuales se registran los mayores volúmenes del período seleccionado, entre ellos: Mayo y Junio de los años 1965 y 1967. Se cree que no se logra un mejor ajuste por no limitarse el volumen máximo de agua subterránea que puede almacenarse en un mes dado; en caso de existir esto se dispondría de mayor cantidad de agua para escurrir, la cual estaría constituida por el exceso sobre el

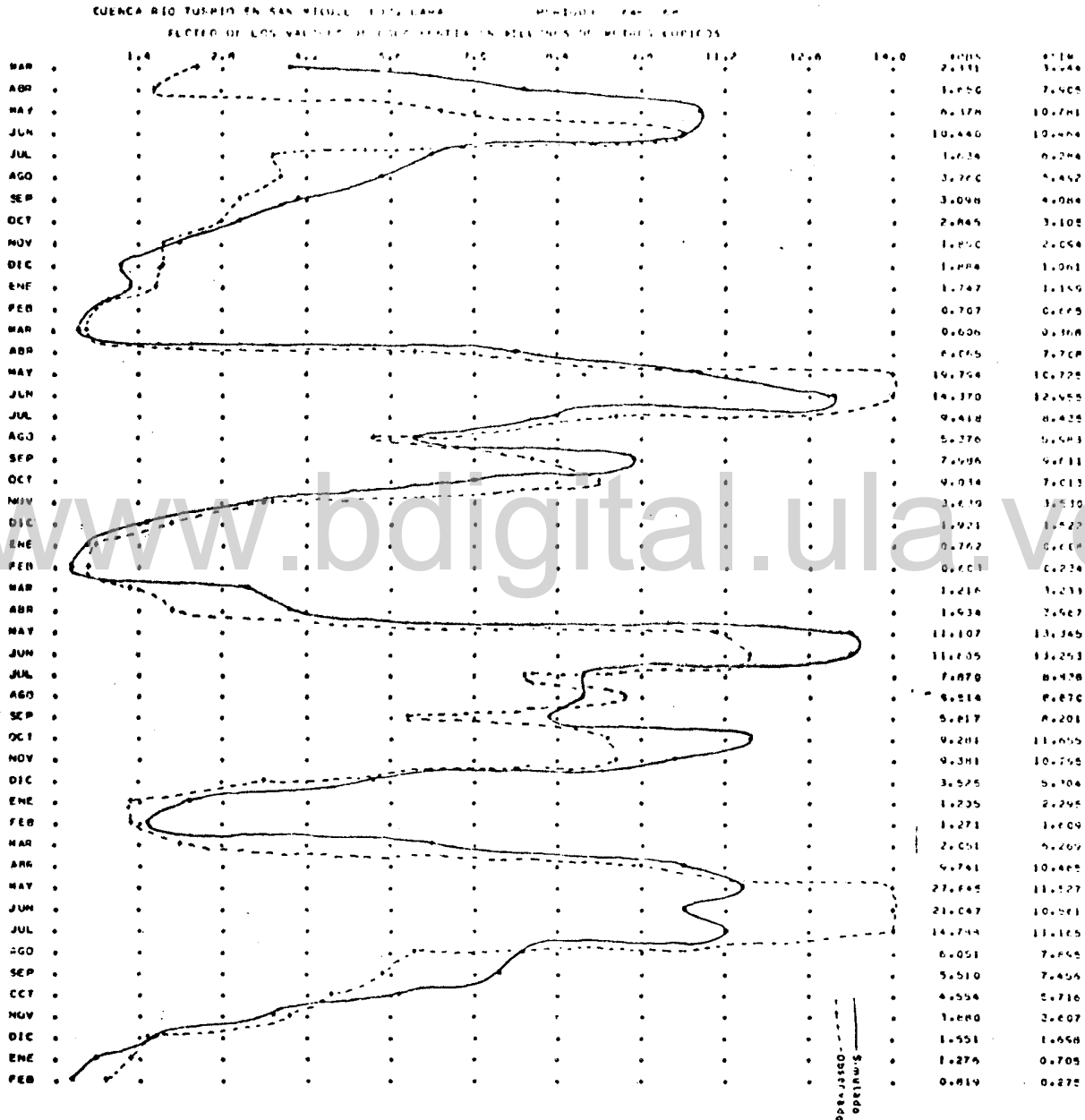


Figura 25 Registros Observados y Simulados a la Salida de la Cuenca.
Salida Substancia Plot 6

máximo volumen almacenable.

En la Figura 26 se puede apreciar los valores de escorrentía observados y simulados a la salida de la cuenca, así como la precipitación promedio caída sobre la misma. Al observar los valores de escorrentía correspondientes a los meses de Mayo y Junio de 1967, se nota que el ajuste de la escorrentía simulada con respecto a la observada es muy poco satisfactoria. De estos valores en particular se piensa que la validez del registro de escorrentía debe aceptarse con reserva, ya que la precipitación promedio caída durante estos meses y los precedentes, no es tan alta como para producir dichos valores. Esta aseveración se corrobora al observar los meses de Mayo y Junio de 1966, en los cuales, aún cuando la precipitación es mayor, la escorrentía observada no alcanza los valores del año 1967, para los meses mencionados.

Los mejores ajustes se lograron durante los meses correspondientes a la estación seca, principalmente Octubre, Noviembre y Diciembre; pudiéndose observar ésto en la Figura 25 ya citada. Además en la Tabla 9 del Apéndice 5 se muestra que, durante estos meses, los valores promedios observados difieren en un porcentaje menor al 5% del promedio de los simulados, corroborándose la afirmación hecha del buen ajuste del modelo para los meses secos.

La estimación del volumen total escurrido a la salida de la cuenca se considera bastante buena, ya que solamente se excedió en un 0.40% con respecto al total observado, mostrándose dichos valores en la Tabla 8 del Apéndice 5.

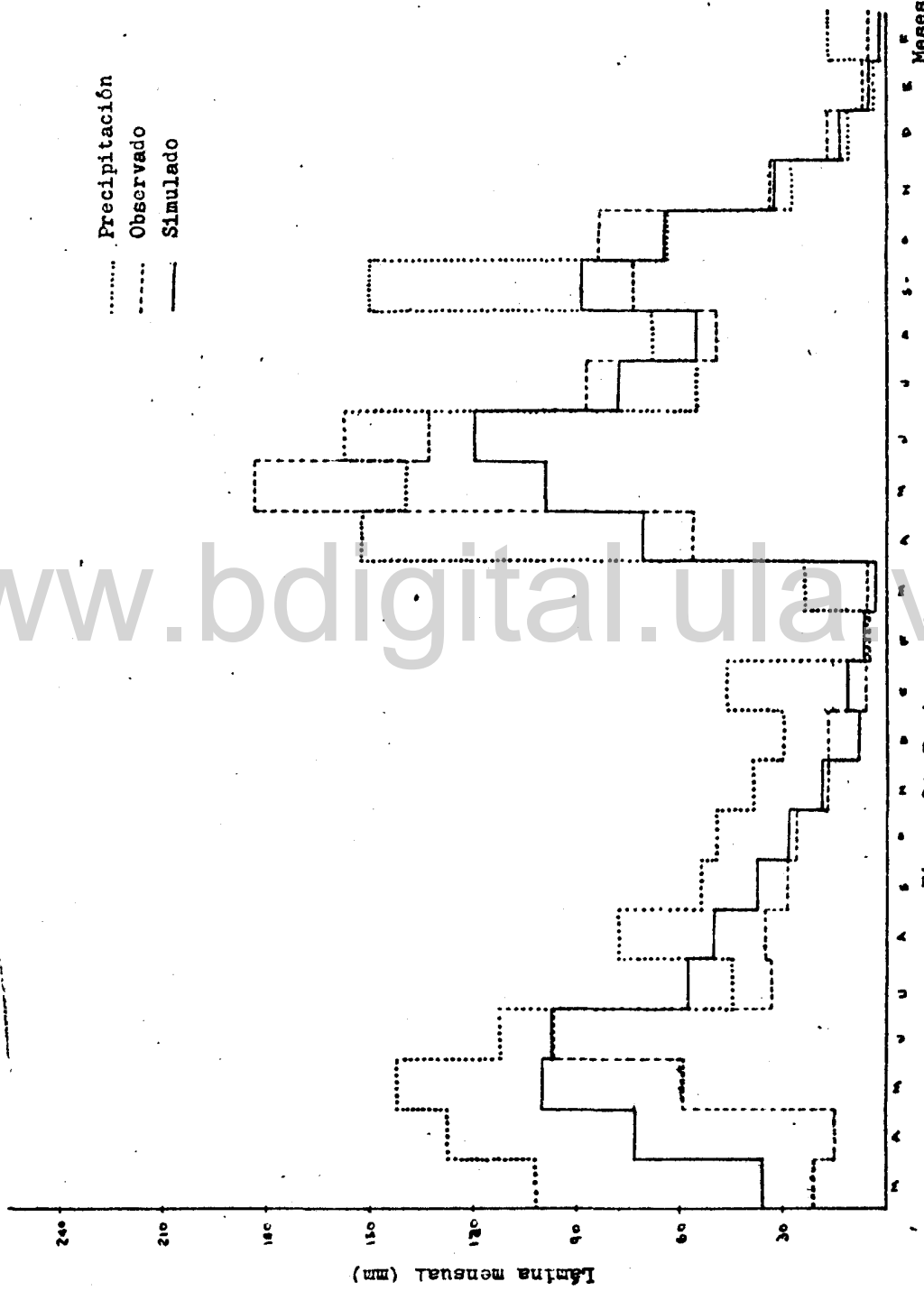


Figura 26. Registros Observados, Simulados y Precipitación

www.bdigital.ula.ve

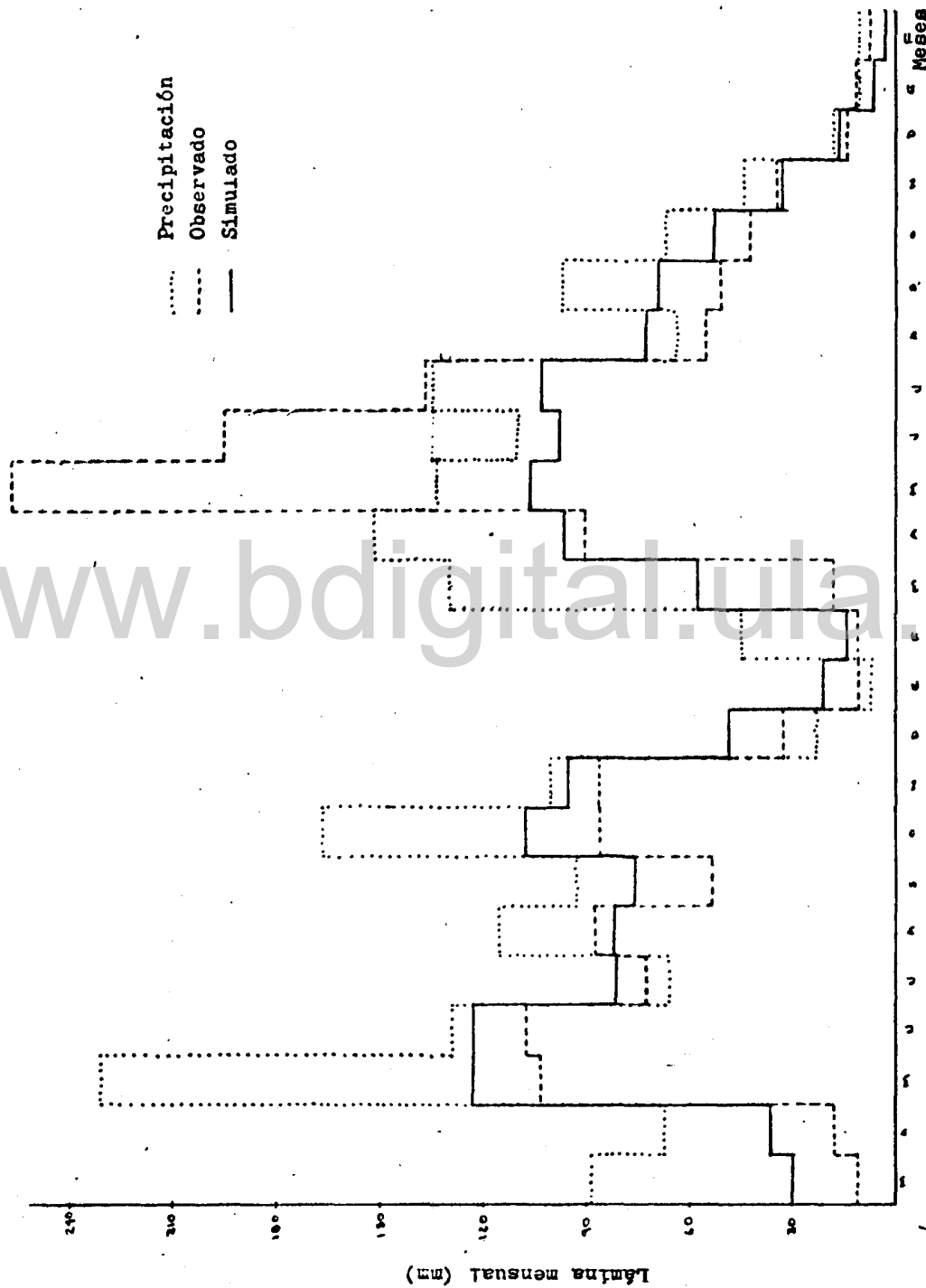


Figura 26. Registros Observados, Simulados y Precipitación. (Continuación)

En las Tablas 10 a 14 del Apéndice 5 se encuentran tabulados los valores simulados para las subcuencas en las que se dividió la cuenca, así como sus promedios mensuales; presentándose dichos valores en forma gráfica en las Figuras 27 a 31 del mismo Apéndice.

Se considera que el ajuste del modelo, logrado para la cuenca del Río Turbio en San Miguel, es satisfactorio; siendo el coeficiente de correlación lineal entre los valores observados y simulados igual a 0.79.

Parámetros y Valores Iniciales de Algunas Variables

En la Tabla 15 se encuentran los valores de los parámetros y variables utilizadas en las diferentes subcuencas en la calibración del modelo.

Para iniciar los valores de CINF, CC y HES se tomó en cuenta no solamente las características del suelo, a partir de la Tabla 2, sino que el valor obtenido de dicha tabla, se modificó de acuerdo a la pendiente y cobertura vegetal inferida del estudio de las fotografías aéreas existentes y del conocimiento de la zona.

Los valores finales con los que se consideró calibrado el modelo fueron, en todas las subcuencas, inferiores a los iniciales aproximadamente en un 50%. No se puede afirmar que los valores finales de estos parámetros, especialmente CINF y CC sean ajustados a la realidad de la cuenca, ya que no existen estudios de sue-

Tabla 15. Valores de los Parámetros y Algunas Variables

NOMBRE	S U B C U E N C I A S									
	1		2		3		4		5	
	VI	VF	VI	VF	VI	VF	VI	VF	VI	VF
CINF	70.0	32.0	66.0	32.0	30.0	35.0	75.0	32.0	80.0	45.0
CC	65.0	26.0	55.0	29.0	75.0	30.0	70.0	27.0	75.0	37.0
HES	55.0	25.0	65.0	28.0	65.0	29.0	60.0	26.0	65.0	36.0
PVOII	150.0	5.0	130.0	5.0	130.0	5.0	130.0	5.0	130.0	5.0
PSROI	2.0	0.1	0.5	0.1	3.0	0.5	2.0	0.1	3.0	0.5
PHSI	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	3.0	0.5
CK3	0.8	0.6	0.8	0.6	0.9	0.7	0.8	0.6	0.8	0.75
C3	0.15	0.05	0.15	0.10	0.20	0.15	0.15	0.10	0.15	0.35
C4	0.30	0.85	0.35	0.85	0.25	0.70	0.30	0.80	0.30	0.72
C5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20	0.60	0.05	0.05	0.15	0.70
C6	0.05	0.02	0.05	0.05	0.20	0.15	0.05	0.06	0.10	0.08
C7	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.02	0.05	0.05
C8	0.05	0.02	0.05	0.05	0.20	0.15	0.05	0.05	0.05	0.05
C9	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.85	0.90	0.90	0.90	0.65
C10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.25	0.10	0.10	0.10	0.35

VI= Valor inicial VF= Valor final

los para la misma que sirvan como patrón de comparación.

El valor final de CK3 o coeficiente de tina osciló entre 0.60 y 0.75 para las subcuencas; siendo en la práctica bastante difícil establecer si es un valor real o irreal debido al gran número de factores que afectan al mismo y a la diversidad de criterios existentes acerca de su valor para un área dada. Lo que realmente se puede considerar como de tipo "caja negra" en este coeficiente, es el hecho de que el modelo considera un valor fijo del mismo para todos los meses, siendo ésto irreal ya que la velocidad de la evapotranspiración es variable a lo largo del año.

El contenido inicial de agua subterránea o PVOII, se estimó siguiendo el procedimiento explicado en el capítulo III. El valor aceptado de PVOII estuvo muy por debajo del estimado al iniciar la fase de calibración, por lo que se piensa que el procedimiento de cálculo empleado no fue el más adecuado; en todo caso se dificulta comprobar si el valor final es real ya que no existe información de aguas subterráneas en la cuenca.

Con referencia a los parámetros C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, PHSI, PSROI, se puede considerar que su comprobación es muy difícil de realizar debido al bajo nivel de información existente sobre la cuenca y a la naturaleza de dichos parámetros.

Sensibilidad de Parámetros

La prueba de sensibilidad de parámetros se realizó para la subcuenca 4 de la cuenca del Río Turbio en San Miguel; utilizándose-

se un período de registros climáticos de dos años. Se probó la sensibilidad de los parámetros C3, C4, C6, CINF, CC y HES; encontrándose graficados los resultados obtenidos en las Figuras 31 al 44 del Apéndice 6.

C3. El volumen total simulado se incrementa a medida que aumenta el valor de C3. Con respecto a los volúmenes mensuales se observa que influye notablemente sobre los valores pico del período lluvioso, encontrándose valores mayores de éstos a medida que aumenta el parámetro. Durante el Período de sequía la respuesta a cambios de valores de C3 no es notoria.

C4. A medida que aumenta este parámetro el volumen total simulado se incrementa linealmente. En cuanto a valores mensuales se observa que a mayores valores del parámetro mayores son los volúmenes simulados para los períodos lluviosos; ocurriendo lo contrario para los períodos secos.

C6. En cuanto a este parámetro se puede afirmar que a menor valor del mismo mayor es el volumen mensual escurrido para todo el período, y por consiguiente el efecto sobre los volúmenes totales escurridos es similar.

C7. Se produce una disminución del volumen total simulado a medida que aumenta el valor de C7 al generar volúmenes mensuales y se observa una disminución en los valores pico. En los períodos de sequía se nota que el volumen mensual simulado baja cuando el valor de C7 es mayor.

CC. Incrementos del valor de CC originan una disminución

en el volumen mensual simulado, no existe respuesta del modelo a cambios del parámetro para los cuatro primeros meses del período seleccionado; a partir del quinto mes para incrementos de CC se produce una disminución del volumen mensual simulado. Se observa entre el mes 5 y el mes 12 que valores de CC iguales a 202, 182 y 154 originan idéntica respuesta del modelo para la subcuenca bajo estudio.

CINF. El volumen total simulado disminuye a medida que aumenta el valor de CINF. Con relación al volumen mensual simulado, incrementos en el valor de CINF ocasionan disminución de la escorrentía superficial para el período de lluvias; ocurriendo lo contrario en el período seco.

HES. Incrementos en el valor de HES producen un mayor volumen total simulado. En el período lluvioso al aumentar HES se incrementa el volumen mensual escurrido.

Generación de Datos

En la Tabla 16 y 17 se presentan los registros generados para los sectores La Florida y Quebrada Negra de las subcuencas 1 y 2 respectivamente.

Con esta aplicación del modelo posterior a la calibración, se pueden obtener registros hidrométricos de pequeñas subcuencas dentro de la cuenca. El grado de confiabilidad de estos valores depende del ajuste logrado durante la calibración y de la calidad de la información disponible con la que se estimó el valor de los

3
 TABLA 16. GENERACIÓN DE REGISTROS DE ESCORRENTÍA. SECTOR LA FLORIDA. SUBCUENCA I

MODELO DE SIMULACION HIDROLOGICA

SURCUENCA I

REGISTROS SIMULADOS

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
64	-0.000	-0.000	1.056	1.337	1.364	1.094	0.460	0.739	0.487	0.464	0.251	0.025
65	0.290	0.030	0.053	1.535	1.654	1.776	0.516	0.497	1.203	0.914	0.106	0.011
66	0.002	0.001	0.010	0.613	2.981	1.384	0.626	0.573	0.441	1.555	0.916	0.111
67	0.011	0.151	1.262	1.702	1.477	1.133	1.565	0.525	0.741	0.722	0.265	0.027
68	0.003	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
PROME	0.076	0.046	0.557	1.292	1.879	1.347	0.792	0.663	0.718	0.925	0.365	0.044

3
 ***VALORES DE ESCORRENTIA EN MILLONES DE METROS CUBICOS

***-0.000 SIGNIFICA REGISTRO AC SIMULADO

TABLA 17 • GENERACIÓN DE REGISTROS DE ESCORRENTÍA. SECTOR QUEBRADA NEGRA • SUBSECUENCIA 2

MODELO DE SIMULACION HIDROLOGICA

SUBSECUENCIA 2

REGISTROS SIMULADOS

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
64	-0.000	-0.000	0.609	0.932	1.213	0.944	0.177	0.454	6.208	0.199	0.034	0.015
65	0.029	0.004	0.001	1.415	1.179	1.485	0.307	0.479	1.193	0.160	0.016	0.002
66	0.000	0.000	0.617	0.276	0.935	1.091	0.531	1.087	0.972	1.402	0.854	0.089
67	0.009	0.234	0.930	1.148	1.172	1.629	1.154	0.521	6.730	0.218	0.135	0.014
68	0.001	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
PROME	0.010	0.059	0.431	0.969	1.115	1.132	0.892	0.635	6.776	0.495	0.270	0.030

***VALORES DE ESCORRENTIA EN MILLONES DE METROS CUBICOS

***-0.000 SIGNIFICA REGISTRACION SIMULADA

www.bdigital.ula.ve

parámetros y valores iniciales de algunas variables.

Conclusiones

1. Se implementó para computadora digital el modelo de simulación hidrológica Alto Apure (Uzcátegui y Amisial, 1971), aplicándose el mismo a la cuenca del Río Turbio en San Miguel, Estado Lara.

2. El modelo no simula bien los valores máximos mensuales escurridos para el período seleccionado, siendo en la mayoría de los casos inferiores a los volúmenes registrados.

3. El modelo debe ser aplicado a cuencas pequeñas, cerradas y sin importación o exportación de agua a cuencas vecinas.

4. Cuando no se ha realizado ninguna medición de campo, resulta difícil establecer los valores iniciales de algunas variables que deben ser dadas como entradas al modelo, aumentando el número de tanteos a realizar durante la fase de calibración, para lograr un ajuste aceptable.

5. El modelo considera de manera bastante general en virtud a su escala, los procesos de entrada y salida del agua hacia y desde el suelo; además por existir en la aplicación del modelo realizado en este trabajo, un sólo punto de comprobación de la escorrentía, debe considerarse todos los procesos entre precipitación y su posterior salida como escorrentía, como procesos tipo "caja negra".

Por otro lado las características de los modelos paramétri-

cos de simulación, sólo permiten representar la naturaleza de manera aproximada; no existiendo garantía de que los procesos hidrológicos identificados corresponden a procesos del sistema hidrológico. Tampoco existe la certidumbre de que los valores tomados por las variables involucradas en estos conceptos hidrológicos corresponden a valores reales.

6. De las pruebas de sensibilidad realizadas, se puede concluir que los parámetros que tienen más influencia, para la cuenca seleccionada, sobre la salida del modelo son: CINF, CC, HES, C4 y C5.

Las pruebas de sensibilidad no se pueden considerar como concluyentes del modelo ya que se trata de una sola aplicación del mismo.

7. De la aplicación del modelo a una cuenca de la que existe relativamente poca información, queda demostrado que los modelos de simulación hidrológica pueden ser muy utilizados en el proceso de la planificación y ordenamiento de los recursos hidráulicos.

Recomendaciones

1. Se debe limitar en la formulación teórica la cantidad máxima de agua que se almacena en forma subterránea durante un mes dado.

Con ello se espera lograr un mejor ajuste durante los meses de la estación lluviosa.

2. Sería conveniente a fin de mejorar la simulación de escorrentia, establecer los valores diferentes para los parámetros C3, C4, C5, C6, C7 y C8; un valor para la estación seca y otro para la lluviosa. Con ello se pretende acercar más a la realidad la magnitud de los conceptos hidrológicos que son afectados por dichos parámetros.

3. Mejoramiento de los procedimientos de estimación de CINF, CC, HES, PVOII.

4. Implementar las formulaciones matemáticas del modelo a fin de que se pueda considerar en el mismo aspectos como: la presencia de embalses, áreas agrícolas, exportación e importación de agua de otras cuencas.

5. Mejoramiento del programa de computación empleado, a fin de que se procese en menor tiempo y con menos capacidad de memoria, de manera que resulte menos costoso su uso, además de que pueda introducirse para su ejecución en computadoras de pequeña capacidad de memoria.

6. Comparar la fase de calibración realizada en este trabajo con otra, en la cual la precipitación y evaporación media se hayan calculado por el método de las isoyetas. Esto con el propósito de averiguar la diferencia entre ambos procedimientos en lo que respecta al uso y aplicación del modelo.

7. Seguir estudiando el modelo y su aplicación a las cuencas pequeñas, de forma tal, que se pueda en el futuro desarrollar una formulación teórica más completa, que permita hacer estimacio-

nes para escalas de tiempo menores a la mensual, con el fin de su implementación para resolver problemas hidrológicos y de ingeniería, como son: dimensionamiento de aprovechamientos hidráulicos, estimación de picos de crecida, influencia de embalses sobre el comportamiento de la cuenca y control de inundaciones.

www.bdigital.ula.ve

LITERATURA CITADA

- Amisial, Roger. 1975. Notas de clase. Curso de Hidrología Superficial II. Postgrado en Desarrollo de Recursos de Aguas y Tierras. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, Mérida, Venezuela.
- y Germán Uzcátegui. 1970. Desarrollo y explotación de un modelo matemático del sistema hidrológico del Alto Apure en Venezuela. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida, Venezuela. 27 p.
- Brunet-Moret, Y. 1971. Etude de l'homogénéité de series chronologiques de précipitations annuelles par la méthode des doubles masses. Cah. O.R.S.T.O.M. Ser. Hydrol. Vol VIII. N° 4. France.
- Castany, G. 1971. Tratado práctico de aguas subterráneas. Ediciones Omega. Barcelona, España. 672 p.
- Clarke, R.T. 1973. A review of some mathematical model used in hydrology, with observations on their calibration. Journal of Hydrology 19:1-20.
- Farina, Italo Hilario. 1972. Fortran IV. Curso de programación para computadores digitales. Editorial Universitaria de Buenos Aires. Argentina. 211 p.
- Fleming, George. 1975. Computer simulation techniques in hydrology. Environmental Science Series. ELSEVIER. New York. 333 p.
- García, Eldom. 1975. Adaptación de un modelo de simulación hidrológica con aplicación al cálculo del déficit agrícola. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Desarrollo de Recursos Hidráulicos. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 160 p.
- Hill, Robert W., Eugene K., Israelsen, Leon A., Huber y Paul J., Riley. 1970. A hidrológic model of the Bear River Basin. Utah Water Research Laboratory. College of Engineering. Utah State University. Logan, U.S.A. 85 p.
- Israelsen, Orson W. y Vaughn E., Hansen. 1965. Principios y aplicaciones del riego. Editorial Reverté. Barcelona, España. 396 p.
- Linsley, Ray, Max A., Kohler y Joseph L., Paulhus. 1967. Hidrología para ingenieros. Ediciones Castilla. Madrid, España. 350 p.

- López, Eduardo. 1974. Estudio, diseño y construcción de lagunas. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Recursos Hidráulicos. Dirección de Aprovechamiento. Caracas, Venezuela.
- México, Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1975. Pequeños Almacenes. Plan Nacional de Obras de Riego para el Desarrollo Rural. México, 353 p.
- Norero, Aldo. 1975. Notas multigráficas. Curso de Física de Suelos. Postgrado en Suelos y Riego. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida, Venezuela.
- Olavarrieta, Saulo. 1975. Notas multigráficas. Curso de Hidráulica e Hidrología. Universidad Centro Occidental. Escuela de Agronomía. Barquisimeto, Venezuela.
- Peña, Gonzalo. 1973. Simulación hidrológica para la predicción de datos de escorrentía en la cuenca del Río Torbes mediante la computadora IBM 360/40. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 58 p.
- Porras, Pedro J. 1974. Análisis sobre las relaciones escurrimiento precipitación en periodos mensuales. Revista Ingeniería Hidráulica 19:19-26. Sociedad Venezolana de Ingeniería Hidráulica. Caracas, Venezuela.
- Posewitz, Guido. 1966. Estimación del rendimiento medio anual. Manual de Estudios Preliminares para el Aprovechamiento Integral de Cuencas Hidrográficas. Capítulo II. Parte 2. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Recursos Hidráulicos. Oficina de Planeamiento. Caracas, Venezuela.
- Riley, Paul J., Duane G., Chadwick y Jay M., Bagley. 1966. Application of electronic analog computer to solution of hidrologic and River Basic-Planning problems: Utah Simulation Model II. Utah Water Research Laboratory. College of Engineering. Utah State University. Logan, U.S.A. 129 p.
- , Narayana, V.V. Dhruva and Skhan Kousoums. 1969. Electronic analog computer simulation of the Páez-Pedraza region of Venezuela. Corporación de Los Andes. Mérida, Venezuela. 73 p.
- Uzcátegui, Germán. 1976. Notas multigráficas. Curso de Hidrología Superficial I. Postgrado en Desarrollo de Recursos de Aguas y Tierras. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida, Venezuela.

- y Amisial, Roger. 1971. Análisis de sistemas de recursos hidráulicos mediante simulación en computadoras híbridas. I Jornadas Venezolanas de Computación. ULA-CIDIAT. Mérida, Venezuela. 51 p.
- Venezuela, Ministerio de Obras Públicas. 1973. Lagos colinarios. Traducción de "Retenues collinaires", Ministère de L' Agriculture. France. Dirección General de Recursos Hidráulicos. Oficina de Planeamiento. Caracas, Venezuela. 153 p.
- Vila, Marco Aurelio. 1966. Aspectos geograficos del estado Lara. Serie de Estudios Estatales. Corporacion Venezolana de Fomento. Unidad de Estudios Generales. Caracas, Venezuela. 270 p.
- Villareal G., Américo, A., Monobe G. y H.G., Morales. 1974. Instructivos para proyectos de pequeños almacenamientos en cortinas de tierra. III Seminario Latinoamericano de Irrigación. México. Reproducido por el Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Recursos Hidráulicos. Caracas, Venezuela. 43 p.

www.bdigital.ula.ve

APENDICE 1

LISTADO DEL PROGRAMA DE COMPUTACION

www.bdigital.ula.ve


```

0006 KS= INDICADOR DE OPCION PLOTEO
0007 LCONT= INDICADOR DEL MES DE FINALIZACION DE REGISTROS HIDROMETEOROLOGICOS
0008
0009
0010 NANO= NUMERO DE ANOS
0011 NC= NUMERO DE SUBCUENCAS
0012 M= INDICADOR DE OPCION DE CALCULO DE LA EVAPORACION MEDIA FOR
0013 LA SUBROUTINA PREEVA
0014 NC= NUMERO DE SUBCUENCAS
0015 NMES= NUMERO DE MESES
0016 NEPR= NUMERO DE ESTACIONES DE PRECIPITACION
0017 NEVAP= NUMERO DE ESTACIONES DE EVAPORACION
0018 PORCE(I,E,L)= ARREGLO QUE CONTIENE LA FRACCION DEL AREA DE CADA
0019 SUBCUENCA INFLUIDA POR CADA ESTACION EVAPORIMETRICA
0020 PORCP(I,E,L)= ARREGLO QUE CONTIENE LA FRACCION DEL AREA DE CADA
0021 SUBCUENCA INFLUIDA POR CADA ESTACION FLUVIOMETRICA
0022
0023 PMAX= VALOR MAXIMO DE ESCURENIA A PL(TEAR
0024 PRE(I,IE)= ARREGLO QUE CONTIENE LOS DATOS DE PRECIPITACION DE LAS
0025 IE ESTACIONES DURANTE LOS I MESES
0026 PREM(I,IE)= ARREGLO QUE CONTIENE LA PRECIPITACION MENSUAL PARA CADA
0027 SUBCUENCA
0028 QBE= FLUJO SUBTERRANEO
0029 SROI= AGUA DISPONIBLE PARA ESCURRIR SUPERFICIALMENTE
0030 V011= VOLUMEN DE AGUA SUBTERRANEA
0031 SPC2= VOLUMEN DE AGUA QUE ESCURRE DURANTE EL MES
0032 SPC3= VOLUMEN DE AGUA RETENIDA
0033
0034 LEC=1
0035 IMP=3
0036 LEC E IMP CORRESPONDEN A LOS CODIGOS DE LECTURA DE TARJETAS
0037 E IMPRESION SOBRE PAPEL, RESPECTIVAMENTE, DEL CENTRO DE COMPU
0038 TACION
0039
0040 READ(LEC,10)C
0041 FORMAT(9A4)
0042 READ(LEC,4)K,K,A,KS,M,K3,LP,LP1,K5,K6,K7
0043 FORVAT(10)A
0044 READ(LEC,5)N,NEPR,NEVAP,NMES,NC,KCONT,L(CONT,NANO),KULTIM,PMAX
0045 FORMAT(8I5,F10.3)
0046 READ(LEC,6)A(L),L=1,NC)
0047 FORMAT(SF10.3)
0048 IF(K,NE,1)GO TO 200
0049
0050 READ(LEC,7)((PRE(I,IE),I=1,NMES),IE=1,NEPR)
0051 READ(LEC,8)((PORCP(IE,L),IE=1,NEPR),L=1,NC)
0052 FORMAT(2F6.1)
0053 IF(M,NE,1)GO TO 205
0054 READ(LEC,7)((EVAP(I,IE),I=1,NMES),IE=1,NEVAP)
0055 READ(LEC,8)((PORCE(IE,L),IE=1,NEVAP),L=1,NC)
0056 GO TO 210
0057 READ(LEC,7)((EVMC(I,L),I=1,NMES),L=1,NC)
0058 CONTINUE
0059
0060
0061
0062
0063
0064
0065
0066
0067
0068
0069
0070
0071
0072
0073
0074
0075
0076
0077
0078
0079
0080
0081
0082
0083
0084
0085
0086
0087
0088
0089
0090
0091
0092
0093
0094
0095
0096
0097
0098
0099
0100
0101
0102
0103
0104
0105
0106
0107
0108
0109
0110
0111
0112
0113
0114
0115
0116
0117
0118
0119
0120
0121
0122
0123
0124
0125
0126
0127
0128
0129
0130
0131
0132
0133
0134
0135
0136
0137
0138
0139
0140
0141
0142
0143
0144
0145
0146
0147
0148
0149
0150
0151
0152
0153
0154
0155
0156
0157
0158
0159
0160
0161
0162
0163
0164
0165
0166
0167
0168
0169
0170
0171
0172
0173
0174
0175
0176
0177
0178
0179
0180
0181
0182
0183
0184
0185
0186
0187
0188
0189
0190
0191
0192
0193
0194
0195
0196
0197
0198
0199
0200
0201
0202
0203
0204
0205
0206
0207
0208
0209
0210
0211
0212
0213
0214
0215
0216
0217
0218
0219
0220
0221
0222
0223
0224
0225
0226
0227
0228
0229
0230
0231
0232
0233
0234
0235
0236
0237
0238
0239
0240
0241
0242
0243
0244
0245
0246
0247
0248
0249
0250
0251
0252
0253
0254
0255
0256
0257
0258
0259
0260
0261
0262
0263
0264
0265
0266
0267
0268
0269
0270
0271
0272
0273
0274
0275
0276
0277
0278
0279
0280
0281
0282
0283
0284
0285
0286
0287
0288
0289
0290
0291
0292
0293
0294
0295
0296
0297
0298
0299
0300

```



```

0062 IF(KS,NE,1)GC TO 366
C LA SUBROUTINA PLOTEO GRAFICA LOS VALORES OBSERVADOS Y SIMULADOS A
0063 LA SALIDA DE LA CUENCA.
0064 CALL PLOTTEO(CS,ESCC,PMAX,NMES,NC,IMP,K(ONT,C,LP,LP1)
0065 CONTINUE
366 IF(K7,NE,1)GC TO 367
C LA SUBROUTINA PLOTEO LOS VALORES SIMULADOS PARA CADA SUB-
C CUENCA EN FORMA INDIVIDUAL. ADEMAS PLOTTEA LOS VALORES SIMULADOS A
C LA SALIDA DE LA CUENCA
0066 CALL PLOTEO(ESC,FMAX,NMES,NC,IMP,KCONT,C,LP,LP1)
0067 CONTINUE
0068 STOP
0069 END

0001 SUBROUTINE PREEVA(PRE,EVAP,PURCP,PORCE,PREM,EVMC,NC,NMES,NEFRE,NEV
1AP,W)
0002 DIMENSION PRE(NMES,NEFRE),EVAP(NMES,NEVAF),FORCP(NEPRE,NC),FORCE(N
1EVAP,NC),PREM(NMES,NC),EVMC(NMES,NC)
C
0003 DO 2000 L=1,NC
C
0004 DO 904 I=1,NMES
0005 SUMAPP=0.
0006 SUMAPE=0.
0007 DO 905 IE=1,NEFRE
0008 IF(PORCP(IE,L).EG.0.)GC TC 906
0009 SUMAPP=PRE(I,IE)*PORCP(IE,L)+SUMAPP
0010 CONTINUE
C
0011 PREM(I,L)=SUMAPP
0012 IF(M,NE,1)GC TC 904
0013 DO 908 IE=1,NEVAP
0014 IF(FORCE(IE,L).EC.0.)GO TO 908
0015 SUMAPE=EVAP(I,IE)*FORCE(IE,L)+SUMAPE
C
0016 CONTINUE
0017 EVMC(I,L)=SUMAPE
0018 CONTINUE
C
0019 DO 2000
0020 CONTINUE
0021 RETURN
0022 END

```

```

0001 SUBROUTINE ESCORR(PREM,EVMC,ESC,NMES,NC,A,AESCO,IMP,KA,KULTIM,LP,L
    IPI,C,LEC)
0002 DIMENSION FLEM(NMES,NC),EVMC(NMES,NC),ESC(NMES,NC),A(NC),C(S)
0003 COMMON/E3/LTRIB(S),IALIM(S,S),GB(48,S),CS(43)
0004 DC 2000 L=1,NC
    C LECTURA DE LOS PARAMETROS Y VALORES INICIALES DE ALGUNAS VARIABLES
    C PARA CADA SUBCUENCA
    C
    C AA Y AS SE UTILIZAN PARA DAR UN VALOR LE FLUJO SUPERFICIAL AFLUEN-
    C TE Y SUBTEFRANEO AFLUENTE CUANDO LA SUCUENCA CONSIDERADA NC TIENE
    C TRIBUTARIOS. PUEDEN IGUALARSE A CERD.
0005 READ(LEC,23)CINF,PFSI,HES,CC,PVOII,AS,AA,PSFOI
0006 FORMAT(8F7.2)
0007 READ(LEC,24)CK3,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10
0008 FORMAT(9F5.2)
    C
    C FACTOR=A(L)/1000.
    C SECI=PSFECI*FACTOR
    C VDII=PVCII*FACTOR
0009 HSI=PFSI
0010 AF5I=0.
0011 ACE=0.
0012 ASR2=0.
0013 ASR1=0.
0014 AESC=0.
0015 IA=LTRIB(L)
0016 DO 504 I=1,NMES
0017 IF(PREM(I,L).GT.CINF)GO TO 2
0018 AINPRE=PREM(I,L)
    C
    C GC TC 20
    C AINPRE=CINF
0019 K=C
0020 IF(HSI.GT.HES)GO TC 4
0021 EV=EVMC(I,L)*CK3*HSI/HES
    C HS=AINPRE+HSI-EV
    C GO TO 22
0022 EV=EVMC(I,L)*CK3
    C HS=AINPRE+HSI-EV
0023 IF(HS.LT.0)HS=0.
0024 IF(K.GT.0)GO TO 6
    C HCS=(HSI+HS)/2.
    C HSI=HSM
    C K=K+1
0025 GO TO 21
0026 IF(HS.GT.CC)GO TO 61
    C GR=0.
    C VGR=0
0027 GO TO 230
0028 GR=HS-CC
0029 HS=CC
0030 VGR=GR*FACTOR
0031 IF(LTRIB(L).GT.0)GO TC 133

```

```

004E FSA=AS*FACTOR
004E FSU=AA*FACTOR
0047 GO TC 400

004E STRIBS=0.
004E STRIGA=0.
0050 DO 503 KI=1,IA
0051 LA=IALIM(KI,LA)
0052 STRIBS=STRIBS+ESC(I,LA)
0053 STRIBA=STRIBA+GB(I,LA)
0054 CONTINUE
0055 FSA=STRIBS
0056 FSU=STRIBA

C 133
0057 FSUB=C3*V011+C4*VGR+CS*FSL
0058 AFSB=AFSB+FSUB
0059 QB(I,L)=C6+VCI1+C7*VGR+C8+FSU
0060 AGE=AGE+QB(I,L)

C
0061 V01=V011+VGR*FSL-FSUB-CB(I,L)
0062 IF(V01,LT,0,C0000001)V01=0.0
0063 SRCI=SRCI+FSA*(PREM(I,L)-A-INFREI)*FACTOR
0064 IF(SR01,LT,C.00000001)SR01=0.0
0065 ASR1=ASR1+SR01
0066 SR02=C9*SR01
0067 ASR2=ASR2+SR02
0068 SRC3=C10*SR01
0069 ESC(I,L)=FSUB*SR02
0070 IF(ESC(I,L),LT,0)ESC(I,L)=0.
0071 AESC=ESC(I,L)+AESC
0072 IF(L,EG,KULTIM)CS(I)=ESC(I,L)
0073 HSI=HS
0074 V011=VCI
0075 SRCI=SRC3
0076 CONTINUE

C 333
0077 IF(L,NE,KULTIM)GO TO 333
0078 WRITE(IMP,359)C,LP,LP1,CK3,CK3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,CINF,PHSI,HES,
0079 1CC,PV011,AS,AA,PSECI,KA
0080 369 FORMAT(1H1,30X,7HCUENCA ,5M4,4X,HPERI(00 ,I4,1H-,I4,///,10X,5HCK3
0081 1 ,F4.2,5X,4HC3= ,F4.2,5X,4HC4= ,F4.2,5X,4HC5= ,F4.2,5X,4HC6= ,F4.2,
0082 2,/,10X,4HC7= ,F4.2,5X,4HC8= ,F4.2,5X,4HC9= ,F4.2,5X,4HC10= ,F4.2,/,
0083 3,10X,6HCINF= ,F7.1,5X,6HPSI= ,F7.1,5X,5HSES= ,F7.1,5X,4HCC= ,F7.1
0084 4,5X,7HPV011= ,F7.1,/,10X,4HAS= ,F6.1,5X,4HAA= ,F6.1,5X,7HPS401= ,
0085 SF7.1,/,10X,4HKA= ,I2,/)
0086 GO TO 1001

C 333
0087 WRITE(IMP,370)C,L,CK3,CK3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,CINF,PHSI,HES,CC,PV
0088 1011,AS,AA,PSP01,KA
0089 370 FORMAT(1H1,30X,7HCUENCA ,5M4,10X,10HSUECUENCA ,I4,/,10X,5HCK3= ,
0090 1F4.2,5X,4HC3= ,F4.2,5X,4HC4= ,F4.2,5X,4HC5= ,F4.2,5X,4HC6= ,F4.2,/,
0091 2/,10X,4HC7= ,F4.2,5X,4HC8= ,F4.2,5X,4HC9= ,F4.2,5X,5HC10= ,F4.2,/,
0092 3,10X,6HCINF= ,F7.1,5X,6HPSI= ,F7.1,5X,5HSES= ,F7.1,5X,4HCC= ,F7.1
0093 4,5X,7HPV011= ,F7.1,/,10X,4HAS= ,F6.1,5X,4HAA= ,F6.1,5X,7HPS401= ,
0094 SF7.1,/,10X,4HKA= ,I2,/)

```

```

0083 CONTINUE
0084 IF(KA.NE.1)GO TO 55
0085 WRITE(IMF,501)AFSE,A3E,ASF1,ASF2
0086 FORMAT(40X,'CALCULOS INTERMEDICOS DEL MODELO',/,13X,5PFASURE,28X,2H
2)
1001 100,34X,4HSHOI,34X,4HSHO2,/,10X,F7.1,25X,F7.1,29X,F7.1,24X,F7.1,/,/
C
0087 WRITE(IMF,282)HSI,V011,SPG:
0088 FCFMAT(1H0,10X,3HHSI,30X,4FV011,30X,4HSHOI,/,2X,F6.2,23X,1F15.4,
120X,1PE15.4,/)
0089 WRITE(IMF,60)AFSCD
0090 FCFMAT(10X,50HVOLUMEN TCTAL CSEFFVACC / LA SALIDA DE LA CUENCA= ,1
1PE15.4,2X,26HVOLUMENES DE METROS CUBICOS,/)
0091 WRITE(IMF,51)AFSC
0092 FCFMAT(10X,24HVOLUMEN TCTAL SIMULADCE ,1PE25.4,2X,26HVOLUMENES DE M
ETROS CUBICOS,/)
2000 CONTINUE
0093 RETURN
0094 END
0095

0001 SUBROUTINE CCH(CS,ESCC,NMES,NC,IMF)
0002 DIMENSION CS(NMES),ESCC(NMES)
0003 COMMON/F1/X(48),Y(48)
0004 SUM=0.
0005 ADICO=C.
0006 RSUM=0.
0007 BADIO=0.
0008 SPPB=0.
0009 DO 12 I=1,NMES
0010 X(I)=CS(I)
0011 Y(I)=ESCC(I)
0012 SUM=SUM+X(I)
0013 ADICO=ADICO+X(I)*X(I)
C
0014 RSUM=RSUM+Y(I)
0015 BADIO=BADIO+Y(I)*Y(I)
0016 SPPB=SPPB+Y(I)*X(I)
0017 CONTINUE
0018 AL=NMES
0019 CORR=((SPPB-(SUM*RSUM/AL))/SQRT((ADICO-(SUM**2./AL))*(BADIO-(BSUM*
I*2./AL))))
0020 WRITE(IMF,40)CCRF
0021 FORMAT(1H,'COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL ENTRE LCS VALORES CB
SERVADOS Y LCS SIMULADOS A LA SALIDA DE LA CUENCA',/,50X,F6.3,/)
0022 RETURN
0023 END

```



```

0001 SUBROUTINE DIFER(CS,ESCC,NANO,KCONT,NMES,NC,LCONT,IMP)
0002 DIMENSION CS(NMES),FSCC(NMES),CIF(12),FRCC(12),PROS(12)
0003 CCMVCN/E2/ESMM(5,12),ESMMO(5,12)
0004 K=KCCNT
0005 DO 206 N=1,12
0006 J=1
0007 ESMM(J,N)=-0.00000001
0008 ESMMO(J,N)=-C.CCCC0001
0009 J=NANG
0010 ESMM(J,N)=-0.00000001
0011 ESMMO(J,N)=-C.CCCC0001
0012 CCNTINUE
0013 J=1
0014 M=K
0015 DC 209 I=1,NMES
0016 ESMM(J,K)=CS(I)
0017 ESMMO(J,K)=ESCC(I)
0018 J=(M+12)/12
0019 K=K+1
0020 M=M+1
0021 IF(K.GT.12)K=1
0022 CCNTINUE
0023 K=KCCNT
0024 DO 209 N=1,12
0025 EO=0.
0026 DO 210 J=1,NANC
0027 ES=ESMM(J,N)+ES
0028 EO=ESMMC(J,N)+EC
0029
0030 CCNTINUE
0031 ANANG=NANC
0032 IF(N.LT.KCONT)ANANG=ANANG-1.
0033 IF(N.GT.LCONT)ANANG=ANANG+1.
0034 PRCC(N)=EC/ANANG
0035 PRCS(N)=FS/ANANG
0036 DIF(N)=(FRCC(N)-PRCS(N))*100./PRCC(N)
0037 CCNTINUE
0038 WRITE(IMP,211)
0039 FORMAT(1H,4EX,MDPULO DE SIMULACION HIDROLOGICA,/,30X,DIFFERENC
211 CIA EN PORCENTAJE ENTRE LA ESCORRENTIA OBSERVADA Y LA SIMULADA,/,/
212 2/,9X,ENE,6X,FEB,6X,MAR,6X,ABR,6X,MAY,6X,JUN,6X,JUL,6
3X,AGO,6X,SEP,6X,OCT,6X,NOV,6X,DIC,/)
0040 WRITE(IMP,21)PRCC
21 FORMAT(1H,3FCES,2X,12(F7.3,2X),/)
0041 WRITE(IMP,22)PRCS
22 FORMAT(1H,3HSIM,2X,12(F7.3,2X),/)
0042 WRITE(IMP,23)DIF
23 FORMAT(1H,3HDF,2X,12(F7.2,2X),/)
0043 WRITE(IMP,24)
24 FORMAT(1H,/,/,'**DIF= (OBS-SIM)*100./OBS,/,***VALORES DE ESCC
RETURN
END
0044
0045

```

```

0001 SUBROUTINE REGSIM(ESC,NANC,NMES,NC,LP,PCONT,LCONT,IMP)
0002 DIMENSION ESC(NMES,NC),VAL(12),PMCS(12)
0003 CCMWGN/B2/ESMM(5,12),ESMM(5,12)
0004 DO 302 L=1,NC
0005 NP=LP
0006 K=KCCNT
0007 DO 300 N=1,12
0008 J=1
0009 ESMM(J,N)=C.CC000C1
0010 J=NAND
0011 ESMM(J,N)=0.C000000001
0012 CONTINUE
0013 J=1
0014 M=K
C
0015 DC 303 I=1,NMES
0016 ESMM(J,K)=ESC(I,L)
0017 J=(M+12)/12
0018 K=K+1
0019 M=M+1
0020 IF(K.GT.12)K=1
0021 CONTINUE
0022 *K=KCCNT
0023 WRITE(IMP,51)L
0024 FORMAT(IH1,4EX,10CFLC DE SIMULACION HIDROLOGICA,/,34X,10F5SUBCUE
INCA,12,/,30X,15HREGISTROS SIMULADOS,/,10X,3HENE,6X,3HFEB,6X,3HM
2AR,6X,3HABR,6X,3HMAY,6X,3HJUN,6X,3HJUL,6X,3HAGO,6X,3HSEP,6X,3HOCT,
3CX,3HNOV,6X,3HDIC,/)
C
0025 DC 304 J=1,NANC
0026 DO 305 K=1,12
0027 VAL(K)=ESMM(J,K)
0028 CONTINUE
0029 WRITE(IMP,306)NP,VAL
0030 FCFMAT(IH,14,2X,12(F7.3,2X),/)
0031 NP=NP+1
0032 CONTINUE
0033 DO 209 N=1,12
0034 ES=0.
0035 DC 210 J=1,NANC
0036 ES=ESMM(J,N)+ES
0037 CONTINUE
0038 ANANC=NANC
0039 IF(N.LT.KCCNT)ANANC=ANANC-1.
0040 IF(N.GT.LCONT)ANANC=ANANC-1.
0041 PRCS(N)=ES/ANANC
0042 CONTINUE
0043 WRITE(IMP,211)PROS
0044 FCFMAT(IH,5FPRCME,1X,12(F7.3,2X),/,/,10X,3HENE,6X,3HFEB,6X,3HM
1EN MILLONES DE METROS CUBICOS,/,10X,3HJUN,6X,3HAGO,6X,3HSEP,6X,3HOCT,
2 SIMULACC,/)
C
0045 DC 302 CONTINUE
0046 RETURN
0047 END

```

```

0001 SUBROUTINE PLCTED(CS,ESCO,PMAX,NMES,NC,IMP,KCONT,C,LP,LPI)
0002 INTEGER LS,LC
0003 REAL LINE
0004 REAL MES(12)
0005 DIMENSION LINE(101),CS(NMES),ESCC(NMES),ESCALA(10),C(9)
0006 DATA BLANCO,PUNTO,CUADRO,ASTE/1H,1H,,1H+,1H+/,
0007 DATA MES/3HENE,3FEB,3FMAE,3MAY,3MJUN,3JUL,3AGO,3SEPT,3O
      5
0008 NC=KCONT
0009 DO 100 J=1,10
0010 DEC=J
0011 ESCALA(J)=DEC*0.1*PMAX
0012 WRITE(IMP,2)C,LP,LPI
0013 FORMAT(1H1,10X,7HLENCA ,9A4,10X,3HPERIODO ,14,1H-,14,/,20X,66HPL
      2)
0014 DO 10 I=1,NMES
0015 KI=I
0016 IF(KI.NE.1)GO TO 40
0017 WRITE(IMP,102)ESCALA
0018 FORMAT(7X,F11.1,9F10.1,5X,4H+OBS,7X,4H*SIW)
0019 CCNTINUE
0020 DO 200 J=1,101,10
0021 LINE(J)=PUNTC
0022 IF(J.EG.101)GO TO 200
0023 DO 201 N=1,5
0024 LINE(J+N)=ELANCC
0025 CCNTINUE
0026 CCNTINUE
      C
0027 EO=ESCC(I)
0028 ES=CS(I)
0029 LS=(ES/PMAX)*100.+1.5
0030 LC=(EO/PMAX)*100.+1.5
0031 IF(LS.GT.101)LS=101
0032 IF(LC.GT.101)LC=101
0033 LINE(LS)=ASTE
0034 LINE(LC)=CUADRC
0035 WRITE(IMP,104)NMES(MC),LINE,EO,ES
0036 FCFMAT(1H ,A2,2X,1G1A1,F10.3,F12.3,/)
0037 MC=MC+1
0038 IF(MC.GT.12)MC=1
0039 CCNTINUE
0040 RETURN
0041 END
      10
      104
      200
      200
      25
      28
      29
      30
      31
      32
      34
      36
      37
      41
      43
      44

```

```

0001 SUBROUTINE PLOSI(P,ESC,PMAX,NMES,NC,IVP,KCONT,C,LP,LP1)
0002 INTERF LLS
0003 REAL LINEA
0004 KEAL MES(12)
0005 DIMENSION LINEA(10),ESC(NMES,NC),FSCALA(10),C(9)
0006 DATA BLANC,PUNTC,ASTE/1# ,1# ,1# ,1# /
0007 DATA MSAZHEKE,3#FE,3#MAF,3#AER,3#MAY,3#JUN,3#JUL,3#AGO,3#S<=>P,3#O
0008
0009 DO 2040 J=1,NC
0010 MC=KCONT
0011 DC 100 J=1,10
0012 DEC=J
0013 ESCALA(J)=DEC*0.1*PMAX
0014 WRITE(IMP,2)C,L,LP,LP1
0015 FORMAT(1H,10X,7#CUENCA ,9A4,10X,10#SUETUENCA ,12,10X,#P#ER I<
0016
0017 DO 201 K=1,9
0018 LINEA(J)=PUNTC
0019 IF(J.EC.10)GO TO 200
0020 LINEA(J+N)=BLANC
0021
0022 DO 200 J=1,10,10
0023 LINEA(J)=PUNTC
0024 IF(J.EC.10)GO TO 200
0025
0026 CONTINUE
0027 ES=ESC(I,L)
0028 LS=(FS/PMAX)*100+1.5
0029 IF(LS.GT.10)LS=101
0030 LINEA(LS)=ASTE
0031 WRITE(IMP,104)MES(MC),LINEA,FS
0032 FORMAT(1H ,A3,2X,101A1,4X,F12.4,/)
0033 MC=MC+1
0034 IF(MC.GT.12)MC=1
0035 CONTINUE
0036 RETURN
0037
0038
0039

```

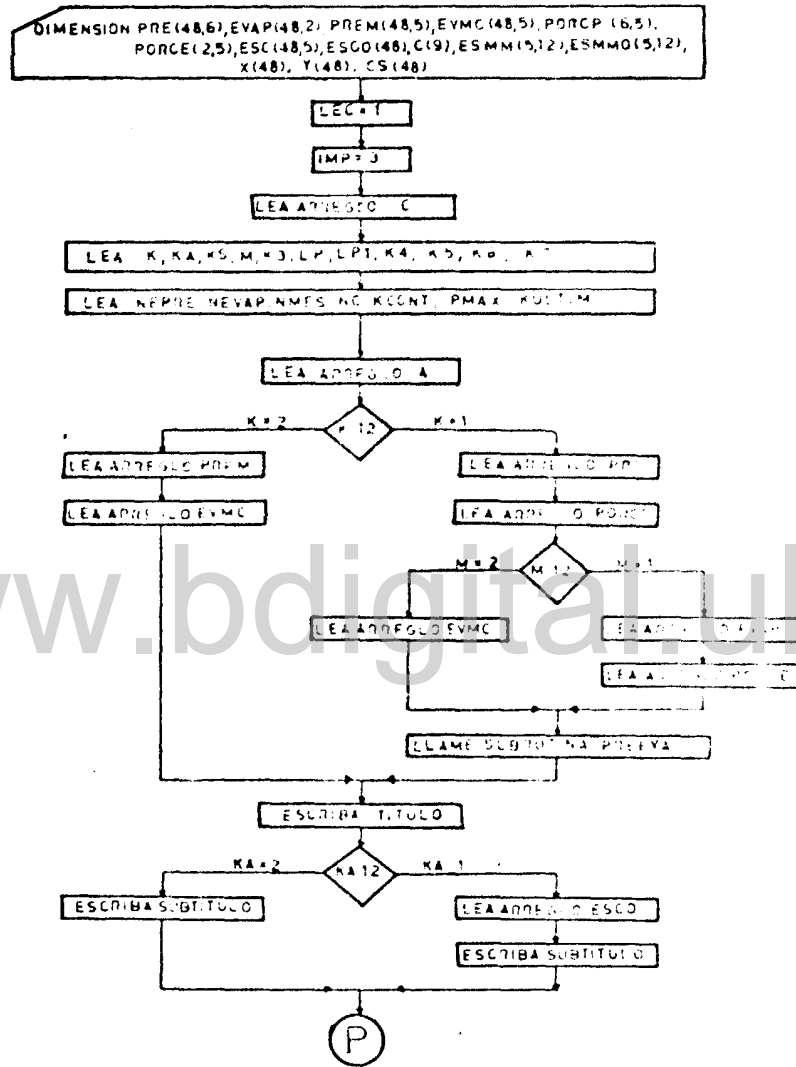


Figura 6 Programa Principal

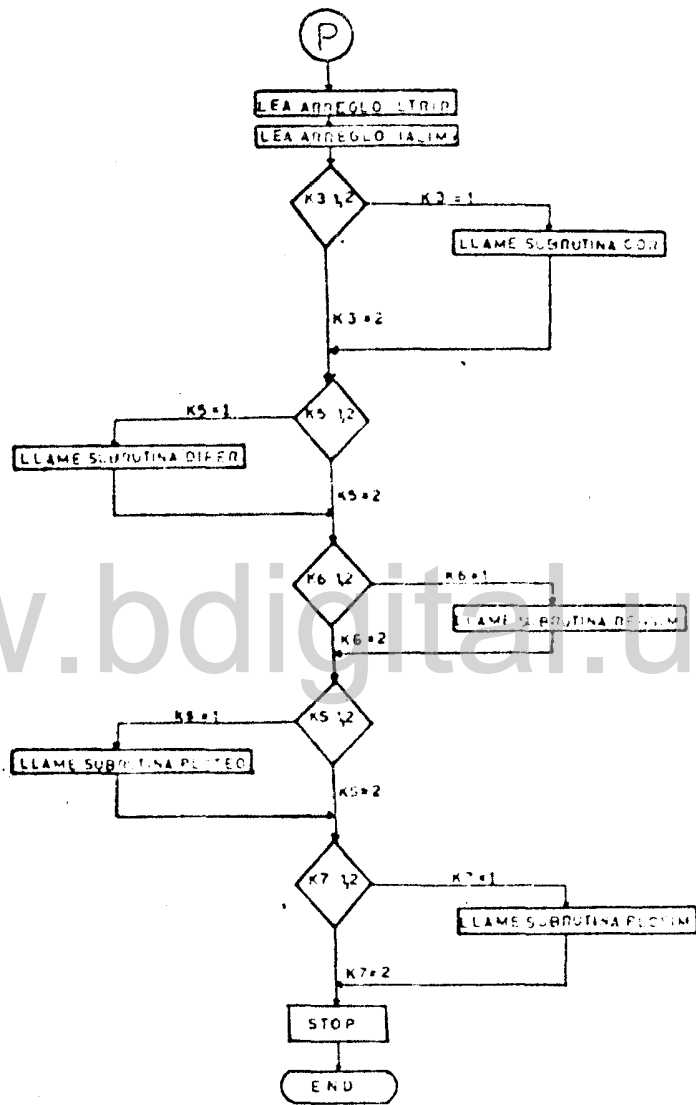


Figura 6 Programa Principal (continuación)

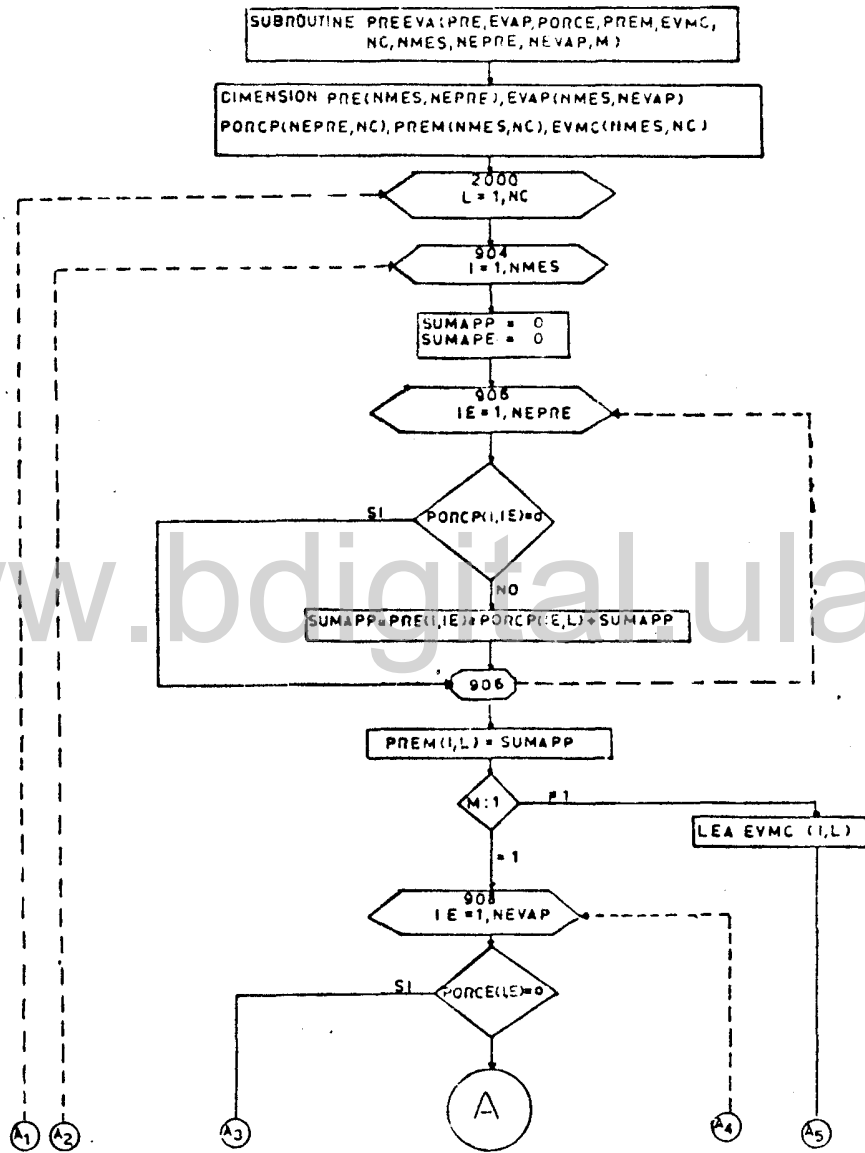


Figura 7 Subrutina Preeva

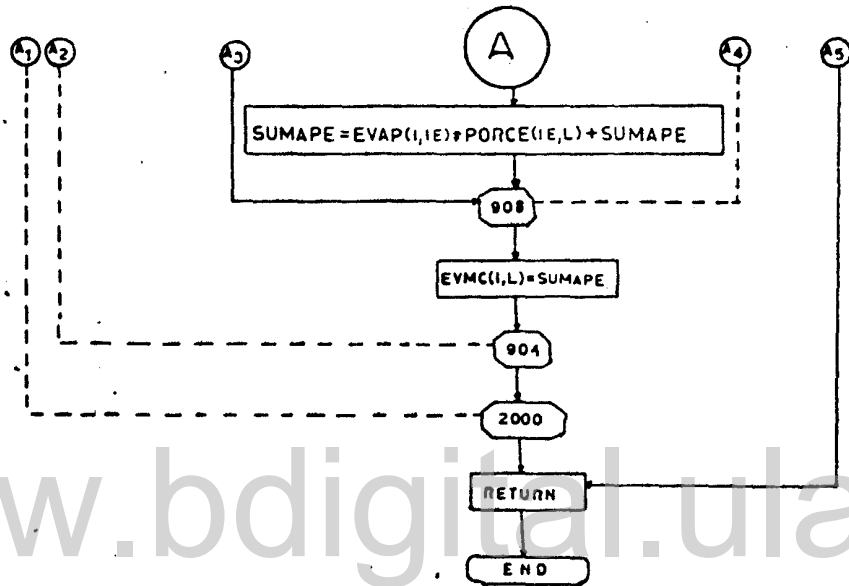


Figura 7 Subrutina Preeva (continuación)

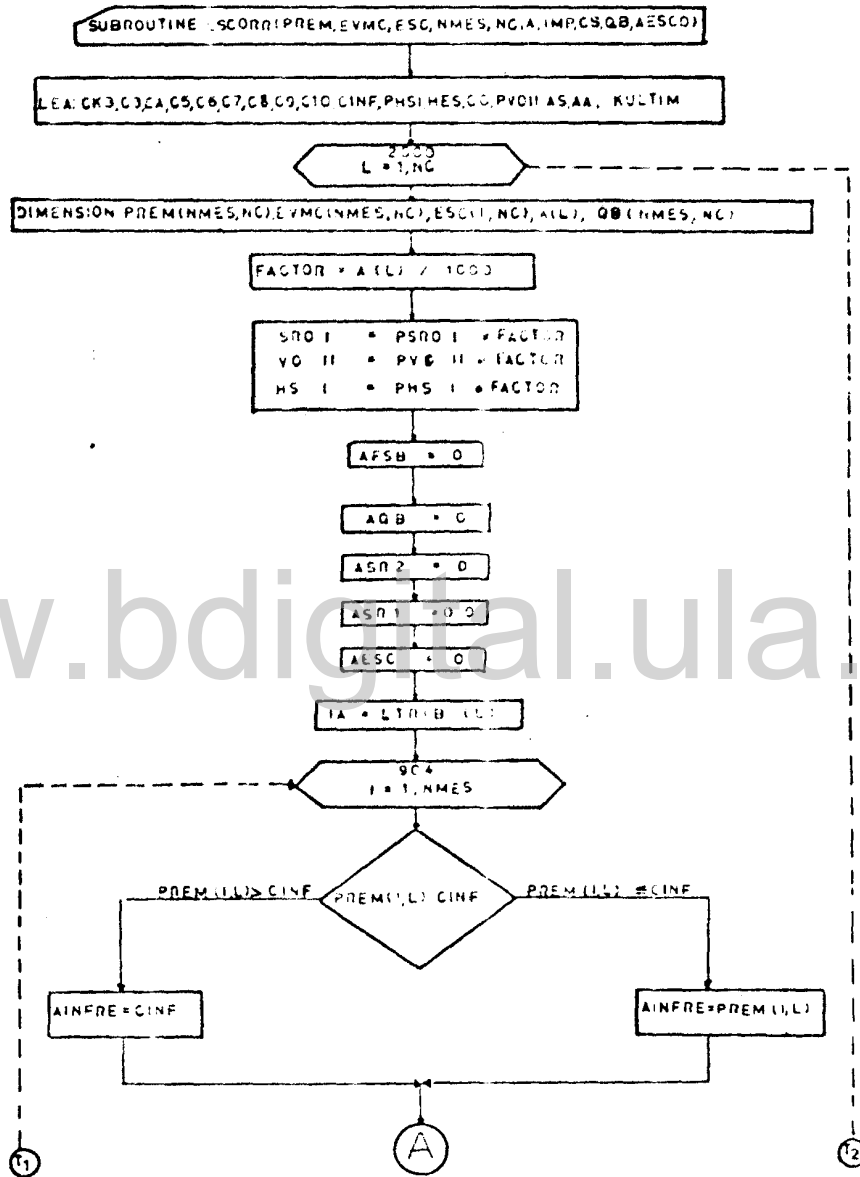


Figura 8 Subrutina Escorr

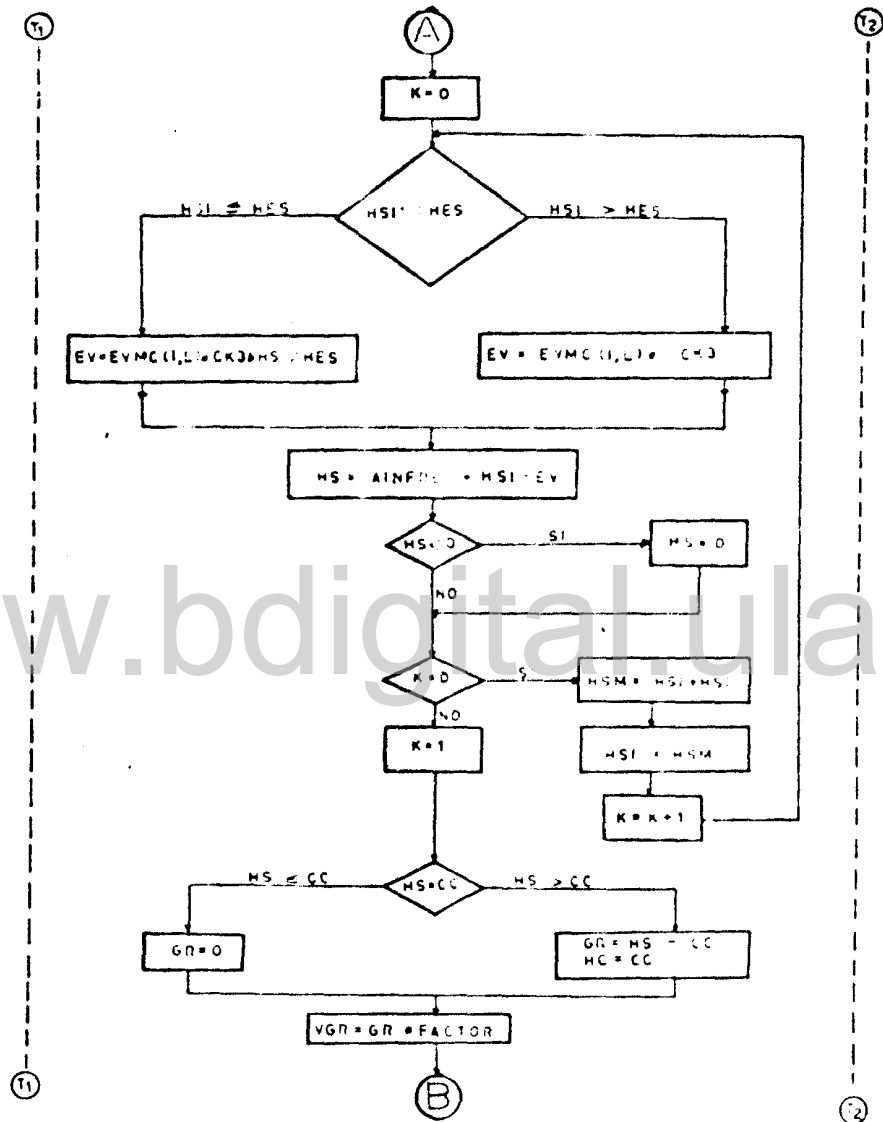


Figura 3 Subrutina Escorr (continuación)

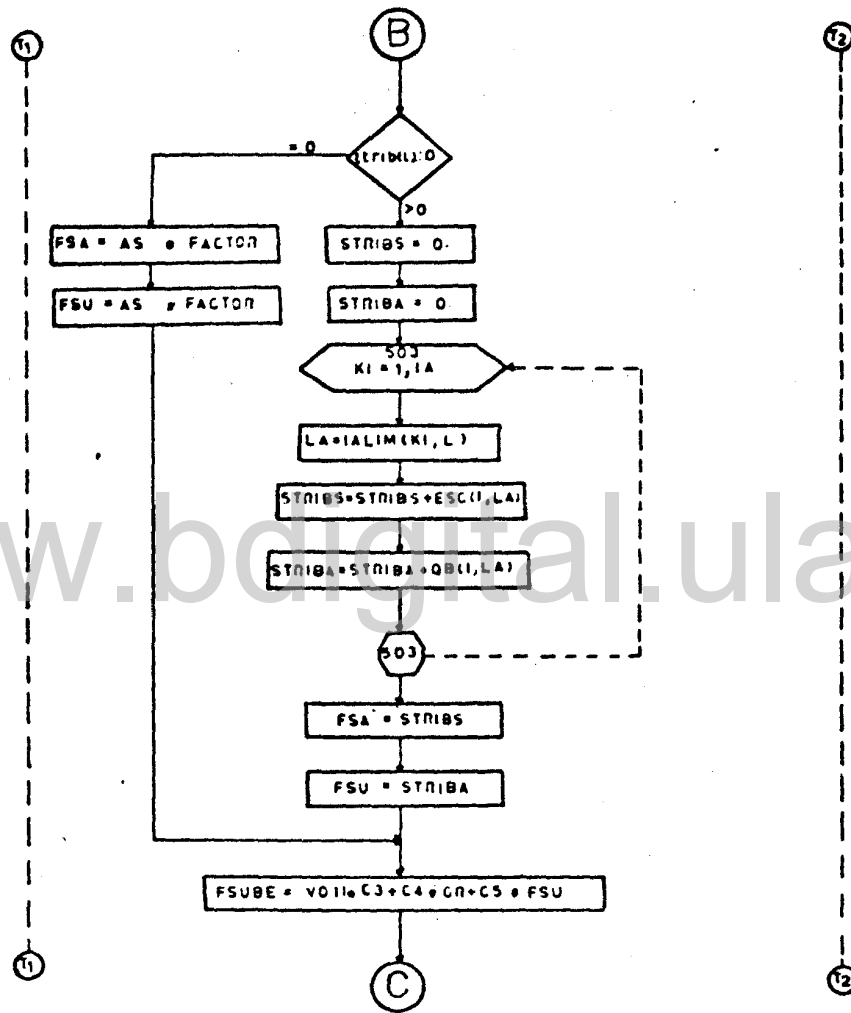


Figura 8 Subrutina Escorr (continuación)

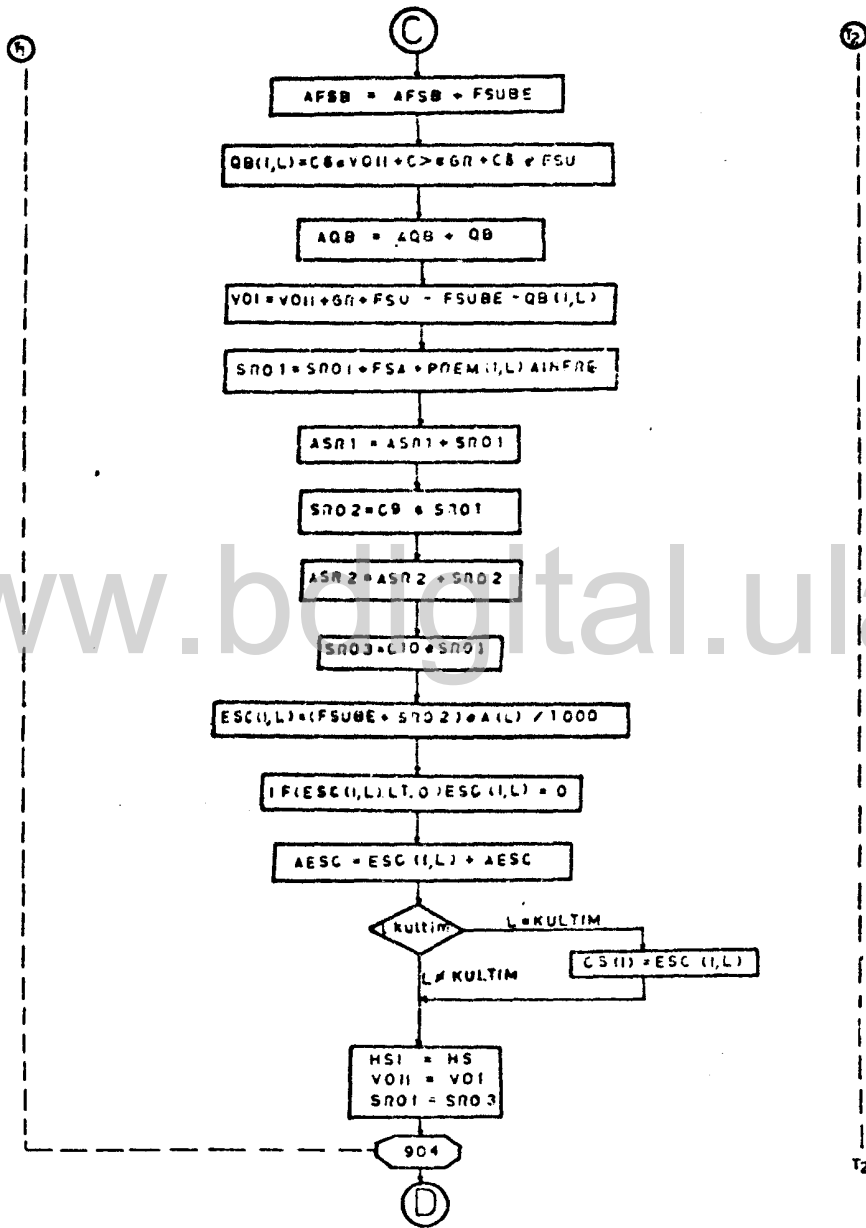


Figura 8 Subrutina Escorr (continuación)

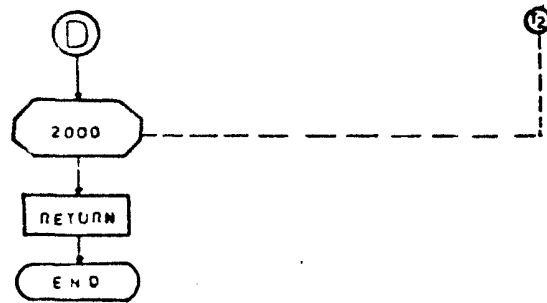


Figura 8 Subrutina Escorr (continuación)

www.bdigital.ula.ve

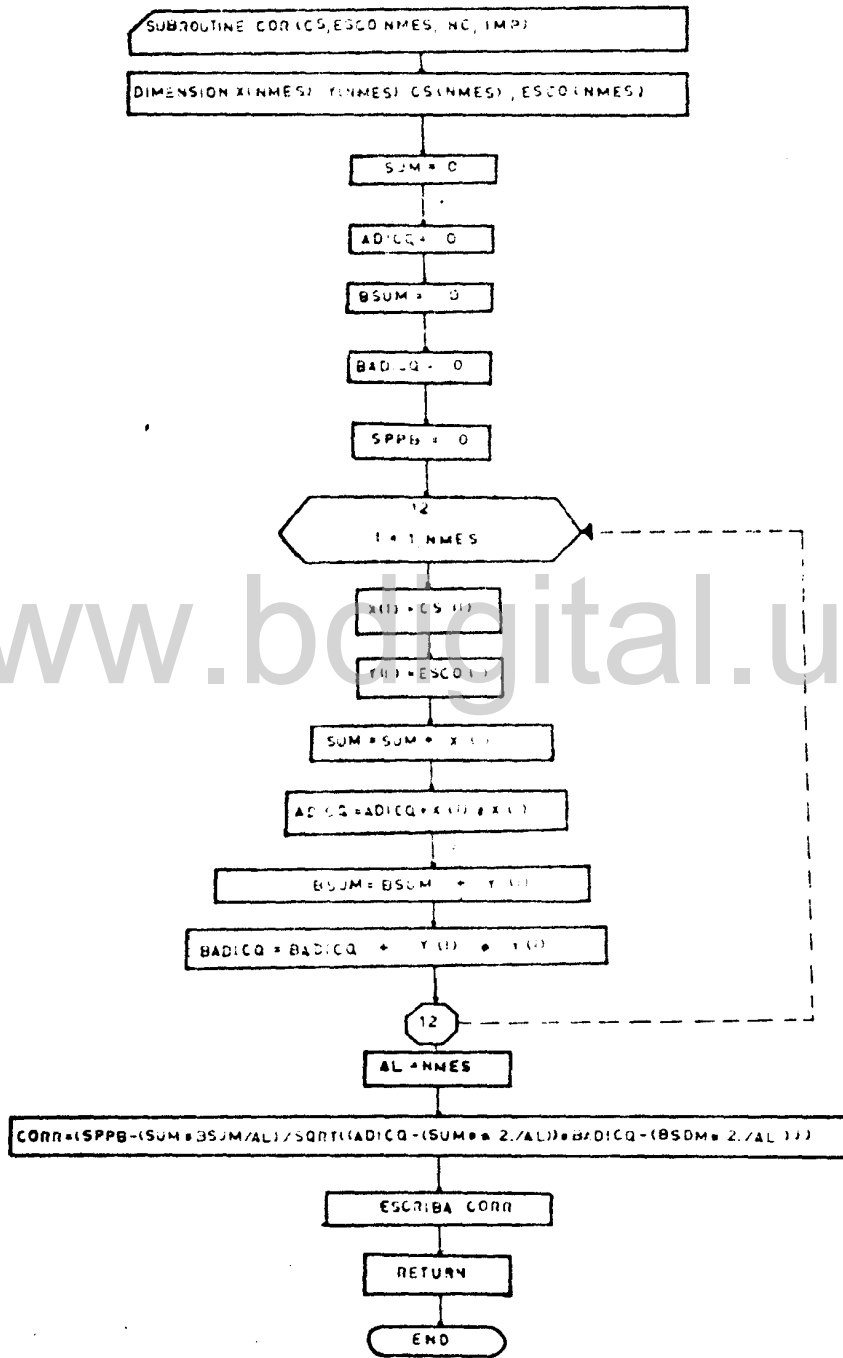


Figura 9 Subrutina Cor

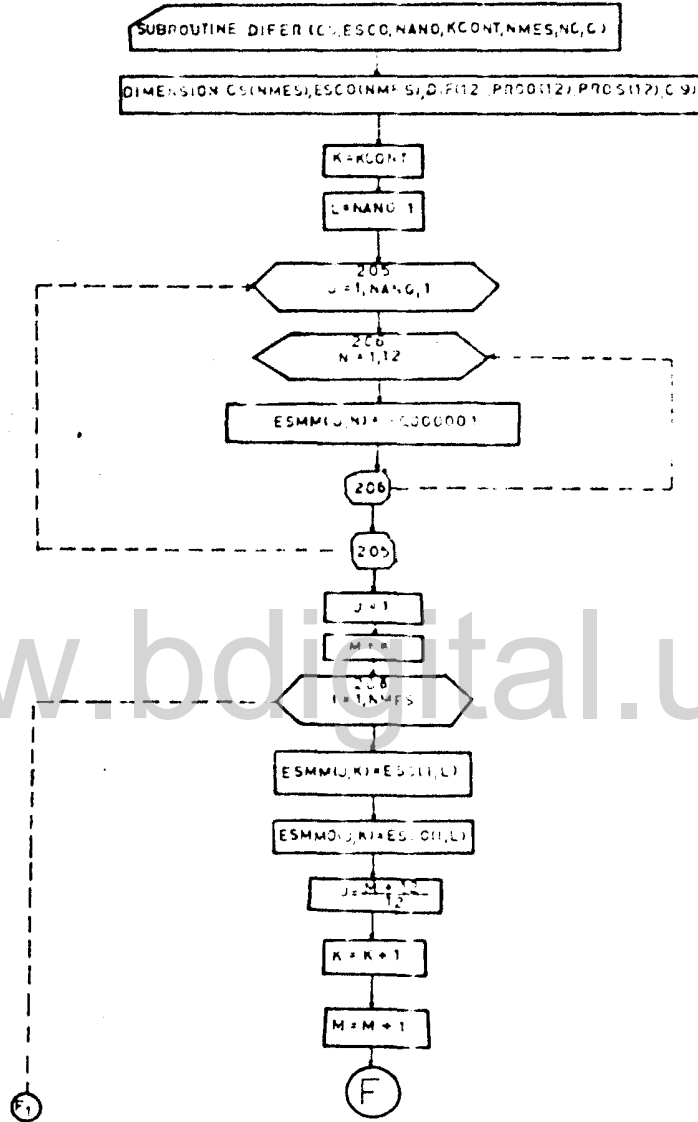


Figura 10 subrutina Difer

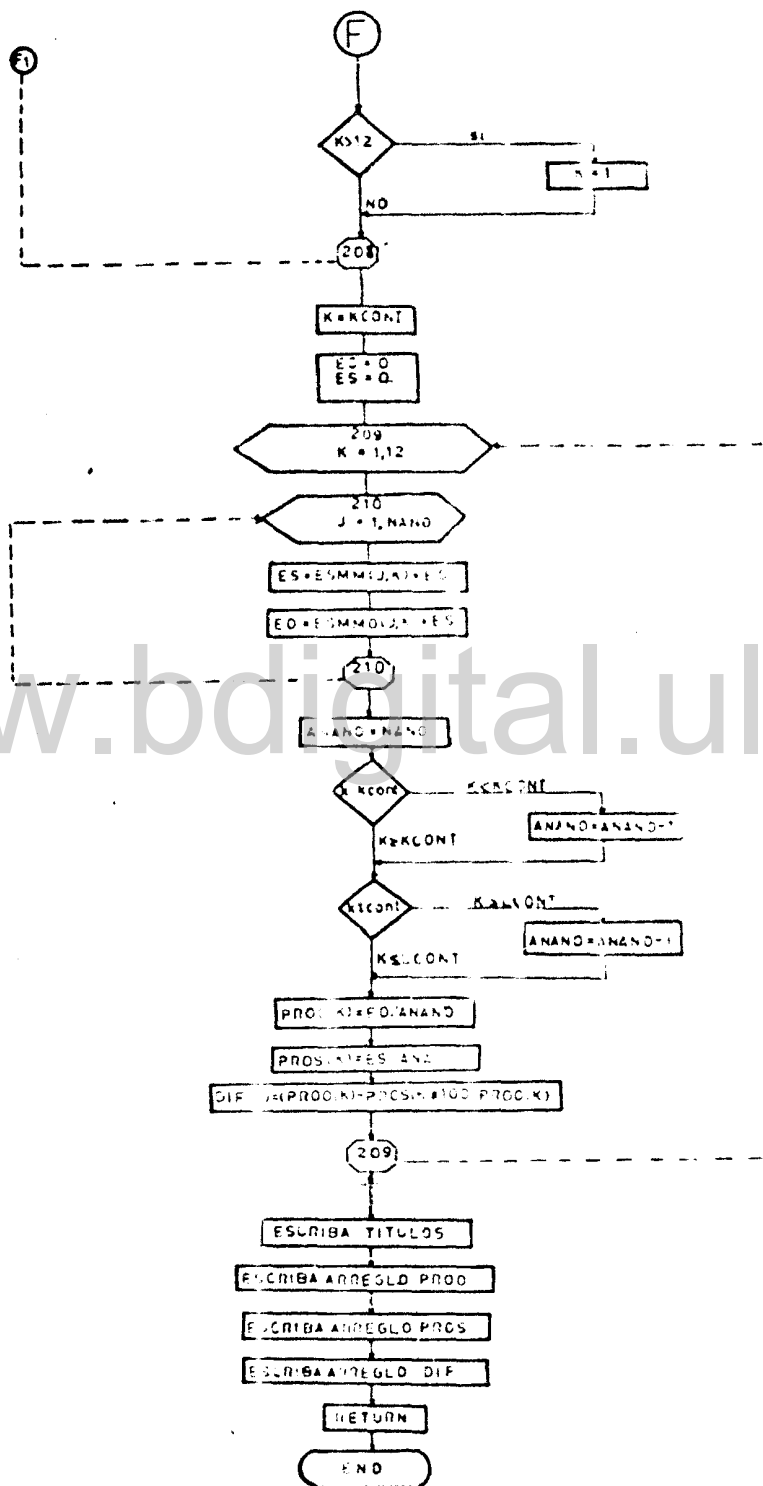


Figura 10 Subrutina Difer (continuación)

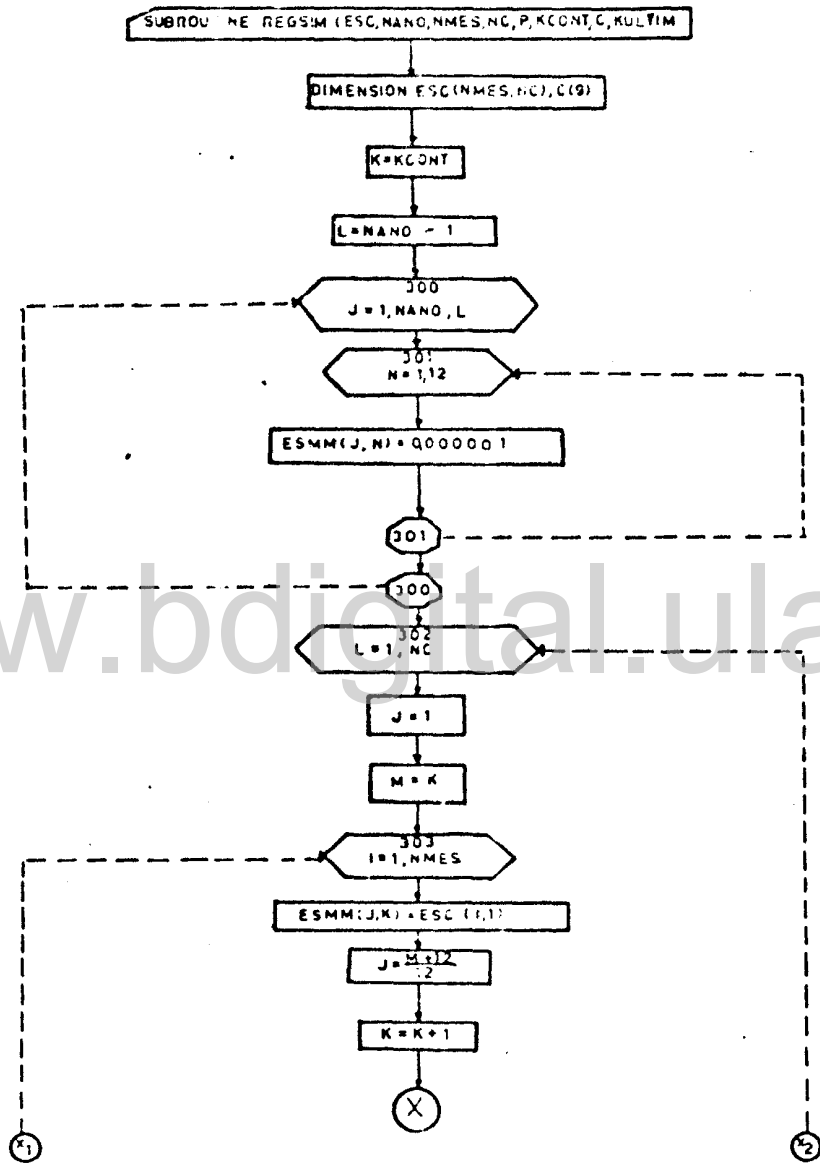


Figura 11 Subrutina Regsim

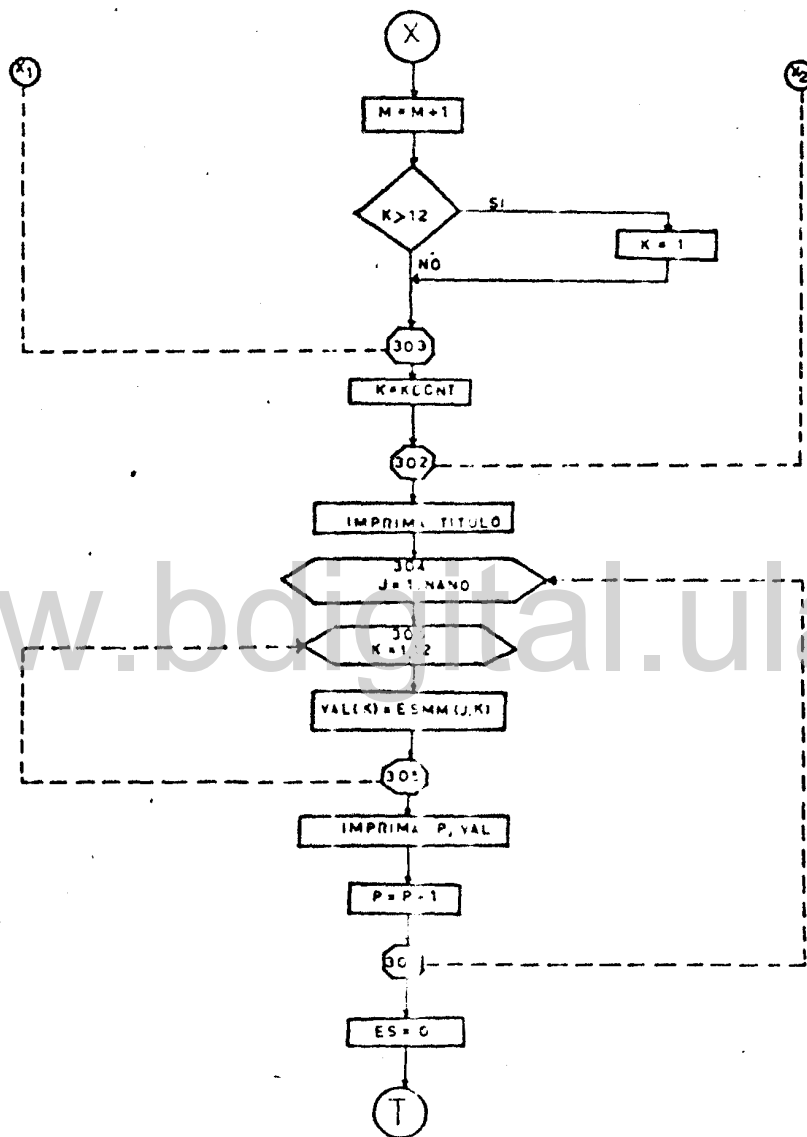


Figura 11 Subrutina Regsin (continuación)

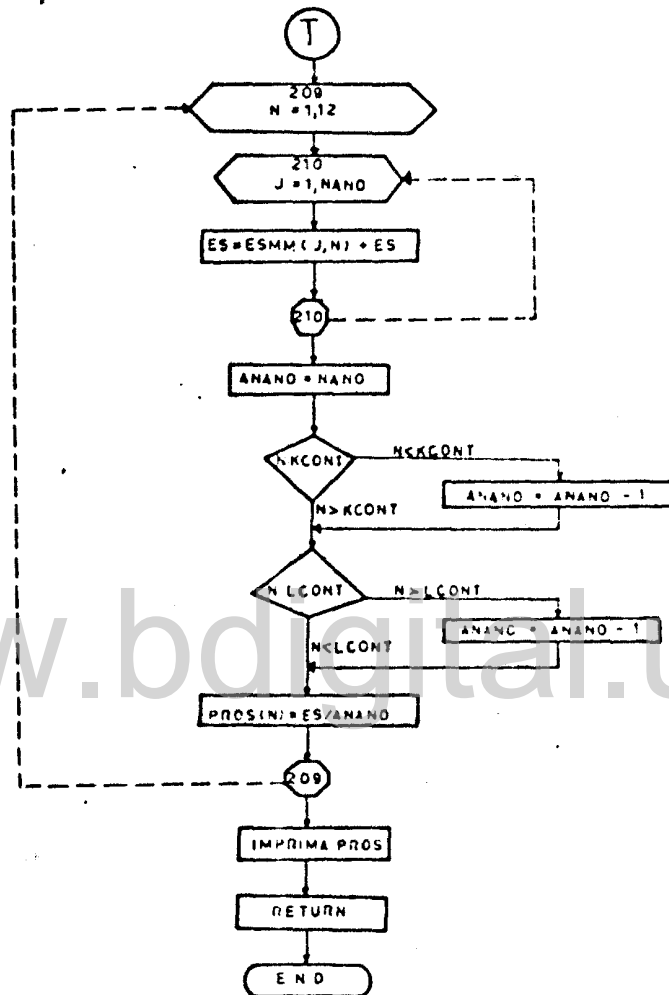


Figura 11. Subrutina Regsin (continuación)

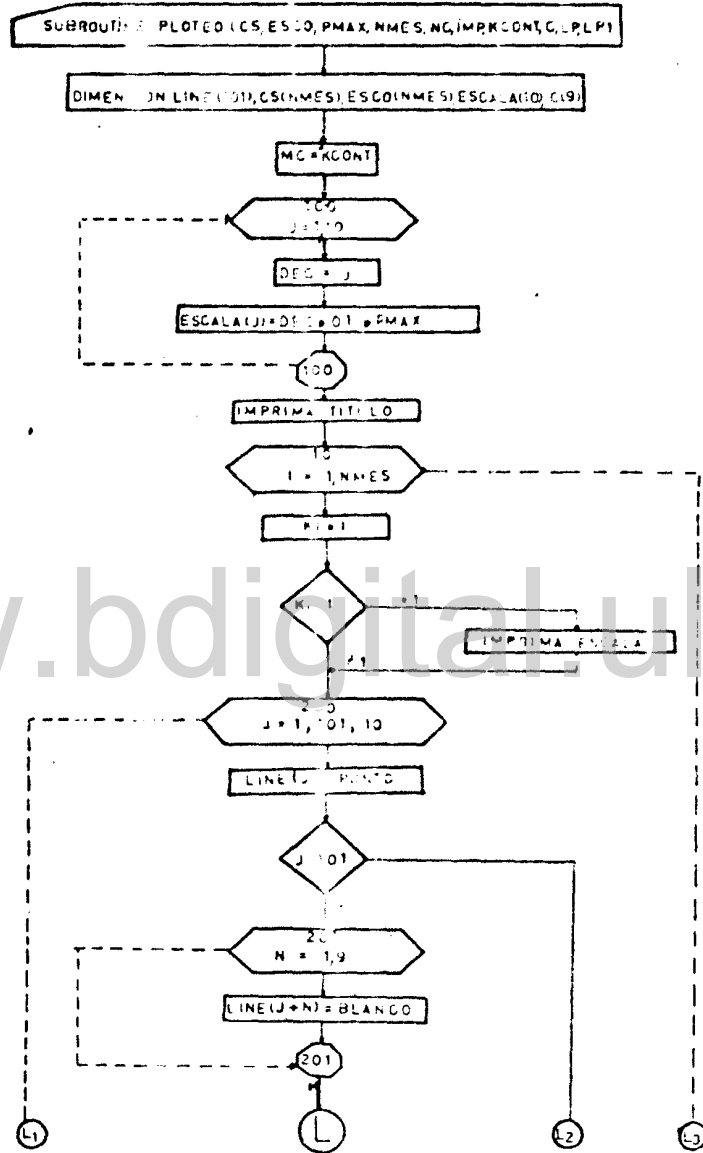


Figura 12 subrutina Ploteo

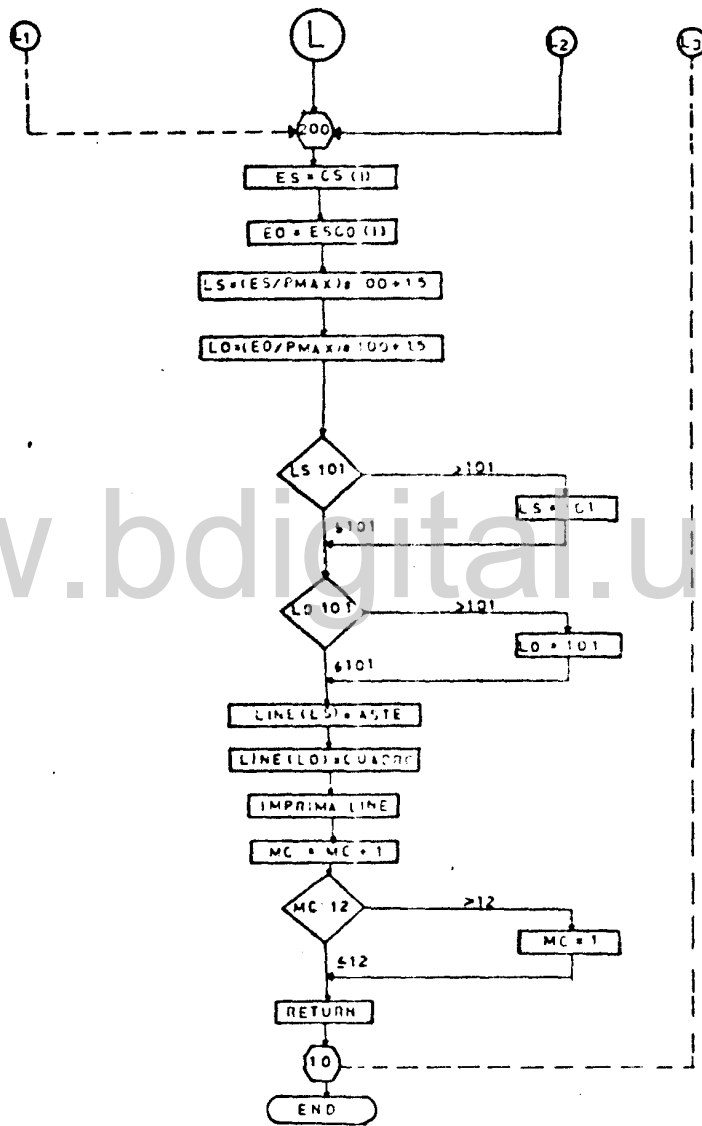


Figura 12 Subrutina Ploteo (continuación)

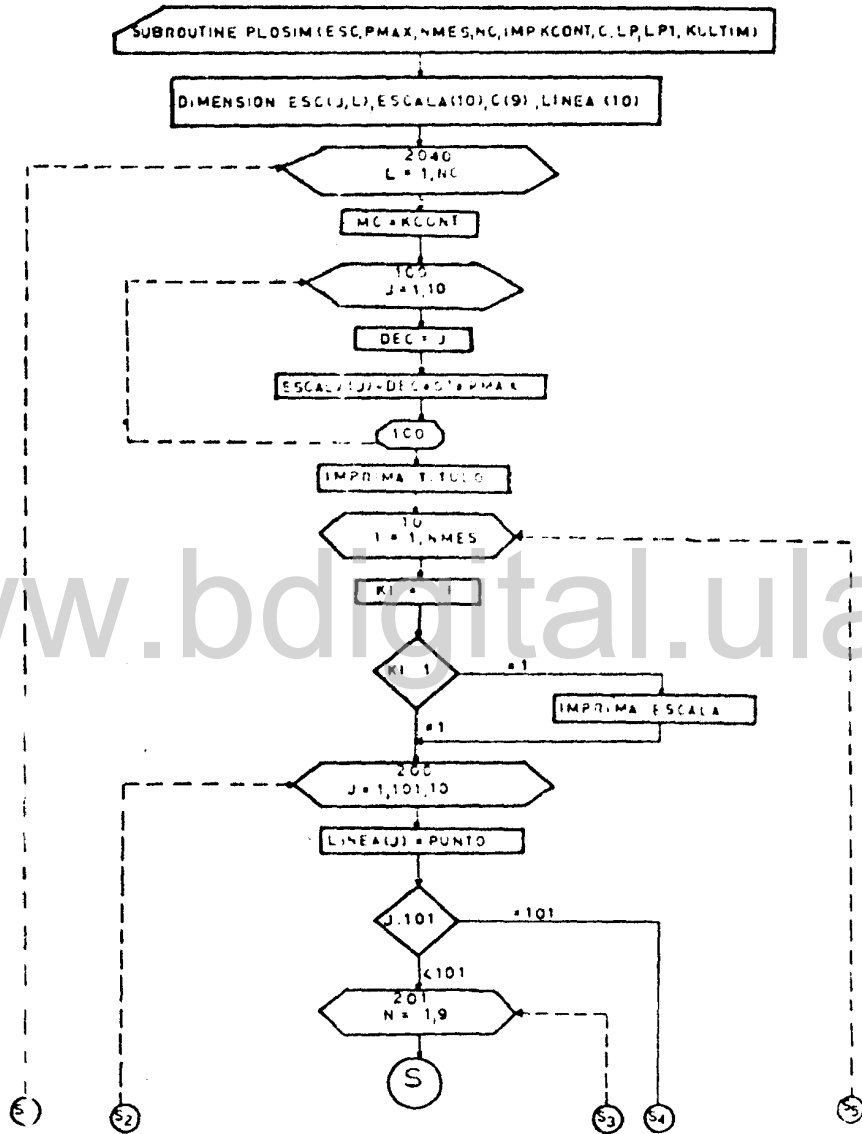


Figura 13 Subrutina Plosin

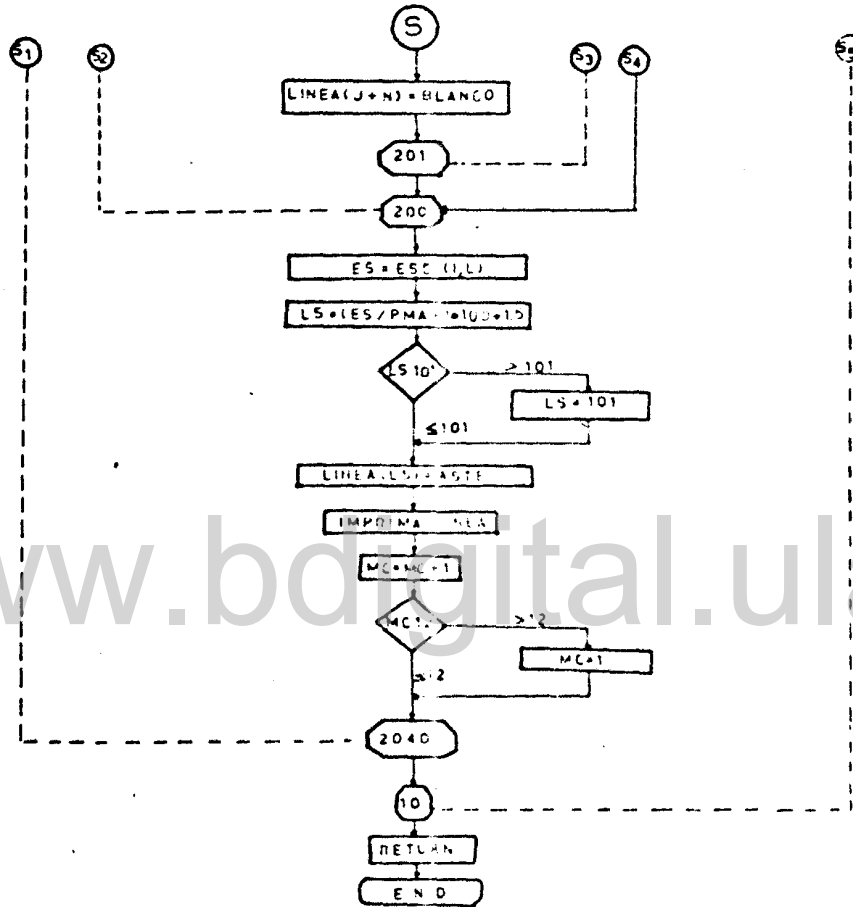


Figura 13 Subrutina Plosim (continuación)

APENDICE 3

DETERMINACION DEL VOLUMEN DE AGUA SUBTERRANEA EN LA CUENCA DEL
RIO TURBIO EN SAN MIGUEL

Cuenca: Río Turbio en San Miguel.

Area: 108 Km².

Período seleccionado: Octubre de 1964 hasta Abril de 1965

Datos:

<u>Mes</u>	<u>Volumen escurrido (m³ x 10⁶)</u>
Octubre	1.156
Noviembre	1.097
Diciembre	0.705
Enero	0.703
Febrero	0.722
Marzo	0.263
Abril	0.262

Fórmulas empleadas:

$$b = \frac{\sum x \ln y - [1/n(\sum x)(\sum \ln y)]}{\sum x_i^2 - 1/n(\sum x)^2}$$

$$a = \exp(\sum \ln y / n - b \sum x / n)$$

$$v = \frac{a}{b} 86400 \frac{100}{A}$$

donde

y, caudal mensual observado, m³sg⁻¹

x, días transcurridos

n, número de observaciones

V, volumen almacenado, mm

A, área, Km²

Cálculo:

y	x	ln y	x ²	x ln y
1.097	30	0.09	900	2.70
0.705	61	-0.35	3721	-21.35
0.703	92	-0.35	8464	-32.20
0.722	120	-0.35	14400	-39.60
0.263	151	-1.34	22801	-202.34
<u>3.49</u>	<u>454</u>	<u>-2.28</u>	<u>50286</u>	<u>-298.19</u>

$$b = -0.010$$

$$a = 1.57$$

$$V = 130 \text{ mm}$$

www.bdigital.ula.ve

Resultados:

$$\text{Ecuación de agotamiento del río: } Q_t = 1.57 e^{-0.010 t}$$

donde

 Q_t , caudal, $\text{m}^3 \text{sg}^{-1}$
 t , tiempo, días

$$\text{Volumen inicial de agua subterránea} = 130 \text{ mm}$$

APENDICE 4
CONSISTENCIA DE DATOS

www.bdigital.ula.ve

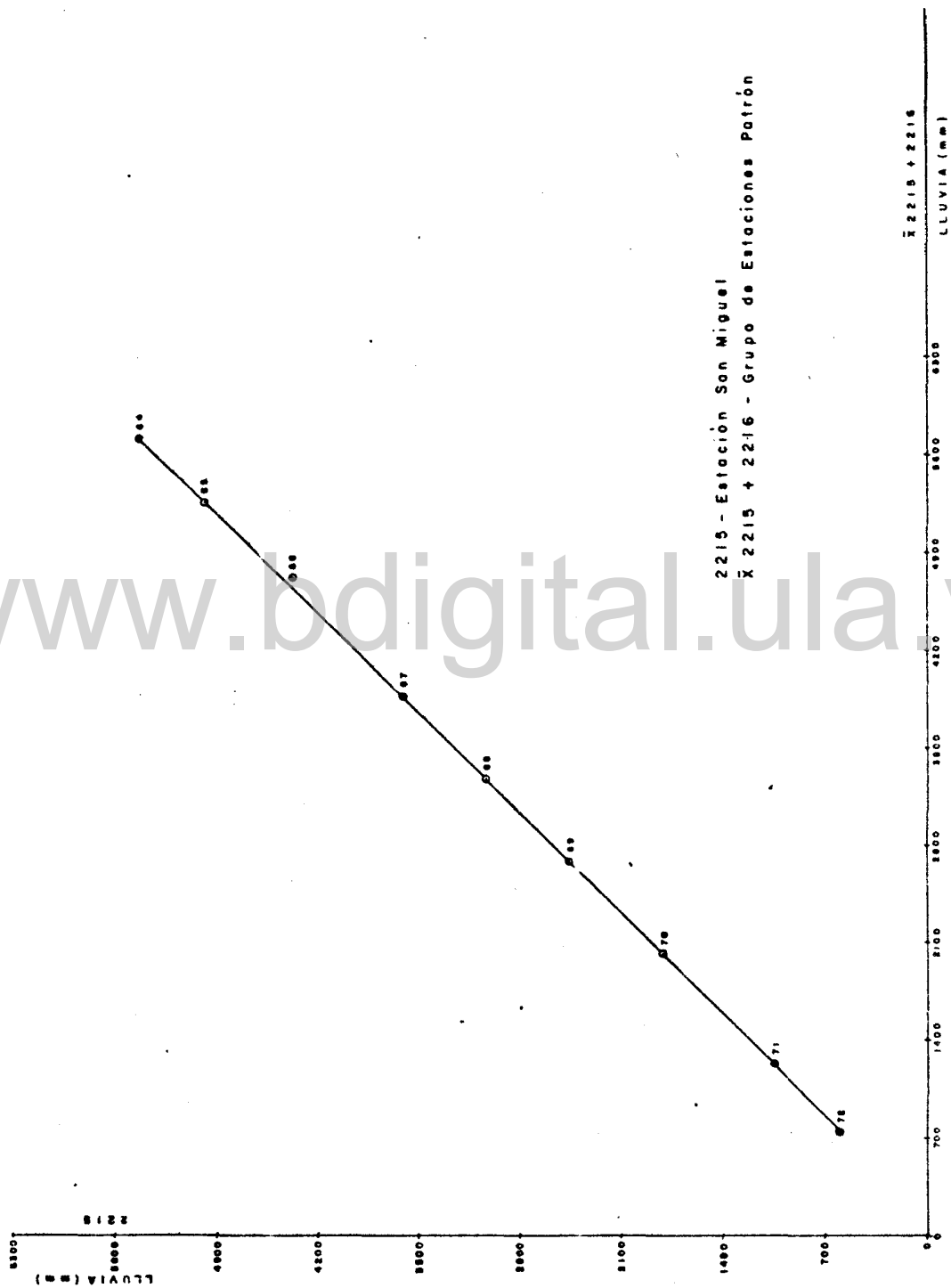


Figura 17 Curva doblemente másica de precipitación mensual

2215 vs 2215 + 2216

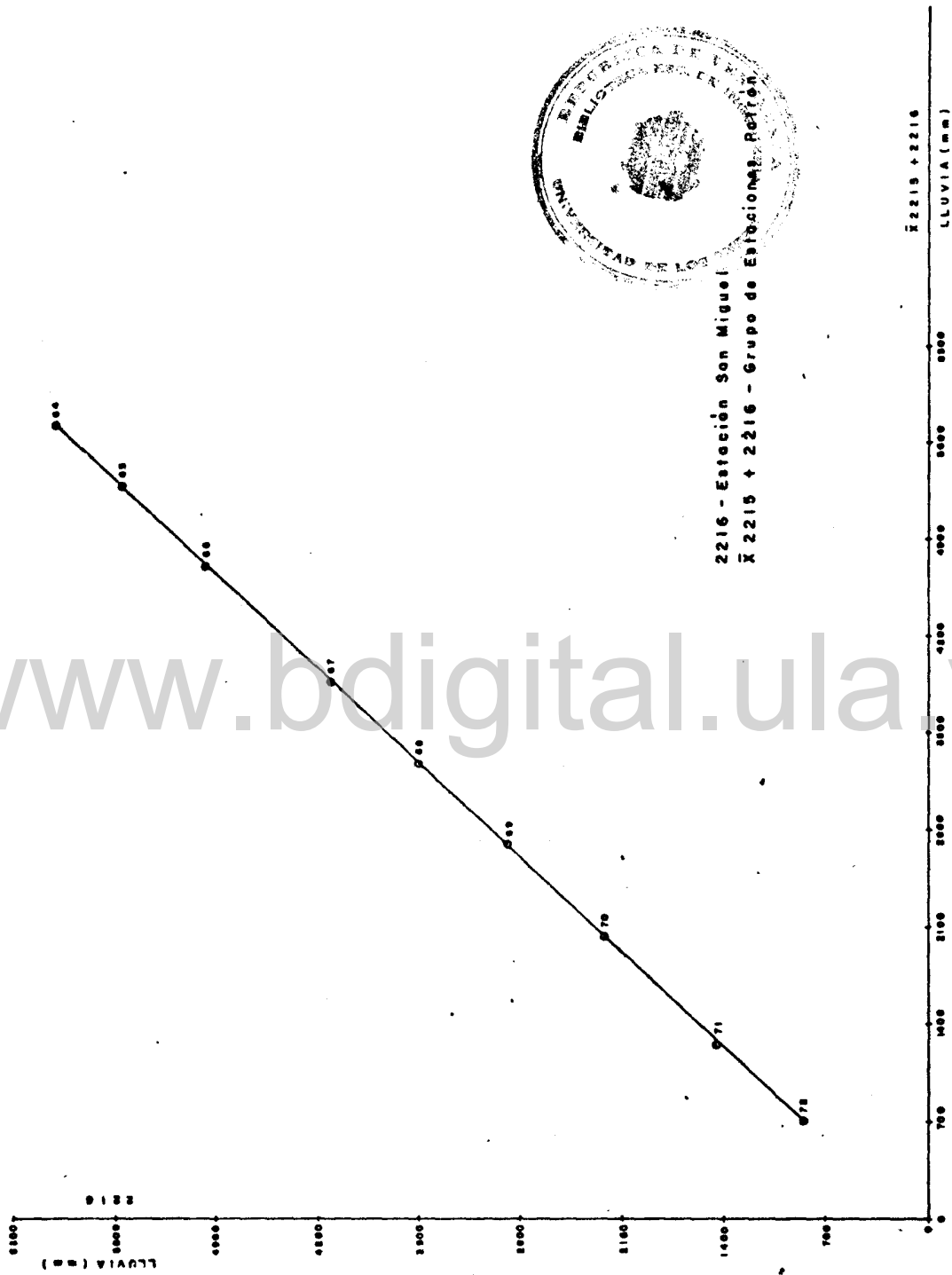


Figura 18
 Curva doblemente másica de precipitación mensual
 2216 vs 2215 + 2216

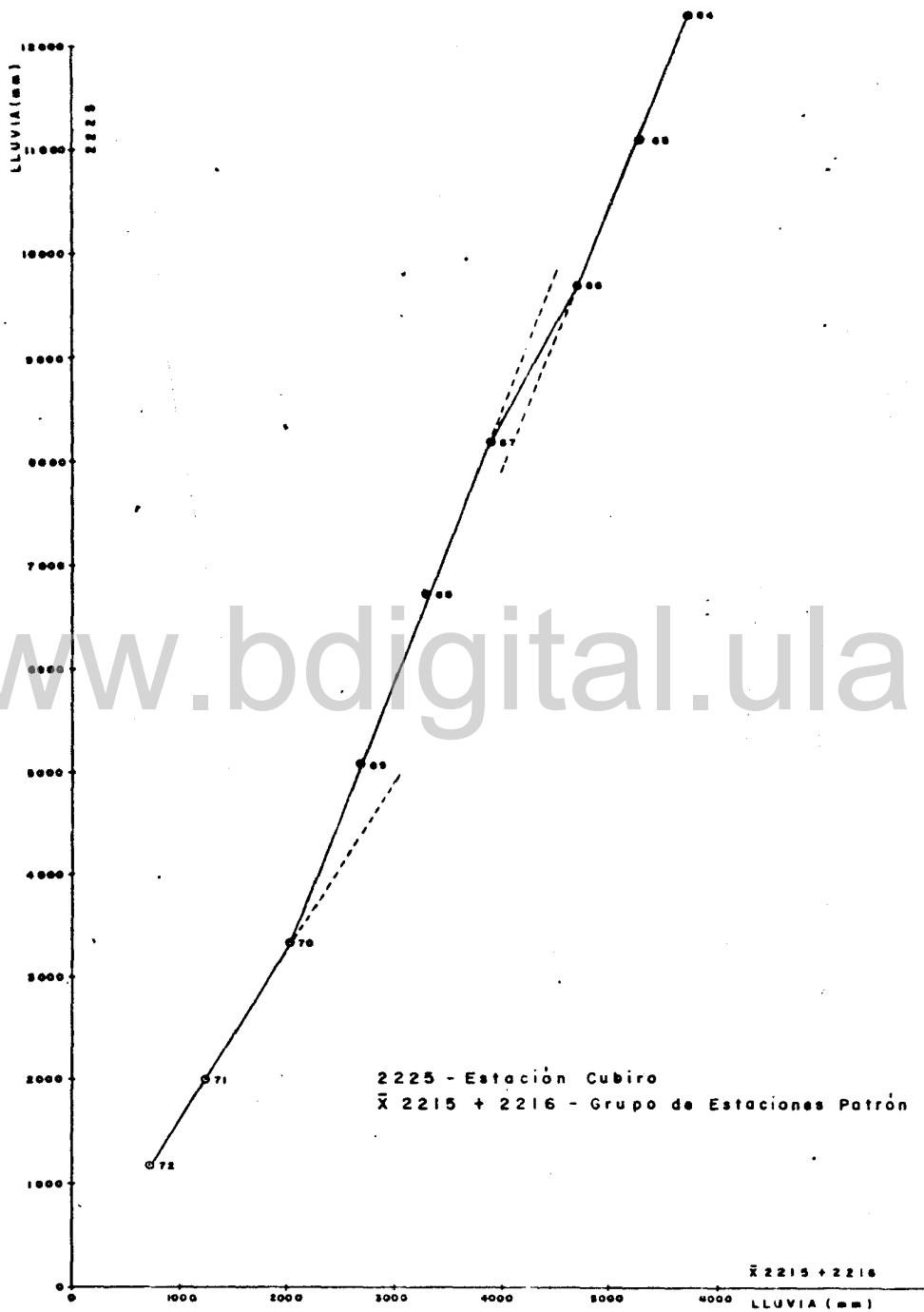


Figura 19

curva doblemente másica de precipitación mensual

2225 vs 2215 + 2216

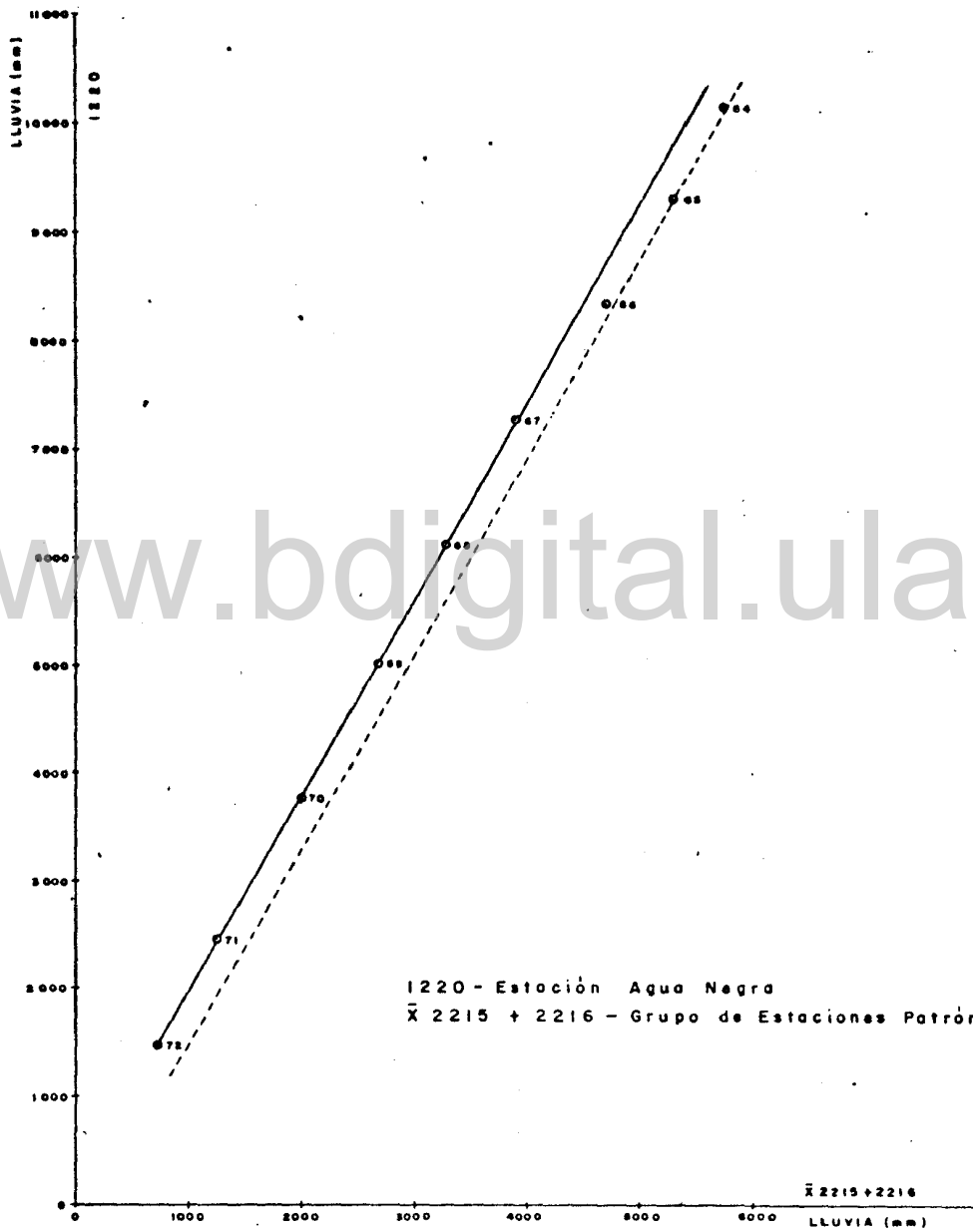


Figura 20

Curva doblemente másica de precipitación mensual

1220 vs 2215 + 2216

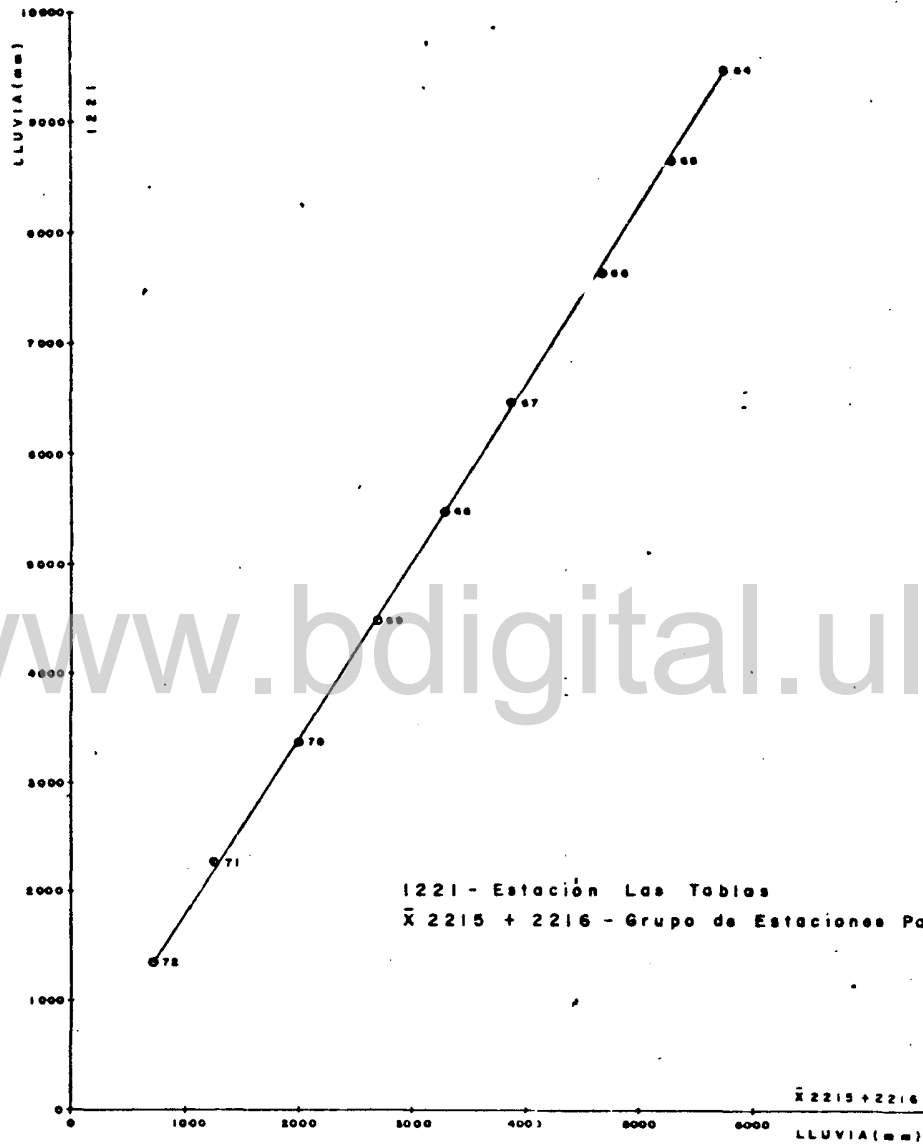


Figura 21

Curva doblemente mágica de precipitación mensual

1221 vs 2215 + 2216

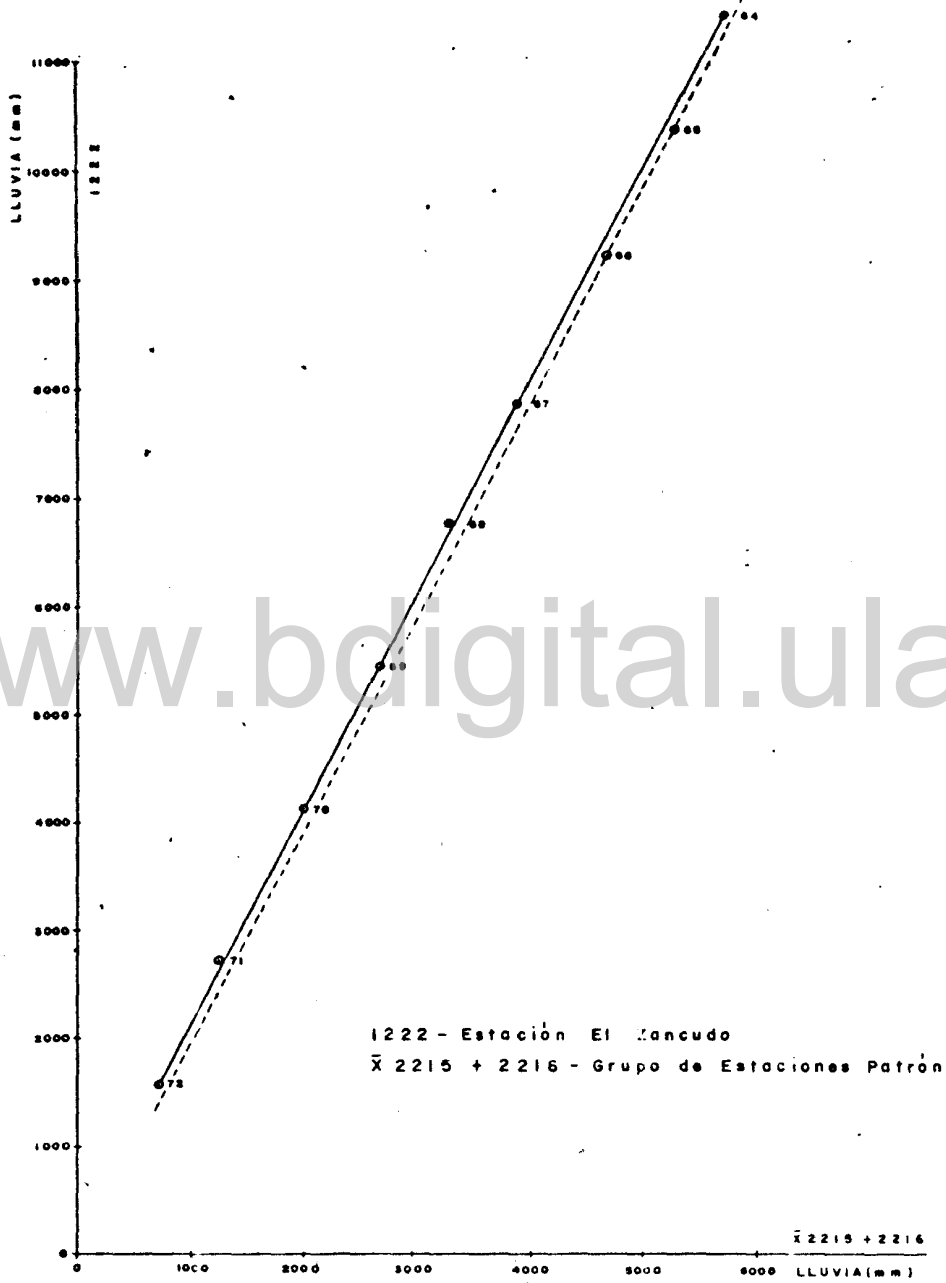


Figura 22

Curva doblemente másica de precipitación mensual

1222 vs 2216 + 2225

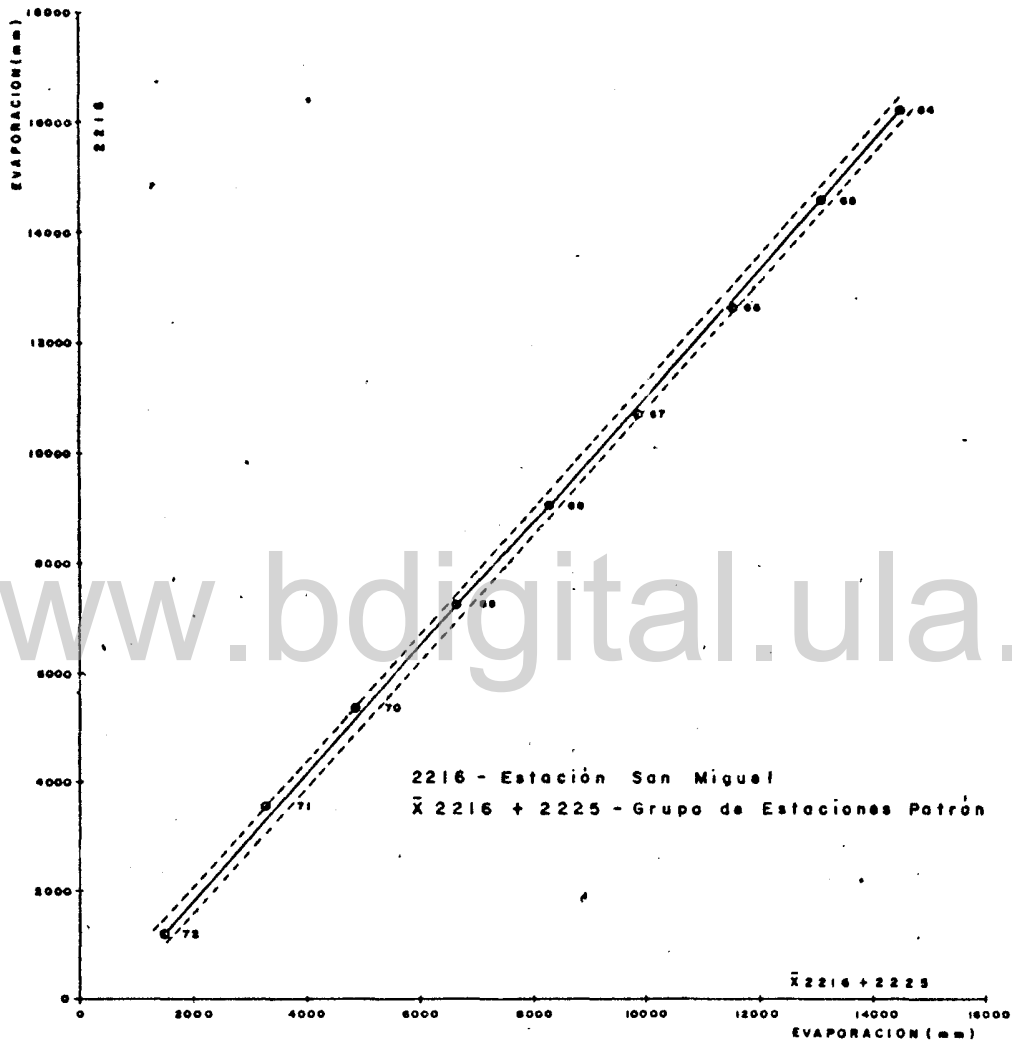


Figura 23

Curva doblemente másica de evaporación mensual.

Medida en tina tipo A

2216 vs 2216 + 2225

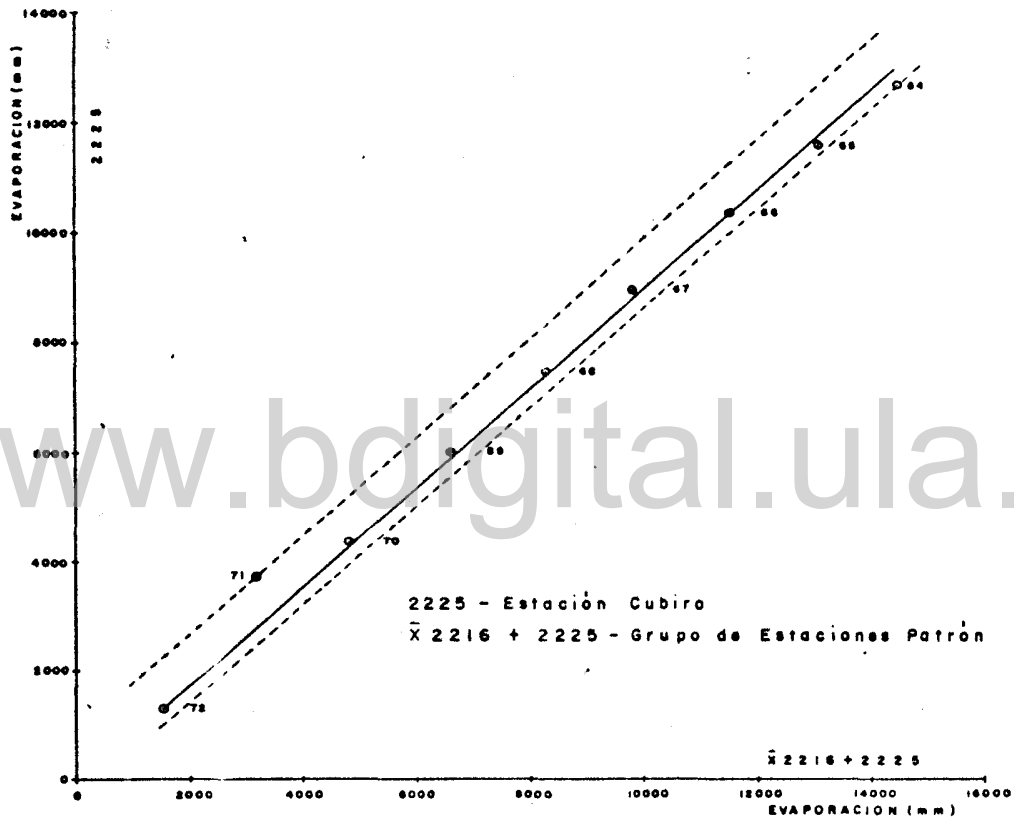


Figura 24 Curva doblemente másica de evaporación mensual.
Medida en tina tipo A

APENDICE 5

SALIDAS DEL MODELO

www.bdigital.ula.ve

Tabla 4. Opción Calibración.

CUENCA C10 TURBIA SAN VICENTE SAN VICENTE LARA SUPCIENCA 1

CK3= 0.60 C3= 0.05 C4= 0.20 C5= 0.10 C6= 0.02
 C7= 0.05 C8= 0.02 C9= 0.00 C10= 0.10
 CINF= 32.0 PHSI= 2.0 HCSI= 25.0 CC= 26.0 PXCII= 5.0
 AS= 0.0 AA= 0.0 FSCIE= 0.1
 KA= 1

CALCULO INTERMEDIO DEL MODELO

FSURE 0.2 R 1.1 C601 1.0.1

RSI 0.0 V111 0.11 1.0000E-04

VOLUMEN TOTAL OBSERVADO A LA SALIDA DE LA CUENCA 2.5274 02 MILLONES DE METROS CUBICOS
 VOLUMEN TOTAL SIMULADO 1.4200 02 MILLONES DE METROS CUBICOS

Tabla P. Cación Calibración. (Continuación)

CUENCA RIO TURBIO EN SAN MIGUEL EDO. LARA SUBCUENCA 2

CK3= 0.60 C3= 0.10 C4= 0.65 C5= C.05 C6= 0.05
 C7= 0.05 C8= 0.05 C9= C.90 C10= 0.10
 CINF= 32.0 PMSI= 2.0 HES= 28.0 CC= 29.0 PVCII= 5.0
 AS= 0.0 AA= 0.0 PSQI= C.1
 KA= 1

CALCULO INTERMEDIOS DEL MCOELC

FSUBE 0.1
 QR C.C 43.0
 SPO1

HSI 2.47
 VCI 3.1529E-05
 SPO1 2.1321E-05

VOLUMEN TOTAL OBSERVADO A LA SALIDA DE LA CUENCA= 2.9278E 02 MILLONES DE METROS CUBICOS

VOLUMEN TOTAL SIMULADO= 3.9754E 01 MILLONES DE METROS CUBICOS



Tabla A. Cuelga Calibración. (Continuación)

CUENCA FIC TURBIO EN SAN MIGUEL EDO. LARA SUBCUENCA 3

CK3= 0.70 C3= 0.15 C4= 0.70 C5= 0.60 C6= 0.15
 C7= 0.05 C8= 0.15 C9= 0.35 C10= 0.25
 CINF= 35.0 PHSI= 2.0 HES= 29.0 CC= 30.0 PVCII= 5.0
 AS= 0.0 AA= 0.0 PSROI= 0.5
 KA= 1

CALCULOS INTERMEDIOS DEL MODELO

FSUBE	CP	SFO1
0.1	0.1	277.5
HSI	VCI1	SFOI
0.0	1.6955E-04	1.2145E-02
VOLUMEN TOTAL OBSERVADO A LA SALIDA DE LA CUENCA	2.9278E 02	MILLONES DE METROS CUBICOS
VOLUMEN TOTAL SIMULADO	2.1257E 02	MILLONES DE METROS CUBICOS

Tabla A. Opción Calibración. (Continuación)

CUENCA RIC TURBIO EN SAN MIGUEL EDO. LARA SUBCUENCA 4

CK3= 0.60 C3= 0.10 C4= 0.80 C5= 0.05 C6= 0.06
 C7= 0.02 C8= 0.05 C9= 0.85 C10= 0.15
 CINF= 32.0 FHSI= 2.0 PES= 26.0 CC= 27.0 PVCII= 5.0
 AS= 0.0 AM= 0.0 PSROI= 0.1
 KA= 1

CALCULOS INTERMEDIOS DEL MODELO

FSUBE 0.1
 OB C.C
 SROI 66.0
 HSI 0.0
 VOII 3.0249E-05
 SFCI 2.7830E-04
 VOLUMEN TOTAL OBSERVADO A LA SALIDA DE LA CUENCA 2.9278E 02 MILLONES DE METROS CUBICOS
 VOLUMEN TOTAL SIMULADO 5.6166E 01 MILLONES DE METROS CUBICOS

Tabla 1. Operación Calibración. (Continuación)

CUENCA FIC TIFIC EN SAN MIGUEL EDO. LAFA PERIODO 64- 68

CK3 = 0.75 C3 = 0.35 C4 = 0.72 C5 = 0.70 C6 = 0.0P
 C7 = 0.05 C8 = 0.05 C9 = C0.5C10 = 0.25
 CINF = 43.0 PHSI = 0.5 HES = 36.0 CC = 37.0 PVCII = 80.0
 AS = 0.0 AA = 0.0 PSROI = 0.5
 KA = 1

CALCULO INTERMEDIOS DEL MODELO

FSUBE 0.4 CP 0.1 SROI 451.6

HSI 0.0 VOII 2.5637E-02 SROI 1.4791E-01

VOLUMEN TOTAL OBSERVADO A LA SALIDA DE LA CUENCA = 2.9278E 02 MILLONES DE METROS CUBICOS

VOLUMEN TCTAL SIMULACC = 2.9278E 02 MILLONES DE METROS CUBICOS

COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL ENTRE LOS VALORES OBSERVADOS Y LOS SIMULADOS A LA SALIDA DE LA CUENCA 0.793

Tabla 1. Salidas Subrutina DIFER.

MODELO DE SIMULACION HIDROLOGICA

DIFERENCIA EN PORCENTAJE ENTRE LA ESCORRENTIA OBSERVADA Y LA SIMULADA

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OBS	1.247	0.850	1.241	4.247	14.221	14.345	14.927	6.175	5.633	6.420	4.497	2.220
SIM	1.202	0.696	2.763	7.511	11.654	11.404	8.691	7.020	7.176	6.672	4.861	2.344
DIF	3.67	18.16	-122.64	-54.94	26.74	17.00	2.77	-14.31	-30.94	-6.40	-3.91	-7.92

***DIF= (OBS-SIM)*100/OBS.//...VALORES DE ESCORRENTIA EN MILLONES DE METROS CUBICOS

Tabla 10. Salida Subrutina Regsim.

REGIMEN DE SIMULACIONES HIDROLOGICAS

SUFICIENCIA 1

REGISTROS SIMULADOS

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
64	-0.000	-0.000	4.233	5.731	5.257	4.457	1.756	2.445	1.456	1.402	0.447	0.046
65	0.934	0.094	0.123	6.227	6.450	7.226	1.425	2.062	4.422	3.370	0.340	0.036
66	0.006	0.003	2.556	2.403	10.656	5.432	2.554	4.217	2.122	6.466	3.727	0.275
67	0.034	0.711	4.546	6.747	6.141	4.854	5.424	7.121	2.940	2.550	0.555	0.046
68	0.010	0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
PROME	0.247	0.203	2.274	5.207	7.312	3.546	3.176	2.830	2.453	3.557	1.470	0.148

***VALORES DE ESCORRENTIA EN MILLONES DE METROS CUBICOS

***-0.000 SIGNIFICA REGISTRO AC SIMULADO

Tabla II. Similitud Subrutina Regida.

MÓDULO DE REGULACIÓN FISIOLÓGICA

SUCUENCIA 2
REGISTROS SIMULADOS

	FVE	FEA	MAN	AME	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
64	-0.000	-0.000	0.000	1.176	1.713	1.000	0.000	0.000	0.000	0.254	0.047	0.012
65	0.040	0.005	0.001	2.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.767	0.244	0.025	0.003
66	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	2.000	1.000	0.135
67	0.014	0.343	1.384	1.000	1.717	1.000	1.000	0.759	1.000	0.317	0.192	0.019
68	0.002	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
PROME	0.014	0.047	0.037	1.425	1.000	1.000	0.794	0.924	1.150	0.740	0.405	0.042

***VALORES DE ESCRIMENTIA EN MILLONES DE METROS CUADROS

***-0.000 SIGNIFICA REGISTRO NO SIMULADO

Tabla 12. Salida Subrutina R0001.

MODELO DE SIMULACION HIDROLOGICA

SERIE ENCA, 1

REGISTROS SIMULADOS

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
64	-0.000	-0.000	4.622	7.695	5.217	7.950	3.675	4.232	2.943	2.512	1.352	0.423
65	0.938	0.324	0.157	4.511	10.027	11.573	5.024	3.254	7.756	5.090	1.563	0.430
66	0.113	0.031	3.460	2.502	12.425	16.003	5.732	7.112	5.738	10.143	7.772	2.377
67	0.639	1.171	6.266	5.766	5.275	2.633	9.695	5.148	5.493	4.115	2.005	0.555
68	0.160	0.041	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
PROME	0.463	0.392	3.614	7.322	10.227	5.214	6.052	5.652	5.492	5.446	3.128	0.960

***VALORES DE ESCORRENTIA EN MILLONES DE METROS CUBICOS

***-0.000 SIGNIFICA REGISTRO DE SIMULADO

Tabla 2. Salida Subrutina Regim.

MODELO DE SIMULACION HIDROLOGICA

SUCCUENCIA 4

REGISTROS SIMULADOS

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
64	-0.000	-0.000	0.063	2.045	2.726	2.111	0.322	0.824	0.376	0.060	0.153	0.065
65	0.332	0.051	0.009	2.332	2.279	2.540	0.457	0.407	2.128	0.471	0.071	0.011
66	0.002	0.000	1.232	0.640	5.243	2.528	0.728	1.714	1.056	2.956	1.594	0.239
67	0.076	0.068	2.010	2.076	2.156	1.455	1.770	0.228	1.631	0.556	0.467	0.070
68	0.311	0.002	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
PROM	0.095	0.030	0.853	2.104	3.111	2.276	0.919	1.052	1.703	1.011	0.571	0.097

***VALORES DE ESCORRENTIA EN MILLONES DE METROS CUBICOS

***-0.000 SIGNIFICA REGISTRAC NO SIMULADO

www.bdigital.ula.ve

Tabla 14, Salina Subrutina Noelma

MODELO DE SIMULACION MEDIOLOGICA

SERIE N.º 5

REGISTROS SIMULADOS

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
64	-0.000	-0.000	3.944	7.602	10.761	10.444	6.224	5.492	4.084	3.105	2.054	1.061
65	1.199	0.665	0.368	7.738	10.725	12.975	9.435	5.983	5.611	7.012	3.530	1.522
66	0.608	0.234	2.223	7.467	12.245	12.222	6.628	6.170	8.201	11.655	10.295	5.704
67	2.295	1.609	6.269	10.445	11.527	10.561	11.165	7.445	7.456	5.716	3.607	1.658
68	0.705	0.275	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
PROME	1.202	0.696	2.763	7.511	11.554	11.808	6.461	7.060	7.374	6.472	4.681	2.356

***VALORES DE ESCORRENTIA EN MILLARES DE METROS CUBICOS

***-0.000 SIGNIFICA REGISTRO NO SIMULADO

www.digital.ula.ve

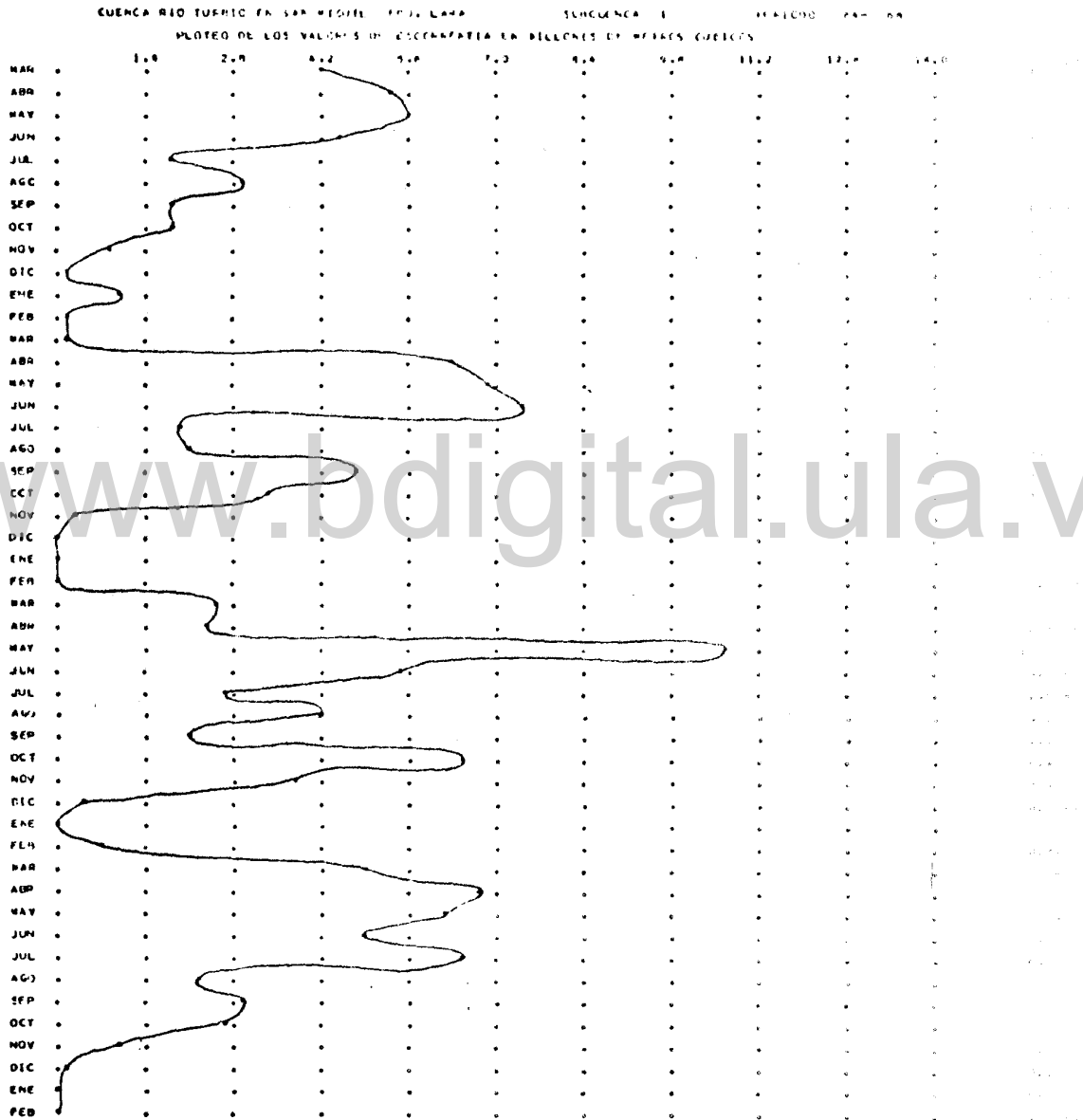


Figura 27. Secuencia 1. R. Turpio. S. P. Salina Subterránea Plovia.

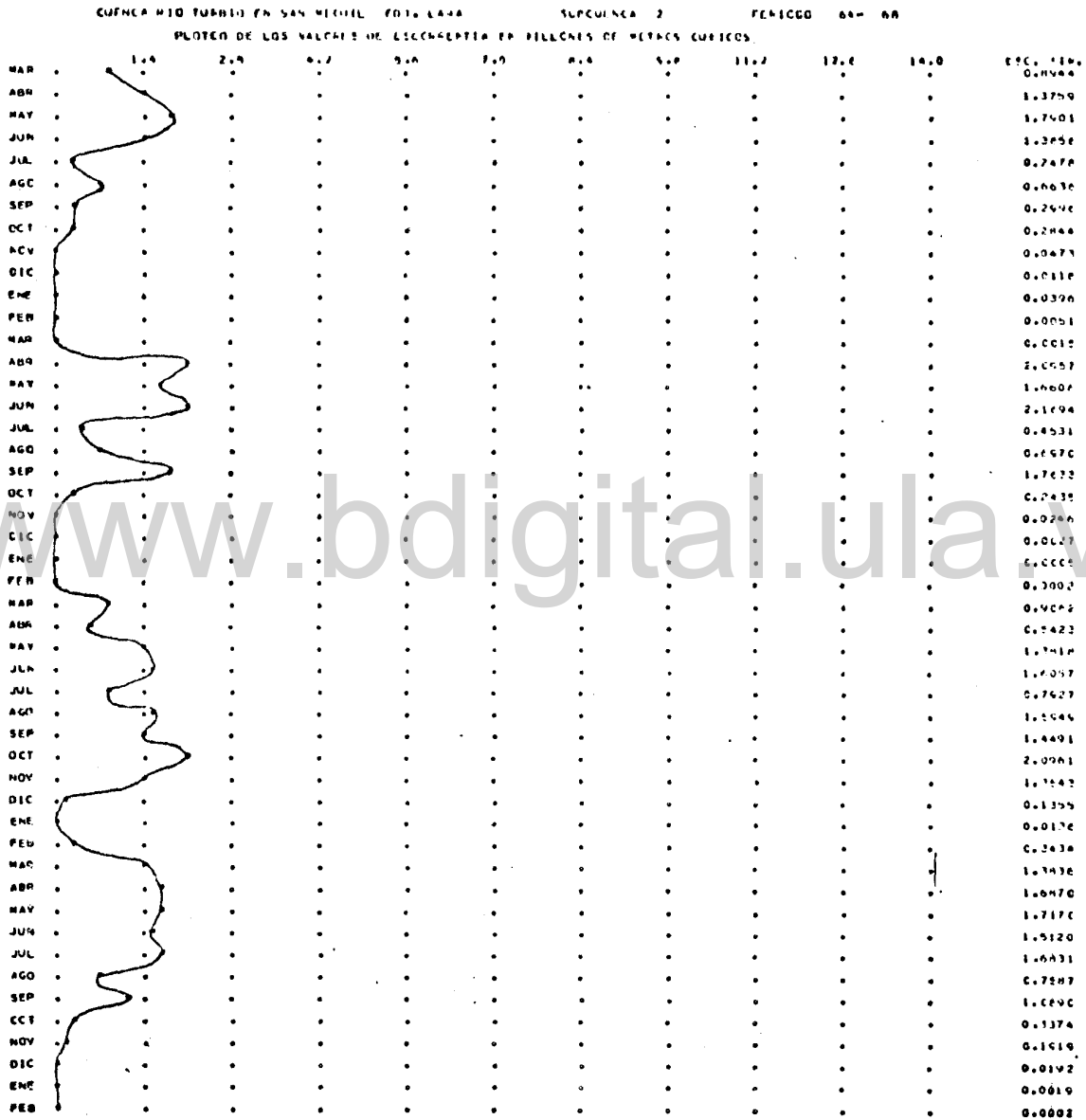


Figura 28 Subcuena 2. Registros Similares.
 Salida Substancia Pluvia

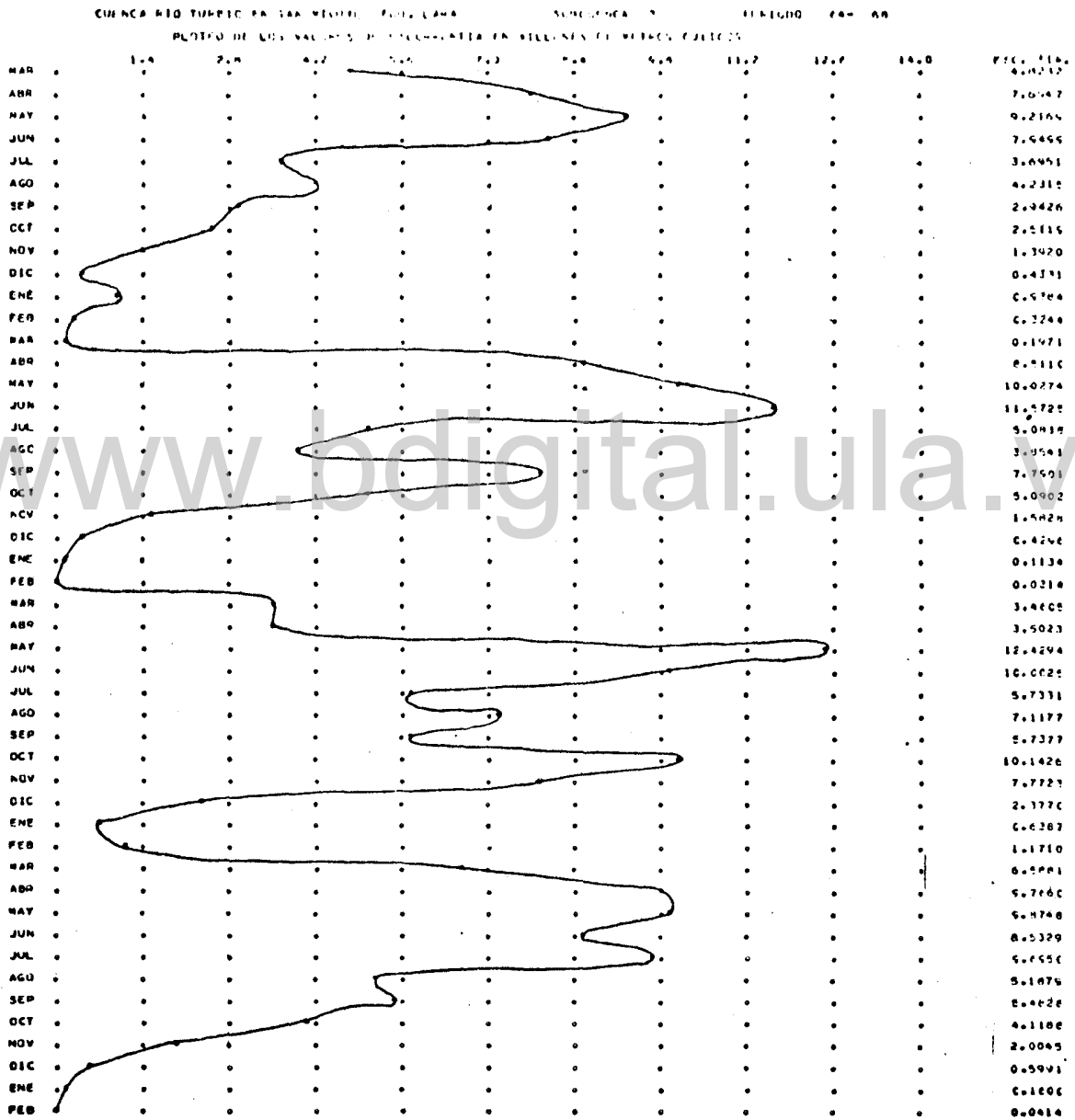


Figura 29 Subcuestia 3. Registros Simulados. Salida Subrutina Plosim

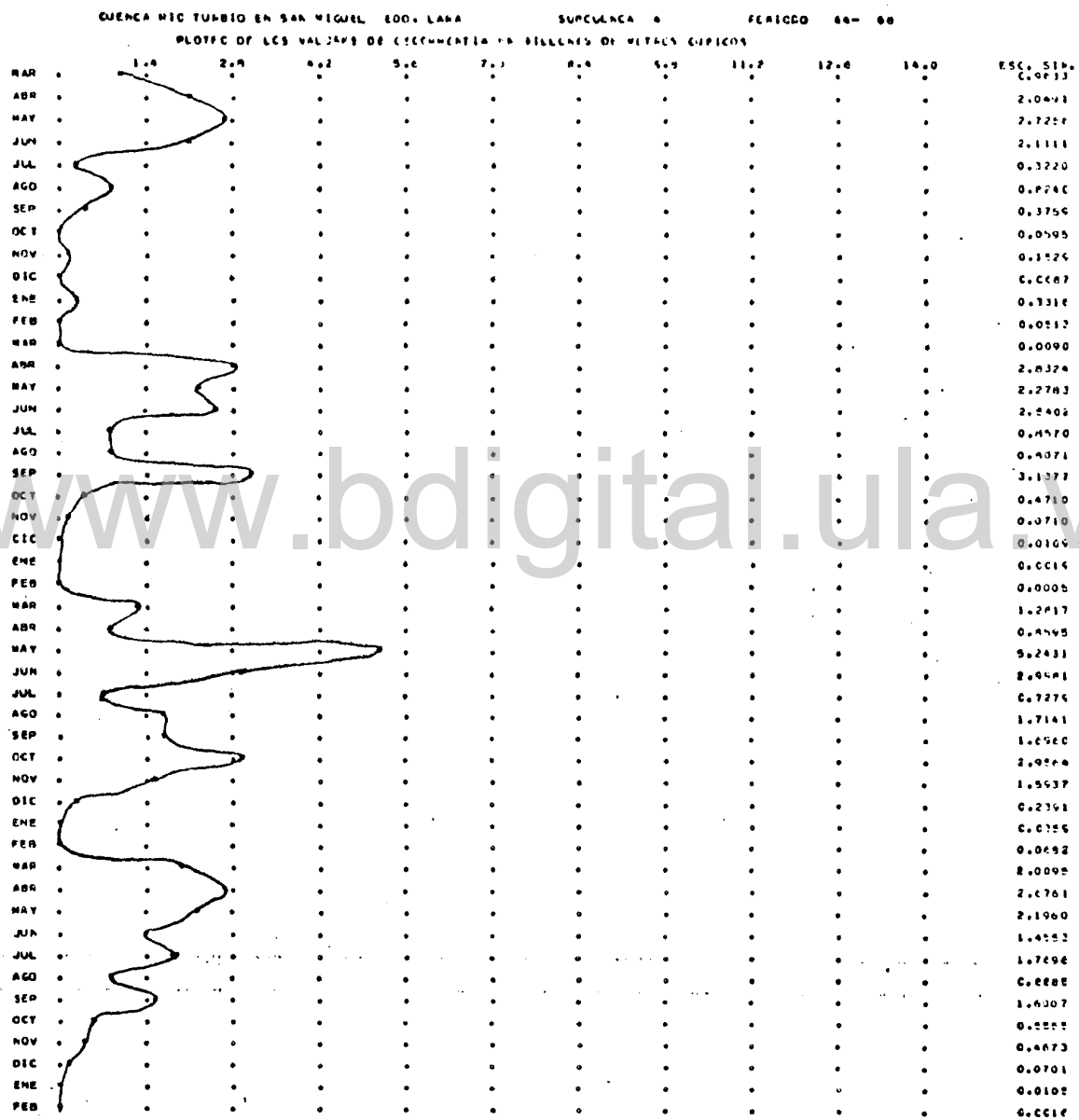


Figura 30 Subcuena 4. Registros Simulados.
Salida Subrutina Plosim

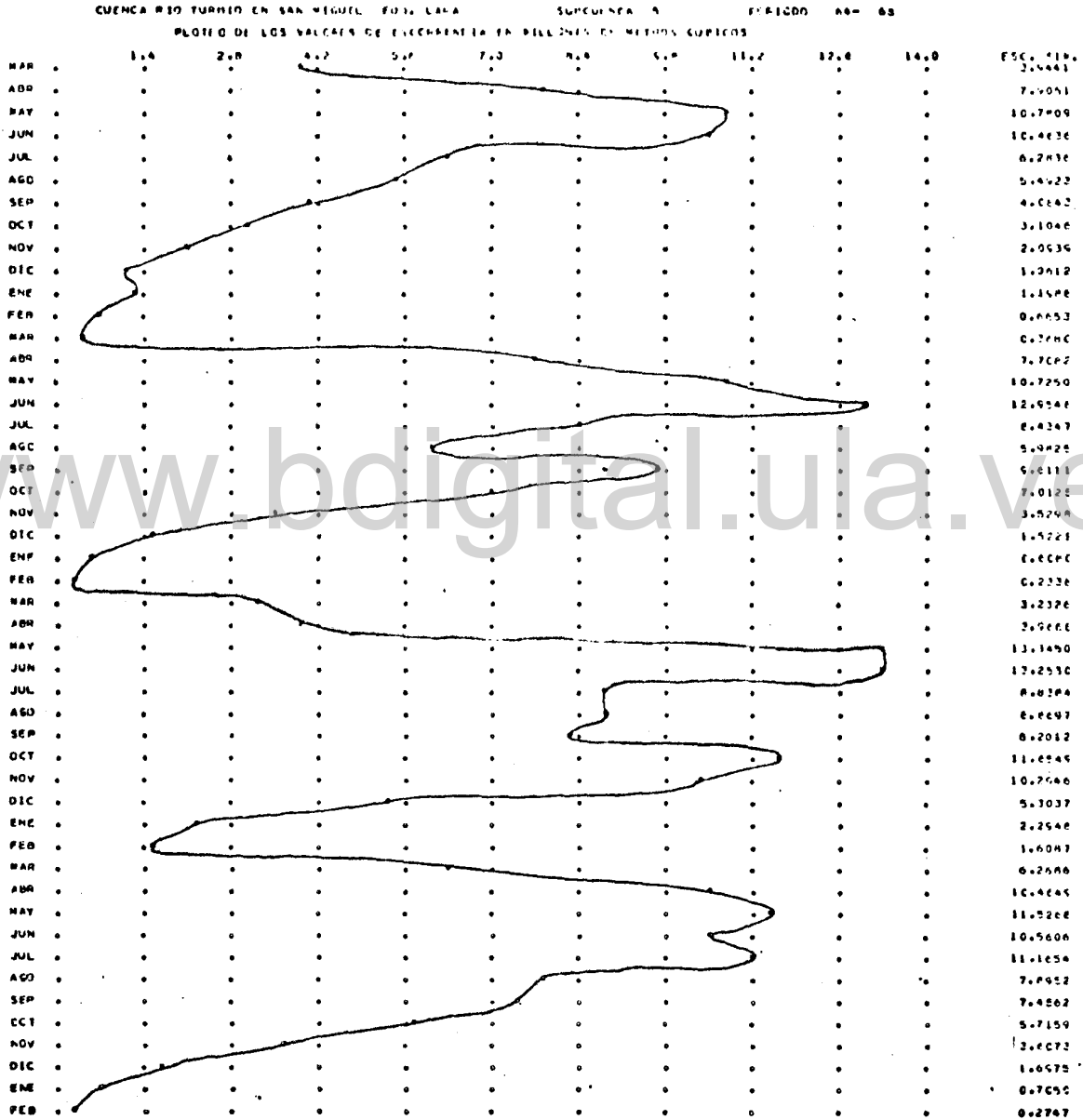


Figura 31 Subcuenca 5. Registros Simulados.
 Salida Subrutina Plosim

APENDICE 6

PRUEBA DE SENSIBILIDAD DE PARAMETROS

www.bdigital.ula.ve

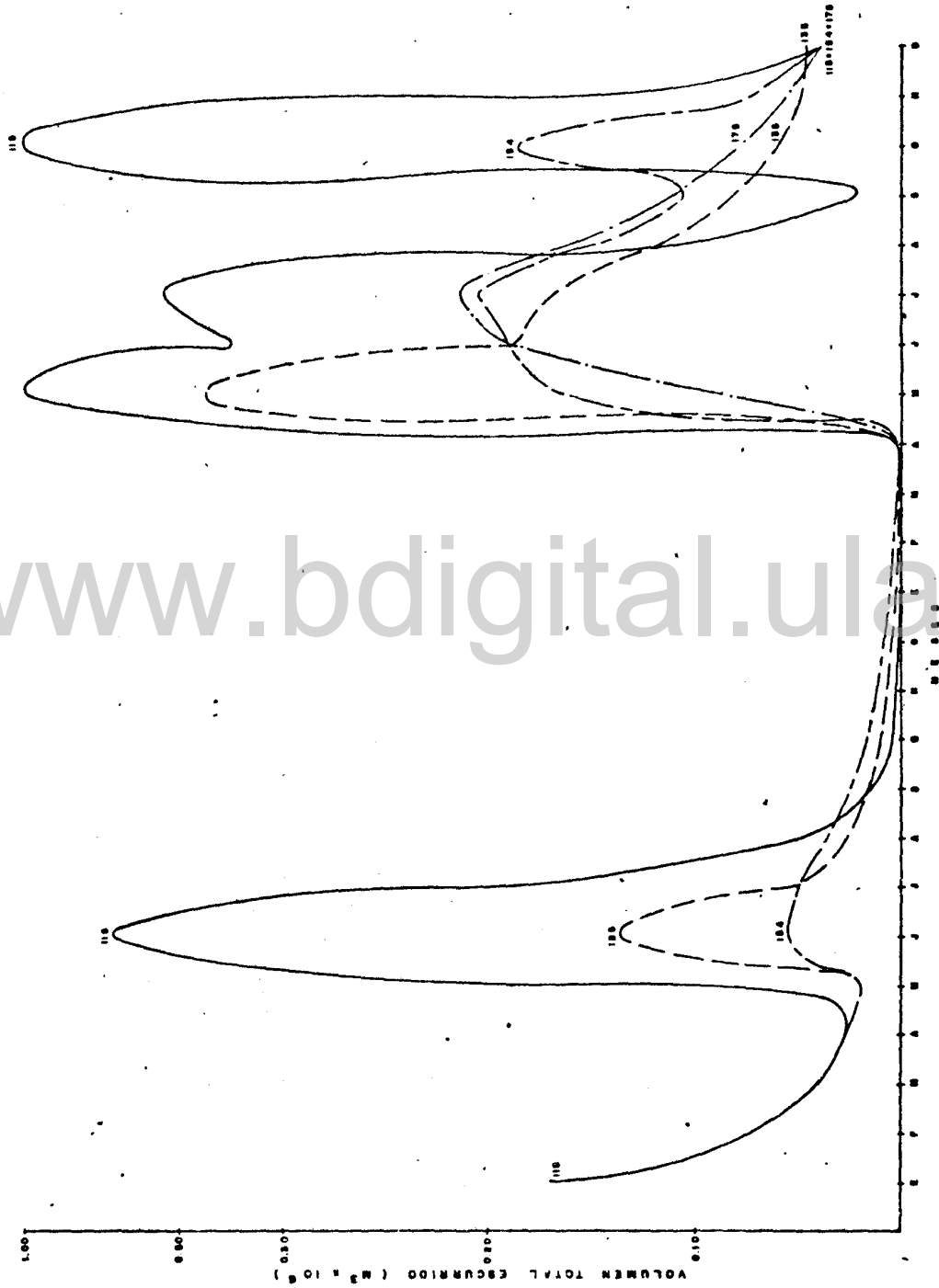


Figura 32 Volumen medio mensual escurrido para diferentes valores de CIN
Cuenca del Rio Turbio en San Miguel
subcuenca N° 4

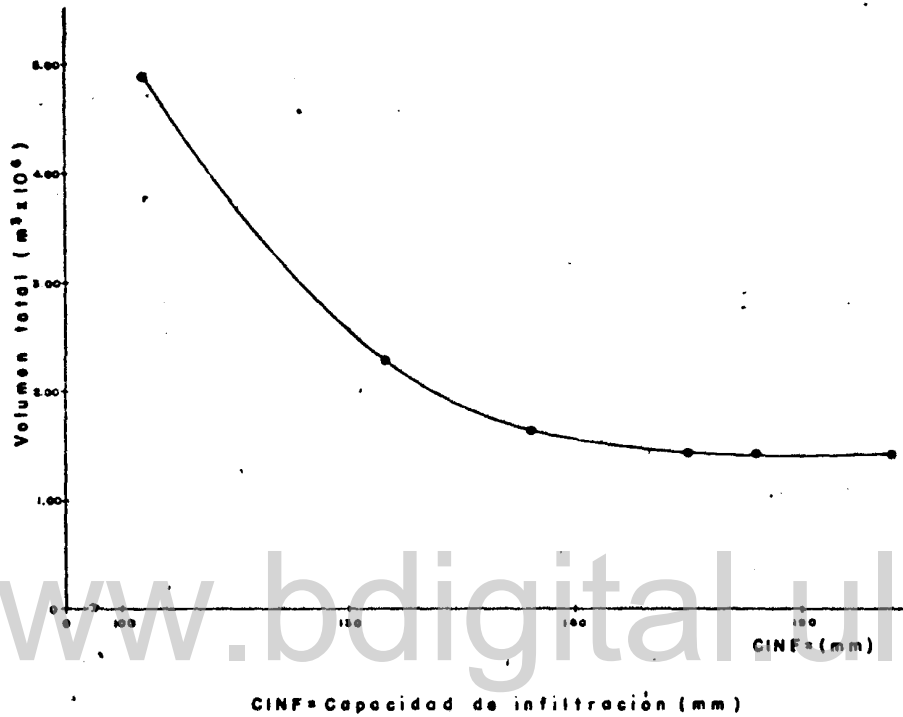


Figura 33

Sensibilidad de Parámetros
Cuenca Río Turbio en San Miguel
Subcuenca 4
CINF vs volumen total escurrido

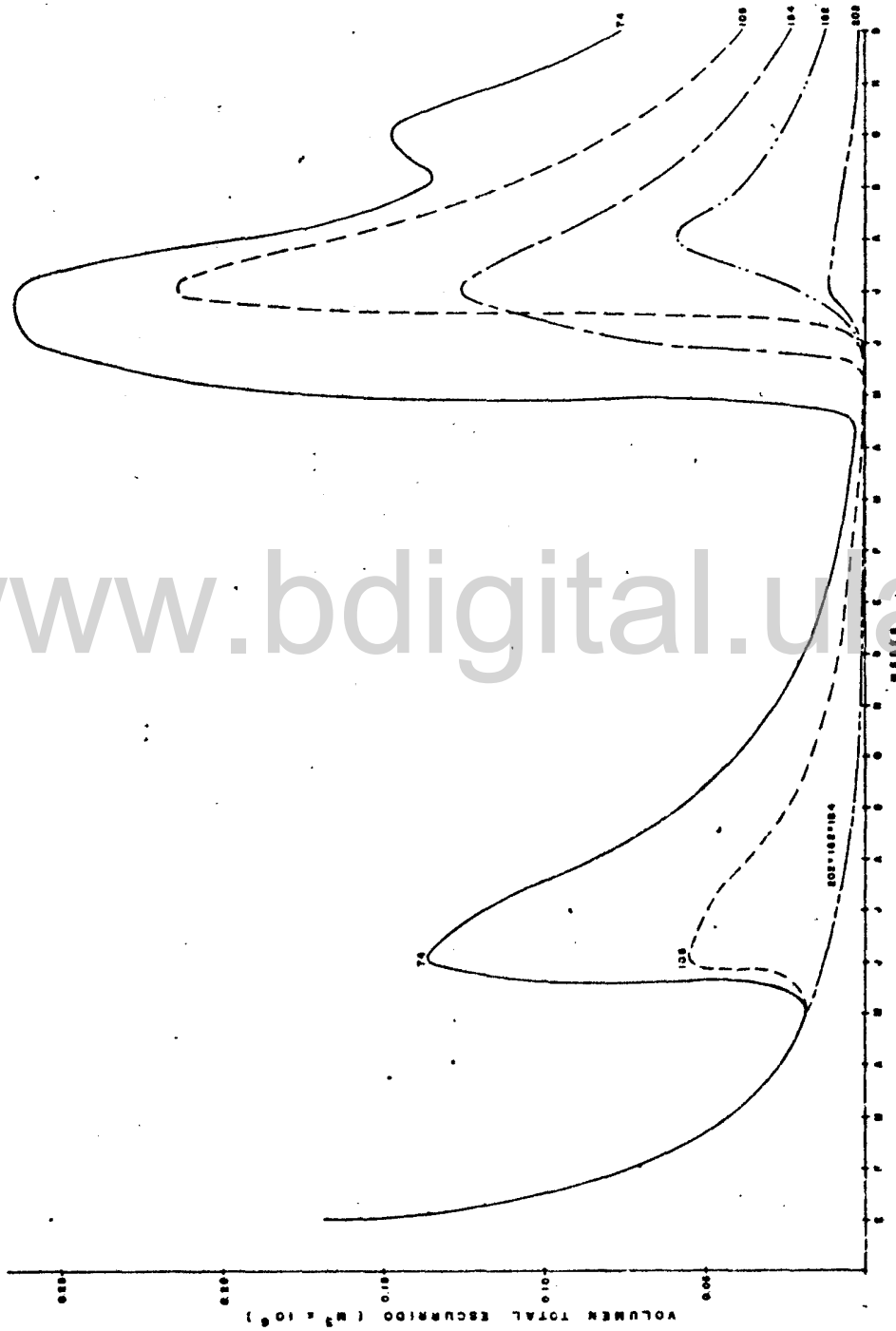
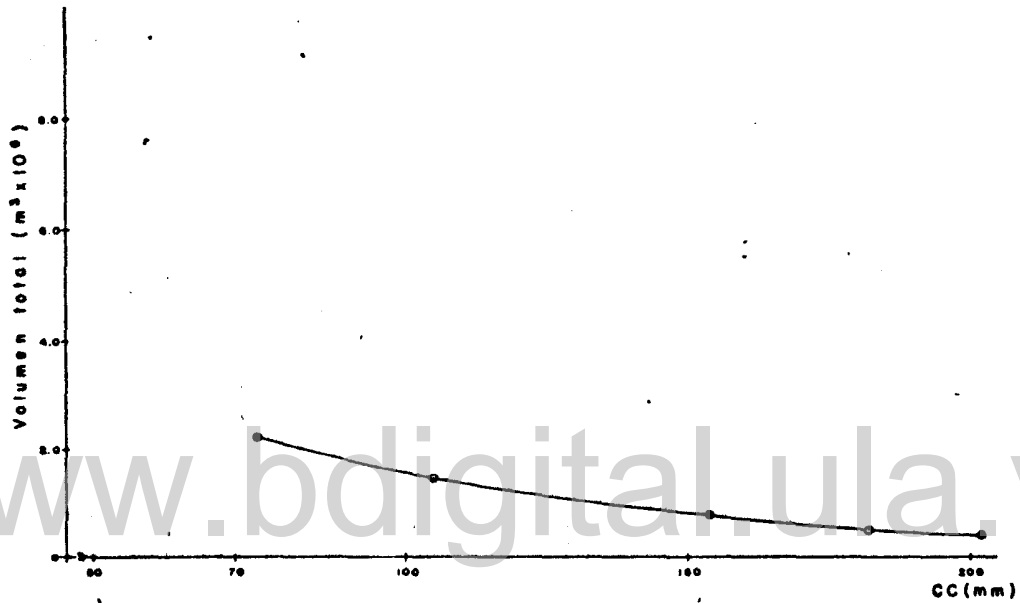


Figura 34 Volumen medio mensual escurrido para diferentes valores de CC
Cuenca del Río Turbio en San Miguel
subcuenca N° 4



CC= Capacidad de campo (mm)

Figura 35

Sensibilidad de Parámetros
 Cuenca Rio Turbio en San Miguel
 Subcuenca 4
 CC vs volumen total escurrido

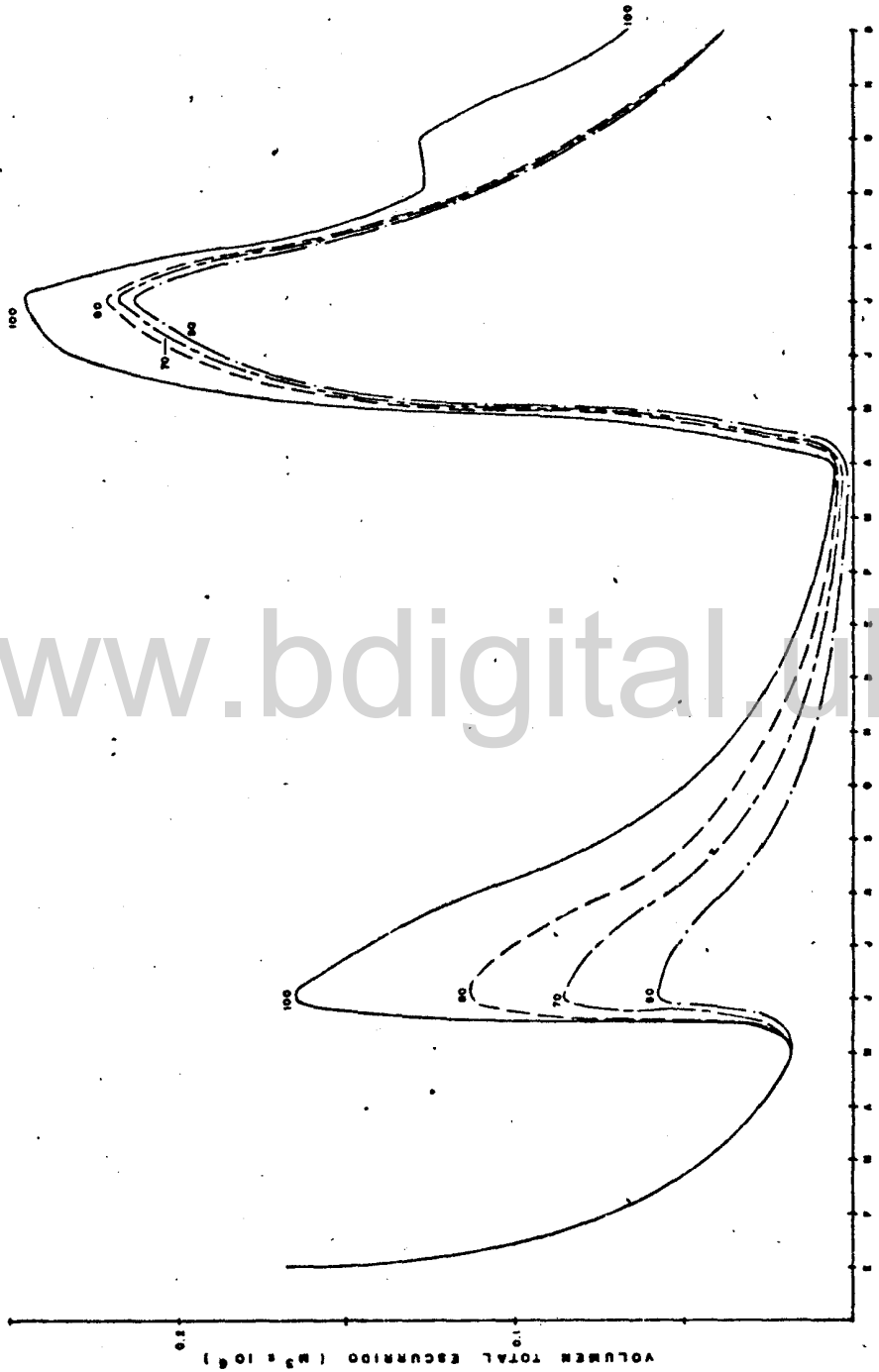
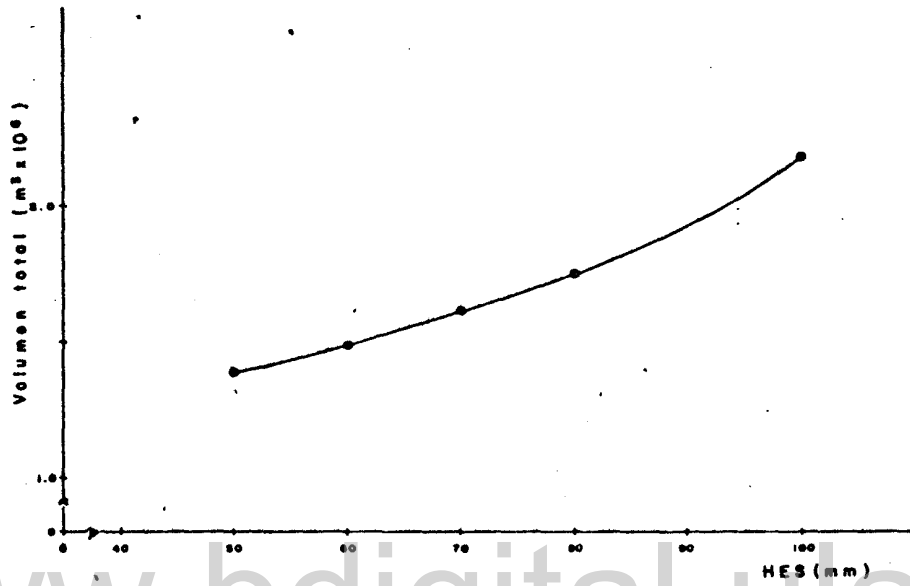


Figura 36 VOLUMEN MEDIO MENSUAL ESCURRIDO PARA DIFERENTES VALORES DE HES
CUENCA DEL RIO TURBIO EN SAN MIGUEL
SUBCUENCA Nº 4



HES = Contenido límite de humedad del suelo.

Figura 37

Sensibilidad de Parámetros
 Cuenca Rio Turbio en San Miguel
 Subcuenca 4
 HES vs volumen total escurrido

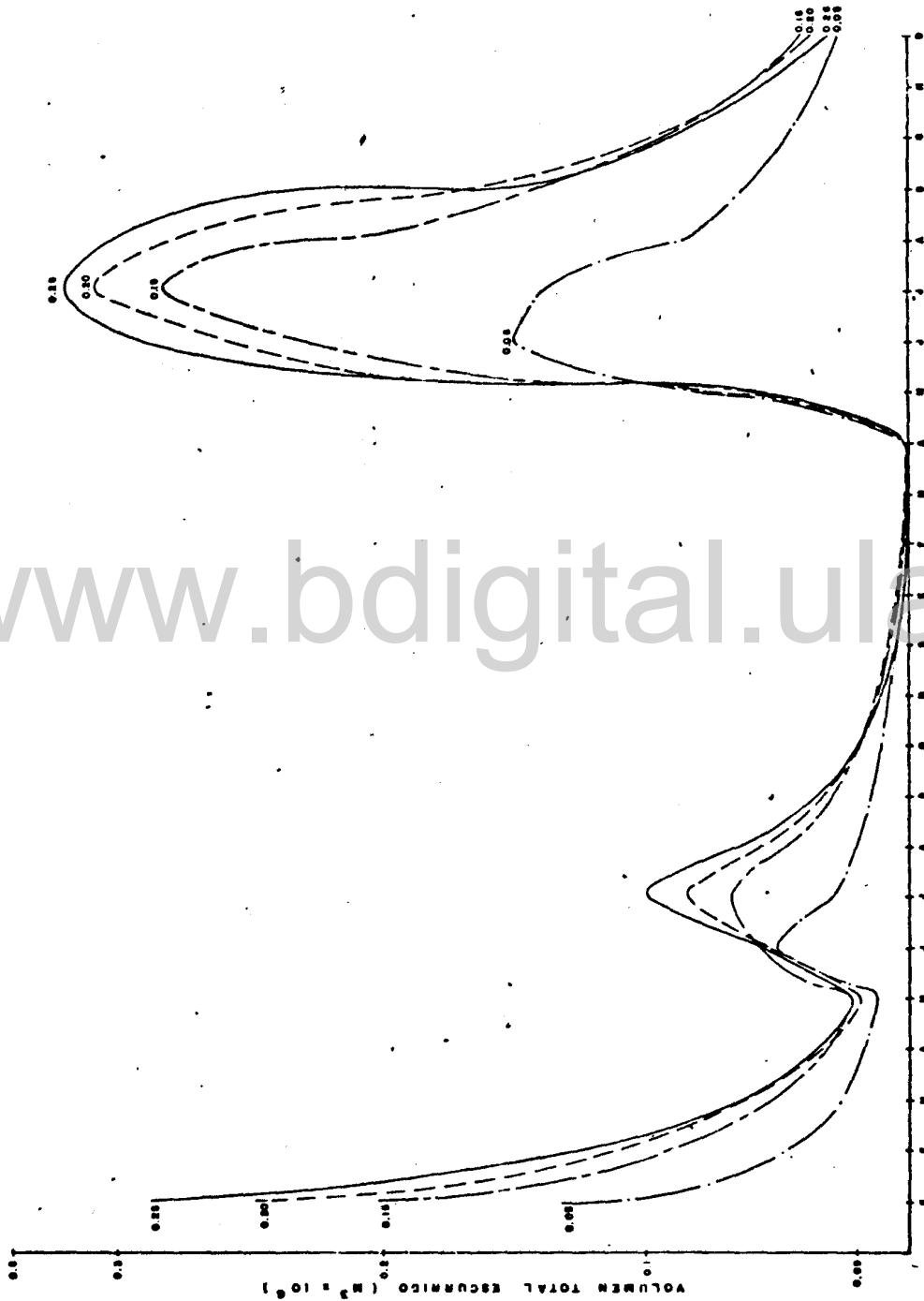


Figura 38 Volumen medio mensual escurrido para diferentes valores de c3
Cuenca del río Turbio en San Miguel
subcuenca N° 4

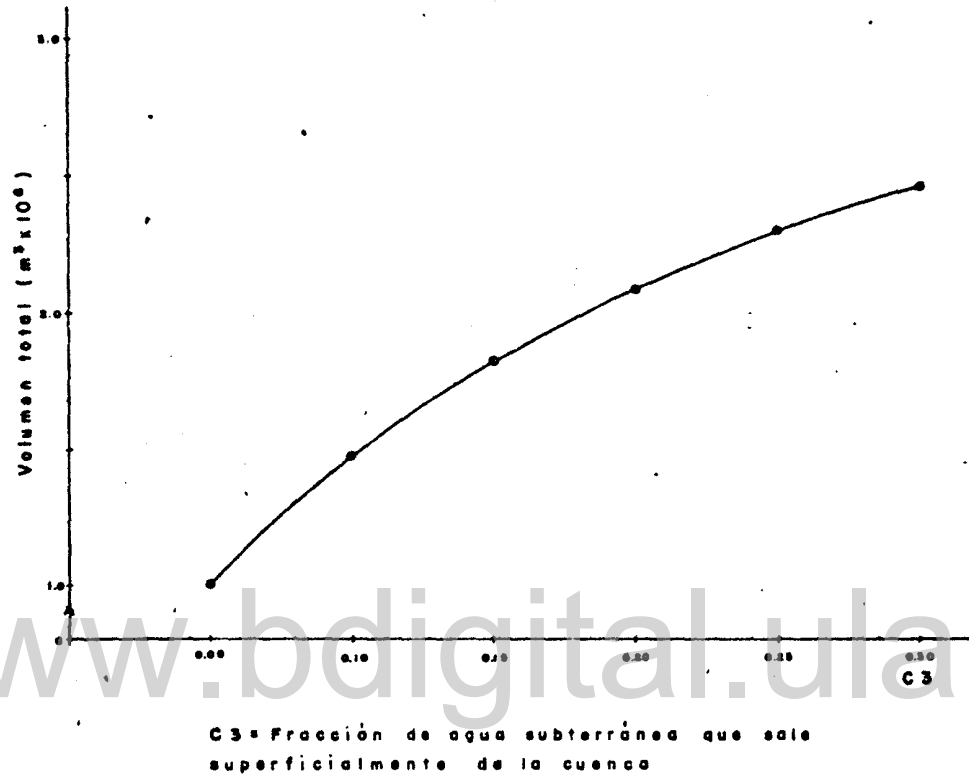


Figura 39

Sensibilidad de Parámetros
 Cuenca Rio Turbio en San Miguel
 Subcuenca 4
 C 3 vs volumen total escurrido

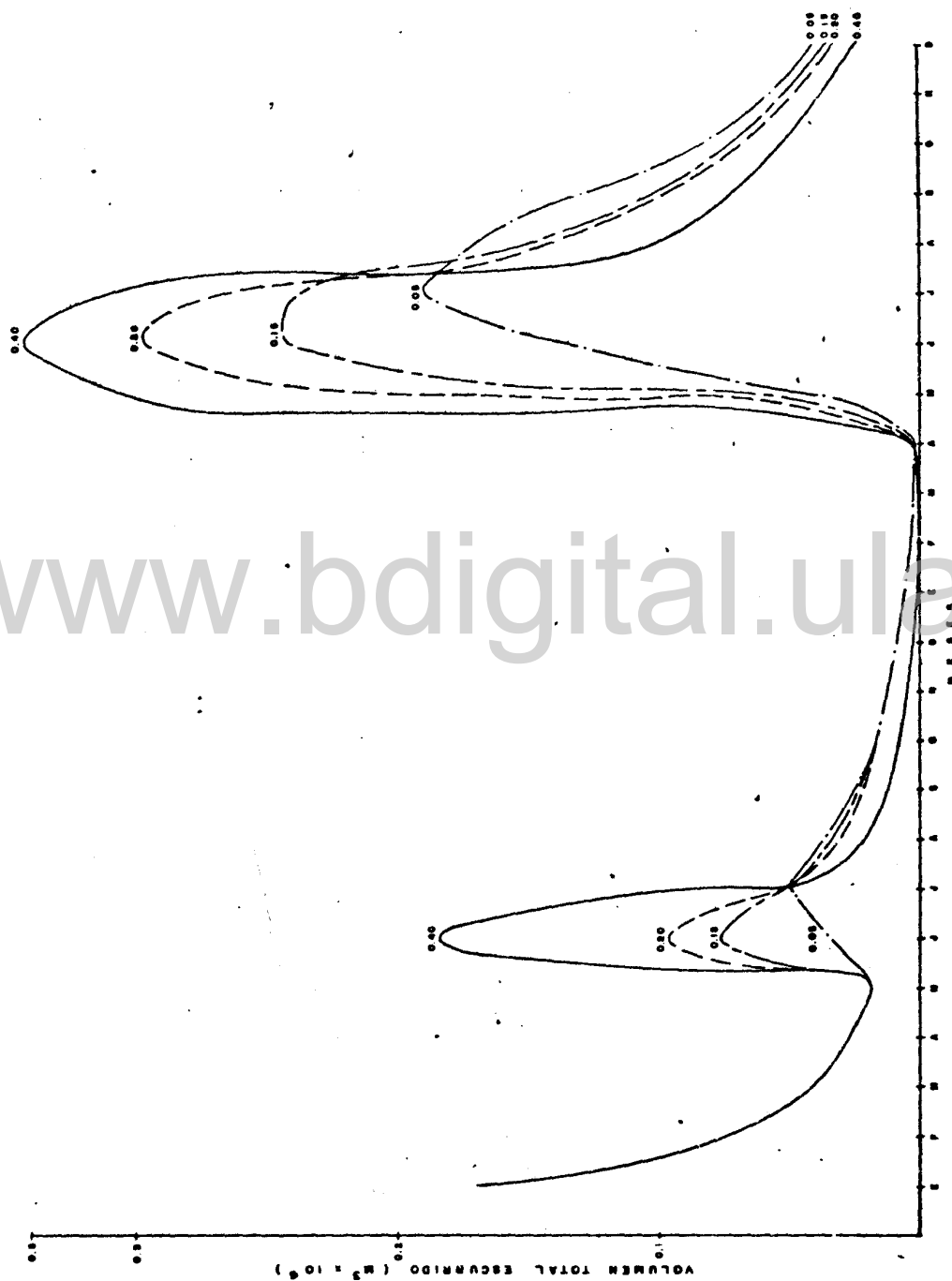
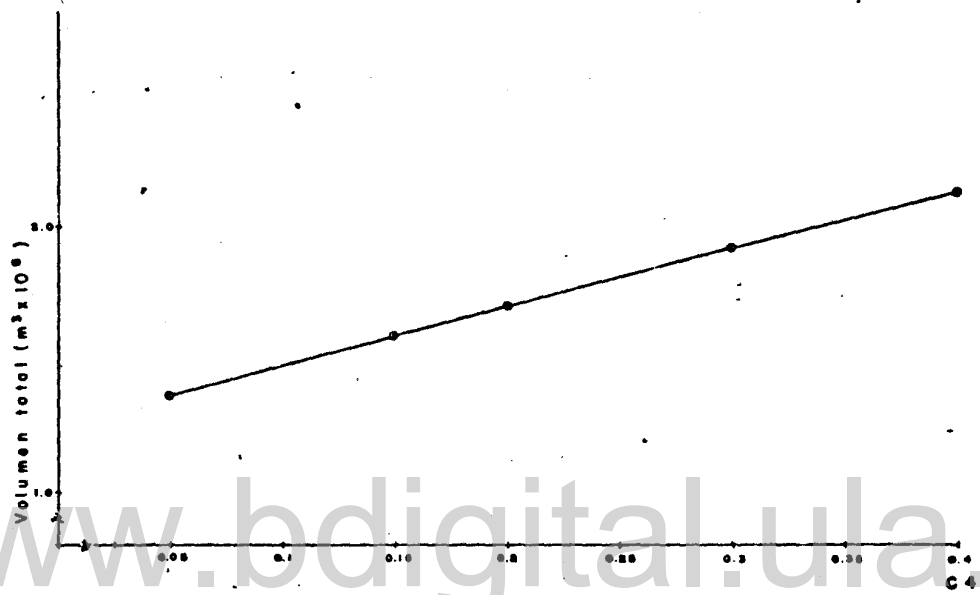


Figura 4Q. Volumen medio mensual escurrido para diferentes valores de c_4
 Cuenca del Rio Turbio en San Miguel
 subcuenca N° 4



C4 = Fracción del agua percolada que sale superficialmente de la cuenca durante el mes.

Figura 41

Sensibilidad de Parámetros
 Cuenca Rio Turbio en San Miguel
 Subcuenca 4
 C4 vs volumen total escurrido

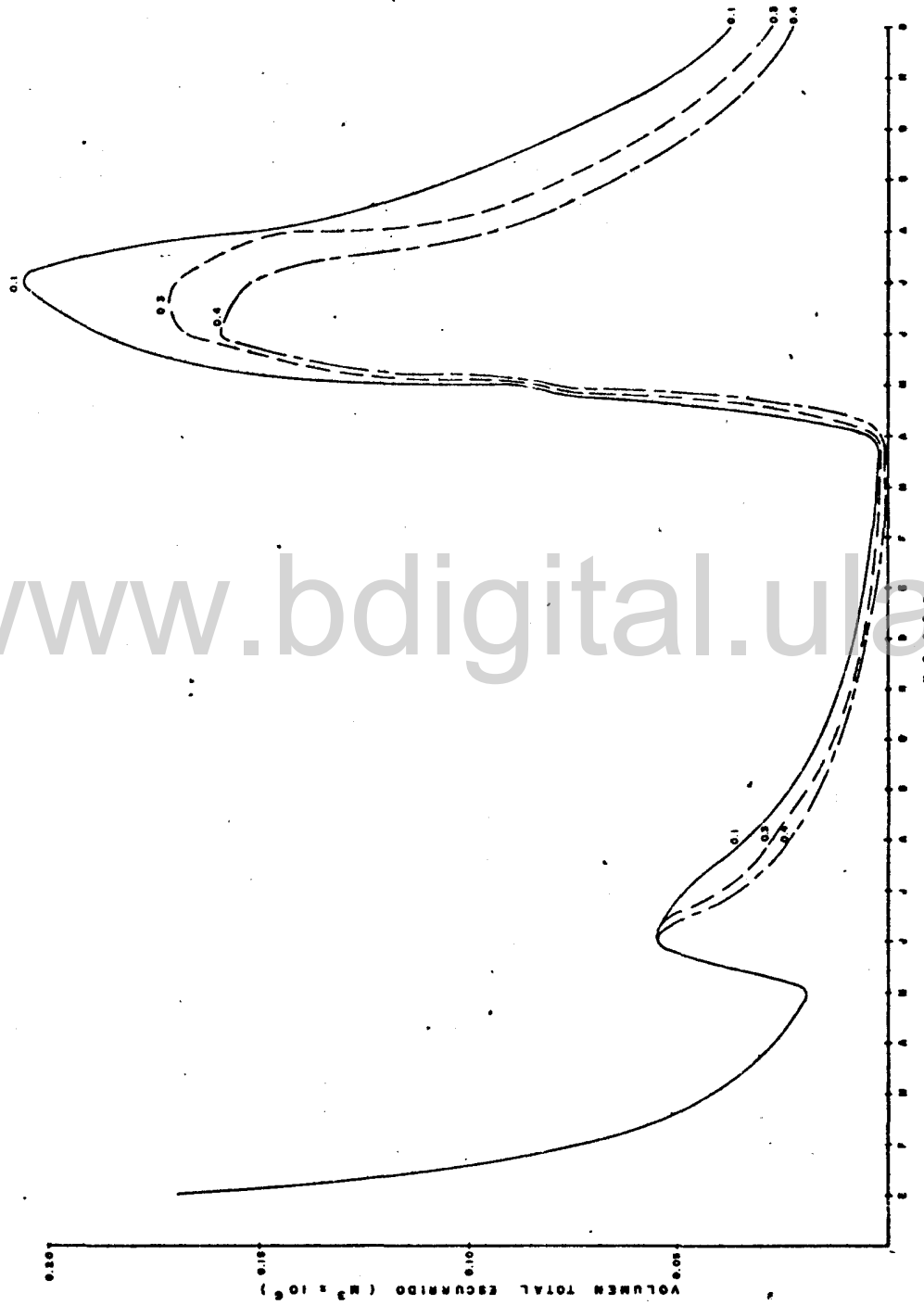
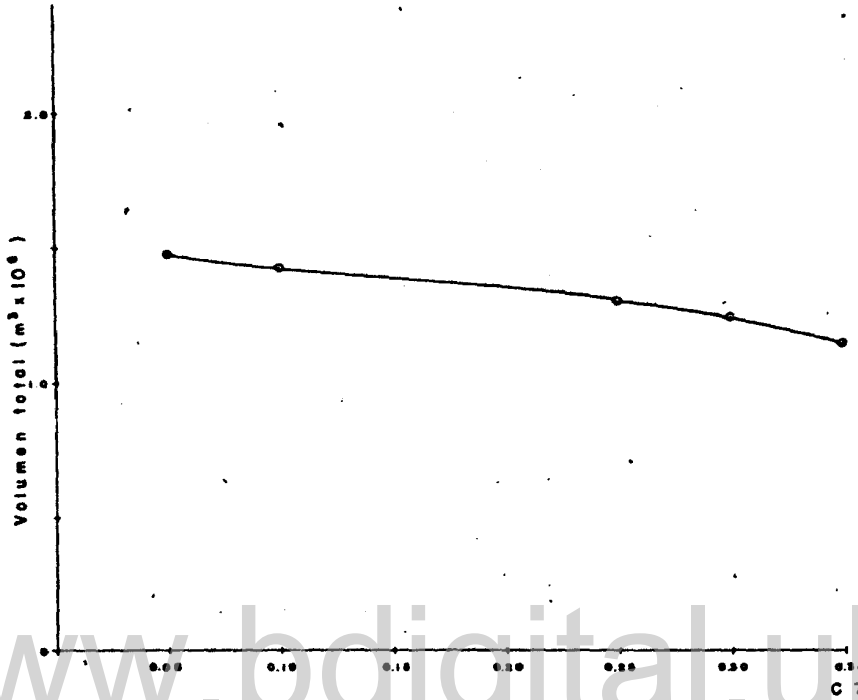


Figura 4.2 Volumen medio mensual escurrido para diferentes valores de c7

Cuenta del Río Turbio en San Miguel

subcuencia N°4



C 7 = Fracción del agua percolado que sale como flujo base de la cuenca durante el mes.

Figura 43

Sensibilidad de Parámetros
 Cuenca Río Turbio en San Miguel
 Subcuenca 4
 C 7 vs volumen total escurrido

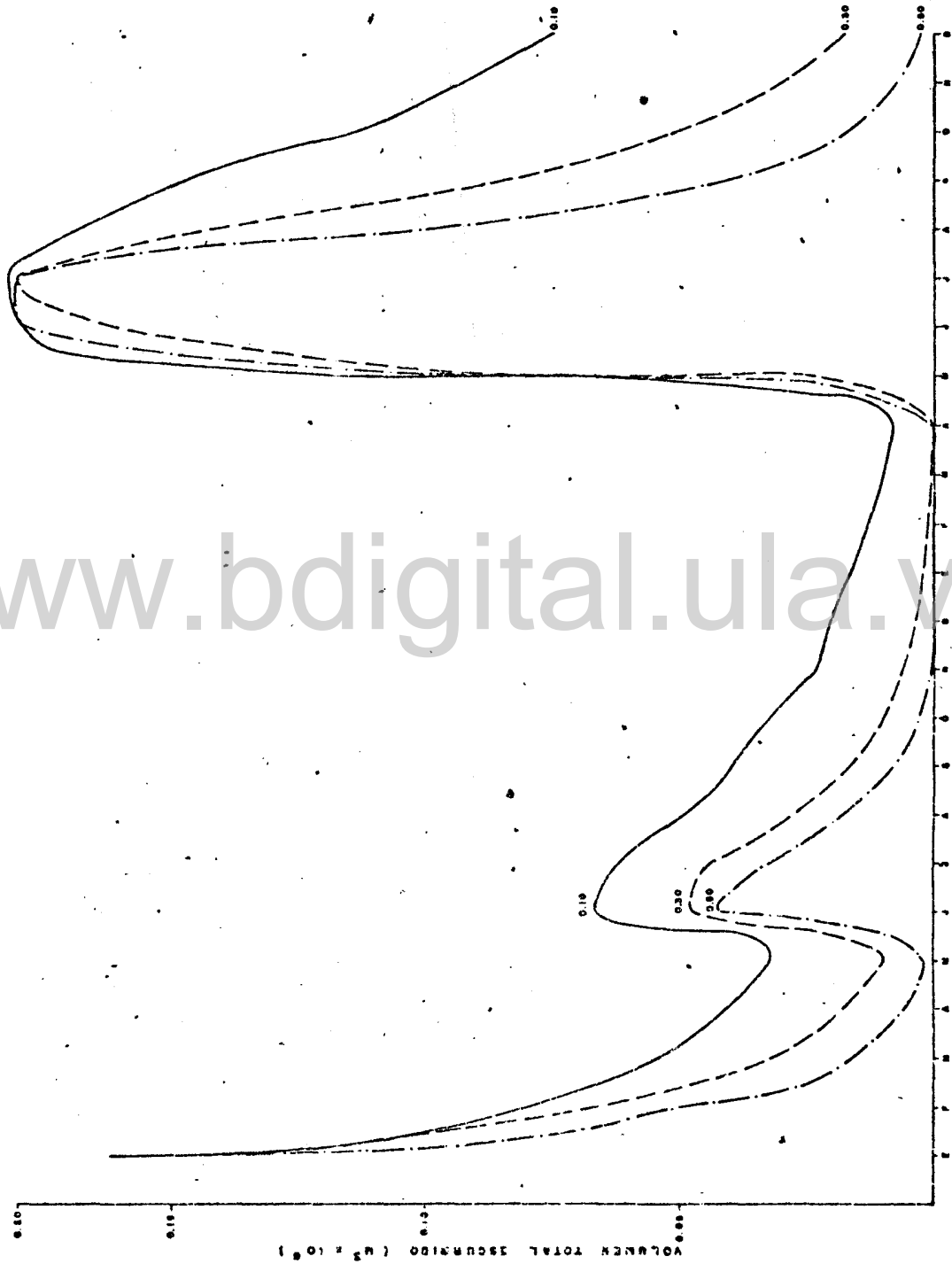
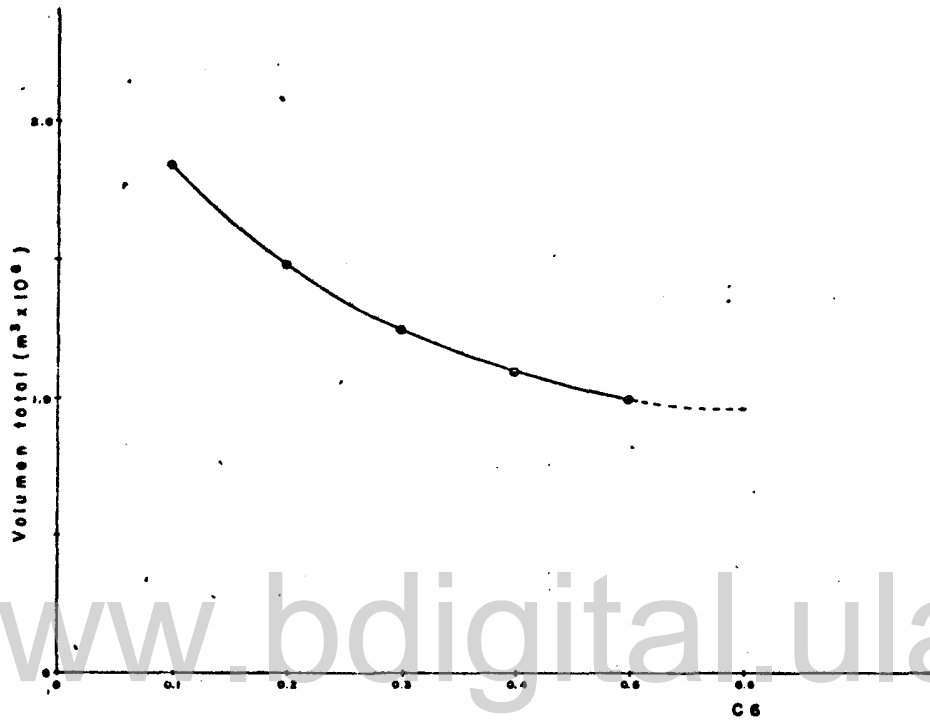


Figura 44
VOLUMEN MEDIO MENSUAL ESCURRIDO PARA DIFERENTES VALORES DE C 6
CUENCA DEL RIO TURBIO EN SAN MIGUEL
SUBCUENCA Nº 4



C 6 = Fracción del agua subterránea que sale como flujo base de la cuenca durante el mes.

Figura 45

Sensibilidad de Parámetros
 Cuenca Rio Turbio en San Miguel
 Subcuenca 4
 C 6 vs volumen total escurrido

CURRICULUM VITAE

Candidato al Grado de

Magister Scientiae

en

Suelos y Riego

Tema de Tesis: Estimación de Escorrentía en Cuencas Pequeñas mediante un Modelo de Simulación Hidrológica.

Información Biográfica: Nacido en Acarigua, Estado Portuguesa de la República de Venezuela, el 4 de Enero de 1950. Casado con Lilian Díaz T., el 21 de Diciembre de 1974, de cuya unión hay una hija Liliana Matilde, nacida el 27 de Abril de 1976.

Educación: Estudios primarios y medios concluidos en 1962; graduado de Bachiller en Ciencias en 1967, en el Liceo "José Antonio Páez" de Acarigua, recibido con el grado de Ingeniero Agrónomo de la Universidad Centro Occidental en 1974; actualmente optando al grado de Magister Scientiae de la Universidad de Los Andes y el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras en Mérida, Venezuela.

Experiencia Profesional: 1976 Ingeniero en pasantía en la División de Planeamiento de la Dirección General de Recursos Hidráulicos del Ministerio de Obras Públicas, adscrito a la Unidad Hidrográfica III, con sede en Barquisimeto, Edo. Lara, Venezuela.