

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
SUBDIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA

PROGRAMA DE POSGRADO

MODELACION HIDROLOGICA CONTINUA EN TIEMPO REAL
DE LA CUENCA DEL RIO VIRILLA.

COSTA RICA

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico
Académico del Programa de Estudios de Posgrado en
Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro
Agronómico de Investigación y Enseñanza, para optar al
grado de:

Magister Scientiae

por:

GUSTAVO ENRIQUE ARGÜELLO RODRIGUEZ

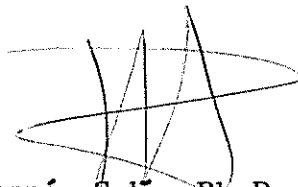
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Turrialba, Costa Rica.

1992

Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

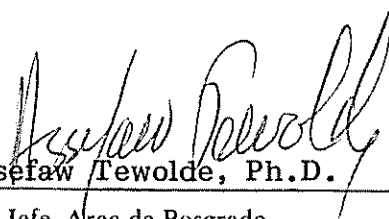
MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



Hernán Solís, Ph.D.

Profesor Consejero

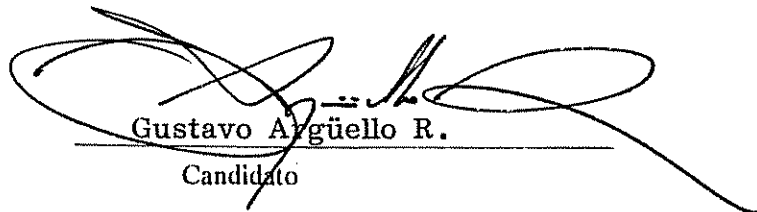


Assefaw Tewolde, Ph.D.

Jefe, Área de Posgrado

Ramón Lastra, Ph.D.

Director, Programa de Enseñanza



Gustavo Argüello R.

Candidato

RESUMEN.

Se evaluó la factibilidad de aplicación de un modelo Lluvia-Escorrentía de simulación continua y pronóstico en tiempo real, en un sistema de pronóstico hidrológico para la operación de sistemas de utilización de recursos hídricos; en condiciones de información limitada en el tiempo y el espacio..

La cuenca de estudio es la del Río Virilla, localizada en la Meseta Central de Costa Rica. Abarca un área de 734 km² y en ella se asientan la capital San José y la mayor parte de lo que se denomina el Gran Area Metropolitana.

El modelo evaluado fue NWS-PC (National Weather Service Model - PC Version), que es un modelo conceptual, continuo, y de datos agrupados. La calibración del modelo requiere de suministrar valores iniciales de los parámetros de éste, los que se estimaron con base en información existente sobre las características físicas de la cuenca.

La información de precipitación es obtenida por medio de una red de estaciones telemétricas, capaz de suministrar esta información en tiempo real.

La calibración del modelo se realizó en dos niveles: calibración para datos diarios y calibración para datos horarios.

En la calibración para datos diarios se logró alta coincidencia entre los caudales simulados y los observados, obteniéndose un $R^2=0.8$. En la calibración para datos horarios la coincidencia lograda fue menor, $R^2=0.6$.

SUMMARY

It was evaluated the feasibility of application of a precipitation-runoff model of continuous simulation and real time forecast, on a system of hydrological forecast for the operation of systems of utilization of water resources; with limited information on time and space.

The watershed under study is the Virilla river watershed, localized on the Meseta Central of Costa Rica. It has an area of 734 square km and on it are seated the capital San José and most of what it is called the Gran Area Metropolitana.

The model evaluated was the NWS-PC (National Weather Service - PC Version), which is a conceptual, continuous model, and of lumped data. The model calibration requires the supplying of initial values of its parameters, which were estimated based on existing information about the physical characteristics of the watershed.

The precipitation information is obtained by means of a telemetric network, capable of supplying this information on real time.

The model calibration was realized on two levels: daily data calibration and hourly data calibration.

In the case of calibration for daily data it was obtained high coincidence between simulated and observated flows, obtaining an $R^2=0.8$. On the calibration for hourly data the obtained coincidence was smaller: $R^2=0.6$.

DEDICATORIA.

A MIS PADRES Y ABUELITAS.

A MIS HERMANOS.

A MIS HIJOS.

A ADA LUZ.

AGRADECIMIENTOS.

El autor desea patentizar su agradecimiento al cuerpo de profesores del CATIE y en especial a los que formaron parte del comité asesor de tesis: Hernán Solís, Rafael Oreamuno y Javier Saborío; por su apoyo y consejos.

Desea además agradecer al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), a través de Sadí Laporte, Director del Departamento de Hidrología y miembro del comité asesor y de Jorge Granados, responsable de la sección de pronósticos hidrológicos; el haber posibilitado la realización del presente trabajo.

INDICE DE CONTENIDO.

INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE CUADROS	xi
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA.	5
2.1. Sistemas y modelos hidrológicos.	5
2.2. Reseña histórica.	6
2.3. Clasificación de modelos.	8
2.3.1. Estructura del modelo y el objeto de la modelación.	9
2.3.2. El rol del factor tiempo.	9
2.3.3. Valor cognoscitivo del modelo.	9
2.3.4. El carácter de los resultados obtenidos.	10
2.3.5. El enfoque aplicado y los métodos de solución.	10
2.3.6. Propiedades matemáticas de la función operadora.	11
2.4. Aplicaciones de los modelos hidrológicos.	11
2.4.1. Aplicaciones en la toma de decisiones.	11
2.4.2. Aplicaciones en investigación y adiestramiento.	12
2.5. Selección de los modelos hidrológicos.	12
2.5.1. Precisión.	13
2.5.2. Aplicabilidad.	13
2.5.3. Generalidad.	14
2.5.4. Facilidad de uso.	14
2.6. Calibración y evaluación de modelos precipitación-escorrentía.	15
2.6.1. Calibración.	15
2.6.2. Evaluación.	16
2.6.3. Criterios estadísticos para la evaluación de modelos.	17
2.7. Los sistemas de pronóstico hidrológico.	18
2.7.1. Los sistemas de pronóstico hidrológico en tiempo real.	18
2.8. Consideraciones sobre los modelos precipitación-escorrentía.	22
2.9. Aplicaciones del modelo SACRAMENTO.	24
3. METODOLOGIA	25
3.1. Descripción de la zona.	25
3.1.1. Geomorfología.	25
3.1.2. Aspectos climáticos relevantes.	31
3.1.2.1. Precipitación.	31
3.1.2.2. Temperatura.	37
3.1.2.3. Evapotranspiración potencial.	37
3.2. Descripción del modelo.	39
3.2.1. Estructura del modelo NWS-PC.	39
-Zonas de almacenamiento.	39
-Componentes de flujo.	42
-Partición de la cuenca.	43
-Tránsito de avenidas.	43

--Método de la onda cinemática.	45
--El modelo hidrograma unitario-muskingum.	48
3.3. Obtención inicial de parámetros .	50
3.3.1. PCTIM.	50
3.3.2. ADIMP.	52
3.3.3. RIVA.	53
3.3.4. UZTWM.	53
3.3.5. UZFWM.	55
3.3.6. UZK.	56
3.3.7. LZTWM.	56
3.3.8. LZFSM.	57
3.3.9. LZFPM.	57
3.3.10. LZPK .	58
3.3.11. LZSK.	58
3.3.12. ZPERC.	60
3.3.13. REXP.	60
3.3.14. PFREE.	60
3.3.15. RSERV.	61
3.3.16. SIDE .	61
3.3.17. PXADJ.	62
3.3.18. PEADJ.	62
3.3.19. UZTWC, UZFWC, LZTWC, LZPWC, LZSWC, ADIMC.	62
3.4. Calibración del modelo para precipitación y caudales promedio diarios.	63
3.4.1. Datos de entrada al modelo.	63
3.4.1.1. Precipitación.	63
3.4.1.2. Demanda de evapotranspiración.	64
3.4.1.3. Caudales observados.	64
3.5. Partición y Parámetros del Tránsito.	67
3.5.1. Areas y longitud de canales.	67
3.5.2. Pendientes de las OFF.	67
3.5.3. Pendiente en los canales.	68
3.5.4. Coeficiente de rugosidad en las OFF.	68
3.5.5. Coeficientes de rugosidad en canales.	68
3.6. Calibración para precipitación y caudales promedio horario.	68
3.6.1. Precipitación.	69
3.6.2. Demanda de evapotranspiración.	69
3.6.3. Caudales observados.	69
3.7. Evaluación del modelo.	69
 4.- RESULTADOS	 71
4.1. Parámetros iniciales del modelo SAC-SMA.	71
4.1.1. PCTIM.	71
4.1.2. ADIMP.	73
4.1.3. RIVA.	73
4.1.4. UZTWM.	73
4.1.5. UZFWM.	78
4.1.6. UZK	78
4.1.7. LZTWM.	78
4.1.8. LZFSM	78
4.1.9. LZFPM.	78
4.1.10. LZPK	79
4.1.11. LZSK	79

4.1.12. ZPERC.	79
4.1.13. REXP.	79
4.1.14. PFREE	80
4.1.15. RSERV	80
4.1.16. SIDE	80
4.1.17. PXADJ.	80
4.1.18. PEADJ	80
4.2. Modelo calibrado para datos diarios.	81
4.3. Partición de la cuenca y parámetros del modelo de la onda cinemática para el tránsito de avenidas.	93
4.4. Modelo calibrado para datos horarios.	98
5. DISCUSION DE RESULTADOS.	109
5.1. Parámetros iniciales.	109
5.2. El modelo calibrado para datos diarios.	109
5.3. El modelo calibrado para datos horarios.	110
5.4. El modelo y su utilización en el sistema de pronóstico en tiempo real.	119
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	121
7. BIBLIOGRAFIA.	126

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1.1. Localización de la cuenca del Río Virilla en Costa Rica.	3
Figura 2.1. Representación esquemática del Sistema Pronóstico Respuesta. (Krzysztofowics, R. W.; Davis, D.R 1983).	20
Figura 3.1. Localización de la cuenca del Río Virilla, en la cuenca del Río Grande de Tárcoles.	26
Figura 3.2. Red de drenaje principal de la cuenca del Río Virilla.	27
Figura 3.3. Regiones morfológicas. (IGN-CONICIT. 1983)	28
Figura 3.4. Precipitación del mes más lluvioso (septiembre). (IGN-CONICIT. 1983).	33
Figura 3.5. Precipitación del mes más seco (febrero). (IGN-CONICIT. 1983).	34
Figura 3.6. Direcciones predominantes del viento. (IGN-CONICIT' 1983).	35
Figura 3.7. Precipitación promedio anual. (IGN-CONICIT (1983)	36
Figura 3.8. Temperatura promedio anual. (IGN-CONICIT. 1983).	38
Figura 3.9. Flujograma del modelo SACRAMENTO. (Tabios, G. et al. 1986).	40
Figura 3.10. Esquema de partición del modelo SACRAMENTO. (Tabios, et al. 1986).	44
Figura 3.11. Elementos conceptuales del método de tránsito de la onda cinemática. (Tabios, G. et al. 1986).	46
Figura 3.12. Estimación de LZSK y LZPK.	59
Figura 3.13. Localización de estaciones de la red telemétrica	65
Figura 4.1. Mapa de cobertura del suelo.	72

Figura 4.2. Mapa de Asociación de Suelos. (Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1991)	77
Figura 4.3. Calibración diaria. Hidrogramas calculado y observado, 1990/1992. 1/4.	83
Figura 4.3. Calibración diaria. Hidrogramas calculado y observado, 1990/1992. (continuación). 2/4.	84
Figura 4.3. Calibración diaria. Hidrogramas calculado y observado, 1990/1992. (continuación). 3/4.	85
Figura 4.3. Calibración diaria. Hidrogramas calculado y observado, 1990/1992. (continuación). 4/4.	86
Figura 4.4. Partición de la cuenca para el tránsito de avenidas.	94
Figura 4.5. Representación esquemática del tránsito de avenidas.	95
Figura 4.6. Calibración horaria. Hidrogramas calculado y observado, octubre 1990.	103
Figura 4.7. Calibración horaria. Hidrograma calculado y observado, octubre 1991.	106
Figura 5.1. Localización de estaciones analizadas, en relación a la distribución de las lluvias para Oct. 90 y 91	116
Figura 5.2. Distribución de la precipitación para el día 23 Oct 1990.	117
Figura 5.3. Distribución de la precipitación para el día 11 de Oct. 1991.	118
Figura 6.1. Propuesta de localización de nuevas estaciones hidrológicas.	123
Figura 6.2. Esquema de análisis propuesto para la calibración del modelo, en base a las estaciones existentes.	125

INDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1. Areas por tipo de cobertura.	71
Cuadro 4.2. Area temporalmente impermeable.	73
Cuadro 4.3. Estimación de RIVA.	74
Cuadro 4.4. Estimación de parámetros UZTWN y UZFWN.	75
Cuadro 4.4. (cont.) Estimación de parámetros UZTWN y UZFWN.	76
Cuadro 4.5. Modelo calibrado para datos diarios.	82
Cuadro 4.6. Resultados de la calibración para datos diarios.	87
Cuadro 4.6. Resultados de la calibración para datos diarios. (continuación).	88
Cuadro 4.6. Resultados de la calibración para datos diarios. (continuación)	89
Cuadro 4.6. Resultados de la calibración para datos diarios. (continuación).	90
Cuadro 4.6. Resultados de la calibración para datos diarios. (continuación).	91
Cuadro 4.6. Resultados de la calibración para datos diarios. (continuación).	92
Cuadro 4.7. Parámetros del modelo onda cinemática para el tránsito de avenidas.	96
Cuadro 4.7. Parámetros del modelo onda cinemática para el tránsito de avenidas. (continuación).	97
Cuadro 4.8. Modelo calibrado para datos horarios.	99
Cuadro 4.8. Modelo calibrado para datos horarios. (continuación).	100
Cuadro 4.8. Modelo calibrado para datos horarios. (continuación).	101
Cuadro 4.8. Modelo calibrado para datos horarios. (continuación).	102

Cuadro 4.9. Resultados de la simulación horaria para octubre 1990 (Q_c =caudal calculado. Q_o =caudal observado).	104
Cuadro 4.9. Resultados de la simulación horaria para octubre 1990 (Q_c =caudal calculado. Q_o =caudal observado). (continuación).	105
Cuadro 4.10 Resultados de la simulación horaria para octubre 1991 (Q_c =caudal calculado. Q_o =caudal observado).	107
Cuadro 4.10 Resultados de la simulación horaria para octubre 1991 (Q_c =caudal calculado. Q_o =caudal observado). (continuación).	108
Cuadro 5.1. Registros de precipitación diaria para estaciones circundantes a la red telemétrica, octubre 1990.	112
Cuadro 5.2. Precipitación diaria registrada por las estaciones de la red telemétrica, octubre 1990.	113
Cuadro 5.3. Registros de precipitación diaria para estaciones circundantes a la red telemétrica, octubre 1991.	114
Cuadro 5.4. Precipitación diaria registrada por las estaciones de la red telemétrica, octubre 1991.	115

1. INTRODUCCION

En los años recientes se ha desarrollado en Hidrología, una técnica conocida como Modelación Hidrológica. Esta técnica trata de reproducir mediante un modelo, (matemático, principalmente) el comportamiento de los procesos hidrológicos en un área determinada.

La aplicación de los modelos hidrológicos abarca campos como: control de la calidad del agua, erosión de suelos, transporte y deposición de sedimentos, diseño y operación de sistemas de recursos hídricos, sistemas de alarma contra inundaciones, evaluación de alternativas de manejo del suelo, etc. Además los modelos hidrológicos proveen la información de entrada de los modelos hidráulicos, como los utilizados en rectificación y rehabilitación de cauces.

Con el objetivo de avanzar en la aplicación de estas técnicas en la región Centroamericana y de que los resultados de la investigación tuvieran una aplicación práctica, se identificó la necesidad de calibrar y evaluar un modelo precipitación-escorrentía en la operación de un sistema de aprovechamiento de recursos hídricos en Costa Rica.

El Instituto Costarricense de Electricidad, ICE, con el propósito de aumentar la eficiencia de la operación de las plantas hidroeléctricas ubicadas sobre el Río Virilla, ha determinado la necesidad de contar con un sistema de pronóstico hidrológico. Como parte de este sistema, ha instalado una red

estaciones hidrometeorológicas telemétricas, que proporcionan información de precipitación y caudales en tiempo real.

El presente trabajo consistió en calibrar y evaluar el modelo NWS-PC, que es una versión para computadores personales del modelo SACRAMENTO, desarrollado por el National Weather Service de los Estados Unidos de América; para la cuenca del Río Virilla, ubicada en la Meseta Central de Costa Rica. Figura 1.1.

La cuenca del Río Virilla, afluente del Río Grande de Tárcoles, reviste gran importancia para los habitantes de este país ya que dentro de la misma se ubica el área metropolitana y sus aguas son utilizadas para el abastecimiento de agua potable, irrigación, drenaje de aguas servidas y la generación de energía eléctrica.

El análisis se realizó a partir de la estación hidrológica Nuestro Amo, que registra caudales producidos en un área de drenaje de 734km^2 . El proceso de calibración se dividió en: calibración para datos de lluvia y caudales promedio diarios y calibración para datos de lluvia y caudales promedio horarios.

En la determinación de parámetros del modelo se utilizó la información disponible sobre las características físicas de la cuenca, incluyendo información de imágenes de satélite.

Se prefirió el procedimiento de calibración manual al automático, por permitir el primero un mayor conocimiento de la lógica de funcionamiento del modelo; y un mayor control de los cambios en los resultados, como producto de los cambios en los parámetros.

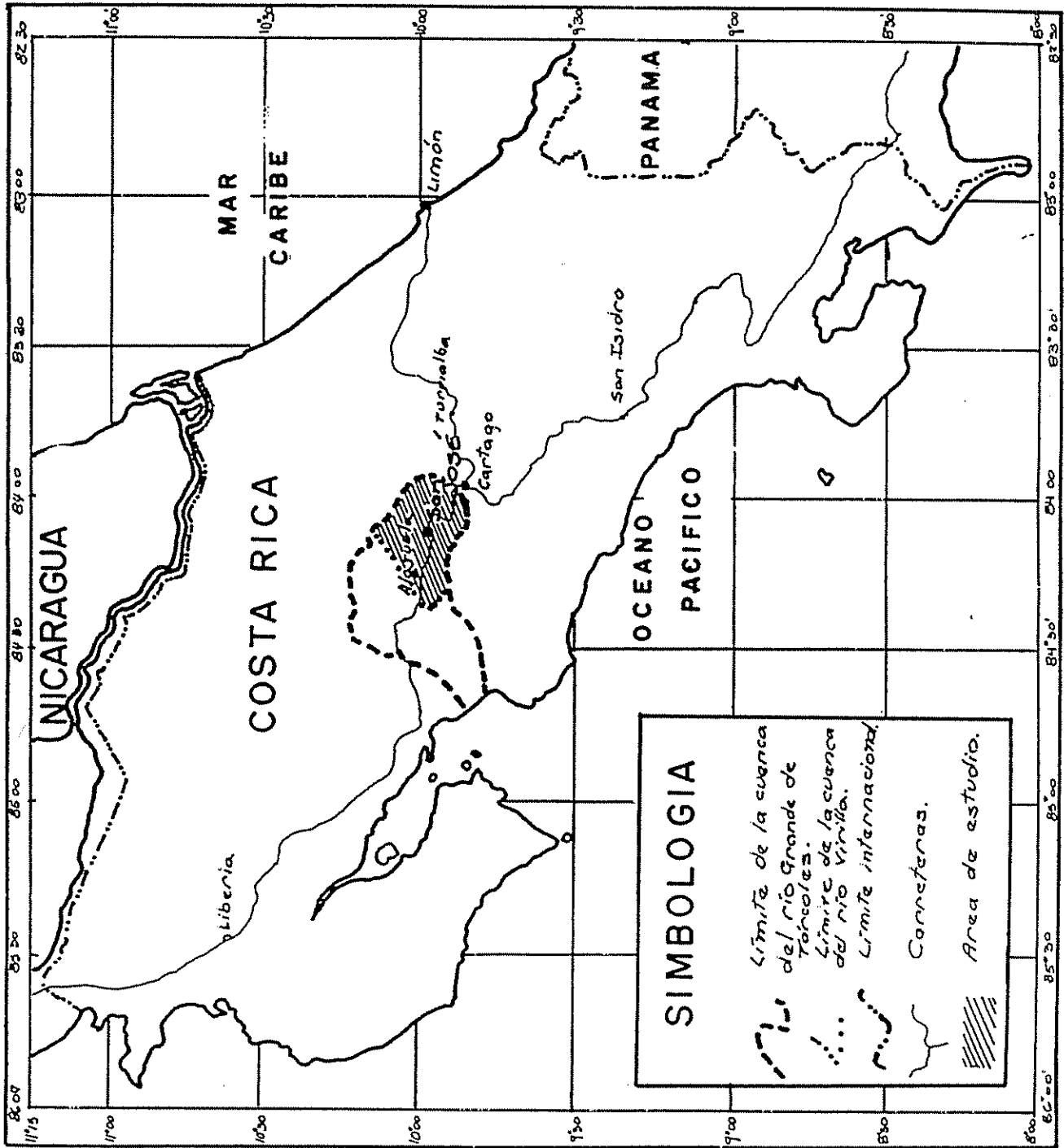


Figura 1.1. Localización de la cuenca del Río Virilla en Costa Rica.

El presente trabajo pretende evaluar las posibilidades de aplicación de un modelo desarrollado bajo condiciones ambientales y de información, diferentes a las nuestras. Es decir, que no se evalúa la precisión del modelo en sí, sino que se evalúan los resultados de la simulación de un modelo, ya probado, con base en información disponible.

A continuación se presentan el objetivo general y la hipótesis de este trabajo de investigación.

Objetivo general:

Evaluar la aplicación de un modelo Lluvia-Escorrentía de simulación continua y pronóstico en tiempo real, en un sistema de pronóstico hidrológico para la operación de sistemas de utilización de recursos hídricos.

Hipótesis:

Es posible predecir el comportamiento hidrológico de una cuenca tropical centroamericana, utilizando un modelo de simulación determinístico, conceptual y continuo; con base en información de precipitación en tiempo real, limitada en el tiempo y el espacio.

2. REVISION DE LITERATURA.

2.1. Sistemas y modelos hidrológicos.

Los métodos clásicos de la investigación científica progresaron enfocando su atención en elementos concretos de los problemas físicos. Así, al aislarlos de su interacción con el medio, se llega a entender los procesos primarios que entran en juego en una situación física determinada. En los últimos años se ha reconocido la necesidad de disponer de una técnica analítica que permita considerar en su conjunto la totalidad de los elementos de un problema y sus interacciones multidimensionales con el propio medio. Esta técnica se conoce como enfoque de sistemas. (Carr, D.P. y Underhill, H.W. 1974).

Un sistema es un grupo de partes conectadas que forman un conjunto. Los fenómenos hidrológicos son extremadamente complejos y pueden no llegar a ser totalmente entendidos. El ciclo hidrológico puede ser tratado como un sistema cuyos componentes son: precipitación, evapotranspiración, escorrentía y otras fases de este ciclo. Estos componentes a su vez pueden ser descompuestos en subsistemas. El objetivo del análisis de un sistema hidrológico es estudiar la operación del sistema y predecir sus salidas. (Chow, V.T. et al. 1988).

Un modelo es definido como un sistema matemático o físico que obedece a ciertas condiciones específicas y cuyo comportamiento es utilizado para entender un sistema físico, biológico o social al que es análogo en determinado sentido.

2.2 Reseña histórica.

La historia de los modelos en Hidrología se remonta a P. Perrault que en 1674 presenta el reporte del primer experimento cuantitativo conocido, donde estableció el concepto de caudal como un porcentaje de la precipitación; prevaleciendo este concepto por un largo período. En 1694, E. Halley demostró que la evaporación de los océanos era capaz de suplir la precipitación continental. J. Dalton publica en 1802 sus mediciones sobre la evaporación. Posterior a esta fecha se realizaron importantes investigaciones en hidráulica donde se destacan investigadores como Pitot, Bernoulli, Chezy, Du Buat, y Venturi. En 1851 T.J. Mulvany presenta la relación conocida como "la fórmula racional":

$$q = C i a \quad 2.1$$

Esta fórmula expresa el caudal en función del área de drenaje, correspondiéndole a Mulvany la distinción de ser el primero en presentar un modelo hidrológico general.

R. Manning en 1891 propone su fórmula para flujo en canales abiertos. En 1911, W.H Green y G.A. Ampt desarrollan un modelo con base física para la infiltración. W.E. Fuller en 1914 fue el primero en introducir el concepto de frecuencia en Hidrología y R.E Horton en 1919 presenta una extensa discusión sobre los procesos de intercepción.

A partir de aquí la Hidrología comenzó a ser vista como una ciencia más que como un área de investigación. En 1930 A. Hazen publica Flood Flows donde reúne lo concerniente a los aspectos probabilísticos en Hidrología. L.K Sherman en 1932 presenta el

método del hidrograma unitario y R.E. Horton en 1933 describe su teoría de infiltración, uno de los conceptos más importantes en Hidrología. Estos fueron seguidos por G.T. McCarthy que presentó en 1938 el primer enfoque del tránsito cinemático conocido como el tránsito de Muskingum. R.A. Hertzler en 1939 describe el proceso de interflujo, R.K. Linsley y W.C. Ackerman en 1942 describen un experimento de un elemental balance de humedad para calcular valores diarios de esorrentía. Dos años más tarde C.W. Thornthwaite presenta el concepto de evaporación potencial.

A este punto están dados los conceptos básicos para la modelación hidrológica en espera de medios prácticos para satisfacer los extensos requerimientos de cálculo. (Linsley R.K. 1981; Chow V.T. et al. 1988).

El desarrollo de los computadores digitales durante la segunda guerra mundial revoluciona la Hidrología y hace posible el análisis hidrológico a gran escala. La utilización de métodos de simulación en el diseño de sistemas de recursos hídricos se inició en el año 1953, cuando el American Corps of Engineers del ejército estadounidense, utilizó un modelo de simulación para investigar las propuestas correspondientes al río Missouri. (Carr, D.P. y Underhill, H.W. 1974).

Rockwood en 1958 reporta el uso de una computadora digital para transitar caudales a través de la cuenca del Río Columbia, evolucionando luego al modelo SSARR. En 1960 R.K. Linsley y N. H. Crawford reportan su trabajo con el Stanford Watershed Model I (SWM). Este fue un modelo sencillo que usaba lluvia diaria, una función simple de infiltración y una combinación de hidrograma

unitario y función de recesión; para producir el caudal promedio diario. Este modelo fue extensamente transformado en 1962 y en 1966 emergiendo como el SWM IV.

En 1961 M. Sugawara presenta una descripción de un modelo tipo Tanque, que utiliza una serie de reservorios lineales en varios arreglos en serie y paralelo para representar el flujo de los ríos Japoneses. En 1964 fue desarrollado el SCS TR-20.

Es en la década de los 70 en que los modelos proliferan rápidamente, se citan los más relevantes: 1971 aparecen los modelos Storm Water Management Model (SWMM) y el Freeze Model, en 1972 el National Weather Service Forecast River System (NWSFRS), en 1973 el HEC-1 y el modelo Sacramento, 1974 el CLS y el modelo ILLUDAS , 1975 el USDA HL-74. y en 1977 modelo ANSWERS. (Linsley, R.K 1981; Larson, C.L. et al. 1982).

2.3 Clasificación de modelos.

Woolhiser, D.A y Brakensiek, D.L. (1982), afirman que los modelos utilizados en cualquier disciplina pueden ser categorizados como formales o materiales.

Un modelo material es una representación física de un sistema complejo, el cual se supone es una simplificación del sistema prototipo y tiene propiedades similares al mismo.

Un modelo formal o abstracto, es un modelo simbólico, usualmente una representación matemática de una situación idealizada que tiene las más importantes propiedades estructurales de un sistema real.

En hidrología de cuencas todos los modelos formales son matemáticos y se denominan comúnmente "modelos matemáticos". Ozga-Zielinska, M. (1976), citada por Woolhiser, D.A y Brakensiek, D.L. (1982) propone seis criterios mediante los cuales se pueden clasificar todos los modelos hidrológicos matemáticos existentes:

2.3.1. Estructura del modelo y el objeto de la modelación.

Este primer criterio se refiere a qué parte o partes del modelo están involucradas y el nivel de abstracción del modelo. Se pueden distinguir cuatro niveles: procesos individuales, modelos de componentes, modelos integrados, modelos globales.

2.3.2. El rol del factor tiempo.

Bajo este criterio los modelos pueden ser clasificados en dinámicos o estáticos. Los modelos estáticos incluyen varias ecuaciones empíricas y modelos de regresión, son independientes del tiempo. Un modelo dinámico requiere ecuaciones diferenciales teniendo al tiempo como variable independiente. Los modelos dinámicos se pueden dividir en continuos y de eventos.

2.3.3. Valor cognoscitivo del modelo.

De este tercer criterio resultan dos categorías:

-Modelos basados físicamente son aquellos en que las leyes físicas que gobiernan los procesos y la estructura del modelo,

son bien conocidas y pueden ser descritas por ecuaciones físico-matemáticas.

-Modelos conceptuales son aquellos donde se hace una simplificación de la conducta del fenómeno y funciones determinadas física y empíricamente describen los distintos subprocesos.

2.3.4. El carácter de los resultados obtenidos.

Estos pueden ser clasificados como estocásticos o determinísticos. Los determinísticos se basan en la suposición de que los procesos pueden ser definidos en términos físicos sin un componente aleatorio. Es decir, que los datos de entrada son de eventos históricos y no de eventos probables.

Los estocásticos se basan en la suposición de que el flujo en cualquier tiempo es una función del flujo antecedente y un componente aleatorio.

2.3.5. El enfoque aplicado y los métodos de solución.

Los sistemas de operación pueden ser referidos como sistemas de "caja negra" o de "caja blanca". El enfoque de caja negra trata el sistema como un operador, que transforma entradas en salidas. El enfoque de caja blanca, supone que las relaciones entre las leyes físicas y la naturaleza del sistema están bien entendidas y pueden ser sintetizadas en un sistema de operación sin recurrir únicamente a observaciones de entrada o salida.

2.3.6. Propiedades matemáticas de la función operadora.

Bajo este criterio los modelos pueden ser clasificados como lineales o no, agrupados o distribuidos, estacionarios o no estacionarios.

2.4. Aplicaciones de los modelos hidrológicos.

Jackson, T.J. (1982) afirma que las aplicaciones de los modelos hidrológicos pueden ser divididas en dos grandes categorías o propósitos: la toma de decisiones y la investigación y adiestramiento.

2.4.1 Aplicaciones en la toma de decisiones.

En una aplicación para la toma de decisiones, un analista toma información hidrológica para seleccionar un óptimo curso de acción. Normalmente la información hidrológica se combina con información de tipo económica, biológica y social mediante una función objetivo explícita o implícita, que pesa cada tipo de información de acuerdo a su importancia en una situación particular.

McPherson, M.B. (1975a) citado por Jackson, J.T. (1982) subdivide las aplicaciones en la toma de decisiones de acuerdo a los niveles de toma de decisión: planificación, diseño y operación.

En el nivel de planificación las variables hidrológicas pueden jugar un rol menos importante que otras (económicas, sociales) por lo que el nivel de detalle y exactitud requeridos no exigen el uso de modelos sofisticados.

En el nivel de diseño los analistas usualmente están envueltos en problemas de costo-eficiencia, donde la eficiencia es relativa a una variable hidrológica y cuya solución debe realizarse al mínimo costo.

En el nivel operacional la función objetivo es generalmente bien conocida. Los problemas se circunscriben a evaluar las condiciones actuales, anticipar eventos futuros, y seleccionar un curso de acción que optimice la función objetivo.

2.4.2. Aplicaciones en investigación y adiestramiento.

La aplicación de los modelos en esta segunda categoría es el de servir como llave para la investigación y el adiestramiento, donde el objetivo es conseguir un mejor entendimiento de el ciclo hidrológico.

2.5 Selección de los modelos hidrológicos.

Linsley, R.K. (1981) sugiere cuatro propiedades que pueden tomarse en cuenta a la hora de escoger entre modelos alternativos:

2.5.1. Precisión.

Existen tres componentes de error en la aplicación de un modelo: el error inherente del modelo, errores en la calibración o en los parámetros, y errores en los datos. Los errores inherentes en el modelo causados por no representar perfectamente el sistema son difíciles de evaluar. Se ha demostrado que si se dispone de datos de buena calidad y se realiza una cuidadosa calibración; los modelos existentes pueden reproducir los caudales históricos con errores que son probablemente menores, que los errores que se cometen al estimar los caudales en una estación hidrológica, por ejemplo en casos de modificación de la sección transversal debido a socavación o sedimentación.

2.5.2 Aplicabilidad.

Aplicabilidad es la habilidad de un modelo para simular adecuadamente los flujos de interés con base en la información disponible, en la unidad de tiempo requerida en la toma de decisiones.

Se han desarrollado muchos modelos que representan adecuadamente los flujos más comunmente usados en los análisis hidrológicos. El propósito de la modelación determina los parámetros hidrológicos que serán el producto de la modelación. El modelo debe ser capaz de transformar la información

disponible, en esos parámetros. Se puede considerar que la información disponible determina la aplicabilidad de los modelos.

2.5.3 Generalidad.

Generalidad es la habilidad del modelo en operar en condiciones hidrológicas diversas. Linsley, R.K. (1981) afirma que son preferibles los modelos generales a los específicos, argumentando que el uso repetido de los modelos permite detectar errores de éstos, en representar determinados procesos; e identificar modificaciones para corregirlos. El uso de los modelos en muchas cuencas permite además determinar de manera objetiva, parámetros de sus características físicas; así como llegar a elaborar mapas de la variación de parámetros en una región. Esto puede ser de gran ayuda para futuras aplicaciones y para estimación de flujos en regiones con información insuficiente.

2.5.4. Facilidad de uso.

La facilidad de uso debe ser vista como una de las más importantes características de un modelo. La facilidad de uso no necesariamente implica simplicidad a costa de exactitud, el desarrollo de las computadoras ha permitido desarrollar programas interactivos que minimizan el esfuerzo, conservando la cualidad de manejar grandes volúmenes de cálculo con precisión.

2.6. Calibración y evaluación de modelos precipitación- escorrentía.

2.6.1. Calibración.

El modelo que ha sido seleccionado, debe ser calibrado para la cuenca de aplicación. Hay dos criterios de calibración: los resultados del modelo deben corresponder con las observaciones registradas, y los valores estimados para los parámetros deben ser consistentes con las características de la cuenca.

El proceso de calibración requiere de un procedimiento para evaluar el éxito de una calibración dada y otro procedimiento para ajustar los parámetros para la siguiente calibración. El criterio de éxito puede ser un juicio subjetivo de adecuación, algunas estadísticas seleccionadas o una función de objetivos múltiples, combinada con algunas estadísticas.

El procedimiento de ajuste de los parámetros puede ser una determinación subjetiva de qué parámetros producen los ajustes requeridos, un grupo de reglas derivadas de estudios de sensibilidad del modelo para los distintos parámetros, o una sistemática variación de los parámetros, obedeciendo a un eficiente análisis de la superficie de respuesta. (James y Lee, 1971, citado James, D.J. y Burges S.J. 1983)

2.6.2. Evaluación.

Una vez que por medio del proceso de calibración se han obtenido los mejores valores para los parámetros del modelo, se hace necesario evaluar los resultados del modelo, a fin de determinar si responden a las necesidades de los decisores. Las respuestas pueden ser insatisfactorias debido a que el modelo proporciona estimados imperfectos de las cantidades hidrológicas necesitadas o porque los resultados del modelo no proporcionan información relevante para los decisores. La información hidrológica es imperfecta, y la aceptabilidad de los resultados de una determinada calibración depende de si las insuficiencias justifican mejorar la calidad del modelo, ya sea mejorando la calibración o utilizando un método alternativo para estimar la información deseada.

La imperfección de los resultados puede tener origen en una variedad de causas. Las fuentes de problemas se describen a continuación:

- Errores en los datos usados en la calibración.
- El uso de períodos de información que no representan suficientemente los procesos físicos necesarios para calibrar los parámetros.
- Inadecuada o mala representación, por el modelo, de los procesos físicos desarrollados en la cuenca.
- Resultados insuficientes para la toma de decisiones.

El proceso de evaluación consiste básicamente en correr el modelo calibrado para períodos diferentes a los usados en la calibración. (James, D.J. y Burges S.J. 1983).

El funcionamiento de un modelo hidrológico es usualmente evaluado por inspección visual de los hidrogramas observados y computados.

2.6.3. Criterios estadísticos para la evaluación de modelos.

Martinez, J y Rango, A. (1989) afirman que el uso regular de criterios estadísticos puede proporcionar amplia información a los usuarios sobre qué tan apropiado es un modelo para satisfacer sus requerimientos, bajo las condiciones hidrológicas en cuestión. Destacan el hecho de que aunque el uso de modelos es profuso, son pocos los resultados de la simulación que se presentan acompañados de criterios estadísticos.

Existen numerosos criterios estadísticos para evaluar la precisión numérica de los resultados de la simulación. El criterio mas utilizado es el coeficiente de Nash-Sutcliffe, R^2 . (Clarke, R.T. 1973; James, D.L. y Burges, S.J. 1982).

El coeficiente de Nash-Sutcliffe se define de la siguiente forma:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Q_o - Q_c)^2}{\sum (Q_o - mQ_o)^2} \quad [2.21]$$

donde Q_o es el caudal observado al intervalo de tiempo.

Q_c es el caudal calculado al intervalo de tiempo.

mQ_o es la media de los caudales observados para el período de análisis.

Clark, R.T. (1973) afirma que este único criterio es insuficiente ya que es posible encontrar valores de este coeficiente cercanos a la unidad, que indicaría la máxima precisión posible, para resultados de simulación evidentemente inaceptables.

Martinez, J y Rango, A. (1989) utilizaron solamente tres criterios: el coeficiente de Nash-Sutcliffe, el "coeficiente de beneficio de medias diarias", y la desviación del volumen de escorrentía; para evaluar nueve modelos de fusión de nieve-escorrentía. Concluyen que el uso de un número limitado de criterios puede proporcionar suficientes posibilidades de evaluación, y debe tenerse cuidado de agregar al análisis criterios que no contribuyan con alguna nueva inferencia sobre el funcionamiento del modelo.

2.7 Los sistemas de pronóstico hidrológico.

Dos tipos de pronóstico hidrológico son considerados por OMM (1983). El primero se refiere al pronóstico en tiempo real y el segundo se refiere a la predicción de cambios en el régimen hidrológico como consecuencia de posibles cambios en las características de la cuenca.

2.7.1. Los sistemas de pronóstico hidrológico en tiempo real.

El objetivo de un sistema de pronóstico hidrológico es el de obtener en tiempo real, datos de precipitación y/o flujo en

ríos a través de un sistema de colección y transmisión de datos, procesarlos por medio de modelos precipitación-escorrentía y de tránsito de avenidas, y pronosticar caudales y niveles de agua para períodos que van desde algunas horas hasta varios días, dependiendo del tamaño de la cuenca. Los caudales de inundación son usados para alertar a la población en áreas amenazadas de inundación y alertar al personal encargado de la operación de estructuras de control de avenidas, como son los aliviaderos en reservorios. (Chow, V.T. et al. 1988). El pronóstico de caudales es también utilizado en la operación de sistemas de irrigación, sistemas de abastecimiento de agua potable, plantas hidroeléctricas, etc.

Como se desprende del enunciado anterior los sistemas de pronóstico hidrológico implican necesariamente tomar decisiones e implantarlas. Krzystofowicz, R y Davis, D.R. (1983) presentan esquemáticamente los componentes de un sistema de pronóstico-respuesta para la prevención de inundaciones. Figura 2.1.

Los sistemas de previsión temprana de inundaciones reportan sistemas de colección y transmisión de datos hidrológicos para pronóstico a corto plazo, que se componen de estaciones de medición remotas que transmiten la información por medio de microondas, ondas de radio o sistemas de comunicación por satélite a la estación base. El sistema por entero tiene como objetivo el maximizar el tiempo entre la alarma y la ocurrencia del evento, en beneficio de los habitantes del plano de inundación. (Chow, V.T. et al. 1988).

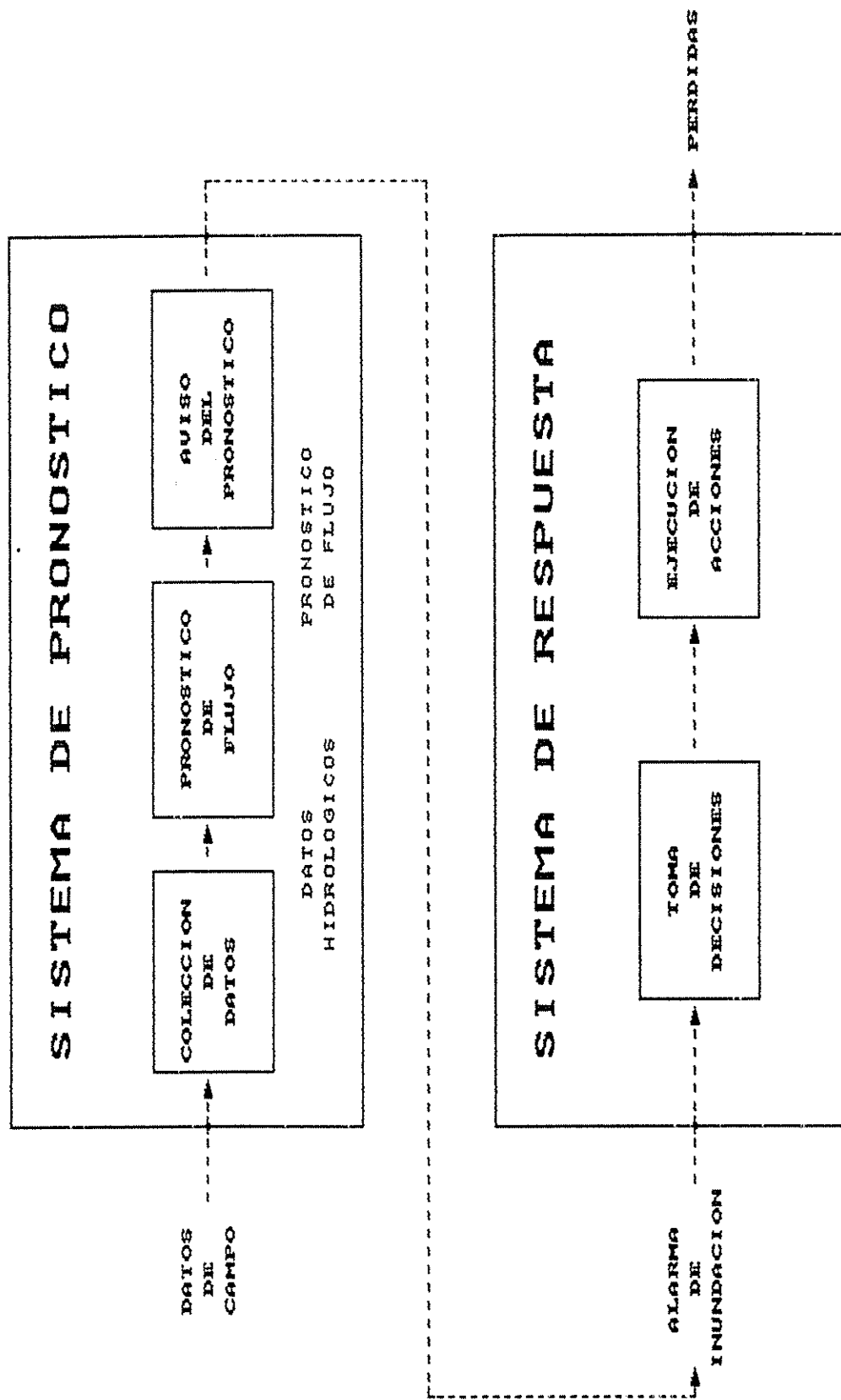


Figura 2.1. Representación esquemática del Sistema Pronóstico-Respuesta. (Krzysztofowics, R. W.; Davis, D.R 1983).

Este objetivo de maximizar el tiempo de respuesta parece válido para la operación de los sistemas de control de crecidas.

La O.M.M. (1983), afirma que en el trópico húmedo existen dificultades adicionales al usar los modelos precipitación-escorrentía, debido a la gran variación espacial de las precipitación y a la rápida respuesta de los ríos a ésta. Inclinandose por sistemas de pronóstico que se basen en la medición de niveles de ríos en vez de sistemas que dependan de modelos precipitación-escorrentía.

Sin embargo en los últimos años se han desarrollado tecnologías que permiten pronosticar la precipitación, como lo son el uso de radar y el uso de imágenes de satélite. (Krüger, L.R. et al. 1982; Robbins, K.D. et al. 1985). Su aplicación en los sistemas de pronóstico hidrológico podría maximizar el tiempo disponible para ejecutar las acciones de respuesta.

El pronóstico operacional de caudales ha sido el objeto de extensas investigaciones en los años recientes. El uso de modelos matemáticos que simulan la dinámica de los procesos de escorrentía sobre el terreno y la utilización de avanzados sistemas de observación han incrementado nuestra capacidad de predecir inundaciones y avenidas. En esta línea de investigación, se han concebido modelos conceptuales matemáticos para el balance de humedad en el suelo y el tránsito de avenidas, y utilizados en el pronóstico de flujos en tiempo real. (Georgakakos, K.P. y Smith, G.P. 1990).

2.8. Consideraciones sobre los modelos precipitación- escorrentía.

Naef, F. (1981) fundamentándose en las investigaciones: el proyecto de la OMM (1975), "Comparación de Modelos Conceptuales Utilizados en el Pronóstico Hidrológico Operacional", y su trabajo "Una Comparación de Modelos Matemáticos Precipitación-Escorrentía"; llega a las conclusiones siguientes:

Un modelo simple puede proporcionar resultados satisfactorios, pero ni los simples ni los complejos, estuvieron libres de fallos en determinados casos; debido a que ninguno de ellos describe adecuadamente los procesos precipitación-escorrentía.

Bajo condiciones promedio, la simulación y el pronóstico de descarga no son tareas difíciles. Ello puede resolverse exitosamente utilizando conceptos simples. La selección del modelo no es crítica.

El pronóstico bajo condiciones extraordinarias o extrapolaciones usando los modelos evaluados, son una cuestión de suerte. Ninguno de ellos refleja realmente los procesos de escorrentía y los datos disponibles no tienen la calidad requerida.

En un estudio reciente, Franchini, M y Pacciani, M (1991) presentan un análisis comparativo de los modelos más comunmente usados y que pueden ser considerados como los "pioneros" de los muchos otros que existen. Los modelos considerados por ellos

fueron: STANFORD IV, SACRAMENTO, TANK, APIC, SSARR, XINANJIANG y ARNO.

Los autores concluyen que todos los modelos producen resultados similares e igualmente válidos, a excepción del modelo APIC que presenta los valores más bajos para los criterios estadísticos seleccionados, a pesar del amplio rango de complejidad estructural presentada por los modelos. Igualmente consideran que esta complejidad estructural juega un papel significativo en la etapa de calibración, relacionándose directamente con el grado de dificultad y el tiempo requerido.

Encontraron que un exceso de esquematización, como ocurre en el modelo TANK, causa desvinculación con la física del problema y no toma ventaja del previo conocimiento de la naturaleza geomorfológica de la cuenca. Por el contrario, en los modelos STANFORD IV y SACRAMENTO, el intentar entender las distintas fases de la transferencia de lluvia a escorrentía dentro del suelo, resulta en un inútil incremento de parámetros y en la consecuente dificultad en la calibración de éstos. Consideran que este último aspecto es inherente a la naturaleza de los modelos conceptuales.

Concluyen que un modelo debe balancear dos contrastantes demandas: presentar una gran simplicidad estructural y avanzar en el entendimiento de la física del problema, a fin de hacer uso del conocimiento previo de la naturaleza geomorfológica de la cuenca en la calibración de los parámetros.

9.1. Aplicaciones del modelo SACRAMENTO.

En las evaluaciones comparativas realizadas al modelo Sacramento por Naef, F. (1981); Georgakakos, K.P. y Smith, G.P. (1990); Franchini, M y Pacciani, M (1991) , destacan a este modelo como uno de los que logran la mayor precisión en los resultados de la simulación con la desventaja de requerir un grupo numeroso de parámetros.

A continuación se mencionan experiencias del modelo SACRAMENTO en Costa Rica.

Oreamuno, R. (1979), calibró el modelo SACRAMENTO para la cuenca del Río Grande de Térraba. La calibración fue realizada para datos promedio diarios y sirvió de base para estimar la Avenida Máxima Probable para la cuenca de estudio.

Jenkins, R. (1986), calibró el modelo SACRAMENTO para la cuenca del Río Virilla para datos promedio diarios, reportando problemas al simular recesiones prolongadas.

3. METODOLOGIA

3.1 Descripción de la zona.

El área de estudio corresponde al área de drenaje de la cuenca del río Virilla, afluente de río Grande de Tárcos, a la altura de la estación hidrológica Nuestro Amo. Figura 3.1 y 3.2.

3.1.1. Geomorfología.

La cuenca del río Virilla, se ubica en la depresión que se conoce como el Valle Central Occidental, las principales unidades morfológicas y algunos parámetros geomorfométricos se describen a continuación. Figura 3.3. (IGN-CONICIT, 1983).

-Área de conos volcánicos cuaternarios.

Esta se extiende al Norte y Este de la cuenca. Está conformada con los depósitos volcánicos de los edificios formados por el Poás-Congo, Barva-Cacho Negro, el Zurquí y al este el volcán Irazú. Por tratarse de estrato-volcanes, los conos están constituidos por depósitos alternos de lavas (basaltos y andesitas, principalmente), cenizas volcánicas, lahares y depósitos torrenciales de vertientes que constituyen en gran parte el área del pie de monte. Este material, asociado al régimen de lluvias, ha dado origen a un relieve ondulado con espesores variables de detritos y profundamente entallados por

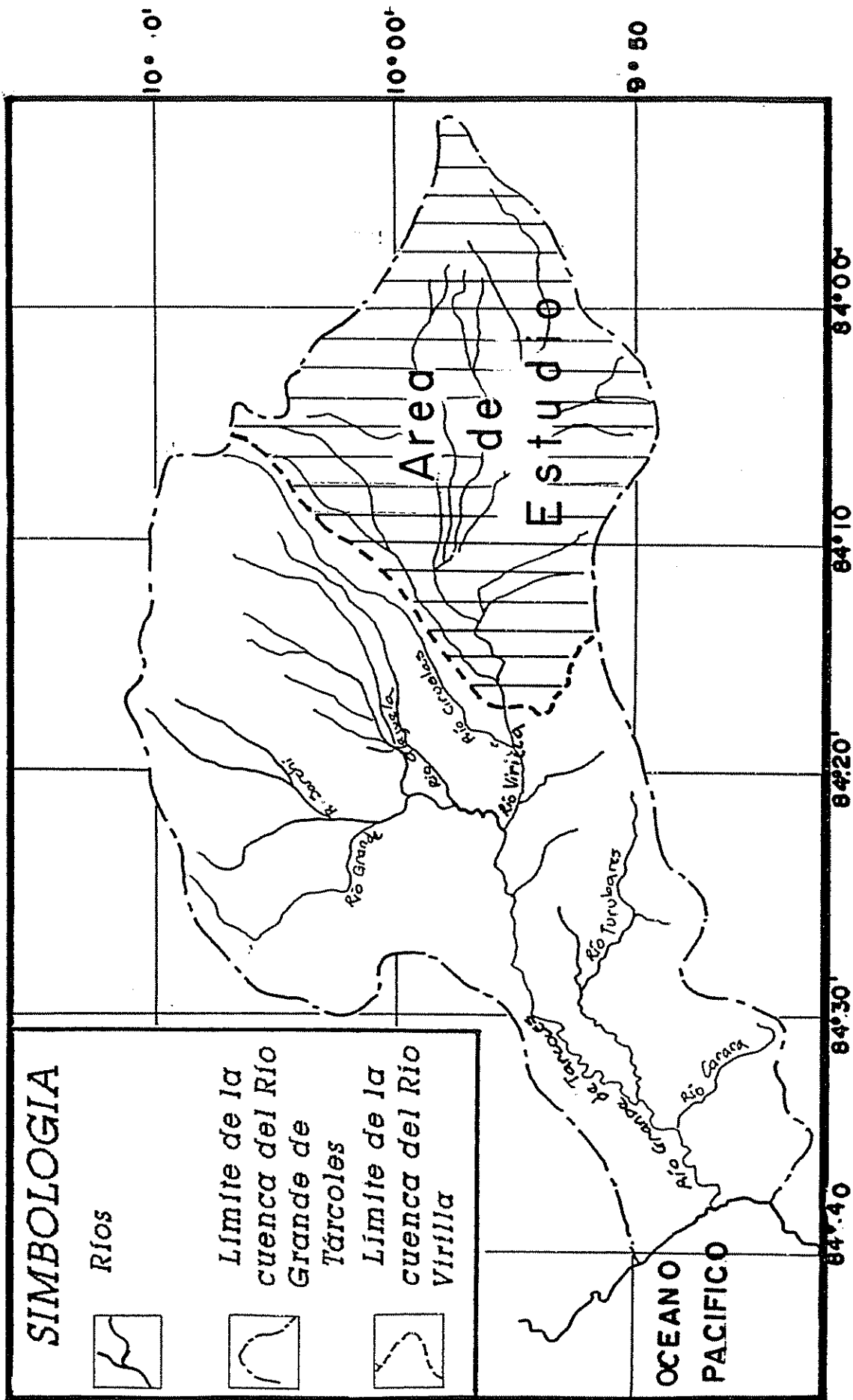


Figura 3.1. Localización de la cuenca del Río Virilla, en la cuenca del Río Grande de Tárcoles.

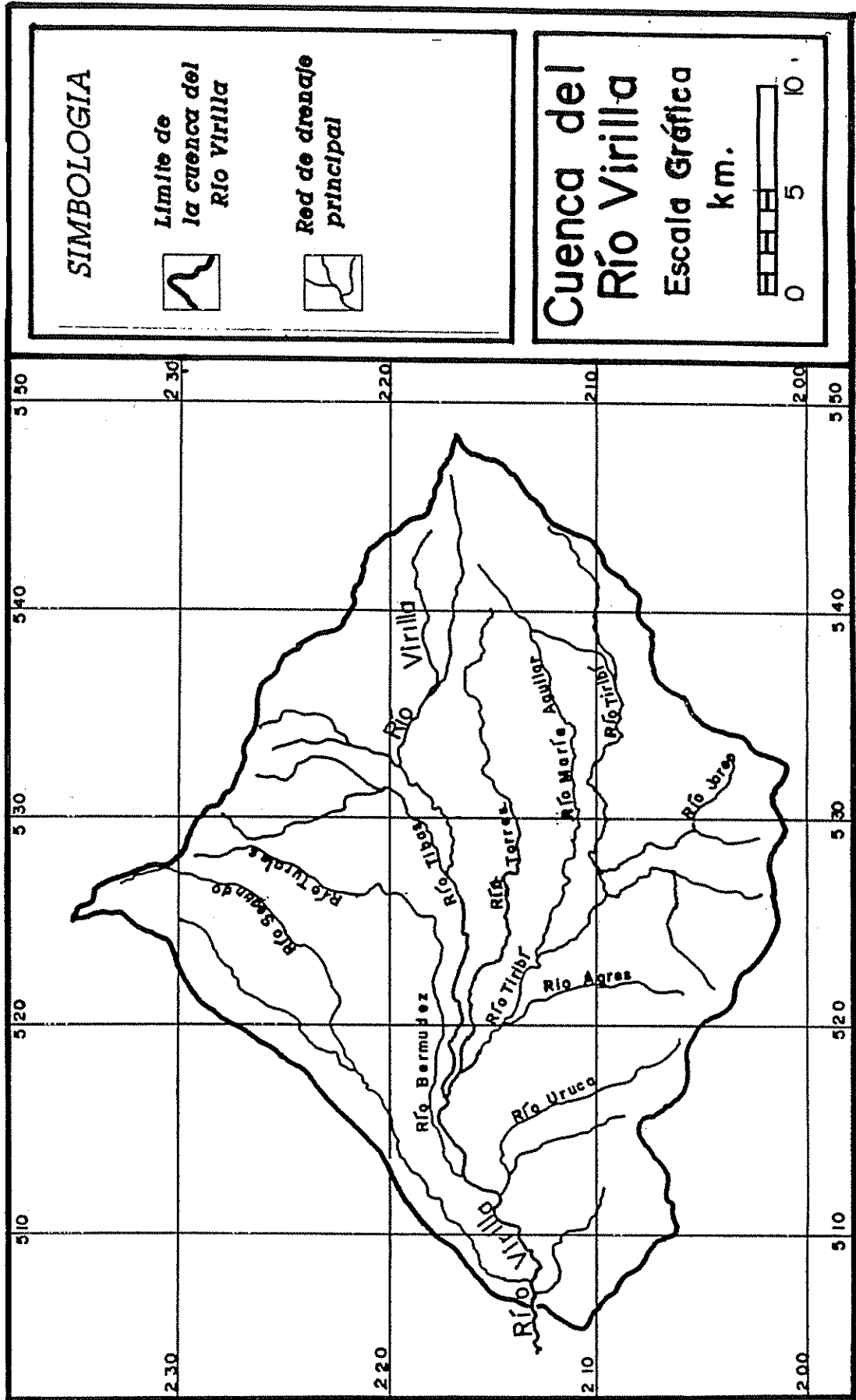


Figura 3.2. Red de drenaje principal de la cuenca del Río Virilla.

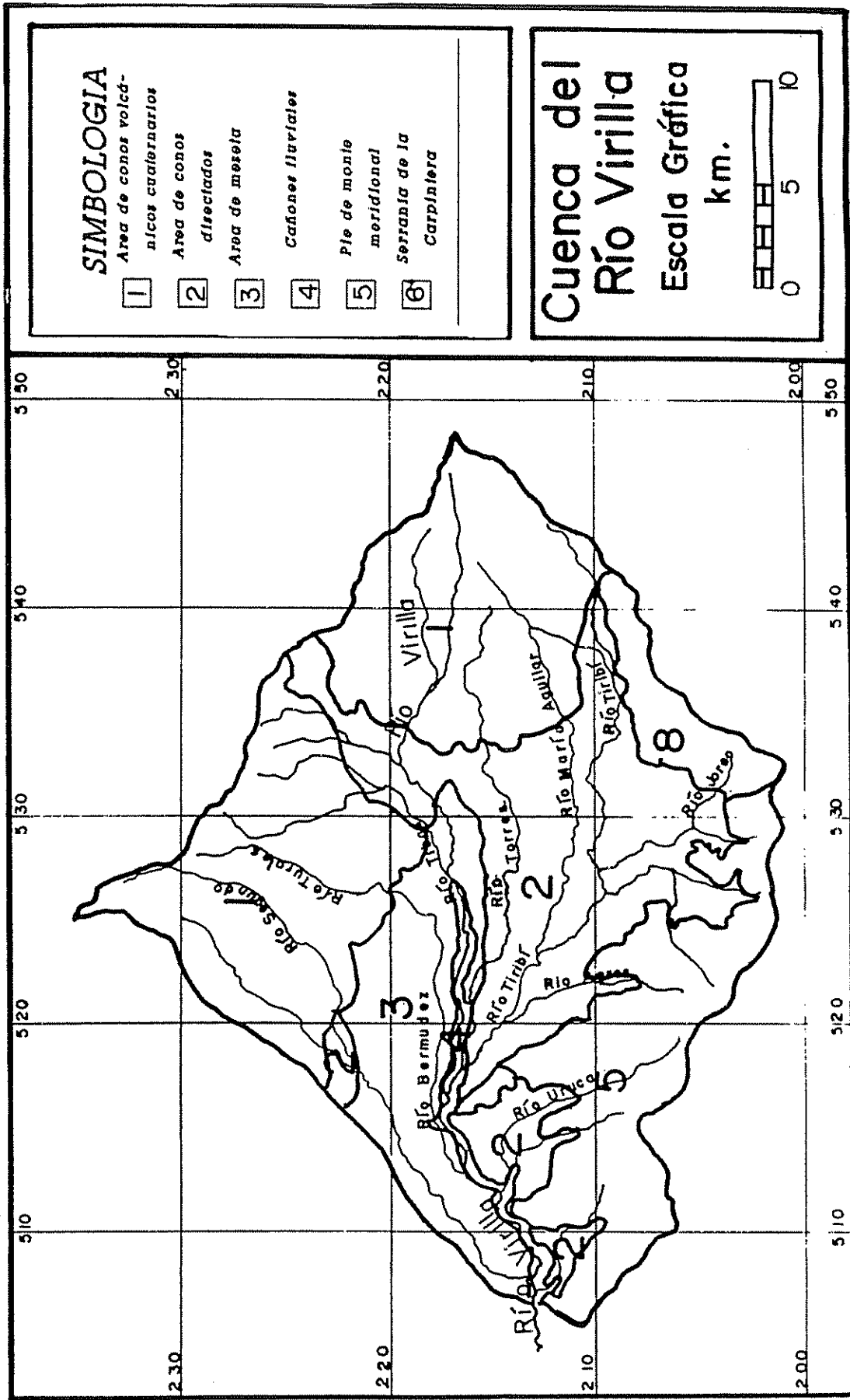


Figura 3.3. Regiones morfológicas. (IGN-CONICIT. 1983)

los numerosos ríos que nacen en el área, debido a la poca cohesión del subsuelo.

-Area de conos disectados.

Se trata de conos aluviales de acumulación, recientes, que se han situado a los pies del sector de pie de montes. Están constituidos por una acumulación caótica de cantos rodados, arena y arcillas, a causa del transporte fluvial y esorrentía producto de lluvias torrenciales excepcionales, en un medio climatológico posiblemente más seco, que precedió al actual. Dicha oscilación del clima debe haberse producido en más de una vez en los últimos cincuenta mil años. Esta área se concentra al centro y Sureste de la cuenca.

-Area de meseta.

Se encuentra en al centro-Este de la cuenca y está constituida por una serie ininterrumpida de coladas de lava basáltica y andesitas en posición monoclinal , con presencia de fallas. La superficie en algunos sectores, está recubierta por depósitos aluviales y lacustres modernos. Al Sur de esta área se encuentra el cañón del río Virilla.

-El pie de monte Sur.

Formado por series sedimentarias terciarias, plegadas y con presencia de fallas. Este sector se encuentra dividido por la intrusión de un domo grano-diorítico (cerros de Escazú), y que por la naturaleza de su composición litológica se encuentra disectado, presentando importantes escarpes de erosión y efectos de deslizamiento en masa.

-Serranías de la Carpintera.

Esta serranía de baja altura marca el límite Sureste de la cuenca. Esta formada por sedimentos terciarios plegados (areniscas y calizas).

Se presentan a continuación los valores que toma la cuenca para algunos parámetros geomorfométricos:

Coefficiente de compacidad: 1.4

Factor de forma: 0.33

Pendiente media: 21.3%

Elevación media: 1276 msnm.

Densidad de drenaje: 1.473 km/km²

3.1.2 Aspectos climáticos relevantes.

3.1.2.1. Precipitación.

En el área de estudio se pueden identificar tres tipos básicos de precipitación. La más común es la de tipo convectivo, luego está la de tipo estratificada, asociada con temporales en la Vertiente Pacífico; finalmente, las lluvias orográficas y de derrame asociadas con disturbios en la Vertiente Caribe.

La época lluviosa se extiende desde principios de mayo a mediados de noviembre y está caracterizada por lluvia de tipo convectivo, predominantemente. Este tipo de lluvias se presentan entre las 12 y las 18 horas, son fuertes y de corta duración, acompañada algunas veces de tormenta eléctrica. Son muy localizadas, por lo que difícilmente llovería en toda la cuenca en un determinado momento.

La lluvia proveniente de nubosidad estratificada, se distribuye en la mayor parte del área de estudio, en un momento determinado. Está asociada principalmente, con los denominados temporales de la Vertiente del Pacífico. Son lluvias en donde predomina el carácter débil y moderado. Los temporales pueden presentarse en cualquier período dentro de la época lluviosa, siendo octubre y mayo los meses en que se presentan con mayor frecuencia.

Las lluvias orográficas y de derrame son aquellas que se presentan a causa de dos hechos fundamentales: la presencia de temporales de fines y principios de año en el litoral del

Atlántico y por la orografía de la zona. La presencia de la Cordillera Central detiene, en parte, el ingreso de las lluvias del Atlántico a la cuenca; sin embargo, parte de estas logran alcanzar el sector Norte y Este del Valle Central, a través de las hondonadas que la conectan con dicha Vertiente.

En series climatológicas largas el mes más lluvioso es el mes de Septiembre, alcanzando los valores máximos al Suroeste del volcán Barva y al Suroeste del volcán Irazú; con la presencia de un eje menos lluvioso al centro de la cuenca. Las figuras 3.4 y 3.5 muestran la precipitación promedio para el mes más lluvioso y el mes más seco, respectivamente.

El elemento meteorológico de mayor peso en la distribución espacial de las lluvias es el viento. En la época lluviosa los vientos predominantes son los provenientes del Océano Pacífico, que son afectados en el sector Este de la cuenca por los vientos del Atlántico. Figura 3.6.

La época lluviosa se ve interrumpida la mayoría de las veces, con períodos relativamente secos, que se les denomina "Veranillos". Las épocas más propicias para la aparición de estos veranillos son finales de junio, julio e inicios de agosto

La precipitación promedio anual en la cuenca varía desde los 1700 mm a los 3500 mm. Figura 3.7.

3.1.2.2 Temperatura.

La variación estacional de la temperatura es prácticamente insignificante para la mayoría de las actividades humanas, siendo significativa la variación diaria de ésta.

Las temperaturas máximas se presentan entre el mediodía y las 2 p.m. y las mínimas entre las 2 y las 6 a.m. La temperatura se ve influenciada por la nubosidad y la altitud, en tal forma que en la época lluviosa la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima, es del orden de 7°C. En la época seca es del orden de 10°C.

La temperatura mínima promedio anual en la cuenca varía desde 20°C al Sureste hasta 12.5 en el Norte y el Este.

La temperatura máxima promedio anual varía de los 30°C en el Suroeste a 20°C al Este de la cuenca. IGN-CONICIT (1983). La figura 3.8 muestra la temperatura promedio anual para la cuenca.

3.1.2.3 Evapotranspiración potencial.

La evapotranspiración potencial al igual que las lluvias sufre una fuerte variación estacional, pero en relación inversa, es decir, que en la época seca el aumento de la velocidad del viento, un mayor número de horas con sol brillante y una disminución de la humedad relativa, causan un aumento en la evapotranspiración potencial. Esta situación provoca déficit hídrico para las plantas en el período de diciembre a abril. (Ramírez, P. s.f.)

3.2 Descripción del modelo.

El modelo NWS-PC se divide en 2 grandes partes que son: el modelo Sacramento de balance de humedad del suelo y el modelo para el tránsito de avenidas.

El modelo Sacramento es continuo, conceptual, determinístico, de entradas agrupadas y de parámetros agrupados; que transforma los datos de entrada de precipitación en flujo hacia el canal.

El modelo para el tránsito de avenidas se encarga de transitar los flujos de salida del modelo anterior, a través de los canales hasta producir un hidrograma a la salida de la cuenca. La siguiente descripción de estructura ha sido tomada de Tabios, G. et al. (1986).

3.2.1. Estructura del modelo NWS-PC.

-Zonas de almacenamiento.

En el modelo se supone que la cuenca consiste en dos grandes almacenamientos: la zona superior y la zona inferior. Estas se muestran en la figura 3.9. Con estos almacenamientos se representan de una forma simple pero eficaz, los procesos hidrológicos en la cuenca, iniciando con la precipitación, los subsecuentes movimientos vertical y horizontal del agua a través o sobre el suelo, y finalmente la producción de escorrentía. La zona superior

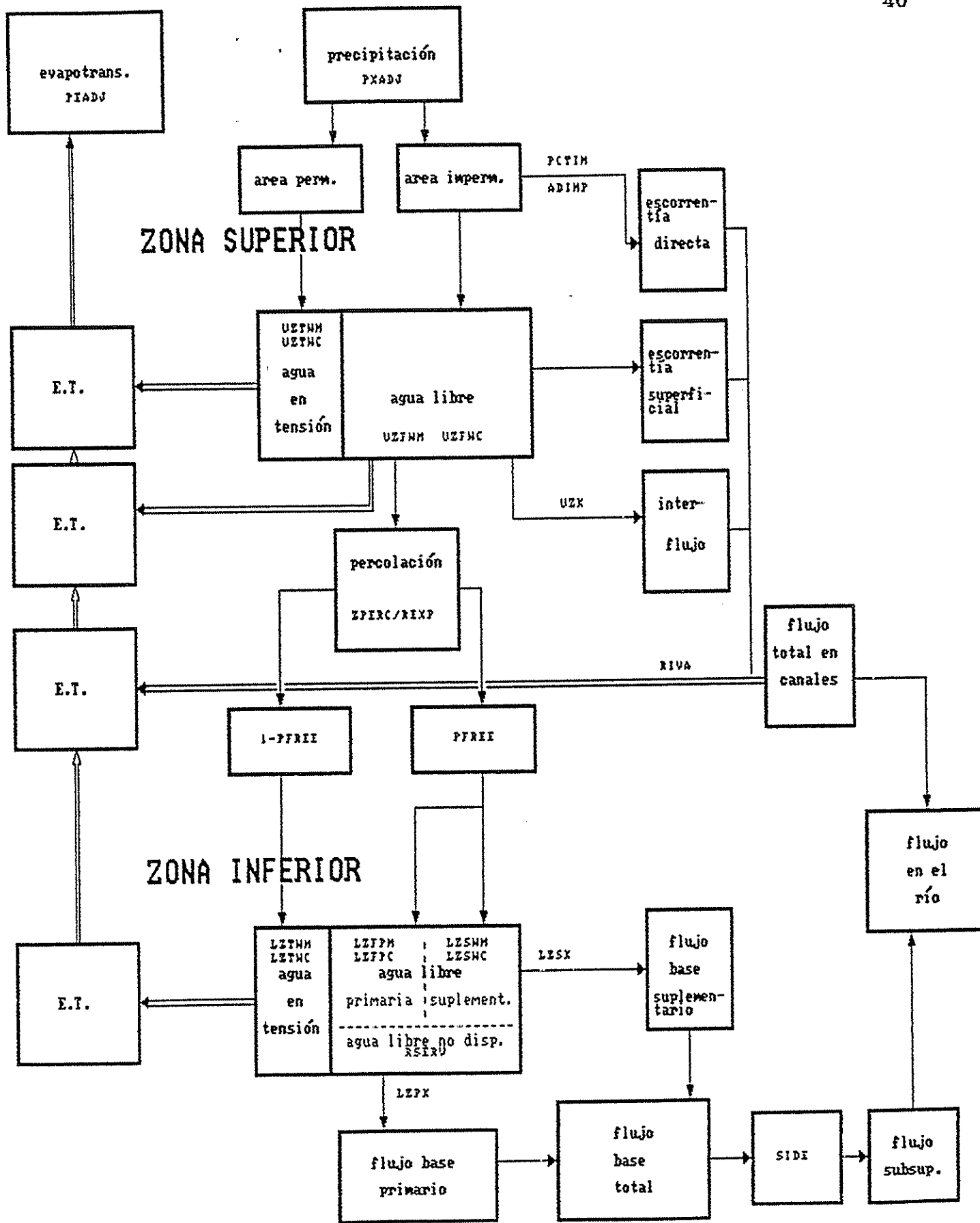


Figura 3.9. Flujograma del modelo SACRAMENTO. (Tabios, G. et al. 1986).

representa la capa superficial del suelo y los almacenamientos de intercepción, mientras la zona inferior representa el volumen de humedad del suelo y el almacenamiento de agua subterránea.

Cada una de estas zonas almacena agua en dos formas: agua en tensión y agua libre. El agua en tensión está atrapada en los microporos por las fuerzas capilares de las partículas de suelo en contraste con el agua en los macroporos que es libre de moverse por las fuerzas gravitacionales. La filosofía de la distribución del agua del modelo establece que los componentes de agua en tensión deben ser llenados antes que los componentes de agua libre. El agua en tensión es agotada solo por evapotranspiración. El agotamiento del agua libre ocurre por percolación y por evapotranspiración. En la zona inferior hay dos tipos de almacenamiento de agua libre: el primario, que es drenado lentamente y provee de flujo base por largos períodos de tiempo; y el suplementario que es drenado rápidamente y suplementa el flujo base después de períodos recientes de lluvia.

El movimiento de agua de la zona superior a la zona inferior es dado por el proceso de percolación. Este proceso de percolación es una función no lineal de la disponibilidad de agua libre de la ZONA SUPERIOR y las deficiencias de humedad de la ZONA INFERIOR.

-Componentes de flujo.

Finalmente el modelo genera cinco componentes de flujo.

Estos son:

1) Escorrentía directa de las áreas permanente y temporalmente impermeables.

2) Escorrentía superficial que se produce cuando el almacenamiento de agua libre de la zona superior está lleno y la intensidad de precipitación excede la tasa de percolación e interflujo.

3) Interflujo resultante del drenaje horizontal del almacenamiento de agua libre de la zona superior.

4) Flujo base suplementario.

5) Flujo base primario.

Los primeros tres componentes de escorrentía representan el caudal total afluente hacia los canales y los últimos dos, el flujo base total. En el modelo NWS-PC el llamado "caudal total afluente al canal" constituye la contribución de la escorrentía superficial al hidrograma que es transitado vía los métodos de la onda cinemática o el método combinado del hidrograma unitario-Muskingum, y una parte del flujo base total es la contribución de la escorrentía subsuperficial al caudal. Esta contribución subsuperficial es adicionada al caudal transitado a la salida de la cuenca o subcuenca usando una función lineal descendente que es similar a la metodología del hidrograma unitario.

-Partición de la cuenca.

Para contabilizar las características físicas e hidrológicas de una cuenca (localizadas y distribuidas), en el modelo NWS-PC se supone que la cuenca a ser modelada, es dividida en segmentos interconectados; cada segmento representa una diferente porción de la cuenca teniendo propiedades relativamente uniformes que pueden ser representados por un único cuerpo de procesos. Dos niveles de partición son requeridos en el modelo: el primer nivel divide la cuenca en áreas de contabilidad de humedad del suelo "area SMA", donde cada área es una unidad homogénea del modelo SAC-SMA en terminos de sus parámetros. Los datos de entrada de precipitación y evapotranspiración se suponen uniformes sobre un área SMA. El segundo nivel de partición divide un area SMA en pequeñas unidades homogéneas que representan planos de flujo individuales, figura 3.10. Se supone que cada plano de flujo tiene parámetros homogéneos en lo que respecta a los modelos del tránsito: onda cinemática o hidrograma unitario-Muskingum. Aunque se necesitan estos dos niveles de partición se puede hacer coincidir un plano de flujo con un área SMA.

-Tránsito de avenidas.

El modelo del tránsito de avenidas provee el mecanismo del movimiento del agua sobre la superficie y a través de

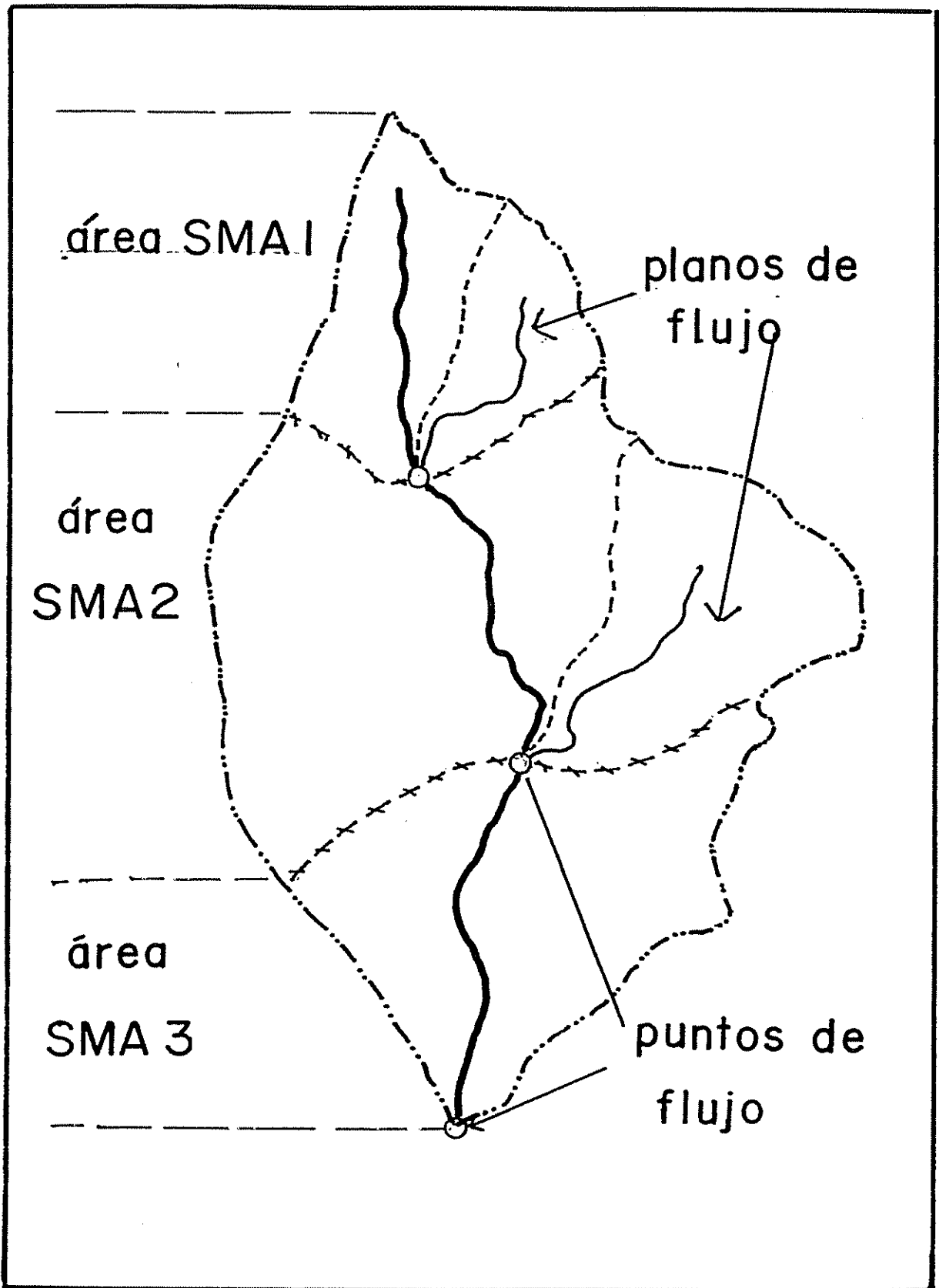


Figura 3.10. Esquema de partición del modelo SACRAMENTO.
(Tabios, et al, 1986).

los canales de los ríos hacia la salida de la cuenca o la subcuenca. La entrada de este modelo la constituye el caudal total afluente al canal que se supone uniforme para una subcuenca.

El modelo dispone de dos métodos : onda cinemática e hidrograma unitario-muskingum

--Método de la onda cinemática.

Este método utiliza tres elementos conceptuales que son: planos de flujo, canales colectores y canal principal. figura 3.11. En este método se supone que la pendiente de fondo y la pendiente de la superficie son iguales y los efectos de aceleración son insignificantes. En este caso la ecuación del momentum se simplifica como:

$$S_r = S \quad [3.11]$$

Donde S_r es la pendiente de la superficie y S es la pendiente de fondo del canal. Pudiendo obtenerse el caudal en cualquier punto utilizando la fórmula de Manning:

$$Q = (1/n) * S^{1/2} * R^{2/3} * A \quad [3.21]$$

Donde Q es caudal, R es el radio hidráulico, A es el área de la sección transversal de canal, n es el coeficiente de rugosidad de Manning. La ecuación 3.2 puede ser simplificada como:

$$Q = \alpha A^m \quad [3.3]$$

Donde α y m son relativos a la geometría del flujo y la rugosidad

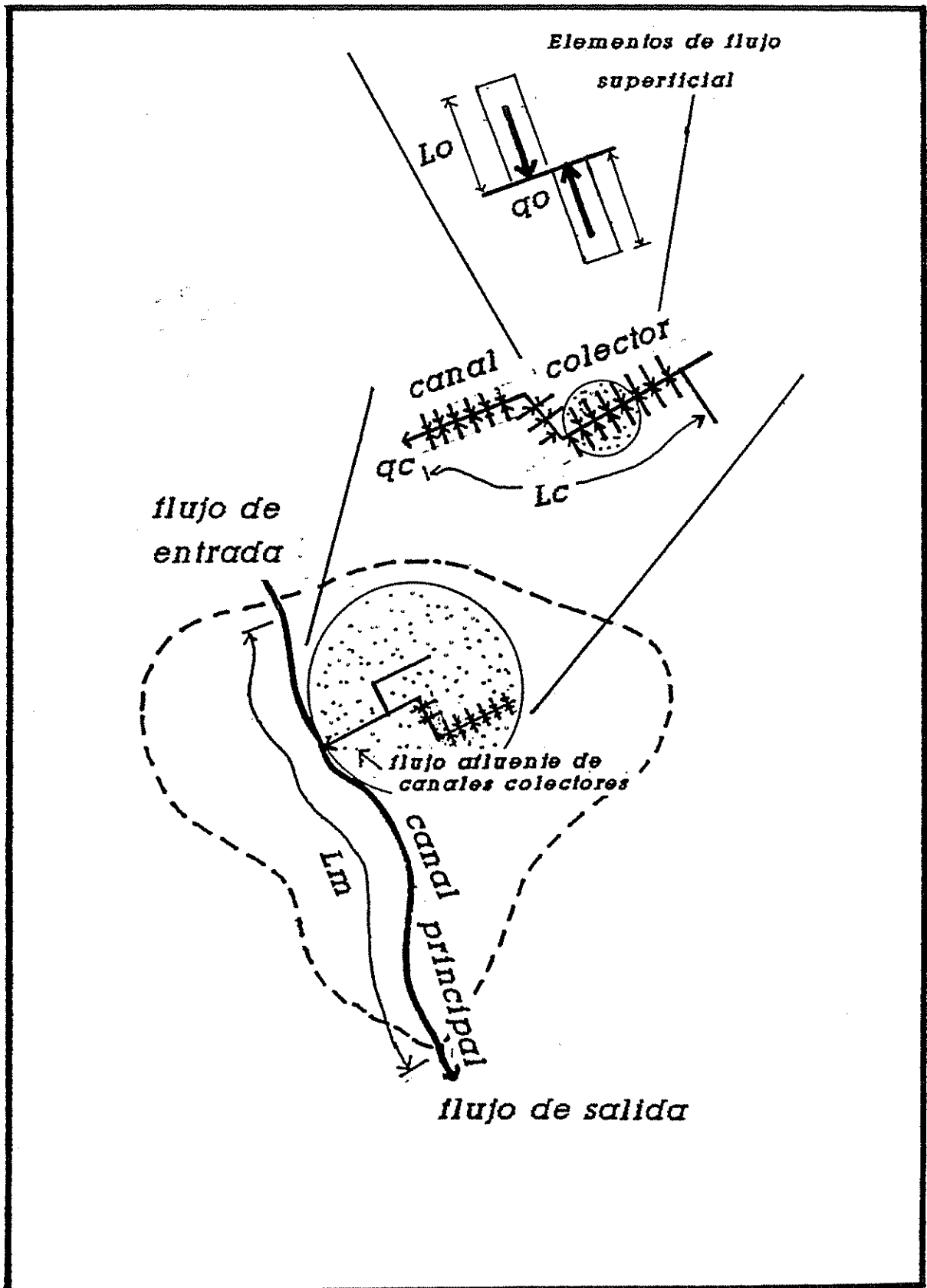


Figura 3.11. Elementos conceptuales del método de tránsito de la onda cinemática. (Tabios, G. et al. 1986).

Como la ecuación del momentum ha sido reducida a una simple relación funcional entre área y descarga, el movimiento de una onda de flujo es descrito solamente por la ecuación de continuidad:

$$dA/dt + dQ/dx = q \quad [3.4]$$

Combinando las ecuaciones 3.2 y 3.3, resulta:

$$dA/dt + \alpha A^{m-1} dA/dx = q \quad [3.5]$$

Donde q es el caudal de entrada al canal o el flujo de entrada lateral.

Este método supone que las entradas de flujo son constantes, periódicas y uniformemente distribuidas a lo largo de los elementos conceptuales.

El tránsito de caudales se ejecuta de la siguiente manera: se inicia trasladando el caudal sobre elementos de flujo superficial (OFE), suponiendo que éste se comporta como un canal rectangular de base ancha.

El caudal de salida se obtiene por unidad de ancho del canal al dividir el área del plano de flujo por su longitud y multiplicarla por el caudal total afluente:

$$Q = q * AREA / L \quad [3.6]$$

Donde AREA es el área representada por cada elemento de flujo superficial, y L es la longitud de éste.

Los flujos proveniente de los OFE son transportados a la salida del plano de flujo a través de uno o dos canales sucesivos. Para un plano de flujo dado el último canal especificado es el canal principal y cualquier canal

especificado antes, es un canal colector; el uso de éstos es opcional y se permite utilizar un máximo de dos.

Los parámetros necesarios por este modelo son: área del plano de flujo, longitud y pendiente de los planos de flujo, características geométricas de las secciones típicas de los canales, coeficientes de rugosidad de las superficies de flujo y de los canales, y coeficientes de peso para la distribución del flujo base.

--El modelo hidrograma unitario-muskingum.

Este modelo combina el método del hidrograma unitario para transitar el flujo superficial hacia la salida de la cuenca y el método Muskingum para transitar el flujo en los canales de la salida de una cuenca a otra

En el modelo se utiliza la técnica del hidrograma unitario para convertir el caudal total afluente en descargas instantáneas a la salida de un plano de flujo dado. El hidrograma de entrada q_t es transformado en el hidrograma de salida Q_t por medio de la ecuación:

$$Q_t = \sum w_i q_{t-i} \quad [3.71]$$

donde w_i son las ordenadas del hidrograma unitario para $i = 0, 1, 2, \dots, m$.

Las ordenadas del hidrograma unitario deben especificarse para cada plano de flujo, caudal total afluente y flujo subsuperficial. La contribución de caudal

desde cada plano de flujo es especificado por el parámetro AREA que es el área que éste sirve.

El método de Muskingum se fundamenta en las ecuaciones que se presentan a continuación. Para un determinado tramo de río con un caudal de entrada q_t al tiempo t , el caudal de salida Q_t es calculado por las siguientes ecuaciones:

$$Q_t = (1-c_1)*Q_{t-\Delta t} + c_2*q_t + (c_1-c_2)q_{t-\Delta t} \quad [3.8]$$

$$c_1 = 2\Delta t/[2(1-x)K/\delta + \Delta t] \quad [3.9]$$

$$c_2 = (\Delta t - 2X*K/\delta)/[2(1-x)K/\delta + \Delta t] \quad [3.10]$$

Donde Δt es el intervalo computacional del modelo, K es el tiempo de retardo o el tiempo de viaje a través de tramo, X es el coeficiente de almacenamiento de Muskingum, y δ es el número de tramos en que ha sido subdividido el río. Para asegurar estabilidad computacional y precisión, el método requiere que se cumpla la siguientes condiciones:

$$\Delta t/2(1-X) \leq K/\delta \leq \Delta t/2X \quad [3.11]$$

$$X \leq 0.5$$

-Intervalo de tiempo para la simulación.

Para el tiempo base de operación del modelo, éste a sido configurado para hacer la simulación cada hora y en intervalos de tiempo que son múltiplos enteros de una hora. Por lo tanto los datos de precipitación, evapotranspiración y caudales pueden ser suministrados por lo menos con base horaria. De acuerdo a la disponibilidad de la información sobre caudales y evapotranspiración estos pueden ser

suministrados en períodos mayores de tiempo como múltiplos enteros del intervalo de tiempo de la lluvia. En este caso, el modelo distribuye uniformemente los datos de evapotranspiración y calcula los caudales en el intervalo de tiempo fijado para los datos de lluvia. Al terminar de correr el modelo, los caudales calculados son promediados sobre el intervalo de tiempo especificado para los caudales. Internamente el intervalo de tiempo computacional del modelo puede variar de acuerdo a los criterios de estabilidad requeridos por el modelo SAC-SMA y el método de la onda cinemática.

3.3. Obtención inicial de parámetros .

El modelo SAC-SMA dispone de 24 parámetros de los cuales 18 necesitan calibración. Los 6 restantes son variables de estado que requieren ajustar su contenido al inicio de la simulación

3.3.1 PCTIM.

Fracción de área impermeable de la cuenca. Dado el alto desarrollo urbano, industrial y agrícola del área en estudio, este parámetro es de suma importancia para explicar el comportamiento hidrológico de la cuenca, ya que la lluvia que cae sobre el área impermeable escurre directamente a los canales.

Se intentó inicialmente obtener este parámetro por el método sugerido por Burnash, et al .(1973) citado por Tabios, G. et al. (1986) obteniéndose valores en un rango de 0.016 a 0.15 . A fin de aumentar la precisión en la estimación de este parámetro, se procedió a estimarlo de la siguiente manera.

Se utilizó una imagen de satélite LANSAT TM de 1986 y el software ERDAS versión 7.2, realizando los siguientes pasos metodológicos:

3.3.1.1.- Corrección geomorfológica.

Se procedió a identificar puntos en la imagen a los cuales se les asignó coordenadas geodésicas con base en un mapa escala 1:50000 elaborado por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica, tratando que dichos puntos estuvieren distribuidos uniformemente en el espacio (georeferenciación). A continuación se procedió a realizar la corrección geomorfológica.

3.3.1.2.- Clasificación de los usos del suelo.

Se efectuó la clasificación de los usos del suelo mediante el procedimiento conocido como clasificación supervisada. La cual consiste en seleccionar en la imagen áreas de uso conocido (área de entrenamiento) con las que se elabora un archivo de firmas espectrales, las cuales son

luego utilizadas por el programa para realizar la clasificación de cada pixel en la imagen (MAXCLAS). El producto de la clasificación fue corroborado en el campo para luego efectuar las correcciones necesarias.

3.3.1.3.-Delimitación del área de la cuenca.

Se elaboró un archivo conteniendo el polígono que delimita la cuenca con la ayuda de la mesa digitalizadora.

3.3.1.4. Síntesis de archivos.

Se procedió a sobreponer el archivo antes mencionado con el archivo conteniendo la imagen clasificada a fin de extraer de ésta el área de interés (overlay).

3.3.2 ADIMP.

Este parámetro representa el área de la cuenca que se vuelve impermeable cuando todos los requerimientos de agua en tensión del suelo son satisfechos.

Para su estimación se utilizó el procedimiento recomendado por Armstrong (1978) citado por Tabios, G. et al. (1986) que se basa en la siguiente ecuación:

$$ADIMP = AD/BA - 0.03 \quad [3.12]$$

Donde AD es área cubierta por suelos clase D, según la clasificación del Soil Conservation Service de Los Estados

Unidos de América, que son suelos con alto potencial de escurrimiento; ya sea por el alto contenido de arcillas o por la presencia de una capa impermeable cerca de la superficie. BA es el área total de la cuenca.

Debido a no contar con dicha clasificación, se incluyeron en el área AD aquellos suelos con alto contenido de arcilla.

3.3.3 RIVA.

Fracción de la cuenca cubierta por ríos, lagos y vegetación riveraña.

Este parámetro se estimó multiplicando la longitud de los canales principales por tres veces el ancho de la superficie de agua correspondiente.

3.3.4 UZTWM.

La capacidad de almacenamiento de agua en tensión en la zona superior.

Este parámetro se calculó a partir de datos de suelos. Armstrong, B.L. (1978) citado por Tabios, G. et al. (1986) propone la siguiente relación:

$$UZTWM = AWC * UCST \quad [3.13]$$

Donde AWC es la fracción de agua del suelo disponible para las plantas, es decir, el agua entre capacidad de campo (1/3 de atmósfera) y punto marchitez permanente (15

*atmósferas). USCT es un estimado del espesor de la capa superior del suelo en milímetros.

AWC fue estimado por el método propuesto por Brakensiek, D.L. y Rawls, W.J. (1983) para predecir los parámetros de Green and Ampt. Este método requiere como información básica la granulometría del suelo, específicamente los porcentajes de arcilla y arena. Con esta información se entra a un nomograma y se obtiene la humedad volumétrica para 1/3 atm y 15 atm. Se calculó la humedad disponible para las plantas para las asociaciones de suelo en las que se contaba con la información antes mencionada. Para las restantes asociaciones se estimó el valor de AWC por comparación con los valores de las asociaciones para las cuales se dispone de información.

La información de suelos de la zona que se utilizó en el cálculo de UZTWM, se tomó del Manual descriptivo de la leyenda del Mapa de asociaciones de subgrupos de suelos de Costa Rica, escala 1:200000. (Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1991).

$$\theta = V_w/V_t \quad [3.14]$$

Donde θ es la humedad volumétrica, V_w es el volumen de agua en el suelo, y V_t es el volumen total del suelo.

$$AWC_i = (\theta_{1/3atm} - \theta_{15atm}) (D_i) \quad [3.15]$$

AWC_i es el agua disponible a las plantas para cada estrato en cm, $\theta_{1/3atm}$ y θ_{15atm} son los contenidos de humedad volumétrica a 1/3 y 15 atmósferas respectivamente, y D_i es la profundidad del estrato.

$$AWC_m = (\sum AWC_i)10 / (D_m) \quad [3.16]$$

AWCa es el agua disponible para las plantas en mm/cm de suelo para cada asociación, y D_m es la profundidad de las mismas e igual a $\sum D_i$ y AWC_i se define en la ecuación [3.15].

$$UZTWM = \sum (AWC_m D_m A_m) / \sum A_m \quad (\text{mm}) \quad [3.17]$$

donde D_m (cm) y A_m (km²) son respectivamente la profundidad y el área de cada asociación; AWC_m se define en la ecuación [3.16]

3.3.5 UZFWM.

Capacidad de almacenamiento de agua libre en la zona superior.

Este parámetro se estimó a partir de la información de suelos utilizada para estimar UZTWM, definiéndolo mediante las siguientes ecuaciones:

$$UZFWM = FWC * USCT \quad [3.18]$$

Donde FWC es la fracción de agua libre y USCT es la profundidad del suelo.

$$FWC_m = \sum (\phi_{e_i} - \theta_{1/3atm}) * 10 * D_i / D_m \quad [3.19]$$

Donde FWC_m es la capacidad de almacenamiento de agua libre para cada asociación, ϕ_{e_i} es la porosidad efectiva para cada estrato de la asociación de suelo, $\theta_{1/3atm}$ es la humedad volumétrica a capacidad de campo, D_i es el espesor del estrato y D_m es la profundidad del suelo para la asociación.

θ_{e_i} y $\theta_{1/2atm}$ fueron estimados por el método de Brakensiek, D.L. y Rawls, W.J. (1983) para predecir los parámetros de Green and Ampt.

El valor promedio de UZFWM para la cuenca se define como:

$$UZFWM = \Sigma (FWC_m \cdot D_m \cdot A_m) / \Sigma A_m \quad [3.20]$$

Donde FWC_m , D_m , A_m fueron definidos en las ecuaciones [3.19] y [3.18].

3.3.6 UZK.

La tasa de abatimiento por flujo lateral de UZTWM.

Este parámetro se estimó de acuerdo al procedimiento recomendado por PECK, E.L. (1976) citado por TABIOS, G. et al. (1986) donde :

$$UZK = 1 - (0.10)^{1/N} \quad [3.21]$$

N es el número de días en que se observa el interflujo.

3.3.7 LZTWM.

El almacenamiento de agua en tensión de la zona inferior.

Se estimó según los valores típicos reportados por Burnash, R.J.C. et al. (1973), citado por Tabios, G. et al (1986).

3.3.8 LZFSM.

La capacidad de almacenamiento de agua libre en la zona inferior que es drenada como flujo suplementario.

Este parámetro fue estimado a partir del análisis del Mapa hidrogeológico del Valle Central, SENARA-BGS (1985), en el que se observa una fuerte variación del nivel freático durante el año en el acuífero Barva, por lo que se supone que el acuífero Barva representa este parámetro.

$$LZFSM = (\emptyset_B)E_B A_B / A_T \quad [3.22]$$

E_B es el espesor promedio del acuífero, \emptyset es la porosidad del estrato, A_B es el área que ocupa el acuífero y A_T el área total de la cuenca.

3.3.9 LZFPM.

La capacidad de almacenamiento de agua libre de la zona inferior que drena como flujo base.

Este parámetro se estimó de manera similar al anterior. Debido al comportamiento estable del acuífero Colima a lo largo del año y a su tamaño, se considera que este acuífero es el principal contribuyente para del flujo base primario y representa este almacenamiento. Figura 3.12.

$$LZFPM = (\emptyset_C)E_C A_C / A_T \quad [3.23]$$

\emptyset_C es la porosidad del estrato, E_C es el espesor del acuífero Colima, A_C el área que ocupa el acuífero Colima y A_T es el área de la cuenca.

3.3.10 LZPK .

La tasa de abatimiento de LZFPM.

Se estimó con base en el análisis de los hidrogramas según procedimiento recomendado por Peck, E.L (1976) citado por Tabios, G. et al. (1986). Se escogió la transición de la época lluviosa a la época seca del período de octubre 81 a mayo 82, por presentar un retiro repentino de la época lluviosa. Esto permite observar claramente las tendencias imputables a las tasas de abatimiento de este almacenamiento. La figura 3.13 ejemplifica el análisis. El eje "y" tiene escala logarítmica.

$$LZPK = 1 - (QP_2/QP_1)^{1/N} \quad [3.24]$$

QP_1 es el caudal base primario al inicio de la recesión y QP_2 es el caudal base primario al final de la recesión . N es el número de días transcurridos desde el inicio al fin de la recesión .

3.3.11 LZSK.

Tasa de abatimiento de LZFSM. Este parámetro se estimó conjuntamente al anterior y su cálculo se ejemplifica en la figura 3.13.

$$LZSK = 1 - (QS_2/QS_1)^{1/N} \quad [3.25]$$

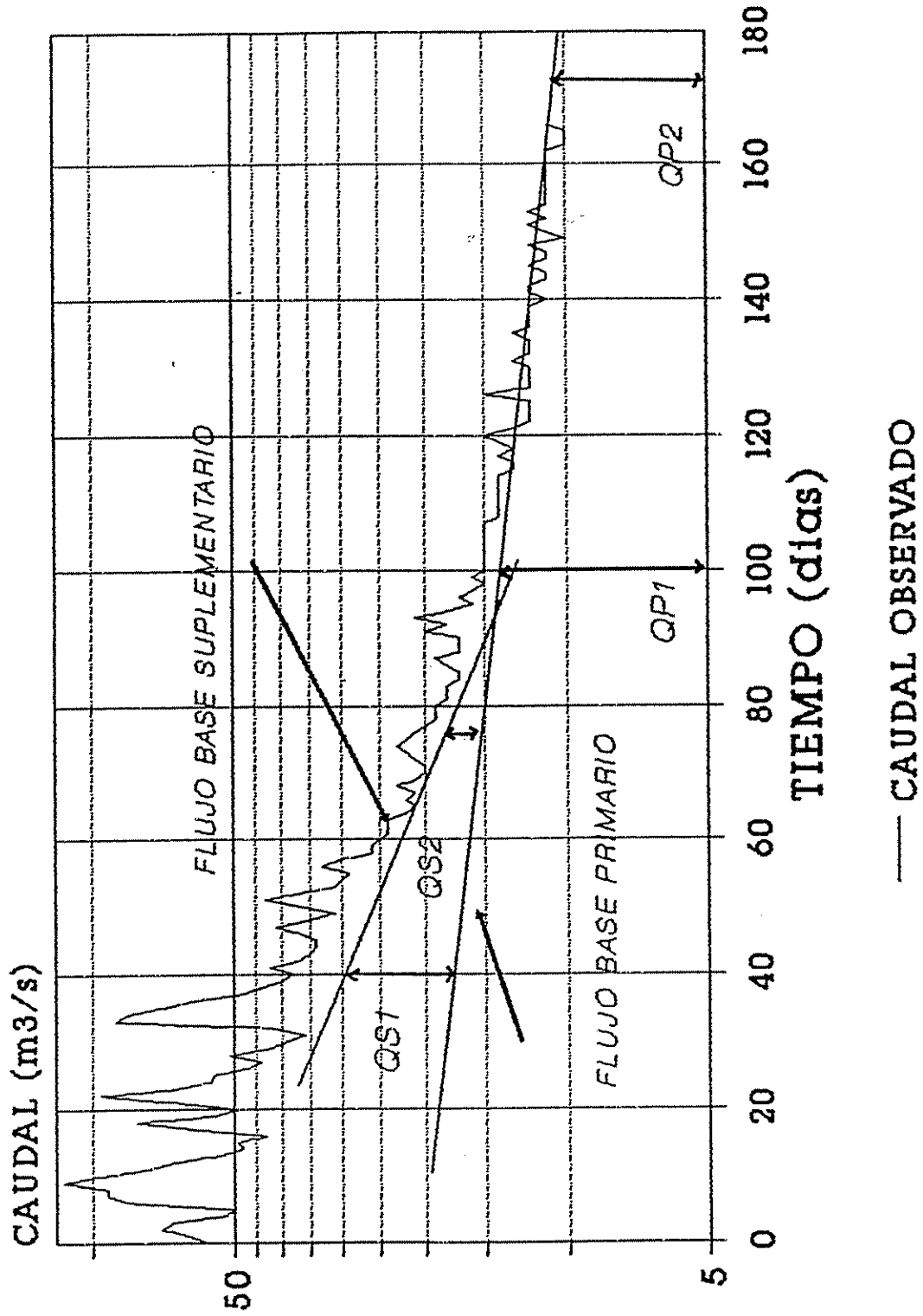


Figura 3.12. Estimación de LZSK y LZPK.

3.3.12 ZPERC.

Constante de proporcionalidad de incremento de la percolación de la condición húmeda a la seca.

Para estimar el valor inicial de ZPERC, se siguió el procedimiento recomendado por Armstrong, B.L. (1978) citado por Tabios, G. et al. (1986) en el cual se supone que la zona superior está llena y la zona inferior está vacía, entonces ZPERC es dado por la siguiente relación:

$$ZPERC = (LZTWM + LZFSM + LZFPM - PERCM) / PERCM \quad [3.26]$$

$$PERCM = LZFSM * LZSK + LZFPM * LZPK \quad [3.27]$$

3.3.13 REXP.

Exponente que define la curvatura en la curva de percolación por cambios en la deficiencia de humedad del suelo de la zona inferior.

El valor inicial de este parámetro fue seleccionado de los valores típicos para diferentes tipos de suelos reportados por Armstrong, B.L. (1978) citado por Tabios, G. et al. (1986).

3.3.14 PFREE.

Fracción de agua de percolación que es transmitida directamente al almacenamiento de agua libre de la zona inferior.

Según Burnash, R.J.C. et al. (1973) citado por Tabios, G. et al. (1986) los valores observados de este parámetros varían de 0 a 0.4. Se tomo un valor inicial de 0.3 recomendado por Tabios, G. et al. (1986) para iniciar la calibración.

3.3.15 RSERV.

Fracción del almacenamiento inferior de agua libre no disponible para fines de evapotranspiración.

Burnash, R.J.C. et al (1973) citado por Tabios, G. et al. (1986) afirma que aparentemente no existe una manera lógica de derivar este valor por lo que sugiere tomar un valor inicial de 0.3.

3.3.16 SIDE .

Fracción del flujo base no observado en el canal.

Este parámetro fue estimado a partir del análisis del mapa hidrogeológico del Valle Central. En la estación Nuestro Amo situada a la salida de la cuenca se presenta un manto rocoso impermeable, lo que hace suponer que la mayor parte del flujo base es observado en la estación Nuestro Amo.

3.3.17 PXADJ.

Factor de ajuste de la precipitación.

Se consideró que el valor inicial de este parámetro debía ser la unidad, es decir, no ajustar inicialmente la precipitación.

3.3.18 PEADJ.

Factor de ajuste de la demanda de evapotranspiración.

El valor inicial de este parámetro se estableció en función de los datos de entrada que son de evaporación de tanque. Linsley, R.K. et al. (1975) concluye, después de analizar el resultado de muchas investigaciones, que un valor cercano a la unidad produce resultados satisfactorios, cuando se trata áreas con vegetación variada.

3.3.19 UZTWC, UZPWC, LZTWC, LZPWC, LZSWC, ADIMC.

Estos parámetros representan el contenido de los almacenamientos UZTWM, UZPWM, LZTWM, LZPWM, LZSWM y ADIMP respectivamente. Su estimación se logra a través de corridas sucesivas del programa.

3.4. Calibración del modelo para precipitación y caudales promedio diarios.

La calibración se inició para datos diarios a fin de ajustar el modelo en relación a las variaciones anuales y estacionales del régimen hidrológico del área de estudio. De la serie histórica 1981/1988, se analizaron los períodos en que se disponía de información para las 6 estaciones pluviométricas que forman parte de la red telemétrica; con el fin de no introducir mayor incertidumbre al modelo.

3.4.1 Datos de entrada al modelo.

En la etapa de calibración es necesario alimentar el modelo con información de precipitación, demanda de evapotranspiración y caudales observados en el río. La calibración persigue ajustar los caudales computados por el modelo a los caudales reales. Esto se consigue mediante un proceso de prueba y error en el cual se van variando los parámetros del modelo.

3.4.1.1 Precipitación.

Esta debe suministrarse como un dato agrupado para cada SMA . La cuenca en estudio se tomo como una sola SMA debido a que se consideró que por la información disponible y las características de drenaje de la cuenca no se lograrían

ventajas significativas al aumentar el grado de partición de la misma. El valor promedio diario de precipitación se obtuvo mediante el método de los polígonos de Thiessen. (Linsley, R.K. et al. 1975).

Cuando fue estrictamente necesario se realizó el relleno de datos faltantes utilizando estaciones que estuvieran ubicadas en las mismas localidades que las de la red telemétrica (esto es posible en la zona debido a la existencia de una densa red de estaciones pluviométricas). Cuando no se dispuso de datos para una estación de la red, se efectuó un promedio aritmético simple para obtener la precipitación promedio de la cuenca. La figura 3.14 muestra la localización de las estaciones telemétricas.

3.4.1.2 Demanda de evapotranspiración.

Esta información se suministra como un promedio para el SMA. Fue obtenida a partir de promedios mensuales, para algunas estaciones, suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica.

3.4.1.3 Caudales observados.

Se obtuvo información de caudales promedio diario para todo el período.

Los datos de precipitación y de caudales observados fueron suministrados por el Departamento de Hidrología del

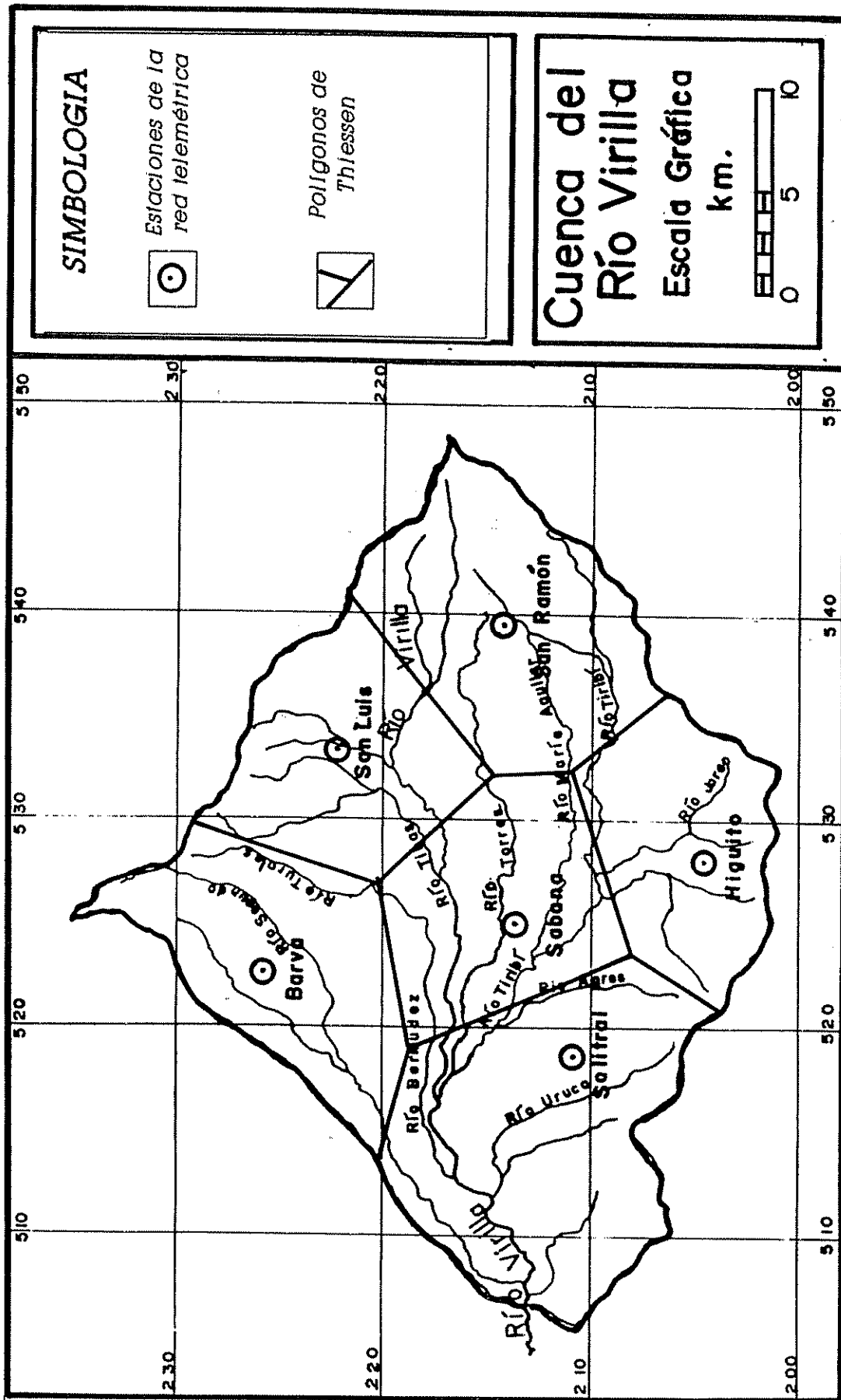


Figura 3.13. Localización de estaciones de la red telemétrica.

ICE, en el formato Hidromet; por lo que fue necesario pasarlos al formato del modelo NWS-PC, lo cual se realizó mediante un programa en la hoja electrónica LOTUS. Sin embargo existen programas en lenguaje Fortran para este fin elaborados por Oreamuno, R. (1979) .

Se suministró al modelo los valores de los parámetros estimados anteriormente, y se supuso un tránsito simple para esta primera etapa, debido a que el tiempo de respuesta de la cuenca ante los eventos de precipitación es mucho menor que un día, que es la unidad de análisis. Es decir, que se consideró una sola subcuenca coincidiendo con el SMA. De esta forma se logra disminuir el tiempo de corrida del programa en favor de un mayor número de tanteos.

Se utilizó la calibración manual para ajustar los parámetros. Se procedió a calibrar el modelo para cada período de información completa que osciló entre 400 y 800 días. A continuación se procedió a probarlo en otro período y a un nuevo proceso de calibración y así conseguir una calibración lo suficientemente robusta, que permitiera simular de forma general los diferentes períodos considerados sin llegar a ser tan especializada como las calibraciones logradas para un período específico. En este proceso se logró identificar el rango de variación de los parámetros y el autor logró comprenderse con la lógica de operación del modelo.

Luego se procedió a calibrar el modelo para el período 90/92 con información de precipitación generada por las

estaciones telemétricas. Se realizó la calibración para el período completo.

3.5. Partición y Parámetros del Tránsito.

Antes de iniciar la calibración horaria, se hace necesario representar de forma más aproximada el comportamiento de la cuenca en relación al tránsito de avenidas. Se escogió la opción del método de la onda cinemática por que sus parámetros son más fácilmente obtenibles.

Los parámetros del tránsito fueron obtenidos de la siguiente manera:

3.5.1 Areas y longitud de canales.

Mesa digitalizadora y programa ERDAS sobre mapa topográfico 1:50000

3.5.2 Pendientes de las OFP.

Se efectuó muestreo de pendientes por el método del círculo sobre mapa topográfico 1:50000 .

3.5.3 Pendiente en los canales.

Se calculó la diferencia de nivel por medio del mapa topográfico 1:50000 y se dividió por la longitud del canal.

3.5.4 Coeficiente de rugosidad en las OFP.

Se asignó coeficientes de rugosidad de acuerdo a los usos del suelo identificados mediante la clasificación de la imagen de satélite.

3.5.5 Coeficientes de rugosidad en canales.

El valor de estos parámetros se obtuvo por similitud de características de los canales del área de estudio con los que aparecen en Barnes, H. (1967).

3.6. Calibración para precipitación y caudales promedio horario.

Debido a que el nivel de análisis es horario, la información se multiplica 24 veces en relación al análisis diario. Los períodos analizados oscilaron entre los 7 a 14 días

3.6.1 Precipitación.

El procesamiento de la información de precipitación se realizó de manera similar a la realizada en la fase anterior.

3.6.2 Demanda de evapotranspiración.

Los datos de evaporación de tanque calculados para la primera fase se dividieron por 24 horas.

3.6.3 Caudales observados.

Se obtuvieron los caudales promedio horario mediante la lectura de las bandas del limnógrafo de la estación Nuestro Amo y la aplicación de las curvas de descarga suministradas por el ICE.

3.7. Evaluación del modelo.

En las etapas anteriores el criterio que privó para decidir sobre la calidad de la calibración fue el de la semejanza en la forma de los hidrogramas calculado y observado. Los factores que se consideraron al comparar los caudales calculado con los observados son: la coincidencia de caudales máximos, la hora de ocurrencia de éstos, la forma de su recesión, la relación con los eventos de

precipitación, y la coincidencia de los caudales de estiaje. Otra herramienta de análisis son los balances de humedad que el modelo proporciona. Esto es suficiente si se trata de avanzar en el proceso de calibración. Sin embargo, para dar por aceptado un prototipo es necesario complementar la evaluación con criterios estadísticos. El criterio estadístico seleccionado fue el coeficiente de Nash-Sutcliffe, ecuación 2.2

4.- RESULTADOS

4.1 Parámetros iniciales del modelo SAC-SMA.

A continuación se presentan los parámetros del modelo SAC-SMA con los que se inició la calibración:

4.1.1 PCTIM.

La figura 4.1 muestra el resultado de la clasificación de la imagen de satélite, el área y el peso porcentual para cada tipo de cobertura se listan en el cuadro 4.1.

$$\text{PCTIM} = 0.26$$

Cuadro 4.1 Areas por tipo de cobertura.

<u>Cobertura</u>	<u>Area (km2)</u>	<u>% de total</u>
área impermeable	193.0	26.30
bosque denso	85.1	11.60
nubes	4.2	0.50
sombras	2.3	0.31
cultivos varios	25.3	3.45
pastos	112.3	15.30
pastos + arboles	180.5	24.60
café	131.1	17.86

4.1.2. ADIMP.

$$ADIMP=AD/BA-0.03$$

El área AD se estimó como la suma de las asociaciones de suelos: I 110, I 109 y VI. La contribución de cada asociación a ésta, se muestra en el cuadro 4.2.

$$AD=78.8 \text{ km}^2$$

$$BA=734.0 \text{ km}^2$$

$$ADIMP=0.07$$

Cuadro 4.2 Área temporalmente impermeable.

<u>Asociación</u>	<u>Area (km²)</u>
I 110	31.96
I 109	19.98
VI	26.86
TOTAL	78.80

4.1.3. RIVA.

El cuadro 4.3 muestra el cálculo de este parámetro.

$$RIVA = 0.013$$

4.1.4. UZTWM.

Ver cuadro 4.4 y figura 4.2

$$UZTWM=136.6 \text{ mm.}$$

Cuadro 4.3 . Estimación de RIVA.

Sub-cuenca	Longitud del canal (km.)	Ancho (m.)	3(LxA)
1	14140	5	212100
'	17140	5	257100
2	10210	5	153150
'	8690	5	130350
'	14140	7	296940
3	20160	7	423360
'	6650	8	159600
4	17960	7	377160
5	21190	8	508560
'	7880	10	236400
6	26380	10	791400
7	1430	12	51480
8	9090	5	136350
'	15990	10	479700
'	34470	12	1240920
9	5020	15	225900
10	16350	8	392400
'	26320	10	789600
11	2060	17	105060
12	6890	8	165360
'	12800	10	384000
13	7470	20	448200
14	13090	7	274890
'	33840	10	1015200
15	10100	10	303000
		total	9558180

$$\text{RIVA} = (9558180/1000000)/734 = 0.013$$

Cuadro 4.4. Estimación de parámetros UZTWN y UZFWN.

Asociación	PROF. (CM)	ARENA (C2)	ARCILLA (C2)	H. VOL. 1/3 atm. (CM3/CM3)	H. VOL. 15 atm. (CM3/CM3)	ANCI (MM)	ANCA (MM/CM)	H. VOL. 1/3 atm. (CM)	H. VOL. POR. EFEC. POR. (CM)	EFEC. POR. (CM)	CAALI (CM)	CAALA (CM/CM)
I 121	12.00	59.00	10.00	0.18	0.08	12.00		2.16	0.40	4.80	2.64	
	14.00	61.00	6.00	0.17	0.07	14.00		2.38	0.42	5.88	3.50	
	27.00	59.00	6.00	0.17	0.07	27.00		4.59	0.41	11.07	6.48	
	9.00	53.00	8.00	0.19	0.08	9.90		1.71	0.45	4.05	2.34	
	18.00	59.00	6.00	0.17	0.07	18.00		3.06	0.45	8.10	5.04	
	11.00	59.00	6.00	0.17	0.07	11.00	1.01	1.87	0.45	4.95	3.08	0.25
I 108	20.00	40.20	16.60	0.25	0.12	26.00		5.00	0.42	8.40	3.40	
	18.00	48.20	11.60	0.22	0.10	21.60		3.96	0.45	8.10	4.14	
	11.00	46.20	10.60	0.22	0.10	13.20		2.42	0.46	5.06	2.64	
	12.00	41.20	10.60	0.23	0.10	15.60		2.76	0.47	5.64	2.88	
	52.00	38.20	23.60	0.28	0.15	67.60	1.27	14.56	0.37	19.24	4.68	0.16
I 110	15.00	16.80	62.80	0.47	0.34	19.50		7.05	0.36	5.40	-1.65	
	15.00	15.00	70.80	0.50	0.37	19.50		7.50	0.35	5.25	-2.25	
	55.00	14.80	70.80	0.50	0.37	71.50	1.30	27.50	0.35	19.25	-8.25	-0.14
	25.00	28.40	40.40	0.37	0.24	32.50		9.25	0.35	8.75	-0.50	
I 111	32.00	30.40	38.40	0.36	0.23	41.60		11.52	0.36	11.52	0.00	
	58.00	30.40	40.40	0.37	0.24	75.40		21.46	0.35	20.30	-1.16	
	30.00	34.40	30.40	0.32	0.17	45.00	1.34	9.60	0.36	10.80	1.20	0.00
	19.00	37.20	37.40	0.34	0.21	24.70		6.46	0.34	6.46	0.00	
	48.00	31.20	45.40	0.38	0.26	57.60		18.24	0.35	16.80	-1.44	
I 103	46.00	27.20	61.40	0.47	0.34	59.80		21.62	0.42	19.32	-2.30	
	37.00	25.20	63.40	0.46	0.33	48.10	1.27	17.02	0.43	15.91	-1.11	-0.03
	45.00	44.80	15.20	0.23	0.12	49.50		10.35	0.42	18.90	8.55	
	40.00	44.80	17.20	0.24	0.13	44.00		9.60	0.41	16.40	6.80	
	45.00	42.80	25.80	0.28	0.15	58.50	1.17	12.60	0.30	13.50	0.90	0.12
I 101	22.00	72.00	12.00	0.16	0.08	17.60		3.52	0.37	8.14	4.62	
	41.00	76.00	6.00	0.13	0.07	24.60		5.39	0.40	16.40	11.07	
	57.00	64.00	8.00	0.16	0.08	45.60	0.73	9.12	0.40	22.80	13.68	0.24

Cuadro 4.4. (cont.) Estimación de parámetros UZTWN y UZFWN.

ASOCIACION	AREA	PROF	AMCa (mm/cm)	(R*P*AMCa)	CAALa (cm/cm)	(R*P*FMCa)
I 121	253.950	127.00	1.01	32574.11	0.25	8191.90
I 108	29.955	113.00	1.27	4298.85	0.16	531.43
I 111	67.171	145.00	1.34	13051.33	0.00	0.00
I 114	48.021	150.00	1.27	9148.05	0.00	0.00
I 103	2.096	130.00	1.17	318.84	0.13	34.06
I 101	27.049	120.00	0.73	2369.46	0.24	779.00
I 113	87.009	90.00	1.22	9553.63	0.14	1096.32
I 112	16.446	150.00	1.22	3009.60	0.14	345.36
I 115	52.457	80.00	1.31	5497.47	0.00	0.00
I 99	44.568	150.00	1.22	8155.95	0.14	935.93
E 23	26.482	56.00	1.01	1497.82	0.00	0.00
Total	655.20					
	UZTWN	136.56			UZFWN	181.84

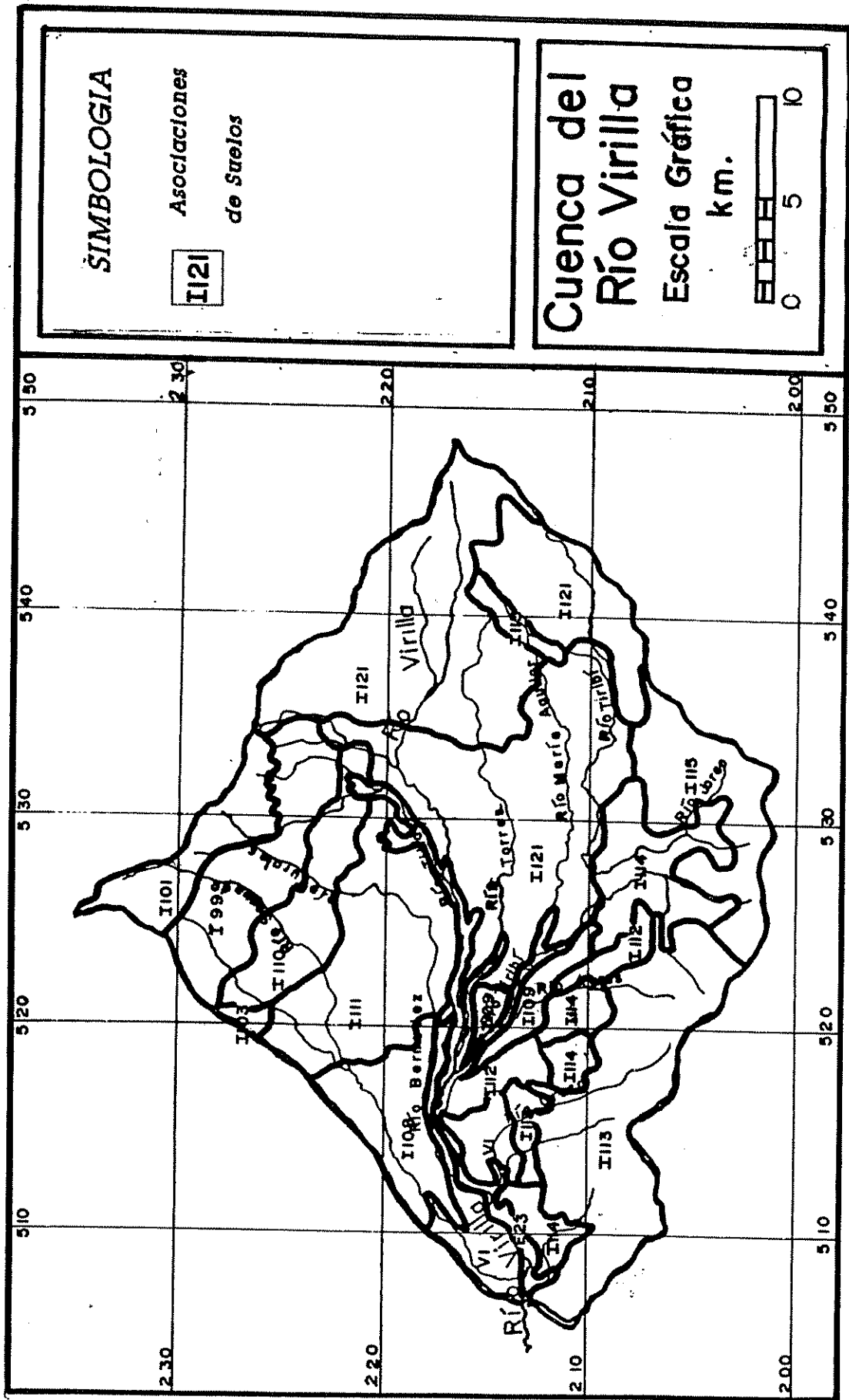


Figura 4.2. Mapa de Asociación de Suelos. (Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1991)

4.1.5 UZFWM.

Ver cuadro 4.4 y figura 4.2.

$$\text{UZFWM} = 182.1 \text{ mm.}$$

4.1.6 UZK

$$\text{UZK} = 1 - (0.10)^{1/N}$$

Se supuso un $N = 1$ día.

$$\text{UZK} = 0.9$$

4.1.7 LZTWM.

Se escogió la cobertura "árboles de raíces superficiales y pastos.

$$\text{LZTWM} = 75 \text{ mm.}$$

4.1.8 LZFSM

$$\text{LZFSM} = (\phi_B) E_B A_B / A_T$$

$$\phi_B = 0.25 \quad E_B = 45000 \text{ mm.} \quad A_B = 51 \text{ km}^2 \quad A_T = 734 \text{ km}^2$$

$$\text{LZFSM} = 782 \text{ mm.}$$

4.1.9 LZFPM.

$$\text{LZFPM} = (\phi_C) E_C A_C / A_T$$

$$\phi_C = 0.25 \quad E_C = 100000 \text{ mm.} \quad A_C = 98 \text{ km}^2 \quad A_T = 734 \text{ km}^2.$$

$$\text{LZFPM} = 3337 \text{ mm.}$$

4.1.10 LZPK

$$\text{LZPK} = 1 - (\text{QP}_2 / \text{QP}_1)^{1/N}$$

$$\text{QP}_1 = 17 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{QP}_2 = 10 \text{ m}^3/\text{s} \quad N = 67 \text{ dias}$$

$$\text{LZPK} = 0.008$$

4.1.11 LZSK

$$\text{LZSK} = 1 - (\text{QS}_2 / \text{QS}_1)^{1/N}$$

$$\text{QS}_1 = 16 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{QS}_2 = 4 \text{ m}^3/\text{s} \quad N = 30.3 \text{ dias}$$

$$\text{LZSK} = 0.04$$

4.1.12 ZPERC.

$$\text{ZPERC} = (\text{LZTWM} + \text{LZFSM} + \text{LZFPM} - \text{PERCM}) / \text{PERCM}$$

$$\text{PERCM} = \text{LZFSM} \text{ LZSK} + \text{LZFPM} \text{ LZPK}$$

$$\text{ZPERC} = 71.33$$

4.1.13 REXP.

Se escogió el valor de REXP para suelos francos.

$$\text{REXP} = 2.0$$

4.1.14 PFREE

$$PFREE = 0.3$$

4.1.15 RSERV

$$RSERV = 0.3$$

4.1.16 SIDE

Se consideró que por la estación Nuestro Amo se observa el 95% del flujo base.

$$SIDE = 0.95$$

4.1.17 PXADJ.

$$PXADJ=1$$

4.1.18 PEADJ

Se estimó el valor 0.9 par iniciar la calibración.

$$PEADJ = 0.9$$

4.2 Modelo calibrado para datos diarios.

El cuadro 4.5 muestra el archivo de entrada (input file) del modelo calibrado para datos diarios. En el cuadro 4.6 presenta los resultados numéricos de la calibración y en la figura 4.3 se representan los caudales observados y calculados para el período enero 1990 a mayo 1992.

El valor del coeficiente de Nash-Sutcliffe para este período fue:

$$R^2 = 0.79$$

Cuadro 4.5. Modelo calibrado para datos diarios.

Archivo de entrada

```

0      0      870      1      1
UZK          0.05
LZSK        0.03
REXP        1.3
UZTWM       120.0
ZPERC       18.5
SIDE        0.001
LZPK        0.0005
LZF5M       3000.0
RSERY       0.8
RIVA        0.02
PCTIM       0.11
ADIMP       0.12
PFREE       0.9
UZFWM       100.0
LZTWM       250.0
LZFPM       6000.0
UZTWC       85.0
UZFWC       10.0
LZTWC       100.0
LZFSC       30.0
LZFPC       5000.0
ADIMC       85.0
PXADJ       1.0
PEADJ       0.8
END
ROUTE
  734.0
  2000.0      0.2      0.15      100.0
  65000.0     0.04     0.1      734.0
  5.0         25.0     1.5      0.0
BASEF        1
  .6         .3         .1
END
RAIN
  24      870      1      1
(10X,F10.0)
ETDATA
  24      1      1
(20X,F10.0)
FLOW
  24      1      1      1
(30X,F10.0)
END

```

DIAS 1 A 200, 1990/1992

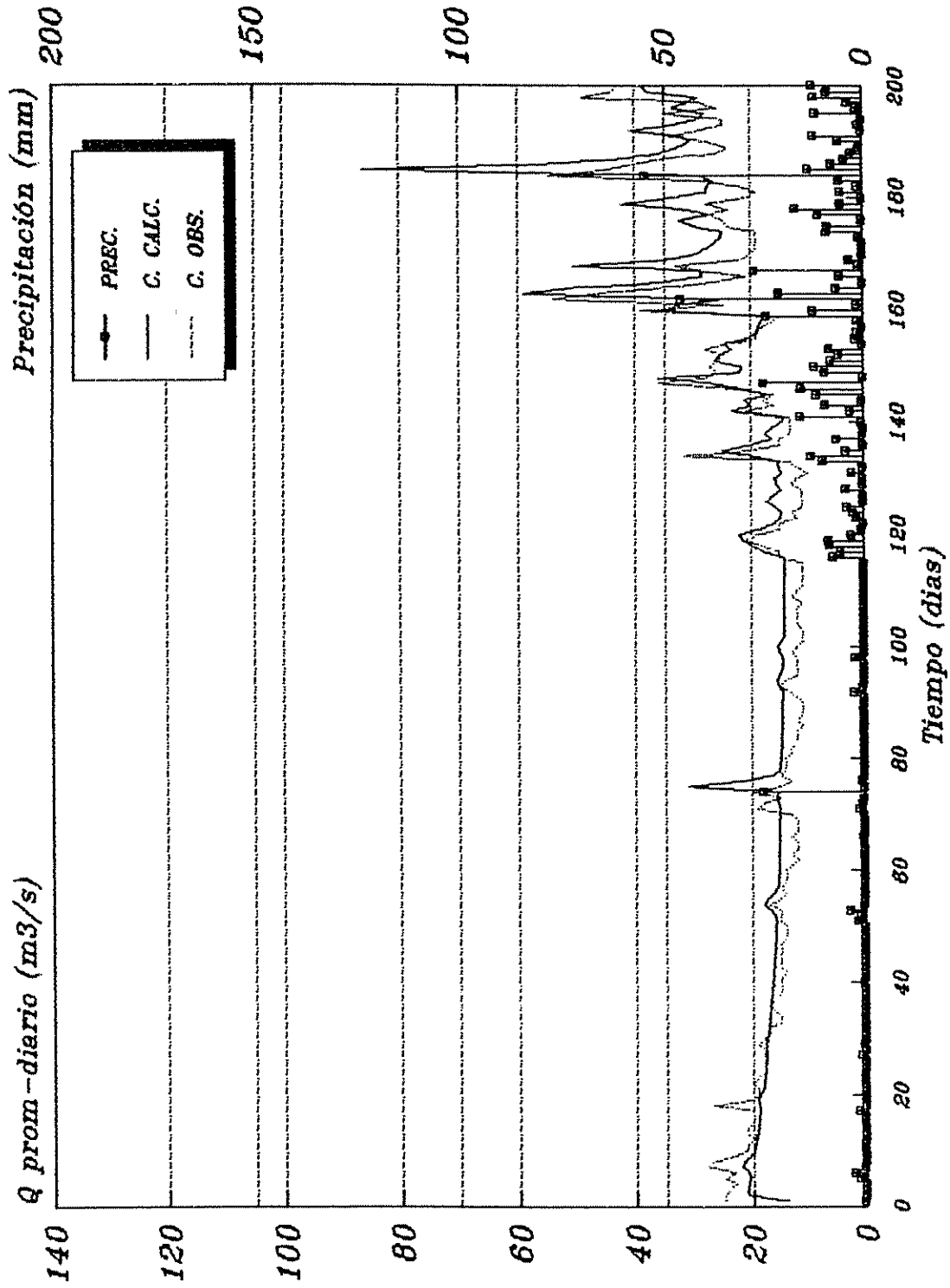


Figura 4.3. Calibración diaria. Hidrogramas calculado y observado, 1990/1992. 1/4.

DIAS 201 A 400 1990/1992

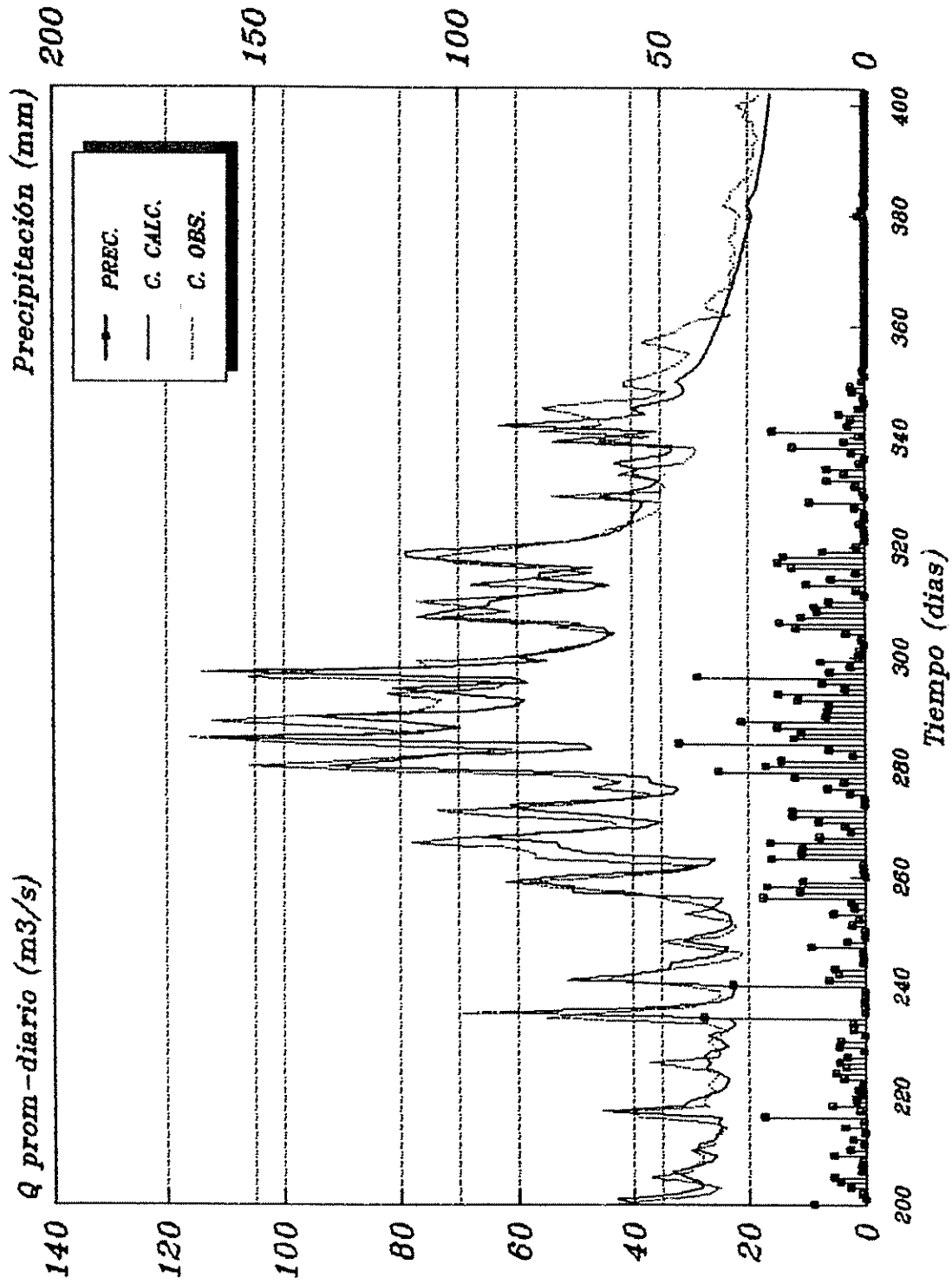


Figura 4.3. Calibración diaria. Hidrogramas calculado y observado, 1990/1992. (continuación). 2/4.

DIAS 400 A 600 90/92

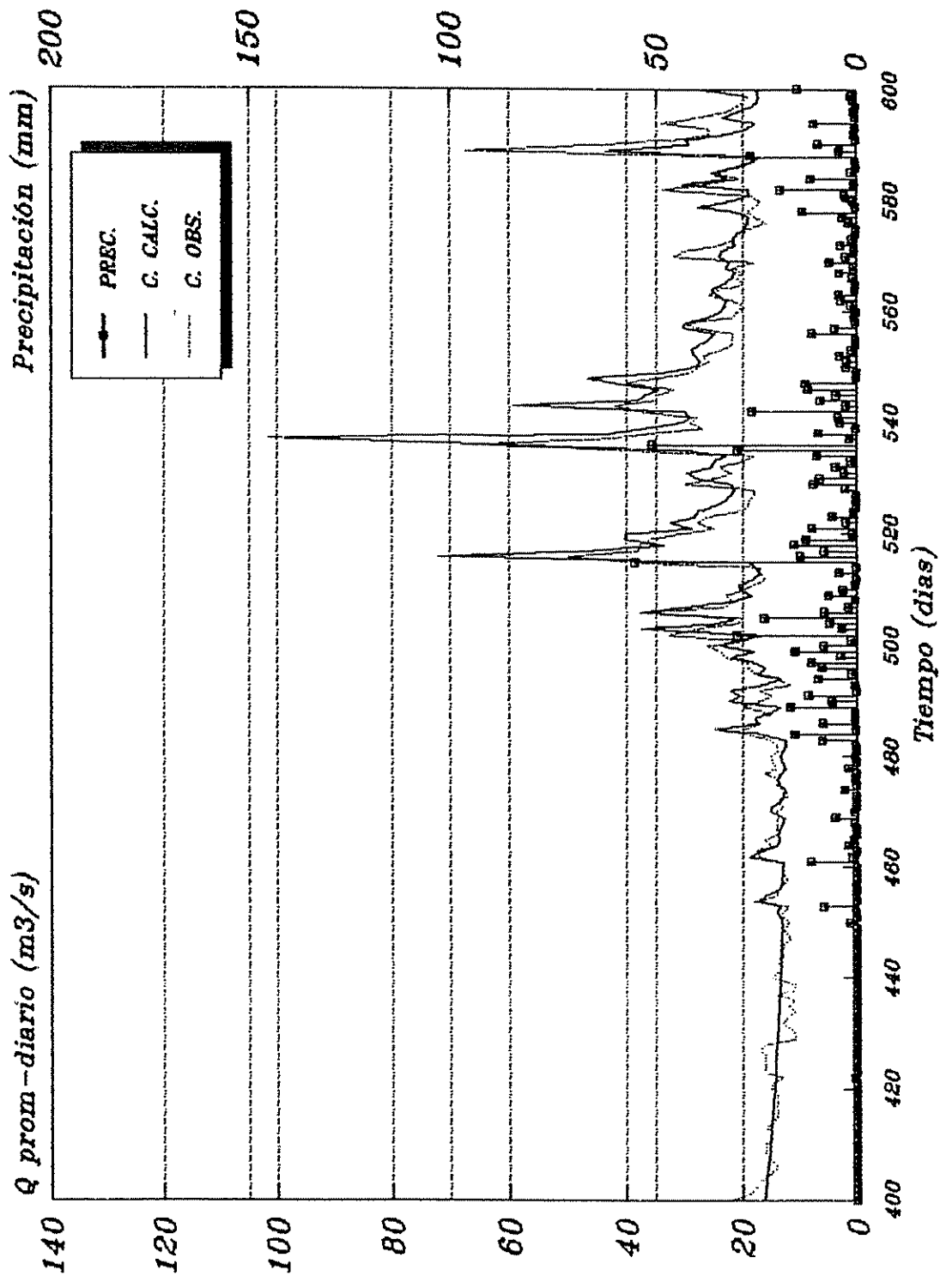


Figura 4.3. Calibración diaria. Hidrogramas calculado y observado, 1990/1992. (continuación). 3/4.

DIAS 600 A 800 90/92

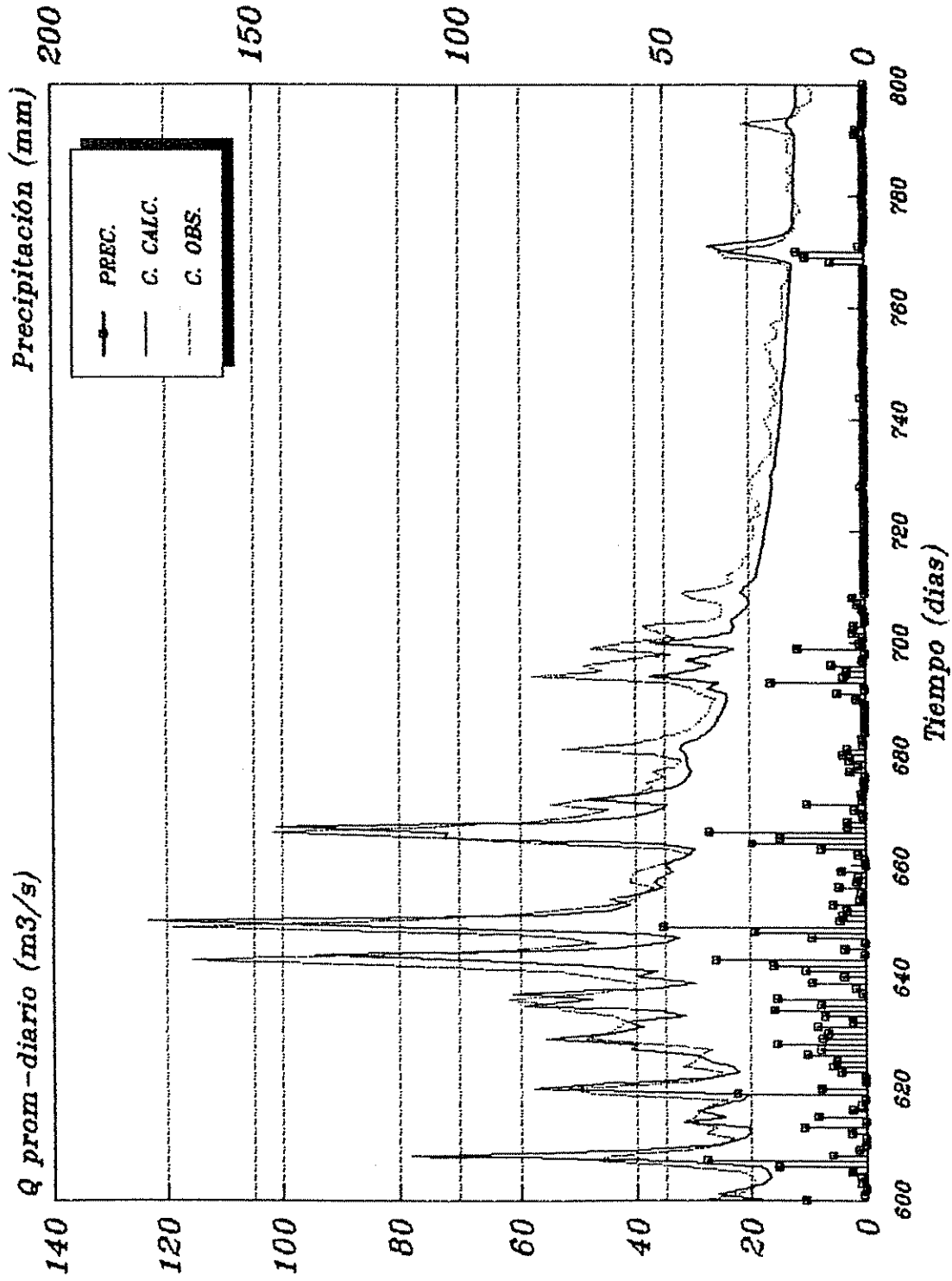


Figura 4.3. Calibración diaria. Hidrogramas calculado y observado, 1990/1992. (continuación). 4/4.

DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo			
1	0.3	13.9	25.0	51	1.7	15.8	15.0	101	0.2	14.9	11.0
2	0.0	21.0	25.0	52	1.1	16.0	15.0	102	0.1	14.3	11.0
3	0.0	21.0	24.0	53	3.7	16.8	15.0	103	0.0	14.3	11.0
4	0.1	20.8	23.0	54	0.1	18.0	17.0	104	0.0	14.3	12.0
5	1.5	20.6	25.0	55	0.0	17.3	15.0	105	0.1	14.3	12.0
6	2.9	20.7	23.0	56	0.0	16.3	14.0	106	0.0	14.3	12.0
7	0.4	22.0	28.0	57	0.0	15.5	15.0	107	0.1	14.2	12.0
8	0.0	21.5	27.0	58	0.0	15.5	14.0	108	0.1	14.2	11.0
9	0.0	20.5	23.0	59	0.0	15.4	14.0	109	0.1	14.2	13.0
10	0.2	19.9	21.0	60	0.0	15.4	14.0	110	0.0	14.2	12.0
11	0.3	19.6	21.0	61	0.0	15.4	13.0	111	0.0	14.2	11.0
12	0.0	19.5	20.0	62	0.0	15.3	12.0	112	0.1	14.2	11.0
13	0.0	19.4	21.0	63	0.2	15.3	13.0	113	0.0	14.2	11.0
14	0.0	19.2	21.0	64	0.1	15.2	12.0	114	0.1	14.2	11.0
15	0.1	19.0	20.0	65	0.3	15.2	12.0	115	0.0	14.1	11.0
16	0.2	18.9	20.0	66	0.3	15.2	13.0	116	7.7	14.1	15.0
17	1.6	18.8	20.0	67	0.0	15.2	12.0	117	5.9	17.7	15.0
18	0.1	19.0	27.0	68	0.1	15.2	12.0	118	8.7	19.8	18.0
19	0.0	19.2	20.0	69	0.0	15.2	12.0	119	8.9	21.4	21.0
20	0.0	18.8	19.0	70	0.3	15.1	13.0	120	3.2	22.2	19.0
21	0.1	18.2	19.0	71	1.2	15.1	19.0	121	0.6	18.9	15.0
22	0.3	18.1	20.0	72	0.5	15.3	18.0	122	0.0	16.1	15.0
23	0.1	18.0	19.0	73	0.2	15.6	15.0	123	1.7	14.8	12.0
24	0.2	17.9	18.0	74	25.6	15.5	20.0	124	2.7	14.6	13.0
25	0.1	17.8	18.0	75	0.1	31.2	15.0	125	4.2	15.7	11.0
26	0.1	17.8	18.0	76	0.6	21.5	13.0	126	0.0	17.2	11.0
27	0.8	17.7	18.0	77	0.0	16.3	15.0	127	0.0	16.0	11.0
28	0.1	17.7	18.0	78	0.0	15.1	14.0	128	4.6	14.7	11.0
29	0.3	17.7	19.0	79	0.1	15.0	14.0	129	0.2	15.5	13.0
30	0.1	17.6	18.0	80	0.0	14.9	14.0	130	0.1	15.8	12.0
31	0.0	17.3	17.0	81	0.0	14.8	13.0	131	3.0	14.7	10.0
32	0.1	17.2	17.0	82	0.0	14.8	13.0	132	0.2	15.0	12.0
33	0.1	17.1	15.0	83	0.0	14.7	12.0	133	10.4	15.2	13.0
34	0.1	17.0	15.0	84	0.0	14.7	12.0	134	13.2	19.9	32.0
35	0.1	16.9	16.0	85	0.1	14.7	12.0	135	4.5	25.1	21.0
36	0.0	16.9	17.0	86	0.0	14.6	11.0	136	0.0	20.5	15.0
37	0.1	16.8	16.0	87	0.0	14.6	12.0	137	6.8	16.4	15.0
38	0.0	16.7	15.0	88	0.0	14.6	11.0	138	0.2	17.5	13.0
39	0.0	16.6	15.0	89	0.2	14.6	11.0	139	0.1	16.4	13.0
40	0.3	16.5	15.0	90	0.0	14.5	11.0	140	0.6	14.7	13.0
41	0.0	16.5	15.0	91	0.0	14.5	12.0	141	16.1	14.0	13.0
42	0.0	16.4	14.0	92	2.4	14.5	13.0	142	3.4	23.4	21.0
43	0.0	16.3	15.0	93	0.4	15.1	15.0	143	9.7	20.1	16.0
44	0.0	16.3	15.0	94	0.1	15.6	14.0	144	0.4	21.2	18.0
45	0.0	16.2	15.0	95	0.0	15.0	12.0	145	12.0	17.3	16.0
46	0.0	16.1	15.0	96	0.0	14.6	12.0	146	15.9	21.3	22.0
47	0.0	16.0	15.0	97	0.1	14.5	12.0	147	25.3	27.4	36.0
48	0.0	16.0	14.0	98	2.4	14.4	12.0	148	0.0	36.0	28.0
49	0.0	15.9	14.0	99	0.0	15.0	13.0	149	9.9	21.9	26.0
50	0.0	15.9	14.0	100	0.0	15.4	12.0	150	12.4	21.6	27.0

Cuadro 4.6. Resultados de la calibración para datos diarios. (continuación).

DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo			
151	8.3	26.5	26.0	201	0.1	43.0	35.0	251	3.1	23.0	22.0
152	6.2	25.4	25.0	202	0.9	32.7	27.0	252	1.5	23.0	24.0
153	8.6	23.5	28.0	203	3.6	28.2	25.0	253	7.9	23.5	31.0
154	0.2	24.7	24.0	204	6.3	28.3	30.0	254	2.7	26.5	26.0
155	1.9	20.8	19.0	205	7.8	30.8	37.0	255	3.6	25.2	30.0
156	1.5	18.8	19.0	206	1.1	33.1	30.0	256	24.9	24.4	35.0
157	0.2	18.7	18.0	207	1.1	29.2	30.0	257	15.8	50.6	40.0
158	1.4	18.2	16.0	208	0.8	26.7	28.0	258	23.9	50.2	56.0
159	24.6	17.8	15.0	209	7.9	25.7	28.0	259	15.2	61.8	58.0
160	12.8	34.2	39.0	210	3.9	29.0	30.0	260	0.0	53.0	42.0
161	1.6	32.9	25.0	211	0.6	28.7	26.0	261	0.5	33.7	31.0
162	46.0	25.2	54.0	212	3.2	26.0	26.0	262	0.6	27.5	28.0
163	21.5	59.2	47.0	213	0.0	25.4	25.0	263	22.7	25.9	57.0
164	6.8	51.5	36.0	214	5.1	24.7	24.0	264	15.6	47.8	57.0
165	0.1	36.4	27.0	215	0.6	25.4	26.0	265	15.3	52.7	61.0
166	5.9	28.6	21.0	216	24.6	24.8	39.0	266	23.0	53.1	78.0
167	27.7	28.7	29.0	217	1.5	45.2	40.0	267	11.2	66.0	69.0
168	1.1	50.7	33.0	218	8.3	31.6	27.0	268	3.6	51.7	49.0
169	3.4	35.1	22.0	219	2.4	30.5	28.0	269	4.9	37.8	42.0
170	0.0	29.6	20.0	220	0.9	27.5	27.0	270	11.4	35.1	44.0
171	0.0	27.7	19.0	221	2.0	24.8	26.0	271	17.8	44.4	64.0
172	0.0	26.4	19.0	222	0.8	24.0	27.0	272	17.7	58.1	74.0
173	1.0	25.3	19.0	223	5.2	23.5	26.0	273	0.0	61.4	51.0
174	9.2	25.1	19.0	224	7.1	25.0	25.0	274	0.1	40.0	41.0
175	8.9	29.7	24.0	225	4.8	27.5	30.0	275	3.7	32.9	37.0
176	0.1	32.4	25.0	226	6.4	26.6	37.0	276	9.2	32.0	47.0
177	11.2	27.5	27.0	227	4.4	27.7	25.0	277	5.2	36.9	42.0
178	17.3	31.1	24.0	228	0.4	26.7	25.0	278	17.0	37.2	47.0
179	5.6	42.1	28.0	229	6.5	23.6	26.0	279	35.8	54.9	79.0
180	0.1	34.3	21.0	230	5.9	24.7	27.0	280	24.2	92.2	106.0
181	5.5	27.8	19.0	231	0.1	27.1	25.0	281	20.3	81.6	88.0
182	1.2	27.6	22.0	232	2.8	23.7	24.0	282	3.0	73.5	75.0
183	5.9	26.6	28.0	233	3.1	22.2	27.0	283	9.0	47.1	61.0
184	54.6	29.0	55.0	234	39.6	23.5	55.0	284	45.5	48.5	97.0
185	13.8	86.2	45.0	235	0.0	69.3	46.0	285	17.3	112.0	116.0
186	7.8	56.0	40.0	236	0.0	35.6	30.0	286	15.5	79.0	76.0
187	4.6	41.9	35.0	237	0.2	25.2	27.0	287	21.5	69.7	88.0
188	2.8	36.1	26.0	238	0.0	22.9	25.0	288	30.3	79.4	112.0
189	0.8	32.9	24.0	239	0.2	22.6	25.0	289	9.6	97.2	97.0
190	6.1	30.7	28.0	240	32.2	22.4	31.0	290	9.3	67.4	77.0
191	12.4	32.0	34.0	241	8.9	51.5	45.0	291	9.0	60.0	74.0
192	0.2	41.0	29.0	242	6.6	40.8	41.0	292	16.3	58.9	73.0
193	1.0	33.5	25.0	243	7.5	33.6	33.0	293	21.0	70.3	82.0
194	0.0	29.4	25.0	244	0.6	33.4	26.0	294	4.9	81.2	64.0
195	11.9	28.0	35.0	245	0.5	27.7	22.0	295	10.6	58.4	61.0
196	1.4	33.7	26.0	246	0.5	24.6	21.0	296	41.0	60.8	106.0
197	3.7	31.0	29.0	247	13.1	23.6	30.0	297	8.8	114.0	100.0
198	12.2	29.3	49.0	248	4.4	31.2	35.0	298	3.8	72.0	75.0
199	9.0	37.7	44.0	249	0.1	29.6	25.0	299	10.8	54.9	77.0
200	12.7	38.9	43.0	250	0.0	25.1	23.0	300	1.7	60.7	58.0

Cuadro 4.6. Resultados de la calibración para datos diarios. (continuación).

DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo			
301	1.4	52.2	55.0	351	0.1	30.8	37.0	401	0.0	16.2	19.0
302	0.2	47.3	48.0	352	0.6	29.3	34.0	402	0.0	16.1	18.0
303	0.9	45.2	45.0	353	0.1	28.3	32.0	403	0.0	16.0	17.0
304	4.7	43.9	43.0	354	0.0	27.7	31.0	404	0.0	15.9	16.0
305	16.6	44.9	53.0	355	0.0	27.2	30.0	405	0.0	15.8	15.0
306	20.7	59.7	49.0	356	0.1	26.7	34.0	406	0.0	15.7	14.0
307	15.5	77.0	73.0	357	0.0	26.3	38.0	407	0.0	15.6	15.0
308	11.6	72.4	61.0	358	0.0	25.8	35.0	408	0.0	15.5	16.0
309	12.3	65.0	69.0	359	0.0	25.4	32.0	409	0.0	15.4	16.0
310	9.0	64.4	77.0	360	0.0	25.0	31.0	410	0.0	15.3	16.0
311	0.0	59.3	59.0	361	0.0	24.7	29.0	411	0.1	15.2	15.0
312	2.2	48.1	51.0	362	0.0	24.3	23.0	412	0.0	15.1	15.0
313	14.2	43.8	68.0	363	0.0	24.0	27.0	413	0.0	15.0	16.0
314	8.3	56.6	58.0	364	0.0	23.6	27.0	414	0.0	15.0	15.0
315	2.4	56.0	47.0	365	0.1	23.3	26.0	415	0.0	14.9	14.0
316	17.8	46.9	57.0	366	0.0	23.0	25.0	416	0.0	14.8	14.0
317	21.0	65.3	71.0	367	0.0	22.7	23.0	417	0.0	14.7	14.0
318	19.6	78.9	74.0	368	0.0	22.4	23.0	418	0.0	14.7	14.0
319	10.3	79.0	66.0	369	0.0	22.1	23.0	419	0.1	14.6	14.0
320	2.2	64.2	59.0	370	0.0	21.8	23.0	420	0.1	14.5	15.0
321	0.0	49.7	50.0	371	0.0	21.5	22.0	421	0.0	14.5	15.0
322	0.1	44.0	45.0	372	0.0	21.3	23.0	422	0.5	14.4	13.0
323	0.3	41.8	44.0	373	0.0	21.0	22.0	423	0.0	14.4	16.0
324	1.3	40.4	40.0	374	0.0	20.7	22.0	424	0.2	14.4	16.0
325	0.1	39.8	38.0	375	0.0	20.5	23.0	425	0.0	14.3	16.0
326	0.1	39.5	36.0	376	0.0	20.3	23.0	426	0.1	14.3	16.0
327	2.6	38.4	35.0	377	0.0	20.0	22.0	427	0.0	14.2	17.0
328	13.5	38.0	35.0	378	0.0	19.8	22.0	428	0.0	14.1	16.0
329	0.1	45.4	54.0	379	0.3	19.6	22.0	429	0.0	14.1	11.0
330	0.7	40.2	35.0	380	1.8	19.4	21.0	430	0.0	14.0	11.0
331	2.3	36.3	34.0	381	1.0	19.6	22.0	431	0.0	13.9	12.0
332	9.2	35.5	36.0	382	0.0	20.1	24.0	432	0.1	13.9	13.0
333	5.1	39.8	42.0	383	0.0	19.6	23.0	433	0.1	13.8	12.0
334	9.3	39.0	39.0	384	0.5	19.0	23.0	434	0.0	13.8	11.0
335	1.3	43.0	31.0	385	0.0	18.5	22.0	435	0.0	13.7	12.0
336	0.1	37.2	30.0	386	0.0	18.3	21.0	436	0.0	13.7	11.0
337	3.3	33.4	29.0	387	0.0	18.2	20.0	437	0.0	13.7	14.0
338	17.6	33.0	29.0	388	0.0	18.0	19.0	438	0.0	13.6	11.0
339	5.1	53.6	46.0	389	0.0	17.8	20.0	439	0.0	13.6	11.0
340	1.5	43.8	37.0	390	0.0	17.6	20.0	440	0.0	13.5	15.0
341	22.4	35.8	56.0	391	0.0	17.5	19.0	441	0.0	13.5	14.0
342	4.2	62.8	45.0	392	0.0	17.3	19.0	442	0.0	13.5	13.0
343	3.6	45.2	46.0	393	0.0	17.2	19.0	443	0.0	13.4	14.0
344	6.4	37.8	50.0	394	0.0	17.0	18.0	444	0.0	13.4	13.0
345	1.5	40.0	56.0	395	0.0	16.9	19.0	445	0.0	13.3	13.0
346	0.0	35.7	47.0	396	0.0	16.8	19.0	446	0.0	13.3	13.0
347	0.4	32.4	37.0	397	0.1	16.6	19.0	447	0.1	13.3	12.0
348	3.1	30.9	34.0	398	0.1	16.5	21.0	448	0.0	13.2	12.0
349	3.6	31.1	41.0	399	0.2	16.4	20.0	449	0.0	13.2	13.0
350	0.8	32.3	41.0	400	0.0	16.3	22.0	450	1.8	13.2	12.0

Cuadro 4.6. Resultados de la calibración para datos diarios. (continuación).

DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo			
451	0.0	13.5	13.0	501	1.4	21.6	19.0	551	2.4	27.4	26.0
452	0.2	14.0	13.0	502	29.8	16.5	33.0	552	4.2	28.4	27.0
453	8.4	13.6	12.0	503	3.7	37.5	28.0	553	1.2	29.0	24.0
454	0.1	17.0	18.0	504	6.7	24.1	21.0	554	0.2	27.7	22.0
455	0.3	16.0	14.0	505	23.1	21.3	20.0	555	0.2	26.1	22.0
456	0.0	13.9	14.0	506	8.1	37.7	37.0	556	11.2	25.0	22.0
457	0.3	13.1	13.0	507	2.0	29.5	23.0	557	5.3	30.3	28.0
458	0.0	13.1	12.0	508	0.4	21.6	22.0	558	0.3	30.2	30.0
459	0.0	13.1	13.0	509	7.0	18.4	23.0	559	0.6	26.1	22.0
460	0.0	13.0	13.0	510	3.4	20.6	20.0	560	0.1	24.0	21.0
461	11.6	13.0	13.0	511	0.4	20.6	18.0	561	1.4	23.1	20.0
462	1.0	19.0	17.0	512	0.0	18.4	16.0	562	3.9	23.0	22.0
463	0.1	16.9	18.0	513	4.4	17.0	17.0	563	4.4	24.5	26.0
464	2.1	14.2	15.0	514	0.1	17.9	17.0	564	0.4	25.6	24.0
465	0.7	13.7	16.0	515	55.2	18.8	39.0	565	0.3	23.7	20.0
466	0.0	13.9	14.0	516	14.1	71.9	50.0	566	0.9	22.0	21.0
467	0.0	13.5	14.0	517	8.2	46.6	38.0	567	4.2	21.4	20.0
468	0.5	13.1	14.0	518	15.6	33.8	38.0	568	0.7	22.9	22.0
469	5.5	12.8	14.0	519	12.7	40.3	36.0	569	6.8	22.4	18.0
470	0.6	15.1	14.0	520	1.1	40.2	31.0	570	2.7	24.3	32.0
471	0.1	15.0	13.0	521	11.2	28.8	25.0	571	0.6	23.6	30.0
472	0.1	13.6	14.0	522	2.7	32.5	28.0	572	3.8	21.5	24.0
473	0.0	12.9	12.0	523	6.1	28.3	26.0	573	1.1	21.7	22.0
474	3.0	12.7	13.0	524	0.7	28.0	21.0	574	0.2	21.2	21.0
475	0.0	13.6	14.0	525	0.1	25.3	19.0	575	0.0	20.0	19.0
476	0.3	14.0	14.0	526	0.0	23.1	19.0	576	1.9	19.1	16.0
477	0.0	13.2	16.0	527	0.0	22.1	18.0	577	3.5	19.1	18.0
478	2.1	12.6	14.0	528	2.9	21.5	18.0	578	13.7	20.6	19.0
479	0.0	13.1	15.0	529	10.8	22.0	30.0	579	0.2	27.7	18.0
480	0.3	13.5	15.0	530	9.3	28.1	25.0	580	0.9	22.4	17.0
481	0.0	13.0	14.0	531	3.1	29.8	22.0	581	3.0	19.0	19.0
482	0.1	12.6	14.0	532	5.3	25.5	24.0	582	19.2	19.1	34.0
483	8.6	12.6	15.0	533	1.5	25.1	20.0	583	0.6	30.6	27.0
484	15.5	16.8	19.0	534	10.1	23.1	18.0	584	11.6	22.9	21.0
485	0.3	24.8	20.0	535	29.8	29.2	39.0	585	1.3	25.4	25.0
486	8.5	17.4	17.0	536	50.7	60.6	66.0	586	0.1	21.4	21.0
487	0.4	17.8	18.0	537	1.8	101.4	43.0	587	0.2	18.3	18.0
488	0.4	15.5	15.0	538	9.7	43.3	37.0	588	26.8	17.2	21.0
489	16.6	13.4	20.0	539	0.2	37.1	27.0	589	4.4	43.7	67.0
490	6.3	22.3	17.0	540	4.2	30.9	29.0	590	9.7	29.4	45.0
491	12.1	20.5	15.0	541	4.6	29.1	28.0	591	0.0	30.0	32.0
492	0.0	22.2	17.0	542	26.2	30.1	38.0	592	0.5	23.0	26.0
493	0.3	16.5	12.0	543	2.6	59.4	42.0	593	0.2	19.3	26.0
494	9.7	13.4	14.0	544	9.1	38.0	35.0	594	10.7	18.0	34.0
495	1.2	17.3	18.0	545	5.2	37.0	35.0	595	0.2	23.6	28.0
496	8.8	16.0	19.0	546	12.2	34.7	32.0	596	0.6	21.1	23.0
497	11.4	18.1	19.0	547	13.0	42.5	40.0	597	0.0	18.5	21.0
498	3.9	21.9	23.0	548	0.0	47.0	35.0	598	0.8	17.5	20.0
499	15.5	18.1	24.0	549	0.0	33.9	29.0	599	1.3	17.3	19.0
500	8.3	23.7	26.0	550	2.7	28.6	28.0	600	14.8	17.6	28.0

Cuadro 4.6. Resultados de la calibración para datos diarios. (continuación)

DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo			
601	0.6	26.0	23.0	651	5.6	58.7	65.0	701	0.5	28.5	33.0
602	0.0	21.3	20.0	652	4.5	44.5	54.0	702	3.0	23.2	36.0
603	1.0	17.7	19.0	653	7.8	41.3	44.0	703	2.7	22.7	39.0
604	1.3	16.6	20.0	654	1.4	44.6	40.0	704	0.0	23.2	27.0
605	3.4	16.9	21.0	655	1.1	39.0	39.0	705	0.0	22.0	25.0
606	21.5	18.1	31.0	656	6.5	35.4	37.0	706	0.6	20.9	25.0
607	39.7	35.2	47.0	657	2.1	36.8	41.0	707	1.9	20.0	25.0
608	8.2	78.2	45.0	658	1.8	35.6	41.0	708	2.9	20.3	30.0
609	1.8	41.1	32.0	659	5.9	33.8	40.0	709	0.0	21.5	32.0
610	0.0	25.7	25.0	660	0.0	35.0	36.0	710	0.0	20.8	25.0
611	0.0	21.5	23.0	661	0.2	33.0	33.0	711	0.1	19.6	23.0
612	3.6	20.1	28.0	662	1.9	30.8	31.0	712	0.0	18.7	24.0
613	15.2	20.4	26.0	663	10.7	29.9	34.0	713	0.0	18.5	22.0
614	0.0	32.0	32.0	664	27.9	36.0	57.0	714	0.2	18.3	21.0
615	11.7	24.6	30.0	665	21.1	72.7	70.0	715	0.2	18.1	21.0
616	3.3	29.4	29.0	666	38.8	71.9	102.0	716	0.0	17.9	20.0
617	1.0	25.4	27.0	667	4.4	101.1	75.0	717	0.0	17.7	20.0
618	0.2	21.5	24.0	668	4.3	52.0	59.0	718	0.0	17.5	20.0
619	31.8	20.2	47.0	669	0.6	40.3	50.0	719	0.0	17.4	19.0
620	10.8	57.7	52.0	670	2.6	36.1	45.0	720	0.0	17.2	19.0
621	0.0	43.3	32.0	671	14.3	34.7	55.0	721	0.1	17.0	19.0
622	0.1	27.1	27.0	672	0.7	48.5	49.0	722	0.0	16.8	20.0
623	5.9	22.2	25.0	673	0.9	38.8	40.0	723	0.0	16.7	18.0
624	7.9	23.2	32.0	674	0.2	33.5	37.0	724	0.0	16.5	19.0
625	7.1	27.2	30.0	675	0.3	31.8	38.0	725	0.1	16.3	18.0
626	14.4	29.6	29.0	676	0.0	31.0	35.0	726	0.1	16.2	19.0
627	10.8	40.9	27.0	677	3.7	30.2	37.0	727	0.2	16.0	20.0
628	21.7	39.9	36.0	678	1.8	31.0	33.0	728	0.9	15.9	19.0
629	10.6	56.1	49.0	679	3.9	31.1	32.0	729	0.2	15.9	20.0
630	9.2	44.0	45.0	680	5.4	31.3	37.0	730	0.0	16.0	19.0
631	11.7	38.8	43.0	681	4.3	32.3	53.0	731	0.0	15.8	18.0
632	3.2	41.8	42.0	682	0.6	31.8	41.0	732	0.0	15.4	18.0
633	9.9	31.6	44.0	683	0.8	29.2	36.0	733	0.1	15.3	17.0
634	22.5	36.3	53.0	684	0.0	27.5	32.0	734	0.0	15.2	16.0
635	10.8	59.4	54.0	685	0.0	26.5	30.0	735	0.0	15.0	16.0
636	21.8	47.7	62.0	686	0.0	25.8	29.0	736	0.0	14.9	16.0
637	0.8	61.3	48.0	687	0.0	25.3	28.0	737	0.2	14.8	16.0
638	2.2	37.0	40.0	688	0.0	24.8	27.0	738	0.0	14.7	16.0
639	13.2	29.6	40.0	689	0.0	24.4	27.0	739	0.1	14.6	17.0
640	5.2	40.0	48.0	690	2.1	24.0	26.0	740	0.0	14.5	17.0
641	14.7	36.4	54.0	691	6.7	24.1	29.0	741	0.0	14.4	16.0
642	22.6	48.2	78.0	692	0.1	27.5	30.0	742	0.2	14.3	16.0
643	37.0	66.3	116.0	693	23.1	25.6	34.0	743	0.0	14.2	15.0
644	0.2	94.6	84.0	694	5.2	37.5	58.0	744	0.9	14.1	16.0
645	5.0	45.4	59.0	695	4.6	31.0	46.0	745	0.0	14.1	15.0
646	0.0	35.2	47.0	696	8.2	26.8	49.0	746	0.0	14.2	16.0
647	13.1	32.6	53.0	697	0.6	31.2	42.0	747	0.0	14.1	15.0
648	27.3	42.5	68.0	698	0.1	26.0	34.0	748	0.0	13.8	15.0
649	50.3	75.9	119.0	699	16.5	22.6	48.0	749	0.0	13.7	15.0
650	6.2	123.2	83.0	700	1.4	37.2	42.0	750	0.4	13.6	16.0

Cuadro 4.6. Resultados de la calibración para datos diarios. (continuación).

DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo			
751	0.3	13.6	16.0	801	0.0	11.5	10.0	851	0.0	12.7	15.0
752	0.2	13.5	16.0	802	0.1	11.5	10.0	852	0.1	11.5	13.0
753	0.0	13.5	17.0	803	0.0	11.5	11.0	853	0.0	11.1	11.0
754	0.2	13.4	16.0	804	0.2	11.5	11.0	854	0.1	10.9	11.0
755	0.2	13.4	15.0	805	0.0	11.5	11.0	855	17.7	10.9	15.0
756	0.1	13.3	15.0	806	0.0	11.4	12.0	856	3.9	21.1	14.0
757	0.0	13.2	16.0	807	0.0	11.4	12.0	857	0.1	17.7	12.0
758	0.2	13.2	14.0	808	0.0	11.4	12.0	858	0.6	13.2	11.0
759	0.1	13.1	14.0	809	0.0	11.4	12.0	859	8.3	11.5	12.0
760	0.2	13.0	14.0	810	0.0	11.4	11.0	860	0.2	15.2	19.0
761	0.1	13.0	14.0	811	0.1	11.3	11.0	861	0.5	13.8	13.0
762	0.0	12.9	14.0	812	0.0	11.3	11.0	862	0.3	11.7	16.0
763	0.0	12.9	14.0	813	0.0	11.3	12.0	863	1.6	11.1	18.0
764	0.0	12.8	14.0	814	0.0	11.3	13.0	864	0.0	11.4	17.0
765	0.0	12.7	13.0	815	0.1	11.3	12.0	865	0.0	11.6	15.0
766	0.0	12.6	13.0	816	0.0	11.3	12.0	866	1.7	11.2	16.0
767	0.1	12.6	13.0	817	0.0	11.2	12.0	867	3.7	11.0	21.0
768	8.2	12.5	14.0	818	0.0	11.2	11.0	868	0.0	13.0	15.0
769	14.5	16.3	24.0	819	0.0	11.2	11.0	869	8.0	12.5	16.0
770	16.6	23.9	25.0	820	0.0	11.2	13.0	870	4.1	15.0	15.0
771	1.0	27.3	17.0	821	0.0	11.2	15.0				
772	0.0	17.9	14.0	822	0.0	11.2	14.0				
773	0.1	13.8	13.0	823	0.0	11.1	14.0				
774	0.0	12.7	12.0	824	0.0	11.1	14.0				
775	0.0	12.3	12.0	825	0.0	11.1	14.0				
776	0.0	12.2	12.0	826	0.0	11.1	14.0				
777	0.0	12.2	11.0	827	0.0	11.1	13.0				
778	0.2	12.1	11.0	828	0.0	11.1	12.0				
779	0.2	12.1	12.0	829	0.0	11.1	13.0				
780	0.4	12.1	12.0	830	0.0	11.1	11.0				
781	0.1	12.1	13.0	831	0.0	11.0	11.0				
782	0.1	12.1	13.0	832	1.6	11.0	12.0				
783	0.2	12.1	12.0	833	2.5	11.2	13.0				
784	0.0	12.0	13.0	834	0.0	12.6	13.0				
785	0.0	12.0	13.0	835	0.0	12.4	13.0				
786	0.0	11.9	12.0	836	0.0	11.6	11.0				
787	0.0	11.9	12.0	837	1.2	11.0	12.0				
788	0.2	11.8	13.0	838	0.0	11.1	13.0				
789	0.2	11.8	13.0	839	2.2	11.3	14.0				
790	0.3	11.8	13.0	840	8.9	11.9	17.0				
791	2.2	11.8	12.0	841	4.1	16.6	24.0				
792	1.8	12.5	16.0	842	0.0	16.1	16.0				
793	0.2	13.3	21.0	843	0.0	13.2	12.0				
794	0.0	12.8	13.0	844	0.0	11.6	11.0				
795	0.0	12.1	11.0	845	0.3	10.9	11.0				
796	0.2	11.6	11.0	846	7.0	10.9	11.0				
797	0.0	11.6	9.0	847	0.6	14.0	12.0				
798	0.1	11.6	9.0	848	13.2	13.6	15.0				
799	0.0	11.6	9.0	849	2.2	19.2	21.0				
800	0.0	11.6	10.0	850	0.5	15.9	19.0				

4.3 Partición de la cuenca y parámetros del modelo de la onda cinemática para el tránsito de avenidas.

La figura 4.4 muestra las sub-cuencas (OFP) en que se dividió la cuenca para fines del tránsito de avenidas, la figura 4.5 es una representación esquemática de éste y el cuadro 4.7 resume los parámetros del modelo de la onda cinemática.

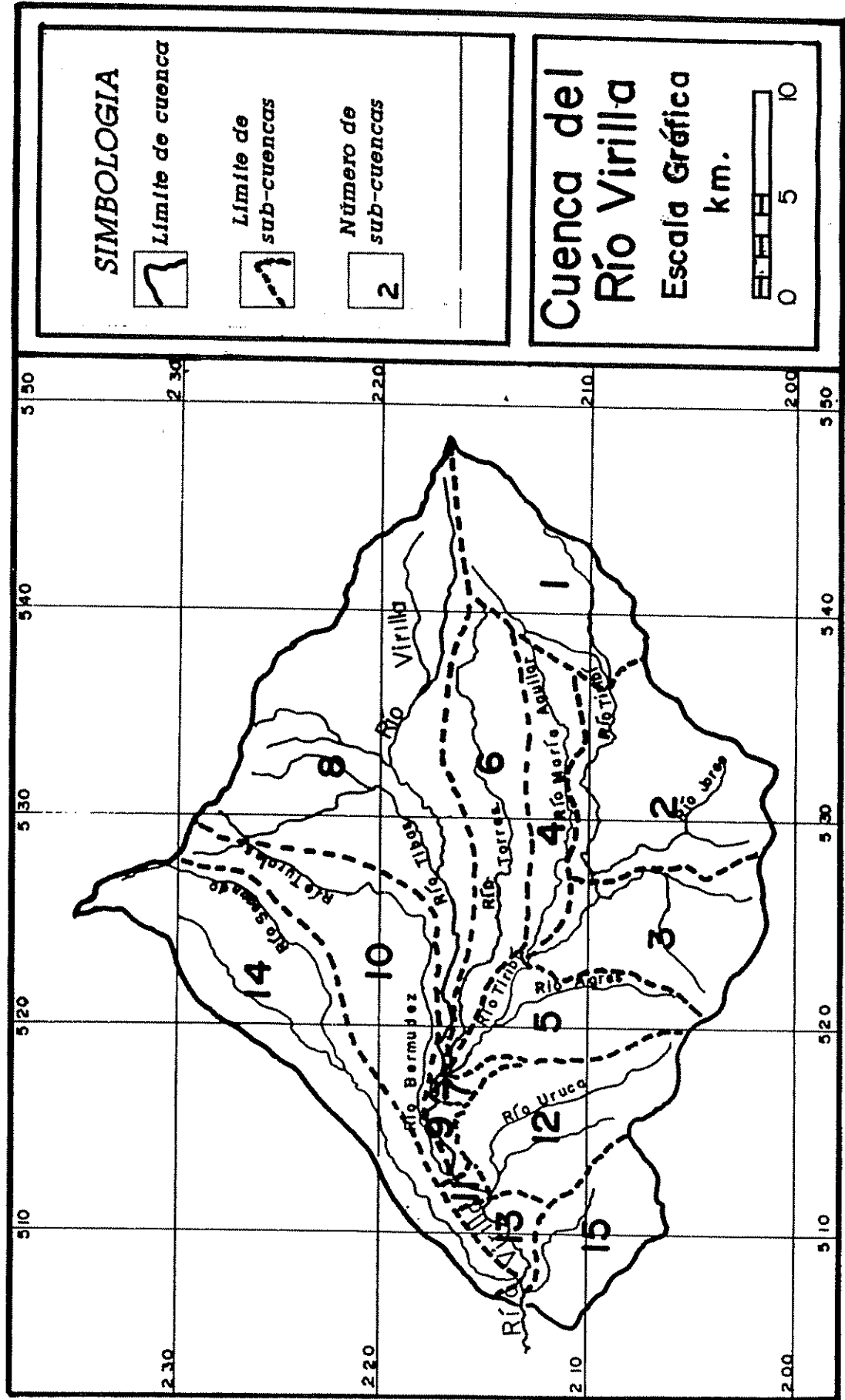


Figura 4.4. Partición de la cuenca para el tránsito de avenidas.

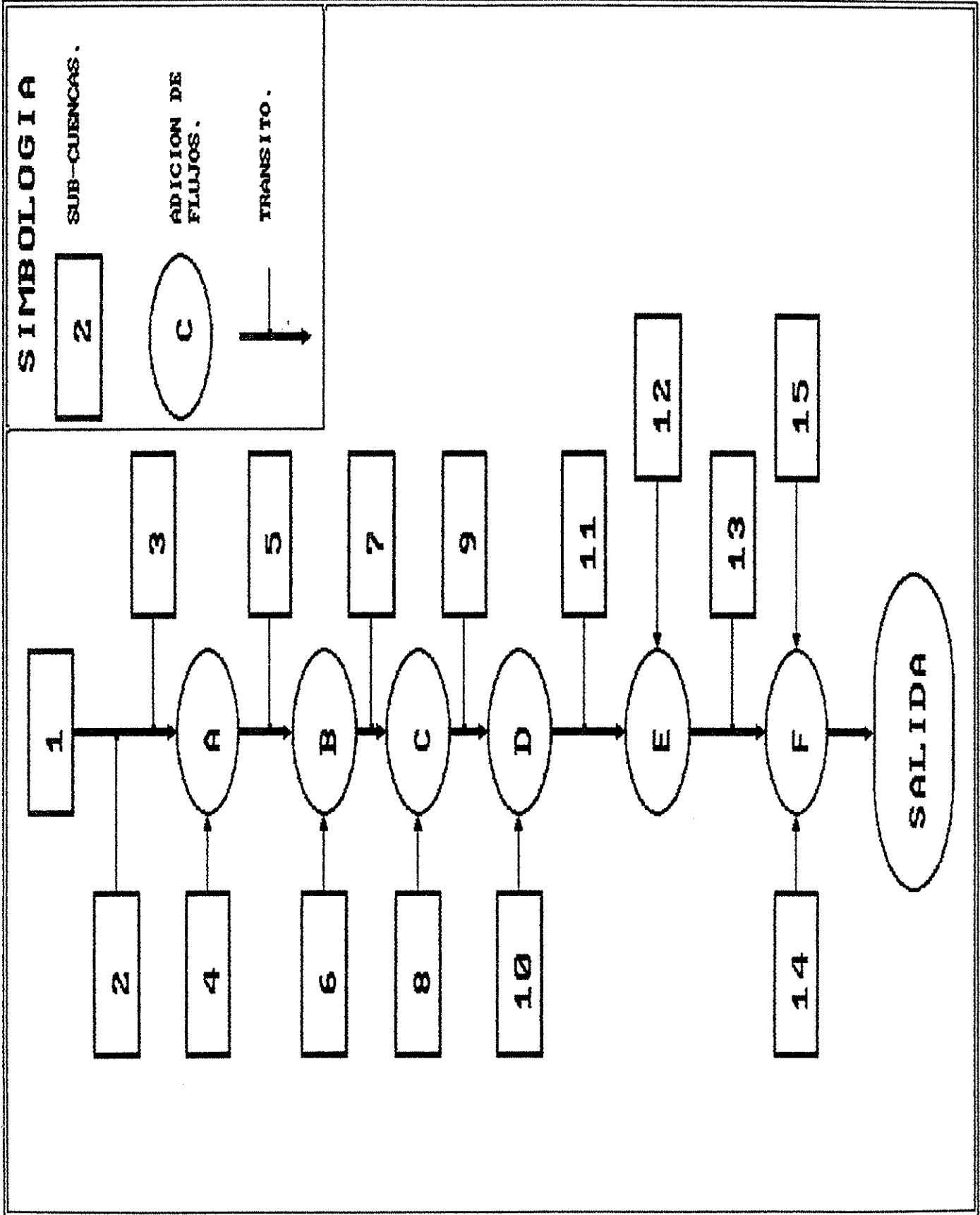


Figura 4.5. Representación esquemática del tránsito de avenidas.

Cuadro 4.7. Parámetros del modelo onda cinemática para el tránsito de avenidas.

SUB-CUENCA	TAREA	CHLNG	SLOPE	RCHMN	PAREA	SAREA	ASHAPE	CHMDT	ZLNG	ARUPF
1.-	OFE	51.01	1500	0.202	0.10	100				
	CC1		14140	0.078	0.06		21.53	5	5	2
	CP		17140	0.061	0.06		0.00	5	5	2
2.-	OFE	73.92	2000	0.127	0.10	100				
	CC1		10210	0.098	0.06		31.30	5	5	2
	CC2		8690	0.029	0.06		24.47	5	5	2
	CP		14140	0.013	0.06		0.00	5	7	2
3.-	OFE	51.08	1500	0.149	0.10	100				
	CC1		20160	0.025	0.06		33.05	5	7	2
	CP		6650	0.014	0.06		0.00	5	8	2
4.-	OFE	39.08	1500	0.090	0.10	100				
	CP		17960	0.021	0.06		0.00	5	7	2
5.-	OFE	34.83	1000	0.029	0.06		100.00			
	CC1		21190	0.035	0.06		25.60	5	8	2
	CP		7880	0.016	0.06		0.00	5	10	2
6.-	OFE	48.09	1500	0.070	0.10	100				
	CP		26380	0.029	0.06		0.00	5	10	2
7.-	OFE	6.03	2000	0.160	0.10	100				
	CP		14140	0.000	0.06		0.00	5	10	2

Cuadro 4.7. Parámetros del modelo onda cinemática para el tránsito de avenidas. (continuación).

SUB-CUENCA	TAREA	CHLING	SLOPE	ROMAN	PAREA	SAREA	ASHAPE	CHMDT	ZLNG	ARUPF
8.-	164.21									
	OFE	2000	0.139	0.10	100					
	CC1	9090	0.040	0.06		25.98	5	5	2	0
	CC2	15990	0.050	0.06		45.57	5	10	2	0
	CP	34470	0.042	0.07		0.00	5	12	2	0
9.-	3.36									
	OFE	300	0.070	0.10	100					
	CP	5020	0.020	0.07		0.00	5	15	2	1
10.-	73.24									
	OFE	1500	0.100	0.10	100					
	CC1	16350	0.035	0.06		23.90	5	8	2	0
	CP	26320	0.043	0.06		0.00	5	10	2	0
11.-	2.36									
	OFE	500	0.023	0.10	100					
	CP	2060	0.019	0.07		0.00	5	17	2	1
12.-	55.01									
	OFE	1500	0.220	0.20	100					
	CC1	6890	0.097	0.06		15.67	5	8	2	0
	CP	12800	0.085	0.06		0.00	5	10	2	0
13.-	9.91									
	OFE	500	0.100	0.10	100					
	CP	7470	0.021	0.07		0.00	5	20	2	1
14.-	87.35									
	OFE	1500	0.116	0.10	100					
	CC1	13090	0.075	0.06		29.92	5	7	2	0
	CP	33840	0.053	0.06		0.00	5	10	2	0
15.-	34.51									
	OFE	2000	0.274	0.10	100					
	CP	10100	0.080	0.06		0.00	5	10	2	0

4.4 Modelo calibrado para datos horarios.

En el cuadro 4.8 se presenta el archivo de entrada del modelo calibrado para datos horarios. El cuadro 4.9 y la figura 4.6 muestran los resultados de la calibración para octubre 1990. El cuadro 4.10 y la figura 4.7 muestran los resultados de la calibración para octubre 1991.

El coeficiente de Nash-Sutcliffe para estos períodos fue:

octubre 1990 $R^2 = 0.4$

octubre 1991 $R^2 = 0.56$

Cuadro 4.8. Modelo calibrado para datos horarios.

	0	0	265	1	
PCTIM			0.21		
ADIMP			0.24		
REXP			1.05		
UZTWM			145.0		
ZPERC			58.5		
SIDE			0.001		
LZPK			0.0005		
LZFSM			3000.0		
RSERV		0.8			
RIVA		0.02			
UZK		0.03			
LZSK		0.03			
PFREE		0.9			
UZFWM		150.0			
LZTWM		250.0			
LZFPM		8000.0			
UZTWC			90.000		
UZFWC			30.863		
LZTWC			200.465		
LZFSC			250.494		
LZFPC			4000.000		
ADIMC			200.000		
PXADJ		1.0			
PEADJ		0.7			
END					
ROUTE					
51.01					
1500.0		0.202	0.1	100.0	
14140.0		0.078	0.08	21.53	
5.0		5.0	2.0	0.0	
17140.0		0.061	0.06	0.0	
5.0		5.0	2.0	0.0	
BASEF	2				
0.7		0.2	0.1		
ROUTE					
73.92					
2000.0		0.127	0.1	100.0	
10210.0		0.038	0.06	31.3	
5.0		5.0	2.0	0.0	
8690.0		0.029	0.06	24.47	
5.0		5.0	2.0	0.0	
14140.0		0.013	0.06	0.0	
5.0		7.0	2.0	1.0	
BASEF	2				
0.7		0.2	0.1		

Cuadro 4.8 Modelo calibrado para datos horarios. (continuación).

ROUTE			
51.08			
1500.0		0.149	0.1
20160.0		0.025	0.06
5.0		7.0	2.0
6650.0		0.014	0.06
5.0		8.0	2.0
BASEF	2		
0.7		0.2	0.1
ROUTE			
39.08			
1500.0		0.09	0.1
17960.0		0.021	0.06
5.0		7.0	2.0
BASEF	2		
0.7		0.2	0.1
ADD	2		
ROUTE			
34.83			
1000.0		0.29	0.1
21190.0		0.035	0.06
5.0		8.0	2.0
7880.0		0.016	0.06
5.0		10.0	2.0
BASEF	2		
0.7		0.2	0.1
ROUTE			
48.09			
1500.0		0.07	0.1
26380.0		0.029	0.06
5.0		10.0	2.0
BASEF	2		
0.7		0.2	0.1
ADD	2		
ROUTE			
6.03			
2000.0		0.16	0.1
1430.0		0.028	0.06
5.0		12.0	2.0
BASEF	2		
0.7		0.2	0.1

Cuadro 4.8. Modelo calibrado para datos
horarios. (continuación).

ROUTE				
164.21				
2000.0		0.139	0.1	100.0
9090.0		0.04	0.06	25.98
5.0		5.0	2.0	0.0
15990.0		0.05	0.06	45.57
5.0		10.0	2.0	0.0
34470.0		0.042	0.07	0.0
5.0		12.0	2.0	0.0
BASEF	2			
0.7		0.2	0.1	
ADD	2			
ROUTE				
3.36				
300.0		0.07	0.1	100.0
5020.0		0.02	0.07	0.0
5.0		15.0	2.0	1.0
BASEF	2			
0.7		0.2	0.1	
ROUTE				
73.24				
1500.0		0.1	0.1	100.0
16350.0		0.035	0.06	23.9
5.0		8.0	2.0	0.0
26320.0		0.043	0.06	0.0
5.0		10.0	2.0	0.0
BASEF	2			
0.7		0.2	0.1	
ADD	2			
ROUTE				
2.36				
500.0		0.023	0.1	100.0
2060.0		0.019	0.07	0.0
5.0		17.0	2.0	1.0
BASEF	2			
0.7		0.2	0.1	
ROUTE				
55.01				
1500.0		0.22	0.2	100.0
6890.0		0.097	0.06	15.67
5.0		8.0	2.0	0.0
12800.0		0.085	0.06	0.0
5.0		10.0	2.0	0.0
BASEF	2			
0.7		0.2	0.1	
ADD	2			

Cuadro 4.8 Modelo calibrado para datos
horarios. (continuación).

ROUTE				
9.91				
500.0		0.1	0.1	100.0
7470.0		0.021	0.07	0.0
5.0		20.0	2.0	1.0
BASEF	2			
0.7		0.2	0.1	
ROUTE				
87.35				
1500.0		0.116	0.1	100.0
13090.0		0.075	0.06	29.92
5.0		7.0	2.0	0.0
33840.0		0.053	0.06	0.0
5.0		10.0	2.0	0.0
BASEF	2			
0.7		0.2	0.1	
ADD	2			
ROUTE				
34.51				
2000.0		0.274	0.1	100.0
10100.0		0.08	0.06	0.0
5.0		10.0	2.0	0.0
BASEF	2			
0.7		0.2	0.1	
ADD	2			
END				
RAIN				
1	265	1	1	
(10X,F10.0)				
ETDATA				
1	1	1		
(20X,F10.0)				
FLOW				
1	1	1	1	
(30X,F10.0)				
END				

Octubre 1990

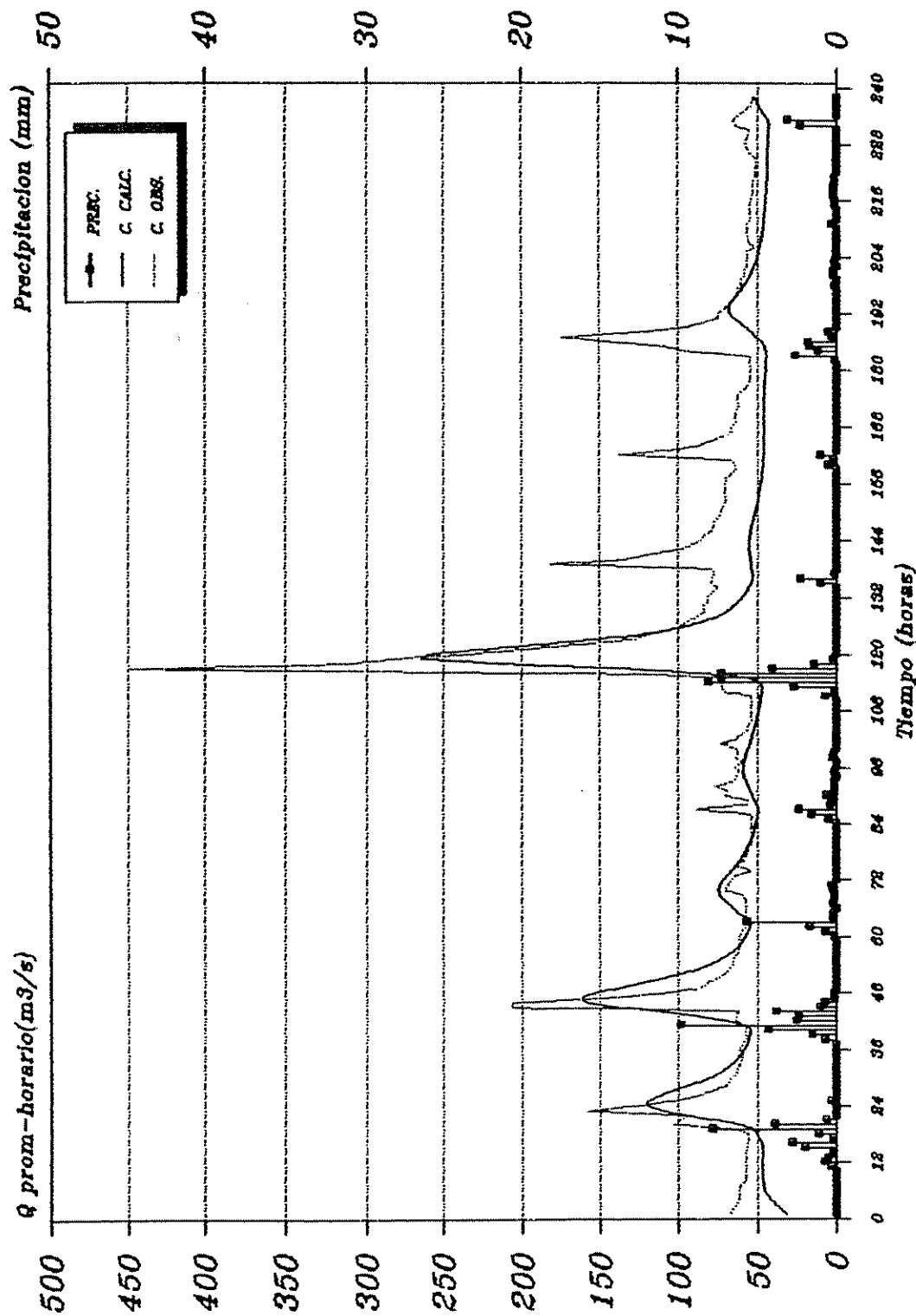


Figura 4.6. Calibración horaria. Hidrogramas calculado y observado, octubre 1990.

Cuadro 4.9. Resultados de la simulación horaria para octubre 1990.
(Qc= caudal calculado. Qo= caudal observado)

DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo			
1	0.0	31.9	68.3	51	0.0	109.1	74.9	101	0.0	55.2	72.7
2	0.0	34.8	66.1	52	0.0	97.4	70.4	102	0.0	54.2	64.0
3	0.0	38.5	64.0	53	0.0	87.9	68.3	103	0.0	53.3	59.9
4	0.0	41.8	61.9	54	0.0	80.2	66.1	104	0.0	52.4	56.9
5	0.0	44.1	61.9	55	0.0	74.1	65.1	105	0.0	51.6	55.9
6	0.0	45.5	61.9	56	0.0	69.3	64.0	106	0.0	50.9	54.0
7	0.0	46.3	61.9	57	0.0	65.4	61.9	107	0.0	50.2	54.0
8	0.0	46.8	57.9	58	0.0	62.4	61.9	108	0.0	49.5	54.0
9	0.0	47.0	57.9	59	0.0	59.9	61.9	109	0.0	48.9	54.0
10	0.0	47.0	57.9	60	0.1	58.0	61.9	110	0.0	48.4	54.0
11	0.3	47.1	57.9	61	0.7	56.3	59.9	111	0.7	47.9	54.0
12	0.7	47.0	57.9	62	1.7	55.1	57.9	112	0.1	47.6	70.4
13	0.5	47.1	57.9	63	5.7	54.6	57.9	113	2.7	47.3	72.7
14	0.2	47.1	57.9	64	0.2	57.9	57.9	114	8.1	47.8	72.7
15	2.0	47.2	57.9	65	0.2	62.4	57.9	115	7.3	56.5	72.7
16	2.8	47.7	55.9	66	0.0	65.1	57.9	116	7.3	81.8	151.2
17	0.2	49.3	55.9	67	0.2	68.5	57.9	117	4.1	134.5	450.0
18	1.1	50.8	55.9	68	0.1	71.8	57.9	118	1.4	211.2	313.6
19	7.8	52.6	64.0	69	0.1	73.9	58.9	119	0.2	264.1	280.7
20	3.9	61.5	101.8	70	0.2	74.6	71.5	120	0.0	260.3	233.4
21	0.6	77.8	99.2	71	0.3	73.7	68.3	121	0.0	224.7	195.9
22	0.0	94.3	94.0	72	0.0	71.7	67.2	122	0.0	184.8	160.3
23	0.0	110.0	157.7	73	0.0	69.2	64.0	123	0.0	151.4	126.9
24	0.0	119.1	126.8	74	0.0	66.5	54.0	124	0.0	125.9	120.5
25	0.3	119.5	104.4	75	0.0	64.0	64.0	125	0.0	107.2	105.7
26	0.0	113.5	89.1	76	0.0	61.8	59.9	126	0.0	93.5	98.1
27	0.0	104.5	79.5	77	0.0	59.8	57.9	127	0.0	83.5	93.2
28	0.0	95.0	70.4	78	0.0	58.1	56.9	128	0.0	75.9	88.4
29	0.0	86.6	68.3	79	0.0	56.6	55.9	129	0.0	70.2	83.8
30	0.0	79.6	66.1	80	0.0	55.3	54.0	130	0.0	65.8	83.8
31	0.0	73.9	64.0	81	0.0	54.1	54.0	131	0.0	62.4	81.5
32	0.0	69.4	61.9	82	0.0	53.0	54.0	132	0.0	59.7	81.5
33	0.0	65.8	61.9	83	0.0	52.1	54.0	133	0.0	57.6	79.3
34	0.0	63.0	59.9	84	0.0	51.3	54.0	134	0.0	55.8	74.9
35	0.0	60.7	59.9	85	0.5	50.5	54.0	135	1.0	54.4	79.3
36	0.0	58.8	61.9	86	1.6	49.9	54.0	136	2.3	53.3	79.3
37	0.0	57.2	59.9	87	2.4	49.8	89.1	137	0.1	53.5	77.1
38	0.7	55.9	57.9	88	0.4	50.7	57.9	138	0.0	53.9	79.3
39	1.5	54.8	57.9	89	0.3	51.9	55.9	139	0.0	54.3	181.4
40	4.3	54.4	57.9	90	0.6	53.1	70.4	140	0.0	54.6	133.4
41	9.8	56.4	57.9	91	0.1	54.4	69.4	141	0.0	55.0	117.3
42	2.5	69.7	64.0	92	0.1	55.9	77.2	142	0.0	55.3	98.1
43	2.4	88.7	64.0	93	0.1	57.3	66.1	143	0.0	55.5	90.8
44	3.8	112.0	61.9	94	0.0	58.4	64.0	144	0.0	55.4	86.1
45	1.0	140.4	206.4	95	0.1	59.1	61.9	145	0.0	55.1	83.8
46	0.7	159.1	206.4	96	0.0	59.3	64.0	146	0.0	54.6	79.3
47	0.1	162.0	138.7	97	0.0	58.9	59.9	147	0.0	53.9	78.2
48	0.1	153.1	104.4	98	0.2	58.1	64.0	148	0.0	53.2	77.1
49	0.0	138.5	86.6	99	0.1	57.2	61.9	149	0.0	52.4	74.9
50	0.0	123.1	81.8	100	0.0	56.2	64.0	150	0.0	51.7	72.7

Cuadro 4.9. Resultados de la simulación horaria para octubre 1990.
(Qc= caudal calculado. Qo= caudal observado) Cont.

DIAS	PREC.	Qc	Qo	DIAS	PREC.	Qc	Qo
151	0.0	51.0	72.7	201	0.2	53.5	58.6
152	0.0	50.3	70.6	202	0.0	52.3	56.8
153	0.0	49.7	70.6	203	0.1	51.2	56.8
154	0.0	49.1	70.6	204	0.0	50.3	56.8
155	0.0	48.6	70.6	205	0.0	49.6	56.8
156	0.0	48.1	70.6	206	0.0	48.9	51.3
157	0.0	47.7	70.6	207	0.0	48.3	54.9
158	0.0	47.3	66.5	208	0.0	47.7	56.8
159	0.0	46.9	64.5	209	0.0	47.2	56.8
160	0.5	46.6	64.5	210	0.0	46.8	56.8
161	0.2	46.4	66.5	211	0.3	46.4	56.8
162	1.0	46.2	136.7	212	0.0	46.0	54.9
163	0.0	46.1	108.3	213	0.0	45.7	54.9
164	0.0	46.2	88.4	214	0.0	45.4	54.9
165	0.0	46.2	79.3	215	0.1	45.1	54.9
166	0.0	46.2	70.6	216	0.1	44.8	54.9
167	0.0	46.2	66.5	217	0.2	44.6	53.1
168	0.0	46.2	66.5	218	0.2	44.4	53.1
169	0.0	46.3	64.5	219	0.2	44.3	53.1
170	0.0	46.3	64.5	220	0.1	44.2	53.1
171	0.0	46.2	64.5	221	0.1	44.1	51.3
172	0.0	46.2	62.5	222	0.0	44.0	51.3
173	0.0	46.1	62.5	223	0.0	44.0	51.3
174	0.0	46.0	62.5	224	0.0	43.9	51.3
175	0.0	45.9	62.5	225	0.0	43.8	51.3
176	0.0	45.7	58.6	226	0.0	43.8	54.9
177	0.0	45.5	54.9	227	0.0	43.7	56.8
178	0.0	45.4	54.9	228	0.0	43.6	58.6
179	0.0	45.2	54.9	229	0.0	43.5	56.8
180	0.0	45.0	54.9	230	0.0	43.4	56.8
181	0.0	44.8	54.9	231	0.0	43.3	54.9
182	0.1	44.6	54.9	232	2.3	43.2	64.5
183	2.6	44.5	54.9	233	3.1	43.5	65.5
184	1.2	44.8	95.6	234	0.0	45.4	62.5
185	1.7	45.6	108.3	235	0.0	47.7	58.6
186	1.8	47.4	146.7	236	0.0	49.1	54.9
187	0.3	50.8	174.3	237	0.0	50.7	53.1
188	0.5	54.2	120.5	238	0.0	52.4	53.1
189	0.0	58.0	93.2	239	0.0	54.0	51.3
190	0.0	61.9	83.8	240	0.0	55.2	51.3
191	0.0	65.4	74.9				
192	0.0	67.8	74.9				
193	0.0	68.6	70.6				
194	0.0	67.7	68.5				
195	0.0	65.8	66.5				
196	0.0	63.4	62.5				
197	0.0	60.9	62.5				
198	0.1	58.6	60.6				
199	0.0	56.6	60.6				
200	0.2	54.9	58.6				

Octubre 1991

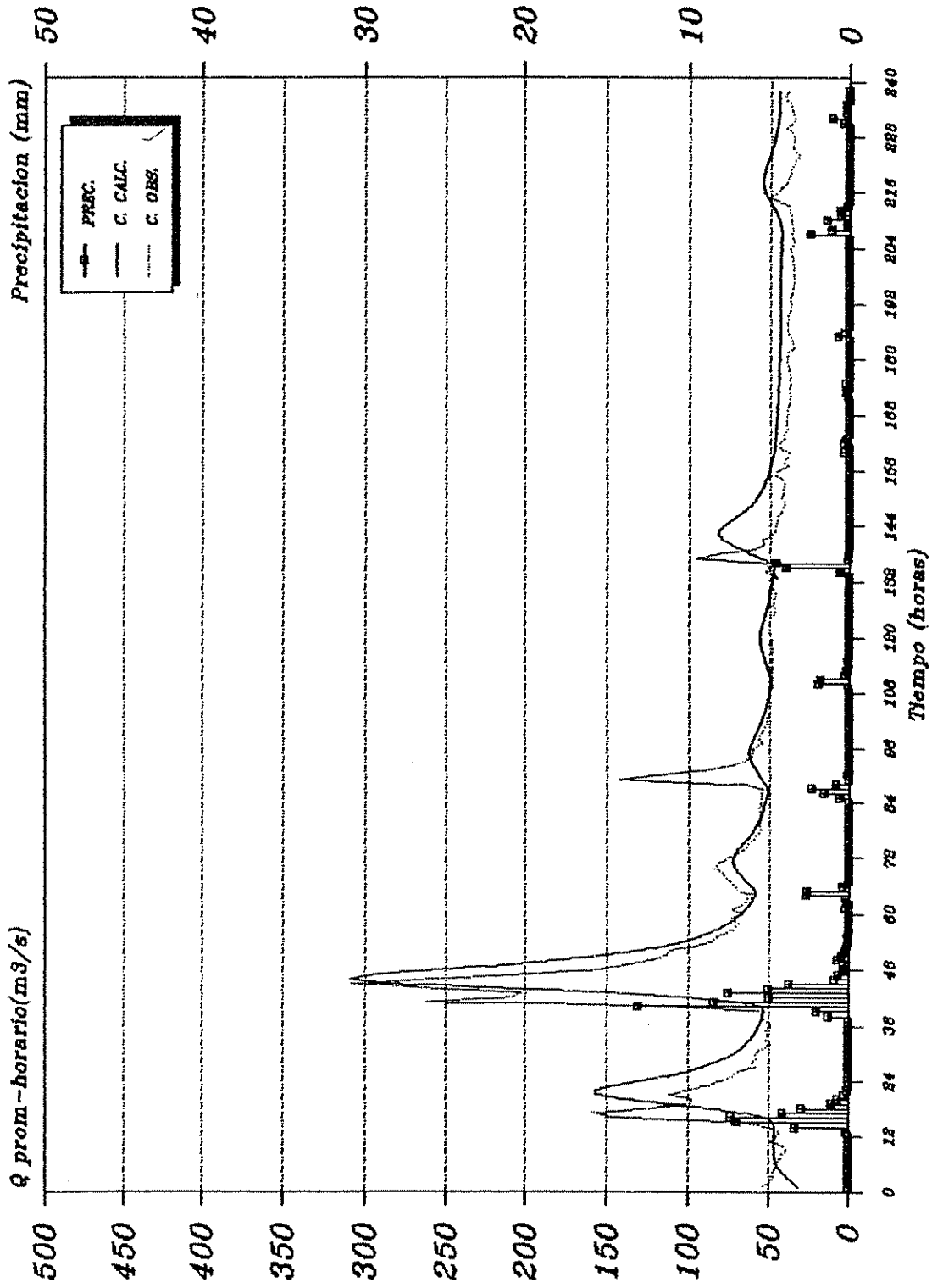


Figura 4.7. Calibración horaria. Hidrograma calculado y observado, octubre 1991.

Cuadro 4.10. Resultados de la simulación horaria para octubre 1991.
(Qc= caudal calculado. Qo= caudal observado)

DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo			
1	0.0	31.9	54.8	51	0.4	151.5	113.4	101	0.0	56.4	52.1
2	0.0	34.7	50.3	52	0.2	130.8	111.3	102	0.0	55.3	52.1
3	0.0	38.5	48.1	53	0.1	115.3	97.4	103	0.0	54.3	51.6
4	0.0	41.8	47.4	54	0.0	103.3	86.6	104	0.0	53.4	50.8
5	0.0	44.1	46.2	55	0.1	94.1	82.6	105	0.0	52.5	50.7
6	0.0	45.5	46.7	56	0.0	86.8	76.7	106	0.0	51.8	51.4
7	0.0	46.3	43.2	57	0.0	80.8	72.0	107	0.0	51.1	52.1
8	0.0	46.7	41.6	58	0.0	75.9	69.3	108	0.0	50.6	50.7
9	0.0	46.9	38.5	59	0.0	71.7	74.3	109	0.1	50.0	49.1
10	0.0	47.0	41.7	60	0.0	68.2	66.9	110	1.9	49.5	49.1
11	0.0	47.0	49.3	61	0.2	65.2	73.1	111	1.8	49.5	49.1
12	0.0	47.0	45.6	62	0.0	62.8	66.3	112	0.3	50.3	49.1
13	0.1	47.0	43.8	63	0.2	60.8	63.9	113	0.1	51.4	49.1
14	3.4	46.9	49.4	64	2.7	59.1	59.4	114	0.1	52.4	49.1
15	7.0	47.4	66.2	65	2.7	59.0	68.8	115	0.1	53.3	49.1
16	7.4	51.9	148.9	66	0.4	61.5	71.8	116	0.0	54.2	49.1
17	4.2	65.0	158.9	67	0.0	64.6	74.4	117	0.0	55.1	49.1
18	3.0	84.7	125.1	68	0.0	67.0	77.9	118	0.0	55.8	49.1
19	1.1	112.2	100.2	69	0.0	69.5	78.8	119	0.0	56.2	49.1
20	0.7	140.5	97.1	70	0.0	71.6	84.4	120	0.0	56.3	49.1
21	0.3	157.1	112.1	71	0.0	72.8	81.5	121	0.0	56.0	51.3
22	0.1	157.1	100.0	72	0.0	72.7	75.9	122	0.0	55.5	50.7
23	0.0	145.5	89.7	73	0.0	71.4	69.2	123	0.0	54.8	50.0
24	0.0	129.8	80.4	74	0.0	69.3	65.5	124	0.0	54.0	50.7
25	0.0	114.7	73.5	75	0.0	66.8	63.1	125	0.0	53.3	47.9
26	0.0	101.9	70.6	76	0.0	64.4	60.7	126	0.0	52.5	46.8
27	0.0	91.5	59.3	77	0.0	62.2	58.8	127	0.0	51.8	48.4
28	0.0	83.4	61.0	78	0.0	60.3	55.8	128	0.0	51.2	48.2
29	0.0	77.0	58.4	79	0.0	58.6	56.4	129	0.0	50.5	46.9
30	0.0	71.9	58.9	80	0.0	57.2	56.4	130	0.0	50.0	47.6
31	0.0	67.8	54.2	81	0.0	55.9	56.4	131	0.0	49.5	49.6
32	0.0	64.6	49.1	82	0.0	54.8	56.4	132	0.0	49.0	48.5
33	0.0	62.0	52.5	83	0.0	53.9	56.4	133	0.0	48.5	45.6
34	0.0	59.9	50.9	84	0.0	53.0	55.7	134	0.6	48.1	52.2
35	0.0	58.2	52.4	85	0.6	52.3	55.5	135	4.0	47.8	51.5
36	0.0	56.7	48.4	86	1.6	51.7	55.3	136	4.6	49.2	52.5
37	0.0	55.5	51.6	87	2.4	51.6	54.4	137	0.1	55.7	95.9
38	1.3	54.4	55.5	88	0.8	52.9	67.0	138	0.0	62.7	82.2
39	2.0	53.8	53.1	89	0.0	55.0	143.1	139	0.0	68.2	59.7
40	13.1	54.0	111.2	90	0.1	56.7	119.8	140	0.0	74.2	54.7
41	8.4	67.2	262.8	91	0.0	58.4	93.1	141	0.0	79.5	55.2
42	5.0	100.0	208.7	92	0.0	60.1	76.3	142	0.0	82.3	49.0
43	7.5	147.9	202.3	93	0.0	61.7	67.7	143	0.0	82.1	47.3
44	5.1	219.6	265.1	94	0.0	62.7	61.5	144	0.0	79.4	47.0
45	3.8	282.9	308.4	95	0.0	63.0	61.0	145	0.0	75.5	46.3
46	0.9	309.7	258.8	96	0.0	62.5	60.6	146	0.0	71.2	44.9
47	0.7	295.1	199.9	97	0.0	61.6	55.3	147	0.0	67.3	43.9
48	0.4	256.0	154.7	98	0.0	60.3	57.1	148	0.0	63.9	42.3
49	0.4	214.5	140.6	99	0.0	59.0	55.6	149	0.0	61.1	41.4
50	0.7	179.0	122.6	100	0.0	57.7	54.3	150	0.0	58.8	42.9

Cuadro 4.10. Resultados de la simulación horaria para octubre 1991.
(Qc= caudal calculado. Qo= caudal observado) Cont.

DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo	DIAS PREC.	Qc	Qo			
151	0.0	56.8	42.1	201	0.0	43.8	36.3	251	0.0	43.1	34.5
152	0.0	55.2	42.0	202	0.0	43.7	36.1	252	0.0	42.9	34.7
153	0.0	53.9	41.2	203	0.0	43.6	37.5	253	0.0	42.6	36.1
154	0.0	52.7	42.9	204	0.0	43.5	37.6	254	0.7	42.4	36.1
155	0.0	51.7	47.4	205	0.0	43.3	35.1	255	0.1	42.3	34.3
156	0.0	50.8	46.1	206	0.0	43.2	35.8	256	1.0	42.1	34.2
157	0.0	50.0	38.9	207	2.5	43.1	36.8	257	0.0	42.2	39.6
158	0.0	49.3	42.2	208	1.1	43.4	36.2	258	0.0	42.3	87.2
159	0.0	48.8	40.1	209	0.2	44.0	36.7	259	0.0	42.4	76.9
160	0.3	48.2	37.6	210	1.4	44.7	37.6	260	0.0	42.4	71.0
161	0.0	47.8	44.2	211	0.5	45.8	36.8	261	0.0	42.5	47.2
162	0.3	47.4	44.8	212	0.6	47.3	38.8	262	0.0	42.6	47.4
163	0.2	47.1	41.8	213	0.1	48.9	38.4	263	0.0	42.6	44.7
164	0.0	46.8	41.6	214	0.0	50.6	45.6	264	0.0	42.7	42.3
165	0.0	46.6	39.4	215	0.0	52.2	50.6	265	0.0	42.7	41.7
166	0.0	46.5	39.8	216	0.0	53.5	46.1				
167	0.0	46.3	40.4	217	0.0	54.6	42.3				
168	0.0	46.1	39.5	218	0.0	55.1	40.3				
169	0.0	46.0	39.3	219	0.0	55.0	39.0				
170	0.0	45.8	39.2	220	0.0	54.5	38.1				
171	0.0	45.7	38.2	221	0.0	53.7	37.3				
172	0.1	45.6	38.0	222	0.0	52.8	36.1				
173	0.2	45.4	38.1	223	0.0	51.8	34.6				
174	0.0	45.3	38.1	224	0.0	50.8	32.2				
175	0.3	45.2	37.8	225	0.0	49.9	35.4				
176	0.0	45.1	38.4	226	0.0	49.0	37.0				
177	0.0	45.0	38.8	227	0.0	48.3	35.1				
178	0.0	44.9	38.7	228	0.0	47.5	36.2				
179	0.0	44.9	39.7	229	0.0	46.9	37.1				
180	0.0	44.8	40.0	230	0.0	46.3	40.7				
181	0.0	44.7	39.9	231	0.4	45.8	36.1				
182	0.0	44.6	37.1	232	1.1	45.3	35.1				
183	0.0	44.5	35.4	233	0.2	45.1	36.2				
184	0.0	44.4	36.7	234	0.2	45.0	37.1				
185	0.7	44.3	37.6	235	0.2	45.0	37.5				
186	0.3	44.3	39.4	236	0.0	45.0	40.3				
187	0.0	44.3	39.5	237	0.0	45.0	40.8				
188	0.0	44.3	40.0	238	0.0	45.0	39.6				
189	0.0	44.4	39.6	239	0.0	45.1	39.0				
190	0.0	44.4	38.4	240	0.0	45.1	38.6				
191	0.0	44.4	37.2	241	0.0	45.0	37.0				
192	0.0	44.4	37.4	242	0.0	45.0	36.4				
193	0.0	44.4	37.8	243	0.0	44.9	35.9				
194	0.0	44.4	37.0	244	0.0	44.7	35.9				
195	0.0	44.3	36.0	245	0.0	44.6	35.6				
196	0.0	44.3	35.9	246	0.0	44.3	35.3				
197	0.0	44.2	35.3	247	0.0	44.1	34.9				
198	0.0	44.2	35.6	248	0.0	43.9	34.2				
199	0.0	44.1	35.6	249	0.0	43.6	34.6				
200	0.0	44.0	35.7	250	0.0	43.3	34.3				

5.- Discusión de resultados.

5.1 Parámetros iniciales.

Los parámetros iniciales además de permitir iniciar acertadamente el proceso de calibración, resultaron ser una importante referencia a la hora de evaluarlo y tomar decisiones para avanzar en el mismo. Aunque éstos son una primera aproximación y el prototipo final no necesariamente debe coincidir con ellos, el esfuerzo realizado en obtenerlos con mayor aproximación resultó compensado por el hecho de facilitar el proceso posterior.

5.2 El modelo calibrado para datos diarios.

Los resultados de la calibración del modelo para datos promedio diarios llevan a la conclusión de que éste logra simular con un grado de precisión aceptable los caudales promedio diarios. Como se puede apreciar en la figura 4.3 existe un alto grado de coincidencia entre los caudales calculados por el modelo y los observados, tanto en la época lluviosa como en la época seca. El valor de $R^2 = 0.79$ se considera satisfactorio.

Se consideró a partir de estos resultados que se había logrado un buen ajuste de los almacenamientos de agua de la zona inferior y de sus tasas de agotamiento, un mejor conocimiento del funcionamiento del modelo y de los rangos en que se ubican los parámetros.

5.3. El modelo calibrado para datos horarios.

A partir del modelo calibrado para datos diarios se inició la calibración horaria incorporando a éste un esquema de tránsito con un mayor nivel de desagregación.

El proceso de calibración se inició con el análisis del mes de octubre de 1990, período en el cual se presenta la crecida máxima observada desde que inició el funcionamiento de la red telemétrica. En la figura 4.6 se puede observar que no se logra simular adecuadamente el evento de máximo caudal y otros eventos posteriores. Sin embargo los resultados del modelo son consistentes con los eventos de lluvia registrados para el mismo período, lo que indicaría que las lluvias que originaron dichos flujos cayeron fuera del área de cobertura de la red telemétrica.

Se procedió a continuación a analizar el período octubre 1991 del cual se presenta en la figura 4.7 una comparación entre los caudales simulados y los observados. Como puede observarse la coincidencia entre éstos es mayor que la lograda para el período anterior.

Aunque se logra simular los picos de caudal más importantes, se puede notar que persiste un atraso en el tiempo de ocurrencia de los simulados por el modelo en relación a los reales.

Este desfase en el tiempo puede ser debido al diseño de la partición para el tránsito que se escogió, o a la necesidad de un mayor refinamiento en los parámetros de éste.

El valor de $R^2=0.56$ indica una mayor coincidencia que la lograda para el período anterior, pero se considera que la precisión lograda no es la necesaria.

A fin de evaluar la cobertura de las estaciones telemétricas en relación a los resultados anteriores se realizó un análisis de la precipitación diaria para la cuenca comparando los datos de precipitación de la red telemétrica con información de otras estaciones en el área. Los cuadros 5.1 y 5.2 presentan esta información para el mes de octubre 1990 y los cuadros 5.3 y 5.4 para octubre 1992. La figura 5.1 presenta la ubicación de las estaciones analizadas.

En la figura 5.2 se muestran los valores de precipitación registrados por las estaciones analizadas el día 23 de octubre de 1990, que es la fecha en que ocurrió la avenida máxima de ese período. En la misma figura se trazó una zona de precipitación mayor a los 50 mm. y que tiene como máximo 115.5 mm. Esto da una idea de la concentración de la mayor cantidad de lluvia caída ese día, lo que al compararlo con el valor de la estación # 84124 explica en buena medida el porqué el modelo no logra simular el caudal resultante de este evento.

En la figura 5.3 se realizó un análisis similar al anterior para el día 11 de octubre de 1991 correspondiente al evento de caudal máximo de ese mes. Como puede apreciarse la información de las estaciones telemétricas es consistente con las de su entorno y representan adecuadamente la distribución espacial de las lluvias para ese día.

Cuadro 5.1. Registros de precipitación diaria para estaciones circundantes a la red telométrica, octubre 1990.

Días	ESTACIONES										
	84065	84092	84024	84019	84018	84021	84046	84115	84111	84117	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	
2	0.0	13.3	0.0	0.5	0.0	2.0	0.0	0.3	29.0	3.7	
3	0.0	13.5	7.5	2.7	31.4	7.8	0.9	2.1	7.6	1.0	
4	7.0	3.2	38.5	13.0	5.8	19.8	4.8	4.6	0.0	9.1	
5	7.5	29.0	20.0	34.2	20.2	22.9	22.7	2.6	9.4	4.1	
6	32.0	14.1	8.2	18.5	44.9	30.8	38.1	30.5	45.0	29.6	
7	21.0	42.4	32.0	46.6	30.0	34.1	12.2	23.0	17.1	10.1	
8	12.6	75.2	6.8	14.3	12.3	6.4	20.8	12.0	33.4	43.6	
9	1.0	0.0	2.2	2.5	2.0	1.8	0.1	0.5	1.4	0.5	
10	1.5	3.3	15.7	2.8	3.1	26.7	1.9	2.7	1.3	3.4	
11	42.6	24.7	48.0	79.0	24.0	59.8	31.3	35.2	25.9	12.3	
12	11.6	23.7	44.2	11.0	12.6	54.2	51.5	5.5	30.0	2.0	
13	0.0	15.8	33.4	0.5	13.4	3.2	2.8	0.9	18.4	1.0	
14	26.0	27.1	35.7	63.0	30.3	13.8	9.9	24.5	48.2	21.2	
15	77.0	46.0	14.1	39.5	96.5	16.0	42.0	46.9	97.1	11.6	
16	15.4	40.5	12.7	24.2	27.0	8.6	7.5	12.7	9.4	5.6	
17	4.5	1.0	1.5	18.7	5.2	0.2	18.0	8.7	1.2	19.4	
18	7.0	15.5	19.5	16.0	4.8	2.7	2.0	14.5	17.6	32.0	
19	25.0	67.0	14.6	10.0	14.2	25.6	3.3	15.5	14.3	12.8	
20	1.5	1.3	1.5	55.0	1.6	5.4	1.2	4.0	9.5	0.0	
21	3.0	2.6	3.5	1.4	34.0	1.2	3.8	1.7	0.0	1.0	
22	4.0	33.5	2.8	9.0	13.3	3.7	2.0	3.9	25.0	27.6	
23	115.3	52.3	7.1	56.6	41.3	9.5	57.4	83.9	58.5	17.8	
24	12.6	3.3	3.1	26.7	6.4	0.0	0.2	21.0	9.3	0.5	
25	0.0	16.2	0.0	0.7	0.0	11.2	0.0	2.6	2.2	19.5	
26	5.0	92.0	55.2	1.2	8.2	20.7	7.2	2.7	13.0	28.0	
27	3.3	0.0	0.0	0.4	5.1	0.0	9.2	0.8	0.0	0.0	
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	1.3	
29	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	
30	0.0	1.0	1.2	0.7	2.0	3.8	4.6	0.4	0.0	2.0	
31	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	2.1	0.1	0.7	22.2	0.0	

Cuadro 5.2. Precipitación diaria registrada por las estaciones de la red telemétrica, octubre 1990.

Días	ESTACIONES					
	84116	84118	84120	84122	84124	84126
1	-	0.0	0.0	1.0	0.4	0.0
2	22.2	0.2	0.1	9.3	0.0	0.0
3	10.2	-	-	-	-	-
4	39.3	-	-	-	-	0.7
5	13.5	0.2	39.9	12.7	14.7	2.6
6	48.6	56.9	41.4	-	21.4	36.9
7	3.1	45.6	15.4	-	13.0	3.4
8	10.0	33.0	-	63.8	13.8	20.0
9	3.4	3.3	10.5	-	0.3	2.0
10	1.8	8.5	32.5	-	1.5	6.5
11	33.0	60.8	30.2	-	20.5	59.0
12	3.1	7.7	13.1	9.2	26.2	39.9
13	-	-	-	14.1	-	-
14	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-
16	24.5	1.9	8.5	10.7	-	3.6
17	5.2	1.1	18.5	31.0	-	2.9
18	1.9	6.6	2.7	4.3	2.6	21.6
19	9.9	11.7	56.0	37.2	0.3	16.8
20	31.8	8.8	33.5	67.6	4.6	25.1
21	14.5	1.1	4.9	33.0	2.1	0.1
22	9.0	2.4	14.3	12.9	69.7	1.2
23	33.4	19.0	99.7	11.4	1.1	32.1
24	17.0	0.1	0.9	0.0	0.0	0.0
25	0.0	4.0	-	0.0	4.0	4.0
26	2.4	15.3	0.9	0.0	5.3	28.2
27	3.5	0.1	5.0	0.0	0.1	0.0
28	0.2	5.5	0.2	-	1.1	0.0
29						
30						
31						

Cuadro 5.3. Registros de precipitación diaria para estaciones circundantes a la red telemétrica, octubre 1991.

Días	ESTACIONES										
	84065	84019	84018	84021	84046	84115	84117				
1	8.5	8.0	21.5	55.1	5.2	6.7	1.8				
2	7.2	4.5	40.5	11.4	0.0	0.3	55.0				
3	6.0	29.6	14.5	8.1	6.0	7.4	45.5				
4	43.2	32.8	37.4	29.9	23.8	50.3	12.5				
5	42.0	58.9	1.4	26.5	68.9	57.7	7.3				
6	1.0	5.7	0.0	30.2	2.1	2.3	3.5				
7	0.0	11.3	0.0	0.6	0.1	0.0	6.0				
8	0.0	0.0	11.8	2.5	0.0	0.0	0.5				
9	24.0	21.4	30.2	3.1	0.0	15.3	2.0				
10	8.0	15.2	60.0	6.8	12.8	7.6	43.5				
11	54.0	33.2	18.7	12.4	58.7	51.9	39.1				
12	1.5	16.7	5.9	0.0	1.1	1.5	1.0				
13	36.0	43.2	11.3	0.0	14.9	6.1	0.5				
14	31.0	13.5	0.0	1.8	9.1	57.0	4.7				
15	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	4.4				
16	0.0	0.6	0.0	0.0	8.4	0.0	8.2				
17	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	9.2				
18	2.0	38.0	2.8	1.1	0.7	2.0	4.4				
19	0.0	1.6	8.3	0.2	9.4	1.0	0.6				
20	0.0	4.2	0.0	0.0	0.2	1.9	0.0				
21	0.0	4.8	0.0	4.1	0.8	0.8	8.8				
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0				
23	0.0	0.0	4.0	0.0	1.2	0.0	0.0				
24	3.5	1.1	13.2	0.3	4.4	2.6	0.0				
25	8.0	25.0	84.7	2.2	6.3	18.7	0.5				
26	14.5	16.5	42.6	19.3	28.0	10.1	18.7				
27	12.6	26.0	44.4	9.8	6.8	12.3	5.8				
28	19.0	42.1	15.2	39.4	10.4	19.9	10.6				
29	1.0	0.5	5.0	22.3	2.0	1.0	14.6				
30	4.2	14.2	0.0	47.1	3.9	3.5	19.0				
31	0.0	12.7	0.5	0.0	0.0	0.0	5.7				

Cuadro 5.4. Precipitación diaria registrada por las estaciones de la red telemétrica, octubre 1991.

Días	ESTACIONES					
	84116	84118	84120	84122	84124	84126
1	16.8	6.9	9.2	33.7	4.0	8.7
2	0.2	10.7	7.5	6.8	0.2	1.3
3	0.0	20.7	9.9	27.7	11.1	3.9
4	0.0	21.7	18.5	25.1	25.4	22.0
5	0.0	33.0	34.9	30.6	54.4	32.3
6	0.0	0.0	0.2	0.5	0.1	0.0
7	23.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	-	-	-	-	0.0	-
10	40.5	23.4	43.0	23.8	9.0	25.5
11	27.3	63.6	32.7	25.3	51.2	107.0
12	20.7	6.1	2.7	0.0	1.3	2.4
13	2.5	2.6	4.6	0.4	23.6	9.7
14	3.1	0.4	10.4	0.5	14.5	2.6
15	0.0	10.9	1.1	29.0	0.0	15.0
16	0.0	0.6	0.8	0.2	7.9	0.2
17	0.0	0.0	5.9	1.9	0.2	0.0
18	22.1	6.7	3.7	0.7	0.2	0.8
19	1.0	1.6	7.0	0.6	2.7	0.8
20	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9
21	15.7	0.0	0.4	1.7	0.2	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.1	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0
24	2.1	0.4	1.6	2.2	4.7	1.3
25	33.5	4.5	6.3	1.4	10.1	6.2
26	27.4	35.0	14.9	27.7	28.6	30.5
27	50.0	17.2	29.0	5.8	9.0	11.9
28	-	-	-	-	-	-
29	13.9	3.9	0.7	2.6	1.5	1.2
30	3.1	4.7	5.0	4.9	5.0	4.5
31						

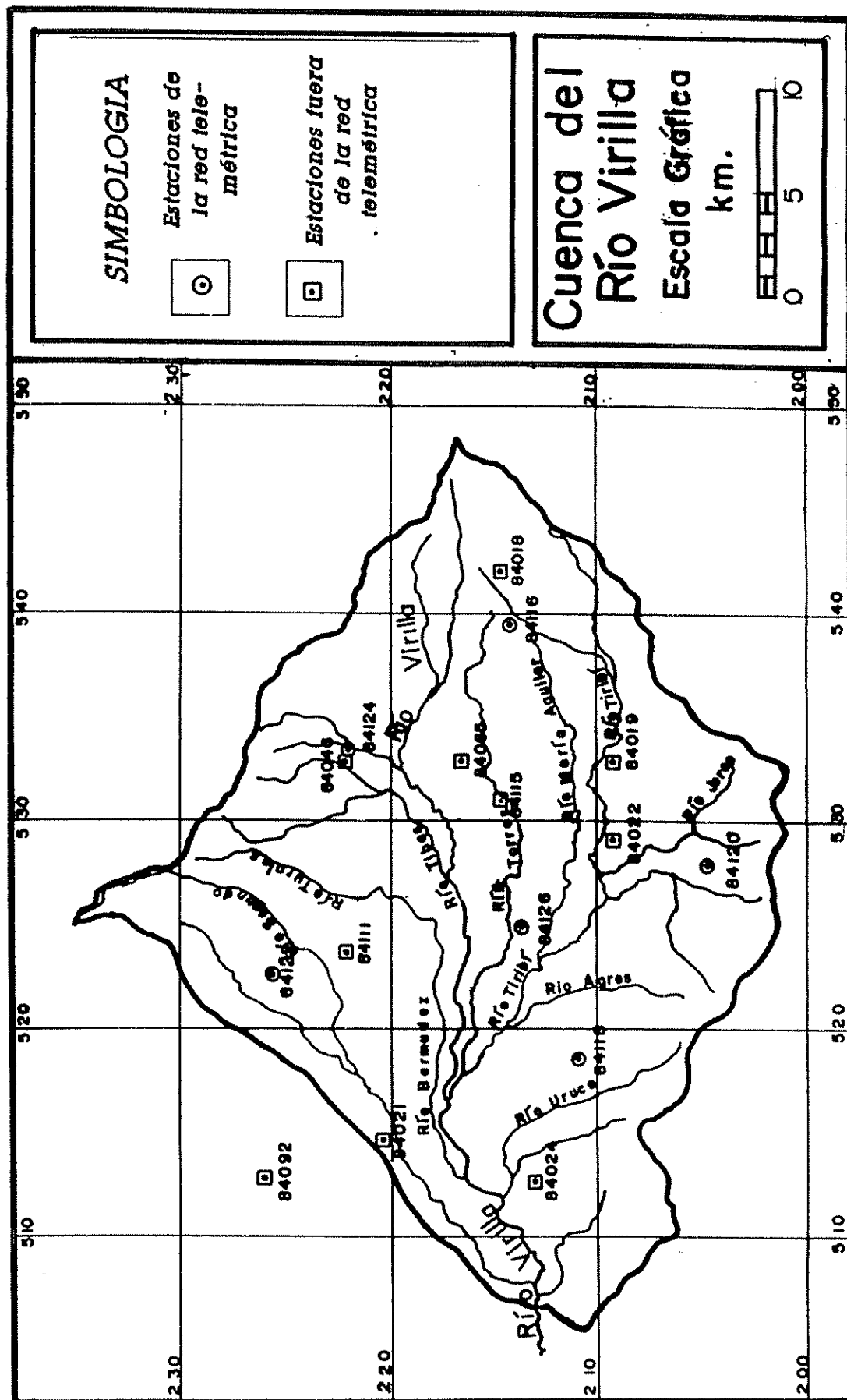


Figura 5.1. Localización de estaciones analizadas, en relación a la distribución de las lluvias para Oct. 90 y 91.

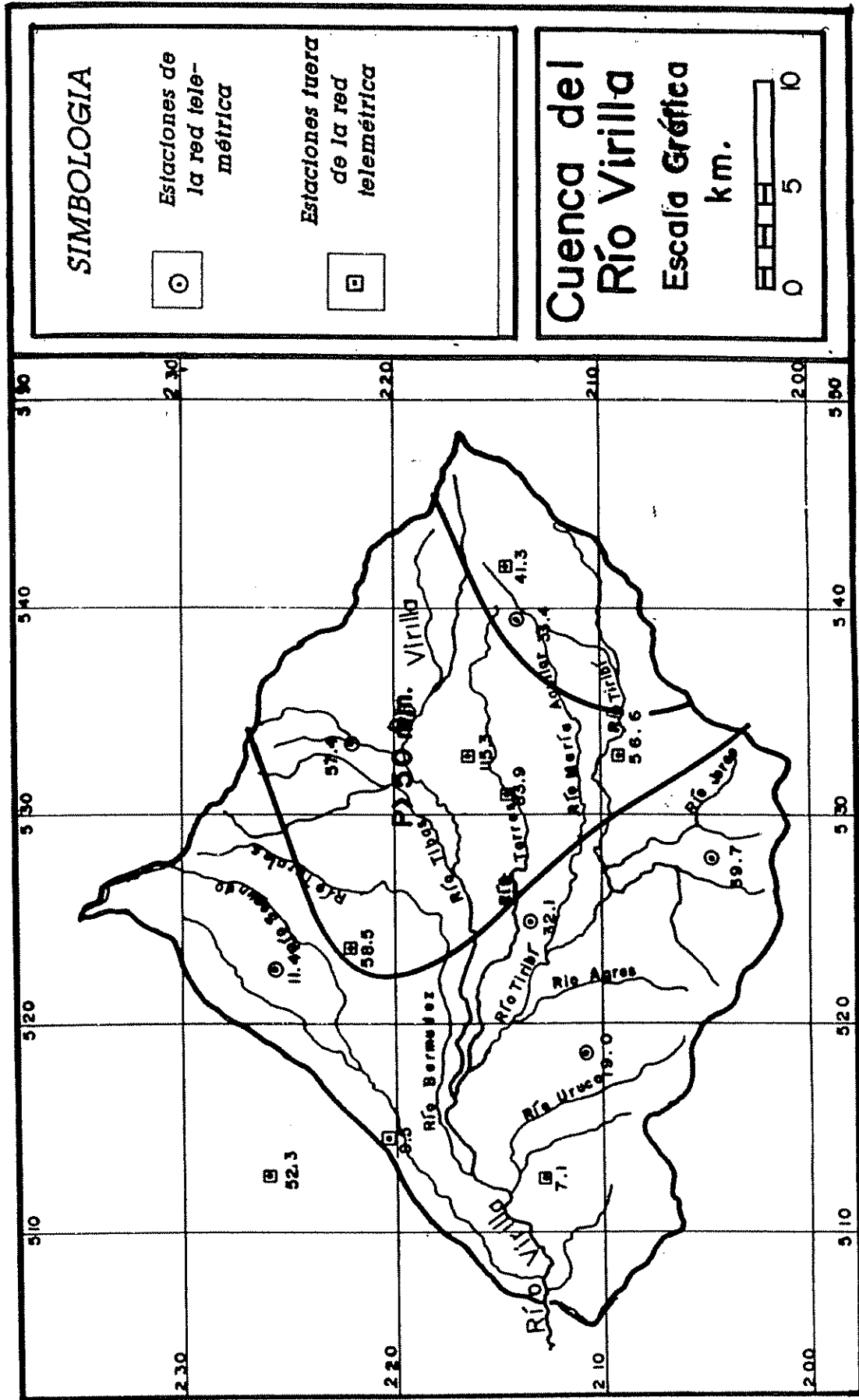


Figura 5.2. Distribución de la precipitación para el día 23 Oct 1990.

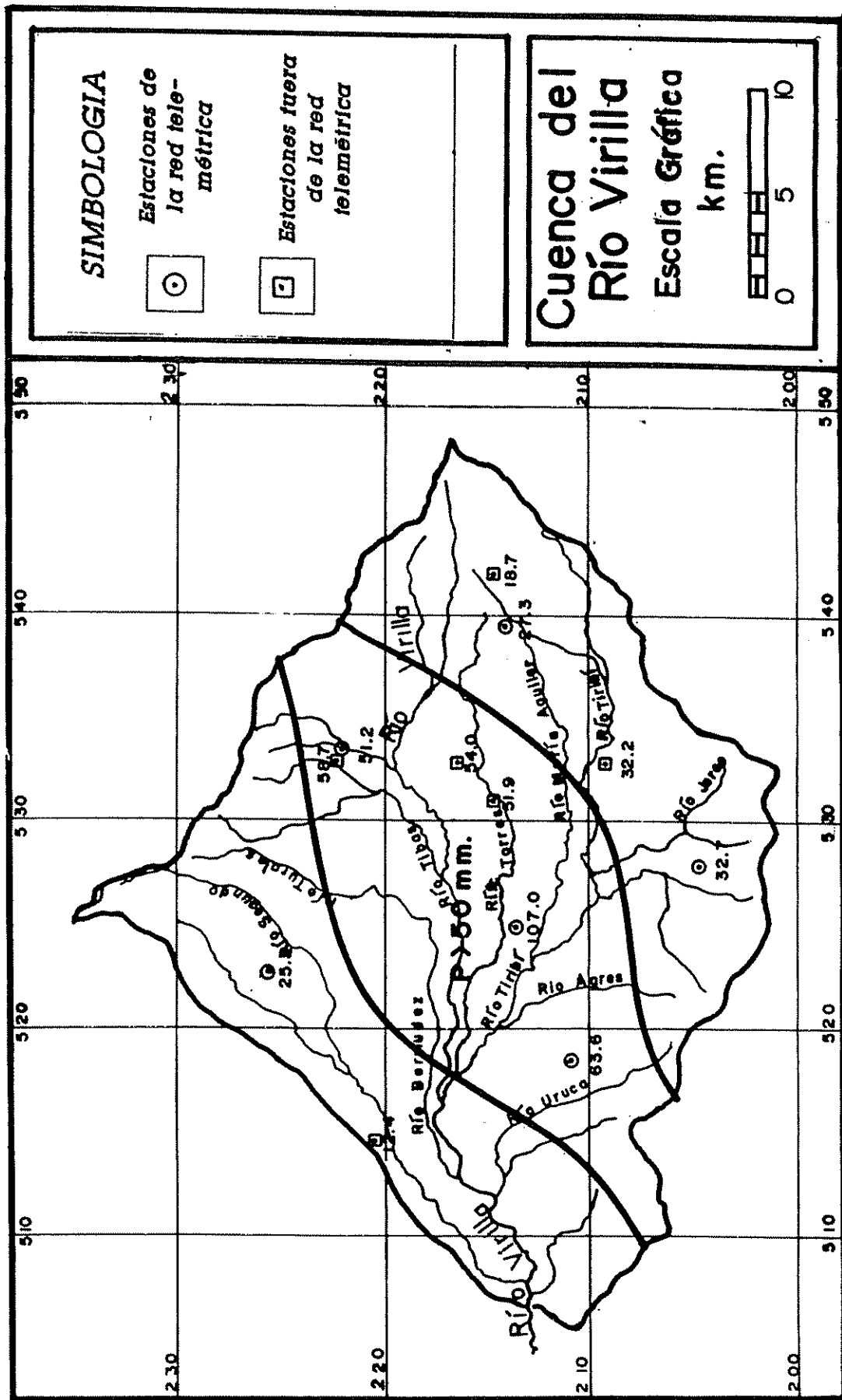


Figura 5.3. Distribución de la precipitación para el día 11 de Oct. 1991.

5.4 El modelo y su utilización en el sistema de pronóstico en tiempo real.

A la luz de los resultados obtenidos se concluye que el modelo NWS-PC es capaz de pronosticar en función de los datos de entrada la ocurrencia de caudales máximos en tiempo real. El cuerpo de parámetros con que está dotado permiten representar de forma muy aproximada el comportamiento del sistema hidrológico en estudio.

El sistema de pronóstico en que sería utilizado permite un margen de error ya que se trata de prevenir daños o evitar la paralización de infraestructura de aprovechamiento hidroeléctrico y no está en juego la vida humana.

El tiempo de maniobra, es decir, el período de tiempo entre la ocurrencia de los eventos de precipitación y la ocurrencia de caudales perjudiciales al sistema de aprovechamiento es sumamente corto: de una a cuatro horas, dependiendo de la distribución espacial y temporal de las lluvias. Esto limita la oportunidad del pronóstico y exige un articulado sistema de alarma y respuesta.

Es importante considerar en un sistema de pronóstico oportunidad de los registros de precipitación. La red telemétrica instalada presentó algunos problemas con información horaria al inicio de su operación, como puede apreciarse en el cuadro 5.1, en el cual la precipitación diaria fue calculada con base en información horaria en octubre 1990. Los vacíos de información se deben a interrupción en la transmisión de las estaciones

telemétricas. El cuadro 5.2 refleja una información horaria más completa para octubre 1991, atribuible a una mayor experiencia en la operación y mantenimiento de la red.

En relación a la información diaria, la red ha dejado de operar en muy raras ocasiones. Las estaciones telemétricas aunque dejen de transmitir, conservan los registros de precipitación.

6.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 El modelo describe adecuadamente la conducta hidrológica de la cuenca en unidades promedio diarias. La red telemétrica y la partición de la cuenca para el tránsito son suficientes para la simulación de caudales promedio diarios.

6.2 La simulación de caudales promedio horario no fue totalmente satisfactoria. Las limitantes, fuera de las propias del modelo, para lograr una adecuada simulación horaria son:

-El área escogida para calibrar los parámetros del modelo es muy grande dada la variabilidad espacial de las características físicas de la cuenca.

-La red telemétrica es insuficiente para medir el nivel de variación espacial de la lluvia necesaria para la simulación horaria, especialmente para los fenómenos de tipo convectivo.

-Siendo el registro telemétrico muy corto, es de esperar que conforme avance el registro, se mejore la calibración de los parámetros del modelo, gracias a la disponibilidad de datos que representen más fielmente los fenómenos lluvia-escurrimiento acaecidos.

6.3 Los resultados de la simulación diaria, coincidentes con los obtenidos por Oreamuno, R. (1979) y Jenkins, R. (1986), hacen concluir que el modelo tiene amplias posibilidades de utilización en sistemas de: irrigación, abastecimiento de agua potable e industrial, energía hidroeléctrica, navegación, etc.

6.4 Se recomienda continuar la presente investigación, para lo cual se proponen las siguientes acciones:

-Continuar la calibración del modelo NWS-PC, aumentando el nivel de partición de la cuenca a fin de representar adecuadamente la distribución espacial de las variables hidrológicas. Este nivel de partición tiene un límite dado por la posibilidad de disponer de una red de medición de caudales sumamente densa. En la figura 6.1 se presenta la red de estaciones hidrológicas existentes y una propuesta de densificación de esta red.

Se debe densificar la red de estaciones telemétricas de precipitación, las cual deberá hacerse con base en un estudio detallado de las características de ésta y tomando en cuenta la red de drenaje.

Dado que se necesita contar con una serie histórica de caudales que represente en buena medida el comportamiento de la cuenca ante diversas condiciones, la información de las nuevas estaciones no puede ser utilizada de inmediato para fines de calibrar el modelo. A fin de aprovechar la información de las estaciones existentes se

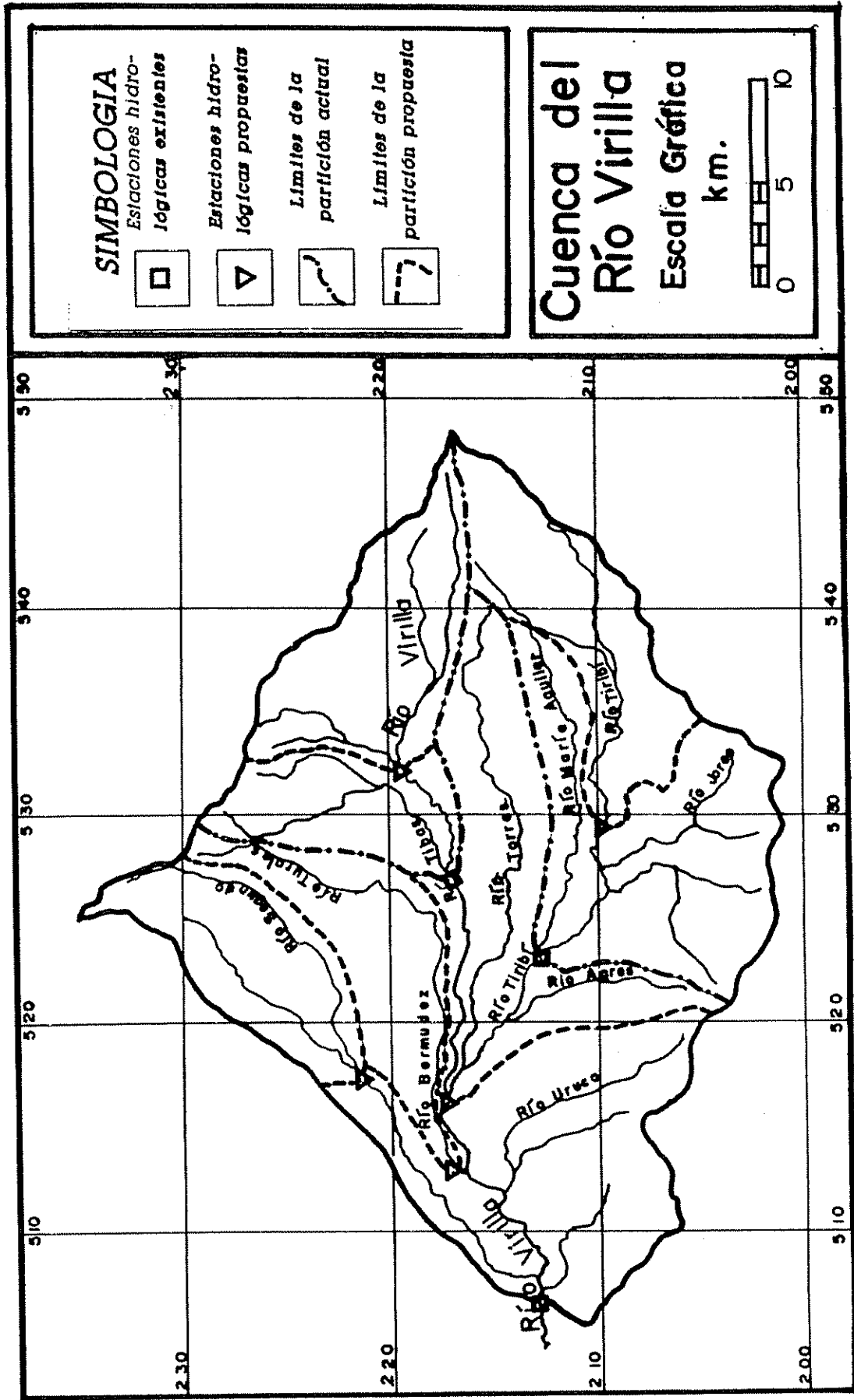


Figura 6.1. Propuesta de localización de nuevas estaciones hidro-lógicas.

propone el siguiente esquema de análisis que se ilustra en la figura 6.2. Este consiste en calibrar y simular separadamente la sub-cuenca "c" a partir de la estación Los Anonos cuyo hidrograma es transitado a la estación Nuestro Amo. A continuación se modela la sub-cuenca "b", y se transita sobre la sub-cuenca "a", hasta la estación Nuestro Amo donde se superpone el hidrograma generado por "a" y "b" con el generado por "c".

- Iniciar la calibración de otros modelos. Se recomienda utilizar modelos basados físicamente y de parámetros distribuidos espacialmente. La ventaja de utilizar modelos de este tipo radica en las posibilidades de aplicación adicionales a la de servir al sistema hidroeléctrico. Estas aplicaciones abarcan campos como evaluación de alternativas de manejo del suelo, en relación a sus características físicas y químicas, control de la calidad de agua y diseño de drenaje urbano; actividades de gran importancia en el área de estudio.

La aplicación de estos modelos requiere un mayor detalle en la información. Esto puede resolverse mediante el uso de información de sensores remotos (satélite, radar), actualmente accesible a nuestras condiciones, gracias al desarrollo de la Informática.

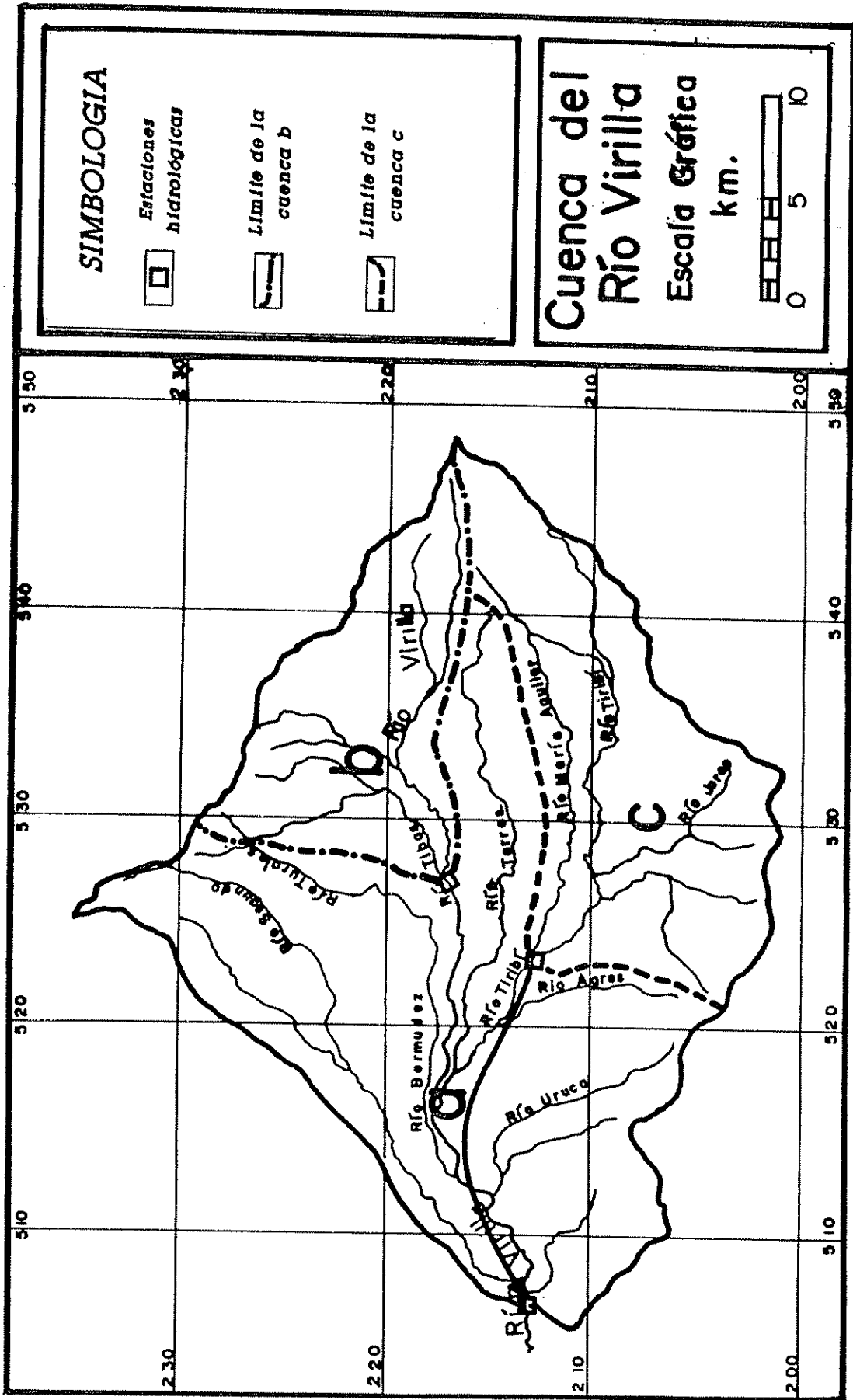


Figura 6.2. Esquema de análisis propuesto para la calibración del modelo, en base a las estaciones existentes.

7. BIBLIOGRAFIA.

- BARNES JUNIOR, H.H. 1967. Roughness Characteristics of Natural Channels; Geological Survey Water-Supply Paper 1849. Wash., EE.UU. United States Department of the Interior. 211p.
- BRAKENSIEK, D.L.; RAWLS, W.J. 1983. A procedure to predict Green and Ampt infiltration parameters. In Advances in Infiltration, Proceedings of the National Conference on Advances In Infiltration December 12-13, 1983 Chicago, Illinois. Mich. EE.UU., American Society of Agricultural Engineers. p. 102-112.
- CARR, D.P.; UNDERHILL, H.W. 1974. Los métodos de simulación en el aprovechamiento de los recursos hídricos. Roma, Italia, FAO Estudios sobre riego y avenamiento 23. 65p.
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. 1988. Applied Hydrology. New York, McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. 572 p.
- CLARK, R.T. 1973. Mathematical Models in Hydrology. Roma, Italia, FAO Irrigation and Drainage Papers 19. 182 p.
- COSTA RICA, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. 1991. Manual Descriptivo de la Leyenda del Mapa de Asociaciones de Subgrupos de Suelos de Costa Rica, Escala 1:200000. s.p.
- FRANCHINI, M.; PACCIANI, M. 1991. Comparative analysis of several conceptual rainfall-runoff models. Amsterdam, Elsevier Science Publishers B.V. Journal of Hydrology, 1991(122): 161-219.
- GEORGAKAKOS, K.P.; SMITH, G.P. 1990. On improved hydrologic forecasting - Results from a WMO real-time forecasting experiment. Amsterdam, Elsevier Science Publishers B.V. Journal of Hydrology, 1990(114): 17-45.
- IGN-CONICIT, 1983. El Sistema Fluvial de Tarcoles, Costa Rica: estudios preliminares sobre geomorfometría y geofactores básicos, contribución a la geografía general de Costa Rica. Ed. por E. Protti. San José, C.R. 90 p. mapas.

- JACKSON, T.J. 1982. Application and selection of hydrologic models. In Hydrologic Modeling of Small Watersheds. Ed. by C.T. Hann; H.P. Johnson; D.L. Brakiensiek. EE.UU., American Society of Agricultural Engineers. p. 475-504.
- JAMES, D.J.; BURGESS, S.J. 1982. Selection, calibration, and testing of hydrologic models. In Hydrologic Modeling of Small Watersheds. Ed. by C.T. Hann; H.P. Johnson; D.L. Brakiensiek. EE.UU., American Society of Agricultural Engineers. p. 457-472.
- JENKINS, R. 1986. Simulación Matemática en la Cuenca del Río Virilla, Costa Rica. Tesis Ing. Civil. Universidad de Costa Rica.
- KRUGER, L.R.; STROBING, G.; SCHULTZ, G.A. 1982. Satellite data as basis for the estimation of rainfall and runoff. In Advances in Hydrometry (Proceedings of Exeter Symposium, July 1982). IAHS 134. P. 273-284.
- KRZYSZTOFOWICZ, R.; DAVIS, D.R. 1983. A Methodology for Evaluation of Flood Forecast-Response Systems. 1. Analysis and Concepts. Water Resources Research, v.19, 1983(6):1423-1429.
- LARSON, C.L.; ONSTAD, C.A.; RICHARSON H.H.; BROOKS, K.N. 1982. Some particular watershed models. In Hydrologic Modeling of Small Watersheds. Ed. by C.T. Hann; H.P. Johnson; D.L. Brakiensiek. EE.UU., American Society of Agricultural Engineers. p. 410-435.
- LINSLEY, R.K.; KOHLER, M.A.; PAULUS. 1975. Hidrología para ingenieros. 2 ed. Trad. por Alejandro Deeb, Jaime Iván Ordoñez y Fabio Castrillón. Bogotá, Col. McGraw-Hill. 386 p.
- LINSLEY, R.K. 1981. Rainfall-runoff models - an overview. In Proceedings of the International Symposium of Rainfall-Runoff Modeling may 18-21. Miss., EE.UU. Colo., EE.UU. Water Resources Publications. p. 3-22.
- MARTINEC, J.; RANGO, A. 1989. Merits of Statistical Criteria for the Performance of Hydrological Models. Water Resources Bulletin, American Water Resources Association. v. 2, 1989(2):421-432.
- NAEF, F. 1981. Can we model the rainfall-runoff process today?. Hydrological Sciences - Bulletin. v. 26,3 (9):281-289.

- OMM. 1983. Operational hydrology in the humid tropical regions. In Hydrology of Humid Tropical Regions with Particular Reference to the Hydrological Effects of Agriculture and Forestry Practice (Proceedings of the Hamburg Symposium, agosto, 1983). IAHS 140. p. 3-26.
- OREAMUNO, R. 1979. Simulación Matemática en la Cuenca del Río Grande de Térraba, Costa Rica. Tesis Ing. Civil. Universidad de Costa Rica. 124 p.
- RAMIREZ, P. s.f. Evapotranspiración Potencial en Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica. p. 3-5.
- ROBBINS, K.D.; LINVILL, D.E.; NNAJI, S. 1985. Accesssing and Using Digitized Radar with Microcomputers. EE.UU., American Society of Agricultural Engineers. Transactions of the ASAE, v. 28(3): 763-766.
- SENARA-BGS 1985. Mapa Hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica. Surrey, England. E.S.R. Limited. Esc. 1:50000. Color.
- TABIOS III. G.Q.; OBEYSEKERA, J.T.B.; SALAS, J.D. 1986. National Weather Service Model-PC Version. Colo., EE.UU., Colorado State University. 137 p.
- WOOLHISER, D.A.; BRAKIENSIEK, D.L. 1982. In Hydrologic Modeling of Small Watersheds. Ed. by C.T. Hann; H.P. Johnson; D.L. Brakiensiek. EE.UU., American Society of Agricultural Engineers. p. 3-16.