

GB656.2
5546

GENERALIZACION DE PARAMETROS DE UN MODELO
DE SIMULACION HIDROLOGICA DE EVENTOS

Pedro J. Molas Franco

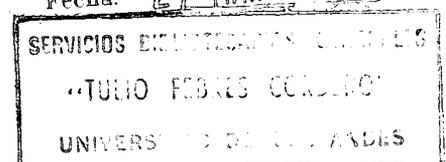
www.bdigital.ula.ve

Asesor Principal: Dr. Rafael M. Rojas

Tesis presentada como requisito parcial para
optar al título de Magister Scientiae en
Manejo de Cuencas Hidrográficas
Centro de Estudios Forestales de Postgrado
Facultad de Ciencias Forestales

Enero, 1985

Requiere para Graduación
Fecha: 27 MAR. 1985



www.bdigital.ula.ve

Este trabajo, como fruto
de mis esfuerzos,

lo dedico:

A MIS PADRES



AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a todas las personas e instituciones, que de alguna manera han colaborado a la cristalización de este trabajo y de mis estudios de postgrado, y en especial:

Al Profesor Dr. Rafael M. Rojas, por el asesoramiento a este trabajo, su desinteresado apoyo y por haberme facilitado su equipo particular de computación.

Al Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT) por el apoyo y las facilidades que me brindaron durante la elaboración de este trabajo.

A los profesores Carlos Grassi, Ricardo Smith, Jean Payen, Jesús M. López y Edgar Hernández, y a la compañera de Postgrado Ana Díaz de Ruíz, por las ayudas que me han brindado.

A la Organización de los Estados Americanos (OEA) por la beca que se me ha otorgado para el financiamiento de mis estudios.

Al Centro de Estudios Forestales de Postgrado y a la Facultad de Ciencias Forestales por las enseñanzas y ayudas que he recibido de ellos.

Al Ingeniero Remy Delphin expreso póstumos reconocimientos por ser quien inspiró mis estudios de postgrado.

A la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de Asunción, a la Secretaría Técnica de Planificación de mi país, el Paraguay, y al Ingeniero Victor Vidal, Director de la Carrera de Ingeniería Forestal por el apoyo brindado a mi candidatura, y por el interés demostrado en la marcha de mis estudios.

A Chavela, mi esposa, y toda mi familia por el inaudible apoyo moral que me brindaron en todo momento.

www.bdigital.ula.ve

CONTENIDO

	ACTA DE APROBACION, i
	DEDICATORIA, iii
	AGRADECIMIENTO, iv
	CONTENIDO, vi
	TABLAS y FIGURAS, x
	RESUMEN, xiii
1.	INTRODUCCION, 1
1.1	GENERALIDADES, 1
1.2	OBJETIVOS, 4
1.3	IMPORTANCIA, 5
2	REVISION DE LITERATURA, 6
2.1	ESTIMACION DE CRECIDAS, 6
2.2	FACTORES QUE AFECTAN LA ESCORRENTIA, 14
2.3	REGIONALIZACION Y GENERALIZACION HIDROLOGICA, 16
3	EL MODELO DE SIMULACION, 21
3.1	EL MODELO CONCEPTUAL, 21
3.1.1	Componentes del modelo conceptual, 22
3.2	FORMULACIONES MATEMATICAS DE LOS PROCESOS, 23
3.3	TRANSITO DE LA ESCORRENTIA, 30
3.4	SOLUCION DEL MODELO, 33
3.5	EL PROGRAMA DE COMPUTACION, 33

3.6	FUNCIONAMIENTO DEL MODELO,	36
3.7	APLICACIONES DEL MODELO,	48
3.7.1	Calibración,	38
3.7.2	Generación de crecidas,	39
3.7.3	Evaluación de la respuesta de la escorrentía a eventuales cambios,	40
4	METODO,	50
4.1	ELECCION DE LAS CUENCAS,	50
4.2	RECOPIACION DE INFORMACION,	51
4.3	ANALISIS Y ADECUACION DE LA INFORMACION,	58
4.3.1	Ubicación de la estación hidrométrica,	58
4.3.2	Area de la cuenca,	60
4.3.3	Longitud del cauce principal,	60
4.3.4	Tiempo de concentración de la escorrentía,	60
4.3.5	Pendiente del cauce principal,	61
4.3.6	Pendiente de la cuenca,	62
4.3.7	Información de suelos,	62
4.3.8	Eventos escogidos,	70
4.3.9	Precipitación,	70
4.3.10	Escorrentía,	74
4.3.11	CN y S por método gráfico,	75
4.3.12	CN II y S2,	75
4.3.13	Tiempo al pico del evento,	80
4.4	PROCESO DE CALIBRACION DEL MODELO,	80
4.4.1	Estimación de valores iniciales de los parámetros,	81
4.4.2	Prueba de sensibilidad de parámetros,	94
4.4.3	Obtención de valores de los parámetros,	95
4.4.4	Correlación de los parámetros con factores fisiográfico-hidrológicos,	96
4.4.5	Determinación de ecuaciones de regresión,	99
4.4.6	Verificación de la metodología de generalización,	100

5	RESULTADOS, 103
5.1	PRUEBA DE SENSIBILIDAD DE PARAMETROS, 103
5.1.1	Tiempo al pico del hidrograma unitario, 103
5.1.2	Humedad inicial del suelo, 104
5.1.3	Infiltración potencial estimada, 104
5.1.4	Agua subterránea inicial, 105
5.1.5	Factor de infiltración real, 105
5.1.6	Saturación del suelo, 106
5.1.7	Capacidad de campo, 106
5.1.8	Infiltración potencial máxima, 107
5.1.9	Factor de flujo subterráneo, 108
5.1.10	Exponente de la ecuación de infiltración, 108
5.1.11	Factor de flujo subsuperficial no saturado, 108
5.1.12	Factor de percolación, 109
5.1.13	Infiltración básica, 109
5.2	OBTENCION DE LOS VALORES DE LOS PARAMETROS, 109
5.3	ECUACIONES DE REGRESION DE LOS PARAMETROS, 122
5.4	VERIFICACION DE LA METODOLOGIA DE GENERALI- ZACION, 129
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, 131
6.1	CONCLUSIONES, 131
6.2	RECOMENDACIONES, 134
	REFERENCIAS, 136
	APENDICE A: LISTADO DEL PROGRAMA DE COMPUTACION,142
	APENDICE B: CLASIFICACION HIDROLOGICA DE LOS SUELOS, 149
	APENDICE C: RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO, 151

APENDICE D: NOMOGRAMA PARA LA ESTIMACION DEL CN,152
APENDICE E: CN PARA COMPLEJO SUELO-COBERTURA, 153
APENDICE F: NOMOGRAMA PARA LA ESTIMACION DE TIEM-
PO DE RETARDO, 155
APENDICE G: TABLAS DE RESULTADOS E HIDROGRAMAS DE
ALGUNOS EVENTOS CALIBRADOS, 156
APENDICE H: TABLAS DE RESULTADOS E HIDROGRAMAS DE
EVENTOS EMPLEADOS PARA LA VERIFICA -
CION DE LA METODOLOGIA DE GENERALIZA-
CION DE PARAMETROS, 172

www.bdigital.ula.ve

TABLAS Y FIGURAS

Tablas

- 3.1. Definición de variables del programa de computación, 42
- 4.1. Ejemplo de la información original utilizada, 55
- 4.2. Ejemplo de información hidrometeorológica de una cuenca, 56
- 4.3. Ejemplo de información correspondiente a un evento, 57
- 4.4. Características texturales y del perfil asociados a la permeabilidad del suelo, 64
- 4.5. Componentes de las clases texturales de suelo, 66
- 4.6. Características fisiográficas de las cuencas experimentales estudiadas, 67
- 4.7. Información procesada y adecuada de un evento, 72
- 4.8. Descripción de los eventos calibrados, 77
- 4.9. Rango de f_c para los grupos hidrológicos de suelos, 94
- 4.10. Interrelación entre los parámetros y los factores fisiográficos-hidrológicos, 98
- 4.11. Información utilizada para la verificación de la metodología de generalización de parámetros, 102
- 5.1. Valores de los parámetros obtenidos con la calibración del modelo, 119
- 5.2. Ecuaciones de regresión más recomendadas para estimación de los valores de los parámetros, 123
- 5.3. Ecuaciones de regresión para estimación de los parámetros en casos alternativos, 124

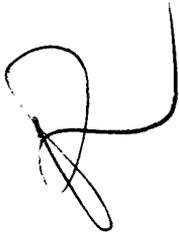
- 5.4. Ecuaciones de regresión obtenidas para OS, 125
- 5.5. Unidades de medidas de las variables dependientes e independientes de las ecuaciones de regresión, 126
- 5.6. Efectos del error promedio sobre los índices de calibración, 128
- 5.7. Parámetros de los eventos simulados para verificación de la metodología de generalización de parámetros, 150

Figuras

- 3.1. Componentes del modelo conceptual, 24
- 3.2. Función de infiltración real, 27
- 3.3. Procedimiento de cálculo de los coeficientes de tránsito, 31
- 3.4. Diagrama de flujo general del modelo, 34
- 3.5. Diagrama de flujo del programa principal del modelo, 46
- 4.1. Mapa de los Estados Unidos de América mostrando los Estados donde están situadas las cuencas experimentales estudiadas, 52
- 4.2. Situación de la cuenca experimental de la Quebrada La Cuesta dentro del territorio venezolano, 53
- 4.3. Hidrograma de un evento típico, 57
- 4.4. Mapa correspondiente a una cuenca, 59
- 4.5. Relaciones entre la condición de humedad antecedente, infiltración potencial y los niveles de humedad del suelo, 85
- 5.1. Prueba de sensibilidad de TP, 110
- 5.2. Prueba de sensibilidad de OS, 110
- 5.3. Prueba de sensibilidad de S, 111
- 5.4. Prueba de sensibilidad de OG, 111
- 5.5. Prueba de sensibilidad de KF, 112
- 5.6. Prueba de sensibilidad de SS, 112
- 5.7a. Prueba de sensibilidad de FC, 113

- 5.7b. Prueba de sensibilidad de FC, 113
- 5.8a. Prueba de sensibilidad de S1, 114
- 5.8b. Prueba de sensibilidad de S1, 114
- 5.8. Prueba de sensibilidad de AG, 115
- 5.10. Prueba de sensibilidad de NF, 115
- 5.11. Prueba de sensibilidad de FQ, 116
- 5.12. Prueba de sensibilidad de FK, 117
- 5.13. Prueba de sensibilidad de F0, 118

www.bdigital.ula.ve



R E S U M E N

El presente trabajo consiste en el desarrollo de una metodología para estimación de parámetros del modelo de simulación hidrológica de eventos desarrollados por Rojas (1984).

En la primera fase del trabajo fue recopilada información de 25 cuencas experimentales situadas, mayormente, en los Estados Unidos de Norteamérica, y una en Venezuela. La información fue procesada y adecuada para su utilización en la calibración del modelo, con la cual se obtuvieron los valores de los parámetros.

Mediante un procedimiento de regresión múltiple paso a paso, fueron correlacionados los parámetros del modelo con factores fisiográficos-hidrológicos de las cuencas. Con este se obtuvieron ecuaciones de regresión que permiten estimar los valores de los parámetros del modelo, de modo que éste puede ser aplicado para la simulación de crecidas en cuencas sin registro de escorrentía.

Para cada ecuación de regresión fue calculada su bondad de estimación expresada como porcentaje de error promedio, absoluto y real, así como los errores máximo y mínimo.

La metodología desarrollada fue verificada simulando crecidas en tres pequeñas cuencas situadas en los Estados Unidos. Los resultados demuestran que esta metodología puede aplicarse satisfactoriamente para la simulación de hidrogramas de crecidas, así como de crecidas máximas.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Este capítulo está dedicado a la identificación del problema objeto de estudio y la definición de los objetivos e importancia de este trabajo.

1.1 GENERALIDADES

Uno de los problemas graves que enfrenta la ingeniería hidrológica es la ausencia y/o escasez de registros de escorrentía que sirvan de base a la estimación de caudales máximos, de una frecuencia dada, para el diseño de obras hidráulicas y de conservación de suelos y aguas.

En la planificación de cuencas hidrográficas se acostumbra ejecutar planes de manejo a nivel de pequeñas cuencas, y en algunos casos, hasta de microcuencas. Los criterios de definición del área de una cuenca pequeña varían en cada país y de una región a otra.

Generalmente, y en especial en los países en vías de desarrollo, las cuencas pequeñas no cuentan con datos hidro

meteorológicos. La ausencia de registros de esorrentía o, en el mejor de los casos, su escasez o discontinuidad es la situación más frecuente. Obviamente, por circunstancias de orden económico y práctico, no es posible obtener mediciones de todas las corrientes naturales de agua y, más aún, en todos los puntos de interés.

La situación anterior implica la necesidad de contar con métodos confiables para estimar la esorrentía en pequeñas cuencas sin este registro.

La estimación de la esorrentía en pequeñas cuencas ha sido siempre un tema de interés para los hidrólogos. Desde los primeros tiempos de la hidrología como ciencia y hasta el presente, se han ensayado muchos modelos, la mayoría de ellos empíricos, para estimar las crecidas en base a relaciones precipitación-esorrentía. Esos modelos, por lo general, tienen aplicación muy limitada dado el carácter local de los parámetros que los conforman.

Por otra parte, la mayoría de esos modelos utilizan la precipitación como único dato de entrada, pero no consideran la variación temporal de la lluvia. Otra debilidad de esos modelos es el hecho de no contar con procedimientos adecuados para estimar las condiciones iniciales en que se encontraría la cuenca para el momento de ocurrencia del evento que se desea simular.

Consciente de la situación anterior y aprovechando las facilidades que ofrecen las computadoras actuales, los profesionales relacionados con el campo hidrológico han desarrollado modelos capaces de simular con bastante exactitud de la escorrentía que se producen en las cuencas pequeñas. En la actualidad se conocen varios de esos modelos que pueden ser utilizados para la simulación de escorrentía producidas por tormentas. Sin embargo, la mayoría de ellos requieren información muy detallada, o sólo pueden ser aplicados a cuencas con datos de escorrentía y algunos de ellos sólo pueden ser utilizados con computadoras de gran capacidad.

La necesidad de contar con un modelo paramétrico funcional, estructuralmente sencillo y que ofrezca la ventaja de poder desarrollar para el mismo alguna metodología para aplicarlo a cuencas sin datos de escorrentía, condujo a Rojas (1984) a elaborar un modelo tipo tanque para la simulación de crecidas en pequeñas cuencas. Este modelo fue desarrollado con el propósito de ofrecer a los hidrólogos, que trabajan en las oficinas regionales de planificación, un modelo de simulación que puede ser implementado en microcomputadoras de baja capacidad y que, a la vez, sirva como una herramienta útil para el diseño hidrológico.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es el desarrollo de una metodología, de validez general, para estimar valores de los parámetros del modelo de eventos desarrollados por Rojas (1984). Esta metodología permitirá la aplicación del modelo para la simulación de crecidas en cuencas sin datos de escorrentía.

Los objetivos específicos son:

1. Estudiar detalladamente el modelo de Rojas (1984), y definir método de estimación de los valores iniciales de sus parámetros y almacenamientos.
2. Recopilar, analizar y adecuar información relacionada a factores fisiográficos e hidrológicos de un número suficiente de pequeñas cuencas hidrográficas situadas en regiones geográficas diferentes.
3. Calibrar el modelo a las cuencas para los cuales fue obtenida la información mencionada. Con esta parte del trabajo se obtendrán valores de los parámetros del modelo para esas cuencas.
4. Realizar un estudio de correlación entre los parámetros del modelo y los factores fisiográficos-hidrológicos de las cuencas. Este permitirá la obtención de ecuaciones de regresión para estimar los valores de

los parámetros del modelo.

5. Verificar la metodología desarrollada.

1.3 IMPORTANCIA

La mayoría de los modelos de simulación, conocidos hasta el presente, sólo pueden aplicarse a cuencas con datos de escorrentía. En el caso de los modelos de eventos, éstos deben ser calibrados con un número adecuado de eventos a una cuenca determinada. Una vez obtenidos los valores de los parámetros para la cuenca, sólo deben estimarse los valores iniciales de los almacenamientos de la cuenca para cada evento, y luego se generan crecidas únicamente en función de los datos de precipitación.

Hasta el presente no se conoce ningún modelo de eventos capaz de simular todos los flujos componentes de la escorrentía y que, a la vez, sea de aplicación general para cuencas sin datos de escorrentía. Existen muchos modelos que simulan solamente la escorrentía directa producida por tormentas en cuencas sin datos de escorrentía, pero generalmente son aplicables al drenaje de áreas urbanas.

Por otra parte, ninguno de los modelos de eventos, que requiere previa calibración, cuenta con una metodología de validez general para la estimación de sus parámetros, de modo que pueda aplicarse para la generación de crecidas en cuencas sin datos de escorrentía.

CAPITULO 2

REVISION DE LITERATURA

Este capítulo contiene una revisión de literatura sobre algunos aspectos que pueden contribuir a la mejor comprensión y, a la vez, servir de apoyo al presente trabajo.

2.1 ESTIMACION DE CRECIDAS

La estimación de crecidas en cuencas pequeñas siempre ha llamado la atención de los hidrólogos, y en especial, las crecidas máximas en cuencas sin datos de escorrentía.

Wisler y Brater (1965) clasifican los métodos de estimación de la magnitud y frecuencia de las crecidas en tres grupos:

1. Métodos empíricos.
2. Métodos estadísticos o probalísticos.
3. Método del hidrograma unitario.

Entre los métodos empíricos (Rojas 1981a), la fórmula

racional es el más popular en el mundo entero. Sin embargo su utilización puede conducir a errores de gran magnitud, si no se consideran sus limitaciones.

Las limitaciones principales de la fórmula racional se deben al hecho de no considerar la humedad de la cuenca al momento de ocurrencia de la lluvia, asume que el coeficiente de escorrentía es constante durante la lluvia, y sólo brinda precisión para cuencas hasta de 50 - 100 hectáreas (Chow, 1964).

El método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos estima la escorrentía máxima en base a la lámina de precipitación efectiva y el hidrograma triangular, La lluvia de diseño se determina para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca. El método es de validez general (Rojas 1981a).

Existen muchos métodos empíricos de validez local o regional. Rojas (1981a) presenta 31 ecuaciones de este tipo. Esas ecuaciones, por lo general, son modificaciones de la fórmula racional, o del SCS.

Un ejemplo de los métodos estadísticos constituye el análisis regional de frecuencia. Según Rojas (1981a), éste consiste en la elaboración de curvas de frecuencia para diferentes cuencas y luego de un análisis de homogeneidad de las

mismas, se confeccionan curvas de frecuencia aplicables a cuencas comprendidas dentro de cada región homogénea.

Otra de las formas de sintetizar hidrogramas de crecidas es mediante la utilización de los hidrogramas unitarios, propuesto por Sherman (1932). Linsley et al. (1981) y Rojas (1981a) señalan que la utilización del hidrograma unitario para la estimación de la escorrentía máxima es muy práctico y sencillo puesto que basta con multiplicar el volumen de lluvia efectiva estimada para un cierto evento por el valor del caudal pico del hidrograma unitario.

Los métodos antes mencionados han sido desarrollados a partir de datos medidos de precipitación y escorrentía, como de algunos factores fisiográficos de las cuencas, con la finalidad de facilitar la estimación de crecidas únicamente basado en los datos de precipitación medidos y para períodos de retorno escogidos arbitrariamente.

El método más moderno y sofisticado para sintetizar hidrogramas de escorrentía lo constituyen los modelos de simulación hidrológica, que en algunos casos suelen ser el resultado de la combinación de los métodos mencionados anteriormente. Dichos modelos (Rojas, 1981a) pueden ser:

1. Determinísticos.
2. Paramétricos.
3. Estocásticos.

Overton y Meadows (1976) presentan amplia información relacionada a los modelos determinísticos y paramétricos. Los modelos determinísticos tienen una estructura teórica basada en leyes físicas de las condiciones iniciales y de límite del sistema, así como de los valores de entrada. En cambio, los modelos paramétricos son desarrollados menos rigurosamente, y generalmente son más simples.

Los dos enfoques de modelación son muy similares. La diferencia real radica en el número de coeficientes o parámetros involucrados. Los modelos determinísticos típicos tienen más procesos incluidos, y por consiguiente más coeficientes que deben ser determinados. Debido a las interacciones existentes entre los procesos en la naturaleza, se torna muy difícil determinar estos coeficientes en forma óptima. En cambio, los parámetros en un modelo paramétrico se determinan generalmente por técnicas de optimización.

Ambos enfoques de modelación requieren datos antes que el modelo pueda ser empleado. Otra diferencia real radica en la localización de los datos. Para los modelos determinísticos deben estar disponibles en el sitio de aplicación. Para los modelos paramétricos este requerimiento puede ser evitado empleando un enfoque de dos pasos. Primero, el modelo puede ser ajustado a los datos en el sitio donde son disponibles, a fin de obtener los parámetros óptimos para el modelo. Segundo, estos valores de parámetros

pueden, entonces, ser correlacionados con características físicas de la cuenca. Cuando esto se realiza sobre un área geográfica uniforme, se dice que el modelo está regionalizado. Una vez que las relaciones regionales entre las características del modelo han sido establecidas, es posible determinar las características del sitio en un lugar donde no hay datos hidrológicos para estimar los parámetros del modelo, y por lo tanto, hacer predicciones sobre bases científicas.

Según Duque (1980), los modelos determinísticos y paramétricos pueden considerarse iguales. En los modelos de simulación paramétrica el sistema hidrológico está representado por una serie de formulaciones matemáticas que describen la respuesta del sistema, o de una parte de él, a los datos de entrada. Los procesos físicos como infiltración, evapotranspiración, escurrimiento, interflujo, flujo subterráneo y esorrentía, están expresados como una relación funcional que responde a ciertos datos de entrada como son la precipitación y la evaporación. Es decir, pueden ser considerados como modelos de causa y efecto.

Los modelos paramétricos (Rojas, 1981a), por lo general, se basan en el tránsito de crecidas o alguna metodología similar. Recientemente hay una tendencia que utiliza la teoría de la onda cinemática en el desarrollo de estos modelos. Por lo general, los modelos requieren de muchos

datos, algunos difíciles de obtener y sólo pueden ser implementados con el uso de computadoras electrónicas.

Para la fecha han sido desarrollados muchos modelos de eventos de mayor o menor grado de complejidad. Sin embargo, la literatura sobre este tema no es tan abundante.

Overton y Meadows (1976), reportan los modelos determinísticos siguientes:

El Modelo de Escorrentía Rural, desarrollado por Kibler y Woolhiser (1970) es un modelo compuesto por la combinación de la ecuación de Richards y la onda cinemática. Simula la escorrentía directa producida por una tormenta.

Overton y Tsay (1974) desarrollaron el Modelo de Pico de Crecidas para el Diseño Urbano, utilizando una aproximación de la onda cinemática para el flujo superficial y el método del SCS para la estimación de la precipitación efectiva.

El SCS TR-20 Watershed Model (1964), citado por Larson et al. (1982), es un modelo determinístico que simula el caudal máximo y el tiempo de su ocurrencia. Puede ser aplicado a cuencas agrícolas, urbanas, y a cuencas sin datos estimando los parámetros del modelo a partir de las características de la misma.

El Modelo de Drenaje Urbano (Duque, 1981) desarrollado por Schaake (1971) aplica el tránsito cinemático, y los métodos del SCS y Horton para la determinación de la precipitación efectiva. Puede aplicarse a cuencas sin datos de escorrentía, pero requiere información detallada de la topografía y las características de la red de drenaje.

De los modelos mencionados a continuación, los tres primeros son presentados por Overton y Meadows (1976), como ejemplos de modelos paramétricos.

El Modelo del US Agricultural Research Service, utiliza un enfoque del hidrograma unitario por sub-áreas y la técnica de tránsito con almacenamiento en el cauce. Se utiliza principalmente en problemas relacionados con el control de inundaciones.

El Modelo del U.S. Geological Survey fue desarrollado originalmente para el análisis de picos de crecidas en áreas rurales, pero también puede emplearse para la simulación continua.

El Modelo de Eventos del TVA (Tennessee Valley Authority) fue desarrollado para la evaluación del efecto del uso de la tierra sobre la escorrentía en áreas rurales. El modelo conceptual está basado en el método del SCS. Los parámetros optimizados del modelo han sido correlacionados

con factores fisiográficos y meteorológicos de las cuencas.

El Distributed Model for Small Semiarid Watersheds fue desarrollado por Lane (1983) para ser aplicado a pequeñas cuencas situadas en regiones semiáridas, donde el régimen de la escorrentía es fundamentalmente efímero. En dichas cuencas, las pérdidas por transmisión afecta fuertemente el volumen de escorrentía. La escorrentía directa se estima por el método del SCS. El modelo puede aplicarse para la estimación del pico y el volumen de crecidas, así como para la estimación del caudal medio y frecuencia de las inundaciones.

Viessman et al. (1977) clasifican los modelos de eventos en dos grupos:

1. Modelos de simulación lluvia - escorrentía.
2. Modelos de simulación de escorrentía urbana.

Estos autores presentan descripciones y aplicaciones de varios modelos de este tipo.

El Modelo de LACROIX, reportado por Roche (1970), es un modelo determinístico, basado en la aplicación del hidrograma unitario, para simulación de crecidas.

Holtan y Overton (1965) desarrollaron un modelo paramétrico basado en el tránsito de crecida utilizando un coeficiente de tránsito. El modelo emplea dos transitos con

la mitad del almacenamiento para minimizar el efecto de histerénesis en la relación almacenamiento - escorrentía.

Rojas (1976) propuso un modelo para ser aplicado en el diseño de drenaje superficial en cuencas muy pequeñas sin datos de escorrentía. El modelo se basa en el tránsito de escorrentía y emplea un coeficiente de tránsito que fue determinado mediante una serie de pruebas con simuladores de lluvia.

Hiemstra y Reich (1967), compararon cinco métodos tradicionales de estimación de crecidas máximas. Llegaron a la conclusión que la fórmula racional, el método del Bureau of Public Roads (BPR), y la técnica del "tacitly maximized peak" (TMP) generalmente sobrestiman el pico de la crecida, mientras que los métodos de Chow y del SCS normalmente lo subestima. Determinaron que el método del BPR es el mejor, seguido del TMP.

Rojas (1981b) comparó ocho métodos de estimación de picos de crecidas aplicándolos a cuencas venezolanas y de los Estados Unidos. Concluyó que el modelo de drenaje de Rojas (1976) es el de mayor consistencia y exactitud, seguido por el método del SCS.

2.2 FACTORES QUE AFECTAN LA ESCORRENTIA

Wisler y Brater (1965) clasifican los factores que

afectan la escorrentía de una cuenca en dos grupos: climáticos y fisiográficos.

Entre los climáticos cuenta preincipalmente la precipitación, distinguiéndose en ella las características siguientes:

1. Tipo.
2. Intensidad.
3. Duración.
4. Distribución sobre la cuenca.
5. Dirección del movimiento de la tormenta.
6. Precipitación antecedente y humedad del suelo.
7. Otras condiciones climáticas que afectan la evapotranspiración.

Entre los factores fisiográficos se encuentran las siguientes características de la cuenca de drenaje:

1. Uso de la tierra.
2. Tipo de suelo.
3. Area.
4. Forma.
5. Elevación.
6. Pendiente.
7. Orientación.
8. Tipo de red de drenaje.
9. Extensión de drenaje indirecto.

10. Drenaje artificial.

Por otro lado, dichos autores afirman que la estimación de la escorrentía no puede determinarse, de ninguna manera, sólo en función de uno de estos factores. Cualquier ecuación que trate de estimar la escorrentía debe considerar varios de estos factores, puesto que la respuesta de la escorrentía de una cuenca es el resultado de la interacción de dichos factores.

2.3 REGIONALIZACION Y GENERALIZACION HIDROLOGICA

Los estudios de regionalización y generalización hidrológica consisten en la utilización de datos medidos en cuencas experimentales con el propósito de obtener expresiones empíricas que relacionan la escorrentía con algunos factores fisiográficos - hidrológicos de la cuenca. Si los datos provienen de un grupo de cuencas vecinas, comprendidas dentro de una región geográfica hidrológicamente uniforme, se trata de un estudio de regionalización. Si por el contrario, los datos provienen de cuencas situadas en regiones geográficas hidrológicamente diferentes, se tiene un estudio de generalización hidrológica.

Un estudio de regionalización sólo tiene validez para el área donde fue desarrollada. En cambio, un estudio de generalización es válido para los tipos de cuencas in-

cludidas en el estudio, y podría tener validez universal, toda vez que abarque cuencas de diversas regiones representativas del mundo entero.

La literatura relacionada a estudios de regionalización y generalización hidrológica no es tan abundante. Sin embargo, pueden citarse algunos casos como los mencionados a continuación:

Amisial et al. (1981) incluyen la simulación paramétrica entre las técnicas de regionalización y generalización hidrológica.

Según Overton y Meadows (1976) regionalizar un modelo significa desarrollar una base científica para estimar los parámetros del modelo en cuencas sin registros de escorrentía a partir de características hidrológicas y fisiográficas de las cuencas. La regionalización puede realizarse si existen cuencas con suficiente información y datos adecuados de precipitación - escorrentía que permitan encontrar alguna inferencia estadística.

Los estudios de regionalización y generalización para estimar parámetros de modelos de simulación aún son escasos. Un trabajo de este tipo fue realizado por Jarboe y Haan (1974). Ellos calibraron el Modelo Diario de Haan (1972) a 17 cuencas situadas en el Estado Kentucky, USA.

Luego, correlacionaron los cuatro parámetros del modelo con las características edafológicas, topográficas y geológicas de las cuencas, obtuvieron ecuaciones de regresión que permiten estimar los parámetros del modelo. Los resultados de la verificación de la metodología de estimación de parámetros revelan que el modelo puede ser aplicado satisfactoriamente a cuencas sin datos de escorrentía.

Overton y Meadows (1976) reportan el trabajo realizado por Ardis (1973). Este utilizó técnicas de regresión múltiple para desarrollar una metodología de regionalización de parámetros del Modelo de Eventos del TVA. Dicha metodología permite aplicar el modelo para la simulación de crecidas en cuencas sin datos de escorrentía.

Uno de los trabajos más recientes de este género fue realizado por Adrien (1984). Este calibró el Modelo Diario de Rojas a nueve cuencas de la región andina de Venezuela. Luego, correlacionó los parámetros del modelo con factores fisiográficos de las cuencas, obteniendo finalmente ecuaciones de regresión que permiten estimar los parámetros para la aplicación del modelo a la simulación de caudales diarios en cuencas sin datos de escorrentía.

Posewitz (1968) preparó unas tablas de rendimiento para cuencas de Venezuela.

Gabaldón (1968) elaboró curvas de frecuencia de crecidas para los principales ríos de Venezuela.

Christiansen y Hargreaves (1979) obtuvieron para Venezuela una ecuación para estimar la evaporación en base a la altitud y la precipitación media anual.

Avellán y Ayala (1970) prepararon hidrogramas unitarios con duración de una hora para varios ríos de Venezuela, y en base a ese análisis proponen un procedimiento para estimar el hidrograma de escorrentía en cuencas sin datos. El método sólo utiliza la lluvia efectiva estimada y el área de la cuenca.

Lane y Lai (1950), citado por Amisial (1982), realizaron un análisis regional del índice de variabilidad de la escorrentía para la parte oriental de los Estados Unidos. Para extender los resultados a cuencas sin registro de la región, correlacionaron los valores calculados del índice con las características fisiográficas de las cuencas.

Indudablemente, el método del SCS, reportado por Mokus (1972), puede considerarse como el más generalizado y válido para ser aplicado a cualquier cuenca. El método se basa en la relación que existe entre la infiltración y escorrentía potenciales (S y P_e) y los valores reales de ambos (F y Q) expresado de la forma siguiente:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{Pe} \quad (2.1)$$

La validez del método se sustenta en el gran número de cuencas utilizado para su formulación. Este método fue desarrollado para la estimación de la escorrentía directa producida por tormentas, basado en complejos suelo-cobertura y la humedad antecedente de la cuenca.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO 3

EL MODELO DE SIMULACION

En este trabajo se emplea un modelo de eventos tipo tanque desarrollado por Rojas (1984a). Este capítulo contiene una breve descripción de dicho modelo, así como las instrucciones principales para su uso y aplicación, basado en el trabajo de Rojas (1984a).

3.1 EL MODELO CONCEPTUAL

Un modelo tipo tanque conceptualiza el sistema hidrológico regional como una serie de reservorios interconectados, los cuales generan flujos parciales que contribuyen a la esorrentía en el cauce.

Los procesos de almacenamientos son simulados como si éstos ocurrieran en una serie de tanques intercomunicados. Los tanques representan los almacenamientos en los distintos estratos del suelo. El más sencillo de los modelos de este tipo considera solamente dos tanques. La Figura 3.1 muestra la composición conceptual del modelo con dos tanques.

3.1.1 Componentes del modelo conceptual

Los componentes del modelo conceptual son los almacenamientos y las transferencias. Los almacenamientos son simulados por los tanques con entradas y salidas. Las transferencias son simuladas por los flujos que tienen lugar a través de orificios. Los flujos pueden producir escorrentía, o comunicar los almacenamientos entre sí.

La entrada al sistema es la precipitación como lluvia. Parte de ésta cae directamente sobre el cauce conformando la intercepción del cauce. Si la intensidad de la precipitación supera la capacidad de infiltración, la lluvia restante se reparte entre escurrimiento e infiltración, y si es menor, todo el agua se infiltra. El escurrimiento contribuye directamente a la escorrentía en el cauce y la infiltración alimenta al almacenamiento de humedad del suelo.

El tanque del almacenamiento de humedad del suelo tiene tres niveles correspondientes a los umbrales de retención de humedad de los suelos, como son el punto de marchitez permanente, PMP, la capacidad de campo, FC, y la saturación del suelo, SSM. Cuando el contenido de humedad supera la saturación ocurre el flujo subsuperficial saturado. Em cambio, si el nivel de humedad se encuentra entre la saturación y capacidad de campo, se producen: flujo subsuper

ficial no saturado, Q_F y percolación, Q_1 . Los flujos sub_ superficial saturado y no saturado contribuyen al cauce, mientras que la percolación alimenta al almacenamiento de agua subterránea.

El almacenamiento de agua subterránea, GW , está representado por un tanque con un solo nivel, y dos salidas: el flujo base, Q_{GW} , y el flujo subterráneo efluente, P_X . El primero se suma a la escorrentía en el cauce, mientras que el segundo fluye hacia estratos más profundos que no son interceptados por el cauce en consideración. El modelo no considera el flujo subterráneo efluente ni afluente, que se escapa a las cuencas vecinas o proviene de ellas.

Como el modelo simula sólo crecidas en cuencas pequeñas y, por lo tanto, el tiempo considerado es corto, la evapotranspiración se torna un proceso irrelevante por lo que no se toma en cuenta dentro de la simulación de los procesos hidrológicos.

3.2 FORMULACIONES MATEMATICAS DE LOS PROCESOS

El modelo consiste en la simulación de los procesos hidrológicos que determinan los diferentes niveles de almacenamiento y los flujos provenientes de éstos, tal como ocurre en la cuenca hidrológica. Para la simulación de los procesos mencionados se emplean fórmulas empíricas sencillas, algunas de validez general reconocida. Los Almacene-

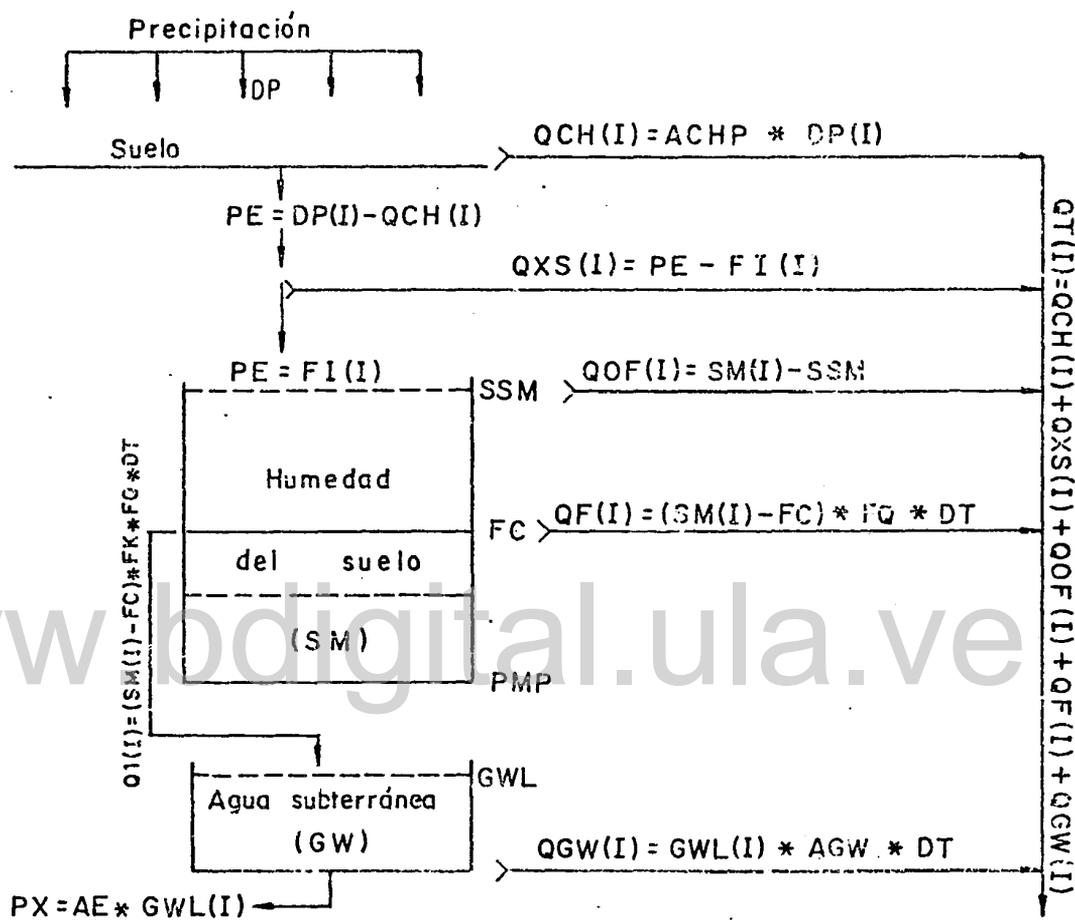


Figura 3.1 Componentes del modelo conceptual.

mientos son expresados como láminas y los flujos como láminas/tiempo.

Los procesos que simulan el modelo son básicamente los que componen el ciclo de escorrentía. Es decir, los procesos que condicionan la respuesta de la cuenca a la precipitación. Como tal, la entrada al modelo es la precipitación (Figura 3.1).

El primer proceso que se simula es la parte de la precipitación interceptada por el cauce:

$$QCH(I) = DP(I) * ACHP \quad (3.1)$$

donde: QCH = precipitación interceptada por el cauce (L/T),

ACHP = coeficiente que determina la fracción de DP.

DP = Precipitación (L) en el intervalo de tiempo, DT.

La precipitación restante, PE, será:

$$PE = DP(I) - QCH(I) \quad (3.2)$$

la cual puede infiltrarse y/o producir escurrimiento.

En las cuencas pequeñas, la intercepción del cauce representa una porción muy baja de la precipitación, razón por la cual, fue despreciada en la versión del modelo que fue utilizado en este trabajo. De esta forma queda:

$$PE = DP(I).$$

La infiltración real es calculada mediante una fórmula empírica del tipo siguiente:

$$FI(I) = F_0 + f(SM(I)) \quad (3.3)$$

donde: $FI(I)$ = lámina infiltrada en un intervalo de tiempo, DT , dado,

F_0 = infiltración básica (L/T),

$f(SM(I))$ = función de la humedad del suelo.

En la versión actual del modelo $f(SM(I))$ se define como:

$$f(SM(I)) = KF \left(\frac{SM(I-1)}{S_1 - SM(I-1)} \right)^{-NF} \quad (3.4)$$

donde:

S_1 = infiltración potencial máxima (L),

KF = capacidad de infiltración (L/T) que depende de S_1 y SM ,

NF = exponente de la función que define una pendiente negativa de la curva de infiltración.

Los parámetros F_0 y NF son dependientes de las características texturales y de cobertura del suelo, mientras que KF depende de estas y del nivel de humedad del suelo.

La Figura 3.2 muestra la función de infiltración definida por las ecuaciones (3.3) y (3.4).

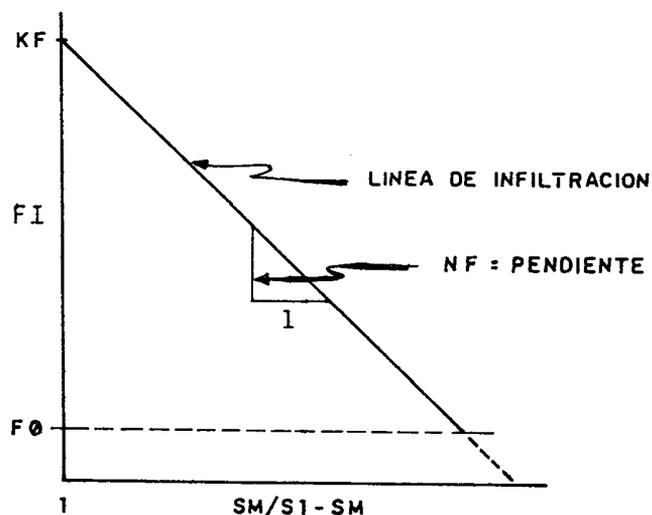


Figura 3.2 Función de infiltración real.

La Figura 3.2, muestra que la infiltración no puede ser inferior a F_0 , la cual representa la tasa de infiltración cuando el suelo se satura.

El escurrimiento es la porción de precipitación que supera la infiltración, de modo que:

$$QXS(I) = PE - FI(I) \quad (3.5)$$

donde:

$$QXS(I) = \text{escurrimiento (L/DT),}$$

$$FI(I) = \text{lámina infiltrada en el DT.}$$

Obviamente, si $PE < FI(I)$, $QXS(I) = 0$ y $FI(I) = PE$. La lámina infiltrada alimenta al almacenamiento de humedad del suelo representado por $SM(I)$. Por tanto, el nue-

vo valor de $SM(I)$ en un DT determinado será:

$$SM(I) = SM(I-1) + FI(I) \quad (3.6)$$

donde:

$SM(I-1)$ es el nivel de humedad del suelo en DT anterior.

El flujo subsuperficial saturado, QOF , ocurre sólo cuando $SM(I) >$ la saturación, SSM . Por tanto:

$$QOF = SM(I) - SSM \quad (3.7)$$

y la humedad del suelo, entonces, será:

$$SM(I) = SSM \quad (3.8)$$

El punto de saturación del suelo es función principal del espacio poroso total del mismo, el cual, a su vez depende de la textura y del contenido de materia orgánica.

Cuando $SM(I)$ está comprendido entre saturación y la capacidad de campo, se produce flujo subsuperficial no saturado, QF , y percolación, $Q1$. Estos procesos se definen del modo siguiente:

$$QF(I) = (SM(I) - FC) * FQ * DT \quad (3.9)$$

$$Q1(I) = (SM(I) - FC) * FK * FQ * DT \quad (3.10)$$

donde FQ es el coeficiente de flujo subsuperficial no sa



turado, que determina las fracciones de humedad del suelo que sale como QF y $Q1$ en un DT, y FK es el coeficiente de percolación. Estos parámetros están definidos por las características morfométricas de la cuenca, la textura y la permeabilidad del suelo.

Luego que ocurren QF y $Q1$, el contenido restante de humedad del suelo será:

$$SM(I) = SM(I) - (QF(I) + Q1(I)) \quad (3.11)$$

El almacenamiento de agua subterránea, GWL , en un DT determinado, está dado por:

$$GWL(I) = GWL(I-1) + Q1(I) \quad (3.12)$$

y el flujo base como:

$$QGW(I) = GWL(I) * AGW * DT \quad (3.13)$$

donde AGW es el coeficiente de agua subterránea que determina la fracción de GWL que sale en un DT. La velocidad del flujo subterráneo depende de la permeabilidad de los estratos que forman el subsuelo, la textura del suelo y las características morfométricas de la cuenca, como son el área, pendiente del cauce y la cuenca, y la longitud del cauce principal.

El flujo subterráneo efluente no es simulado en la

presente versión del modelo.

El nuevo valor del almacenamiento de agua subterránea en cada DT queda como:

$$GWL(I) = GWL(I) - QGW(I) \quad (3.14)$$

La escorrentía total, que fluye en el cauce, está dada por la suma de los flujos parciales:

$$QT(I) = QXS(I) + QOF(I) + QF(I) + QGW(I) \quad (3.15)$$

donde $QT(I)$ es la escorrentía total en el DT expresada en la lámina/tiempo.

www.bdigital.ula.ve

3.3 TRANSITO DE LA ESCORRENTIA

La ecuación (3.15) representa la escorrentía total que se produce en un punto sobre el cauce principal. Para reproducir el hidrograma a la salida de la cuenca, es necesario "transitar" esa escorrentía. El modelo utiliza un tránsito hidrológico, y para ello genera un hidrograma parcial para cada porción de escorrentía obtenida en cada intervalo de tiempo, DT. Luego el hidrograma total se obtiene sumando los hidrogramas parciales.

El hidrograma parcial se obtiene aplicando la escorrentía a un hidrograma unitario. Este hidrograma tiene una duración igual a DT y un tiempo al pico, TP, el cual es

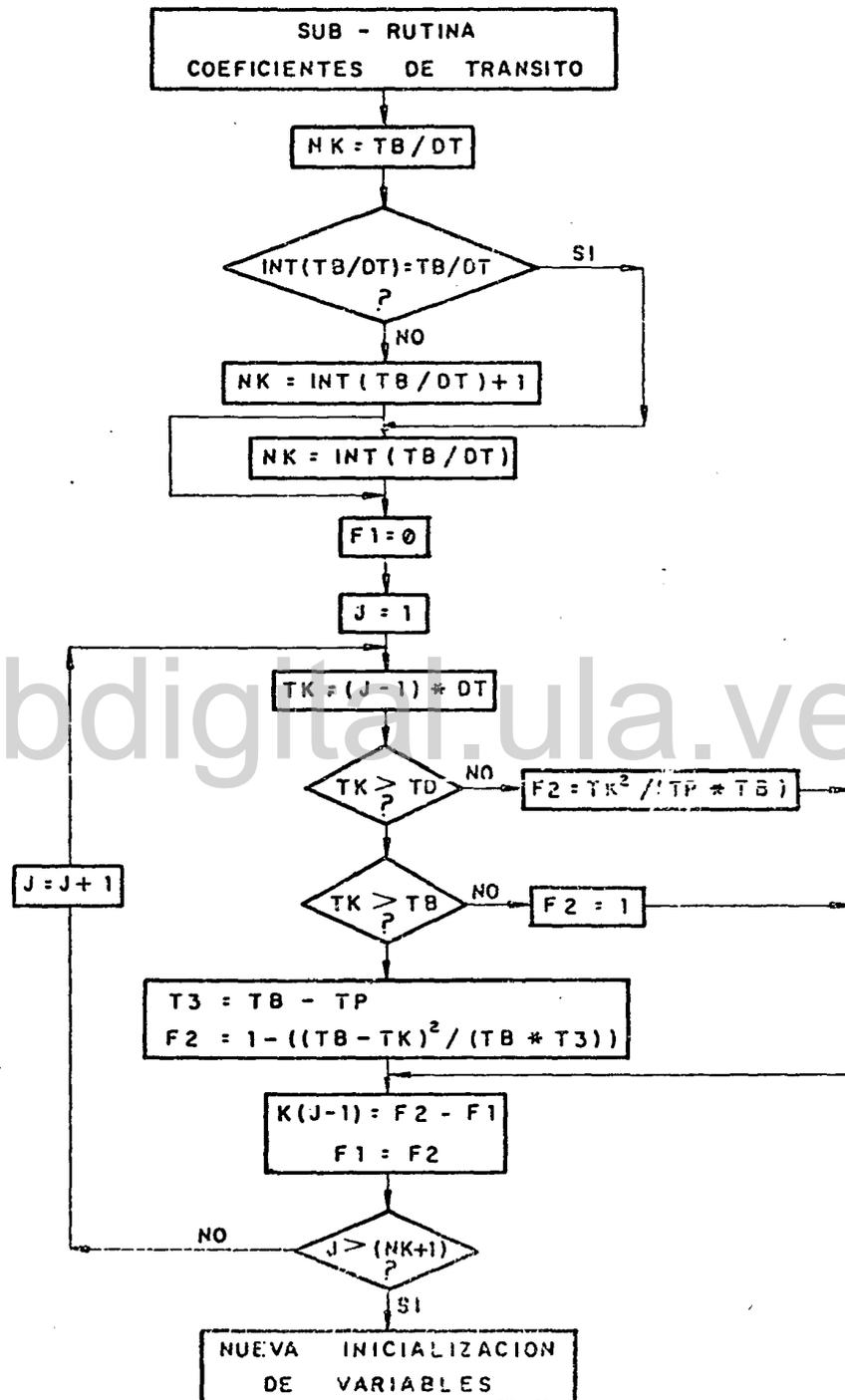


Figura 3.3 Procedimiento de cálculo de los coeficientes de tránsito.

función de las características de la cuenca y del evento. Para facilidad de cálculo, se adopta el hidrograma triangular del Soil Conservation Service (1972), en el cual el tiempo base, TB, es igual a:

$$TB = 2.67 TP \quad (3.16)$$

El tiempo base indica la duración de la influencia de cada hidrograma parcial. En el modelo, para cada DT, se calcula el aporte de cada hidrograma parcial, para ello, es necesario calcular los coeficientes de tránsito. El coeficiente de tránsito representa la porción de escorrentía con que cada hidrograma parcial contribuye al hidrograma total en cada intervalo de tiempo, DT.

Dentro del modelo, los coeficientes de tránsito son calculados en una sub-rutina especial. El valor del tiempo al pico, TP, es calibrado como un parámetro.

La Figura 3.3 muestra, esquemáticamente el procedimiento de cálculos de los coeficientes de tránsito.

Dentro de la estructura del modelo, la escorrentía se transita mediante una relación del tipo:

$$RQ(I) = K1QT(I) + K2 QT(I-1) + K3QT(I-2)+ \dots + KnQT(I-(n-1)) \quad (3.17)$$

donde:

$RQ(I)$ = escorrentía transitada en el intervalo de tiempo I ,

K_1, K_2, K_n = coeficientes de tránsito,

$QT(I)$ = escorrentía total en el intervalo de tiempo I .

3.4 SOLUCION DEL MODELO

La Figura 3.1 sólo representa un esquema conceptual del sistema hidrológico regional como estructura básica del modelo de simulación. El diagrama de flujo general del modelo, presentado en la Figura 3.4, muestra el procedimiento de solución del mismo. En este flujograma se observan otras formulaciones y condiciones que complementan la simulación de los procesos hidrológicos.

3.5 EL PROGRAMA DE COMPUTACION

El programa de computación consta del programa principal, el cual constituye el modelo de simulación propiamente dicho, y otras partes importantes que contribuyen a la funcionalidad del modelo, como son:

1. Instrucciones iniciales
2. Sub-rutina de lectura de datos
3. Sub-rutina de calibración
4. Sub-rutina de coeficientes de tránsito

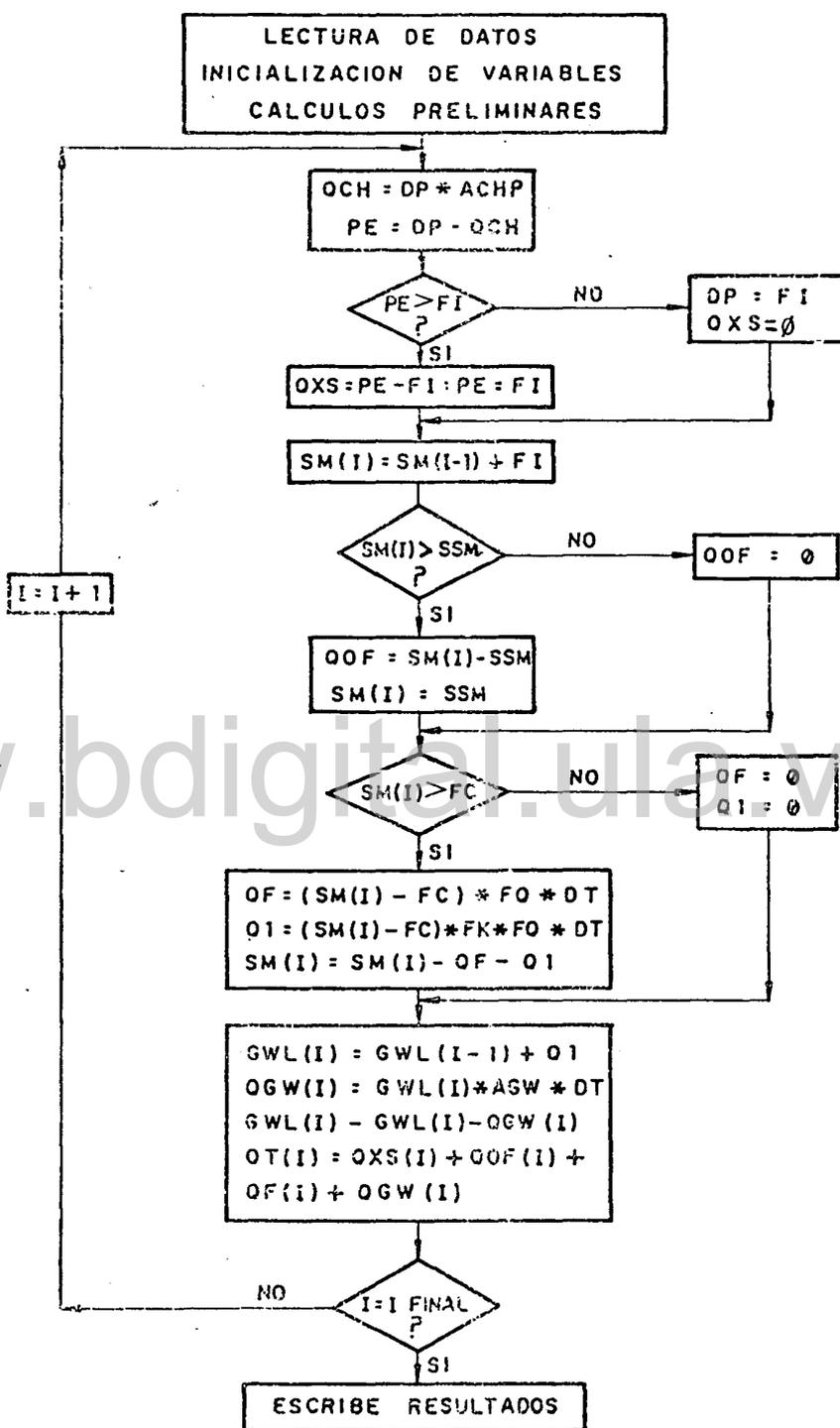


Figure 3.4 Diagrama de flujo general del modelo

5. Sub-rutina de tránsito de la lluvia efectiva
6. Sub-rutina de impresión de tablas y gráficos por pantalla.
7. Sub-rutina de impresión de tablas y gráficos por impresora

La sub-rutina de lectura de datos tiene cuatro opciones para las unidades de la esorrentía:

1. CFS = pies cúbicos por segundo
2. M3S = metros cúbicos por segundo
3. IPH = pulgadas por hora
4. MMH = milímetro por hora;

y tres opciones para las unidades de área de la cuenca:

1. HA = área en hectáreas
2. AA = área en acres
3. AM2 = área en metros cuadrados.

Las subrutinas de impresión ofrecen cinco opciones de salida de resultados:

1. GI = gráfico de resultados por impresora
2. GP = gráfico de resultados por pantalla
3. TI = tabla de resultados por impresora

4. TP = tabla de resultados por pantalla
5. RI = resumen de resultados por impresora.

La versión actual del programa de computación está escrito en lenguaje BASIC, e implementado en microcomputadora de baja capacidad de memoria.

La Tabla 3.1, contiene una lista de las variables empleadas en el programa. La Figura 3.5, muestra el diagrama de flujo del programa principal del modelo. En el apéndice A, se presenta el listado del programa de computación.

3.6 FUNCIONAMIENTO DEL MODELO

El modelo simula crecidas en base a datos de precipitación instantánea, almacenamientos iniciales y parámetros de la cuenca.

Para la calibración del modelo, los datos de entrada requeridos son:

1. Información de la cuenca
2. Precipitación acumulada para cada DT
3. Magnitud de la esorrentía para cada DT
4. Valores de los parámetros

La unidad de medida de la esorrentía determinan la unidad que debe emplearse para la precipitación, y en la

que saldrá expresada los resultados. Si la escorrentía se introduce en CFS o IPH, la precipitación deberá expresarse en pulgadas. En cambio, si se emplea MMH o M3S, la precipitación se introducirá en milímetros. Los resultados salen expresados siempre en la misma unidad de láminas empleada para la precipitación. Ejemplos de la salida del modelo se observan en los Apéndices G y H.

Las unidades de área pueden emplearse indistinta e independientemente de las unidades de la escorrentía.

Para la utilización del modelo debe crearse un archivo con los datos antes especificados. Luego, se ejecuta el modelo hasta lograr la calibración considerada como óptima.

3.7 APLICACIONES DEL MODELO

Básicamente, las posibles aplicaciones del modelo son: generación de hidrogramas de crecidas, y evaluación de la respuesta de la escorrentía a eventuales cambios dentro de la cuenca. La generación de hidrogramas de crecidas pueden efectuarse una vez conocidos los valores de los parámetros del modelo. Dichos valores pueden obtenerse por calibración previa del modelo a una determinada cuenca, o un grupo de cuencas para las cuales son desarrollados métodos de regionalización o generalización de parámetros.

3.7.1 Calibración.

La calibración consiste en lograr el ajuste de los hidrogramas medidos y simulados, ya sea con técnica de optimización manual o automática, con la cual se estiman los valores de los parámetros del modelo para una determinada cuenca.

El modelo tiene cinco parámetros, cuyos valores dependen de las condiciones del evento: TP, OS, S, OG, KF, y ocho que están en función de los factores fisiográficos de la cuenca: SS, FC, S1, AG, NF, FQ, FK, F0. De modo que, para todos los eventos calibrados en una misma cuenca podrán variar los valores de los parámetros del primer grupo mm mientras que los del segundo grupo serán constantes.

Una vez calibrado un número suficiente de eventos en una cuenca determinada, ya se conocen los valores de los parámetros dependientes de los factores fisiográficos. Por otra parte, para los parámetros cuyos valores varían con los eventos, puede desarrollarse métodos de estimación, consistente en ecuaciones de regresión, que permitan estimar sus valores en función de factores variables como la humedad antecedente, la intensidad de la precipitación efectiva, la duración de los eventos, cobertura, etc. De esta forma puede conocerse los parámetros del modelo para cualquier evento en esa cuenca.

Cuando se dispone de información perteneciente a varias cuencas, y se logra calibrar el modelo con un número conveniente de eventos en esas cuencas, puede desarrollarse metodologías de validez regional o general para estimar los valores de los parámetros de otras cuencas similares. En este caso, se trata de estudios de regionalización o generalización de los parámetros del modelo.

3.7.2 Generación de crecidas.

La generación de crecidas consiste en la simulación de eventos con el modelo, a partir de los datos de precipitación y de la cuenca, así como de los valores de los parámetros.

Los parámetros pueden obtenerse con los métodos explicados en el ítem 3.7.1. La simulación se puede efectuar para eventos medidos o eventos máximos.

Si se trata de reproducir una crecida medida, primero se suministran al modelo los valores de los parámetros y almacenamientos iniciales, así como los datos de precipitación y escorrentía registrados; luego se ejecuta el modelo para simular la crecida.

La aplicación más interesante del modelo puede ser la generación de crecidas máximas. En este caso, el pri-

mer paso consistirá en determinar la lluvia de diseño a utilizar. Rojas (1981a) presenta métodos para estimar la lluvia de diseño, y la manera de distribuirla temporalmente según el DT escogido. Seguidamente deberá determinarse los valores de los almacenamientos iniciales, OS y OG. Obviamente, el nivel de OS escogido determinará, juntamente con el diseño, la magnitud de la crecida. El valor se mirse en relación a la capacidad de campo o al suelo. Luego se modifican las instrucciones de la escorrentía medida y, finalmente, se procede para simular la crecida máxima. La crecida será la crecida de diseño.

Se puede simularse la crecida producida por una precipitación, los valores de los parámetros iniciales estimados; y se procede como anterior. Las crecidas generadas de este modo, posteriormente, a un análisis de frecuencia para determinar crecidas para períodos de retorno deseados.

3.7.3 Evaluación de la respuesta de la escorrentía a eventuales cambios

La evaluación de la respuesta de la escorrentía a eventuales cambios en el patrón de uso de la tierra, o a la

modificación del régimen de precipitaciones dentro de la cuenca constituye otra interesante aplicación posible del modelo.

En ambos casos, el primer paso será la obtención de los valores de los parámetros para las condiciones reinantes en la cuenca. Si se trata de una cuenca con datos de escorrentía, los parámetros podrán obtenerse mediante calibración. En las cuencas que no cuentan con dicho dato, los valores de parámetros podrán obtenerse con los métodos de regionalización o generalización.

La respuesta de la escorrentía a eventuales cambios del uso de la tierra, se logra mediante el ajuste adecuado de los parámetros que son afectados por tales cambios.

La predicción de la respuesta de la escorrentía a una eventual modificación del régimen de precipitación sobre la cuenca, podrá simularse afectando la entrada al modelo, que es la precipitación, por un factor que exprese la magnitud de tal modificación.

TABLA 3.1

Definición de las variables del programa principal.

Variable	Significado
AA	Area de la cuenca en acres
ACHP	Factor de la intercepción del cauce
AF=AFQ	Flujo subsuperficial no saturado acumulado
AG=AGW	Factor de flujo subterráneo
ARQ	Escorrentía total estimada, transitada y acumulada
CG=CGWQ	Flujo subterráneo acumulado
CHQA	Intercepción del cauce acumulada
CMQ	Caudal medido acumulado, expresado como intensidad
CQ=CQ1	Percolación acumulada
DP(I)	Precipitación en el incremento de tiempo, DT
DS=DSM	Incremento del almacenamiento de humedad del suelo
DT	Incremento de tiempo para la precipitación y escorrentía medidas, y la simulación de los procesos
EP	Precipitación efectiva global
FG	Capacidad de campo
FI	Lámina real infiltrada
FM	Máxima infiltración en un DT
FQ	Factor de flujo superficial no saturado
FK	Factor de percolación
FS=FSUM	Suma de QF transitado
F0	Infiltración básica o mínima
GWL(I)	Almacenamiento de agua subterránea
HA	Area de la cuenca en hectáreas

Continuación TABLA 3.1

Variable	Significado
HA	Area de la cuenca en hectáreas
HS=HSUM	Suma de QT transitada
IA	Pérdidas o abstracciones iniciales
KF	Coefficiente de infiltración real
NF	Exponente de la ecuación de infiltración real
OF=OFQA	Flujo subsuperficial saturado acumulado
OG=OGW	Almacenamiento inicial de agua subterránea
OS=OSM	Almacenamiento inicial de humedad del suelo
PAC(I)	Precipitación acumulada
PE	Precipitación efectiva en cada DT, es la que sobra después de restar DP del valor de QCH
PF=PFQ	Pico de QF
PM	Máxima intensidad de precipitación en un DT
PK=PKQR	Máximo caudal estimado
QCH(I)	Precipitación interceptada por el cauce
QF(I)	Flujo subsuperficial no saturado
QGW(I)	Flujo subterráneo
QOF	Flujo subsuperficial saturado
QP=QPK	Máximo caudal medido
QT(I)	Escorrentía total estimada no transitada para un DT
QXS(I)	Escorrentía directa (escurrimiento)
Q1(I)	Percolación en un DT
S	Infiltración potencial (SCS) estimada
S'M(I)	Almacenamiento de humedad del suelo

Continuación Tabla 3.1

Variable	Significado
SS=SSM	Saturación del suelo
SUM	Suma del cuadrado del error
S1	Infiltración potencial máxima
T(I)	Tiempo acumulado
TB	Tiempo base del hidrograma unitario.
TP	Tiempo al pico del hidrograma unitario
TQA	Total de escorrentía acumulada sin transitar
XA=XAMQ	Caudal medido promedio acumulado
XS=XSQA	Escorrentía directa acumulada

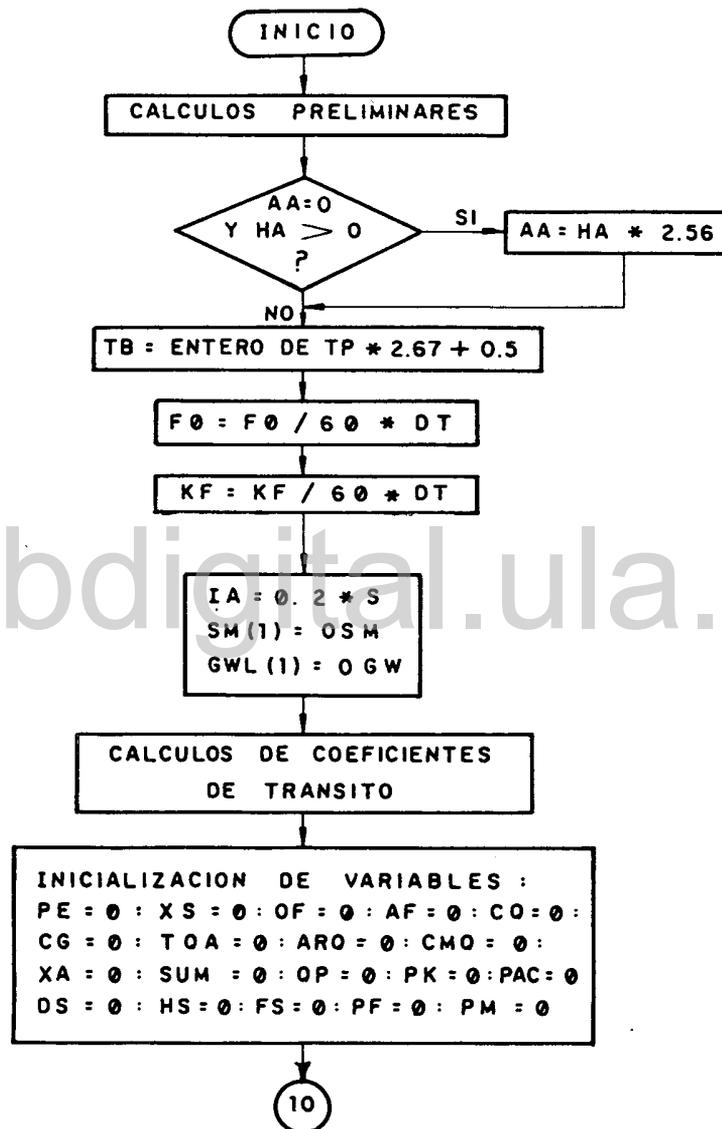
Definición de las principales variables auxiliares

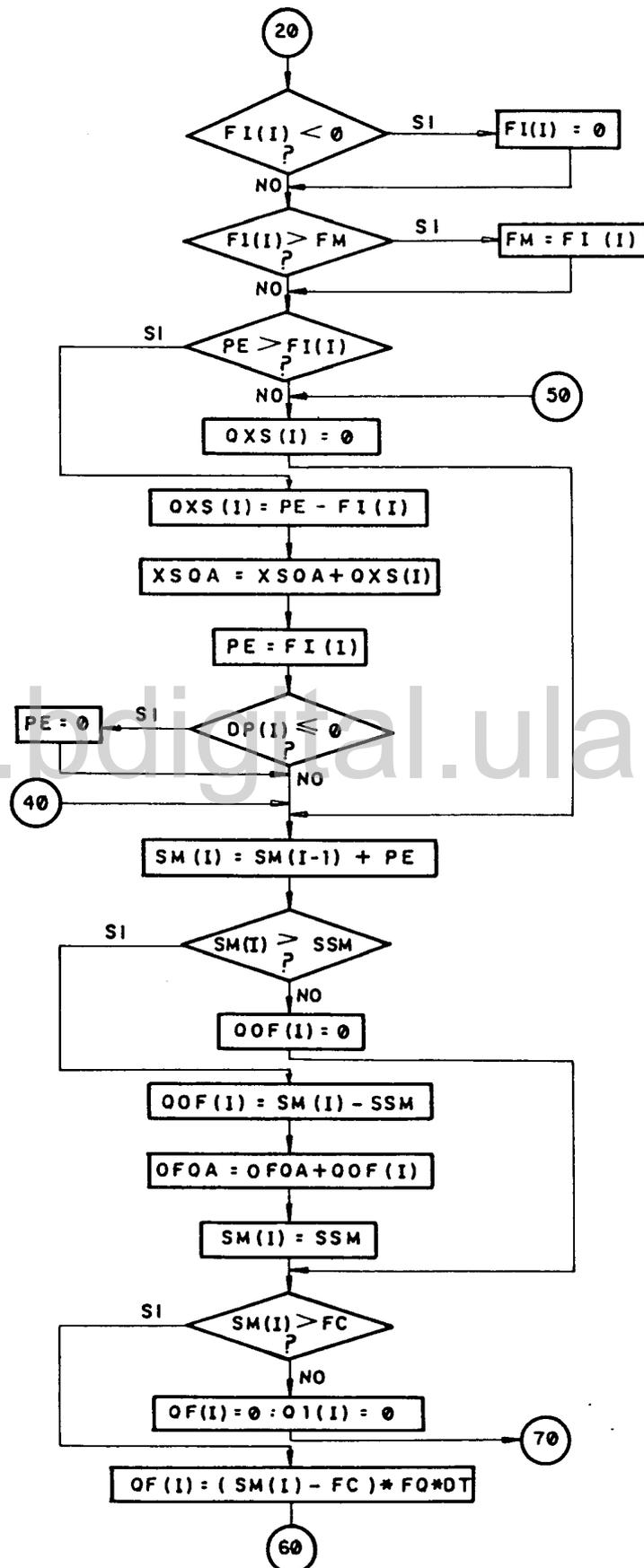
Variable	Significado
AVQ	Caudal medido promedio (average)
BAL	Balance hidrológico
CC	Coefficiente de calibración
CFS	Pies cúbicos por segundo
DGW	Incremento de GWL
FF	Factor de corrección de las unidades de área
F1, F2	Funciones de área bajo el hidrograma triangular
"GI"	Gráfico de resultados por impresora
"GP"	Gráfico de resultados por pantalla
IPH	Pulgadas por hora
K(J)	Coefficiente de tránsito
LC	Longitud del cauce principal

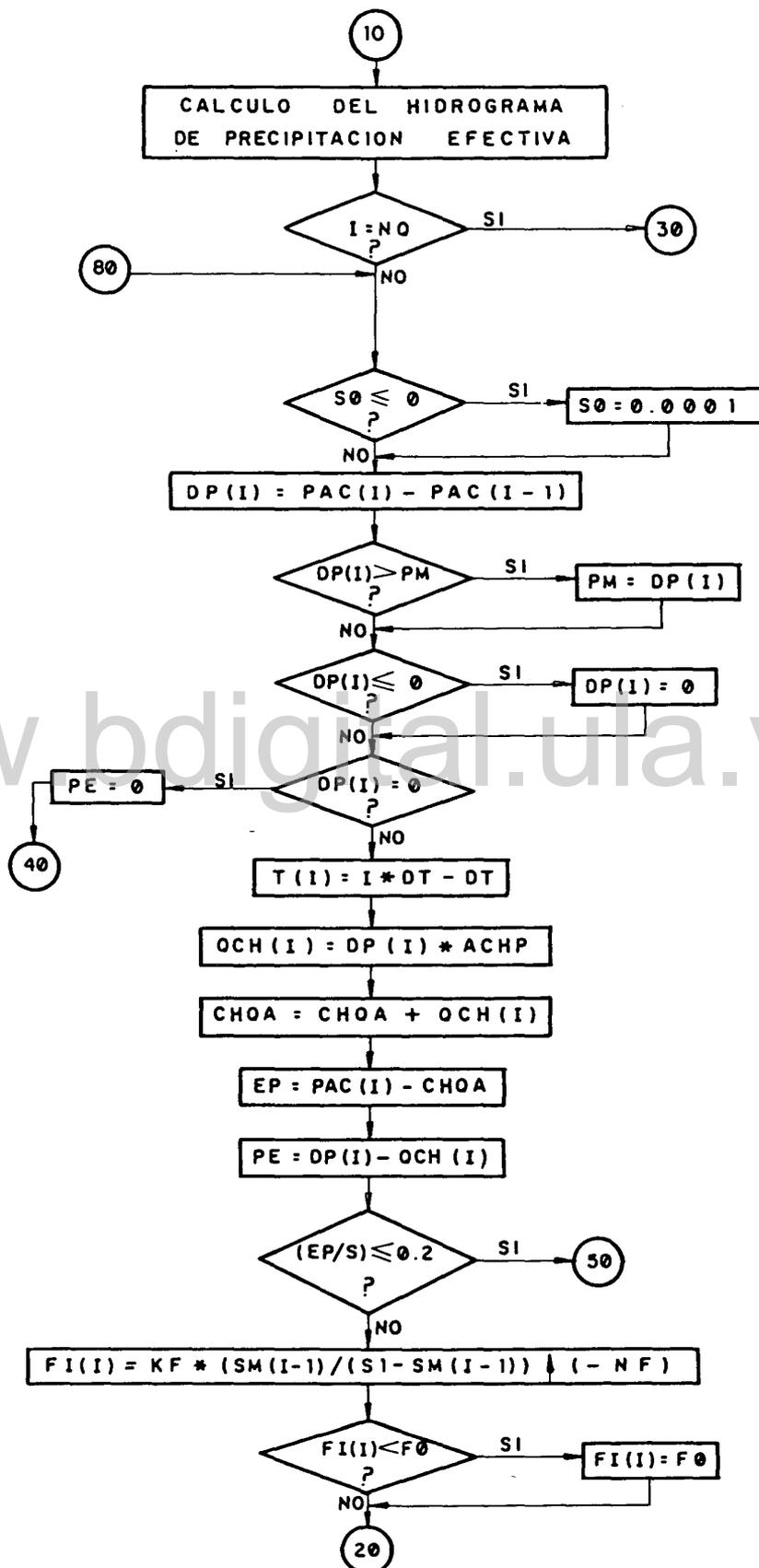
Continuación Tabla 3.1

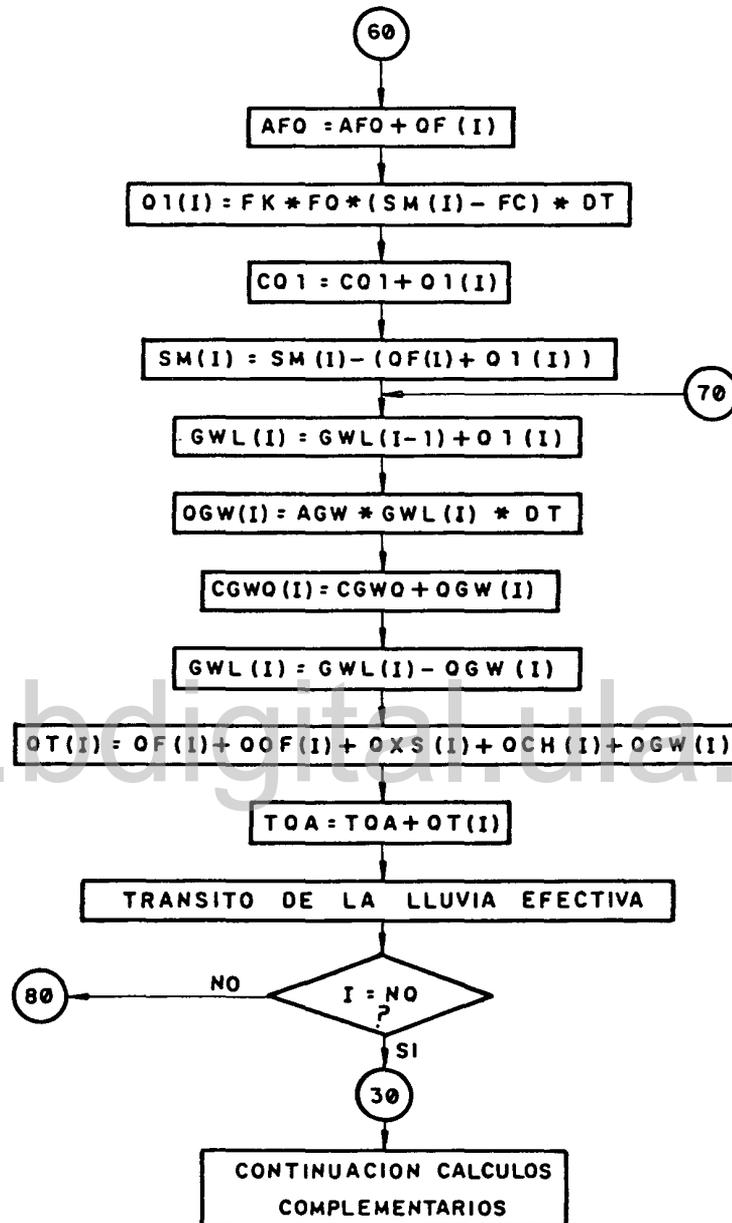
Variable	Significado
MMH	Milímetros por hora
MQ(I)	Caudal medido para un DT
M3S	Metros cúbicos por segundo
NK	Número de puntos del hidrograma transitado
NP	Número de puntos de precipitación
NQ	Número de puntos del caudal medido
OP\$	Opciones de impresión: GP, GI, RI, TI, TP
OQ(I)	Promedio de caudal medido para un DT
RF(I)	Flujo subsuperficial transitado
"RI"	Resumen de resultados por impresora
RQ(I)	Escorrentía total estimada y transitada para un DT
SE	Error estandar
SG	Pendiente (%) del cauce principal
"TI"	Tabla de resultados por impresora
TK	Tiempo de tránsito transcurrido
"TP"	Tabla de resultados por pantalla
UQ\$	Unidades de la escorrentía: CFS, IPH, MMH, M3S
VP	Valor del parámetro

Figura 3.5 Diagrama de flujo del programa principal del modelo.









CAPITULO 4

M E T O D O

En este capítulo se expone el procedimiento seguido para alcanzar los objetivos propuestos.

4.1 ELECCION DE LAS CUENCAS

La aplicación del modelo y los objetivos del trabajo requieren contar con información fisiográfica-hidrológica detallada de las cuencas hidrográficas. Con este propósito se recabaron las informaciones disponibles de inmediato y otras posibles fuentes de información.

Dicha búsqueda condujo a la elección, mayormente, de cuencas experimentales de los Estados Unidos de Norteamérica, puesto que dentro del territorio venezolano se ha logrado únicamente información completa de una cuenca experimental. Esta fue la cuenca experimental de la Quebrada La Cuesta, perteneciente al CIDIAT. Dentro de los Estados Unidos se escogieron 24 cuencas experimentales. De este modo, fueron escogidas en total 25 cuencas.

En las Figuras 4.1 y 4.2 se señala la ubicación de las cuencas escogidas.

4.2 RECOPIACION DE INFORMACION

Una vez identificadas las cuencas que cuentan con toda la información fisiográfica-hidrológica requerida, fueron recopilados datos relacionados a los aspectos siguientes:

1. Información fisiográfica de las cuencas

Ubicación de la estación hidrométrica

Area de la cuenca

Longitud del cauce principal

Tiempo de concentración de la escorrentía

Pendiente del cauce principal

Pendiente promedio de la cuenca

Información de suelos:

- Permeabilidad del suelo
- Clasificación hidrológica según el Soil Conservation Service, SCS
- Relación de arena y peso específico aparente
- Capacidad de campo y saturación teóricas

2. Información relativa a los eventos hidrológicos

Eventos escogidos

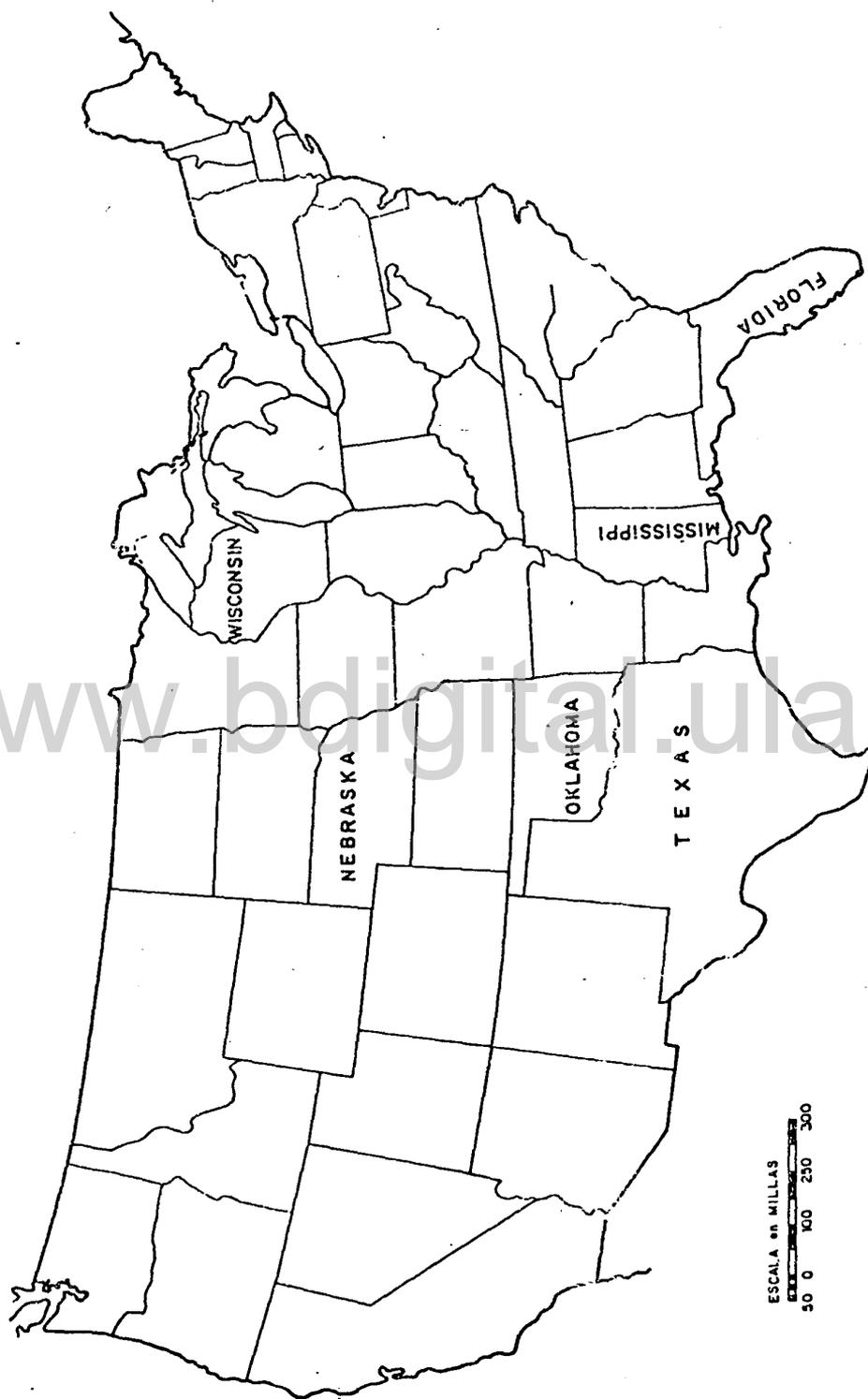


Figura 4.1 Mapa de los Estados Unidos de America mostrando los Estados donde estan situadas las cuencas experimentales estudiadas.
Nota_Tomada de U.S. Department of Agriculture (1.964).



Figura 4.2 Ubicación de la cuenca experimental de la quebrada La Cuesta dentro del territorio venezolano.

Nota. Tomado de Banes (1980)

Precipitación:

- Total acumulada
- Acumulada según intervalo de tiempo, DT
- Antecedente de cinco días
- Antecedente de 24 horas
- Efectiva total
- Intensidad efectiva al tiempo de concentración

Escorrentía:

- Total
- Intensidad en cada intervalo de tiempo

Número de curva, CN, de la escorrentía calculada por el método gráfico

Número de curva, CN, de la escorrentía para condición de humedad antecedente promedio (CHAI), CN II

Infiltración potencial S2, correspondiente a CN II

Tiempo al pico del evento (crecida).

Para las cuencas experimentales de los Estados Unidos, la información fue extraída de las publicaciones del Agricultural Research Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, para el período comprendido entre 1956-1968. La información contenida en dichas publicaciones es completa y apropiada para los propósitos de este trabajo. Las Tablas 4.1, 4.2, y 4.3, y la Figura 4.3 con-

TABLA 4.1

Ejemplo de la información original utilizada.

1/ MONTHLY PRECIPITATION AND RUNOFF (inches)						VERO BEACH, FLORIDA (TAYLOR CREEK) WATERSHED W-2 AREA—63,170 ACRES (98.7 SQ. MILES)								8.2		
YEAR	MONTH	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	ANNUAL		
1962	F	.53	.40	5.72	2.17	5.80	11.25	7.74	9.27	6.49	1.21	2.51	.56	51.25		
	Q	.02	.02	.05	.08	.10	1.58	5.98	2.94	6.20	.58	.15	.09	17.75		
	STA AVE ^{2/} P	1.98	2.00	4.27	2.78	4.99	7.70	6.20	6.20	7.26	4.29	1.16	1.54	50.16		
	(55-62) Q	.50	.54	1.76	.28	.49	2.25	1.77	2.05	3.95	2.66	.25	.17	16.99		
	MEAN P ^{3/} 44 YR	1.61	1.72	2.79	3.40	3.95	7.10	6.06	6.08	7.18	4.92	1.70	1.45	47.96		
ANNUAL MAXIMUM DISCHARGES (inches per hour) AND ANNUAL MAXIMUM VOLUMES OF RUNOFF (inches) FOR SELECTED TIME INTERVALS																
YEAR	MAXIMUM DISCHARGE		MAXIMUM VOLUME FOR SELECTED TIME INTERVAL													
	DATE	RATE	1 HOUR		2 HOURS		6 HOURS		12 HOURS		1 DAY		2 DAYS		8 DAYS	
1962	7-14	.021	7-14	.021	7-14	.042	7-14	.125	7-14	.248	7-14	.49	7-14	.92	7-12	2.61
MAXIMUMS FOR PERIOD OF RECORD																
1956 to 1962	10-16 1956	.11	10-16 1956	.11	10-16 1956	.21	10-16 1956	.62	10-16 1956	1.25	10-16 1956	2.28	10-16 1956	4.16	10-16 1956	9.05
Notes: Quality of records: P, excellent; Q, good. 1/ All precipitation Thiessen weighted, using 7 rain gages. 2/ Precipitation and runoff (U. S. Geological Survey) records began July 1955. 3/ Mean P based on 44-yr (1919-62) record period at Okechobee Hurricane Gate 6, Florida.																
SLOPES: 100% is in 0-2% class.																
SOILS: (Revision) Predominantly fine sand surface which is very friable and has above average infiltration rates and little surface runoff until it becomes saturated. Generally underlain at varying depths by organic hardpan or clay or marl layers of variable thickness and hardness.																
Soil	Per-cent of area	Topsoil			Subsoil			Substratum		Internal drainage						
		Avg. depth (in.)	Structure	Perme-ability	Structure	Perme-ability	Avg. depth (in.)	Perme-ability								
Leen-Immokalee fine sand	55	4	Structureless fine single grain	Rapid	Structureless (hardpan)	Moderate	36	Rapid	Medium							
Plummer fine sand	8	4	Structureless fine single grain	Rapid	Structureless fine single grain	Rapid	40	Slow	Slow							
Felda-Manatee loamy fine sand	6	8	Weak fine granular	Moderate	Weak fine granular (massive when wet)	Slow	30	Slow	Slow							
Sunniland-Bradenton fine sand	4	4	Structureless fine single grain	Rapid	Weak subangular blocky	Moderate	36-84	Slow	Medium							
Pompano-Charlotte fine sand	3	2	Structureless fine single grain	Rapid	Structureless fine single grain	Rapid	48	Slow	Slow							
Rutledge fine sand	3	8	Structureless fine single grain	Rapid	Structureless fine single grain	Rapid	45	Slow	Slow							
Fresh water swamp & marsh	3	3	Structureless fine single grain	Rapid	Structureless fine single grain	Rapid	40	Slow	Slow							
St. Lucie-Pomello fine sand	2	4	Structureless fine single grain	Very rapid	Structureless fine single grain	Very rapid	60	Very rapid	Very rapid							
Everglades peat	2	12	Fibrous	Rapid	Structureless	Rapid	43	Slow	Slow							
Adamsville fine sand	2	4	Structureless fine single grain	Rapid	Structureless fine single grain	Rapid	48	Moderate	Medium							
Delray fine sand	1	12	Structureless fine single grain	Rapid	Structureless fine single grain	Rapid	48	Slow	Slow							
Parkwood fine sand	1	4	Structureless fine single grain	Rapid	Structureless fine single grain	Rapid	30	Slow	Slow							
EROSION: 1 - 100% (Little or no erosion with small areas of +, deposition).																
LAND CAPABILITY:																
		Class	I	II	III	IV										
		Percent of area	0	3	9	88										
GEOLOGY: Undifferentiated marine terrace sands of Pleistocene age are found as surface deposits. Generally the sands are white to gray in the upper part, and grade into tan, orange and red at depth. They are sub-rounded to sharp, non-frosted detrital sediments characteristic of marine deposits. In the field it is impossible to separate these terrace sands except on the basis of their respective altitudes. The strand line of the Penholoway Terrace is about 68 feet, m.s.l., and that of the Talbot occurs at about 40 feet, m.s.l. Inasmuch as the upper sub-watershed W-3 comprises an integral part of area, it is discussed as part of the whole 98.7 square mile watershed. The Penholoway Terrace, which covers approximately 40 per cent of the area, lies in the northeastern part of the watershed. It forms a broad, flat, little dissected plain that slopes gently to the south where it is abruptly broken by the wave cut cliff of the lower Talbot surface. Approximately 15 per cent of the watershed is occupied by this marked 20 to 25 ft. step-like feature. The Talbot Terrace occupies the remaining 45 per cent of the watershed area. It is remarkably flat; drainage is sluggish; sloughs, shallow ponds, and swamps are abundant. The outer limit of the Talbot Terrace is generally indelimited, marked along the lower section of Taylor Creek by the 22 ft. strand line of the old Pamlico sea. Source of Data: C. C. Parker and N. D. Hay, Geology and Ground Water of the Kissimmee River - Lake Okechobee Area, Florida, Proc. Soil Sci. Soc. Fla., Vol. V-b, 1943, Gainesville, Fla.																
CORREPTLY REPRESENTS: (Revision) Flatwoods of Coastal Plain problem area (A2) changed to Southern Florida Flatwoods (see resource area (B-2)).																

Cooperative Research Project of USDA, Florida Agricultural Experiment Station, U. S. Geological Survey, and the Central and Southern Florida Flood Control District

TABLA 4.2

Ejemplo de la información hidrometeorológica de una cuenca.

1764 DAILY PRECIPITATION (inches)												VERO BEACH, FLORIDA (TAYLOR CREEK)				WATERSHED W-2		8.2						
DAY	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	.00	.00	.00	.00	1.04	.01	.13	.00	.00	.50	.11	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
2	.00	.00	.00	.00	.37	.00	.07	.06	.83	.03	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
3	.00	.13	.00	.00	.08	.08	.00	.00	.09	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
4	.00	.92	.00	.00	.00	.84	.03	.00	.40	.00	.07	.92	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
5	.00	1.43	.00	.47	.00	.11	.04	.25	.08	.39	.00	.46	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
6	.00	.14	.00	.00	.00	.20	.08	.12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
7	.82	.00	.00	.00	.00	.00	1.23	.06	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
8	.00	.13	.00	.00	.00	.00	.26	.63	.00	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
9	.01	.00	.00	.00	.00	.30	.36	.27	.00	.32	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.46	.17	.40	1.42	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
11	.09	.00	.00	.60	.00	.00	.00	.18	.32	.33	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
12	.35	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.28	.34	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
13	.02	.00	.00	.00	.25	.00	.01	.35	1.25	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
14	.01	.00	.00	.00	.40	.00	.00	.00	.08	.35	.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
15	.00	.00	.09	.00	.00	.00	.26	.28	.08	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
16	.01	.00	.02	.00	.00	.00	.20	.00	.61	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
17	.14	.00	.18	.00	.00	.00	.34	.00	.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
18	.02	.42	.03	.00	.00	.00	.00	.13	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
19	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.77	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
20	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	2.21	.29	.00	.09	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
21	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.18	.06	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
22	.02	.07	.00	.00	.01	.32	.67	.12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
23	.00	.00	.00	.00	.24	.24	.37	.03	.00	.00	.28	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
24	.00	.00	.00	1.51	.00	.05	.13	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
25	.00	.00	.00	.61	.00	.70	.89	.00	.00	.23	.09	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
26	.00	.00	.00	.54	.09	.00	.03	.05	.06	.05	.00	.21	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
27	.00	.07	.00	.42	.03	.00	.00	3.87	.03	.00	.00	.19	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
28	.17	.15	.37	.32	.00	.00	.02	.06	.07	.20	.19	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
29	.00	.60	.00	.01	.13	.00	.08	.00	.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
30	.00	.00	.00	.00	.00	.89	.04	.14	.14	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
31	.00	.00	.00	.02	.00	.02	.02	.21	.02	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
TOTAL	1.68	3.46	.66	3.88	2.34	3.26	5.35	10.10	6.51	2.54	.88	1.79												
STDEV	1.82	2.61	2.52	2.69	4.69	7.17	5.81	6.32	6.90	3.76	1.32	1.76												

NOTES: THIESSEN WEIGHTED RAINFALL - USING 7 GAGES. STA AV BASED ON PERIOD JULY 1, 1955 THROUGH 1964.

1964 MEAN DAILY DISCHARGE (cfs)												VERO BEACH, FLORIDA (TAYLOR CREEK)				WATERSHED W-2		8.2						
DAY	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	65.0	19.0	5.0	5.3	31.0	6.1	20.0	15.0	470.0	38.0	5.8	5.4												
2	76.0	18.0	4.0	5.1	34.0	6.4	16.0	13.0	327.0	41.0	7.6	5.1												
3	78.0	18.0	3.0	6.0	61.0	7.0	13.0	11.0	540.0	41.0	7.6	5.1												
4	78.0	19.0	2.3	6.4	47.0	7.0	8.4	9.5	405.0	38.0	11.0	5.4												
5	73.0	212.0	1.6	7.7	37.0	7.0	6.8	8.6	381.0	25.0	9.1	16.0												
6	78.0	240.0	2.8	9.3	25.0	7.0	6.4	8.8	336.0	40.0	8.5	37.0												
7	77.0	240.0	4.2	8.1	23.0	7.0	4.8	7.9	236.0	42.0	8.2	30.0												
8	76.0	225.0	6.0	8.2	23.0	7.0	13.0	8.6	154.0	23.0	6.4	25.0												
9	74.0	210.0	8.8	8.3	20.0	7.0	27.0	8.8	149.0	19.0	6.4	20.0												
10	70.0	190.0	7.2	8.3	16.0	7.0	35.0	8.4	496.0	25.0	4.2	16.0												
11	65.0	173.0	14.0	8.1	13.0	14.0	40.0	10.0	707.0	17.0	4.2	15.0												
12	60.0	120.0	6.4	7.7	11.0	32.0	34.0	13.0	597.0	24.0	4.2	14.0												
13	56.0	90.0	5.9	7.3	9.2	22.0	29.0	17.0	1020.0	45.0	4.2	12.0												
14	52.0	70.0	5.3	7.8	9.0	15.0	24.0	16.0	1010.0	53.0	4.2	12.0												
15	49.0	55.0	4.8	8.2	9.4	12.0	24.0	18.0	589.0	46.0	4.6	10.0												
16	46.0	45.0	4.3	8.7	10.0	10.0	24.0	17.0	479.0	31.0	8.2	8.9												
17	44.0	37.0	4.1	6.5	11.0	8.6	23.0	22.0	583.0	27.0	5.7	8.6												
18	41.0	31.0	4.7	6.6	10.0	7.9	22.0	15.0	398.0	19.0	4.7	8.6												
19	38.0	27.0	5.1	6.6	9.2	7.3	19.0	13.0	271.0	15.0	4.5	7.9												
20	36.0	23.0	5.4	6.9	8.6	6.8	17.0	41.0	232.0	11.0	4.7	7.5												
21	34.0	20.0	4.8	6.7	8.1	6.5	16.0	296.0	212.0	13.0	4.7	7.6												
22	32.0	17.0	5.6	6.8	7.6	6.2	14.0	242.0	172.0	8.3	4.1	8.0												
23	30.0	15.0	6.2	6.5	7.3	6.2	16.0	196.0	144.0	9.8	4.5	7.1												
24	28.0	13.0	6.4	6.7	7.0	7.0	14.0	168.0	120.0	5.8	5.1	7.6												
25	27.0	12.0	6.2	7.3	6.7	7.7	20.0	122.0	94.0	9.1	5.1	7.1												
26	25.0	11.0	6.1	7.3	6.5	9.5	54.0	91.0	84.0	9.4	5.4	7.6												
27	24.0	9.2	6.2	16.0	6.3	11.0	49.0	760.0	75.0	9.8	5.1	8.6												
28	23.0	8.0	6.2	23.0	6.1	10.0	36.0	2210.0	68.0	11.0	4.7	10.0												
29	22.0	7.0	6.0	29.0	6.0	8.0	30.0	1370.0	62.0	12.0	5.1	9.5												
30	21.0	6.0	6.0	31.0	6.0	6.3	23.0	712.0	61.0	8.0	5.7	8.6												
31	20.0	5.5	5.5	5.9	5.9	5.9	18.0	513	7.6	7.6	7.6	7.6												
MEAN	49.1	75.0	5.49	9.58	15.8	9.42	22.5	223.3	349.0	23.3	5.78	11.6												
INCHES	.82	.82	.09	.11	.18	.11	.26	2.61	3.95	.27	.07	.14												

NOTES: TO CONVERT MEAN DAILY DISCHARGE IN CFS TO IN/DAY, MULTIPLY BY .0003768. RUNOFF DATA FURNISHED BY THE U.S. GEOLOGICAL SURVEY. DISCHARGE BASED ON COMBINED RECORDS OF TAYLOR CREEK ABOVE STRUCTURE S-1, AND WILLIAMSON DITCH ABOVE S-7 MAR. 9 TO MAY 7, JUNE 25 TO SEPT. 30. RECORDS ARE POOR AND MAY BE IN ERROR BY 15% OR MORE. DISCHARGE MEASUREMENTS GENERALLY MADE ONCE A WEEK.

TABLA 4.3

Ejemplo de información correspondiente a un evento.

1964 SELECTED RUNOFF EVENT			VERO BEACH, FLORIDA (TAYLOR CREEK) WATERSHED W-2				8.2				
ANTECEDENT CONDITIONS			RAINFALL				RUNOFF ^{1/}				
DATE MO-DAY	RAINFALL (inches)	RUNOFF (inches)	DATE MO-DAY	TIME OF DAY	INTENSITY (in/hr)	ACC. (inches)	DATE MO-DAY	TIME OF DAY	RATE (cfs)	ACC. (inches)	
Event of August 27-31, 1964											
8-27	.00	.00	8-27	7 RG	AVG ^{2/}						
				0500	.00	.00	8-27	0000	42	.0000	
				0700	.08	.24		0700	80	.0070	
				0900	.31	.86		1200	720	.0385	
				1000	.14	1.00		1800	1840	.1591	
				1100	.49	1.49		2100	2160	.2533	
				1400	.57	3.20		2400	2340	.3592	
				1500	.37	3.57	8-28	0300	2415	.4711	
				1600	.14	3.71		0600	2450	.5854	
				2100	.02	3.81	0900	2360	.6985		
							1200	2150	.8069		
							1800	2020	1.007		
							2400	1760	1.135		
							8-29	1200	1280	1.472	
			1800	1160	1.587						
			2400	915	1.685						
			8-30	0600	780	1.765					
				1800	580	1.893					
			8-31	0600	470	^{3/} 1.992					
				2400	400	^{3/} 2.114					

Watershed conditions:
 Approximate land use: (from SCS)
 34% in improved pasture
 1% in citrus
 55% in range and forest
 10% in miscellaneous

NOTES: TO CONVERT CFS TO IN/HR MULTIPLY BY .00001570. FOR MAP OF WATERSHED, SEE HYDROLOGIC DATA FOR EXPERIMENTAL AGRICULTURAL WATERSHEDS IN THE UNITED STATES, 1956-59, USDA MISC. PUB. 945, P. 8.2-4. FOR ANTECEDENT P AND Q SEE TABLES ON PREVIOUS PAGES. ^{1/} RUNOFF IS COMBINED FLOW FROM S-1 STRUCTURE AND WILLIAMSON DITCH. ^{2/} PRECIPITATION IS ARITHMETICAL AVERAGE OF 7 RG. ^{3/} END OF EVENT.

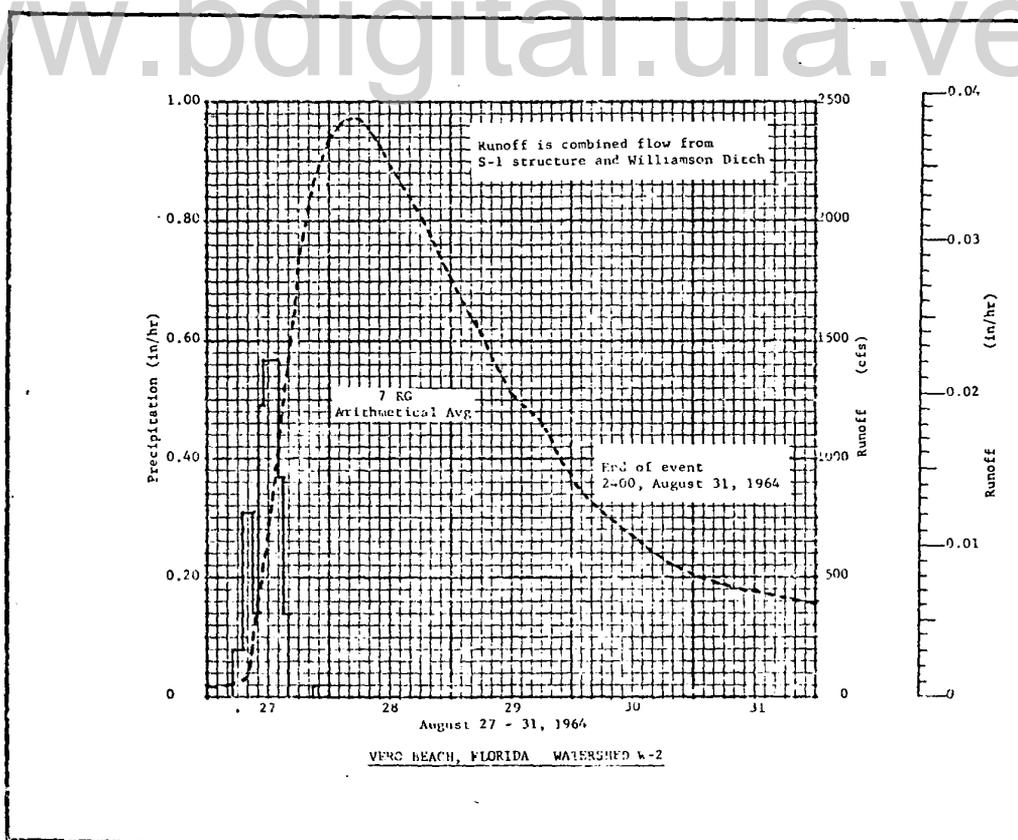


Figura 4.3 Hidrograma de un evento típico.

tienen ejemplos de la información empleada.

La información pertinente a la cuenca experimental de la Quebrada La Cuesta fue extraída directamente de las bandas de registro hidrometeorológicos, y de los trabajos de Fernández (1982) y Molas (1984).

4.3 ANÁLISIS Y ADECUACION DE LA INFORMACION

La información disponible no se encontraba en la forma y con los detalles necesarios para su utilización en el modelo de simulación, así como también para la correlación de los parámetros del modelo con los factores fisiográficos de las cuencas. Por lo tanto, fue necesario analizar, procesar y adecuar la información obtenida a fin de poderla utilizar en los casos antes mencionados. A continuación se describen los procedimientos empleados con este fin. El resumen de datos se presentan en las Tablas 4.6 y 4.8.

4.3.1 Ubicación de la estación hidrométrica

La ubicación de la estación hidrométrica aparecen indicadas en los mapas de las cuencas. Cada cuenca se identifica con un código alfanumérico, el nombre de la localidad donde se halla ubicada, y el nombre del Estado. De esta manera se identifican las cuencas de los Estados Unidos. En la Figura 4.4 se observan estos detalles.

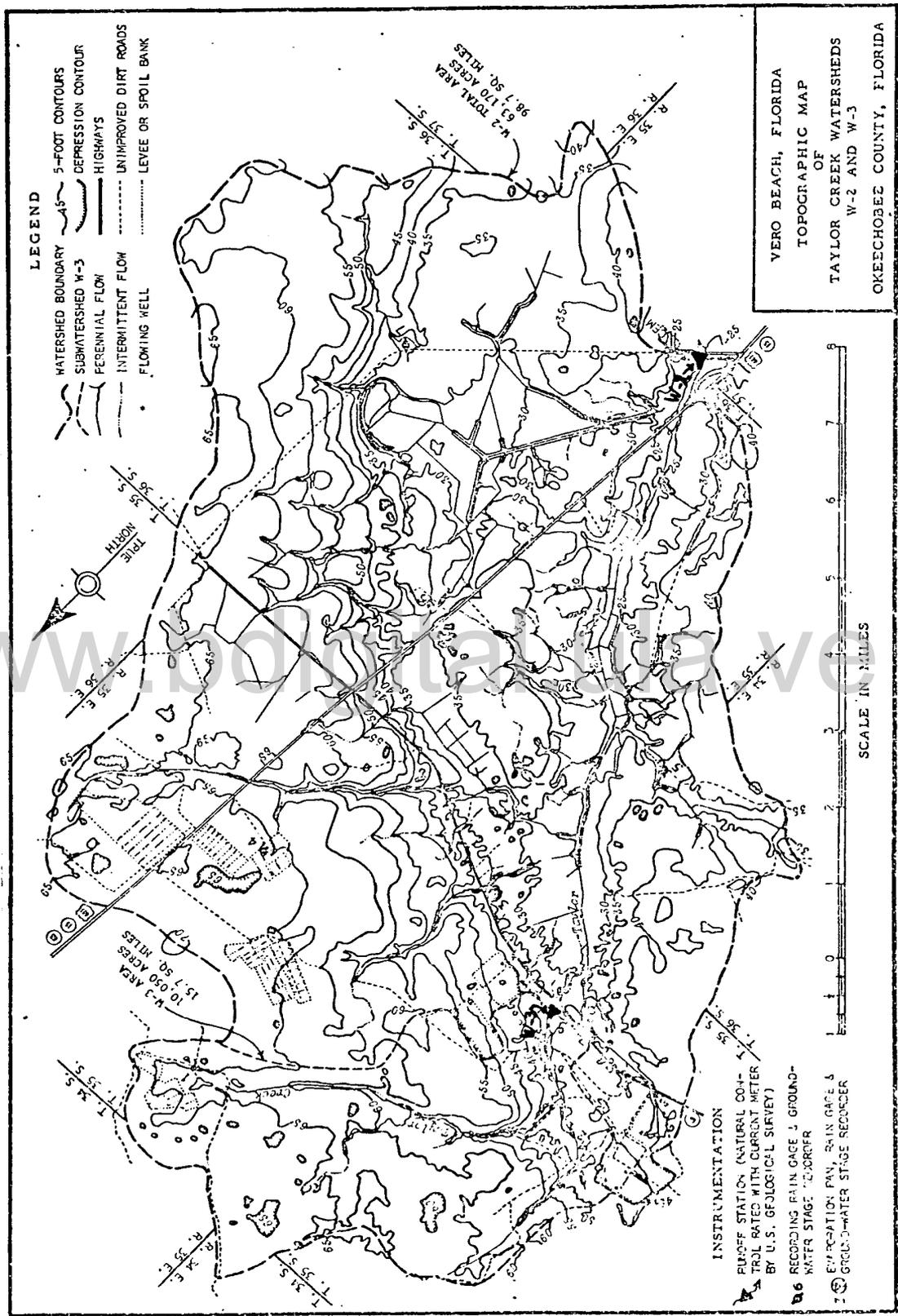


Figura 4.4 Mapa correspondiente a una cuenca.

La ubicación de la estación hidrométrica constituye la salida de la cuenca y define el área de la misma.

4.3.2 Área de la cuenca

Todas las cuencas escogidas ya contaban con el dato del área, A . Para las cuencas de los Estados Unidos, el área fue convertida de acres a hectáreas. En la Tabla 4.1 se observa como aparece esta información.

4.3.3 Longitud del cauce principal

Como longitud del cauce principal, LC , se consideró a la distancia hasta el punto más alejado hidráulicamente de la estación hidrométrica, medida a lo largo del cauce principal. La medición se realizó utilizando un curvímetro. Su valor fue expresado en pies y metros.

4.3.4 Tiempo de concentración de la escorrentía

Su valor se determinó por el método de Kirpich (1940). Rojas (1980) define el tiempo de concentración, T_c , como el tiempo que demora el agua en su viaje desde el punto hidráulico más distante de una cuenca hasta el sitio en consideración. El T_c se utilizó para seleccionar el intervalo de tiempo (DT), menor o igual a T_c , para la distribución temporal de la lluvia y la escorrentía.

El método de Kirpich (1940) estima el T_c en base a la pendiente, el cual en unidades métricas se expresa como:

$$T_c = 0.0195 * L^{1.155} * H^{-0.385} \quad (4.1)$$

donde:

T_c = tiempo de concentración en minutos,

L = longitud del cauce principal hasta el punto más distante de la cuenca en m.

H = diferencia de nivel entre el punto en consideración y el más distante (m).

La misma fórmula, según Schwab, et al. (1966), en unidades inglesas se expresa como:

$$T_c = 0.0078 * L^{0.77} * S^{-0.385} \quad (4.2)$$

donde:

T_c = tiempo de concentración en minutos,

L = máxima longitud de flujo en pies,

S = pendiente del cauce en pie por pie, o la diferencia entre la salida y el punto más remoto dividida por la longitud, L .

4.3.5 Pendiente del cauce principal

La pendiente del cauce principal, PCP, se calculó con la expresión siguiente:

$$PCP = (H/LC) * 100 \quad (4.3)$$

donde:

PCP = pendiente del cauce principal (%),

H = diferencia de nivel entre la estación hidrométrica
y el punto hidráulico más remoto de la cuenca (L),

LC = Longitud del cauce principal (L).

4.3.6 Pendiente media de la cuenca

La información de pendiente media de la cuenca, PC, para la mayoría de las cuencas de los EE.UU. , aparece expresada en porcentaje por rangos de pendiente. En este caso, se procedió a determinar la pendiente promedio ponderada de la cuenca. En caso contrario, fue estimada por el método de Alvord, citado por Hernández (s.f.), de la forma siguiente:

$$PC = \left(\frac{E * L}{A} \right) * 100 \quad (4.4)$$

donde:

PC = pendiente promedio de la cuenca (%),

E = equidistancia entre curvas de nivel (m),

L = longitud total de curvas de nivel (m),

A = área de la cuenca (m²).

4.3.7 Información de suelos

Permeabilidad del subsuelo, PSS. Se buscó algún atributo geológico cuantificable para asociar con los proce

sos relacionados al flujo subterráneo de las cuencas. Dentro de la información geológica disponible, obsérvese Tabla 4.1, a ninguna ha sido posible aplicarle algún tipo de escala cuali-cuantitativa. Ante esta circunstancia, se optó por utilizar la información de la permeabilidad del subsuelo (substratum permeability en la Tabla 4.1).

Según el Agriculture Handbook N° 18 (1951) del U.S. Department Agriculture, citado por el Agricultural Research Service, se define la permeabilidad del subsuelo como la cualidad que le permite a éste transmitir agua o aire. Además describe esta cualidad en los siguientes términos: muy lenta, lenta, moderadamente lenta, moderada, moderadamente rápida, rápida, y muy rápida.

El U.S. Soil Conservation Service, 1948, citado por Zimmerman (1966) y Grassi (1981), propone una escala cuali-cuantitativa para la permeabilidad, que convertida al sistema métrico decimal y redondeadas las cifras, se presenta en la Tabla 4.4. En esta tabla se asocia la permeabilidad con las características texturales y estructurales del perfil del suelo. Estas características son también válidas para el subsuelo.

Todos los datos obtenidos de la permeabilidad del subsuelo fueron expresados en cm/hr utilizando la escala de la Tabla 4.4.

TABLA 4.4

Características texturales y del perfil asociadas a la permeabilidad del suelo.

Clase de permeabilidad		Indicadores visuales	
Escola	Escola cuantitativa		
Cualitativa	cm/hr	m/día	
1. Muy lenta	0.1	0.03	Claypanes, arcilla pesada, o presencia de subsuelo muy lentamente permeable. Ocasionalmente suelo de texturas medianas. Hardpan diferencial de claypan.
2. Lenta	0.1-0.5	0.03-0.12	Arcilla o claypanes arcillo limoso, estratos moderadamente endurecido. Limo, siltpan.
3. Moderadamente lenta	0.5-2	0.12-0.50	Horizontes con texturas moderadamente pesadas mostrando una pequeña cantidad de granulación o una clara dispersión de partículas.
4. Moderada	2-6	0.50-1.50	Texturas moderadamente pesadas, ligeramente plástica cuando húmedas y moderadamente duro cuando seco.
5. Moderadamente rápida	6-12	1.50-3.00	Suelos con texturas moderadamente gruesas, a moderadamente livianas.
6. Rápida	12-18	3.00-4.50	Suelos con texturas livianas o moderadamente livianas.
7. Muy rápida	> 18	> 4.5	Arenas, arenas gruesas, o suelos gravillosos

Nota: Escala según Soil Conservation Service, tomada de Zimmerman (1966) y Grassi (1981).

Textura liviana = gruesa, pesada = fina.

Clasificación hidrológica. La clasificación hidrológica de los suelos es una información necesaria para estimar el Número de Curva, CN, de la escorrentía.

En base a la información pedológica disponible, se obtuvo la clasificación hidrológica de los suelos utilizando la clasificación de SCS y la modificada por Chiang, 1971, citados por Rojas (1981). En los Apéndices B-1 y B-2 se presentan dichas clasificaciones.

Relación de arena y peso específico aparente. Una manera de cuantificar las propiedades texturales de los suelos es mediante la relación de arena y la densidad aparente.

Rojas y Willardson (1983) definen la relación de arena, SR, como:

$$SR = \frac{\text{arena}}{\text{arcilla} + \text{limo}} \quad (4.5)$$

El peso específico aparente, PEA, de un suelo es el cociente entre el peso de un volumen dado de suelo seco, incluido el espacio de poros, y el peso de un volumen igual de agua. Carece de dimensión (Israelsen y Hansen, 1965).

Los valores de SR y PEA fueron expresados como promedios ponderados cuando las cuencas presentan suelos hetero

géneos. Los valores fueron estimados de la Tabla 4.5.

TABLA 4.5
Componentes de las clases texturales de suelo

Clase textural de suelo	Peso específico aparente.	Valores medios (%) ^{2/}			
		Arena	Arcilla	Limo	Limo + Arcilla
Arena	1.62 ^{1/}	88	5	7	12
Arena fina	1.64	83	13	4	17
Franco arenoso	1.55	62	8	30	38
Franco	1.26	51	15	34	40
Franco limoso	1.31	17	13	70	83
Limoso arcillo arenoso	1.30	5	5	90	95
Franco arcillo arenoso	1.64	58	28	14	42
Franco arcilloso	1.34	33	34	33	67
Franco arcillo limoso	1.30	10	34	56	90
Arcillo arenoso	1.40	55	45	0	45
Arcillo limoso	1.30	10	45	45	90
Arcilloso	1.22	10	70	20	90

^{1/} Valores promedios.

^{2/} Valores medios del rango, según Soil Staff (1951).

Nota: Tomada de Rojas y Willardson (1983).

TABLA 4.6

Características fisiográficas de las cuencas experimentales estudiadas.

N°	C u e n c a Denominación	Area (ha)	Longi- tud cauce (m)	Tc (min)	Pen- diente cauce (%)	Pen- diente cuenca (%)	Perm. Subsu. (cm/h)	S	Clasif. hidrol.	SR	DA	FCTU (mm)	SSTU (mm)
1	W-2, Vero Beach, Flor	25564,3	27930.7	941.76	0.05	1.00	10.28	B		5.89	1.62	145.7	615.6
2	W-17, Oxford, Miss.	12990.6	16571.4	281.77	0.43	8.93	6.52	+C		1.09	1.42	316.0	667.4
3	W-3, Vero Beach, Flor	4067.1	12873.2	419.58	0.09	1.00	11.82	B		5.89	1.62	146.0	615.6
4	W-35, Oxford, Miss.	3055.4	10800.0	222.95	0.34	7.28	5.93	+C		1.02	1.41	312.2	662.7
5	W-10, Oxford, Miss.	2237.9	6923.5	142.49	0.43	10.14	4.95	+C		1.05	1.42	317.1	667.4
6	W-24, Oxford, Miss.	207.2	2200.0	32.80	2.02	12.36	7.11	+C		1.22	1.46	335.4	627.8
7	W-30, Oxford, Miss.	45.7	1178.0	19.63	2.20	9.75	5.70	+C		1.00	1.34	360.3	656.6
8	Exp. Qda La Cuesta	32.2	990.0	6.52	27.27	41.00	1.65	C		0.111	1.30	400.1	663.0
9	5-H. Hastings, Nebr.	1.63	193.7	3.74	4.40	4.74	4.00	C		0.213	1.31	286.4	668.1
10	6-H, Hastings, Nevr.	1.62	179.9	3.77	3.73	5.36	5.00	+C		0.213	1.31	375.2	668.1
11	8-H, Hastings, Nebr.	1.61	199.6	5.06	2.14	3.57	4.00	C		0.205	1.31	286.0	668.1

Continuación TABLA 4.6

N°	Denominación	Area (ha)	Longi- tud cauce (m)	Tc (min)	Pen- diente cauce (%)	Pen- diente cuenca (%)	Perm. Subsu. (cm/h)	S	Clasif. hidrol.	SR	DA	FCTU	SSTU
12	WC-1, Oxford, Miss.	1.57	154.7	3.02	4.93	7.77	4.00	C	C	0.333	1.33	388.5	665.0
13	3-H, Hastings, Nebr.	1.52	165.3	3.12	5.16	5.30	4.00	C	C	0.182	1.31	375.0	668.1
14	1-H, Hastings, Nebr.	1.47	135.5	2.25	8.10	8.40	4.00	+C	+C	0.205	1.31	286.7	668.1
15	2-H, Hastings, Nebr.	1.38	180.9	3.50	4.72	5.22	3.73	+C	+C	0.205	1.31	286.3	668.1
16	WP4, Oxford, Miss.	1.22	143.2	2.20	7.98	9.31	4.96	+C	+C	0.747	1.40	308.1	658.0
17	SW-17, Waco, Texas	1.21	127.0	4.03	1.56	1.77	0.10	+D	+D	0.111	1.22	341.2	662.5
18	W-13, Cherok, OKla.	0.81	123.0	3.78	1.73	2.10	4.00	C	C	0.205	1.31	288.9	668.1
19	W-12, Cherok, OKla.	0.68	119.8	4.17	1.27	1.55	4.00	+C	+C	0.205	1.31	286.5	668.1
20	W=10, Cherok, OKla.	0.68	112.4	3.23	2.17	2.60	14.00	+C	+C	0.205	1.31	286.5	668.1
21	WC-2, Oxford, Miss.	0.59	88.4	1.74	6.24	7.13	4.22	+C	+C	0.790	1.41	293.7	662.7
22	P-1, Waco, Texas	0.10	51.2	1.65	2.82	2.82	0.10	D	D	0.111	1.22	417.7	662.5
23	P-2, Waco, Texas	0.10	51.2	1.64	2.66	2.98	0.10	D	D	0.111	1.22	417.7	662.5
24	P-3, Waco, Texas	0.10	51.2	1.64	2.66	1.98	0.10	D	D	0.111	1.22	417.7	662.5
25	P-4, Waco, Texas	0.10	51.2	1.64	2.66	2.98	0.10	D	D	0.111	1.22	417.7	662.5

Capacidad de campo y saturación teóricas. Como capacidad de campo teórica se convino denominar a la capacidad máxima capilar de un suelo; y como saturación teórica el contenido de humedad de un suelo cuando todos los poros están llenos de agua.

Según Grassi (1975), si la capacidad de campo, W_c , y el punto de marchitamiento permanente, W_m , se expresan en porcentaje de peso seco, la lámina de agua disponible, d , se calcula por la siguiente ecuación:

$$d = \frac{W_c - W_m}{100} * \rho_a * D \quad (4.6)$$

donde: ρ_a = peso específico aparente del suelo,

D = profundidad del suelo (mm).

Tomando D igual a un metro, los contenidos hídricos del suelo a capacidad de campo y saturación fueron calculados con la ecuación (4.6) modificada de las formas siguientes:

$$FCTU = \frac{W_c}{100} * PEA * 1 \text{ m} \quad (4.1)$$

$$SSTU = \frac{W}{100} * PEA * 1 \text{ m} \quad (4.8)$$

donde: $FCTU$ = capacidad de campo teórica unitaria (mm),

$SSTU$ = saturación del suelo teórica unitaria (mm),

- Wc = capacidad de campo como % de peso seco,
PEA = peso específico aparente del suelo,
W = espacio poroso total del suelo (%).

De esta manera, FCTU y SSTU son el contenido de humedad teórico del suelo a capacidad de campo y saturación para un metro de profundidad (unitario), respectivamente.

La obtención de los valores de PEA fue explicada en el punto anterior. Los valores de Wc y W fueron estimados de la tabla presentada en el Apéndice C.

4.3.8 Eventos escogidos

En general fueron escogidos dos eventos de escorrentía (crecidas) y precipitación (tormentas) por cada cuenca. En lo posible, fueron tomadas una crecida de dos picos, y otra de un pico. Las fechas de los eventos están comprendidas entre los años 1957 a 1983.

4.3.9 Precipitación

En las publicaciones del Agricultural Research Service, la lluvia aparece expresada como intensidad y en forma acumulada (Tabla 4.3). Para el evento 19-10-83 de la cuenca experimental de la Quebrada La Cuesta, la precipitación se analizó directamente de las bandas de registro.

Precipitación total acumulada. Esta fue leída direc

tamente de las tablas de las publicaciones o acumulando el registro de los pluviogramas.

Precipitación acumulada según DT. Esta se logró sumando por interpolación los incrementos de precipitación correspondientes a cada DT leídos de las tablas o de los pluviogramas.

Precipitación antecedente de cinco días, PA5. Se obtuvo de las publicaciones (véase Tabla 4.2), o contabilizando de los pluviogramas las lluvias caídas en los cinco anteriores al evento.

Precipitación antecedente de 24 horas, PA1. Es la lluvia total ocurrida en las 24 horas previas del evento. Se obtuvo de manera similar al anterior.

Precipitación efectiva total. Un ejemplo de la información procesada y adecuada para su uso correspondiente se presenta en la Tabla 4.7. La precipitación efectiva global se estimó en base al método del Soil Conservation Service, 1972, citado por Rojas (1981), mediante la ecuación siguiente:

$$Q = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{P + 0.8 * S} \quad (4.9)$$

Información procesada y adecuada de un evento.

Cuenca: 6-H, Hastings, Nebraska, USA.	Suelo: PSS = 4.0 cm/hr.
Area = 1.62 has	Clasif. Hidrol.+C
Longitud cauce = 179.90 metros	SR = 0.213
Tc = 3.77 min.	DA = 1.31
Pendiente cauce = 3.77%	FCTU = 375.2 min.
Pendiente cuenca = 5.36%	SSTU = 668.1 mm.
Evento: 14 - 06 - 1960	DT = 3 min.
Precipitación total = 21.34 mm.	CN gráfico = 93.0
Escorrentía total + 10.54 mm.	S gráfico = 19.10 mm.
PA5 = 42.16 mm.	CN II = 82.8
PA1 = 0.00 mm.	S2 = 52.7 mm.
Precip. efectiva total = 8.48 mm.	Tiempo al pico evento = 8 min.
Duración precip. efectiva = 6.62 min.	IETc = 76.20 mm/hr.

Tiempo		Precip. Acum.	Escorrentía	Observaciones
Hora	Acum (min)	(pulg/h)	(pulg/h)	
23:01	0	0.000	0.000	
:04	3	0.075	0.000	
:07	6	0.160	0.000	Ia
:10	9	0.250	0.099	
:13	12	0.460	0.440	
:16	15	0.710	3.128	Pico=3.61 pulg/hr.
:19	18	0.790	1.723	a las 28:15, TP
:22	21	0.805	0.961	del evento =8min.
:25	24	0.814	0.518	
:28	27	0.820	0.363	
23:31	30	0.826	0.243	
:34	33	0.832	0.194	
:37	36	0.838	0.128	
:40	39	0.840	0.095	
:43	42	NP = 14	0.076	
:46	45		0.058	
:49	48		0.039	
:52	51		0.029	
:55	54		0.023	
:58	57		0.019	
			<u>0.019</u>	Escorrentía = 0 a
			NQ = 20	los 00:45 15-06-60

donde: Q = lámina de escorrentía (L) de precipitación efectiva,
 P = precipitación total (L),
 S = infiltración potencial (L).

La ecuación (4.9) estima la lámina de escorrentía directa producida por una tormenta, es decir, el valor real de la precipitación efectiva. El método es válido a partir del inicio de la escorrentía. Toda la precipitación ocurrida antes se considera como pérdidas iniciales, I_A , y no contribuye al flujo superficial. Por lo tanto, debe cumplirse la condición de que la precipitación, P , es mayor que las pérdidas iniciales, I_A :

La resolución gráfica de la ecuación (4.9) permite estimar el CN en función de la precipitación total de la tormenta, P , y la lámina de escorrentía, Q , producida. En el Apéndice C se presenta el nomograma, tomado de Rojas (1981a), que fue utilizada para estimar el CN en función de P y Q (método gráfico).

El valor aproximado de Q fue estimado por análisis de la rama de recesión de los hidrogramas.

El valor de precipitación efectiva total, P_e , sirve únicamente como un dato complementario del modelo de simulación, pues éste calcula internamente su valor real.

Intensidad de la precipitación efectiva al T_c . El tiempo en que comienza la escorrentía producida por una tormenta se consideró como el inicio de la precipitación efectiva. A partir de este, para una duración igual al tiempo de concentración, T_c , de la escorrentía de la cuenca, se calculó la profundidad de la precipitación efectiva. Luego, dicha profundidad dividida por el tiempo de concentración expresado en horas dió la intensidad media de la lluvia efectiva. Se acordó denominarlo intensidad efectiva al tiempo de concentración, IET_c .

4.3.10 Escorrentía

La información de escorrentía total acumulada se obtuvo directamente de las publicaciones mencionadas.

La distribución temporal de la escorrentía fue expresada como intensidad de la lámina escurrida durante el DT escogido, interpolando sus valores a partir de las tablas contenidas en las publicaciones utilizadas.

Para el evento 19-10-83, de la cuenca experimental de La Quebrada La Cuesta fue procesado el fluviograma correspondiente. El caudal fue estimado a partir de la altura de carga, para cada DT analizado, mediante la ecuación de calibración teórica para vertederos triangulares presentado por Brakensiek et al. (1979), y que una vez adaptado a

las condiciones del vertedero de la cuenca por Fernández (1982), quedó de la forma siguiente:

$$QT = 3.9669 * H^{2.5} \quad (4.10)$$

donde QT, es el gasto en m³/seg, y H es la altura de carga en metros.

Finalmente, el gasto de cada DT fue expresado en mm/hr, mientras que el acumulado fue expresado en mm.

4.3.11 CN y S por método gráfico

La obtención del CN por el método gráfico fue explicado en el ítem 4.3.9 referente a precipitación efectiva total. El valor de S correspondiente al CN obtenido fue estimado mediante la ecuación siguiente:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4.11)$$

donde S se expresa en mm.

4.3.12 CNII y S2

El valor ponderado del CNII se obtuvo en función del complejo hidrológico suelo-cobertura, a partir de las tablas tomadas de Rojas (1981) y presentadas en los Apéndices E-1 y E-2. La determinación de la clasificación hidro

TABAL 4.8

Descripción de los eventos calibrados

Quenca Evento N°	Fecha del evento	Precipit. Escorr. total (mm)	PA 5 (mm)	PA 1 (mm)	CN Gráfico (mm)	S Gráfico (mm)	CN II	S 2' (mm)	TP evento (min)	IETc (mm/hr)	DT (min)
1	30-08-1967	62.99	3.30	0.76	74.5	86.9	67.3	123.4	1080.0	0.00	60
2	27-08-1964	96.77	5.08	1.27	73.5	91.6	67.3	123.4	1320.0	6.17	120
3	22-05-1957	50.61	32.00	0.00	79.5	65.5	73.6	91.1	240.0	6.34	20
4	13-11-1957	69.85	21.08	10.67	74.0	89.2	73.6	91.1	360.0	5.84	30
5	27-08-1964	82.55	4.57	1.52	84.0	48.4	67.6	121.7	840.0	3.81	120
6	13-10-1966	49.78	6.35	0.00	87.0	38.0	67.6	121.7	960.0	3.81	120
7	18-11-1957	31.50	103.38	18.29	94.5	14.8	78.0	71.6	120.0	8.28	20
8	04-03-1964	38.61	29.97	6.10	97.5	6.5	72.6	95.9	268.0	7.92	20
9	04-09-1962	44.20	7.11	0.00	73.8	90.2	72.5	96.4	88.0	25.42	15
10	01-02-1968	30.23	13.00	6.10	85.0	43.2	72.0	98.8	230.0	7.16	15
11	31-05-1967	29.72	20.32	6.35	80.0	63.5	65.0	136.8	50.0	32.05	5
12	04-03-1964	43.18	36.22	9.40	84.6	46.2	67.6	133.2	90.0	8.60	10

Continuación TABLA 4.8

Quenca Evento N°	Fecha del evento	Precipit. total (mm)	Escorr. total (mm)	PA 5 (mm)	PAI (mm)	CN Gráfico	S Gráfico (mm)	CN II	SZ (mm)	TP evento (min)	IEtc (mm/hr)	DT (min)
7	13 30-06-1957	22.10	4.45	28.45	0.00	86.6	39.3	72.5	96.3	35.0	42.35	5
	14 03-04-1958	13.97	5.08	29.72	24.64	95.0	13.4	75.0	84.7	40.0	19.91	5
8	15 19-10-1983	22.20	6.51	77.70	6.00	88.0	34.6	72.0	98.8	172.5	10.00	15
	16 08-02-1982	27.90	4.79	25.85	7.70	82.5	53.9	72.0	98.8	100.0	8.00	15
9	17 12-06-1965	49.02	22.86	32.51	2.29	87.8	53.3	85.0	44.8	17.0	70.41	5
	18 12-06-1958	5.84	1.27	43.69	43.69	96.5	9.2	88.0	34.6	4.0	23.94	2
10	19 15-05-1960	59.18	30.48	0.00	0.00	87.5	36.3	84.0	48.4	8.0	158.12	4
	20 14-06-1960	21.34	10.57	42.16	0.00	93.0	19.1	82.8	52.7	8.0	76.20	3
11	21 15-05-1960	59.18	21.59	0.00	0.00	81.6	57.3	88.5	33.0	14.0	68.68	5
	22 28-09-1960	39.37	15.24	0.00	0.00	87.5	36.3	88.0	34.6	17.0	72.95	5
12	23 20-07-1963	53.85	14.88	1.02	0.00	78.7	68.7	86.5	39.6	17.0	17.54	5
	24 13.04-1964	28.96	22.45	25.15	14.48	97.5	6.5	83.0	50.0	20.0	8.44	3

Continuación TABLA 4.8

Quenca Evento N°	Fecha del evento	Precipit. total (mm)	Escorr. total (mm)	PA5 (mm)	PA1 (mm)	CN Gráfico	S Gráfico (mm)	CNII	S2 (mm)	TP evento (min)	IEtc (mm/hr)	DT (min)
13	25 23-08-1962	47.24	21.59	16.26	16.26	88.2	34.0	86.5	39.6	15.0	132.05	3
	26 11-08-1961	43.43	8.89	0.00	0.00	67.0	67.5	86.0	41.3	15.0	92.84	3
14	27 12-06-1958	43.18	3.56	0.00	0.00	70.0	108.9	68.0	119.5	11.0	8.63	4
	28 16.06-1957	25.65	8.64	191.01	21.08	90.5	26.7	67.0	125.1	12.0	72.54	5
15	20 23-08-1962	47.24	10.92	16.26	16.26	76.0	80.2	66.5	128.0	18.0	21.77	3
	30 03-07-1959	66.80	35.81	34.93	0.00	87.0	38.0	66.5	128.0	18.0	152.76	3
16	31 11-06-1962	38.35	33.12	16.26	5.84	98.0	5.2	73.0	94.0	14.0	66.68	4
	32 31-08-1961	41.40	22.35	1.02	1.02	92.0	22.1	73.0	14.0	14.0	94.11	4
17	33 09-06-1962	52.83	42.42	24.13	9.14	96.0	10.6	77.0	75.9	33.0	108.14	3
	34 31-03-1957	14.99	6.10	41.66	19.30	95.7	11.4	76.0	80.2	11.0	112.54	2
18	35 14-09-1962	55.37	7.62	1.27	0.00	70.0	108.9	88.0	34.6	12.0	99.87	3
	36 21-05-1961	35.31	14.99	22.35	18.03	90.1	27.9	86.5	39.6	31.0	30.48	5

Continuación TABLA 4.8

Cuenca Evento N°	Fecha del evento	Precipit. total (mm)	Escorr. total (mm)	PA5 (mm)	PA1 (mm)	CN Gráfico	S2 Gráfico (mm)	CNII	S2 (mm)	TP evento (min)	IETc (mm/hr)	DT (min)
19	37 14-09-1962	56.90	11.43	1.27	0.00	73.5	91.6	84.5	46.6	21.0	132.20	3
	38 29-06-1962	30.23	11.43	23.11	11.43	27.9	27.9	69.6	69.6	28.0	51.82	5
20	39 14-09-1962	55.12	23.88	1.27	0.00	85.3	43.8	88.0	34.6	12.0	122.35	3
	40 09-06-1962	28.70	11.94	26.16	13.21	91.5	23.6	83.0	52.0	20.0	40.35	6
21	41 13-04-1964	28.96	20.29	25.15	14.48	97.0	7.9	85.1	13.1	13.0	35.20	4
	42 20-07-1963	53.85	9.70	1.02	0.00	73.3	92.5	80.0	63.5	7.0	102.87	4
22	43 29-03-1965	141.48	92.20	3.05	0.00	83.0	52.0	82.0	55.6	20.0	60.96	5
	44 25-06-1961	37.59	11.43	0.76	0.76	85.2	44.1	82.0	55.6	17.0	49.53	4
23	45 29-03-1965	141.48	112.89	3.05	0.00	90.0	28.2	82.0	55.6	20.0	60.96	5
	46 25-06-1961	37.59	12.19	0.76	0.76	86.0	41.4	82.0	55.6	15.0	38.10	4
24	47 19-03-1965	141.48	86.71	3.05	0.00	80.0	63.5	82.0	55.6	25.0	60.96	5
	48 25-06-1961	37.59	13.21	0.76	0.76	87.2	73.3	82.0	55.0	24.0	38.10	4
25	49 29-03-1965	141.48	76.33	3.05	0.00	74.7	86.0	82.0	55.6	25.0	60.96	5
	50 25-06-1961	37.59	14.99	0.76	0.76	88.9	31.7	82.0	55.6	24.0	21.72	4

lógica de los suelos fue explicada en el ítem 4.3.7. La información de la cobertura vegetal se obtuvo directamente de las publicaciones consultadas. Obsérvese Tabla 4.3. El valor de S se estimó mediante la ecuación 4.11.

4.3.13 Tiempo al pico del evento

El tiempo al pico del evento se obtuvo directamente de los datos y/o del hidrograma del evento, tal como aparece en la Tabla 4.3 y Figura 4.3.

4.4 PROCESO DE CALIBRACION DEL MODELO

Como fue explicado en el Capítulo 3, el programa de computación del modelo con el cual se trabajó cuenta solamente con un método de calibración manual. Se disponía también de una versión del modelo con método de calibración semiautomática. Pero, se optó por utilizar la calibración manual, ya que se ha comprobado que con esta se puede lograr juego de valores de parámetros más reales que con la calibración semiautomática.

Como objetivos de la calibración se escogieron optimizar los valores de las siguientes constantes indicadoras de calibración:

$PKQR/QPK$, su valor debe acercarse a uno

CC , su valor debe tender a cero

TQA/CMQ, su valor debe acercarse a uno
PAC, su valor debe ser igual a BAL

Otro criterio de calibración fue alcanzar la similitud de la forma de los hidrogramas observado y simulado, lo cual se obtuvo por observación visual en la pantalla del computador.

En el proceso de calibración se siguieron los pasos siguientes:

- Estimación de valores iniciales de los parámetros
- Prueba de sensibilidad de parámetros
- Obtención de valores finales de los parámetros

Como fue explicado en el Capítulo 3, el modelo tiene 13 parámetros, cinco de ellos están condicionados por las condiciones reinantes antes y durante el evento: OG, OS, S, KF y TP. En cambio, los restantes dependen únicamente de los factores fisiográficos de la cuenca, como son SS, S1, FC, AG, NF, FQ, FK y F0.

4.4.1 Estimación de valores iniciales de los parámetros

Los almacenamientos iniciales del modelo, OS y OG, no son parámetros propiamente. Sus verdaderos valores se calibra con el modelo, pues, no existen métodos para calcularlos con suficiente exactitud.

La estimación de valores iniciales de los parámetros y almacenamientos es válida para la primera corrida del modelo. El resultado de esta corrida da indicios de la forma como deben variar dichos valores, para luego obtener los valores finales con la calibración del modelo (Duque, 1981).

Estimación del almacenamiento inicial de humedad del suelo, OS. Según las formulaciones matemáticas del modelo de simulación, se produce escorrentía directa en la cuenca mientras dura la precipitación efectiva. La escorrentía producida después que termine ésta se debe a los flujos sub superficial y subterráneo.

El flujo subsuperficial ocurre mientras el contenido de humedad del suelo es superior a la capacidad de campo. El almacenamiento de agua subterránea, del cual sale el flujo subterráneo, es alimentado por la percolación profunda. Este proceso también ocurre mientras la humedad del suelo es superior a la capacidad de campo. En cambio, el flujo subterráneo ocurre hasta tiempo después que la humedad del suelo esté por debajo de capacidad de campo, puesto que este flujo depende de la velocidad de agotamiento del almacenamiento subterráneo.

En las cuencas pequeñas, y sobre todo aquellas cuyo régimen de flujo es intermitente o efímero, la escorrentía ocurrida se compone básicamente del flujo superficial; el

flujo subsuperficial suele ser un componente pequeño y de corta duración, mientras que el flujo subterráneo es muy pequeño o, en muchos casos, no existe.

Considerando las formulaciones matemáticas del modelo que simulan los procesos de escorrentía, si en una cuenca pequeña, en un momento dado, no ocurre ninguna escorrentía sería lógico suponer que el contenido de humedad del suelo está por debajo de la capacidad campo. En cambio, si en el momento considerado, existe en la cuenca algún nivel de escorrentía, es válido suponer que el contenido de humedad del suelo está por encima de la capacidad de campo. Si el nivel de escorrentía es alto debe existir flujo superficial; en cambio, si es bajo, la escorrentía debería estar compuesta por flujo subsuperficial y flujo subterráneo, pues en las cuencas pequeñas éste último componente suele cesar poco tiempo después del primero.

Estas suposiciones fueron tomadas como criterios para estimar valores de referencia del almacenamiento inicial de humedad del suelo. Antes fue necesario estimar el valor más aproximado de la capacidad de campo. Esta fue hecha con la ecuación (4.6) modificada, y considerando la profundidad promedio real del suelo, de la forma siguiente:

$$FCP = \frac{Wc}{100} * PEA * D \quad (4.12)$$

donde:

FCP = lámina de humedad promedio del suelo, a capacidad de campo (mm),

WC = contenido de humedad del suelo a capacidad de campo expresado en % de peso seco del suelo,

PEA = peso específico aparente del suelo,

D = profundidad promedio real del suelo (mm).

Otra forma de estimar el almacenamiento inicial de humedad del suelo puede ser en función de las relaciones existentes entre el contenido de humedad del suelo y la infiltración potencial. Según el método del Soil Conservation Service (1972), citado por Rojas (1981), PA5 determina la condición de humedad antecedente, CHA, y ésta con los factores edáficos definen la infiltración potencial.

En la Figura 4.5, tomada de Rojas (1984b), se observan las relaciones que existen entre la CHA, la infiltración potencial y los niveles de humedad del suelo.

Para poder utilizar la Figura 4.5, en la estimación de OS, se determinan los valores de S1, S3, PW y RM. Los valores de S1 y S3 se obtienen de la Tabla E-2 del Apéndice en función de CNI y CNIII utilizando la ecuación 4.11. El valor de la capacidad de campo, RM, se obtiene con la ecuación 4.12. En cambio, el punto de marchitez permanen-

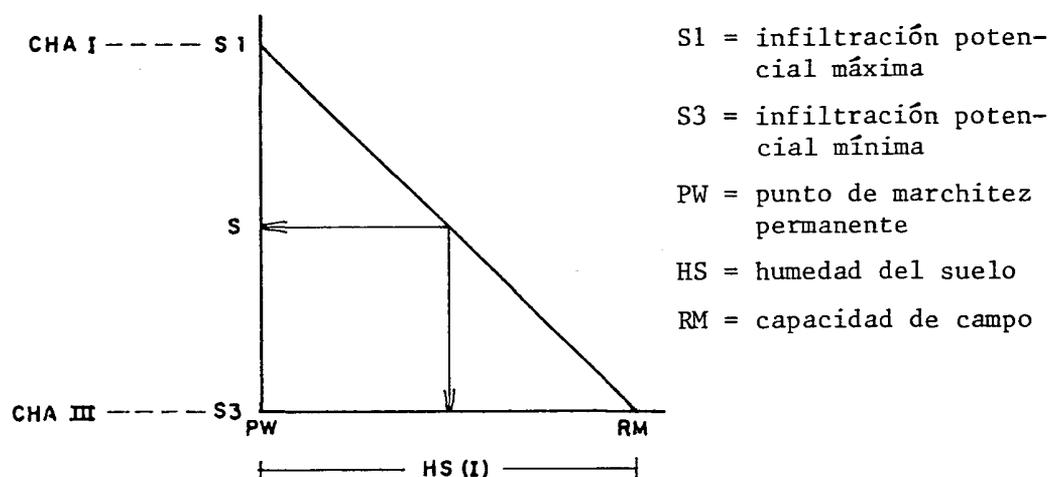


Figura 4.5 Relaciones entre la CHA, infiltración potencial y los niveles de humedad del suelo. Tomada de Rojas (1984b).

te se estima con la ecuación 4.12 modificada de la forma siguiente:

$$WPM = \frac{Wm}{100} * PEA * D \quad (4.13)$$

donde:

WPM = la lámina de humedad promedio del suelo al punto de marchitez permanente; y

Wm = contenido de humedad del suelo al punto de marchitez permanente expresado en porcentaje de peso seco del suelo.

En la Figura 4.5, S refleja el valor de la infiltración potencial presente en el momento en que se produce la tormenta. El valor de S se estima con el método explicado

en el ítem 4.3.9, específicamente al tratar la precipitación efectiva.

Finalmente, el valor de OS se determina en la Figura 4.5, entrando por la ordenada con el valor de S, y luego en la abscisa se encuentra el de OS.

Estos dos métodos fueron utilizados para estimar el valor aproximado de OS.

Estimación del almacenamiento inicial del agua subterránea, OG . Si en la cuenca considerada, en los momentos previos al evento no existe escorrentía alguna, el valor de OG es igual a cero.

Si el evento ocurre en un período seco, o la PA5 determina una condición de humedad antecedente III, CHAIII, y si en la cuenca existe escorrentía, es válido suponer que todo el flujo proviene del almacenamiento del agua subterránea y del flujo subsuperficial lento.

Si el evento ocurre en un período húmedo, o el nivel de escorrentía previo al evento es alto, es evidente que el flujo no se produce únicamente en base al flujo subterráneo. En este caso, se hace necesario estimar, por algún método de separación de los componentes de la escorrentía, el caudal correspondiente al flujo subterráneo.

El valor del almacenamiento inicial del agua subterránea fue estimada en base a la ecuación característica de recesión de una cuenca. Según Linsley et al.(1975/1981), y Vilaró et al. (1976), dicha ecuación es:

$$Q_t = Q_0 * (K_r)^t \quad (4.14)$$

donde:

Q_0 = caudal en cualquier momento,

Q_t = caudal t unidades de tiempo después de Q_0 ,

K_r = constante de recesión del flujo subterráneo.

El valor de K_r se despejó directamente de la ecuación 3.11. Luego se tiene que:

$$K_r = (Q_t/Q_0)^{1/t} \quad (4.15)$$

El valor de t generalmente se toma como un día, aunque dependiendo del tamaño de las cuencas puede ser necesario utilizar unidades de tiempo más cortas, o más largas.

La ecuación (4.15) es válida para aplicar al flujo base. Según Vilaró, et al., la ecuación que determina la fracción del almacenamiento de agua subterránea que sale como flujo base, y sustituyendo K_r por AG, se expresa así:

$$AG = \ln(Q_t/Q_0)^{1/t} \quad (4.16)$$

Los valores de AG fueron estimados para duraciones de un día o menores, de conformidad a los datos disponibles. Los valores de Q_t y Q_o fueron obtenidos analizando la rama de recesión del hidrograma correspondiente al evento, o utilizando los datos de escorrentía medida, como la presentada en la Tabla 4.2.

Finalmente, el valor de referencia del almacenamiento inicial del agua subterránea, OG, se obtiene por la relación siguiente:

$$OG = MQ(1)/AG \quad (4.17)$$

donde $MQ(1)$ es el caudal diario (L/T) que existe antes de la crecida.

Estimación de la infiltración potencial estimado, S . La infiltración potencial reinante en el momento en que se produce la precipitación sobre la cuenca, se determina con suficiente aproximación en función de la precipitación total y la escorrentía directa producida por la misma.

Los valores iniciales de S, para cada evento, son los mismos explicados en el ítem 4.3.11.

Estimación del factor de infiltración real, KF . Este parámetro es la tasa de infiltración presente al inicio del evento. Como tal, su valor debe ser mayor que el de la infiltración

filtración básica, F_0 . Al igual que éste, K_f se expresa en lámina/tiempo de infiltración real.

No existe un método particular para estimar el valor inicial de este parámetro. El valor que puede tomar, en un instante dado, depende de las características texturales del suelo, de la infiltración potencial máxima, S_1 , y el contenido inicial de humedad del suelo.

Por lo tanto, sus valores serán altos en los suelos con texturas gruesas, y bajos en los suelos con texturas finas. Igualmente, toma valores altos cuando el suelo está seco, cercano al punto de marchitamiento permanente, y bajos cuando el suelo está húmedo. Como tal, su valor depende, en gran parte, del valor del almacenamiento inicial de humedad del suelo. Estos fueron los criterios asumidos para la estimación del valor inicial de este parámetro.

Estimación del tiempo al pico de hidrograma unitario, TP . Para estimar el valor inicial del tiempo al pico del hidrograma unitario triangular fue empleado el método descrito por Rojas (1981), expresado en la ecuación siguiente:

$$t_p = \frac{D}{2} + t_L \quad (4.18)$$

donde:

t_p = tiempo al pico del hidrograma unitario (horas),

D = duración de la lluvia efectiva (horas),

t_L = tiempo de retardo (horas).

Utilizando la relación $t_L = 0.6 T_c$, se obtiene:

$$t_p = 0.5 D + 0.6 T_c \quad (4.19)$$

La naturaleza de las relaciones involucradas en estas formulaciones indica que existe un límite en la duración D , la cual no debe exceder al tiempo de concentración, es decir $D \leq T_c$.

Las ecuaciones (4.18) y (4.19) son utilizadas indistintamente de acuerdo a la manera de computar el tiempo al pico t_p .

El mismo autor señala que en cuencas pequeñas es mejor utilizar t_L , puesto que éste refleja mejor el valor real de t_p . El tiempo de retardo puede ser calculado mediante la ecuación:

$$t_L = \frac{L^{0.8} (S + 1)^{0.7}}{735 Y^{0.5}} \quad (4.20)$$

donde:

t_L = tiempo de retardo (horas),

L = longitud del cauce principal (m),

$S = \frac{1000}{CN} - 10$, S en pulgadas,

CN = número de curva,

Y = pendiente promedio de la cuenca (%).

La ecuación 4.20 se resuelve gráficamente con la figura del Apéndice F.

Estimación de la saturación de suelo, SS . Para la estimación del valor inicial de este parámetro se procedió de manera similar a la de capacidad de campo. Por lo tanto, se empleó la ecuación (4.6) modificada de la manera siguiente:

$$SSP = \frac{W}{100} * PEA * D \quad (4.21)$$

donde:

SSP = lámina de humedad promedio del suelo al punto de saturación (mm),

W = espacio poroso total del suelo (%),

PEA = peso específico aparente del suelo,

D = profundidad promedio real del suelo (mm).

Estimación de la infiltración potencial máxima (S1). El valor inicial de este parámetro fue estimado en función del CN II obtenido de la Tabla E-2 presentada en el Apéndice.

Estimación de la capacidad de campo, FC . El procedimiento seguido para la estimación del valor inicial de este parámetro fue explicado en el aparte correspondiente a la estimación del valor inicial del almacenamiento de humedad del suelo.

Estimación del factor de flujo subterráneo, AG . El procedimiento seguido para la estimación del valor inicial de este parámetro fue explicado en el aparte correspondiente a la estimación del valor inicial del agua subterránea.

Estimación del exponente de la ecuación de infiltración, NF . Según la formulación de la ecuación de infiltración del modelo, NF determina una pendiente negativa de la línea de infiltración. El valor que puede tomar este parámetro depende de las características texturales y la capacidad de infiltración del suelo.

No existe un método definido para estimar el valor inicial de este parámetro. Con la calibración de los eventos se ha observado que los valores más altos se han registrado con suelos de textura gruesas, mientras que con los de textura fina, normalmente, los valores fueron más bajos.

Para un parámetro de esta naturaleza, es necesario tener cierta experiencia con el modelo para tener idea del rango de variación de sus valores. La calibración de numerosos eventos ha demostrado para este parámetro un rango de variación comprendido entre 0.90 a 1.95.

Factores de flujo subsuperficial, FQ, y de percolación, FK.

Los factores de flujo subsuperficial, FQ, y de perco

lación, F_K , reparten la humedad del suelo en flujo subsuperficial no saturado y percolación profunda, respectivamente, y determinan la fracción de este almacenamiento que sale en un DT. El rango de variación de estos parámetros está comprendido entre cero y uno. Y por simple lógica, se deduce que la suma de sus valores debe ser igual o menor que uno, es decir:

$$F_Q + F_K \leq 1 \quad (4.22)$$

Para estos parámetros es difícil estimar sus valores iniciales. Únicamente el proceso de calibración permite obtener su valor final. Por tal razón, sólo se limita a fijar el rango de variación de sus posibles valores.

Infiltración básica de suelo, F_0 . Este parámetro es equivalente a la conductividad hidráulica del suelo en condiciones saturadas. Para el modelo constituye la tasa mínima y constante de infiltración cuando el suelo se satura. Es similar al término f_c de la ecuación de infiltración de Horton, 1939, citado por Gupta (1976).

Un estudio realizado por Hawkins (1980) fue utilizado para obtener los valores de referencia del término f_c . Este autor cita el estudio realizado por Musgrave, 1955, en el cual se relaciona f_c con los grupos hidrológicos de suelos de la clasificación del Soil Conservation Service.

La Tabla 4.9 fue elaborada en base a los resultados obtenidos por Musgrave, 1955.

TABLA 4.9
Rangos de f_c para los grupos hidrológicos de suelo.

Grupo de Suelo	f_c (mm/hr)
A	7.62 - 5.84
+B	5.84 - 4.82
B	4.82 - 3.81
+C	3.81 - 3.05
C	3.05 - 2.54
+D	2.54 - 1.52
D	1.52 - 0.76

Nota: Basado en Musgrave, 1955.

El valor inicial del parámetro F_0 fue estimado de la Tabla 4.9 considerando una clase promedio de suelo para la clasificación hidrológica.

4.4.2 Prueba de sensibilidad de parámetros

La prueba de sensibilidad de parámetros de un modelo consiste en la variación sistemática de los valores de un

parámetro, quedando fijos los valores de los demás parámetros, con el objeto de observar la respuesta del modelo a dichas variaciones.

Esta prueba permite detectar los parámetros de mayor sensibilidad, y en general, cómo afecta la respuesta del modelo las variaciones de sus valores. Además, proporciona criterios útiles para lograr la calibración del modelo a varias cuencas y eventos, como también cuáles son los parámetros cuyos valores iniciales deben ser estimados con mayor cuidado.

Para efectuar esta prueba de sensibilidad, previamente, fueron calibrados algunos eventos en diferentes cuencas, y luego fueron introducidas variaciones sistemáticas a los valores de los parámetros antes calibrados. Como indicadores de la respuesta del modelo fueron tomadas las siguientes constantes : CC, PKQR/QPK, y TQA/CMQ.

En las figuras 5.1 al 5.13 se presentan en forma gráfica los resultados. Analizando dichas figuras pueden notarse cómo influye cada parámetro en la respuesta del modelo.

4.4.3 Obtención de valores de los parámetros

Una vez dispuesta toda la información relacionada a

las cuencas y los eventos, y estimados los valores iniciales de los parámetros, fueron calibrados dos eventos por cada cuenca, tomando como criterios los resultados obtenidos con la prueba de sensibilidad de los parámetros. De esta manera, fueron obtenidos los valores de los parámetros del modelo, que se consideran como reales para cada cuenca.

4.4.4. Correlación de los parámetros con factores fisiográfico-hidrológicos

Esta etapa del trabajo consistió en la búsqueda de posibles correlaciones entre los valores de los parámetros y los factores fisiográfico-hidrológicos cuantitativos de las cuencas. Para cada parámetro fueron supuestas relaciones funcionales considerando el sentido físico de los parámetros del modelo en las formulaciones matemáticas de los procesos hidrológicos. Por consiguiente, hay parámetros que pueden depender del valor de los almacenamientos o de otros parámetros, como se observa a continuación:

$$TP = f(A, LC, PCP, PC, IETc, DT)$$

$$S = f(PA5, PA1, S2)$$

$$NF = f(PEA, SR, S2)$$

$$KF = f(SR, PEA, OS, S, S1)$$

$$FC = f(SR, PEA, FCTU)$$

$$SS = f(SR, PEA, SSTU)$$

$$S1 = f(SR, PEA, S2)$$

$$AG = f(A, LC, PCP, PC, PSS, SR, PEA).$$

$$FQ = f(A, LC, PCP, PC, SR, PEA)$$

$$FK = f(A, LC, PCP, SR, PEA)$$

$$FO = f(SR, PEA, S2).$$

Para el almacenamiento inicial de humedad del suelo, OS, se supuso una relación funcional con la única finalidad de investigar la posibilidad de encontrar alguna ecuación de regresión que permita estimar, con cierta aproximación, el valor de este almacenamiento. La relación funcional supuesta fue la siguiente:

$$OS = f(PA5, PA1, S2)$$

En relación al valor de los almacenamientos OG y OS, se estableció, de antemano, que si se aplica la metodología de generalización para la simulación de eventos medidos, sus respectivos valores podrán ser estimados con los mismos métodos empleados para la estimación del valor inicial de estos almacenamientos. Si se trata de simular eventos no medidos, su valor deberá ser asumido en relación a la capacidad de campo o la saturación del suelo.

En la Tabla 4.10, se presenta en forma esquemática

las interrelaciones supuestas entre los parámetros y los factores fisiográficos-hidrológicos.

TABLA 4.10
Interrelación entre los parámetros y los factores
fisiográfico-hidrológicos

Parámetro	Variables independientes																	
	A	LC	PCP	PC	PEA	SR	FCTU	SSTU	PSS	IETc	PA5	PA1	S2	OS	S	S1	DT	
TP	X	X	X	X						X								X
S											X	X	X					
NF					X	X							X					
KF					X	X								X	X	X		
FC					X	X	X											
SS					X	X		X										
S1					X	X							X					
AG	X	X	X	X	X	X			X									
FQ	X	X	X	X	X	X												
FK	X	X	X		X	X												
FO					X	X							X					
OS											X	X	X					

4.4.5 Determinación de ecuaciones de regresión

Para las interrelaciones supuestas entre parámetros y factores fisiográficos-hidrológicos fueron buscadas las posibles correlaciones estadísticas, a objeto de obtener ecuaciones de regresión válidas para estimar el valor de los parámetros en función de las variables independientes, con las que se suponen tienen cierto grado de dependencia.

El procesamiento estadístico fue realizado mediante tres programas de computación existentes en el banco de programas del CIDIAT. El programa ESCOGENCIA DEL MODELO DE REGRESION (ESCMD) permitió seleccionar los modelos de regresión múltiple que mejor se ajustan a las correlaciones establecidas entre parámetros y factores fisiográfico-hidrológicos. El valor estadístico empleado como criterio de selección fue el coeficiente de correlación múltiple. Existe buena correlación entre las variables cuando el valor estadístico se aproxima a uno. Aunque en muchos casos se obtuvieron bajas correlaciones, se seleccionaron los modelos de regresión y combinaciones de series de variables independientes con más altos valores de coeficientes de correlación.

El programa de REGRESION MULTIPLE (MULRE) calcula los valores de los parámetros de la ecuación de regresión. A partir del modelo de regresión escogido, y los valores

de parámetros calculados con este programa fueron obtenidas una o varias ecuaciones de regresión para cada parámetro.

Con el programa ERROR fue determinado el error promedio absoluto y real, y el error mínimo y máximo para cada ecuación de regresión.

El conjunto de ecuaciones de regresión obtenido permitirá la utilización del modelo de simulación en cuencas sin datos de escorrentía, y como tal constituye el centro de la metodología de generalización de parámetros, objetivo principal de este trabajo.

4.4.6 Verificación de la metodología de generalización

La verificación de la metodología de generalización desarrollada consistió en la comprobación de que los valores de parámetros estimados con esta metodología es capaz de reproducir de manera aceptable los hidrogramas de crecidas observadas en las cuencas hidrológicas.

El procedimiento seguido se resume en los pasos siguientes:

1. Elección de las cuencas. Se escogieron las siguientes cuencas: W-2, Fennimore, Wisconsin, USA
23-H, Hastings, Nebraska, USA

W-15, Cherokee, Oklahoma, USA.

2. Elección de eventos: Los eventos escogidos para cada cuenca aparecen en la Tabla 4.11.
3. Recopilación y adecuación de información. Se efectuó de manera similar a lo explicado en los items 4.2 y 4.3. Los datos preparados son mostrados en la Tabla 4.11.
4. Estimación de valores de los parámetros. Se efectuó mediante las ecuaciones de regresión obtenidas con el estudio de correlación de los parámetros. Los valores estimados aparecen en la Tabla 5.5. Para OS fueron empleados promedios estimados con las ecuaciones 5.32 y 5.33.
5. Simulación de la escorrentía. Se introdujeron al modelo todos los datos requeridos. Para cada evento se efectuó una corrida en el computador y fueron obtenidos los hidrogramas medido y simulado.

TABLA 4.11

Información utilizada para la verificación de la metodología de generalización de parámetros.

C u e n c a	Factores fisiográficos de las cuencas							Fecha de los eventos					Característica de los eventos				
	Area (ha)	LC (m)	PCP (%)	PC (%)	PSS /cm/hr	SR	PEA	FCU (mm)	SSTU (mm)	eventos		PA5 (mm)	PA1 (mm)	S2 (mm)	IETc (mm/hr)	DT (min)	
W-15, Cherokee, Oklahoma, USA	0.87	130.78	0.93	1.50	4.00	0.21	1.31	395.62	657.62	21-05-62	21.84	17.78	69.57	50.29	10		
23-H, Hastings, Nebraska USA	1.70	131.15	3.71	4.30	3.24	0.32	1.30	403.00	663.00	23-08-62	14.73	14.73	103.75	123.44	5		
W-2, Fennimore, Wisconsin, USA.	9.23	325.12	4.69	5.77	4.00	0.21	1.31	395.62	657.62	03-06043	75.95	53.06	50.56	10.19	2		
										09-06-62	23.88	12.45	71.64	46.99	12		
										12-07-67	0.00	0.00	46.60	57.91	10		

CAPITULO 5

RESULTADOS

Este capítulo está dedicado a la presentación y discusión de los resultados obtenidos en el trabajo. Estos son la prueba de sensibilidad del modelo, valores de los parámetros obtenidos por calibración, ecuaciones de regresión para estimación de los parámetros del modelo, y verificación de la metodología de generalización de parámetros.

5.1 PRUEBA DE SENSIBILIDAD DE PARAMETROS

Los resultados de la prueba de sensibilidad de parámetros del modelo son presentados gráficamente en las Figuras 5.1 al 5.13. A continuación se analizan la influencia de las variaciones de los valores de cada parámetro sobre las relaciones indicadoras de calibración.

5.1.1 Tiempo al pico del hidrograma unitario

Este es un parámetro que afecta fundamentalmente la forma del hidrograma y la magnitud del pico de la crecida. Valores menores que el calibrado aumenta el pico, ocurrien

do lo contrario con los valores mayores; razón por la cual el CC se desmejora hacia ambos extremos. El volumen simulado no cambia, en razón de que el cambio de la forma del hidrograma no afecta el área comprendida bajo el mismo.

5.1.2 Humedad inicial del suelo

La humedad inicial del suelo es más bien una variable y no un parámetro propiamente. Su valor es gravitante sobre los procesos de escorrentía, en tanto que afecta a sus tres componentes. Con valores bajos de OS no se reproducen ninguno de los flujos. Sólo ocurre flujo superficial cuando la intensidad de precipitación supera la capacidad de infiltración. Recién cuando la precipitación aporta suficiente agua al suelo ocurrirán todos los flujos. Si por el contrario, OS es alto, de inmediato se producen todos los flujos.

El pico y el volumen simulados aumentan casi proporcionalmente con OS, mientras que CC se desmejora hacia ambos extremos. Según la Figura 5.2 el valor OS es crítico para la calibración del modelo.

5.1.3 Infiltración potencial estimada

La infiltración potencial estimada, S, del evento es un parámetro de escasa sensibilidad. La Figura 5.3 de-

muestra unos pequeños cambios repentinos de los indicadores de calibración al aumentar el valor de S . Este comportamiento permite que S pueda ser considerada más bien como variable y no precisamente como parámetro del modelo.

5.1.4 Agua subterránea inicial

Al igual que OS , el contenido inicial del almacenamiento de agua subterránea, OG , no es un parámetro sino una variable del modelo. La Figura 5.4 demuestra que las variaciones de su valor afectan muy poco la respuesta del modelo.

5.1.5 Factor de infiltración real

La Figura 5.5 demuestra la respuesta del modelo a las variaciones del valor del parámetro KF . Valores menores que el calibrado aumentan el volumen y el pico simulados. Este factor determina la tasa de infiltración del agua precipitada. Un valor bajo representa una infiltración lenta, en cuyo caso se produce mayormente escorrentía superficial. Este flujo tiene tiempo de retardo corto y afecta rápidamente el hidrograma de la crecida. Si sigue aumentando KF , el agua precipitada se infiltra totalmente, y llega a un punto que ya no afecta al volumen ni al pico de la crecida.

El CC es afectado negativamente con valores bajos de KF; llega a un punto óptimo, luego se desmejora más lentamente que al principio, hasta llegar a un punto que ya no varía, y lo mismo que ocurre con el volúmen y el pico simulados.

5.1.6 Saturación del suelo

La respuesta del modelo presentado en la Figura 5.6 demuestra que con valores bajos de SS se produce en alta proporción flujo subsuperficial saturado. La capacidad de infiltración disminuye por la rápida saturación del suelo, produciéndose en consecuencia mayor cantidad de flujo subsuperficial. Ambos afectan rápidamente el pico y el volúmen simulados y por lo tanto, el CC se desmejora con los valores bajos de SS.

Este comportamiento SS hace que sea considerado más bien como una variable, y no propiamente como un parámetro del modelo.

5.1.7 Capacidad de campo

Las Figuras 5.7a y 5.7b denotan comportamiento similar de FC en dos cuencas diferentes. Con valores bajos de este parámetro, la capacidad de almacenamiento útil del suelo disminuye proporcionalmente. Como consecuencia la ta

sa de infiltración es baja, y se produce alta proporción de flujo superficial, e igualmente la retención de humedad se reduce, ocurriendo por lo tanto mayor cantidad de flujo sub superficial.

Al aumentar FC, y como la cantidad de precipitación es finita, ésta puede infiltrarse casi totalmente dependiendo de la intensidad de precipitación. En este caso, todo el agua infiltrada queda retenida en el suelo y no se produce flujo subsuperficial. Esto explica el por qué más allá de un cierto valor FC ya no existe respuesta alguna del modelo.

5.1.8 Infiltración potencial máxima

En las Figuras 5.8a y 5.8b se muestra la respuesta del modelo a las variaciones de S1. Se observa que S1 afecta la esorrentía de manera similar en dos cuencas diferentes. Su influencia es similar a FC. Obviamente, valores con valores bajos de S1 ocurre poca infiltración y se produce flujo superficial en alta proporción.

Los valores altos de S1 hace que se infiltre la totalidad de la lluvia y se produzca solamente flujo subsuperficial. Este flujo tiene tiempo de retardo mayor que el flujo superficial. Por tales razones, el CC y el pico simulado son levemente afectados con los valores de S1 mayo-

res que el calibrado, mientras que el volumen prácticamente no varía.

5.1.9 Factor de flujo subterráneo

El parámetro AG determina la porción del agua subterránea que sale como flujo base y llega a la corriente. Generalmente, el flujo subterráneo es el componente más pequeño de la esorrentía durante una crecida. Por ésto, las variaciones de AG tienen escasa influencia sobre la respuesta del modelo, tal como se observa 5.9.

5.1.10 Exponente de la ecuación de infiltración

Al igual que los demás parámetros que afectan el proceso de infiltración, los valores bajos de NF producen alta proporción de flujo superficial. En la Figura 5.10 se observa que NF se comporta de manera similar a KF.

5.1.11 Factor de flujo subsuperficial no saturado

El comportamiento de FQ mostrada en la Figura 5.11 es típico de un evento con alta proporción de flujo subsuperficial no saturado. FQ determina el retardo de este flujo, por tanto, valores cercanos a cero causa una lenta salida de flujo subsuperficial, ocurriendo lo contrario a medida que aumenta su valor. El flujo subsuperficial afecta más fuertemente al volumen que al pico simulados.

5.1.12 Factor de percolación

El factor de percolación, FK , y el factor de flujo subsuperficial, FQ , reparten el contenido de humedad del suelo en flujo subsuperficial y percolación, respectivamente. Infiltración y percolación son dos procesos asociados. Si la percolación no remueve el agua infiltrada, ésta se hace más lenta y se produce más flujo superficial. Si la percolación remueve rápidamente el agua infiltrada, aumenta el contenido de agua subterránea, pudiéndose producir flujo subterráneo importante. La Figura 5.12 confirma estas aseveraciones.

5.1.13 Infiltración básica

Según la Figura 5.13, solamente valores elevados de $F0$ influye en la respuesta del modelo. $F0$ representa la tasa constante de infiltración cuando se alcanza la saturación del suelo. Si el agua de lluvia no satura el suelo, $F0$ no influye sobre la respuesta del modelo; por lo tanto, puede ser conservado más bien como una variable del modelo.

5.2 OBTENCION DE VALORES DE LOS PARAMETROS

En general se obtuvo buena calibración de los eventos en las 25 cuencas. La Tabla 5.1 contiene los valores de los parámetros obtenidos con la calibración del modelo.

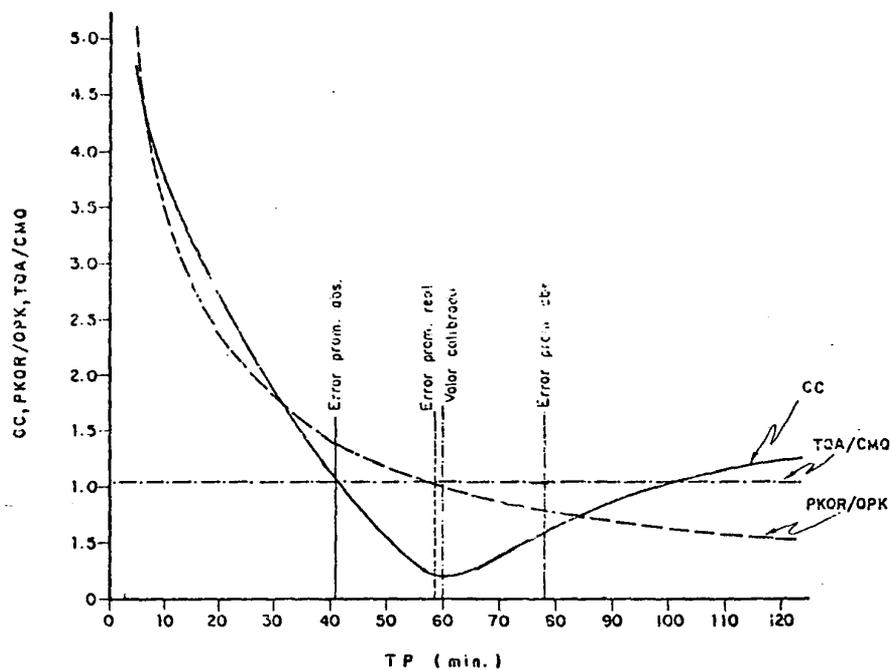


Figura 5.1 Prueba de sensibilidad del tiempo al pico (TP)
 Evento 04-09-62, W-10, Oxford, Mississippi. TP calibrado = 60 min.

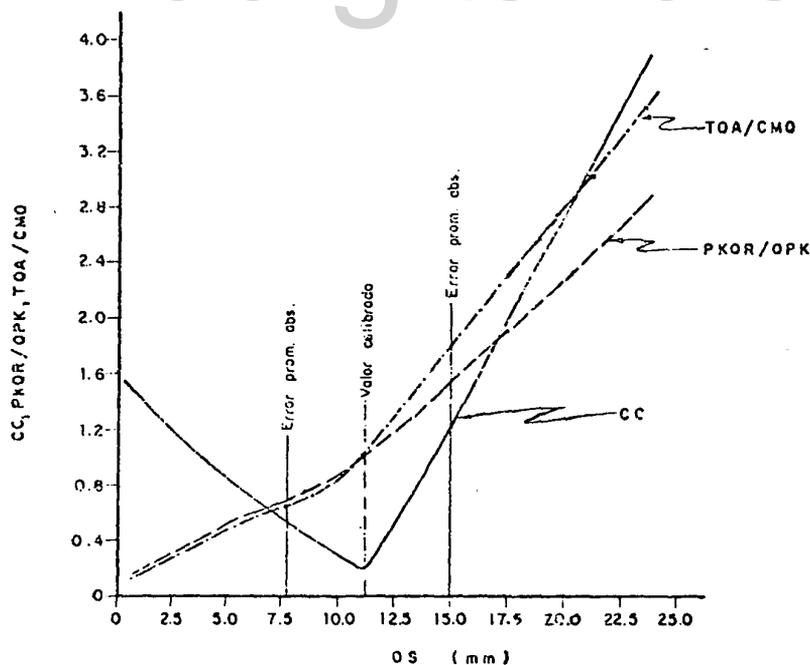


Figura 5.2 Prueba de sensibilidad de la humedad inicial del suelo (OS).
 Evento 04-09-62, W-10, Oxford, Mississippi.
 OS calibrado = 11.15 mm

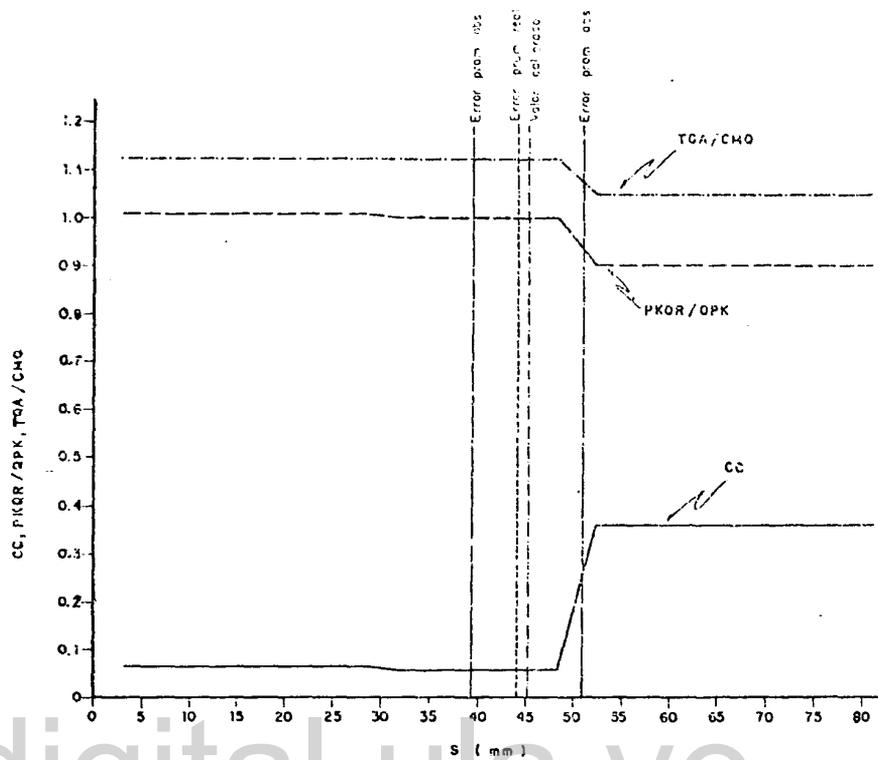


Figura 5.3 Prueba de sensibilidad de la infiltración potencial calculada (S1).
 Evento 31-03-57, SW-17, Riessel (Waco, Texas. S calibrado = 45.34 mm

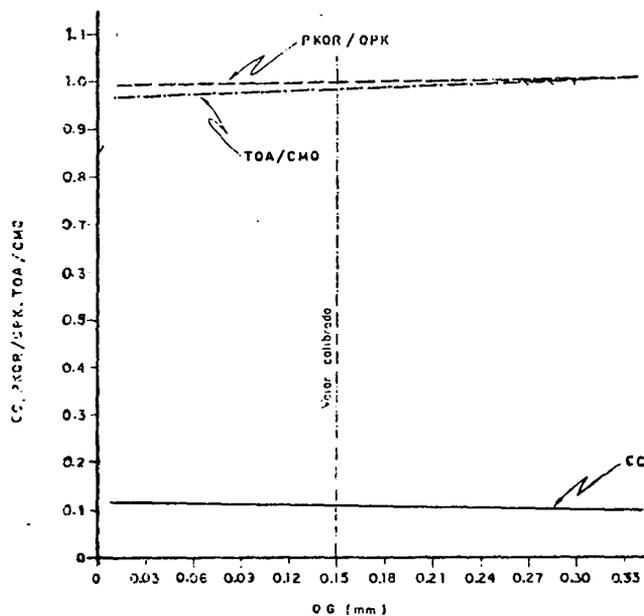


Figura 5.4 Prueba de sensibilidad del almacenamiento inicial de agua subterránea
 Evento 00-02-82, Cuenca Experimental Quebrada La Cuesta
 OG calibrado = 0.15 mm

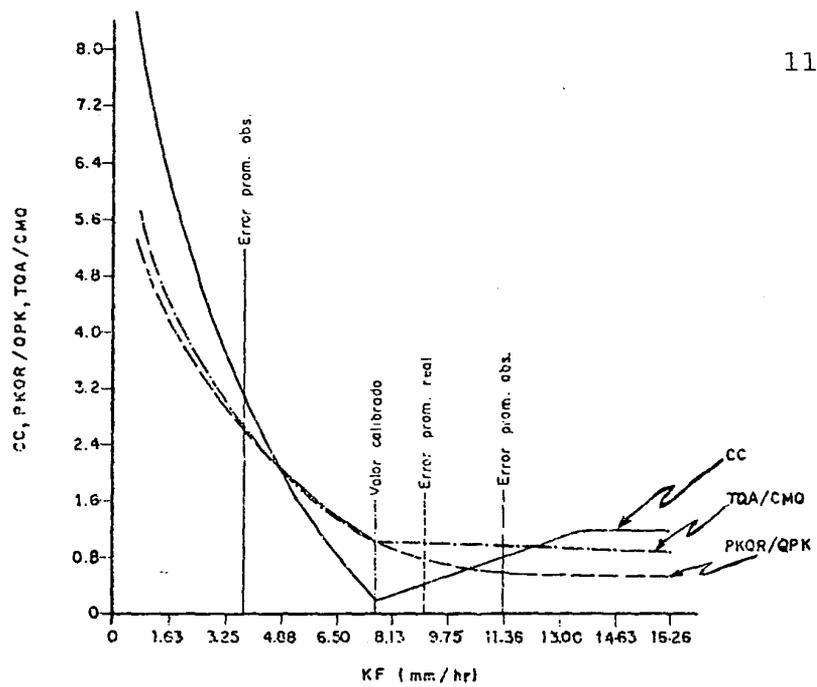


Figura 5.5 Prueba de sensibilidad del factor de la ecuación de infiltración real (KF). Evento 04-09-62, W-10, Oxford Mississippi. KF calibrado = 7.569 mm/hr.

www.bdigital.ula.ve

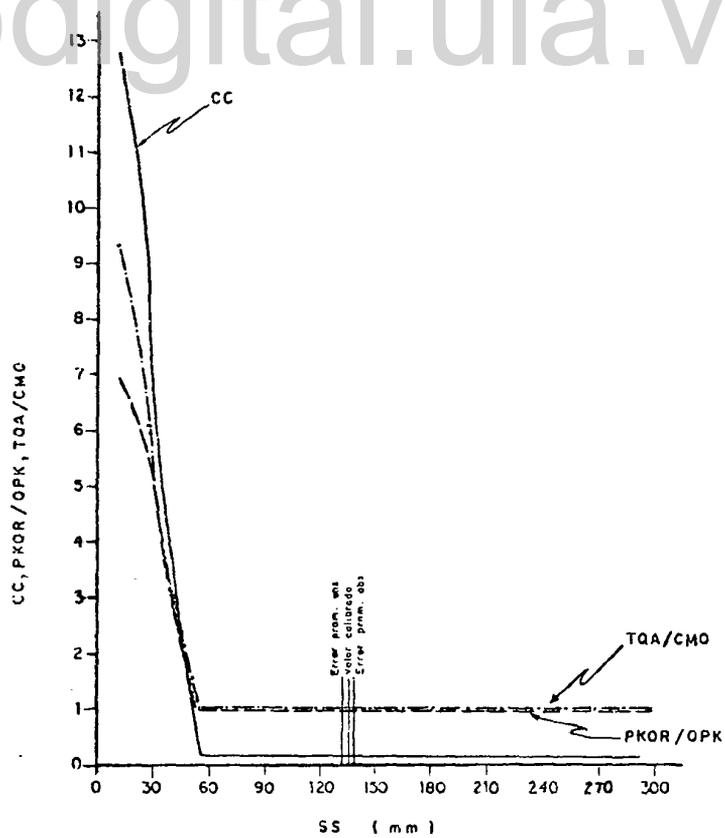


Figura 5.6 Prueba de sensibilidad de la saturación del suelo (SS) Evento 04-09-62, W-10, Oxford, Mississippi. SS calibrado = 135.89 mm

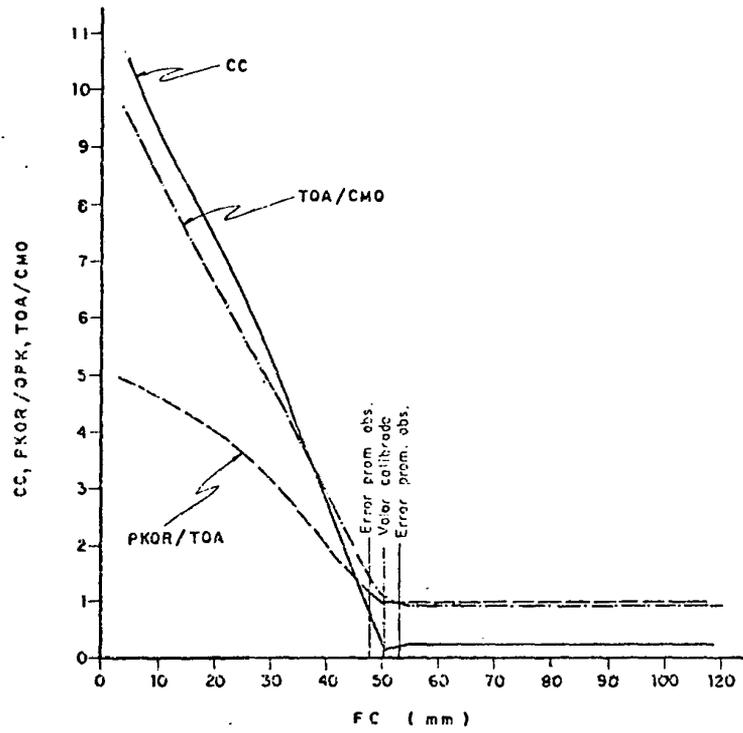


Figura 5.7a Prueba de sensibilidad de la capacidad de campo (FC).
 Evento 04-09-62, W-10, Oxford, Mississippi
 FC calibrado = 50.42 mm

www.bdigital.ula.ve

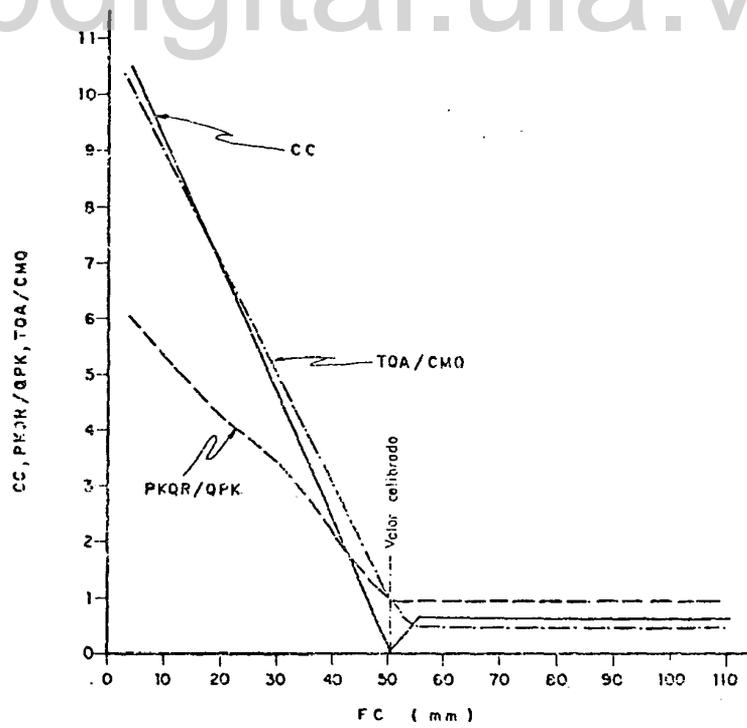


Figura 5.7b Prueba de sensibilidad de la capacidad de campo.
 Evento 08-02-82, Cuenca Experimental Quebrada La Cuesta.
 FC calibrado = 50.3 mm

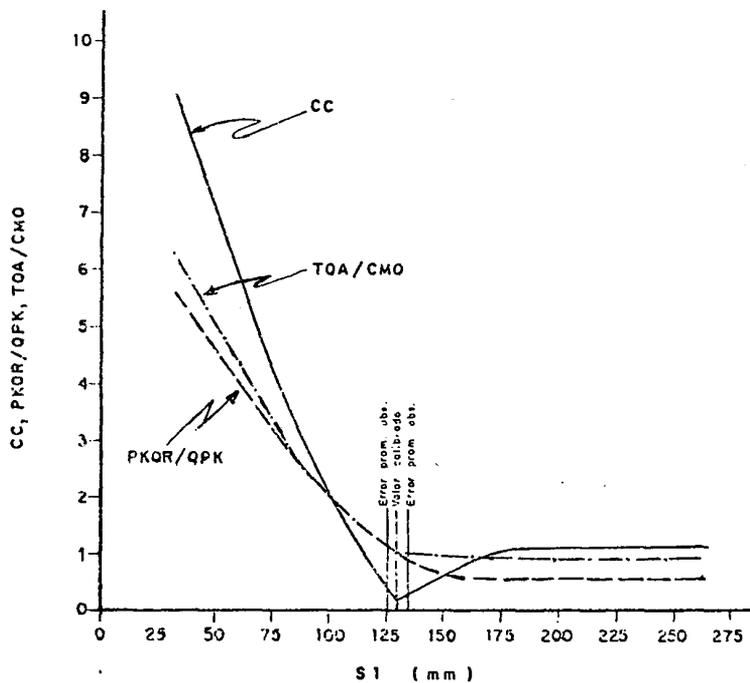


Figura 5.8a Prueba de sensibilidad de la infiltración potencial máxima (S1).
 Evento 04-09-62, W-10, Oxford, Mississippi.
 S1 calibrado = 128.27 mm.

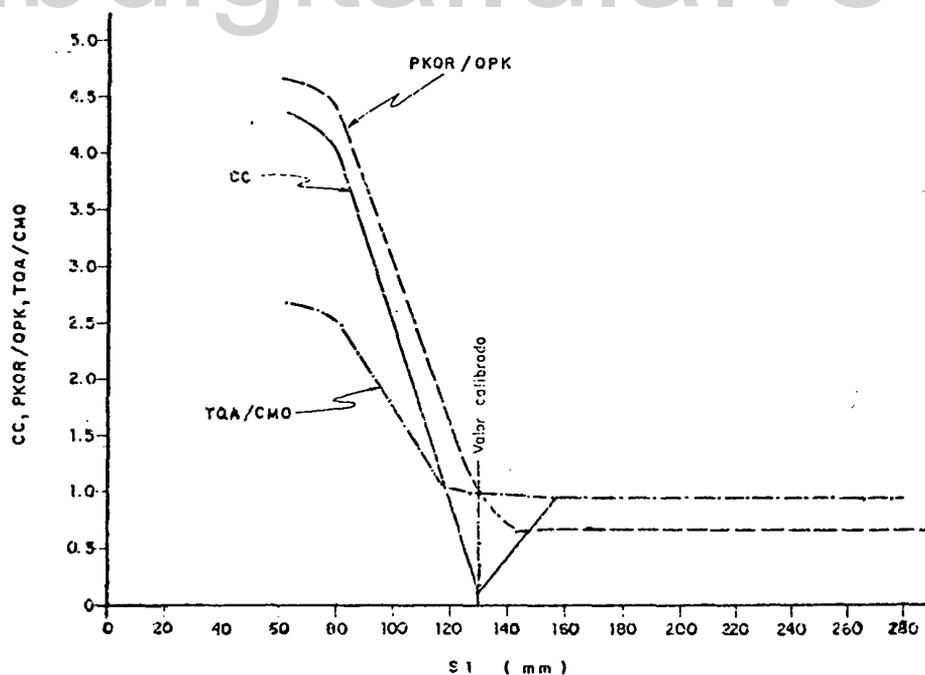


Figura 5.8b Prueba de sensibilidad de la infiltración potencial máxima (S1).
 Evento 08-02-82, Cuenca Experimental Quebrada La Cuesta.
 S1 calibrado = 130 mm.

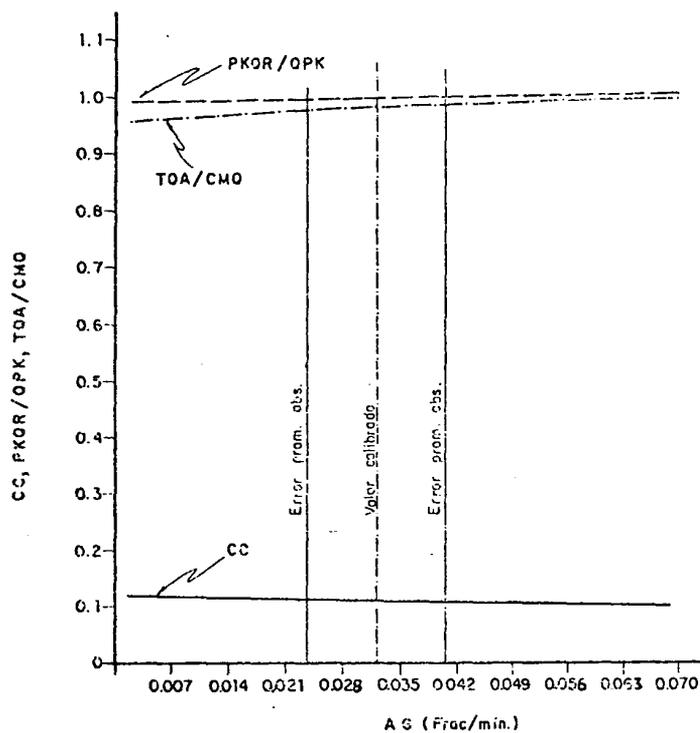


Figura 5.9 Prueba de sensibilidad del factor de flujo base. Evento OS-02-82, Cuenca Experimental Quebrada, La Cuesta. AG calibrado = 0.032 Frac/DT.

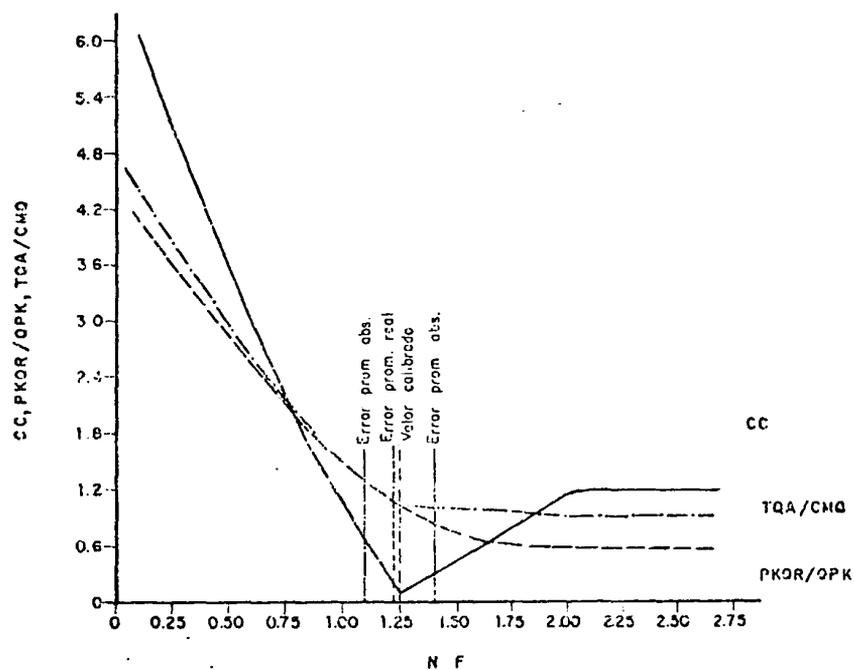


Figura 5.10 Prueba de sensibilidad del exponente de la ecuación de infiltración real (NF). Evento 04-09-62, W-10, Oxford, Mississippi. NF calibrado = 1.25.

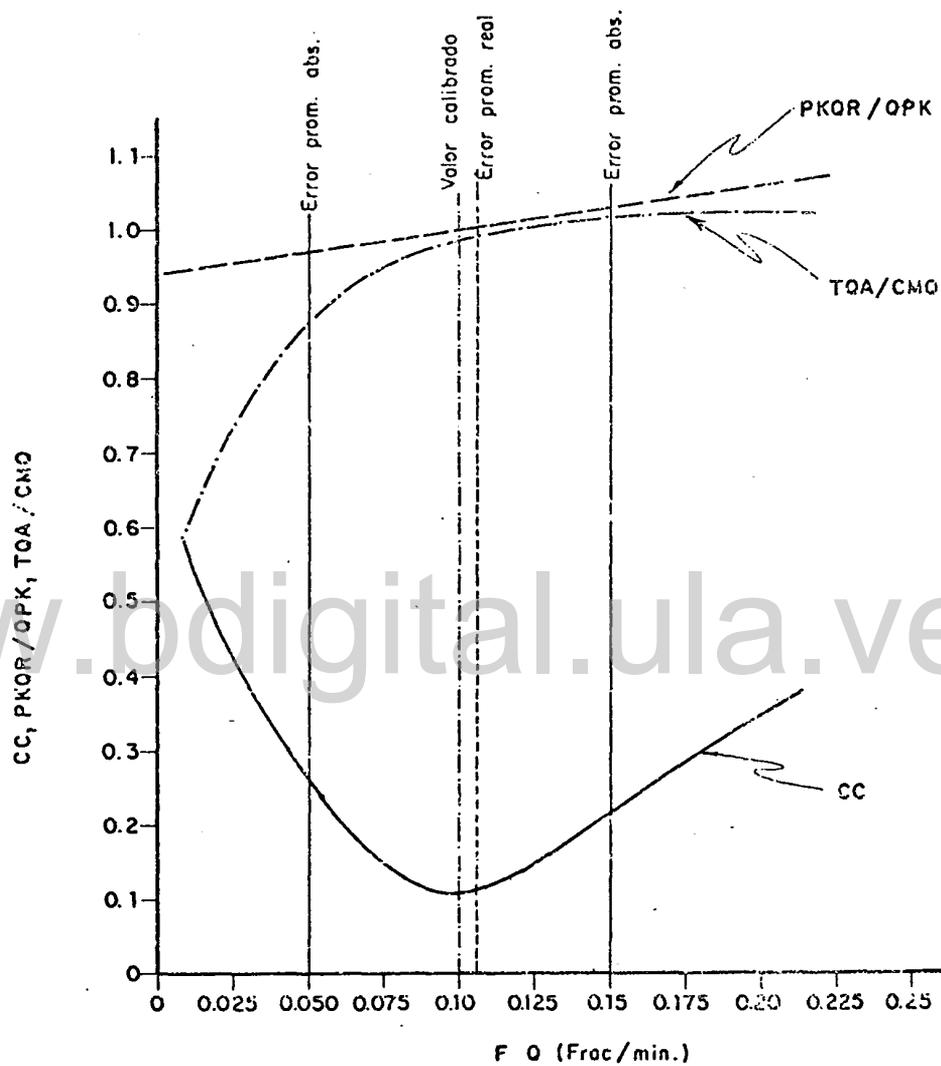


Figura 5.11 Prueba de sensibilidad del factor de flujo subsuperficial no saturado. Evento 08-02-82, Cuenca Experimental Quebrada La Cuesta. FO calibrado = 0.10 Frac/DT.

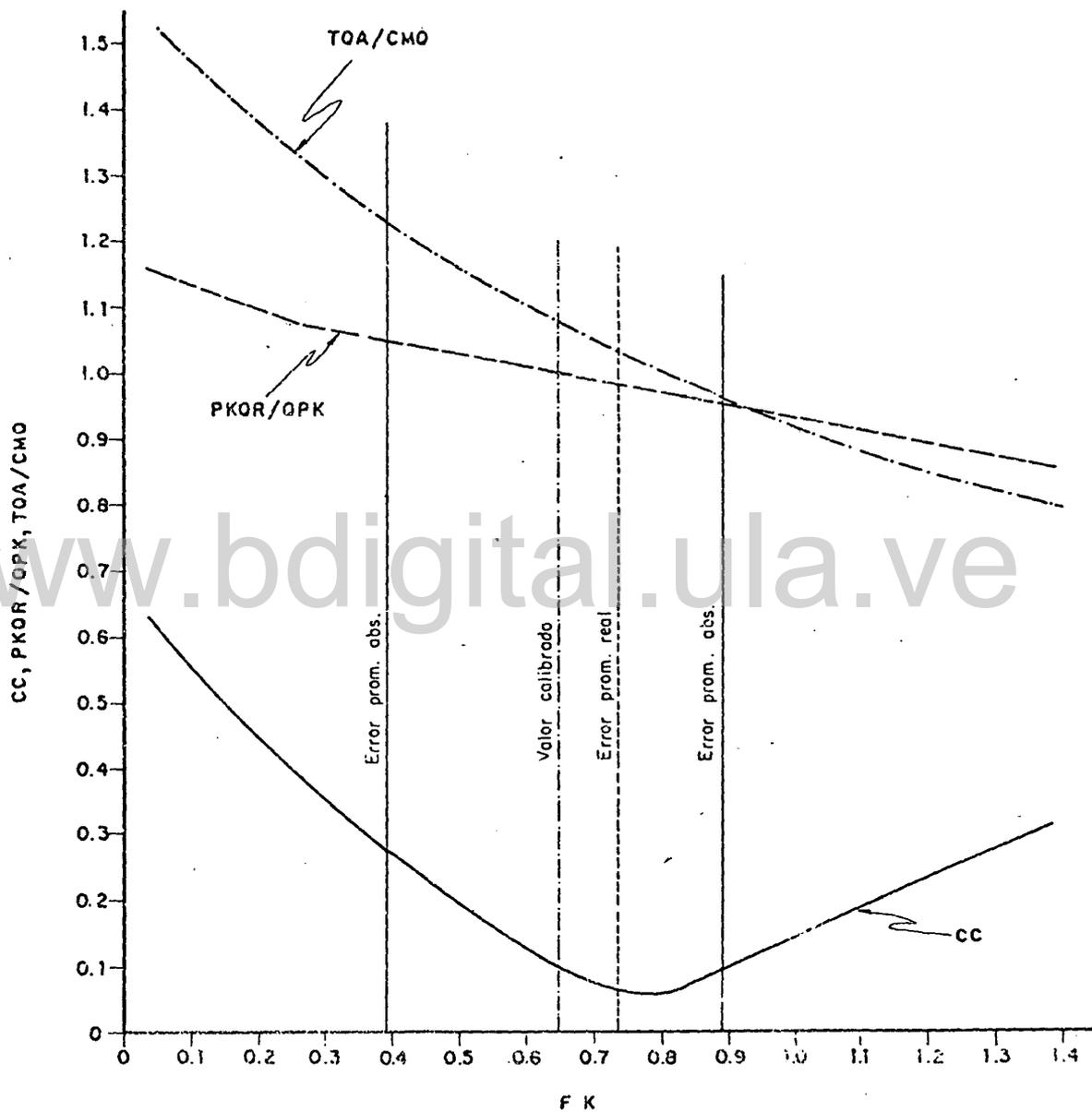


Figura 5.12 Prueba de sensibilidad del factor de percolación profunda (FK). Evento 12-06-58, 5-H, Hastings, Nebraska. FK calibrado = 0.645.

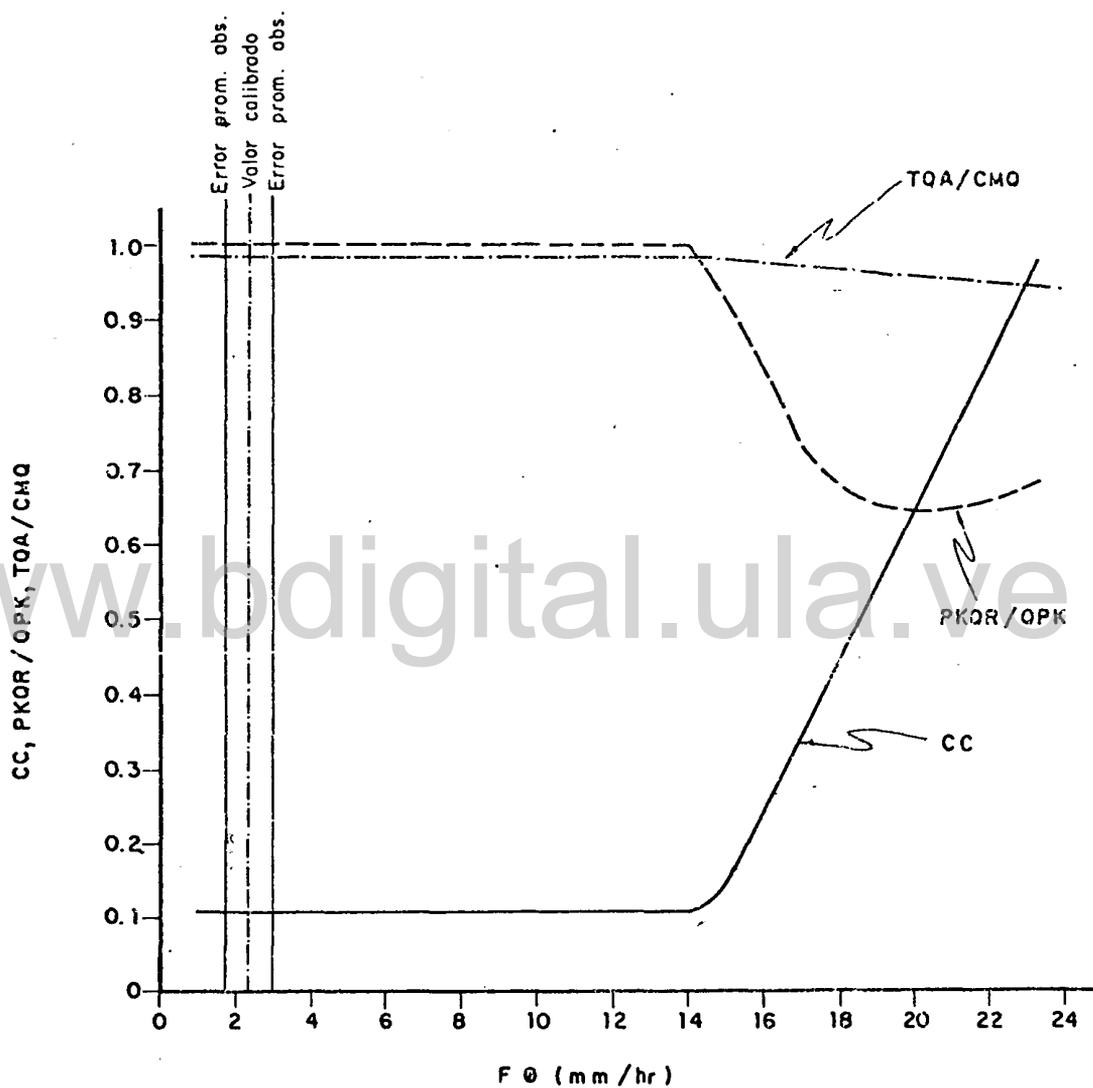


Figura 5.13 Prueba de sensibilidad de la infiltración básica (F_0).
 Evento 08-02-82, Cuenca Experimental Quebrada La Cuesta.
 F_0 calibrado = 2.3 mm.

TABLA 5.1

Valores de los parámetros obtenidos con la calibración del modelo

Evento Nº	TP (min)	OS (mm)	S (mm)	KF (mm/h)	OG (mm)	AG (Frac/min)	FQ (Frac/min)	FK (mm)	FC (mm)	NF	FO (mm/h)	S1 (mm)	SS (mm)
1	705.0	12.95	74.93	9.817	5.46	0.000405	0.000465	0.2535	52.32	1.55	5.55	162.51	168.91
2	745.0	9.78	72.64	9.525	2.67	0.000405	0.000465	0.2535	52.32	1.55	5.55	162.51	168.91
3	112.0	18.16	49.91	7.988	0.22	0.001025	0.01075	0.4025	52.45	1.00	1.75	135.89	138.43
4	160.5	7.25	54.61	1.770	0.32	0.001025	0.01075	0.4025	52.45	1.00	1.75	135.89	138.43
5	438.0	28.58	68.07	8.720	15.11	0.000383	0.000263	0.2235	52.27	1.55	5.45	163.83	168.91
6	450.0	34.95	62.48	7.569	0.89	0.000383	0.000263	0.2235	52.27	1.55	5.45	163.83	168.91
7	83.0	39.38	46.99	3.556	5.08	0.000775	0.01128	0.1055	52.13	0.91	3.51	130.81	133.35
8	111.0	50.19	39.37	3.581	0.55	0.000775	0.01128	0.1055	52.13	0.91	3.51	130.81	133.35
9	60.0	11.15	58.04	7.569	0.00	0.00183	0.01483	0.2985	50.42	1.25	3.30	128.27	135.89
10	95.0	29.33	41.50	3.302	0.00	0.00183	0.01483	0.2985	50.42	1.25	3.30	128.27	135.89
11	36.25	21.91	46.99	9.129	0.00	0.0076	0.0305	0.35	47.63	1.15	3.37	130.81	133.35
12	42.5	16.8	54.61	4.595	0.76	0.0076	0.0305	0.35	47.63	1.15	3.37	130.81	133.35
13	24.8	33.7	46.99	18.974	0.00	0.0077	0.0193	0.1781	50.8	1.685	3.58	132.08	135.89
14	19.22	41.4	42.93	13.975	0.00	0.0077	0.0193	0.1781	50.8	1.685	3.58	132.08	135.89
15	75.0	33.29	48.0	2.310	1.85	0.00213	0.00667	0.0565	50.5	1.95	2.3	130.0	135.0
16	47.8	27.9	65.0	3.918	0.15	0.00213	0.00667	0.0565	50.5	1.95	2.3	130.0	135.0
17	7.0	46.99	40.26	57.150	0.00	0.0022	0.1335	0.645	53.85	1.55	2.79	129.54	132.08

Continuación TABLA 5.1

Even- to N°	TP (min)	OS (mm)	S (mm)	KF (mm/h)	OG (mm)	AG (Frac/min)	FQ (Frac/min)	FK (mm)	FC (mm)	NF	FO (mm/h)	S1 (mm)	SS (mm)
18	3.35	49.97	35.18	52.07	0.00	0.0022	0.1335	0.645	53.85	1.55	2.79	129.54	132.08
19	6.85	19.94	45.34	25.077	0.00	0.005	0.07018	0.165	49.53	0.90	3.43	127.0	129.54
20	6.95	37.14	45.59	24.956	0.00	0.005	0.07018	0.165	49.53	0.90	3.43	127.0	129.54
21	7.95	15.49	54.74	20.787	0.00	0.005	0.0071	0.150	48.90	0.90	2.79	127.0	129.54
22	6.30	23.63	50.42	9.272	0.00	0.005	0.0071	0.150	48.90	0.90	2.79	127.0	129.54
23	8.25	10.92	52.07	20.470	0.00	0.0075	0.1917	0.150	51.61	1.00	2.79	128.27	133.35
24	8.79	49.42	40.26	27.686	0.00	0.0075	0.1917	0.150	51.61	1.00	2.79	128.27	133.35
25	7.885	24.68	46.99	33.960	0.00	0.0045	0.10833	0.4215	47.63	1.00	3.39	126.62	130.81
26	6.0	15.0	52.07	28.194	0.00	0.0045	0.10833	0.4215	47.63	1.00	3.39	126.62	130.81
27	8.0	8.01	57.28	21.107	0.00	0.00275	0.03625	0.545	52.76	1.00	3.43	128.30	140.97
28	8.461	46.25	35.94	16.383	0.00	0.00275	0.03625	0.545	52.76	1.00	3.43	128.30	140.97
29	14.29	14.48	54.23	15.575	0.00	0.0045	0.2173	0.150	49.53	1.51	3.43	129.79	133.35
30	11.10	20.67	47.75	13.386	0.00	0.0045	0.2173	0.150	49.53	1.51	3.43	129.79	133.35
31	6.185	47.88	40.64	29.566	0.00	0.00313	0.12063	0.055	52.07	1.00	3.18	125.73	135.89
32	9.10	36.02	46.99	30.290	0.00	0.00313	0.12063	0.055	52.07	1.00	3.18	125.73	135.89
33	12.90	45.17	45.34	11.643	0.00	0.00337	0.03933	0.375	52.20	1.447	1.59	127.0	129.54
34	9.97	45.29	45.34	42.037	0.00	0.00337	0.03933	0.375	52.20	1.447	1.59	127.0	129.54

Continuación TABLA 5.1

Even- to N°	TP (min)	OS (mm)	S (mm)	KF (mm/h)	OG (mm)	AG (Frac/min)	FQ (Frac/min)	FK	FC (mm)	NF	F0 (mm/h)	S1 (mm)	SS (mm)
35	8.05	7.66	52.32	29.942	0.00	0.005	0.0917	0.525	54.59	0.985	2.67	127.0	133.35
36	16.25	34.67	44.45	12.314	0.00	0.005	0.0917	0.525	54.59	0.985	2.67	127.0	133.35
37	9.15	6.48	57.15	27.991	0.00	0.00337	0.1289	0.50	49.56	1.00	3.33	127.0	129.54
38	13.29	36.38	49.53	11.748	0.00	0.00337	0.1289	0.50	49.56	1.00	3.33	127.0	129.54
39	6.55	15.78	52.07	18.034	0.00	0.00383	0.1717	0.1925	46.99	1.00	3.26	130.81	134.62
40	12.95	33.78	44.45	9.728	0.00	0.00383	0.1717	0.1925	46.99	1.00	3.26	130.81	134.62
41	6.16	36.83	43.18	23.264	0.00	0.00638	0.0675	0.475	43.18	1.00	3.34	127.0	132.08
42	4.95	2.92	67.31	37.548	0.00	0.00638	0.0675	0.475	43.18	1.00	3.34	127.0	132.08
43	9.55	26.70	43.69	16.002	0.00	0.0036	0.03924	0.375	53.47	1.555	1.05	127.0	129.54
44	9.00	28.70	46.23	14.688	0.00	0.0036	0.3924	0.375	53.47	1.555	1.05	127.0	129.54
45	10.25	28.71	39.37	15.304	0.00	0.0036	0.3924	0.375	53.47	1.555	1.05	127.0	129.54
46	6.15	29.08	47.88	13.691	0.00	0.0036	0.03924	0.375	53.47	1.555	1.05	127.0	129.54
47	10.0	18.71	52.96	10.174	0.00	0.0036	0.03924	0.375	53.47	1.555	1.05	127.0	129.54
48	6.85	30.48	46.23	16.751	0.00	0.0036	0.03924	0.375	53.47	1.555	1.05	127.0	129.54
49	10.20	17.58	55.50	11.893	0.00	0.0036	0.03924	0.375	53.47	1.55	1.05	127.0	129.54
50	6.45	28.65	47.12	12.116	0.00	0.0036	0.03924	0.375	53.47	1.555	1.05	127.0	129.54

Los cinco primeros parámetros que aparecen en esta tabla son los que dependen de las condiciones iniciales del evento; por ello, sus valores varían con cada uno de ellos. Los demás parámetros son dependientes de los factores fisiográficos de cada cuenca y, por lo tanto, sus valores son fijos.

En el Apéndice G se presentan, a manera de ejemplo los resultados de algunos de los eventos calibrados.

5.3 ECUACIONES DE REGRESION DE LOS PARAMETROS

Mediante el estudio de correlación fueron obtenidas más de una ecuación de regresión para cada parámetro del modelo. Dichas ecuaciones son presentadas en las Tablas 5.2 y 5.3 con sus respectivos coeficientes de correlación y los errores porcentuales. Para el error porcentual se detallan el promedio absoluto, el promedio real, el mínimo y el máximo. Estos índices son importantes para apreciar la bondad de estimación de dichas ecuaciones.

La prueba de correlación de la relación funcional su puesta para OS dió resultados aceptables con dos ecuaciones de regresión, como puede observarse en la Tabla 5.4.

TABLA 5.2

Ecuaciones de regresión más recomendadas para estimación de valores de los parámetros.

N°	E C U A C I O N E S	Coef. de Correl.	E R R O R (%)	
			Promedio Real	Máximo Absol.
5.1	AG = 0.00000349*A-0.00000056*LC-0.0000857*PCP +0.0000687*PSS+0.000101*SR+0.00358*PEA	0.708	-0.28	28.11
5.2	FC = -0.0447*SR+28*PEA+0.0409*FCTU	0.379	-0.43	5.18
5.3	F0 = 0.392*SR+1.8*PEA+0.00214*S2	0.831	+1.38	23.78
5.4	FK = A**0.131*LC**-0.344*PCP**-0.216**R**SR** -0.235*PEA**2.18	0.508	+13.91	39.29
5.5	FQ = 0.261+(0.0000046*A-0.00000592*LC+0.00926*PCP -0.00781*PC+0.00794*PSR-0.0307*SR+0.256*PEA)	0.737	+6.33	52.29
5.6	KF = SR**-0.282*PEA**0.0776*0S**-0.356*S**-1.76 *S1**2.13	0.400	-10.5	54.00
5.7	NF = 6.34-(4.19*PEA+0.242*SR+0.0047*S2)	0.719	-0.45	12.36
5.8	S = 56.3-(0.0614*PA5-0.246*PA1-0.06*S2)	0.518	-2.25	12.75
5.9	S1 = 97.2*PEA+0.426*SR	0.976	-0.38	3.61
5.10	SS = 47.9+(7.52*SR+0.123*SSTU)	0.963	-0.11	1.45
5.11	TP = 2.216657 (LC**0.229*PCP**-0.0978*IE TC**-0.135 *DT**0.687)	0.945	-1.86	29.67
			+2.76	-104.55

TABLA 5.3.

Ecuaciones de regresión para estimación de los parámetros en casos alternativos.

Nº	E C U A C I O N E S	Coef. de Correl.	E R R O R (%)	
			Promedio Real	Mínimo Máximo
5.12	AG = 0.00000236*LC+0.000064*PSS-0.0000409*SR+0.00315*PEA	0.630	+10.37	36.04 -3.78 141.99
5.13	AG = 0.0000515*PSS-0.000872*SR+0.00315*PEA	0.469	+1.49	35.32 +4.03 -111.39
5.14	FC = 129.024(SR**0.0537*PEA**-1.07*FCTU**0.0869)	0.504	+65.30	38.92 +59.93 + 70.12
5.15	FC = 128.825(SR**0.0541+PEA**-1.98*FCTU**0.0889)	0.503	+65.53	89.17 +60.16 + 70.31
5.16	FC = 0.392*SR+1.84*PEA+0.00214*S2	0.831	+ 1.378	23.78 + 0.63 + 59.99
5.17	FO = 2.19*PEA	0.830	+ 3.49	25.54 + 2.75 60.70
5.18	FK = -0.0327*SR+0.249*PEA	0.241	- 1.18	43.32 - 6.04 -102.05
5.19	FK = PEA**0.286*S**-0.383*PSS**-0.0621*LC**-0.0517.	0.443	-78.92	95.12 + 5.99 -251.75
5.20	FQ = 0.00000716**A+0.00842*PCP-0.00736*PC-0.0168*SR+0.0733*PEA	0.628	+ 8.89	61.02 + 1.68 -151.52
5.21	FQ = A**0.181*LC**-0.46*PCP**0.052*SR**0.03*PEA**1.23	0.645	+56.51	63.34 + 5.85 + 99.74
5.22	KF = -2.75*SR+6.76*PEA+0.168*OS+U.0453*S+0.0303*S1	0.318	- 2.52	51.64 2.35 -160.80
5.23	KF = 0.375*SR+0.411*PEA+0.143*OS-0.041*S+0.149*S1	0.596	+19.77	50.39 - 0.82 -128.70
5.24	NF = 5.61-3.39*PEA+0.248*SR	0.622	+ 0.02	15.54 + 1.65 - 58.47
5.25	S = -0.192*PAS+0.341*PA5+0.626*S2	0.604	-29.81	30.06 + 1.60 + 78.55
5.26	S1 = 97.5*PEA	0.656	- 0.33	3.68 - 0.45 + 8.11
5.27	S1 = 139-(10.6*PEA+6.79*SR)	0.977	- 0.58	8.42 + 0.13 - 3.46
5.28	SS = 125+(6.22*SR+3.40*PEA)	0.960	- 0.53	1.53 - 0.02 - 7.77
5.29	TP = 2.202926(LC**0.229*PCP**-0.094*IETC**-0.134*DT**0.686)	0.972	- 2.01	29.61 + 2.76 -103.34
5.30	TP = LC**0.281*PCP**-0.0459*IETC**-0.0414*DT**0.745	0.961	- 3.80	30.10 + 1.01 +100.00
5.31	TP = 0.9549646(LC**0.263*PCP**-0.0814*DT**0.771)	0.969	- 5.69	28.76 - 3.25 -107.65

TABLA 5.4
Ecuaciones de regresión obtenidas para OS.

N°	Ecuaciones	Coef. Corr.	E r r o r (%)		
			Promedio real obs.	Min.	Máx.
5.32	$OS=27.9+0.143*PA5+0.525*PA1-0.0957*S2$	0.611	+0.43	34.8	-0.54 -103.6
5.33	$OS=0.0875*PA5+0.901*PA1+0.216*S2$	0.611	=39.8	67.6	-0.22 -222.2

Las ecuaciones que se consideran más aceptables para la estimación de valores de los parámetros son las presentadas en la Tabla 5.2. La Tabla 5.3 contiene otras ecuaciones que pueden utilizarse en casos que no puedan ser empleadas las más recomendadas.

Las ecuaciones 5.8 y 5.25 presentarán alguna limitación; en dado caso que la cuenca o parte de ella sea impermeable, el valor de S2 será cero. Y si sumado a esta condición, PA5 y PA1 son iguales a cero, el valor de S sería igual a 56.3 mm con la ecuación 5.8, y cero con la ecuación 5.25. En condiciones como éstas no pueden emplearse estas ecuaciones. Limitaciones similares presentan las ecuaciones 5.32 y 5.33.

Según las formulaciones de los procesos en el modelo ningún parámetro tiene valor negativo. En caso dado que

algunas de las anteriores ecuaciones produjeran valor negativo del parámetro, el mismo debe ser desechado.

Con la finalidad de facilitar el empleo de las ecuaciones de regresión, se presenta en la Tabla 5.5 las unidades de medidas de las variables dependientes e independientes que integran dichas ecuaciones.

TABLA 5.5

Unidades de medidas de las variables dependientes e independientes de las ecuaciones de regresión.

<u>Variables independientes</u>		<u>Variables dependientes</u>	
	<u>Unidad de medida</u>		<u>Unidad de medida</u>
A	Ha	TP	min.
PCP	%		
PC	%	S	mm
LC	m		
IETc	mm/hr	NF	Adimensional
DT	min.	KF	mm/hr
PA5	mm	FC	mm
PAL	mm	SS	mm
S2	mm	S1	mm
PEA	Adimensional	AG	Fracción/min.
SR	Adimensional	FQ	Fracción/min.
FCTU	mm	FK	Adimensional
SSTU	mm	F0	mm/hr
PSS	cm/hr	OS	mm

Si las variables independientes son expresadas en unidades diferentes a las presentadas en la Tabla 5.5, será necesario introducir en las ecuaciones de regresión algunos factores de equivalencia entre las unidades de medidas.

En las Figuras 5.1 al 5.13 son mostrados en qué medida el error de estimación de las ecuaciones de regresión podría afectar la simulación de la escurrentía de un evento dado. La Tabla 5.6 contiene las variaciones de las relaciones $PKQR/QPK$ y TQA/CMQ debidas al error de estimación de las ecuaciones de regresión más recomendadas.

De la Tabla 5.6 se deduce que los errores de los parámetros KF y OS son los más críticos. Este error puede representar una limitación cuando se aplique el modelo para la simulación de eventos medidos.

Por otra parte, si el modelo es utilizado para la simulación de crecidas máximas, el valor de OS debe asumirse según la magnitud de la crecida que se desea simular. Obviamente, las crecidas máximas se producen en condiciones de alta humedad del suelo, generalmente, igual o mayor que la capacidad de campo. Por lo tanto, el valor de OS puede tomarse en relación a la capacidad de campo o la saturación del suelo.

En cambio, si OS se toma igual a la saturación del

suelo, el valor de KF será igual a la infiltración básica, F0. Siendo el valor de KF altamente dependiente de OS, y al definirse éste arbitrariamente, la estimación de KF no re-

TABLA 5.6

Efectos del error promedio sobre los índices de calibración.

Parámetro	Error promedio (%)			
	Absoluto		Real	
	PKQR/QPK	TQA/CMQ	PKQR/QPK	TQA/CMQ
TP	+ 38 a - 22	0	+ 2.0	0
S	0 a - 10	0 a - 6	0	0
KF	+158 a - 40	+154 a - 5	- 24	-2.2
SS	0	0	0	0
FC	+ 15 a 0	+ 15 a - 4	+ 1	+ 1
S1	+ 15 a - 9	+ 15 - 0	0	0
AG	- 0.5 a +1	-0.6 a +0.5	0	0
NF	+ 29 a - 16	+ 20 a - 4	+ 6	+ 0.5
FQ	- 3 a + 3	- 10 a + 3	+0.5	+ 0.6
FK	+ 4.5 a -4.5	+ 15 a -11	-1.8	- 3.0
F0	0	0	0	0
OS	- 32 a + 54	- 35 a + 72	+ 1	+ 1

presentará fuente error importante en la simulación de crecidas máximas.

5.4 VERIFICACION DE LA METODOLOGIA DE GENERALIZACION

Los valores iniciales de los almacenamientos y de los parámetros, estimados con las ecuaciones de regresión de la metodología de generalización, son mostrados en la Tabla 5.7.

Los valores de OS más satisfactorios, para cada evento, fueron los promedios de los valores estimados con las ecuaciones 5.32 y 5.33. Se observó que estas ecuaciones dan estimaciones aceptables de OS, pero se recomienda su empleo sólo cuando se aplican la metodología de generalización de parámetros y el modelo para la simulación de eventos medidos.

Los resultados de la simulación de los eventos pueden considerarse como satisfactorios, puesto que los hidrogramas simulados son muy similares a los hidrogramas observados. En el Apéndice H aparecen las tablas de datos de los eventos, resúmenes de los resultados, y los hidrogramas medidos y estimados.

TABLA 5.7

Parámetros de los eventos simulados para verificación de la metodología de generalización de parámetros

C u e n c a s	Fechas de los eventos	Valores de los parámetros y almacenamientos iniciales.																
		TP (min)	S (mm)	KF (mm/h)	SS (mm)	FC (mm)	SI (mm)	AG (Fr/min)	NF (Fr/min)	FQ (Fr/min)	FK (m)	FO (mm/hr)	OS (mm)	OG (mm)	PKQR (mm)	TQA (mm)	QPK (mm)	CMQ (mm)
W-15, Cherokee,	09-06-1962	28.0	47.5	5.83	130.3	52.86	127.8	0.0048	1.24	0.0958	0.485	2.59	35.56	0.00	1.01	1.14		
Oklahoma	21-05-1961	18.0	46.5	5.03	130.3	52.86	127.8	0.0048	1.24	0.0958	0.485	2.59	46.99	0.00	0.86	1.13		
	12-07-1967	12.0	41.1	10.67	130.3	52.86	127.8	0.0048	1.24	0.0958	0.485	2.54	15.29	0.00	1.01	1.30		
23-H, Hast, Neb.	23-08-1962	8.0	45.5	29.26	131.8	59.69	126.8	0.0045	1.46	0.0880	0.319	2.44	24.13	0.00	1.04	0.98		
W-2, Fenn, Wisc.	03-06-1943	9.0	35.6	40.38	130.08	52.45	128.3	0.0044	1.25	0.491	0.319	2.29	25.78	0.00	1.00	1.06		

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se trató de justificar la necesidad de mejorar los métodos de estimación de crecidas en cuencas sin datos de escorrentía. Haciendo uso de los eficientes medios de procesamiento de datos, como son las computadoras actuales, se desarrolló una metodología para la estimación de los parámetros del modelo instantáneo desarrollado por Rojas (1984). La naturaleza del trabajo lo ubica en el área más promisoría de la hidrología aplicada.

El desarrollo del trabajo y los resultados obtenidos permiten extraer las conclusiones y recomendaciones mencionadas a continuación.

6.1 CONCLUSIONES

El modelo empleado en el estudio tiene una estructura sencilla, y utiliza métodos de simulación de procesos y tránsito de escorrentía adecuados, que hacen posible su aplicación sin necesidad de información muy detallada de las

características topográficas de la red de drenaje. Además, la programación y el método de solución del modelo agilizan la calibración, lo cual permitió obtener valores de parámetros de un número suficiente de cuencas.

Los resultados de la prueba de sensibilidad de los parámetros del modelo, no constituyen necesariamente el patrón único de respuesta de la escorrentía a las variaciones de los valores de los parámetros. Dicha respuesta puede sufrir variaciones de acuerdo a las características de las cuencas y los eventos.

La metodología de estimación de los valores iniciales de los almacenamientos y parámetros del modelo es útil para tener una idea de los posibles valores finales que pueden tomar los parámetros. También ayuda a obtener calibraciones más reales, y la posibilidad de automatizar este proceso.

Los valores de los parámetros, estimados con la calibración del modelo, pueden considerarse como aceptables, aunque no óptimos, puesto que los datos de precipitación y escorrentía utilizados provienen de cuencas experimentales y, por lo tanto, deben ser de alta confiabilidad.

Las ecuaciones de regresión obtenidas con el estudio de correlación, en general, demuestran bondades de estima-

ción aceptables. Esto queda demostrado por el error promedio real que, en todos los casos, fue menor que 15%, y el error promedio absoluto que osciló entre 1.5 a 54%. Efecto de este error, como en los casos de los parámetros OS y KF, pueden producir variaciones de cierta consideración sobre la simulación de la escorrentía.

Obviamente, la aplicación más importante del modelo y de la metodología de estimación de sus parámetros será la generación de crecidas máximas. En este caso, la estimación de la humedad inicial del suelo, OS, no representará fuente error en la simulación de la escorrentía, puesto que su valor deberá ser fijado de acuerdo a la magnitud de la crecida que se desea simular. Por otra parte, siendo OS la variable crítica para la estimación de KF, al definir el valor OS de esta manera, podrán abviarse las causas de error más importante en la simulación de crecidas.

Los resultados de la verificación de la metodología para estimación de los parámetros demuestran que el modelo puede ser empleado para reproducir, con aceptable grado de aproximación, las crecidas medidas. La principal limitante, en este caso, constituye la estimación del verdadero valor del almacenamiento inicial de la humedad del suelo.

Considerando el número de cuencas incluidas en este estudio, y que el ámbito geográfico donde se hallan situa-

das aún no constituye una muestra representativa de toda la tierra, la validez de la metodología de generalización desarrollada no tiene un carácter universal.

6.2 RECOMENDACIONES

Para otorgar al modelo mayor funcionalidad, y con la finalidad de facilitar más su aplicación, será necesario reducir el número de parámetros a ser calibrados. En cuanto a los almacenamientos iniciales, OS y OG, deben fijarse rangos de variación bien definidos, dentro del cual podrán variar sus valores durante la calibración. Los parámetros S, SS y F0 pueden ser estimados con los métodos de estimación de sus valores iniciales, o con otros métodos que pueden idearse, y luego introducirse al modelo solamente como variables de entradas. Otra forma de reducir el número de parámetros puede ser el empleo de otras formulaciones para los procesos hidrológicos.

Con la finalidad de ampliar la validez de la metodología de generalización, deberá calibrarse el modelo a un mayor número de cuencas situadas, en lo posible, en las diferentes regiones representativas de toda la tierra. Luego, deben buscarse otros tipos de correlaciones y regresiones entre los parámetros y los factores fisiológicos-hidrológicos con el propósito de obtener ecuaciones de regresión más confiables, especialmente para los parámetros que tienen in

fluencia más fuerte sobre la respuesta del modelo.

Debe buscarse algún método que estime con suficiente exactitud el valor inicial de humedad del suelo. Un método recomendable sería un tipo de balance hídrico del suelo considerando la precipitación acumulada de varios días previos al evento estudiado.

Antes de aplicar la metodología de generalización, deben considerarse las limitaciones implícitas de la misma. Una de esas limitaciones se refiere al tamaño de las cuencas; éstas deberán estar comprendidas dentro del rango de las empleadas en este trabajo. Además, debe asegurarse que los valores de la precipitación sea aplicable a toda el área de la cuenca. De lo contrario, el modelo no producirá la respuesta real, porque las relaciones precipitación-es-correntía son muy afectadas por la distribución espacial y temporal de la precipitación.

REFERENCIAS

- Amisial, R. A. Disponibilidad de agua superficial. Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1982.
- Amisial, R. A. et al. Incidencias de los métodos de generalización y regionalización sobre la selección de las medidas de control de inundaciones. Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1981.
- Avellán, F. y Ayala, L. Hidrogramas unitarios de ríos de Venezuela. II Jornadas Venezolanas de Riego. Caracas: Ministerio de Obras Públicas, 1966.
- Bandes, T. A. Estudio de la planicie inundable del río Acarigua (Tesis M.S.). Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1980.
- Brakensiek, D. L. et al. Field manual for research in agricultural hydrology. United State Department of Agriculture, Agricultural Handbook N° 224, 1979.
- Chow, V. T. Handbook of applied hydrology: A compendium of water resources technology, New York: McGraw-Hill, 1964.

- Christiansen, J. E. y Hargreaves, G. H. Irrigation requirements and climatic evaluations for Venezuela. Utah State University, Agricultural and Irrigation Department, 1971.
- Duque, R. A. Modelo de simulación hidrológica para la estimación de la escorrentía a nivel mensual. Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1981.
- Fernández, N. Utilización de dos modelos de simulación hidrológica con fines de investigación en una cuenca experimental (Tesis M.S.). Mérida: Universidad de Los Andes, Centro de Estudios Forestales de Postgrado, 1982.
- Gabaldón, J. A. Regionalización de curvas de frecuencia de crecientes pararios de Venezuela. En Venezuela, Ministerio de Obras Públicas, Manual de estudios preliminares para aprovechamiento integral de cuencas hidrográficas. Capítulo II, Parte 7. Caracas, 1967.
- Grassi, C. J. Manual de drenaje agrícola. Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1981.
- Grassi, C. J. Estimación de los usos conjuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1975.
- Gupta, V. L. El componente infiltración en el proceso precipitación-escorrentía. Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1976.

- Hawkins, R. H. Infiltration and curve numbers: Some pragmatic and theoretic relationships. Proceedings of the Symposium on Watershed Management'80. ASCE/Boise, ID/ 21-23 de Julio, 1980.
- Hernández, E. A. La cuenca hidrográfica. Mérida: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, s.f.
- Hiemstra, L. A. V. y Reich, B. M. Engineering judgment and small area floods peaks. Colorado State University, Hydrology Papers N° 19, 1967.
- Holtan, H. M. y Overton, D. E. Storage-flow hysteresis in hydrograph synthesis. Journal of Hydrology, 1965, 2, 309-323.
- Israelsen, O. W. y Hansen, V. E. Principios y aplicaciones del riego. (2a. ed.). (Trad. A. García). Barcelona: Reverté, 1965. (Original inglés, 3a. ed.)
- James, L. D. y Burges, J. S. Selection, calibration, and testing of hydrologic models. En C. T. Haan et al.(Eds), Hydrologic modeling of small watersheds. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1982
- Jarboe, J. E. y Haan, C. T. Calibrating a water yield model for small ungauged watersheds. Water Resources Research, 1974, 10(2), 256-362.
- Lane, J. L. Distributed model for small semiarid watersheds. American Society of Civil Engineers, Journal of the Hydraulics Division, 1982, 108, 1114-1131.
- Larson, C.L. et al. Some particular watersheds models. En C.T. Haan et al.(Eds.), Hydrologic modeling of small wa-

- thersheds. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1982.
- Linsley, R. K. et al. Hidrología para ingenieros. (2a.ed.). (Trad. A. Deeb, J. I. Ordoñez y F. Castrillón). México: McGraw-Hill, 1981. (Original inglés, 1975).
- Mockus, V. Estimation of direct runoff from storm rainfall. En United State Department of Agriculture (Ed.), Hydrology. Soil Conservation Service (SCS) National Engineering Handbook. Section 4. Washington, 1972.
- Molas, P. J. Simulación hidrológica a nivel diario en la cuenca experimental de La Quebrada La Cuesta, Estado Mérida (Trabajo Especial). Mérida: Universidad de Los Andes, Centro de Estudios Forestales de Postgrado, 1984.
- Overton, D. E. y Meadows, M. E. Stormwater modeling. New York: Academic Press, 1976.
- Posewitz, G. Estimación del rendimiento medio anual. En Venezuela, Ministerio de Obras Públicas (Ed.), Manual de estudios preliminares para el aprovechamiento integral de cuencas hidrográficas. Capítulo II, Parte 1. Caracas, 1967.
- Roche, M. Les diverses types de modeles déterministes. Cahiers O.R.S.T.O.M. Serie Hydrologie, 1970, 7 (4), 39-64.
- Rojas, R. M. Modelo tipo tanque de eventos (en preparación). Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1984a.
- Rojas, R. M. Modelo tipo tanque para simulación de caudales diarios (En preparación). Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1984b.

- Rojas, R. M. y Willardson, L. M. Estimation of the allowable flooding time for surface drainage design. Logan: Utah State University, 1983.
- Rojas, R. M. Hidrología de tierras agrícolas. Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y tierras, 1981a.
- Rojas, R. M. Estimación de caudales máximos para cuencas sin datos de escurrimiento en base a precipitación y parámetros de la cuenca. Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 1981b.
- Rojas, R. M. A model for designing surface drainage system in nearly level agricultural lands (Ph.D. Dissertation). Logan, Utah State University, 1976.
- Schwab, G. O. et al. Soil and water conservation engineering. Ferguson Foundation Agricultural Engineering Series, 1966.
- United State Department of Agriculture (USDA). Hydrologic data for experimental watersheds in the united States. Miscelaneous Publication N° 945, 994, 1070, 1164, 1194, 1216, 1226, 1262, 1330. Washington: Agricultural Research, 1959-1968.
- Viessman, W. et al. Introduction to hydrology. (3a. ed.). New York: Harper & Row, 1977.
- Vilaró, F. et al. Elementos de hidrología de superficie. Análisis de hidrogramas. En E. Custodio y M. R. Llamas (Eds.), Hidrología subterránea. Barcelona, Ediciones Omega, 1976

Wisler, C. O. y Brater, E. F. Hydrology. (3a. ed.). New York: John Wiley & Sons, 1965.

Zimmerman, J. D. Irrigation. New York: John Wiley & Sons, 1966.

www.bdigital.ula.ve

APENDICE A

Listado del programa de computación
del modelo

```

5 CLS
10 REM MODELO DEL TANQUE, DESARROLLADO POR RAFAEL ROJAS (1984)
20 DIM DP(50),RCH(50),DNR(50),SM(50),QOF(50),QF(50),Q1(50),QWL(50),QWC(50),QT(50),
  T(50),PQ(50),MQ(50)
30 DIM PDC(60),K(100),CC(50),JN(50),FI(50)
35 DIM X(100),Y1(100),Y2(100),Y3(100),Y4(100),Y5(100)
38 DIM AF(50)
40 GOSUB 1500
50 CC=20
51 TP=47.800:OS=27.900:S=55.00:OG=0.15:KF=3.916000
52 QS=135.0:FC=50.500:SI=130.00
53 RC=0.8000:RF=1.9500:FO=0.100
54 PK=0.0555:PA=2.30000
55 QC=0.002130:FQ=0.0066700
60 CLS
61 SOUND 100,20
70 INPUT"RESULTADOS(S/N)";RE$
72 IF RE$="N" THEN GOTO 92
74 PRINT"COMO DESEA RESULTADOS";"GRAFICO/PANTALLA(GP)";"GRAFICO/IMPRESORA(GI)";
  "TABLA/PANTALLA(TP)";"TABLA/IMPRESORA(TI)";"RESUMEN/IMPRESORA(RI)"
76 INPUT"SELECCIONE Opcion";OP$
77 IF OP$="GP" THEN GOSUB 3000:GOTO 70
78 IF OP$="GI" THEN GOSUB 3300:GOTO 70
79 IF OP$="RI" THEN GOSUB 4000:GOTO 70
80 IF OP$="TP" THEN GOSUB 1200:GOTO 70
81 IF OP$="TI" THEN GOSUB 4000:GOTO 70
92 INPUT"PARAM. DESEADO";PD$
94 IF PD$="" THEN 900
100 INPUT"VALOR INICIAL,INCREMENTO";VI,FI
110 INPUT"NUM. ITERACIONES";NI
112 INPUT"TODO CORRECTO(S/N)";RP$
114 IF RP$="N" THEN 70
120 CC(1)=CC
130 PRINT"CC ANTERIOR=";CC(1);"PARAM=";PD$
140 FOR L=2 TO NI+1
141 IF L=2 THEN 150
150 IF PD$="S1" THEN S1=VI+(FT*(L-1)) ELSE GOTO 160
151 VP=S1
152 GOSUB 300
154 IF CC(L)<CC(L-1) THEN 290
156 S1=VI+(L-1)*FT
157 IF L=2 THEN S1=S1-FI
158 GOTO 60
160 IF PD$="AG" THEN AG=VI+(FT*(L-1)) ELSE GOTO 170
161 VP=AG
162 GOSUB 300
164 IF CC(L)<CC(L-1) THEN 290
166 AG=VI+(L-1)*FT
167 IF L=2 THEN AG=AG-FI
168 GOTO 60

```

```

170 IF PD#="FD" THEN FD=VI+(L*FT) ELSE GOTO 180
171 VP=FD
172 GOSUB 300
174 IF CC(L)<CC(L-1) THEN 290
176 FD=VI+((L-1)*FT)
177 IF L=2 THEN FD=FD-FT
178 GOTO 60
180 IF PD#="F0" THEN F0=VI+(L*FT) ELSE GOTO 190
181 VP=F0
182 GOSUB 300
184 IF CC(L)<CC(L-1) THEN 290
186 F0=VI+((L-1)*FT)
187 IF L=2 THEN F0=F0-FT
188 GOTO 60
190 IF PD#="KF" THEN KF=VI+(L*FT) ELSE GOTO 200
191 VP=KF
192 GOSUB 300
194 IF CC(L)<CC(L-1) THEN 290
196 KF=VI+((L-1)*FT)
197 IF L=2 THEN KF=KF-FT
198 GOTO 60
200 IF PD#="FK" THEN FK=VI+(L*FT) ELSE GOTO 210
201 VP=FK
202 GOSUB 300
204 IF CC(L)<CC(L-1) THEN 290
206 FK=VI+((L-1)*FT)
207 IF L=2 THEN FK=FK-FT
208 GOTO 60
210 IF PD#="FQ" THEN FQ=VI+(L*FT) ELSE GOTO 220
211 VP=FQ
212 GOSUB 300
214 IF CC(L)<CC(L-1) THEN 290
216 FQ=VI+((L-1)*FT)
217 IF L=2 THEN FQ=FQ-FT
218 GOTO 60
220 IF PD#="NF" THEN NF=VI+(L*FT) ELSE 230
221 VP=NF
222 GOSUB 300
224 IF CC(L)<CC(L-1) THEN 290
226 NF=VI+((L-1)*FT)
227 IF L=2 THEN NF=NF-FT
228 GOTO 60
230 IF PD#="OG" THEN OG=VI+(L*FT) ELSE GOTO 240
231 VP=OG
232 GOSUB 300
234 IF CC(L)<CC(L-1) THEN 290
236 OG=VI+((L-1)*FT)
237 IF L=2 THEN OG=OG-FT
238 GOTO 60
240 IF PD#="OS" THEN OS=VI+(L*FT) ELSE GOTO 250
241 VP=OS
242 GOSUB 300
244 IF CC(L)<CC(L-1) THEN 290
246 OS=VI+((L-1)*FT)
247 IF L=2 THEN OS=OS-FT
248 GOTO 60

```

```

253 IF PD#="SS" THEN SS=VI+(L*FT) ELSE GOTO 263
254 VP=SS
255 GOSUB 300
256 IF CC(L)<CC(L-1) THEN 290
257 SS=VI+(L-1)*FT
258 IF L=2 THEN SS=SS-FT
259 GOTO 60
260 IF PD#="TR" THEN TR=VI+(L*FT) ELSE GOTO 270
261 VP=TR
262 GOSUB 300
263 IF CC(L)<CC(L-1) THEN 290
264 TR=VI+(L-1)*FT
265 IF L=2 THEN TR=TR-FT
266 GOTO 60
267 IF PD#="S" THEN S=VI+(L*FT) ELSE GOTO 280
268 VP=S
269 GOSUB 300
270 IF CC(L)<CC(L-1) THEN 290
271 S=VI+(L-1)*FT
272 IF L=2 THEN S=S-FT
273 GOTO 60
274 IF PD#=" " THEN GOSUB 300
275 GOTO 60
276 NEXT L
277 GOTO 60
278 REM PROGRAMA PRINCIPAL
279 %CALCULOS PRELIMINARES
280 IF HA=0 AND HA>0 THEN HA=HA*2.56
281 TR=INT(TR*2.57+0.5)
282 FA=FA/60*DT
283 KF=KF/60*DT
284 AM2=HA*10000
285 IF HA=0 AND HA>0 THEN AM2=HA/2.47*10000
286 KC=1.3*RN*0.375*SG* (-0.188)*KL/AM2
287 SA=S
288 IA=0.2*S
289 SM(1)=OSM
290 GW(1)=OGW
291 %LAMAR COEFICIENTES DE TRANSITO
292 GOTO 2000
293 INICIALIZACION DE VARIABLES
294 PE=0:XS=0:DE=0:AF=0:CO=0:CG=0:TDA=0:ARO=0:CMR=0:XA=0:KUM=0
295 OP=0:PK=0
296 REM CALCULO DEL HIDROGRAMA DE PRECIPITACION EFECTIVA
297 FOR I= 2 TO N0
298 SA=SA-(SM(I-1)-SM(I-2))
299 IF SA<0 THEN SA=,0001
300 DP(I)=PAC(I)-PAC(I-1)
301 IF DP(I)>PM THEN PM=DP(I)
302 IF DP(I)<KR THEN DP(I)=0
303 IF DP(I)=0 THEN PE=0:GOTO 500
304 TC(I)=IX*DT-DT
305 OCH(I)=DP(I)*ACHP
306 CHOR=CHOR+OCH(I)
307 EP=PAC(I)-CHOR
308 PE=DP(I)-OCH(I)
309 IF (EP/S)<0.2 THEN 540
310 FIC(I)=KF*(SM(I-1)/(S1-SM(I-1)))*(-NF)
311 IF FIC(I)<FR THEN FIC(I)=FR

```

```

826 IF FI(I)<0 THEN FI(I)=0
827 IF FI(I)>FM THEN FM=FI(I)
828 IF PE>FI(I) THEN 550
830 QXS(I)=0:GOTO 590
850 QXS(I)=PE-FI(I)
860 XSQA=XSQA+QXS(I)
870 PE=FI(I)
880 IF DP(I)<0 THEN PE=0
890 SM(I)=SM(I-1)+PE
900 IF SM(I)>SSM THEN 620
910 QOF(I)=0:GOTO 650
920 QOF(I)=SM(I)-SSM
930 OFQA=OFQA+QOF(I)
940 SM(I)=SSM
950 IF SM(I)>FC THEN 670
960 QF(I)=0:GOTO 720
670 QF(I)=(SM(I)-FC)*FD*DT
680 AFQ=AFQ+QF(I)
690 Q1(I)=FK*FD*DT*(SM(I)-FC)
700 Q01=Q01+Q1(I)
710 SM(I)=SM(I)-(QF(I)+Q1(I))
720 GWL(I)=GWL(I-1)+Q1(I)
730 OGWL(I)=OGWL*GWL(I)*DT
740 OGWQ=OGWQ+OGWL(I)
750 GWL(I)=GWL(I)-OGWL(I)
760 DT(I)=QF(I)+QOF(I)+QXS(I)+QCH(I)+OGWL(I)
770 TOA=TOA+DT(I)
780 *TRANSITO DE LA LLUVIA EFECTIVA
790 HSUM=0
795 FSUM=0
800 FOR J=2 TO NK
810 Z=T-J+1
820 IF Z<1 THEN 850
830 HSUM=HSUM+K(J)*DT(Z)
835 FSUM=FSUM+K(J)*QF(Z)
840 NEXT J
850 ROC(I)=DT(I)*K(I)+HSUM
855 RFC(I)=QF(I)*K(I)+FSUM
870 ARQ=ARQ+ROC(I)
880 NEXT I
890 FOR I= 1 TO NQ
905 OQ(I)=(MQ(I)+MQ(I-1))/2
910 IF OQ(I)>QPK THEN QPK=OQ(I)
920 RQ(I)=RQ(I)/DT*60
925 RF(I)=RF(I)/DT*60
930 T(I)=T*DT-DT
940 OMQ=OMQ+((MQ(I)+MQ(I-1))/120*DT)
950 XAMQ=XAMQ+OQ(I):AVQ=XAMQ/I
960 SUM=SUM+(RQ(I)+OQ(I))/2
970 IF RQ(I)>PKRQ THEN PKRQ=RQ(I)
980 NEXT I
990 OSM=SM(NQ)-OSM
1000 OGW=GWL(NQ)-OGWL
1010 SE=(SUM/NQ)^0.5
1020 OC=SE/AVQ
1030 OCOL)=SE/AVQ
1040 PRINT L1:PRINTUSING'###.###' T(OCL),VR(PK/PQ)

```

```

1050 BAL=TOR+OSM+OGW
1060 PAC=PAC(NP)
1065 IF NP>N0 THEN PAC=PAC(N0)
1070 IF CC(L)>CC(L-1) THEN CC=CC(L-1)
1080 RETURN
1200 PRINT EVENT$
1210 PRINT "*****"
1220 PRINT "PARAMETROS UTILIZADOS"
1230 PRINT "*****"
1240 PRINT "AGW";TAB(7);" AC ";TAB(14);"FOF";TAB(21);"FK";TAB(28);"OGW"
1250 PRINT USING"###.### ";AGW,AC,FOF,FK,OGW,FP
1260 PRINT"OSM";TAB(7);"SSM";TAB(14);"FC";TAB(21);"S";TAB(28);"TP"
1270 PRINT USING"###.## ";OSM,SSM,FC,S,TP
1280 PRINT "*****"
1290 PRINT"HIDROGRAMA DE ESCORRENTIA"
1300 PRINT"*****"
1310 PRINT"TEMP";TAB(7);"PREC";TAB(15);"OBS";TAB(23);"CALC"
1320 PRINT"MIN";TAB(7);"MM";TAB(15);"LPS";TAB(23);"LPS"
1330 PRINT"*****"
1340 FOR I=2 TO ND+1
1350 PRINT(I);TAB(7);PRINT USING"###.##";DP(I),OQ(I),RQ(I)
1360 NEXT I
1370 PRINT"*****"
1380 PRINT "CMQ";TAB(8);"TOR";TAB(16);"CDO";TAB(24);"CGW"
1390 PRINT USING"###.### ";CMQ,TOR,XSDA,CGW
1400 PRINT"RO";TAB(8);"CO1";TAB(16);"FO";TAB(24);"CO"
1410 PRINT USING"###.### ";RO,CO1,FO,CO
1420 PRINT"PAC";TAB(8);"BAL";TAB(16);"OPK";TAB(24);"PKOR"
1430 PRINT USING"###.### ";PAC,BAL;PRINT USING"###.## ";OP,PK
1450 RETURN
1520 REM-DATA
1510 READ EVENT0$
1520 DATA "EVENTO (1 PICO) 8/ 2/82, CUENCA EXPERIMENTAL QUEERROR LA CUESTA (CID
IAT).
1530 READ S,EP,DE,DT,LC,SG,HA,NP,N0,U0$
1540 DATA 89.2,4.25,100.15,990.27,27.32,22.10,32,MMH
1550 FOR I= 1 TO NP:READ PAC(I):NEXT I
1560 DATA 0.1,6.1,9.3,9.11,3.16,3.22,24.5,26.7,27.4
1570 FOR I=1 TO N0:READ MQ(I):NEXT I
1580 DATA .0074,.0074,.0074,.0076,.0087,.0742,.6046,1.5706,2.1929,1.0116,1.7056,
1.4737,1.2051,1.0186,.8593,.742,.7421,.5864,.5168,.468,.4222,.3792,.3722,.3012,
.2968,.278,.2556,.2449,.2293,.2143,.2047,.1953
1590 READ FOF,FK,ACHP,AGW,OSM,OGW,FC,SSM,FI,TP
1600 DATA 0.0,0.0,3.56,0.3,56.4,32.0,100.0
1610 IF U0$="CFS" THEN FF=.99174/6R
1610 IF U0$="MPS" THEN FF=14.17/(R0/2.56)
1615 IF U0$="IPM" OR U0$="MMH" THEN 1690
1620 FOR J=1 TO MQ
1625 MQ(J)=MQ(J)*FF
1630 NEXT J
1690 RETURN
2000 'COEFICIENTES DE TRANSITO
2010 IF INT(TB/DT)=TB/DT THEN 2030
2020 NK =INT(TB/DT)+1:GOTO 2040
2030 NK= INT(TB/DT)
2040 F1=0

```

```

2050 FOR J= 1 TO (NK+1)
2060 TK=(J-1)*DT
2070 IF TK>TP THEN 2090
2080 F2=TK^2/(TP*TB):GOTO 2130
2090 IF TK>TB THEN 2120
2100 T3=TP-TP:F2=1-((TB-TK)^2/(TB*T3))
2110 GOTO 2130
2120 F2=1
2130 K(J-1)=F2-F1
2140 F1=F2
2150 NEXT J
2160 GOTO 430
2170 DIM M(100),R(100),T(100)
2180 REM GRAFICO
2190 REM PROGRAMA PARA GRAFICAR DOS VARIABLES DEPENDIENTES Y UNA DEPENDIENTE
2200 REM LAS VARIABLES DEPENDIENTES SE GRAFICAN EN EL EJE DE LAS ORDENADAS.
2210 ' *****ESCALA***** '
2220 HMAX=T(N0)
2230 VMAX=QPK
2240 IF QPK<PKRQ THEN VMAX=PKRQ
2250 IF PFQ>QPK AND PFQ>PKRQ THEN VMAX=PFQ
2260 HF=254/HMAX
2270 VF=191/VMAX
2280 V2F=50/PM
2290 IF FM>PM THEN V2F=50/FM
2300 '***CALCULO DE PUNTOS**
2310 FOR I= 1 TO N0
2320 X(I)=INT(T(I)*HF+0.5)
2330 Y1(I)=191-INT(R(I)*VF+0.5)
2340 Y4(I)=191-INT(R(I)*VF+0.5)
2350 Y2(I)=191-INT(Q(I)*VF+0.5)
2360 Y3(I)=INT(D(I)*V2+0.5)
2370 Y5(I)=INT(F(I)*V2+0.5)
2380 NEXT I
2390 PKO= 4.1
2400 PCLS
2410 SCREEN 1,1
2420 PSET (0,191,1)
2430 FOR I= 2 TO N0
2440 LINE (X(I-1),Y3(I-1))-(X(I-1),Y3(I)),PSET
2450 LINE (X(I-1),Y3(I))-(X(I),Y3(I)),PSET
2460 LINE (X(I),Y1(I))-(X(I-1),Y1(I-1)),PSET
2470 PSET(X(I),Y4(I))
2480 PSET(X(I),Y5(I))
2490 CIRCLE (X(I),Y2(I)),2
2500 LINE(X(I),Y2(I))-(X(I-1),Y2(I-1)),PSET
2510 NEXT I
2520 GOTO 3250
2530 RETURN
2540 REM "GRAFICO/PRINTER"
2550 PRINT#-2,EVENTO#
2560 PRINT#-2
2570 PRINT#-2
2580 PRINT#-2
2590 X0=70/QPK
2600 IF PK>QPK THEN X0=70/PK
2610 Z#=STRING$(70,"-")

```

```

3336 PRINT#-2,Z#
3340 FOR J=1 TO NQ+1
3350 Y1(J)=INT(RQ(J)*XQ+0.5)
3360 Y2(J)=INT(OQ(J)*XQ+0.5)
3370 IF Y1(J)=Y2(J) THEN PRINT#-2,TAB(Y1(J)):"#"
3372 IF Y1(J)<Y2(J) THEN PRINT#-2,TAB(Y1(J)):"+";TAB(Y2(J)):"#"
3374 IF Y1(J)>Y2(J) THEN PRINT#-2,TAB(Y2(J)):"*";TAB(Y1(J)):"#"
3380 NEXT J
3390 RETURN
4200 REM "IMPRESION DE DATOS"
4100 PRINT#-2,EVENT#
4105 PRINT#-2
4110 Z#=STRING$(79,"-")
4120 PRINT#-2,Z#
4130 PRINT#-2
4140 PRINT#-2,"MIN";TAB(7);" PAC ";TAB(15);" QD ";TAB(23);" QT ";TAB(31);"
OS ";TAB(39);" OT ";TAB(47);" GEST";TAB(55);" OOPS";TAB(64);"NIM"
4142 PRINT#-2,Z#
4145 IF OP#="RI" THEN 4240
4200 FOR I=1 TO NQ
4210 T(I)=I*DT-OT
4220 PRINT#-2,T(I);TAB(6);PRINT#-2,USING"###.### ";PAC(I),QY(I),QF(I),QC(I),QT(
I),RO(I),OQ(I),SM(I)
4225 NEXT I
4240 PRINT#-2,Z#
4250 PRINT#-2,"TOT";TAB(6);PRINT#-2,USING"###.### ";PAC,XSO,CGW,TOR,ARQ,CMQ
,SM(NQ)
4260 PRINT#-2,Z#
4270 PRINT#-2,"R E S U M E N"
4280 PRINT#-2,Z#
4300 PRINT#-2," TP";TAB(10);" OS";TAB(20);" S";TAB(30);" KF";TAB(40);" OG";TAB(48);
"SS";TAB(57);" FC";TAB(66);" S1"
4310 PRINT#-2,USING"###.### ";TP,OS,S,KF,OG,SS,FC,S1
4320 PRINT#-2," AG";TAB(11);" NF";TAB(20);" FQ";TAB(29);" FK";TAB(38);" FQ"
4330 PRINT#-2,USING"###.### ";AG,NF,FQ,FK,FQ
4340 PRINT#-2," CMQ";TAB(12);" ARQ";TAB(22);" TOR";TAB(32);" CDQ";TAB(42);" CGW";TA
B(52);" CD1";TAB(62);" AFD"
4350 PRINT#-2,USING"###.### ";CMQ,ARQ,TOR,XSO,CGW,CD1,AFD
4355 PRINT#-2," PAC";TAB(12);" BAL";TAB(21);" QPK";TAB(30);" PKQ";TAB(39);" CD"
4357 PRINT#-2,USING"###.### ";PAC,BAL,OP,PK,CD
4360 PRINT#-2,Z#
4500 RETURN

```

APENDICE B-1

CLASIFICACION HIDROLOGICA DE LOS SUELOS (Soil Conservation Service)

Los grupos hidrológicos en que se pueden dividir los suelos son utilizados en planeamiento de cuencas para la estimación de la escorrentía a partir de la precipitación. Las propiedades de los suelos que son considerados para estimar la tasa mínima de infiltración para suelos "desnudos" *luego de un humedecimiento prolongado* son: profundidad del nivel freático de invierno, infiltración y permeabilidad del suelo luego de humedecimiento prolongado y profundidad hasta un estrato de permeabilidad muy lenta. La influencia de la cobertura vegetal es tratada independientemente.

Los suelos han sido clasificados en cuatro grupos A, B, C y D de acuerdo al potencial de escorrentía.

A. (Bajo potencial de escorrentía). Suelos que tienen alta tasa de infiltración aún cuando muy húmedos. Consisten de arenas o gravas profundas bien o excesivamente drenadas. Esos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua. (Incluye: Psamments, excepto por aquellas en los subgrupos Líticos, Aquicos o Aquodicos; suelos que no estén en los grupos C o D y que pertenezcan a las familias: fragmentarias, esqueleto-arenosas o arenosas; suelos grosarénicos de Udults y Udalfs; y suelos en subgrupos Arénicos de Udults y Udalfs excepto por aquellas en familias arcillosas o finas.

B. (Moderadamente bajo potencial de escorrentía). Suelos con tasas de infiltración moderadas cuando muy húmedas. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas (suelos que no estén en los grupos A, C o D)

C. (Moderadamente alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración lenta cuando muy húmedos. Consiste de suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de textura moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a sales o alkali o suelos con mesas moderadas. Esos suelos pueden ser pobremente drenados o bien moderadamente bien drenados con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta (fragipan, hardpan, sobre roca dura) a poca profundidad (50-100 cm) (comprende suelos en sub-grupos albicos o aquicos; suelos en sub-grupos arénicos de aquents, aquepts, aquellas, aqualfs y aquults en familias francas; suelos que no estén en el grupo D y que pertenecen a las familias finas, muy finas o arcillosas excepto aquellas con mineralogía cao-líntica, oxídica o haloisítica; humods y orthods; suelos con fragipanes de horizontes petrocálcicos; suelos de familias "poco profundas" que tienen substratos permeables; suelos en subgrupos líticos con roca permeable o fracturada que permita la penetración del agua).

D. (Alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración muy lenta cuando muy húmedos. Consiste de suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con "claypan" o estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta debido a sales o alkali y suelos poco profundos sobre material caso impermeable. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta (Incluye: todos los Vertisoles y Aquods; suelos en Aquents, Aquepts, Aquols, Aqualfs y Aquults, excepto los subgrupos Arénicos en familias francas, suelos con horizontes mátricos, suelos en subgrupos Líticos con substratos impermeables; y suelos en familias poco profundas que tienen un substrato impermeable).

1/ Algunas traducciones del término en inglés han sido tomadas de: Fausto Maldonado P., "La Adaptación al Castellano de los nombres usados en la 7a. aproximación". IICA, Costa Rica, 1971.

Nota: Tomada de Rojas (1931).

APENDICE B-2

Clasificación hidrológica de los suelos

Según : SIE LING CHIANG, Journ of Hidrol 13 (1971) 54-62

TEXTURA	I		II	III	IV	V	VI	VII
	SUELOS BIEN DRENADOS		Mod.prof. (0.45 0.90m)	Profundo (>0.90 m)	Mod. Buen Drena dos	Imperfec- tamente Drenados	Pobremente Drenados	Muy Pobremente Drenados
	Poco Profundo (<0.45 m)	PROFUNDIDAD A LA ROCA MADRE						
1. <u>Texturas Medias: o mezcla de texturas gruesas a finas</u>	C-(+D)***	+ C	B-(+B)** (+C)*	+ C	+ C	C	+ D	D
2. <u>Textura gruesa</u>	+ C -(+D)***	B	+B-(A)** (B)**	B	B	+C	+ D	D
3. <u>Textura fina</u>	C -(D)***	C	+C-(B)**	C	C	C	D	D
4. <u>Textura Media</u> Sobre roca <u>frac</u> <u>turada vertical</u> mente	+ C	B	+B	+ B	+ C	C	+ D	D
5. <u>Textura Gruesa</u> Sobre roca <u>frac</u> <u>turada vertical</u> mente	B	+ B	A	B	B	+C	+ D	D

Cambios en clasificación para Suelos bien drenados

* Existencia de fragipan o "clay pan" en suelos profundos

** Suelo de profundidad mayor de 3 m y excesivamente bien drenado

*** Profundidad menor de 22 CM.

Nota: Tomada de Rojas (1981)

APENDICE C

TABLA RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Textura del suelo	Filtración y permeabilidad cm/hora I_r	Total espacio poroso % W	Peso específico aparente A_s	Capacidad del campo % FC	Marchitez permanente % PW	Humedad total utilizable ²		
						Peso seco % $P_w = FC - PW$	Volumen % $P_v = P_w \cdot A_s$	cm/m $d = \frac{P_w}{100} \cdot A_s \cdot D$
Arenoso	5 (2,5-25,5)	38 (32-42)	1,65 (1,55-1,80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	8 (6-10)	8 (7-10)
Franco-arenoso	2,5 (1,3-7,6)	43 (40-47)	1,50 (1,40-1,60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	12 (9-15)	12 (9-15)
Franco	1,3 (0,8-2,0)	47 (43-49)	1,40 (1,35-1,50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	17 (14-20)	17 (14-19)
Franco-arcilloso	0,8 (0,25-1,5)	49 (47-51)	1,35 (1,30-1,40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	19 (16-22)	19 (17-22)
Arcillo-arenoso	0,25 (0,03-0,5)	51 (49-53)	1,30 (1,25-1,35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)	21 (18-23)	23 (18-23)
Arcilloso	0,5 (0,01-0,1)	53 (51-55)	1,25 (1,20-1,30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	23 (20-25)	23 (20-25)

NOTA: Los intervalos normales son consignados entre paréntesis.

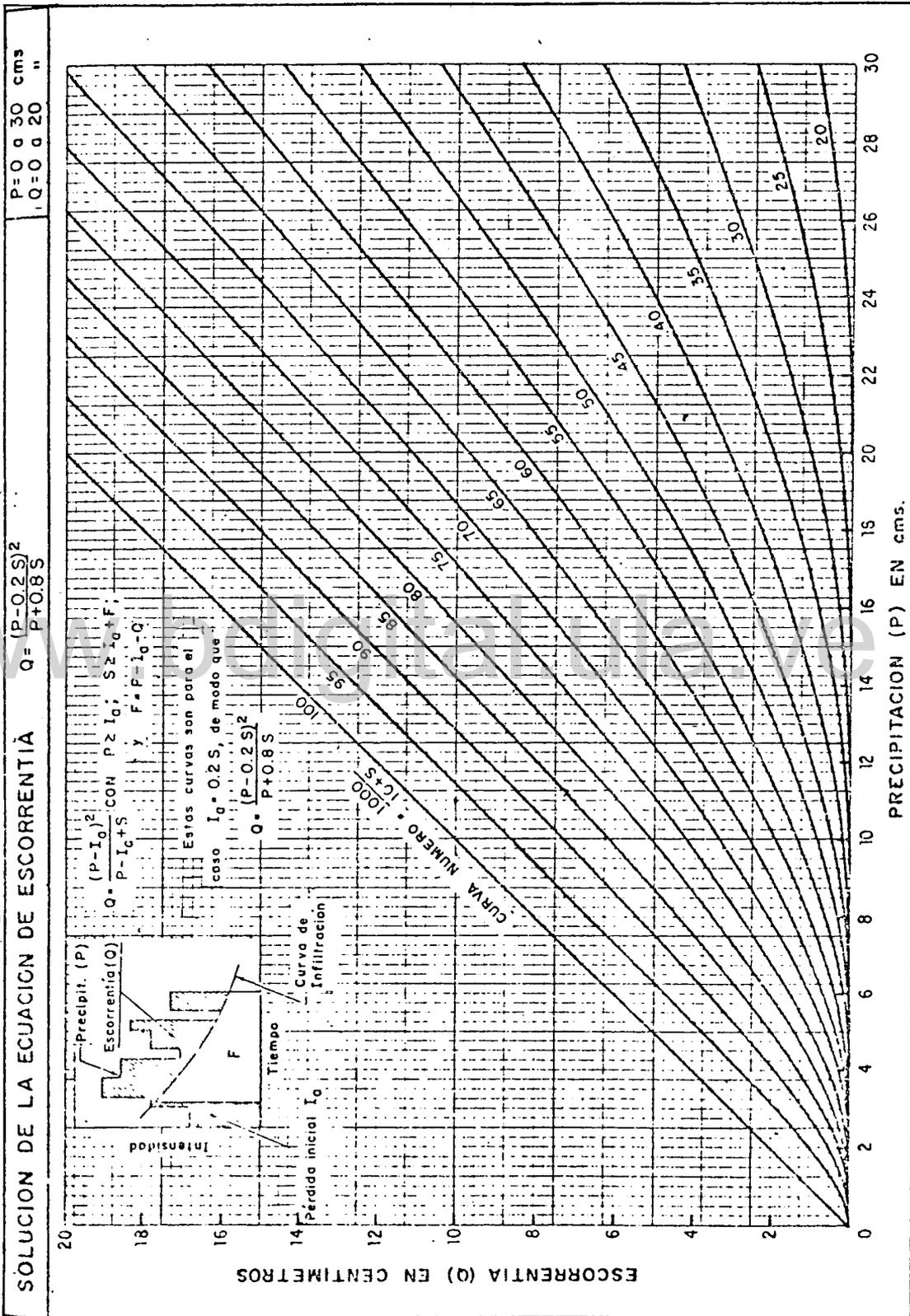
1. Los intervalos filtración real varían mucho con la estructura del suelo y su estabilidad estructural, incluso más aún de lo indicado en esta columna.

2. La humedad fácilmente utilizable representa un 75 % de la totalmente utilizable.

Nota: Tomada de Israel sen y Hansen (1965)

APENDICE D

Nomograma para la estimación del CN



U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
 SOIL CONSERVATION SERVICE
 ENGINEERING DIVISION - HYDROLOGIC BRANCH

STANDARD DWG. NO.
 ES-1001
 SHEET 1 of 2
 DATE 5-28-55

Nota: Tomada de Rojas (1981).

APENDICE E-1

CN para complejo suelo-cobertura: Válida
para CHA II e Ia = 0.25

C o b e r t u r a			Grupo de Suelos			
Uso de la Tierra	Tratamiento o práctica.	Condición Hidrológica	A +B	B +C	C +D	D
			Número de Curva			
Rastrojo Cultivos en hileras	----- Hileras rectas	----	77	86	91	94
	" " "	Mala	71	81	88	91
	" " "	Buena	67	73	85	89
	c/curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
	" " "	Buena	65	75	82	86
	c/curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
	" " "	Buena	62	71	78	81
Cultivos en hileras estrechas.	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
	" " "	Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
	" " "	Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
" " "	Buena	59	70	78	81	
Leguminosas en ^{1/} hileras estrechas o forraje en rotación	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
	" " "	Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
	" " "	Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
	Curvas de nivel y terrazas	Buena	51	67	76	80
Pastos de pastoreo	" " "	Mala	68	79	86	89
	" " "	Regular	49	69	79	84
	" " "	Buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	Mala	47	67	81	88
	" " "	Regular	25	59	75	83
	" " "	Buena	6	35	70	79
Pasto de corte	" " "	Buena	30	58	71	78
Bosque	" " "	Mala	45	66	77	83
	" " "	Regular	36	60	73	79
	" " "	Buena	25	55	70	77
Patios	" " "	----	59	74	82	86
Caminos tierra ^{2/}	" " "	----	72	82	87	89
Pavimentos ^{2/}	" " "	----	74	84	90	92

^{1/} Siembra tupida o al voleo.
^{2/} Incluyendo derecho de vía

CONDICION DE HUMEDAD ANTECEDENTE (CHA)	PRECIPITACION ACUMULADA DE LOS 5 DIAS PREVIOS AL EVENTO EN CONSIDERACION (Pa5)
I	0 - 3.60 cm
II	3.60- 5.30 cm
III	más de 5.30 cm

Nota: Tomada de Rojas (1981).

APENDICE E-2

Número de Curva para Casos de Condición
de Humedad Antecedente I y III

CN para condi- ción II	CN para condiciones		Valores S* (pulgadas)	La Curva** comienza cuando P= (pulgadas)	CN para condi- ción II	CN para condiciones		Valores S (pulgadas)	La Curva* comienza cuando P= (pulgadas)
	I	III				I	III		
100	100	100	0	0	60	40	78	6.67	1.33
99	97	100	.101	.02	59	39	77	6.95	1.39
98	94	99	.204	.04	58	38	76	7.24	1.45
97	91	99	.309	.06	57	37	75	7.54	1.51
96	89	99	.417	.08	56	36	75	7.86	1.57
95	87	93	.526	.11	55	35	74	8.18	1.64
94	85	93	.638	.13	54	34	73	8.52	1.70
93	83	93	.753	.15	53	33	72	8.87	1.77
92	81	97	.870	.17	52	32	71	9.23	1.85
91	80	97	.989	.20	51	31	70	9.61	1.92
90	78	96	1.11	.22	50	31	70	10.0	2.00
89	76	96	1.24	.25	49	30	69	10.4	2.08
88	75	95	1.36	.27	48	29	68	10.8	2.16
87	73	95	1.49	.30	47	28	67	11.3	2.26
86	72	94	1.63	.33	46	27	66	11.7	2.34
85	70	94	1.76	.35	45	26	65	12.2	2.44
84	68	93	1.90	.38	44	25	64	12.7	2.54
83	67	93	2.05	.41	43	25	63	13.2	2.64
82	66	92	2.20	.44	42	24	62	13.8	2.76
81	64	92	2.34	.47	41	23	61	14.4	2.88
80	63	91	2.50	.50	40	22	60	15.0	3.00
79	62	91	2.66	.53	39	21	59	15.6	3.12
78	60	90	2.82	.56	38	21	58	16.3	3.26
77	59	89	2.99	.60	37	20	57	17.0	3.40
76	58	89	3.16	.63	36	19	56	17.8	3.56
75	57	88	3.33	.67	35	18	55	18.6	3.72
74	55	88	3.51	.70	34	18	54	19.4	3.88
73	54	87	3.70	.74	33	17	53	20.3	4.06
72	53	86	3.89	.78	32	16	52	21.2	4.24
71	52	86	4.08	.82	31	16	51	22.2	4.44
70	51	85	4.28	.86	30	15	50	23.3	4.66
69	50	84	4.49	.90					
68	48	84	4.70	.94	25	12	43	30.0	6.00
67	47	83	4.92	.98	20	9	37	40.0	8.00
66	46	82	5.15	1.03	15	6	30	56.7	11.34
65	45	82	5.38	1.08	10	4	22	90.0	18.00
64	44	81	5.62	1.12	5	2	13	190.0	38.00
63	43	80	5.87	1.17	0	0	0	infinito	infinito
62	42	79	6.13	1.23					
61	41	78	6.39	1.28					

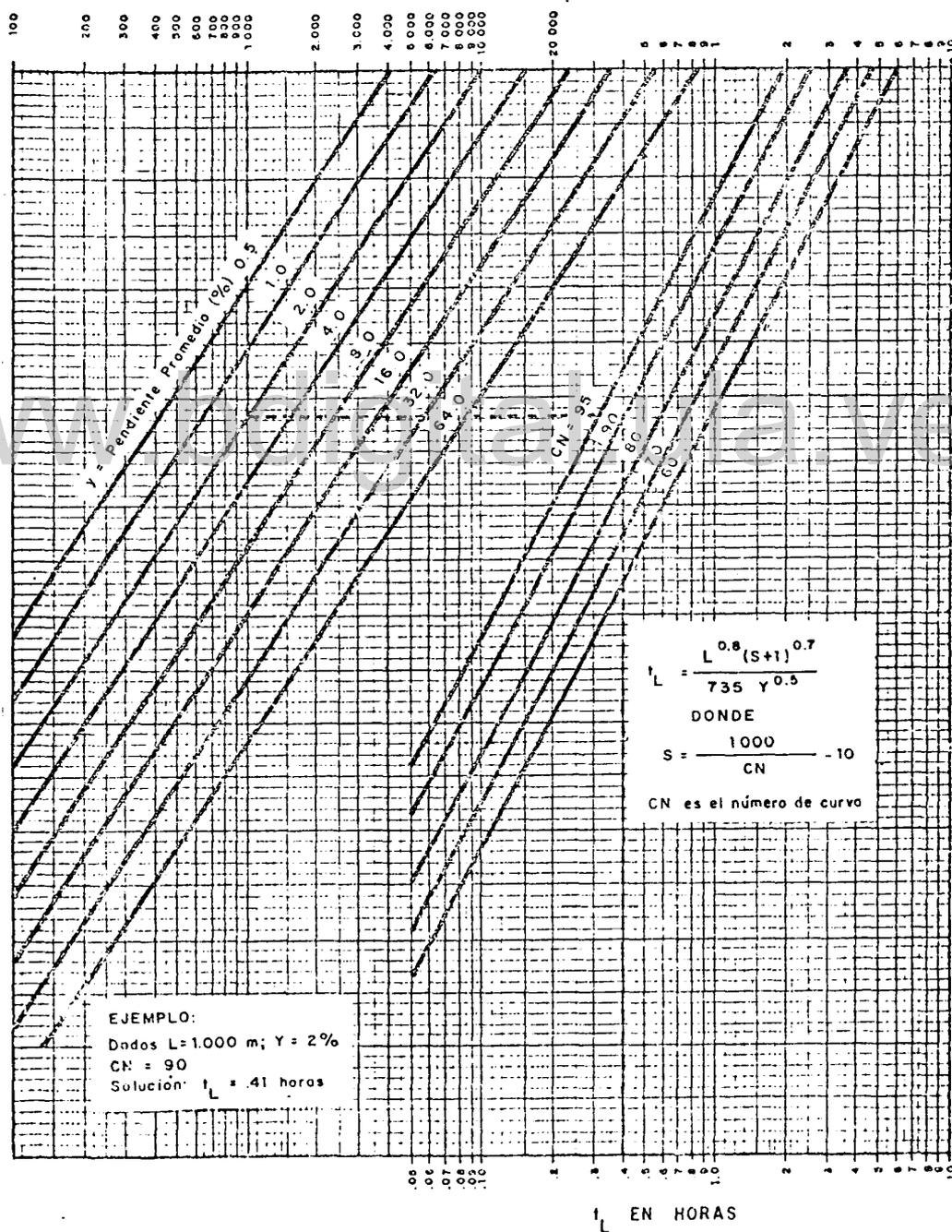
*Para CN en la columna I

**Se refiere al valor de P en que comienza la respectiva curva del Apéndice C y considerando los valores de la primera columna.

APENDICE F

Nomograma para estimación del tiempo de retardo (t_L)
por el método del número de curva (CN).

L = MAXIMA LONGITUD DEL CAUCE (m)



Nota: Tomada de Rojas (1981)

www.bdigital.ula.ve

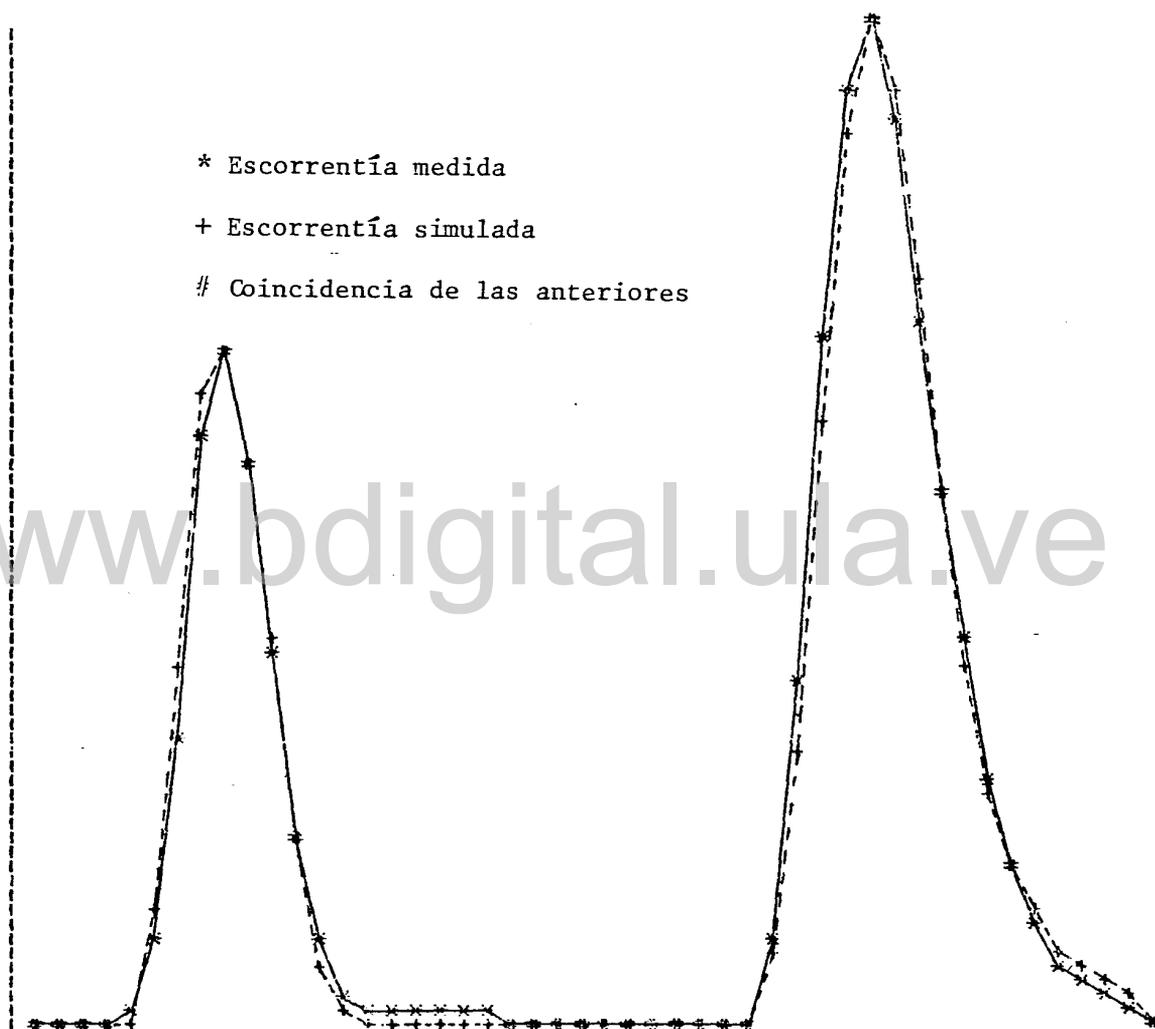
APENDICE G

Tablas de resultados e hidrogramas de algunos
eventos calibrados

MIN	PAC (P)	OD (P/hr)	OT (P/hr)	OS (P/hr)	OT(P/hr)	OPST(P/hr)	OPRS (P/hr)	UM (P)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.302
3	0.174	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.476
6	0.364	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.656
9	0.566	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.868
12	0.836	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	1.130
15	1.100	0.068	0.000	0.000	0.068	0.072	0.057	1.384
18	1.274	0.014	0.000	0.000	0.014	0.231	0.196	1.494
21	1.424	0.013	0.000	0.000	0.013	0.400	0.300	1.630
24	1.526	0.000	0.000	0.000	0.000	0.430	0.435	1.730
27	1.572	0.000	0.000	0.000	0.000	0.360	0.539	1.770
30	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.244	0.200	1.796
33	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.119	0.119	1.796
36	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.206	0.057	1.796
39	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.796
42	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	1.796
45	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	1.796
48	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.310	1.796
51	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.796
54	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	1.796
57	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.796
60	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	1.796
63	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.796
66	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.796
69	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	1.796
72	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.796
75	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.796
78	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.802
81	1.606	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.810
84	1.624	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.830
87	1.636	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.842
90	1.770	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	1.976
93	1.902	0.042	0.000	0.000	0.042	0.045	0.055	2.066
96	2.024	0.039	0.000	0.000	0.039	0.177	0.219	2.149
99	2.126	0.024	0.021	0.000	0.046	0.391	0.445	2.194
102	2.163	0.000	0.023	0.000	0.023	0.366	0.600	2.197
105	2.167	0.000	0.014	0.000	0.015	0.644	0.644	2.179
108	2.171	0.000	0.009	0.001	0.010	0.600	0.524	2.169
111	2.175	0.000	0.007	0.001	0.007	0.477	0.465	2.163
114	2.179	0.000	0.005	0.001	0.005	0.340	0.342	2.159
117	0.000	0.000	0.003	0.001	0.003	0.229	0.245	2.155
120	0.000	0.000	0.002	0.001	0.002	0.152	0.163	2.153
123	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.105	0.105	2.151
126	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.079	0.066	2.150
129	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.050	0.041	2.150
132	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.035	0.026	2.149
135	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.025	0.014	2.149
138	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.020	0.012	2.149
TOT (P)	2.179	0.201	0.036	0.007	0.264	0.292	0.298	2.149

P E R S I M E N

TP (min)	OS (P)	S (P)	KF (P/hr)	OG (P)	SR (P)	FC (P)	SI (P)
0.450	0.302	2.060	0.059	0.000	5.250	2.149	5.000
AG (Fr/DT)	MF	FQ (Fr/DT)	FK	FQ (P/DT)			
0.015	0.985	0.275	0.525	0.005			
DMO (P)	ARO (P)	TOR (P)	COO (P)	OSW (P)	OOI (P)	ARO (P)	
0.2376	0.2918	0.2938	0.2007	0.0074	0.0430	0.0858	
PAC (P)	PAI (P)	OPK (P/hr)	PKO (P/hr)	PC			
2.1790	2.1790	0.6444	0.6443	0.1257			



EVENTO (2 PICOS) 14/9/62, W-13, CHEROKEE, OKLAHOMA, USA

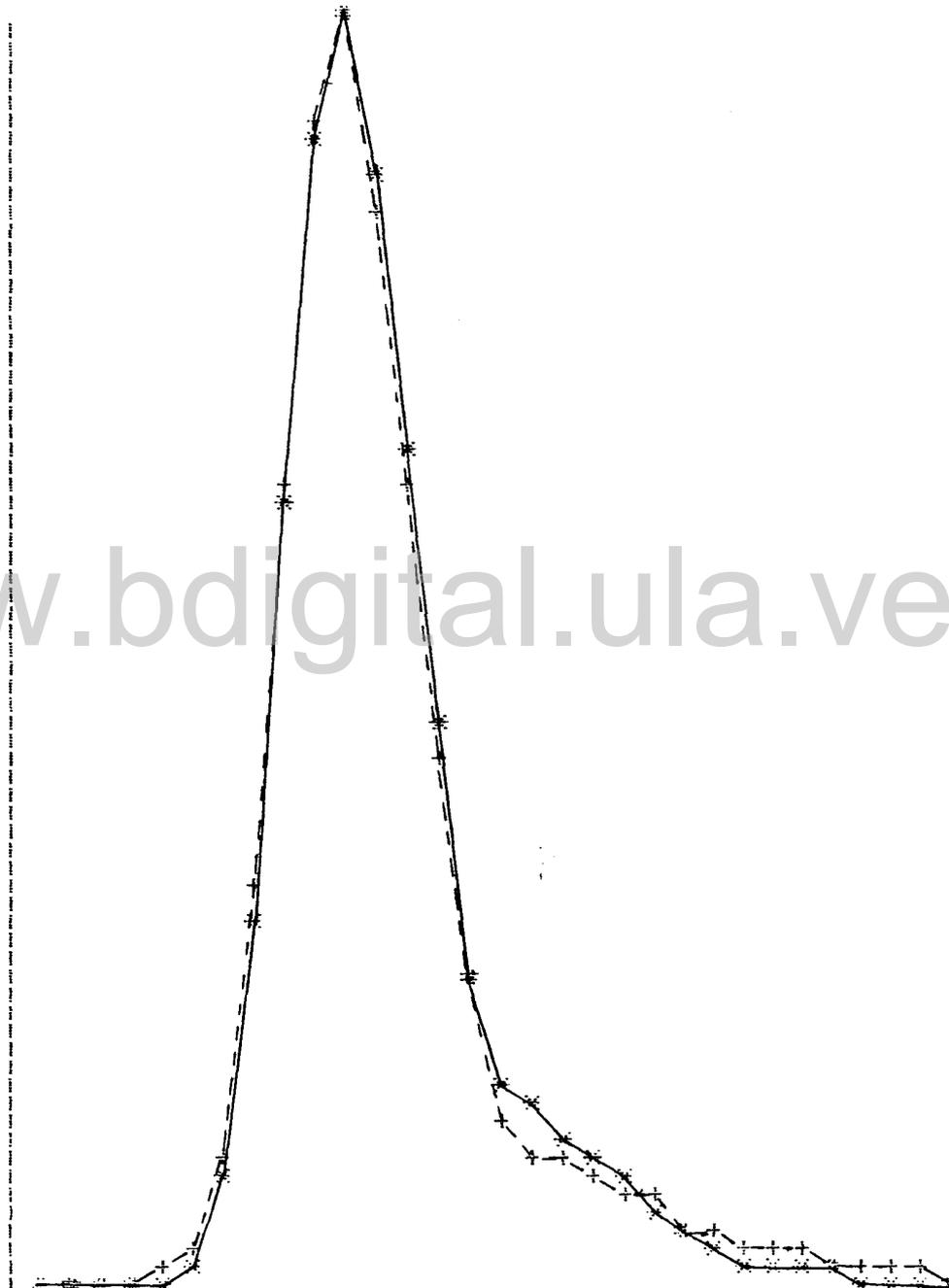
EVENTO (1 PICO) 21/5/61, W-13, CHEROKEE, OKLAHOMA, USA

MTN	PAC	OD	OT	OS	OT	QERT	QORS	HUM
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.355
5	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.375
10	0.110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.475
15	0.300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.655
20	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.745
25	0.490	0.015	0.000	0.000	0.015	0.002	0.016	1.820
30	0.690	0.130	0.000	0.000	0.130	0.118	0.036	1.890
35	1.030	0.274	0.000	0.000	0.274	0.370	0.346	1.956
40	1.160	0.062	0.000	0.000	0.062	0.744	0.735	2.018
45	1.170	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.063	2.028
50	1.173	0.000	0.000	0.000	0.000	1.187	1.187	2.031
55	1.177	0.000	0.000	0.000	0.000	1.301	1.041	2.035
60	1.180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.741	0.772	2.038
65	1.270	0.032	0.000	0.000	0.032	0.499	0.524	2.097
70	1.340	0.014	0.001	0.000	0.015	0.291	0.235	2.151
75	1.345	0.000	0.002	0.000	0.002	0.153	0.193	2.153
80	1.350	0.000	0.002	0.000	0.003	0.125	0.163	2.154
85	1.370	0.000	0.007	0.000	0.007	0.118	0.132	2.164
90	1.373	0.000	0.005	0.000	0.005	0.105	0.115	2.159
95	1.375	0.000	0.003	0.000	0.004	0.093	0.094	2.156
100	1.378	0.000	0.003	0.000	0.003	0.073	0.063	2.155
105	1.380	0.000	0.002	0.000	0.002	0.053	0.043	2.154
110	1.381	0.000	0.002	0.000	0.002	0.047	0.033	2.152
115	1.383	0.000	0.001	0.000	0.002	0.041	0.023	2.152
120	1.384	0.000	0.001	0.000	0.001	0.034	0.019	2.151
125	1.385	0.000	0.001	0.000	0.001	0.027	0.013	2.151
130	1.386	0.000	0.001	0.000	0.001	0.022	0.010	2.151
135	1.388	0.000	0.001	0.000	0.001	0.019	0.008	2.151
140	1.389	0.000	0.001	0.000	0.001	0.016	0.006	2.151
145	1.390	0.000	0.001	0.000	0.001	0.015	0.005	2.151
TOT	1.390	0.553	0.034	0.003	0.589	0.585	0.594	2.151

R E S U M E N

TR	OR	S	KF	OC	RS	FC	SI
15.250	1.365	1.750	0.040	0.000	5.250	2.149	5.000
AC	NR	FO	FK	FA			
0.015	0.985	0.275	0.525	0.009			
OMO	ARO	TOR	COO	CGW	COI	AF3	
0.5837	0.5853	0.5891	0.5527	0.0026	0.0172	0.0338	
PAC	PAI	QPK	PKO	CC			
1.3900	1.3900	1.1867	1.1867	0.0753			

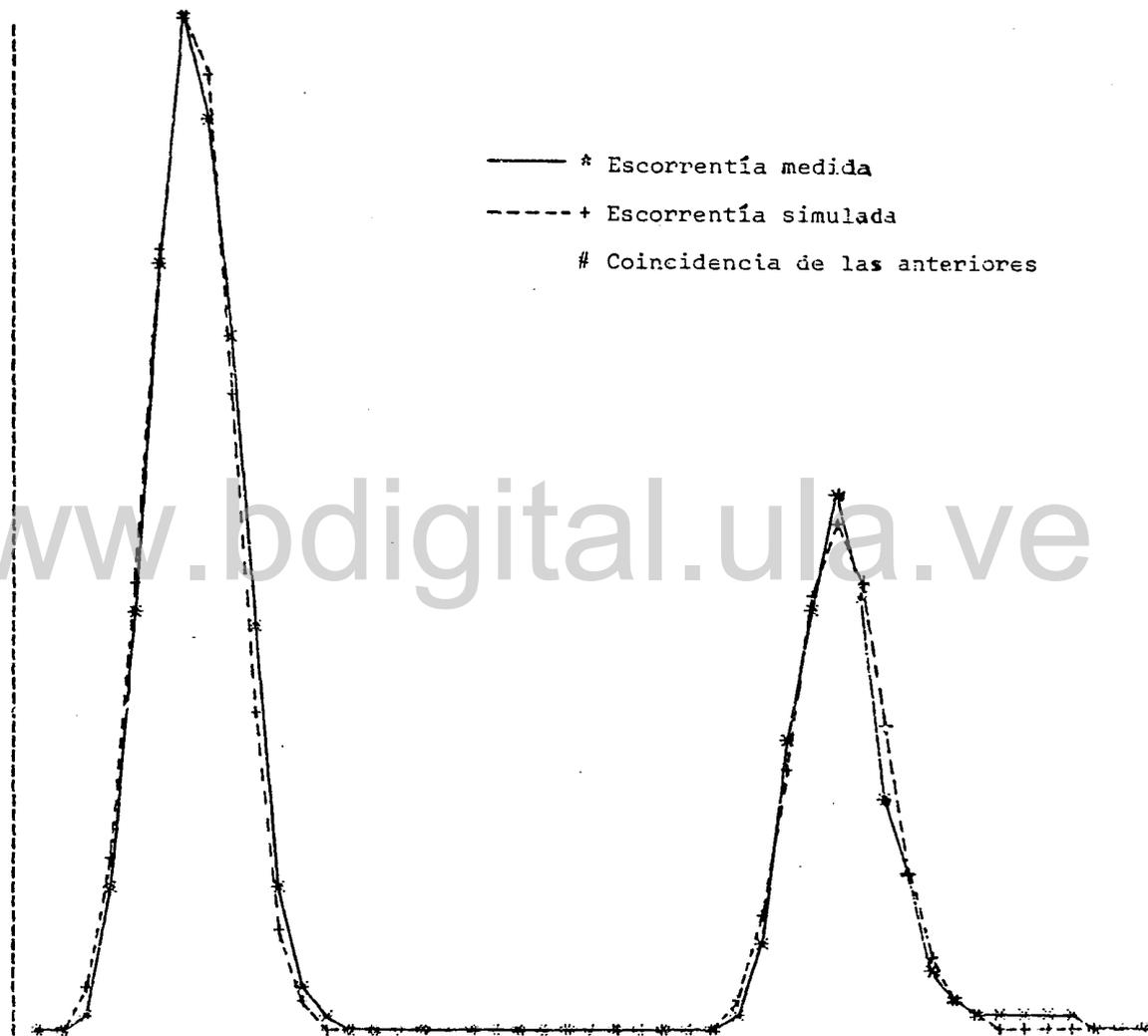
EVENTO (1 PICO) 21/5/61, M-13, CHEROKEE, OKLAHOMA, USA



MTN	PAC (P)	QD (P/hr)	QI (P/hr)	QS (P/hr)	QT (P/hr)	QEST (P/hr)	QORS (P/hr)	QRM (P)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.621
3	0.234	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.855
6	0.474	0.062	0.000	0.000	0.062	0.100	0.048	1.033
9	0.726	0.111	0.000	0.000	0.111	0.478	0.398	1.175
12	1.010	0.164	0.000	0.000	0.164	1.192	1.101	1.295
15	1.310	0.194	0.000	0.000	0.194	2.000	2.050	1.401
18	1.460	0.055	0.000	0.000	0.055	2.700	2.700	1.496
21	1.561	0.014	0.000	0.000	0.014	2.520	2.448	1.522
24	1.564	0.000	0.000	0.000	0.000	1.723	1.848	1.585
27	1.567	0.000	0.000	0.000	0.000	0.865	1.091	1.588
30	1.570	0.000	0.000	0.000	0.000	0.280	0.396	1.591
33	1.576	0.000	0.000	0.000	0.000	0.058	0.121	1.597
36	1.580	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.036	1.602
39	1.582	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	1.603
42	1.583	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	1.604
45	1.584	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	1.605
48	1.585	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	1.607
51	1.586	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	1.608
54	1.588	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	1.609
57	1.589	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	1.610
60	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	1.611
63	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.611
66	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.611
69	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.611
72	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.611
75	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.611
78	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.611
81	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.611
84	1.662	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	1.683
87	1.772	0.037	0.000	0.000	0.037	0.000	0.042	1.757
90	1.910	0.059	0.000	0.000	0.059	0.291	0.241	1.825
93	2.042	0.067	0.020	0.000	0.088	0.712	0.757	1.865
96	2.138	0.033	0.040	0.000	0.074	1.147	1.130	1.880
99	2.162	0.000	0.028	0.000	0.028	1.351	1.415	1.871
102	0.000	0.000	0.011	0.000	0.011	1.187	1.154	1.858
105	0.000	0.000	0.004	0.000	0.004	0.300	0.511	1.836
108	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.430	0.424	1.851
111	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.135	0.164	1.850
114	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.074	0.072	1.850
117	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.050	1.850
120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.032	1.850
123	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.028	1.850
126	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.023	1.850
129	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.021	1.850
132	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.019	1.850
135	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.014	1.850
TOT (P)	0.162	0.837	2.175	0.000	0.916	0.915	0.923	1.850

R E S U M E N

TP (min)	QA (P)	S (P)	KF (P/DT)	QG (P)	SR (P)	FR (P)	SI (P)
6.550	0.621	2.810	0.036	0.000	3.300	1.850	5.150
AC (Pr/DT)	NE	FR (Pr/DT)	FK	FR (P/DT)			
0.012	1.000	0.510	0.193	0.006			
CMQ (P)	ARM (P)	TDR (P)	CDQ (P)	CGW (P)	CDQ (P)	AFQ (P)	
0.9246	0.9153	0.9100	0.8869	0.0029	0.0204	0.1059	
PAC (P)	BR1 (P)	DMS (P/hr)	PKQ (P/hr)	PC			
2.1620	2.1620	2.7000	2.7000	0.1483			



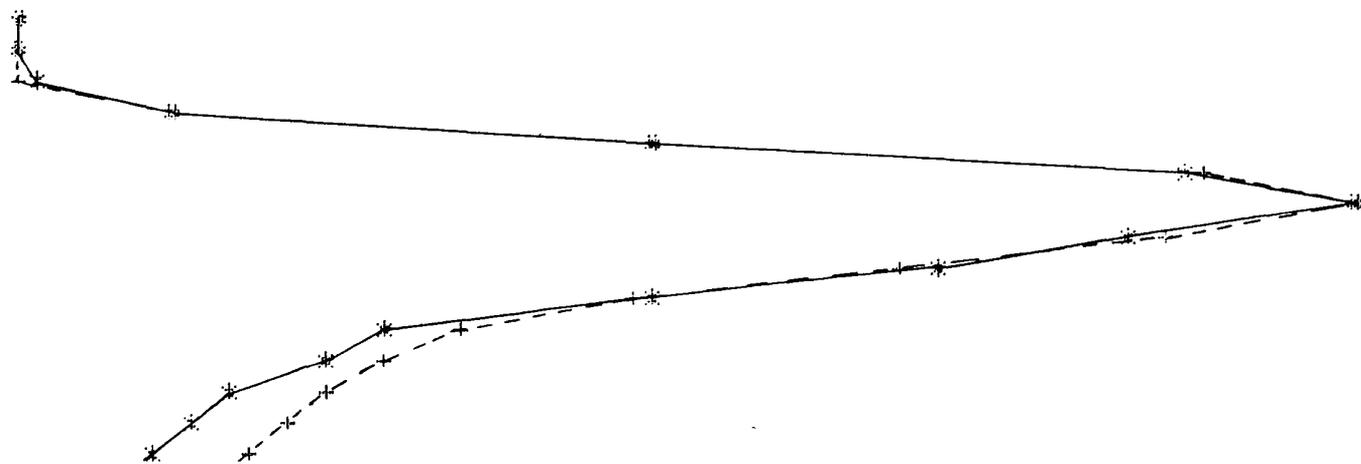
EVENTO (2 PICO) 14-15/9/62, W-10, CHEROKEE, OKL., USA

EVENTO (1 PICO) 9/6/62, W-10, CHEROKEE, OKL., USA

MIN	PAC	QD	QI	QS	QT	REST	QOBS	HUM
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.350
5	0.160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.510
12	0.304	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.674
18	0.492	0.108	0.000	0.000	0.108	0.006	0.007	1.734
24	0.702	0.135	0.000	0.000	0.135	0.355	0.361	1.809
30	0.798	0.026	0.015	0.000	0.041	0.687	0.470	1.861
36	0.850	0.000	0.032	0.000	0.032	0.775	0.775	1.874
42	0.905	0.000	0.041	0.000	0.042	0.655	0.546	1.881
48	0.914	0.000	0.020	0.000	0.020	0.503	0.527	1.865
54	0.926	0.000	0.014	0.000	0.014	0.353	0.354	1.860
60	0.954	0.000	0.020	0.000	0.020	0.257	0.205	1.865
66	0.970	0.000	0.016	0.000	0.016	0.211	0.173	1.862
72	0.981	0.000	0.012	0.000	0.012	0.180	0.127	1.859
78	0.987	0.000	0.008	0.000	0.008	0.153	0.103	1.856
84	0.996	0.000	0.008	0.000	0.008	0.123	0.080	1.856
TOT	0.996	0.269	0.185	0.003	0.457	0.437	0.413	1.856

R E S U M E N

TP	OS	S	KF	OG	SS	FC	S1
12.950	1.350	1.550	0.038	0.000	5.500	1.350	5.150
AC	NF	FQ	FK	F0			
0.012	1.000	0.515	0.193	0.013			
CMQ	ARQ	TQA	CDQ	CGW	CO1	RFQ	
0.4126	0.4367	0.4572	0.2692	0.0026	0.0357	0.1854	
PAC	RAL	QPK	PKQ	CC			
0.9960	0.9960	0.7747	0.7747	0.1066			



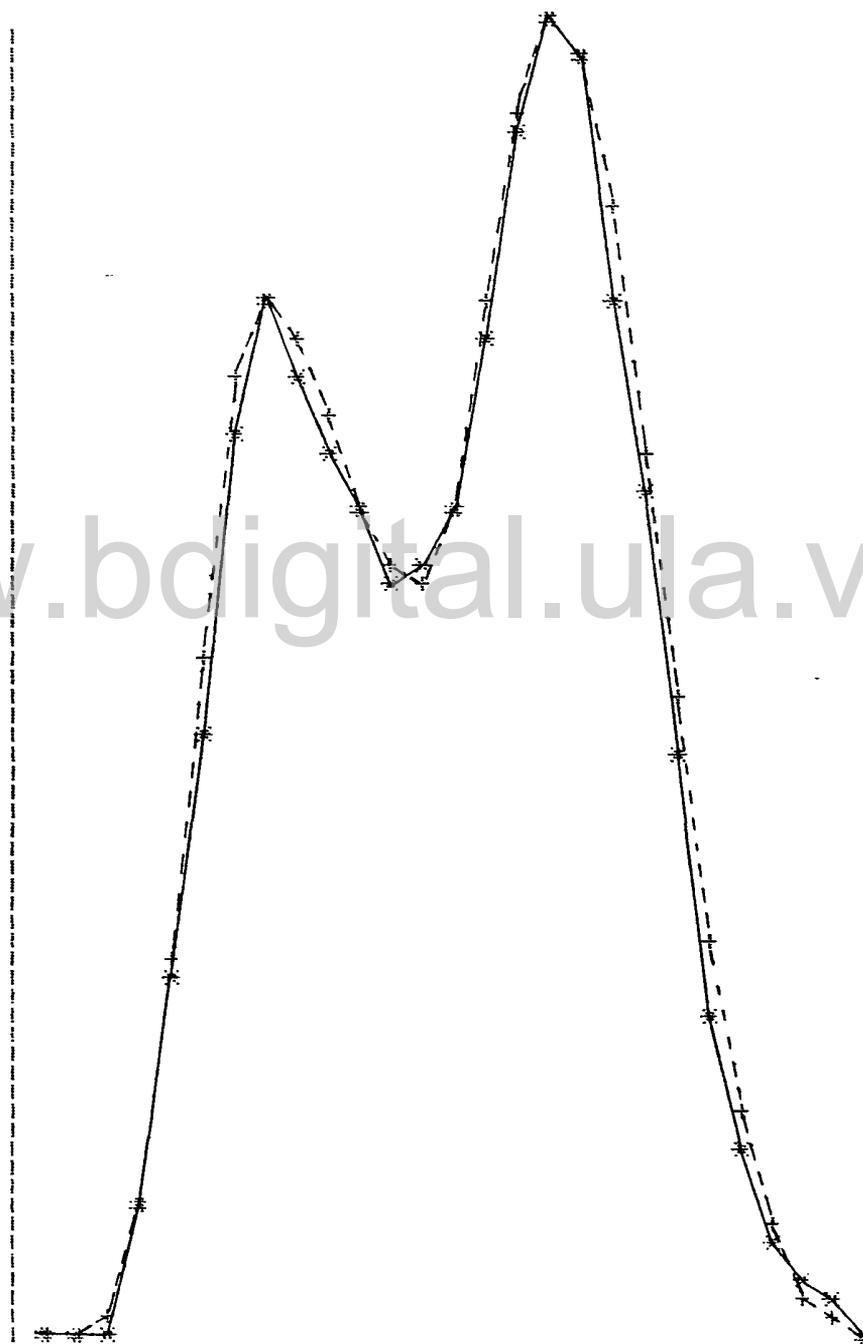
EVENTO (2 PUCOS) 3/7/59, 2-H. HASTINGS, NEBRASKA, USA

MIN	PAC	QD	QI	QS	QT	QEST	QOBS	HUM
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014
3	0.195	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
6	0.480	0.066	0.000	0.000	0.066	0.036	0.012	1.228
9	0.875	0.245	0.000	0.000	0.245	0.239	0.217	1.378
12	1.170	0.176	0.000	0.000	0.176	0.671	0.615	1.496
15	1.295	0.025	0.000	0.000	0.025	1.207	1.070	1.596
18	1.420	0.038	0.000	0.000	0.038	1.677	1.583	1.680
21	1.520	0.023	0.000	0.000	0.023	1.841	1.823	1.760
24	1.680	0.090	0.000	0.000	0.090	1.745	1.705	1.800
27	1.780	0.036	0.000	0.000	0.036	1.611	1.569	1.890
30	1.880	0.041	0.001	0.000	0.043	1.450	1.464	1.950
33	2.045	0.110	0.036	0.000	0.146	1.361	1.325	1.964
36	2.210	0.111	0.044	0.000	0.155	1.323	1.345	1.967
39	2.360	0.097	0.046	0.000	0.143	1.460	1.460	1.968
42	2.520	0.107	0.046	0.000	0.153	1.811	1.766	1.968
45	2.630	0.057	0.046	0.000	0.103	2.157	2.121	1.968
48	0.000	0.000	0.012	0.000	0.012	2.324	2.324	1.954
51	0.000	0.000	0.003	0.000	0.003	2.267	2.256	1.951
54	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	1.995	1.840	1.950
57	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	1.572	1.485	1.950
60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.115	1.033	1.950
63	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.712	0.562	1.950
66	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.321	1.950
69	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.183	0.178	1.950
72	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.059	0.103	1.950
75	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.066	1.950
TOT	2.630	1.223	0.235	0.006	1.464	1.462	1.412	1.950

P E S U M E N

TP	OS	S	KF	OG	SS	FC	S1
11.100	0.014	1.880	0.026	0.000	5.250	1.950	5.110
AG	NF	FO	FK	FO			
0.014	1.510	0.652	0.150	0.007			
OMQ	ARD	TOR	ODQ	OGW	COI	AFQ	
1.4120	1.4623	1.4641	1.2233	0.0056	0.0353	0.2353	
PAC	BAL	OPK	PKQ	CC			
2.6300	2.6300	2.3240	2.3240	0.0605			

EVENTO (2 PICOS) 3/7/59. S-H. HASTINGS. NEBRASKA, USA



www.bcigital.ula.ve

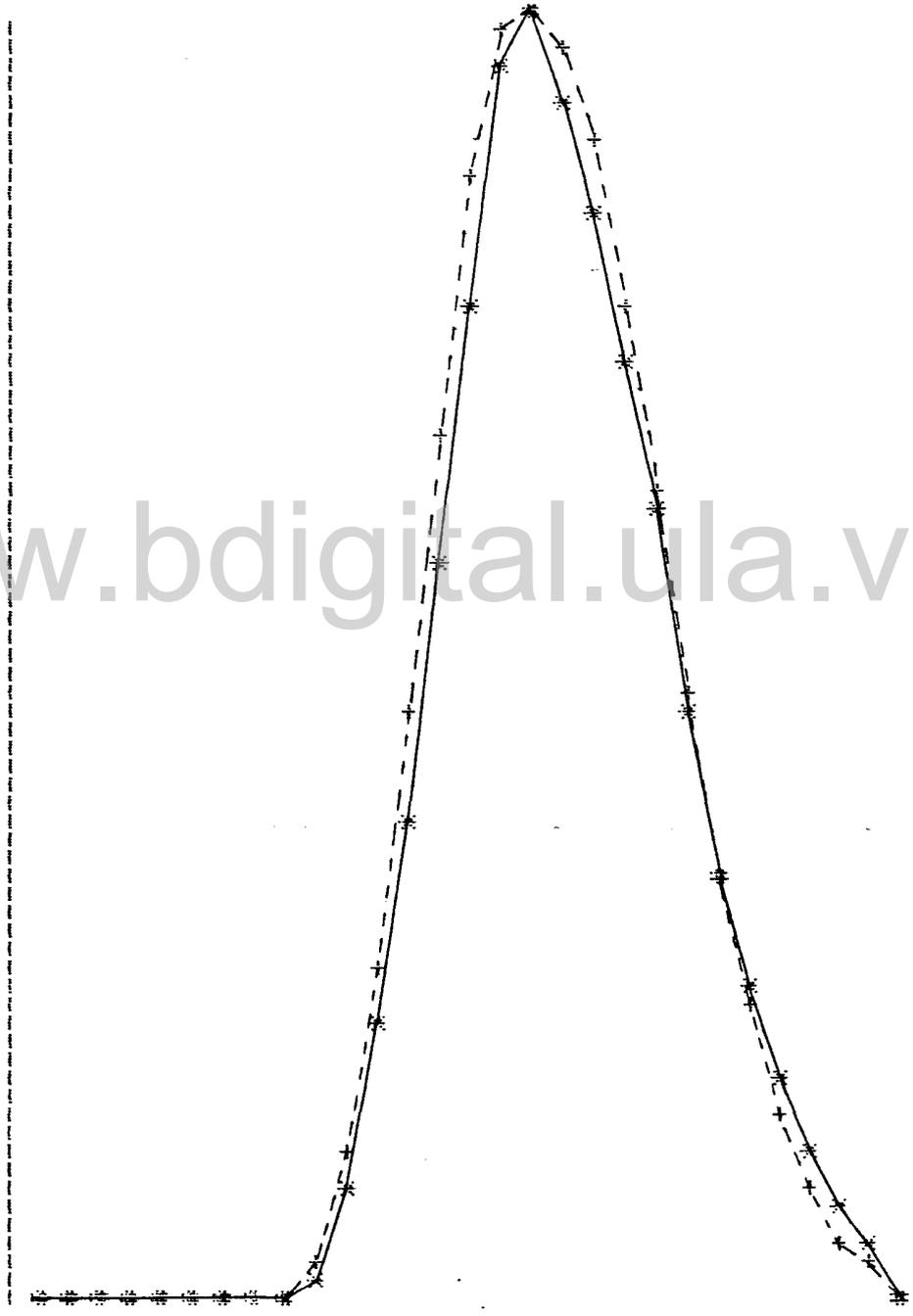
EVENTO (1 P100) 23/8/62, 2-H, HASTINGS, NEBRASKA, USA

MTN	PAC	QD	QI	QS	QT	QEST	QORS	HUM
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.570
3	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.574
6	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.640
9	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.640
12	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.640
15	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.670
18	0.220	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.790
21	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.970
24	0.660	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	1.230
27	0.915	0.081	0.000	0.000	0.081	0.027	0.012	1.404
30	1.148	0.100	0.000	0.000	0.100	0.114	0.088	1.537
33	1.380	0.123	0.000	0.000	0.123	0.275	0.218	1.646
36	1.494	0.020	0.000	0.000	0.020	0.483	0.386	1.741
39	1.620	0.043	0.000	0.000	0.043	0.709	0.603	1.824
42	1.770	0.075	0.000	0.000	0.075	0.913	0.808	1.898
45	1.800	0.000	0.000	0.000	0.000	1.041	1.011	1.928
48	1.830	0.000	0.005	0.000	0.005	1.050	1.050	1.952
51	1.852	0.000	0.016	0.000	0.016	1.013	0.980	1.956
54	1.858	0.000	0.008	0.000	0.008	0.944	0.883	1.953
57	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.811	0.770	1.951
60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.655	0.648	1.950
63	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.496	0.483	1.950
66	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.351	0.350	1.950
69	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.233	0.250	1.950
72	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.156	0.180	1.950
75	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.096	0.118	1.950
78	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.051	0.072	1.950
81	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.043	1.950
TOT	1.858	0.442	0.032	0.001	0.474	0.472	0.449	1.950

R E S U M E N

TP	OS	S	KF	OG	SS	FC	S1
14.290	0.570	2.135	0.031	0.000	5.250	1.950	5.110
AG	NF	FQ	FK	F0			
0.014	1.510	0.652	0.150	0.007			
CMO	ARQ	TQA	COO	CGW	CO1	AFQ	
0.4487	0.4724	0.4742	0.4419	0.0006	0.0047	0.0316	
PAC	BAL	QPK	PKQ	CC			
1.8580	1.8580	1.0500	1.0500	0.1256			

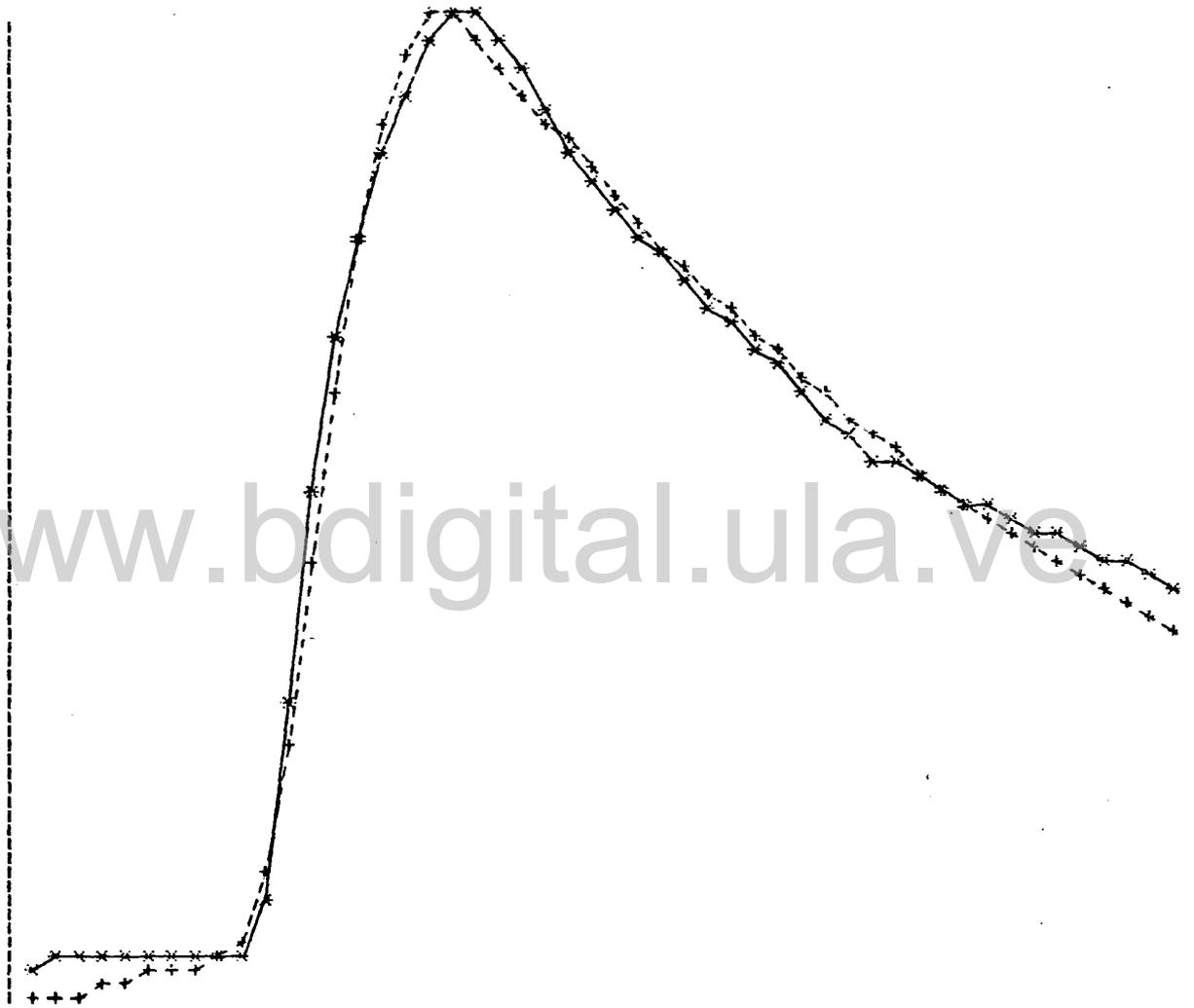
EVENTO (1 PICO) 28/8/62. 2-H. HASTINGS, NEBRASKA, USA



MIN	PAC	QD	QI	QS	QT	QEST	QOBS	HIM
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.376
120	0.350	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	1.726
240	0.430	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.001	1.806
360	0.500	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	1.876
480	0.570	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	1.946
600	0.630	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.001	2.006
720	0.630	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	2.006
840	0.670	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	2.046
960	0.710	0.000	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	2.086
1080	1.600	0.000	0.029	0.001	0.000	0.001	0.001	2.939
1200	1.900	0.000	0.037	0.002	0.009	0.002	0.002	3.194
1320	1.960	0.000	0.038	0.002	0.040	0.003	0.003	3.208
1440	0.000	0.000	0.036	0.002	0.039	0.006	0.009	3.163
1560	0.000	0.000	0.035	0.003	0.037	0.011	0.012	3.121
1680	0.000	0.000	0.033	0.003	0.036	0.014	0.014	3.080
1800	0.000	0.000	0.032	0.003	0.035	0.016	0.015	3.041
1920	0.000	0.000	0.031	0.003	0.034	0.017	0.017	3.003
2040	0.000	0.000	0.030	0.003	0.033	0.010	0.018	2.966
2160	0.000	0.000	0.029	0.003	0.032	0.010	0.018	2.931
2280	0.000	0.000	0.028	0.004	0.031	0.013	0.018	2.898
2400	0.000	0.000	0.026	0.004	0.030	0.017	0.018	2.865
2520	0.000	0.000	0.025	0.004	0.029	0.017	0.017	2.834
2640	0.000	0.000	0.024	0.004	0.028	0.016	0.016	2.804
2760	0.000	0.000	0.024	0.004	0.027	0.015	0.016	2.775
2880	0.000	0.000	0.023	0.004	0.027	0.015	0.015	2.748
3000	0.000	0.000	0.022	0.004	0.026	0.015	0.014	2.721
3120	0.000	0.000	0.021	0.004	0.025	0.014	0.014	2.696
3240	0.000	0.000	0.020	0.004	0.024	0.014	0.014	2.671
3360	0.000	0.000	0.019	0.004	0.023	0.013	0.013	2.647
3480	0.000	0.000	0.019	0.004	0.023	0.012	0.013	2.625
3600	0.000	0.000	0.018	0.004	0.022	0.011	0.012	2.603
3720	0.000	0.000	0.017	0.004	0.021	0.012	0.012	2.582
3840	0.000	0.000	0.017	0.004	0.021	0.012	0.012	2.562
3960	0.000	0.000	0.016	0.004	0.020	0.011	0.011	2.542
4080	0.000	0.000	0.015	0.004	0.019	0.011	0.011	2.524
4200	0.000	0.000	0.015	0.004	0.019	0.011	0.010	2.506
4320	0.000	0.000	0.014	0.004	0.018	0.010	0.010	2.488
4440	0.000	0.000	0.014	0.004	0.017	0.010	0.010	2.472
4560	0.000	0.000	0.013	0.004	0.017	0.010	0.010	2.456
4680	0.000	0.000	0.013	0.004	0.016	0.009	0.009	2.441
4800	0.000	0.000	0.012	0.004	0.016	0.009	0.009	2.426
4920	0.000	0.000	0.012	0.004	0.015	0.009	0.009	2.412
5040	0.000	0.000	0.011	0.004	0.015	0.009	0.009	2.398
5160	0.000	0.000	0.011	0.004	0.014	0.009	0.009	2.385
5280	0.000	0.000	0.010	0.004	0.014	0.008	0.008	2.372
5400	0.000	0.000	0.010	0.003	0.013	0.008	0.008	2.360
5520	0.000	0.000	0.010	0.003	0.013	0.007	0.008	2.349
5640	0.000	0.000	0.009	0.003	0.012	0.007	0.008	2.337
5760	0.000	0.000	0.009	0.003	0.012	0.007	0.008	2.327
5880	0.000	0.000	0.008	0.003	0.012	0.007	0.007	2.316
TOT.	1.960	0.000	0.833	0.155	0.998	0.317	0.359	2.316

R E S U M E N

TP	OS	S	KF	OG	SS	FC	S1
450.000	1.376	2.460	0.596	0.035	6.650	2.058	6.450
RG	NF	FO	FK	F0			
0.046	1.550	0.032	0.224	0.429			
CMQ	ARQ	TOR	COQ	CGU	COI	AFQ	
0.9504	0.9367	0.9880	0.0000	0.1545	0.1862	0.8333	
PAC	BAL	QPK	PKQ	CC			
1.9600	1.9600	0.0161	0.0161	0.6509			



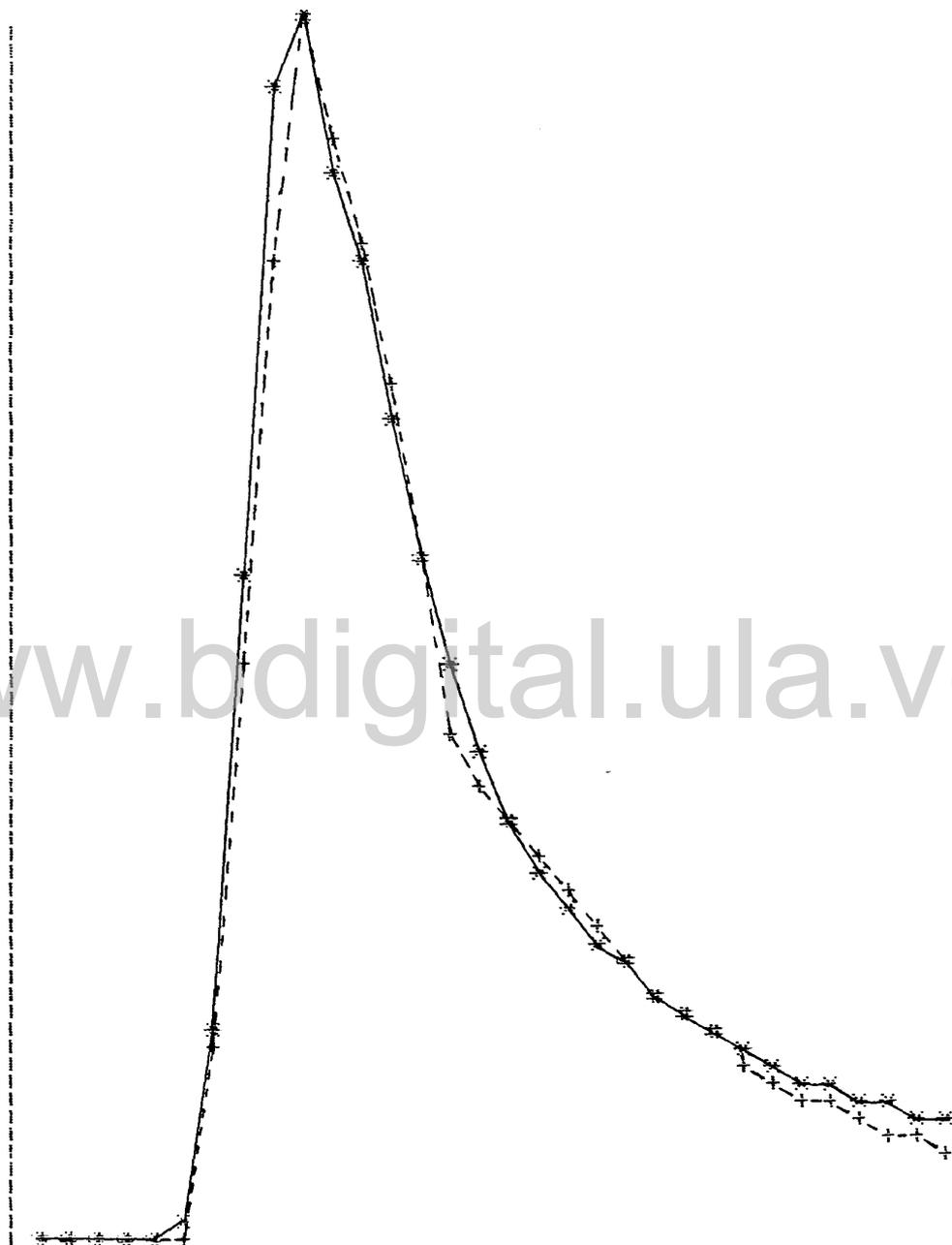
EVENTO (1 PICO) 13-21/10/66, W-3, VERO BEACH, FLORIDA, USA

EVENTO (1 PICO) 8/ 2/82, CUENCA EXPERIMENTAL ODA, LA CUESTA (CUDJAT).

MIN	PAC (mm)	QD (mm/hr)	QI (mm/hr)	QS (mm/hr)	QT (mm/hr)	QEST mm/hr	QORS mm/h	HUM (mm)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	27.900
15	1.600	0.000	0.000	0.005	0.005	0.001	0.007	29.500
30	1.900	0.000	0.000	0.005	0.005	0.003	0.007	29.800
45	3.900	0.000	0.000	0.004	0.004	0.006	0.008	31.800
60	11.300	0.000	0.000	0.004	0.004	0.010	0.008	39.200
75	16.300	0.000	0.000	0.004	0.004	0.013	0.041	44.200
90	22.000	2.130	0.000	0.004	2.134	0.329	0.339	47.770
105	24.500	0.000	0.000	0.004	0.004	0.957	1.088	50.270
120	26.700	0.000	0.197	0.004	0.201	1.612	1.882	52.252
135	27.400	0.000	0.246	0.004	0.251	2.002	2.002	52.702
150	0.000	0.000	0.220	0.005	0.225	1.809	1.759	52.469
165	0.000	0.000	0.197	0.005	0.202	1.629	1.590	52.261
180	0.000	0.000	0.176	0.005	0.181	1.406	1.339	52.075
195	0.000	0.000	0.158	0.005	0.163	1.122	1.112	51.909
210	0.000	0.000	0.141	0.005	0.146	0.821	0.935	51.760
225	0.000	0.000	0.126	0.005	0.131	0.750	0.796	51.627
240	0.000	0.000	0.113	0.005	0.118	0.691	0.692	51.508
255	0.000	0.000	0.101	0.005	0.106	0.623	0.614	51.401
270	0.000	0.000	0.090	0.005	0.096	0.559	0.552	51.306
285	0.000	0.000	0.081	0.005	0.086	0.503	0.492	51.221
300	0.000	0.000	0.072	0.005	0.077	0.452	0.445	51.145
315	0.000	0.000	0.064	0.005	0.070	0.406	0.401	51.077
330	0.000	0.000	0.058	0.005	0.063	0.366	0.366	51.016
345	0.000	0.000	0.052	0.005	0.057	0.329	0.337	50.961
360	0.000	0.000	0.046	0.005	0.051	0.297	0.309	50.912
375	0.000	0.000	0.041	0.005	0.046	0.267	0.287	50.869
390	0.000	0.000	0.037	0.005	0.042	0.241	0.267	50.830
405	0.000	0.000	0.033	0.005	0.038	0.217	0.250	50.795
420	0.000	0.000	0.030	0.005	0.034	0.196	0.237	50.764
435	0.000	0.000	0.026	0.005	0.031	0.177	0.222	50.736
450	0.000	0.000	0.024	0.004	0.028	0.160	0.210	50.711
465	0.000	0.000	0.021	0.004	0.025	0.145	0.200	50.689
TOT (mm)	27.400	2.130	2.349	0.150	4.629	4.525	4.699	50.689

R E S U M E N

TR (min)	QS (mm)	S (mm)	KF (mm/DT)	QC (mm)	SS (mm)	FC (mm)	S1 (mm)
47.000	27.900	65.000	0.979	0.150	135.000	50.500	130.000
RC (Fr/min)	NF	FR (Fr/min)	FK	FQ (mm/DT)			
0.002	1.950	0.007	0.056	0.575			
TRP (mm)	ARD (mm)	TOR (mm)	COO (mm)	COW (mm)	COI (mm)	AFQ (mm)	
4.8994	4.5257	4.6291	2.1313	0.1502	0.1336	2.3476	
TRC (mm)	RAL (mm)	ORP (mm/hr)	PKO (mm/hr)	CC			
27.4000	27.4000	2.0072	2.0035	0.1067			



EVENTO (1 PICO) 8/ 2/82, CUENCA EXPERIMENTAL ODA, LAQUESTA (CITRAT)

APENDICE H

Tablas de resultados e hidrogramas de eventos
empleados para la verificación de la metodología
de generalización de parámetros

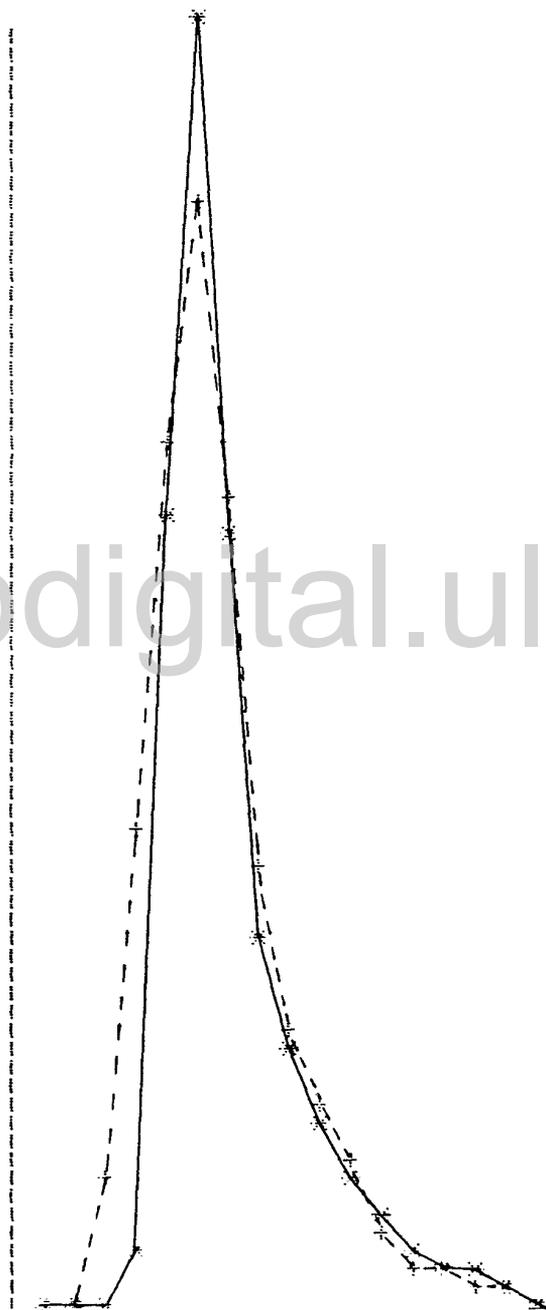
EVENTO 21/5/81, W-15, CHEROKEE, OKLAHOMA, USA, VERIFICACION DE LA METEOROLOGIA DE GENERALIZACION DE PARAMETROS

MIN	PAC (P)	RD(P/hr)	RI (P/hr)	RS (P/hr)	RT(P/hr)	REBT(P/hr)	ROBP/hr	H.M (P)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.950
10	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.920
20	0.400	0.271	0.000	0.000	0.271	0.153	0.006	1.979
30	0.670	0.214	0.000	0.000	0.214	0.701	0.082	2.035
40	1.150	0.428	0.003	0.000	0.430	1.255	1.150	2.064
50	1.173	0.000	0.011	0.000	0.011	1.589	1.559	2.094
60	1.180	0.000	0.023	0.000	0.009	1.153	1.105	2.091
70	1.320	0.090	0.026	0.000	0.116	0.643	0.526	2.110
80	1.330	0.000	0.017	0.000	0.017	0.392	0.364	2.100
90	1.353	0.000	0.018	0.000	0.019	0.383	0.374	2.102
100	1.350	0.000	0.029	0.000	0.009	0.245	0.194	2.091
110	1.361	0.000	0.009	0.000	0.010	0.111	0.115	2.082
120	1.363	0.000	0.025	0.000	0.005	0.096	0.084	2.087
130	1.366	0.000	0.004	0.000	0.004	0.349	0.352	2.086
140	1.363	0.000	0.000	0.000	0.003	0.035	0.045	2.084
150	1.370	0.000	0.002	0.000	0.003	0.025	0.034	2.084
TOT (P)	1.370	1.003	0.116	0.003	1.122	1.116	0.963	2.084

R E S U M E N

TR(min)	OS (P)	S (P)	KF(P/DT)	DT(P)	SS (P)	FD (P)	SI (P)
15.000	1.850	1.830	0.033	0.004	5.153	2.081	5.033
RG (Fr/min)	RF	FG (Fr/min)	FK	FF (P/DT)			
0.005	1.240	0.096	0.435	0.018			
ORQ (P)	ARQ (P)	TOR (P)	ORQ (P)	OGW (P)	ORQ (P)	FRQ (P)	
0.000	1.1071	1.1022	0.9995	0.0153	0.0468	0.0944	
FRQ (P)	RAL(P)	FRK (P/hr)	FRQ(P/h)CC				
1.3700	1.3700	1.3334	1.6026	0.4396			

EXPERIMENTO 21/5/61, W-15, CHEROKEE, OKLAHOMA, USA. VERIFICACION DE LA METODIA DE LA
DE GENERALIZACION DE PARAMETROS



www.bdigital.ula.ve

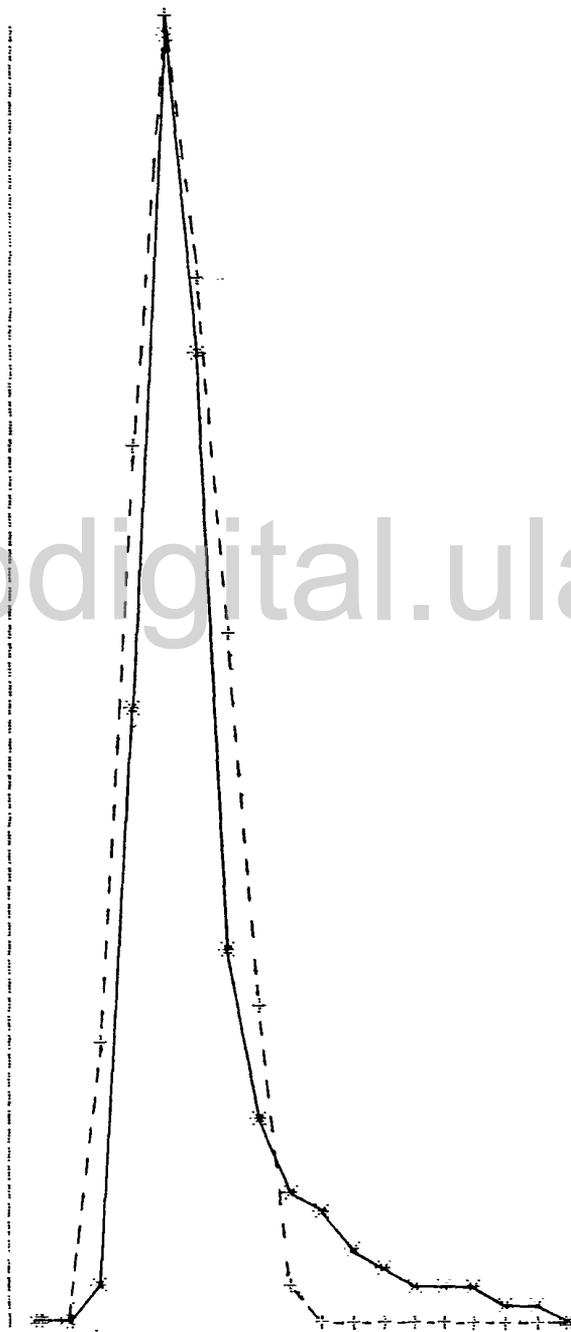
EVENTO (1 PICO) 9/6/69, W-15, CHEROKEE, OK, U.S.A. VERIFICACION DE LA METODOLOGIA DE GENERALIZACION DE PARAMETROS

MIN	PAC (P)	OD (P/hr)	OT (P/hr)	OS (P/hr)	OT (P/hr)	OFST (P/hr)	ODAS (P/hr)	WJM (P)
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.400
12	0.216	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.516
24	0.586	0.254	0.000	0.000	0.254	0.000	0.000	1.732
36	0.712	0.000	0.000	0.000	0.000	0.269	0.185	1.894
48	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.336	0.395	1.872
60	0.774	0.000	0.000	0.000	0.000	0.321	0.295	1.894
72	0.798	0.000	0.000	0.000	0.000	0.209	0.114	1.920
84	0.814	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.063	1.936
96	0.862	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.041	1.984
108	0.900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.000
120	0.931	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.050
132	0.934	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	2.056
144	0.937	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	2.059
156	0.941	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	2.063
168	0.945	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	2.067
180	0.949	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	2.071
192	0.950	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	2.072
TOT (P)	0.950	0.278	0.000	0.000	0.278	0.278	0.244	2.072

RESUMEN

CP (min)	OS (P)	S (P)	KF (P/DT)	OG (P)	SS (P)	FO (P)	S' (P)
00.000	1.400	1.870	0.046	0.000	5.100	2.061	3.000
AC (Fr/min)	0 NF	FO (Fr/min)	FK	FO (Fr/DT)			
0.000	1.240	0.000	0.485	0.000			
OMC (P)	ARO (P)	TOR (P)	ODD (P)	OC (P)	ODI (P)	AFD (P)	
0.2437	0.2780	0.2780	0.2780	0.0000	0.0000	0.0000	
POC (P)	PAI (P)	OPK (P/hr)	PKO (P/hr)	POC			
0.9500	0.9500	0.3943	0.3983	0.5316			

EVENTO (1 PTOO) 9/5/62, W-15, CHEROKEE, OKL., USA. VERIFICACION DE LA METODOLOGIA DE
GENERALIZACION DE PARAMETROS



www.bdigital.ula.ve

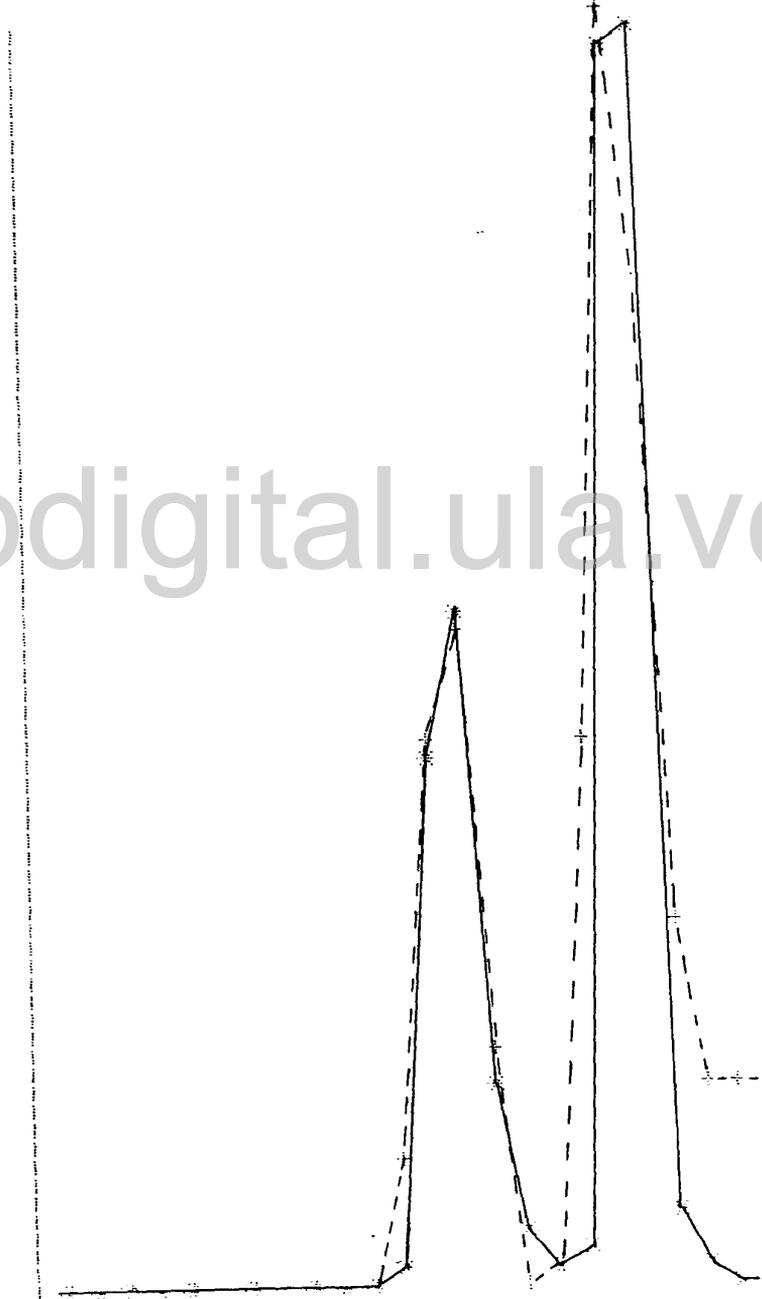
EVENTO (2 PICOS) 12/7/67, W-15, CHEROKEE, OKLAHOMA, USA. VERIFICACION DE LA METODOLOGIA DE GENERALIZACION DE PARAMETROS

MIN	PRC	QD	QT	QK	QT	WPR	Q1SS	QUN
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050
20	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100
30	0.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150
40	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200
50	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.250
60	0.300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300
70	0.350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.350
80	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400
90	0.450	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.450
100	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500
110	0.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.550
120	0.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.600
130	0.650	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.650
140	0.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.700
150	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.750
160	0.800	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.800
170	0.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.850
180	0.900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.900
190	0.950	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.950
200	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
TOT	2.260	0.429	0.002	0.011	0.742	0.715	0.558	2.078

R E S U M E N

TP	OS	S	K7	OC	SS	FC	S1
0.000	0.502	1.520	0.070	0.000	0.100	0.000	0.000
QC	RF	FQ	FK	FQ			
0.000	0.000	0.000	0.177	0.019			
QK	RR	TQR	TDQ	QGD	QJ	PR	
0.000	0.7148	0.7416	0.4087	0.0107	0.0535	0.0000	
PRC	RAI	QPK	PKQ	OC			
0.0000	0.0000	1.0407	1.0550	0.0007			

FIGURA 12 (2 PÁGINAS) 12/27/67, 16-15, CHEPOTE, URUGUAY. USA. VECTOR DE TENDENCIA EN METROS
LINEA DE GENERALIZACION DE PARAMETROS

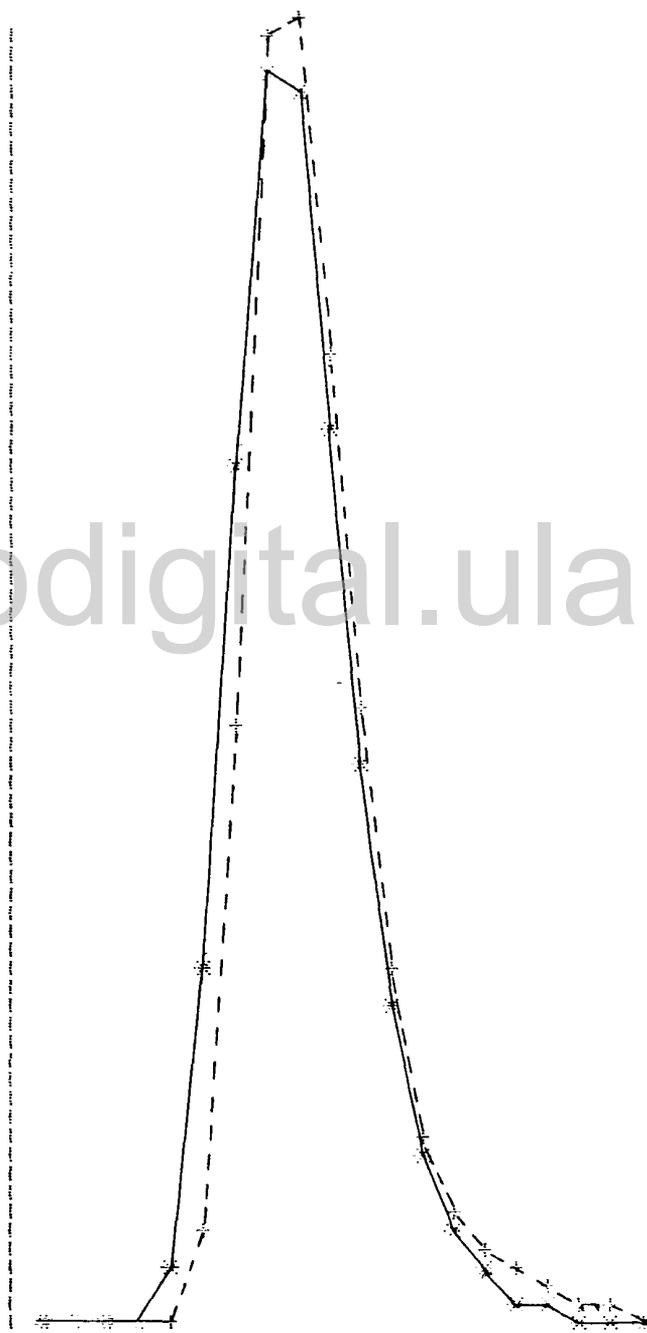


www.bdigital.ula.ve

EVENTO P3749762, 23-H, HASTINGS, NEBRASKA, USA. VERIFICACION DE LA METODOLOGIA DE GENERALIZACION DE PARAMETROS

MIN	PRC	QD	QI	QF	QT	QD-T	QDSS	QD-M
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.117	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.247	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.632	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	1.057	0.119	0.000	0.000	0.119	0.218	0.791	1.000
30	1.531	0.436	0.000	0.000	0.436	1.304	1.304	2.000
35	2.005	0.188	0.000	0.000	0.188	2.009	2.846	2.243
40	2.233	0.124	0.000	0.000	0.124	2.952	2.774	2.865
45	2.476	0.076	0.000	0.000	0.110	2.210	2.327	2.433
50	2.498	0.000	0.028	0.000	0.028	1.387	1.388	2.413
55	2.523	0.000	0.024	0.001	0.025	0.820	0.724	2.409
60	0.000	0.000	0.016	0.001	0.016	0.437	0.433	2.383
65	0.000	0.000	0.010	0.001	0.011	0.239	0.177	2.375
70	0.000	0.000	0.007	0.001	0.007	0.167	0.143	2.366
75	0.000	0.000	0.004	0.001	0.005	0.117	0.059	2.361
80	0.000	0.000	0.003	0.001	0.004	0.077	0.030	2.357
85	0.000	0.000	0.002	0.001	0.003	0.057	0.014	2.354
90	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.034	0.007	2.343
95	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.022	0.004	2.333
100	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.015	0.003	2.323
TOT	2.523	0.941	0.134	0.007	1.082	1.079	1.104	2.453
P A S O S								
TP	OS	S	KF	OG	SS	FC	RI	
0.000	0.050	1.790	0.096	0.000	5.190	2.850	4.890	
AC	NE	FO	FK	FG				
0.025	1.450	0.053	0.319	0.008				
TD0	ARD	TDR	OD0	OD1		OD1	SP0	
1.1000	1.0000	1.0000	0.9416	0.0000		0.9431	0.1052	
SD0	BD1	OPK	PK0	OC				
2.5000	2.5000	0.8380	2.3700	0.3000				

EXPERIMENTO 23/08/2012, 23-H. HASTINGS, NERBESHA. USA. VERIFICACION DE LA METODOLOGIA DE GENERALIZACION DE PARAMETROS



www.bdigital.ula.ve

EVENTO 2462/1943, W-2, FENNINOBE, WISCONSIN, USA. VERIFICACION DE LA METODOLOGIA DE GENERALIZACION DE PARAMETROS

NO.	PAR	OC	OT	OS	OT	OCST	OCST	OCST
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
2	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	1.000
4	0.240	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.240	1.000
6	0.390	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.390	1.000
8	0.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.550	1.000
10	0.730	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.730	1.000
12	0.930	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.930	1.000
14	1.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.150	1.000
16	1.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.400	1.000
18	1.670	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.670	1.000
20	1.950	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.950	1.000
22	2.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.250	1.000
24	2.570	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.570	1.000
26	2.900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.900	1.000
28	3.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.250	1.000
30	3.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.600	1.000
32	3.950	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.950	1.000
34	4.300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.300	1.000
36	4.650	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.650	1.000
38	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.000	1.000
40	5.350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.350	1.000
42	5.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.700	1.000
44	6.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.050	1.000
46	6.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.400	1.000
48	6.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.750	1.000
50	7.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.100	1.000
52	7.450	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.450	1.000
54	7.800	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.800	1.000
56	8.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.150	1.000
58	8.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.500	1.000
60	8.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.850	1.000
62	9.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.200	1.000
64	9.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.550	1.000
66	9.900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.900	1.000
68	10.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.250	1.000
TOT	1.000	0.150	0.000	0.000	0.150	0.150	0.141	1.000

P E S U M E N

TP	OS	S	KF	OC	KS	PC	SI
0.000	1.145	1.400	0.045	0.000	5.150	2.065	5.054
0.004	KF	FO	FK	FO			
0.000	1.250	0.033	0.319	0.000			
0.000	470	T9A	000	000	000	001	000
0.1400	0.1400	0.1400	0.1400	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	PKL	PKQ	PKQ	CC			
1.0500	1.0500	0.6290	0.6301	1.0765			

REPORT 8/6/1948, W-2, FENNTMORE, WISCONSIN, USA. VERIFICATION OF LP METHODOLITIC
RE GENERALIZACION DE PARAMETROS

