



APLICACION DEL MODELO HBV A LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO CAUCA

Martin Häggström, SMHI

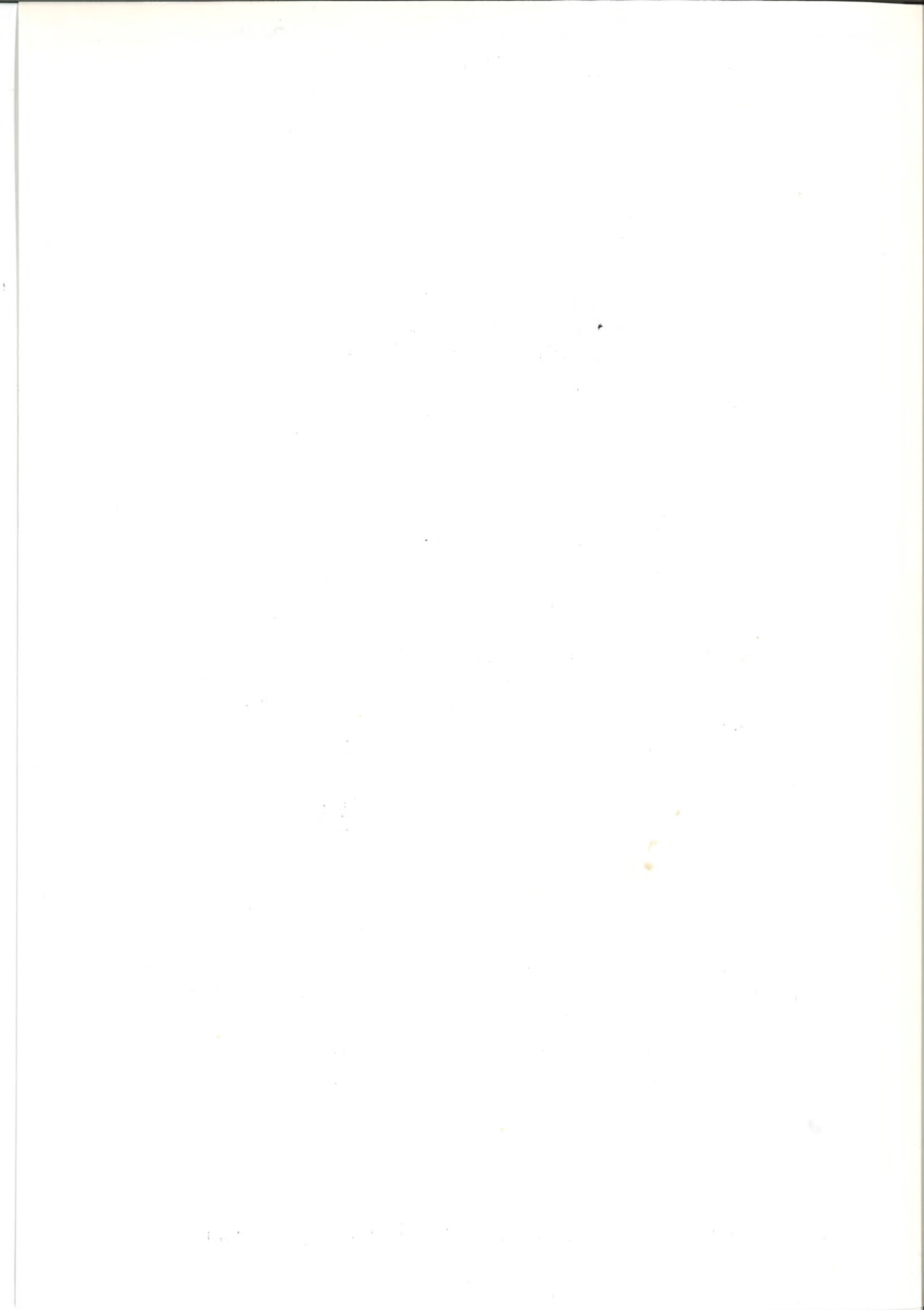
Göran Lindström, SMHI

Luz Amelia Sandoval, CVC

Maria Elvira Vega, CVC



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA



APLICACION DEL MODELO HBV A LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO CAUCA

Martin Häggström, SMHI

Göran Lindström, SMHI

Luz Amelia Sandoval, CVC

Maria Elvira Vega, CVC

Traducción del original inglés:

APPLICATION OF THE HBV MODEL TO THE UPPER RIO CAUCA
SMHI Hydrology No 21, Norrköping, 1988

Impreso SMHI, Norrköping
Marzo 1989

CONTENIDO

	<u>Pág.</u>
PREFACIO	1
1. INTRODUCCION	2
2. MODELOS CONCEPTUALES DE ESCORRENTIA	3
2.1 Características generales	3
2.2 El modelo HBV	3
3. DESCRIPCION DE LA CUENCA Y CLIMA	11
3.1 Características de la cuenca	11
3.2 Clima	14
4. APLICACION DEL MODELO A LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO CAUCA	17
4.1 Subdivisión de la cuenca	17
4.2 Datos de entrada	20
4.3 Desbordamientos del río	23
4.4 Pérdidas por irrigación	24
4.5 Calibración	25
4.6 Resultados de la calibración	27
4.7 Pronósticos	36
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS POSTERIORES	39
BIBLIOGRAFIA	41
APENDICE 1 : Listado de Parámetros	
APENDICE 2 : Curvas de duración de caudales calculados y registrados.	
APENDICE 3 : Ejemplos de Pronósticos	

PREFACIO

El trabajo que se describe en este informe es parte de un proyecto de colaboración entre la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CVC), Colombia y el Instituto Sueco de Meteorología e Hidrología (SMHI).

CVC es una entidad cuyo principal objetivo es el de promover el desarrollo económico y social tanto en la cuenca superior del río Cauca en los departamentos de Cauca y Valle como en parte de la Costa Pacífica Colombiana. Uno de los objetivos específicos de la CVC, es la regulación del río Cauca para control de crecientes, generación hidroeléctrica y alivio de contaminación.

Este proyecto de colaboración se refiere a la aplicación del modelo conceptual HBV a la cuenca superior del río Cauca. El trabajo se inició en febrero de 1987 y se terminó en junio de 1988. Este proyecto fué financiado por la Agencia Sueca para la Cooperación Técnica y Económica (BITS).

Queremos agradecer al personal de la Corporación Autónoma Regional del Cauca y del Instituto Sueco de Meteorología e Hidrología por su valiosa contribución a este proyecto. Un agradecimiento especial a los señores Arne Forsman y Magnus Persson del SMHI.

Norrköping y Cali, Junio 1988

Martin Häggström
Göran Lindström

Luz Amelia Sandoval
María Elvira Vega

1. INTRODUCCION

El río Cauca recorre el occidente colombiano de sur a norte, entre dos cadenas montañosas, las cordilleras Central y Occidental. El área de su cuenca es de 58.500 km.2 y es el principal tributario del río Magdalena.

El modelo conceptual sueco de escurrimiento, el modelo HBV, se ha aplicado a la parte superior de la cuenca del río Cauca. El propósito de esta aplicación del modelo es el de pronosticar los caudales afluentes al embalse de Salvajina y también los caudales en varias secciones del río aguas abajo de Salvajina. La situación geográfica del área del proyecto puede verse en la Figura 1.



Figura 1. Situación geográfica del área del proyecto.

2. MODELOS CONCEPTUALES DE ESCORRENTIA

2.1 Características generales

Una necesidad básica para el desarrollo de una cuenca hidrográfica, tanto a nivel de planeación como de manejo, es la evaluación de la disponibilidad temporal y espacial de agua en la región. Los modelos conceptuales de escorrentía pueden ser muy útiles para tal propósito, ya que ellos calculan escorrentía teniendo como entrada principal los datos de precipitación, por medio de una cuantificación de los procesos físicos más dominantes, a través de una serie de funciones matemáticas. Los modelos explican permanentemente el agua almacenada en la cuenca y son capaces de simular en forma continua caudales, para períodos de tiempo tan largos como las series disponibles de datos de entrada.

Una aplicación muy común de los modelos conceptuales de escorrentía es la que tiene como objetivo, el pronóstico hidrológico. En estos casos, a menudo, se utilizan como datos de entrada, los pronósticos meteorológicos. El alcance (en tiempo) de los pronósticos hidrológicos depende de la confiabilidad de los pronósticos meteorológicos y de la dinámica del sistema fluvial en consideración. Los pronósticos son más sencillos y fáciles en cuencas con respuesta lenta a las lluvias o el deshielo, que en aquellas que tienen una respuesta rápida. Para pronóstico a largo plazo, las series históricas, pueden ser utilizadas como datos de entrada al modelo y los pronósticos se pueden realizar a partir del análisis estadístico de varias secuencias de hidrógrafas calculadas.

En muchas ocasiones, los registros de caudal en una sección específica de una cuenca, son demasiado cortos para ser utilizados en forma confiable en análisis estadísticos con fines de diseño. Otro problema que se presenta con frecuencia es la falta de datos correspondientes a los períodos críticos de máximas crecientes. Sin embargo, generalmente se dispone de series relativamente largas de datos de precipitación en la cuenca. En estos casos, los modelos matemáticos que conceptualmente representan los procesos de escorrentía pueden ser muy útiles para reconstruir los hidrogramas de los períodos faltantes y las crecientes críticas, previa una calibración con los datos existentes.

A partir de 1958 se han desarrollado varios modelos de simulación lluvia-escorrentía, como por ejemplo el modelo SSARR (Rockwood, 1958), el modelo de cuenca Stanford (Linsley y Crawford, 1960), el modelo TANK (Sugawara, 1961), el modelo de Dawdy y O'Donnell (Dawdy y O'Donnell, 1965), el modelo Boughton (Boughton, 1966), el programa de simulación HYDROCOMP (Hydrocomp Inc., 1969), el NWSRFS (NOAA, 1972), el modelo UBC (Quick y Pipes, 1972), el modelo NAM (Nielsen y Hansen, 1973) y el modelo HBV (Bergström, 1976).

La complejidad de estos modelos es muy variada así como también sus requerimientos de equipos de cómputo y datos de entrada. El modelo HBV, desarrollado en el Instituto Sueco de Meteorología e Hidrología (SMHI), (Bergström, 1976), es uno de los modelos más sencillos; sin embargo se ha comprobado, que sus resultados tanto en simulación como los pronósticos son muy satisfactorios.

2.2 El modelo HBV

El HBV es un modelo conceptual para el cálculo continuo de caudales. Su formulación es de fácil comprensión y sus requerimientos de equipo de cómputo y datos de entrada son moderados. En la mayoría de los casos, el modelo se corre con datos diarios de precipitación y estimados de evapotranspiración potencial. Si se utiliza la subrutina de nieve del modelo, es necesario también incluir datos diarios de temperatura. Generalmente el modelo se corre para intervalos de tiempo de 24 horas. En el SMHI, se ha desarrollado un sistema completo para pronóstico hidrológico, basado en el uso interactivo del modelo HBV, en un computador personal IBM.

El modelo HBV consta de una serie de subrutinas para acumulación y fusión de nieve, evaluación de la humedad del suelo, generación de escorrentía y finalmente un procedimiento de tránsito. El modelo puede ser utilizado en forma distribuida, dividiendo el área de interés en subcuencas. Cada subcuenca se puede dividir en zonas de acuerdo con sus características de altitud y vegetación. La estructura del modelo para cada subcuenca se presenta en la Figura 2.

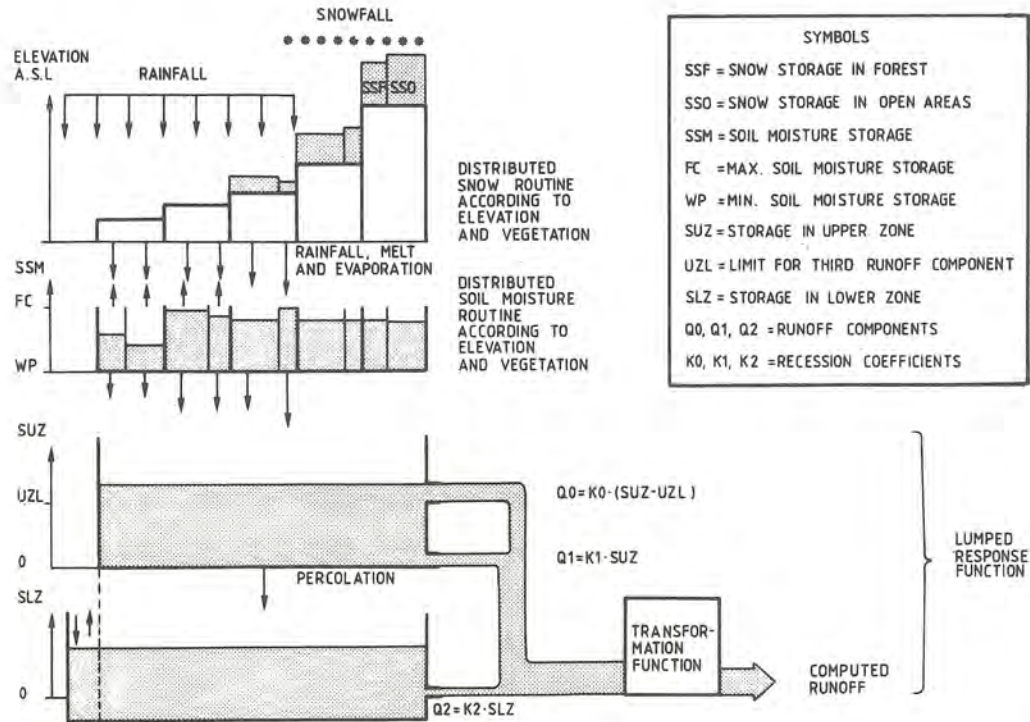


Figura 2. Estructura básica del modelo HBV.

La rutina de nieve está basada en una aproximación temperatura (°)-día y trabaja separadamente para cada elevación y zona de vegetación. Para considerar la variación de la temperatura con la altitud se utiliza un gradiente de temperatura. De esta forma la temperatura se corrige teniendo en cuenta el promedio ponderado de las altitudes de las estaciones de temperatura en la subcuenca y la altitud media de cada zona de elevación. Se pueden tomar diferentes ratas de fusión de nieve en tierras boscosas y deforestadas dividiendo la subcuenca en zonas de vegetación, con diferentes parámetros grado-día.

La variación de la precipitación con la altitud puede ser considerada aplicando un gradiente de precipitación de la misma forma que para la temperatura. Adicionalmente se tiene un parámetro general de corrección de precipitación, el cual puede ser usado para ajustar la precipitación cuando las estaciones no son representativas de la cuenca.

La rutina de humedad del suelo es la parte principal que controla la generación de escorrentía. Opera separadamente en cada elevación y zona de vegetación. Esta rutina está basada en 3 parámetros empíricos, Beta, FC y LP como se muestra en la Figura 3. Beta controla la contribución a la rutina respuesta de escorrentía (ΔQ) y el aumento en el almacenamiento de humedad del suelo ($1 - \Delta Q$). Con el fin de evitar problemas de no linealidades la rutina de humedad del suelo es alimentada con fusión de nieve, y precipitación milímetro por milímetro. La rutina da por resultado una pequeña contribución a la escorrentía cuando el suelo está seco (valores de SSM bajos) y una contribución apreciable para condiciones de humedad. FC es el máximo almacenamiento de humedad del suelo en el modelo, y LP es el valor del almacenamiento de humedad del suelo por encima del cual la evapotranspiración alcanza su valor potencial. La evapotranspiración real disminuye con el incremento del déficit de humedad del suelo.

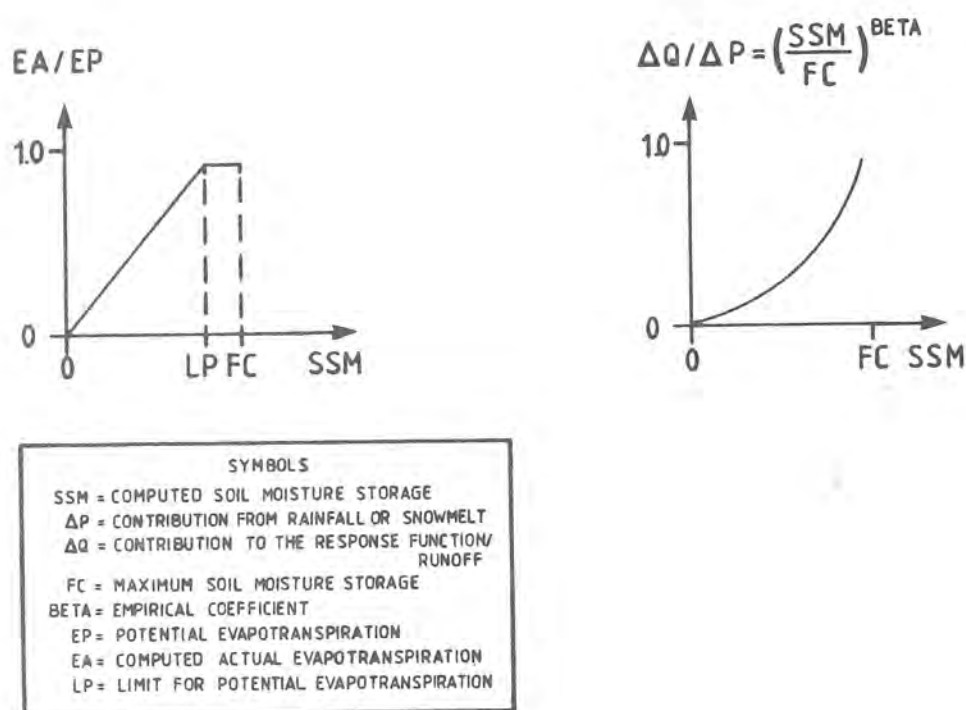


Figura 3. Representación esquemática de la evaluación de la humedad del suelo en el modelo HBV.

La rutina de respuesta de escorrentía transforma el agua en exceso de la rutina de humedad del suelo en escorrentía para cada subcuenca, ver Fig.4. También se incluye el efecto de precipitación directa y evaporación en lagos y/o embalses en la subcuenca. La rutina consta de dos almacenamientos que distribuyen la escorrentía generada en el tiempo y puede ser usada para obtener las partes rápida y lenta de la curva de recesión normalmente encontradas en el análisis de hidrógrafas.

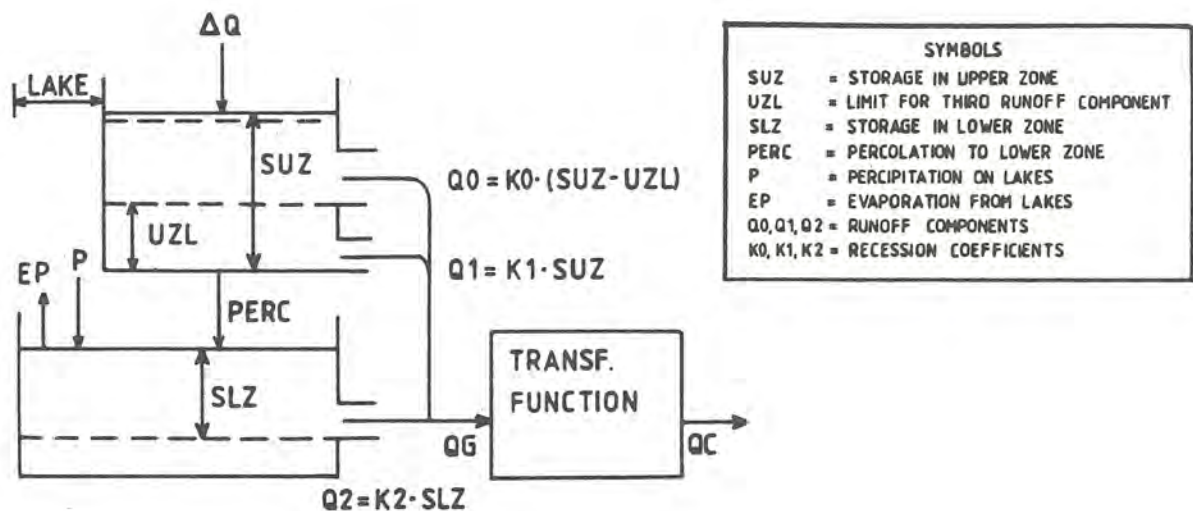


Figura 4. Función respuesta de escorrentía en el modelo HBV.

El almacenamiento inferior puede ser interpretado como la representación de la contribución del agua subterránea y el almacenamiento de lagos al flujo base. El drenaje es controlado por el coeficiente de recesión K2. Si la producción (ΔQ) de la rutina de humedad del suelo excede la capacidad de percolación (PERC), el almacenamiento superior se empezará a llenar y será drenado con el coeficiente K1. Esto representa el drenaje de agua a lo largo de canales más superficiales. Cuando el almacenamiento excede UZL, empieza un drenaje más rápido de acuerdo a K0.

La escorrentía se calcula independientemente para cada subcuenca y luego es transitada en una rutina de transformación para obtener la forma apropiada de la hidrógrafa, a la salida de la cuenca. Hay 3 opciones de

rutinas de transformación. La rutina principal está basada en el método de tránsito de Muskingum. Si hay un lago en la salida de la subcuenca, la descarga del lago puede ser calculada de acuerdo a la curva de calibración. También hay un filtro simple (hidrograma unitario) con una distribución triangular.

El modelo HBV es calibrado por un procedimiento manual de tanteo. Usualmente son suficientes de 5 a 10 años de registros diarios de caudal. Para ajustar el modelo se utilizan 3 criterios principales:

- 1) Inspección visual de las hidrógrafas calculadas y las observadas.
- 2) Una gráfica continua de la diferencia acumulada entre las hidrógrafas calculadas y observadas.
- 3) La varianza expresada como

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n [Q_{\text{comp}}(t) - Q_{\text{obs}}(t)]^2}{\sum_{t=1}^n [Q_{\text{obs}}(t) - \overline{Q_{\text{obs}}}]^2}$$

Donde :

Q_{comp} = Caudal calculado (m³/s.)

Q_{obs} = Caudal observado (m³/s.)

t = Variable de tiempo (usualmente días)

n = Número de intervalos

$$\overline{Q_{\text{obs}}} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Q_{\text{obs}}(t)$$

Además de estos criterios, la calibración puede ser verificada con gráficos de las curvas de duración de caudales calculados y observados. Es deseable reservar datos de unos pocos años de registro para un período de prueba independiente.

El modelo HBV es generalmente usado para propósitos de pronósticos. Antes de un pronóstico, el modelo se corre con los datos observados hasta el intervalo (día) anterior al que se está pronosticando. Si hay alguna discrepancia entre las hidrógrafas calculada y observada durante los últimos días de la corrida, se puede considerar una actualización del modelo. El modelo HBV es actualizado ajustando los datos de entrada de unos pocos días o las condiciones del estado inicial, con el propósito de reducir las discrepancias. La actualización es un procedimiento iterativo manual y generalmente el hidrograma calculado es aceptado después de unas pocas corridas. Para condiciones de fusión de nieve hay también un procedimiento semi-automático de actualización de la temperatura. Sin embargo se debe ser cauteloso en la actualización, y tener presente el hecho de que el procedimiento de actualización puede introducir incertidumbres adicionales.

El modelo puede ser usado para pronósticos a largo y corto plazo.

El pronóstico a corto plazo se usa principalmente en períodos de crecidas. El desarrollo de la escorrentía se predice hasta que haya terminado el fenómeno. Un pronóstico meteorológico es usado como entrada y existe la posibilidad de usar varias alternativas de precipitación y secuencias de temperatura en la misma corrida. Esto es a menudo deseable debido a la baja confiabilidad del pronóstico meteorológico especialmente para precipitación. Para condiciones de fusión de nieve es a menudo más útil correr el modelo con varias alternativas de temperatura como entrada.

Los pronósticos a largo plazo se usan principalmente para dos fines: predicción del caudal pico y volumen de escorrentía. Para regulación de embalses de generación la entrada de flujo remanente a una fecha dada, es la figura más interesante, mientras en otras cuencas el interés está concentrado hacia la distribución de los caudales picos. El último aspecto es por supuesto el más importante, si los daños por crecidas son el problema principal. De otra parte en algunos ríos, pronósticos de caudal bajo pueden ser los más interesantes. El pronóstico usa datos de precipitación y temperatura de las fechas correspondientes durante los años anteriores como entrada. Generalmente se utilizan datos de por lo menos 10 años y a menudo de 20 años

o más. La distribución de las diferentes simulaciones da un indicador de la probabilidad de que un valor dado sea excedido. Basado en esto, el pronóstico del volumen se complementa con una interpretación estadística del resultado.

3. DESCRIPCION DE LA CUENCA Y CLIMA

3.1 Características de la cuenca

El Cauca es uno de los principales ríos de Colombia. Su cuenca está altamente poblada y es una de las regiones más ricas del país. El río recorre en dirección norte 1.200 kms. en la región andina de los departamentos de Cauca, Valle, Risaralda, Caldas, Antioquia, Sucre y Bolívar. Tiene un área de drenaje de 58.500 km², lo que equivale a un 5% del área total del país. El modelo HBV se ha aplicado a la parte superior de la cuenca, desde el nacimiento del río en el departamento del Cauca hasta La Victoria en el departamento del Valle, cubriendo un área de 16.284 km².

El río inicia su recorrido en la región de los volcanes de Sotará y Puracé al sureste de la ciudad de Popayán. Los primeros 70 kms. de su recorrido, fluye en dirección noroeste a través de estrechos cañones. Posteriormente, por espacio de 60 kms., corre en dirección norte por terrenos ondulados y valles angostos, encontrándose en este tramo el embalse de Salvajina. En Timba el río entra en la planicie aluvial y continúa en dirección norte formando meandros en una longitud de casi 400 kms. El extremo de aguas abajo del área del proyecto casi coincide con el límite norte de la zona plana.

Por el oeste, la divisoria de aguas de la cuenca sigue el eje de la Cordillera Occidental, cuyos picos alcanzan una altitud de hasta 4000 m. En general la altitud de la divisoria oscila entre los 2000 y los 3000 m. La divisoria oriental de la cuenca sigue el eje de la Cordillera Central, que es más alta que la Occidental y la altura general de la divisoria oscila entre los 3000 y los 4000 m. Por el sur la divisoria tiene una altitud entre 1500 y 2000 m., siendo la cuenca vecina la del río Patía. La distancia entre las divisorias oriental y occidental es de 75 kms. y la longitud nortesur del área del proyecto es de casi 300 kms.

La parte más llamativa de la depresión del Cauca es la planicie del valle entre las poblaciones de Santander y Cartago. El ancho promedio de la parte sur de esta planicie es 30 kms., mientras la parte norte tiene un ancho de sólo 10 kms. El río Cauca corre en el lado occidental de la planicie. Debido a la forma asimétrica del valle, la cresta de la cordillera occidental está más cerca de la planicie que la de la cordillera central.

La historia geológica del valle, muestra varios períodos durante los cuales el piso estuvo cubierto por un lago. Cataclismos volcánicos impidieron el drenaje del valle y lo convirtieron en un lago que fué drenado posteriormente. Los sedimentos depositados durante el estado lacustre han sido eliminados por erosión. En lugar de ellos el área ha sido cubierta con depósitos aluviales jóvenes. Los tributarios al entrar de la cordillera a la planicie del valle han formado gradualmente abanicos aluviales, los cuales en la margen oriental se mezclan en una gran planicie aluvial. La planicie inundable del río Cauca, es en la actualidad estrecha debido al avance de los abanicos aluviales de ambas márgenes hacia el río. El Cauca es un río meándrico en su recorrido por la zona plana del valle y presenta los característicos cauces abandonados y diques naturales. (Reese y Goosen, 1957).

Sólo una pequeña parte de las zonas montañosas está cubierta de bosques debido a la acción conjunta de las altas pendientes y la deforestación que realiza la población. En los últimos siglos, especialmente en el presente, las áreas cubiertas de bosques se han reducido debido al impacto de la expansión de la población. La mayor parte de las zonas boscosas que existen actualmente están situadas en la parte alta de la Cordillera Occidental cerca de los límites de la cuenca. En la actualidad se están desarrollando algunos proyectos de reforestación en pequeñas áreas.

La vegetación arbórea crece hasta aproximadamente 3.000 m. de altura, entre los 3.000 y los 5.000 m. existe una zona carente de bosque cubierta de arbustos y hierbas denominada "páramos". Las áreas de nieves perpetuas por encima de los 5.000 m. son muy pequeñas.

La mayoría de los tributarios del río Cauca pueden considerarse de régimen torrencial de acuerdo con las características fisiográficas, morfológicas y climáticas de sus cuencas. Esto implica una respuesta a lluvias intensas de corta duración que se registren en el área, generándose picos de caudal muy altos y de corta duración mientras que la mayor parte del tiempo se presentan caudales relativamente bajos. Contrariamente a sus tributarios, el río Cauca presenta variaciones de caudal relativamente moderadas.

Gran parte de la planicie del Cauca es afectada por inundaciones, siendo anteriormente, algunas zonas inundadas todos los años. Las crecientes son ocasionadas por largos períodos de lluvias y no por tormentas aisladas. Se ha estimado que el área inundada por una creciente del río Cauca de probabilidad de una vez en treinta años, en condiciones de no regulación, es aproximadamente 1.000 km². Grandes extensiones son inundadas por los tributarios. Otras áreas se inundan por drenaje inadecuado de aguas lluvias y las zonas aledañas a las que sufren inundaciones se ven afectadas por los altos niveles freáticos. El drenaje de las áreas inundadas es lento debido a que las márgenes del río son con frecuencia más altas que las tierras aledañas (CVC, 1975). La última de las grandes crecientes se presentó en octubre-noviembre de 1984, cuando un área de más de 250 km². del valle quedó inundada. En las últimas décadas se presentaron grandes crecientes en 1950, 1966, 1971, 1974 y 1975.

Con el propósito de reducir los valiosos daños ocasionados por los desbordamientos, CVC estudió y diseñó el llamado Proyecto de Regulación del río Cauca, el cual tiene 3 objetivos principales: (i) control de inundaciones, (ii) alivio de contaminación y (iii) generación hidroeléctrica.

El proyecto se divide en dos grupos de obras a saber: (i) la presa y las demás obras localizadas en Salvajina para regulación de crecientes y (ii) las obras en la planicie inundable consistentes en diques, canales de drenaje y estaciones de bombeo.

El embalse de Salvajina inició sus funciones de regulación en enero de 1985. El volumen total del embalse es de 908 millones de metros cúbicos de los cuales 731 millones son volumen útil. El área máxima del embalse es de 22 km². La capacidad instalada para generación hidroeléctrica es de 270 MW con 3 unidades de 90 MW cada una. La producción de energía media anual es de 1050 GWh.

Durante los últimos años se han construido diques artificiales marginales al río lo cual ha reducido considerablemente los desbordamientos.

El valle del alto Cauca es una región de gran importancia económica con una población de cerca de 3 millones de habitantes. El mayor centro urbano localizado en la región es la ciudad de Cali con 1.4 millones de habitantes. En el valle del Cauca la agricultura es muy importante, siendo históricamente, la caña de azúcar el principal cultivo. Este es aún el cultivo más importante, sin embargo en años recientes el área dedicada a ella se ha reducido dando paso a diversificación de cultivos. Grandes áreas de la planicie, principalmente aquellas con suelos pobres están dedicadas a pastos.

3.2 Clima

El Valle del Cauca está localizado dentro de la zona de influencia de la convergencia intertropical. Como consecuencia de esto presenta dos estaciones secas y dos lluviosas. Los períodos secos ocurren de mediados de diciembre a mediados de marzo y entre junio y septiembre, siendo julio y agosto los más secos. Los períodos húmedos se presentan de mediados de marzo a mayo y de octubre a mediados de diciembre, siendo octubre y noviembre los meses más lluviosos.

En la Cordillera Central, cerca de la línea divisoria oriental de la cuenca se presenta un patrón diferente de precipitación, semejante al que predomina en el área de los Llanos al este de Colombia. Este se caracteriza por un único período seco con precipitaciones mínimas en enero y febrero y un período húmedo con máximas precipitaciones en julio. La extensión del área con el patrón de precipitación de los Llanos no es muy bien conocida. Sin embargo se sabe que está situada a gran altitud y parcialmente coincide con el páramo o sea el estrato carente de bosque por encima de los 3.000 m.

La precipitación anual media tiene sus valores máximos en las laderas de las montañas a una altitud de aproximadamente 2.000 m. y los valores mínimos en el fondo del valle y en los páramos. Las precipitaciones más altas, más de 3.000 mm. al año, se registran en las pendientes de la Cordillera Occidental al suroeste de Cali, en la planicie del Valle al norte de Cali y en la región de páramo la precipitación anual puede ser de 1.000 mm. o menos. La distribución de los promedios de precipitación anual se presenta en la Figura 5.

La mayoría de las lluvias que ocurren en el área son de origen convectivo u orográfico y los eventos de intensas precipitaciones pueden identificarse a menudo como originados por una combinación de estos dos tipos. Otro aspecto interesante es el hecho de que entre el 80% y el 90% de la precipitación cae durante las primeras tres horas de una tormenta fuerte.

La temperatura media anual en el fondo del valle es de aproximadamente 24°C. Las fluctuaciones estacionales de la temperatura son insignificantes y siguen la tendencia general del clima. Las variaciones diurnas son de aproximadamente 10°C en la zona plana y algo mayores en las laderas de las montañas. La reducción media de la temperatura es de 5 a 6 °C por cada 1.000 m. de altura. En los páramos la temperatura oscila entre los 0 y los 12°C.

La humedad relativa promedio en la planicie del valle es de 70 a 75% y aumenta con la altitud. La variación estacional de la humedad relativa es pequeña a pesar de la gran variación en precipitación.

Los vientos son primordialmente de origen local y pueden ser descritos como de naturaleza predominantemente diurna. Durante el día los vientos soplan del valle hacia las montañas y durante la noche en dirección contraria. En las capas atmosféricas inmediatamente encima de las montañas hay evidencias de que los vientos son del este o del sureste durante la mayoría de los meses (Schwerdtfeger, 1976). Estos vientos son probablemente la razón de que se presente un patrón diferente de precipitación en las regiones más altas de la Cordillera Central.

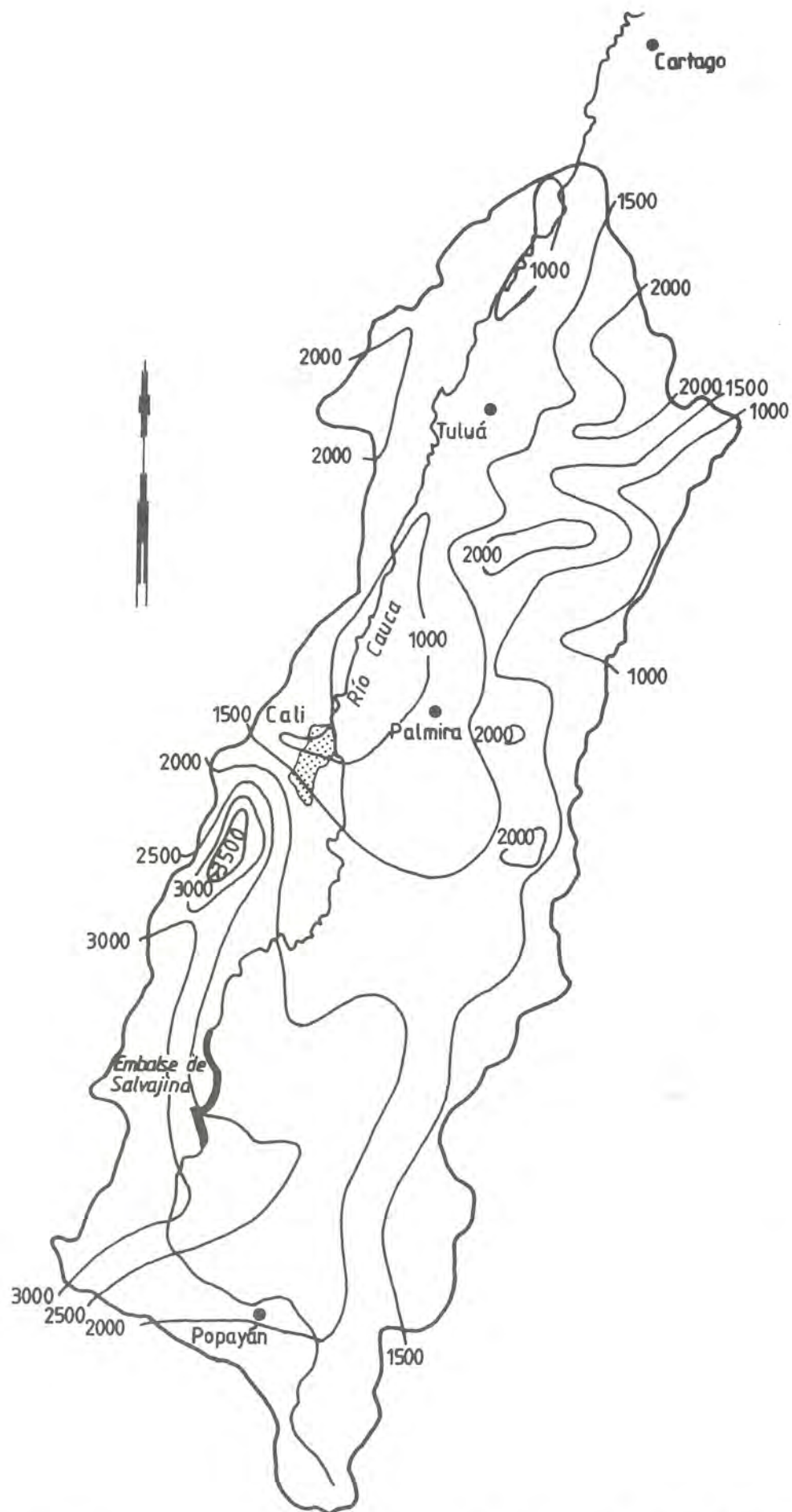


Figura 5. Precipitación media anual en la Cuenca del Alto Cauca. (González, 1984).

4. APLICACION DEL MODELO AL RIO CAUCA

4.1 Subdivisión de la cuenca

El modelo HBV se calibró y se adaptó para hacer pronóstico de caudales en 4 estaciones de control en el río Cauca. Estas estaciones son : Salvajina (3.652 km²), Juanchito (8.584 km²), Mediacanoa (12.186 km²) y La Victoria (16.284 km²) y sus caudales medios son 140, 278, 333 y 390 m³/s., respectivamente. La localización de las estaciones y sus cuencas de drenaje se muestran en la Figura 6.

Las cuencas locales para las estaciones mencionadas y para la estación de Julumito (724 km²) son subcuencas naturales en el modelo. Debido a la gran diferencia en altitud, vegetación, precipitación y condiciones de escorrentía, se hizo una división adicional en subcuencas. Los límites de estas subcuencas no siguen las divisorias de cuencas hidrológicas, en lugar de ello, la intención fué crear regiones más o menos homogéneas. No se utilizó la posibilidad de subdivisión en zonas de vegetación y/o altitud debido a la irregularidad en el patrón de precipitación.

Las áreas cercanas al límite de la cuenca en la Cordillera Central, con altitud superior a los 3.000 m. se trataron como subcuencas separadas en el modelo. Estas subcuencas representan la región de páramo y están indicadas por los números 1, 4, 9, 13 y 17 en la Figura 7. El resto de las subcuencas localizadas en la Cordillera Central aparecen con los números 2, 5, 8, 10, 14 y 18. Las subcuencas correspondientes a la Cordillera Occidental tienen los números 3, 7, 12 y 16. El área cercana al embalse de Salvajina tiene el No. 6 y las subcuencas que representan la planicie aluvial tienen los números 11, 15 y 19.

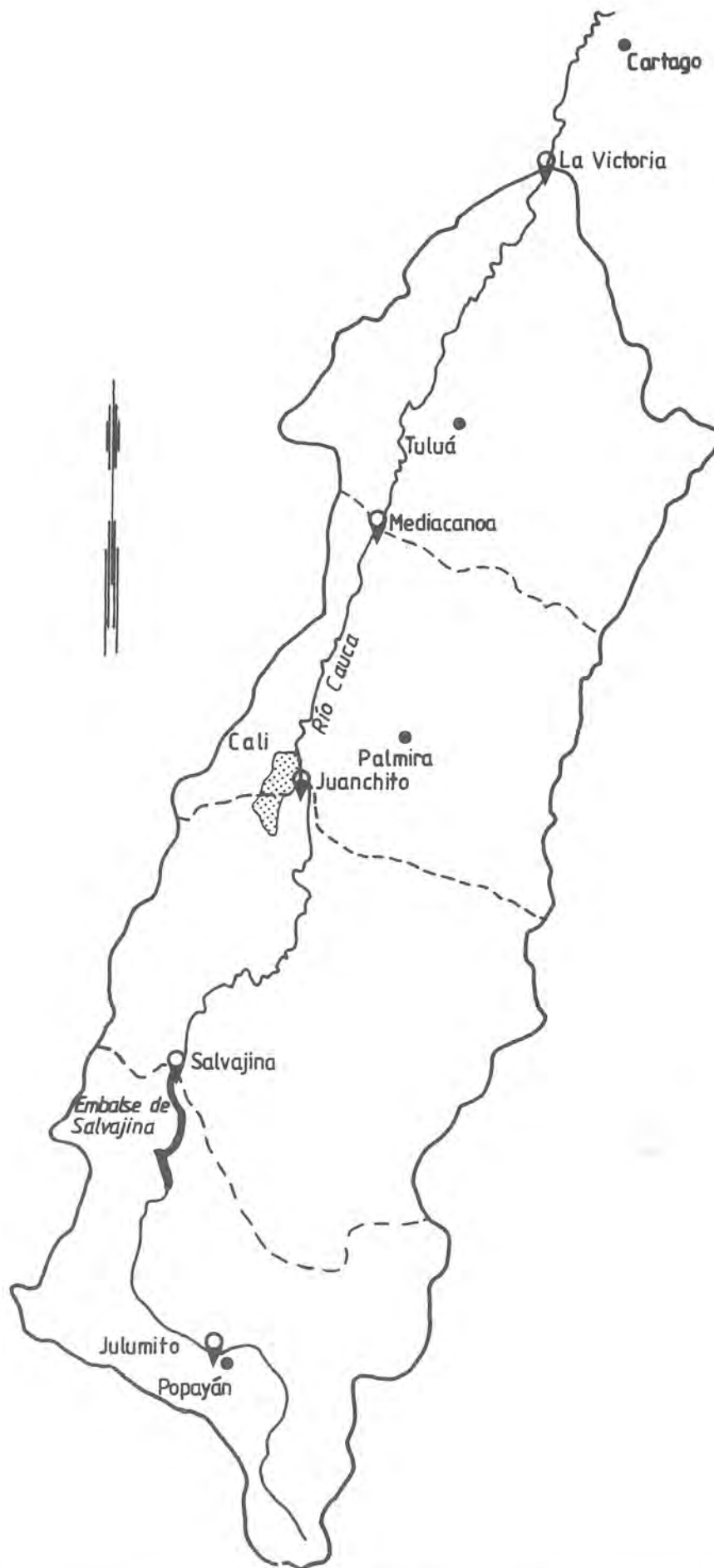


Figura 6. Sitios en el río Cauca, para los cuales el modelo HBV ha sido adaptado para pronóstico.

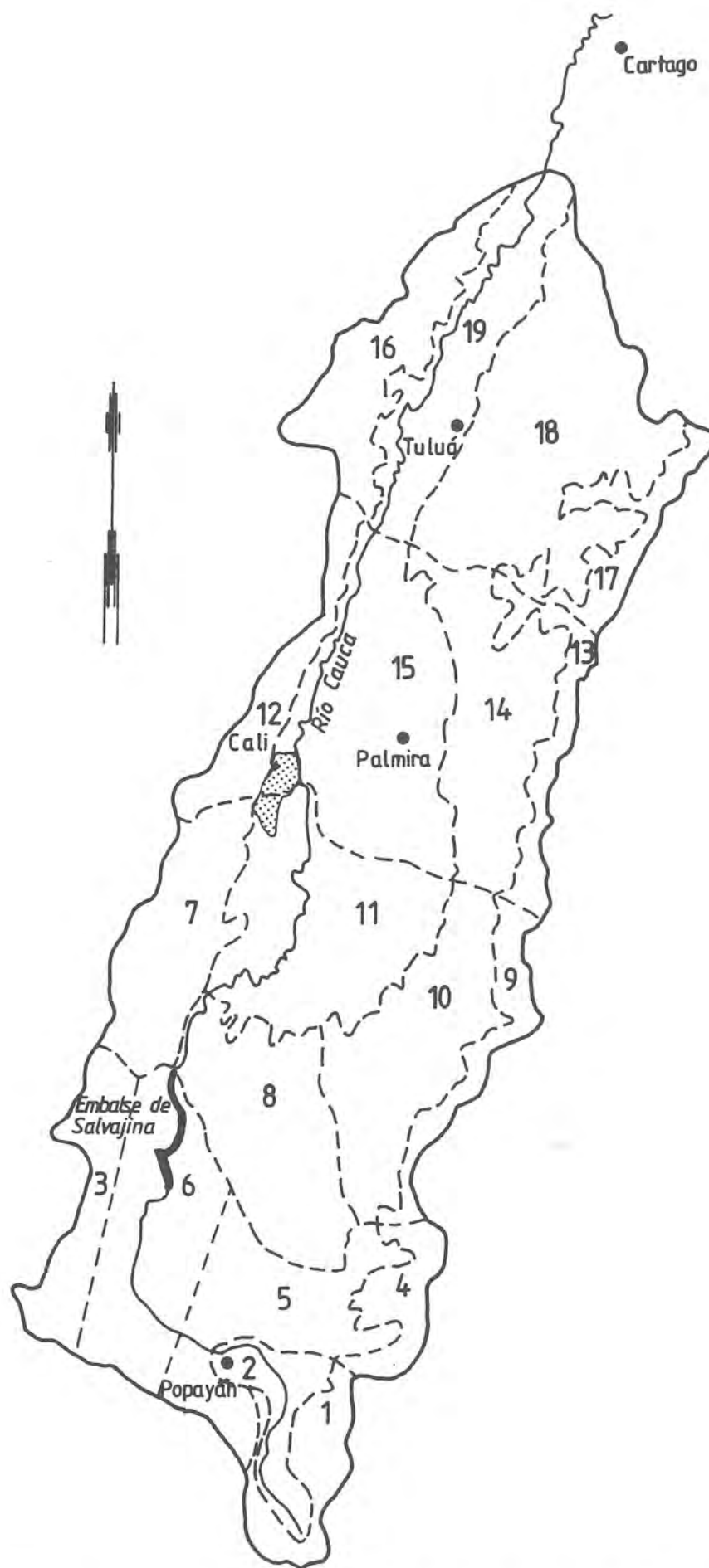


Figura 7. Subcuencas utilizadas en el modelo HBV en el Alto río Cauca.

4.2 Datos de entrada

La precipitación que se da al modelo como dato de entrada se toma de una serie de estaciones de precipitación representativas de cada una de las subcuencas. Se seleccionaron, hasta donde fué posible, estaciones localizadas dentro o cerca de los límites reales de la cuenca, preparándose para ser utilizadas un total de 58 estaciones. Se eliminaron algunas estaciones al detectar problemas de no homogeneidad al realizar las pruebas correspondientes o por considerarse que sus registros no aportan información adicional. A pesar de que la red de estaciones de precipitación en la cuenca del Alto Cauca es relativamente densa, no está uniformemente distribuída. Hay muy pocas estaciones localizadas en las partes más altas de las montañas y para algunas subcuencas fué necesario utilizar estaciones situadas muy lejos de ellas. También se encontró que debido a la gran variabilidad espacial en la precipitación que se registra en las zonas bajas, hay incertidumbre en el cálculo de la precipitación media de las subcuencas.

Los pesos de las estaciones de precipitación para cada subcuenca, fueron definidos de una manera subjetiva, pero gran parte de los esfuerzos realizados durante la calibración se encaminaron a ajustarlos de manera tal que se lograra incrementar la exactitud de la simulación del modelo. La mayor parte de la calibración del modelo se realizó con base en datos de 42 estaciones de precipitación distribuídas en toda la cuenca. Sin embargo, puesto que muchas de estas estaciones no tienen comunicación, vía teléfono, radio, u otro medio de comunicación para recolección rápida de la información, no es posible utilizarlas en el pronóstico en tiempo real. Por este motivo fué necesario realizar una calibración utilizando únicamente 29 estaciones.

Debido a la gran variación espacial de la precipitación, y a que las estaciones no se distribuyen uniformemente, algunas estaciones son más importantes que otras. Desafortunadamente en las áreas más remotas y menos pobladas, en las partes altas de las montañas, donde la precipitación es particularmente irregular, no existe comunicación telefónica. A la estación de Santa Teresa se le ha dado un tratamiento especial por ser la única estación de la red reducida cuya precipitación sigue el régimen de los "Llanos", o sea máximas precipitaciones en junio y julio. De acuerdo con esto,

la estación Santa Teresa es la única que pesa en todas las subcuencas localizadas en la parte alta de la Cordillera Central. En la Cordillera Occidental sólo se pueden obtener, vía teléfono, los datos de dos estaciones (El Topacio y Venecia). Fué necesario utilizar estaciones localizadas en el piso del valle para representar la precipitación de las subcuencas del occidente. Esto ocasiona algunos problemas puesto que ésta es una región muy lluviosa y en el área hay una considerable variación en la dirección este-oeste.

Las precipitaciones medidas deben ser multiplicadas por un factor de corrección para obtener la magnitud correcta de la precipitación media de cada subcuenca. Los factores de corrección se determinaron con base en el mapa de distribución de precipitación que aparece en la Figura 5. Para algunas subcuencas localizadas a gran altitud, el factor de corrección es tan bajo como 0.6, debido a la disminución de la precipitación con la altura por encima de la cota 2.000 m. Las subcuencas localizadas en el valle tienen factores de corrección cercanos a 1.0 puesto que la elevación de las estaciones de precipitación representa la altura de la subcuenca relativamente bien.

En esta aplicación no se utilizaron datos de temperatura puesto que el modelo sólo requiere esta información para la subrutina de nieve. Aunque algunas veces cae nieve en las partes más altas de la cuenca, ésta se funde rápidamente y su efecto no es considerable.

El modelo HBV utiliza los valores de evaporación potencial como un límite superior en el cálculo de la evapotranspiración real. Con frecuencia, tal como se hizo en esta aplicación, son suficientes como datos de entrada los valores medios mensuales de evaporación potencial. Estos valores medios mensuales se calcularon utilizando datos de 15 tanques de evaporación clase A de los cuales se tienen entre 5 y 20 años de registros. Los tanques fueron seleccionados de sitios representativos de la cuenca del Alto Cauca, y se encontró que todos tienen un patrón de variación similar. La diferencia de los registros es en magnitud, y se encontró que está estrechamente relacionada con la altura, como se muestra en la Figura 8.

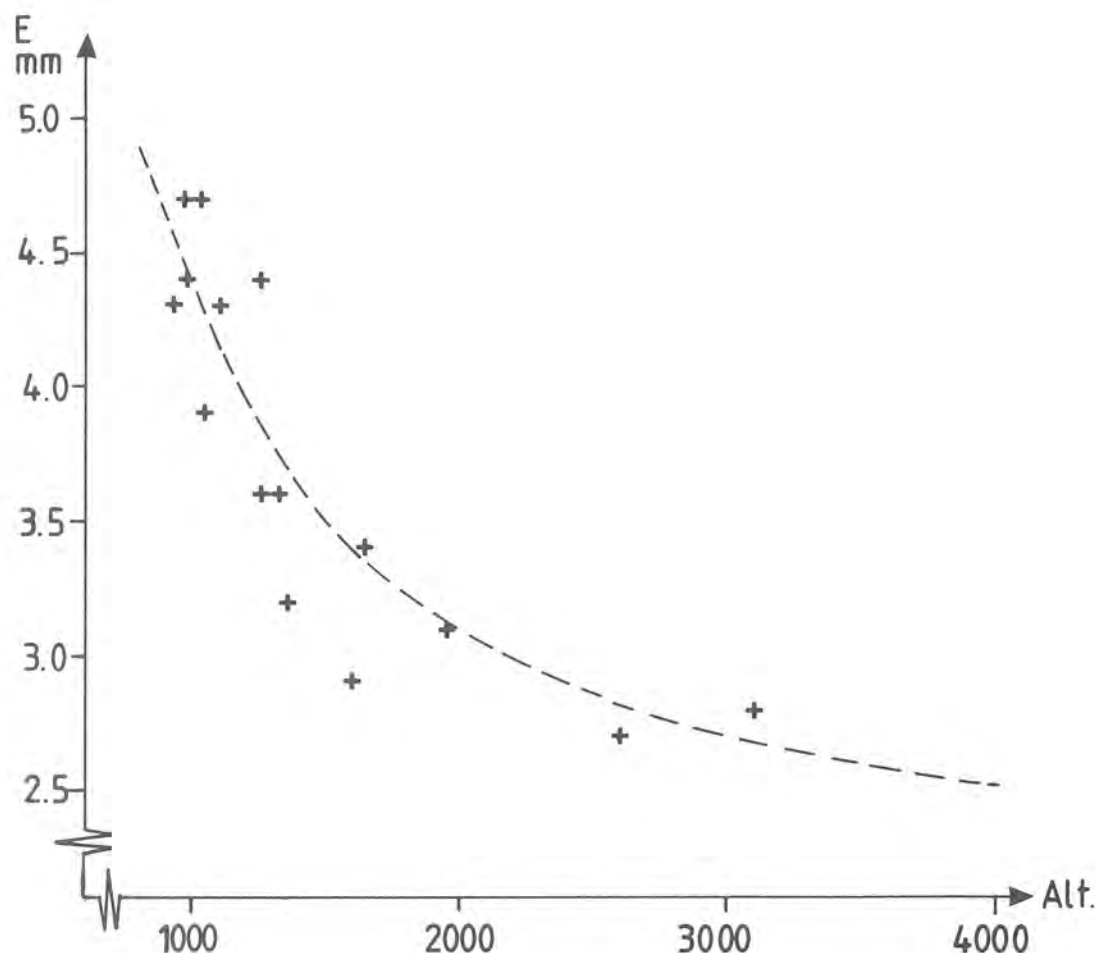


Figura 8. Evaporación media diaria en tanques Clase A, en la cuenca del Alto Cauca versus altura. La curva punteada es un ajuste visual de esta relación.

Se calcularon los promedios aritméticos de los valores medios mensuales de los 15 tanques de evaporación seleccionados. Estos valores se presentan en la Tabla 1 y corresponden a evaporación de tanque a una altura de 1.500 m., aproximadamente.

Tabla 1. Valores medios mensuales de evaporación de tanque Clase A (mm/día).

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
3.8	3.9	3.9	3.6	3.4	3.3	3.9	4.0	3.8	3.6	3.4	3.5

Puesto que los tanques Clase A generalmente sobreestiman la evaporación potencial, los valores que aparecen en la Tabla 1 se redujeron multiplicándolos por 0.7 (como recomienda Torres y Yang, 1984). Una corrección adicional por altitud se hace para cada una de las subcuencas de acuerdo con la relación ajustada de los datos que aparecen en la Figura 8.

Aunque el patrón de variación media anual, de la evaporación de tanque Clase A, es similar en toda la región, la evapotranspiración varía entre años individuales. Como una prueba, se utilizaron los valores medios mensuales reales, medidos en Salvajina, como datos de entrada al modelo para la cuenca de Salvajina, en lugar de los valores de la Tabla 1. Sin embargo, puesto que los resultados obtenidos no fueron visiblemente mejores, se concluyó que los valores promedios eran suficientes para posteriores calibraciones.

4.3 Desbordamiento del río

Los desbordamientos del río, cuando se presentan niveles muy altos, fueron un problema especial en la calibración del modelo. En los períodos de desbordamiento, grandes áreas de la planicie del Alto Cauca se inundan y la dinámica de los caudales cambia drásticamente debido al almacenamiento en la planicie inundable. En el modelo, la descripción de este fenómeno se hizo simulando el tramo del río como una serie de lagunas con áreas variables cuyos caudales efluentes están controlados por las curvas de calibración. Por debajo de los niveles de desbordamiento, se da a las lagunas valores pequeños de área, que corresponden al área del río en la subcuenca; y para niveles altos, las áreas se incrementan rápidamente. En las subcuencas con lagunas de inundación, los caudales se transitan a través de lagos, y no se utiliza el tránsito por el método de Muskingum.

En el período de registros utilizado para calibración hay dos períodos con grandes desbordamientos: noviembre/diciembre de 1975 y octubre/noviembre de 1984. La mayor parte del área inundada en 1984 está localizada en las subcuencas número 15 (~ 100 km²) y número 19 (~ 50 km²), y una parte muy reducida, al sur de la planicie inundable. Debido a la construcción de diques marginales al río Cauca, el nivel de agua al cual comienzan los des-

bordamientos es superior en la actualidad al que se registró en el pasado. Se espera que la adecuación y construcción de diques continúe, y esto dificulta la adaptación del modelo para utilizarlo en pronóstico en el futuro.

El modelo se calibró con dos lagunas de inundación: una en la subcuenca 15 (Mediacanoa) y otra en la subcuenca 19 (La Victoria). Las inundaciones en la subcuenca 11 fueron despreciadas en la simulación por ser mucho menores. La base para la definición de las curvas nivel de agua-área de las lagunas de inundación fueron los niveles críticos para desbordamiento que se presentan en la actualidad y las áreas máximas inundadas en la creciente de 1984. Por debajo de los niveles críticos de desbordamiento actuales, se utiliza la curva de calibración real de la estación; para niveles superiores la relación nivel-caudal fué calibrada.

4.4 Pérdidas por Irrigación

En años recientes las pérdidas por riego de tierras agrícolas, en la zona plana del valle, han adquirido importancia. La mayor parte de agua utilizada en riego se toma de los pequeños ríos que entran al valle desde las montañas que lo circundan, aunque también se utiliza agua subterránea. El riego modifica el balance hidrológico especialmente por el incremento de la evapotranspiración durante períodos secos.

La influencia cuantitativa del riego no es muy bien conocida, por lo tanto fué necesario representarla en forma esquemática en el modelo. Para condiciones de caudales bajos, el caudal efluente de las subcuencas 7, 10, 12, 14, 16 y 18, adyacentes a la zona plana, se redujo en un 50% para representar las pérdidas por riego debidas al incremento en la evapotranspiración. Cuando los caudales efluentes exceden cierto límite, las pérdidas empiezan a reducirse linealmente hasta desaparecer cuando el caudal es igual a diez veces el límite. La reducción del caudal se hace en forma independiente para cada una de las subcuencas mencionadas, y el límite se definió en forma gruesa, proporcional al área de la zona plana que es regada con los ríos de la subcuenca. El límite para la reducción del 50% se fijó en 5 m³/s. para las subcuencas 12 y 16; en 10 m³/s. para la subcuenca 7; en 15 m³/s. para las subcuencas 10 y 18 y en 25 m³/s. para la subcuenca 14.

Aunque el método utilizado para considerar las pérdidas por irrigación no tiene soporte en observaciones directas, ha proporcionado resultados satisfactorios. En los períodos de caudales bajos, cuando las pérdidas por irrigación tienen mayor importancia, los caudales calculados del río Cauca, coinciden bastante bien con los hidrogramas observados.

4.5 Calibración

Se hicieron dos aplicaciones independientes del modelo: una para la cuenca del río Cauca aguas arriba de Salvajina, y otra para la cuenca aguas abajo de este punto hasta La Victoria. La aplicación para la cuenca de aguas arriba, denominada Salvajina, tiene seis cuencas numeradas de 1 a 6 en la Figura 7, y el propósito ha sido adaptar el pronóstico del caudal neto afluente al embalse de Salvajina. La aplicación para la cuenca de aguas abajo, denominada La Victoria, tiene trece subcuencas, numeradas del 7 al 19 en la Figura 7. El objetivo ha sido adaptar el modelo para pronóstico de caudales en las estaciones de Juanchito, Mediacanoa y La Victoria. En esta aplicación el modelo calcula los caudales de origen local aguas abajo de Salvajina. Para obtener el caudal total, el modelo adiciona y transita los caudales registrados como efluentes del embalse de Salvajina. No se utilizan los caudales simulados como afluentes al embalse debido a la regulación del mismo.

Para la calibración se utilizaron datos de caudal de cinco estaciones de control : Julumito, Salvajina, Juanchito, Mediacanoa y La Victoria. Estas estaciones están localizadas a las salidas de las subcuencas 2, 6, 11, 15 y 19 respectivamente (ver Figura 7). El único objetivo que se buscó al incluir a Julumito, fue verificar el comportamiento interno del modelo. A partir del 21 de enero de 1985, fecha en la que entró en operación el embalse de Salvajina, la calibración aguas arriba del mismo, se hace contra las entradas netas al embalse, las cuales se calculan a partir de los registros de caudal efluente del embalse (Salvajina-efluente) y el cambio del nivel de agua en el mismo. El caudal afluente neto, calculado de esta forma, es muy incierto debido a las fluctuaciones del nivel del agua causadas por el viento, a errores en la lectura, etc. Por esto se implementó en el modelo una opción para calibrarlo contra los caudales naturales en Salvajina. Estos

caudales (La Mina) se calculan por correlación con la estación de registro de Pan de Azúcar que está localizada aguas arriba del embalse.

Para algunos tributarios al río Cauca, que poseen estaciones de registro, se realizaron calibraciones separadas. Esto con el propósito de recoger información sobre cómo establecer los valores iniciales de los parámetros para las diferentes regiones, de acuerdo con la vegetación, la altura, etc.

Para utilizar la totalidad de la información hidrográfica disponible, el comportamiento interno del modelo, para la totalidad de la cuenca del río Cauca, fué verificado con datos de las estaciones limnimétricas de algunos de los principales tributarios. Los caudales calculados a la salida de cinco de las subcuencas fueron comparados con los de los tributarios cuyas cuencas corresponden en forma más precisa a la subcuenca en consideración, teniendo en cuenta localización, tamaño, precipitación y características de la cuenca. En esta forma se hicieron las siguientes comparaciones:

Tabla 2. Puntos de verificación interna para el modelo HBV de la cuenca del Alto Cauca.

SUBCUENCA	ESTACION LIMNIMETRICA
7	Timba-Timba
8	Ovejas-Abajo
10	Palo-Puerto Tejada
14	Guachal-Palmaseca
18	Tuluá-Mateguadua

Los caudales de los tributarios fueron multiplicados por un factor que relaciona el área de la cuenca del tributario con el área de la subcuenca utilizada en el modelo para hacer comparables los valores de los caudales. Las subcuencas no se calibraron con respecto a los tributarios sino que se buscó ajuste relativo considerando la dinámica y el volumen, teniendo en cuenta que las cuencas que se están comparando representan al menos, parcialmente áreas diferentes. Con el modelo así definido, la información de

los principales tributarios puede ser utilizada en situaciones en que se requiera pronóstico, con facilidades para la actualización. Esto es particularmente importante con relación al río Palo, el cual contribuye en forma significativa al caudal registrado en Juanchito, especialmente en crecientes.

4.6 Resultados de la calibración

La calibración se realizó de acuerdo con los tres criterios principales de ajuste del modelo, que se describen en el Capítulo 2.2. Para la calibración se utilizó un período de doce años entre 1975 y 1986. Posteriormente se adicionó un año, 1987, pero por ser este un año muy seco, no proporcionó información adicional sobre el comportamiento del modelo. La calibración de las aplicaciones del modelo tanto para Salvajina como para La Victoria se inició con datos de entrada tomados de todas las estaciones de precipitación disponibles. Los valores de los parámetros que se determinaron finalmente aparecen en el listado del Apéndice No. 1. La versión para pronóstico basada en un número reducido de estaciones de precipitación cuya información se puede recibir en tiempo casi real, se adaptó posteriormente mediante unas pocas corridas en las cuales se ajustaron únicamente los parámetros generales de corrección de precipitación (PCORR) y los pesos ponderados de las estaciones (CP). En la Tabla 3 aparecen los valores de la varianza explicada en los cuatro puntos de interés para pronóstico.

Tabla 3. Valor de la varianza explicada (R^2) para la aplicación del modelo basado en los datos de precipitación de todas las estaciones disponibles y para la utilización en pronóstico basado en datos de 29 estaciones seleccionadas.

CUENCA	Area Km2	VALORES DE R^2 PARA EL PERIODO DE CALIBRACION 1975 - 1986	
		Versión completa del modelo	Versión del modelo para pronóstico
Salvajina	3652	0.78	0.69
Juanchito	8584	0.92	0.92
Mediacanoa	12186	0.91	0.92
La Victoria	16284	0.93	0.93

En las Figuras 9, 10, 11 y 12 se presentan ejemplos de los resultados de las corridas. Se escogió el año 1984 para los ejemplos por ser un año lluvioso al final del cual se registraron desbordamientos del río Cauca.

Las curvas de duración de caudales calculados y registrados, para el período de calibración 1975-1986, se presenta en el Apéndice 2. Para su elaboración se utilizaron los resultados de la versión del modelo que incluye todas las estaciones de precipitación disponibles.

La gran dificultad encontrada en la simulación de los caudales en Salvajina (Figuras 9a. y 9b), estriba principalmente en la variabilidad espacial de la precipitación. Fué especialmente difícil simular los picos originados por precipitaciones que siguen el patrón de los Llanos (ver Capítulo 3.2) y se presentan en las partes más altas de la Cordillera Central. En la aplicación del modelo basada en todas las estaciones de precipitación disponibles, se consideraron 11 pluviómetros en la cuenca de Salvajina, de los cuales 2 tienen el patrón de los Llanos.

En la versión utilizada para pronóstico de Salvajina fué necesario utilizar una estación localizada lejos de los límites de la cuenca para simular la región con el patrón de precipitación de los Llanos. La precipitación en la Cordillera Occidental también tiene una representación muy pobre pues no hay estaciones en esta parte de la cuenca de Salvajina cuya información se pueda obtener en tiempo casi real. La causa de los bajos valores de R^2 para la versión de pronóstico es la inexistencia y gran dispersión de la red de precipitación utilizable, ver Tabla 1.

Los valores de R^2 para Juanchito, Mediacanoa y La Victoria son mayores que para Salvajina. Esto se debe principalmente al hecho de que las lluvias locales tienen menos influencia debido a que las áreas de la cuenca son mayores y a que los caudales efluentes de Salvajina se transitan aguas abajo del embalse. Para el período de calibración 1975-1986, se obtuvo con la versión para pronóstico, prácticamente los mismos valores de R^2 que con la versión basada en todas las estaciones de precipitación disponibles, (ver Tabla 1). Esto es algo sorprendente puesto que en la versión para pronóstico

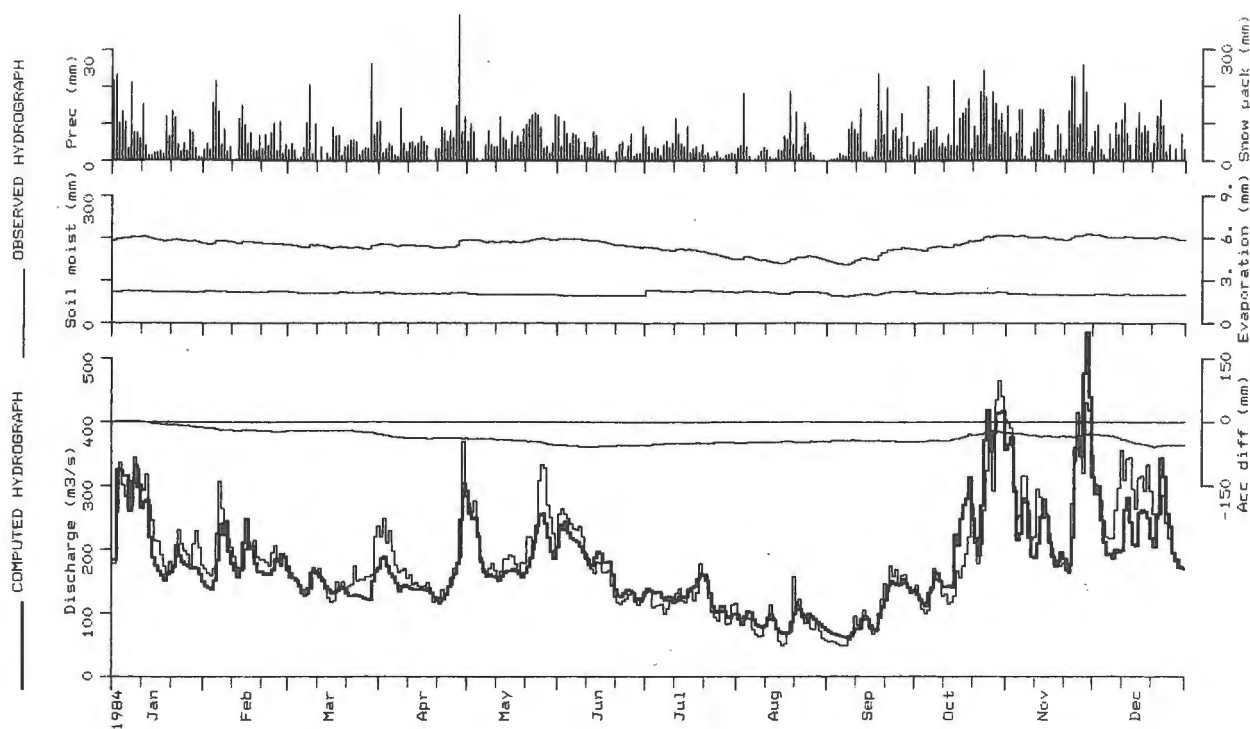


Figura 9.a. Resultados del modelo para Salvajina en 1984, utilizando los datos de precipitación de todas las estaciones disponibles.

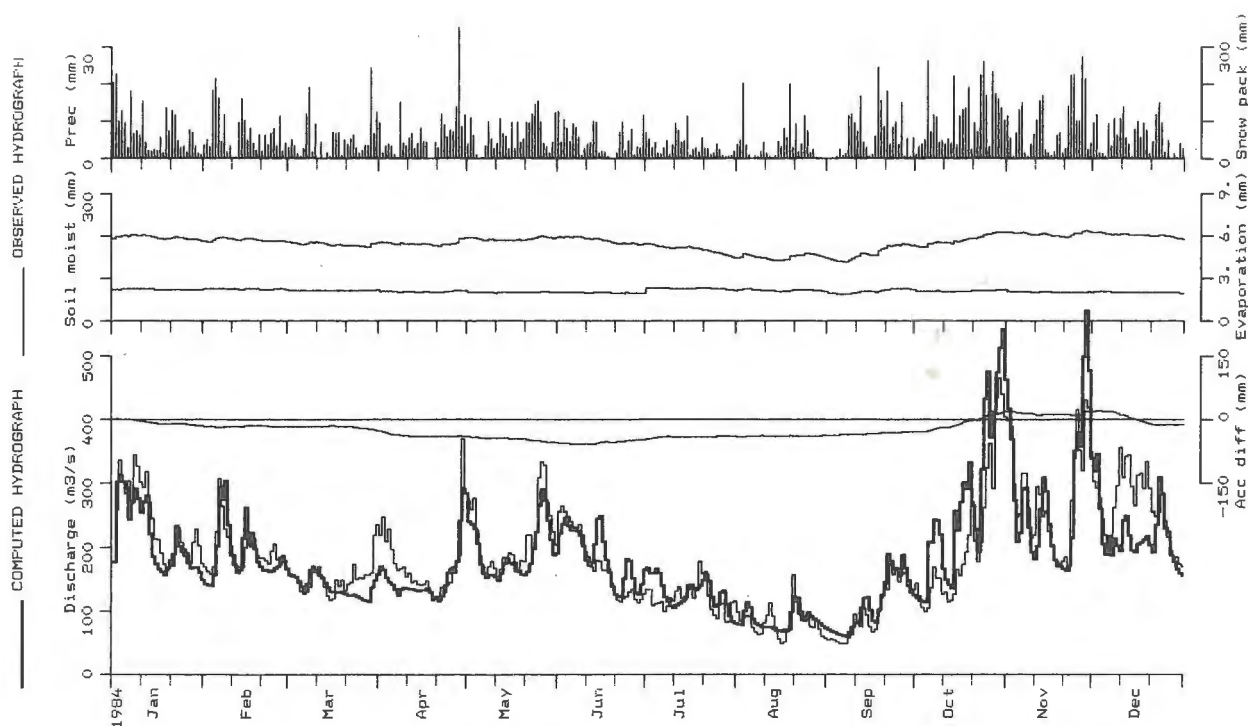


Figura 9.b. Resultados del modelo para Salvajina en 1984, utilizando los datos de precipitación que se pueden obtener para pronóstico.

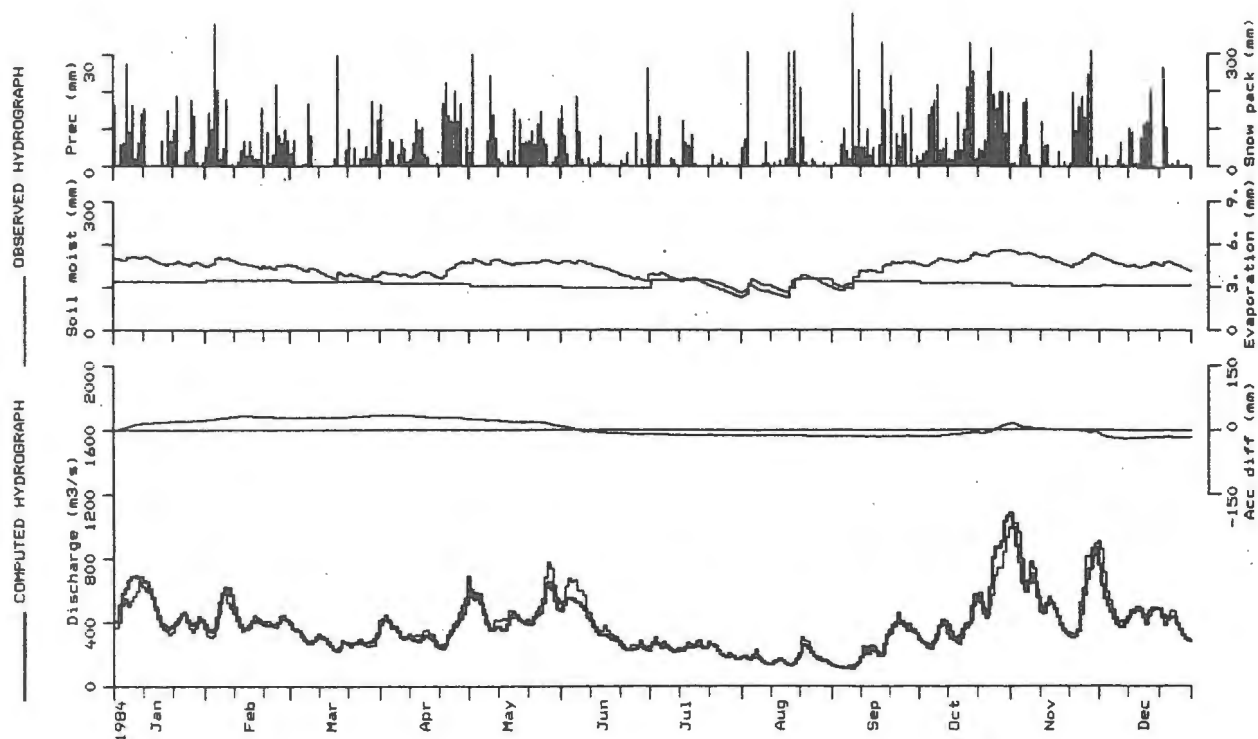


Figura 10.a. Resultados del modelo para Juanchito en 1984, utilizando datos de precipitación de todas las estaciones disponibles.

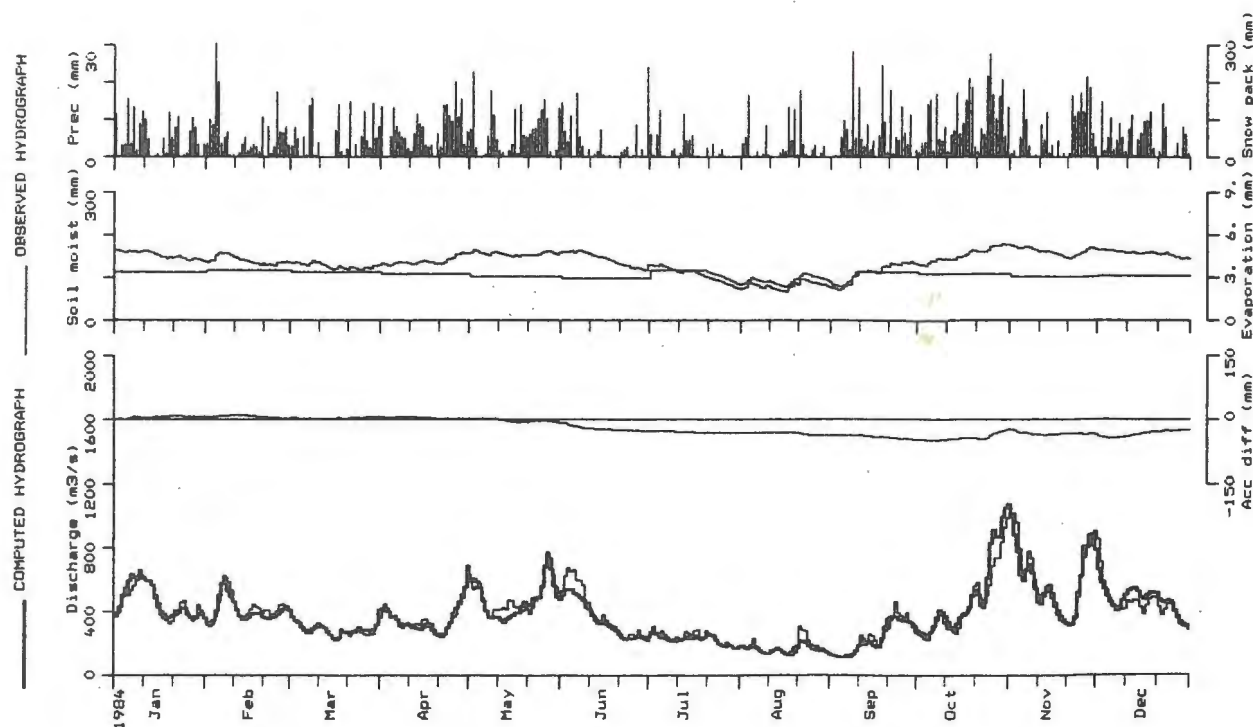


Figura 10.b. Resultados del modelo para Juanchito en 1984, utilizando datos de precipitación que se pueden conseguir para pronóstico.

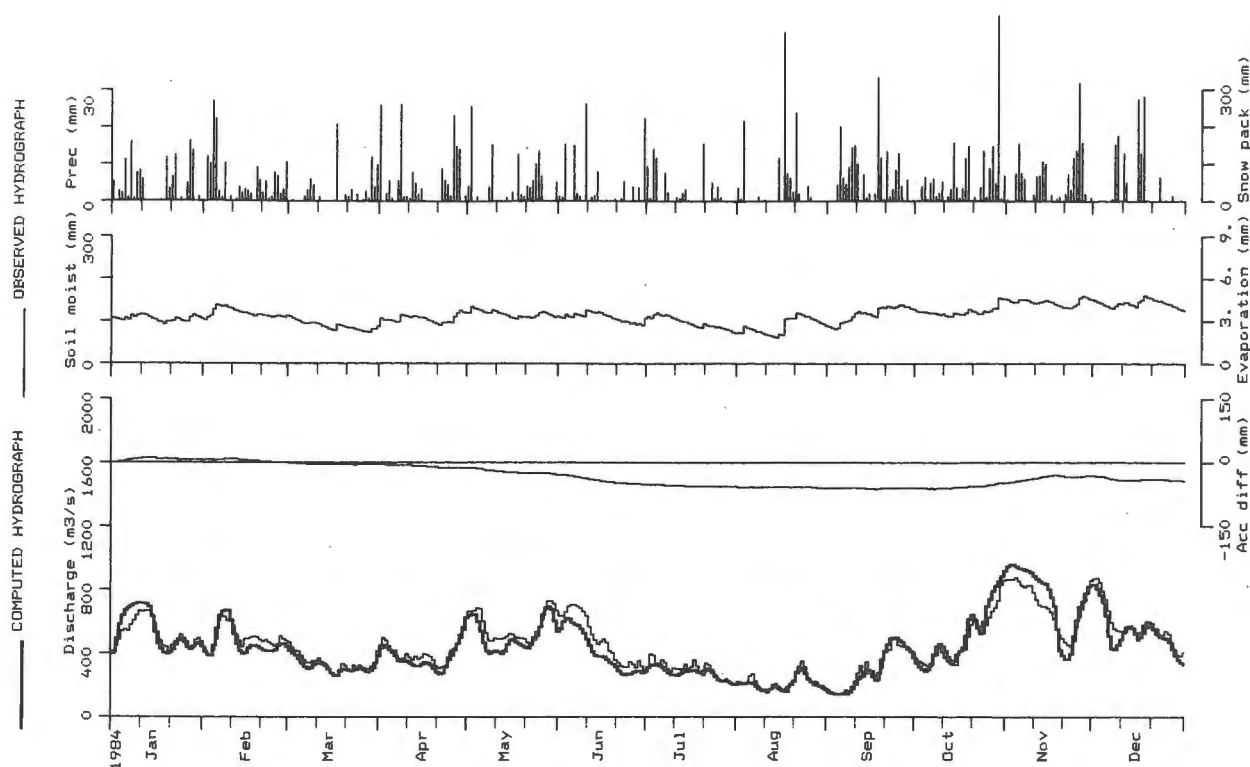


Figura 11.a. Resultados del modelo para Mediacanoa en 1984, utilizando datos de precipitación de todas las estaciones disponibles.

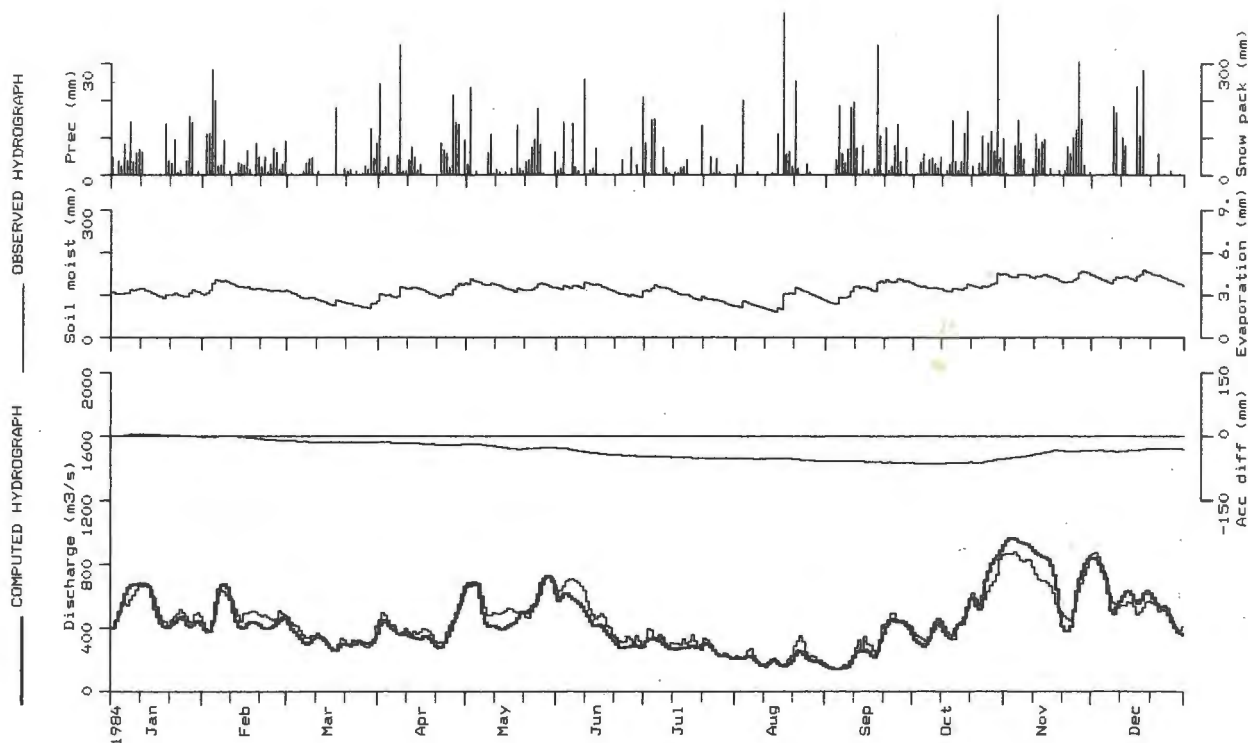


Figura 11.b. Resultados del modelo para Mediacanoa en 1984, utilizando datos de precipitación que se pueden conseguir para pronóstico.

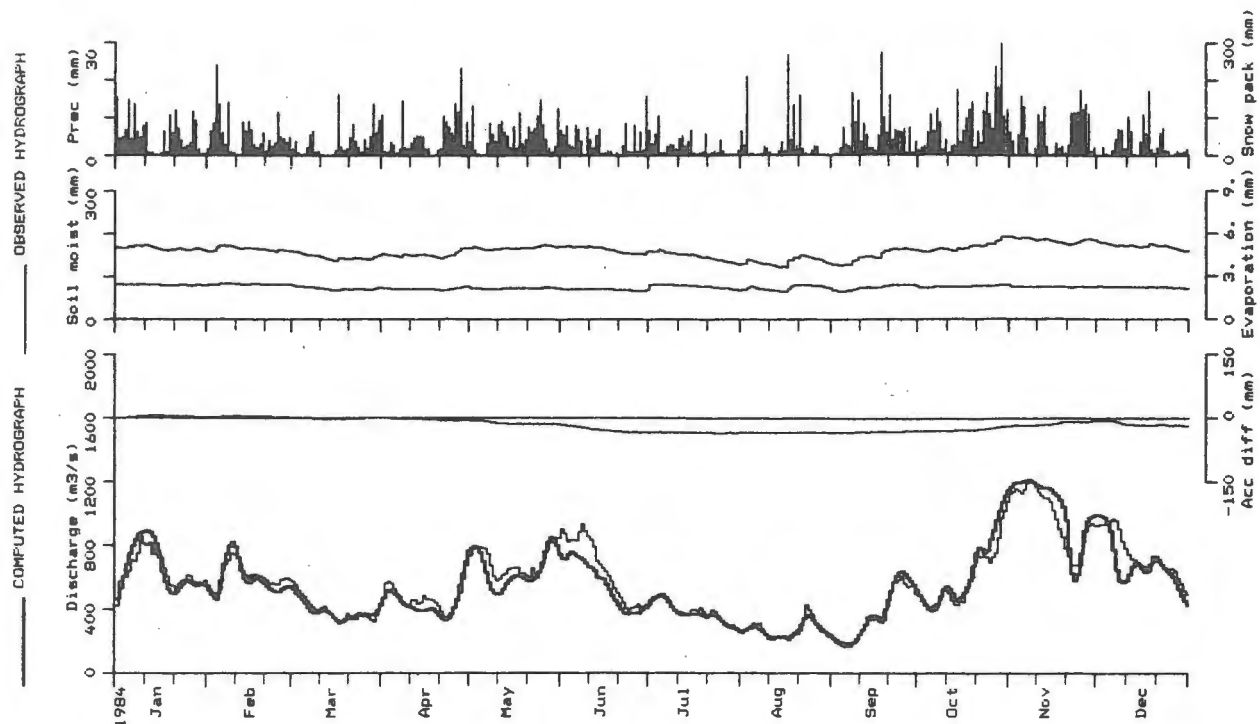


Figura 12.a. Resultados del modelo para La Victoria en 1984, utilizando datos de precipitación de todas las estaciones disponibles.

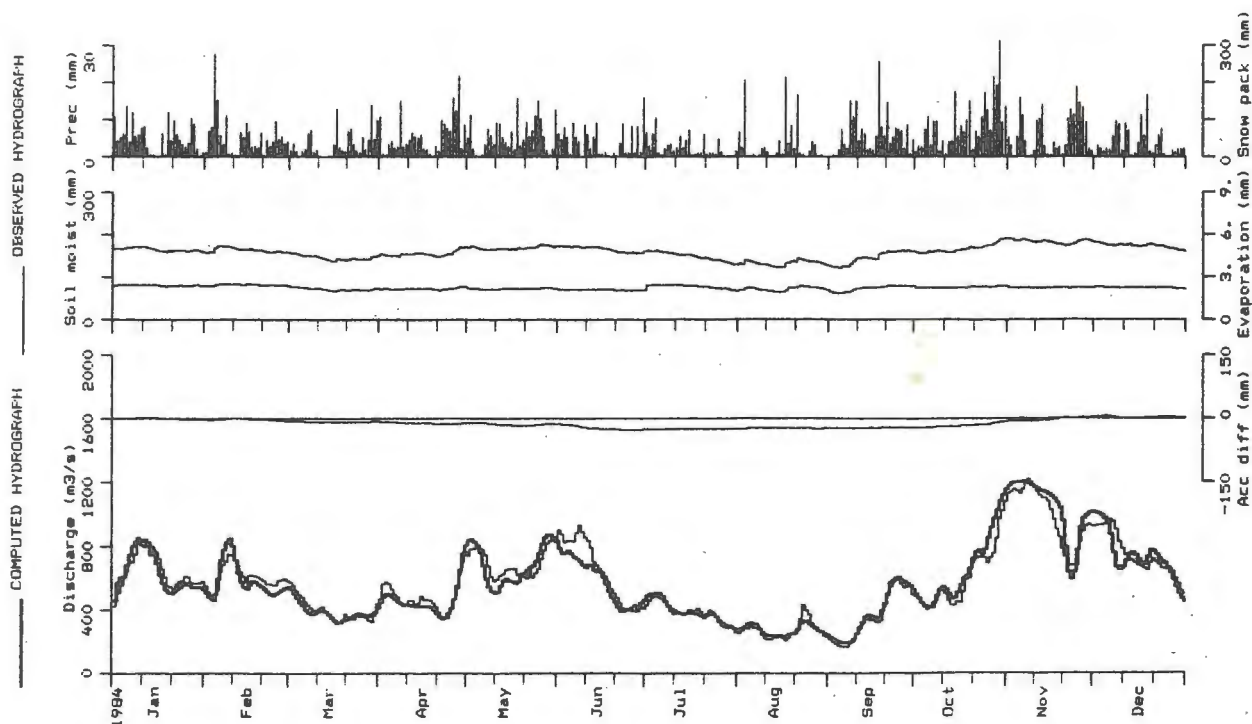


Figura 12.b. Resultados del modelo para La Victoria en 1984, utilizando datos de precipitación que se pueden conseguir para pronóstico.

sólo se pudieron utilizar muy pocas estaciones en la Cordillera Occidental. Sin embargo cuando el modelo fué utilizado para simulación de caudales durante 1987, la versión para pronóstico tuvo valores de R^2 menores.

La mayor dificultad se encontró en la simulación de los desbordamientos del río Cauca. Sin embargo, aguas arriba de Juanchito los desbordamientos no se tuvieron en cuenta por ser menos extensivos que en las zonas aguas abajo de este punto. Su manifestación visible es una pequeña sobreestimación en la rama ascendente y en el caudal pico de la creciente de octubre-noviembre de 1984 en Juanchito (Figuras 10a. y 10b.). Para lograr un ajuste relativamente bueno en la simulación de Mediacanoa (Figuras 11a. y 11b.) y de La Victoria (Figuras 12a. y 12b.) se utilizaron lagunas de inundación.

El efecto de diques marginales artificiales suficientemente altos para evitar el desbordamiento del río, se ilustra corriendo el modelo sin las lagunas de inundación en Mediacanoa y La Victoria. El resultado de esta simulación para 1984 aparece en las Figuras 13 y 14. Al comparar estas figuras con las 11a. y 12a. correspondientes a las simulaciones de condiciones reales puede observarse que los desbordamientos reducen en forma efectiva los caudales pico.

La regulación del embalse de Salvajina busca reducir los caudales máximos de crecientes e incrementar los caudales en los períodos de estiaje. El efecto de la regulación puede ser ilustrado alimentando el modelo con los caudales naturales calculados en Salvajina en lugar de los caudales efluentes del embalse. Como ejemplo, en la Figura 15 se muestra la simulación de caudales reales de Juanchito para 1987 y en la Figura 16 la misma simulación utilizando los caudales naturales de Salvajina.

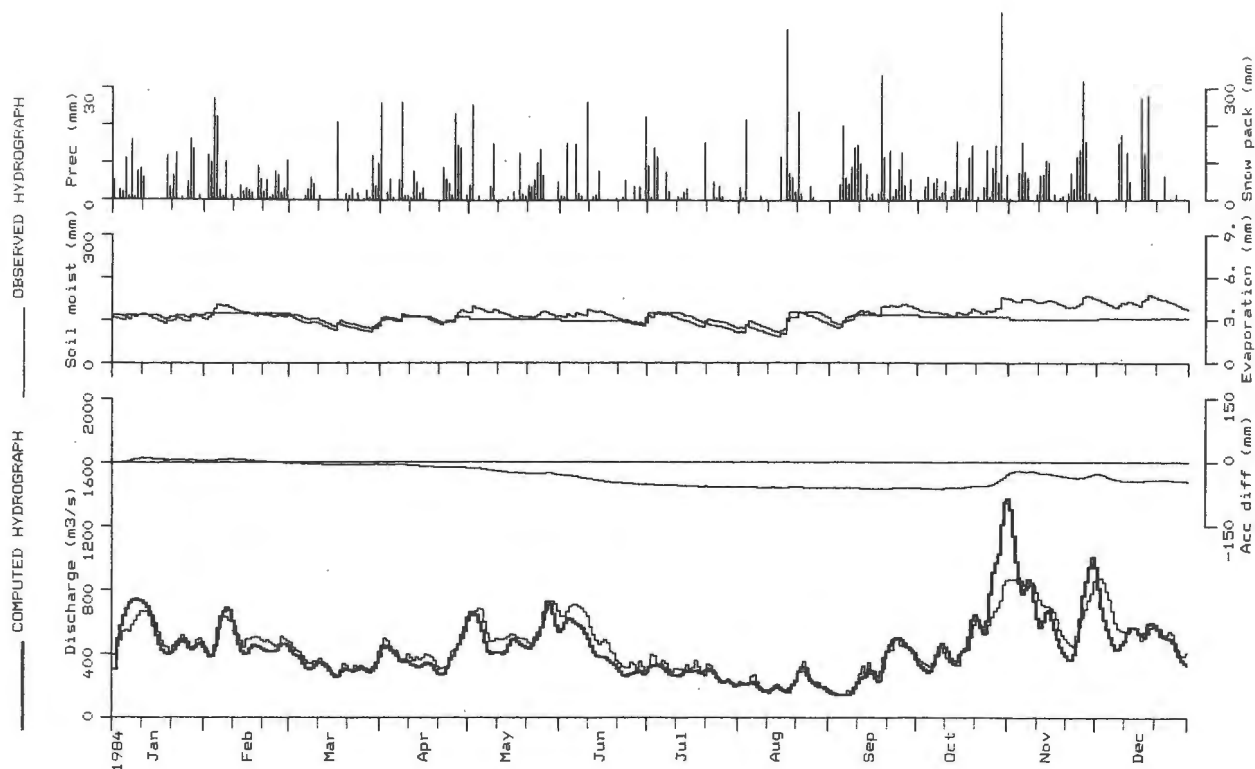


Figura 13. Resultados del modelo para Mediacanoa en 1984 simulando caudales no deformados (sin desbordamientos).

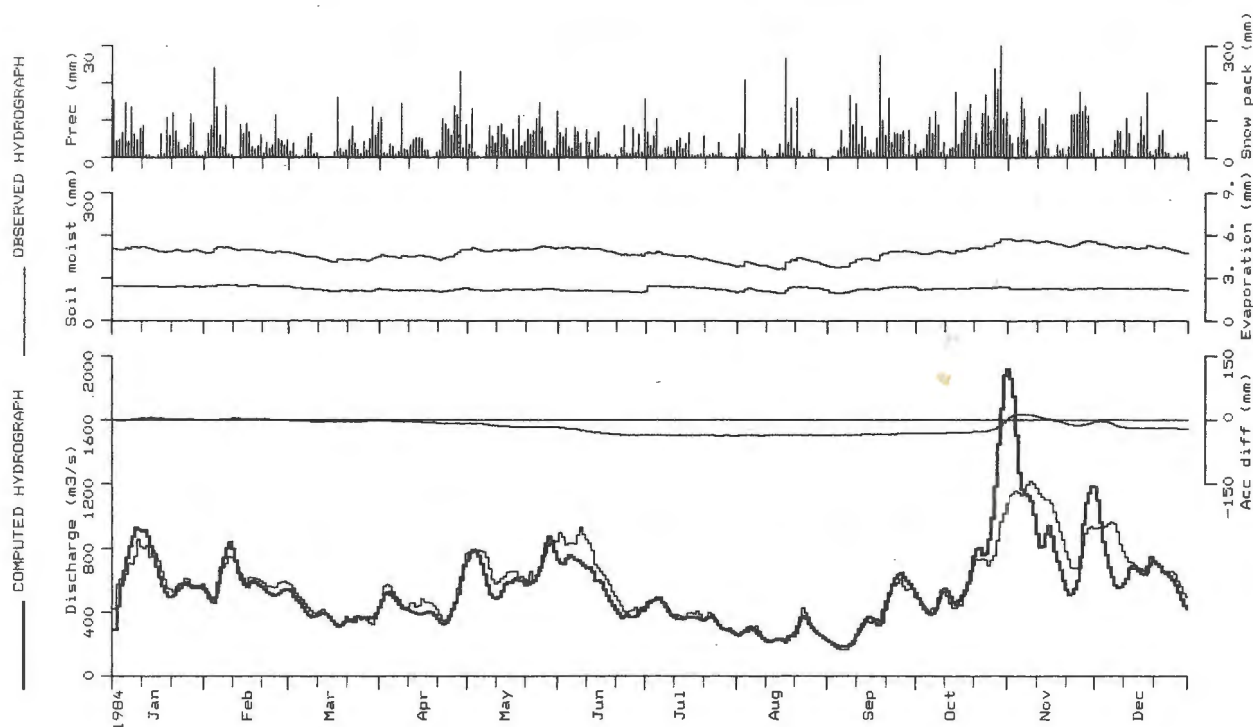


Figura 14. Resultados del modelo para La Victoria en 1984 simulando caudales no deformados (sin desbordamientos).

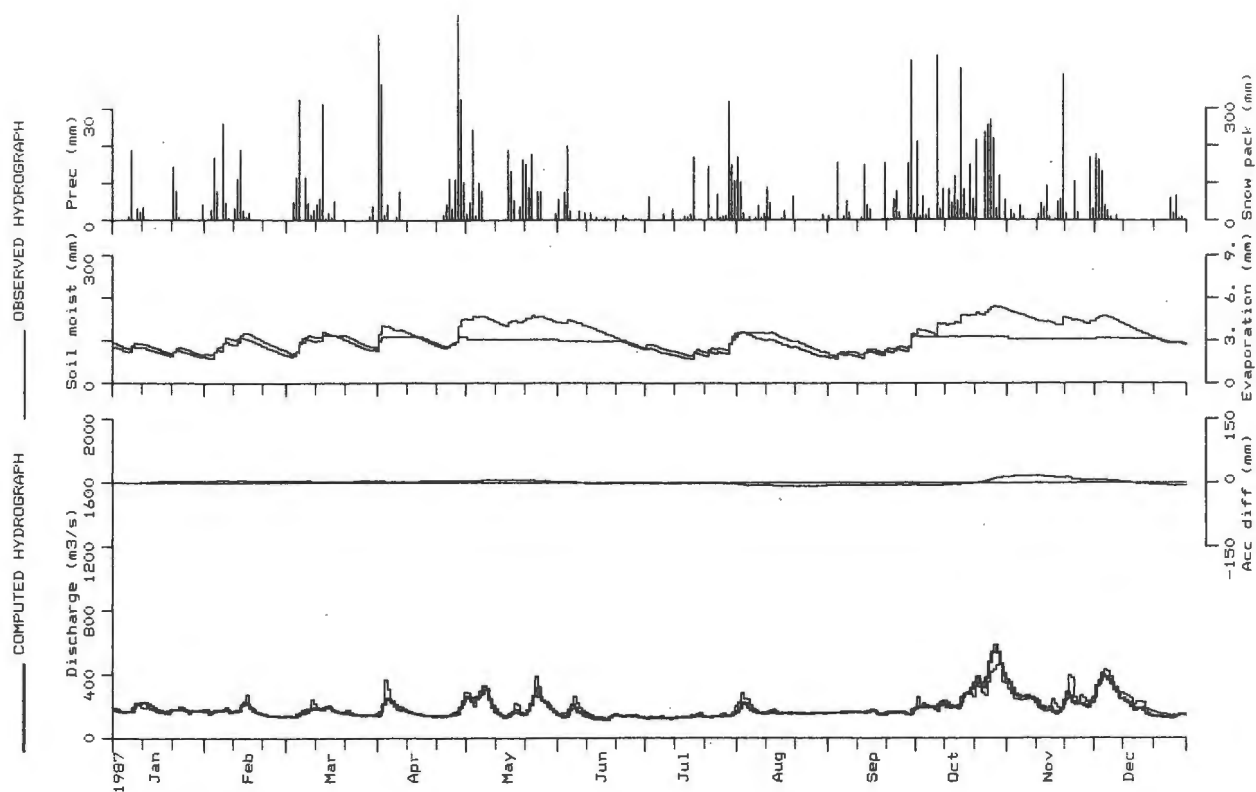


Figura 15. Resultados del modelo para Juanchito en 1987.

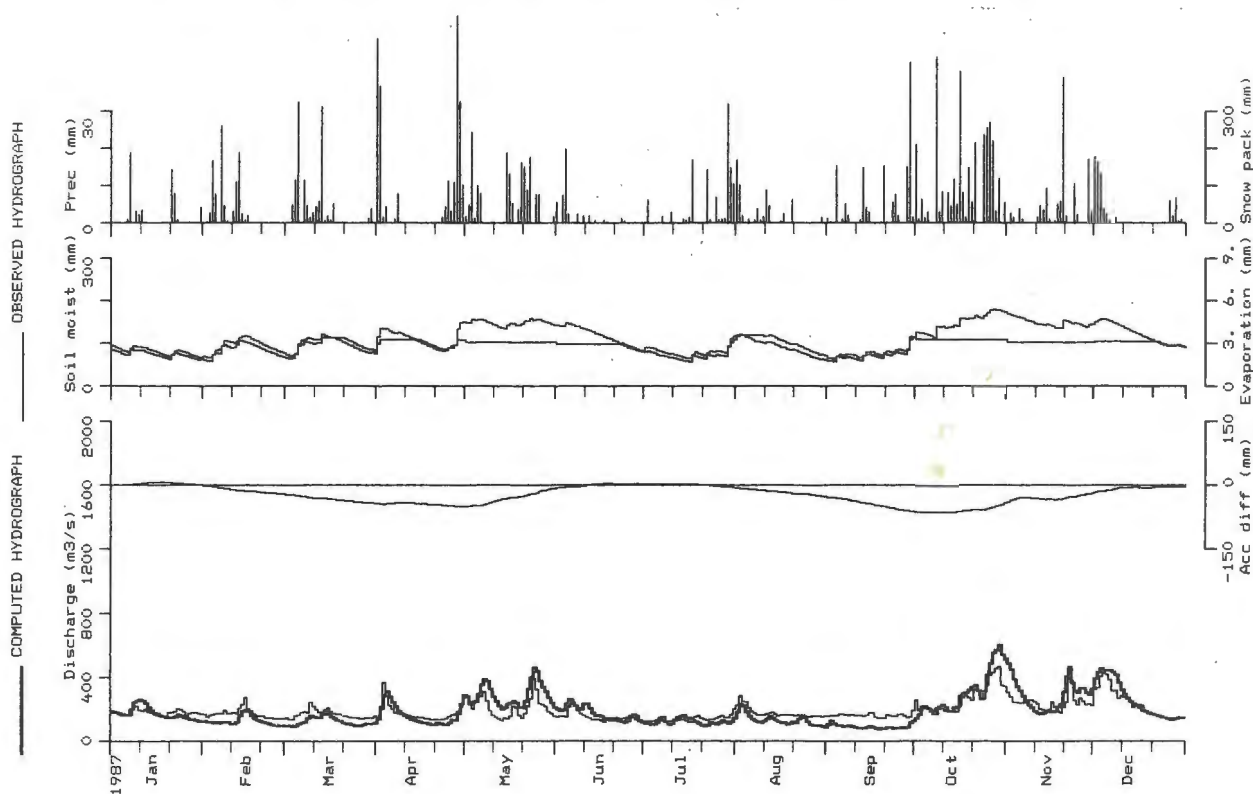


Figura 16. Resultados del modelo para Juanchito en 1987, cuando se dan al modelo los caudales naturales calculados para Salvajina en lugar de los caudales afluentes del embalse.

4.7 Pronóstico

Cuando se terminó el trabajo de calibración en marzo de 1988, se probó el procedimiento para hacer pronóstico en tiempo real. Se hicieron pronósticos a corto y a largo plazo. Los datos de precipitación, que entran al modelo, correspondientes a los días inmediatamente anteriores al día que se hace el pronóstico se recogieron vía teléfono o radio. El proceso de recolección de la información operó relativamente bien sobre todo si se tiene en cuenta que los observadores de las estaciones de precipitación no están familiarizadas con los procedimientos.

Como un ejemplo, en el Apéndice 3, se muestra el pronóstico hecho para Juanchito el 8 de marzo de 1988. Para ello, se corrió la versión del modelo para pronóstico con datos reales entre el 1º de enero y el 7 de marzo. No fué necesario hacer actualizaciones pues los caudales simulados coincidían bastante bien con los observados.

Se hizo pronóstico a corto plazo para 5 días Figura A 3.1, alimentando el modelo con los caudales regulados efluentes de Salvajina, de acuerdo con la programación del embalse. Se utilizaron tres secuencias alternativas de precipitación:

1. Pronóstico de precipitación de acuerdo con el pronóstico global del Centro Europeo para Pronóstico del Clima a Mediana Escala (ECMWF) en Reading, Reino Unido. Este pronóstico para 5 días fué 0, 0, 0, 0, y 26 mm.
2. Diez milímetros de precipitación para cada día.
3. Veinte milímetros de precipitación para cada día.

Con la secuencia de precipitación proporcionada por el ECMWF se obtuvieron en el pronóstico los más bajos valores de caudal, ver Figura A 3.1. Posteriormente se comprobó que la suma de las precipitaciones del pronóstico para 5 días fué demasiado baja y que la mayoría de la lluvia se presentó durante los dos primeros días, mientras que el resto del período fué prácticamente seco. Las secuencias de precipitación con 10 y 20 mm. diarios

se utilizaron para ilustrar el efecto del comienzo de un período más lluvioso. Con 10 mm. diarios el modelo da un incremento moderado en los caudales, pero con 20 mm. diarios los caudales aumentan rápidamente.

Para el período entre el 8 de marzo y el 31 de mayo se hizo un pronóstico a largo plazo. Como datos de entrada se utilizaron los datos de precipitación correspondientes a las mismas fechas del período 1975-1987. En la Figura A. 3.2 aparecen los resultados de las trece simulaciones y las tablas con los valores de los caudales máximos de cada una de ellas. En la Figura A 3.3. se presentan los pronósticos de volumen acumulado.

El pronóstico de volumen es de especial interés para la regulación en el embalse de Salvajina. Aguas abajo de este sitio es más importante conocer la distribución de los caudales picos que el pronóstico de volumen. Del Apéndice 3 puede deducirse que para Juanchito, en el período de marzo 8 a mayo 31 de 1988, la probabilidad de que se presenten caudales superiores a 500 y 600 m³/seg. se pronosticó aproximadamente como 40% y 10% respectivamente. También parece más probable que el pico se presente en mayo que en marzo o abril.

Si cuando se va a hacer un pronóstico, se tiene una diferencia considerable entre los caudales observados y los simulados, es recomendable hacer una actualización del modelo. La definición del modelo para la cuenca del Alto Cauca, con una serie de puntos internos de control en algunos de los principales tributarios y en Juanchito y Mediacanoa, simplifica el procedimiento de actualización. En esta forma es posible detectar la localización geográfica de un error y hacer la corrección adecuada. Este tipo de actualización implicará un ajuste del estado del modelo en la subcuenca de interés en lugar de una modificación de los datos de entrada. Este último procedimiento es el que se utiliza más frecuentemente para actualizar el modelo HBV, pero tiene, en este caso, el gran inconveniente de afectar la totalidad de la cuenca, en lugar de afectar sólo las subcuencas en las cuales se origina el error. La actualización del "estado" del modelo implica principalmente ajustes en los almacenamientos en la zona de humedad del suelo y en las zonas superior e inferior, en los días anteriores a la fecha de pronóstico.

El reducido número de pronósticos realizados hasta la fecha de imprimir este informe, hace difícil evaluar la capacidad del modelo HBV para predecir caudales en la cuenca del Alto Cauca. El hecho de que los caudales observados sean reproducidos bastante bien por el modelo indica que los pronósticos deberían ser útiles. Sin embargo, la precisión del pronóstico hidrológico depende muy estrechamente de la exactitud del pronóstico de precipitación y el pronóstico cuantitativo de precipitación no es confiable. Posteriormente, podrá probarse el pronóstico realizado por el ECMWF, como entrada al modelo HBV para la cuenca del Alto Cauca.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA FUTUROS TRABAJOS.

La aplicación del modelo HBV a la cuenca del Alto Cauca, muestra que el modelo explica gran parte de la varianza de la esorrentía observada. La varianza explicada para el período de calibración, es alrededor del 80% para el caudal afluente al embalse de Salvajina y es superior al 90% en los tres puntos de interés aguas abajo de Salvajina: Juanchito, Mediacanoa y La Victoria. Los errores en volumen son pequeños y la coincidencia entre los picos simulados y los observados es buena. El modelo debería, por lo tanto, ser una valiosa herramienta para el pronóstico de caudales en el Alto Río Cauca.

El modelo también puede utilizarse para simular los caudales del río Cauca, no regulados, o sea sin considerar el efecto del embalse de Salvajina. En el futuro se podrá utilizar también para investigar el efecto de la construcción de los diques marginales.

Los resultados fueron alentadores, cuando el número de estaciones de precipitación en la cuenca se redujo de 42 a 29. La reducción tuvo un efecto despreciable en el comportamiento del modelo aguas abajo de Salvajina, y esto indica que en el futuro será posible reducir el número de estaciones necesarias para el pronóstico. La eliminación sistemática de estaciones permitirá identificar estaciones "claves", para las cuales la transmisión confiable de datos es más importante. Sin embargo, en algunas partes de la cuenca, se requiere disponer de más estaciones de precipitación que transmitan su información en situaciones de pronóstico.

El clima de la cuenca del Alto Cauca, está influido en alguna forma por las oscilaciones atmosféricas en el Pacífico Sur, las cuales dan origen a la presencia de la corriente oceánica cálida denominada "El Niño", a lo largo de la Costa Peruana. Cuando las oscilaciones atmosféricas son favorables al fenómeno de "El Niño", los caudales del río Cauca son bajos y viceversa (Riehl, 1984). Esta información puede ser utilizada para mejorar los pronósticos a largo plazo. Por ejemplo, los años que presentan situaciones de la oscilación muy diferentes a las del año de interés pueden excluirse del análisis estadístico.

Estudiando los efectos que produce un cambio en el uso de la tierra en una pequeña cuenca de referencia, se puede adquirir experiencia sobre cómo se deberían modificar los parámetros del modelo para representar antiguas y nuevas condiciones. Ejemplos claros de cambios en el uso de la tierra son los procesos de deforestación y reforestación.

Gracias a su estructura conceptual, es posible utilizar el modelo HBV en la simulación de recarga de acuíferos y niveles de aguas subterráneas (Bergström y Sandberg, 1983). Por lo tanto, el modelo puede utilizarse como una referencia para distinguir las variaciones en el almacenamiento de agua subterránea al corto plazo, causadas por las fluctuaciones climáticas, de las variaciones a largo plazo, debidas por ejemplo a la irrigación.

La rutina de humedad del suelo en el modelo HBV realiza los cálculos de balance de agua. Un desarrollo posterior y una verificación con medidas de humedad en el suelo fué realizado por Andersson (1988). Como el modelo da una estimación diaria del déficit de humedad del suelo, podrá ser utilizado para establecer las necesidades de agua para riego.

REFERENCIAS

- Anderson, L. (1988)
Hydrological analysis of basin behaviour from soil moisture data.
Nordic Hydrology, Vol. 19, No. 1
- Bergström, S. (1976)
Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments.
SMHI Report No. RHO 7, Norrköping 1976
- Bergström, S., and Sandberg, G. (1983)
Simulation of groundwater response by conceptual models.
Nordic Hydrology, Vol. 14, No. 2
- Boughton, W. C. (1966)
A mathematical model for relating runoff to rainfall with daily data.
Trans. Inst. Engrs., 7:83, Australia.
- CVC (1975)
Cauca River Regulation Project - Technical Report
CVC, Cali
- Dawdy, D.R., and O'Donnell, T. (1965)
Mathematical models of catchment behaviour.
Proc. ASCE, Journal of Hydraulics Division, HY 4, 91:123
- González, D. (1984)
Distribución mensual y anual de la precipitación en las cuencas hidrográficas de Alto Cauca, Anchicayá, Dagua y Calima.
Informe CVC No. 85-2, CVC, Cali
- Hydrocomp Inc. (1969)
Operation manual, 2nd. ed.
Palo Alto, Hydrocomp
- Johansson, B., Persson, M., Aranibar, E., and Llobet, R. (1987)
Application of the HBV model to Bolivian basins.
SMHI Hydrology, No. 10, Norrköping
- Johansson, B., Persson, M., Sandberg, G., and Robles, E. (1985)
Aplicación del modelo HBV a la Cuenca del Lago de Arenal en Costa Rica.
SMHI, HO 28, Norrköping
- Linsley, R.K., and Crawford, N.H. (1960)
Computation of a synthetic streamflow record on a digital computer.
IAASH Pub. No. 51, 526 - 538
- Nielsen, S. A., and Hansen, E. (1973)
Numerical simulation of the rainfall runoff process on a daily basis.
Nordic Hydrology 4, 171 - 190

NOAA (1972)

National weather service forecast system - Forecast procedures
Technical Memorandum NWS Hydro-14, December 1972, Washington,
Silver Spring, Maryland

Quick, M.C., and Pipes, A. (1972)

Daily and seasonal runoff forecasting with a water budget model.
International Symposia on the Role of Snow and Ice in Hydrology:
Measurement and Forecasting, September 1972, Banff, Alberta, UNESCO/WMO

Reese, W.E., and Goosen, D. (1957)

Reconnaissance soils survey of the flat part of the Cauca Valley.
CVC, Cali

Riehl, H. (1984)

Synoptic wather systems of equatorial Colombia and floods on the upper
Cauca River.
CVC, Cali

Rockwood, D.M. (1958)

Application of streamflow synthesis and reservoir regulation - SSARR -
Program to Lower Mekong River.
Pub. No. 80, FASIT Symposium, Tucson, Arizona, December 1958

Schwerdtfeger, W. (1976)

Climates of Central and South America
World Survey of Climatology, Vol. 12, Elsevier Scientific Company,
Amsterdam

Sugawara, M. (1961)

On the analysis of runoff structure about several Japanese rivers.
Jpn. J. Geophysics, 2

Torres, J.S., and Yang, S.J. (1984)

El balance hídrico y la programación de los Riesgos de la Caña de Azúcar
en el Valle del Cauca.
ISSN 0120-5846 Serie Técnica No. 3, Cenicaña, Cali

APPENDIX 1

PARAMETERFILE

Nr	Name	Valid from														
1	AREA	1975 1 1	450.00	274.00	400.00	350.00	1150.00	1028.00								
2	ELEV	1975 1 1	3500.00	2500.00	2200.00	3500.00	2000.00	1600.00								
3	VEG	1975 1 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00								
4	LAKE	1975 1 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
5	PELEV	1975 1 1	3420.00	2300.00	1700.00	1300.00	2540.00	1840.00	1200.00	1160.00	2320.00	1470.00	2900.00	1730.00		
			1646.00	3690.00	2430.00											
7	QFACT	1975 1 1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00									
10	CR	1975 1 1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
11	EVAP	1975 1 1	3.80	3.90	3.80	3.60	3.40	3.30	3.90	4.00	3.80	3.60	3.40	3.50		
13	REPL	1975 1 1	11.00	12.00	4.00	3.00	2.00	5.00	8.00	7.00	1.00	0.00	1.00	2.00		
			15.00	1.00	4.00											
16	SUBRR	1975 1 1	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
19	FELEV	1975 1 1	0.00													
20	PCORR	1975 1 1	0.75000	0.90000	1.00000	0.80000	0.90000	0.95000								
21	PCALT	1975 1 1	0.00000													
27	FC	1975 1 1	50.00000	200.00000	300.00000	50.00000	300.00000	300.00000								
28	LP	1975 1 1	50.00000	150.00000	200.00000	50.00000	200.00000	200.00000								
29	BETA	1975 1 1	1.00000	1.50000	2.00000	1.00000	2.00000	2.00000								
36	PERC	1975 1 1	1.50000	4.00000	4.00000	1.50000	4.00000	4.00000								
37	UZL	1975 1 1	5.00000	30.00000	30.00000	5.00000	30.00000	30.00000								
38	K0	1975 1 1	0.60000	0.40000	0.40000	0.60000	0.40000	0.40000								
39	K1	1975 1 1	0.10000	0.07000	0.07000	0.10000	0.07000	0.07000								
40	K2	1975 1 1	0.03500	0.03500	0.03500	0.03500	0.03500	0.03500								
41	DAMP	1975 1 1	0.00000	0.20000	0.00000	0.20000	0.00000	0.00000								
43	CEVP	1975 1 1	0.50000	0.55000	0.60000	0.50000	0.65000	0.70000								
46	MAXBAS	1975 1 1	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000								
47	BLAG	1975 1 1	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.00000								
49	PATH	1975 1 1	2.00000	6.00000	6.00000	5.00000	6.00000	0.00000								
3	VEG	1985 1 21	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95								
4	LAKE	1985 1 21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05								
7	QFACT	1985 1 21	1.00	1.00	1.00	1.00	-5.00									
10	CR	1985 1 21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	-1.00				

Total weights corrected by multiplication with PCORR

Nr	Name	Subcatchment nr:						Total (%)
		1	2	3	4	5	6	
1	Laguna San Rafael	0.40	0.25	0	0.40	0	0	9.42
2	Cocenuco	0.20	0.30	0	0.10	0.15	0	9.91
3	El Tambo	0	0	0.20	0	0.10	0.30	14.55
4	Dinde	0	0	0.50	0	0	0.10	9.09
5	Silvia	0	0	0	0.15	0.20	0	7.60
6	Piendano	0	0	0	0	0.30	0.10	12.46
7	Pan de Azucar	0	0	0.10	0	0	0.30	10.17
8	Salvajina	0	0	0.20	0	0	0.20	8.40
9	Jambalo	0	0	0	0	0	0	0
10	Mondomo	0	0	0	0	0	0	0
11	Paletara	0.40	0.25	0	0	0	0	6.00
12	Aeropuerto Machangara	0	0.20	0	0	0.25	0	9.40
13	El Topacio	0	0	0	0	0	0	0
14	Santa Teresa	0	0	0	0.35	0	0	2.99
15	Hacienda Carpenteria	0	0	0	0	0	0	0

Figura A 1.1 Lista de parámetros para la aplicación del modelo HBV a la cuenca de Salvajina. Los parámetros CP (coeficientes de ponderación de las estaciones de precipitación) aparece en la tabla inferior.

A.1.2

Mr	Name	Valid from													
1	AREA	1975 1 1	850.00	1200.00	500.00	1100.00	1282.00	550.00	450.00	1000.00	1602.00	800.00	450.00	2000.00	
			848.00												
2	ELEV	1975 1 1	2000.00	1900.00	3500.00	1900.00	1000.00	1700.00	3500.00	2100.00	1000.00	1800.00	3000.00	1700.00	
			1000.00												
3	VEG	1975 1 1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	
			0.95												
4	LAKE	1975 1 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	
			0.05												
5	PELEV	1975 1 1	2650.00	1840.00	1100.00	2322.00	1470.00	986.00	1500.00	980.00	1527.00	1676.00	970.00	1871.00	
			2380.00	1038.00	3690.00	1272.00	1698.00	972.00	1069.00	961.00	1433.00	2609.00	960.00	1644.00	
			2783.00	1861.00	1014.00	1683.00	1532.00	951.00	1540.00	920.00	1233.00	3100.00	1600.00	913.00	
			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
7	QFACT	1975 1 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.12	1.66	3.36	1.26	0.00	1.98	
			0.97	0.00	0.00	0.00	0.00								
10	CQ	1975 1 1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
11	EVAP	1975 1 1	3.80	3.90	3.80	3.60	3.40	3.30	3.90	4.00	3.80	3.60	3.40	3.50	
13	REPL	1975 1 1	2.00	3.00	6.00	1.00	0.00	3.00	0.00	43.00	0.00	6.00	8.00	0.00	
			42.00	42.00	13.00	0.00	0.00	20.00	8.00	18.00	0.00	26.00	18.00	28.00	
			0.00	27.00	23.00	24.00	10.00	0.00	28.00	27.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00	19.00						
16	SUBQR	1975 1 1	7.00	1.00	0.00	13.00	3.00	0.00	0.00	10.00	4.00	0.00	0.00	9.00	
			0.00												
17	QADD	1975 1 1	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			0.00												
20	PCORR	1975 1 1	1.05000	0.92000	0.60000	0.85000	0.95000	0.70000	0.60000	0.85000					
			0.95000	0.85000	0.60000	0.90000	0.90000								
21	PCALT	1975 1 1	0.00000												
27	FC	1975 1 1	200.00000	300.00000	50.00000	300.00000	200.00000	200.00000	200.00000	50.00000	300.00000				
			200.00000	200.00000	50.00000	300.00000	200.00000								
28	LP	1975 1 1	150.00000	250.00000	50.00000	250.00000	100.00000	150.00000	50.00000	250.00000					
			100.00000	150.00000	50.00000	250.00000	100.00000								
29	BETA	1975 1 1	2.00000	2.00000	1.00000	2.00000	2.00000	2.00000	2.00000	1.00000	2.00000				
			2.00000	2.00000	1.00000	2.00000	2.00000								
36	PERC	1975 1 1	3.00000	3.00000	1.00000	2.00000	2.00000	2.00000	2.00000	1.00000	2.00000				
			2.00000	2.00000	1.00000	2.00000	2.00000								
37	UZL	1975 1 1	30.00000	30.00000	10.00000	20.00000	30.00000	20.00000	10.00000	20.00000					
			30.00000	20.00000	10.00000	20.00000	30.00000								
38	K0	1975 1 1	0.30000												
39	K1	1975 1 1	0.10000												
40	K2	1975 1 1	0.03000	0.01500	0.04000	0.03000	0.01000	0.03000	0.04000	0.03000					
			0.01000	0.03000	0.04000	0.03000	0.01000								
41	DAMP	1975 1 1	0.20000	0.30000	0.00000	0.20000	0.30000	0.20000	0.00000	0.20000					
			0.30000	0.20000	0.00000	0.20000	0.00000								
43	CEVP	1975 1 1	0.60000	0.65000	0.50000	0.65000	0.85000	0.65000	0.50000	0.60000					
			0.85000	0.65000	0.50000	0.60000	0.85000								
44	LAREA	1975 1 1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000					
			-11.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-19.00000								
46	MAIBAS	1975 1 1	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000					
			1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000								
47	BLAS	1975 1 1	0.50000	1.20000	0.50000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.50000	0.00000				
			0.00000	0.00000	0.50000	0.00000	0.00000								
48	WQREL	1975 1 1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000					
			2.00000	0.00000	0.00000	0.00000	8.00000								
49	PATH	1975 1 1	5.00000	5.00000	4.00000	5.00000	9.00000	9.00000	8.00000	9.00000					
			13.00000	13.00000	12.00000	13.00000	0.00000								
50	QRED	1975 1 1	4.00000	0.00000	0.00000	5.00000	0.00000	3.00000	0.00000	7.00000					
			0.00000	3.00000	0.00000	5.00000	0.00000								
16	SUBQR	1985 1 21	7.00	2.00	0.00	13.00	3.00	0.00	0.00	10.00	4.00	0.00	0.00	9.00	
			0.00												
17	QADD	1985 1 21	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			0.00												

Figura A 1.2 Lista de parámetros para la aplicación del modelo HBV a la cuenca La Victoria. Los parámetros CP aparecen en la siguiente figura.

LA VICTORIA

Total weights corrected by multiplication with PCORR

Subcatcment nr:															
Nr Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total (%)	
1 Silvia	0	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.44	
2 Piendamó	0	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.92	
3 Salvajina	0.30	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.37	
4 Jambalo	0	0	0.25	0.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.16	
5 Mondomo	0	0.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.88	
6 La Balsa	0	0.15	0	0	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	3.72	
7 El Trapiche	0	0	0	0.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.50	
8 Villarica	0	0	0	0	0.30	0	0	0	0	0	0	0	0	3.42	
9 Samarkanda	0.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.57	
10 El Topacio	0.30	0	0	0	0	0.10	0	0	0	0	0	0	0	2.35	
11 Univalle	0	0	0	0	0.20	0	0	0	0.15	0	0	0	0	4.42	
12 San Pablo	0	0	0	0	0	0.40	0	0	0	0	0	0	0	1.66	
13 Los Alpes	0	0	0.25	0.20	0	0	0.20	0.25	0	0	0	0	0	4.70	
14 Florida	0	0	0	0	0.10	0	0	0	0.20	0	0	0	0	3.99	
15 Santa Teresa	0	0	0.50	0	0	0	0.60	0	0	0	0.50	0	0	4.18	
16 San Emigdio	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0	0	0	0	0	2.65	
17 Villamaria	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	1.04	
18 Guacari	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20	0	0	0	0	2.85	
19 Bocatomá	0	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.48	
20 Aeropuerto Palmaseca	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0	0	0	0	4.99	
21 El Caney	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0.25	0	0	0	2.96	
22 Tenerife	0	0	0	0	0	0	0.20	0.30	0	0	0	0	0	2.75	
23 Acueducto Buga	0	0	0	0	0	0	0	0.10	0.10	0	0	0	0.20	3.69	
24 La Primavera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0	2.27	
25 La Gitana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20	0.15	0	2.83	
26 Monteloro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.10	0	1.51	
27 Acueducto Tulua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.30	2.26	
28 Puerto Frazadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20	0	3.03	
29 Venecia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.50	0	0	0	3.84	
30 La Herradura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0.30	4.19	
31 Heraclio Uribe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20	0	3.03	
32 La Union (Centro Adm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20	1.51	
33 Miravalles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.10	0	1.51	
34 Barragan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.30	0.10	0	2.35	
35 Argelia El Recreo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36 Santana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
37 Tesorito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38 Caloto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39 Corinto	0	0	0	0.20	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	3.95	
40 La Selva	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
41 Venus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
42 Planta Nina No.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43 Inst. Tec. Santander	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura A 1.3 Parámetros CP (coeficientes de ponderación de las estaciones de precipitación) para la aplicación del modelo HBV a la cuenca de La Victoria.

APPENDIX 2

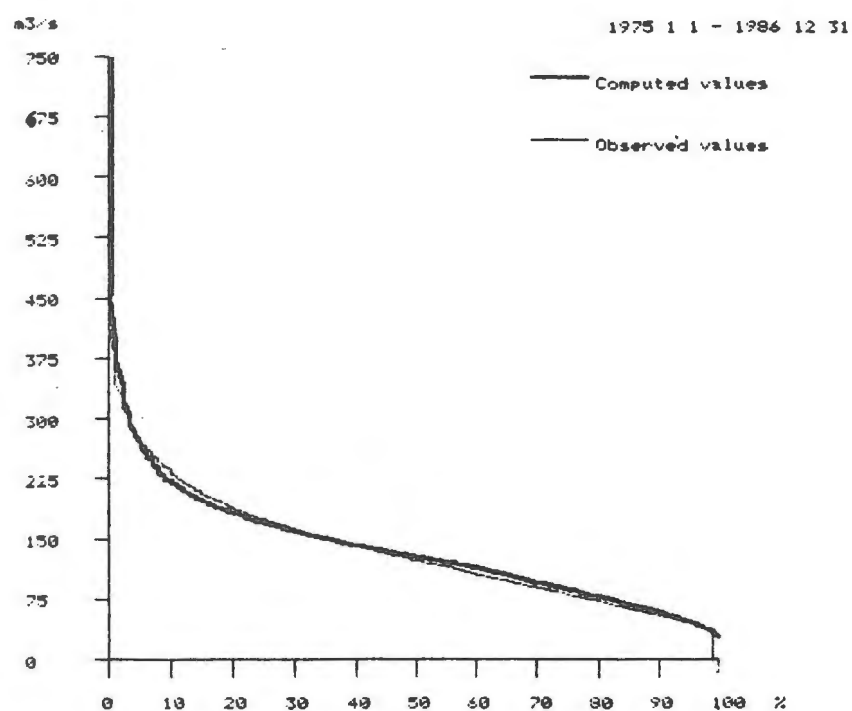


Figura A 2.1 Curva de duración de caudales calculados y registrados en el período 1975-1986 en la estación Cauca-Salvajina.

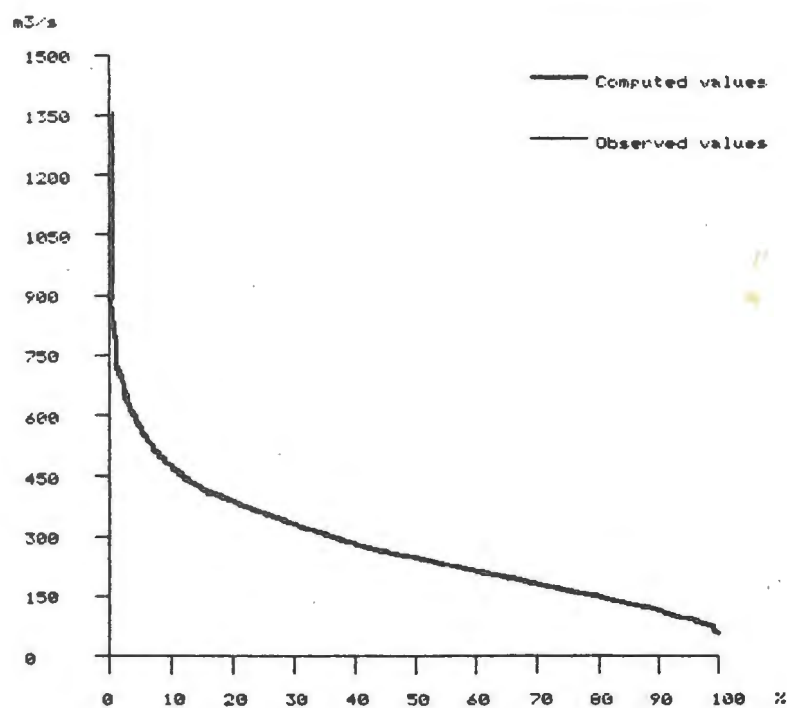


Figura A 2.2 Curva de duración de caudales calculados y registrados en el período 1975-1986 en la estación Juanchito.

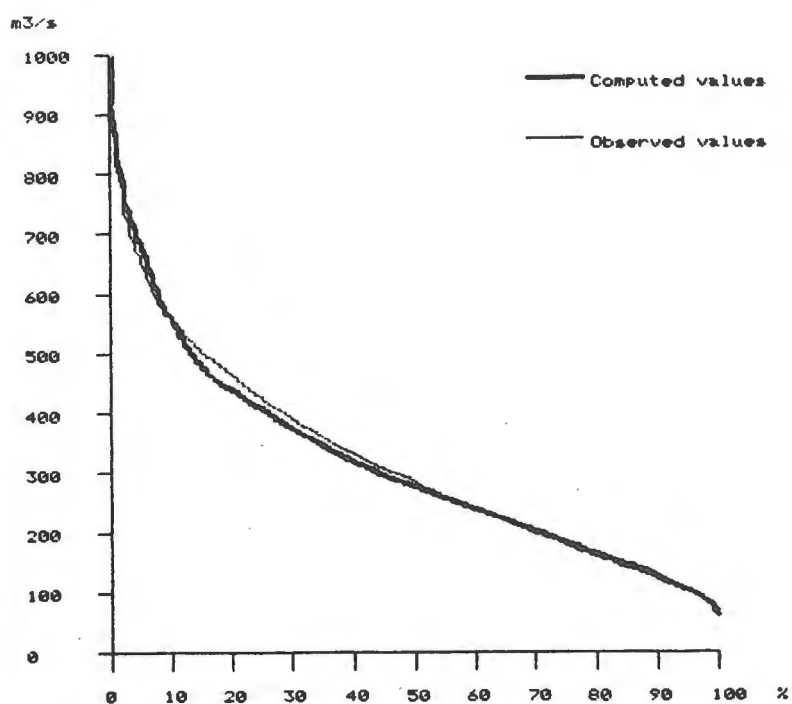


Figura A 2.3 Curva de duración de caudales calculados y registrados en el período 1975-1986 en la estación Mediacanoa.

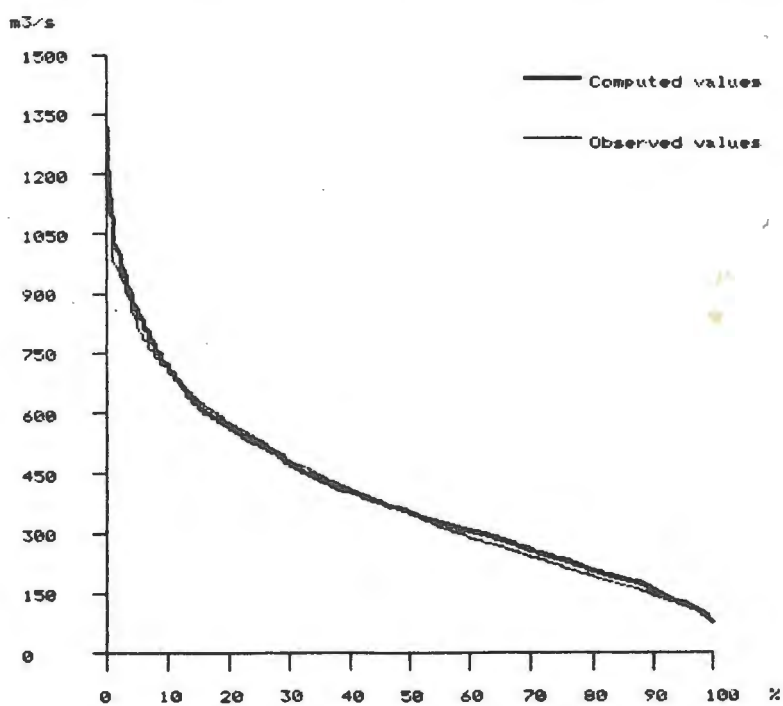
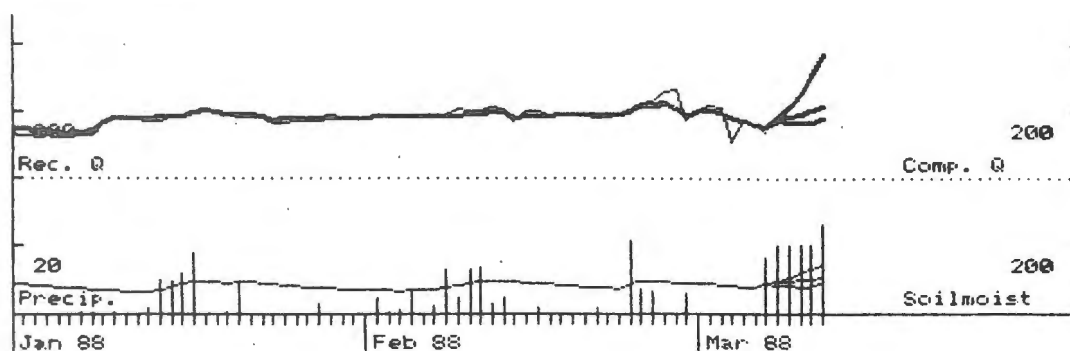


Figura A 2.4 Curva de duración de caudales calculados y registrados en el período 1975-1986 en la estación La Victoria.

A.3.1

APPENDIX 3



BASIN: LA VICTORIA

SUBBASIN 5

DATE	PREC	SOIL	UZ	LZ	QCOMP	QREC	ACCDIFF	EVAP	CORR OF P
880301	0.2	85.7	0.0	62.7	199.7	208.0	-1.6	2.9	
880302	0.0	83.0	0.0	62.0	200.1	220.0	-2.0	2.8	
880303	0.0	80.3	0.0	61.2	193.6	215.0	-2.4	2.7	
880304	0.0	77.7	0.0	60.4	179.5	108.0	-1.1	2.6	
880305	0.0	75.2	0.0	59.6	171.5	177.0	-1.2	2.5	
880306	0.0	72.7	0.0	58.9	160.5	163.0	-1.3	2.4	
880307	16.3	84.8	0.2	60.1	156.0	145.0	-1.1	2.6	

BASIN: LA VICTORIA

SUBBASIN 5

DATE	PREC	SOIL	UZ	LZ	QCOMP	QREC	ACCDIFF	EVAP	CORR OF P
880308	0.0	82.1	0.0	59.6	172.1	FORECAST	1		
880309	0.0	79.4	0.0	58.8	168.2				
880310	0.0	76.9	0.0	58.0	166.4				
880311	0.0	74.4	0.0	57.3	165.0				
880312	26.0	94.4	2.0	58.6	175.6				

BASIN: LA VICTORIA

SUBBASIN 5

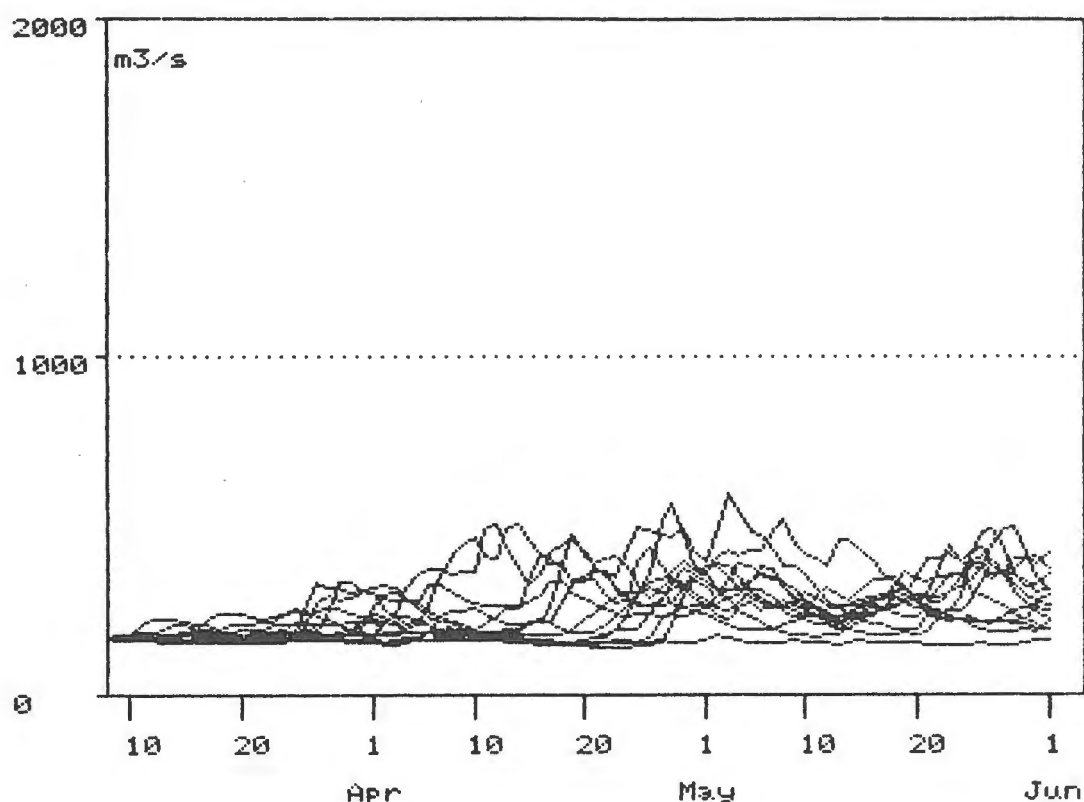
DATE	PREC	SOIL	UZ	LZ	QCOMP	QREC	ACCDIFF	EVAP	CORR OF P
880308	10.0	90.6	0.0	61.2	175.5	FORECAST	2		
880309	10.0	96.0	0.0	62.3	181.7				
880310	10.0	100.9	0.1	63.5	190.4				
880311	10.0	105.4	0.4	64.7	200.9				
880312	10.0	109.7	0.9	65.9	213.9				

BASIN: LA VICTORIA

SUBBASIN 5

DATE	PREC	SOIL	UZ	LZ	QCOMP	QREC	ACCDIFF	EVAP	CORR OF P
880308	20.0	98.8	1.8	61.3	183.2	FORECAST	3		
880309	20.0	111.0	4.3	62.5	210.8				
880310	20.0	122.1	7.7	63.7	250.8				
880311	20.0	131.9	11.7	64.9	301.3				
880312	20.0	140.5	16.4	66.1	370.1				

Figura A 3.1 Simulación del período 1988-01-01-03-07 para la estación de Juanchito, seguida de 5 días de pronóstico. Para el pronóstico se utilizaron 3 secuencias distintas de datos de entrada.

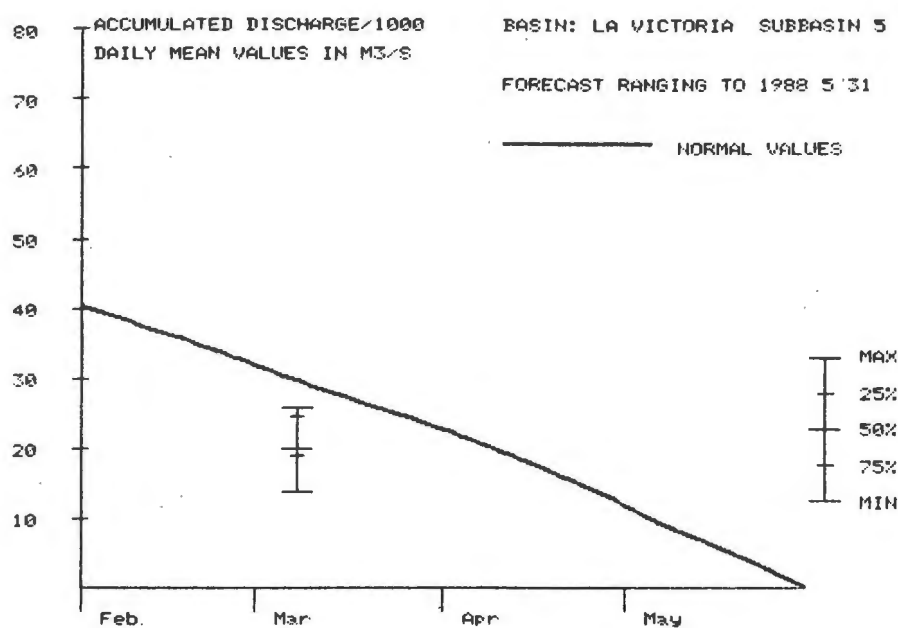


Forecast 1988 3 8 using data from the 13 previous years

CRONOLOGICAL ORDER				ORDER OF MAGNITUDE		
Seq nr	Year	Peak m ³ /s	Month /Day	Year	Peak m ³ /s	Month /Day
1	1975	396	5 4	1978	600	5 3
2	1976	356	5 6	1979	565	4 28
3	1977	337	3 29	1981	517	5 8
4	1978	600	5 3	1982	504	4 12
5	1979	565	4 28	1983	501	4 14
6	1980	180	5 2	1984	485	5 27
7	1981	517	5 8	1986	440	4 26
8	1982	504	4 12	1975	396	5 4
9	1983	501	4 14	1987	385	5 6
10	1984	485	5 27	1976	356	5 6
11	1985	351	5 18	1985	351	5 18
12	1986	440	4 26	1977	337	3 29
13	1987	385	5 6	1980	180	5 2

Figura A 3.2 Pronóstico a largo plazo 1988-03-08-05-31 para Juanchito, utilizando como datos de entrada los correspondientes a las mismas fechas del período 1975-1987. La figura superior muestra las diferentes simulaciones, abajo aparecen tabulados los valores de los caudales pico.

A.3.3



Forecast 1988 3 8 using data from the 13 previous years

DATE	MIN	75%	50%	25%	MAX	VOLUME UNIT: accumulated daily mean discharge in m3/s
3 8	172	172	174	176	180	
3 15	1325	1371	1400	1480	1631	
3 22	2492	2652	2695	2730	3090	
3 29	3739	3987	4087	4210	4796	
4 5	4891	5394	5512	6188	6630	
4 12	6101	6749	6993	7633	9465	
4 19	7249	8214	8545	8883	12305	
4 26	8373	9498	10279	11176	14616	
5 3	9544	11332	12561	13725	17086	
5 10	10685	13727	14634	16885	19890	
5 17	11799	15644	16350	19783	21613	
5 24	12891	17438	18178	21931	23374	
5 31	13993	18932	20010	24643	25892	NORMAL VOLUME: 29830

ACCUMULATED VOLUME LAST DAY

CRONOLOGICAL ORDER		ORDER OF MAGNITUDE	
Year	Volume	Year	Volume
1975	19017	1982	25892
1976	19821	1978	25786
1977	18932	1983	25033
1978	25786	1981	24643
1979	21185	1984	21657
1980	13993	1979	21185
1981	24643	1986	20010
1982	25892	1976	19821
1983	25033	1975	19017
1984	21657	1977	18932
1985	18175	1987	18401
1986	20010	1985	18175
1987	18401	1980	13993

Figura A 3.3 Pronóstico a largo plazo 1988-03-08-05-31 para Juanchito.



Instituto Nacional Meteorológico e Hidrológico de Suecia
S-601 76 Norrköping, Suecia. Tel. + 46 11 15 80 00. Telex 64400 smhi s.