

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CENTRO DE ESTUDIOS FORESTALES Y AMBIENTALES DE
POSTGRADO

EVALUACION PRELIMINAR DEL MODELO HEC-HMS

Por

Rafael Rojas, Ph.D

(versión preliminar sujeta a revisión)

Octubre, 2005

RESUMEN

Se realizó una evaluación preliminar del modelo Hec-hms del US Army Corp of Engineers, con la finalidad de verificar las bondades del mismo en simular hidrogramas medidos, eventos máximos anuales y extremos. La evaluación se realizó en tres fases: a) con eventos medidos en cuencas experimentales, b) con eventos máximos anuales de cuencas Venezolanas y c) con eventos extremos de cuencas venezolanas. Para la primera fase se utilizó información de 6 cuencas experimentales de los Estados Unidos y una de Venezuela. En la segunda y tercera fase se utilizaron cuencas venezolanas con información confiable. Para la segunda fase fue necesario realizar una síntesis de eventos anuales, sobre la base de los valores extremos de precipitación-escurrentía observados. Los resultados iniciales indican que el modelo simula satisfactoriamente los eventos medidos, siempre y cuando la información suministrada sea la correcta. Todas las cuencas se calibraron muy bien y los valores de los parámetros siempre estuvieron dentro del orden esperado. El modelo demostró alta sensibilidad al Número de Curva, CN, al retardo, t_L y a las abstracciones iniciales. Los valores de retardo se correlacionan muy bien con el tiempo de concentración, sin embargo difieren de los indicados en el manual. Para el caso de las cuencas venezolanas, las simulaciones realizadas con eventos sintetizados, indican que el modelo se comporta muy bien para estos casos. Finalmente el modelo se comportó adecuadamente en simular eventos extremos.

ABSTRACT

A preliminary evaluation of the Hec-hms model was conducted to assess the capabilities of the model to simulate measured hydrograph, annual and extreme events. Evaluation was performed in three phases: a) with measured events from experimental watersheds, b) with maximum annual events from Venezuelan watersheds and c) with extreme events for selected Venezuelan watersheds. For the first phase, six USA and one Venezuelan watershed were utilized. In the second and third phases several Venezuelan watershed with reliable information were used. For the second phase, it was necessary to synthesize the events based on observed rainfall-runoff data. Preliminary results indicate that the model performance is adequate in simulating events, provided reliable information is available. All watersheds calibrate well and parameter values were in the expected ranges. The model showed high sensibility to CN, lag and initial abstractions. Calibrated lag values correlate very well with time of concentration, although these values are very different from those indicated in the manual. For the case of Venezuelan watersheds, the simulations with synthesized events indicates that the model have good response. Finally the model did well simulating extreme events.

EVALUACION PRELIMINAR DEL MODELO HEC-HMS

Por

Rafael Rojas, Ph.D¹

1. Introducción

El Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes conscientes de la importancia de los modelos de simulación para la planificación y diseño de acciones en Manejo de Cuencas ha iniciado trabajos de evaluación de modelos de simulación con la finalidad de determinar las bondades de los mismos y proporcionar directrices sobre su utilización.

Los modelos de eventos revisten mucha importancia por su utilización en el diseño de obras de infraestructura que requieren del conocimiento de los picos y volumen de las crecidas, tales como puentes, alcantarillas, represas y obras de control de torrentes e inundaciones. Por esas razones, es necesario evaluar esos modelos a fin de determinar su eficacia y exactitud en la estimación de crecidas máximas y proponer la forma más adecuada para su utilización.

En el presente trabajo se realizó una evaluación del modelo Hec-Hms (US Army Corp of Engineers, 2000) el cual es un modelo hidrológico de eventos que es utilizado por la mayoría de las instituciones gubernamentales de los Estados Unidos.

2. El Modelo

El modelo Hec-Hms: Hydrologic Engineering Center (HEC), Hydrologic Modeling System (HMS) es un modelo hidrológico de eventos desarrollado por el US Army Corp of Engineers de los Estados Unidos.

El HMS ha sido diseñado para simular el proceso de precipitación escorrentía de cuencas con drenaje dendrítico. El modelo ha sido concebido para ser aplicado a un gran rango de situaciones geográficas y resolver diversos problemas. Esto incluye desde disponibilidad de agua y problemas de inundaciones para grandes cuencas hasta el drenaje urbano de pequeñas áreas. Los hidrogramas producidos pueden ser utilizados directamente o conjuntamente con otros programas para el estudio de problemas relacionados con disponibilidad de agua, drenaje urbano, predicción de inundaciones, impacto de urbanización futura, diseño de aliviaderos para represas, reducción de daños por inundaciones, legislación sobre planicies de inundación y operación de sistemas.

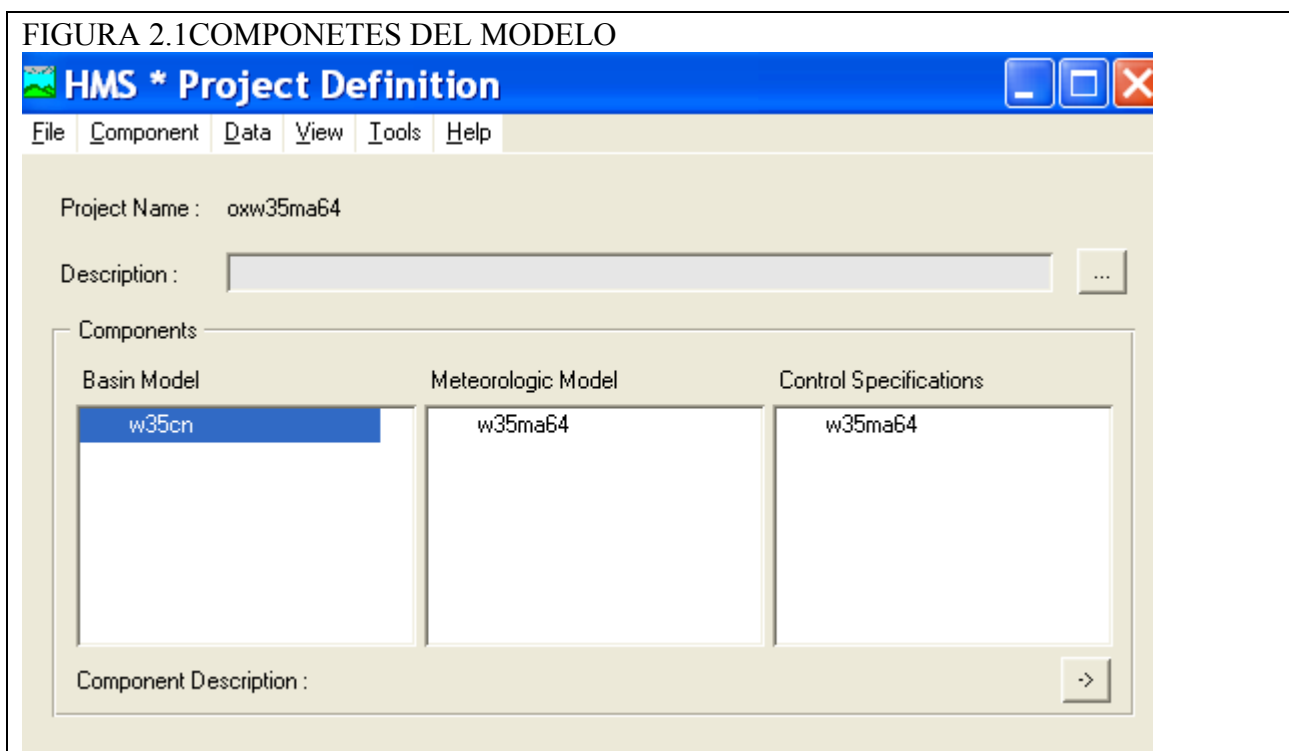
¹ Profesor visitante, CEFAP

El programa contiene una plataforma de trabajo integral que comprende una base de datos, facilidades para entrada de datos, herramientas computacionales y de presentación de resultados. La interfase gráfica permite el acceso a los diferentes componentes del modelo para su utilización y cambio de parámetros.

2.1 Componentes del modelo.

La figura 2.1 muestra la ventana principal del modelo, en donde se aprecian los tres componentes principales:

Cuenca (BASIN MODEL)
Modelo Meteorológico
Control



La representación física de la cuenca es configurada en el componente BASIN. Los elementos hidrológicos de una red dendrítica son conectados para simular el proceso de escorrentía. Los elementos disponibles son:

subcuenca (subbasin)
cauces (reach)
confluencias (junction)
almacenamiento (reservoir)
tomas (diversión),
fuentes (sources)
salida (sink).

Los cálculos son realizados en una secuencia aguas abajo desde el punto más elevado. El modelo usa tres componentes para simular la escorrentía:

pérdidas
transformaciones
tránsito.

Las **pérdidas** por infiltración pueden ser simuladas mediante diferentes métodos: SCS, SCS por cuadrícula y Green and Ampt. Las **transformaciones** son utilizadas para transformar el exceso de precipitación en escorrentía y pueden realizarse por varios métodos. Los métodos de Hidrograma Unitario incluyen Clark, Snyder y SCS. El usuario también puede incluir su propio hidrograma unitario. También se incluye el método modificado de Clark y la Onda Cinemática. Los métodos de **tránsito** en canales incluyen: método del Lag, Muskingum, Muskingum-Cunge y Onda Cinemática.

El Modelo meteorológico, contiene las especificaciones con los datos de la precipitación y el archivo de control contiene la fecha y hora del evento.

2.2 Datos de entrada.

El modelo requiere de datos de precipitación y evapotranspiración, así como de valores de diferentes parámetros. La precipitación puede ser introducida como datos medidos o puede ser simulada por el modelo, mediante varios métodos. Si existen valores de escorrentía medida, ésta puede ser utilizada para calibrar la cuenca.

2.3 Calibración.

El modelo permite obtener los valores de los parámetros mediante calibración incluyendo cuatro métodos de calibración:

2.4 Elementos Hidrológicos

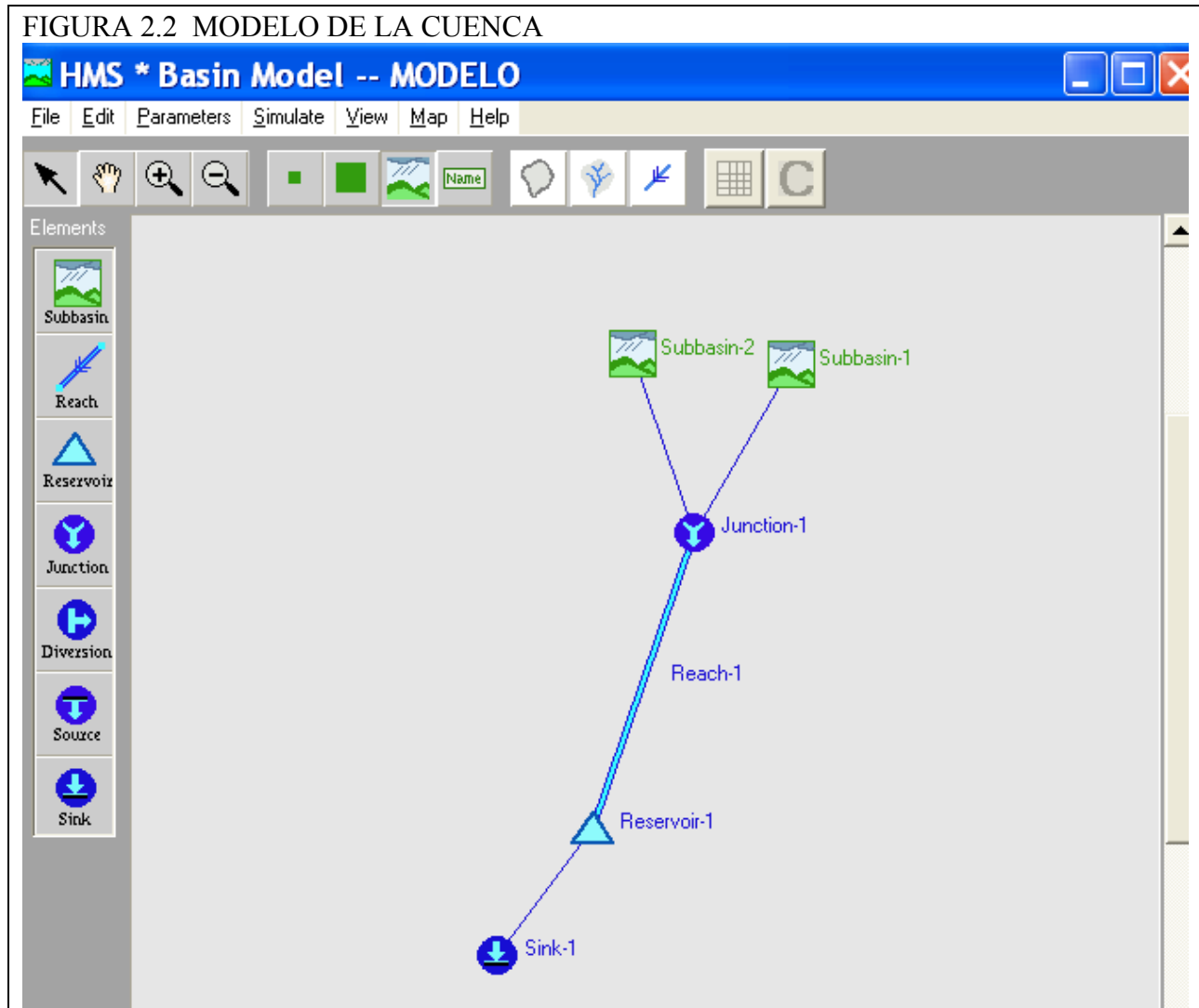
Subcuenca

La subcuenca es un elemento que generalmente no tiene entrada de flujo y tiene sólo una salida. Representa una de las dos formas de producir flujo en la cuenca. La escorrentía es calculada utilizando datos meteorológicos, descontando las pérdidas y transformando el resultado en escurrimiento el cual es sumado al flujo base. La subcuenca puede ser utilizada para simular múltiples situaciones y tamaño de subcuencas. La figura 2.2 muestra la ventana del elemento cuenca.

Cauces.

Un cauce es un elemento con una o más entradas y sólo una salida. Las entradas vienen de otros elementos de la cuenca. Si hay más de una entrada, todas las entradas son sumadas antes de

calcular la salida. La salida puede ser calculada utilizando uno de los varios métodos disponible. Los cauces son utilizados para simular ríos y quebradas.



Almacenamientos.

Un almacenamiento es un elemento con una o varias entradas y sólo una salida. Las entradas provienen de otros elementos del modelo de cuenca. Si hay varias entradas, estas son sumadas antes de calcular las salidas. Las salidas son calculadas mediante métodos de almacenamiento - caudal . Este elemento es usado para simular embalses, lagos y lagunas.

Confluencia.

La confluencia es un elemento con una o más entradas y sólo una salida. Todas las entradas son sumadas para producir la salida suponiendo que no hay almacenamiento. El elemento se usa para simular confluencias de ríos y quebradas.

Tomas

La toma es un elemento con dos salidas, principal y toma, y una o más entradas. Las entradas provienen de otros elementos del modelo. Si hay varias entradas, éstas son sumadas antes de calcular las salidas. Las salidas son calculadas por varios métodos y son controladas por el usuario. Este elemento puede ser utilizado para simular compuertas de toma para canales y almacenamientos fuera del cauce.

Fuentes

Las fuentes en general representan elementos sin entradas y con una salida. Sirven para simular flujos no modelados de áreas aguas arriba de las cuencas.

Salida.

Es un elemento con varias entradas y ninguna salida. Las entradas múltiples son sumadas para determinar el total de agua entrando al elemento. Se usa para representar cuencas interiores o para simular la salida de la cuenca.

3. Metodología de evaluación

Desde la aparición de los modelos de simulación, la evaluación de los mismos, especialmente los modelos hidrológicos, ha sido tema de muchos proyectos de investigación, sin embargo no existe una metodología generalizada para realizar las evaluaciones. Tradicionalmente, la evaluación de modelos consiste en la realización de pruebas de sensibilidad de variables y parámetros, calibración de los modelos y verificación de los parámetros resultantes. En una revisión bibliográfica rápida en Internet, no se pudo conseguir ningún trabajo de evaluación del modelo. La referencia más antigua relacionada con el campo es el libro Stormwater Modeling de Overton (1976). Es posible que por la dinámica existente en el desarrollo de modelos y por la gran diversidad de los mismos no se haya podido desarrollar una metodología idónea para la realización de evaluaciones. En el presente trabajo se tratará de proponer una metodología para la evaluación de modelos de eventos.

A fin de evitar posibles errores debido a la falta de información, sólo se utilizaron cuencas con información confiable.

3.1 Aspectos generales de la evaluación.

La evaluación fue realizada mediante la utilización del modelo con datos reales medidos en diferentes sitios y utilizando los valores reales de variables y parámetros. Lo anterior implicó la realización de análisis de los hidrogramas de escorrentía, obtención de información de los eventos de precipitación y características físicas de las cuencas. De la misma manera se utilizó información de crecidas máximas medidas, así como valores obtenidos mediante análisis de frecuencia en cuencas venezolanas.

Por la poca información fisiográfica disponible, en especial de las características de los cauces de las cuencas a evaluar, sólo se utilizaron los métodos más sencillos que requieren de poca información.

3.2 Aspectos a evaluados con datos reales

La evaluación se concentró en determinar la bondad del mismo en estimar: a) volumen de escorrentía; b) pico del hidrograma; c) tiempo al pico y d) recesión.

El **volumen de la escorrentía** está determinado por el método de infiltración (LOSSES). En este trabajo se evaluaron dos métodos: a) Método del número de curva y b) Ecuación de Green-Ampt. Esta evaluación es muy importante pues sirve para determinar la lluvia efectiva la cual genera el hidrograma de escorrentía.

El **pico del hidrograma** está en función del volumen de escorrentía y del tránsito de la misma. Dentro del modelo, el pico depende de la infiltración (LOSSES), del método de tránsito dentro de la cuenca (TRANSFORM) y del tránsito en los cauces (ROUTING). Debido a la poca información existente, sólo se utilizó el método del SCS.

El **tiempo al pico** y la **recesión** dependen de los métodos y parámetros utilizados y sólo sirven para verificar la bondad del ajuste de los datos calculados.

Una vez calibrados los eventos, se realizó una prueba de sensibilidad de parámetros, en especial el Número de Curva (CN), tiempo de retardo (lag) y parámetros de la ecuación de Green&Ampt.

3.3 Evaluación con datos de crecidas máximas anuales y valores extremos.

Luego de conocer una metodología confiable para utilizar el modelo, se realizó una evaluación del mismo en cuencas venezolanas. Esta evaluación consistió en estimar algunas crecidas de ríos venezolanos con mediciones de caudales. Se realizó en dos modalidades: a) valores máximos anuales y b) valores extremos. Los valores máximos anuales fueron escogidos de tal manera que la precipitación que los generó fuese fácilmente determinada. Para los valores extremos, se evaluaron los caudales máximos para 100 años de frecuencia.

3.4 Obtención y Adecuación de la información.

Para el análisis de eventos, se utilizó información de cuencas experimentales de Estados Unidos (USDAARS,1971,72,73) y de Venezuela (Fernández, 1982). La información de cuencas venezolanas proveniente de los Hidroanales, publicados por Ministerio de Obras Publicas (MOP, 1970, 1972, 1973, 1974). Se utilizó además, información procesada por Molas (1984), Adrien (1984) y Rojas (1981).

La información disponible fue organizada, evaluada y procesada a fin de ajustarla a las exigencias del modelo. Como resultado se obtuvieron:

- Hidrogramas de crecidas y los hietogramas de la lluvias

- Pico de crecidas y lluvia generadora
- Características fisiográficas de las cuencas

4. La evaluación

4.1 Evaluación con hidrogramas medidos y con información completa.

Esta evaluación tenía como finalidad comprobar las bondades del modelo en simular todos los componentes del hidrograma de escorrentía y verificar los valores de los parámetros de simulación a fin de contrastarlos con las estimaciones normalmente utilizadas.

Para esta evaluación se utilizó información de eventos de escorrentía medidos en cuencas bien controladas, tales como cuencas experimentales. La información que fue utilizada en el modelo se obtuvo mediante el análisis de los hidrogramas de los eventos, de la precipitación y características fisiográficas de la cuenca al momento del evento. En el Anexo se presentarán algunas metodologías utilizadas en la obtención de parámetros de la cuenca y de los eventos.

4.2 Evaluación con información generada indirectamente

La evaluación se realizó en algunas cuencas venezolanas con buena información de escorrentía y precipitación, pero sin los datos reales de los eventos. Para ello se escogieron eventos de escorrentía para los cuales se podía definir la precipitación que los generó, así como las condiciones iniciales. En este caso, sólo se evaluaron los valores de los picos de escorrentía, para los cuales se generaron eventos sintéticos basados en la información de precipitación-escorrentía.

4.3 Evaluación de eventos extremos.

Como los modelos de simulación de eventos, se usan generalmente para estimar eventos extremos, se utilizó el modelo para estimar los eventos extremos en las cuencas seleccionadas, para las cuales se contaba con curva de frecuencia de caudales.

5. Resultados y Análisis

El modelo Hec-hms fue evaluado utilizando información de eventos con hidrogramas medidos en varias cuencas experimentales de Estados Unidos y dos cuencas venezolanas. De la misma manera el modelo fue evaluado utilizando información de eventos para algunas cuencas venezolanas y finalmente se evaluó el comportamiento del modelo simulando eventos extremos en cuencas venezolanas con curva de frecuencia de caudales.

5.1 Evaluación con datos de cuencas experimentales.

Se seleccionaron 7 cuencas experimentales con información relativamente confiable y que representan un buen rango de tamaños. Entre ellas se escogieron eventos con hidrogramas sencillos para facilidad de análisis. El cuadro 5.1 muestra las características de la cuencas.

Cuadro 5.1 Cuencas utilizadas en la evaluación

Cuenca	Area Has	Longit m	Pend %	Tc min	CN2	CN3	CN1
W-3,Vero Beach, Flo,USA	4067.10	12873.20	0.09	420.00	68	84	48
Little wins,WV, USA	574.60	3750.00	1.20	60.50	67	83	47
TreynorW3, Iw,USA	42.80	997.00	4.63	13.00	61	79	41
Pony,WV, USA	75.00	1275.00	10.35	11.50	78	90	60
Qda La Cuesta, Me,ve	32.20	990.00	27.30	10.60	69	85	48
Hastings,3H,NB,USA	1.52	165.30	5.16	3.12	83	93	67
W-35, Oxford. Miss., USA	3055.40	10800.00	0.34	160.00	78	90	60

Cada evento seleccionado fue evaluado para estimar los valores característicos del mismo. En especial se buscó estimar el retardo, t_l y el CN, para lo cual se realizó un análisis de cada evento. Los eventos fueron seleccionados de USDA ARS(1971^a1974) y Fernández (1982) El cuadro 5.2 presenta los resultados del análisis de hidrogramas. La figura A1 del anexo, muestra un esquema del análisis.

5.1.1 Corrida y calibración de eventos.

A excepción de la Qda. La Cuesta, todos los eventos, supuestamente eran eventos seleccionados como importantes. Para cada cuenca y evento, se realizó una simulación inicial con CN3 y un retardo (t_l) igual a $0.6t_c$. Luego se calibraron los eventos y se compararon resultados.

Cuadro 5.2 Cuencas y resultados del análisis de los hidrogramas															
Cuenca	Pac	Ia	QD	Tp	Pe	De	tl1	tl2	tl3	tl4	CNe	tch	Se	Cne2	Se2
	pulg	pulg	pulg	min	pulg	min	min	min	min	min		min	pulg		
W-3, Ve	3.25	0.45	2.60	1020	2.76	7	810	630	576	252	94	960	0.17	98.33	2.25
Little wi	0.71	0.10	0.04	255	0.61	180	90	60	45	36	82	75	9.18	52.13	0.50
Treynor	1.23	0.04	0.11	32	0.87	35	14.5	25	9	8	77	15	6.14	61.96	0.18
Pony	1.08	0.02	0.23	58	1	60	28	30	22	22	86	36	3.27	75.34	0.08
cuesta	1.08	0.07	0.18	75	0.634	75	37.5	100	18	3.9	83.5	30	1.60	86.21	0.35
Hasting	1.07	0.38	0.44	7	0.69	8	3	3	1.8	1.8	92	3	0.39	96.23	1.90
W-35, C	1.52	0.01	0.84	285	1.38	210	180	180	126	134	92	210	0.89	91.85	0.05
PAC	Precip evento			De	Duración efectiva			tl1	tl=tp-De/2						
QD	Q directo			CNe	CN evento			tl2	50%Pe a 50%QD						
Tp	Tiempo al pico			tch	Tc hidrograma			tl3	0.6tch						
Pe	Precipitación efectiva			tck	tc Kirpick			tl4	0.6tck						

Con la información del cuadro 5.2 se realizaron las simulaciones y luego se calibraron los eventos. El cuadro 5.3 presenta los resultados de las simulaciones y calibraciones.

Cuadro 5.3 Resultados de las corridas iniciales y calibración de eventos.

Cuenca	Picos		Calibrado			
	Medido	Calc	Pico	ia	cn	lag
W-3, Vero Beach, Flo	350	1750	350	0.35	66	808
Little wins	57	180	50	0.08	65.9	76.8
TreynorW3	22	56	22	0.15	60	16
Pony	37	144	57	0.3	70	20
cuesta	0.22	1.15	0.22	0.07	52	16
Hastings	12.3	7.1	12.3	0.1	95	2.5
W-35, Oxford. Miss.	3000	1600	3000	0.01	98.6	118

Los resultados indican que aún con valores conocidos, el modelo genera resultados muy diferentes a los medidos, especialmente por las incertidumbres relacionadas con el valor del CN. Por otro lado, las calibraciones indican que el modelo está bien concebido, generando resultados dentro de los valores normales.

Las figuras 5.1 y 5.2 presentan ejemplo de las calibraciones obtenidas mostrando buen ajuste.

FIGURA 5.1 CUENCA VEW3

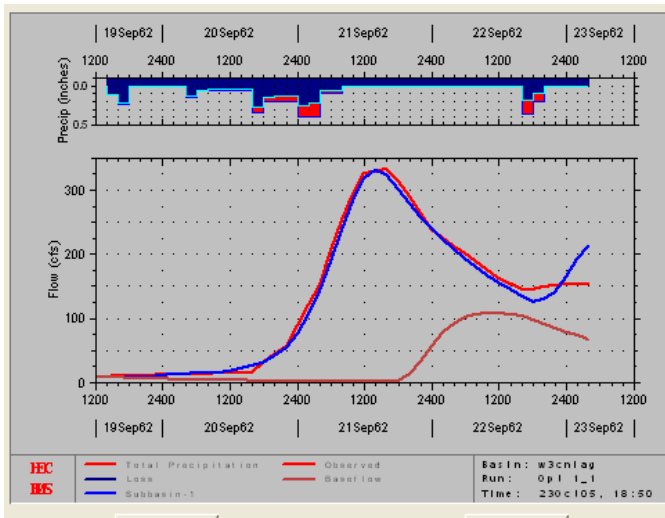
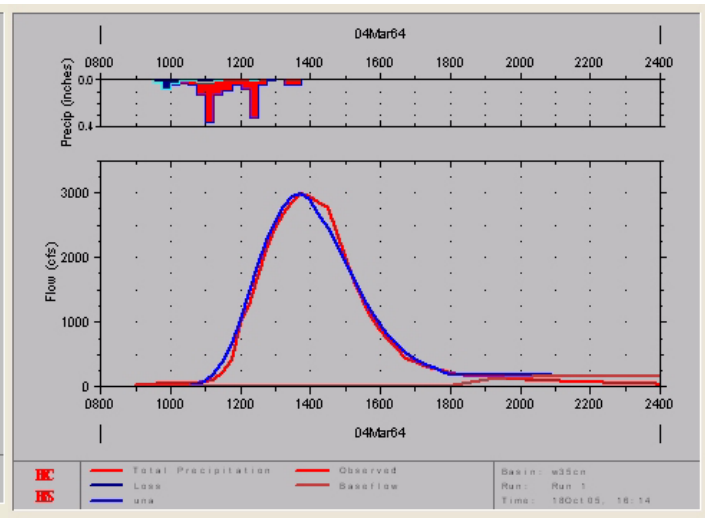


FIGURA 5.2 CUENCA OXW35



5.1.2 Comparación de resultados con CN y Green&Ampt

Se intentaron algunas calibraciones con la ecuación de Green&Ampt, pero los resultados no fueron buenos y obviamente el método del CN funcionó mejor.

5.1.3 Prueba de sensibilidad de Parámetros.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se verificó que los parámetros de mayor relevancia son el número de curva (CN) y el retardo (lag). Se realizaron simulaciones cambiando los parámetros para ver la sensibilidad. Las figuras 5.3 y 5.4 presentan los resultados, indicando la gran sensibilidad de los mismos, en especial el CN. El retardo (lag) afecta el tiempo al pico y el pico, en tanto que el CN afecta s

FIGURA 5.3. SENSIBILIDAD AL PARÁMETRO DE RETARDO (LAG)

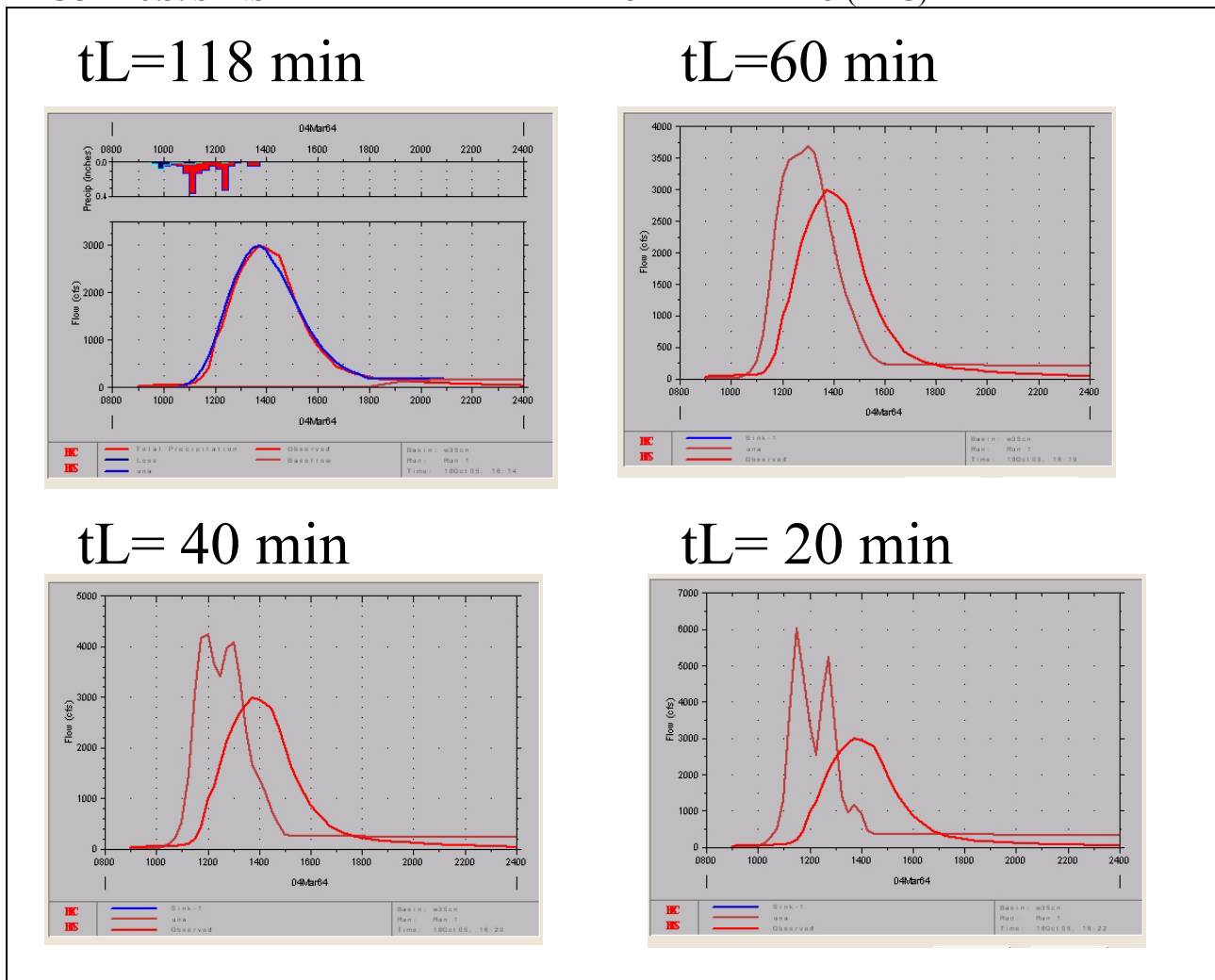
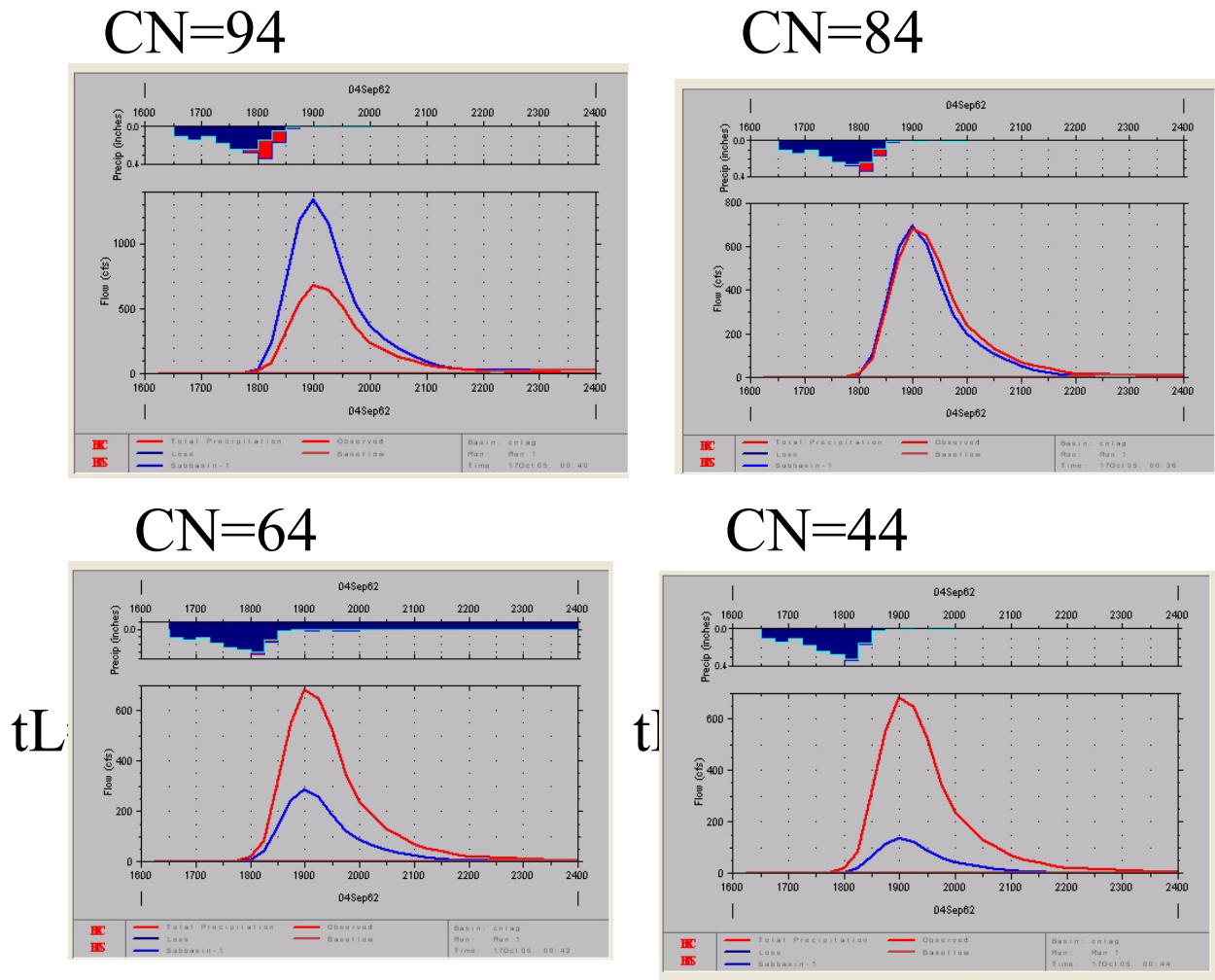
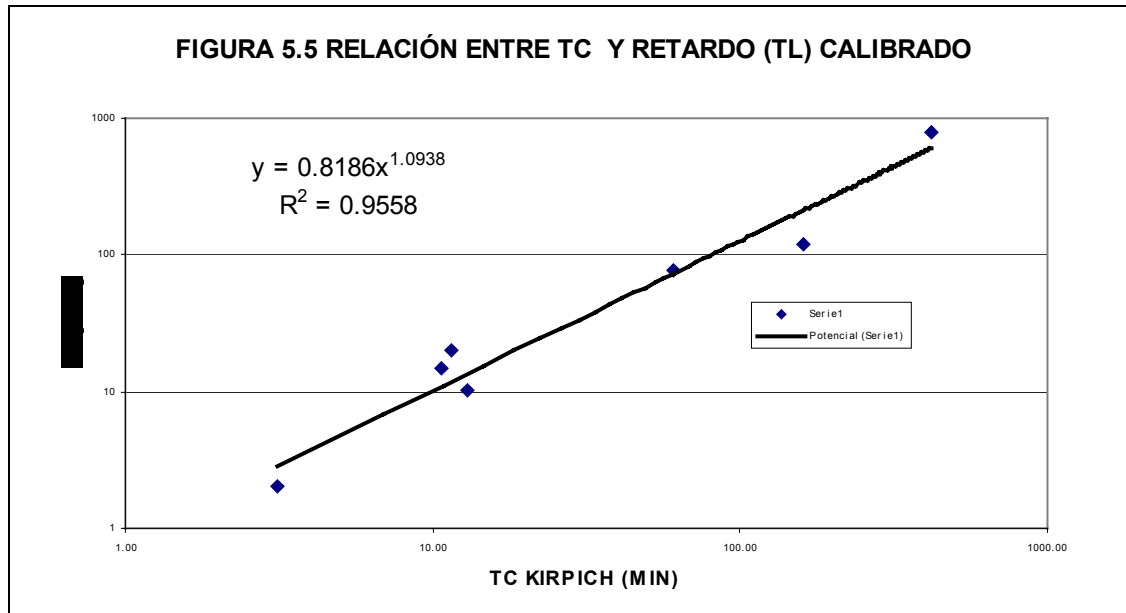


FIGURA 5.4 SENSIBILIDAD DEL PARÁMETRO CN

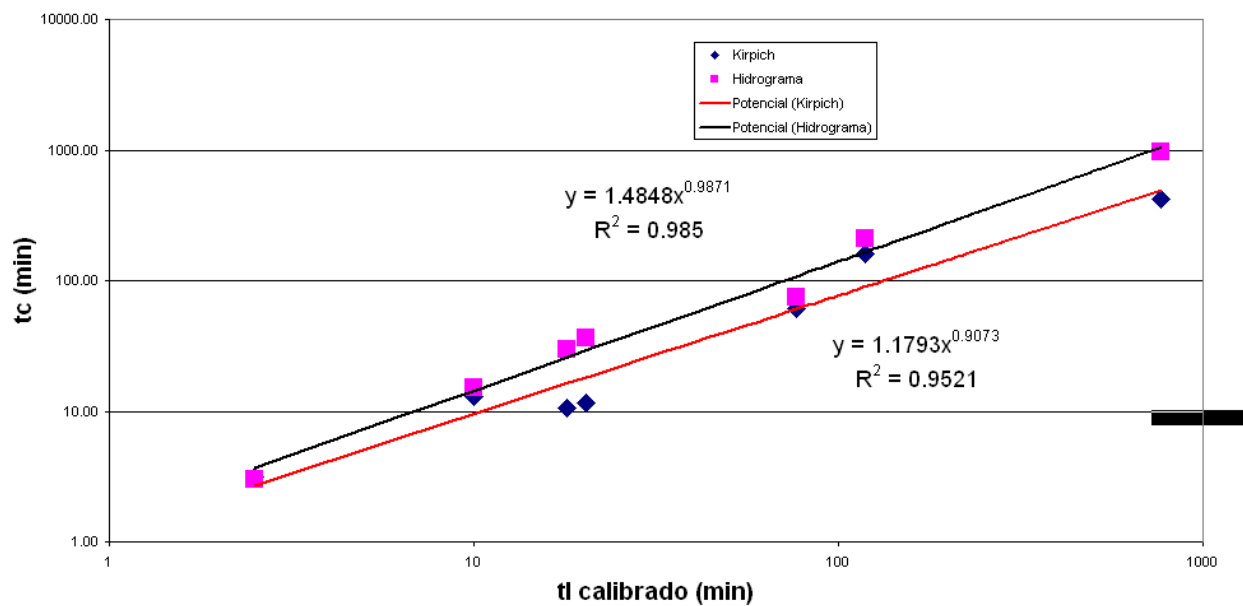


5.1.3 Correlaciones de Parámetros calibrados con parámetros de la cuenca y eventos.

Se trató de encontrar correlaciones entre los parámetros físicos de la cuenca y los valores de CN y retardo (lag) simulados, con la finalidad de refinar los valores de los parámetros del modelo. En primer lugar se encontró que el valor del retardo (lag) obtenido por calibración, dista mucho del propuesto por el modelo. Teóricamente el valor de t_L es de $0.6t_c$, sin embargo los valores calibrados indican que t_L es bastante cercano a t_c . Las figura 5.5 y 5.6 muestras las correlaciones entre esos valores.

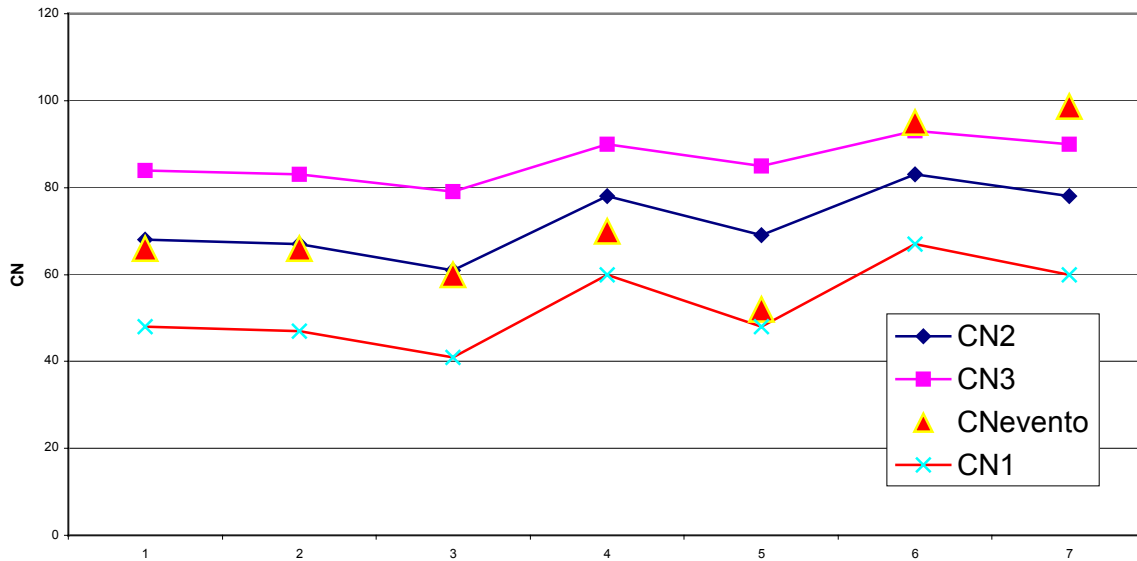


Modelo Hec-hms: Relación entre el tL calibrado y tiempo de concentración calculado por Kirpich y estimado del hidrograma



Para el caso del CN, no se encontró buena correlación, sin embargo los valores calibrados están dentro de los rangos posibles, tal como lo demuestras la figura 5.7. Hay que acotar que en las calibraciones resultaron valores de CN muy altos.

Figura 5.7. Hec-hms: CN calibrado y valores de CN de las cuencas



5.2 Análisis de eventos en cuencas venezolanas.

Se utilizaron 4 cuencas venezolanas: Guaraque y El Molino en el alto Uribante y Guache y Ospino en el piedemonte de Portuguesa. Esas cuencas fueron seleccionados por tener buena cobertura de estaciones e información básica. El cuadro 5.4 presenta los resultados obtenidos. El cuadro A3. muestra un ejemplo de los análisis realizados.

CUADRO 5.4 SIMULACIÓN CON CUENCAS VENEZOLANAS														
Cuencas	Eventos año 1973: Rio Guaraque							Corrida del modelo Hec-hms						
	qx	mes	Precip/duración-horas(mm)				CHA	datos Hec-hms			la=.2S		la calib	
	mcs		1	3	6	9		CN	S	lag	la	qxHec	la	qxHec
Guaraque	25.45	set	12.4	18.6	22.3	24.2	3	90	28.2	89	5.64	26	3	25.5
Guaraque	11.80	nov	18.9	28.4	29.9	29.9	2	77	75.9	89	15.17	14.8	12.5	11.8
Guaraque	8.18	ago	22.7	29.2	31.4	31.4	2	77	75.9	89	15.17	14.8	14	8.2
Molino	118.00	ago	19.1	22.4	27.5	27.8	3	84	48.4	392	8	190	13.8	118
Ospino	30.02	oct	26.5	37.1	41.3	52.9	1	68	119	104	23.8	15.5	9	30
Guache	161.30	oct	16.2	23.2	23.2	29.8	2	94.6	14.50	302	2.8998	200	4.5	160
qx	caudal máximo observado				CN,S,la valores del evento									
CHA	Condición de Humedad Antecedente													

Los resultados indican que el modelo simula adecuadamente los eventos. A sabiendas que el mismo debe ser utilizado sólo para eventos máximos, los valores obtenidos indican que el modelo se comporta bien para estas cuencas. Al refinar un poco y calibrar el modelo para el pico, con sólo cambiar el valor de las abstracciones iniciales, se obtienen valores muy cercanos a los medidos

5.3 Valores extremos para las cuencas seleccionadas.

Se utilizó la información de las crecidas máximas para las cuencas seleccionadas y se obtuvo el valor del caudal de 100 años utilizando el programa de Distribución del SMADA (2000). Con los resultados e información obtenida en el punto anterior, se corrió el modelo con los valores de la lluvia de 100 años de frecuencia y para condición de humedad (CN3). El cuadro 5.5 Resume los resultados.

CUADRO 5.5 SIMULACIÓN DE EVENTOS MÁXIMOS CON EL HEC-HMS: CUENCAS VENEZOLANAS

CUENCA	AREA	LONG	PEND	CNIII	TC	S	la	lag	q100G	q100P	QpHec
GUACHE	300	37	4	82	3.69	55.76	11.15	302.05	724	966	1500
GUARAQUE	85	11.9	7.6	84	1.20	48.38	9.68	88.65	100	90	115
MOLINO	917	40	2.525	90	4.68	28.22	5.64	391.51	605	710	740
OSPINO	61.5	16	7.5	93	1.52	19.12	3.82	114.30	326.8	410	375

q100G Gumbell q100P Log PearsonII
 QpHec valores simulados

Los resultados indican que el Modelo simula adecuadamente los picos máximos. Sólo el caso del río Guache es contradictorio, sin embargo, ello puede ser debido a problemas con la información de suelo-cobertura que no es muy buena para el área. Por otra parte, como lo indica el Cuadro A3, las frecuencias de escorrentía y precipitación no son necesariamente coincidentes.

5.4 Aplicación del modelo

Los resultados obtenidos con el modelo permiten utilizarlo en varias situaciones, además de las típicas de determinación de crecidas máximas. Para ampliar el uso del mismo, éste fue utilizado para otros fines.

Quebrada La Virgen

En La Quebrada La Virgen fueron construidos 17 diques de control de torrentes . Durante los años de 1981 a 1983 se realizaron mediciones de precipitación y escorrentía (Rondón, 1984) con la finalidad de evaluar el comportamiento de las estructuras, sin embargo, las mediciones de escorrentía sólo se realizaron aguas debajo de las mismas. Se decidió entonces utilizar el modelo Hec-hms para evaluar el comportamiento de las estructuras. La idea era comparar el hidrograma estimado con valores de un evento de lluvia-escorrentía medido. Las diferencias, teóricamente se deben al efecto de los diques. Utilizando la información de Rondón (1984), se escogió el evento de mayor pico medido. La Figura 5.8 muestra los resultados de la calibración.

Puede notarse que los valores simulados indican un pico de 5.58 m³/seg, siendo que el medido era de 4.55 m³/seg. Por otra parte, el tiempo al pico, se desfasó 40 minutos. Lo anterior indica que el modelo puede ser utilizado para estimar el efecto de utilización de medidas de control.

Se trató de simular los diques y como no se contaba con la información de los mismos para poder simularlos, se utilizó un “**embalse equivalente**” que representase la sumatoria de los diques. A falta de una metodología adecuada, se hizo un tanteo con diferentes formas de embalse y se obtuvo el resultado que se muestra en la Figura 5.9. Para representar el retardo del hidrograma, se utilizó un “tramo virtual” con retardo de 30 minutos. El resultado aparece en la figura 5.10. La figura 5.11 muestra la relación Volumen-escorrentía del “embalse equivalente”.

6. Conclusiones y recomendaciones.

Luego del análisis de los resultados y de la información básica, se pueden generalizar varias conclusiones :

- El Modelo Hec-hms, estructuralmente es un buen modelo, fácil de utilizar y requiere poca información.
- En el caso de las calibraciones de los eventos en cuencas experimentales, el método del CN dio mejores resultados que Green&Ampt.
- Los parámetros más sensibles del modelo son el Número de Curva (CN), el tiempo de retardo (lag) y la abstracciones iniciales.
- Existe una buena correlación entre el tiempo de retardo y el tiempo de concentración, tanto estimado de los hidrogramas como estimado por Kirpich..
- En todos los casos, el valor del CN calibrado no es consistente con lo indicado en teoría, sin embargo, los valores obtenidos están dentro de los rangos reales.
- El modelo se comportó adecuadamente en las cuencas venezolanas.
- La metodología de síntesis de eventos de escorrentía utilizada demostró ser adecuada para estas evaluaciones.
- Se reitera que las frecuencias de la lluvias generadoras de la escorrentía para eventos normales, difiere mucho de la de los eventos de escorrentía
- En el caso de simulación de efectos de diques el modelo representan una buena opción para el diseño de los mismos.
- Del análisis de la lluvias utilizadas se desprende que de haber coincidencia de lluvias extremas con cuencas húmedas, el potencial de crecidas máximas es superior al registrado.

En vista de los resultados obtenidos se recomienda:

- Continuar la evaluación del modelo con más cuencas y eventos.
- Utilizar la metodología de síntesis de eventos para aprovechar la información existente.
- Ampliar los estudios relacionados con la obtención de valores adecuados de CN.
- Ampliar los estudios sobre evaluación de diques en la quebrada La Virgen, utilizando información detallada de los diques y mejor información de precipitación.

FIGURA 5.8. Hidrogramas medido y simulado en la Quebrada La Virgen, Mérida

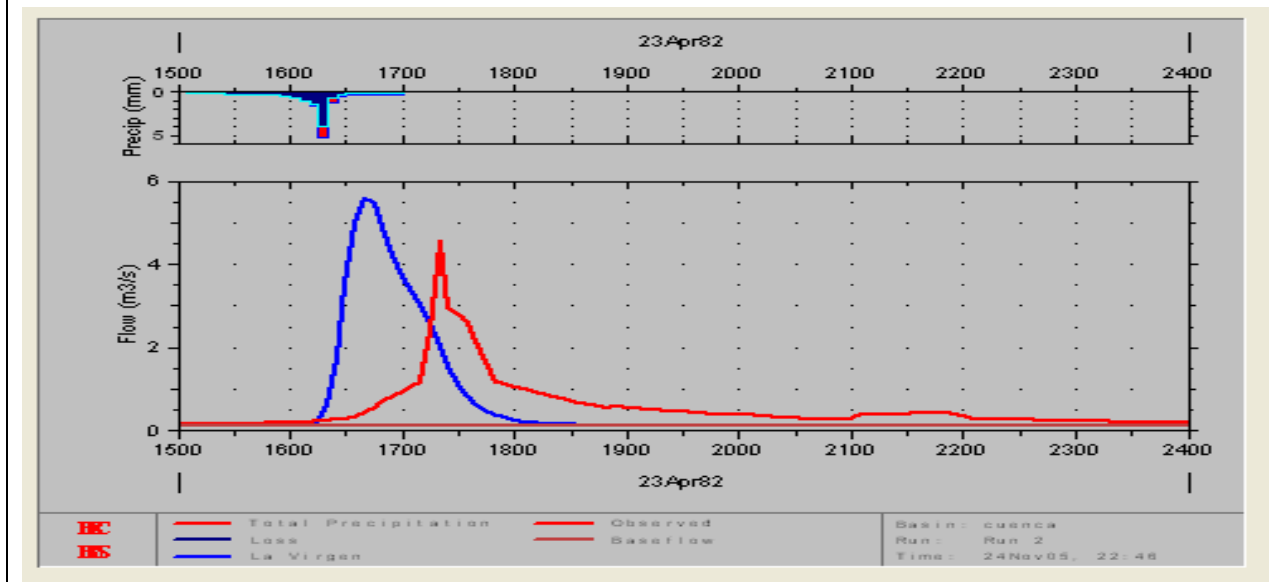


FIGURA 5.9. Gráfico de Almacenamiento e Hidrogramas para el Embalse Equivalente

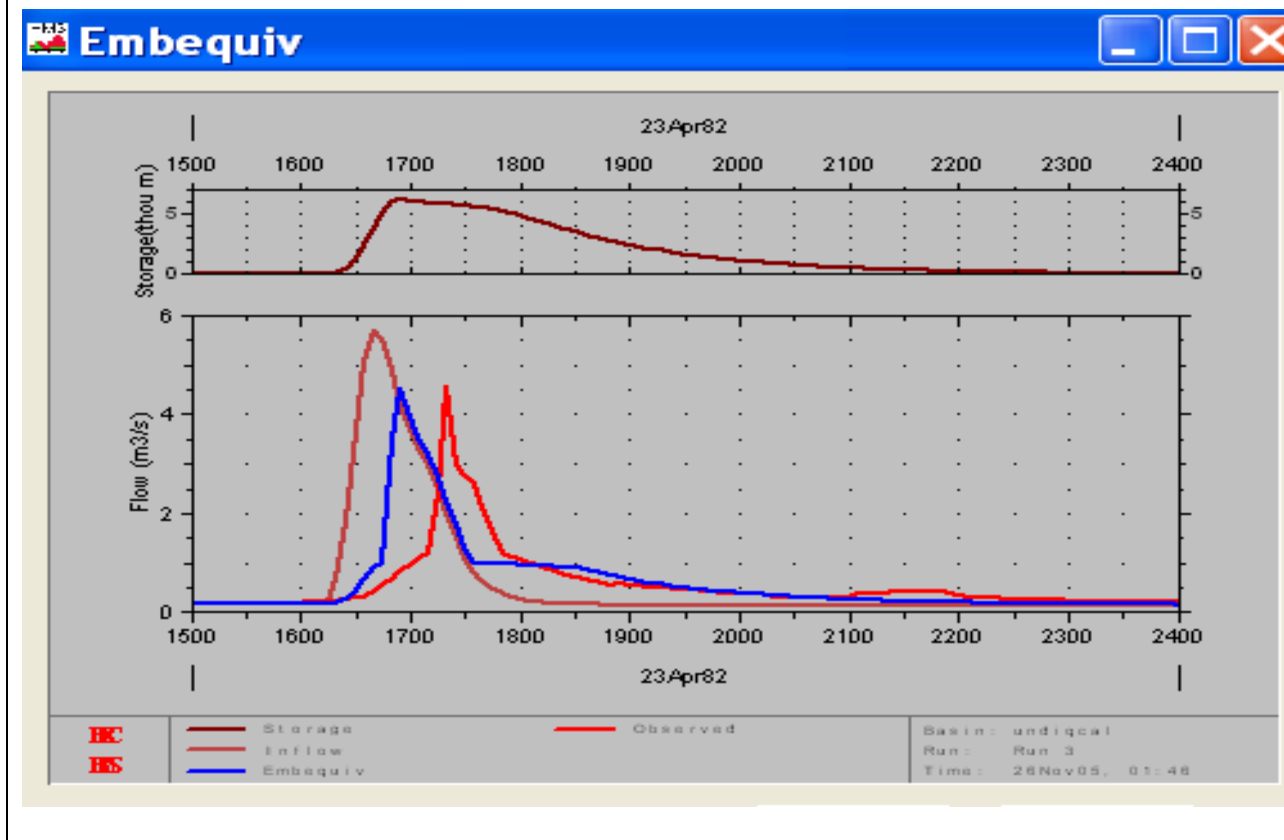


Figura 5.10. Hidrograma medido y simulado utilizando el Embalse Equivalente y Tramo Virtual.

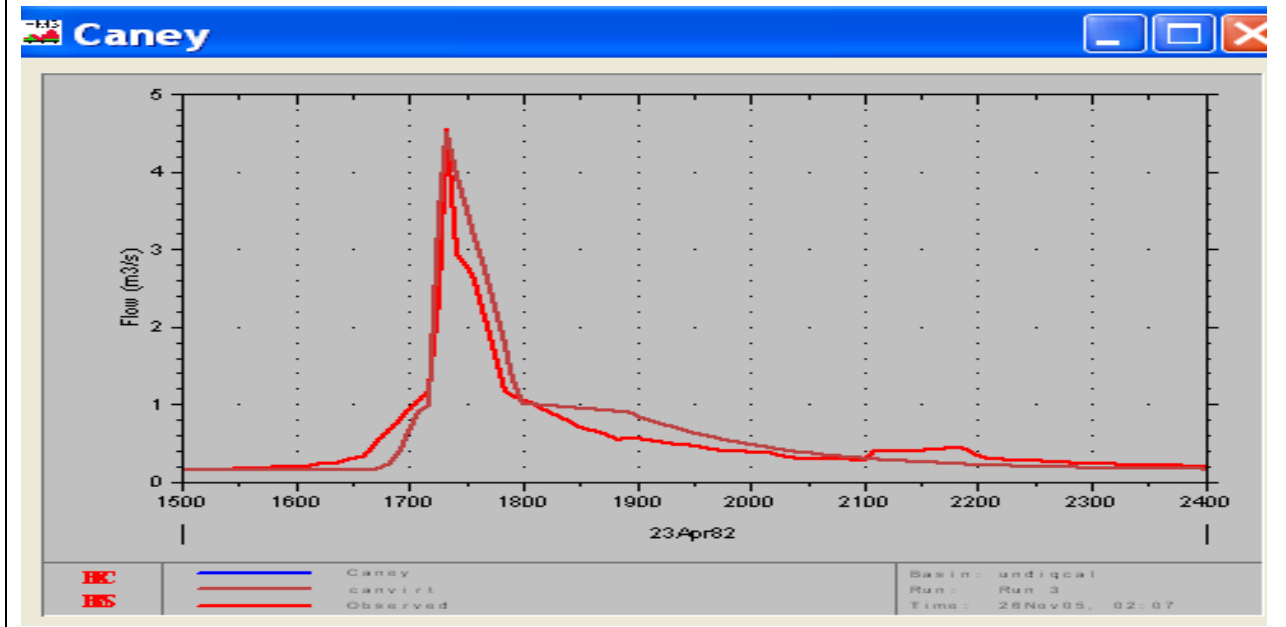
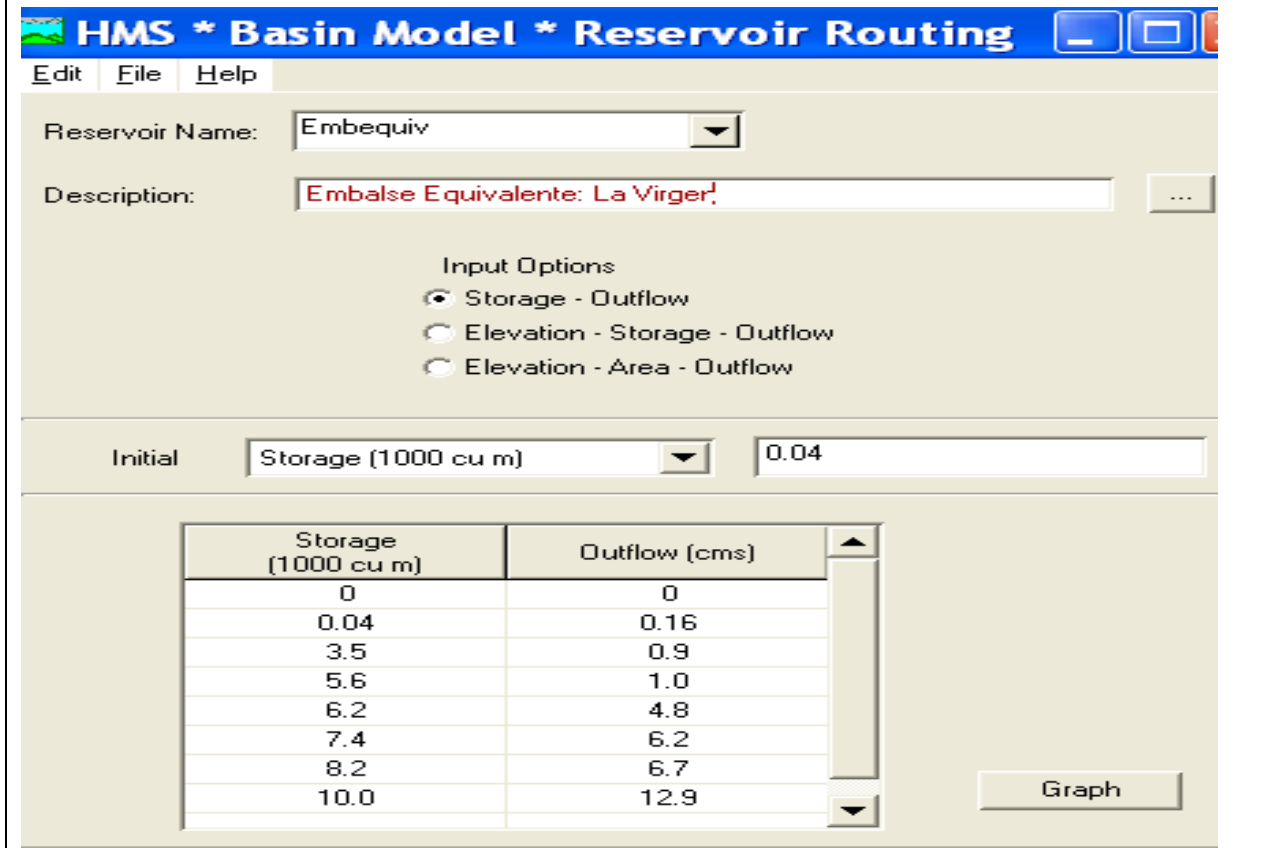


Figura 5.11. Características del Embalse Equivalente



7. Bibliografía

- | | | |
|--------------------------------|------|--|
| Amisial, Roger | 1976 | Problema Ilustrativo sobre Análisis de Frecuencia en la Hidrología. CIDIAT, Venezuela. |
| Adrien, Anne Marie | 1984 | Metodología para la estimación de parámetros de un modelo de simulación de escorrentía diaria en pequeñas cuencas. CIDIAT, Merida |
| Chow, Ven Te | 1965 | Handbook of Applied Hydrology. McGraw Hill Book Co, |
| Fernández, Napoleón | 1982 | Utilización de dos modelos de simulación hidrológica con fines de investigación en una cuenca experimental. CEFAP, ULA, Mérida, Venezuela |
| Molas, Pedro | 1985 | Generalización de Parámetros de un modelo de simulación hidrológica de eventos. CEFAP, ULA, Mérida |
| MOP-DGRH | 1974 | Hidranal 1973. Ministerio de Obras Públicas, DGRH, Distrito Hidrológico 1. |
| MOP-DGRH | 1974 | Hidranal 1973. Ministerio de Obras Públicas, DGRH, Distrito Hidrológico 2. |
| Overton , D.E y M.E Meadows | 1976 | Stormwater Modeling. Academic Press. |
| Rojas, Rafael | 1979 | Hidrologia de Tierras Agrícolas, CIDIAT, Venezuela |
| Rojas, Rafael | 1981 | Estimación de Caudales Máximos para Cuencas sin datos de Escorrentia en base a Precipitación y Parámetros de la Cuenca. CIDIAT, Venezuela. |
| Rojas, R | 2000 | Hidrología Aplicada al Manejo de Cuencas. CEFAP, ULA. Edición Revisada (borrador) |
| USARMY CORP OF ENGEENEERS | 2000 | Hydrologic Modeling System. Technical Referenc. |
| USARMY CORP OF ENGEENEERS | 2000 | Hydrologic Modeling System. User manual |
| SMADA | 1999 | Stormwater Management and Design. Distributions. |
| USDA | 1971 | Hydrologic data for Agricultural Watersheds in teh United State, 1964 |
| USDA | 1974 | Hydrologic data for Agricultural Watersheds in teh United State, 1968 |
| U.S. Soil Conservation Service | 1972 | National Engineering Handbook. Section 4, Hydrology. USDA, SCS. |

Anexos

CUADRO A1. EJEMPLO DE ANÁLISIS DE EVENTOS E HIDROGRAMAS

TAC	PAC	QIPH	IPH	
0	0.00	0.00	0.00	
1	0.10	0.00	6.20	
2	0.21	0.00	6.20	
3	0.31	0.00	6.20	
4	0.38	0.00	4.35	INICIO
5	0.46	0.21	4.35	
6	0.53	0.42	4.35	
7	0.60	1.54	4.35	
8	0.68	2.16	4.50	
9	0.75	2.54	4.50	
10	0.83	2.93	4.50	
11	0.90	3.31	4.50	PICO
12	0.92	2.88	1.20	FINPE
13	0.94	2.45	1.20	
14	0.96	1.93	1.20	
15	0.98	1.40	1.20	INF
16	1.00	1.14	1.20	
17	1.00	0.87	0.25	
18	1.01	0.61	0.25	
19	1.01	0.51	0.25	
20	1.02	0.41	0.25	
21	1.02	0.31	0.25	
22	1.02	0.21	0.25	
23	1.03	0.11	0.25	
24	1.03	0.09	0.25	
25	1.04	0.07	0.25	
26	1.04	0.06	0.25	
27	1.05	0.04	0.25	
28	1.05	0.03	0.25	
29	1.05	0.02	0.25	
30	1.06	0.02	0.25	
31	1.06	0.02	0.25	
32	1.07	0.02	0.25	
33	1.07	0.02	0.25	
34	0.00	0.02	0.00	
35	0.00	0.02	0.00	
36	0.00	0.01	0.00	
37	0.00	0.01	0.00	
38	0.00	0.01	0.00	

EVENTO DEL 21/6/1964. CUENCA 3H, HASTINGS NEBRASKA
SUELO C, TRIGO, 85% COBERTURA

CN2 83
CN3 93
Area 3.77 acres
tc Kirpic 3.12min

datos del evento			
Pe	0.69	tl	3
De	8	tc	3
tp	7	50%lag	3
inf	15	S	0.91
finpe	12	CN	92
Q	0.44	50%lag	3
50%Q	12	.6tc	1.8
50%P	9	.6tck	1.9

CUADRO A2. EJEMPLO DE ANALISIS DE DATOS DE CUENCAS VENEZOLANAS

Eventos año 1973: Rio Guaraque						Corrida del modelo Hec-hms							
qx	mes	Precip/duración-horas					datos Hec-hms			la=.2S		la calib	
mcs		1	3	6	9	CHA	CN	S	lag	la	qxHec	la	qxHec
25.45	set	12.4	18.6	22.3	24.2	3	90	28.2	45	5.64	24.9	4.8	25.5
11.80	nov	18.9	28.4	29.9	29.9	2	77	75.9	45	15.17	10	14.5	11.8
8.18	ago	22.7	29.2	31.4	31.4	2	77	75.9	45	15.17	9.5	16	8.2

Datos para el Hec-hms

Nov-73		Ago-73		set73		px100	
10	7.05	10	8.47	10	4.63	10	19.97
20	10.33	20	12.41	20	6.78	20	29.237
30	12.91	30	15.50	30	8.47	30	36.542
40	15.12	40	18.16	40	9.92	40	42.806
50	17.10	50	20.53	50	11.22	50	48.395
60	18.90	60	22.7	60	12.4	60	53.5
70	19.69	70	23.24	70	12.92	70	54.21
80	20.48	80	23.78	80	13.43	80	54.92
90	21.28	90	24.33	90	13.95	90	55.63
100	22.07	100	24.87	100	14.47	100	56.33
110	22.86	110	25.41	110	14.98	110	57.04
120	23.65	120	25.95	120	15.50	120	57.75
130	24.44	130	26.49	130	16.02	130	58.46
140	25.23	140	27.03	140	16.53	140	59.17
150	26.03	150	27.58	150	17.05	150	59.88
160	26.82	160	28.12	160	17.57	160	60.58
170	27.61	170	28.66	170	18.08	170	61.29
180	28.40	180	29.20	180	18.60	180	62.00

Datos de la cuenca			
CN2	77		
CN1	59.00		
CN3	90.00		
Area	85 Km2		
Long cauce	11.9 Km		
Pendiente cauc	7.60%		
tc Kirpich	1.20 h		
Valores Extremos			
qx100	100.00 mcs		
	Gua	PQue	Prom
p1h100	58.00	49.00	53.5
p3h100	61	63	62
Estimado Hec-hms			
qx100	210.00 mcs		

Cuadro A3							
Caudales máximos y precipitación correspondiente. Rio El Molino							
Caudales máximos anuales			Luvias extremas y su TR				
qx(mcs)	orden	TR	1 hora	3 horas	TR1	TR3	
521.04	1	17.00	28	29	2.80	1.75	
305.46	2	8.50	24	42	2.15	5.60	
254.77	3	5.67	40	42	14.00	7.00	
234.46	4	4.25	21	24	1.60	1.33	
189.56	5	3.40	22	28	1.75	1.47	
184.90	6	2.83	27	30	2.55	2.15	
155.96	7	2.43	24	32	2.00	2.33	
150.50	8	2.13	17	20	1.22	1.12	
134.74	9	1.89	35	41	7.00	4.67	
134.04	10	1.70	20	29	1.27	1.65	
130.09	11	1.55	29	38	3.11	3.11	
127.92	12	1.42	30	39	4.00	4.00	
118.00	13	1.31	34	47	5.60	9.33	
107.70	14	1.21	20	20	1.40	1.08	
103.60	15	1.13	16	27	1.12	1.40	
55.11	16	1.06	15	30	1.04	2.00	
	promedio	3.59			3.29	3.12	
	Mediana	2.01			2.08	2.08	

CUADRO A.4 ESTIMACION DEL CN PARA EVENTOS MEDIDOS

Rio Guaraque 73						Ospino 73					
mes	qmax mcs	P6 mm	QH mm	S mm	CN	mes	qx mcs	P6 mm	QH mm	S mm	CN
Ene	1.49	1.35	0.10		3.52 98.6	Ene	1.10	0.70	0.09	1.49	99.4
Feb	0.96	2.80	0.06		9.85 96.3	Feb	0.67	0.00	0.05	0.00	100.0
Mar	0.61	6.80	0.04		28.49 89.9	Mar	0.73	8.60	0.06	35.75	87.7
Abr	2.02	21.05	0.14		87.66 74.3	Abr	1.79		0.14	0.00	100.0
May	3.31	18.30	0.22		71.05 78.1	May	1.37	44.90	0.11	201.14	55.8
Jun	6.72	0.70	0.45		0.28 99.9	Jun	9.30	37.90	0.72	137.85	64.8
Jul	5.07	8.90	0.34		28.14 90.0	Jul	8.64	57.90	0.67	226.29	52.9 CN1
Ago	8.18	35.30	0.55		132.43 65.7	Ago	17.34	33.00	1.34	102.80	71.2
Set	25.45	22.15	1.71		56.94 81.7	Set	23.90	38.00	1.85	112.94	69.2
Oct	5.36	34.65	0.36		137.18 64.9	Oct	30.02	41.30	2.32	117.76	68.3
Nov	11.80	42.30	0.79		154.18 62.2 CN1	Nov	8.46	26.00	0.66	89.95	73.8
Dic	2.16	19.00	0.15		77.82 76.5	Dic	2.30	8.90	0.18	32.09	88.8

P6 precipitación de 6 horas
QH volumen de hidrograma