XVI CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
SANTIAGO, CHILE.
7 al 11 de Noviembre, 1994

SIMULACION DE EVENTOS EXTREMOS EN UN MODELO EN TIEMPO REAL. APLICACION EN CAUCES CON PENDIENTE MUY SUAVE

Ing. Luis E. Silveira, M.Sc.
IMFIA, Facultad de Ingeniería
Montevideo, Uruguay

RESUMEN

La capacidad de respuesta de grandes cuencas caracterizadas por cauces con pendientes muy suaves, a los que se asocian áreas de bañados o esteros, presenta peculiaridades que no han sido consideradas por la hidrología clásica.

La modelación de tipo precipitación-caudal, en tiempo real, se resuelve incorporando una función monótona decreciente que relaciona la precipitación acumulada en los últimos z días y el tiempo base de la función de propagación en cuenca. En particular, se analiza su aplicación a dos subcuencas de la cuenca del Río Negro, en Uruguay.

ABSTRACT

The rainfall-runoff response in large basins characterized by rivers with small slope and river-beds associated to sump areas has no been considered by classical hydrology.

Hydrological modelling of type rainfall-runoff, in real time, is solved by taking into account a monotone decreasing function relating accumulated rain falling during the last z days and the base time considered in the propagation function. On this point, the application to the Negro River basin in Uruguay is shown.

1. INTRODUCCION

Es sabido que los modelos deterministicos, de tipo precipitación caudal, de procesamiento continuo en tiempo real, se diferencian de los modelos de simulación de avenidas. No obstante, el procesamiento continuo requiere el mantenimiento del balance hídrico y, por lo tanto, una simulación aceptable de los hidrogramas correspondientes a eventos extremos.

En el caso de cuencas y cauces principales con pendiente muy suave, la simulación de eventos extremos requiere un análisis de estas particularidades morfológicas. En efecto, Kovacs (1978, 1983) hace notar que la teoria clásica de la hidrologia ha sido desarrollada en Europa, donde no fue necesario considerar la extensión de grandes planicies con pendientes muy suaves. Además, como lo señala este autor, cuando los primeros métodos de cálculo hidrológico fueron adoptados y mejorados en Norte América, esta limitante no ocasionó trastornos debido a que las condiciones naturales de las cuencas son similares.

En la modelación hidrológica de grandes planicies es conveniente distinguir entre dos grupos: i) sistemas hidrológicos no típicos, donde el concepto básico de cuenca con un punto singular de descarga no es aplicable, y ii) llanuras con pendiente muy suave. La Sección Hidrologia Superficial y Subterránea del Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingenieria Ambiental (IMFIA) está desarrollando un modelo hidrológico de tipo precipitación caudal, en tiempo real, para este último grupo, según se describe en Silveira et al. (1991). En una primer etapa, el modelo ha sido calibrado y validado para la cuenca del Río Negro, considerando una división de la misma en 6 subcuencas, con superficies del orden de los 10.000 km^2. Esta cuenca ha sido seleccionada debido a lo apropiado de sus condiciones hidrológicas y su interés a nivel nacional, dada la importancia de la generación hidroeléctrica.

2. HIDROLOGIA DE LLANURAS

2.1 Clasificación de cuencas según la pendiente

A efectos de precisar el alcance de este estudio, se conviene que una posible clasificación de cuencas en función de la pendiente y sus respuestas hidráulicas es la que se presenta en el Cuadro 1:

Pendiente Cauce Principal		Tipo de cuenca
< 10-15 cm/Km	Despreciable	Humedales (Sistema no tipico)
15-35 cm/Km	Suave	Llanuras
>> 35 cm/Km	Pronunciada	Sistemas clásicos (Montañosa)

Tipos de cuencas en función de la pendiente
- Cuadro 1 -

2.2 Procesos hidrológicos dominantes

El ciclo hidrológico mantiene su validez en llanuras con pendiente muy suave. No obstante, las condiciones morfológicas son diferentes en comparación con las cuencas clásicas con pendientes pronunciadas y, por lo tanto, también cambia el peso relativo de los distintos procesos hidrológicos. En efecto, la precipitación que alcanza la superficie del terreno se almacena en depresiones locales de diferente tamaño, formando zonas de encharcamiento. Asimismo, la caminería rural tiende - en general - a acelerar la concentración de agua sobre la superficie del terreno. Ambas situaciones - depresiones locales y caminería rural - conducen a que solamente en tormentas muy intensas se observe escurrimiento superficial. En efecto, hay eventos en los que la precipitación total es menor que la capacidad de retención del terreno y, consiguientemente, no tiene lugar escurrimiento superficial alguno. Debido a la retención de agua sobre la superficie del terreno, la infiltración es muy importante y, una vez que cesa la precipitación, una parte considerable del agua retenida sobre la superficie del terreno evapora. Asimismo, también es importante el proceso de percolación, que relaciona la zona de humedad del suelo con las capas acuíferas más profundas.

Es notorio que la zona de humedad del suelo tiene un rol central en el ciclo hidrológico continental, dado que la capacidad de infiltración del suelo y el grado de humedad son fundamentales para determinar la trayectoria que han de seguir las gotas de agua que alcanzan la superficie del terreno. Este rol parece ser más importante en zonas llanas, puesto que el agua permanece mayor tiempo sobre la superficie del terreno, dando lugar a un incremento de los procesos de evaporación e infiltración, razón por la que la relación Q/P (coeficiente de escurrimiento) decrece.

Otra consecuencia de la retención sobre la superficie del terreno, es un mayor peso de las componentes de escurrimiento subsuperficial y flujo base. Asimismo, en la sección de salida de la cuenca, se tiene que los hidrogramas se caracterizan por tiempo de retardo y tiempo base mayores y caudal pico menor, en comparación con las cuencas con pendientes pronunciadas.

Resumiendo, puede afirmarse que el peso relativo del transporte vertical comparado con el escurrimiento superficial y subsuperficial, es mayor en terrenos llanos que el que se observa en cuencas con pendientes pronunciadas.

2.3 Respuesta a eventos extremos

Cuando la intensidad y duración de los eventos pluviométricos superan la capacidad de absorción y retención del terreno, tiene lugar el escurrimiento superficial. Por otra parte, en cuencas con pendientes muy suaves, es común encontrar extensas áreas compuestas por lagunas, bañados y esteros, asociadas a la red de cauces principales. Cuando se producen lluvias intensas, éstas áreas se comportan como superficies impermeables adicionales asociadas a la red de drenaje, que constituyen verdaderas planicies de inundación. El efecto hidráulico que tiene la circulación por estas planicies de inundación resulta en una alteración de la pendiente y, por lo tanto, en un incremento del índice de escurrimiento y la capacidad de respuesta de la cuenca.

3. SIMULACION DE EVENTOS EXTREMOS

3.1 Función de propagación en cuenca

El modelo en tiempo real en desarrollo, de tipo precipitación - caudal, considera una función de propagación en cuenca, que relaciona tiempo y área, para simular el tránsito de una gota de agua hasta el punto de descarga de la cuenca durante los siguientes TB días.

De forma similar a la función de propagación propuesta por Bergström (1976) en el modelo HBV, el escurrimiento total generado por las zonas superior e inferior del suelo, Q_{calc}, se distribuye en días consecutivos de acuerdo a un hidrograma unitario triangular, con base TB días y tiempo pico TP días.

El valor inicial de TB puede ser estimado a partir del análisis de hidrogramas observados, o bien tomando en cuenta el tiempo de concentración de la cuenca (2 o $3 * t_c$).

Consiguientemente, se obtiene una función de propagación variable, la cual en algún grado toma en cuenta la variación del tiempo de viaje de una gota de agua con la magnitud del escurrimiento.

3.2 Eventos extremos

Para considerar las distintas formas de respuesta de las cuencas o cauces con pendiente muy suave, se incorpora una función monótona decreciente que relaciona la precipitación acumulada en los últimos z días y los tiempos base (TB) y pico (TP) de la función de propagación en cuenca, de acuerdo a lo siguiente:

```
P<=P0       TB = TB0
            TP = TP0

P0<P<P1     TB = TB0 * (P/P0) ** [ln(TB1/TB0)/ln(P1/P0)]
            TP = TP0 * (P/P0) ** [ln(TP1/TP0)/ln(P1/P0)]

P=>P1       TB = TB1
            TP = TP1
```

donde P es la precipitación acumulada en los últimos z días. TB0 y TP0 son los tiempos base y pico manejados durante eventos donde la precipitación queda retenida sobre la superficie del terreno, y TB1 y TP1 los tiempos base y pico correspondientes a eventos extremos máximos. P0 y P1 son los límites de precipitación que diferencian un tipo de evento de otro.

4. DESCRIPCION DE LAS CUENCAS DE ESTUDIO

La cuenca del Río Negro, con una superficie de aproximadamente 62.000 km^2, comprende 3 embalses: Gabriel Terra, Baygorria y Constitución, cuyas centrales producen alrededor del 60% de la energía hidroeléctrica generada en el país.

En una primer etapa se ha procedido a calibrar y validar el modelo considerando una división en 6 cuencas. Esta división comprende las cuencas incrementales de cada uno de los embalses y los cauces principales que aportan a los mismos: ríos Tacuarembó, Negro y Yí.

Para este estudio se han considerado solo dos subcuencas, figura 1, cuyas características principales se enumeran en el Cuadro 2.

Cuenca	Río	Superficie (Km^2)	Pendientes (10^{-3})	
			Cuenca	Cauce
PºLaguna I	Tacuarembó	13945	7.4	0.32
PºPereira	Negro	11890	6.5	0.26

Características principales de las cuencas en estudio
- Cuadro 2 -

La pendiente media ponderada de los cauces principales ha sido calculada de acuerdo al método propuesto por Taylor Schwartz. (Aparicio Mijares, 1989)

Los suelos están constituidos por praderas, de uso primordialmmente ganadero, siendo de poca entidad las instalaciones de riego para el agro, así como la forestación.

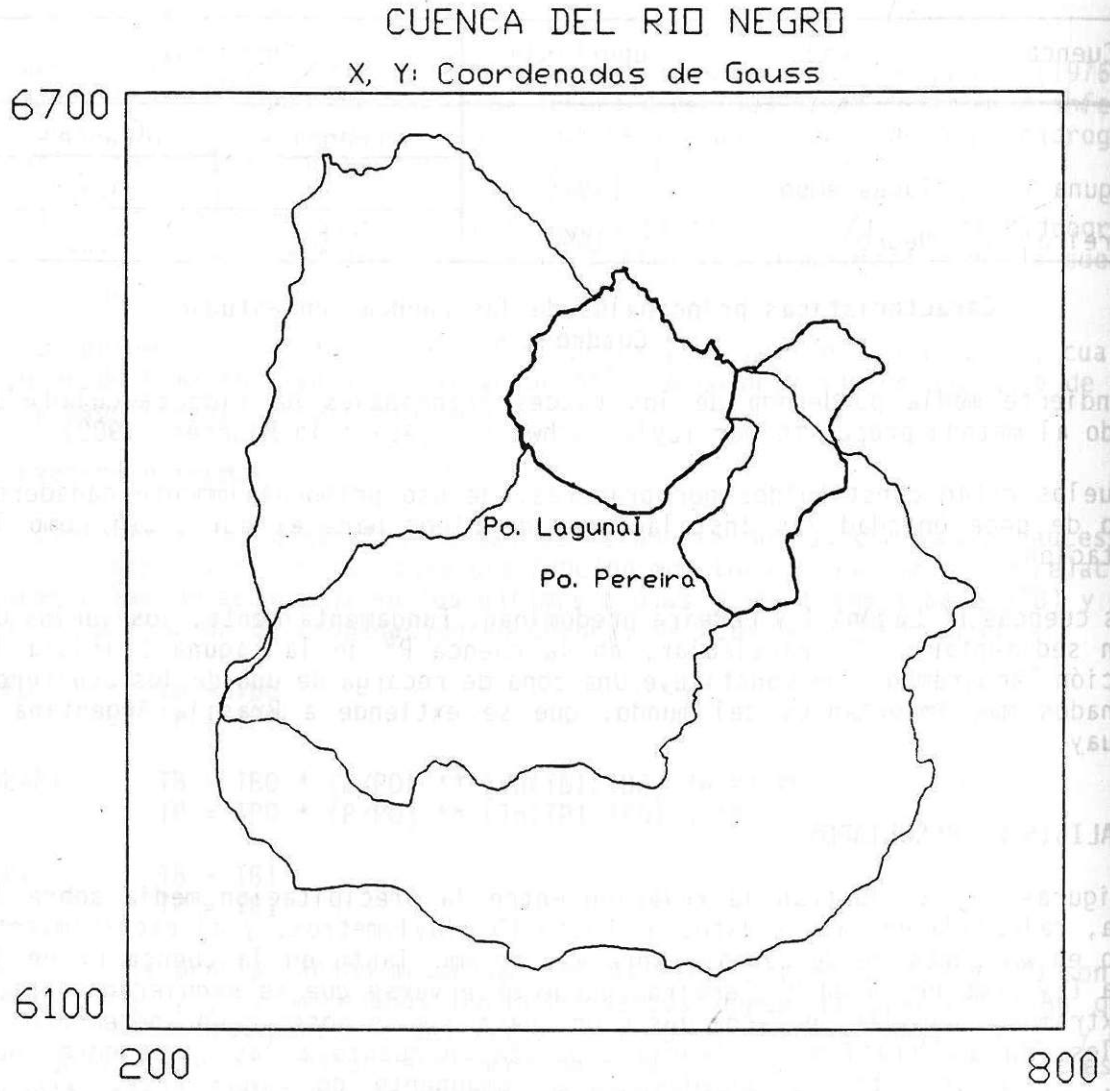
En las cuencas Pº Laguna I y Pereira predominan, fundamentalmente, los suelos de origen sedimentario. En particular, en la cuenca Pº de la Laguna I aflora la formación Tacuarembó, que constituye una zona de recarga de uno de los acuíferos confinados más importantes del mundo, que se extiende a Brasil, Argentina y Paraguay.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

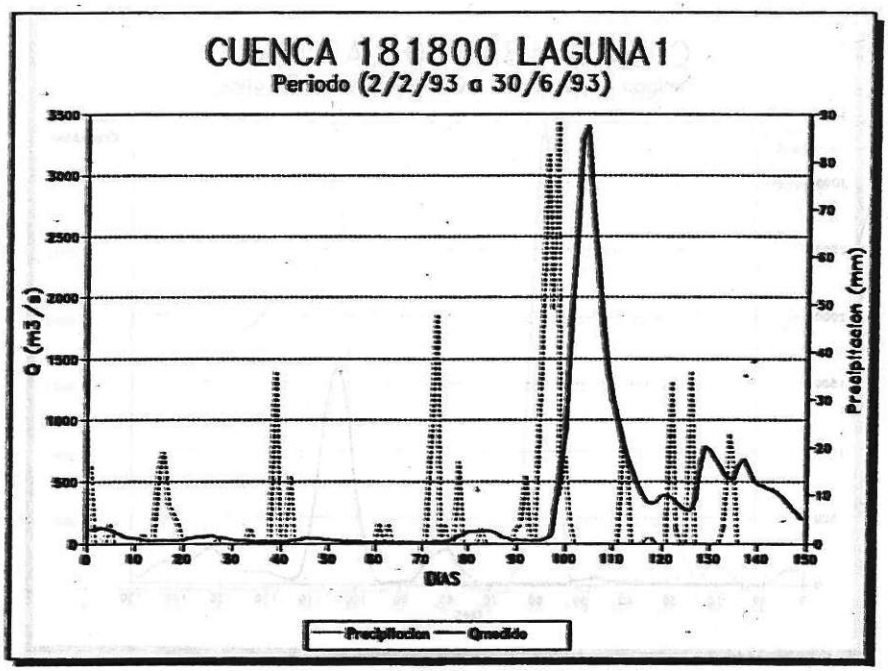
Las figuras 2 y 3 ilustran la relación entre la precipitación media sobre la cuenca, calculada en base a datos de hasta 10 pluviómetros, y el escurrimiento medido en el punto de descarga, expresado en mm. Tanto en la cuenca Pº de la Laguna I y como en la de Pº Pereira, puede observarse que se requieren eventos muy extremos o lluvias de larga duración, para que se observe un incremento de caudales, lo que reafirma la teoria expuesta en cuanto a las componentes del flujo. Es decir, aportes debidos a la componente de flujo base, al que excepcionalmente - en eventos extremos - se agrega una componente de flujo subsuperficial y superficial.

Las figuras 4 y 5 ilustran el efecto de una función de propagación con TB fijo en la modelación de las cuencas Pº Laguna I y Pº Pereira, y las figuras 6 y 7 el efecto de una función de propagación con TB y TP variables según los niveles de precipitación. En las primeras se tiene un claro desajuste entre hidrogramas

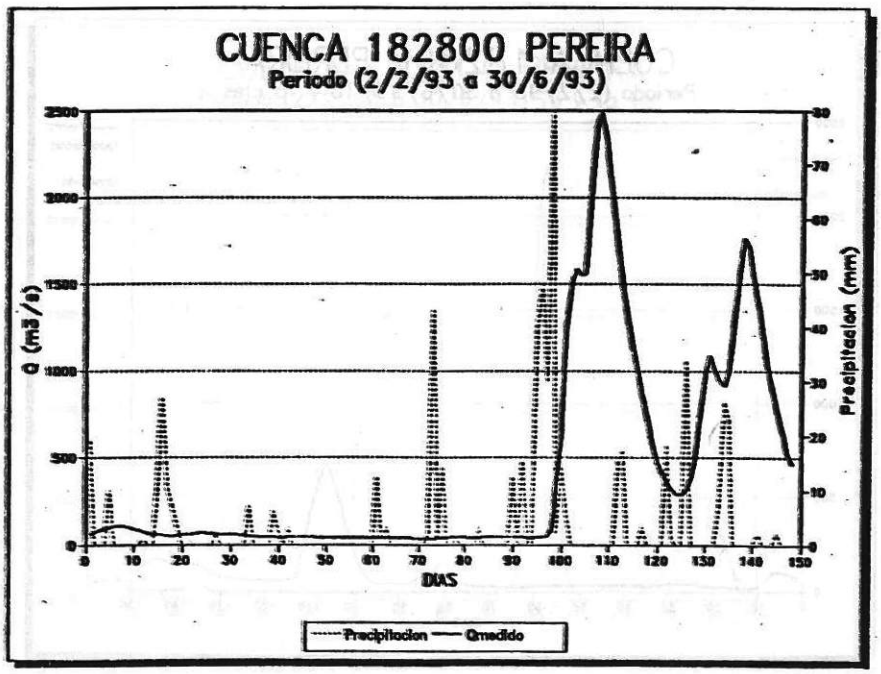
observados y calculados para la tormenta del 8 al 14 de mayo de 1993, mientras que las segundas permiten un mejor ajuste de este evento extremo, con una precipitación acumulada de 301 mm en Pº de la Laguna I y 221 mm en Pº Pereira.



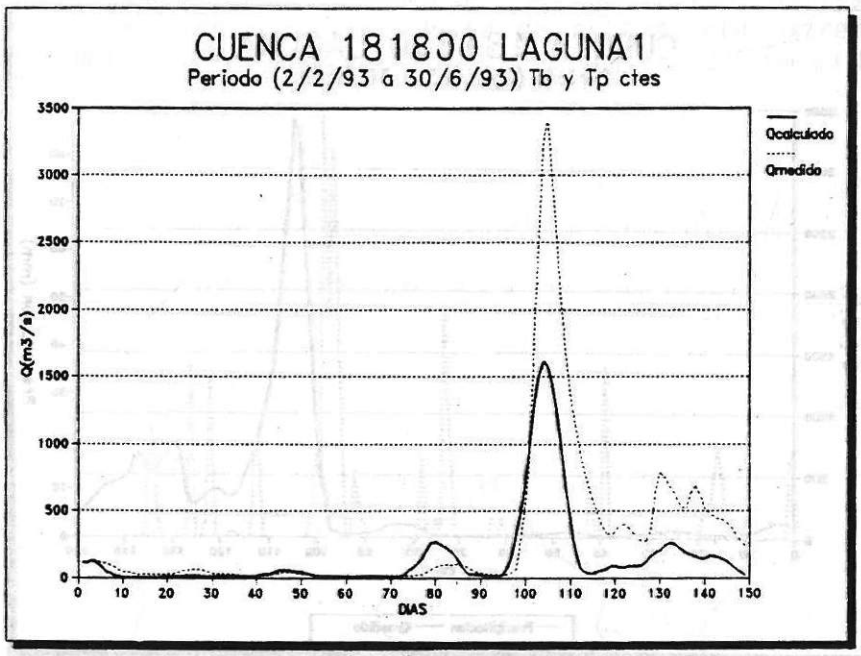
- Figura 1 -



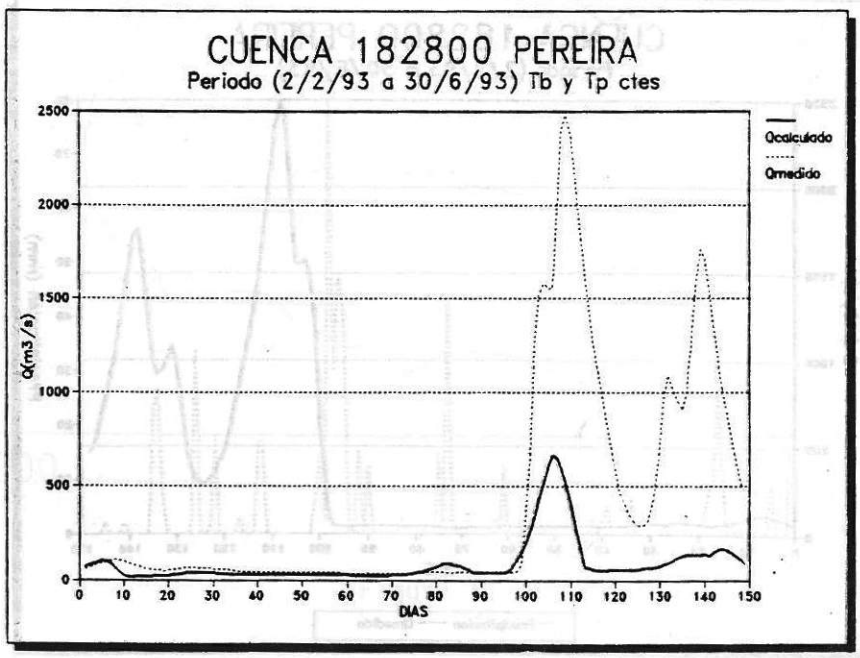
- Figura 2. Relación Precipitación-Caudal -



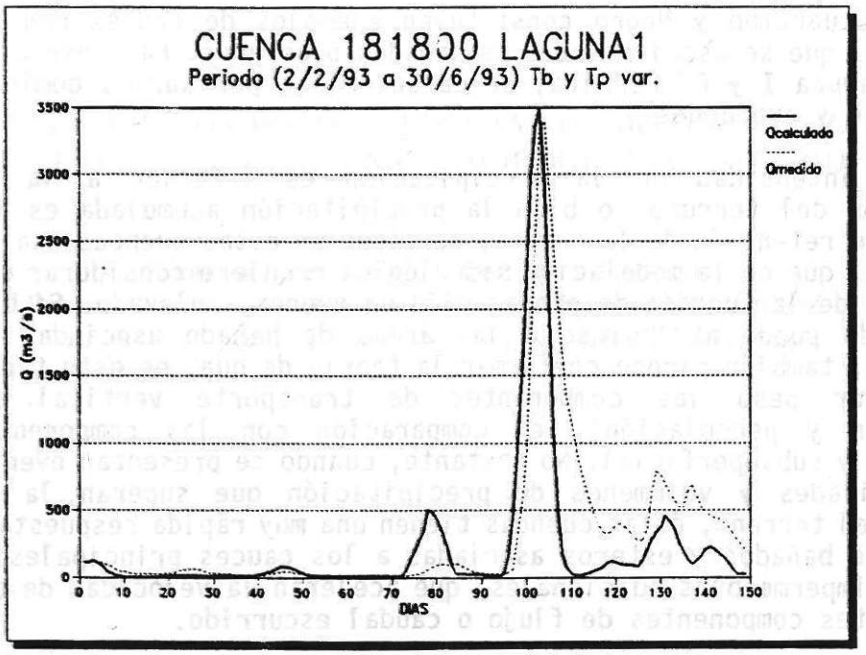
- Figura 3. Relación Precipitación-Caudal -



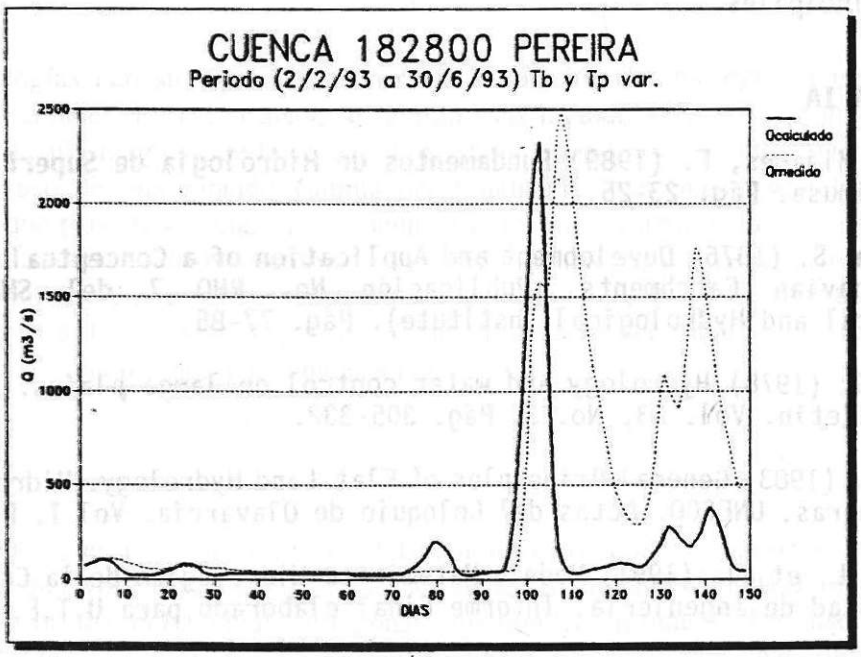
- Figura 4 -



- Figura 5 -



- Figura 6 -



- Figura 7 -

6. CONCLUSIONES

Los ríos Tacuarembó y Negro constituyen ejemplos de cauces con pendiente muy suave, a los que se asocian áreas de bañados o esteros. Las respectivas cuencas, Pº de la Laguna I y Pº Pereira, se caracterizan por suelos dominantes de tipo sedimentario y profundos.

Cuando la intensidad de la precipitación es inferior a la capacidad de infiltración del terreno, o bien la precipitación acumulada es inferior a la capacidad de retención de la cuenca, se tiene en estas cuencas una respuesta muy amortiguada, que en la modelación hidrológica requiere considerar un tiempo base - parámetro de la función de propagación en cuenca - elevado. Si bien, en parte este retardo puede atribuirse a las áreas de bañado asociadas a los cauces principales, también parece confirmar la teoría de que, en este tipo de cuencas, tienen mayor peso las componentes de transporte vertical (evaporación, infiltración y percolación), en comparación con las componentes de flujo superficial y subsuperficial. No obstante, cuando se presentan eventos extremos, con intensidades y volumenes de precipitación que superan la capacidad de retención del terreno, éstas cuencas tienen una muy rápida respuesta debido a que las áreas de bañados y esteros asociadas a los cauces principales se comportan como áreas impermeables adicionales, que aceleran la velocidad de evacuación de las diferentes componentes de flujo o caudal escurrido.

Una generalización de esta teoría requiere considerar un mayor número de cuencas con características disímiles en cuanto a superficie y pendientes de los cauces principales. Asimismo, es necesario analizar con mayor detalle la influencia del tipo, profundidad y uso de suelos, en relación a las pendientes medias de cuencas o cauces principales.

7. BIBLIOGRAFIA

-. Aparicio Mijares, F. (1989) Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa. Pág. 23-25.

-. Bergström, S. (1976) Development and Application of a Conceptual Runoff Model for Scandinavian Catchments. Publicación No. RHO 7 del SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute). Pág. 77-85.

-. Kovacs, G. (1978) Hydrology and water control on large plains. Hydrological Sciences Bulletin. Vol. 23, No. 3. Pág. 305-332.

-. Kovacs, G. (1983) General Principles of Flat-Land Hydrology. Hidrología de las grandes llanuras. UNESCO. Actas del Coloquio de Olavarría. Vol I, Pág. 296-355.

-. Silveira, L. et al. (1991) Modelo Matemático-Hidrológico de la Cuenca del Río Negro. Facultad de Ingeniería. Informe Final elaborado para U.T.E.