SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

X CONGRESO NACIONAL

EL HIDROGRAMA UNITARIO SINTETICO EN LA MODELACION DE HIDROGRAMAS DE CRECIDAS PLUVIALES

Ximena Vargas M. [1]

Alfredo Gómez Ll. [2]

RESUMEN

Se analiza el uso del método del hidrograma unitario sintético, en la modelación de crecidas pluviales en cuencas andinas donde la variación de la línea de nieves provoca apreciables cambios del área pluvial aportante durante tormentas. La metodología se aplica en particular a la cuenca definida por la estación fluviométrica Arrayán en La Montosa.

---

1 Ingeniero Civil. Profesor Asociado. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile

2 Ayudante de Investigación. Egresado de Ingeniería Civil. Universidad de Chile.

1. INTRODUCCION.

La enorme diversidad de problemas hidrológicos, ha inducido, en el desarrollo de la hidrología, a la existencia de una también enorme diversidad de modelos hidrológicos. Los modelos que se han desarrollado tienen, todos ellos, ventajas y limitaciones que el modelador debe tener en consideración en el momento de seleccionar uno de ellos para el problema que intenta resolver.

En el caso de cuencas andinas en que, en el período pluvial, la línea de nieves puede variar sustancialmente de una tormenta a otra, con el consiguiente cambio de área pluvial aportante que ello significa, se agrega una complejidad adicional a la simulación del prototipo a través de un modelo matemático, ya que esto debe ser considerado, además de tomar en cuenta los procesos físicos involucrados en el fenómemo lluvia-escorrentía.

En modelos tipo caja negra, como la fórmula racional y la fórmula de Verni y King (1977) este aspecto puede ser considerado en forma relativamente simple (Seguel y Stowhas, 1985), sin embargo, estos modelos proporcionan sólo información concerniente a la magnitud de los caudales máximos. Dado que en algunos casos dicha información resulta insuficiente para los fines del estudio, se recurre a métodos como el hidrograma unitario, el que además entrega información sobre la forma del hidrograma resultante en una tormenta específica. Para la aplicación del método en cuencas no instrumentadas, se han propuesto diversos métodos para obtener hidrogramas unitarios sintéticos, HUS, cuyos parámetros se definen en base a características de las cuencas tales como longitud y pendiente del cauce principal y de la cuenca. En nuestro país, los esfuerzos tendientes a determinar los valores de los parámetros que definen esta metodología (Benítez y Arteaga, 1985) han considerado que la cuenca aportante tiene un área constante, determinada en base a un valor promedio de la línea de nieves.

Es el objetivo de este trabajo, el analizar el uso de esta metodología en un modelo de simulación, bajo condiciones de área

aportante variable durante la tormenta, en la cuenca andina del río Mapocho, en particular en la cuenca definida por la estación Arrayán en La Montosa.

2. METODOLOGIA

El modelo de simulación que se plantea para analizar la respuesta horaria de una cuenca ante la ocurrencia de una tormenta, considera que el fenómeno precipitación efectiva-escorrentía, queda representado por la función de transformación denominada hidrograma unitario sintético, HUS.

Adoptando para el hidrograma unitario una forma triangular, las ecuaciones que definen el HUS, para una lluvia de duración t_u, (Benítez y Arteaga, 1985) son:

$$t_p = C_t \left(\frac{L L_g}{\sqrt{S}} \right)^{n_t} \qquad (1)$$

$$q_p = C_q t_p^{\,n_q} \qquad (2)$$

$$t_u = \frac{t_p}{C_u} \qquad (3)$$

siendo t_p el tiempo entre el centro de gravedad del hietograma y el instante en que ocurre el caudal máximo q_p; L la longitud del cauce principal; L_g la longitud hasta el centro de gravedad de la cuenca; S la pendiente media de la cuenca calculada según la fómula de Mociornita y C_t, n_t, C_q, n_q y C_u los parámetros del método.

Para definir totalmente el HUS, se define además que el tiempo base de éste debe ser tal que el volumen del hidrograma debe corresponder a un volumen unitario, de acuerdo con el área de la cuenca. El área pluvial se define según la posición de la línea de

nieves, la que se estima bajo el supuesto que la isoterma cero marca el cambio de precipitación líquida a sólida. En el caso particular de la cuenca en estudio, la posición horaria de la isoterma se calcula en base a la información de temperaturas máximas y mínimas diarias, disponibles en las estaciones Quinta Normal (520 msnm) y el Yeso (2540 msnm) considerando que ellas varían linealmente entre la hora en que ocurre la temperatura mínima y la temperatura máxima y suponiendo un gradiente lineal de temperatura entre ambas estaciones.

Para caracterizar las condiciones iniciales de la cuenca, se utiliza un modelo nival simplificado, que además de entregar la parte de la cuenca pluvial cubierta por nieve, permite estimar los derretimientos que pueden producirse durante la tormenta. Para estos efectos, se considera el área nival dividida en bandas cada 250 m de altitud y en cada una de ellas se realiza un balance de energía considerando la incidencia sólo de los principales factores: radiación de onda larga, radiación de onda corta, calor de convección y calor cedido por la lluvia; los que se estiman según las expresiones dadas por el Corp of Engineers (1956) y adoptando valores para los parámetros de acuerdo a las características de la zona en estudio (Vargas y Gómez, 1991).

Para la determinación de la precipitación efectiva, se considera que la precipitación total sobre la cuenca queda dada en función de la precipitación observada en la estación Quinta Normal y la cota media de la cuenca, de acuerdo con la expresión derivada por Peluchonneau (1990); se asume que esta precipitación tiene la misma distribución temporal que en la estación base; luego, se selecciona un modelo de infiltración (índice ϕ, pérdida proporcional o exponencial) de modo de satisfacer la ecuación empírica propuesta por Peluchonneau (1990) para estimar la precipitación efectiva total atribuible a la tormenta, en función de la precipitación total caída en la cuenca, de su duración y de un índice de precipitación antecedente.

El calculo de la escorrentía directa se realiza entonces en forma horaria, calculando el hidrograma unitario para la lluvia de

duración 1 hora; a dicha escorrentía se agrega el flujo base y, cuando corresponde, el derretimiento horario, que se supone ocurre a la cota correspondiente a la línea de nieves, por lo que se considera una velocidad media de traslación hasta el punto de salida de la cuenca.

3. APLICACION

El modelo descrito, se ha aplicado a la cuenca andina de 210,8 Km² definida por la estación Arrayán en la Montosa (33°21' latitud sur, 70°29' longitud oeste). Esta estación, controlada por la Dirección General de Aguas, cuenta con información limnigráfica desde 1982. Las principales características de la cuenca se detallan en la tabla 1, apreciándose que la pendiente S presenta un mínimo aproximadamente para la cota 2250 msnm, sin embargo, el parámetro característico $L \cdot L_g/\sqrt{S}$, resulta siempre creciente, tal como se aprecia en la figura 1.

Al aplicar el modelo, considerando una infiltración constante (índice ϕ) con los valores de parámetros indicados por Benítez y Arteaga (1985) para la zona, es decir:

$C_t = 0,386$ $\quad n_t = 0,397$

$C_q = 355,2$ $\quad n_q = -1,22$ $\quad C_u = 5,5$

se obtienen, en general, hidrogramas aislados de forma muy esbelta y con caudales máximos superiores a los valores observados, según se aprecia en las figuras 2 y 3 para algunas crecidas ocurridas en el año 1987, que fue el año seleccionado para la calibración del modelo.

En las figuras 4 y 5 se muestran los hidrogramas simulados en esas misma crecidas, bajo igual supuesto para la infiltración, con los valores de parámetros obtenidos de la calibración:

$C_n = 0,400$ $\quad n_t = 0,55$

$C_q = 400$ $\quad n_q = -1.55$ $\quad C_u = 4,5$

TABLA 1: ESTERO EL ARRAYAN EN LA MONTOSA

CARACTERISTICAS DE LA CUENCA

COTA (msnm)	AREA (Km^2)	L (Km)	Lg (Km)	S (%)
1043	0,00	0,0	0,0	0,00
1250	2,58	4,5	1,4	49,43
1500	14,75	9,5	3,2	47,73
1750	35,62	12,7	4,4	45,27
2000	59,58	15,2	5,7	44,65
2250	81,08	16,8	7,0	41,78
2500	104,95	18,8	8,0	44,46
2750	127,95	21,6	9,2	44,47
3000	150,95	24,3	10,4	44,48
3250	179,68	27,0	12,1	69,97
3500	195,24	30,0	14,1	68,72
3750	205,95	32,0	14,2	69,00
3844	216,65	33,0	14,3	69,00

En la crecida de Julio se aprecia una forma similar del hidrograma simulado respecto al observado, modelándose apropiadamente los valores máximos, aunque se observan algunos desfases en el tiempo, los que se atribuyen a la inadecuada representación de la distribución temporal de la lluvia. En la tormenta de Junio, se observa que el volumen de escorrentía directa no queda bien representado, sin embargo la forma del hidrograma se considera apropiada, aunque no se representa adecuadamente el valor máximo del hidrograma. En la figura 6 se muestra el hidrograma resultante de suponer la infiltración horaria proporcional a la magnitud de lluvia, lo que pone de manifiesto la importancia de la distribución de la lluvia efectiva para la correcta representación del hidrograma de salida.

En las figuras 7 a 9 se comparan los hidrogramas simulados con los registrados en otras crecidas de importancia ocurridas en la cuenca. En la crecida de Junio de 1986, la forma del hidrograma resulta bien representada aunque no se estima exactamente el caudal máximo. En las crecidas del año 1982, donde sólo se dispone de registros limnimétricos, los hidrogramas simulados permiten

identificar dos problemas básicos de la modelación, el primero corresponde al ya mencionado de la distribución de la lluvia efectiva, mientras que el segundo se refiere a la necesidad de simular el flujo subsuperficial. Al respecto, el modelo de simulación considera que el agua infiltrada se manifiestaría como escorrentía aguas abajo del punto de salida de la cuenca.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir que el hidrograma unitario sintético puede ser usado para simular la escorrentía directa en cuencas pluvio-nivales y nivo-pluviales, tomando en consideración las variaciones de área que ocurren durante las tormentas, con los correspondientes cambios de las magnitudes de las variables geomorfológicas que ello involucra.

De acuerdo con la calibración, los valores de los parámetros serían diferentes a los obtenidos por Benítez y Arteaga (1985); sin embargo, se estima que estos valores no deben considerarse como definitivos, al menos mientras no se cuente con métodos más adecuados para la determinación tanto de la distribución temporal de la lluvia como de la infiltración en la cuenca.

Los resultados de la simulación, muestran también que el derretimiento de nieve juega un papel secundario en las tormentas de importancia. Se concluye además, que el flujo subsuperficial debe ser modelado de manera que éste se manifieste en el punto de salida de la cuenca.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Benítez A. y F. Arteaga. 1985. "Método para la Determinación de Hidrogramas Unitarios en Chile." Revista de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Vol. 1, N°1.

Corp of Engineers, US Army. 1956. "Summary Report of the Snow Investigation, Snow Hydrology" North Pacific Division, Portland, Oregon. USA.

Peluchonneau O. 1990. "Determinación de la Precipitación Efectiva de una Tormenta usando Información Regional" Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.

Seguel R. y L. Stowhas. 1985. "Estimación de Crecidas de Diseño en Cuencas Mixtas Pluvio-Nivales" VII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica. Concepción, Chile. Vol. 2, pp 317-335

Vargas X. y A. Gómez. 1991. "Modelo de Simulación basado en el Concepto del Hidrograma Unitario Sintético aplicado a la Cuenca Alta del Mapocho" Centro de Recursos Hidráulicos, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. CRH 91-70-I (en prensa)

Verni F. y H. King. 1977. "Estimación de Crecidas en Cuencas no Controladas" III Coloquio Nacional de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. pp 357-374

RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen al Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico por el financiamiento otorgado para el desarrollo de este trabajo, a través del proyecto FONDECYT 1190-88.

FIG. 1: PARAMETRO CARACTERISTICO
ARRAYAN EN LA MONTOSA

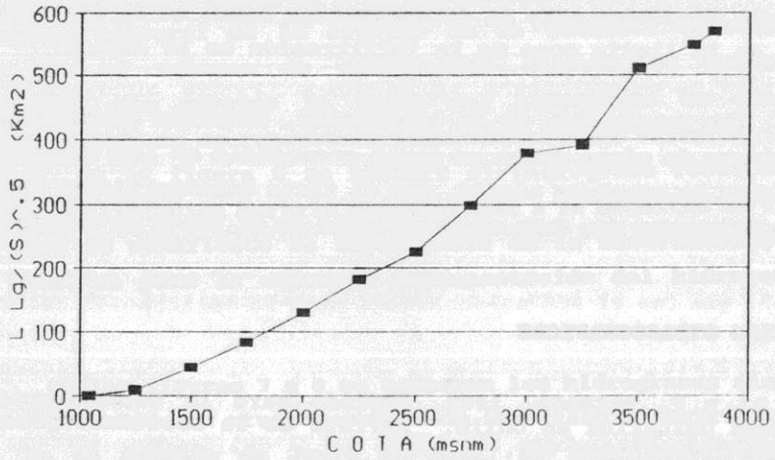

FIG. 2: ARRAYAN EN LA MONTOSA
JULIO 87. PARAMETROS BENITEZ.

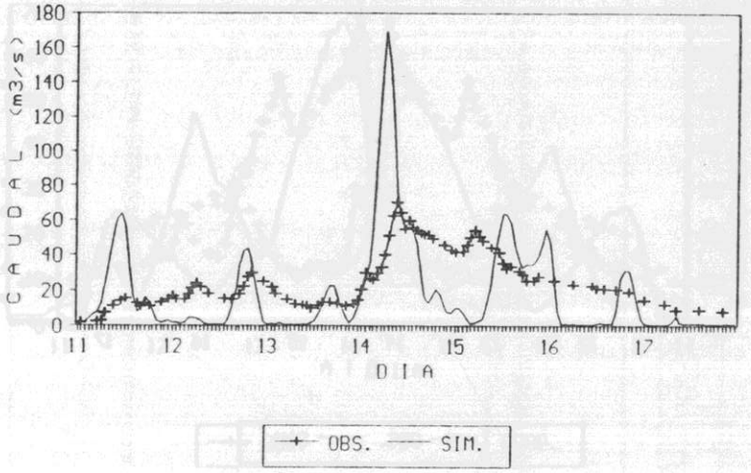

FIG. 3: ARRAYAN EN LA MONTOSA
JUNIO 1987. PARAMETROS BENITEZ.

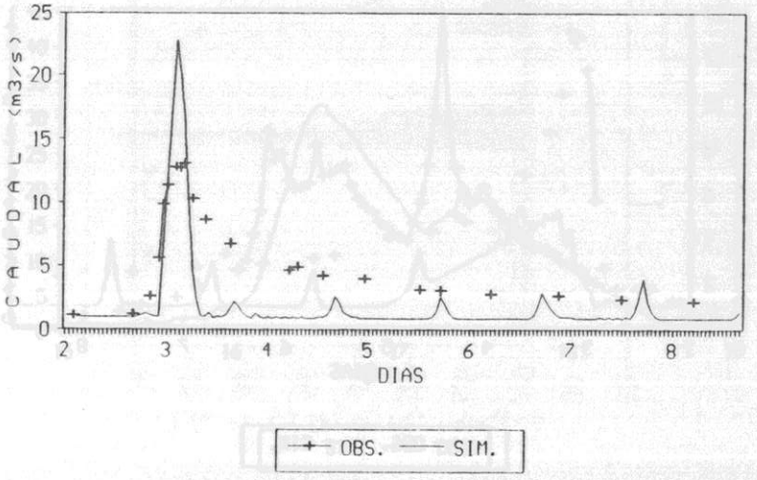

FIG. 4: ARRAYAN EN LA MONTOSA
JULIO 87. CALIBRACION.

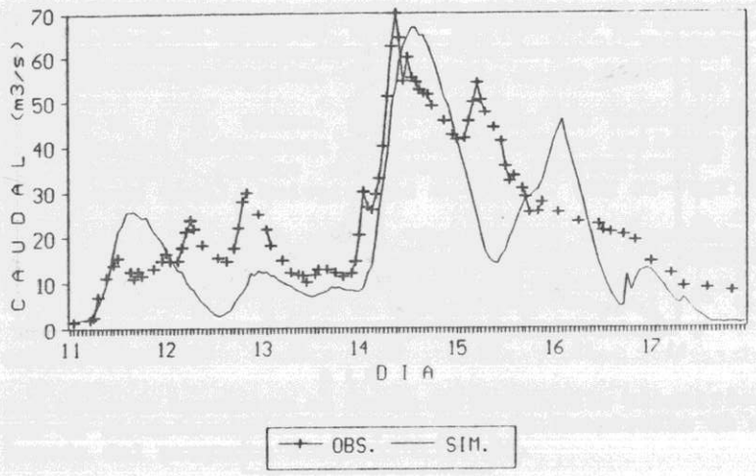

FIG. 5: ARRAYAN EN LA MONTOSA
JUNIO 1987. CALIBRACION.

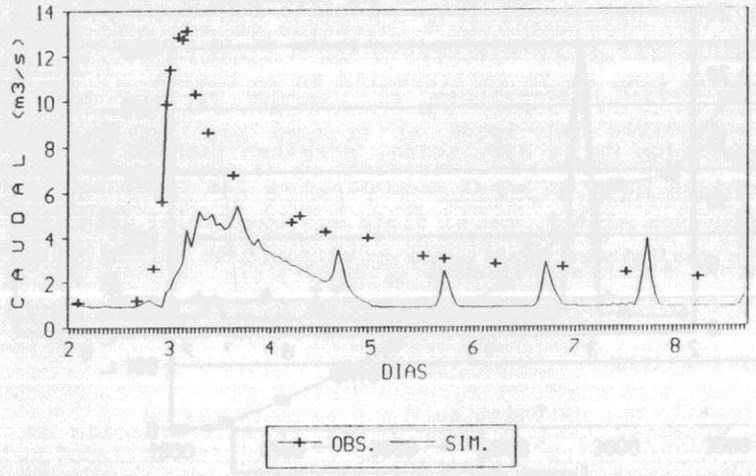

FIG. 6: ARRAYAN EN LA MONTOSA
JULIO 87. PERDIDA PROPORCIONAL.

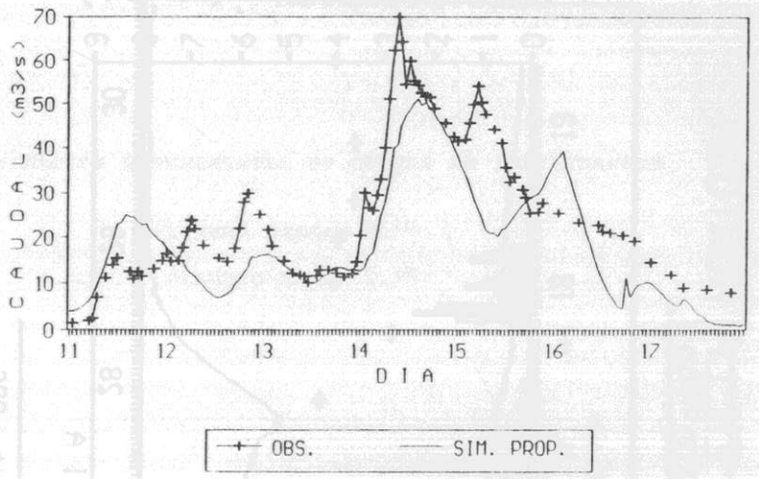

FIG. 7: ARRAYAN EN LA MONTOSA
JUNIO 1986

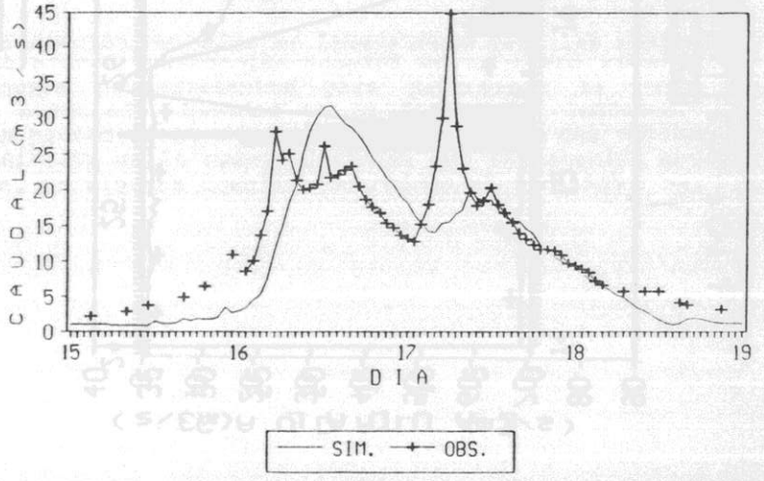

FIG. 8: ARRAYAN EN LA MONTOSA
CRECIDA JUNIO 1982.

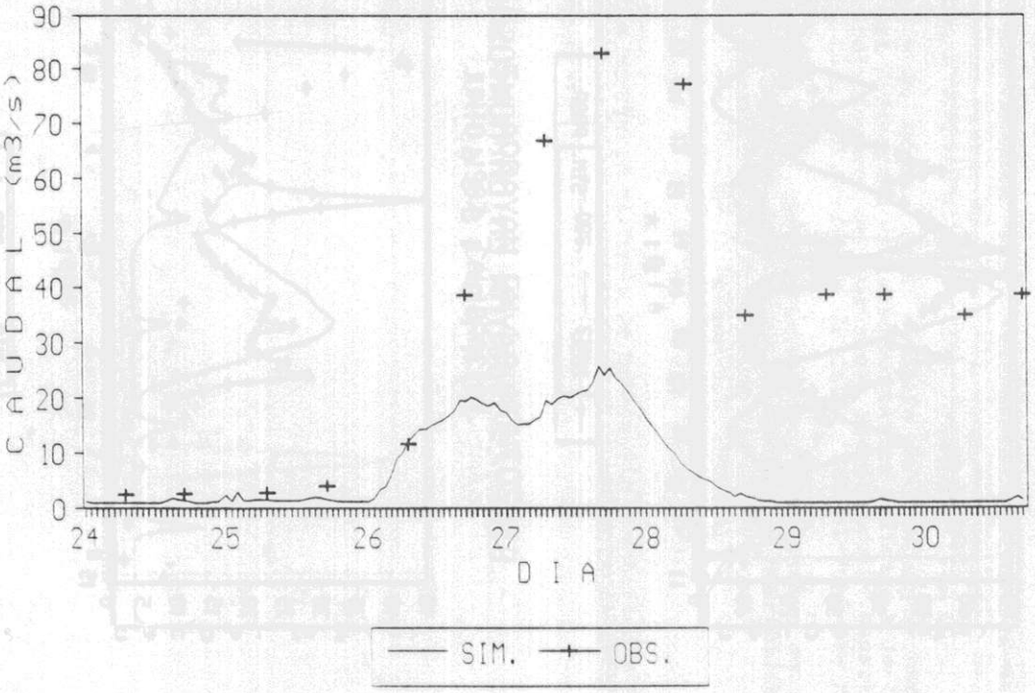
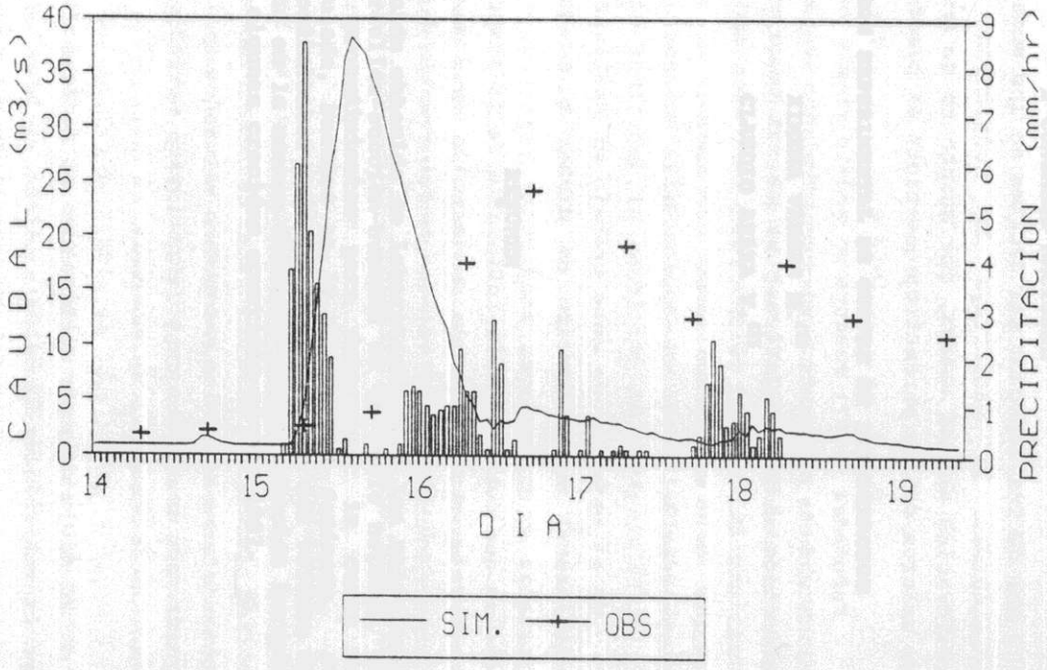
FIG. 9: ARRAYAN EN LA MONTOSA
CRECIDA JULIO 1982