

## **ANEXO VI**

### **MODELACIÓN MATEMÁTICA HIDROLÓGICA DE LAS CRECIDAS**

**DE 1998, 2003 Y 2005**

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el objeto de inferir las características del proceso precipitación-escorrentía en la cuenca del Río Salado santafesino se implementaron modelos matemáticos de simulación hidrológica de baja a mediana complejidad.

Se utilizaron los modelos matemáticos de simulación hidrológica de tipo determinísticos HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center USCE, 2001) y ARHYMO (Maza, J.A.; L.A.T. Fornero; C.J. Litwin; P.C.O. Fernández, 1996).

HEC-HMS fue generado por el Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers. El programa ejecutable, su manual de usuario y demás documentación está disponible libremente en INTERNET en la dirección [www.hec.usace.army.mil/T](http://www.hec.usace.army.mil/T).

ARHYMO en su versión bajo MS WINDOWS® es distribuido por el Instituto Nacional del Agua (INA) a un costo de \$250, y actualmente esa versión, y otra bajo sistema MS DOS® de distribución gratuita, son utilizadas ampliamente en casi todas las provincias argentinas.

Los eventos analizados fueron las crecidas de febrero de 1998, abril-mayo de 2003 y marzo de 2005 debido a que en todos estos casos se tuvo un gran detalle de la distribución espacial y temporal de las precipitaciones y los caudales máximos registrados fueron significativos a los fines de la pericia.

Para modelar las crecidas se delimitaron los límites de la cuenca del Salado santafesino y se la dividió en subcuencas, para ello se utilizaron como antecedentes estudios del INA y de la DPOH. En base a esta información cartográfica se determinaron los parámetros morfométricos necesarios para los modelos mencionados:

Tabla 1. Parámetros morfométricos

Subcuenca	Cauce	Superficie	Longitud Cauce	Cota Superior	Cota inferior	DH	Pendiente
		Km <sup>2</sup>	Km	m	m	m	
1	Río Salado	3433.47	258.51	92.5	45	47.5	0.02%
2	A° Las Conchas	9849.47	244.31	93.75	42.5	51.25	0.02%
3		1199.10	149.29	77.5	35	42.5	0.03%
4	A° San Antonio	3826.04	180.52	97.5	32.5	65	0.04%
5	A° Cululu	9627.72	205.47	110	20	90	0.04%
6	Río Calchaquí	10652.68	292.67	99	45	54	0.02%
7		806.17	61.75	51	40	11	0.02%
8		2133.23	408.46	52.5	11.25	41.25	0.01%
	Total	41527.88					

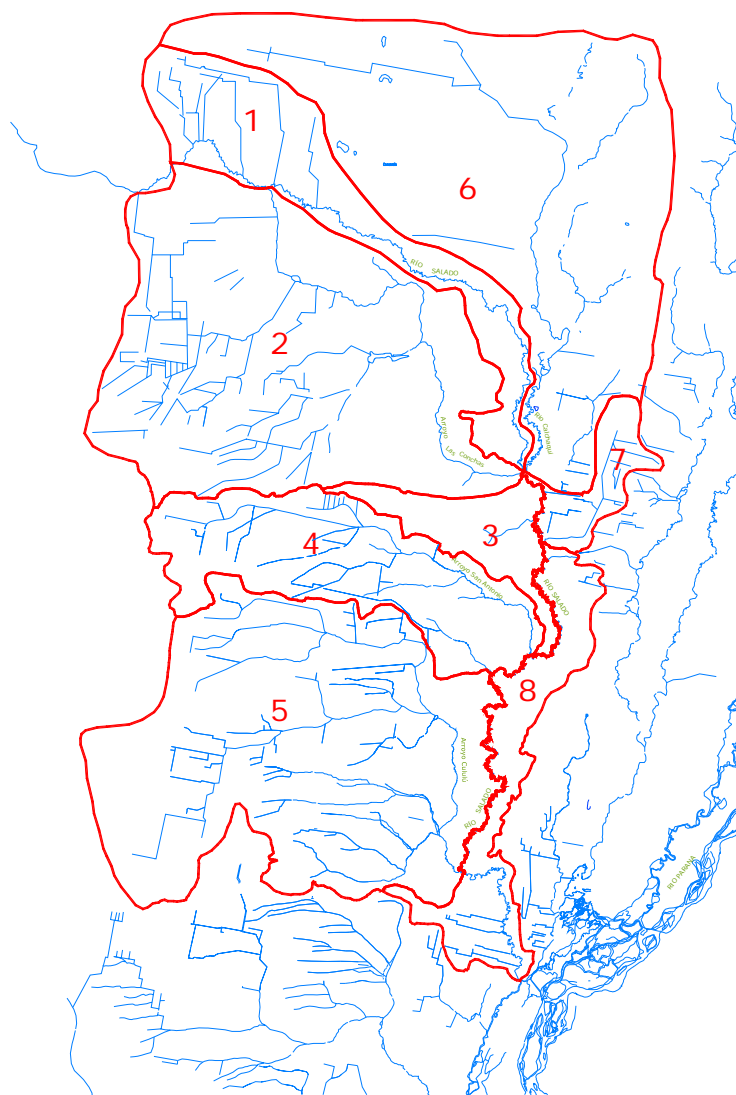


Figura 1. Cuenca y subcuencas del Río Salado santafesino

A efectos de simular las pérdidas en la precipitación se utilizó el método del U.S. Soil Conservation Service (U.S. Natural Resources Conservation Service, 2001).

Previa a la modelación de la crecida de 2003 se explicita la descripción de tal crecida con los detalles que se han podido recopilar en ese sentido, y que ayudan a comprender el fenómeno físico acontecido.

## 2. MODELACIÓN DE LA CRECIDA DE 1998

Desde el 4 al 24 de febrero de 1998 se produjeron precipitaciones en la cuenca del Salado santafesino que produjeron una crecida cuyo pico alcanzó 2672 m<sup>3</sup>/s el 17/02/98 en la RP70 (tal crecida es la tercera en importancia en la historia conocida del Río Salado).

En base a las precipitaciones diarias suministradas por la Dirección de Comunicaciones de la Pcia. de Santa Fe se armaron los mapas de isohietas diarias (Figura 2) los que permitieron luego calcular la precipitación media areal en cada subcuenca (Tabla 2).

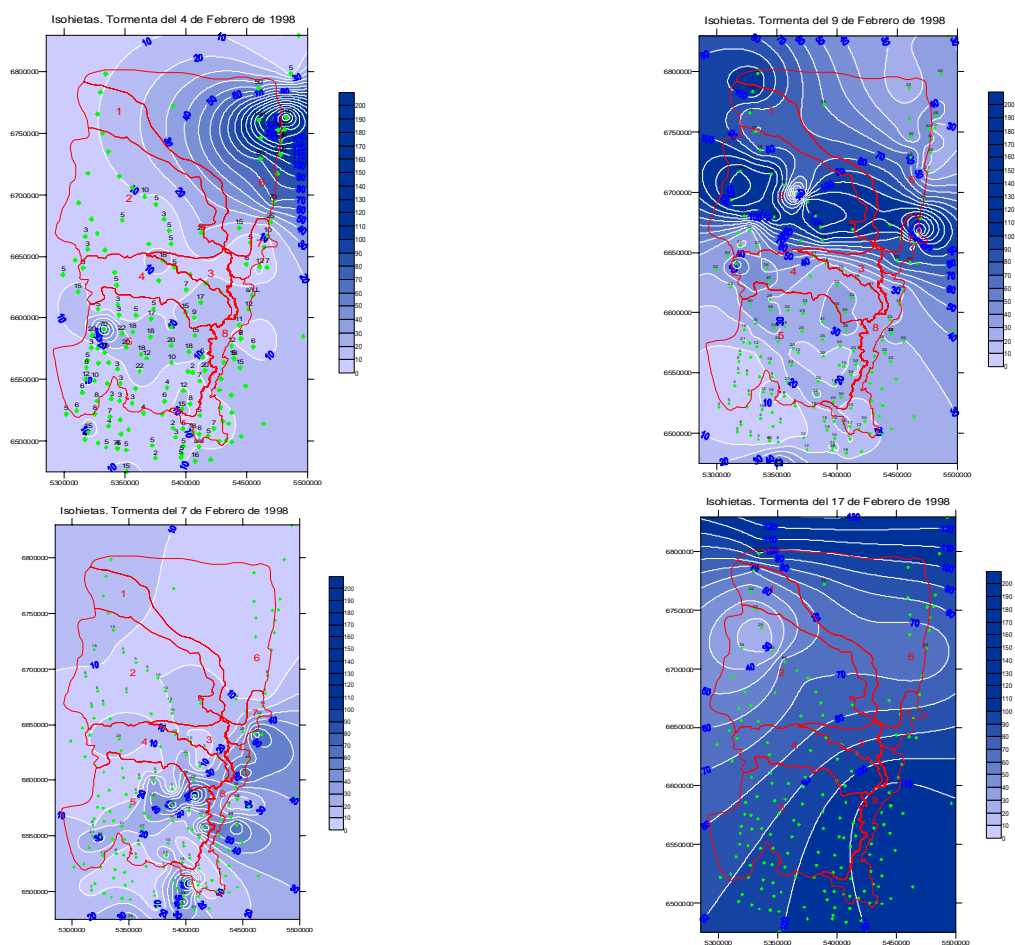


Figura 2. Algunos de los mapas de isohietas del evento de 1998

Tabla 2.

Precipitaciones Medias Areales (mm). Febrero de 1998

Sub Cuenca	Area (km2)	feb-04	feb-07	feb-09	feb-17	feb-18	feb-19	feb-23	feb-24
1	3433.5	19.7	11.9	86.3	59.1	27.0	13.4	24.2	12.2
2	9852.7	9.6	9.7	93.9	57.3	39.6	7.7	34.9	16.5
3	1199.1	9.7	14.7	43.0	89.4	40.8	11.5	13.8	11.4
4	3826.0	8.2	17.6	35.2	84.7	46.4	12.1	23.8	9.1
5	9627.7	11.2	20.2	20.3	93.6	45.5	15.5	14.8	5.2
6	10652.7	53.7	7.4	64.0	77.0	30.5	11.1	28.4	16.5
7	806.2	9.4	25.1	92.3	85.6	35.8	8.9	20.2	10.9
8	2133.2	10.2	30.4	24.7	109.5	31.9	17.6	12.4	5.0
Cuenca Total	41531.1	22.0	13.9	58.1	77.6	37.8	11.9	24.6	12.0

Con la información de caudales medios diarios aforados en la RP 70 y la precipitación media areal en toda la cuenca se pudo reconstruir la situación en la Figura 3.

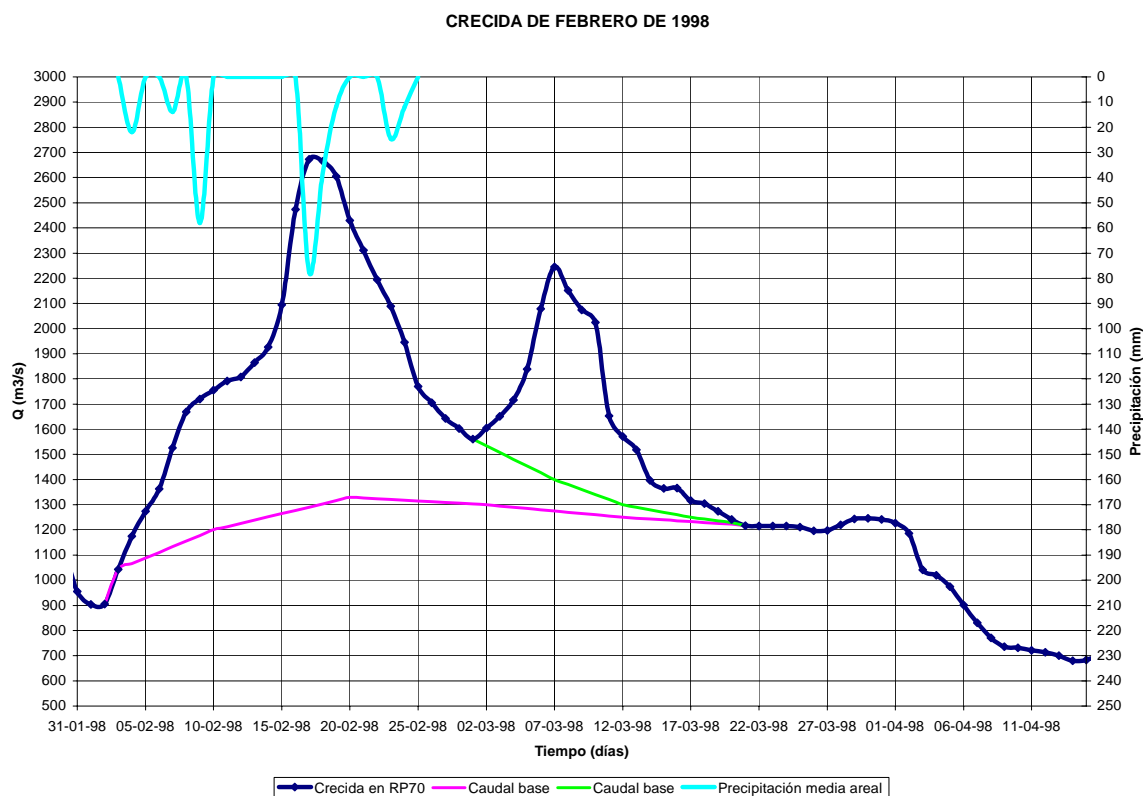


Figura 3. Hidrograma del evento de febrero de 1998

En la Figura 3. se puede observar el hietograma de la precipitación media areal sobre la cuenca y se aprecia que el pico de la crecida es generado por las precipitaciones ocurridas

entre el 4 y 9 de febrero. A efectos de la determinación del volumen de escurrimiento comprendido en la primera crecida que comprende al pico máximo, se separó el caudal base como se muestra en la Figura 3.

En base al escurrimiento (39,2 mm) del hidrograma separado del caudal base y al monto total de precipitación (94 mm) se pudo determinar el valor de CN y de abstracción inicial (Ia) considerando que  $Ia = S^{0.55}$  donde S es el almacenamiento potencial:

$$CN = 75.4$$

$$Ia = 11.4 \text{ mm}$$

Debido a las condiciones de precipitaciones antecedentes se supone que la Condición de Humedad Antecedente es III (suelo saturado), en consecuencia CN= 75.4 corresponde a CNII= 56.7 (Condición de Humedad Antecedente en estado de capacidad de campo) y a CNI= 36.5 (Condición de Humedad Antecedente con suelo seco). Es de hacer notar que el valor de CNII= 56.7 se aproxima a la siguiente descripción según las tablas del US SCS:

Suelo: B

Uso del suelo: pasturas

Práctica: sigue curvas de nivel

Condición hidrológica: regular

CN=59

## 2.1 Modelación con HEC-HMS

El modelo HEC-HMS posee la capacidad de poder simular la transformación lluvia escurrimiento con varias opciones: hidrograma unitario del SCS, hidrograma unitario de Clark, onda cinemática, etc.

Se realizó la modelación siguiendo el esquema topológico de la Figura 4 y se utilizó las opción del hidrograma unitario de Clark. No se realizó tránsito de hidrogramas debido a que no se contaba con las secciones del tramo del Río Salado entre la confluencia del A° Calchaquí y la RP 70.

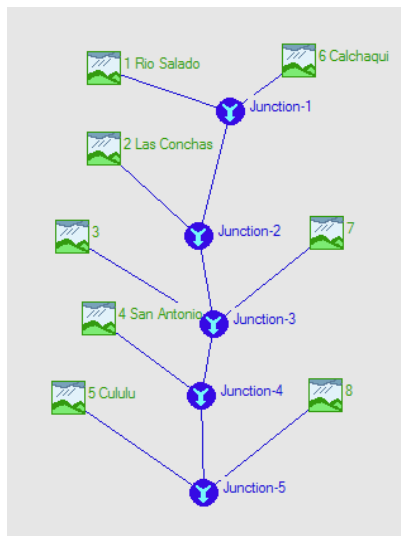


Figura 4. Topología de modelación con HEC-HMS

La calibración de sus parámetros se llevó a cabo utilizando el método de Gradiente Univariado y como función objetivo el método de Pico Ponderado por la Raíz Cuadrada del Error Medio. El resultado de tal calibración se aprecia en la Figura 5 y Tabla 3.

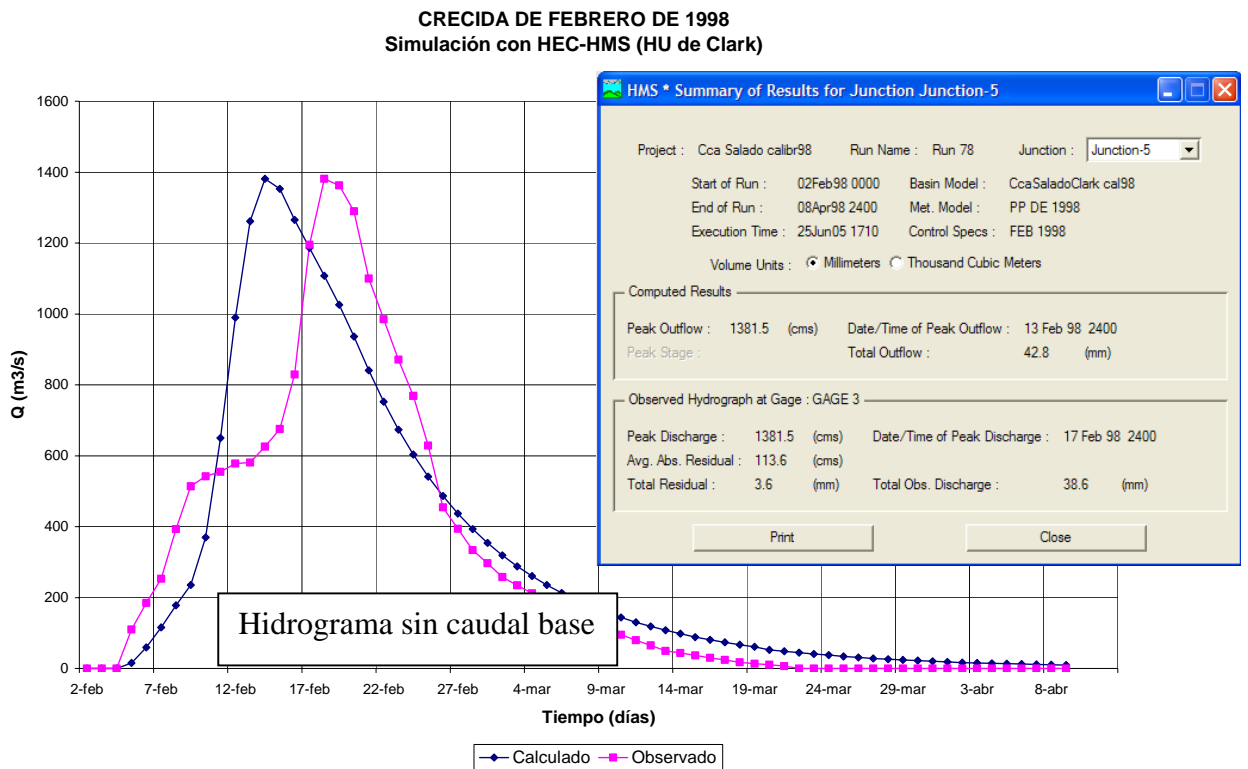


Figura 5.

Tabla 3. Valores optimizados de los parámetros del HU de Clark

Subbasin Name	Time of Concentration (hrs)	Storage Coefficient (hrs)
1 Río Salado	199.5	364.2
2 Las Conchas	255.7	271.8
3	128.1	34.9
4 San Antonio	98.3	188.3
5 Cululu	100	217.0
6 Calchaqui	120	156.0
7	107.0	195.0
8	100.0	187.0

Se puede apreciar en la Tabla 3 que los valores de tiempo de concentración (TC) están entre 4 y 10 días lo cual es congruente con la diferencia de tiempos entre la ocurrencia de la precipitación y el pico de la crecida. Los valores de TC en cada una de las subcuencas están contemplando, además del propio TC, al tiempo de tránsito del hidrograma en el cauce del Río Salado

## 2.2 Modelación con ARHYMO

Como ARHYMO no posee la facilidad de optimización se modeló el sistema como una única cuenca a efectos de facilitar el proceso de optimización manual, la que se llevó a cabo modificando los parámetros del hidrograma unitario: TPU (tiempo al pico del HU) y K (constante de recesión del HU) dando los resultados que se visualizan en la Figura 6.

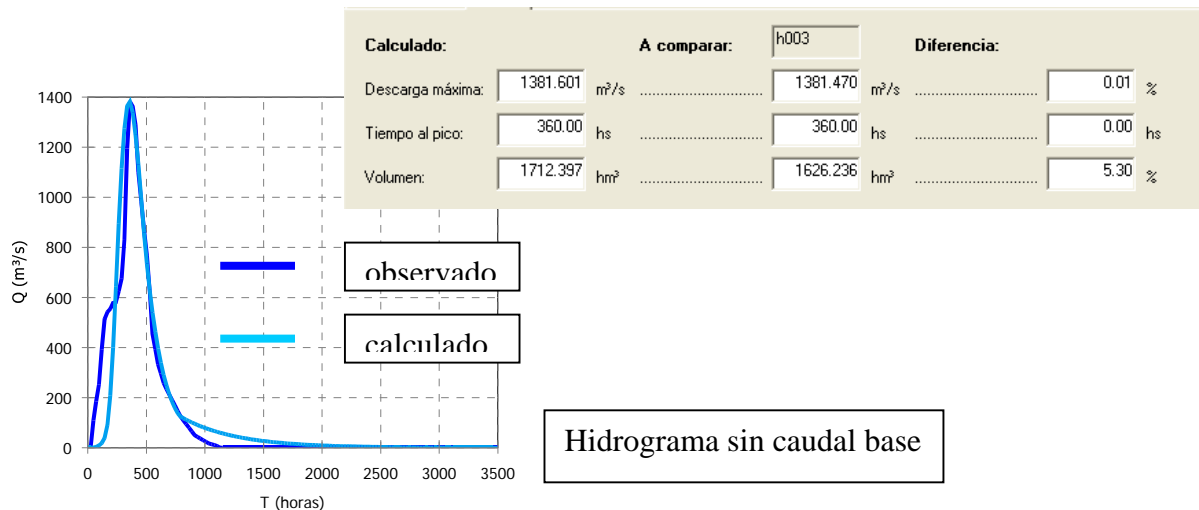


Figura 6. Modelación del evento de 1998 con ARHYMO



Los valores de los parámetros dados por el modelo son:

Parámetros del HU:

$$N= 5.749 \quad K= 155.000 \text{ horas}$$

$$Q_{pu}= 34.2 \text{ m}^3/\text{s} \quad T_{pu}= 240.000 \text{ horas}$$

Baricentro precipitación efectiva = 135.392 horas

Hidrograma calculado:

$$\text{Escorrentía} = 41.2 \text{ mm} \quad 1712.397 \text{ Hm}^3$$

$$\text{Caudal pico} = 1381.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Tiempo al pico} = 360.00 \text{ horas}$$

$$\text{Baricentro} = 515.537 \text{ horas}$$

Tiempo de retardo =  $515,537 - 135,392 = 380,145 \text{ hrs.} = 15,8 \text{ días}$

Como se puede apreciar el modelo ARHYMO da los valores de tiempo de baricentros de la precipitación efectiva y del hidrograma, lo cual facilita el cálculo del tiempo de retardo (*lag time*) que, al igual que el tiempo de concentración, es otro parámetro que tiene en cuenta el tiempo de respuesta de la cuenca ante el evento de precipitación.

En la Figura 7 siguiente se pueden apreciar las consideraciones precedentes.

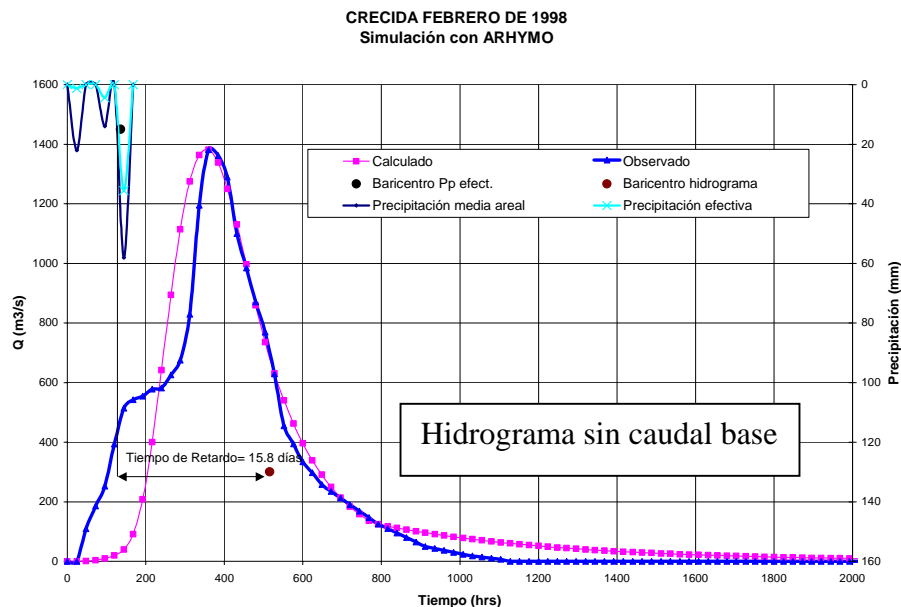


Figura 7

### 3. DESCRIPCIÓN DE LA CRECIDA DEL 2003

Debido a la claridad con que se ha expuesto este tema en la publicación (Ferreira, G., 2005) es que se explicitan en forma textual algunos párrafos al respecto:

*En los meses previos al pico de la crecida en la ciudad de Santa Fe (considerando desde Octubre de 2002 a Marzo de 2003) se registraron importantes valores de precipitación en el área de la cuenca inferior del río Salado. En la tabla 4 se realiza una comparación para el primer trimestre del año, con otras estaciones disponibles cuyas series incluyen ó superan al año 2000.*

Tabla 4. Comparativa de Precipitaciones del Primer Trimestre de 2003 (en mm)

ESTACIÓN (DEPTO.)	SERIE	ENERO		FEBRERO		MARZO		TOTAL 1 <sup>er</sup> TRIMESTRE		(%)
		2003	PROM	2003	PROM	2003	PROM	2003	PROM	
SANTA FE (LA CAPITAL)	1901-2000 (1)	80.2	114.3	264.8	102.6	128.8	140.4	473.8	357.3	+32.6
SAN CRISTÓBAL (SAN CRISTÓBAL)	1915-2002 (2)	261	124	225	116.8	315	138	801	378.8	+111.5
CERES (SAN CRISTÓBAL)	1939-2002 (3)	80	114.8	70	111.4	332	136.0	482	362.2	+33
VERA (VERA)	1948-2002 (4)	24	138.1	112	142.2	382	155.0	518	435.3	+19
LOS AMORES (VERA)	1949-2002 (4)	70 (5)	111.3	110 (5)	124.0	205 (5)	121.7	385	357	+7.8
MARGARITA (VERA)	1976-2002 (5)	105.5	141.91	57.5	154.52	408	142.28	571	438.7	+30.2
SAN JUSTO (SAN JUSTO)	1982-2002 (5)	76	135.7	207	137	186	121.9	469	394.6	+18.9
FORTÍN OLMOS (VERA)	1973-2002 (5)	21	169.3	61	171.7	332	133.3	414	474.3	-12.7

(%): Porcentaje que excede la suma de los meses promedio

- FUENTES:
- (1) Banco de Datos del Centro de Informaciones Meteorológicas (FICH-UNL)
  - (2) INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela
  - (3) INTA - CERES
  - (4) Convenio CFI-Provincia de Santa Fe, con interrupciones
  - (5) SUBSECRETARÍA DE REC. HÍDRICOS DE LA NACIÓN - EVARSA

Comparando los valores presentados puede observarse que la ocurrencia de precipitaciones por encima de los valores medios determinó que en los meses previos a la crecida se produjera un estado de alta humedad en los suelos, colocándolos en las condiciones más favorables para el escurrimiento superficial.

Como consecuencia de lo analizado en el punto anterior, se produjeron tres picos de crecida a causa de precipitaciones localizadas en distintas áreas de aporte de la cuenca. Se presentan los niveles hidrométricos en la estación de la Ruta Prov. N° 70 (situada a 25 Km aguas arriba de Santa Fe) que es un sitio donde los niveles no se ven perturbados por el remanso que provocan las alturas del río Paraná ( figura 8).

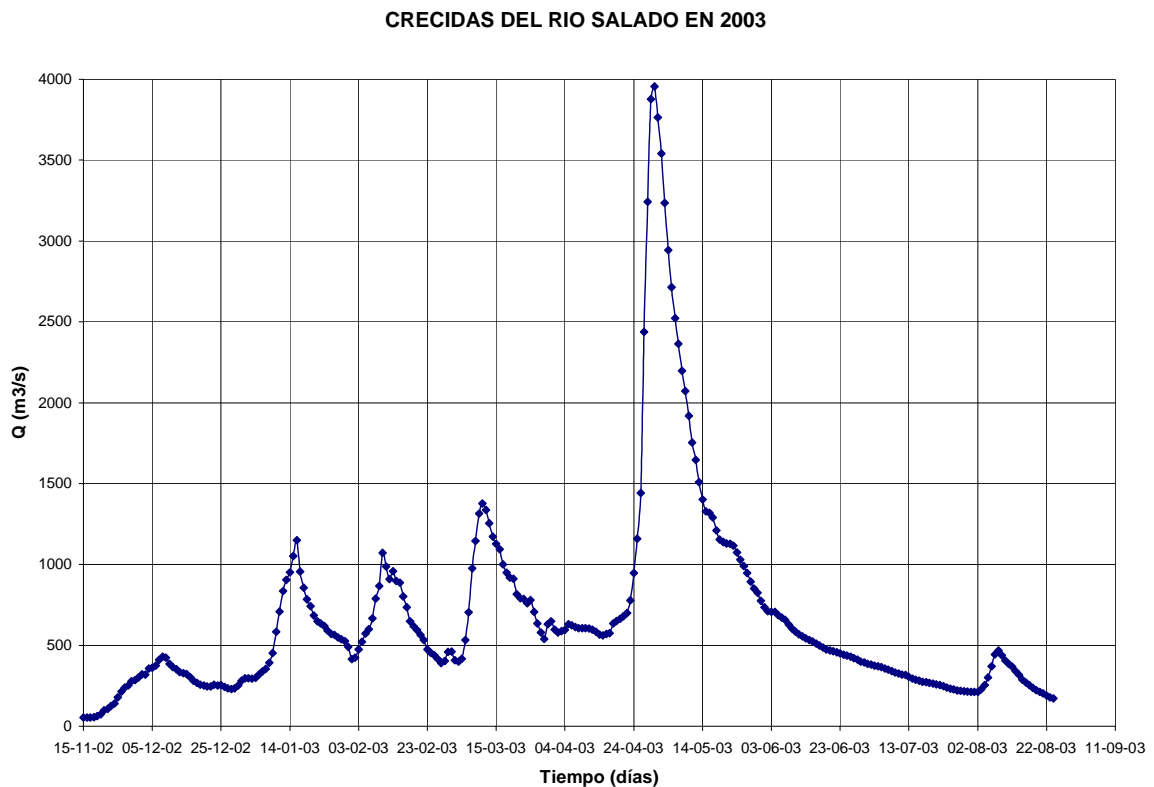


Figura 8. Crecidas del Río Salado durante 2003 registradas en RP70

Analizando la sucesión de niveles desde principios del año 2003, se visualizan claramente tres picos de crecida en los meses de enero, febrero y marzo respectivamente, con niveles pico de acuerdo a la tabla 5. Se especifican además los caudales correspondientes, en función de la curva altura caudal actualizada para la sección en la RP 70 (INA-EVARSA, 2003).

Tabla 5. Niveles y Caudales Pico en el Primer Trimestre de 2003 (RP 70).

<b>FECHA</b>	<b>NIVEL MÁXIMO (m)</b>	<b>CAUDAL PICO (m<sup>3</sup>/s)</b>
16-Ene-2003	6,2	1316,3
10-Feb-2003	6,1	1204,9
11-Mar-2003	6,36	1502,3

Puede apreciarse que en cuanto a niveles no existen diferencias significativas en los valores extremos de los primeros meses del año 2003. El período bajo análisis termina con niveles de 5,45 m de lectura de la escala de RP70. Se destaca que hasta esa fecha el máximo nivel histórico era de 7,09 m en 1998.

Como se puede observar en la tabla 4 citada previamente, en abril de 2003 también se produjeron precipitaciones por encima de lo normal en cuanto a los promedios. Los valores en general duplican o triplican el promedio mensual.

Sumado al estado de humedad de la cuenca debido a las precipitaciones anteriores, a fines del mes de abril se vuelven a producir otras tormentas con abundantes precipitaciones entre los días 23, 24 y 25. Con el fin de realizar el análisis espacial de la lluvia, se trazó el mapa de isohietas (figura 9) en base a los datos recabados por la Dirección Provincial de Comunicaciones. Puede apreciarse que estas precipitaciones abarcaron una amplia área de cobertura de la cuenca inferior del río Salado. Se destacan dos montes (valores extremos) pluviométricos: uno en la zona Oeste en el Departamento San Cristóbal, con un total **entre 200 y 260 mm**. El otro se ubica entre los Departamentos San Justo y Vera, con valores de isohietas **entre 200 a 340 mm**. Además, la vasta zona circundante a estas dos áreas tuvo precipitaciones entre 100 y 200 mm.

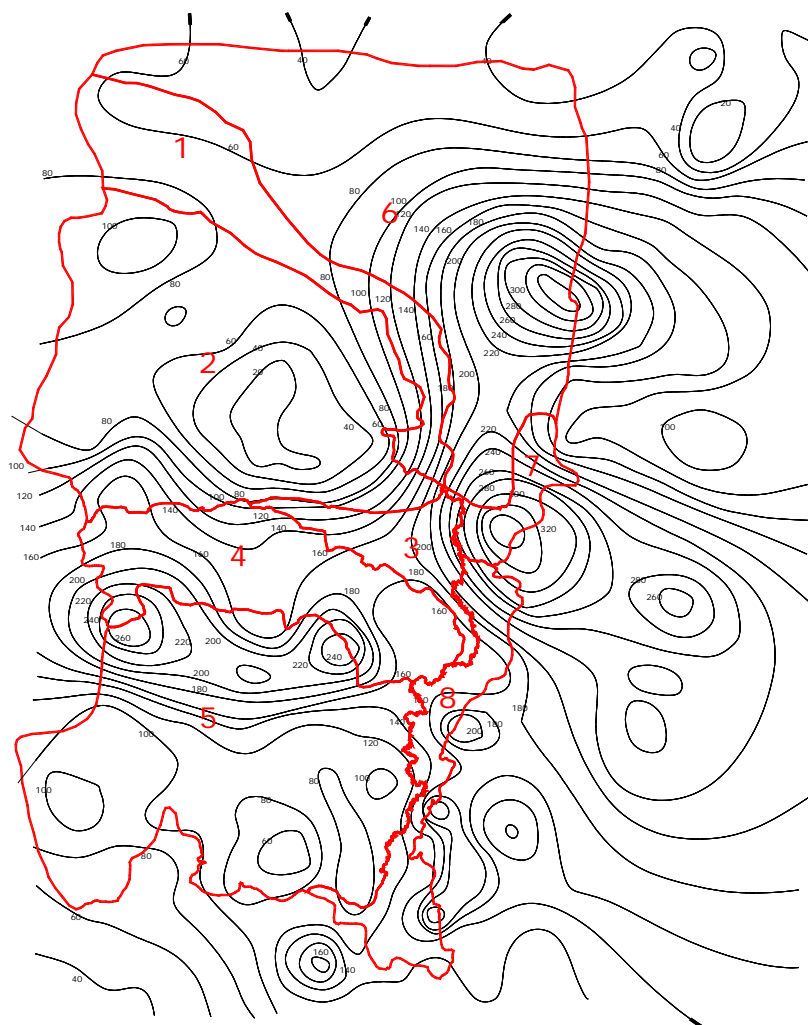


Figura 9. Isohietas acumuladas entre el 23 y 25 de abril de 2003

*La sola ocurrencia de estas precipitaciones generaría en forma inmediata altos caudales en la sección de la RP 70. No obstante existen elementos agravantes de esta situación, además del estado antecedente de saturación de los suelos:*

- *el área donde se produjeron las altas precipitaciones definida en segundo término (entre Ramayón y Espín) está caracterizada por superficies de aporte directo al cauce principal del río, en zonas que poseen una pendiente topográfica transversal al cauce muy superior a las normales para una “llanura” –ver perfil realizado por los bajos del A° Pantanoso y del A° Las Vizcacheras entre Crespo y María Eugenia. Esto aceleró la llegada al curso principal.*
- *en ese mismo sector, las áreas de menor pendiente conforman bañados y lagunas colmadas en su capacidad de retención de caudales, con lo cual todo lo que precipitó sobre estos cuerpos de agua, se transformó en escurrimiento –*

*desembocadura del A° Las Conchas; Laguna La Blanca; Bajos del río Calchaquí; Laguna de Las Aves; Laguna de Los Perros; valle de inundación del río Salado-;*

- *si bien el registro pluviométrico se corresponde con tres días calendarios -por la normativa con que se toma el dato-, la duración real de la tormenta fue estimada en 48 horas por pobladores de la zona observada en las localidades de Crespo y La Penca;*
- *en estos tres días se midieron valores puntuales de 352 mm (Margarita) y 388 (La Penca); que se corresponden con recurrencias mayores a 100 años.*
- *durante los días 28 y 29 de abril se dieron precipitaciones de importancia en localidades cercanas a la ciudad de Santa Fe (Figura 10) (ubicadas al Norte – aguas arriba- en los Departamentos La Capital y Las Colonias), que contribuyeron directamente al aumento del pico de la crecida que estaba en tránsito en esa zona (tabla 6):*

*Tabla 6. Precipitación Acumulada los días 28 y 29 de Abril de 2003*

<b>LOCALIDAD (DEPTO. LA CAPITAL)</b>	<b>PRECIPITACIÓN (mm)</b>	<b>LOCALIDAD (DEPTO. LAS COLONIAS)</b>	<b>PRECIPITACIÓN (mm)</b>
<i>Campo Andino</i>	<i>60</i>	<i>Esperanza</i>	<i>62</i>
<i>Candioti</i>	<i>205</i>	<i>Cavour</i>	<i>84</i>
<i>Emilia</i>	<i>25</i>	<i>Cululú</i>	<i>52</i>
<i>Llambi Campbell</i>	<i>65</i>	<i>Emp. San Carlos</i>	<i>65</i>
<i>Nelson</i>	<i>130</i>	<i>Grutly</i>	<i>81</i>
<i>Santo Tomé</i>	<i>53</i>	<i>María Luisa</i>	<i>40</i>

Por otra parte (Barros, V.; R. Bejarán, 2005) describen la situación sinóptica que dio origen a esas tormentas y que consistió fundamentalmente en:

*El día 17 ingresó una importante vaguada en 500 hPa que se aproximaba desde el Oeste favoreciendo los ascensos del aire en el centro norte de Argentina en los niveles medio y superior de la atmósfera. Mientras tanto, un frente frío proveniente del sur se situaba sobre la Provincia de Buenos Aires.*

*La profundización de la BNOA (Baja del Noroeste Argentino), el pasaje de la depresión en altura y la convergencia de masas de aire contribuyeron a un importante desarrollo de actividad convectiva en la masa de aire caliente. La actividad que comenzó en la provincia de*

Salta con núcleos convectivos aislados se fue propagando y desarrollando hacia la cuenca del Salado con importantes actividad convectiva que generó precipitaciones muy abundantes en el norte de Santa Fe.

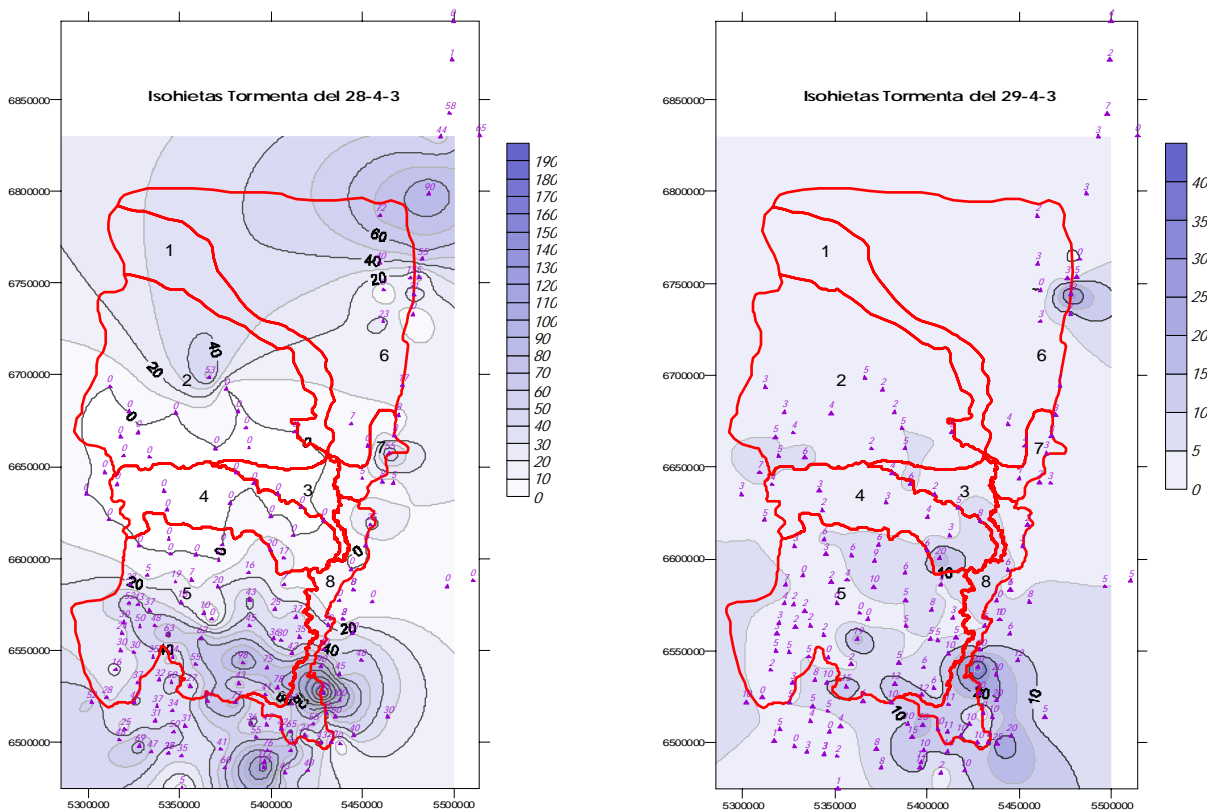


Figura 10. Isohietas de los días 28 y 29 de abril de 2003 (elaborada por esta pericia)

Día 18. La fuerte advección cálida intensificó la zona frontal sobre la cual se produjo una intensa ciclogénesis con centro en Entre Ríos, cuyas precipitaciones alcanzaron una amplia zona, incluyendo el norte de Santa Fe. La ciclogénesis fue consecuencia de la gran advección de vorticidad en altura. El sistema ciclónico así formado se intensificó rápidamente y se acopló con la baja de altura desplazándose hacia el sudeste. Simultáneamente y por la acción de este sistema, el frente se movió hacia el norte como frente frío.

Día 19. Mejoró transitoriamente el tiempo sobre el centro y este de Argentina, mientras el frente progresó hacia Brasil y Paraguay.

*Día 20. Un centro de baja presión ya maduro ingresó desde el Pacífico por Santa Cruz, mientras se establecía una intensa zona baroclínica sobre la Patagonia norte, La Pampa y Provincia de Buenos Aires. Esta zona baroclínica persistió durante los días siguientes.*

*Día 21. La baja semipermanente del noreste argentino se restableció aportando otra vez aire cálido y húmedo desde el continente tropical sobre el centro y este de Argentina. La baja que provenía del Pacífico cruzó la Patagonia y se reforzó la zona baroclínica en la latitud de la Provincia de Buenos Aires*

*Día 22. ...se profundizó considerablemente la BNOA. En consecuencia, se hizo más intensa la advección cálida y húmeda sobre el centro y este de Argentina. Esto favoreció, a su vez, la intensificación de la zona frontal en la Provincia de Buenos Aires y la baroclinicidad asociada que permaneció estacionaria sobre la misma. Si bien no es posible apreciar inestabilidad atmosférica en el radiosondeo de las 12UTC de Córdoba, durante este día la atmósfera se fue inestabilizando apreciablemente, de modo que al finalizar el día en la imagen GOES de la 21: 09, hora local, se pudo ver el primer desarrollo convectivo.*

*Día 23. Persistió una circulación de la atmósfera sobre Argentina parecida a la de los dos días anteriores tanto en capas bajas como altas. Sin embargo al oeste de Chile, la circulación en altura se alteró para generar una intensa vaguada. Como consecuencia de esto, se intensificó la advección de vorticidad sobre la Argentina central y se formó un intenso SMC (sistema mesoconvectivo) sobre parte de Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos que progresó con dirección Sudeste-Noroeste, dando lugar a intensas precipitaciones en esa zona.*

*Día 24. Siguió persistiendo la misma circulación atmosférica del día anterior, pero la zona baroclínica progresó hacia el norte abarcando Entre Ríos y el sur de Santa Fe. El SMC se desplazó hacia el noreste pero como la inestabilidad más al sur se mantuvo, se generó un nuevo SMC en el centro de la provincia de Santa Fe. La situación de ese día presentaba índices de inestabilidad Lifted y velocidades verticales propias de sistemas convectivos en gran parte de la región centro y noreste de Argentina.*

*Día 25. El desplazamiento de la vaguada de altura hacia el este, favoreció el desplazamiento de la mayor actividad convectiva prefrontal hacia el este, produciéndose un mejoramiento temporario en el centro y este de Argentina.*

*Día 26. La baja presión en superficie con centro en el límite entre las provincias de Santa Fe y Chaco fue la responsable en aportar aire húmedo del este que generó nubosidad baja de tipo estratiforme que dio lluvias y lloviznas durante gran parte del día: Esto se vio favorecido por una difluencia en 250 hPa que perduró hasta el día 27, obviamente estas condiciones*



*inhibieron la evaporación del agua precipitada los días anteriores y por el contrario tendió a agravarla.*

*Día 27. La baja presión en superficie permaneció en el mismo lugar, pero algo más intensa. En el centro y norte de Santa Fe dominó un persistente viento del sector sudeste con muy alto contenido de humedad. Esta humedad y las condiciones de convergencia en niveles bajos fueron condiciones propicias para la generación de núcleos de tormenta que afectaron a la región durante la mañana y parte de la tarde, el resto del día permaneció con lloviznas o cielo nublado.*

*Día 28. ...la existencia de una vaguada en 500 hPa sobre la costa chilena y la baja presión en superficie que permaneció en el mismo lugar incluso hasta el día 30 produjeron lloviznas durante todo el día sobre la cuenca del Salado.*

*Día 29. Las condiciones sinópticas se mantuvieron y por lo tanto el día se mantuvo con lluvias durante todo el día. En las primeras horas de la mañana, producto de la inestabilidad de la atmósfera se desataron tormentas convectivas..*

*Día 30. Un leve corrimiento hacia el este de la baja presión en superficie permitió el ingreso de viento del sector sudeste, la masa de aire advectada estaba totalmente saturada como la de los siete días anteriores. Llovizno en las primeras horas del día y luego el cielo permaneció nublado el resto del día con nubosidad de tipo estratiforme de niveles bajos.*

*Día 1 de mayo. El avance hacia el este de la baja presión en superficie que había permanecido durante cinco días centrada en la provincia del Chaco, el pasaje de la vaguada en niveles medios a través de la cordillera de los Andes y el retiro de una corriente en chorro en 250 hPa hacia el Océano Atlántico permitieron la entrada de un anticiclón por el centro del país que trajo una masa sensiblemente diferente a la que había permanecido durante ocho días. ... la temperatura de rocío descendió a los valores normales y en las primeras horas de la mañana el cielo se encontraba mayormente despejado con el viento soplando del sector sur con humedad en franco descenso y la presión aumentó hasta alcanzar los 1024 hPa.*

En la descripción de la crecida propiamente dicha (Ferreira, G., 2005) expresa:

*Como efecto de las precipitaciones acaecidas desde el 20 al 29 de abril se genera el cuarto pico de crecida del año 2003 del río Salado, en su tramo inferior. Los caudales generados por tormentas intensas en la zona baja, con pendientes mayores, se montan a partir del día*

*20 de abril sobre la curva de descenso del hidrograma previo (los niveles descendían desde día 05 de abril en RP70). Para el día 20 de abril se puede estimar un caudal de 750 m<sup>3</sup>/s en esa estación.*

*En particular las lluvias del 23 al 25 de abril, en la Estación de RP70 provocaron un brusco crecimiento de los caudales del Río Salado desde 1327 m<sup>3</sup>/s (sábado 26 de abril) -un caudal similar a los picos del primer trimestre- hasta alcanzar los 4000 m<sup>3</sup>/s el día martes 29, triplicando su valor en sólo tres días, con una altura de escala de 7,89 m a las 16.00 hs.*

*La crecida es la máxima registrada en la Estación Ruta Provincial N° 70, en cuanto a su lectura de escala, al caudal pico y a la velocidad de ascenso en los caudales: crecimiento de 900 m<sup>3</sup>/s. por día en promedio en tres días consecutivos (ver figura 8).*

*Estos caudales de crecimiento tan rápido, desbordaron en parte hacia el Este a manera de vertedero lateral y dieron lugar a la inundación total de la planta urbana de la localidad de Recreo (localidad vecina al Norte de Santa Fe), favorecido en parte por la elevación de nivel producto de la obstrucción generada por la Ruta Prov. 70 y a la geomorfología existente en la zona. Las aguas del desborde sobrepasaron la Ruta Nacional 11 y el terraplén del ex-ferrocarril Belgrano y posteriormente se dirigieron a campo traviesa hacia el Sistema Leyes-Setúbal.*

*Favorecido por el efecto de sobre elevación del nivel del río que provocó el puente de la Autopista, en las últimas horas del día domingo 27 de abril, comenzó a ingresar agua en el extremo norte de la obra de defensa paralela a la circunvalación Oeste. Si bien la altura de la obra era suficiente para contener el agua, la abertura dejada ex profeso para habilitar un ingreso precario al Hipódromo (MOSPv-DPV, 1994) sirvió para que comenzara a ingresar agua dentro del área protegida por la defensa. Dado el repentino ascenso de niveles -que fue una de las características de esta crecida- el ingreso fue en aumento desde el lunes 28 a la tarde en dirección Norte-Sur a través del campo del Hipódromo.*

*Los caudales de ingreso fueron aumentando. Esta situación se agrava el día martes 29 por la mañana cuando el terraplén sufre el efecto de rotura de presa lo que hace ingresar en forma aun más violenta caudales a la altura del Hipódromo, incrementando la velocidad y extensión de la inundación en forma creciente de la zona oeste de la ciudad dirigiéndose hacia el Sur, por pendiente natural ocupando raudamente el valle de inundación del río Salado. El movimiento de la masa hídrica fue tal que superó numerosos obstáculos (terraplenes internos de las vías de comunicación y calles internas ) y quedando encerrada entre terrenos más elevados al Este y el terraplén de la Defensa al Oeste.*

*El anegamiento en forma violenta de los barrios del sector sur-oeste de la ciudad comenzó el martes 29 por la tarde , cubriendo por encima de los techos las casas de los sectores más bajos.*

*En la madrugada del miércoles 30, la defensa oeste y la Av. de Circunvalación “Mar Argentino” por el sur actuaron como barreras, ya que retuvieron el agua dentro del área urbana. El desnivel máximo entre el agua encerrada por la defensa y la del río, en la zona Suroeste fue de 2.48 m, superior al nivel del río de acuerdo a mediciones efectuadas por el INA (PICATTO, 2003). Esta medición fue realizada a media mañana del miércoles 30, a 50 m al norte de la intersección de la Ruta 11 (puente carretero) con el terraplén Irigoyen.*

*En la mañana del miércoles 30 se comienzan a ejecutar brechas en la defensa oeste y en la Av. Mar Argentino (al Sur de la ciudad), que descomprimieron parcialmente la situación al permitir la descarga de caudales desde el interior del área urbana hacia el río Salado y hacia el Canal de Derivación Sur*

*A partir del día martes 29 se identificó un sitio apto para la observación de los niveles en un punto situado al Norte de la ciudad de Santa Fe, en la intersección de las calles Gorriti y Furlong, se pudo registrar la fluctuación de niveles del río Salado. Los datos recabados permiten reconstruir el pico de la crecida en ese lugar: figura 11.*

*Por su parte, en la escala del INALI (Santo Tomé), el pico en esta estación ocurre el día 30 de abril de 2003 a las 18:00 horas (6,37 m). En tabla 7 se muestran las alturas de escala y niveles de agua del río Salado en la Ruta Prov. N° 70 (cota de cero: 11.24m IGM), en Gorriti y Furlong y en Santo Tomé, y del río Paraná en Puerto Santa Fe (cota de cero: 8.40 m IGM) (Fuentes: DPOH, SSRH, INALI, DCPyVN). Como se observa en la tabla 7 los niveles del río Paraná en cotas IGM siempre fueron menores que en el INALI, lo que fue un efecto favorable para la descarga de los caudales del río Salado.*

*Con los datos que se brindan es posible concluir que el pico de la crecida transitó por el río Salado al oeste de la ciudad de Santa Fe el día miércoles 30 de abril entre las 10.00 hs. (en Gorriti y Furlong) a las 18:00 hs. ( en el Puente Carretero). Puede calcularse además que entre el arribo del caudal pico a Santa Fe y el núcleo principal de las precipitaciones hubo un tiempo de retardo de entre 5 y 6 días. Esto tiene relación con las posibles acciones que se hubieran podido tomar en la suposición de la existencia de un sistema de alerta a tiempo real. Por otro lado se puede calcular el tiempo de traslado del pico desde la RP70 a Santa Fe en 1 (un) Km/h.*

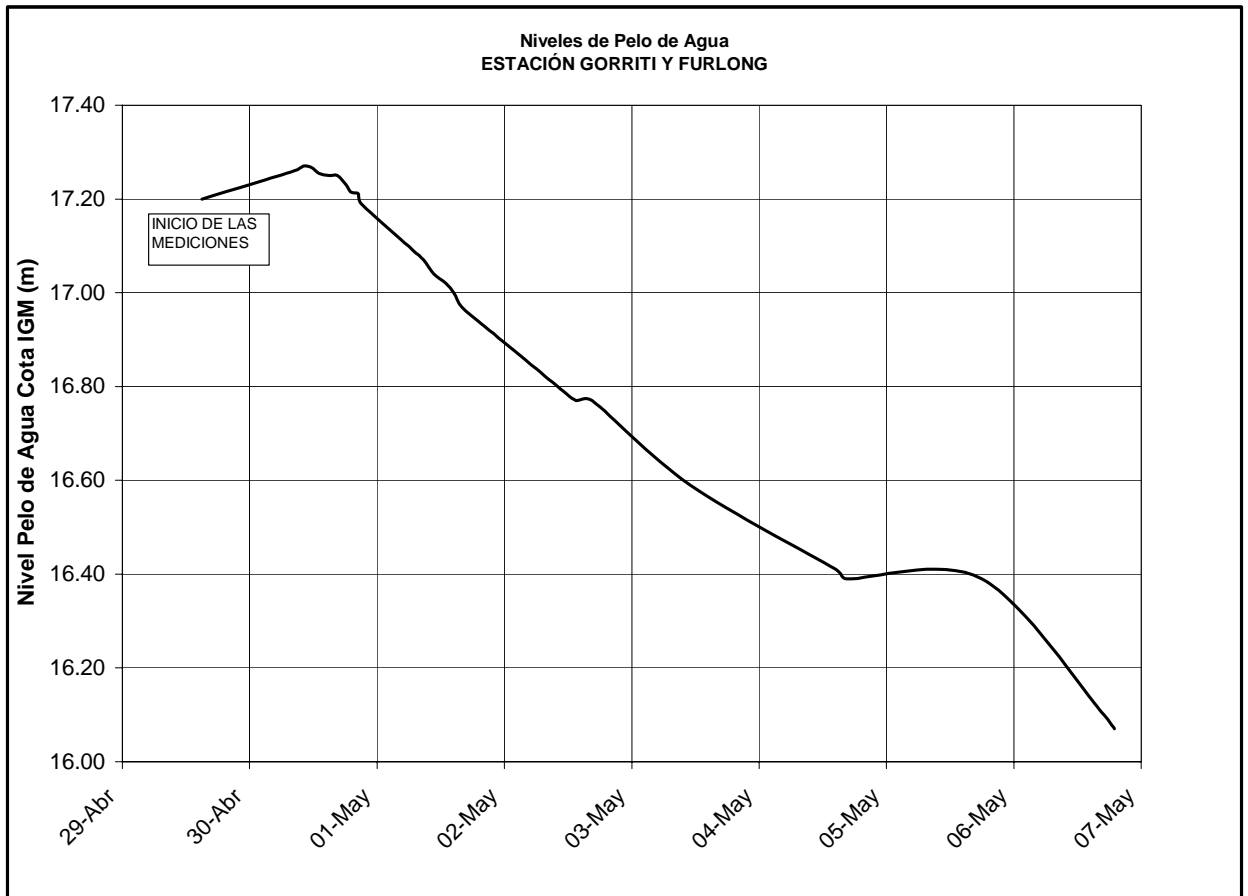


Figura 11. Niveles en Estación de Emergencia en Gorrity y Furlong-Santa Fe.

En cuanto a los caudales, se realizó un aforo el 30/04 a las 15:00 hs (momento en que transitaba el pico por la zona) en la sección del viaducto ferroviario ubicado entre la Autopista Santa Fe-Rosario y el Puente Carretero Santa Fe-Santo Tomé, fue de  $3100 \text{ m}^3/\text{s}$  (Fuente: EVARSA). A su vez en función de los aforos realizados por la misma empresa por contrato con la DPOH y a mediciones de marcas máximas en la zona de Recreo, se pudo estimar el caudal pico en la RP 70 en  $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ , calculándose el desborde lateral hacia el Sistema Leyes-Setúbal en  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  (Fuentes: DPOH; INA; EVARSA).

De esta manera fue posible evaluar por dos caminos el caudal pico de ingreso a la altura del Hipódromo: por diferencias, se obtiene  $700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este valor, se aproxima al obtenido a través de una batimetría realizada el sábado 03 de mayo de 2003 y la medición superficial de velocidades, que fue de  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  (PRENDES, 2003).

Tabla 7. Alturas Hidrométricas y Niveles del río Salado en Ruta Prov. N°70; en Gorriti y Furlong y en Santo Tomé; y del Río Paraná en Puerto Santa Fe.

FECHA	Río Salado en Ruta Prov. N° 70		Río Salado en Gorriti y Furlong		Río Salado en Santo Tomé		Río Paraná en Puerto de Santa Fe	
	ALTURA (m)	COTA IGM (m)	ALTURA (m)	COTA IGM (m)	ALTURA (m)	COTA IGM (m)	ALTURA (m)	COTA IGM (m)
21/04	5.48	16.72	S/D	S/D	4.66	12.99	4.30	12.70
22/04	5.50	16.74	S/D	S/D	4.66	12.99	4.26	12.66
23/04	5.61	16.85	S/D	S/D	4.76	13.09	4.24	12.64
24/04	5.35	16.59	S/D	S/D	4.88	13.21	4.35	12.75
25/04	6.15	17.39	S/D	S/D	5.01	13.34	4.51	12.91
26/04	6.21	17.45	S/D	S/D	5.15	13.48	4.57	12.97
27/04	7.00	18.24	S/D	S/D	5.30	13.63	4.65	13.05
28/04	7.48	18.72	S/D	S/D	5.75	14.08	4.72	13.12
29/04	7.89(*)	19.13	0.82	17.20	6.18	14.51	5.01	13.41
30/04	7.88	19.12	0.75(**)	17.27	6.37(+)	14.70	5.16	13.56
01/05	7.78	19.02	0.98	17.04	6.27	14.60	5.29	13.69
02/05	7.69	18.93	1.21	16.81	6.12	14.45	5.29	13.69
03/05	7.54	18.78	1.43	16.59	6.00	14.33	5.27	13.67
04/05	7.36	18.60	1.61	16.41	5.90	14.23	5.23	13.63
05/05	7.22	18.46	1.63	16.39	5.80	14.13	5.20	13.60
06/05	7.12	18.36	1.95	16.07	5.68	14.01	5.13	13.53

(\*):medida a las 16:00 h del día 29/04. (\*\*) medida a las 10:00 h del día 30/04. (+) medida a las 18:00 h del día 30/04.

En base a estas estimaciones de caudal y suponiendo un ingreso inicial de entre 5 y 7 m<sup>3</sup>/s el lunes 28 a la madrugada, se puede afirmar que el incremento de caudales que ingresaron a la altura del Hipódromo entre las primeras horas del lunes 28 y el miércoles 30 a la mañana fue del orden de 100 veces (en un lapso de alrededor de 50 horas).

Cabe agregar que las aguas producto del desborde aguas arriba de la Ruta Prov. 70, alcanzaron en su paso a la localidad de Monte Vera, con el nivel pico de inundación el día 1° de mayo de 2003 (Fuente: DPOH, mediciones propias). Esta masa hídrica se evacuó paulatinamente por los canales de la zona y favorecida por acciones de emergencia (cuneteos y apertura del terraplén de la vía del FCGMB).

*No se debe dejar de lado en la enumeración de hechos a la ciudad de Santo Tomé: si bien en la misma no se apreciaron daños notables en el momento del pasaje del pico de la crecida -a priori, por un buen funcionamiento de la defensa ejecutada años atrás-, se mantuvo durante esos días un estado de alerta permanente en la ciudad e incluso hubo autoevacuados por cuestiones de prevención . No obstante ello, con el correr de los días, aparecen algunos daños provocados por la erosión de la margen derecha*

Es de aclarar que dado que la distribución espacial de las tormentas afectaron totalmente la subcuenca del A° Calchaquí este aportó en gran medida a la conformación de la crecida con caudales que, según la modelación hidrológica realizada por esta pericia (Anexo VI), estuvieron en el orden de 1000 m<sup>3</sup>/s.

En base a la modelación hidrológica (Anexo VI) e hidráulica (Anexo XI) se ha podido determinar que el tiempo de concentración de la cuenca en RP 70, para esta tormenta, estuvo en el orden de 4 a 5 días según el modelo HEC-HMS, a lo que habría que sumarle aproximadamente un día más para tener el resultado en a Ciudad de Santa Fe.

En varias de las publicaciones revisadas con motivo de esta pericia se atribuyen los elevados valores de las precipitaciones a un ciclo húmedo o al cambio climático global. Al respecto esta pericia, en base al análisis estadístico de varias estaciones pluviométricas (Anexo IV) ha podido establecer que no es obvio que, en las estaciones distribuidas en la cuenca, se pueda afirmar que existe una tendencia de cambio en las precipitaciones tanto anuales como las referidas a las diarias máximas que son las que originan las crecidas.

En (García, N.; W. M. Vargas; M.V. Venencio ; 2002) se expresa sobre el salto climático producido en 1970 en la Cuenca del Río de La Plata: *“Considerando los cambios físicos en la cuenca y la variación de caudal y precipitación, se podría inferir que los caudales podrían disminuir, pero en promedio no alcanzarían los valores históricos previos a los cambios de prácticas agrícolas que tuvieron lugar alrededor de 1970, a menos que hubiera una fluctuación climática de gran magnitud”*. Lo que da a interpretar, nuevamente, de que no es obvio que la variación de caudales se deba a la presencia del cambio climático.

#### **4. MODELACIÓN DE LA CRECIDA DE 2003**

De informe de la DPOH se extrajo el mapa de isohietas acumuladas de los días 23 al 25 de abril de 2003 (Figura 9), y en base a las precipitaciones diarias suministradas por la Dirección de Comunicaciones de la Pcia. de Santa Fe se armaron los mapas de isohietas diarios de los

días 28 y 29 de abril de 2003 (Figura 10). Estas informaciones permitieron calcular las precipitaciones medias areales en cada una de las subcuencas (Tabla 8).

Tabla 8.  
Precipitaciones Medias Areales (mm). Abril de 2003

Subcuenca	Superficie	23-04-03	24-04-03	25-04-03	28-04-03	29-04-03
	Km <sup>2</sup>					
1	3433.47	0.0	5.9	80.1	26.3	3.0
2	9849.47	4.5	45.3	22.6	12.9	3.7
3	1199.10	0.0	33.6	133.7	0.5	4.6
4	3826.04	18.5	146.8	0.0	1.6	4.9
5	9627.72	14.2	112.8	0.0	30.7	5.4
6	10652.68	0.0	8.3	113.5	30.8	2.3
7	806.17	0.0	53.4	212.3	11.5	2.8
8	2133.23	27.1	82.1	48.8	36.2	8.9
Cuenca Total	41527.88	7.5	59.2	51.6	22.5	4.1

Con la información de caudales medios diarios aforados en la RP 70 y la precipitación media areal en toda la cuenca se pudo reconstruir la situación en la Figura 12, en la que se puede visualizar también la determinación del caudal base a efectos de poder calcular el volumen de escurrimiento producido por la precipitación.

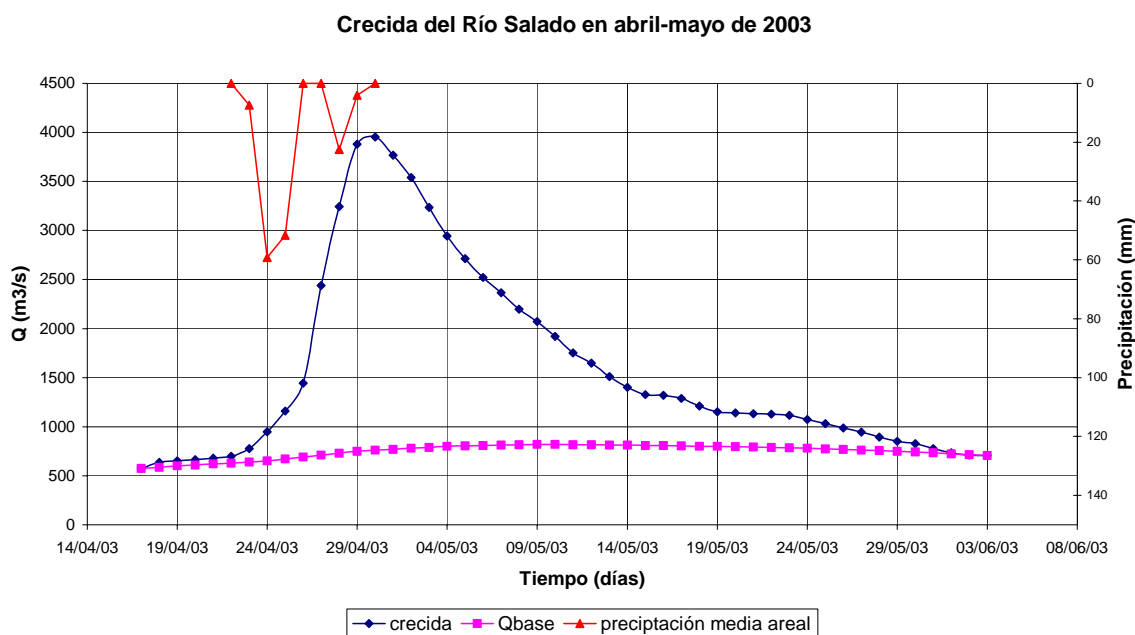


Figura 12.

### 4.1 Modelación con HEC-HMS

Debido a que con la consideración de la precipitación y el volumen de escurrimiento los valores de CN e Ia de la metodología del US SCS dieron muy parecidos a los encontrados con la crecida de 1998 es que se decidió correr el modelo HEC-HMS con la precipitación de abril de 2003 con iguales parámetros a los correspondientes a la calibración realizada con la crecida de 1998. Tal corrida arrojó los resultados que se pueden visualizar en la Figura 13.

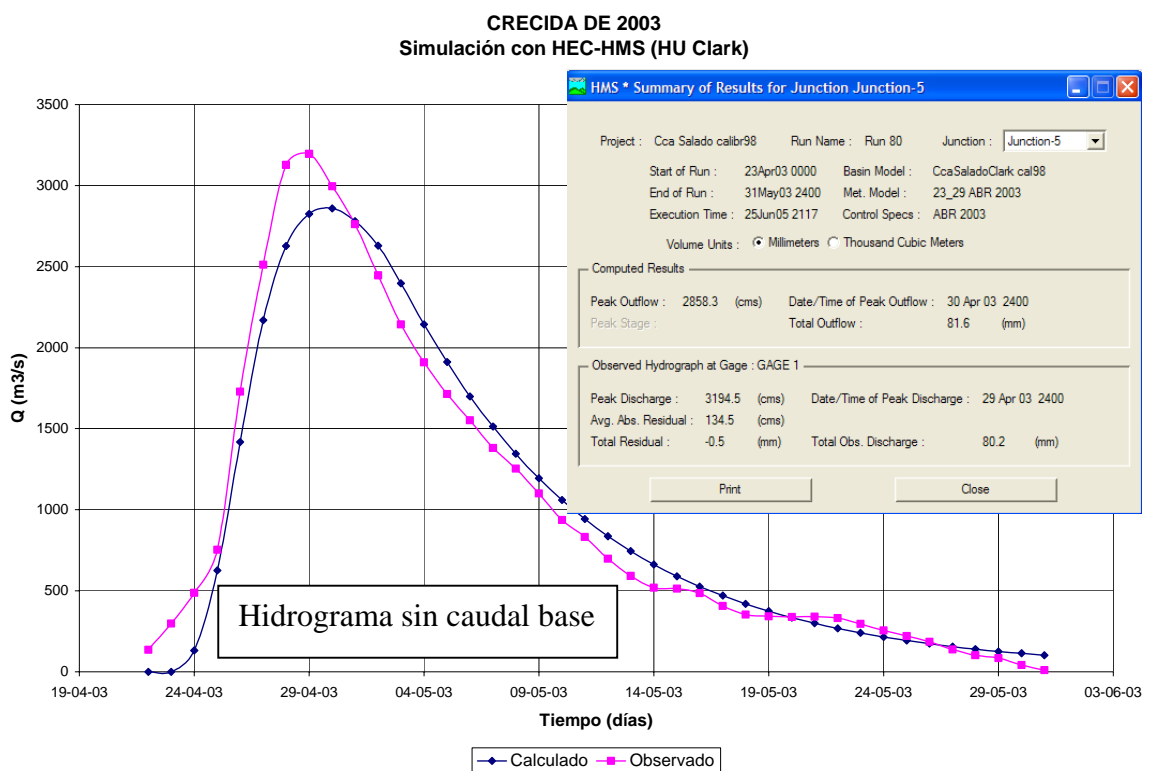


Figura 13.

Se puede apreciar que existe una muy buena simulación, ya que la diferencia en el caudal pico es de solamente 10,5% y en la lámina de escorrentía de 2% y hay una diferencia de 24 hrs en el tiempo al pico del hidrograma.

La simulación con el HEC-HMS permitió inferir los siguientes caudales máximos de los hidrogramas aportados por la subcuencas (Tabla 9), los cuales son indicativos, ya que al no contar con aforos en las salidas de las subcuencas no se pudo realizar la calibración individual.



Tabla 9. Caudales máximos generados en cada subcuenca para el evento de 2003

Sub-cuencas	1	2	3	4	5	6	7	8
	Río Salado	Las Conchas		San Antonio	Cululu	Calchaquí		
Q max (m <sup>3</sup> /s)	107	230	298	419	735	993	167	247

También se calibró el HU de Clark con la crecida de 2003 logrando los resultados que se pueden visualizar en la Figura 14.

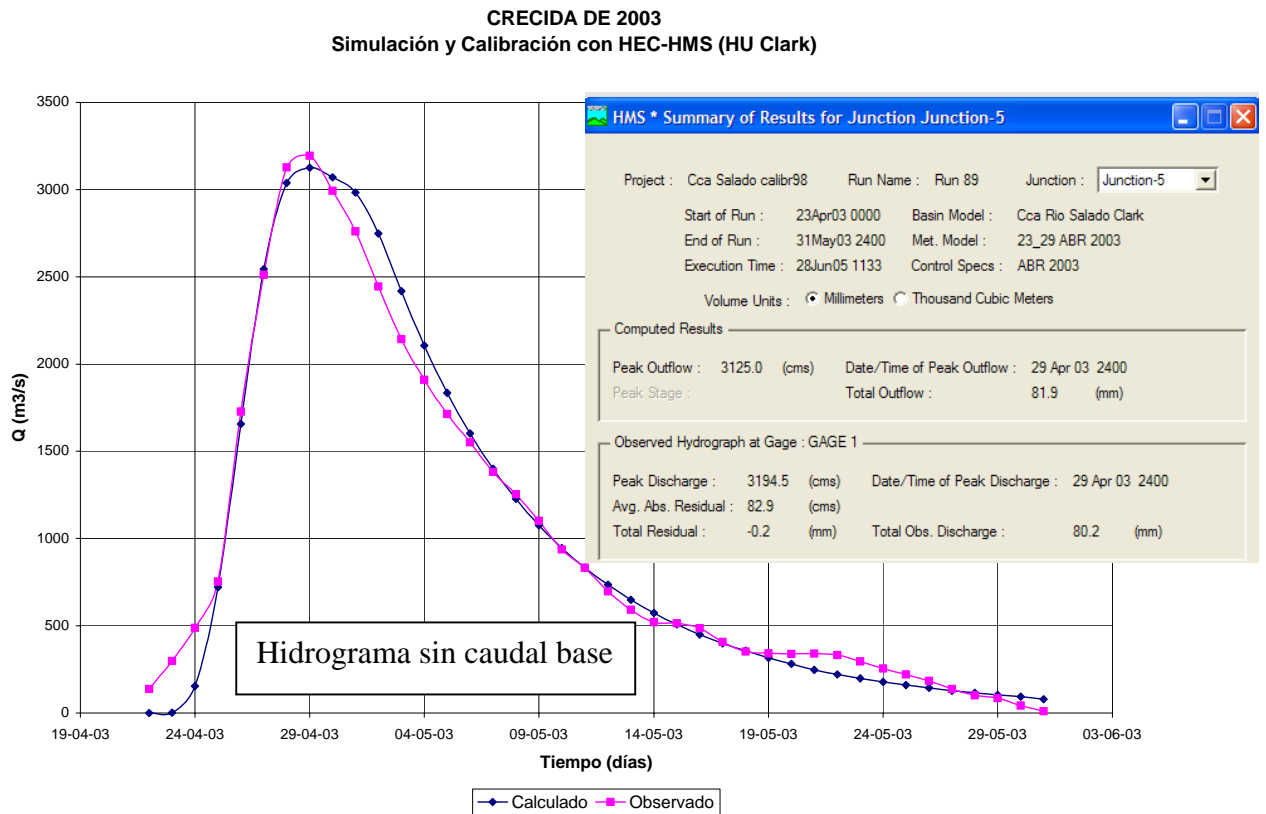


Figura 14.

En este caso la calibración dio valores de TC (Tabla 10) cercanos a los 4,5 días, lo que se explica por el efecto que producen las precipitaciones del 28 y 29 de abril sobre la cuenca baja.

Al respecto se simula la crecida que hubiera ocurrido sin las precipitaciones del 28 y 29 de abril sobre la cuenca baja (Figura 15). Para ello se utiliza la calibración realizada con la crecida de 1998.

Tabla 10. Tiempos de concentración dados por HEC-HMS calibrado con el evento de 2003

Subbasin Name	Time of Concentration (hrs)	Storage Coefficient (hrs)
1 Rio Salado	101.4	315
2 Las Conchas	101.6	302
3	102.9	106.1
4 San Antonio	113.9	106.7
5 Cululu	100.5	217
6 Calchaqui	100.9	148.9
7	100.7	195
8	100	187

Crecida generada sin las luvias del 28 y 29 de abril de 2003

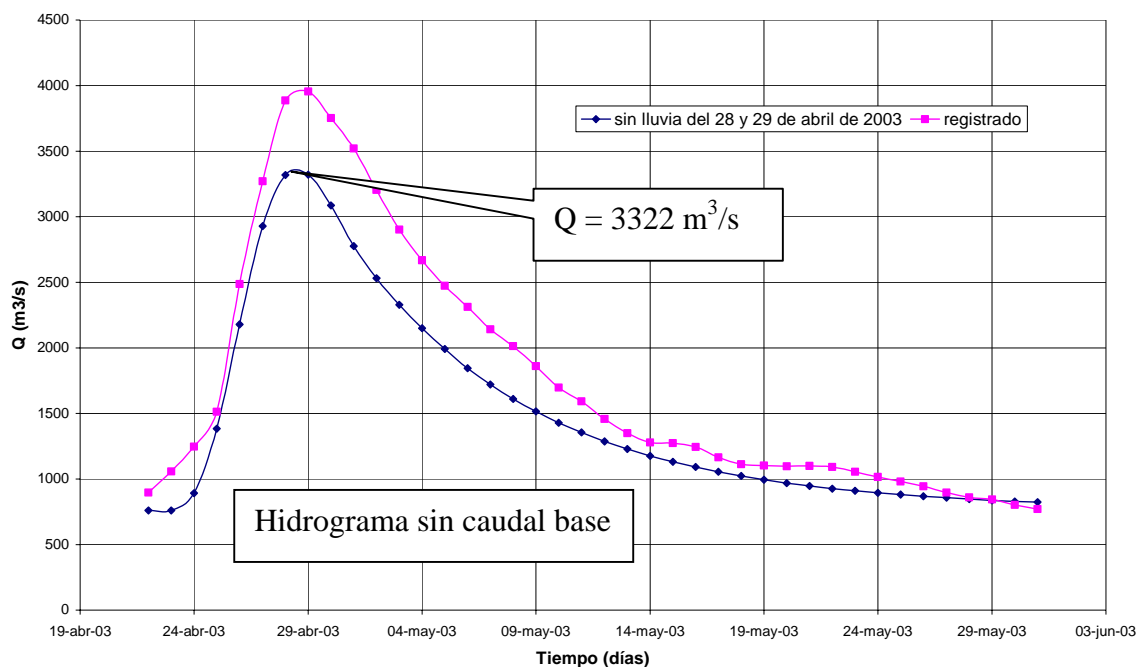


Figura 15. Simulación con HEC-HMS

## 4.2 Modelación con ARHYMO

Al igual que lo realizado con el modelo HEC-HMS (iguales parámetros a los correspondientes a la calibración realizada con al crecida de 1998) se corrió ARHYMO para el evento de 2003 cuyos resultados se visualizan en la Figura 16.

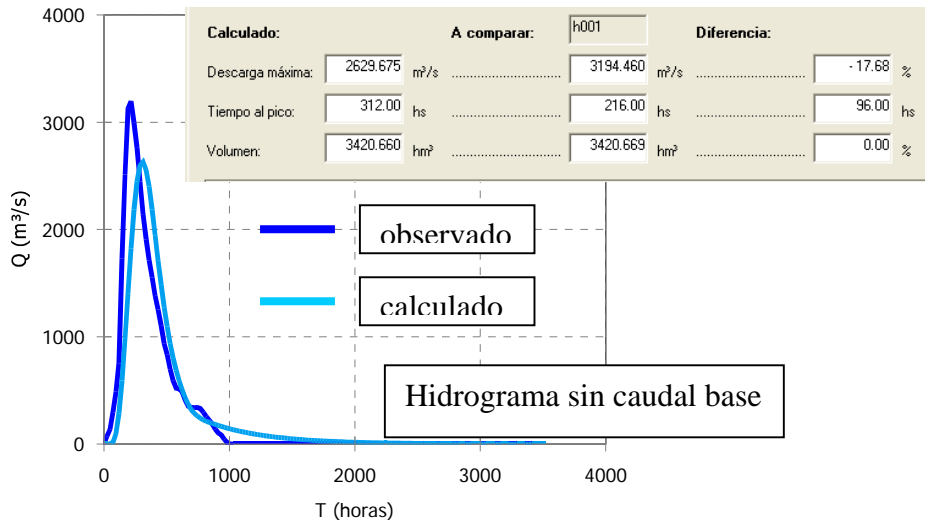


Figura 16. Simulación con ARHYMO del evento de 2003

Los valores de los parámetros dados por el modelo son:

Baricentro precipitación efectiva = 85.930 horas

Hidrograma calculado:

Escorrentía = 82.4 mm      3420.660 Hm3

Caudal pico = 2629.7 m3/s

Tiempo al pico = 312.00 horas

Baricentro = 466.075 horas

Tiempo de retardo = 466.075-85.930= 380,145 hrs. = 15,8 días

Como los parámetros del hidrograma unitario permanecen iguales que para el caso de la crecida de 1998 el tiempo de retardo permanece con igual valor (Figura 17).

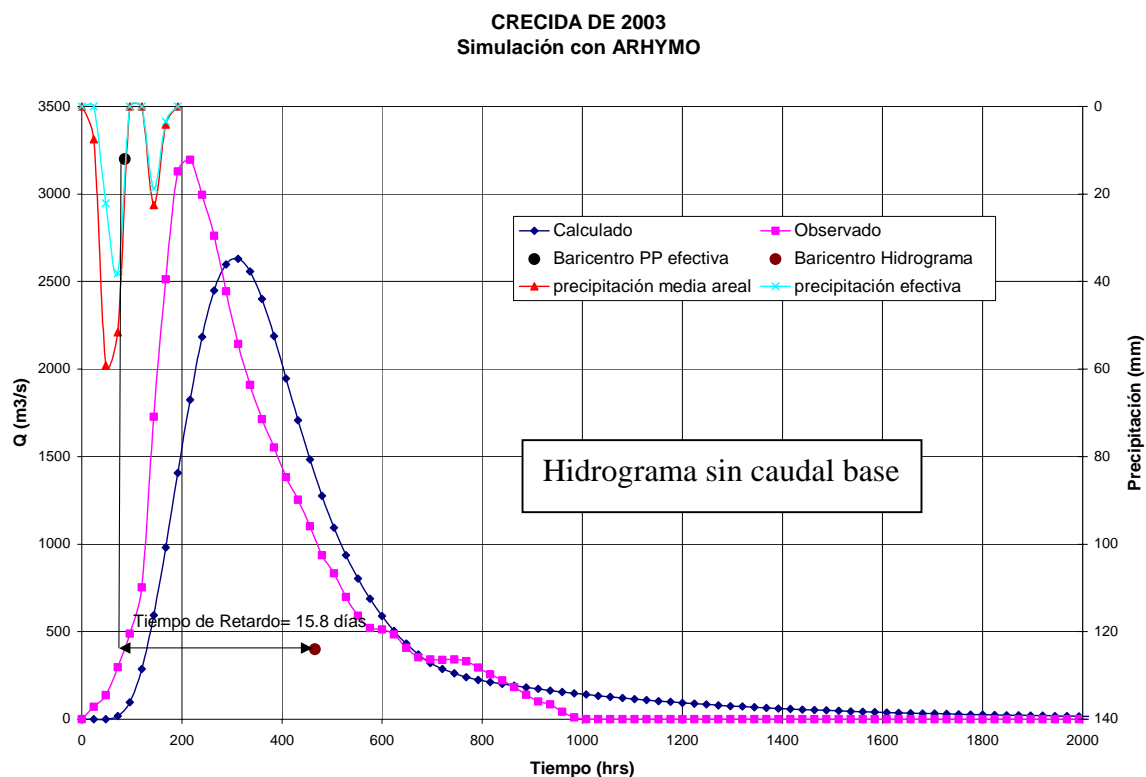


Figura 17

## 5. MODELACIÓN DE LA CRECIDA DE 2005

El 13 de marzo de 2005 se produjo una precipitación en la cuenca del Salado santafesino que originó una crecida cuyo pico alcanzó  $1059 \text{ m}^3/\text{s}$  el 18/03/05 en la RP70.

En base al mapa de isohietas de precipitaciones del día 13 de marzo de 2005 (Figura 18) suministrado por el MAH (ex DPOH) de la Pcia. de Santa Fe se pudieron determinar las precipitaciones medias areales en cada subcuenca (Tabla 11).

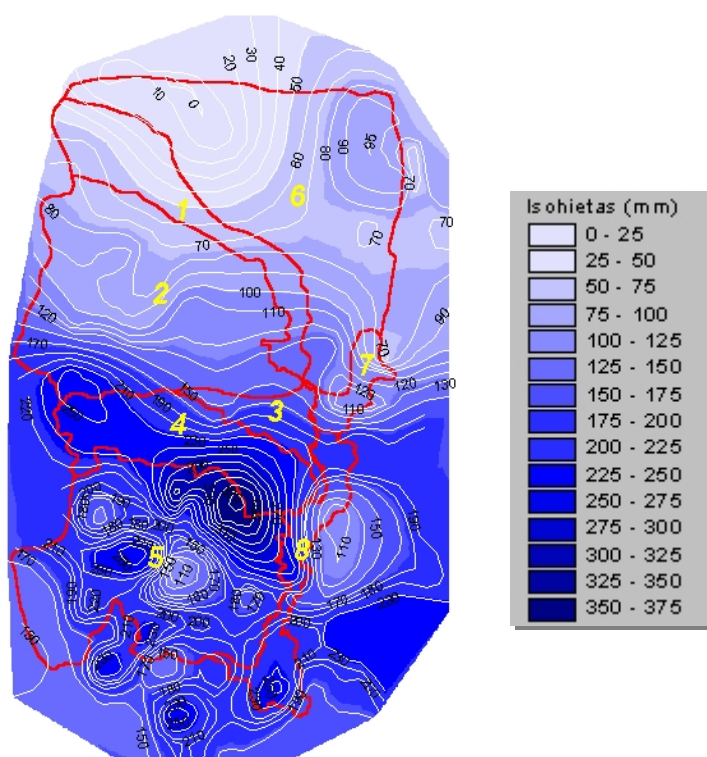


Figura 18. Mapa de isohietas del evento de 2005

Tabla 11. Precipitaciones medias areales del evento de 2005

Subcuenca	Area (km2)	Precip. Media (mm) 13/03/05
1	3433.47	67.5
2	9852.71	118.7
3	1199.10	178.1
4	3826.04	242.7
5	9627.72	206.9
6	10652.68	62.7
7	806.17	135.1
8	2133.23	197.4
Cuenca Total	41531.13	138.0

Se determinó en este evento, en base a la precipitación media areal y al escurrimiento medido, que el valor de CN y de Ia que conformaban a ambos valores eran 41.7 y 25.3 mm respectivamente. Recordando que CNII= 56.7 y CNI= 36.5 en base a los eventos anteriores es que el valor de CN= 41.7 resulta lógico al considerar que durante bastante tiempo anterior al evento del 13/03/05 los niveles freáticos en la cuenca estaban por debajo de los 3 m.

### 5.1 Modelación con HEC-HMS

Con iguales parámetros a los correspondientes a la calibración realizada con la crecida de 1998 se corrió el modelo HEC-HMS con la precipitación de marzo de 2005 dando los resultados que se visualizan en la Figura 19.

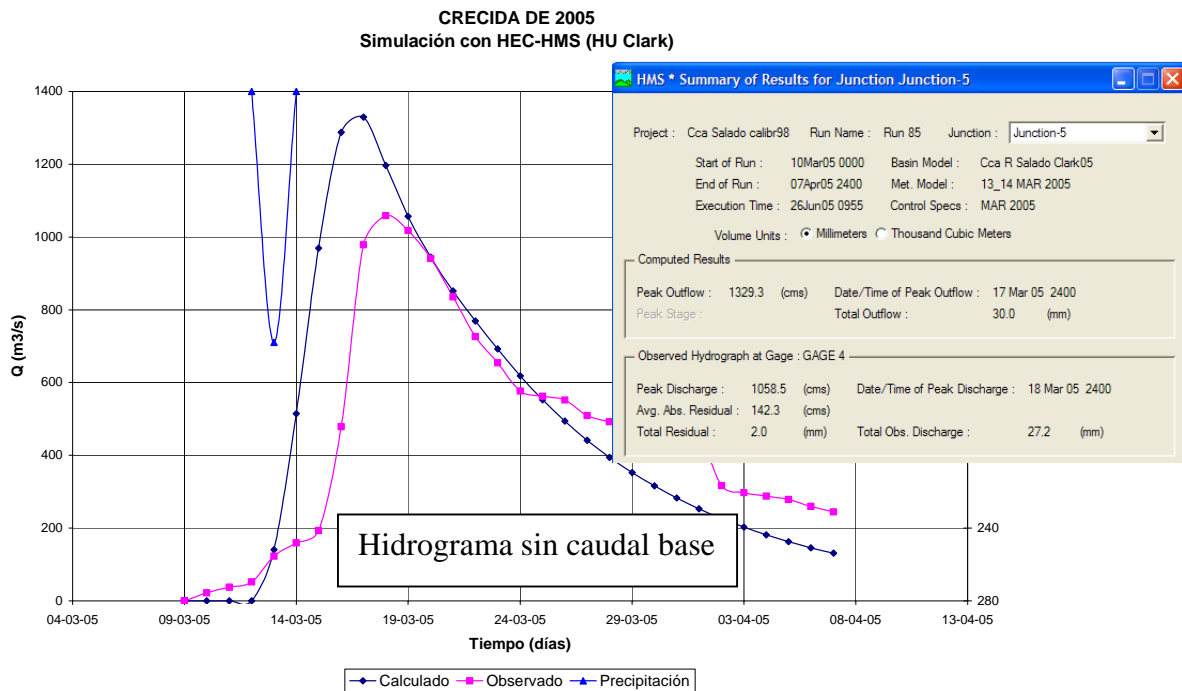


Figura 19.

La simulación produce una diferencia en el caudal pico de 25.6% y de 10% en la lámina de escurrimiento. Tales porcentajes son admisibles en el proceso de calibración y validación de modelos matemáticos de simulación hidrológica.

### 5.2 Modelación con ARHYMO

Con iguales parámetros del hidrograma unitario a los correspondientes a la calibración realizada con la crecida de 1998 y con valores de CN=41.7 e Ia= 25.3 mm, se corrió ARHYMO para el evento de 2005 cuya simulación se puede apreciar en la Figura 20.

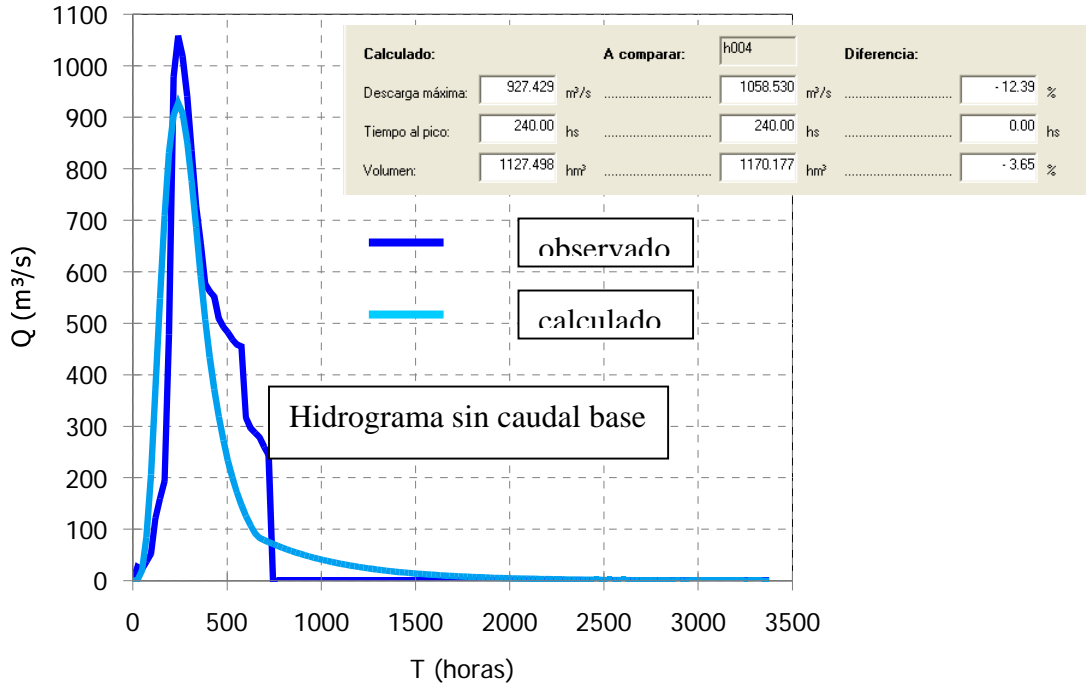


Figura 20. Simulación del evento del 2005 con ARHYMO

Los valores de los parámetros dados por el modelo son:

Baricentro precipitación efectiva = 24.000 horas

Hidrograma calculado:

Escorrentía = 27.2 mm                      1127.498 Hm3

Caudal pico = 927.4 m3/s

Tiempo al pico = 240.00 horas

Baricentro = 404.146 horas

Tiempo de retardo = 404.146-24.00= 380,146 hrs. = 15,8 días

La posición de los baricentros y el tiempo de retardo se indican en la Figura 21.

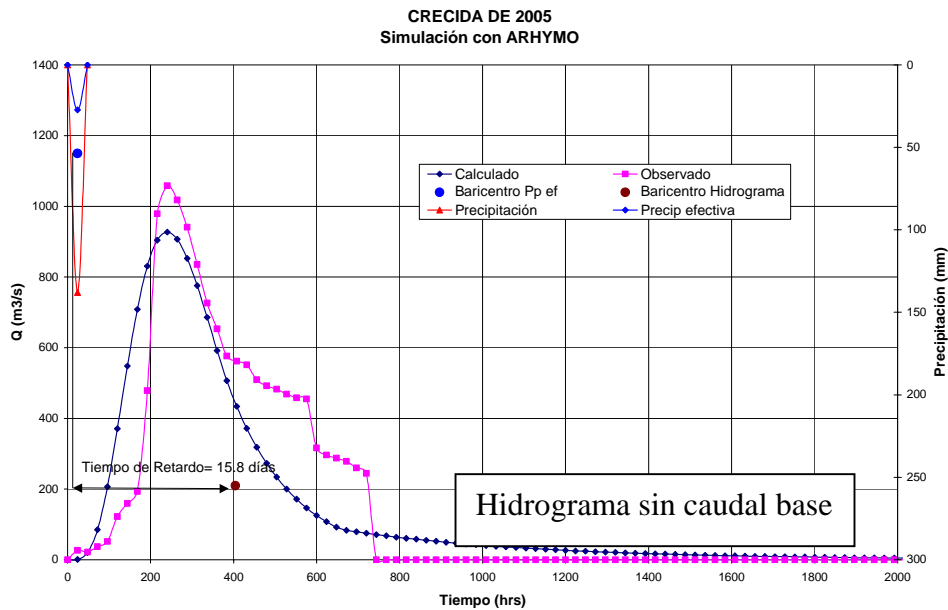


Figura 21.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De las simulaciones realizadas, febrero de 1998, abril-mayo de 2003 y marzo de 2005, se ha podido inferir que la cuenca del Río Salado tiene un valor medio de CNII= 56.7 que se aproxima a la descripción de las tablas del U.S. Soil Conservation Service, es decir: *suelo (B) de mediana permeabilidad con pasturas siguiendo curvas de nivel*.

Los valores de los parámetros que conforman los algoritmos de cálculo de los hidrogramas unitarios en ambos modelos obtenidos por calibración, han estado dentro de los rangos esperables para la cuenca en cuestión y para los eventos analizados. Prueba de ello es que los tiempos de concentración se encuentran en el orden de lo observado.

Como se puede observar en los gráficos pertinentes a la comparación entre hidrogramas observados y simulados, no solamente se ha logrado un buen ajuste del caudal pico, sino que, también las simulaciones han dado una buena respuesta en cuanto a la forma de los hidrogramas, contemplando que las crecidas analizadas difieren entre si tanto en la rama ascendente como en la descendente del hidrograma observado.



Se ha podido inferir, en base a los hidrogramas observados que la cuenca, como sistema, es sensible a las distribuciones temporales y espaciales de las tormentas en cada caso. También es de acotar que en las tres crecidas analizadas se han producido escurrimientos desde la cuenca del A° Calchaquí lo cual es congruente con la dimensión de los caudales máximos de las crecidas.

Como se muestra en la Tabla 12 los hidrogramas obtenidos por simulación ajustan con precisión aceptable en todos los casos analizados y con ambos modelos utilizados.

Seguramente con la información de perfiles transversales a lo largo del cauce del Río Salado e información pluviográfica, en vez de pluviométrica, se podrían haber obtenido resultados aún más precisos.

Tabla 12. Comparación entre hidrogramas observados y simulados

Evento	Hidrograma Observado*			Hidrograma Simulado*					
				HEC-HMS			ARHYMO		
	Qp (m <sup>3</sup> /s)	Tp (hrs)	LamEcurr (mm)	Qp (m <sup>3</sup> /s)	Tp (hrs)	LamEcurr (mm)	Qp (m <sup>3</sup> /s)	Tp (hrs)	LamEcurr (mm)
Feb-98	1381.5	17-Feb-98	38.6	1381.5	13-Feb-98	42.8	1381.6	17-Feb-98	41.2
abr-may 2003	3194.5	29-Abr-03	80.2	2858.3	30-Abr-03	81.6	2629.7	03-May-03	82.4
Mar-05	1058.5	18-Mar-05	27.2	1329.3	17-Mar-05	30.0	927.4	18-Mar-05	27.2

\* los hidrogramas detallados no comprenden al caudal base

## 7. CONCLUSIONES

En los eventos analizados, febrero de 1998 ( $Q_p = 2672 \text{ m}^3/\text{s}$ ), abril-mayo de 2003 ( $Q_p = 3954 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y marzo de 2005 ( $Q_p = 1059 \text{ m}^3/\text{s}$ ), se ha podido comprobar que las crecidas originadas en la cuenca santafesina del Río Salado se pueden simular con modelos determinísticos, lineales, de eventos aislados y de parámetros concentrados, de baja a mediana complejidad y de fácil disponibilidad.

Esta pericia pudo realizar rápida y eficazmente los análisis que se evidencian gracias a la versatilidad de los algoritmos de los modelos utilizados.

Los estudios realizados han permitido verificar que el conjunto de informaciones suministradas por la Dirección de Comunicaciones y por el Ministerio de Asuntos Hídricos

constituye una base mínima adecuada para comprender y simular el comportamiento hidrológico global de la cuenca del Río Salado.

Con respecto a la crecida de 2003 se puede concluir que las causas hidrológicas de la misma se debieron a las precipitaciones de los días 23 al 25 de abril de 2003 (núcleos de 388 mm en la localidad de La Penca y de 260 mm en Colonia Bossi) que desarrollaron la mayor parte del hidrograma de la crecida, el cual fue luego aún más empuntado, por las lluvias de los días 28 y 29 de abril de 2003 en la parte baja de la cuenca (núcleo de 205 mm en la localidad de Candiotti). Se ha podido determinar, en base a la modelación, que sin estas últimas precipitaciones el caudal máximo hubiera sido de 3322 m<sup>3</sup>/s.

Es de aclarar que dado que la distribución espacial de las tormentas afectaron totalmente la subcuenca del A° Calchaquí este aportó en gran medida a la conformación de la crecida con caudales que, según la modelación hidrológica realizada, estuvieron en el orden de 1000 m<sup>3</sup>/s.

Para producir el pico de 3954 m<sup>3</sup>/s el 30/04/03 en la RP70, no solamente contribuyeron las mencionadas precipitaciones sino que también influyeron fuertemente:

- el suelo saturado por precipitaciones superiores a los promedios registrados que se producían desde octubre de 2002.
- la baja evapotranspiración que en el mes de abril se produce en la cuenca (100 mm de promedio en Ceres para el período 1956-1980)
- la rama de abatimiento de la crecida de marzo, ya que en el momento de comenzar la crecida de abril el caudal base en el Río Salado se encontraba en valores superiores a los 500 m<sup>3</sup>/s