

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO FLUVIOMÉTRICO E HIDROLÓGICO SUPERFICIAL DE UNA CUENCA DEL SUR DE LA REGIÓN PAMPEANA CON DATOS LIMNIGRÁFICOS DIARIOS INSTANTÁNEOS - CARACTERIZACIÓN HÍDRICA PARA LOS FINES DEL RIEGO

Sandra N. Fernández⁽³⁾, Mario E. Sequeira^(1,3,*), Martín E. Espósito^(1,2) y Juan D. Paoloni^(1,2,*)

(1) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

(2) Dpto. de Agronomía – Universidad Nacional del Sur

(3) Dpto. de Ingeniería – Universidad Nacional del Sur

(*) Actualmente Profesor Titular Jubilado

Avenida Alem 1253. Primer Piso. (8000) Bahía Blanca. Buenos Aires.

e-mail: sfernand@uns.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo pretende conocer las características hidrológicas superficiales fundamentales del sistema conformado por las Subcuencas Superiores y Media Alta del Río Sauce Chico, hasta la estación limnigráfica HL6005 (Nueva Roma – Ruta Nacional 35). El río se desarrolla sobre una superficie total de 1573 km² con un colector principal de 104.5 km de longitud que nace en las Sierras Australes en la provincia de Buenos Aires. La compleja situación de la agricultura de riego en diferentes tramos del valle, crea la necesidad de un primer diagnóstico de la potencialidad del aprovechamiento integral y sustentable de los recursos de suelo y agua para el área de estudio. Se analiza la información fluvimétrica diaria instantánea disponible, se examina la pluviometría zonal, la evapotranspiración y las posibilidades de escurrimientos mensual, anual y de evento. Se aplica un programa de simulación hidrológica que entrega los hidrogramas de salida de cada subcuenca, caudales máximos, tiempos de pico y volúmenes de escurrimiento a partir de un evento individual de tormenta. Desde el punto de vista de la oferta para riego, la duración de caudales medios mensuales para porcentajes de probabilidad de ocurrencia del 90, 50 y 10%, determina caudales promedios de 0.51, 1.63 y 3.98 m³/s, respectivamente.

Palabras claves: recurso hídrico, cuenca, hidrología, riego.

ABSTRACT

This paper intends to know the fundamental surface hydrological characteristics of the system formed by the Upper and Upper-Middle Sub-basins in the Sauce Chico river up to the limnigraphic station HL6005 (Nueva Roma - National Route 35). The river is developed on a total area of 1573 km² with a main collector of 104.5 km length which rises in the Sierras Australes in the province of Buenos Aires. The complex situation of irrigated agriculture in different tranches of the valley, creates the need for a preliminary assessment of the potential of integral and sustainable use of soil and water resources for the study area. Instantaneous daily fluvimetric data available is analyzed and the zonal rainfall, evapotranspiration and the potential for monthly, annual and event runoff are examined. An hydrological modeling program that provides outflow hydrographs of each sub-basin, peak flows, peak times and volumes of runoff from an individual storm event is applied. From the point of view of supply for irrigation, the duration of average monthly flows for percentages of probability of occurrence of 90, 50 and 10%, determined average flow of 0.51, 1.63 and 3.98 m³/s, respectively.

Key words: water resource, basin, hydrology, irrigation.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Sauce Chico nace en las estribaciones occidentales de las Sierras Australes o Sistema de Ventania de la Provincia de Buenos Aires. Atraviesa los Partidos de Tornquist, Villarino y Bahía Blanca y descarga sus aguas en la costa atlántica. Geográficamente la cuenca se encuentra en el extremo sur de la Provincia de Buenos Aires, entre los paralelos de 37° 50' y 38° 50' de latitud sur y los meridianos 62° 15' y 62° 40' de longitud oeste.

El área total de la cuenca comprende 1573.06 km². La longitud del denominado arroyo Sauce Chico comprende al cauce correspondiente a la Subcuenca Superior Ia (39 km) y la longitud total del denominado Río Sauce Chico, que comprende los tramos denominados medio alto, medio bajo e inferior, es de 104.5 km.

Esta diferenciación es de importancia pues el análisis morfométrico nos indica una cuenca superior (Subcuencas Superior Ia y Ib) definida por la divisoria de aguas superficiales con cierre en el denominado balneario de Tornquist (Lat= 38° 03' 7.6" y Long= 62° 15' 7.83" - Cota= 270 msnm) y que es el área considerada como generadora de escurrimientos, pues está integrada por áreas de suelos de distintos potenciales hídricos, que alcanzan su mínima expresión en el sector entre el Balneario Tornquist y Paso Bower. En consecuencia, aguas abajo de este sector no se verifican aportes superficiales importantes, y sí deberán adicionarse los caudales que puedan corresponder por descarga subsuperficial y/o subterránea como expresión de caudal base (Convenio MOP-UNS-CIC, 1990) (Figura 1).

La parte superior se caracteriza por tener un relieve montañoso con alturas máximas que superan los 900 msnm, como el Cerro El Guanaco y las menores superan la cota de 350 msnm. En su parte media y baja pasa a constituir una llanura con pendiente muy suave, inferiores al 1% y valores topográficos menores a los 300 msnm, hasta alcanzar la cota 0 en su desembocadura en la denominada ría de Bahía Blanca (Albouy, 1994; Arbanesi et al., 1988).

El sistema fluvial evoluciona actualmente asociado a un clima templado subhúmedo y su régimen de flujo presenta variaciones estacionales con picos pluviosos en otoño y primavera y

variantes históricas condicionadas por la sucesión de ciclos secos y húmedos que caracterizan la región pampeana.

En su mayor parte, los tipos de suelo que se presentan en la cuenca del río Sauce Chico pertenecen al orden de los Molisoles. Dentro de ellos, los Argiudoles y los Haplustoles son los predominantes, caracterizados por el desarrollo de texturas franca, franca limosa, franco arcillosa y franco arcillo limosa. En general se encuentran bien drenados, sin embargo, en determinados sectores elevados con presencia de tosca, el desarrollo de los suelos es muy somero (< 25 cm). En la planicie y en espacios de poca pendiente, el desarrollo de los suelos se encuentra entre 25 – 50 cm (Torrero, 2009).

Respecto a la intervención antrópica, la mayor superficie corresponde a la actividad rural destinada principalmente a ganadería y agricultura de secano, pero en el entorno inmediato al río tradicionalmente se ha practicado agricultura intensiva bajo riego. Un uso no controlado y el advenimiento de un ciclo climático más seco en lo que va del presente siglo, han suscitado una compleja situación de la agricultura de riego en el valle. Esto genera la necesidad de lograr un primer diagnóstico, en cuanto al estado de la situación y potencialidad del aprovechamiento integral y sustentable del los recursos de suelo y agua para el área de la cuenca.

En el marco de este escenario, el presente trabajo expone las características hidrológicas superficiales fundamentales del sistema conformado por las Subcuencas Superiores Ia, Ib y la Media Alta del Río Sauce Chico, hasta la estación limnigráfica HL6005 (Nueva Roma – Ruta Nacional 35) ubicada en el sector medio de la cuenca con un área de aporte de 1235.8 km², que representa aproximadamente, el 80% de la cuenca total y donde se emplazan sectores de importancia bajo riego.

Se plantean los objetivos de: 1) Recopilación de antecedentes de datos fluviométricos y estudio del comportamiento fluviométrico e hidrológico superficial del sistema conformado por las Subcuencas Superiores Ia, Ib y la Media Alta del Río Sauce Chico, hasta la estación limnigráfica HL6005. 2) Realizar alguna simulación hidrológica que permita analizar el efecto de un evento de tormenta sobre los escurrimientos.

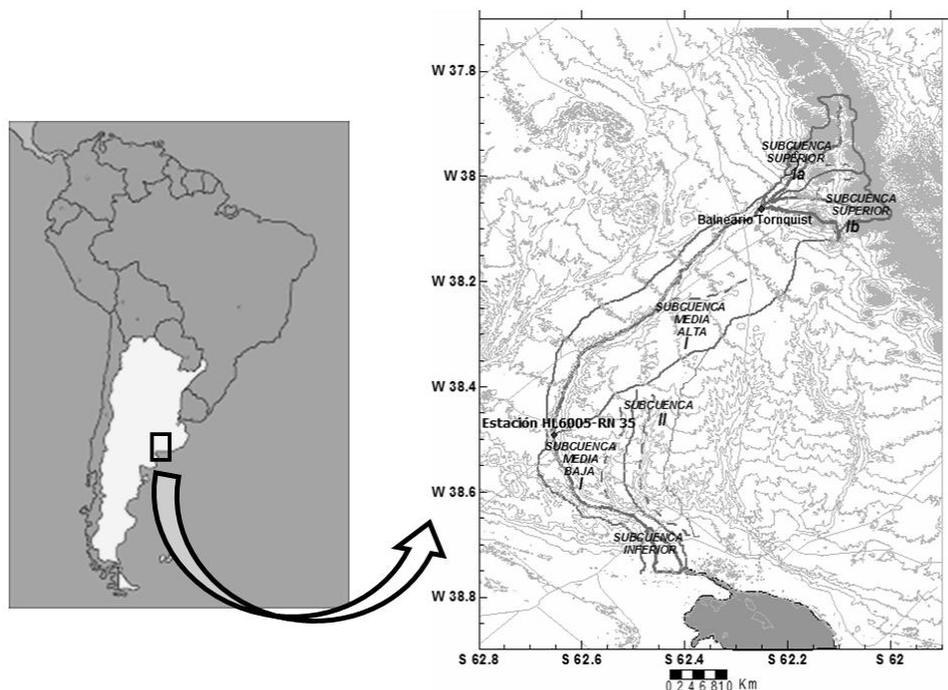


Figura 1. Ubicación geográfica de la Cuenca del Río Sauce Chico y división en subcuencas.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

Es un hecho conocido la insuficiencia en los registros de precipitación y aforos para las cuencas de la región. Particularmente para el Sauce Chico, la recolección y compilación de datos provenientes de estancias permitieron en algunos casos completar series de buena longitud. Ello no puede, lamentablemente, trasladarse a los caudales, y en consecuencia se consideran métodos basados en la representación del sistema hidrológico por un modelo matemático que simule el comportamiento físico del sistema.

En base a los objetivos del presente trabajo, se recopilan registros históricos de la serie de lecturas limnigráficas - caudales - desde 1955 a 1988 inclusive, de la estación limnigráfica y de aforos ubicada en la intersección del cauce del río Sauce Chico con la Ruta Nacional 35 (RN 35) y en cercanías de Nueva Roma. La estación (denominada HL6005 - Latitud: 38° 29'50.3" S - Longitud: 62° 38' 45.25" O), se mantuvo originalmente a cargo de la Dirección Provincial de Hidráulica, dependiente del Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires (MOP); y actualmente se encuentra a cargo del Departamento Catastro, Registro y Estudios Básicos de la Dirección,

Planificación, Control y Preservación de los Recursos Hídricos de la Autoridad del Agua (ADA).

La serie involucró: 10587 lecturas limnigráficas (1 valor por día observado a las 12:00 hs) desde 1955 a 1988 inclusive (34 años en total, con 18 años completos), 24 planillas (1 por año) de datos diarios limnigráficos y de caudales cubriendo (de manera incompleta) desde el 07/09/1954 hasta el 27/06/1978 (MOP) y relaciones matemáticas de regresión entre lecturas de nivel (H) y caudales aforados (Q) en la estación HL6005 cedidos por ADA. (Dirección Provincial de Hidráulica-MOP (1998); Agua y Energía Eléctrica-MOP (1981)).

Para conocer la variabilidad estacional del caudal, se realiza el análisis estadístico de los mencionados datos fluviométricos de la estación limnigráfica HL6005 que permite conocer los caudales medios mensuales (m^3/s), derrame medio anual (hm^3), caudal específico ($l/s/km^2$) y ($l/s/ha$), escurrimiento sobre la cuenca comprendida (mm), caudal medio diario, máximo diario y mínimo diario anual.

Se analizan los datos de los caudales diarios y de los caudales medios mensuales de manera determinística. En cada caso, se calculan los porcentajes de: probabilidad de ocurrencia y de los valores de

duración con relación respectiva, al caudal medio diario y al módulo anual.

Además, se cuenta con información limnigráfica de la estación HL6005 (RN 35) (ADA) cubriendo el período 1989-2010, con registros incompletos, pero con la particularidad que en algunos casos de tormentas, se registraron los valores de altura de agua cada seis horas (0:00, 06:00, 12:00 y 18:00 horas). Con esta información y sobre la base de 123 registros (período del 13/02/1989 hasta el 13/04/2009) de aforos por vadeo y elevación (ADA), se proporcionó un hidrograma para calibrar el modelo matemático que simula el comportamiento físico del sistema. Para trabajos posteriores y si se disponen de varios eventos observados, los mismos pueden ser utilizados para calibración (un grupo) y para validación (otro grupo). De esta forma se tendría una mejor descripción del sistema físico que a partir de un único evento.

Asimismo, se compilaron datos pluviométricos diarios, mensuales y/o anuales de tres estaciones seleccionadas por su ubicación planialtimétrica. Las series fueron homologadas en su longitud para su posterior tratamiento. Los datos de precipitación procesados provienen de los archivos pertenecientes a la Cátedra de Hidráulica Agrícola e Hidrología del Área de Hidráulica del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur (UNS). La Tabla 1 resume las fuentes de información pluviométrica.

Tabla 1: Fuentes de información pluviométrica diaria, mensual y/o anual.

Estación	Período	Lat.	Long.
Ea. Chica	1887-2009	-37.938	-62.099
Ea. Fortín Chaco	1955-2009	-38.047	-62.147
Ea. Gianotti	1960-2009	-38.27	-62.549

Como consecuencia de la alta variabilidad de la precipitación se realizó un análisis determinístico de frecuencias: año más seco (90% de probabilidad de ocurrencia), año más húmedo (10% de probabilidad de ocurrencia) y el año medio (50% de probabilidad de ocurrencia). Son respectivamente los de menor y mayor precipitación y el más parecido a la media. Este tratamiento se efectuó sobre los registros pertenecientes a las tres estaciones pluviométricas insertas en la zona de estudio (Estancia Chica, Estancia Fortín Chaco y Establecimiento Gianotti) para, posteriormente, estimar la relación precipitación-escorrentía que afecta la cuenca hasta la intersección del cauce con la Ruta Nacional 35 (estación limnigráfica HL6005).

Sobre la base de las tres estaciones pluviométricas, se trazaron los polígonos de Thiessen para la zona de estudio que abarca las Subcuencas Ia, Ib y Media Alta y se calcularon las láminas promedio de precipitación.

Por otra parte, para obtener el hietograma promedio de alturas de precipitación de la tormenta desarrollada del 8 al 10 de noviembre del 2002, se trazan las isoyetas y los polígonos de Thiessen para las estaciones pluviométricas seleccionadas. Para la determinación de la variación en el tiempo de la precipitación media es necesario determinar una curva masa media (Aparicio, 1994). Esta curva se construye aplicando el método de Thiessen a las alturas de lámina acumuladas en cada estación para diferentes tiempos. El resultado será una curva masa media y se puede refinar calculando la precipitación media de toda la tormenta con el método de las isoyetas y multiplicando cada ordenada de la curva masa media por el factor de ajuste $Fa = h_{pis}/h_{PT}$, donde h_{pis} es la altura de precipitación media de toda la tormenta calculada con el método de las isoyetas y h_{PT} es la misma altura pero calculada con el método de Thiessen. Con esto se obtiene la curva masa media ajustada y consecuentemente el hietograma esperado.

Concisamente, se recopila información sobre los principales parámetros de la cuenca y su división en subcuencas.

Se empleará el modelo HEC - HMS para el análisis de evento. El HEC - HMS, desarrollado por el United States Army Corps of Engineers (2008) y mediante el cual es posible transformar precipitación en escorrentía, utiliza entre otros, el método del Soil Conservation Service (SCS) para calcular la precipitación efectiva a través de la determinación de complejos hidrológicos suelo - vegetación - uso, que regulan la producción del escurrimiento superficial.

El modelo HEC - HMS impone la determinación de los valores de escurrimiento por medio de las conocidas curvas CN del United States Department of Agriculture Soil Conservation Service (1972), para lo cual se consideró el siguiente desarrollo: Limitado físicamente el sistema de cada subcuenca por sus divisorias de agua topográficas se procedió sobre ellas a la discriminación de superficies de suelos distintos, utilizando el Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires (Escala 1:500000) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (1989), para determinar los distintos tipos de suelos y las unidades cartográficas extraídas.

Se obtienen las superficies parciales para cada subcuenca de los distintos tipos de suelo. Para calcular las abstracciones de la precipitación (P) en una tormenta, el United States Department of Agriculture Soil Conservation Service (1972), desarrolló un método que en base a la estandarización de una familia de curvas por medio de un número adimensional CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$ permite obtener la denominada precipitación efectiva (P_e) o aquella parte de la precipitación que produce escorrentía, directamente de P. Para superficies impermeables y superficies de agua $CN=100$; para superficies naturales $CN < 100$. Los CN han sido tabulados con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra, por lo que se definen cuatro grupos de suelos en función del potencial de escurrimiento: Grupos A, B, C y D.

El volumen escurrido en función de una lámina precipitada sobre un área dada, está a su vez relacionado con variables tales como cobertura vegetal, clase y uso del suelo, precipitación antecedente, pendiente, etc. Con el objeto de poder aproximar uno o más complejos hidrológicos suelo - vegetación que permitan determinar el escurrimiento directo, el Soil Conservation Service ha tabulado distintas posibilidades que permiten obtener un CN compuesto.

Se plantea la expresión general del balance hidrológico en una cuenca para un ciclo anual medio con el propósito de estimar la evaporación. A continuación y a modo de verificación, se plantea una estimación de la evaporación real en el mismo período por medio del balance de Thornthwaite, en este caso, en cada una de las tres áreas caracterizadas por sus grupos hidrológicos de suelos (Chow et al., 1994).

Como tarea de campo, se realizan cuatro (4) aforos casi simultáneos (dentro de las 24 horas), bajo condiciones de régimen no influido (no extracción, no ingreso por precipitación) a fin de intentar conocer la redistribución interna del sistema fluviométrico del Río Sauce Chico. Los lugares seleccionados, desde aguas arriba hacia aguas abajo del curso, se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Realización de aforos - Lugares seleccionados.

Est. de aforo	Lat.	Long.	Altitud (msnm)
Ruta 33	S38°05'26.5"	O62°17'23.5"	234
Ruta 35	S38°29'49.0"	O62°38'42.2"	75
Ruta 3 sur	S38°41'56.5"	O62°27'29.6"	13
Can. Cuatros	S38°41'51.0"	O62°26'4.7"	14

Para la medición foronímica, se utilizó un medidor de velocidad digital Global Flow Probe FP101-FP201. En cada caso, se midieron progresivas, profundidades y velocidades medias para los puntos en que se dividió la sección transversal elegida. Las progresivas se tomaron desde veril derecho hacia el izquierdo. Las secciones de aforo fueron elegidas acorde a las mejores características hidráulicas para el desarrollo de la tarea. El cálculo del caudal para cada progresiva se realizó aplicando el método del prismoide (Tucci, 1994) y el valor final del caudal surge como resultante de la sumatoria de todas las secciones.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Análisis de la información fluviométrica diaria instantánea en Nueva Roma (RN 35) (HL6005)

Desafortunadamente, cuando el ingeniero trabaja en el mundo real del diseño hidrológico es más frecuente tener que tratar con cuencas o áreas con escasa o ninguna información, donde la matemática y sobre todo la estadística desarrollada basado en el análisis de buenas series históricas de lluvias y/o caudales, se deben sustituir por métodos eficaces, pero simples que usen pocos datos y el sentido común del hidrólogo experimentado. Estos métodos tienen mucho de ciencia y técnica, pero para obtener resultados "razonables" se requiere de mucho arte (Fattorelli y Fernández, 2007).

En primera instancia se representa la serie histórica de 10587 registros diarios tomados a las 12:00 hs, entre 1955 y 1988 (34 años), de los cuales 18 poseen registro completo a lo largo del año, a fin de analizar los registros en forma diaria y mensual (Figura 2).

Lamentablemente esta información no es la necesaria para poder definir el caudal medio diario pero si la suficiente para caracterizar la variabilidad diaria de niveles y así, por ejemplo definir valores medios mensuales. La estación HL6005 está ubicada en el sector medio de la cuenca y su área de aporte es de 1235.8 km², que representa aproximadamente, el 80 % de la cuenca total.

En cuanto a la duración de caudales diarios, en la Tabla 3, se presentan la duración de caudales diarios, donde se analizan de manera determinística los porcentajes de probabilidad de ocurrencia de los caudales diarios y los respectivos porcentajes de los valores de duración con respecto al caudal medio diario.

El escurrimiento fluvial medio diario instantáneo es de 2.02 m³/s, lo que equivale a un derrame diario de 0.175 hm³ y a una lámina de agua diaria escurrida sobre la cuenca de 0.13 mm. El caudal diario mínimo instantáneo corresponde a valores de 0.00 m³/s debido a problemas de lectura del registro limnimétrico (caño de medición fuera del agua pero observándose siempre un mínimo caudal base) y el máximo diario instantáneo a 113.6 m³/s. En el análisis de los caudales diarios instantáneos se destaca, además de su alta variabilidad (Desvío Estándar: 3.47 m³/s), la manifestación visual clara del aumento de la pluviosidad regional a partir de la década del sesenta (Figura 2), reflejándose fundamentalmente en la disminución de los intervalos de aparición de las crecidas diarias importantes.

Análisis de la información fluviométrica mensual en Nueva Roma (RN 35) (HL6005)

La información es analizada mensualmente y volcada en la Tabla 4. De acuerdo a la misma el escurrimiento fluvial medio anual es de 2.0 m³/s, lo que equivale a un derrame de 63.7 hm³, equivalente a una lámina de agua escurrida de 48 mm.

Durante los meses de marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre el escurrimiento medio supera al módulo anual (2.02 m³/s); en el otro extremo los meses de enero, febrero, junio, julio, agosto y diciembre

tienen un caudal medio inferior; los caudales mensuales medios mínimos ocurren en el verano durante el mes de enero (1.30 m³/s) y los máximos en el otoño, en el mes de abril (2.85 m³/s) y en la primavera, mes de octubre (2.78 m³/s) (Tabla 4).

Duración de Caudales Medios Mensuales en HL6005 (RN 35) - Análisis mes a mes

En la Tabla 5 se presenta la duración de caudales medios mensuales en HL6005 (RN 35), donde se analizan determinísticamente los porcentajes de probabilidad de ocurrencia de los caudales medios para cada mes en particular. Los datos de base son los presentados en la Tabla 4.

La duración de caudales medios mensuales en HL6005 (RN 35) analizados mes a mes, establece determinísticamente que para los porcentajes de probabilidad de ocurrencia del 90, 50 y 10 %, determina caudales promedios de 0.51, 1.63 y 3.98 m³/s, respectivamente. Con máximos y mínimos respectivos de 0.80 m³/s (Abril) y 0.21 m³/s (Enero), 2.57 m³/s (Abril) y 1.04 m³/s (Enero), 4.90 m³/s (Diciembre) y 3.03 m³/s (Enero). Considerando estas ofertas de agua, desde el punto de vista del riego, serían estas las alternativas que constituirían el principal recurso sostenible, de acuerdo a las demandas que se planteen.

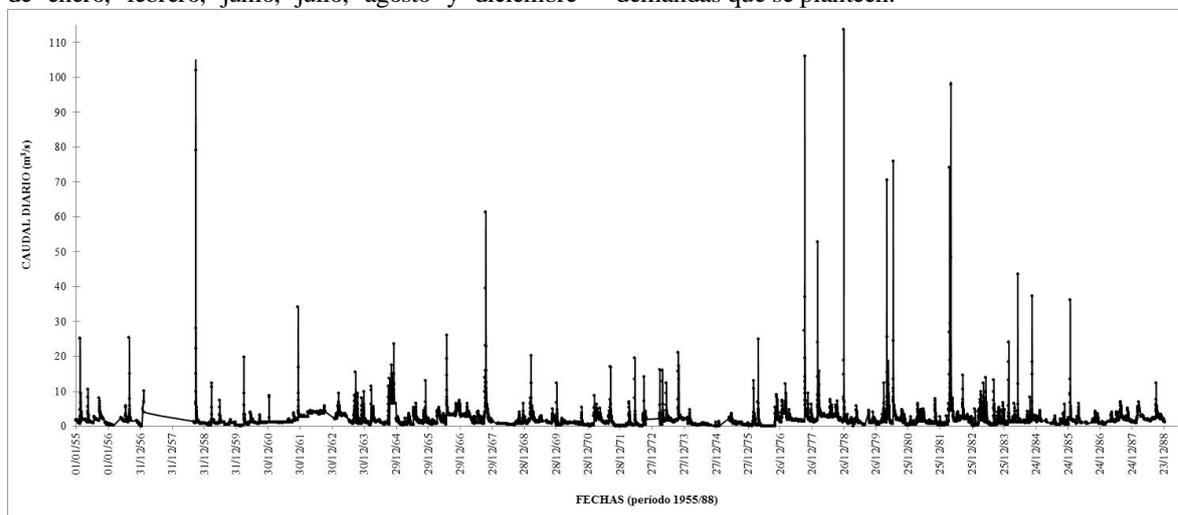


Figura 2. Río Sauce Chico – Estación HL6005-ADA- Serie histórica de caudales diarios – Período 1955/88: 10587 datos.

Tabla 3: Duración de caudales diarios – Análisis determinístico de determinadas probabilidades de ocurrencia y porcentajes asociados con respecto al valor medio: 2.02 m³/s (período 1955/88).

	Max.	5%	10%	20%	25%	30%	40%	50%	60%	70%	75%	80%	90%	95%	Min.
Q (m ³ /s)	113.6	5.08	3.85	2.78	2.39	2.03	1.68	1.39	1.12	0.88	0.76	0.66	0.40	0.19	0.00
% del Mod.	5626	251	191	138	118	100	83	69	55	44	38	33	20	9	0

Tabla 4: Río Sauce Chico – Caudales Medios Mensuales (m³/s); Fluvimetría y Estadística Hidrológica de la serie 1955/88 – Estación Nueva Roma (RN.35) (HL6005) – Fuente: Administración del Agua (ADA).

AÑO	RÍO SAUCE CHICO - Caudales Medios Mensuales en la estación Nueva Roma (m³/s) (Estación HL6005- RN35) Altitud: 83 msnm												Derr. anual	Caudal espec.	Caudal espec.	Esc. en cca alta y media	Análisis de caudales diarios - Años completos e incompletos			Nro. de días con registro limnigráfico
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.					Medio diario anual	Máximo diario anual	Mínimo diario anual	
1955	1.48	3.69	2.40	1.77	2.45	1.26	1.43	2.02	2.88	2.94	0.68	0.70	56.13	1.35	0.014	43	2.09	25.10	0.36	312
1956	0.49	0.26	***	***	***	1.90	2.24	3.17	2.62	***	***	0.80	***	***	***	***	1.60	25.30	0.14	215
1957	0.25	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	1.17	10.02	0.01	22
1958	***	***	***	***	***	***	***	11.02	***	2.57	0.84	0.82	***	***	***	3.47	102.00	0.61	117	
1959	0.72	0.48	1.45	1.54	0.72	1.33	1.49	0.88	0.46	0.90	0.89	0.69	30.40	0.73	0.007	23	0.97	12.40	0.14	365
1960	0.21	0.10	1.55	1.24	0.72	1.64	1.32	0.86	1.27	0.96	1.02	0.99	31.36	0.76	0.008	24	0.99	19.80	0.03	366
1961	1.56	1.05	1.02	1.01	1.01	1.01	1.02	1.14	1.43	1.24	2.09	1.83	48.80	1.23	0.012	39	1.62	34.14	0.92	365
1962	2.87	2.82	2.91	4.03	3.98	4.00	3.94	3.87	3.95	4.48	***	***	50.80	***	***	***	3.60	5.80	2.67	258
1963	***	2.55	4.80	3.25	3.31	2.96	1.41	1.07	3.69	2.21	1.40	3.11	***	***	***	***	2.75	15.54	0.61	304
1964	1.47	1.00	2.58	2.24	1.44	1.54	1.06	2.22	2.90	1.33	0.93	2.57	84.20	2.03	0.020	64	3.01	23.64	0.27	325
1965	1.93	0.77	0.58	0.72	1.74	1.06	2.22	2.90	1.33	0.93	2.57	2.25	49.99	1.21	0.012	38	1.59	13.10	0.28	365
1966	1.13	1.01	0.86	2.53	2.99	2.29	3.53	4.24	3.29	3.24	4.40	5.41	91.90	2.22	0.022	70	2.92	26.02	0.44	365
1967	3.20	3.05	3.44	3.06	1.94	1.69	2.25	2.17	1.11	11.40	3.59	1.49	101.01	2.44	0.024	77	3.21	61.37	0.61	364
1968	***	***	0.73	0.67	0.70	0.61	0.46	0.49	0.63	1.13	1.55	1.65	***	***	***	***	0.87	6.54	0.34	292
1969	1.34	1.27	4.98	2.57	1.44	1.44	2.03	***	1.22	0.94	1.82	1.62	***	***	***	***	1.91	20.16	0.72	321
1970	1.86	0.41	1.24	1.20	0.86	0.96	0.95	0.91	0.81	1.33	0.38	0.25	29.40	0.71	0.007	22	0.93	12.47	0.13	365
1971	0.25	0.31	2.61	3.43	2.54	1.40	1.02	1.50	4.24	0.73	0.13	0.06	47.90	1.16	0.012	36	1.52	17.11	0.02	365
1972	0.08	0.08	0.41	2.02	0.49	2.47	0.59	0.12	1.83	1.35	***	***	***	***	***	***	0.93	19.47	0.04	296
1973	***	***	4.76	2.68	2.11	3.16	2.04	1.56	1.47	4.49	2.78	2.09	***	***	***	***	2.50	21.14	0.44	281
1974	***	1.08	1.67	0.46	0.41	0.34	0.60	0.67	0.59	0.27	0.16	0.12	***	***	***	***	0.61	4.75	0.02	293
1975	0.07	***	***	***	***	2.23	1.08	0.95	0.93	0.77	0.36	0.41	***	***	***	***	0.84	3.62	0.01	249
1976	0.25	1.00	1.90	2.41	0.69	0.06	0.04	0.02	0.00	0.00	4.06	2.31	31.26	0.75	0.008	24	1.04	24.84	0.00	348
1977	3.07	5.04	3.42	2.51	1.87	1.81	1.74	1.63	1.46	16.87	3.09	2.72	91.56	2.21	0.022	70	3.15	106.04	1.02	337
1978	1.49	4.31	5.89	3.15	3.15	2.78	3.66	3.57	3.38	3.50	1.83	7.07	114.88	2.77	0.028	87	3.65	113.64	1.02	365
1979	2.12	1.07	1.59	0.87	2.30	1.16	0.78	0.41	***	1.74	1.32	1.40	***	***	***	***	1.40	5.76	0.30	291
1980	0.56	1.01	2.75	6.21	6.06	1.14	7.81	2.60	1.81	2.62	1.65	0.43	91.70	2.21	0.022	70	2.90	76.01	0.30	366
1981	0.77	0.78	0.61	2.84	2.59	2.57	1.33	1.05	1.06	1.37	1.93	0.55	48.79	1.11	0.011	35	1.45	7.91	0.19	365
1982	0.57	0.51	0.83	15.42	5.66	1.66	2.62	2.22	4.29	2.43	2.03	1.70	104.78	2.53	0.025	80	3.33	97.92	0.26	365
1983	0.65	0.41	2.57	4.11	4.11	4.10	0.61	1.04	2.37	1.70	2.40	3.02	69.50	1.68	0.017	53	2.24	13.85	0.09	360
1984	0.81	3.70	1.19	2.16	3.13	1.97	1.29	1.18	1.62	1.94	4.67	2.15	65.71	1.59	0.016	50	2.18	43.60	0.50	350
1985	1.83	2.21	***	***	***	0.80	1.22	0.71	0.57	1.24	1.68	0.71	***	***	***	***	1.24	6.25	0.35	264
1986	4.61	1.75	1.11	2.70	1.29	***	0.92	***	***	1.53	2.04	1.27	***	***	***	***	2.00	36.19	0.68	228
1987	0.77	0.75	***	***	2.19	1.36	2.38	4.29	2.37	2.17	2.97	1.42	***	***	***	***	2.05	7.00	0.46	316
1988	1.28	1.79	***	2.97	2.10	1.92	1.67	2.01	3.23	3.44	2.68	1.82	***	***	***	***	2.38	12.25	0.89	319
PROM=	1.30	1.53	2.22	2.85	2.21	1.76	1.78	1.68	2.18	2.78	2.21	1.91	66.02	1.59	0.016	50	2.00	30.32	0.44	***
MAX=	4.61	5.04	5.89	15.42	6.06	4.10	7.81	4.29	11.02	16.87	9.40	7.07	114.88	2.77	0.028	87	3.65	113.64	2.67	***
MIN=	0.07	0.08	0.41	0.46	0.41	0.06	0.04	0.02	0.004	0.002	0.13	0.06	29.40	0.71	0.007	22	0.61	3.62	0.00	***

Tabla 5: Duración de Caudales Medios para cada mes - Estación HL6005 (RN 35).

Prob. de ser igual. o exc. (%)	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
	(m ³ /s)											
Min.	0.07	0.08	0.41	0.46	0.41	0.06	0.04	0.02	0.004	0.002	0.130	0.06
90	0.21	0.21	0.67	0.80	0.59	0.68	0.60	0.38	0.60	0.61	0.39	0.32
50	1.04	1.13	1.81	2.57	2.05	1.59	1.36	1.33	1.50	1.94	1.84	1.40
10	3.03	3.79	4.72	4.30	4.05	2.95	3.63	3.75	3.95	4.45	4.23	4.90
Máx.	4.61	5.04	5.89	15.42	6.06	4.10	7.81	4.29	11.02	16.87	9.40	7.07

Clasificación hidrológica de los suelos

En la Tabla 6 se exponen las superficies parciales para cada subcuenca correspondientes a los distintos tipos de suelo (INTA) y la clasificación hidrológica apropiada tabulada con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra por el SCS. La Figura 3 muestra la clasificación hidrológica (Condición II-Normal) de los suelos de las Subcuencas Ia, Ib y Media Alta.

Tabla 6: Tipos de suelos (INTA) y clasificación hidrológica de acuerdo al SCS, para cada subcuenca.

Clasif. hidrol. s/ SCS	CN s/ SCS	Suelo s/ INTA	ÁREAS CUBIERTAS		
			Subcuenca		
			Superior Ia	Superior Ib	Media Alta I
			km ²	km ²	km ²
C	74	1a	113.9	88.1	8.0
C	78	3a			177.5
B	70	2c		34.0	75.2
B	70	2f	84.1	37.0	
B	70	2g			208.0
B	70	3b			410.0
		Tot.	198.0	159.1	878.7

Se observan diferentes valores de CN de acuerdo a los distintos tipos de suelos en base a la clasificación de INTA en la Tabla 6. Por ejemplo, en el caso del suelo con clasificación hidrológica C (CN 74) el tipo de suelo corresponde a *Suelo 1a*: Asociación de Hapludol lítico, franco fino, que ocupa principalmente las pendientes, las partes altas están constituidas por roca aflorante desprovista de suelo, siendo ésta la que predomina en la unidad y en el caso del suelo con clasificación hidrológica C (CN 78) el tipo de suelo según INTA corresponde a *Suelo 3a*: Asociación de Haplustol típico, fino, ubicado en el fondo de los valles; Haplustol éntico, inclinado, en sus flancos, y Haplustol lítico, en los interfluvios. Es de un paisaje colinado, con pendientes bien marcadas y antiguas vías de escurrimiento que forman una nítida y densa red de drenaje de diseño dendrítico.

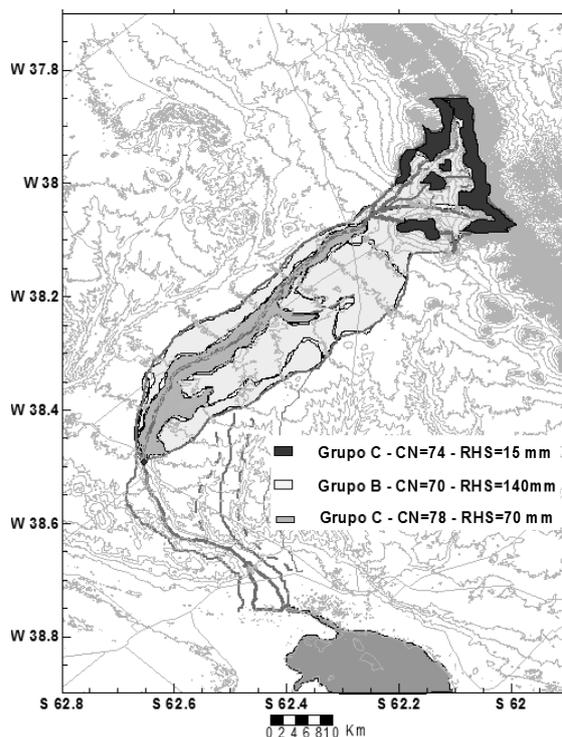


Figura 3. Clasificación hidrológica de los suelos de las Subcuencas Ia, Ib y Media Alta.

La reserva de humedad del suelo (RHS) es el agua utilizable o potencialmente aprovechable por las plantas en la zona de crecimiento radical y resulta de la diferencia entre los contenidos de agua a Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente. Los valores de RHS aquí adoptados, de acuerdo a la clasificación hidrológica del SCS, a las unidades cartográficas del INTA y experiencias personales, fueron recomendados por especialistas de suelos del Departamento de Agronomía (UNS).

Estimación de escurrimientos

Análisis anual y mensual hasta HL6005 -Balances

Para la estimación de la relación precipitación-escurrimiento afectando la cuenca hasta la intersección del cauce con la Ruta Nacional 35 (estación

limnigráfica HL6005) se eligieron tres estaciones pluviométricas insertas en la cuenca (Estancia Chica, Estancia Fortín Chaco y Establecimiento Gianotti) cuya ubicación se detalla en Tabla 1. Se presenta el análisis determinístico de frecuencias (Tabla 7), resolviendo las láminas promedio de acuerdo a los polígonos de Thiessen (Figura 4).

Tabla 7: Análisis de frecuencia.

Prob. de Ocurrencia	Ea. Chica (mm)	Ea. F.Chaco (mm)	Ea. Gianotti (mm)	Lam. Prom. s/Thiessen (mm)
90%	480	650	380	447
50%	710	890	660	704
10%	1000	1180	1030	1036
1%	1290	1570	1100	1222
Sup. (km ²)	444.5	141.0	650.3	-

Sobre la base de los registros de caudales en la estación limnigráfica HL6005 (Tabla 4), se presentan en la Tabla 8 los resultados de la aplicación de las precipitaciones mensuales promedio (s/Thiessen) en concordancia temporal con los registros foronómicos. Los resultados indican que la comparación de una producción promedio de 66 hm³ (Tabla 4), con la afectación de una precipitación promedio de 729 mm sobre las Subcuencas Ia, Ib y Media Alta (1235.8 km²), establece una relación escurrimiento-precipitación promedio del 7%, con una lámina media de 50 mm.

Se aplica la expresión general (1) del balance hidrológico en una cuenca para un ciclo anual medio:

$$P - E - Q - \Delta S = 0 \quad (1)$$

Donde: P es la precipitación (mm), E es la evapotranspiración (mm), Q es la escorrentía (mm) y ΔS es la variación del volumen de agua almacenada en la cuenca, que puede considerarse nula a lo largo de un ciclo de varios años. Se deduce entonces que $E = 729 - 50 = 679$ mm.

Para su verificación se plantea una estimación de la evaporación real en el mismo período por medio del balance anual de Thornthwaite, que mediante un análisis mensual de la evapotranspiración potencial (determinada por Penman), la precipitación y la reservas de humedad del suelo, obtiene en cada una de las tres áreas caracterizadas por sus grupos hidrológicos de suelos, los correspondientes valores mensuales de evapotranspiración real y escurrimientos (Chow et al., 1994). En este análisis, se supone una distribución uniforme de la precipitación mensual. Un resumen de

los resultados se muestra en Tabla 9, donde C(1) corresponde al suelo C con CN 74 y C(2) al suelo C con CN 78 en Tabla 6.

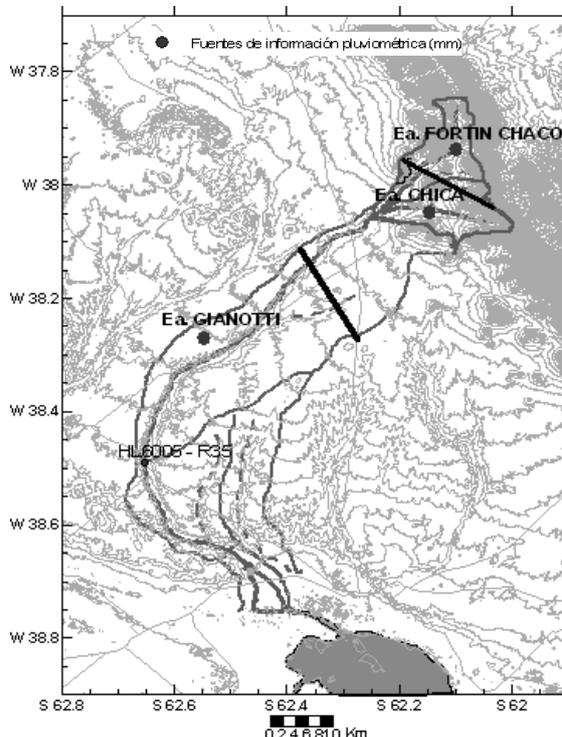


Figura 4. Estaciones pluviométricas y polígonos de Thiessen (Subcuencas Ia, Ib y Media Alta).

Tabla 8: Resultados del análisis de escurrimientos en HL6005.

Años	Derrames en RN 35 (hm ³)	Derrames en RN 35 (mm)	Precip. Anual Prom. s/ Thiessen (mm)	Coef. de Esc.
1955	56	43	687	0.07
1959	30	23	565	0.04
1960	31	24	601	0.04
1961	51	39	604	0.07
1964	84	64	885	0.08
1965	50	38	558	0.07
1966	92	70	762	0.10
1967	101	77	619	0.13
1970	29	22	555	0.04
1971	48	36	566	0.07
1976	31	24	851	0.03
1977	92	70	1024	0.07
1978	115	87	830	0.11
1980	92	70	828	0.09
1981	46	35	623	0.06
1982	105	80	901	0.09
1983	70	53	751	0.07
1984	66	50	907	0.06
Prom.	66	50	729	0.07

Tabla 9: Resumen de los resultados.

Suelo	C(1)	B	C(2)	Tot.
Superf. (km ²)	210.0	848.3	177.5	1235.8
Superf. (%)	0.17	0.69	0.14	1.00
RHS (mm)	15	140	70	-
Evap. Real (mm)	106	506	95	707
Escurr. (mm)	93	52	52	-
Esc. ponderado por área (mm)	15.8	35.9	7.3	59
Volumen (hm ³)	19.5	44.5	9.0	73

De la Tabla 9 puede derivarse una relación media de escurrimiento-precipitación del orden del 8%, comparando el volumen producido por la precipitación total (900 hm³) con el derrame real de 73 hm³. El valor medio anual calculado para el exceso es de 59 mm. La evapotranspiración real ajusta adecuadamente.

Análisis de evento individual hasta HL6005

A modo de comparación de los valores de la relación escurrimiento-precipitación obtenidos anteriormente, se analizó un evento individual de importante producción de escorrentía. Por lo tanto, se adopta el modelo HEC - HMS, desarrollado por el US Army Corps of Engineers, mediante el cual es posible transformar precipitación en escorrentía. Se adoptaron los números de curva CN (Tabla 6 y Figura 3), que junto a parámetros geomorfológicos de la cuenca y a un evento de tormenta conforman la entrada al modelo. En este caso se seleccionó una tormenta de magnitud y afectación areal importante como la desarrollada el 8 al 10 de noviembre del 2002. Se posee un hidrograma registrado a la salida de la zona de estudio (estación limnigráfica HL6005, RN 35) con datos cada 6 horas (0:00, 06:00, 12:00 y 18:00 horas), para poder calibrar el modelo. Este hidrograma resulta de ajustar leyes H-Q sobre la base de 123 registros de aforos por vadeo y elevación, que cubrían desde el 13/02/1989 hasta el 13/04/2009 (ADA).

Para la determinación de la precipitación media para la cuenca del Río Sauce Chico hasta la HL6005 (RN 35), se eligieron las tres estaciones pluviométricas ubicadas en Estancia Chica, Estancia Fortín Chaco y Establecimiento Gianotti, resolviendo las láminas promedio de acuerdo a los polígonos de Thiessen (Tabla 10) y generando el hietograma de precipitación diaria, que se presenta en la Figura 5.

El esquema del modelo de cuenca adoptado consiste en la generación de los hidrogramas en cada

Subcuenca Superior Ia y Ib, la suma de los mismos en su punto de unión, el traslado de este hidrograma hasta el cierre en la Ruta Nacional 35 y el agregado del hidrograma de la Subcuenca Media Alta en ese punto, tal lo presentado en la Figura 6.

Tabla 10: Tormenta del 8 al 10/Nov/2002 - Determinación de la precipitación media mediante polígonos de Thiessen.

Fecha	Ea. Chica	Ea. F.Chaco	Ea. Gianotti	Lám. Prom. Diaria S/ Thiessen
	(km ² x mm)	(km ² x mm)	(km ² x mm)	(mm)
08/11/2002	44500	14100	58500	95
09/11/2002	25365	13677	32500	58
10/11/2002	24475	2679	22750	40
Total				193

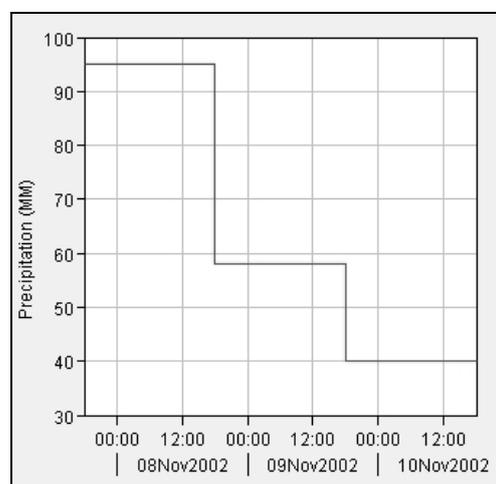


Figura 5. Hietograma diario promedio - Tormenta del 8 al 10/Nov/2002.

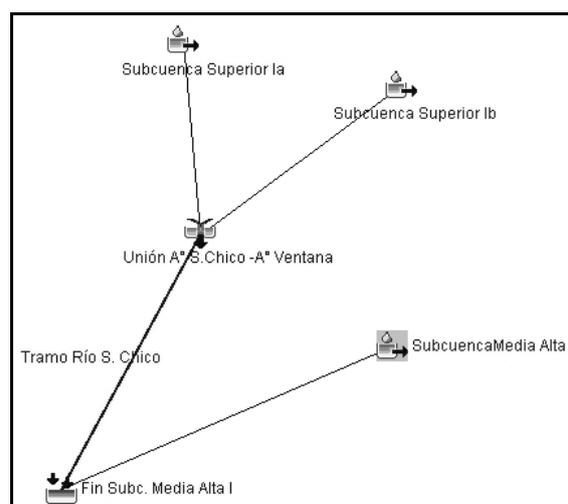


Figura 6. Esquema de control para la simulación - Tormenta del 8 al 10/Nov/2002.

Luego de realizar algunas corridas previas y contrastes con los valores de los caudales ajustados preliminarmente, se optimizaron el coeficiente de escurrimiento promedio ponderado (CN), la

abstracción inicial (Ia) y el tiempo de retardo (Tlag) concluyendo que el conjunto de valores que mejor identifica a esos parámetros son los presentados en la Tabla 11.

Tabla 11: Valores iniciales y optimizados de parámetros hidrológicos.

	Subc. Superior Ia		Subc. Superior Ib		Subc. Media Alta	
	Iniciales	Optimizados	Iniciales	Optimizados	Iniciales	Optimizados
Área	198.03	-----	159.06	-----	878.66	-----
Cn Prom. Pond.	72.00	58.46	72.00	57.04	71.00	79.26
Abstracción Inicial (mm)	19.75	73.83	19.75	66.08	20.74	50.24
Tiempo de Retardo (min)	261.22	115.68	205.50	92.42	591.90	972.60

Los valores optimizados de CN y abstracción inicial los resuelve el propio modelo ajustando volúmenes escurridos en el modelo y volúmenes observados para el evento. Similarmente, el tiempo de retardo se ajusta para aproximar la forma y el tiempo de presentación del caudal pico al del hidrograma medido.

El hietograma que aparece sobre los hidrogramas está dibujado de acuerdo a los incrementos de tiempo señalados en las especificaciones de control (30 min). Si, por ejemplo en el primer día de lluvia se registraron 95 mm, en cada intervalo de 30 minutos cayeron 1.98 mm.

Para las tres subcuencas (Superiores Ia, Ib y Media Alta) se eligieron como método de generación de la Precipitación Neta el método de la Curva Número del SCS y para la Transformación o generación del Hidrograma, el método del Hidrograma Unitario del SCS. Se consideró la existencia de caudal base solamente para la Subcuenca Media Alta, utilizando el método de recesión. Para el traslado de la avenida por el denominado tramo Río Sauce Chico se utilizó el método de Muskingum.

Los resultados de la ejecución del programa con los nuevos parámetros se presentan en las Figuras 7 a 11 y en la Tabla 12.

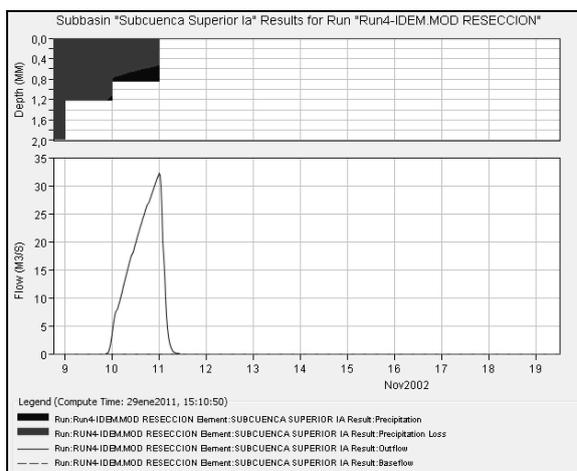


Figura 7. Evento Nov/2002 - Hidrograma en Subcuenca Superior Ia.

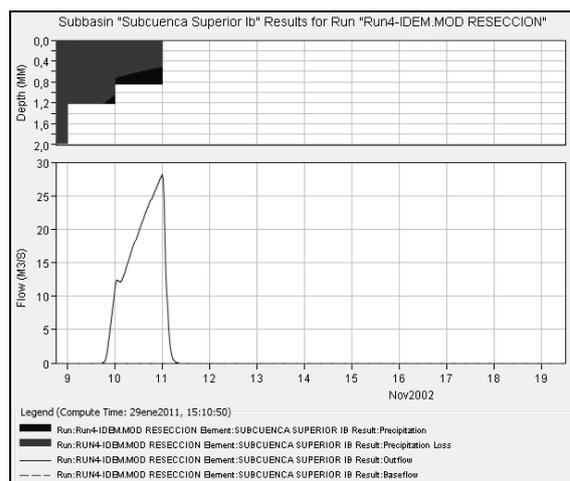


Figura 8. Evento Nov/2002 - Hidrograma en Subcuenca Superior Ib.

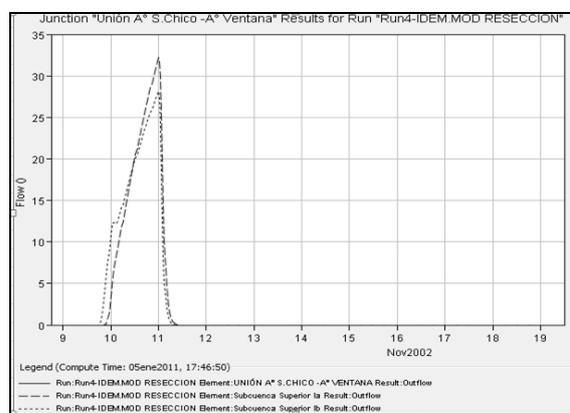


Figura 9. Evento Nov/2002 - Hidrogramas de las Subcuencas Ia y Ib en el punto de unión (Balneario Tornquist).

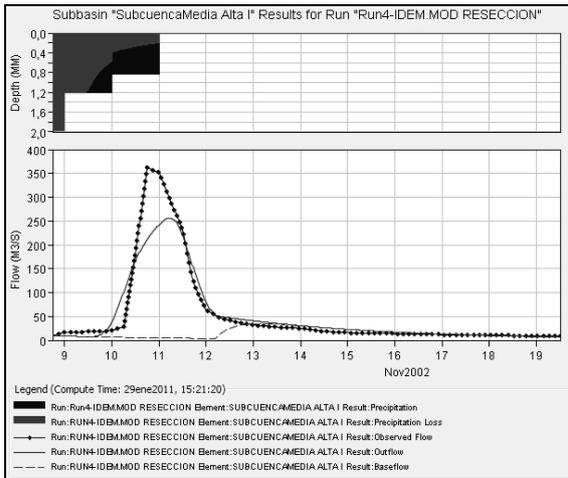


Figura 10. Evento Nov/2002 - Hidrograma de Subcuenca Media Alta I en RN 35.

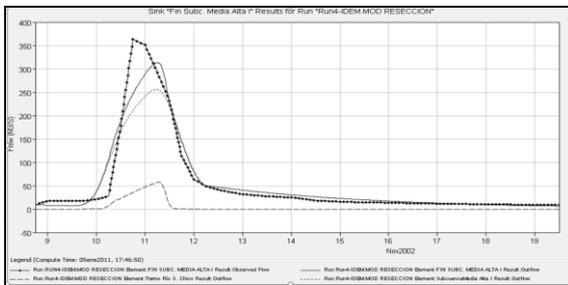


Figura 11. Hidrogramas calculado y observado en RN 35.

Tabla 12: Resumen de los resultados.

Project: TORM-NOV-2002 Simulation Run: Run4-IDEM.MOD RESECCION				
Start of Run: 08nov2002, 18:00		Basin Model: Cuenca Río Sauce Chico		
End of Run: 19nov2002, 12:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 05ene2011, 19:46:50		Control Specifications: Control 1		
Volume Units: <input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3				
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Fin Subc. Media Alta I	1235.75	313	11nov2002, 06:00	50125
Subcuenca Media Alta I	878.66	256	11nov2002, 05:30	46138
Subcuenca Superior Ia	198.03	32	11nov2002, 00:00	1991
Subcuenca Superior Ib	159.06	28	11nov2002, 00:00	1996
Tramo Río S. Chico	357.09		31dic1969, 18:00	0
Unión A° S. Chico -A° Ventana	357.09		31dic1969, 18:00	0

En síntesis, el evento real de tormenta del mes de noviembre del 2002 (193 mm en tres (3) días, intensidad media: 2.7 mm/h), produjo valores del caudal pico de 313 m³/s y volúmenes de escorrentía de 50 hm³ en la intersección del cauce con la Ruta Nacional 35 (estación limnigráfica HL6005), del orden de magnitud del derrame anual promedio de 66 hm³ para el período 1955-1988 (Tabla 4). Por otra parte, en el Balneario Tornquist (cercano a Paso Bower) se estimó que la crecida desarrolló un caudal pico de 60 m³/s y un volumen de escorrentía de 4 hm³. Como resultado de la simulación hidrológica, la relación escurrimiento-precipitación alcanza el 20%.

Se observa que con una duración de tormenta de tres días para la cual la evaporación puede ser nula o despreciable, se verifican relaciones de escurrimiento de mayor magnitud en función de la dinámica real del proceso de precipitación.

Un análisis hidrológico a partir de una representación más consustanciada con el proceso natural aproximará precisamente a la producción hídrica del sistema. Ello puede lograrse, con adecuada amplitud en la medición de los parámetros y mediante el uso de un modelo continuo que incluya todos los eventos y resuelva el balance en vertical y horizontal.

Realización de aforos

Los valores de los aforos realizados fueron: Q RUTA 33 = 0.76 m³/s, Q RUTA 35 = 1.45 m³/s, Q RUTA 3 SUR = 1.31 m³/s y Q CUATREROS = 0.32 m³/s.

Los resultados responden aceptablemente a la condición planteada (régimen no influido) y muestran un desarrollo del caudal que aumenta desde aguas arriba hacia aguas abajo (Figura 12). Se puede inferir el carácter de efluencia del curso en la parte superior de la cuenca (aguas arriba del aforo en RUTA 33), marcando la zona de escurrimientos importantes y de recarga hacia aguas abajo, constituyendo en general, en la parte media y baja de la cuenca, un régimen influente para el cauce principal.

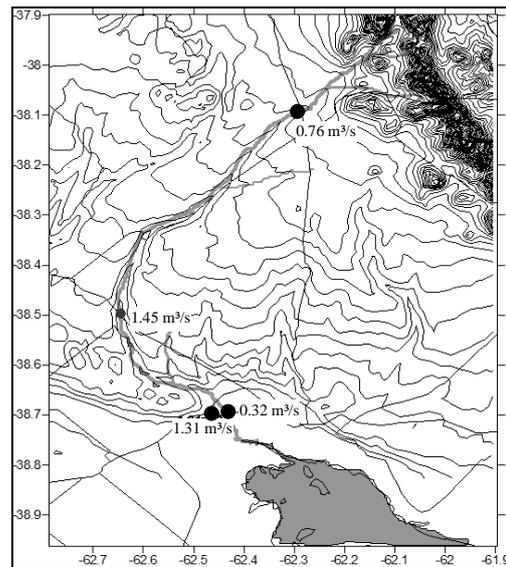


Figura 12. Aforos realizados bajo régimen no influido (Julio/2010).

CONCLUSIONES

De los datos registrados en la estación limnigráfica HL6005 (R35), se analizó la serie fluviométrica histórica de caudales instantáneos diarios (tomados a las 12:00 hs de cada día) comprendida en el período 1955-88 (34 años), de los cuales 18 se consideraron completos (10587 datos limnimétricos transformados a valores de caudal).

Se cuantifica un escurrimiento fluvial medio diario instantáneo de $2.02 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que equivale a un derrame diario de 0.18 hm^3 y una lámina diaria escurrida sobre la cuenca hasta la Ruta 35, de 0.13 mm . El caudal diario mínimo de la serie corresponde a valores de $0.00 \text{ m}^3/\text{s}$ (caño fuera del agua, pero observándose siempre un mínimo caudal base) y el máximo diario a $113.6 \text{ m}^3/\text{s}$, ocurrido en 1978. El grado de incertidumbre del análisis fluviométrico para la determinación de caudales medios diarios está dado por disponer de un único valor limnimétrico, leído a las 12:00 hs. de cada día, si bien en la información de niveles enviada por ADA, se evidenciaba la posibilidad de 4 lecturas diarias (0:00, 06:00, 12:00 y 18:00 hs), que solo se registraron para algunos períodos de crecida en la serie limnigráfica incompleta 1989-2010.

El análisis de los caudales medios mensuales del río otorga un valor del módulo anual de $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$. Durante los meses de marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre el escurrimiento medio supera al módulo anual; en el otro extremo los meses de enero, febrero, junio, julio, agosto y diciembre tienen un caudal medio inferior. Los caudales mensuales medios mínimos ocurren en el verano durante el mes de enero ($1.30 \text{ m}^3/\text{s}$) y los máximos en el otoño, en el mes de abril ($2.85 \text{ m}^3/\text{s}$) y en la primavera, mes de octubre ($2.78 \text{ m}^3/\text{s}$).

El escurrimiento fluvial medio mensual en HL6005 (R35) es de $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ lo que equivale a un derrame anual de 63 hm^3 y una lámina de agua escurrida de 48 mm ($\approx 7\%$ de la precipitación). El caudal medio anual mínimo de la serie corresponde al año 1974 con un módulo de $0.61 \text{ m}^3/\text{s}$ y el máximo al año 1978 con $3.65 \text{ m}^3/\text{s}$.

La duración de caudales medios mensuales en HL6005 (R35) analizados mes a mes, establece determinísticamente que para los porcentajes de probabilidad de ocurrencia del 90, 50 y 10%, determina caudales promedios de 0.51, 1.63 y 3.98

m^3/s , respectivamente. Con máximos y mínimos respectivos de $0.80 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abril) y $0.21 \text{ m}^3/\text{s}$ (Enero), $2.57 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abril) y $1.04 \text{ m}^3/\text{s}$ (Enero), $4.90 \text{ m}^3/\text{s}$ (Diciembre) y $3.03 \text{ m}^3/\text{s}$ (Enero). Desde el punto de vista del riego, estas ofertas de agua serían las alternativas que constituirían el principal recurso sostenible, de acuerdo a las demandas que se planteen.

La variación de caudales a lo largo del cauce desde Ruta 33 hasta Ruta 3 Sur, bajo régimen no influido y en condiciones normales presenta un crecimiento desde aguas arriba hacia aguas abajo. Los valores de los aforos realizados fueron: $Q_{\text{RUTA 33}} = 0.76 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{RUTA 35}} = 1.45 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{RUTA 3 SUR}} = 1.31 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q_{\text{CUATREROS}} = 0.32 \text{ m}^3/\text{s}$. Las relaciones presentan un crecimiento del 90% entre los dos primeros y del 12% entre $Q_{\text{RUTA 35}}$ y la suma de $Q_{\text{RUTA 3 SUR}}$ y $Q_{\text{CUATREROS}}$.

La información pluviométrica permitió cuantificar en 704 mm , la lámina promedio anual de agua precipitada en la cuenca en el período 1887 - 2009, según el método de Thiessen. Es importante destacar la alta variabilidad de los registros como consecuencia del enclave del área de estudio en la frontera de la zona semiárida. La distribución anual de las precipitaciones presenta dos períodos lluviosos: uno al final del verano - principios de otoño y otro a comienzos de la primavera. En términos generales se considera como más húmedo al semestre octubre - marzo, en el que precipita alrededor del 70% de la lluvia total anual.

La estimación del análisis anual de los escurrimientos de las Subcuencas Ia, Ib y Media Alta, hasta la intersección del cauce con la Ruta 35 (HL6005), indican que para una producción fluviométrica promedio de 66 hm^3 (serie 1955 - 1988), con una precipitación promedio de 729 mm , establece una relación escurrimiento-precipitación promedio de aproximadamente 7%. Como verificación, el análisis mensual, a través de balances hidrológicos, aplicados a las áreas generadas por distintos tipos de suelos, deduce una relación media escurrimiento-precipitación cercana al 8%.

Por otra parte, el análisis de un evento de tormenta individual (8, 9 y 10/Nov/2002) que precipitó 193 mm sobre la cuenca, da como resultado un volumen escurrido de 50 hm^3 , lo que indica una relación escurrimiento-precipitación del 20% (para ese evento particular).

El análisis anual de las relaciones escurrimiento-precipitación a lo largo de la cuenca (7% en HL6005) indica que la influencia de las lluvias como generadoras del escurrimiento fluvial está básicamente condicionada por el estado de mayor o menor humedad antecedente de la cuenca. La marcha mensual de los caudales y precipitaciones a lo largo del año señalaría la influencia que sobre la respuesta global de la cuenca ejercerían sus estados húmedos o secos antecedentes y la intensidad estacional de la evapotranspiración.

Los modelos matemáticos utilizados fueron optimizados para su aplicación a la cuenca y reproducen satisfactoriamente el comportamiento hidrológico. Desde este punto de vista se convierten en herramientas útiles para la estimación de caudales y volúmenes de escorrentía alcanzados ante el planteo de distintos eventos.

Este trabajo logra un primer diagnóstico, en cuanto al estado de la situación y potencialidad del aprovechamiento integral y sustentable del recurso hídrico superficial del sistema conformado por las Subcuencas Superiores Ia, Ib y la Media Alta del Río Sauce Chico, hasta la estación limnigráfica HL6005 (Nueva Roma - Ruta 35) ubicada en el sector medio de la cuenca con un área de aporte que representa, aproximadamente, el 80% de la cuenca total y donde se emplazan sectores de importancia bajo riego.

Resulta necesaria una instrumentación más completa de la cuenca a los efectos de contar con la mayor cantidad y calidad de registros de precipitaciones y de caudales, dado que los disponibles, al momento de realizar el estudio, fueron escasos. Estos valores complementarían la información básica de la red de monitoreo para obtener un registro de datos más representativo en el tiempo, que permitan lograr mejores conocimientos de la oferta hídrica, a fin de optimizar la utilización del recurso para riego

BIBLIOGRAFÍA

Agua y Energía Eléctrica. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. 1981. Estadística Hidrológica hasta 1980- Fluviometría.

Albouy, E. R. 1994. Tesis de Doctorado en Geología. Hidrogeología de la cuenca superior del río Sauce Chico, Sierras australes, provincia de Buenos Aires.

Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina. 155 páginas.

Aparicio, M. J. 1994. Fundamentos de Hidrología de superficie. 3ª Reimpresión. Limusa, Noriega, Mexico D.F. pp 303.

Arbanesi, G., V. G. de Vercesi, M. González Uriarte. 1988. Análisis geomorfológico cuantitativo de la cuenca superior del río Sauce Chico. Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. II Jornadas Geológicas Bonaerenses. Actas: 187-200. Bahía Blanca.

Chow Ven Te; Maidment, D. R y Mays, L. W. 1994. Hidrología Aplicada. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá, Colombia.

Convenio Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires (MOP) – Universidad Nacional del Sur (UNS) – Comisión de Investigaciones Científicas (CIC). 1990. Plan Integral de Abastecimiento de Agua a Bahía Blanca y Gran Bahía Blanca. Tomo III: Hidrología Superficial: Sauce Chico, Chasicó, Napostá y Sauce Grande.

Dirección Provincial de Hidráulica. Departamento de Hidrología. Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires. 1998. Informe Hidrológico. Cuenca del Río Sauce Chico. La Plata. Argentina.

Fattorelli, S. y Fernández, P.C. 2007. Diseño Hidrológico. Primera edición. Zeta Editores. Mendoza. Argentina. 604 páginas.

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires (Escala 1:500000).

Torrero, M. P. 2009. Tesis de Doctorado en Geografía. Río Sauce Chico: Estudio Hidrográfico para un Desarrollo Sustentable. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina.

Tucci, C. 1994. Hidrología: Ciencia e Aplicação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

United States Army Corps of Engineers. 2008. HEC-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), User's Manual. Version 3.3; 290 páginas. www.hec.usace.army.mil.

United States Department of Agriculture Soil Conservation Service. 1972. National Engineering Handbook, section 4, Hydrology. Washington, D.C.

Artículo recibido el 01/2016 y aprobado para su publicación el 04/2016.