

# SIMULACIÓN LLUVIA – CAUDAL CON EL MODELO HEC-HMS EN EL SISTEMA BAÑADO LA ESTRELLA (FORMOSA)

María Alejandra Cristanchi<sup>1</sup>, Rosana Hämmerly<sup>2</sup> y Miguel Ángel Valiente<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dirección Ejecutiva Comisión Trinacional río Pilcomayo.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH-UNL).

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería (UNNE), Formosa (3600) Argentina. - (+54 9) 3704-664974

E-mail: alejandracristanchi@yahoo.com.ar, alejandracristanchi@gmail.com

## Introducción

El bañado La Estrella constituye una de las reservas más importantes de agua superficial con que cuenta la provincia de Formosa. Es el tercer humedal más grande de Sudamérica, junto al gran Pantanal y los esteros del Iberá (Fundación ProYungas, 2010).

Dentro del bañado La Estrella se encuentra el Complejo Hidrovia Ruta Provincial (RP) N° 28, el objetivo principal de este gran embalse de llanura fue el de generar un reservorio que almacene los excesos hídricos que se producen cíclicamente todos los años a través de los pulsos hídricos en el escurrimiento y proporcionar una fuente de abastecimiento artificial a diferentes poblaciones y emprendimientos locales en momentos en que los aportes del bañado cesan, ya sea por la interrupción o disminución de los caudales que trae el río Pilcomayo.

La alimentación de agua al Embalse RP N° 28 se genera principalmente en los escurrimientos provenientes de los desbordes del río Pilcomayo que ingresan a territorio formoseño a través de canales y correderas construidos en el extremo noroeste de la provincia y que forman el inicio del bañado La Estrella. Sin embargo existe una porción de superficie que también aporta agua al embalse y que es la cuenca propia del bañado, con un área de 8.711km<sup>2</sup>, generando un caudal significativo a causa de las precipitaciones que se producen en esta zona.

Es de interés en este trabajo reconocer la existencia de esta segunda fuente de aporte de agua, razón por la cual para el cálculo de lluvia – caudal se implementa el modelo HEC-HMS, en su versión 4.0 (US Army Corps of Engineers).

## Objetivo

El objetivo del presente trabajo es intentar representar la hidrología de la cuenca propia del bañado La Estrella hasta el Embalse RP N° 28 en base a la información, recursos y sugerencias disponibles, con la meta de estimar hidrogramas de caudales para el período 2005/2006-2010/2011, que se generan en esta zona producto de las precipitaciones y que indudablemente juegan un papel relevante en la incorporación de agua al Embalse RP N° 28.

## Metodología aplicada

Se utilizó el modelo HEC-HMS en su versión 4.0. En la modelación se utiliza la técnica propuesta por el Servicio de Conservación del Suelo (SCS) de los Estados Unidos tanto para la evaluación de las abstracciones o pérdidas de las precipitaciones totales como para la materialización del hidrograma resultante, de amplio uso en la República Argentina y mundo entero.

Tomando en cuenta las consideraciones de diferentes autores (Remeneiras, 1971; Linsley *et al.*, 1990; Maidment, 1992; Ponce, 1994; Fattorelli y Fernández, 2007; Orsolini, Zimmermann y Basile, 2008) en cuanto a la superficie de la cuenca para aplicar el método del hidrograma unitario, se decidió tratar de respetar el tamaño máximo de las subcuencas a representar en la topología del modelo con una superficie hasta de 2.000km<sup>2</sup>, esto generó una discretización en siete subcuencas.

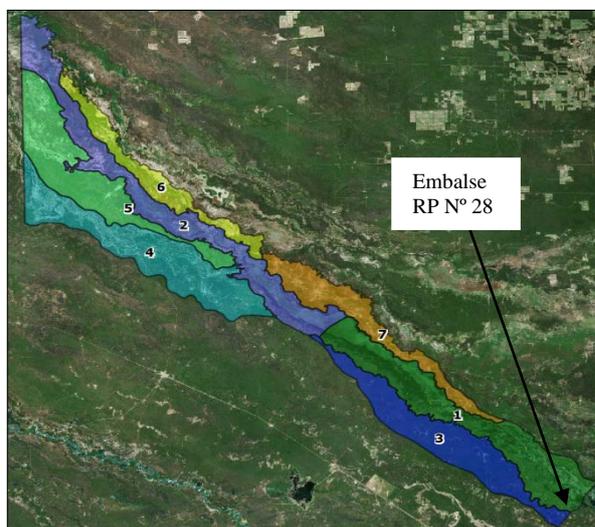


Figura 1.- Subcuencas bañado La Estrella.

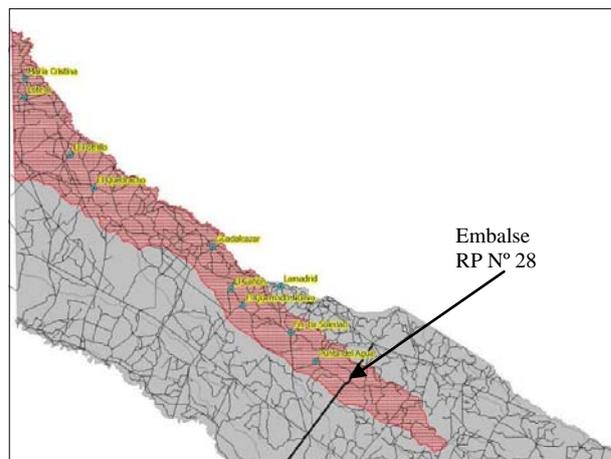


Figura 2.- Ubicación estaciones pluviométricas.

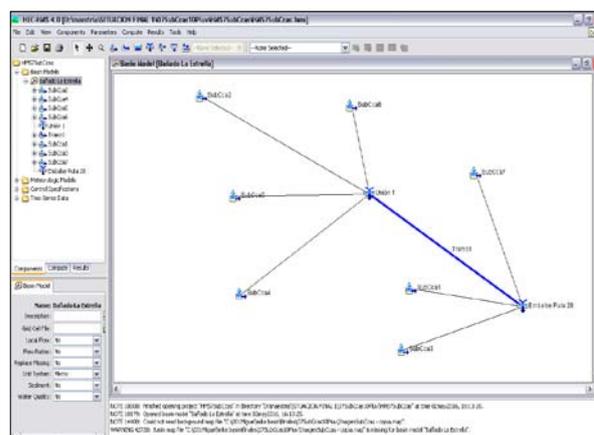


Figura 3.- Topología modelo HEC-HMS.

El método de las abstracciones propuesto por la metodología del SCS en la técnica del hidrograma unitario y su materialización en el hidrograma de escurrimiento directo requiere la obtención de algunos parámetros como ser CN (número de curva), Lag Time (tiempo de retardo), el área de cada subcuenca, entre otro.

El CN para cada una de las siete subcuencas fue obtenido en base a la superposición de tres capas temáticas procesadas en un SIG y son:

- **Tipo de suelo:** información provista por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), a través de la publicación del Atlas de Suelos, escala 1:500.000 para toda la República Argentina
- **Cobertura de suelos:** información obtenida en formato SIG publicada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN ex IGM), en su página web, donde presenta una diversidad de capas temáticas del SIG 250 a partir de la cual se obtuvo el layer “cobertura de suelos” en formato vectorial y a escala 1:250.000
- **Subcuencas del área de estudio:** capa determinada en base a la subdelimitación del área total de estudio en cada una de las subcuencas

Esta superposición a modo de intersección georreferenciada permitió obtener por cada subcuenca el porcentaje de tipo de suelo (por ende su grupo hidrológico) y cobertura de suelo. Teniendo en cuenta estos resultados se estimaron los valores de CN para cada grupo hidrológico de suelo en combinación con la cobertura para posteriormente obtener en forma ponderada el valor de CN final único para cada subcuenca.

Tabla 1.- Valores CN subcuencas bañado La Estrella.

Sub Cuenca	Area Km2	CN
1	1582	37.4
2	1604	36.3
3	1193	38.9
4	1543	35.6
5	1311	35.4
6	662	34.5
7	816	40.8
<b>Total</b>	<b>8711</b>	

El tiempo de retardo fue determinado teniendo en cuenta la publicación del ASCE (American Society of Civil Engineering) en el Journal of Irrigation and Drainage Engineering, cuyo título es “Time of Concentration Estimated Using Watershed Parameters Determined by Automated and Manual Methods (Xing Fang *et al.*, 2008). Esta publicación presenta la comparación de fórmulas del tiempo de concentración y tiempo de retardo en base a metodologías que se sustentan en algunos parámetros físicos de las cuencas.

Para este trabajo se compararon los resultados en base a las fórmulas empíricas de Kirpich (1940), Johnstone-Cross (1949), Haktanir – Sezen (1990) y Williams (1992).

Method	Equation in SI units	Equation in English units
Williams (1922)	$T_c = 16.32L_c A^{0.4} (D_w)^{0.2}$	$T_c = 23.89L_c A^{0.4} (D_w)^{0.2}$
Kirpich (1940)	$T_c = 3.97L_c^{0.77} S_b^{-0.385}$	$T_c = 5.735L_c^{0.77} S_b^{-0.385}$
Johnstone-Cross (1949)	$T_c = 3.258(L_c/S_b)^{0.5}$	$T_c = 4.129(L_c/S_b)^{0.5}$
Haktanir-Sezen (1990)	$T_c = 26.85L_c^{0.8341} S_b^{-0.190} S_{b_{max}}^{0.313}$	$T_c = 40.06L_c^{0.8341} S_b^{-0.190} S_{b_{max}}^{0.313}$
Simas-Hawkins (2002)	$T_c = 53.14 \times W^{0.594} \times S_b^{0.190} \times S_{b_{max}}^{0.313}$	$T_c = 70.5 \times W^{0.594} \times S_b^{0.190} \times S_{b_{max}}^{0.313}$

Note: For SI units, channel length  $L_c$ , watershed equivalent diameter  $D_w$  are in km, area  $A$  is in  $km^2$ , and  $S_b$  (channel slope) and  $S_{b_{max}}$  (basin slope) are in  $m/m$ . For English units,  $L_c$ ,  $D_w$  and  $W$  are in mi,  $A$  is in  $mi^2$ , and  $S_b$  and  $S_{b_{max}}$  is in  $ft/ft$ .  $S_{b_{max}}$  is in in. for both units.

Figura 4.- Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración.

Tabla 2.- Tiempo de concentración por subcuenca y por autor.

Sub Cuenca	Area Km2	CN	D eqv. (m)	Lc	Sc	Sb	Tc1 min Williams	Tc2 min Kirpich	Tc3 min Johnstone-Cross
1	1582	37.4	44.88	114.83	0.0002	0.0002	4367	4074	2469
2	1604	36.3	45.19	168.41	0.0002	0.0002	6396	5471	2990
3	1193	38.9	38.97	105.7	0.0002	0.0002	4135	3822	2369
4	1543	35.6	44.32	91.55	0.0002	0.0002	3480	3422	2204
5	1311	35.4	40.86	99.32	0.0002	0.0002	3849	3643	2296
6	662	34.5	29.03	106.03	0.0002	0.0002	4399	3831	2372
7	816	40.8	32.23	103.71	0.0002	0.0002	4214	3767	2346

Se adopta una pendiente de canal igual a 20cm/km

Tabla 3.- Tiempo de retardo por subcuenca y por autor.

Sub Cuenca	Area Km2	CN	D eqv. (m)	Lc	Sc	Sb	Tc1 min Williams	Tc2 min Kirpich	Tc3 min Johnstone-Cross
1	1582	37.4	44.88	114.83	0.0002	0.0002	4367	4074	2469
2	1604	36.3	45.19	168.41	0.0002	0.0002	6396	5471	2990
3	1193	38.9	38.97	105.7	0.0002	0.0002	4135	3822	2369
4	1543	35.6	44.32	91.55	0.0002	0.0002	3480	3422	2204
5	1311	35.4	40.86	99.32	0.0002	0.0002	3849	3643	2296
6	662	34.5	29.03	106.03	0.0002	0.0002	4399	3831	2372
7	816	40.8	32.23	103.71	0.0002	0.0002	4214	3767	2346

De todos los valores obtenidos por subcuenca, se decidió utilizar la propuesta sugerida por **Johnstone – Cross**.

La topología modelada requirió la incorporación de un tramo o trecho de cauce que vincula la parte superior (aguas arriba, subcuencas 2, 4,5, 6) de la cuenca con el Embalse RP N° 28. Este tramo de cauce fue simulado en base a la propagación por el método de Muskingum para lo cual se adoptaron valores de la constante de alimentación (k) y del almacenamiento en cuña (x) ya que a la fecha es inviable contar con hidrogramas observados a la entrada y salida del tramo que permitan obtener estos parámetros. Dichos parámetros deberán ser revisados en tanto y cuanto se disponga de información que lo permita.

### Conclusiones y consideraciones finales

Mediante la simulación lluvia – caudal con el modelo HEC-HMS 4.0, se demostró que en años donde el aporte del río Pilcomayo al sistema del bañado La Estrella es inferior a los valores medios, las precipitaciones juegan un papel relevante en el abastecimiento de agua al Embalse RP N° 28.

### Referencias bibliográficas

**Cristanchi M. A., Hämmerly R., Valiente M. A.** (2015). *Optimización de los recursos hídricos de un sistema de llanura por aplicación del Sistema de Soporte de Decisión MIKE BASIN. Caso de estudio bañado La Estrella (Formosa), Santa Fe*

**Fattorelli S., Fernández P.** (2007). *Diseño Hidrológico, 1ª Edición, Zeta Editores, Mendoza, Argentina*

**INTA** (1990). *Fuente Atlas de Suelo de la República Argentina –INTA-SAGPyA. Proyecto Arg. 85/019*

**Linsley R, Kohler M., Paulus J.** (1990). *Hidrología para ingenieros, 2ª Edición, McGRAW-HILL, México D.F*

**Manual básico de HEC-HMS 3.0.0 y HEC-GeoHMS 1.1.** (2007). Granada

**Maidment D.** (1992). *Handbook of Hydrology, McGRAW-HILL, Nueva York, USA*

**Orsolini H., Zimmermann E., Basile P.** (2008). *Hidrología: proceso y métodos, 2ª Edición, UNR Editora, Rosario, Santa Fe*

**Ponce V.** (1994). *Engineering Hydrology: Principles and Practices, Prentice Hall*

**Remenieras G.** (1971). *Tratado de hidrología aplicada”, Editores Técnicos Asociados, Barcelona*

**Xing Fang et al.,** (2008). *Time of Concentration Estimated Using Watershed Parameters Determined by Automated and Manual Methods, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*