


Propuestas de manejo agrohidrológico en una cuenca del Umbral al Chaco, Salta, mediante el uso del modelo hidrológico HEC-HMS

Proposals for agrohydrological management in a basin from Umbral to Chaco, Salta, through the use of the HEC-HMS hydrological model

López Morillo, Carlos Sebastián; Gonzalez, Jorge Gustavo; Cholaky Perez, Carmen Gloria

 **Carlos Sebastián López Morillo**
lopezmorillo.carlos@inta.gob.ar
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria,
Argentina

 **Jorge Gustavo Gonzalez**
licjorgegonzalez@gmail.com
Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina

 **Carmen Gloria Cholaky Perez**
ccholaky@ayv.unrc.edu.ar
Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina

Ab intus FAV-UNRC
Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina
ISSN-e: 2618-2734
Periodicidad: Semestral
vol. 2, núm. 12, 2023
abintus@ayv.unrc.edu.ar

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/820/8204548002/>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8410959>

Financiamiento
Fuente: INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) - Programa de Becas Institucionales
N° de contrato: 1061/12
Autor de correspondencia: lopezmorillo.carlos@inta.gob.ar

Resumen: En este trabajo se realizaron modelaciones hidrológicas de una cuenca ubicada en la zona agroecológica homogénea Umbral al Chaco, Provincia de Salta, Argentina. El objetivo fue plantear manejos agrohidrológicos que mejoren el funcionamiento de la misma. En el Umbral al Chaco las fuertes precipitaciones, el relieve, la falta de manejo y planificación en el uso de las tierras comprometen la sustentabilidad y provocan un aumento de los procesos de degradación. El cambio de uso del suelo afecta las relaciones lluvia-escurrimiento, y la utilización de modelos hidrológicos determina la magnitud de las repuestas hídricas frente a diversos escenarios. Se delimitó una cuenca a escala de detalle. La misma se caracterizó por un procedimiento de mapeo que permitió la generación de los datos de entrada al modelo hidrológico. Mediante las herramientas de edición de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se diseñaron escenarios con manejos agrohidrológicos y su integración con el modelo hidrológico HEC-HMS determinó el funcionamiento hidrológico de la cuenca. Los resultados indican que el cambio de uso de suelo tiene un gran impacto en la generación de escurrimientos, los hidrogramas obtenidos con el HEC-HMS muestran la necesidad de obras de regulación del caudal para poder manejar los excesos hídricos en precipitaciones intensas.

Palabras clave: Cuenca, erosión hídrica, escurrimiento.

Abstract: In this work, hydrological modeling of a basin located in the homogeneous agroecological zone Umbral al Chaco, Province of Salta, Argentina, was carried out. The objective was to propose agrohydrological management that improves its operation. In the Threshold to Chaco, heavy rainfall, relief, lack of management and planning in land use compromise sustainability and cause an increase in degradation processes. The change in land use affects the rain-runoff relationships, and the use of hydrological models determines the magnitude of the hydric responses in different scenarios. A basin was delimited at a detail scale. It was characterized through a mapping procedure that allowed the generation of input data to the hydrological model. Using Geographic Information Systems (GIS) editing

tools, scenarios with agrohydrological management are designed and their integration with the HEC-HMS hydrological model concludes the hydrological functioning of the basin. The results indicate that the change in land use has a great impact on the generation of runoff, the hydrographs obtained with the HEC-HMS show the need for flow regulation works to be able to manage hydric excesses in intense rainfall.

Keywords: Basin, water erosion, runoff.

INTRODUCCIÓN

El Umbral al Chaco es una zona agroecológica homogénea que se encuentra principalmente en la Provincia de Salta, Argentina. Ocupa una estrecha franja entre los 400-700 m.s.n.m, la que conforma una zona de transición entre las primeras estribaciones de las Sierras Subandinas y la llanura chaqueña (Figura 1), con una superficie aproximada de 24.500 km² (Piccolo et al., 2008; Osinaga et al., 2019). El primer cultivo en instalarse en esta zona fue la caña de azúcar y estuvo asociado a posibilidad de acceso al riego. A partir de la década del '90 esta situación cambió drásticamente con la incorporación agrícola de granos cultivados durante el periodo estival. La principal actividad es la agricultura de secano, con la soja como cultivo predominante, seguido de poroto y maíz, sembrado en el periodo estival (Vale et al., 2018).

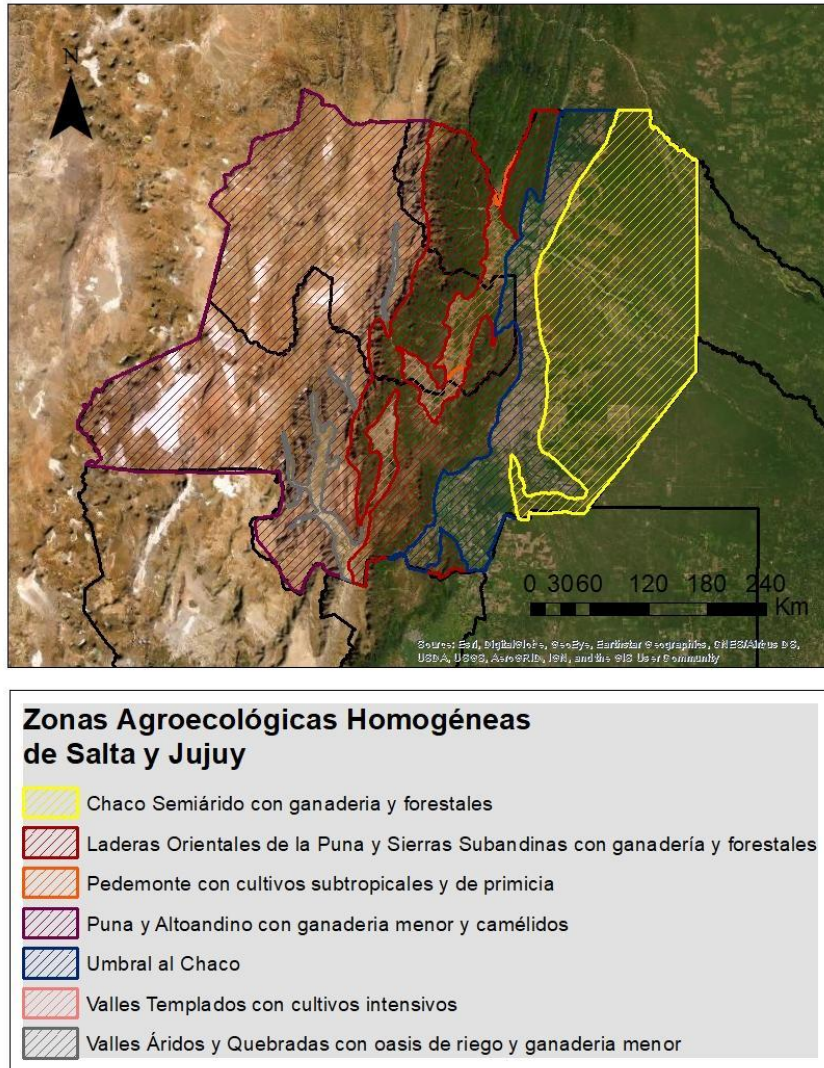


Figura 1.
Zonas agroecológicas homogéneas de la Provincia de Salta y Jujuy
Bravo *et al.*, (1999). Modificado de portal IDESA.

El desplazamiento de la frontera agrícola de los cultivos de secano hacia la región conocida como el Umbral al Chaco, fomentó el desmonte masivo del bosque nativo. Este proceso de incorporación de tierras a la agricultura aumentó los procesos de degradación (Schmidt, 2014). En las últimas décadas el desarrollo de la agricultura ha transformado más del 50% de la superficie original de la Selva Pedemontana en áreas de cultivo (Brown, 2009). Desde la sanción de la Ley de Bosques en el 2008, en Salta se deforestaron como mínimo 440.000 ha (GREENPACE, 2013). De las más de 2,2 millones de hectáreas de bosque nativo deforestadas hasta el momento en el Chaco Salteño, el 45% (1.002.657 ha) fue durante el período 2004-2015, en esos años la región experimentó la transformación más grande por la cantidad de superficie desmontada e intensa por la acción de la tala y quema de toda la masa boscosa sin ningún tipo de aprovechamiento forestal (Leake *et al.*, 2016).

Esta progresiva reducción del bosque nativo aumentó los procesos de erosión hídrica característicos de la región. La ocurrencia de tormentas intensas provoca

un aumento repentino del caudal de escurrimiento que es potenciado por las pendientes. Si bien las lluvias, las crecidas, los movimientos en masas y la erosión del suelo son procesos naturales, la acción antrópica desarrollada en el Umbral al Chaco potencia y amplía dichos procesos (Brown et al., 2009). Los desmontes que se generan en las cabeceras, y en la parte media y baja de la cuenca, provocan que el agua pase de ser un recurso natural a un riesgo potencial. Esta incorporación de superficies agrícolas sin un manejo adecuado genera caudales de escurrimiento y pérdida de suelo, con sinergias negativas hacia la degradación (Camarasa-Belmonte *et al.*, 2018). En cuencas subtropicales el cambio de uso de suelos de bosques nativos a tierras agrícolas, aumenta los caudales de escurrimiento superficial y la concentración de sedimentos transportados, disminuye la cobertura superficial y la macroporosidad (Robinet *et al.*, 2018).

La modelación hidrológica en pequeñas cuencas o a nivel regional es ampliamente utilizada y ha demostrado su eficiencia en la evaluación del impacto del cambio de uso del suelo (Jain y Sharma, 2000; Henríquez y Azócar, 2006; Juárez-Méndez, 2009; Hernández y Salamanca, 2019). El manejo agrohidrológico aborda la amortiguación de aguaceros teniendo como unidad la cuenca hidrográfica, busca mejorar la cobertura vegetal e infiltración de manera armónica con el paisaje, la utilización de los recursos suelos y agua, y la calidad de vida de sus pobladores (Mintegui Aguirre y Robredo Sánchez, 2008; Gaspari *et al.*, 2013).

El Umbral al Chaco presenta en promedio una pérdida del 30% de la materia orgánica de los suelos, aumentos importantes en la densidad aparente y en la resistencia a la penetración por el efecto del cambio del uso del suelo de bosque nativo a agrícola (Osinaga *et al.*, 2015). Las precipitaciones son intensas, variando entre 140-200 mm/día y el relieve se caracteriza por presentar pendientes que varían entre 0.5% y 5%. El uso de técnicas agronómicas (siembra directa, rotación, cultivos de cobertura, forestación, manejo silvopastoril, enriquecimiento del bosque) y estructurales (terrazas de desagüe, canales de guarda, colectores, saltos, represas amortiguadoras) resultan indispensables para controlar los procesos de degradación, teniendo en cuenta a la cuenca como unidad operativa (Osinaga *et al.*, 2019).

El estudio de eventos hidrológicos en las pequeñas cuencas basado principalmente en el empleo de modelos hidrológicos es adecuado para recrear escenarios o situaciones futuras (Dwarakish y Ganasri, 2015; Fatichi et al., 2016). Sahu *et al.*, (2023), determinaron que el alto detalle espacial del modelo HEC-HMS permite simular de manera sensible diversas condiciones en el uso y manejo del suelo. El manejo agrohidrológico controla los procesos de erosión y utiliza herramientas agronómicas que otorgan un aprovechamiento racional de los recursos hídricos y edáficos (Mintegui Aguirre y Robredo Sánchez, 1994). El objetivo de este trabajo es modelar una cuenca del Umbral al chaco para diferentes escenarios ambientales mediante el modelo hidrológico HEC-HMS acoplado a un Sistema de Información Geográfica que permita estimar y ordenar los escurrimientos superficiales, controlar los procesos de erosión hídrica y mejorar el uso del suelo y el agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El nivel de intervención de este trabajo fue una cuenca de 1.000 ha aproximadamente, definida dentro del predio Finca Urundel, ubicada en la Provincia de Salta, Departamento Orán, localidad Urundel, Argentina (Figura 2).

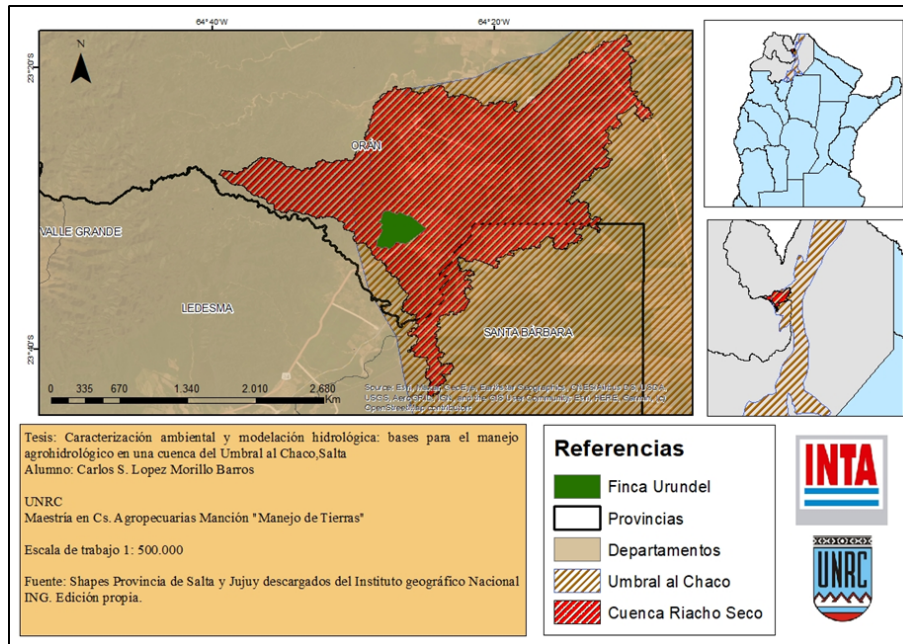


Figura 2

Ubicación de la cuenca de estudio en el establecimiento "Finca Urundel"

La delimitación de la cuenca hidrográfica se realizó de manera física por medio de un relevamiento planialtimétrico con GPS (Global Position Satelital) RTK (Triemble 5700) a escala de detalle de 1:50.000. En la parte alta de la cuenca de estudio que incluye sierras pedemontanas yungueñas, se utilizaron los valores de altura del modelo digital de elevación (MDE) disponible en la página del Instituto Geográfico Nacional (IGN), por ser una zona de difícil acceso. Link de descarga: <https://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Busqueda>

Caracterización ambiental

La caracterización de los recursos naturales de la cuenca y generación de los datos necesarios para la modelación hidrológica se hizo bajo la metodología propuesta por International Institute for Aerial survey and earth sciences (Cisneros *et al.*, 2012), un procedimiento de mapeo que se divide en tres etapas: una fase preliminar que incluye la recolección de la información, una fase de campo para corroborar y caracterizar en el terreno esta información y una fase final donde se integra y definen las unidades cartográficas. La Tabla 1 resume las principales componentes ambientales presentes en la cuenca de estudio.

Tabla 1
 Descripción sintética de los principales componentes ambientales de las unidades fisiográficas presentes en la cuenca en estudio

Componente	Unidad fisiográfica	
	Sierras bajas	Pie de monte
Relieve	Abrupto colinado	Ondulado y suavemente ondulado
Suelo	Orden	Entisol
	Gran grupo	Psamment
	Sub grupo	Udipsamment típico
Uso / Cobertura vegetal	Vegetación natural (Selva Pedemontana)	Agricultura (soja de secano)
Signos de erosión	Sin signos	Erosión hídrica laminar, en surcos y cárcavas
Drenaje	Bien drenado	Moderado
Capacidad uso de suelo	Viesc	Iiec

Signos de erosión determinados por recorridos a campo.
 Nadir y Chafatinos (1990)

Integración SIG al modelo hidrológico

El SIG se integró con el modelo hidrológico HEC-HMS, creado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU, mediante la metodología de transferencia de datos. En este caso el modelo hidrológico y el SIG fueron esencialmente autónomos. Los datos que se generaron y almacenaron en el SIG, se convirtieron a un formato que compatible con la información de entrada que requiere el modelo hidrológico.

El software utilizado fue Qgis versión 2.0.1–Dufour (QGIS Development Team, 2013). Con la cuenca caracterizada, se procesó y se consiguió por medio de operaciones de cálculos geométricos de los Sistemas de Información, la siguiente información necesaria para realizar la modelación con HEC-HMS: límites, superficie y pendiente de la cuenca y subcuencas, pendiente de los cauces, red de drenaje y su longitud. Con el método desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) se calculó el valor de Curva Número (CN) teniendo en cuenta el tipo y tratamiento de las coberturas del suelo y su grupo hidrológico.

El tiempo de concentración de la cuenca (Tc) se estimó utilizando la ecuación desarrollada por el SCS que tiene en cuenta el valor de la CN.

$$T_c = L^{0.8} \left[\frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{4407 - S^{0.5}} \right]$$

Donde
 L= Longitud de la cuenca (m)
 CN= Curva Numero

S= Pendiente (m/m)

El tiempo de traslado o Lag (Tlag) quedó determinado por la relación propuesta por el SCS, 0,6 veces el tiempo de concentración.

Con las herramientas de geoprocésamiento que proveen los SIG, se generó los datos vectoriales del nuevo escenario con manejo agrohidrológico. Se procesó y elaboró la información necesaria para transferir los nuevos datos de entrada al modelo hidrológico.

Selección de tormenta para la modelación

Teniendo en cuenta las precipitaciones medidas con la estación meteorológica automática (EMA) de la EETC Yuto INTA (serie de datos 2004 - 2018), la más cercana a la cuenca de estudio, que cuenta con registros cada 30 min y utilizando el software libre AFINS 2.0, se determinaron precipitaciones máximas diarias según distintos períodos de retorno.

La selección de la tormenta para la modelación debe ser de recurrencia moderada, ya que si se utiliza un evento extremo las obras complementarias tienen grandes dimensiones y desmotivan el uso integral de estas técnicas de manejo agrohidrológicas (Mintegui Aguirre y Robredo Sánchez, 2008). Se verificó que la duración de esta tormenta sea mayor o igual al tiempo de concentración de la cuenca para garantizar que se alcance el máximo caudal en la simulación. Según el análisis con AFINS_2.0, se corroboró que la precipitación tuviera una cantidad de milímetros cercana a un periodo de recurrencia de 5 años para cumplir con los principios del manejo agrohidrológico. Para la modelación se utilizó la intensidad original de la precipitación.

Escenarios modelados

Escenario actual

En el escenario actual se simuló el funcionamiento de la cuenca con las características actuales, sin manejo agrohidrológico. Para mejorar el nivel de detalle y uniformidad de los parámetros se realizó una primera división teniendo en cuenta el sector de sierras con bosque nativo y el sector de pie de monte ocupado con cultivos extensivos, ya que presentan comportamientos hidrológicos muy contrastantes. Luego se determinaron los principales aportes y se procedió a realizar una división de las subcuencas teniendo en cuenta el nivel de detalle del trabajo.

Las características edáficas, el uso y el manejo del bosque nativo definieron un valor bajo de CN=36, mientras que el uso del suelo con agricultura de grano grueso en surcos rectos y buena cobertura da un valor de CN=72.

Escenario con manejo agrohidrológico de terrazas, colectores y represa amortiguadora

A partir de la sistematización del terreno con terrazas de desagüe y una represa amortiguadora, se modificó el funcionamiento hidrológico de la cuenca. Se redujo el número de subcuencas en el sector agrícola, aprovechando las cortinas de bosque nativo para ubicar los canales colectores de las terrazas y evitando de

esa manera la concentración de caudales en la zona central de la cuenca (unión J-7 de la cuenca actual) por los procesos de erosión hídrica activos.

Se proyectaron terrazas no paralelizadas con una pendiente del 0,4%, un intervalo vertical (IV) cercano a los 1,5 m y un intervalo horizontal (IH) de aproximadamente de 180 m. Este diseño contempló las recomendaciones para terrenos con pendientes moderadas y de texturas medias con arenas y limos mencionado por Osinaga *et al.*, (2019).

Teniendo en cuenta la clasificación de los tipos de microembalses (Cisneros, 2010), para la modelación se utilizó una represa de tipo II, con un amplio volumen de almacenamiento en relación con la altura del murallón, con una descarga de fondo típica de tipo alcantarilla y una sola tubería de 0,8 m de diámetro.

Un buen manejo de los cultivos en terrazas de desagüe con líneas de siembras paralelas a las mismas, permite bajar el valor y trabajar con CN= 67 en el sector con uso agrícola extensivo de secano.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tormenta seleccionada para la modelación

En el Umbral al Chaco el régimen de precipitaciones es de tipo monzónico con lluvias intensas y de fuerte impacto erosivo durante el periodo estival. Se distinguen dos situaciones bien diferenciadas en la distribución anual de las precipitaciones: una etapa lluviosa que concentra más del 90 % de la lluvia total, que inicia en noviembre y finaliza en abril; y otra etapa seca, que abarca los meses desde mayo a octubre con precipitaciones escasas o nulas (Bianchi, Yañez y Acuña, 2005). La precipitación media anual medida con la EMA de la EETC Yuto INTA es de 931 mm, con valores muy extremos en el periodo considerado, en años secos 583 mm anuales y en lluviosos 1354 mm en el año.

Teniendo en cuenta los eventos para los cuales está planteado el manejo agrohidrológico, la tormenta que se utilizó para simular los escenarios en la modelación hidrológica con HEC-HMS, fue la lluvia del 15 marzo del año 2010 con 103 mm. Este registro de precipitación corresponde a un período de retorno de 5 años. Si bien existen otros registros con un milimetraje parecido, 100 mm en enero del 2005 y 102 mm en marzo del 2004, se seleccionó la lluvia del 15 de marzo ya que presentaba la mayor intensidad (mm/h). La Figura 3 muestra el hietograma de la lluvia del 15 de marzo de 2010.

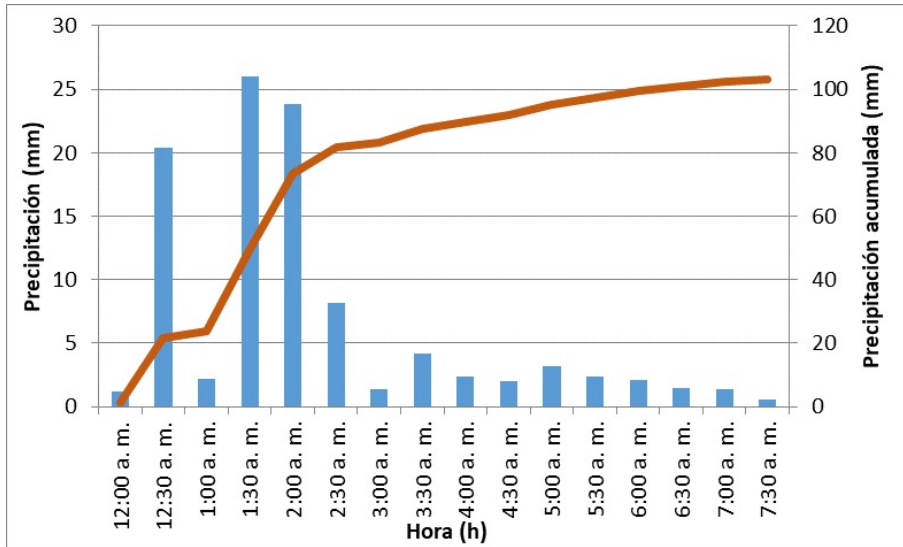


Figura 3

Hietograma de la lluvia utilizada para la modelación

Modelación hidrológica de la cuenca situación actual

La Figura 4, muestra las subcuencas y la red de drenaje según su uso actual en la cuenca. La Figura 5, detalla gráficamente el modelo hidrológico de la cuenca actual. Además, se muestran los identificadores correspondientes a cada subcuenca y el funcionamiento global de la misma.

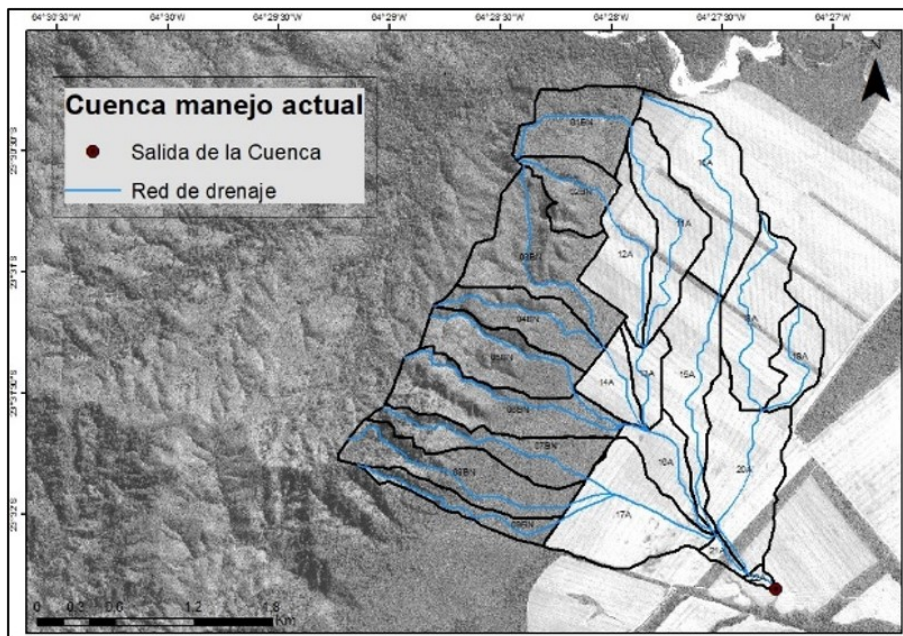


Figura 4

Cuencas y subcuencas funcionamiento actual.

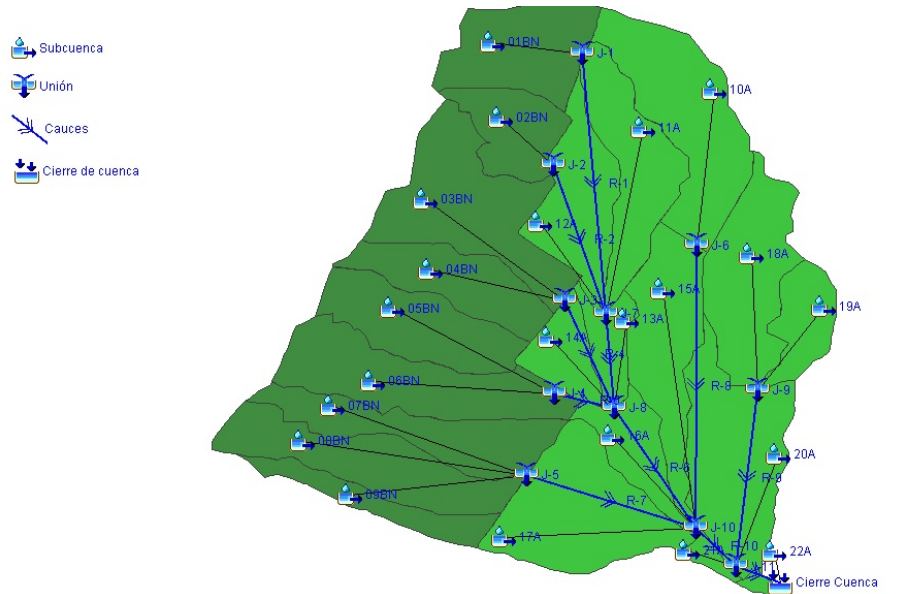


Figura 5
Modelo hidrológico del funcionamiento actual de la cuenca

El modelo HEC-HMS, indica que con una lluvia de 103 mm como la del 15 de marzo del 2010, en el cierre de la cuenca con una superficie de 8,89 km², se produce un caudal pico de 11 m³/s y un volumen de lámina escurrida de 20,6 mm.

Es importante remarcar el caudal pico de la unión J-10 de 7,9 m³/s que une los escurrimientos de las subcuencas 01BN, 02BN, 03BN, 04BN, 05BN, 06BN, 07BN, 08BN, 09BN, 12A, 13A, 14A, 15A, 16A, y 17A. Este punto recibe una parte importante del caudal de la cuenca y lo demuestra por los procesos de erosión hídrica activos que presenta, siendo un sector vulnerable de la misma (Figura 6 y 7).



Figura 6
Vista de la ramificación de una cárcava en la cuenca de estudio



Figura 7

Vista en detalle de la ramificación de una cárcava en la cuenca de estudio

En la unidad fisiográfica sierras bajas con bosque nativo la modelación hidrológica con HEC-HMS indica que con la lluvia utilizada no se genera prácticamente escurrimiento. En el pie de monte la situación cambia de manera drástica, se producen importantes concentraciones de caudal que activan procesos de erosión hídrica.

Woldesenbet *et al.*, (2017), determinaron mediante modelación hidrológica que la expansión de las tierras agropecuarias en reemplazo de los pastizales y matorrales leñosos aumenta el escurrimiento superficial y provoca erosión hídrica en los períodos de lluvia. En las Sierras de sudoeste de Tucumán, Argentina, Díaz Gómez y Gaspari (2017), establecieron a través de modelización hidrológica que la regeneración de bosques nativos incrementa la tasa de infiltración reduciendo el escurrimiento superficial, generando una mejor regulación hídrica y reducción de inundaciones durante el verano.

Modelación hidrológica de la cuenca: Situación con manejo agrohidrológico de terrazas, colectores y represa amortiguadora

Este manejo usa un sistema de rastrillo (Figura 8) que ordena los escurrimientos desde la parte alta y media de la cuenca, con una represa amortiguadora para laminar caudales y concentrarlos recién en el sector bajo, donde se encuentra el cierre de la misma. La Figura 9, indica la estructura del modelo hidrológico. La represa amortiguadora permite laminar los caudales de las subcuencas 01BN, 02BN y 10A.

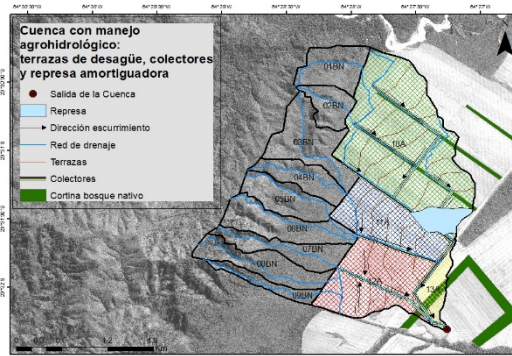


Figura 8

Cuenca con manejo agrohidrológico con terrazas de desagüe, colectores y una represa georreferenciada diseñada en su punto de máximo de almacenamiento para la visualización

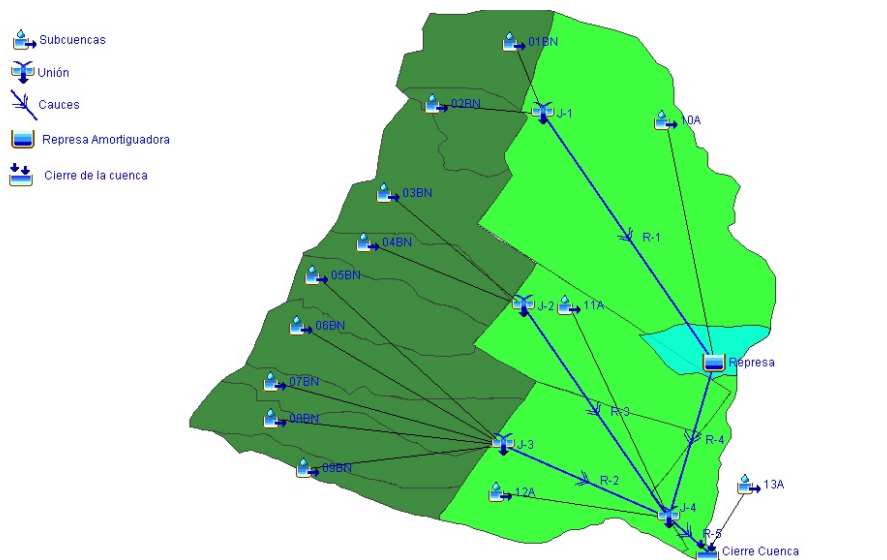


Figura 9

Modelo hidrológico con manejo de terrazas, colectores y represa amortiguadora

La modelación de estos nuevos parámetros con HEC-HMS, indica que, con la lluvia de 103 mm del 15 de marzo de 2010, en el cierre de la cuenca se produce un caudal pico de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ y un volumen de lámina escurrida de 15,9 mm.

El funcionamiento hidrológico de la cuenca utilizando terrazas de desagüe, colectores y una represa amortiguadora permite laminar los caudales que se producen en la salida de la subcuenca 10A. Esta propuesta de manejo ordena los escurrimientos, evita que se concentren en la parte central de la cuenca, donde existen cárcavas activas y consigue que los caudales en la salida de la cuenca puedan ser conducidos hasta un desagüe natural sin la necesidad de canales colectores de considerables dimensiones.

Arzelan *et al.*, (2006), mencionan que la implementación de represas amortiguadoras de caudales en la provincia de Salta constituye una tecnología apropiada para el control del escurrimiento y la erosión hídrica en campos de significativa extensión, ya que las mismas permiten disminuir el caudal de salida entre una séptima u octava parte respecto al caudal de entrada y se integran a una red de colectores de desagües que mejoran el funcionamiento integral de la cuenca.

Análisis comparativo de las respuestas del escurrimiento superficial actual respecto a las alternativas superadoras propuestas

Los manejos agrohidrológicos demostraron una marcada influencia en la reducción de los caudales pico y en el volumen de escurrimiento respecto al funcionamiento actual de la cuenca. El uso de terrazas, colectores y una represa amortiguadora reduce el caudal un 64% y el volumen de escurrimiento un 23%. Yuan *et al.*, (2019), determinaron en una cuenca de régimen monzónico con graves problemas de erosión hídrica reducciones porcentuales de un 33% en el caudal pico y un 27% en el volumen de escurrimiento por el uso de represas con estructuras de descarga. Xiong *et al.*, (2018), indican que las técnicas conservacionistas biológicas como la forestación reducen el volumen de escurrimiento un 55%, y las técnicas conservacionistas de ingeniería como terrazas y terraplenes reducen el escurrimiento un 44%.

La Figura 10 muestra un hidrograma con las situaciones modeladas. El empleo del manejo agrohidrológico genera una reducción importante en el caudal, la lámina escurrida, tiempo de crecida y por el uso de la represa, adicionalmente, una laminación en el hidrograma. El uso del suelo genera cambios hidrológicos muy significativos, la cuenca ocupada solo por bosque nativo prácticamente no produce escurrimientos con la lluvia utilizada para la modelación hidrológica, pero en la medida que se realizan acciones antrópicas las respuestas frente a una lluvia moderada pueden ser muy distintas. Las características ambientales como tormentas intensas propias de la región predisponen la generación de hidrogramas en punta y estrechos. Mejorar la infiltración donde cae la lluvia, ordenar los escurrimientos y almacenar para retrasar los caudales picos es clave en el manejo agrohidrológico de cuencas rurales tal como menciona Damiano *et al.*, (2017).

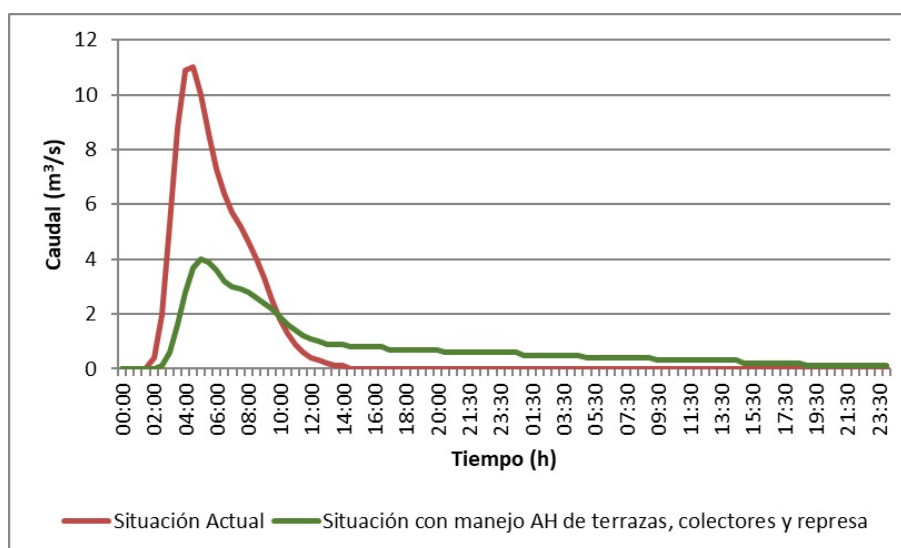


Figura 10
Hidrograma que muestra el resultado de las modelaciones de las distintas situaciones planteadas en la cuenca
AH= Agrohidrológico.

La intervención del Estado parece imprescindible para acompañar estas técnicas de manejo agrohidrológico. Actualmente la conservación de los suelos depende exclusivamente de la preservación de la vegetación natural que se pueda controlar y monitorear por parte de las autoridades ambientales a partir de la “Ley 26.331 de Bosque Nativo” y las normas del “Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos de la Provincia de Salta”.

CONCLUSIONES

Con los escasos datos hidrometeorológicos de la región se logró modelar mediante el modelo hidrológico HEC-HMS el comportamiento actual de la cuenca y el funcionamiento de la misma utilizando prácticas de manejo agrohidrológicas como terrazas, colectores y una represa amortiguadora. Las simulaciones indican que los graves procesos de erosión hídrica en la región están asociados a la falta de manejo, medidas de control y planificación en el uso del suelo. Revertir estos procesos implica trabajar de manera integral con los escurrimientos mediante un plan de manejo agrohidrológico teniendo a la cuenca como unidad mínima de gestión. Esta modelación hidrológica demuestra ser apropiada para planificar el uso y manejo del suelo en pequeñas cuencas rurales del Umbral al Chaco.

Agradecimientos

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y Universidad Nacional de Río Cuarto.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Arzelan, M., Franzoni, A., Matta, A., Tonda, D., y Pastrana, D. (2006). Utilización de represas amortiguadoras para el control del escurrimiento en cuencas del NOA. En *XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y I Reunión de los Suelos de la Región Andina “Madre Tierra, Sustento de Vida y Esperanza” y “Pacha 500 años después”*. Salta, Argentina: Editado en CD.
- Bianchi, A.R., Yañez, C.E., y Acuña, L.R. (2005). Base de datos mensuales de precipitaciones del noreste Argentino. Argentina: Ediciones INTA.
- Brown, A. (2009). Las selvas pedemontanas de las Yungas. Manejo sustentable y conservación de la biodiversidad de un ecosistema prioritario del noroeste Argentino. En Brown, A., y Lomascolo, T., (eds). *Selva pedemontana de las Yungas: Historia natural, ecología y manejo de un ecosistema en peligro*. Tucumán, Argentina: Editoriales del subtrópico.
- Camarasa-Belmonte, A. M., Caballero López, M. P., y Iranzo García, E. (2018). Cambios de uso del suelo, producción de escorrentía y pérdida de suelo. Sinergias y compensaciones en una rambla mediterránea. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*: 78 (1): 127–153. doi: <http://dx.doi.org/10.21138/2714>
- Cisneros, J. (2010). Bases para el ordenamiento territorial del sur de Córdoba (Argentina). El caso de la Cuenca de los Arroyos Menores. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero Gutierrez, A., Gonzalez, J., Reynero, M., Diez, A., Bergesio, L., Cantero, J.J., Nuñez, C., Amuchástegui, A., y Degiovanni, A. (2012).

- Erosión Hídrica. Principios y Técnicas de Manejo*. Río Cuarto Argentina: UniRio editora.
- Damiano, F., Parodi, G. N., Taboada, M. A., y Prieto Garra, D. (2017). Propuesta de sistematización agrohidrológica en cuencas de llanura con énfasis predial y consorciado. *Fave. Sección ciencias agrarias*, 16(1), 39-56.
- Díaz Gómez, R. y Gaspari, F. J. (2017). Modelización geoespacial del escurrimiento superficial en cuencas de las sierras del Sudoeste, Tucumán, Argentina. *Revista Estudios Ambientales*: 5 (1): 29-47.
- Dwarakish, G. S., y Ganasri, B. P. (2015). Impact of land use change on hydrological systems: A review of current modeling approaches. *Cogent Geoscience*: 1: 1115691.
- Fatichi, S., Vivoni, E. R., Ogden, F. L., Ivanov, V. Y., Mirus, B., Gochis, D., y Tarboton, D. (2016). An overview of current applications, challenges, and future trends in distributed process-based models in hydrology. *Journal of Hydrology*. 537: 45-60.
- Gaspari, N. I., Rodríguez Vagaría, A., Senisterra, G., Delgado, M. I., y Besteiro, S. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Buenos Aires: Editorial de la Universidad de La Plata.
- GREENPACE. (2013). *Salta: El festival del desmonte no se detiene*. Argentina: Greenpace Argentina.
- Hernández, L. N. y Salamanca, J. A. (2019). Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y su influencia en la generación de caudales pico de la cuenca del Río Sardinata, del departamento de Norte de Santander - Colombia. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería de Civil. Especialización en Recursos Hídricos. Bogotá, Colombia.
- Jain, A. S., y Sharma, E. (2000). Hydroecological analysis of a sacred lake watershed system in relation to land-use cover change from Sikkim Himalaya. *Catena*: 4: 263-278.
- Juárez-Méndez, J., et al. (2009). Uso del suelo y su efecto sobre los escurrimientos en la cuenca del río huehuetán. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 1: (2): 69-76. doi: 10.5154/r.inagbi.2009.07.015
- Leake, A., López O.E., y Leake, M.C. (2016). *La deforestación del Chaco Salteño 2004-2015*. Salta, Argentina: SMA Ediciones.
- Míntegui Aguirre, J. A., y Robredo Sánchez, J. C. (1994). Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración hidrológico-forestal, mediante modelos hidrológicos. *Ingeniería del Agua*: 2 (1): 69-81.
- Míntegui Aguirre, J. A., y Robredo Sánchez, J. C. (2008). Estrategias para el control de los fenómenos torrenciales y la ordenación sustentable de las aguas, suelos y bosques en cuencas de montaña. Documento técnico del PHI – LAC, N 13.
- Nadir, A. y Chafatinos, T. (1990). *Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy)*. Tomo I, II y III. Argentina: Ediciones INTA.
- Osinaga, R., Reville, F., Osinaga, N.A., y Arzeno, J. (2015). Provincia de Salta. En Casas, R.R., y Albarracín G.F., (eds). *El deterioro del suelo y del ambiente en Argentina*. Tomo I. (pp. 225 - 233). Argentina: Editorial Duken.
- Osinaga, R., Arzeno, J., Arzelán, M., y Osinaga, N.A. (2019). Provincia de Salta. En Casas, R.R., y Damiano, F., (eds). *Manual de buenas prácticas de conservación del suelo y el agua en áreas de secano*. Tomo II. (pp. 169 - 210). Argentina: Editorial Duken.
- Píccolo, A., Giorgetti, M. y Chavez, D. (2008). *Zonas agroeconómicas homogéneas Salta y Jujuy*. Salta, Argentina: Ediciones INTA.

- Vale, L., Noé, Y., Mosciaro, J., Elena, H., Morales, C., Guanica, C., y Guanica, G. (2018). *Monitoreo de cultivos del noroeste argentino a partir de sensores remotos campaña agrícola 2018-2019 cultivos extensivos de verano*. Salta, Argentina. INTA EEA Salta.
- Robinet, J., Minella J., A. P. de Barros, C., Schlesner, A., Lücke, A., Ameijeiras-Mariño, Y., Opfergelt, S., Vanderborght, J., y Govers, G. (2018). Impacts of forest conversion and agriculture practices on water pathways in Southern Brazil. *Hydrological Processes*: 32 (1): 2304–2317. DOI: 10.1002/hyp.13155
- Sahu, M. K., Shwetha, H. R., y Dwarakish, G. S. (2023). State-of-the-art hydrological models and application of the HEC-HMS model: a review. *Modeling Earth Systems and Environment*: 1 (23).
- Schmidt, M. A. (2014). (Des)ordenamientos territoriales salteños: Una aproximación al contexto previo al Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos en la provincia de Salta. *Mundo agrario*: 15 (28).
- Woldesenbet, T. A., Elagib, N. A., Ribbe, L., y Heinrich, J. (2017). Hydrological responses to land use/cover changes in the source region of the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Science of the Total Environment*. 575: 724-741.
- Xiong, M., Sun, R., y Chen, L. (2018). Effects of soil conservation techniques on water erosion control: A global analysis. *Science of the Total Environment*: 645 (2018): 753–760. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.124>
- Yuan, S., Li, Z., Li, P., Xu, G., Gao, H., Xiao, L., y Wang, T. (2019). Influence of check dams on flood and erosion dynamic processes of a small watershed in the loss plateau. *Water*. 11(4): 834

Notas de autor

lopezmorillo.carlos@inta.gob.ar