

DESARROLLO DIMENSIONAMIENTO DE CANALES PARABÓLICOS MEDIANTE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA.

G. Arnaudo*, J. Raspanti

Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ingeniería y Mecanización Rural. Cátedra de Topografía. Córdoba, Argentina.

*gerardo.arnaudo@mi.unc.edu.ar

RESUMEN

El Campo Escuela de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de Córdoba está situado en la Pampa Loésica Alta, la más afectada por la pérdida de suelo en la provincia debido a la presencia generalizada de procesos erosivos por acción del agua. En agosto de 2021, se lanzó el ambicioso proyecto de Sistematización del Escurrimiento Superficial del Campo Escuela. Este proyecto tuvo como objetivo ordenar los excedentes hídricos, aumentar los rendimientos de granos y materia seca de pasturas, controlar la erosión hídrica y prevenir el deterioro de los caminos, entre otros. El presente trabajo se enfocó en dimensionar adecuadamente los canales parabólicos empastados a partir de modelar hidrológicamente los excedentes hídricos aportados por las cuencas a los lotes del Campo Escuela. Para el dimensionamiento de los canales, se realizaron análisis detallados de los parámetros geomorfológicos de las cuencas, como superficie, pendiente, longitud del cauce principal y la lluvia proyecto obtenida de la curva de intensidad, duración y frecuencia. Además, se calcularon los tiempos de concentración y el tiempo de retardo. La utilización del sistema de modelación hidrológica HEC-HMS, permitió obtener los caudales picos aportados por cada cuenca que dieron como resultado, un rango de 0,4 a 3 m³/s. A partir de ellos, se calculó la profundidad y el ancho de los canales parabólicos de desagüe.

Palabras claves: Modelo hidrológico, erosión hídrica, escurrimiento superficial, conservación de suelos.

INTRODUCCIÓN

La sistematización del suelo mediante terrazas paralelas de desagüe en zonas semiáridas es una práctica que permite modificar el balance hídrico reduciendo los volúmenes de escurrimiento y mejorando la captación de agua debido al retraso del escurrimiento, sobre todo cuando se complementa con rotación de cultivo y sistemas de siembra directa (SD) (Vettorelo, et al, 2020). En la Pampa Loésica Alta de la provincia de Córdoba, la integridad física, química y biológica de los suelos se ve condicionada por características del ambiente, uso y manejo. Entre ellas se puede mencionar la susceptibilidad a la erosión hídrica, bajos niveles de cobertura, sistemas de labranzas inadecuados y la existencia de déficit hídrico (Esmoriz, et al, 2013).

La cobertura vegetal y el uso del suelo tienen influencia en el escurrimiento. La utilización de los terrenos ya sea como pastizales, bosques o áreas de cultivo con o sin aplicación de sistemas de siembra en

hilera, surcos o en contornos determinan diferentes caudales de escurrimiento (Gaspari et al, 2009b).

Un modelo hidrológico es una aproximación al sistema real, sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan estas entradas y salidas (Chow, et al, 1994). El sistema de modelación hidrológica HEC-HMS (Hydrologic Modeling System-Hydrologic Engineering Center), desarrollado por el cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos, es un software que permite simular la transformación de la lluvia proyecto en escurrimiento, a través de un sistema que integra diferentes métodos hidrológicos para el tránsito de caudales. Posee gran flexibilidad ya que permite combinar diferentes rutinas obteniendo así una mayor aproximación con la realidad. Pueden simular la generación de caudales en la cuenca, con las características que ésta presenta en el momento de la simulación, en especial el uso del suelo o cubierta vegetal, para la precipitación seleccionada (Gaspari, et al, 2009).

En agosto del año 2021, se lanzó el proyecto de sistematización del escurrimiento superficial del Campo Escuela (Facultad de Ciencias Agropecuarias UNC y Grupo TERRA, 2021) con el objetivo de ordenar los excedentes hídricos, aumentar los rindes tanto en grano como en producción de materia seca, controlar la erosión hídrica y prevenir el deterioro de los caminos entre otros. El Campo Escuela (CE) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA UNC), se encuentra ubicado en la unidad fisiográfica pampa loésica alta caracterizada por la presencia de suelos de textura franco-limosa y con pendientes que varían de 0,2 al 5% representando la unidad con mayor pérdida de suelo de la Provincia (Jarsún, et al, 2003). Los principales agentes causales de la erosión hídrica son la energía cinética de las precipitaciones y el agua de escorrentía que circula por la superficie con una cierta velocidad crítica que pone en movimiento las partículas de suelo (Cisneros, et al, 2012).

a sistematización de predios rurales requiere de dos procesos, el diseño del sistema de terrazas (paralelas o de absorción, de base ancha o angosta) y el dimensionamiento y selección de los canales de desagüe. La elección de las vías de escurrimiento es un paso previo al proyecto de terrazas, la regla fundamental aquí es respetar los cauces naturales siempre que se pueda y sea viable. El Código de Aguas de la Provincia de Córdoba estipula que, en los establecimientos agropecuarios, el ingreso y la salida de los cauces naturales no pueden ser cambiados. Al agua que viene de tierras altas hay obligación de recibirla por los cursos naturales, y asimismo se debe entregar a los vecinos de abajo también por los cursos naturales. Dentro de los límites de la propiedad privada se puede alterar el trazado de los canales por supuesto con el acuerdo del dueño y siempre y cuando no implique daño o riesgo a terceros (Serenio 1997). El objetivo de este trabajo fue el dimensionamiento de los canales parabólicos empastados para el proyecto de sistematización de suelos. A partir del caudal pico para el período de retorno analizado, se determina una velocidad de escurrimiento máxima admisible (V) y queda definida una sección (S) que se desagrega en ancho (A) y profundidad (P). El diseño de canales parabolizados se seleccionó estratégicamente para maximizar la eficiencia en el manejo de excedentes hídricos. Esta elección se basa en la configuración

parabólica del canal, la cual busca aumentar el perímetro mojado de la sección. Al disminuir el radio hidráulico (R), se logra incrementar la superficie de contacto del agua con las paredes del canal. Este enfoque tiene como objetivo principal reducir la velocidad del agua a niveles seguros, evitando así la erosión del suelo y garantizando condiciones ideales para la pastura implantada.

La conservación de suelos y sus prácticas contribuyen en gran medida, a disminuir los excedentes hídricos, aun así, debido a la combinación de todos los factores que los determinan, los excedentes deben ser bien conducidos. La interrelación entre la modelación hidrológica, el uso actual del suelo y su estado de conservación se presenta como una herramienta esencial para la evaluación y prevención de posibles catástrofes en eventos de lluvias excepcionales. La modelación hidrológica nos brinda una visión de cómo se comporta el agua en una cuenca, permitiendo anticipar posibles inundaciones y eventos extremos. Al integrar esta información con estudios que analizan el estado de conservación de la tierra y sus diversos usos, obtenemos un panorama completo de los factores que influyen en la hidrología de una región. La vegetación, la urbanización y otros cambios en el uso del suelo pueden afectar significativamente la forma en que el agua se mueve a través del paisaje.

Este enfoque holístico no solo nos ayuda a comprender mejor la dinámica del agua, sino que también nos permite identificar áreas vulnerables y tomar medidas preventivas. Al conocer el impacto de las lluvias por encima de la media en un contexto más amplio, podemos desarrollar estrategias de gestión del agua y planificación del uso del suelo que minimicen los riesgos de catástrofes relacionadas con inundaciones o afectación a la infraestructura rural.

En resumen, los estudios de uso y manejo del suelo, el análisis de las lluvias, la valoración de la infraestructura, la selección del período de retorno y finalmente, la integración de estas variables en la modelación hidrológica proporciona una base sólida para la toma de decisiones y el dimensionamiento de obras seguras, contribuyendo a la prevención de desastres y a la creación de entornos más resilientes en un contexto de cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

La modelación hidrológica se llevó a cabo utilizando datos derivados de la delimitación topográfica realizada por Becerra et al. (2021) (Figura 1 y 2). Para ello, se empleó el software Google Earth Pro, que permitió medir diversos parámetros físicos asociados a la delimitación (tabla 1). Esta herramienta brindó información sobre características topográficas usadas en la modelación, como la superficie, la longitud del cauce principal, el desnivel, y la pendiente como la relación entre ambas, entre otros aspectos fundamentales para el análisis.

Para determinar la escurrimiento superficial acumulada, se aplicó la metodología del Número de Curva (NC) desarrollada por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos en 1972, un método sencillo para calcular la lluvia efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad según el suelo (Muñoz Cárpena y Ritter Rodríguez, 2005). El NC se establece para cada complejo suelo / vegetación a partir de sus características particulares de vegetación y textura edáfica (Gaspari, et al, 2009). El método contempla la clasificación hídrica de los suelos reconociendo cuatro grupos hidrológicos (GH), según su clase textural en A, B, C, o D.

Para determinar el GH según el tipo de suelo de una forma empírica se puede obtener la tasa mínima de infiltración del suelo de forma directa mediante un ensayo de infiltración prolongado hasta que la tasa de infiltración se estabilice (Martínez de Azagra, et al, 2003). En este contexto y debido a la similitud de las condiciones de producción, se utilizaron para todas las subcuencas, los datos de ensayos realizados por Faraoni et al, 2023 en el CE en tres lotes con diferentes condiciones de uso y manejo de suelo. Sus resultados fueron 30,7 mm/h y 33,5 mm/h para lotes sistematizados con terrazas paralelas de desagüe y de uso agrícola bajo siembra directa y de 10,2 mm/h para un lote de pastura implantada (*Panicum maximum* Jacq), con clausura de más de 3 años y que funciona como franja protectora por posible deriva de fitosanitarios.

Definido el GH, la cobertura vegetal y el uso del suelo, se utilizaron los valores propuestos por Natural Resources Conservation Service (2004) del USDA según se describe en la tabla 2.

Para determinar la escurrimiento superficial acumulada, se aplicó la metodología del Número de Curva (NC) desarrollada por el Soil Conservation Service (SCS) de

Estados Unidos en 1972, un método sencillo para calcular la lluvia efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad según el suelo (Muñoz Cárpena y Ritter Rodríguez, 2005). El NC se establece para cada complejo suelo / vegetación a partir de sus características particulares de vegetación y textura edáfica (Gaspari, et al, 2009). El método contempla la clasificación hídrica de los suelos reconociendo cuatro grupos hidrológicos (GH), según su clase textural en A, B, C, o D.

Para determinar el GH según el tipo de suelo de una forma empírica se puede obtener la tasa mínima de infiltración del suelo de forma directa mediante un ensayo de infiltración prolongado hasta que la tasa de infiltración se estabilice (Martínez de Azagra, et al, 2003). En este contexto y debido a la similitud de las condiciones de producción, se utilizaron para todas las subcuencas, los datos de ensayos realizados por Faraoni et al, 2023 en el CE en tres lotes con diferentes condiciones de uso y manejo de suelo. Sus resultados fueron 30,7 mm/h y 33,5 mm/h para lotes sistematizados con terrazas paralelas de desagüe y de uso agrícola bajo siembra directa y de 10,2 mm/h para un lote de pastura implantada (*Panicum maximum* Jacq), con clausura de más de 3 años y que funciona como franja protectora por posible deriva de fitosanitarios.

Definido el GH, la cobertura vegetal y el uso del suelo, se utilizaron los valores propuestos por Natural Resources Conservation Service (2004) del USDA según se describe en la tabla 2.

Diseño de canal para la conducción de los excedentes hídricos.

Para el dimensionamiento de los canales fue necesario, además de la selección de la forma parabólica (figura 3), información previamente obtenida como:

- Caudal: caudal pico obtenido por simulación con HEC-HMS para cada canal.
- Pendiente: de la vía de escurrimiento que se transformará en canal.
- Suelos: según la textura y estructura será la velocidad máxima que pueda conducirse agua sin provocar daños. También la profundidad del suelo puede influir ya que puede ser una limitante para el corte y por lo tanto obliga a considerar otras dimensiones de la sección.

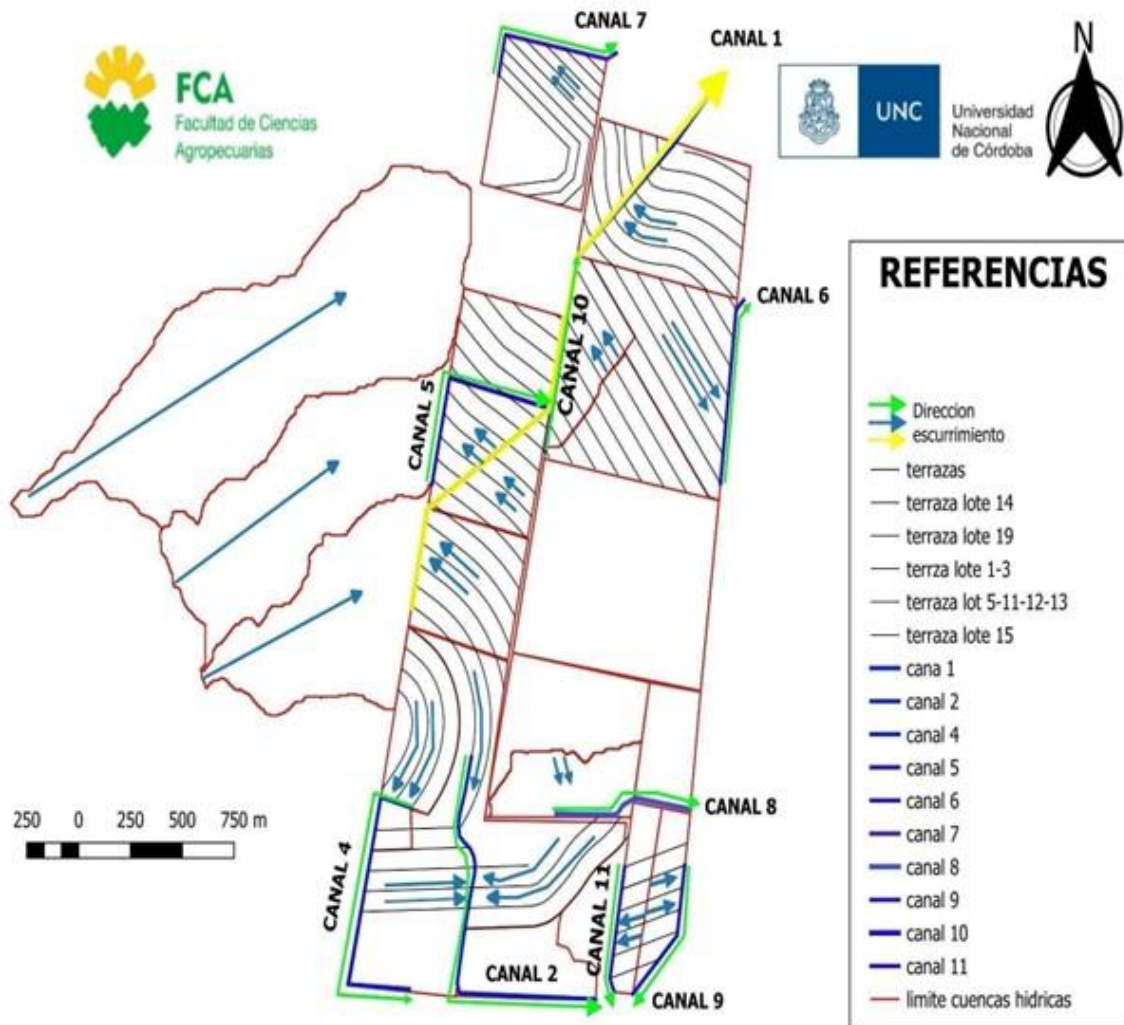


Figura 1. Delimitación de cuencas y subcuencas de aporte de agua a los lotes del campo escuela (CE) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Sistematización de terrazas de base ancha. Dirección y conducción del escurrimiento superficial (flechas). Ubicación de los canales empastados para la conducción de los excedentes hídricos.

- Cobertura: el cálculo se efectúa considerando que se contará con una buena cobertura vegetal de altura entre 15-25 cm, ya que el suelo desnudo es fácilmente erosionable.

$$V = \frac{R^{2/3} \cdot I^{1/2}}{n}$$

$$R = \left| \frac{V \cdot n}{\sqrt{I}} \right|^{3/2}$$

Primer paso: estimación de la velocidad máxima admisible (que no produce erosión) para ese suelo y cobertura. Considerando:

- cobertura vegetal: normal.
- material de suelo: Arena limosa muy fina (IDECOR 2021). Velocidad máxima admisible: 0,75 m/s. Fuente: Hudson, 1982.

Segundo paso: cálculo de radio hidráulico según Manning:

En donde: **R** = Radio hidráulico, **V** = Velocidad máxima admisible (m/s), **n** = coeficiente de Manning e **i** = pendiente de cauce (m/m).

Tercer paso: cálculo de profundidad:

$$R = \frac{z}{2} * pr \cdot \text{donde } pr = 1.5 * R$$

En donde: **pr** = profundidad del canal de desagüe (m) y **R** = radio hidráulico.

La profundidad de los canales se estandarizo en 0,1 m a los fines de permitir el transito con maquinaria y evitar el decapitado del horizonte superficial, fértil de los suelos típicos del CE.

Cuarto paso: cálculo de ancho La sección (S):

$$S = \frac{2}{3} a * pr \text{ donde } a = \frac{3S}{2pr}$$

Haciendo $S = Q/V$ se tiene que:

$$a = 1.5 \frac{Q}{V pr}$$

En donde: **a** = ancho del canal de desagüe (m), **Q** = Caudal de diseño (m³/s), **V** = Velocidad máxima admisible (m/s) y **Pr** = profundidad del canal de desagüe (m).

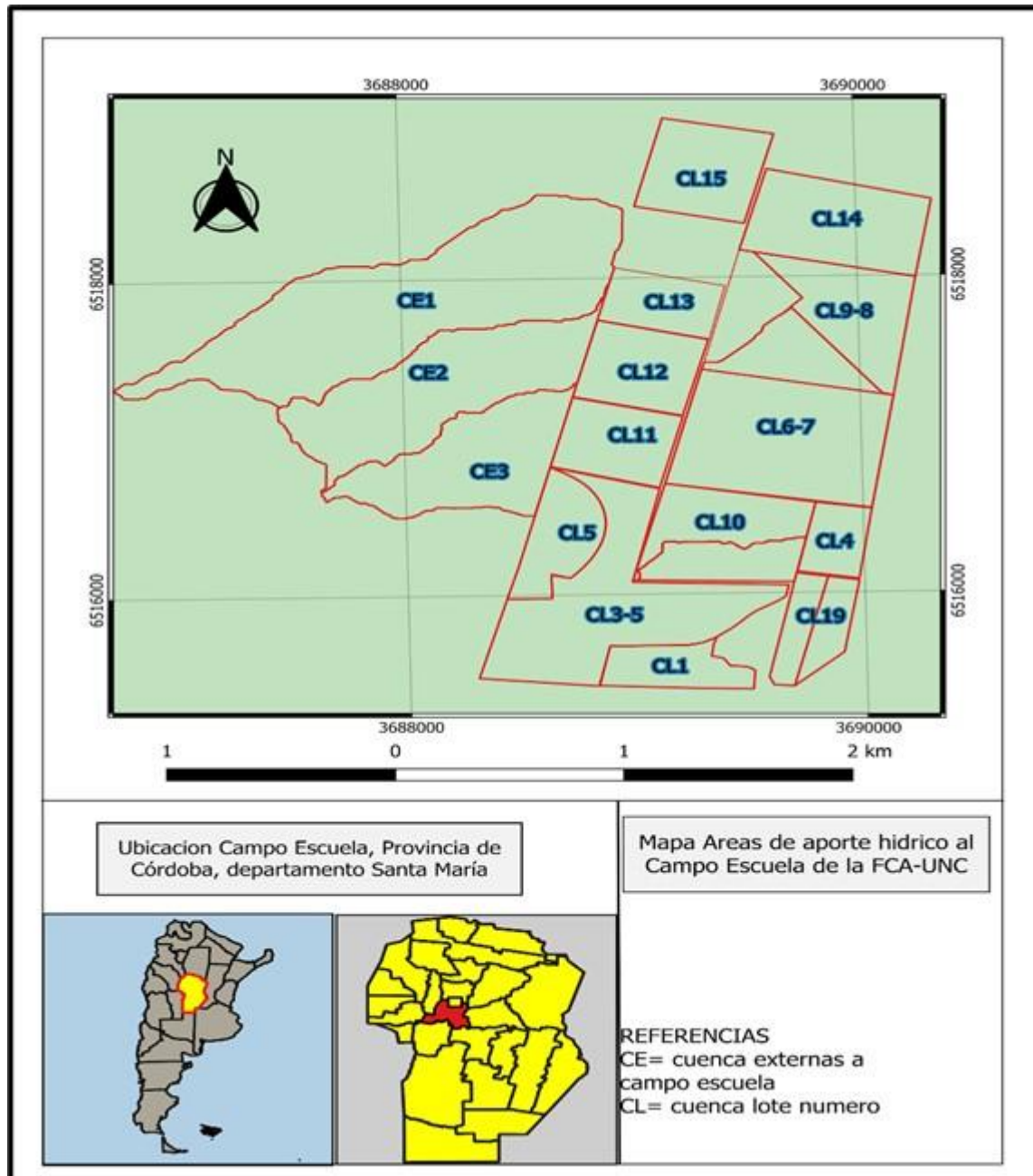


Figura 2. Mapa de subcuencas de aporte a partir de los datos obtenidos mediante la delimitación topográfica realizada por Becerra et al. (2021).

Tabla 1. Parámetros físicos para la simulación hidrológica.

Canal	Tramo	Long. (m)	Área Ext. (ha)	Área Int. (ha)	AH (m)	Pend. (%)	CN	TC (hs)	LAG TIME (min)	Subcuencas
1	1	372	48,72	22,59	1,00	0,27	76	0,30	10,80	CE3 Y CL11
	2	697		12,00	2,00	0,29	71	0,67	24,12	CL12
	3	363		16,94	1,00	0,28	71	0,34	12,24	CL9
	4	1173		43,81	14,0	1,19	71	0,78	28,08	CL14
2	1	956		68,84	3,00	0,31	71	0,77	27,72	CL3-5
	2	634		15,50	2,00	0,32	79	0,59	21,24	CL1
4		1160		20,40	4,00	0,34	71	0,41	14,76	CL5
5		900	67,32	12,00	1,00	0,11	71	0,89	32,04	CE2 Y CL12
6		702		30,30	2,00	0,28	77	0,25	9,00	CL8
7		702		28,52	3,00	0,43	71	0,23	8,28	CL15
8		670		10,85	3,00	0,45	71	0,24	8,64	CL10
9		575		9,17	4,00	0,70	71	0,19	6,84	CL19
10		504		14,42	2,00	0,40	71	0,18	6,48	CL9
11		476		9,13	3,00	0,63	71	0,16	5,76	CL19

Long.: Longitud del cauce principal en metros. **Área Ext.:** Cuenca de aporte externo en hectáreas. **Área Int.:** Cuenca de aporte interno en hectáreas. **AH:** desnivel, diferencia de cotas entre el inicio y el fin del cauce principal. **Pend.:** Pendiente expresada en porcentaje. **CN:** Curva Número. **TC:** tiempo de concentración de la cuenca expresado en horas. **LAG TIME:** tiempo de retardo expresado en minutos

Tabla 2. Número de curva según Grupo hidrológico y cobertura vegetal y/o uso del suelo.

Cobertura vegetal y/o uso del suelo	Grupo hidrológico B
Cultivos alineados R B	78
Cultivos alineados C-T B	71
Pastizal P	79

R: Laboreo sin prácticas de conservación, **C:** Curvas de nivel, **C-T:** Curvas de nivel y Terrazas abiertas, **P:** Condición de infiltración pobre y **B:** Condición de infiltración buena.

Tabla 3. Parámetros k y x Muskingum para tránsitos

Parámetros	Canal 1			Canal 2
	Tránsito 1	Tránsito 2	Tránsito 3	Tránsito 1
K	0,18	0,11	0,17	0,28
x	0,1	0,10	0,10	0,10

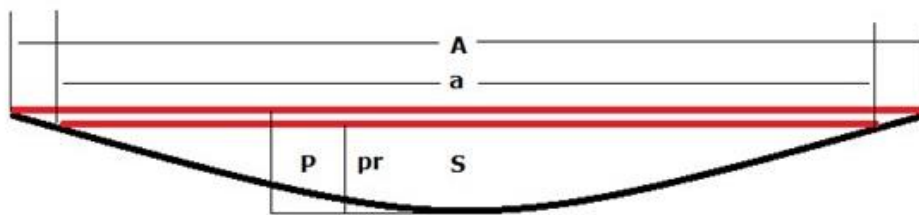


Figura 3. Sección transversal de un canal parabólico. En donde: A = ancho máximo del canal considerando un margen de seguridad, a = ancho del canal considerando el caudal de diseño, P = profundidad máxima del canal considerando un margen de seguridad, pr = profundidad del canal considerando el caudal de diseño y S = sección transversal.

Para todos los canales dimensionados se eligió una profundidad de 0.10 metros que no decapite el horizonte superficial del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la delimitación previa de las subcuencas, que incluyeron 17 subcuencas dentro de los límites del CE y 3 subcuencas externas al establecimiento (Figura 2), así como sus correspondientes parámetros físicos (Tabla 1), y considerando las características de uso del suelo definidas por el coeficiente de escorrentía (CN) previamente descrito (Tabla 2), se obtuvo la modelación hidrológica.

Los resultados obtenidos de la simulación hidrológica con HEC-HMS, muestran que el Canal 1 recibe aportes de varias subcuencas con diferentes características de manejo, entre las que se incluye la CE3, proveniente de un lote vecino con uso agrícola, las CL11 y CL12, sistematizadas con terrazas de desagüe de base ancha, y la CL14, con uso ganadero y terrazas de base angosta a nivel, a lo que se le suma los aportes de hídricos de los canales 5 y 10 que se detallan a continuación. Este conjunto de aportes generó un caudal de $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 4) a los 60 minutos desde el inicio de la lluvia del proyecto, resultando en un canal con un ancho de 46 metros.

El Canal 5 recibió aportes de la subcuena externa al campo escuela con uso agrícola (CE2) y la CL12, sistematizada con terrazas de desagüe de base ancha, generando un caudal de $2,6 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 5) y un canal con un ancho de 36 metros.

Por su parte, el Canal 10, conformado CL9 de uso agrícolas sistematizadas con terrazas de desagüe de base ancha, presentó un caudal de $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ y un canal

de 8,3 metros de ancho. El Canal 2 recibió aportes de las CL3-5, con uso agrícola y terrazas de desagüe de base ancha, y de la CL1, implantada con Panicum maximum J. Este conjunto de subcuencas arrojó un caudal de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 6), con un canal de 28 metros de ancho. El Canal 4, conformado por la CL5, con uso agrícola y terrazas de desagüe de base ancha, presentó un caudal de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$, requiriendo un canal de 6 metros de ancho. El Canal 6 recibió aportes de la CL8, con uso agrícola y terrazas de desagüe de base ancha, generando un caudal pico de $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ y un canal de 15 metros de ancho. El Canal 7 recibió aportes de la CL15, con características de uso agrícola y terrazas de desagüe de base ancha, lo que generó un caudal de $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$, requiriendo un canal de las mismas dimensiones que el Canal 6. Por último, los Canales 9 y 11 recibieron aportes de la CL19, sistematizada con terrazas de desagüe de base ancha y uso agrícola, generando un caudal de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ para cada uno; ambos canales con un ancho de 6 metros. El Canal 8, conformado por la CL10, también con uso agrícola, arrojó resultados hidráulicos similares, con un caudal de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ y un canal de 6 metros de ancho. Resultados que pueden observarse en tabla 4.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de la modelación hidrológica realizada con HEC-HMS permitieron determinar caudales que oscilaron entre $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$, dependiendo de las condiciones específicas del escenario evaluado. Estas variaciones de caudal se tradujeron en anchos de canal necesarios para la conducción eficiente de los mismos, con dimensiones que van desde 46 metros para los caudales máximos hasta 6 metros para los mínimos.

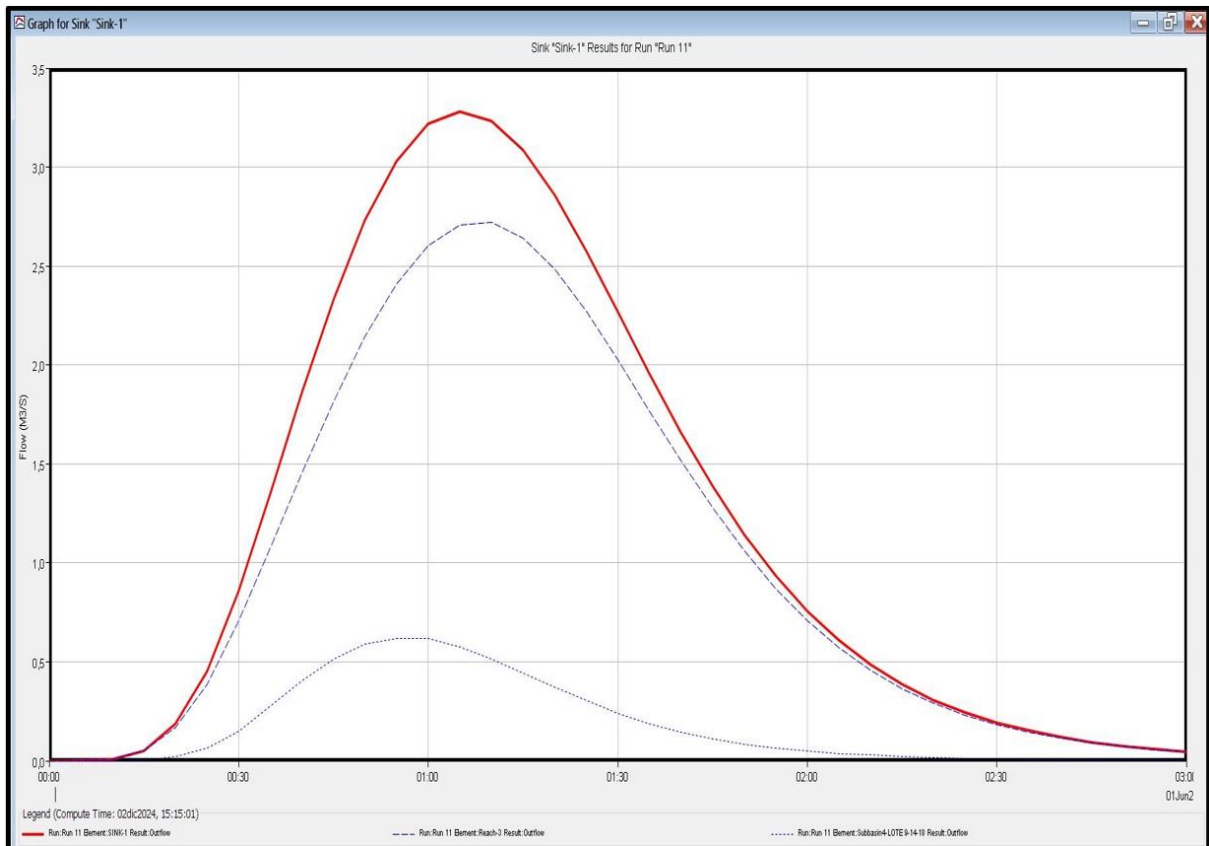


Figura 4. Resultados de modelación hidrológica a la salida del canal 1, mostrando un caudal de 3.3 m/s.

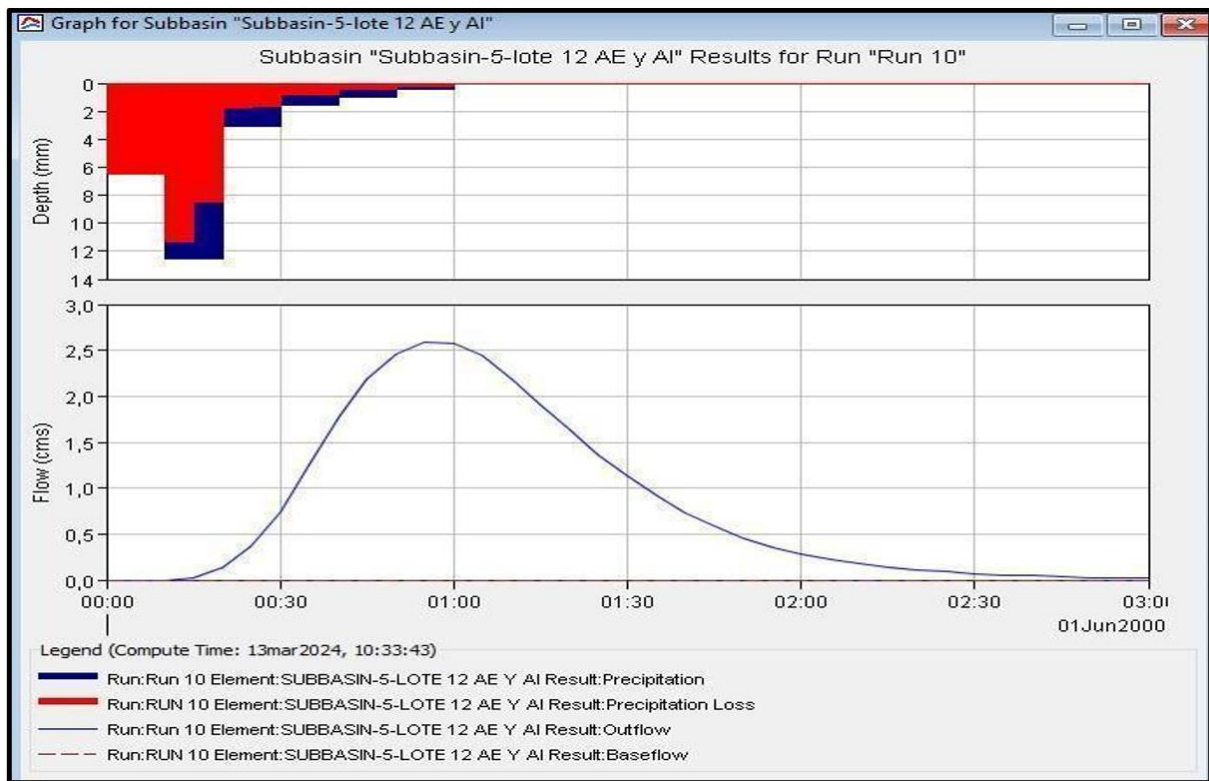


Figura 5. El Hidrograma del canal 5 muestra que el caudal pico llegó a los 2,6 m³/s a los 50 minutos de iniciada una lluvia proyecto.

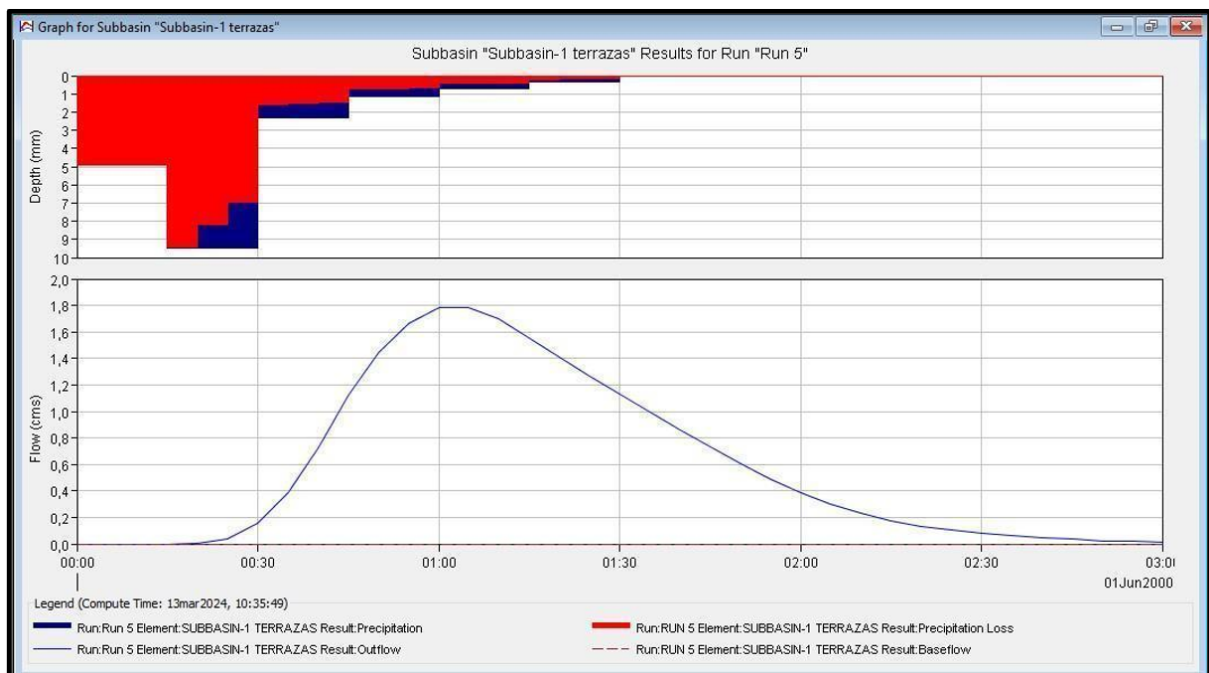


Figura 6. Resultado de la modelación hidrológica correspondiente al canal 2, alcanzando un caudal de 2 m³/s a la salida mismo.

Tabla 4. Resultado de caudal pico obtenido con HEC-HMS, a la salida, para cada canal y ancho de canales parabólicos empastados.

CANALES	CAUDAL (m ³ /s)	ANCHO (m)
ALCANTARILLA	3,3	46
SALIDA CANAL 1	3,3	46
CANAL 2	2,0	28
CANAL 4	0,4	6
CANAL 5 (salida canal 1)	2.6	36
CANAL 6	1,1	15,3
CANAL 7	1,1	15,3
CANAL 8	0,4	6
CANAL 9	0,4	6
CANAL 10	0,6	8,3
CANAL 11	0,4	6

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Army Corps of Engineers (2000). HEC User's Manual. En H. E. Center, HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension. Estados Unidos.

Becerra M.A., Raspanti J., Negro G.; Faraoni D.; Croce A. y Vicondo M. (2021). Caracterización topográfica del Campo Escuela (FCA UNC) y sus alrededores. IX Jornadas Integradas de Investigación, Extensión y Enseñanza de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Caamaño Nelli G. y Dasso C.M. 2005 Red regional de lluvias de diseño en la Provincia de Córdoba. Informe técnico Estación N°74 Rafael García. Zona hidrometeorológica Centro. Departamento Santa María.

Cisneros, J. M. Cholaky, C. G. Cantero Gutierrez, A. Gonzalez, J. G. Et al. (2012). Erosión Hídrica. Principios y Técnicas de Manejo. UniRío Editora. Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina. Capítulo II.

Chow, V.T, Maidment, D.R, Mays, L.W. 1994. Hidrología Aplicada. Ediciones McGraw-Hill. Colombia.

Esmoriz, G.F, Vettorelo, C.I. Rubenacker, A.I. Denegri, A. Miranda, J. 2013. Calidad del suelo en lotes con diferentes manejos agrícolas en Córdoba, Argentina. Jornadas Argentinas de conservación de suelos.

Faraoni, D.A., Negro, G., Raspanti, J., Becerra M.A, Mastromauro, M., Olmedo F., Arnaudo, G. 2023. Ensayo comparativo de velocidad de infiltración de agua mediante infiltrómetro de simple anillo en el Campo Escuela FCA-UNC. X Jornadas Integradas de la FCA-UNC, Competencias y aportes de la FCA para el desarrollo sostenible.

Gaspari F.J., Senisterra E.G., Delgado M.I., Vagaría Rodríguez A.M., Besteiro S.I. 2009. Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. La Plata: ISBN 978987-05-6165-1.

- Hudson N. 1982. Conservación del suelo. Ed Reverte. Barcelona.
- IDECOR (Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba) en convenio con CONICET. Noviembre 2021. Variables Granulométricas. <https://mapascordoba.gob.ar/viewer/mapa/351>
- Jarsún, B. Gorgas, J. A. Zamora, E. Bosnero, H. Lovea, E. Ravelo, A. Tassile, J. L. E. (2003). Los Suelos, Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. Editorial Agencia Córdoba Ambiente S.E- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Manfredi, Córdoba. Argentina. Capítulo 2.
- Muñoz Cárpena R. & A. Ritter Rodríguez. 2005. Hidrología agroforestal. Ed. Mundi Prensa, Coeditor Gobierno de Canarias. España. 348 pp.
- Martínez de Azagra A., Monguil J., Del Rio J. 2003. Pequeña guía de uso del modelo MODIPE. [Pequeña guía de uso del modelo MODIPÉ \(oasification.com\)](#)
- NRCS (2004). Part 630 Hydrology National Engineering Handbook. Chapter 9 Hydrologic Soil-Cover Complexes. USDA.
- Soil Conservation Service (SCS). (1972). National Engineering Handbook, Section 4. Hydrology.
- Sereno, R. 1997. Manual de control de erosión hídrica. Programa de evaluación y control de la erosión hídrica. Secretaria de Ciencias y Técnica. Universidad Nacional de Córdoba.
- Vettorello, C.I, Rubenacker, A. Pettinari, A, Sterpone, E.D. (2020). Influencia de las terrazas y manejo del suelo en dos microcuencas representativas de la región semiárida de Córdoba. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Williams, G. (1922). Flood discharges and the dimensions of spillways in India. London: Engineering.