

SIMULACIÓN DEL IMPACTO DEL MANEJO SOBRE LA RESPUESTA HIDROLÓGICA EN UNA CUENCA DE PASTIZAL PARCIALMENTE INSTRUMENTADA

SIMULATION OF MANAGEMENT IMPACT ON HYDROLOGICAL RESPONSE IN A PARTIALLY-GAUGED PASTURE WATERSHED

Miguel Agustín Velásquez Valle¹; Jesús A. Muñoz Villalobos¹; Ignacio Sánchez Cohen¹; Hilario Macías Rodríguez¹; Hugo Ernesto Flores López²

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA). INIFAP. km 6.5 Margen derecha Canal Sacramento. Gómez Palacio, Durango. MÉXICO. C. P. 35140.

Correo-e: velasquez.agustin@inifap.gob.mx (*Autor para correspondencia).

²Campo Experimental Altos de Jalisco. CIRPAC. INIFAP. km 8 Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno. Tepatitlán, Jalisco, MÉXICO. C. P. 47600.

RESUMEN

Los modelos hidrológicos son herramientas para la toma de decisiones sobre el manejo de los recursos naturales, principalmente en cuencas no instrumentadas. En áreas de pastizal, la manipulación de la vegetación tiene un impacto directo sobre el comportamiento de algunas variables hidrológicas, como el escurrimiento superficial. La información pluviométrica e hidrológica de una cuenca experimental de 46.8 ha de uso pecuario en el Estado de Zacatecas fue usada para calibrar el modelo WIN TR-55 y evaluar el impacto de diferentes escenarios de la condición del pastizal (pobre, media y buena) sobre los escurrimientos superficiales. El mejorar la condición del pastizal representa que sólo el 19 % del escurrimiento calculado, para la condición pobre (< 50 % de cobertura vegetal), salga de la cuenca.

PALABRAS CLAVE: Cuenca hidrológica, escurrimiento superficial, método de curva numérica

ABSTRACT

Hydrological models are tools for making decisions about natural resource management, mainly in ungauged watersheds. In grassland areas, the manipulation of vegetation has a direct impact on the behavior of some hydrological variables such as surface runoff. Rainfall and hydrological information from a 46.8-ha watershed with livestock use in the State of Zacatecas was used to calibrate the WIN TR-55 model and evaluate the impact of different range condition scenarios (poor, medium and good) on surface runoff. Improving the range condition represents only 19 % of the calculated runoff going out of the watershed area, for the poor condition (<50 % plant cover).

KEYWORDS: Watershed, surface runoff, curve number method



Recibido: 25 de junio, 2012
Aceptado: 15 de abril, 2013
doi: 10.5154/r.rchsza.2012.06.033
[http:// www.chapingo.mx/revistas](http://www.chapingo.mx/revistas)

INTRODUCCIÓN

El cambio actual del patrón estructural de las series de tiempo de las variables climatológicas, como la precipitación pluvial, ha causado incertidumbre en la toma de decisiones sobre el manejo de los recursos naturales por parte los productores y de los técnicos responsables de aplicar las políticas de producción y conservación en el sector primario. Lo anterior ha creado la necesidad de disponer de herramientas como los modelos matemáticos; ellos nos permiten evaluar el comportamiento actual por efecto del manejo de los recursos naturales y predecir su efecto a largo plazo sobre variables que ponen en riesgo la producción, e inclusive la vida humana. Estas herramientas requieren generalmente de información puntual; sin embargo, debido a que los parámetros requeridos varían en el espacio y algunos de ellos son dinámicos en el tiempo, no se dispone de esta información (cuencas no aforadas) para cualquier sitio; por lo tanto, el uso de los modelos es una opción viable para generar información que facilite la toma de decisiones y permita seleccionar prácticas de manejo de los recursos naturales.

En la actualidad, una gran variedad de modelos hidrológicos pueden ser usados según el objetivo y la disponibilidad de información. El método de curva numérica (USDA, SCS, 1972) se usa para determinar el impacto hidrológico. La facilidad para obtener sus parámetros y su aceptable capacidad de predicción hacen que su aplicabilidad tenga buen potencial en cuencas con diferente uso del suelo (Ponce y Hawkins, 1996). Este método para predecir escurrimiento ha sido evaluado en regiones áridas con pastizal; en ese caso, las variables relevantes han estado relacionadas con factores como la variabilidad espacial de la precipitación, el área de drenaje, las pérdidas por transmisión en el cauce (principalmente cuando presentan una textura cuarzosa) y con la longitud del cauce principal (Simanton *et al.*, 1996). En otros estudios, las evaluaciones de la efectividad de los grupos hidrológicos de suelo del método de curva numérica para calcular el escurrimiento en cuencas áridas y semiáridas, han permitido concluir que es necesario realizar modificaciones para evitar errores de predicción; por ello se sugiere incluir información de las características de la superficie del suelo (Wood y Blackburn, 1984). Hawkins y Ward (1998) reportaron que para regiones áridas en las que la hidrología es limitada, los parámetros de suelo son más importantes que aquellos derivados de los atributos de la vegetación; sin embargo, ha sido evidenciada una tendencia de disminución de los valores de la curva numérica conforme los porcentajes de cobertura vegetal del suelo son mayores. En México, algunos estudios en cuencas con condiciones parecidas han permitido lograr la caracterización de la retención potencial máxima de humedad en el suelo (Sánchez *et al.*, 2003).

El objetivo del presente estudio fue parametrizar un modelo hidrológico (WIN TR-55) para evaluar el impacto de prácticas de manejo de los recursos naturales sobre la respuesta de la cuenca en términos de lámina escurrida.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló considerando como unidad experimental una cuenca con uso pecuario localizada en el sureste del estado de Zacatecas. La cuenca cuenta con información pluviométrica, edafológica, hidrológica y de manejo de los recursos naturales. El supuesto es que el volumen y gasto máximo aforado es la respuesta hidrológica al manejo del pastizal dentro de la cuenca.

Descripción del área de estudio

La cuenca experimental La Cruz se encuentra ubicada en el municipio de Tabasco en el estado de Zacatecas. Su área se localiza entre los 102° 59' y los 103° 09' longitud oeste y entre los 21° 51' y los 21° 52' latitud norte, a una altitud media de 1,700 m. El clima se clasifica como semiseco-semi-cálido (BS₁hw (w)). La precipitación promedio anual es de



FIGURA 1. Área representativa del tipo de vegetación de selva baja caducifolia dentro de la Cuenca experimental La Cruz, Tabasco, Zacatecas.



FIGURA 2. Estación de aforo con vertedor para flujo supercrítico tipo Santa Rita y limnógrafo FUESS en la cuenca La Cruz, Tabasco, Zacatecas.

CUADRO 1. Generalidades que caracterizan y limitan la aplicación del Modelo WIN TR-55.

Variable	Limitante
Área mínima	1 ha
Área máxima	6 500 ha
Número de sub-cuencas	1 a 10
Tiempo de concentración para cualquier sub-cuenca	0.1 hora ≤ Tc ≤ 10 horas
Número de arroyos	0 a 10
Magnitud de la precipitación	0 a 1 270 mm
Tipo de distribución de la precipitación	Tipo NRCS I, IA, II y III
Tiempo de duración de la tormenta	24 horas
Condición de humedad antecedente	Promedio (CN II)
Método de cálculo del escurrimiento superficial	Curva Numérica (SCS)

624 mm, de los cuales el 90 % se presenta durante el periodo comprendido entre los meses junio y noviembre.

Las unidades de suelos presentes en la cuenca son Regosol calcárico y Castañozem háplico (CETENAL, 1974). Los suelos son someros, de textura media y con una fase pedregosa (Velásquez y Serna, 1994). La vegetación de la cuenca es matorral sub-inerme con pastizal natural (Figura 1). En el estrato arbóreo se presentan especies como ozote (*Ipomea intrapilosa* Rose) y mezquite (*Prosopis* sp.). El estrato arbusitivo está representado por especies de los géneros *Tysenhardtia* sp. (varaduz) y *Mimosa* sp. (huizcolote); en el estrato basal se encuentran especies de pastos como navajita (*Bouteloua hirsuta*) y banderita (*B. curtipendula*).

La cuenca La Cruz cuenta con una estación climatológica ubicada en la parte alta de la misma, así como con una estación de aforo con un vertedor para flujo supercrítico tipo *Santa Rita* y un limnógrafo FUESS de vuelta semanal para estimar el volumen escurrido (Figura 2). La base de datos para calibrar y evaluar los escenarios de manejo corresponden a la lámina precipitada y escurrida durante el periodo de 1985 a 1989.

Descripción del Modelo TR-55

El Modelo hidrológico WIN TR-55 se usa en cuencas pequeñas. El modelo genera hidrogramas a partir de información de usos diferentes de suelo y de puntos seleccionados en el cauce de las cuencas. Los hidrogramas pueden ser calculados siguiendo el tránsito del flujo. La modelación puede realizarse para varias sub-áreas dentro de la cuenca seleccionada. En el Cuadro 1 se presentan de manera general algunas de las características del Modelo WIN TR-55.

Cálculo de la lámina escurrida

Para el cálculo de la lámina escurrida, el Modelo TR-55 utiliza el método de curva numérica. Este método fue desarrollado para predecir escurrimiento superficial al usar información de tormentas individuales.

El cálculo de la lámina escurrida se fundamenta en la aplicación de la siguiente ecuación:

$$Q = [p - 0.2 (S)]^2 / [p + 0.8(S)] \quad (1)$$

Donde:

Q es la lámina escurrida (mm), p es la lámina precipitada (mm) y S es el parámetro de retención máxima potencial (mm).

La retención máxima potencial se estima utilizando la siguiente relación empírica:

$$S = 25\,400 / CN - 254 \quad (2)$$

Donde:

CN es la curva numérica (adimensional)

El cálculo del valor de la curva numérica considera información tabular correspondiente al tipo de suelo, la condición hidrológica del área de drenaje, el uso del suelo y la condición antecedente de humedad (USDA, SCS, 1972).

Cuando se dispone de información de las láminas precipitada y escurrida, como en el caso de los simuladores de lluvia, en lotes de escurrimiento estándar o cuencas aforadas, el parámetro S se estima con la siguiente ecuación (Hawkins *et al.*, 2009):

$$S = 5 [P + 2Q - (4Q^2 + 5PQ)^{1/2}] \quad (3)$$

Donde:

S es el parámetro de retención máxima (mm), P es la lámina precipitada (mm) y Q es la lámina escurrida (mm).

Calibración del modelo

Para utilizar el modelo con el propósito de simular el impacto del manejo del pastizal en una región con condiciones

similares a la Cuenca La Cruz, es necesario calibrar el Modelo WIN TR-55. Este proceso de calibración consistió en variar el valor de la curva numérica (CN) hasta hacer coincidir la lámina escurrida, calculada con el Modelo WIN TR-55, con la lámina observada o medida en la estación de aforo para un evento de precipitación observado.

Simulación de escenarios de manejo

Las variables de manejo consideradas como criterios de decisión para caracterizar los diferentes escenarios de manejo, son la condición del pastizal (pobre, media o buena) y la condición hidrológica del suelo (A, B, C y D). Para integrar el impacto de estas dos variables se usa un valor de CN por escenario de manejo. Los escenarios de manejo que se consideraron en esta etapa lo fueron en función de la condición hidrológica para un pastizal con arbustos, malezas y mezcla de zacates y el grupo hidrológico de suelo D (suelos con alto potencial de escurrimiento), como se muestra en el Cuadro 2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapas de calibración del Modelo WIN TR-55

Con el propósito de documentar el uso del Modelo WIN TR-55 para simular el impacto de diferentes condiciones de

vegetación en una cuenca (mala, media y buena), se realizó su calibración para diferentes eventos de precipitación. Los resultados de la calibración para tres eventos ocurridos en la cuenca se presentan en el Cuadro 3. Las diferencias entre los valores observados y los simulados pueden ser atribuidas a factores como la variabilidad espacial de la precipitación y a las pérdidas de agua por transmisión en el cauce en cuencas áridas (Simanton *et al.*, 1996).

Simulación de escenarios de manejo

Para evaluar diferentes situaciones de condición del pastizal en la cuenca experimental, se consideró simular la respuesta hidrológica ocasionada por un evento de precipitación de 37.4 mm (con un periodo de retorno de seis años) pero con diferente condición de la vegetación (mala, media y buena), asignando a cada una de ellas el valor correspondiente (Cuadro 2). Lo esperado es que el incremento de la cobertura vegetal del suelo reduzca la magnitud de los escurrimientos superficiales (Lang, 1979; Mata *et al.*, 2009). El supuesto es que el método de curva numérica considera que las clases de condición hidrológica buena, media y mala representan > del 75 %, entre 50 y 75 % y < de 50 % de cobertura vegetal del suelo, respectivamente. Los resultados de la simulación del impacto de modificar la condición de la vegetación dentro de la cuenca experimental, en términos de lámina escu-

CUADRO 2. Valor de curva numérica para los diferentes escenarios de manejo del pastizal en la cuenca La Cruz, Tabasco, Zacatecas.

Uso del suelo	Condición hidrológica	Grupo hidrológico de suelo			
		A	B	C	D
Selva Baja					
Caducifolia	Pobre	48	67	77	83
(Pastizal	Media	35	56	70	77
nativo)	Buena	30	48	65	73

CUADRO 3. Relación entre los valores de escurrimiento superficial observados y simulados en la etapa de calibración del modelo.

Fecha	Precipitación (mm)	CN	Q Observado (mm)	Q Simulado (mm)
19/09/1986	37.4	86	6.7	6.75
05/07/1986	49.5	87	15.31	15.42
27/07/1987	65.2	80	16.22	16.99

CUADRO 4. Lámina escurrida (mm) simulada para diferentes condiciones hidrológicas en la Cuenca Experimental La Cruz, correspondiente a un evento de precipitación de 37.4 mm.

Condición hidrológica	Cobertura (%)	C N	Lámina escurrida (mm)
Mala	< 50	83	6.75
Media	50 a 75	77	1.48
Buena	> 75	73	0.33

rrida (mm) y correspondientes a un evento de 49.5 mm, se aprecian en el Cuadro 4. Hipotéticamente se puede señalar que pasar de una cobertura vegetal de la cuenca de < de 50 % (condición pobre) a más de 75 % (condición buena), implica evitar que más del 95 % de los escurrimientos superficiales salgan de ella. En la práctica, estos resultados pueden ser tomados en cuenta para tomar las decisiones de manejo del pastizal, ya que mediante el incremento de la cobertura y el control del apacentamiento del ganado al reducirse las pérdidas de agua mediante los escurrimientos, ésta puede quedarse dentro de la cuenca como humedad disponible para las plantas e incrementar la disponibilidad de forraje para el ganado.

La respuesta hidrológica de las diferentes condiciones de la vegetación en la cuenca en forma de hidrograma en la estación de aforo de la cuenca, se presenta en la Figura 3. Es

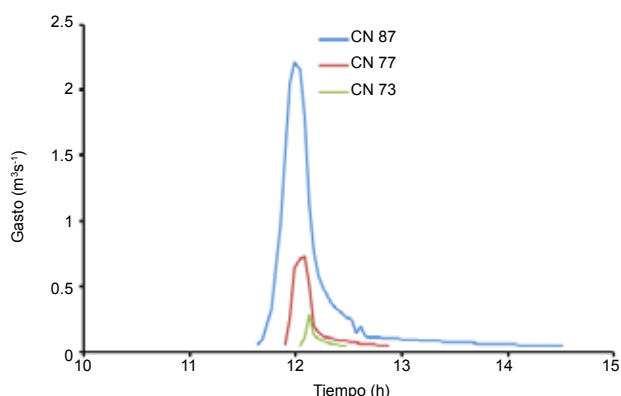


FIGURA 3. Hidrograma en el punto de aforo de la cuenca para un evento de precipitación de 37.4 mm.

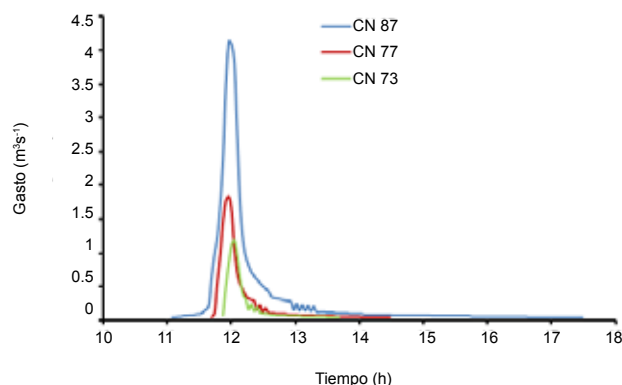


FIGURA 4. Hidrograma en el punto de aforo de la cuenca para un evento de precipitación de 49.5 mm.

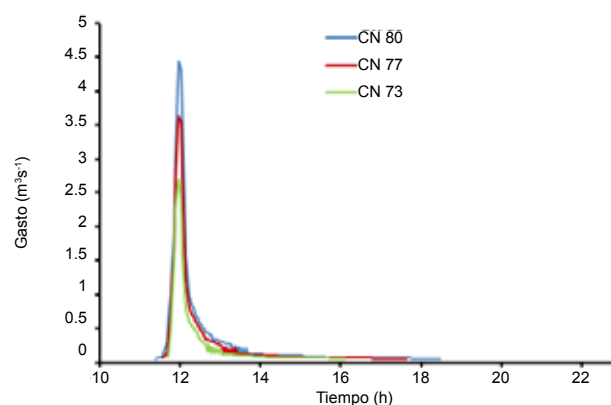


FIGURA 5. Hidrograma en el punto de aforo de la cuenca para un evento de precipitación de 65.2 mm.

CUADRO 5. Lámina escurrida (mm) simulada para diferentes condiciones hidrológicas en la Cuenca Experimental La Cruz, correspondiente a un evento de precipitación de 49.5 mm.

Condición hidrológica	Cobertura (%)	C N	Lámina escurrida (mm)
Mala	< 50	83	15.42
Media	50 a 75	77	5.42
Buena	> 75	73	2.93

CUADRO 6. Lámina escurrida (mm) simulada para diferentes condiciones hidrológicas en la Cuenca Experimental La Cruz, correspondiente a un evento de precipitación de 65.2 mm.

Condición hidrológica	Cobertura (%)	C N	Lámina escurrida (mm)
Mala	< 50	83	16.99
Media	50 a 75	77	13.42
Buena	> 75	73	9.12

apreciable que los parámetros de duración del escurrimiento, gasto máximo y tiempo al pico son modificados al cambiar el valor de la curva numérica. Es de esperarse que si el propósito es fomentar las láminas escurridas para propiciar el almacenamiento de aguas superficiales, lo recomendable es usar un valor de curva numérica de 83; pero si el objetivo es retener agua a través de manipular la vegetación, lo conveniente es usar un valor de curva numérica de 73. Para los eventos de precipitación de 49.5 y 65.2 mm se encontró un comportamiento similar, como puede observarse en los Cuadros 5 y 6 y en las Figuras 4 y 5, respectivamente.

CONCLUSIONES

Aunque se ha reconocido ampliamente la capacidad predictiva del método de curva numérica, los resultados obtenidos en este estudio documentan que la capacidad de este método también es aceptable por evento de escurrimiento superficial de una cuenca parcialmente instrumentada. El proceso de calibración del Modelo WIN TR-55 utilizando los valores de la lámina escurrida registrada en la estación de aforo de la cuenca, fue adecuado. En el contexto de la simulación de escenarios de manejo de los recursos naturales como una estrategia para tomar decisiones, el modelo WIN TR-55 fue capaz de detectar diferencias cuantitativas de la lámina escurrida en tres condiciones hidrológicas del pastizal de la cuenca (pobre, media y buena) y un grupo hidrológico del suelo (D), el cual se caracteriza por su alta capacidad de generación de escurrimiento superficial. El impacto de manipular la condición de la vegetación dentro de la cuenca al pasar de una condición pobre (CN=87) a una condición buena (CN=73) para un evento de precipitación de 49.5 mm, representa que más del 95 % de la lámina a escurrir quede disponible para las plantas como humedad en el suelo o se infiltre a horizontes profundos. Es relevante considerar estos resultados para diseñar proyectos de investigación relacionados con determinar las relaciones funcionales de algunos aspectos hidrológicos (área fuente de escurrimiento) y morfológicos (pendiente del terreno) con la generación del escurrimiento y cómo impacta lo anterior en la capacidad predictiva del método de curva numérica y del Modelo TR-55.

LITERATURA CITADA

- COMISIÓN DE ESTUDIOS DEL TERRITORIO NACIONAL (CETENAL). 1974. Cartas edafológicas F-13-D-16 (Tlaltenango) y F-13-D-17 (Calvillo). SPP. México.
- HAWKINS, R. H.; WARD, T. J. 1998. Site and cover effects on event runoff. Jornada Experimental Range, New Mexico. Proceedings of the American Water Res. Association Conference on Rangeland Management and Water Resources. pp. 361-370.
- HAWKINS, R. H.; WARD, T. J.; WOODWARD, D. E.; VAN MULLEN, J. A. 2009. Curve number hydrology: state of the practice. Report of the ASCE/EWRI Curve Number Hydrology Task Committee. 104 p. ISBN: 978-0-7844-1004-2.
- LANG, R. D. 1979. The effect of ground cover on surface runoff from experimental plots. *J. Soil & Water Cons.* 35: 108-114.
- MATA, E.; CISNEROS A. M. I., D.; NEVARES N., J. C. 2009. Infiltración en agostaderos de la región semiárida de Durango, México, rehabilitados con el rodillo aireador. *In: Memorias del VI Simposio Internacional de Pastizales.* Monterrey, N. L. México.
- PONCE, V. M.; HAWKINS, R. H. 1996. Runoff curve number: Has it reached maturity? *J. of Hydrology Engineering* 1: 11-19.
- SÁNCHEZ C., I.; VELÁSQUEZ V. M.; JASSO, I. R.; GONZÁLEZ B., J. L. 2003. Caracterización de la retención potencial máxima de humedad en el suelo del método SCS-CN. Aplicación a una cuenca de México. *Ingeniería Hidráulica en México XVIII:* 111-117.
- SIMANTON, J. R.; HAWKINS, R. H.; SARAVI, M. M.; RENARD, K. G. 1996. Runoff curve number variation with drainage area, Walnut Gulch. Arizona. *Transactions of the ASAE* 39: 1391-1394.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE-SOIL CONSERVATION SERVICE (USDA-SCS). 1972. National Engineering Handbook. Section 4. Hydrology. USDA-SCS. Washington, D.C.
- VELÁSQUEZ V., M. A.; SERNA P., A. 1994. Caracterización hidrológica de una cuenca de pastizal con pastoreo continuo. *TERRA* 12: 273-281.
- WOOD, M. K.; BLACKBURN, W. H. 1984. An evaluation of the hydrologic soil groups as used in the SCS runoff method on rangelands. *Water Res. Bull.* 20: 379-389.