

Respuesta Hidrológica de Diferentes Usos del Suelo en las Zonas Áridas del Estado de Durango, México.

Miguel Agustín Velásquez Valle, Gerardo Esquivel Arriaga, Ignacio Sánchez Cohen, Ramón Gutiérrez Luna, Jesús Arcadio Muñoz Villalobos, Hilario Macías Rodríguez y Palmira Bueno Hurtado.



DIRECTORIO INSTITUCIONAL

**SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO
RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN**

Lic. Enrique Martínez y Martínez
Secretario

Lic. Jesús Aguilar Padilla
Subsecretario de Agricultura

Prof. Arturo Osornio Sánchez
Subsecretario de Desarrollo Social

Lic. Ricardo Aguilar Castillo
Subsecretario de Alimentación y Competitividad

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,
AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

Dr. Pedro Brajcich Gallegos
Director General

Dr. Salvador Fernández Rivera
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M. C. Arturo Cruz Vázquez
Coordinador de Planeación y Desarrollo

M. A. Francisco González Naranjo
Coordinador de Administración y Sistemas

∞

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA EN
RELACIÓN
AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA**

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director

**RESPUESTA HIDROLÓGICA DE DIFERENTES USOS
DEL SUELO EN LAS ZONAS ÁRIDAS DEL ESTADO
DE DURANGO, MÉXICO.**

Miguel Agustín Velásquez Valle

Gerardo Esquivel Arriaga

Ignacio Sánchez Cohen

Ramón Gutiérrez Luna

Jesús Arcadio Muñoz Villalobos

Hilario Macías Rodríguez

Palmira Bueno Hurtado

**CENID-RASPA
2013**

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias

Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán
C.P. 04010 México, D. F.
Teléfono (55) 3871 - 8700

ISBN: 978-607-37-0120-4

Primera edición 2013

Derechos Reservados ©

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la institución.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
Impacto hidrológico del cambio de uso del suelo	3
a) Pérdida de la cobertura vegetal	3
b) Cambio en las propiedades físicas del suelo	4
Simulación de la respuesta hidrológica en apoyo a la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales.....	7
Método de curva numérica	8
DESARROLLO METODOLÓGICO	12
Aplicación del método de curva numérica.....	12
Descripción del área de estudio.	12
Cálculo del impacto hidrológico.....	14
Simulación de lluvia	14
Determinación de las pérdidas de agua.....	15
Producción de sedimentos.	19
Determinación de la Curva Numérica	20
RESULTADOS.....	22
Conservación de agua	22
Conservación de suelo	24
Predicción del escurrimiento superficial.....	27
RECOMENDACIONES GENERALES.....	32
LITERATURA CITADA	35

Respuesta Hidrológica de Diferentes Usos del Suelo en las Zonas Áridas del Estado de Durango, México.

Miguel A. Velásquez Valle^{1*}
*Gerardo Esquivel Arriaga*¹
*Ignacio Sánchez Cohen*¹
*Ramón Gutiérrez Luna*²
*Jesús A. Muñoz Villalobos*¹
*Hilario Macías Rodríguez*¹
*Palmira Bueno Hurtado*¹

INTRODUCCIÓN

La presión por el uso de los recursos naturales para la producción de bienes y servicios para la población humana ha causado en las últimas décadas el deterioro ambiental de los ecosistemas de una manera continua y progresiva. Esto se ha visto reflejado en el cambio del uso del suelo al convertir los bosques y pastizales en áreas de cultivo. La tasa de cambio para diferentes usos del suelo y tipos de vegetación en el Estado de Durango ha sido cuantificada para el periodo 1976 – 2000 a partir del desarrollo de matrices de transición, encontrando que los bosques, selvas, matorrales y pastizales naturales registran tasas de crecimiento negativas debido a factores degradantes como la conversión del uso del suelo para la agricultura y la ganadería.

¹Investigador del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA) del INIFAP. Km. 6.5 Margen derecha Canal Sacramento. 35140. Gómez Palacio, Dgo. MÉXICO.

*e-mail: velasquez.agustin@inifap.gob.mx

²Investigador del Campo Experimental Zacatecas del Centro de Investigación Regional Norte-Centro (CIRNOC) del INIFAP. Apdo. Postal # 18. 98500. Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México.

Dentro del diagnóstico presentado se señala que para algunos municipios del Estado como San Pedro del Gallo, San Luis del Cordero e Hidalgo se ha reportado que en el 100% de su territorio se ha perdido la capa superficial del suelo por acción de la energía erosiva del viento (SEMARNAT-GED, 2007).

Por otro lado, se han realizado estudios para conocer la aptitud de los suelos para el desarrollo de la ganadería extensiva. Por ejemplo, Galván (2007) reporta que sólo 2.3 millones de hectáreas en el Estado tienen una aptitud media para llevar a cabo este tipo de actividad. Sin embargo, se ha reportado un decremento de la cobertura vegetal en ecosistemas de pastizal natural con una tasa estimada de $136.8 \text{ ha año}^{-1}$. Los factores relacionados con los principales cambios de uso de suelo en el Estado están asociados con la deforestación causada por actividades propias de la agricultura, ganadería y extracción de leña (Trucios-Caciano *et al.*, 2009).

En las regiones áridas y semiáridas del estado de Durango, la ganadería extensiva es una de las actividades productivas que tiene un impacto importante sobre la condición y la calidad de la cubierta vegetal de los pastizales en nuestro país (SEMARNAT, 2003). Por lo anteriormente señalado, es importante determinar el impacto que se está ejerciendo con el manejo actual sobre la condición de los recursos naturales y de ser posible predecir su comportamiento a corto, mediano y/o largo plazo ante diferentes escenarios de manejo.

Impacto hidrológico del cambio de uso del suelo.

Desde un punto de vista físico, la conversión de la aptitud o condición productiva de la tierra para la producción agrícola o ganadera altera las condiciones del suelo y vegetación ocasionando un comportamiento diferente entre los distintos usos de suelo (Návar y Synnott, 2000; Diamond y Shanley, 2003). Mediante el uso excesivo de implementos de laboreo del suelo (Velásquez *et al.*, 1997; Tiscareño *et al.*, 1999) y el sobrepastoreo (Sánchez, 1984) las propiedades físicas del suelo se degradan o deterioran. De manera genérica, al cambiar el uso del suelo, la degradación física se caracteriza por los siguientes procesos:

a) Pérdida de la cobertura vegetal

Al cambiar el uso del suelo forestal a áreas de pastoreo o de pastizal a áreas de cultivo necesariamente implica la manipulación y pérdida de la cobertura vegetal. La pérdida de cobertura vegetal reduce la rugosidad y microtopografía de la capa superficial del suelo, facilita la generación del escurrimiento superficial (Lang, 1979) y disminuye la protección al suelo en contra de la energía erosiva de las gotas de lluvia al impactarse sobre la superficie del suelo. Por otro lado, una disminución de la vegetación y de la cantidad de residuos que se incorporan al suelo reduce la porosidad y el contenido de carbono orgánico del suelo.

El carbono orgánico es responsable de la estabilidad del suelo (microagregados) y al disminuir sus cantidades en el suelo, la

macroporosidad de la matriz del suelo igualmente disminuye y de esta manera se evita que el agua entre al suelo (Bedunah y Sosebee, 1885).

b) Cambio en las propiedades físicas del suelo

La manipulación del uso del suelo por actividades ganaderas y/o agrícolas también modifica algunas propiedades del suelo (Warren *et al.*, 1986a; Warren *et al.*, 1986b). El grado de agregación de las partículas del suelo es una de las propiedades que cambian en función al manejo del suelo y vegetación.

Al cambiar el uso del suelo de vegetación natural a agrícola Sustaita-Rivera *et al.*, (2000) encontraron que la conversión de terrenos con vegetación nativa a suelos agrícolas mediante prácticas de labranza del suelo incrementó el contenido de microagregados menores a 0.25 mm y disminuyó la estabilidad estructural en dos diferentes tipos de suelos debido a la eliminación del contenido de materia orgánica. Por el contrario, en suelos agrícolas con la simple transición de un sistema de labranza intensivo a otro como labranza cero mejora las propiedades físicas del suelo como la estructura del suelo (Tiscareño *et al.*, 1999; Wilkins *et al.*, 2002). En áreas de pastizal, con la exclusión al pastoreo se encontró una mejora de propiedades del suelo como la densidad aparente del suelo y las tasas de infiltración con respecto a las áreas bajo pastoreo continuo (Sánchez, 1984).

Generalmente los cambios en las propiedades físicas del suelo se manifiestan de acuerdo al tipo de manejo; algunas propiedades pueden cambiar de inmediato, mientras que en otras sus cambios se observan a un mediano o largo plazo. Se ha reportado que la remoción dirigida de la vegetación no tiene un impacto inmediato sobre variables hidrológicas como las tasas de infiltración (Busby y Gifford, 1981; Giordanengo *et al.*, 2003; Puentes *et al.*, 2004).

En el caso de áreas forestales se ha encontrado que la reversión de propiedades físicas del suelo debidas a reforestación con individuos del genero *Eucalyptus spp.*, requiere un periodo largo de tiempo para entender los cambios y predecir futuras tendencias (Zhang *et al.*, 2012). Por el contrario, sí existe un cambio repentino o de gran magnitud en las condiciones de la capa superficial del suelo (laboreo excesivo de los suelos) por ello algunos procesos como la generación del escurrimiento superficial o la erosión del suelo son a corto plazo afectados por la presencia de un evento hidrológico.

Consecuentemente, algunos efectos o procesos resultantes de la alteración o destrucción de la capacidad de los suelos para funcionar adecuadamente como almacén de humedad, soporte físico de las plantas, proveedor de nutrimentos y aire a las plantas y hábitat de microorganismos se señalan a continuación:

- 1) cuando el suelo se compacta por el pisoteo del ganado o paso de maquinaria, se dificulta la penetración de las

raíces de las plantas en el suelo; así como la emergencia de las mismas.

- 2) al destruirse la estructura del suelo se evita que el agua de la lluvia se infiltre y provoca que ésta fluya sobre la superficie del suelo como escurrimiento o exceso de precipitación y,
- 3) al generarse el escurrimiento superficial sobre el suelo se propicia que en áreas de flujo concentrado estas zonas sean más susceptibles al proceso de erosión de partículas de suelo, pérdida de materia orgánica y transporte de químicos a cuerpos de agua (Warren *et al.*, 1986b).

En áreas de pastizal el impacto del apacentamiento sobre las variables hidrológicas ha sido documentado. El paso del agua de la lluvia a través de la superficie del suelo (proceso de infiltración) tiene una gran sensibilidad a las condiciones superficiales del suelo derivadas de su manejo (Bedunah y Sosebee, 1885).

La mayoría de los reportes indican que la carga animal, el sistema de pastoreo, la cobertura vegetal, tipo de vegetación, etc. influyen directamente en el proceso de infiltración del agua en el suelo (Warren, 1987; Wood *et al.*, 1978; Blackburn *et al.*, 1982; McCalla II *et al.*, 1984; Gamougoun *et al.*, 1984; Merzougui y Gifford, 1987; Thurow *et al.*, 1986).

De estas investigaciones se ha encontrado que los pastizales con una alta carga animal, con un sistema de pastoreo continuo, con baja cobertura del suelo por la vegetación (Bedunah y Sosebee, 1985) generalmente presentan valores más bajos de las tasas de infiltración con respecto a un pastizal con un sistema de apacentamiento acorde a su productividad o a pastizales excluidos al pastoreo (Sánchez, 1984).

Simulación de la respuesta hidrológica en apoyo a la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales.

El aprovechamiento adecuado y la conservación de los recursos naturales son criterios en la toma de decisiones para el diseño de prácticas de manejo. En el caso de la predicción de la cantidad de agua que escurre después de ocurrir una tormenta, es fundamental para evitar el proceso de erosión, la pérdida de nutrientes, azolvamiento de canales y represas, daños a la infraestructura rural, etc.

Actualmente existen diversas herramientas para determinar *ex-ante* el impacto de implementar prácticas de manejo sobre la respuesta de los recursos agua – suelo. Una de estas herramientas es el uso de modelos matemáticos para predecir el impacto del manejo sobre el comportamiento de variables hidrológicas. En el caso de los recursos hídricos el método de curva numérica es una excelente técnica para conocer de manera anticipada la cantidad de

agua o escurrimiento superficial que puede salir o quedarse dentro de las parcelas o cuencas en función del manejo a implementar.

Método de curva numérica

El método de curva numérica (USDA-SCS, 1972) se usa para determinar el impacto de implementar prácticas de manejo del suelo sobre el escurrimiento superficial a diferentes escalas espaciales, como una parcela o una cuenca hidrológica. Es un método hidrológico empírico que se utiliza para demostrar la relación entre la lámina precipitada (lluvia) y la lámina escurrida superficialmente para un evento de lluvia dado.

El método de curva numérica fue desarrollado en Estados Unidos para predecir el escurrimiento superficial utilizando para ello la información de tormentas individuales. Desde su conceptualización como tal, a la fecha se ha generado bastante información que ha mejorado sustancialmente la capacidad predictiva del método en diferentes escenarios de manejo.

Se considera que del total de la lámina precipitada una parte de ella no contribuye al escurrimiento directo o superficial. Esta porción de la precipitación se conoce como abstracciones iniciales y su valor contempla varios procesos como la intercepción de la lluvia por el dosel de la vegetación, el almacenamiento de agua de la lluvia en pequeñas depresiones en la superficie del suelo y sobre todo el proceso de infiltración que ocurre antes de que se genere el escurrimiento superficial.

Tomando en cuenta que existe una gran variabilidad en el espacio y amplia dinámica en el tiempo de los factores que determinan las abstracciones iniciales se encontró que su valor podría ser estimado en función del máximo valor del escurrimiento mediante la siguiente ecuación:

$$Ia = 0.2S \quad (1)$$

Donde:

$$\begin{aligned} Ia &= \text{Abstracciones iniciales} \\ S &= \text{Retención máxima potencial} \\ &\quad (\text{mm}) \end{aligned}$$

El cálculo del escurrimiento medio (Q) por evento (mm) es a través de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (2)$$

Dónde :

$$\begin{aligned} Q &= \text{Escurrecimiento medio (mm)} \\ P &= \text{Precipitación por evento (mm)} \\ S &= \text{Definido anteriormente} \end{aligned}$$

En el método de curva numérica el único parámetro es llamado como retención máxima potencial (S). Este parámetro depende de

la magnitud de la precipitación pluvial (lluvia máxima en 24 h), de las condiciones del terreno (área y sistema de drenaje, manejo del suelo, tipo de vegetación) y es relacionado con valores de curvas numéricas como una representación genérica de los coeficientes de escurrimiento (Martínez, 1982).

En México se han realizado estudios hidrológicos a diferentes escalas espaciales (lotes de escurrimiento estándar o pequeñas cuencas) de los cuales se han reportado valores del parámetro S en función de la precipitación pluvial (Tiscareño *et al.*, 1999; Sánchez *et al.*, 2003). La relación entre el parámetro S y la curva numérica se representa mediante la ecuación:

$$CN = \frac{25400}{S + 254} \quad (3)$$

Donde:

CN = Valor de curva numérica (adimensional)

S = Retención máxima potencial (mm)

La facilidad para parametrizar el modelo y su aceptable capacidad de predicción hacen que su aplicabilidad tenga buen potencial con diferentes usos del suelo (Ponce y Hawkins, 1996). El valor de la curva numérica puede variar de 0 a 100 unidades (adimensional). Un valor cercano a 100 significa que todo lo que llueve escurre; es decir, el terreno presenta suelos compactados; mientras que un

valor cercano a 0 indica que el agua precipitada se infiltra casi por completo, traduciéndose en un suelo con buena porosidad o semi-permeable. El valor de la curva numérica depende esencialmente de cuatro valores que se pueden encontrar en forma tabular en la literatura: a) uso de suelo, b) condición hidrológica del área de drenaje, c) grupo hidrológico del suelo y d) la condición antecedente de humedad (USDA-SCS, 1972).

El uso del suelo se refiere a la utilización de los terrenos (áreas de agricultura, pastizales y bosques) y la implementación de prácticas de cultivo o tratamientos al suelo. La condición hidrológica del área de la cuenca o parcela depende de la densidad de la cobertura; la cual se clasifica como a) buena (mayor al 75%), b) regular (entre 50 y 75%) y c) mala (menor al 50%). La condición hidrológica es la característica del suelo para generar el escurrimiento y depende de la clase textural del suelo; así como de la presencia de capas impermeables y materiales fuertemente cementantes en el perfil del suelo (Martínez, 1982).

En México, la aplicación de este método ha sido utilizando información del parámetro *S*. El parámetro del método de curva numérica ha sido tomado de literatura, mismo que han sido generado en condiciones contrastantes a aquellas de nuestro país. Por ello, es importante reportar el valor de curva numérica para los escenarios de manejo de áreas agrícolas y de pastizales de zonas áridas del país.

El objetivo del presente trabajo es reportar la generación de información hidrológica de diferentes usos de suelo y presentar los resultados de la parametrización y aplicación del método de curva numérica.

DESARROLLO METODOLÓGICO

Aplicación del método de curva numérica.

Descripción del área de estudio.

Con el propósito de parametrizar y aplicar el método de Curva Numérica (CN) a condiciones de zonas de temporal en el país, se ha utilizado información de un sitio experimental en el municipio de San Luis del Cordero, en el estado de Durango, México. El sitio experimental fue el terreno conocido como La Providencia en el Municipio anteriormente mencionado.

El municipio cuenta con una superficie de 543.9 km², está comprendido entre los paralelos 25° 11' y 25° 30' de latitud norte y entre los meridianos 104° 40' y 104° 29' de longitud oeste y una altura promedio sobre el nivel del mar de 1,490 metros. El municipio se encuentra enclavado en la zona árida del Estado, en la parte sur del Bolsón de Mapimí, el cual es considerado como un semi-desierto.

La región cuenta con un clima muy seco BS₁kw y BWhw (García-Gutiérrez *et al.*, 2006), las temperaturas máximas registradas son de 45 °C y las mínimas de - 10 °C (Medina *et al.*, 2005). La

precipitación media anual es de 325 mm, siendo el periodo de lluvias de junio a agosto. El promedio de heladas por año es de 25 días. El origen del suelo es aluvial con una profundidad media de 25 a 50 cm de color castaño claro a oscuro, textura blanda arenosa con grava, una estructura tipo block-angular, con una consistencia moderadamente dura con un drenaje intermedio y un pH de 7.5 a 8.0, libre de sales.

El tipo al que corresponde es el llamado Litosol (clasificación FAO-UNESCO, 1971-1981) y su formación geológica consta de capas calizas, vestigio de antiguos fondos marinos existentes de la era mesozoica y sobre dichas capas, mantos de roca líquida solidificada.

La mayor parte de suelo se usa para la ganadería como agostadero, siguiendo en importancia el uso agrícola. La vegetación típica del sitio está compuesta principalmente por: Mezquite (*Prosopis sp.*), huizache (*Acacia sp.*), lechuguilla (*Agave lechuguilla*), ocotillo (*Fouquieria splendens*), sotol (*Dasyliirion sp.*), nopal (*Opuntia spp.*), orégano (*Lippia berlandieri Schauer*), gobernadora (*Larrea tridentata*), candelilla (*Euphorbia antisyphillitica*), maguey (*Agave spp.*) y gran variedad de cactáceas (Figura 1).

En el estado de Durango, los valles representan la región con mayor producción de biomasa de pastizales nativos como el navajita (*Bouteloua curtipendula*) y banderita (*Bouteloua gracilis*) con un 28.8% de su superficie (COTECOCA-SARH, 1979).



Figura 1. Área representativa de las condiciones de suelo y vegetación en la región del municipio de San Luis del Cordero, Dgo.

Cálculo del impacto hidrológico

Simulación de lluvia

El uso de lluvia artificial con simuladores es una técnica para aplicar agua al terreno en forma de lluvia (Figura 2) de manera controlada, similar a la precipitación natural. Mediante los simuladores de lluvia se pueden controlar ciertas características de la lluvia tales como: duración, frecuencia, intensidad, diámetro de las gotas, velocidad de caída y energía cinética. Con esta herramienta se facilita el entendimiento de algunos procesos del ciclo hidrológico como la infiltración, el escurrimiento superficial,

la erosión del suelo y el movimiento de contaminantes y/o nutrientes entre otros, como una función de las características y propiedades de la superficie y la fase sólida o matriz del suelo y su manejo (Sánchez *et al.*, 1999).



Figura 2. Simulador de lluvia en operación sobre parcela de escurrimiento.

Determinación de las pérdidas de agua

Para determinar el impacto hidrológico se realizaron pruebas de infiltración con un simulador de lluvia tipo Miller (1987) modificado (Figura 2). El Simulador trabaja con una planta de energía portátil de 5500 Watts, la cual genera una energía de 110 VAC, incluye un módulo electrónico que regula de manera sincronizada el cierre y apertura de las tres válvulas que consta el

simulador. El tiempo de cierre y apertura de cada válvula es igual a 4 segundos. El agua que entra al sistema hidráulico del simulador es abastecida por una bomba hidráulica de 0.5 HP. La lluvia sale del sistema hidráulico del simulador por una boquilla de aspersión circular. La presión del agua para cada válvula es controlada por manómetros en cada boquilla. El simulador tiene un rango de intensidad de precipitación de 60 hasta 180 mm h⁻¹.

Las parcelas de escurrimiento se construyen aislando una superficie de un metro de ancho por tres metros de largo con lámina galvanizada lisa, en la parte baja de cada parcela se colocó una estructura metálica para concentrar los escurrimientos superficiales que salen de cada una de ellas. Las simulaciones de lluvia se realizaron en condiciones secas (inicial) y húmedas (24 horas después) para cada uso del suelo. La base de datos hidrológica lámina (mm) y volumen (l) fueron medidos cada 5 minutos durante la prueba, la cual tuvo una duración de 50 minutos; a los cuales la curva de infiltración alcanza un comportamiento asintótico con respecto al tiempo (Cuadro 1). La intensidad promedio calculada para cada uso de suelo se seleccionó considerando un periodo de retorno de 75 a 100 años y asegurar la suficiente energía para ocasionar el desprendimiento y transporte de partículas del suelo.

Cuadro 1. Características promedio de los eventos de la lluvia simulada para los usos de suelos evaluados.

Uso del suelo	Duración (min)	Intensidad promedio (mm h ⁻¹)	Desviación estándar (mm h ⁻¹)	Coefficiente de variación (%)
Pradera de zacate	50	147.6	29.5	20.0
Parcela abandonada	50	134.4	21.5	16.0
Pastizal nativo	50	135.4	25.7	19.0

La suma del aforamiento de los escurrimientos superficiales para cada intervalo de tiempo constituye el volumen escurrido de cada parcela. Las pruebas de infiltración se realizaron sobre tres diferentes usos de suelo o tratamientos: a) pradera de zacate buffel (*Pennisetum ciliaris* L.) con 11 años de establecimiento (PZB) b) Pradera de cultivo abandonada (PCA) y c) pastizal nativo (PN) como se observa en la Figura 3.

En el caso de la pradera de zacate buffel se hacen aportaciones de agua o riegos con aguas de esorrentía del arroyo Naycha, una o varias veces al año dependiendo del número de tormentas y la magnitud de las avenidas. Al momento de las pruebas de simulación de lluvia la pradera se encontraba en un estado fenológico de re-brotación, después de haber realizado un corte (Figura 4). El caso del pastizal nativo las plantas en el estrato inferior se encontraban secas por la falta de humedad en el suelo.



a) Pradera de zacate buffel



b) Parcela de cultivo abandonada



c) Pastizal nativo

Figura 3. Áreas representativas de los sitios donde se realizaron las simulaciones de lluvia.



Figura 4. Simulador de lluvia sobre terreno con zacate buffel.

Producción de sedimentos.

La cantidad de sólidos en suspensión se cuantificó al obtener una muestra de agua de 500 ml del total de los escurrimientos; mediante el filtrado de las muestras de agua se separaron los sólidos de la muestra de agua. Con la información de los gramos de sólidos de la muestra y con la información del volumen total escurrido se calculó el total de suelo erosionado dentro de la parcela de escurrimiento. Los valores del volumen escurrido y de las pérdidas de suelo reportados en esta publicación corresponden al promedio de estas variables de las seis parcelas de escurrimiento para cada uso de suelo, en la condición húmeda.

Determinación de la Curva Numérica

De manera práctica la lámina escurrida se puede estimar a partir de valores de precipitación pluvial y de una determinada curva numérica a través del nomograma presentado en el Manual del Servicio de Conservación de Suelos (USDA-SCS, 1972) presentado en la Figura 5.

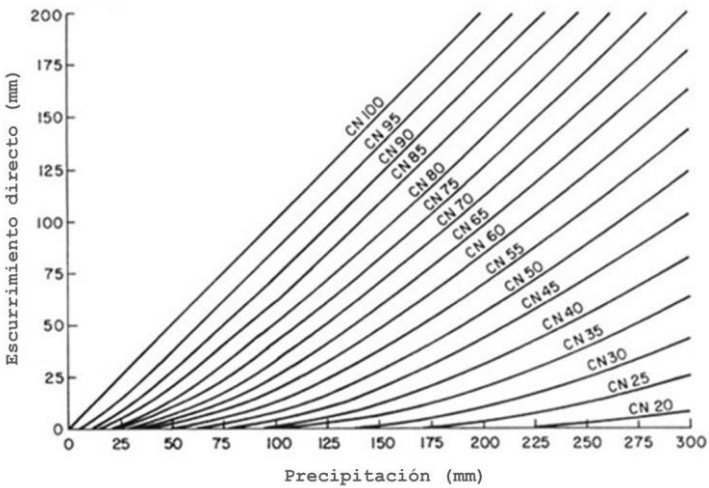


Figura 5. Relación entre la precipitación, curva numérica (CN) y escurrimiento superficial (mm).

Seleccionando un valor de precipitación esperada y en función del valor de la curva numérica representativa de la parcela o cuenca, se determina la lámina escurrida o escurrimiento directo. Una desventaja del uso del nomograma presentado en la Figura 5, es que es necesario conocer con precisión la condición hidrológica del área de drenaje, el uso del suelo y la condición antecedente de humedad al seleccionar el valor de curva numérica.

De manera alternativa cuando se dispone de información hidrológica (precipitación y escurrimiento) se puede calcular el valor de la curva numérica. En este estudio se consideraron los datos de la simulación de lluvia (lámina precipitada y escurrida en mm) para determinar la curva numérica. Para ello, se seleccionó la información por evento (precipitación pluvial y lámina escurrida) de las pruebas de simulación en la condición húmeda.

El valor del parámetro de retención máxima (S) del método de curva numérica para cada parcela fue obtenido utilizando la ecuación (4) propuesta por Hawkins en 1993:

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

Dónde:

P = Lámina precipitada (mm)

Q = Lámina escurrida (mm)

S = Parámetro de retención máxima (mm)

Una vez obtenido el parámetro S de la ecuación 1 por evento (lluvia máxima en 24 h) se determinó para la condición húmeda el valor de Curva Numérica (CN) para cada prueba de simulación de lluvia en cada uso del suelo o tratamiento; utilizando la ecuación 3. Posteriormente, se obtuvo un promedio de la curva numérica para cada tratamiento o uso de suelo evaluado ($n = 6$).

RESULTADOS

Conservación de agua

La cuantificación de los volúmenes escurridos en las parcelas del simulador de lluvia en los diferentes usos del suelo evaluados en este estudio se presenta de manera gráfica en la Figura 6. Como consecuencia del llenado del espacio poroso del suelo por agua al aplicar la lluvia simulada, en la condición húmeda al segundo día de simulación en los tres usos de suelo produjeron un mayor volumen de agua escurrida que el registrado en la condición seca (primer día de la simulación).

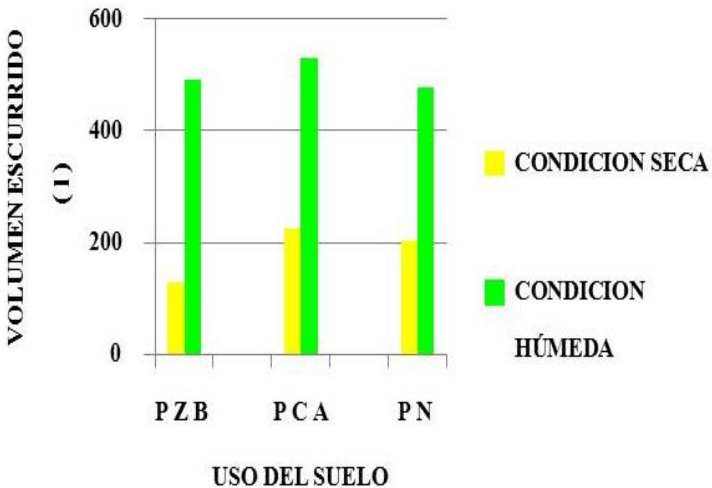


Figura 6. Volumen escurrido (litros) para las condiciones de suelo seco y húmedo y los diferentes usos del suelo en las parcelas con zacate buffel (PZB), de cultivo abandonada (PCA) y pastizal nativo (PN).

En la condición seca el promedio del volumen escurrido en las parcelas con zacate buffel (128 litros) fue menor que en las parcelas en terrenos de cultivo abandonadas y con pastizal nativo (225 y 203 litros, respectivamente). En promedio, bajo estas condiciones de humedad el volumen escurrido en las parcelas con zacate buffel fue menor en 36.4% que el aforado en las parcelas con pastizal nativo, debido a la escasa cobertura por pastos, causada por la sequía y el sobrepastoreo.

Con el humedecimiento del suelo con la lluvia simulada fue posible observar pocas diferencias entre los volúmenes escurridos, principalmente entre las parcelas con zacate buffel y las de pastizal nativo. Sin embargo, la diferencia entre el volumen escurrido en las parcelas de zacate buffel y aquel registrado en las parcelas de cultivo abandonadas se debe a la mayor cobertura del suelo por el zacate buffel; la cual favoreció las tasas de infiltración y redujo el volumen escurrido; lo cual coincide con lo reportado por Lang (1979).

El abandono de los terrenos que fueron abiertos a la agricultura, presentan en promedio los volúmenes escurridos más altos con respecto a los volúmenes cuantificados en las parcelas de zacate buffel y en aquellas con pastizal nativo; tanto en la condición seca como en la húmeda. Lo anterior es debido a que la falta de uso del suelo propicia condiciones poco favorables para que el agua se infiltre en el suelo. Uno de los factores relacionados con este comportamiento hidrológico del suelo es la presencia de costras biológicas en la superficie del suelo (Figura 7); las cuales afectan

negativamente la capacidad de almacenamiento de agua en la superficie del suelo o encharcamiento (Belnap, 2006; Rodríguez-Caballero *et al.*, 2012).



Figura 7. Presencia de encostramiento superficial del suelo en la parcela de cultivo abandonada.

Conservación de suelo

Las pérdidas de suelo cuantificadas para cada uso de suelo y expresadas como erosión potencial para eventos de precipitación similares a los simulados en este estudio (toneladas por hectárea) se presentan en la Figura 8. En esta gráfica se observa que a pesar de que en la condición seca se registraron los volúmenes de agua

escurridos más bajos que en la condición húmeda, la cantidad de suelo cuantificado en los tres usos de suelo fue mayor en la condición seca que en la húmeda.

Esta respuesta se debe a que al inicio de las pruebas de simulación de lluvia existe una mayor cantidad de suelo disponible a ser desprendido y transportado por las gotas de lluvia y por el escurrimiento superficial, respectivamente.

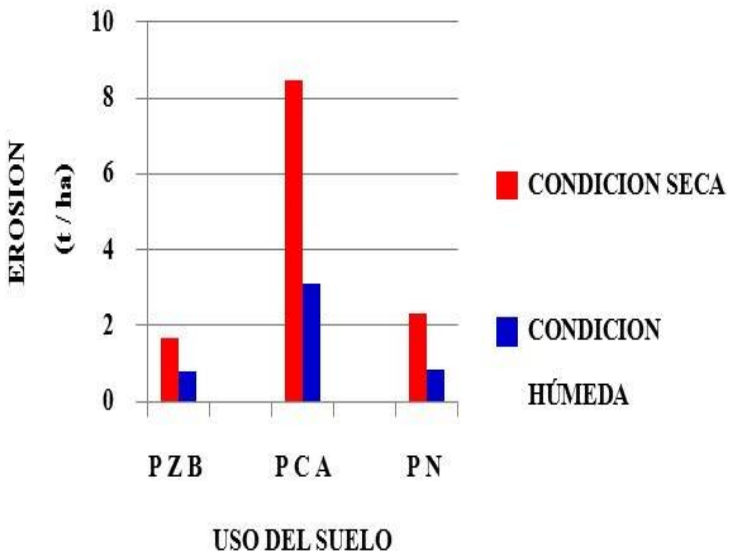


Figura 8. Erosión del suelo ($t\ ha^{-1}$) para las condiciones de suelo seco y húmedo y los diferentes usos del suelo en las parcelas con zabate buffel (PZB), de cultivo abandonada (PCA) y pastizal nativo (PN).

Para fines de comparación entre usos de suelo es conveniente considerar sólo los resultados de las simulaciones en la condición húmeda. Tomando en consideración lo anterior, se puede señalar que para los terrenos abiertos al cultivo y posteriormente sin uso o

abandonados, las pérdidas de suelo son mayores que las calculadas en las parcelas con zacate buffel y con pastizal nativo.

Es importante señalar que la capa superficial del suelo en las parcelas de cultivo que fueron abandonadas, está formada por la deposición de partículas de suelo acarreadas por el escurrimiento superficial. Estas partículas o agregados de suelo no presentan una estructura estable y al impacto de las gotas de la lluvia simulada, fueron fácilmente desprendidas y transportadas por la energía cinética de la lluvia y del escurrimiento o flujo concentrado.

Para las parcelas en las praderas de zacate buffel; así como en los pastizales nativos el escaso proceso de desprendimiento y transporte de partículas de suelo es atribuible a la cobertura del suelo por la vegetación y/o mantillo orgánico. Estas condiciones de la superficie del suelo minimizaron la energía erosiva de las gotas al impactarse sobre el mismo y causar el desprendimiento de las partículas del suelo.

En la Figura 9 se observa que a pesar de que la cobertura del suelo por mantillo orgánico para los tres usos de suelo es mayor al 40%, en la pradera de zacate buffel se cuantificó una cobertura vegetal del 30%; mientras que en los otros dos usos de suelo la cobertura vegetal fue mínima (menor al 5%). En promedio en este uso del suelo con más del 70% de cobertura del suelo por vegetación y mantillo es suficiente para reducir un 75% las pérdidas de suelo.

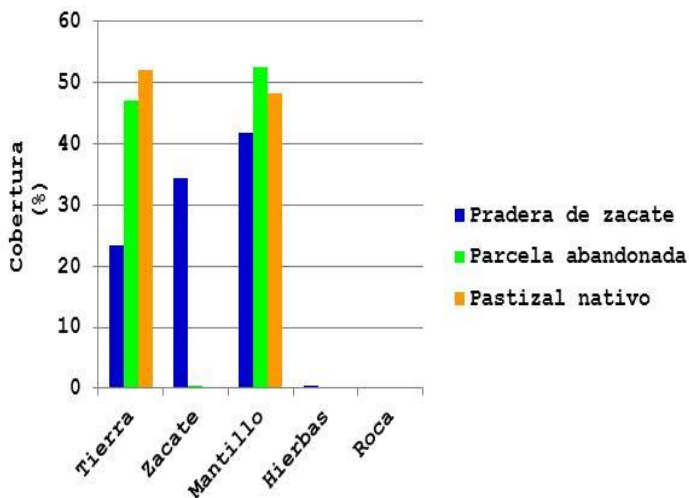


Figura 9. Porcentaje de cobertura del suelo por elemento para cada uso de suelo.

Predicción del escurrimiento superficial.

Con la información hidrológica obtenida en las pruebas de simulación de lluvia en cada uso de suelo fue posible generar los valores de curva numérica, utilizando la ecuación 3.

Los valores promedio de la curva numérica estimados para cada uso de suelo se presentan en la Figura 10. Los valores de las curvas numéricas calculadas son congruentes con los usos de suelo; coincidiendo un valor más alto de curva numérica (CN = 89) para las parcelas de cultivo abandonadas y el valor más bajo para las praderas con zacate buffel (CN = 79).

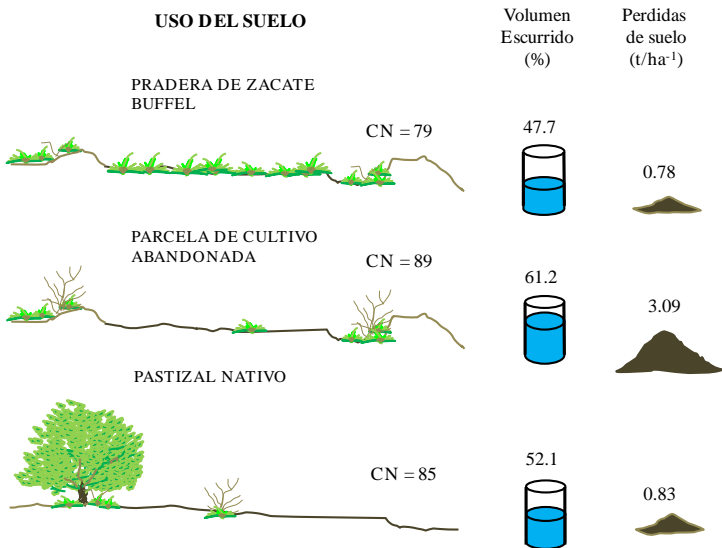


Figura 10. Representación esquemática del impacto hidrológico para diferentes usos del suelo bajo condiciones de lluvia simulada.

Al comparar estos resultados con los reportados por el USDA-SCS (1972) (Cuadro 2) se encontró que en los tres usos de suelo (pradera de zacate, parcela de cultivo abandonada y pastizal nativo) el valor de curva numérica corresponde al grupo hidrológico C el cual se caracteriza por agrupar “suelos someros y con considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D; además con un potencial de escurrimiento moderadamente alto”.

En las parcelas de escurrimiento ubicadas en el pastizal nativo el valor de la curva numérica encontrado en este estudio (CN = 85) es muy similar al reportado por el SCS (1979) para una condición hidrológica pobre de un pastizal o pradera (CN = 86). Esta condición hidrológica pobre es representativa de la mayoría de los

pastizales deteriorados por el sobrepastoreo y el proceso de erosión.

En el caso de las parcelas abandonadas al cultivo, para un suelo del grupo hidrológico C con escasa cobertura vegetal removida por la práctica de barbecho, el valor de la curva numérica en el Cuadro sería igual a 91.

Sin embargo, el valor de la curva numérica obtenido con las pruebas de simulación (CN = 89) en terrenos abandonados se aproxima más al valor de la curva numérica propuesto por el USDA-SCS (1972) en el Cuadro 2 (CN = 88) y que corresponde a una condición hidrológica pobre de un suelo agrícola y un sistema de siembra en surcos rectos.

Caso contrario ocurre con los valores de la curva numérica para las parcelas en la pradera de zacate buffel. La excelente cobertura de la vegetación y del mantillo orgánico clasifica la condición hidrológica de estas praderas como regular con un valor de la curva numérica igual a 79. En términos hidrológicos, la respuesta de los usos de suelo evaluados expresada como volumen escurrido coincide con los criterios del método de curva numérica para clasificar el uso del suelo, la condición hidrológica y el grupo de suelo.

Cuadro 2. Valores de curva numérica propuestos por el USDA-SCS (1972) para usos de suelo similares a los considerados en este estudio.

Uso del suelo	Condición Hidrológica	Grupo hidrológico de suelo			
		A	B	C	D
Barbecho	Suelo desnudo	77	86	91	94
Agricultura surcos rectos	Pobre	72	81	88	91
	Buena	67	78	85	89
Pradera o	Pobre	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
Pastizal	Buena	39	61	74	80

Además, con el método de curva numérica se calculó la magnitud del escurrimiento medio o lámina escurrida (ecuación 2) para diferentes eventos de precipitación y usos del suelo (Figura 11). La simulación hidrológica muestra que para que se inicie el

escurrimiento, la cantidad de precipitación es diferente entre los escenarios considerados en este estudio.

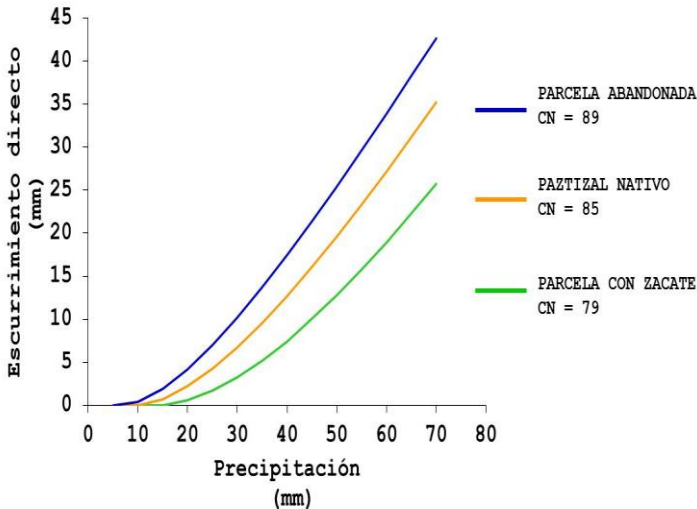


Figura 11.- Relación entre la precipitación y los valores de CN de los escenarios de manejo evaluados en la predicción de la lámina escurrida.

Por ejemplo, en las parcelas de cultivo abandonadas se requieren precipitaciones menores a 10 milímetros para que escurra el agua sobre la superficie del suelo; mientras que en praderas de zacate es necesario que se precipiten o luevan más de 10 milímetros.

La buena cobertura vegetal del suelo en las praderas de zacate es equivalente a una condición hidrológica buena (> 75% de cobertura), en el método de curva numérica, esto facilita el paso del agua a través de la superficie del suelo, reduciendo de esta manera la cantidad de agua que escurre.

Caso contrario ocurre en las parcelas agrícolas abandonadas, ya que la escasa cobertura vegetal propicia poca estabilidad física de la superficie del suelo; la cual ocasiona el taponamiento de poros, escasa rugosidad y el encostramiento de la misma. Bajo estas últimas circunstancias la condición hidrológica del suelo es clasificada como mala.

En el caso de los pastizales nativos, aunque existe poca cobertura vegetal, el pisoteo del ganado incrementa la rugosidad de la superficie del suelo y destruye las costras orgánicas sobre la superficie del suelo. Lo anterior debe tomarse con reserva ya que el exceso de la carga animal en áreas de pastizal propicia baja infiltración del agua de lluvia y acelera el proceso de erosión hídrica.

RECOMENDACIONES GENERALES

La cuantificación de la respuesta hidrológica del suelo con diferente uso en regiones áridas complementa el marco de referencia hidrológico de los recursos naturales en el estado de Durango, especialmente para las zonas áridas.

Esta información permite recomendar a los usuarios y tomadores de decisiones en el manejo de los recursos naturales tener en cuenta la susceptibilidad de los recursos agua-suelo-vegetación de estos ecosistemas al proponer cambios de uso de suelo, ordenamiento territorial o la realización de diagnósticos de impacto ambiental.

Como usuarios directos de estos resultados, los productores agrícolas y pecuarios de estas regiones disponen de información hidrológica para poner atención cuando se les proponga hacer cambios de uso del suelo en áreas de pastizal para la producción de cultivos.

Con el propósito de hacer sostenible a largo plazo un sistema de producción de forraje (pradera de zacate o pastizal nativo) es recomendable proteger el suelo mediante la cobertura vegetal o material orgánico o *mulch* y al mismo tiempo evitar al máximo disturbar físicamente la capa superficial del suelo con implementos agrícolas o pisoteo del ganado. La fuente de material orgánico para proteger al suelo, deberá ser los residuos de la cosecha anterior en áreas agrícolas y mantillo en áreas de pastizal, lo cual implica dejar de disponer de cierta cantidad de forraje para alimentar al ganado u otros usos. Sin embargo, se deberá ponderar ésta aparente ganancia en la calidad del suelo, con la pérdida de la productividad del mismo por concepto del proceso de erosión. Lo anterior impactaría la sostenibilidad de la actividad productiva en zonas de temporal.

Por otro lado, es importante señalar que el abandono de las tierras de cultivo representa una fuente de producción de sedimentos hacia cauces y embalses; por lo que es recomendable para la región de estudio no incorporar más hectáreas de pastizales a la producción agrícola sin tener la certeza de utilizarlas racionalmente.

En cuanto a la predicción de los procesos hidrológicos es necesario validar bajo condiciones naturales la información hidrológica obtenida con el simulador de lluvia. Es importante definir las relaciones funcionales entre y dentro de los diferentes usos de suelo; especialmente cuando existe una amplia variabilidad espacial de las condiciones y propiedades del suelo.

Por su representatividad en el uso del suelo, se recomienda generar este tipo de información para las condiciones de pastizales nativos con pendiente del terreno mayor al considerado en este estudio, tomando en cuenta que en estas áreas se lleva a cabo la captación de agua de lluvia que finalmente se transforma en los volúmenes que escurren por los arroyos hacia las zonas agrícolas o de praderas de zacate buffel.

LITERATURA CITADA

Bedunah, D. J., and R. E. Sosebee. 1985. Influence of site manipulation on infiltration rates of a depleted West Texas range site. *J. Range Manage.* 38: 200 – 205.

Belnap, J. 2006. The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrol. Process.* 20, 3159–3178.

Blackburn, W. H., R. W. Knight, and M. K. Wood. 1982. Impacts of grazing on watersheds. *Texas Agr. Exp. Sta. MP – 1496.* p 32.

Busby, F.E., and G. F. Gifford. 1981. Effects of livestock grazing on infiltration and erosion rates measured on chained and unchained Pinyon-Juniper sites in Southeastern Utah. *J. Range Manage.* 34: 400 – 405.

COMISIÓN TÉCNICO CONSULTIVA PARA LA DETERMINACION DE COEFICIENTES DE AGOSTADERO – SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS (COTECOCA-SARH). 1979. Comisión técnico consultiva para la determinación regional de coeficientes de agostadero. Durango. Ed. Calypso S. A. México, D. F. 200 p.

Diamond J. and T. Shanley. 2003. Infiltration rate assessment of some major soils. *Irish Geography.* 36: 32-46.

FAO-UNESCO. 1971-1981. Soil Map of the World. 1: 5 000 000.
1 - 10 Volumes. Paris UNESCO.

Galván, R. J. 2007. Diagnóstico de la aptitud del suelo en el Estado de Durango. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Durango. I.P.N. 87 p.

Gamougoun, N. D., R. P. Smith, K. Wood and R. D. Pieper. 1984. Soil, vegetation, and hydrological responses to grazing management at Fort Stanton, New Mexico. *J. Range Manage.* 37: 538 – 541.

García-Gutiérrez, C., I. Cháirez-Hernandez, E. Rivera-García, J. N. Gurrola-Reyes, M. B. González-Maldonado. 2006. Chapulines (ORTHOPTERA: ACRIDOIDEA) de pastizales de la Región de los Llanos, Durango, México. *Folia Entomol. Mex.* 45: 273 -282.

Giordanengo, J. H., G. W. Frasier, and M. J. Trlica. 2003. Hydrological and sediment responses to vegetation and soil disturbances. *J. Range Manage.* 56: 152 – 158.

Hawkins, R. H. 1993. Asymptotic determination of runoff curve numbers from rainfall-runoff data. *J. Irrigation and Drainage Engineering. ASCE.* 119: 334 - 345.

Lang, R. D. 1979. Effect of ground cover on surface runoff. *J. Soil Conserv. NSW.* 35: 108-114.

Martínez, M. M. A. 1982. Estimación de escurrimientos en cuencas pequeñas. CEDOC. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. 33 p.

McCalla II, G. R., W. H. Blackburn and L. B. Merrill. 1984. Effect of livestock grazing on infiltration rates, Edwards Plateau of Texas. *J. Range Manage.* 37: 265 – 269.

Medina, G. G., G. Díaz P., J. López H., J. A. Ruíz C. y M. Marín S. 2005. Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Durango. (Periodo 1961 – 2003). Libro Técnico N° 1. Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOC-INIFAP. 224 p.

Merzougui, M. and G.F. Gifford.1987. Spatial variability of infiltration rates on a semiarid seeded rangeland. *Hydrological Sciences Journal.* 32: 243 – 250.

Miller, W. P. 1987. A selenoid-operated, variable intensity rainfall simulator. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 51: 832 – 834.

Návar, J. and T. J. Synnott. 2000. Soil infiltration and land use in Linares, N.L. México. *TERRA.* 18: 255 – 262.

Ponce, V. M. and R. H. Hawkins. 1996. Runoff curve number: Has it reached maturity?. *J. of Hydrology Engineering* 1: 11–19.

Puentes, J. P., M. Flury and D. F. Bezdicek. 2004. Hydraulic properties in a silt loam soil under natural prairie, conventional till and no-till. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 68: 1679 – 1688.

Rodríguez-Caballero, E., Y. Cantón, S. Chamizo, A. Afana and A. Solé-Benet. 2012. Effects of biological soil crusts on surface roughness and implications for runoff and erosion. *Geomorphology*. 145–146: 81–89.

Sánchez, B., C. 1984. Effects of livestock grazing and exclusión on infiltration and sediments yields for different range sites on El Plateado Watershed. Zacatecas, México. Ph. D. Dissertation. New Mexico State University. Las Cruces, NM.

Sánchez, C. I. y J. Stone. 1999. Capítulo I. Generalidades sobre simulación de lluvia. *In: Sánchez, C. I., J. Stone y R. Jasso I. (eds.). Uso de lluvia artificial para parametrizar modelos de procesos hidrológicos. Libro Científico N°1. INIFAP. CENID-RASPA. ARS. IWMI. IRD-ORSTOM. Gómez Palacio, Dgo.* 114 p. ISBN 968-800-438-3.

Sánchez, C. I., M. Velásquez V., R. Jasso I. y J. L. González B. 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*. Vol. XVIII: 111 – 117.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATUALES (SEMARNAT). 2003. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, 2002: Compendio de Estadísticas Nacionales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. D.F. 275 p.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATUALES (SEMARNAT)- Gobierno del Estado de Durango (GED). 2007. Ordenamiento Ecológico del Estado de Durango. Durango, Dgo. México. 194 p.

Sustaita-Rivera, F., V. Ordaz-Chaparro, C. Ortiz-Solorio y F. de León-Fernández. 2000. Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. *Agrociencia*. 34: 379 – 386.

Thurow, T. L., W. H. Blackburn, and C. A. Taylor, Jr. 1986. Hydrologic characteristics of vegetation types as affected by livestock grazing systems, Edwards Plateau, Texas. *J. Range Manage.* 39: 505 – 509.

Tiscareño, L. M., A. D. Báez y M. A. Velásquez V., K. N. Potter, J. J. Stone, M. Tapia V., and R. Claverán A. 1999. Agricultural research for watershed restoration in Central México. *J. Soil & Water Cons.* 54: 686 – 692.

Trucios-Caciano R., A. S. Mojica-Guerrero, L. M. Valenzuela-Núñez y J. L. González-Barrios. 2009. Cambio en el uso de suelo

en la cuenca del Río Sextín. *TECNOCENCIA Chihuahua* 3: 121-130.

Velásquez V. M. A., M. Tiscareño L., R. Claverán A. y M. Gallardo V. 1997. Erosión y productividad bajo labranza de conservación. Avances de investigación en suelos de ando de Michoacán. Folleto Técnico Núm. 1. CENAPROS-INIFAP. 34 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE-SOIL CONSERVATION SERVICE (USDA-SCS). 1972. National Engineering Handbook. Section 4. Hydrology. U. S. Government. Printing Office. Washington, D.C.

Warren, S. D., M. B. Nevill, W. H. Blackburn, and N. E. Garza. 1986a. Soil response to trampling under intensive rotation grazing. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 50: 1336 – 1341.

Warren, S. D., T. L. Thurow, W. H. Blackburn, and N. E. Garza. 1986b. The influence of livestock trampling under intensive rotation grazing on soil hydrologic characteristics. *J. of Range Manage.* 39: 491-495.

Warren, S. D. 1987. Soil hydrological response to intensive rotation grazing: a state of knowledge. Pages: 488 – 501. *In:* T. S. Fok (ed.). *Proceedings of the International Conference on infiltration Development and Application.* January 6 – 9, 1987. Water Resources Research Center. University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii, U.S. A.

Wilkins, D. E., M. C. Siemens and S. L. Albrecht. 2002. Changes in soil physical characteristics during transition from intensive tillage to direct seeding. 45: 877 – 880.

Wood, M. K., W. H. Blackburn, F. E. Smeins, and A. McGinty. 1978. Hydrologic impacts of grazing systems. *In*: Proceedings of the First International Rangeland Congress. pp. 288 – 291.

Zhang, D., J. Zhang, W. Yang and F. Wu. 2012. Effects of afforestation with *Eucalyptus grandis* on soil physicochemical and microbiological properties. *Soil Research*. 50: 167-176.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue financiado por la FUNDACION
PRODUCE DURANGO A. C., a través del Proyecto:

“Evaluación y selección de materiales de zacate buffel para el
establecimiento de praderas de temporal”.

(Clave 1460/2457).



Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria, Centros de Investigación Regional y Campos Exerimentales



- Sede de Centro de Investigación Regional
- Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
- Campo Exerimental

COMITÉ EDITORIAL DEL CENID-RASPA

Presidente: Dr. José Antonio Cueto Wong
Secretario: Dr. Miguel A. Velásquez Valle
Vocales: Dr. Juan Estrada Avalos
M.C. Miguel Rivera González

Revisores Técnicos:

Dr. Guillermo Medina García
Ing. Manuel Reveles Hernández

Edición y Diseño:

Gerardo Esquivel Arriaga

La presente publicación termino de imprimir en Diciembre de 2013 en la
Imprenta Carmona Impresores. Calzada Lázaro Cárdenas No. 850
Col. Eduardo Guerra, Torreón, Coahuila.
Su tiraje consta de 800 ejemplares.

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
DISCIPLINARIA RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA**

DR. JOSÉ ANTONIO CUETO WONG
Director

ING. ARMANDO ESTRADA GONZÁLEZ
Jefe de Operación

LIC. FLOR CARINA ESPINOZA DELGADILLO
Jefe Administrativo

PERSONAL INVESTIGADOR

Bueno Hurtado Palmira
Catalán Valencia Ernesto Alonso
Cerano Paredes Julián
Constante García Vicenta
Delgado Ramírez Gerardo
Esquivel Arriaga Gerardo
Estrada Ávalos Juan
González Barrios José Luis
González Cervantes Guillermo
Inzunza Ibarra Marco Antonio
Jacobó Salcedo Rosario
Macías Corral Maritza
Muñoz Villalobos Jesús Arcadio
Potisek Talavera María del Carmen
Rivera González Miguel
Román López Abel
Sánchez Cohen Ignacio
Trucios Caciano Ramón
Velásquez Valle Miguel Agustín
Villa Castorena María Magdalena
Villanueva Díaz José

WWW.INIFAP.GOB.MX

La presión en el uso de los recursos naturales ha ocasionado el deterioro continuo y progresivo de los mismos. La falta de información del comportamiento hidrológico ha limitado el diseño e implementación de buenas prácticas de manejo; con las cuales se asegure a largo plazo la productividad y sostenibilidad de los sistemas de producción en zonas áridas. Con el uso de técnicas como la simulación de lluvia fue posible parametrizar el Método de Curva Numérica y así caracterizar diferentes sistemas de manejo del suelo y vegetación desde un punto de vista de la conservación del suelo y agua. Con este Método se obtuvieron valores de la lámina escurrida para diferentes valores de precipitación y uso del suelo.