

Caracterización hidrológica en un agostadero comunal excluido al pastoreo en Zacatecas, México.

II. Escurrimiento superficial

Hydrological characterization of a communal rangeland excluded from cattle grazing at Zacatecas, Mexico.

II. Surface runoff

Alfonso Serna Pérez^a, Francisco Guadalupe Echavarría Cháirez^a

RESUMEN

El estudio se realizó con el objetivo de determinar las pérdidas por escorrentía superficial en diferentes sistemas de manejo de recursos y condiciones de vegetación nativa, y además estimar algunos parámetros de la respuesta hidrológica. Las tormentas con más de 20 mm de precipitación, produjeron arriba del 65 % de las pérdidas totales de agua, en los diferentes sistemas y condiciones de vegetación, y las menores a 20 mm no produjeron cantidades significativas de escurrimiento en las condiciones de mayor cubierta vegetal. Se establecieron tres sistemas de manejo en cuatro condiciones de vegetación nativa predominantes, y las pérdidas de agua, fueron el resultado de la interacción de factores como la variabilidad en el tiempo de la precipitación diaria y anual (diferencias de magnitud dentro y entre años), las características de cobertura vegetal (basal y aérea), rugosidad y las condiciones de la superficie del suelo, las cuales fueron modificadas en cada sitio después de cinco años de exclusión al pastoreo. Se obtuvieron relaciones estadísticas lineales, con sentido hidrológico, para estimar las pérdidas de agua a partir de datos individuales de magnitud de la precipitación y se estimaron los valores de curvas numéricas de escurrimiento para todas las condiciones. Las condiciones nativas mostraron diferencias entre extremos de cobertura (desde 77.3 ± 4.1 a 90.1 ± 1.8). Los sistemas de manejo no mostraron diferencias (desde 85.9 ± 2.3 hasta 87.7 ± 2.3). Los parámetros derivados pueden ser usados para alimentar modelos de simulación que ayuden en la extrapolación de resultados, planeación estratégica y toma de decisiones, con criterios de conservación de suelo y agua.

PALABRAS CLAVE: Agostadero, Area comunal, Exclusión, Escurrimiento superficial, Curvas numéricas.

ABSTRACT

The study was done with the objective of determining losses due to surface runoff in different resource management systems and native plant conditions, and also to estimate some parameters of the hydrological response in the area of study. Three management systems and four predominant native vegetation conditions were studied. Storms with more than 20 mm of rainfall, produced more than 65% of the total water losses in the different systems and vegetation conditions, and the ones with less than 20 mm did not produce significant amounts of runoff even in the conditions of greater plant cover. Water losses in both management systems and native plant conditions were the result of factors interaction such as variability in the time of the daily and annual rainfall (differences of magnitude within and between years), characteristics of plant cover (basal and aerial), rugosity and surface conditions of the soil, which were modified in each site after five years of grazing exclusion. Linear statistical relationships were obtained in order to estimate water loss from individual data of the magnitude of rainfall. Curve numbers (CN) of runoff were estimated for all plant native conditions and management systems. The native vegetation conditions showed differences in CN between extremes values of cover (from 77.3 ± 4.1 to 90.1 ± 1.8). The management systems did not show differences in CN (from 85.9 ± 2.3 up until 87.7 ± 2.3). The derived parameters can be used to feed simulation models that help in the extrapolation of results, strategic planning and decision making, with soil and water conservation criteria.

KEY WORDS: Rangeland, Communal area, Exclusion, Surface runoff, Runoff curve number.

Recibido el 8 de marzo de 2001 y aceptado para su publicación el 27 de septiembre de 2001.

^a Campo Experimental Calera. CIR-Norte Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal # 18. Km. 24.5 Carr. Zacatecas-Fresnillo. Calera V.R., Zacatecas. 98500. México. aserna_2@yahoo.com fechava@inifapzac.sagarpa.gob.mx Correspondencia y solicitud de separatas al primer autor.

INTRODUCCIÓN

La ganadería se practica en la mayor parte de los agostaderos del estado de Zacatecas, con bovinos, caprinos y ovinos; estos hatos constituyen el principal ahorro de los productores, además de que con frecuencia la venta de las crías, leche y queso, les ayudan a resolver sus necesidades económicas inmediatas. Los ganaderos manejan sus hatos mediante el pastoreo continuo de las áreas de agostadero particulares o de uso comunal, lo que ha provocado la constante reducción de la cobertura vegetal de los pastizales y arbustos, así como el incremento de las pérdidas de agua de lluvia como escorrentía superficial.

Los factores que determinan el escurrimiento son consecuencia de interacciones complejas de características de vegetación y suelo. La condición hidrológica de un sitio se refleja por la tasa de infiltración y la erosión entre canalillos que integran estos factores de suelo y vegetación⁽¹⁾. Se ha demostrado que la intensidad del pastoreo altera la superficie del suelo y las características de la vegetación independientemente del tipo de suelo o comunidad vegetal⁽²⁾.

El proceso de la infiltración determina indirectamente el agua disponible para escurrimiento, el humedecimiento del suelo, percolación profunda, recarga de acuíferos, y el crecimiento de las plantas⁽³⁾. La modificación de las propiedades físicas del suelo debido al pastoreo, en conjunto con la reducción de la cobertura vegetal, frecuentemente resultan en un decremento de la tasa de infiltración e incremento en la erosión, especialmente a altas tasas de intensidad de pastoreo⁽⁴⁾.

El pastoreo puede alterar la tasa de infiltración del agua en el suelo con pastizales, debido a la remoción de la cubierta vegetal que lo protege y por el pisoteo del ganado. La vegetación y la cobertura del mantillo sirven para proteger la superficie del suelo del impacto de la gota de lluvia y modifican la densidad aparente, el contenido de materia orgánica y la agregación del suelo. La reducción en la tasa de infiltración como resultado del pastoreo ha sido atribuida: a la pérdida de la cubierta vegetal, el decremento de la cobertura por mantillo, el

INTRODUCTION

Herds of cattle, sheep and goats graze on the rangelands of Zacatecas. These herds are the main source of savings for the producers, and also frequently the sale of calves, milk and cheese help them to solve their immediate economic necessities. Producers manage their herds by continuous grazing on both private or communal rangeland areas. This condition has caused the constant reduction of plant cover from grasslands and shrubs as well as the increase in rainfall water loss as surface runoff.

The factors that determine runoff are a consequence of complex interactions of plant and soil characteristics. The hydrological condition of a site is reflected in the rate of infiltration and inter-rill erosion; both of them integrate factors of soil and vegetation⁽¹⁾. It has been demonstrated for others⁽²⁾ that the grazing intensity alters the surface of the soil and the characteristics of the vegetation independently of the soil type or plant community.

Infiltration process indirectly determines how much water can be available for runoff, soil water storage, deep percolation, groundwater recharge and the growth of plants⁽³⁾. The modification of soil physical properties due to grazing, along with the reduction of vegetation cover, frequently results in a decrease in the infiltration rate and increase in the erosion rate, especially at high grazing rates⁽⁴⁾.

Grazing can alter the rate of water infiltration in rangeland soils due to the removal of plant cover that protects the soil and because of livestock trampling. Vegetation cover and litter cover protect the soil surface from raindrops impact, and modify the bulk density, organic matter content and soil aggregation. The infiltration rate reduction as a result of grazing has been attributed to: loss of plant cover, decrease in litter cover, increase in bare soil and the increase of the bulk density as a result of trampling⁽⁵⁾.

In a study done in a great variety of soils and plant communities, the authors⁽⁶⁾ concluded that the infiltration rate and sediment production varied considerably between and within watersheds, with a high variation between plant communities. In a

incremento del suelo desnudo y al incremento de la densidad aparente como resultado del pisoteo ⁽⁵⁾.

En un estudio realizado en una gran variedad de suelos y comunidades vegetales, los autores⁽⁶⁾ concluyeron que la tasa de infiltración y la producción de sedimentos variaron considerablemente dentro y entre cuencas, con una alta variación entre comunidades vegetales. En un potrero no pastoreado durante 20 meses⁽⁵⁾, se encontraron incrementos en la tasa de infiltración del agua en el suelo, tanto en las comunidades vegetales de pastos medianos como en las de pastos cortos. En otro estudio en Somalia⁽¹⁾, encontraron que la exclusión al pastoreo de una área comunal no incrementó significativamente la cobertura del suelo, y consecuentemente las tasas de infiltración y erosión permanecieron similares a las áreas pastoreadas comunales.

Este tipo de estudios proporcionan conocimientos útiles que permiten conocer los efectos del pastoreo o la exclusión en cuanto a la generación de escurrimiento o erosión. Para la extrapolación de tales resultados es necesaria la estimación de parámetros que evalúen la condición hidrológica de las áreas de agostadero⁽⁷⁾. Los objetivos de este trabajo fueron: determinar la escorrentía superficial en diferentes sistemas de manejo y condiciones de vegetación nativa; y estimar parámetros de escorrentía superficial para la extrapolación de resultados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se realizó en una pequeña cuenca de 53 ha excluida al pastoreo desde 1994, la cual se ubica en los 22° 54' Norte y 102° 33' Oeste, a una altitud media de 2,285 m. La precipitación promedio anual en la región es de 400 mm. La vegetación dominante es la asociación "pastizal nativo-matorral espinoso-nopalera", con predominancia en algunas áreas por pastizal y otras por nopalera⁽⁸⁾. La fisiografía varía de ondulada a escarpada y presenta cárcavas muy desarrolladas. Los suelos son predominantemente arenosos (63 a 87 %), con pH moderadamente alcalino (7.8), bajo contenido de nutrimentos, de materia orgánica (0.1 a 2.7 %) y sales. De acuerdo con la clasificación FAO-CETENAL⁽⁹⁾, la cuenca está conformada por

pasture not grazed during 20 months⁽⁵⁾ increases in the water infiltration rate were found in plant communities of medium sized grasses as well as in short sized grasses. In another study in Somalia⁽¹⁾ it was found that the exclusion from grazing of a communal area did not significantly increase soil cover and consequently the infiltration and erosion rates remained similar to those in the grazed communal areas.

This type of studies gives useful knowledge that allows knowing the effects of grazing or exclusion in regards to the generation of runoff or erosion. For the extrapolation of those results, the estimation of parameters to evaluate the hydrological condition of the rangeland areas is necessary⁽⁷⁾. The objectives of this work were: to determine the surface runoff in different management systems and native vegetation conditions; and to estimate surface runoff parameters for the extrapolation of results.

MATERIALS AND METHODS

The experimental work was done in a micro watershed of 53 ha excluded from grazing since 1994, which is located at 22° 54' North latitude and 102° 33' West longitude at a mean altitude of 2,285 m. The average annual rainfall in the region is about 400 mm. The dominant vegetation is an association of native grasses, thorny bush and clumps of prickly pear", with predominance in some areas of grasslands and in others of prickly pear clumps⁽⁸⁾. Physiography varies from wavy to rugged and presents very developed gullies. Soils are predominantly sandy (63 – 87%) with a moderately alkaline pH (7.8), low nutrient content, low organic matter content (0.1 – 2.7%) and low salts content. According to the FAO-CETENAL classification ⁽⁹⁾ the basin is formed by Lithosol and Castanozem soils with a petrocalcic horizon at less than 50 cm deep.

Four predominant vegetation types were identified in the basin. The first of them consisted of dense prickly pear clumps (ND) located in a portion of the micro watershed known as cerro gordo where the cover of wild prickly pear (*Opuntia Leucotricha* D.C., *Opuntia streptocantha* Lem, *Opuntia Rastrera*

las unidades de suelo Litosol y Castañozem, con un horizonte petrocálcico a menos de 50 cm de profundidad.

Se identificaron cuatro tipos de vegetación en la cuenca: Nopalera densa (ND), en una porción de la microcuenca, conocida como el cerro gordo, en donde la cobertura de nopal silvestre (*Opuntia Leucotricha* D.C., *Opuntia streptocantha* Lem, *Opuntia Rastrera* Weber, *Opuntia hyptiacantha* Weber, *Opuntia megacantha* Salm-Dick, *Opuntia pachona* Griffiths) es cercana a 2,000 plantas por hectárea, las cuales son de altura considerable (1 a 3 m), y una cobertura aérea del 80 %. Una segunda condición es el pastizal (P), el cual representa, aproximadamente, la cuarta parte de la cuenca y está constituida por gramíneas (*Bouteloua curtipendula* tenius Gould et, *Bouteloua gracilis* (HBK) Lag, *Aristida* spp, *Lycurus phleoides* HBK) de escasa cobertura aérea (20.8 %). Se encuentran también dispersas algunas arbustivas y plantas anuales. La tercera condición la constituye la nopalera con arbustos (*Acacia farnesiana* (L) Willd, *Prosopis laevigata* (Willd) M.C. Johnston, *Mimosa biuncifera* Benth), pastos y anuales de cobertura media (53.5 %) (NCM) y la cuarta es la nopalera con arbustos, pastos y anuales de cobertura baja (39.2 %) (NCB). Las dos últimas condiciones de vegetación (NCB y NCM) representan la mayor porción de la superficie del área de estudio.

Durante los meses de julio a septiembre de 1994 se establecieron tres sistemas de manejo de la vegetación, en igual número de sitios dentro del área experimental. La superficie de cada sistema fue de aproximadamente una hectárea. Los sistemas se describen brevemente a continuación: Plantación de chamizos (*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt) en cepas siguiendo la curva de nivel con bordos vivos (VCV) de nopal rastrero (*Opuntia Rastrera* Weber) en la parte baja de las cepas; el bordo vivo fue establecido pendiente abajo para ayudar a retener humedad, y la pendiente predominante fue del 4 %. La combinación de ambas especies y el método de establecimiento tuvo la intención de promover la conservación de suelo y agua. La distancia entre líneas de plantas se estimó con la metodología del Colegio de Postgraduados⁽¹⁵⁾ para bordos antierosivos.

Weber, *Opuntia hyptiacantha* Weber, *Opuntia megacantha* Salm-Dick, *Opuntia pachona* Griffiths) is nearly 2,000 plants/ha, with a considerable height (1 – 3 m) and an aerial cover of 80 %. A second condition was the range (P), which represents about a fourth of the watershed and is constituted by grasses (*Bouteloua curtipendula* tenius Gould et, *Bouteloua gracilis* (HBK) Lag, *Aristida* spp, *Lycurus phleoides* HBK) with low cover (20.8 %). Some shrubs and annual plants are also spread along the watershed. The third condition consisted of an association of prickly pear clumps, shrubs (*Acacia farnesiana* (L) Willd, *Prosopis laevigata* (Willd) M.C. Johnston, *Mimosa biuncifera* Benth), grasses and annual plants of medium cover (53.5 %) (NCM). The fourth vegetation type was an association of prickly pear clumps, shrubs, grasses and annual plants of low cover (39.2 %) (NCB). The last two plant conditions (NCB and NCM) represent the larger proportion of the total studied area.

During the months of July to September of 1994 three plant management systems were established in a same number of sites within the experimental area. The area of each system was approximately of one hectare. The systems are briefly described below.

Fourwing saltbush (*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt) was planted in the bottom of water holding cavities following the level curve. Besides, trailing prickly pear (*Opuntia Rastrera* Weber) was established outside the cavities, acting as barriers, in order to help maintain humidity (VCV). The predominant slope was of 4 %. The combination of both species and the establishment method had the intention of promoting conservation of water and soil. The distance between plant lines was estimated with the Postgraduate College methodology⁽¹⁵⁾ for anti-erosive dikes.

Range with fourwing saltbush planted in soil furrow dikes (PCB); in a native grass covered area. The anti-erosive furrow dikes were approximately 40 cm in height. The distance between furrows was estimated with the Postgraduate College methodology⁽¹⁵⁾. On the ridge saltbush shrubs were

Pastizal con plantación de chamizos en bordo de tierra (PCB). En una área cubierta por gramíneas nativas se trazaron y construyeron bordos antierosivos de aproximadamente 40 cm de altura; la distancia entre bordos se estimó con la metodología del Colegio de Postgraduados⁽¹⁵⁾. En el lomo se plantaron arbustos de chamizo, y en el valle aguas arriba se sembró una mezcla de pastos. (*Bouteloua curtipendula tenius* Gould et, *Bouteloua gracilis* (HBK) lag, *Cenchrus ciliaris* (L) y *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees).

En una área cubierta por gramíneas nativas se trazaron curvas a nivel y se establecieron plantas de nopal tunero y verdura, la cual es una repoblación productiva (RP); cada curva se estableció alternadamente con curvas con nopal rastrero. Se promueve la producción de fruta y verdura, así como la conservación de agua y suelo. La distancia entre líneas de nopal se estimó con la metodología del Colegio de Postgraduados⁽¹⁵⁾.

Para evaluar el efecto que las diferentes condiciones de vegetación y las opciones de manejo tuvieron sobre las pérdidas de agua, se instalaron parcelas de escorrentía estándar de 3 x 22 m equipadas con colectores y tanques de almacenamiento para agua escurrida. Adicionalmente se instaló una parcela completamente equipada, cuya superficie siempre se mantuvo desnuda o sin vegetación (SD) mediante el uso de herbicidas. La finalidad de esta parcela fue proporcionar información acerca de la escorrentía máxima en cada tormenta.

Para el registro de la precipitación pluvial se colocaron dos pluviómetros y un pluviógrafo. Por evento lluvioso se registraron la magnitud e intensidad de la precipitación pluvial (mm y mm h⁻¹ respectivamente), y el volumen escurrido (V_{esc} en litros) en cada una de las parcelas de escorrentía. El escurrimiento superficial expresado como lámina escurrida (L_{esc} en mm) se obtuvo por evento mediante la siguiente relación:

$$L_{esc} = \frac{[V_{esc}]}{66} \dots \dots \dots (1)$$

En cada uno de los lotes de escorrentía se estimaron la pendiente, la cobertura basal y el microrrelieve.

planted, and in the strip between furrows, a mixture of grasses was seeded (*Bouteloua curtipendula tenius* Gould et, *Bouteloua gracilis* (HBK) lag, *Cenchrus ciliaris* (L) y *Eragrostis curvula* (Schrad) (Nees).

In an area covered with native grasses, level curves were traced and fruit giving and vegetative prickly pear plants were established. This re-vegetation treatment has the purpose of generate an income for the owners (RP). Each curve was established alternately with curves of trailing prickly pear in order to promote fruit and vegetable production, as well as conservation of water and soil. The distance between prickly pear lines was estimated with the Postgraduate College methodology⁽¹⁵⁾.

In order to evaluate the effect that the different plant conditions and management options aforementioned had on water losses, standard runoff plots of 3 x 22 m, equipped with collectors and storage tanks for catching runoff water were installed. An additional fully equipped runoff plot was installed, its area was always kept uncovered or without vegetation (SD) using herbicides. The object of this plot was to give information on the maximum runoff of each storm.

The registry of rainfall was obtained with two rain gages and one recording range gage. For each rainfall event the rain magnitude and intensity (mm and mm/h⁻¹ respectively) and the runoff volume (V_{esc} in liters) of each of the runoff plots were registered. The surface runoff, expressed as runoff depth (L_{esc} in mm) was obtained by using the following relationship:

$$L_{esc} = \frac{[V_{esc}]}{66} \dots \dots \dots (1)$$

In each of the runoff plots the slope, basal cover and micro relief were estimated. The slope was determined using a transparent plastic hose of 1 cm in diameter full of water and two graded rulers. Three repetitions were done for each runoff plot. For determining basal cover and micro relief a point frame with 20 needles was used (11, 12). The plant cover variables considered were basal plant cover, litter, bare soil, gravel and rock. Litter cover was

La pendiente se determinó usando una manguera de plástico transparente de 1 cm de diámetro llena de agua y dos reglas graduadas. Se efectuaron tres repeticiones por lote de escorrentía. Para la determinación de la cobertura basal y microrrelieve se utilizó un marco de puntos de 20 agujas (11,12). Las variables de cobertura consideradas fueron cobertura basal del estrato herbáceo, mantillo orgánico, suelo desnudo, grava y roca. Se consideró como mantillo orgánico el material vegetal muerto que ya no forma parte del pasto o de la planta anual. El microrrelieve del suelo se consideró como la desviación estándar de alturas tomadas desde un plano paralelo a la superficie del suelo. El número de repeticiones para la obtención de cobertura basal y el microrrelieve fue de tres por parcela de escorrentía. Estas variables se determinaron una sola vez al final del proyecto (diciembre de 1999).

Con la información de la precipitación pluvial (*PP* en mm) y del escurrimiento superficial expresado como lámina escurrida (ecuación 1), mediante regresión⁽¹³⁾ se estimó para cada sitio de estudio (opción de manejo y condición de vegetación) el coeficiente de escorrentía (*CE*) y la lluvia umbral para iniciar el escurrimiento (*P₀*), de acuerdo con el modelo⁽¹⁴⁾:

$$L_{esc} = CE(PP - P_0) \dots \dots \dots (2)$$

Con la finalidad de contar con parámetros útiles para la extrapolación de los resultados obtenidos, así como del efecto de la recuperación de la cobertura en cuanto a la producción de escorrentía superficial, se estimaron las Curvas Numéricas (*CN*)⁽¹⁵⁾ para los diferentes sistemas de manejo y condiciones de vegetación predominantes en el área de estudio. Para la estimación de este parámetro, se utilizaron los datos de escurrimiento (*Q* en mm) obtenidos en cada uno de los lotes de escorrentía, así como la magnitud de la precipitación pluvial (*P* en mm) por evento, con los cuales los valores individuales de *CN* fueron calculados, utilizando para ello las siguientes ecuaciones⁽¹⁶⁾:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \dots \dots \dots (3)$$

considered to be the dead organic material that no longer was part of the grass or annual plant. The soil micro relief was considered to be the standard deviation of heights taken from a parallel plane of the soil surface. The number of repetitions for obtaining each of basal cover and micro relief was three per runoff plot. These variables were determined once at the end of the project (December 1999).

With the information of the rainfall amount (*PP* in mm) and surface runoff expressed as runoff depth (equation 1) we estimated, by regression⁽¹³⁾, for each study site (management option and vegetation condition) the runoff coefficient (*CE*) and the threshold rainfall needed to initiate the runoff (*P₀*) according to the following model⁽¹⁴⁾:

$$L_{esc} = CE(PP - P_0) \dots \dots \dots (2)$$

In order to have parameters useful for extrapolation of the results, as well as to observe the effect of plant cover recovery on the surface runoff, we estimated Curve Numbers (*CN*)⁽¹⁵⁾ for different management systems and predominant plant conditions in the study area. For the estimation of this parameter we used runoff data (*Q* in mm) obtained from each of the runoff plots as well as the rainfall magnitude (*P* in mm) per event. We calculated individual values of *CN* using the following equations⁽¹⁶⁾:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \dots \dots \dots (3)$$

$$S = 5 \left(P + 2Q - (4Q^2 + 5PQ)^{0.5} \right) \dots \dots \dots (4)$$

Where *S* is the maximum humidity retention after runoff begins.

In order to present the results we used annual average values and confidence intervals (*P*= 0.05). For the analysis of the information we estimated the statistical significance of the model's parameters and the correlation coefficients were calculated^(17,18).

$$S = 5 \left(P + 2Q - (4Q^2 + 5PQ)^{0.5} \right) \dots \dots \dots (4)$$

donde S = la máxima retención de humedad después de que el escurrimiento empieza.

Para presentar los resultados se usaron valores promedio anual e intervalos de confianza (P= 0.05). Para el análisis de la información se estimaron las significancias estadísticas de los parámetros de los modelos y se calcularon los coeficientes de correlación^(17,18).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación media de la región es de alrededor de 400 mm, sin embargo el trabajo de investigación se realizó durante un período de sequía de varios años, donde la precipitación total anual fue inferior a la media regional. De este periodo, 1999 destaca como el de menor precipitación con 155.9 mm (Cuadro 1).

En el Cuadro 2 se presenta, en intervalos de magnitud de precipitación, el número de eventos escurridos para condiciones predominantes de vegetación, sistemas de manejo y suelo desnudo. El dato mostrado en cada celda es el acumulado durante los años de 1998 y 1999. El número de eventos es variable para los dos primeros rangos de precipitación así como para el total, pero cuando la precipitación ocurrida excedió los 20 mm este dato se hizo constante, indicando que indistintamente del sistema o condición de vegetación, todas produjeron escorrenría superficial. En general el

RESULTS AND DISCUSSION

The mean rainfall for the region is of 400 mm; nevertheless the research work was done during several dry years where the total annual rainfall was lower than the regional mean. Of this period, 1999 stands out as the one with the least rainfall with 155.9mm (Table 1).

In Table 2 we presented, in rainfall magnitude intervals, the number of runoff events for the predominant plant conditions, management systems and bare soil. Data shown in each cell is the accumulated amount from 1998 and 1999. The number of runoff events is variable for the first rainfall range (< 10 mm), second rainfall range (10.1 – 20 mm) as well as for the total rainfall, but when the rainfall exceeded 20 mm the number of runoff events became constant. This indicated that despite the management system or vegetation condition they all produced surface runoff when a rainfall bigger than 20 mm was reached. In general, the number of runoff events was greater as the rainfall range decreased, due to the fact that the number of storms during the study period was in its majority of minor magnitude.

Storms greater than 20 mm of rainfall affected all of the studied conditions and produced more than 65 % of the total runoff. In vegetation conditions like ND and NCM, which show the highest plant cover value, accounted for more than 87 % of water loss as superficial runoff (Table 3) which indicates that great magnitude storms are the ones that most affect these systems. The rainfalls that occurred in a range of 10 to 20 mm are of hydrological importance

Cuadro 1. Número de tormentas, precipitación total y energía cinética acumulada (Factor de erosividad *R*) por año, en el área de estudio

Table 1. Number of storms, total rainfall and accumulated kinetic energy (Erosivity factor *R*) per year in the study area

Year	Total number of storms	Total annual rainfall (mm)	Annual accumulated kinetic energy (Factor R, MJ-mm/ha-h)
1996	28	305.4	1198.8
1997	26	345.1	539.9
1998	29	372.6	2110.3
1999	18	155.9	382.9

número de eventos escurridos fue mayor conforme disminuyó el rango de precipitación, debido a que el número de tormentas ocurridas durante el periodo de estudio fueron en su mayoría de poca magnitud.

Las tormentas mayores a los 20 mm de precipitación afectan a todas las condiciones estudiadas y produjeron más del 65 % del escurrimiento total. En condiciones de vegetación como ND y NCM, las cuales presentan la mayor cobertura, explican más del 87 % de las pérdidas de agua como escorrentía superficial (Cuadro 3), lo que indica que tormentas de gran magnitud son las que más afectan a estos

for management systems, NCB and P vegetation conditions, and SD. The ones occurring in a range lower than 10 mm produced little runoff in all of the systems and conditions. Water losses due to surface runoff in the management systems and predominant plant conditions were always lesser than the potential runoff in condition SD. The runoff magnitude varied in all of the cases between years according to the corresponding total annual rainfall. The maximum accumulated annual amounts of water loss occurred in 1998, being SD the one that showed the greatest value with a total of 111.3 mm/year. This amount does not correspond to the amount

Cuadro 2. Número de eventos escurridos por intervalo de magnitud de la precipitación para condiciones predominantes de vegetación, sistemas de manejo y suelo desnudo

Table 2. Number of runoff events per rainfall magnitude interval for predominant plant conditions, management systems and bare soil

Rainfall (mm)	Predominant plant conditions					Management systems		
	SD	ND	NCB	P	NCM	VCV	RP	PCB
<10	10	6	8	11	7	10	8	7
10.1 - 20	9	4	8	9	3	9	7	9
> 20.1	5	5	5	5	5	5	5	5
Total	24	15	21	25	15	24	20	21

SD= bare soil; ND= dense clumps of prickly pear; NCB= association of prickly pear clumps, shrubs, grasses and annuals of low cover; P= range; NCM= association of prickly pear clumps, shrubs, grasses and annuals of medium cover; VCV= fourwing saltbush with trailing prickly pear; RP= prickly pear re-vegetation; PCB= range with fourwing saltbush planted on soil dikes.

Cuadro 3. Porcentaje del escurrimiento total por intervalo de magnitud de la precipitación para condiciones predominantes de vegetación, sistemas de manejo y suelo desnudo

Table 3. Percentage of total runoff per rainfall magnitude interval for predominant plant conditions, management systems and bare soil

Rainfall (mm)	Predominant plant conditions					Management systems		
	SD	ND	NCB	P	NCM	VCV	RP	PCB
<10	5.67	7.18	4.88	5.72	1.43	4.92	2.33	2.58
10.1 - 20	29.33	5.89	20.43	29.14	3.31	17.43	19.78	16.46
> 20.1	65.00	86.93	74.69	65.14	95.26	77.65	77.89	80.96
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

SD= bare soil; ND= dense clumps of prickly pear; NCB= association of prickly pear clumps, shrubs, grasses and annuals of low cover; P= range; NCM= association of prickly pear clumps, shrubs, grasses and annuals of medium cover; VCV= fourwing saltbush with trailing prickly pear; RP= prickly pear re-vegetation; PCB= range with fourwing saltbush planted on soil dikes.

sistemas. Las precipitaciones ocurridas en el rango de 10 a 20 mm son de importancia hidrológica para los sistemas de manejo, condiciones de vegetación NCB y P y para SD. Las ocurridas en el rango de precipitación menor a 10 mm producen muy poca escorrentía en todos los sistemas y condiciones. Las pérdidas de agua por escorrentía superficial en los sistemas de manejo y condiciones de vegetación predominantes siempre fueron menores al escurrimiento potencial representado por la condición SD. La magnitud del escurrimiento en todos los casos varió entre años de acuerdo con el total de la precipitación anual correspondiente. Los valores anuales máximos acumulados de pérdida de agua se presentaron en el año de 1998, siendo SD la que registró el máximo valor, con un total de 111.3 mm/año. Esta cantidad no corresponde con la señalada en el Cuadro 4, ya que el dato mostrado representa al acumulado en 17 tormentas medidas en todas las parcelas de escorrentía, y no el dato de 22, que sólo se midió en SD.

En 1998 y 1999, los sistemas de manejo presentaron cantidades de escurrimiento proporcionales a la precipitación anual; por ser 1999 un año más seco, las magnitudes variaron en forma proporcional a lo observado en 1998, que fue un año más húmedo. La variación en escurrimiento fue de una magnitud de dos dígitos a un dígito en 1999. El sistema PCB presentó pérdidas de agua con magnitudes

stated in Table 4 because such value represents the total accumulated in 17 storms measured in all of the runoff plots and not the data for 22 storms that was only measured in SD.

In 1998 and 1999 the management systems showed runoff amounts proportional to the annual rainfall; being 1999 a drier year the magnitudes varied proportionally to those observed in 1998 which was a more humid year. The runoff variation was in the order of two digits to one digit in 1999. Management systems PCB showed water loss amounts of intermediate values between VCV and RP (Table 4). In the ND and NCM vegetation conditions there were found the minimum accumulated amounts of surface runoff during the study period. Surface runoff values of the 1999-year were not significant from the hydrologic point of view. These data suggest that both systems are efficient for storing water in the soil due to a greater basal plant cover and the presence of litter in both vegetation conditions (Table 5). The NCB and P vegetation conditions lost a great amount of water as surface runoff during the study period (Table 4) mainly in condition P; this includes 1999, which was the driest year of the study period.

For the losses due to maximum runoff per storm and year we considered the total runoff events in all of the study years. The maximum observed

Cuadro 4. Pérdidas de agua por escorrentía superficial (mm/año) en condiciones de vegetación predominantes, sistemas de manejo y potencial (suelo desnudo), de 1997 a 1999

Table 4. Water losses due to surface runoff (mm/year) in predominant plant conditions, management systems and bare soil (from 1997 to 1999)

Year	Predominant plant conditions					Management systems		
	SD	ND	NCB	P	NCM	VCV	RP	PCB
1997	26.60	0.59	-	-	-	-	-	-
1998 ^a	87.66	1.67	51.03	76.97	8.96	50.20	45.60	47.99
1999	29.13	0.10	12.75	25.22	0.11	5.96	8.58	6.31

^a Of the 22 runoff events in the year (at least in one runoff plot) only 17 were considered that happened once all of the plots were functioning.

SD= bare soil; ND= dense clumps of prickly pear; NCB= association of prickly pear clumps, shrubs, grasses and annuals of low cover; P= range; NCM= association of prickly pear clumps, shrubs, grasses and annuals of medium cover; VCV= fourwing saltbush with trailing prickly pear; RP= prickly pear re-vegetation; PCB= range with fourwing saltbush planted on soil dikes.

intermedias entre VCV y RP (Cuadro 4). En las condiciones de vegetación ND y NCM se presentaron los valores mínimos acumulados de pérdida por escorrentía superficial durante el período estudiado, valores insignificantes desde el punto de vista hidrológico para el año 1999, y sugieren que ambos sistemas son eficientes para almacenar agua en el suelo, lo que es debido a la mayor cobertura basal vegetal y a la presencia de mantillo orgánico en ambas condiciones de vegetación (Cuadro 5). Las condiciones de vegetación NCB y P perdieron una mayor cantidad de agua como escurrimiento superficial durante el período estudiado (Cuadro 4), principalmente en la condición P, incluyendo el año 1999 que fue el año más seco.

Para las pérdidas por escorrentía máximas por tormenta y año, se consideró el total de eventos escurridos en todos los años estudiados. Los escurrimientos máximos observados en los sistemas de manejo y condiciones de vegetación en general fueron menores a aquéllos ocurridos en SD, con excepción del obtenido para la condición de vegetación NCB (Cuadro 6). Independientemente del tipo de sistema o condición de vegetación, las pérdidas de suelo máximas observadas ocurrieron en 1998, año en el que se presentaron los valores máximos de precipitación total anual.

runoffs in the management systems and plant conditions were in general smaller than those occurring in SD, with the exception of the value obtained for NCB plant condition (Table 6). Independently of the type of management system or plant condition, the maximum observed soil losses occurred in 1998, year in which the maximum total annual rainfall occurred.

In the management systems, during 1998, the same maximum runoff magnitude for an individual storm was registered with a maximum magnitude and intensity in 30 min (I_{30}) of 24 mm and 51.7 mm/h⁻¹ respectively. This behavior did not repeat itself in 1999 where the maximum runoff magnitudes were considerably lower and RP presented the maximum value of superficial runoff. The other two management systems in the study showed similar maximum flow values, even when they responded to different storms in relation to rainfall magnitude and intensity (I_{30}).

In relation to the predominant plant conditions the maximum runoffs occurred in 1998 in vegetation conditions NCB and P, which were superior to the ones obtained in the management systems for that same year. In the remaining plant conditions, the maximum runoff observed for that same year was

Cuadro 5. Cobertura basal (%) y microrrelieve en diferentes condiciones de vegetación predominantes, sistemas de manejo y potencial (suelo desnudo)

Table 5. Basal cover (%) and micro relief in different predominant plant conditions, management systems and bare soil

	SD	Predominant plant conditions				Management systems		
		ND	NCB	P	NCM	VCV	RP	PCB
Basal cover (%)								
Plant	0.0	16.7	13.3	28.3	26.7	21.7	26.7	18.3
Litter	0.0	21.7	10.0	1.7	40.0	0.0	6.7	31.7
Bare soil	66.7	40.0	61.7	30.0	18.3	71.6	31.6	46.7
Gravel	10.0	6.6	15.0	36.7	15.0	6.7	31.7	3.3
Rock	23.3	15.0	0.0	3.3	0.0	0.0	3.3	0.0
Micro relief	0.748	1.895	0.780	1.000	0.993	0.920	1.236	0.733

SD= bare soil; ND= dense clumps of prickly pear; NCB= association of prickly pear clumps, shrubs, grasses and annuals of low cover; P= range; NCM= association of prickly pear clumps, shrubs, grasses and annuals of medium cover; VCV= fourwing saltbush with trailing prickly pear; RP= prickly pear re-vegetation; PCB= range with fourwing saltbush planted on soil dikes.

En los sistemas de manejo, durante el año de 1998 se registró la misma magnitud de escorrentía máxima bajo el efecto de una tormenta individual, con magnitud e intensidad máxima en 30 min (I_{30}) de 24 y 51.7 mm h⁻¹, respectivamente. Este comportamiento no se repitió en 1999, en donde las magnitudes del escurrimiento máximo se redujeron considerablemente y RP presentó el valor máximo de escorrentía superficial. Los otros dos sistemas de manejo en estudio mostraron valores de flujo total máximo similares, aún cuando respondieron a tormentas diferentes en cuanto a magnitud e intensidad de la lluvia (I_{30}).

Con respecto a las condiciones de vegetación predominantes, las escorrentías máximas ocurrieron en el año de 1998 en las condiciones de vegetación NCB y P, las cuales fueron superiores a las obtenidas en los sistemas de manejo para ese mismo año. En las condiciones de vegetación restantes, las escorrentías máximas observadas para ese mismo año fueron significativamente menores, y sin importancia hidrológica, como es el caso de ND. Durante 1999 se redujeron los valores de escorrentía máxima en todas las condiciones de vegetación, llegando a ser casi inapreciables en las condiciones ND y NCM.

Al hacer un análisis conjunto de la información, es posible inferir que las respuestas obtenidas en cuanto a pérdida de agua como escurrimiento superficial en los diferentes sistemas de manejo y condiciones

significantly lower, and without hydrological importance, as is the case of ND. During 1999 the maximum runoff values decreased in all of the vegetation conditions, being almost imperceptible in conditions ND and NCM.

When doing a joint analysis of the information it is possible to infer that the answers obtained in relation to water loss as surface runoff in the different management systems and vegetation conditions are the result of the interaction between the variability in time of the daily and annual rainfall (magnitude differences within and between years), the plant cover characteristics (basal and aerial), rugosity and soil surface conditions that were modified in each site after 5 years of grazing exclusion, besides those that pertain to the sites themselves. The management systems reached similar values of basal plant cover (around 20%) nevertheless, they exhibited very different values for bare soil, and gravel and rock cover. These characteristics explain the differences found in annual runoff and maximum individual runoff. The ND and NCM vegetation conditions reached joint values of basal plant cover and litter superior to those obtained in NCB and P (Table 5), as well as exhibiting greater aerial cover (80 and 53.5%). These characteristics explain the differences between annual runoff and maximum runoff found in both groups of predominant plant conditions. The differences obtained for annual runoff and maximum runoff between years, in each management system and plant condition, were mainly due to

Cuadro 6. Pérdidas por escorrentía máximas observadas (mm) por tormenta y año en condiciones de vegetación predominantes, sistemas de manejo y potencial (suelo desnudo)

Table 6. Losses due to maximum observed runoff (mm) per storm and year in predominant plant conditions, management systems and bare soil

Year	SD	Predominant plant conditions				Management systems		
		ND	NCB	P	NCM	VCV	RP	PCB
1997	5.81	0.18	-	-	-	-	-	-
1998	18.18	0.73	18.18	15.91	4.55	12.42	12.42	12.42
1999	6.46	0.05	2.67	4.86	0.10	1.61	2.47	1.79

SD= bare soil; ND= dense clumps of prickly pear; NCB= association of prickly pear clumps, shrubs, grasses and annuals of low cover; P= range; NCM= association of prickly pear clumps, shrubs, grasses and annuals of medium cover; VCV= fourwing saltbush with trailing prickly pear; RP= prickly pear re-vegetation; PCB= range with fourwing saltbush planted on soil dikes.

de vegetación, son el resultado de la interacción de la variabilidad en el tiempo de la precipitación diaria y anual (diferencias de magnitud dentro y entre años), y las características de cobertura vegetal (basal y aérea), rugosidad y condiciones de la superficie del suelo que se modificaron en cada sitio después de 5 años de exclusión al pastoreo, además de aquéllas que son propias de cada sitio. Los sistemas de manejo alcanzaron valores similares de cobertura basal vegetal (alrededor del 20 %), sin embargo, exhibieron porcentajes de suelo desnudo y coberturas por grava y piedra muy diferentes. Esas características explican las diferencias encontradas en escorrentía anual y máxima individual. Las condiciones de vegetación ND y NCM alcanzaron valores conjuntos de cobertura basal vegetal y por mantillo orgánico superiores a los obtenidos en NCB y P (Cuadro 5), además de exhibir coberturas aéreas mayores (80 y 53.5 %), estas características explican las diferencias en escorrentía anual y la máxima encontrada entre ambos grupos de condiciones de vegetación predominante. Las diferencias obtenidas para escurrimiento anual y el máximo entre años, en cada sistema y condición, se debieron principalmente a las diferentes magnitudes de la precipitación pluvial anual y máxima, lo que fortalece la importancia de un manejo adecuado de la vegetación natural, considerando variables como la cobertura vegetal y la conservación de especies como el nopal para lograr una mejor captación y conservación del recurso hídrico.

Con la información de precipitación pluvial por tormenta y la escorrentía superficial expresada como lámina escurrida, se estimaron modelos de regresión siguiendo la función propuesta en la ecuación 2 (Cuadro 7). El modelo, a pesar de haber sido obtenido mediante regresión lineal, tiene sentido hidrológico, puesto que está basado en una conceptualización del fenómeno de generación de flujo o escorrentía superficial. Los autores⁽¹⁴⁾, consideraron que para fines prácticos P_0 es definida como la lluvia necesaria para iniciar el escurrimiento y a CE como el coeficiente de escurrimiento o eficiencia de escorrentía. Los valores más altos del coeficiente de escurrimiento, así como los valores más bajos de lluvia necesaria para iniciar

different magnitudes in annual rainfall and maximum rainfall. This strengthens the importance of an adequate management of natural vegetation considering variables like plant cover and species conservation, as is the prickly pear, in order to improve the water infiltration into the soil and the soil water conservation.

With the information of rainfall per storm and surface runoff expressed as runoff water depth were estimated regression models following the function proposed in equation 2 (Table 7). The model, although having been obtained by lineal regression, has hydrological sense because it is based in a concept of surface runoff generation. The authors⁽¹⁴⁾ consider that for practical purposes P_0 is defined as the rainfall necessary for initiating runoff and CE as the runoff coefficient or runoff efficiency. The highest of the runoff coefficient values, as well as the lowest values of rainfall necessary to initiate runoff, were produced by conditions SD and P, which also generated the highest values of surface runoff measured in 1998 and 1999.

A correlation analysis was done between the components of the basal cover and annual runoff. Of among all of the variables of basal cover only the litter cover presented a significant correlation (-0.73 , $P < 0.05$), which indicates that the loss of water as surface runoff decrease as the litter cover increases. Possibly there is a reduction in surface runoff due to plant cover recovery promoted by the grazing exclusion.

The Curve Number (CN) estimated from surface runoff data is useful for calculating surface runoff from individual rainfall events by using the SCS⁽¹⁵⁾ method. Also it is a necessary entry variable in simulation models for water erosion and surface runoff like the SWRRB⁽¹⁹⁾ and EPIC⁽²⁰⁾ amongst others.

Management systems showed average values of CN that were statistically the same (87.7, 87.2 y 85.9 for VCV, RP and PCB respectively). As for vegetation conditions, ND showed the lowest average value of CN (77.3 ± 4.1) being statistically different ($P < 0.05$) from P (90.1 ± 1.8) and NCB (87.7 ± 2.5). The average CN of NCM was different from

Cuadro 7. Parámetros del modelo lineal de escorrentía $L_{esc} = CE(PP - P_0)$ (Ec. 2), para tormentas individuales y coeficientes de determinación, estimados para las diferentes condiciones de vegetación, sistemas de manejo y potencial (suelo desnudo)

Table 7. Parameters for the linear model for runoff $L_{esc} = CE(PP - P_0)$ (Eq. 2) for individual storms and determination coefficients, estimated for the different predominant plant conditions, management systems and bare soil.

	Predominant plant conditions					Management systems		
	SD	ND	NCB	P	NCM	VCV	RP	PCB
n	28	18	24	30	15	25	20	21
P_0	5.00*	5.97*	7.42*	5.63*	7.66NS	7.23*	7.82*	9.26*
CE	0.435**	0.012**	0.338**	0.388**	0.068**	0.283**	0.303**	0.321**
r ²	0.774**	0.873**	0.737**	0.748**	0.476**	0.600**	0.619**	0.624**

**($P < 0.01$), *($P < 0.05$), NS = Non significant

SD= bare soil; ND= dense clumps of prickly pear; NCB= association of prickly pear clumps, shrubs, grasses and annuals of low cover; P= range; NCM= association of prickly pear clumps, shrubs, grasses and annuals of medium cover; VCV= fourwing saltbush with trailing prickly pear; RP= prickly pear re-vegetation; PCB= range with fourwing saltbush planted on soil dikes.

el escurrimiento, los produjeron las condiciones SD y P, los que a su vez, generaron los valores más altos de escurrimiento superficial medido en 1998 y 1999.

Se realizó un análisis de correlación entre los componentes de la cobertura basal y la escorrentía anual. De entre todas las variables de cobertura basal sólo la cobertura por mantillo orgánico presentó correlación significativa (-0.73 , $P < 0.05$), e indica que las pérdidas decrecen conforme la cobertura por mantillo orgánico se incrementa; posiblemente existe una reducción del escurrimiento debido a la recuperación de la vegetación por la exclusión al pastoreo.

El intervalo de confianza de Curva Numérica (CN), estimado a partir de los datos de escorrentía superficial, es útil para estimar el escurrimiento superficial a partir de eventos individuales de precipitación, mediante el método del SCS⁽¹⁵⁾, además de que es una variable de entrada necesaria en modelos de simulación de la erosión hídrica y del escurrimiento superficial como el SWRRB⁽¹⁹⁾ y el EPIC⁽²⁰⁾ entre otros.

Los sistemas de manejo mostraron valores promedio de CN que fueron estadísticamente iguales entre sí

the value of P ($P < 0.05$) but statistically the same as the remaining plant conditions.

In general, there is a negative relationship between CN values and micro relief, this is congruous with the point of view of the mechanics of flow because the rugosity of the soil promotes surface detention negatively affecting the amount of surface flow. The variation observed in the CN values obtained for each management system and vegetation condition was relatively low because the calculated confidence intervals were small compared to their respective average. So it is to be expected that the CN magnitude varied little in high or low rainfall conditions (dry or humid conditions within the year). The magnitude of the CN values obtained in the study area are similar to the ones found by Jasso *et al*⁽⁷⁾ for other grazing areas in the State of Chihuahua.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

Management systems VCV, RP and PCB showed intermediate values of surface runoff. ND and NCM showed minimum values and NCB and P had the greatest values in both of the years studied.

The loss of water in the management systems and plant conditions are a consequence of the interaction

(87.7, 87.2 y 85.9 para VCV, RP y PCB respectivamente). Con respecto a las condiciones de vegetación, ND mostró el menor valor promedio de *CN* (77.3 ± 4.1) siendo diferente ($P < 0.05$) a P (90.1 ± 1.8) y NCB (87.7 ± 2.5). La *CN* promedio de la condición NCM fue diferente del valor para P ($P < 0.05$) pero estadísticamente igual a las condiciones de vegetación restantes.

En general existe una relación negativa entre los valores de *CN* y el micro-relieve, esto es congruente con el punto de vista de la mecánica del flujo, ya que la rugosidad del suelo promueve la detención superficial afectando negativamente la cantidad del flujo superficial. La variación observada en los valores de *CN* obtenidos en cada sistema y condición fue relativamente baja, dado que los intervalos de confianza calculados fueron pequeños comparados con su promedio respectivo, por lo que es de esperarse que la magnitud de la *CN* varíe poco en condiciones de precipitación alta o baja (condición seca o húmeda en el año). Las magnitudes de *CN* obtenidas en el área de estudio son similares a las encontradas por Jasso *et al.*⁽⁷⁾ para otras áreas de pastoreo en el estado de Chihuahua.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Los sistemas VCV RP y PCB mostraron valores intermedios de escurrimiento superficial. ND y NCM presentaron los valores mínimos y NCB y P mostraron los valores mayores en los dos años estudiados.

La pérdida de agua en los sistemas de manejo y condiciones de vegetación son consecuencia de la interacción del tiempo, de la precipitación diaria y anual (diferencias de magnitud dentro y entre años), de las características de cobertura vegetal (basal y aérea), rugosidad y condiciones de la superficie del suelo que se modificaron en cada sitio después de cinco años de exclusión al pastoreo, además de las que son propias de cada sitio.

Las relaciones estadísticas lineales permitieron estimar las pérdidas de agua a partir de datos individuales de magnitud de la precipitación. Las curvas numéricas fueron diferentes entre condiciones de

between time, daily and annual rainfall (differences of magnitude between and within years), plant cover characteristics (basal and aerial), rugosity and soil surface conditions that were modified in each site after five years of grazing exclusion, besides the ones that pertain to each site.

The linear statistical relationships allowed for estimating the loss of water from individual data of rainfall magnitude. The numerical curves were different between plant conditions, but the same between management systems. The values were inversely associated with micro relief. Parameters were derived, with water conservation criteria, for results extrapolation, strategy planning and decision-making.

ACKNOWLEDGMENTS

We especially thank the producers and authorities of the Panuco Community Land of the State of Zacatecas for granting use of the experimental area as well as for having maintained their interest during its development. We also acknowledge the authorities from FIRCO in the State of Zacatecas for their valuable cooperation in the establishment stage of the exclusion area. We make a great acknowledgement for our field technician Mr. Manuel de Haro Pinedo.

End of english version

vegetación, pero iguales entre sistemas de manejo; los valores se asociaron inversamente con microrelieve. Se derivaron parámetros, con criterios de conservación de agua, para la extrapolación de resultados, planeación estratégica y toma de decisiones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente a los productores y autoridades del Ejido Pánuco, de Zacatecas por

haber proporcionado el área experimental, así como por haber mantenido el interés durante el desarrollo del mismo. También se hace un reconocimiento a las autoridades de FIRCO en el estado de Zacatecas por su valiosa colaboración en la etapa de establecimiento del área de exclusión, así como al técnico de campo Sr. Manuel de Haro Pinedo.

LITERATURA CITADA

1. Takar AA, Dobrowolski JP, Thurow TL. Influence of grazing, vegetation life-form, and soil type on infiltration rates and interill erosion on a Somalian rangeland. *J Range Manage* 1991;43:486-490.
2. Blackburn WH, Knight RW, Wood MK. Impact of grazing on watersheds: a state of knowledge. *Texas Agr Exp Sta* 1982: MP-1496.
3. Gifford GF, Hawkins RH. Hydrologic impact of grazing on infiltration: A critical review. *Water Resources Res* 1978;14:305-313.
4. Blackburn WH. Impacts of grazing intensity and specialized grazing systems on watershed characteristics and responses. *In: Developing strategies for rangeland management*. National Research Council/National Academy of Sciences. Boulder, CO: West-view Press; 1984:927-983.
5. McCalla II GR, Blackburn WH, Merrill LB. Effects of livestock grazing on infiltration rates, Edwards Plateau of Texas. *J Range Manage* 1984;37:265-269.
6. Blackburn WH, Skau CM. Infiltration rates and sediment production of selected plant communities in Nevada. *J Range Manage* 1974;27:476-479.
7. Jasso IR, Sánchez CI, Stone JJ, Martínez RJG, Gutiérrez RE 1999. Estimación de parámetros de la respuesta hidrológica en pastizales semi-áridos del norte de México. *En: Medina MR editor. Simposio 4 Manejo integral de cuencas hidrológicas*. IX Congreso nacional de irrigación. ANEI A.C. Culiacán Sinaloa, México. 1999:109-115.
8. CETENAL. Carta de vegetación F-13-B-58, Zacatecas [mapa]. Comisión de estudios del territorio nacional. Dirección de Estudios Económicos. Secretaría de la Presidencia. Estados Unidos Mexicanos. 1971.
9. CETENAL. Carta Edafológica F-13-B-58, Zacatecas [mapa]. Comisión de estudios del territorio nacional. Dirección de Estudios Económicos. Secretaría de la Presidencia. Estados Unidos Mexicanos. 1971
10. SARH. 1982. Manual de conservación del suelo y agua. Colegio de Posgraduados. Chapingo, Méx. 1982:213-326.
11. Kincaid DR, Williams G. Rainfall effects on soil surface characteristics following range improvement treatments. *J Range Manage* 1966;19:346-351.
12. Pieper RD. Técnicas de medición para vegetación herbácea y arbustiva. Departamento de ciencias animales de los pastizales y de la fauna silvestre. Las Cruces, Nuevo México. Universidad Estatal de Nuevo México. 1973:87-98.
13. SAS. Procedures guide. (version 6.0 ed.). Cary NC., USA:SAS Inst. Inc. 1990.
14. Fink DH, Frasier GW. Evaluating weathering characteristics of water-harvesting catchments from rainfall-runoff analyses. *Soil Sci Soc America J* 1977;41:618-622.
15. SCS. National Engineering Handbook. Hydrology Section 4, Chapters 4-10. US Department of Agriculture. Soil conservation service. 1972.
16. Ponce VM, Hawkins RH. Runoff curve number: Has it reached maturity? *J Hydrologic Engineering* 1996;1(1):11-19.
17. Snedecor G.W, Cochran WG. Métodos estadísticos. Novena Impresión. México: Editorial CECCSA, 1982.
18. Infante SG, Zárate de LGP. Métodos estadísticos. Un enfoque interdisciplinario. 2ª ed. México: Editorial Trillas; 1990.
19. Arnold JG, Williams JR, Nicks AD, Sammons NB. SWRRB A basin scale simulation model for soil and water resources management. College Station. Texas A&M University Press. 1990.
20. Williams JR. Runoff and water erosion. *In: Hanks RJ y Ritchie JT, editores. Modeling plant and soil systems. Agronomy Series no. 31*. 1991:439-455.

SIN TEXTO