

Rainfed forage production system and goat grazing: an option for productive conversion

Sistema de producción de forrajes de temporal y pastoreo de cabras. opción para la reconversión productiva

Echavarría-Cháirez Francisco G.¹; Serna-Pérez Alfonso¹; Flores-Nájera Manuel de J.¹; Medina-García Guillermo¹; Gutiérrez-Luna Ramón¹; Salinas-González Homero²

¹INIFAP-Campo Experimental Zacatecas. Apartado Postal Núm. 18, Víctor Rosales, Calera, Zacatecas.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) La Laguna, Apartado Postal 247, Matamoros, Coahuila, C. P. 27440. México.

Correo-e: homero.salinas@hotmail.com (* Autor para correspondencia)

Abstract

Large semi-arid rainfed areas of Mexico with degraded soils require productive conversion alternatives. Also, goat production systems need to be integrated into agricultural areas to conserve rangeland in times of drought. The aim of this study was to evaluate the conversion of degraded soils by using a combination of annual crops such as corn and cereals, with brush and prickly pear cacti established in strips. Contour strip cropping reduced water erosion and runoff ($P<0.05$) by 50 and 70 % respectively, compared to a soil under continuous tillage. Soil moisture storage was 23 to 35 % (based on volume) higher than with conventional soil management. Moreover, the number of goats that can be fed with forage produced in a 10-ha area in the dry season (December to May) was estimated. The values range from 17.4 goats-ha⁻¹ in a year, with higher than average rainfall, up to 3 goats-ha⁻¹ in dry years, with an average of 9.6 goats-ha⁻¹ in five years of study.

Keywords: Conversion, rainfed forage, mixed grazing systems.

Resumen

Amplias áreas de temporal del semi-árido de México con suelos degradados requieren de alternativas de reconversión productiva. Asimismo, los sistemas de producción de caprinos requieren integrarse a áreas agrícolas para la conservación del agostadero en épocas de estiaje. El objetivo fue evaluar la reconversión de suelos degradados por el uso de una combinación de cultivos anuales como maíz y cereales, con matorrales y nopales establecidos en franjas. Los cultivos en franjas al contorno redujeron la erosión hídrica y el escurrimiento ($P<0.05$) en 50 y 70 % respectivamente, comparados con un suelo bajo laboreo continuo. El almacenamiento de humedad en el suelo fue de 23 a 35 % (con base en el volumen) más alto que con manejo convencional de suelo. Además, se estimó el número de cabras que pueden ser alimentadas con el forraje producido en una superficie de 10 ha en la época de estiaje (diciembre-mayo). Los valores van desde 17.4 cabras-ha⁻¹ en un año, con precipitación mayor a la media, hasta 3 cabras-ha⁻¹ en años secos, con un promedio de 9.6 cabras-ha⁻¹ en cinco años de estudio.

Palabras clave: Reconversión, forrajes de temporal, sistemas de pastoreo mixto.

Introduction

Productive conversion can be defined as “changing the activity or system, in an attempt to harness the potential of the area or site with optimal land use and reduce the loss rate.” In degraded areas of Zacatecas, the type of activities associated with this concept could include replacing low-productivity agricultural crops (beans, corn) with forages, grasses or brush and cacti better adapted to the region in order to produce sheep or goat meat in agricultural areas with recurrent drought problems (Echavarría *et al.*, 2009).

The technological intervention required for conversion must focus on stopping the degradation and gradually, once a modicum of stability is achieved in some indicators such as soil fertility, moisture retention capacity and water and wind erosion, implementing it. The physical sustainability of the soil resource depends on reducing the impact of each of the three aforementioned indicators (Echavarría *et al.*, 2011).

In Mexico’s arid and semiarid areas, goat production systems are generally mixed, as animals are fed from forage crops and crop surpluses, and directly graze on rangeland areas (Salinas *et al.*, 2011). In addition, goat farming contributes to the survival of low-income producers, as it provides them with food (meat and milk) and income (FIRA, 1999). However, producers are limited by low rainfall, less than 400 mm, which reduces crop productivity and rangeland forage availability. Furthermore, these production systems use inappropriate management practices, with animal health problems, low reproductive rates (fertility, abortion), less growth in replacement goats due to advancing their gestation and limited access to markets as a result of not giving added value to the product (Arechiga *et al.*, 2008; Escareño *et al.*, 2013).

Goat production systems are small, extensive and based on continuous rangeland grazing; that is, there are no restrictions on use, so the soils are continuously being degraded due to overgrazing (Echavarría-Chairez *et al.*, 2010). This has led to supplementing the diet of goat herds by increasingly using the residues from all available agricultural crops (Salinas *et al.*, 1991, 1999).

Forage production during the rainy season can be a viable option for improving goat productivity and promoting the recovery of plant cover in rangeland areas, by being less dependent on grazing (Salinas *et al.*, 2011). However, the land is cultivated in a traditional manner under monoculture conditions, usually with beans and corn, where crop residues are consumed by animal species (cattle, horses, goats, sheep) that graze the area during the winter-spring, contributing to the decline in soil organic matter and loss of natural fertility.

Introducción

La reconversión productiva se puede definir como “el cambio de la actividad o del sistema, buscando aprovechar la aptitud potencial del área o sitio con un uso óptimo del suelo y reduciendo la siniestralidad”. En las áreas degradadas de Zacatecas, el tipo de actividades asociadas a este concepto podrían ser, la sustitución de cultivos agrícolas de baja productividad (frijol, maíz) por forrajes, pastos o matorrales y nopales mejor adaptados a la región para producir carne de ovino o caprino en áreas agrícolas con problemas de sequía recurrente (Echavarría *et al.*, 2009).

La intervención tecnológica necesaria para la reconversión deberá enfocarse a detener la degradación, una vez que se logra un mínimo de estabilidad en algunos indicadores como: la fertilidad del suelo, la capacidad de retención de humedad, y la erosión hídrica y eólica. La sostenibilidad física del recurso suelo dependerá de la disminución del impacto de cada uno de los tres indicadores mencionados (Echavarría *et al.*, 2011).

En las zonas áridas y semiáridas de México, los sistemas de producción caprina, son generalmente mixtos, los animales son alimentados a partir de cultivos forrajeros y excedentes de cosecha, así como del pastoreo directo en las áreas de agostadero (Salinas *et al.*, 2011). Además, la actividad caprina contribuye a la supervivencia de los productores de bajos ingresos, ya que los provee de alimento (carne y leche) e ingresos (FIRA, 1999). Sin embargo, los productores están limitados por la baja precipitación, menos de 400 mm, lo que reduce la productividad de los cultivos y la disponibilidad de forraje del agostadero. Además, en estos sistemas de producción se usan prácticas de manejo inapropiadas, con problemas de salud animal, bajos niveles reproductivos (fertilidad, aborto), menor crecimiento de las cabras de remplazo por adelantar su gestación y limitado acceso a los mercados por no dar valor agregado al producto (Arechiga *et al.*, 2008; Escareño *et al.*, 2013).

Los sistemas de producción de cabras son de tamaño pequeño, extensivos y están basados en el pastoreo continuo de los agostaderos, es decir no existen restricciones de uso, por lo que los suelos se están degradando continuamente debido al sobrepastoreo (Echavarría-Chairez *et al.*, 2010). Esto ha provocado que para complementar la alimentación de los hatos caprinos se utilicen cada vez más los residuos de todas las cosechas agrícolas disponibles (Salinas *et al.*, 1991, 1999).

La producción de forrajes durante la estación lluviosa puede ser una alternativa viable para mejorar la productividad caprina y promover la recuperación de la

Because of this degraded condition, many agricultural areas have lost their original productive potential and because of their high loss rate are considered for inclusion in productive conversion programs, in order to reverse degradation levels over the long term.

Therefore, the aim of this study was to evaluate the conversion of degraded soils by using a combination of annual crops such as corn and cereals, with brush and prickly pear cacti established in contour strips, divided by anti-erosion terraces, to increase moisture storage in the soil and ensure annual fodder production under rain-fed conditions.

Materials and methods

The study was carried out at the Zacatecas Experimental Station (INIFAP), located at 22° 54' north latitude and 102° 39' west longitude, at an elevation of 2,197 m, with a mean annual temperature of 14.6 °C and mean annual precipitation of 416 mm, which largely occurs in the summer (June to September). The soil of the study area is classified as Kastañozem (WRB, 2006), with pH 7.5, 1.26 % organic matter and sandy loam texture.

Goat breeders in the center of the state of Zacatecas, in addition to communal rangelands, have an approximately 10-h land grant, per breeder, allocated for rainfed agricultural production. In these areas, farmers plant both beans and corn for the purpose of sale and consumption (Salinas *et al.*, 1999). Therefore, a 10-h area was designed as a prototype and divided into contour strips of 4.56 m (6 0.76-m rows) in width and 300 m in average length. In the design, an area of rainfed forage crops (corn, oats, barley) and perennial species such as fourwing saltbush (*Atriplex canescens*), sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) and varieties of forage prickly pear cactus (Aguascalientes, Pabellón, T. Calera, Amarilla lisa, Rosalito 3, 3P, PT and F.C.) were established. All these species were established with the purpose of producing forage during the year for grazing and conservation (silage, hay). As for the brush and cacti, they were planted on anti-erosion terraces (Serna & Echavarría, 2002; Echavarría *et al.*, 2006).

In total, around 7,000 fourwing saltbush (*Atriplex canescens*), sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) and prickly cactus pear (*Opuntia* sp) plants were established in the 10-ha area in the year 2007: the first for forage production and the last two to reinforce the terraces. The evaluation and sowing of the annual crops were carried out for five consecutive years (2008-2012). To determine dry matter production, four samples of 5 m²·ha of crop⁻¹·yr⁻¹ were taken in the case of annual crops; for brush, dry matter production was only estimated from a geometric model (Echavarría *et al.*, 2009) based on a sampling of 75 fourwing saltbush

cobertura vegetal en las áreas de agostadero, al depender en menor grado de la alimentación del pastizal (Salinas *et al.*, 2011). Sin embargo, los terrenos en forma tradicional son cultivados en condiciones de monocultivo, casi siempre con frijol y maíz, donde los residuos de cosecha son consumidos por especies animales (bovino, equinos, caprinos, ovinos) que pastorean el área durante el periodo invierno-primavera, lo que contribuye a la disminución de la materia orgánica del suelo y la pérdida de la fertilidad natural. Debido a esta condición de degradación, muchas áreas agrícolas han perdido su potencial productivo original y debido a su alta siniestralidad son consideradas dentro de los programas de reconversión productiva, para revertir a largo plazo los niveles de degradación.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la reconversión de suelos degradados por el uso de una combinación de cultivos anuales como maíz y cereales, con matorrales y nopales establecidos en franjas a nivel, divididas con bordos anti-erosivos, incrementar el almacenamiento de humedad en el suelo y asegurar la producción anual de forrajes bajo condiciones de temporal.

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló en el Campo Experimental Zacatecas (INIFAP), ubicado en los 22° 54' de latitud norte y 102° 39' de longitud oeste y altitud de 2,197 m, con una temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 416 mm, la cual se presenta en mayor proporción en verano (junio a septiembre). El suelo del área de estudio es clasificado como Kastañozem (WRB, 2006), con un pH de 7.5, 1.26 % de materia orgánica y textura Franco Arenosa.

Los criadores de cabras del centro del estado de Zacatecas, además de los agostaderos comunales, poseen tierras dedicadas a la producción agrícola de temporal cuya dotación es de alrededor de 10 hectáreas por caprinocultor. En la superficie los agricultores siembran tanto frijol como maíz, con fines de venta y autoconsumo (Salinas *et al.*, 1999). Por lo que se diseñó un prototipo de 10 ha de superficie, la cual fue dividida en franjas trazadas al contorno de 4.56 m (6 surcos de 0.76 m) de ancho y longitud promedio de 300 m. En el diseño se estableció un área de cultivos forrajeros de temporal (maíz, avena, cebada), y especies perennes como atriplex (*Atriplex canescens*), sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) y variedades de nopal forrajero (Aguascalientes, Pabellón, T. Calera, Amarilla lisa, Rosalito 3, 3P, PT y F.C.). Todas estas especies se establecieron con el propósito de producir forrajes durante el año para su pastoreo y conservación (ensilaje, heno). En el caso de los matorrales y cactáceas se plantaron sobre bordos anti-erosivos, buscando

(*Atriplex canescens*) plants preselected in 2008 and measured in terms of their height and aerial-cover cross diameter. The dry matter produced by all species was sampled before harvest to determine dry matter (DM) and crude protein (CP) following the protocol established by the AOAC (1990). The forage production of annual crops was preserved through silage and hayed for use throughout the year, especially in the dry season (December to May).

A herd with 30 adult goats was used for grazing on the bushes established in the 10-ha module, during the dry season (December to May). This area was excluded from grazing for the remainder of the year (June-November) to allow cultivation of the rainfed crops, which were later preserved and fed to the goats in the dry period. Measurement of animal dry matter intake was not performed. However, the number of goats that can be sustained by forage produced in a 10-h area for six months of the year was estimated. To make this estimate, the nutrient requirement table for dairy and meat goats was used (NRC, 2007). For this, the data for goats of 50 kg live weight, in early lactation and suckling a calf whose milk consumption ranges from 0.88 to 1.61 kg were considered. Nutrient needs per goat per day at this stage are 1.73 kg DM, 3.31 Mcal metabolizable energy and 191 g crude protein.

On the other hand, for planting forages, the moisture content in the soil was determined every week once the crops were planted. To measure water erosion, runoff plots of 3 x 22 m were formed; three were established in a continuous fallow condition, without sowing, to measure erosion potential and three were established within the crop areas to determine actual erosion. Runoff and dragged sediment were collected in metal tanks for subsequent analysis (Wischmeier & Smith, 1978). Rainfall was monitored using three rain gauges distributed throughout the study area. Rainfall (mm) and runoff ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) were recorded in every precipitation event. Erosion ($\text{g} \cdot \text{liter}^{-1}$) was estimated in the Zacatecas Experimental Station laboratory, from one aliquot per runoff plot. The sediments were separated with Whatman No. 2 filter paper, dried to constant weight and reported in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ per event. Rainfall, runoff and erosion data were accumulated per assessment year between 2008 and 2012.

The statistical evaluation for the variable water erosion was performed. The analysis of variance consisted of comparing erosion potential and erosion measured in contour rows (SAS, 2009). To facilitate comparison, data were transformed into natural logarithms (Giordanengo *et al.*, 2003). Also, an analysis of variance was performed with runoff data.

también reducir la erosión hídrica (Serna & Echavarría, 2002; Echavarría *et al.*, 2006).

Se establecieron alrededor de 7,000 plantas en total de atriplex (*Atriplex canescens*), sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) y nopal (*Opuntia* sp) en las 10 ha, en el año de 2007; la primera para producción de forraje y las dos últimas para reforzar los bordos. La evaluación y la siembra de los cultivos anuales se realizó durante cinco años consecutivos (2008-2012). Para determinar la producción de materia seca, se tomaron cuatro muestras de 5 m² de cultivo⁻¹ · año⁻¹, en el caso de cultivos anuales y para los matorrales solo se estimó la producción de materia seca a partir de un modelo geométrico (Echavarría *et al.*, 2009) partiendo de un muestreo de 75 plantas de atriplex (*Atriplex canescens*) preseleccionadas desde el año 2008 y medidas en su altura y diámetros transversales de cobertura aérea. La materia seca producida por todas las especies fue muestreada antes de la cosecha para determinar materia seca (MS) y proteína cruda (PC) siguiendo el protocolo establecido por la AOAC (1990). La producción de forraje de cultivos anuales se conservó a través de ensilaje y henificado para su uso a través del año, en especial en la época de estiaje (diciembre-mayo).

Un rebaño con 30 cabras adultas fue utilizado para pastorear las arbustivas establecidas en el módulo de 10 ha, durante la época de estiaje (diciembre a mayo). Esta área se excluyó al pastoreo durante el resto del año (junio-noviembre) para la siembra de los cultivos de temporal y conservado para alimentar a las cabras en la misma época de estiaje. No se realizó la medición de consumo animal de materia seca. Sin embargo, se estimó el número de cabras que pueden ser sostenidas por el forraje producido en una superficie de 10 ha durante seis meses del año. Para efectuar esta estimación, se utilizó la tabla de requerimientos nutricionales para cabras lecheras y de carne (NRC, 2007). Para el caso se consideró los datos de cabras de 50 kg de peso vivo, en lactancia temprana y amamantando una cría cuyo consumo de leche fluctúa entre 0.88 a 1.61 kg. Las necesidades nutricionales por cabra por día en esta etapa son de 1.73 kg de MS, 3.31 Mcal de energía metabolizable y 191 g de proteína cruda.

Por otro lado, para la siembra de forrajes, se determinó el contenido de humedad en el suelo cada semana una vez sembrados los cultivos. Para medir la erosión hídrica se formaron parcelas de escurrimiento de 3 x 22 m; tres fueron establecidas en condición de barbecho continuo, sin siembra, para medir la erosión potencial y tres fueron establecidas dentro de las áreas de cultivo, y así conocer la erosión real. Los escurrimientos y sedimentos arrastrados fueron colectados en tanques metálicos para su análisis posterior (Wischmeier & Smith, 1978).

Results and discussion

Rain

The annual rainfall from 2008 to 2012 was 410.6, 330.2, 388, 236 and 239.8 mm respectively. However, if the rainfall that occurred during the growing season (the period from crop establishment to harvest), from 2008-2012, is analyzed, the measured rainfall amounts in the study site were 358, 277, 243, 196 and 166 mm respectively. A downward pattern in rainfall is observed, which is typical of the semi-arid region of north-central Mexico. Under these conditions, the challenge is to produce forage despite the decrease in rainfall and changes in its distribution.

Soil moisture

The effects of drought in years such as 2009 and 2010 could be mitigated by a production system that allows storing enough moisture to withstand the irregular rainfall distribution.

Figures 1-3 show the moisture stored in the soil between the useable moisture limits defined by field capacity (FC) and permanent wilting point (PWP) under contour lines. For the year 2008, Figure 1 shows the highest number of days with moisture above PWP throughout the cycle (and the five years studied), which may explain the higher dry matter production in that year. By contrast, from 2009-2012 the number of days above PWP decreased, even to extreme levels in 2011 (Figure 2), which had a negative impact on yield (Table 2).

Soil management using contour strip cropping and anti-erosion terraces kept the moisture in the soil despite the low rainfall. The scarcity and poor distribution of rainfall did not impede the production of corn grain and stubble, or of oats and hay. As a result, soil moisture storage was

La precipitación fue monitoreada a través de tres pluviómetros distribuidos en el área de estudio. La lluvia (mm) y los escurrimientos ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) fueron registrados en cada evento de precipitación. La erosión ($\text{g}\cdot\text{litro}^{-1}$) se estimó en el laboratorio del Campo Experimental Zacatecas, a partir de una alícuota por parcela de escurrimiento. Los sedimentos fueron separados con filtro de papel Whatman número 2, secados hasta peso constante y reportados en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ por evento. Los datos de lluvia, escurrimiento y erosión fueron acumulados por año de evaluación entre el 2008 y 2012.

Se realizó la evaluación estadística para la variable de erosión hídrica. El análisis de varianza consistió en comparar, la erosión potencial y la erosión medida en surcos al contorno (SAS, 2009). Para facilitar la comparación, los datos fueron transformados a logaritmos naturales (Giordanengo *et al.*, 2003). Asimismo, un análisis de varianza se realizó con los datos de escurrimientos.

Resultados y discusión

Lluvia

La precipitación anual del 2008 al 2012 fue de 410.6, 330.2, 388, 236 y 239.8 mm respectivamente. Sin embargo, si se analiza la precipitación ocurrida durante la estación de crecimiento (el periodo desde el establecimiento del cultivo a la cosecha), de 2008 a 2012, las precipitaciones medidas en el sitio de estudio fueron 358, 277, 243, 196 y 166 mm respectivamente. Se observa un patrón descendente en las precipitaciones, lo cual es típico de la región semiárida del centro-norte de México. Bajo estas condiciones, el reto es producir forraje a pesar de la disminución en cantidad y cambios en la distribución de la lluvia.

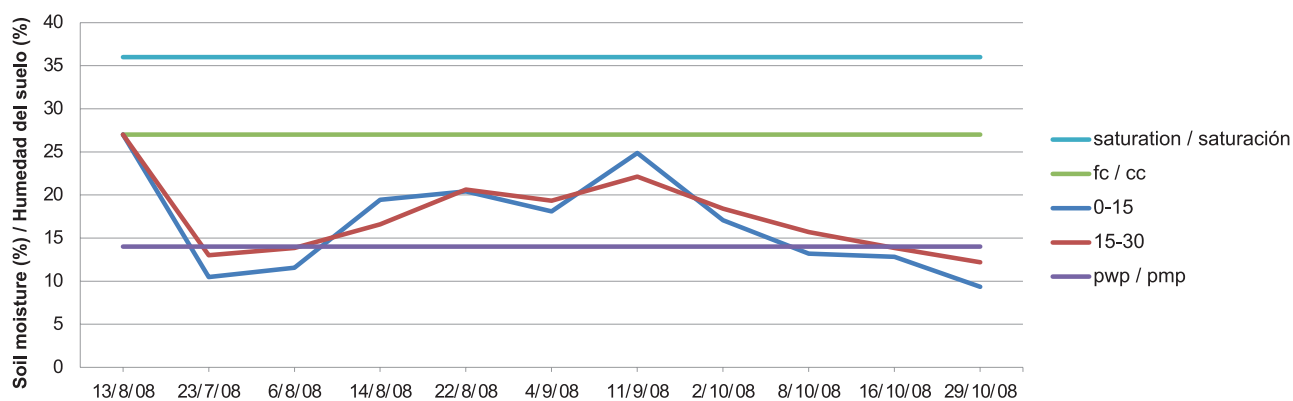


Figure 1. Soil moisture content between the limits of useable moisture in the 2008 growing season, under contours.

Figura 1. Contenido de humedad en el suelo entre los límites de humedad aprovechable en la estación de crecimiento del año 2008, bajo curvas a nivel.

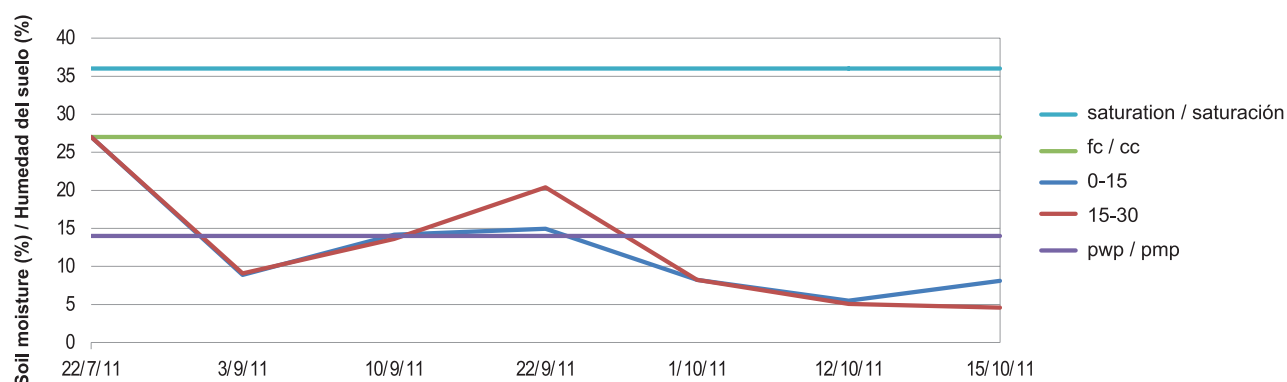


Figure 2. Soil moisture content between the limits of useable moisture in the 2011 growing season, under contours.

Figura 2. Contenido de humedad en el suelo entre los límites de humedad aprovechable en la estación de crecimiento del año 2011, bajo curvas a nivel.

23 to 35 % (based on volume) higher than that obtained under conventional soil management, which is an extra volume of water for the production of grain and forage under rainfed conditions (López *et al.*, 2008).

Water erosion and soil moisture

Associated crops that were established in the strips or contours (CSC) reduced ($P<0.05$) water erosion by more than 60 % and runoff by 65 % compared to data obtained in soil under continuous fallow (Erosion Potential; Table 1). Thus, in the year that the greatest amount of soil was

Humedad en el suelo

Los efectos de la sequía en años como 2009 y 2010 podrían ser mitigados mediante un sistema de producción que permita el almacenamiento de humedad suficiente para resistir la distribución irregular de la lluvia.

Las Figuras 1 a 3 muestran la humedad almacenada en el suelo entre los límites de humedad aprovechable definidos por la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitamiento permanente bajo curvas a nivel (PMP). Para el año de 2008, la Figura 1 muestra el mayor

Table 1. Water erosion ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$) and runoff ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$) values for a bare soil condition (potential) and contour strip cropping (CSC).

Cuadro 1. Valores de erosión hídrica ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) y escurrimiento ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) para una condición de suelo desnudo (potencial) y cultivos asociados establecidos en curvas a nivel (CCN).

Year / Año	Erosion ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$)/Erosión ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$)		Runoff ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$)/Escurrecimiento ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$)	
	Potential/Potencial	CSC/CCN	Potential/Potencial	CSC/CCN
2008	3236.5 ^a	1376 ^b	945.0 ^a	266.0 ^b
2009	1732.3 ^a	605.4 ^b	440.0 ^a	112.2 ^b
2010	1995.6 ^a	164.4 ^b	522.2 ^a	97.6 ^b
2011	6241.1 ^a	1411.0 ^b	596.8 ^a	441.2 ^b
2012	3043.3 ^a	777.3 ^b	1101.2 ^a	84.3 ^b

^{ab} for erosion and runoff, average values between columns followed by letters indicate significant difference ($P<0.05$)

^{ab} para erosión y escurrimiento, valores promedio entre columnas seguidas por literales indican diferencia estadística ($P<0.05$).

lost, erosion was on the order of 6,241 m³·ha⁻¹·yr⁻¹ for the control vs. 1,411 kg·ha⁻¹·year⁻¹ for CSC. Likewise, the largest runoff was 1,101 m³·ha⁻¹·yr⁻¹ for the control vs. 84 m³·ha⁻¹·yr⁻¹ for CSC.

Considering the increase in soil moisture storage, the proposed forage production system is a viable alternative for semi-arid conditions such as those of central Zacatecas, where the average annual rainfall is ≥ 400 mm and soils show erosion and degradation conditions due to monoculture and overgrazing.

Forage production and soil moisture

Despite the low moisture content in the soil for 2010, a yield of 3.7 t DM·ha⁻¹ was obtained, which is a typical average for rainfed corn production for a growing season with 300 mm of precipitation in Zacatecas. However, rainfed forage production is not enough to sustain a goat production system, unless perennial crops are included to cover feed deficits in dry years (Devendra, 2007).

A decrease in rainfall, even greater than that observed in 2011, occurred in 2012, when only 166 mm fell. However, in this year, the rainfall was better distributed during the growing season and thus allowed greater forage production than in 2011. This once again highlights the ability of soil management as the key technological activity to conserve moisture (Figures 2, 3) and forage production (Table 2).

Figure 2 shows the behavior of moisture content in 2011. It can be seen that the corn and oat crops were affected by the scarcity of moisture throughout the cycle. Plantings that took place on July 22 received no moisture again until September 3 (43 days later). Even so, the rains received were insufficient and an acceptable

número de días con humedad por arriba de PMP a lo largo del ciclo (y de los cinco años estudiados) lo que puede explicar mayor producción de materia seca en ese año. En cambio, de 2009 a 2012 el número de días por encima de PMP fue disminuyendo, llegando incluso a niveles extremos en 2011 (Figura 2), lo cual impactó negativamente en el rendimiento (Cuadro 2).

El manejo del suelo mediante el uso de surcado al contorno en franjas y con bordos anti-erosivos mantuvo la humedad en el suelo a pesar de la escasa precipitación. Tal condición de escasez y mala distribución de la precipitación, no impidió que se mantuviera la producción de rastrojo y grano de maíz, así como avena y forraje. Como resultado, el almacenamiento de humedad del suelo fue de 23 a 35 % (con base en el volumen) más alto que el obtenido bajo el manejo convencional del suelo, el cual es un volumen extra de agua para la producción de grano y forraje bajo condiciones de temporal (López *et al.*, 2008).

Erosión hídrica y humedad del suelo

Los cultivos asociados que se establecieron en las franjas o curvas de nivel (CCN) redujeron ($P < 0.05$) la erosión hídrica en más del 60 % y el escurrimiento en 65 %, en comparación con datos obtenidos en suelo bajo barbecho continuo (Erosión Potencial; Cuadro 1). De tal forma que en el año que más se perdió suelo fue del orden de 6,241 vs 1,411 kg·ha⁻¹·año⁻¹ testigo y CCN respectivamente. Igualmente el escurrimiento mayor fue de 1,101 vs 84 m³·ha⁻¹·año⁻¹ testigo y CCN respectivamente.

Considerando el incremento en almacenamiento de humedad de suelo, el sistema de producción de forrajes propuesto es una alternativa viable para condiciones semiáridas como la parte central de Zacatecas, en

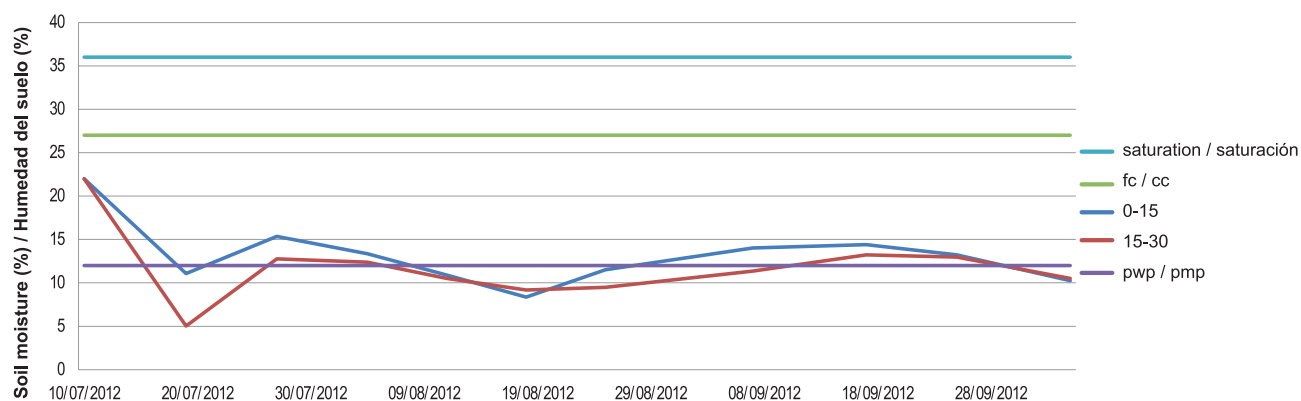


Figure 3. Soil moisture content between the limits of useable moisture in the 2012 growing season, under contours.

Figura 3. Contenido de humedad en el suelo entre los límites de humedad aprovechable en la estación de crecimiento del año 2012, bajo curvas a nivel.

Table 2. Yields of annual crops in the years from 2008 to 2012.
Cuadro 2. Rendimientos de cultivos anuales en los años de 2008 al 2012.

Associated crops / Cultivos asociados	DM (kg·ha ⁻¹)/MS (kg·ha ⁻¹)	Cultivated area (ha)/ Área cultivada (ha)
Year 2008 with 358 mm of rainfall* / Año 2008 con 358 mm de lluvia*		
Corn / Maíz	8805	4.1
Oats / Avena	4280	2.5
Barley / Cebada	5005	1.5
<i>Atriplex canescens</i>	718	1,000 plants / 1,000 plantas
Year 2009 with 277 mm of rainfall / Año 2009 con 277 mm de lluvia		
Corn / Maíz	3478	5.5
Oats / Avena	650	3.0
Barley / Cebada	753	1.5
<i>Atriplex canescens</i>	1584	1,000 plants / 1,000 plantas
Year 2010 with 243 mm of rainfall / Año 2010 con 243 mm de lluvia		
Corn / Maíz	3759	7.0
Oats / Avena	1632	3.0
<i>Atriplex canescens</i>	1592	1,000 plants / 1,000 plantas
Year 2011 with 198 mm of rainfall / Año 2011 con 198 mm de lluvia		
Corn / Maíz	1920	3.0
Oats / Avena	328	7.0
<i>Atriplex canescens</i>	1670	1,000 plants / 1,000 plantas
Year 2012 with 166 mm of rainfall / Año 2012 con 166 mm de lluvia		
Corn / Maíz	2271	6.0
Oats / Avena	Direct grazing	4.0
<i>Atriplex canescens</i>	1800	1,000 plants / 1,000 plantas

* mm of rainfall during the growing season of the annual crop.

* mm de lluvia durante la estación de crecimiento del cultivo anual.

moisture level was not reached until September 22, after which it fell and no more moisture was received in the rest of the cycle. Hence, the yields observed in Table 2 were the lowest in the period studied (1,920 kg DM·ha⁻¹ and 328 kg·ha⁻¹ of corn and oats, respectively). The amount of rainfall during the crop cycle was 198 mm, occurring from the third ten-day period of July to the second ten-day period of October. In every year the amount of dry matter produced by

donde el promedio anual de lluvia es ≥ 400 mm y los suelos presentan condiciones de erosión y degradación debido al monocultivo y sobrepastoreo.

Producción de forrajes y humedad en el suelo

A pesar del bajo contenido de humedad en el suelo para el año 2010, se obtuvo un rendimiento de 3.7 t MS·ha⁻¹, el cual es un promedio típico de producción de

corn was almost twice that of the oats and barley crops. However, the protein (CP) produced by cereals was higher (9.4 and 9.1 % CP for oats and barley, respectively) than that produced by corn (7.4% CP).

The intercropping in the evaluated production system is designed to maintain the production of green forage during the year. For this reason, fourwing saltbush (*Atriplex canescens*), which represents an option for forage production and for productive conversion, was included. It has been found that forage production ranges from 0.244 to 1.24 t·ha⁻¹ per 1,000 plants under rangeland and agricultural conditions, respectively (Echavarría et al., 2009). Yields recorded in this study were from 718 to 1,800 kg DM per 1,000 fourwing saltbush (*Atriplex canescens*) plants (Table 2).

Forage bushes and prickly pear cacti allow for a more productive system and greater environmental protection, especially in dry years. In this study, prickly pear cactus (*Opuntia* Sp) and sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) were used to reinforce the anti-erosion terraces, making it possible to explore their contribution as forage feed. In sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.), values of 5 % CP and 26.3 % DM have been reported, and in *Opuntia* Sp from 7.3 - 11.5 % DM and 3.2 % CP (Robles, 2011). On the other hand, in *Atriplex canescens* values ranging from 16-20 % CP have been reported (Romero-Paredes & Ramírez, 2003; Urrutia et al., 2007). Considering an average value of 18 % CP, 1.8 t·ha⁻¹ DM will have 324 kg CP·ha⁻¹. This production can be obtained in 1,000 plants, which, in turn, can be established in 30, 100-m terraces with plants spaced 3 m apart.

The gradual decline in annual rainfall reduced the yields of the annual crops on a proportional basis. Table 2 shows the yield differences in the five years. In 2010 and 2011, only one third of the forage obtained in 2008 was produced (Table 2). This difference suggests that rainfed crop production represents a risk, since the low availability of forage in dry years leads to rangeland grazing, to using stored forage and sometimes to buying it to meet the dry matter (DM) requirements of the goat herd (Salinas et al., 1999), as nutritional supplementation is necessary to improve reproductive function (Flores-Najera et al., 2010).

This conversion system also provides an opportunity to reduce grazing pressure on natural vegetation, considering that it has been estimated that rangeland covers about 60 % of the total feed requirements of small ruminants (Devendra et al., 2000). The more goat producers reduce extensive and continuous grazing on rangeland (overgrazing), the more the degradation of the plant cover and soil can be stopped (Devendra, 2010).

Number of goats that could be fed outside of the

maíz de temporal para una estación de crecimiento con 300 mm de precipitación en Zacatecas. Sin embargo, la producción forrajera de temporal no es suficiente para sostener un sistema de producción caprina, a menos de que se incluyan cultivos perenes para cubrir los déficits alimenticios en años secos (Devendra, 2007).

Una disminución en cantidad de lluvia, aún mayor que la observada en 2011, fue la que se presentó en 2012. Sin embargo, en este año, la mejor distribución de 166 mm obtenidos durante la estación de crecimiento, permitió una producción de forraje mayor que en 2011. Otra vez resalta la capacidad del manejo del suelo como la actividad tecnológica clave para la conservación de humedad (Figuras 2, 3) y la producción de forraje (Cuadro 2).

En la Figura 2 se muestra el comportamiento del contenido de humedad en el año 2011. Se aprecia que los cultivos de maíz y avena fueron afectados por la escasez de humedad durante todo el ciclo. Las siembras que se realizaron el 22 de julio no recibieron humedad nuevamente sino hasta el 03 de septiembre (43 días después). Aun así, las lluvias recibidas no fueron suficientes y solo se alcanzó un nivel aceptable de humedad hasta el 22 de septiembre, para después caer y no recibir más humedad en el resto del ciclo. De allí que los rendimientos observados en el Cuadro 2, fueron los más bajos del periodo estudiado (1,920 kg MS·ha⁻¹ y 328 kg·ha⁻¹ de maíz y avena, respectivamente). La suma de precipitación durante el ciclo de cultivo fue de 198 mm y comprendió de la tercera decena de julio a la segunda decena de octubre.

En todos los años se produjo casi el doble de materia seca de maíz que la producida por los cultivos de avena y cebada. Sin embargo, la proteína (PC) producida por los cereales fue más alta (9.4 y 9.1 % de PC para avena y cebada, respectivamente) que la producida por el maíz (7.4 % de PC).

La asociación de cultivos del sistema de producción evaluado está diseñada para mantener la producción de forraje verde durante el año. Por esta razón se incluyó el atriplex (*Atriplex canescens*) que representa una opción para la producción forrajera y para la reconversión productiva. Se ha encontrado que la producción de forraje va desde 0.244 a 1.24 t·ha⁻¹ por 1,000 plantas en condiciones de agostadero y agrícola, respectivamente (Echavarría et al., 2009). Los rendimientos encontrados en este estudio fueron desde 718 hasta 1,800 kg de MS por cada 1,000 plantas de atriplex (*Atriplex canescens*) (Cuadro 2).

Los arbustos y nopales forrajeros permiten un sistema más productivo y una mayor protección al ambiente, especialmente en años secos. En este estudio el

rangeland

This system is intended to feed goats outside of the rangeland during the dry season (December to May), by grazing on the bushes established and being provided the feed preserved from the rainfed forage produced in the strips. The number of goats capable of being maintained in 10 ha with the rainfed forage production of a year like 2008 (363 mm of rain), assuming consumption of 1.73 kg DM with an average of 8.6 % crude protein (CP) derived from a combination of corn silage (higher percentage), oats and barley (bundled and ground), was 174 goats for six months (17.4 goats·ha⁻¹·day⁻¹). However, in years like 2011, DM yield decreased and thus also the number of goats capable of being sustained, allowing for only 30 goats (three goats ha⁻¹·day⁻¹) in the same period of time; on average, 96 goats (9.6 goats ha⁻¹·day⁻¹) could be sustained with the production of preserved forage and grazing on the bushes in the 10 ha. Other studies have shown that weight gain in the winter months with exclusive grazing on *Atriplex canescens* is equivalent to 100 g·day⁻¹ in kids against 80 grams daily when they are fed with forages such as oats (Gutierrez *et al.*, 2014). This combined feed system can improve the condition of the goats, which will result in higher pregnancy, calving and weaning rates. Table 3 shows the values obtained for prolificacy (1.65), fertility (66 %), mortality (10 %) and procreation (92.4 %) for the herd under study in the last assessment year (2012), which are acceptable for a period of drought, if compared to values found for

Table 3. Reproductive indicators obtained under rainfed conditions

Cuadro 3. Indicadores reproductivos manejados bajo condiciones de temporal

Herd/Hato	Mixed system (fodder/ grazing)/Sistema mixto (forraje/pastoreo)
prolificacy ¹ /prolificidad ¹	1.65
fertility ² /fertilidad ²	66 %
mortality ³ /mortalidad ³	10 %
procreation ⁴ /procreo ⁴	92.4 %

¹ offspring/calving female; ² gestating females/exposed females;

³ dead adult females/living females at the outset

⁴ (fertility rate-mortality rate)*(prolificacy rate)

¹ crías/hembra parida; ² hembras gestantes/hembra expuestas;

³ hembras adultas muertas/hembras vivas al inicio

⁴ (tasa fertilidad-tasa de mortalidad)*(tasa de prolificidad)

nopal (*Opuntia* sp) y sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) se utilizaron para reforzar los bordos anti-erosivos, pudiendo explorarse su contribución como alimento forrajero. En sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) se han reportado valores de 5 % de PC y 26.3 % de MS, y en *Opuntia* sp de 7.3 - 11.5 % de MS y 3.2 % de PC (Robles, 2011). Por otra parte en *Atriplex canescens* se han reportado valores que fluctúan desde 16 a 20 % de PC (Romero-Paredes & Ramírez, 2003; Urrutia *et al.*, 2007). Considerando un valor promedio de 18 % de PC, en 1.8 t·ha⁻¹ de MS se tendrán 324 kg PC·ha⁻¹. Dicha producción puede obtenerse en 1,000 plantas, las cuales a su vez, se pueden establecer en 30 bordos de 100 m con una separación de 3 m entre plantas.

La caída paulatina de la precipitación anual redujo los rendimientos de los cultivos anuales de manera proporcional. El Cuadro 2 muestra las diferencias de rendimiento entre los cinco años. En los años 2010 y 2011 del estudio solo se produjo un tercio del forraje obtenido en 2008 (Cuadro 2). Esta diferencia sugiere que la producción de cultivos de temporal representa un riesgo, por lo que la baja disponibilidad de forraje en años secos conduce al pastoreo de los agostaderos, a disponer de lo almacenado y en ocasiones a comprar forrajes para completar los requerimientos de materia seca (MS) del hato de cabras (Salinas *et al.*, 1999). Ya que la suplementación nutricional es necesaria para mejorar la función reproductiva (Flores-Najera *et al.*, 2010).

Este sistema de reconversión también provee una oportunidad para reducir la presión de pastoreo de la vegetación natural, considerando que ha sido estimado que el agostadero cubre alrededor del 60 % del total de los requerimientos de forraje de los pequeños rumiantes (Devendra *et al.*, 2000). Mientras más caprinocultores reduzcan el pastoreo extensivo y continuo del agostadero (sobrepastoreo), la degradación de la cubierta vegetal y de suelo podrá ser detenida (Devendra, 2010).

Número de cabras susceptibles de alimentarse fuera del agostadero

Con este sistema se pretende alimentar a las cabras fuera del agostadero durante la época de estiaje (diciembre-mayo), pastoreando las arbustivas establecidas y suministrando el forraje conservado, de forrajes de temporal producido en las franjas. El número de cabras susceptible de ser mantenido en 10 ha con la producción forrajera de temporal de un año como 2008 (363 mm de lluvia) asumiendo un consumo de 1.73 kg de MS con un promedio de 8.6 % de proteína cruda (PC) que provienen de una combinación de maíz ensilado (mayor porcentaje), avena y cebada (empacadas y molidas) fue de 174 cabras durante seis meses (17.4 cabras·ha⁻¹·día⁻¹). Sin embargo, en años como 2011, el rendimiento de MS disminuyó y así también el número de cabras capaces

prolificacy (1.0), fertility (65 %) and mortality (26.7 %) in similar production systems (Echavarría et al., 1992; Mellado, 2008).

The foregoing indicates the need to maintain mixed farming systems, which consist of the combined use of rangeland and forage production. Thus, in years of higher forage production, the product is stored and rangeland grazing is reduced, thereby diminishing the pressure on the land and allowing its recovery.

The contribution of endemic forage bushes in Mexico's arid and semi-arid regions represents an opportunity to help reduce the difficulty of producing forage with higher protein content. The options include bushes like "engordacabra" (*Dalea bicolor*), "mariola" (*Parthenium incanum* Kunt), prickly pear cacti (*Opuntia* spp), and fourwing saltbush (*Atriplex canescens*).

Conclusions

Rainfed forage production associated with mixed grazing is an option for productive conversion in the state of Zacatecas. The feed base is forage production from annual crops such as corn and cereals (oats, barley), established in contour strips, limited by anti-erosion terraces where brush (fourwing saltbush, prickly pear cactus or sotols), which acts as a living wall and protects against erosion, is established. Moreover, the use of contour strips, compared with traditional management, allowed an increase in annual moisture storage of 23 to 35 %, representing approximately 2,516 m³·ha⁻¹ of additional water. The water erosion values in the alternative system tested were 50 % lower than the potential values. The estimated number of goats that could be sustained for six months of drought exclusively with the forage produced by the described system ranged from 30-174; the evaluation was conducted over a period of five years.

End of English Version

References / Referencias

- AOAC. 1990. Methods of Analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C. 1213 pp.
- Arechiga, C. F.; Aguilera, J. I.; Rincón, R. M.; Méndez de Lara, S.; Bañuelos, V. R.; Meza-Herrera, C. A. (2008). Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 9,1-14.
- Devendra, C.; Thomas, D.; Jabbar, M. A.; Zebini, E. 2000. Improvement of livestock production in crop-animal systems in agro-ecological zones of South Asia. International Livestock Research Institute, Nairobi,
- de ser sostenidas logrando apenas 30 cabras (3 cabras ha⁻¹·día⁻¹) en el mismo periodo de tiempo, en promedio se pudo sostener 96 cabras (9.6 cabras ha⁻¹·día⁻¹) con la producción de forrajes conservados y pastoreo de las arbustivas de las 10 ha. En otros estudios se ha demostrado que la ganancia de peso en los meses de invierno con pastoreo exclusivo de *Atriplex canescens* tiene un incremento de peso de 100 g·día⁻¹ en cabritos contra 80 gramos diarios cuando son alimentados con forrajes como avena (Gutiérrez et al., 2014). Este sistema de alimentación combinado puede mejorar la condición de las cabras, lo que repercutirá en mayores tasas de gestación, parición y destete. En el Cuadro 3, se presentan los valores obtenidos de prolificidad (1.65), fertilidad (66 %), mortalidad (10 %) y procreo (92.4 %) para el rebaño en estudio en el último año (2012) de evaluación. Los cuales son aceptables para un periodo de sequía, si se comparan con valores encontrados de prolificidad (1.0), fertilidad (65 %) y mortalidad (26.7 %) en sistemas de producción similares (Echavarría et al., 1992; Mellado, 2008).
- Lo anterior indica la necesidad de mantener sistemas de producción mixtos, que son el uso combinado del agostadero y la producción forrajera. De esta forma, en años de mayor productividad forrajera, se almacena el producto y se reduce el pastoreo del agostadero, reduciendo la presión y permitiendo su recuperación.
- La aportación de arbustos forrajeros endémicos de las regiones áridas y semiáridas del país, representa una oportunidad que contribuye a disminuir la dificultad de producción de forrajes con mayor contenido de proteína. Las opciones se encuentran en arbustos como la "engordacabra" (*Dalea bicolor*), "mariola" (*Parthenium incanum* Kunt), "cactaceas" (*Opuntia* spp), y el atriplex (*Atriplex canescens*).

Conclusiones

La producción de forrajes de temporal asociada al pastoreo mixto, es una opción para la reconversión productiva en el estado de Zacatecas. La base alimenticia es la producción de forraje de cultivos anuales, como maíz y cereales (avena, cebada), establecidos en franjas a nivel, limitados por bordos anti-erosivos en donde se establecen matorrales (atriplex, nopales o sotoles), que actúan como muros vivos, y protegen contra la erosión. Además el uso de franjas a nivel, comparado con el manejo tradicional, permitió un incremento en almacenamiento de humedad anual de un 23 a 35 %, lo que representó aproximadamente 2,516 m³·ha⁻¹ de agua adicional. Los valores de erosión hídrica en el sistema alternativo probado fueron 50 % menores que los potenciales. El número de cabras estimado que pudieran sostenerse por seis meses de estiaje exclusivamente con el producto forrajero del sistema

- Kenia, 108 pp.
- Devendra, C. 2007. Goats: biology, production and development in Asia. Academy of Sciences Malaysia, 246 pp.
- Devendra, C. 2010. Concluding synthesis and the future for sustainable goat production. *Small Ruminants Research*, 89, 125-130.
- Echavarría, Ch., F. G.; Salinas-G, H.; Falcón-R., A.; Flores-R., R.T.; Rubio-A., F. A. 1992. Evaluación intermedia del impacto de la intervención tecnológica en unidades agropecuarias. *Turrialba*, 42, 73-78.
- Echavarría, Ch., F. G.; Gutiérrez, R., H., F. G.; Ledezma, R. I.; Bañuelos, V. R.; Aguilera, J. I.; Serna, A. 2006. Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido Zacatecano: I Vegetación nativa. *Técnica Pecuaria México*, 44, 203-217.
- Echavarría, C., F. G.; Serna P., A.; Rubio A., F. A.; Rumayor R., A. F.; Salinas G., H. 2009. Productividad del chamizo *Atriplex canescens* con fines de reconversión: dos casos de estudio. *Técnica Pecuaria México*, 47, 93-106.
- Echavarría-Chairez, F. G.; Serna-Pérez, A.; Salinas-González, H.; Iniguez, L.; Palacios-Díaz, M. P. 2010. Small ruminant impacts on rangelands of semiarid highlands of Mexico and the reconverting by grazing systems. *Small Ruminants Research*, 89, 211-217.
- Echavarría-Chairez, F. G.; Iniguez, L.; Salinas-G. H.; Flores, M. J.; Serna, P. A.; Meza-Herrera, C. A. 2011. Hacia un enfoque de investigación participativa para mejorar los sistemas de producción de caprinos en regiones semiáridas de México: Una caracterización socioeconómica y ecológica. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27, 131-146.
- Escareño, L.; Salinas-González, H.; Wurzinger, M.; Iniguez, L.; Solkner, J.; Meza-Herrera, C. 2013. Dairy goat production system. Status quo, perspectives and challenges. *Trop. Anim. Health Prod.* 45, 17-34.
- Flores-Najera, M. J.; Meza-Herrera, C. A.; Echavarría, F. G.; Villagomez, E.; Iniguez, L.; Salinas, H.; González-Bulnes, A. 2010. Influence of nutritional and socio-sexual cues upon reproductive efficiency of goats exposed to the male effect under extensive conditions. *Animal Production Science*, 50, 897-901.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 1999. Oportunidades de desarrollo de la industria de la leche y carne de cabra en México. Banco Nacional de México. México, D.F., Boletín informativo 213. 109 pp.
- Giordanengo, J. H.; Frasier, G. W.; Trlica, M. J. 2003. Hydrologic and sediment responses to vegetation and soil disturbances. *Journal of Range Management*, 56, 152-158.
- Gutiérrez L., R.; Velásquez V., M. A.; Vélez I., A.; Flores N., M. J.; Rodríguez T., D. 2014. Producción de caprinos en bancos de proteína de chamizo (*Atriplex canescens*) en Zacatecas, México. Folleto Técnico N° 58. CEZAC-CIRNOC-INIFAP.
- López, S. E.; Tosquy, O. H.; Ugalde, F. J.; Acosta, J. A. 2008. Rendimiento y tolerancia a sequía de genotipos de frijol negro en el estado de Veracruz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31, 35-39.
- descripto fluctuó de 30 a 174, la evaluación se realizó en un periodo de cinco años.

Fin de la versión en español

- Mellado, M. 2008. Técnicas para el manejo reproductivo de las cabras en agostadero. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 9, 47-63.
- NRC. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids. Natl. Acad. Press., Washington, D.C. 384 pp.
- Romero-Paredes, J. I.; Ramírez, L. R. G. 2003. *Artiplex canescens* (Purch, Nutt), como fuente de alimento para las zonas áridas. *Ciencia UANL*, 6, 85-92.
- Robles E., A. 2011. *Distribución, densidad, factores ecológicos y valor forrajero del sotol (Dasylirion cedrosanum Trel.) en el noreste de Zacatecas, México*. Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Doctorado en Ciencias Pecuarias. El Cordovel, Enrique Estrada, Zacatecas.
- Salinas, H.; Ávila, J. L.; Falcón, A.; Flores, R. 1991. Factores limitantes en el sistema de producción de caprinos en Zacatecas, México. *Turrialba*, 41, 47-52.
- Salinas G., H.; Ramírez, R. G.; Rumayor, A. 1999. A Whole-Farm Model for Economic Analysis in a Goat Production System in Mexico. *Small Ruminant Research* 31, 157-164.
- Salinas-González., H.; Echavarría, F. G.; Flores-Najera, M. J.; Flores-Ortiz, M. A.; Gutiérrez, R.; Rumayor, A.; Meza-Herrera, C. A.; Pastor, F. 2011. Evaluación participativa de tecnologías en caprinos en el semiárido del norte centro de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27, 225-234.
- SAS Institute Inc. 2009. SAS OnlineDoc® 9.2. Cary, NC
- Serna, P. A.; Echavarría, C. F. G. 2002. Caracterización hidrológica de un agostadero comunal excluido al pastoreo en Zacatecas, México. I. Pérdidas de Suelo. *Técnica Pecuaria México* 40, 37-53.
- Urrutia M. J.; Díaz G. M. O.; Gámez, V. H.; Rivera, L. T.; Beltrán, L. S.; Luna, V. J. 2007. Utilización de chamizo (*Atriplex canescens*) y nopal (*opuntia ficus indica*) como principales alimentos para producción de leche caprina en la estación de estiaje. In Memorias del V Congreso de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos, Mendoza, Argentina. 3 pp.
- WRB, IUSS Working group. 2006. World reference base for soil resources. 2nd edition. World soil resources reports No. 103. FAO, Rome, Italy. 107 pp.
- Wischmeier W. H.; Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA, Agric., Handbook 537, U.S. Government Printing Office. Washington, D.C. USA. 58 pp.