



## HACIA UN ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN PARTICIPATIVA PARA MEJORAR LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAPRINOS EN REGIONES SEMIÁRIDAS DE MÉXICO: UNA CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y ECOLÓGICA

### TOWARDS A PARTICIPATORY RESEARCH APPROACH TO IMPROVE GOATS PRODUCTION SYSTEMS IN SEMI ARID MEXICO: SOCIOECONOMIC AND ECOLOGICAL

Francisco G. Echavarría-Chairez<sup>1</sup>; Luis Iñiguez<sup>2</sup>; Homero Salinas-González<sup>3</sup>; Manuel de J. Flores-Najera<sup>1</sup>; Aden Aw-Hassan<sup>2</sup>; Alfonso Serna-Pérez<sup>1</sup>; César A. Meza-Herrera<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Zacatecas, Apartado Postal 18, Calera, Zacatecas, C. P. 98500 MÉXICO.

<sup>2</sup>International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), PO Box 5466, Aleppo, Syria

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-La Laguna, Apartado Postal 247, Matamoros, Coahuila, C. P. 27440. MÉXICO. Correo-e: salinas.homero@inifap.gob.mx (\*Autor para correspondencia)

<sup>4</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango. C. P. 35230 MÉXICO.

#### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue identificar opciones que permitan mejorar la productividad caprina en una microcuenca con dos poblados en las regiones áridas del norte mexicano. El estudio se realizó durante los años 2004 al 2007 y se basó en el enfoque de sistemas de producción. Se evaluaron aspectos socioeconómicos y ecológicos al nivel de macrosistema para identificar diferencias socioeconómicas y con posibles opciones generadoras de ingresos, y determinar la idoneidad del área para producir cabras e identificar tierras bajo cultivo que pudieran reconvertirse en tierras de pastoreo. Además, en el estudio se midió la erosión hídrica y se evaluaron los cambios en la calidad de la vegetación en las tierras de pastoreo para identificar las intervenciones adecuadas en el manejo del suelo. Un aspecto diferenciador fue la escasa participación femenina en las actividades económicas del municipio, lo que dio lugar a que se recomendara investigar las opciones generadoras de ingresos para la mujer (i.e., procesar la leche y así obtener quesos que son demandados). Las 4,914 ha de la microcuenca fueron clasificadas como adecuadas para los sistemas de producción caprina, pero se detectaron necesidades tecnológicas para mejorarlas. Los análisis de erosión hídrica y degradación del suelo identificaron 807 ha que requieren ser reconvertidas de uso agrícola a campos de pastoreo y 208 ha de pastoreo a campos para vegetación nativa. Los resultados relacionados con la disponibilidad y calidad de la vegetación nativa a lo largo del año definieron consideraciones principales para el suplemento alimenticio con energía y proteínas, en particular durante la estación seca.

#### ABSTRACT

The objective of this study was to identify research options which may lead to the improvement of goat productivity in a microwatershed involving two villages in the dry areas of northern Mexico. The study was carried out during 2004-2007 and was based on the systems theory. Socioeconomic and ecological aspects were evaluated at the macro-system level to identify socioeconomic differences and possible income generation options, to determine suitability of the area for goat production and to identify cropland areas to be reconverted to range production. In addition, the study assessed water erosion occurrence, evaluation of range vegetation and grazing quality changes to identify appropriate land management interventions. Poor participation of women in economic activities at the municipality level was a differentiating aspect that prompted recommendations for exploring gender-sensitive income-generation options (i.e. milk processing into highly demanded cheese). The microwatershed's 4914 ha of land were categorized as suitable for goat production systems, however in need of improvement interventions: results from water erosion and land degradation analysis identified 807 ha to be reconverted from agricultural uses to range and 208 ha from range use to native vegetation. The results concerning native vegetation availability and quality across the year defined major considerations for appropriate protein and energy feeding in particular during the dry season.

Recibido: 29 de septiembre, 2010  
Aceptado: 23 de octubre, 2010  
doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.09.084  
www.chapingo.mex./revistas

**PALABRAS CLAVE:** Microcuenca, modelo del sistema, pequeños rumiantes, degradación del suelo, identificación de restricciones.

**KEY WORDS:** Microwatershed, model system, small ruminants, soil degradation, constraint identification.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas mixtos de producción de cultivos y cabras son una fuente importante de alimentos e ingresos en las áreas semiáridas del territorio nacional. Se estima que casi 300,000 hogares dependen de la producción de cabras (Meza-Herrera, 1987; FIRA, 1999). Los sistemas de producción mixtos ovejeros son segundos en importancia, solamente detrás de la generación de cultivos y cabras, y su relevancia va en aumento en México. La cría de rumiantes pequeños en estas áreas está restringida por la escasez de agua (Salinas, *et al.*, 1999). Esto conlleva a la baja producción, por prácticas inadecuadas, en los cultivos y a una insuficiencia en el forraje; además, prevalece la pobre administración en la salud de los animales, y el acceso limitado a las crecientes oportunidades en el mercado (Meza-Herrera, 1987; Salinas, *et al.*, 1991; Gutiérrez y García, 1998). Los componentes del sistema pecuario dependen en gran parte del pastoreo sin restricciones en los campos comunitarios, lo que conduce a la extinción de las áreas respectivas y a la degradación del suelo. Aproximadamente el 50 % de los campos de pastoreo han sido excesivamente apacentados en el pasado (Meza-Herrera, 1987; Esparza, 1988).

Investigaciones anteriores que han intentado resolver el problema permanente del escaso forraje, han propuesto opciones para suplementar la alimentación de los rebaños en las temporadas de secas, mejoras a los sistemas de pastoreo, y mejoras al manejo, a la salud y a la reproducción de los rebaños (Salinas, *et al.*, 1994). Sin embargo, estas opciones fueron formuladas sin considerar el contexto de la producción y sin integrar importantes aspectos de la cadena productiva, tales como la comercialización y el procesamiento para obtener productos con valor agregado. La no integración de estos factores, y la poca consideración a las políticas, tuvo como resultado una baja aceptación de las opciones recomendadas para incrementar la productividad y también una mínima mejora tecnológica (Salinas, *et al.*, 1999).

Consecuentemente, en 2003, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el Centro Internacional para la Investigación Agrícola en Áreas Áridas (ICARDA), implementaron un proyecto de investigación orientado al mercado para mejorar los sistemas de producción de rumiantes pequeños en las zonas áridas del país. Se utilizaron métodos participativos para evaluar las demandas de los productores y las restricciones en la producción; así como para emprender acciones tecnológicas con el fin de reducir estas restricciones y organizar a los productores para obtener un mejor acceso a los mercados y un incremento en sus ingresos. Antes del trabajo participativo con los productores, se dieron algunos pasos

## INTRODUCTION

Mixed crop-goat production systems are an important source of food and income in the arid and semiarid areas of Mexico; it is estimated that the livelihoods of nearly 300,000 householders rely on goat production (Meza-Herrera, 1987; FIRA, 1999). Crop–sheep production systems are second in importance, after crop–goat production systems, and their relevance is increasing in Mexico. Small ruminant production in these areas is restricted by water scarcity (Salinas, *et al.*, 1999). This leads to low crop yields and insufficient feed; in addition, inappropriate production practices, poor animal-health management, and limited access to expanding market opportunities prevail (Meza-Herrera, 1987; Salinas, *et al.*, 1991; Gutiérrez and García, 1998). The systems' livestock components largely rely on unrestricted range-grazing on communal land, which leads to overgrazing and land degradation. Approximately 50 % of the range has been heavily overgrazed in the past (Meza-Herrera, 1987; Esparza, 1988).

Past research efforts to solve the ongoing feed-scarcity problem have proposed options for dry season flock supplementation, improved grazing systems, and improved flock management, health and reproduction (Salinas, *et al.*, 1994). However, these options were formulated without considering the production context and integrating important aspects of the production chain, such as marketing and processing into value-added products. The lack of integration of these factors, and little consideration of policies, was reflected in low adoption of the productivity-enhancing options and minimal technology change (Salinas, *et al.*, 1999).

Therefore, in 2003, the National Institute for Agriculture, Forestry and Livestock Research (INIFAP) and the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) implemented a market-oriented research project geared at improving small ruminant production systems in the dry areas of Mexico. Participatory methods were used to assess farmers' demands and production constraints, as well as to implement technological actions to reduce these constraints and to organize farmers for better access to markets and improved incomes. Prior to the participatory work with farmers, preliminary steps were conducted based on socioeconomic and ecological information collected to facilitate the understanding of the problematic affecting the area of study and main constraints, and to orient in the identification of technological interventions.

This paper describes the preliminary steps followed in this research approach, using a model based on the systems theory, that include several studies at the macro-level that led to a better understanding and identification of the constraints that limit the economic

preliminares con base en los datos socioeconómicos y ecológicos recolectados para facilitar la comprensión de la problemática que afectaba al área objeto de la investigación, e identificar las restricciones principales y las intervenciones tecnológicas necesarias.

Esta contribución describe los pasos preliminares seguidos en esta investigación, donde se utilizó un modelo basado en la teoría de sistemas que incluía varios estudios al nivel macro, los cuales condujeron a una mejor comprensión e identificación de las restricciones que limitan la actividad económica al nivel poblado y la productividad en los sistemas de cabras y ovejas. Esta metodología también facilitó la identificación de rumbos principales para investigaciones posteriores basadas en la adaptación y en la comunidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### El área de estudio

El estudio se llevó a cabo en una microcuenca principal en el municipio de Pánuco, en el estado de Zacatecas, México (23°05'36"– 22°50'40" N y 102°19'54"– 102°39'51" O). Dicho municipio tiene una superficie de 555.36 km<sup>2</sup>, con una población de 13,985 habitantes (INEGI, 2004) y 71 poblados, incluyendo Pánuco y Casa de Cerros (ambos en la microcuenca principal). El área de Pánuco incluye un ejido de 4,914 ha, 2,444 de las cuales están dedicadas a la agricultura y 2,470 son utilizadas en pastoreo o agostadero.

El paisaje en el área varía desde laderas escarpadas (2,400 m de altura) en el sur hasta praderas onduladas (2,125 m de altura) en el noroeste. Los suelos Leptosoles cubren el 91.5 % de los campos para pastar y el 36 % de las áreas de cultivos, mientras que los suelos Calcisoles cubren más del 54 % de las áreas agrícolas y el 8.5 % de los campos para pastar. Los suelos Kastanozem (WRB, 2006) ocupan únicamente el 4.4 % del área, y sólo se encuentran en la zona agrícola del noreste. El clima es clasificado como árido subtropical templado (Medina, *et al.*, 1998), con 400 mm de lluvia promedio anual.

En la vegetación predominan el pasto, los nopales y arbustos espinosos (COTECOCA, 1980). Los pastos incluyen *Bouteloua curtipendula* var. *tenius* (Gould y Kapadia), *B. gracilis* (HBK Lag), *Aristida* spp., *Lycurus phleoides* (HBK), y en nopales figuran la *Opuntia leucotricha* (D.C.), *O. streptocantha* (Lem.), *O. rastrera* (Weber), *O. hyptiacantha* (Weber), *O. megacantha* (Salm-Dick) y *O. pachona* (Griffiths). La vegetación arbustiva espinosa incluye arbustos y anuales como *Acacia farnesiana* (L. Willd.), *Prosopis laevigata* (Willd.) M.C. Johnston, *Mimosa biuncifera* (Benth.) y *Dalea bicolor* (Humb. & Bonpl. ex Willd.).

activity at the village level and the productivity of goat and sheep systems. This methodology also facilitated the identification of major directions for adaptive and community-based research to follow.

## MATERIALS AND METHODS

### The study area

The study was carried out in a main micro watershed in the Panuco Municipality, Zacatecas State, Mexico (23° 05' 36"– 22° 50' 40" N and 102° 19' 54"– 102° 39' 51" W). The Panuco Municipality is 555.36 km<sup>2</sup> in size, containing a population of 13,985 (INEGI, 2004) and 71 villages, including Panuco and Casa de Cerros (both in the main micro watershed). Panuco area includes a 4,914-ha ejido, in this ejido, 2,444 ha are dedicated to agriculture and 2,470 ha to range grazing.

The landscape in the area varies from steep slopes (2,400 masl) in the south to rolling planes (2,125 masl) in the northwest. Leptosols cover 91.5 % of the rangeland and 36 % of the agricultural area, whereas Calcisols cover 54 % of the agricultural area and 8.5 % of the range. Kastanozem soils (WRB, 2006) account for only 4.4 % of the area, and are found in the northeast agricultural zone. Climate is classified as arid subtropical temperate (Medina *et al.*, 1998) with 400 mm average annual rainfall.

The vegetation includes predominantly grasses, wild cacti and thorny shrubs (COTECOCA, 1980). Grasses include *Bouteloua curtipendula* var. *tenius* (Gould and Kapadia), *B. gracilis* (HBK Lag), *Aristida* spp., *Lycurus phleoides* (HBK), and wild cacti include *Opuntia leucotricha* (D.C.), *O. streptocantha* (Lem.), *O. rastrera* (Weber), *O. hyptiacantha* (Weber), *O. megacantha* (Salm-Dick), and *O. pachona* (Griffiths). The thorny bush vegetation includes bushes and annuals such as *Acacia farnesiana* (L. Willd.), *Prosopis laevigata* (Willd.) M.C. Johnston, *Mimosa biuncifera* (Benth.) and *Dalea bicolor* (Humb. & Bonpl. ex Willd.).

### System model

To identify system constraints for agriculture and livestock production, a conceptual model of three levels (macro-system, system and subsystem) and two environments (ecological and socioeconomic) was used. The connection between environments and levels allows explanation of whether the problem resides in the farmer's production environment (socioeconomic environment) or the plant or animal environment (ecological environment) (Villareal and Byerly, 1984). Only information on the macro-system level is presented in this paper.

While the macro-level scales used in the study vary from large-scale (municipality) to minor-scale (ejido and village), the emphasis was on information about constrains

## Modelo del Sistema

Para identificar las restricciones del sistema para la producción agrícola y pecuaria, se utilizó un modelo conceptual de tres niveles (macrosistema, sistema y subsistema) y dos entornos (ecológico y socioeconómico). La conexión entre los entornos y los niveles permite explicar si el problema reside en el entorno profesional del productor (entorno socioeconómico) o en el entorno vegetal o animal (entorno ecológico) (Villarreal y Byerly, 1984). En esta contribución solamente se presenta información del nivel macrosistema.

Aunque las escalas al macronivel utilizadas en este estudio varían desde una escala mayor (municipio) hasta una menor (ejido y poblado), el énfasis se centró en obtener información relacionada con las restricciones en la escala de microcuenca. Se utilizó información secundaria, como el censo poblacional de 2010, para identificar los principales aspectos socioeconómicos en los municipios donde viven los productores. También se usó información secundaria en aspectos agroecológicos, la cual se complementó con estudios específicos sobre los campos de pastoreo y las áreas de cultivos en el ejido Pánuco, para determinar restricciones y demandas principales que serían comentadas por los investigadores y los productores mientras se planeaban las intervenciones tecnológicas necesarias.

## Entorno apropiado para la producción de cabras

Para determinar qué tan apropiado es el entorno en cuanto a la producción de cabras con base en la capacidad de la tierra para asegurar la disponibilidad de forraje y suplir los requerimientos nutricionales de esta especie, se llevó a cabo un estudio inicial basado en el uso de sistemas de información geográfica (GIS). Como parte de este trabajo, se determinó la densidad caprina en el municipio dividiendo la cantidad de animales (SAGARPA, 2004) entre el área de la superficie del municipio. Posteriormente, se expuso en un mapa la disponibilidad forrajera, tomando en cuenta que las cabras pastan en diferentes agostaderos y consumen diferente vegetación nativa durante el año, y que frecuentemente se alimentan del rastrojo en los campos agrícolas durante la temporada de secas. Esto ayudó a definir categorías que abarcan las concentraciones poblacionales de cabras conforme al potencial del suelo y la vegetación para producir alimento. En mapas se utilizaron datos sobre la vegetación nativa obtenidos del Inventario Nacional de Bosques (UNAM, 1993), junto con imágenes de las áreas dedicadas a la agricultura (de temporal y regadío), y pastizales consistentes en matorrales y pastos. Los diferentes mapas (densidad de la población caprina, tipos de vegetación y áreas agrícolas) fueron sobrepuestos utilizando el programa GIS IDRISI (Eastman, 1995).

ints at the microwatershed-scale. Secondary information, as 2010 Mexican census, was used to identify major socioeconomic aspects in the municipalities where farmers live. Secondary information on agroecological aspects complemented by specific studies on the range and crop areas in the Panuco ejido, was also used to determine main constraints and directions for researchers and farmers to discuss while planning due interventions.

## Environmental suitability for goat production

To determine the environmental suitability for goat production, in terms of the capacity of the land to ensure forage availability and fulfill the nutritional requirements of this species, an initial study was conducted, supported by the use of geographical information systems (GIS). As part of this work, the density of goats in a municipality was obtained by dividing the number of goats (SAGARPA, 2004) by the municipality's surface area. Subsequently, the availability of forage was mapped, taking into account the fact that goats graze different types of ranges and native vegetation during the year and often graze stubbles in agricultural fields during the dry season. This helped to define categories encompassing goat population concentrations in accordance to vegetation and land potentials for feed production. The mapping used data on native vegetation from the National Forest Inventory (UNAM, 1993), and images from the areas dedicated to agriculture (rainfed and irrigated), and rangeland consisting of shrubs and grasses. The different maps (on goat population density, vegetation type, and agriculture land) were then overlaid using the GIS program IDRISI (Eastman, 1995). The final product was a map that showed a site classification that reflected areas with different forage availability to supply feed for goats. This study covers all of Zacatecas State and its results are applicable at municipality level.

## Areas to be reconverted to range use

A second study at the ejido level concerned the identification of land susceptible to degradation, which would benefit from being converted from agricultural land back to range use (Echavarría, *et al.*, 2004). This study considered soil, vegetation and hydrology. Thirty composite soil samples were collected around the ejido limits to assess two main indicators: organic matter (OM) content and percentage of soil particles > 2 mm in diameter, as the maximum soil particle size defined by the USDA (Soil Survey Staff, 1951), according to soil units (WRB, 2006) and landforms. A geostatistical analysis then followed, in order to produce several maps by means of interpolation with Kriging (Isaaks and Srivastava, 1989). The soil indicator information was combined, and the Leptosol unit, a low productivity soil unit only suitable for grazing, was superimposed to the interpolated maps; a final map was then obtained using GIS (Eastman, 1995). The resulting map is a classification of the land susceptible to degra-



El producto final fue un mapa que mostraba una clasificación de sitios que representaban áreas con diferente disponibilidad de forrajes para proveer alimento a cabras. Este estudio abarca todo el estado de Zacatecas, y sus resultados son aplicables a nivel municipio.

### Áreas que se reconvertirán para ser usadas como pastizales

Se llevó a cabo un segundo estudio a nivel ejido para identificar la tierra agrícola susceptible a degradación, la cual sería beneficiada al ser convertida otra vez en tierra para pastizales (Echavarría, *et al.*, 2004). Este estudio tomó en cuenta los suelos, la vegetación y el agua. Se recolectaron treinta muestras compuestas de suelo alrededor del ejido para evaluar dos indicadores principales: contenido de materia orgánica (MO) y porcentaje de partículas de tierra con diámetro > 2 mm, como el tamaño máximo de partícula definido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, Soil Survey Staff, 1951), conforme a las unidades de suelo (WRB, 2006) y los relieves. Posteriormente se realizó análisis geoestadístico, para trazar varios mapas utilizando la interpolación de Kriging (Isaaks y Srivastava, 1989). Se combinó la información del indicador de suelos y la unidad Leptosol, una unidad de suelo con baja productividad y adecuada únicamente para pastar; luego, al ser sobrepuesta a los mapas interpolados, se obtuvo uno final utilizando el sistema de información geográfica GIS (Eastman, 1995). El mapa resultante es una clasificación de la tierra susceptible a degradación, la cual puede reconvertirse en tierra de pastizales. Este mapa tiene aplicación únicamente al nivel ejido.

### Evaluación de la erosión hídrica

Un tercer estudio, también realizado al nivel ejido, monitoreó la erosión hídrica bajo dos densidades de vegetación nativa: i) densidad alta, principalmente nopal silvestre, y ii) densidad media, principalmente arbustos espinosos; asimismo, se hizo lo propio con dos sistemas de pastizales: i) pastizales de uso continuo y sin restricciones, y ii) pastizal rotacional (Echavarría *et al.*, 2007). Para los pastizales con pastoreo rotacional, el área (53.9 ha) fue dividida en cuatro partes –de 12.2, 11.4, 11.5, y 18.8 ha–, a las cuales se les asignaron cuatro tratamientos de pastoreo por estaciones. Animales que integraban un grupo de 250 cabras y ovejas fueron apacentados durante un mes en cada tratamiento de pastizal por estación, desde el invierno hasta el otoño. Para el pastizal de uso continuo, un área adjunta de 100 ha fue apacentada continuamente por 200 a 300 cabras y ovejas siguiendo el pastoreo tradicional de la región. El estudio de la erosión hídrica se hizo utilizando lotes de escurrimiento de 22 x 3 m (Wischmeier y Smith, 1978) ubicados en diversas condiciones en los pastizales durante 2004–2005. Un lote de escurrimiento adicio-

tion, which could be reconverted to rangelands. This map applies only at the ejido level.

### Water erosion assessment

A third study, also conducted at the ejido level, monitored water erosion under two native-vegetation densities: i). high density, mainly wild cacti, and ii). medium density, mainly thorny shrubs, as well as two grazing systems: i). continuous and unrestricted grazing, and ii). rotational grazing (Echavarría *et al.*, 2007). For rotational grazing, the study area (53.9 ha) was divided into four pastures consisting each of 12.2, 11.4, 11.5, and 18.8 ha, respectively, which were allocated to four seasonal grazing treatments. Animals integrating a stock of 250 goats and sheep were then grazed for one month in each pasture-season treatment, from winter to fall. For the continuous grazing, an adjacent area of 100 ha was grazed continuously by a stock of 200-300 goats and sheep following the region's traditional grazing management. The water erosion study was conducted using runoff plots of 22 x 3 m (Wischmeier and Smith, 1978) located under several contrasting range conditions during 2004-2005. An additional runoff plot was kept without vegetation, by using herbicides and no mechanical control of erosion, to obtain data on potential water erosion or maximum soil losses.

In addition, the water erosion potential for the rest of the ejido area was assessed and used to produce a map. The records from the runoff plots could not be used to estimate the spatial variation in water erosion, so the potential water erosion of the ejido range was estimated using the universal soil loss equation (USLE) (Wischmeier and Smith, 1978). As potential erosion refers to water erosion from bare soil, the crop/vegetation factor and support practice (plowed lands) factor of the USLE were not included. Thus, the following equation was used:

$$E = R \times K \times LS \quad (\text{Eq. 1})$$

Where E is annual erosion (t/ha/year), R is the rainfall and runoff factor (MJ mm/ha<sup>1</sup> h), K is the soil erodibility factor (t ha h/MJ mm ha), LS is the slope length gradient (non-dimensional) factor. The USLE parameter values were estimated using the methodology of Figueroa *et al.* (1991). An erosivity map was used to estimate the R factor. This map is divided into 14 regions, with the Panuco ejido in region 4, using the following equation:

$$Y = 2.8959X + 0.002983X^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

Where Y is R in MJ mm/ha h and X is annual rainfall in mm. The K parameter estimation was taken from erodibility values of Figueroa *et al.* (1991). The K factor depends on soil texture and class. These values were assigned to soil classes and textures within the ejido and then digitized to facilitate use in the GIS, using IDRISI (Eastman, 1995). The LS parameter was estimated using the “erode” pro-

nal fue mantenido sin vegetación, aplicando herbicidas y ningún control mecánico de la erosión, para obtener información relativa a una erosión potencial o pérdidas de suelo máximas.

Además, el potencial de erosión hídrica para el resto del ejido fue valorado y empleado para crear un mapa. Los registros de los lotes de escorrentía no pudieron ser utilizados para estimar la variación espacial en la erosión hídrica, así que el potencial de erosión hídrica del pastizal del ejido fue estimado con la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) (Wischmeier y Smith, 1978). Como la erosión potencial se refiere a la erosión hídrica del suelo desnudo, el factor cultivo/vegetación y el factor de apoyo en la práctica (tierras labradas) de la USLE no se incluyeron. Por lo tanto, se utilizó la siguiente ecuación:

$$E = R \times K \times LS \quad (\text{Ec.1})$$

Donde E es la erosión anual (t/ha/año), R es el factor de erosividad de las lluvias y de escorrentía (MJ mm·ha<sup>-1</sup> h), K es el factor de la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica (t ha h·MJ mm ha<sup>-1</sup>), LS es el factor (no dimensional) del gradiente de longitud de pendiente. Los valores de los parámetros USLE fueron estimados utilizando la metodología de Figueroa *et al.* (1991). Se utilizó un mapa de erosividad para determinar el factor R. Este mapa está dividido en 14 regiones, con el ejido Pánuco ubicado en la región 4, utilizando la siguiente ecuación:

$$Y = 2.8959X + 0.002983X^2 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde Y es R en MJ mm/ha h y X es la precipitación anual en mm. La estimación del parámetro K fue tomada de valores de susceptibilidad a la erosión hídrica de Figueroa *et al.* (1991). El factor K depende de la clase y de la textura del suelo. Estos valores fueron asignados a clases de suelos y texturas dentro del ejido y luego digitalizados para facilitar su uso en el GIS, usando IDRISI (Eastman, 1995). El parámetro LS fue estimado con el programa "Erode", el cual fue diseñado para usarlo con el IDRISI (Eastman, 1995). El resultado es un mapa del potencial de erosión hídrica en los pastizales del ejido Pánuco.

### Valoración de la producción de biomasa y la composición botánica y química

Para valorar la productividad de los pastizales, se estimó periódicamente la producción de biomasa bajo dos sistemas de pastoreo (continuo vs. rotacional) y bajo condiciones de exclusión (sin pastar), para determinar el rendimiento de materia seca (MS) del estrato herbáceo, de 2002 a 2004 (Echavarría *et al.*, 2006). Las estimaciones bajo los dos sistemas se basaron en 10 transectos, los cuales se muestrearon en puntos separados cada

gram, which was designed for use with IDRISI (Eastman, 1995). The result of this integration is a map of the potential water erosion of rangelands in the Panuco ejido.

### Assessment of biomass production and botanical and chemical composition

To assess rangeland productivity, biomass production under two grazing systems (continuous vs. rotational grazing) and under excluded conditions (no grazing) was estimated periodically for dry matter (DM) yield of the herbaceous strata, from 2002 to 2004 (Echavarría *et al.*, 2006). Estimations under the two grazing systems were based on 10 separate transects which were sampled in points separated by 50 m in length: five under continuous grazing and five under rotational grazing. In addition, five sites of 2500 m<sup>2</sup> each, excluded from grazing, were also sampled as the 10 transects. Biomass samples were obtained from a 0.5 × 0.5 m quadrant and the material collected was limited to that year's growth. To characterize the vegetation, an inventory of plant species was carried out through a field survey at the end of the study, when the effect of grazing systems was expressed in each pasture. The plants collected were classified to the family level (Echavarría *et al.*, 2006).

To assess the chemical composition of goat and sheep diets during the year in the Panuco rangelands, an additional study was conducted. Chemical composition was assessed in both the continuous and rotational grazing plots, and in four seasons (spring, summer, fall and winter) in 2004. Four goats and four sheep with an esophageal fistula were used to collect forage intake samples. In each grazing system, animals stayed for four days in each season. Between sampling periods, animals were kept in stockyards. Prior to each sampling, animals were taken to the sampling area four days before the sample was collected so they could get adapted to the feed available in the range. Samples were analyzed for crude protein (CP) (AOAC, 1995), neutral detergent and acid detergent fiber and in vitro dry matter digestibility (IVDMD) (Tilley and Terry, 1963).

### Socio-economic assessment

To complete the macro-level study, several socioeconomic indicators were obtained from the Mexican census (INEGI, 2004) for the main villages in the Panuco microwatershed. These indicators included the total population, the economically active population, and statistics on literacy, employment, housing, income, and the availability of services.

### Statistical analysis

Data analyses to obtain descriptive statistics, as well as analysis of sources of variation in water erosion

50 m cinco bajo pastoreo continuo y cinco bajo pastoreo rotacional. Además, también se muestrearon cinco sitios excluidos al pastoreo de 2,500 m<sup>2</sup> cada uno, del mismo modo que los transectos fueron muestreados. Se obtuvieron muestras de biomasa de un cuadrante de 0.5 × 0.5, m y el material recolectado fue limitado al crecimiento de ese año. Para caracterizar la vegetación, se realizó un inventario de las especies respectivas por medio de un recorrido al final del estudio, cuando los efectos del sistema de pastoreo ya habían sido expresados en cada pastizal. Las plantas recolectadas fueron clasificadas al nivel familia (Echavarría *et al.*, 2006).

Para determinar la composición química de las dietas de cabras y ovejas durante el año en los pastizales de Pánuco, se realizó un estudio adicional. La composición química fue evaluada tanto en los pastizales continuos como en los rotacionales y durante las cuatro estaciones (primavera, verano, otoño e invierno) en el año 2004. Se utilizaron cuatro cabras y cuatro ovejas con fístula esofágica para recolectar muestras de insumos de forraje en ambos sistemas de pastoreo, y las muestras se analizaron para detectar proteína cruda (PC) (AOAC, 1995), fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) (Tilley y Terry, 1963).

### Evaluación socioeconómica

Para completar el estudio a nivel macro, se obtuvieron varios indicadores socioeconómicos del Censo de México (INEGI, 2004) para los poblados principales de la microcuenca de Pánuco. Estos indicadores incluyeron la población total, la población económicamente activa y estadísticas sobre alfabetización, empleo, vivienda, ingresos y disponibilidad de servicios.

### Análisis estadístico

Se realizaron análisis de datos para obtener estadísticas descriptivas, así como análisis de fuentes de variación en erosión hídrica y composición química del forraje utilizando SAS (SAS, 2001). Los resultados de la erosión hídrica bajo condiciones de dos vegetaciones fueron analizados en un arreglo factorial con los sistemas de pastoreo y años como los efectos principales. Datos relacionados con la composición química bajo diferentes sistemas de pastoreo fueron analizados por un modelo anidado, con el sistema de pastoreo como el efecto anidado principal, especies de animales como el segundo efecto anidado en los sistemas y los efectos de las estaciones anidados en las especies de animales y en los sistemas de pastoreo.

El análisis para identificar las áreas para reconversión fue realizado seleccionando el modelo más adecuado para la construcción de semivariogramas para MO y tamaño de partícula. Enseguida, se utilizó el mé-

and forage chemical composition were performed using SAS (SAS, 2001). The results of water erosion under two vegetation conditions were analyzed in a factorial arrangement with grazing systems and years as main effects. Data concerning chemical composition under different grazing systems was analyzed by a nested model with grazing system as the main nesting effect, animal species as the second effect nested in grazing systems and season effects nested in animal species and grazing systems.

The analysis to identify the areas for reconverting was performed by selecting the best fitted model to build semivariograms for OM and particle size. After that, Kriging method was used for interpolation. Comparisons for botanical composition values found between grazing systems as well as comparisons concerning socio-economic variables were analyzed using a chi-square test for independence.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Physical characterization of the micro watershed

Zacatecas State contains twelve watersheds, including the Fresnillo-Yesca watershed of 11,695 km<sup>2</sup> and three sub-watersheds: Cañitas, Fresnillo and Yesca. Panuco Municipality is located between the Fresnillo and Yesca sub-watersheds (Figure 1). The north and northeast of the Panuco Municipality (2,047 masl) is flat land with irrigation access and villages that are more developed. In contrast, the southeast has more limited natural resources with steep slopes (2,506 masl) exploited for gold mining during the 18<sup>th</sup> century.

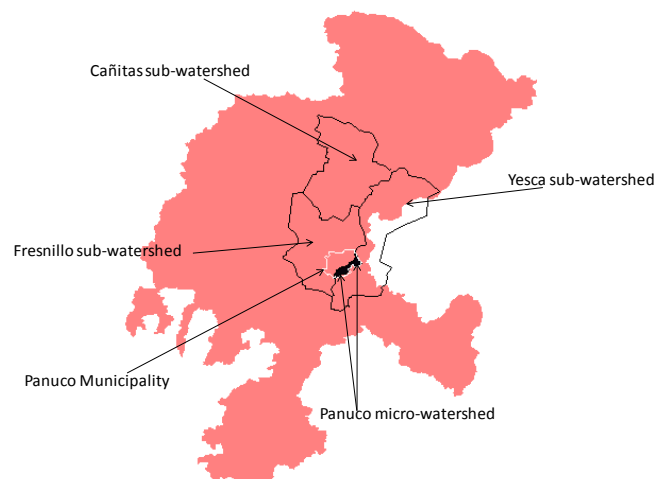


FIGURA 1. Ubicación de la microcuenca de Pánuco dentro de tres subcuencas y los límites municipales.

FIGURE 1. Location of the Panuco micro-watershed inside three sub-watersheds and the Panuco municipality boundaries.



todo Kriging para la interpolación. Las comparaciones para los valores de composición botánica encontrados entre los sistemas de pastoreo, así como las comparaciones referentes a las variables socioeconómicas, fueron analizadas utilizando la prueba de chi-cuadrado para determinar su independencia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización física de la microcuenca

El estado de Zacatecas contiene doce cuencas, incluyendo la cuenca Fresnillo-Yesca, de 11,695 km<sup>2</sup>, y tres subcuencas: Cañitas, Fresnillo y Yesca. El municipio de Pánuco se localiza entre las subcuencas de Fresnillo y Yesca (Figura 1). El norte y noreste de este municipio (2,047 m de altura) es tierra plana con acceso a irrigación y con poblados más desarrollados. En contraste, el sureste tiene recursos naturales más limitados con laderas escarpadas (2,506 m de altura) que fueron explotados por oro durante el siglo XVIII.

La subcuenca de Yesca contiene 18 microcuencas, siendo Pánuco la más grande. Las demarcaciones de la microcuenca yacen fuera del municipio. Debido a los recursos disponibles para el estudio, fue necesario limitar el área estudiada a la parte de la microcuenca de Pánuco que quedaba dentro de los límites municipales, lo que implicó que el área total estudiada se redujera a 145.8 km<sup>2</sup> (Figura 1).

### Aspectos ecológicos al macronivel

#### Ambiente apropiado para la producción de cabras

Los resultados de la valorización de la capacidad del área, en términos de recursos naturales, para sustentar los requerimientos nutricionales de las cabras en Zacatecas (primer estudio) se resumen en la Figura 2. El mapa tiene cuatro categorías de idoneidad: alta, buena, mediana y baja. El municipio de Pánuco fue clasificado como bueno en disponibilidad de forraje para la producción caprina. Dos municipios localizados al norte (Villa de Cos y Fresnillo) y uno en el este (Guadalupe), fueron clasificados como con baja disponibilidad. Tres municipios ubicados hacia el oeste (Calera, Zacatecas y Enrique Estrada) fueron clasificados como teniendo una disponibilidad mediana, y solamente un municipio, localizado al sur de Pánuco, fue clasificado como bueno.

#### Áreas para ser reconvertidas para uso como pastizales

De acuerdo con el segundo estudio realizado en el ejido Pánuco, de las 2,444 ha dedicadas a la agricultura se identificaron 807, que actualmente están siendo cultivadas a pesar de no ser adecuadas para uso agrícola, como idóneas para la producción pecuaria.

De estas 807 ha actualmente bajo cultivo, 41 son adecuadas para una producción pecuaria ligera (por lo

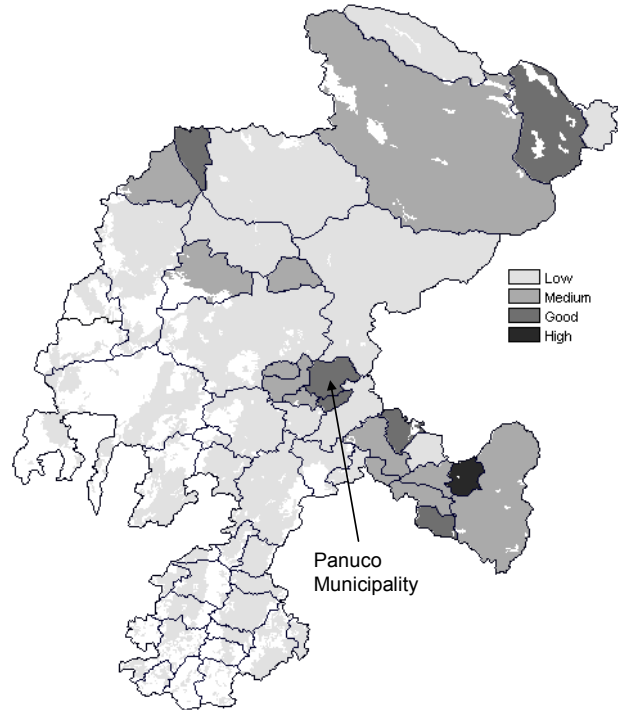


FIGURA 2. Disponibilidad de sitio para el desarrollo de Cabras en el estado de Zacatecas, México.

FIGURE 2. Site suitability for goat raising in Zacatecas state, Mexico

The Yesca sub-watershed contains 18 micro watersheds, Panuco being the largest. The boundaries of the micro watershed lie outside the Panuco Municipality borders. Due to the resources available for the study, it was necessary to limit the area studied to the part of the Panuco micro watershed that fell within the municipality limits, which meant that the total study area was reduced to 145.8 km<sup>2</sup> (Figure 1).

### Ecological aspects at the macro-level

#### Environmental suitability for goat production

The results of the assessment of the area's capacity, in terms of natural resources availability in order to be able for sustaining the nutritional requirements of goats in Zacatecas State (first study) are summarized in Figure 2. The map has four suitability categories: high, good, medium and low. The suitability of Panuco Municipality was ranked as good. Two municipalities, located to the north (Villa de Cos and Fresnillo) and one to the east (Guadalupe), were classified as being of low suitability. Three municipalities located to the west (Calera, Zacatecas and Enrique Estrada) were classified as being of medium suitability and only one other municipality located to the south of Panuco was classified as good.

#### Areas to be reconverted to range use

The second study conducted in the Panuco ejido identified, of the 2,444 ha dedicated to agriculture, 807



menos 20 ha/Unidades Animal (UA)/año; COTECOCA, 1980), 580 ha para una producción pecuaria moderada (15 a 20 ha por UA por año), y 186 ha para una producción pecuaria elevada (hasta 15 ha por UA por año). Todas estas áreas son parte de la tierra del ejido que es usada por la comunidad; se localiza en el extremo norte (Figura 3). De las 2,444 ha cultivadas, únicamente 1,637 son adecuadas para el cultivo y se clasificaron como teniendo un potencial agrícola bajo, mediano, bueno y alto (Figura 3). Aun en parte de la tierra clasificada como adecuada para el cultivo, se necesitan cambios tecnológicos en los componentes de los cultivos para incrementar su productividad y sustentabilidad.

El mapa y los métodos generados por este estudio, los cuales integran información sobre la disponibilidad de recursos forrajeros y aptitud de la tierra para uso agrícola y como pastizales (Figura 3), podrían ayudar a realizar intervenciones tecnológicas adecuadas para mejorar la productividad, y a la vez detener la degradación del suelo (Echavarría *et al.*, 2004). Por ejemplo, el mapa y los métodos pueden ser usados tanto para probar los cultivos y las prácticas en los cultivos que son amigables al medioambiente (en la tierra idónea para la agricultura), como para probar las opciones tecnológicas apropiadas para alcanzar una producción pecuaria adecuada.

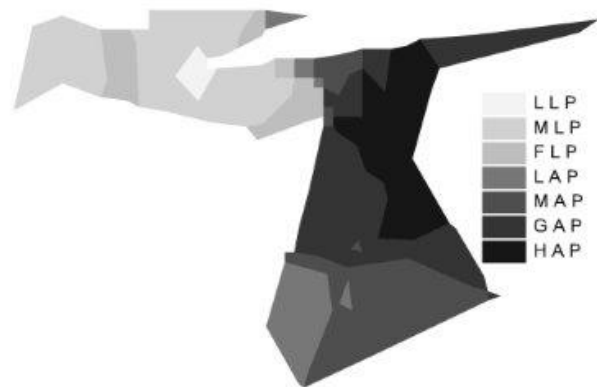
Las políticas que facilitan la adopción de tecnologías también pueden beneficiarse con la información suministrada por esta metodología. Una nueva política emitida por el gobierno mexicano involucra la reconversión a pastizales de las áreas bajo el monocultivo de frijol, que están sujetas a una degradación intensa en Zacatecas y en otros estados con condiciones agroecológicas semejantes (DOF, 2002). La implementación de esta política revela la falta de información sobre alternativas de producción para reconvertir la tierra al nivel ejido. La información generada por este mapa también puede significar la entrada a mayor investigación y desarrollo. Si la meta es la reconversión a producción pecuaria, como se indicó antes, esto únicamente puede lograrse integrando opciones tecnológicas que ayuden a incrementar la capa vegetativa con especies que se establecen rápidamente, i.e. cereales, pastos y algunos arbustos, según el grado de degradación. Las intervenciones técnicas también deben incluir métodos mecánicos como surcos de contorno o surcos para diques (SSSA, 1997) y así incrementar la retención de agua y ayudar a las áreas degradadas a regresar gradualmente a su condición inicial. Esta metodología también podría aplicarse a cualquier otra condición semejante en zonas áridas.

### Erosión hídrica en el suelo

Los niveles de erosión hídrica en el suelo estimados bajo dos condiciones de vegetación y dos sistemas de pastoreo (pastoreo continuo y pastoreo rotacional)

ha that are currently being cultivated, despite being unsuitable for agricultural use, nonetheless, suitable for livestock production

From these 807 ha currently being cropped, 41 ha were suitable for light livestock production (at least 20 ha/Animal Units (AU)/year; COTECOCA, 1980), 580 ha for moderate livestock production (15 to 20 ha/AU/year), and 186 ha for enhanced livestock production (up to 15 ha/AU/year). All these areas are part of the ejido land used by the community, located on its northern edge (Figure 3). Of the 2444 ha cropped, only 1637 ha was suitable for growing crops and classified as having low, medium, good and high agricultural potential (Figure 3). Even on some of the land that was found to be more suitable for crop production, there is a need for technological change in the cropping components to increase their productivity and sustainability.



**FIGURA 3.** Áreas agrícolas con potencial para la reconversión hacia agostadero, de acuerdo con el grado de degradación y el potencial agrícola del suelo en el Ejido Pánuco. LLP: Baja Producción Pecuaria, MLP: Producción Pecuaria Moderada, FLP: Alta Producción Pecuaria, LAP: Potencial Agrícola Bajo, MAP: Potencial Agrícola Medio, GAP: Potencial Agrícola Bueno y HAP: Potencial Agrícola Alto.

**FIGURE 3.** Agricultural areas with potential for conversion back to rangeland, according to degree of degradation, and lands with different agricultural potential in the Panuco ejido. LLP: light livestock production, MLP: moderate livestock, FLP: full livestock, LAP: low agricultural potential, MAP: medium agricultural, GAP: good agricultural and HAP: high agricultural.

The map and methods generated by this study, which integrate information on the suitability of land for agricultural and range use (Figure 3), could help identify suitable interventions for productivity improvement while halting soil degradation (Echavarría *et al.*, 2004). For instance, the map and methods could be used either to test crops and cropping practices that are environmentally friendly (on land suitable for agriculture) or to test suitable land management options for appropriate livestock production.

presentaron valores menores a  $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  en las condiciones de vegetación estudiadas en el sistema rotacional. En cambio, el sistema continuo presentó valores entre  $12$  y  $477 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  entre ambas condiciones de vegetación estudiadas dentro del sistema continuo de pastoreo. Las diferencias entre sistemas fueron significativas ( $P < 0.05$ ). Los valores de erosión fueron muy bajos, lo cual se asoció con lluvias de baja intensidad que se presentaron en los años estudiados.

Estos valores deben interpretarse a la luz del grado de degradación que tenga la tierra que está siendo considerada. Para suelos con baja degradación y erosión de tierra, pérdidas de suelo  $< 2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  pueden ser consideradas inofensivas (Serna y Echavarría, 2002). Sin embargo, se ha observado que en muchas áreas en los pastizales de Pánuco los horizontes del suelo han desaparecido completamente, y la capa arable consiste en un pequeño e incipiente ( $< 10 \text{ cm}$ ) horizonte-A de formación reciente encima del horizonte-C; esto indica una degradación elevada. De ahí la importancia de detener la degradación utilizando sistemas de pastoreo adecuados.

Los niveles de erosión y escorrentía reflejan un efecto significativo del pastoreo de rumiantes pequeños. Las tasas elevadas de erosión y de escorrentía fueron relacionadas con el pastoreo continuo y con una baja densidad en la capa de vegetación. La baja erosión registrada para el pastoreo rotacional y la alta densidad en la capa de vegetación, sugieren que se puede esperar una reducción considerable en erosión y escorrentía si se diseña mejor el sistema de pastoreo en los pastizales de Pánuco.

Derivado de la metodología de Figueroa *et al.* (1991), se obtuvo un mapa predictivo de la erosión potencial en los pastizales de Pánuco, los cuales contienen ambos tipos de suelos: Leptosoles y Calcisoles (WRB, 2006). El riesgo para los Calcisoles es elevado, debido a su propensión a la erosión (Figueroa *et al.*, 1991). Sin embargo, éstos son más profundos y más desarrollados que los Leptosoles; por lo cual tienen un mayor potencial productivo cuando se manejan adecuadamente. Los Calcisoles en los pastizales requieren de capas adecuadas de vegetación para evitar la degradación por erosión pluvial, porque el pastoreo excesivo tiende a aumentar el área desprotegida. Hay 208 ha de Calcisoles en los pastizales comunales del ejido Pánuco, y éstos deben tener prioridad en los planes conservacionistas debido a su alta susceptibilidad a la erosión. La metodología y el mapa desarrollado en nuestro estudio pueden ayudar a identificar áreas con mayor riesgo de erosión hídrica en áreas similares en la región, o hasta en el país.

### Productividad de los pastizales

Durante los años 2002 al 2004, la precipitación pluvial en el ejido Pánuco fue superior al promedio (582,

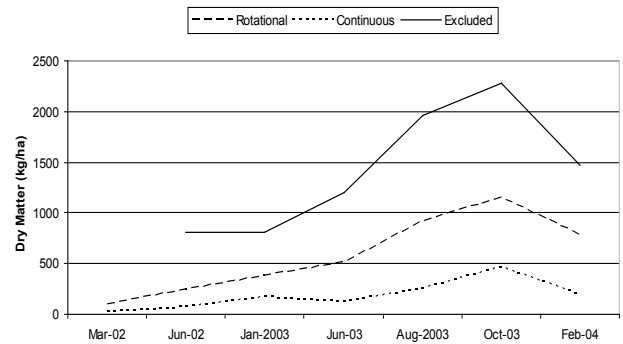


FIGURA 4. Materia seca del material herbáceo bajo dos métodos de manejo de pastoreo y áreas excluidas en el agostadero del Ejido Pánuco.

FIGURE 4. Biomass of basal herbaceous material under two grazing management methods and exclusion of range areas in the Panuco ejido.

Policies that facilitate technology adoption may also benefit from the information provided by this methodology. A new policy issued by the Mexican Government involves the reconversion to rangeland of areas under bean monoculture that are subject to intense degradation in Zacatecas and other states with similar agroecological conditions (DOF, 2002). The implementation of this policy exposes the lack of information on production alternatives for reconverting land at the ejido level. The information generated by this map could therefore also be an entry point for research and development. If the goal is reconverting to livestock production, as indicated earlier, this can only be achieved by integrating technological options to help increase vegetation cover with species that establish quickly, i.e. cereals, grasses and some bushes according to the level of degradation. Technical interventions should also include mechanical methods as contour furrows or furrow diking (SSSA, 1997) to increase water retention and help degraded areas to gradually return to their initial condition. This methodology could also be applied to any other similar conditions in dry areas.

### Soil water erosion

The soil water erosion levels estimated under two vegetation conditions and two grazing systems (continuous grazing and rotational grazing) presented values lower than  $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  in both vegetation conditions under rotational grazing and values among  $12$  to  $477 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  between vegetation conditions and continuous grazing which were statistically different ( $P < 0.05$ ). Soil erosion values were reduced due to low intensity rain showed during study years. These values should be interpreted in light of the areas' land degradation status. For soils with low land degradation and erosion, soil losses of  $< 2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  can be considered harmless (Serna and Echavarría, 2002). However, other studies (Echavarría and Serna, unpublished) have shown that, in many areas in the Panuco rangelands, the soil horizons have completely disappeared and the topsoil consists of a tiny ( $< 10 \text{ cm}$ ) an incipient A-horizon of recent formation over a C-horizon; this indi-

510 y 485 mm, en 2002, 2003 y 2004, respectivamente). La Figura 4 muestra la producción de biomasa bajo los dos sistemas distintos de pastoreo y las secciones excluidas de pastoreo (Echavarría *et al.*, 2006).

La producción de materia seca en el estrato herbáceo varió según las distintas condiciones de pastoreo y de exclusión (Figura 3). Las áreas de pastoreo continuo mostraron una capacidad de recuperación de enero a octubre de 2003, con un incremento de 441 kg·ha<sup>-1</sup> (desde 30 hasta 471 kg·ha<sup>-1</sup>). La producción declinó durante el invierno de 2004 hasta 196 kg·ha<sup>-1</sup>. Independientemente del sistema de pastoreo, la producción de materia seca aumentó en los dos años con una precipitación superior al promedio, en 2002 y 2003, respectivamente. El sitio de pastoreo rotacional recolectó y utilizó más eficientemente el agua pluvial, particularmente durante la ocurrencia de las primeras lluvias (Figura 3). Además, el sistema rotacional (con una presión de pastoreo más benigna) indujo una mayor recuperación de rendimiento y de capa de vegetación que el sistema de pastoreo continuo. Estos resultados permitieron una evaluación cuantificada de los efectos del pastoreo en la productividad de los pastizales, la cual puede ser usada para diseñar cambios en el sistema de producción y para estimar la necesidad de suplementación animal.

### Composición química del forraje

La PC y la DIVMS del forraje recolectado por medio de fístula esofágica no fueron estadísticamente diferentes ( $P>0.05$ ) entre los sistemas de pastoreo, mostrando valores similares tanto para cabras como para ovejas.

La PC y la DIVMS del forraje cambiaron significativamente debido a los cambios estacionales. La vegetación comestible disminuye no solamente en cantidad sino también en calidad a lo largo de la temporada de secas, desde el otoño hasta la primavera, con una clara lignificación y aumento en contenido de fibra, puesto que los valores de FDA aumentaron en promedio de 40.3 a 49.6 % y los valores de FDN aumentaron de 54.5 a 66.7 %, durante este periodo. Es por esto que PC y DIVMS alcanzaron sus máximos valores en el verano (11.3 y 10.7 %, para cabras y ovinos, respectivamente, en el caso de PC; y 59.8 y 62.7 % para cabras y ovinos, respectivamente en el caso de DIVMS) y los menores valores en el invierno (5.5 y 6.5 %, para cabras y ovinos, respectivamente, en el caso de PC; y 57.2 y 53.6 %, para cabras y ovinos, respectivamente en el caso de DIVMS). Después del invierno los valores de PC y de DIVMS tienden a mejorar conforme avanza la primavera y hay más lluvia disponible.

Por ende, si se pretende tener un nivel adecuado de PC durante todo el año, será necesario suministrar complementos proteínicos a los animales durante la temporada de secas, especialmente de otoño a inier-

ates high degradation; hence the importance of stopping degradation by using suitable grazing systems.

The erosion and runoff levels reflect a significant effect of small ruminant grazing. High erosion and runoff rates were associated with continuous grazing and low-density vegetation cover. The low erosion recorded under rotational grazing and high-density vegetation cover suggests that substantial erosion and runoff reduction could be expected with better designed grazing systems in the Panuco rangelands.

Derived from the methodology of Figueroa *et al.* (1991), a map predicting potential erosion for the Panuco range was obtained. The Panuco range has both Leptosol and Calcisol soil classes (WRB, 2006). The erosion risk for the Calcisols is high, due to its susceptibility to erosion (Figueroa *et al.*, 1991). Calcisols are deeper and more developed than Leptosols; they therefore have a greater productive potential when properly managed. Calcisols in grazing areas require adequate vegetation cover to avoid degradation from rain erosion, because overgrazing tends to increase the area of unprotected soil. There are 208 ha of Calcisols in the communal Panuco ejido range and these should have priority in conservation plans due to their high susceptibility to erosion. The methodology and the map developed in our study may help identify areas at greater risk from water erosion in similar areas in the region or even the country.

### Range productivity

During 2002 to 2004, rainfall on the Panuco ejido was above average (582, 510 and 485 mm, in 2002, 2003 and 2004, respectively). Figure 4 shows production of biomass under the two different grazing systems and the grazing-excluded sections (Echavarría *et al.*, 2006).

The dry matter production of the herbaceous strata differed under grazing and exclusion conditions (Figure 3). The continuous grazing areas showed a recovery capacity from January to October 2003, with an increase of 441 kg·ha<sup>-1</sup> (from 30 to 471 kg·ha<sup>-1</sup>). Production declined during the winter of 2004 to 196 kg·ha<sup>-1</sup>. Independently from the grazing system, dry matter production increased in the two years with rainfall above the average, 2002 and 2003, respectively. The rotational grazing site collected and used rainwater more efficiently, particularly during the first rainfall occurrences (Figure 3). In addition, the rotational system (with a more benign grazing pressure) induced greater recovery of yield and vegetation cover than the continuous grazing system. These results allowed a quantified evaluation of grazing effects on range productivity, which can be used to design changes in the production system and to estimate the need for animal supplementation.

### Forage chemical composition

The CP and IVDMD of forage collected from esophageal fistula did not differ statistically ( $P>0.05$ ) between



no, cuando la disminución en la calidad y cantidad del forraje es evidente. Respecto a las diferencias en especies, las cabras aparentemente eran más selectivas que las ovejas, aunque los valores de PC fueron más elevados durante el periodo crítico del otoño al invierno; la digestibilidad de la MS alcanzó valores menores que los de las ovejas para ese periodo.

Se identificaron setenta especies bajo el pastoreo rotacional y únicamente veintinueve bajo pastoreo continuo. En ambos sistemas, la familia botánica dominante fue *Gramineas*, con 17 especies bajo pastoreo rotacional y seis bajo pastoreo continuo. Esto fue seguido por *Compositae* con 11 especies bajo pastoreo rotacional y dos bajo pastoreo continuo; de las *Cactáceas* fueron nueve especies bajo pastoreo rotacional y cuatro bajo pastoreo continuo, y las *Leguminosas* fueron seis en pastoreo rotacional y dos bajo pastoreo continuo (Echavarría et al., 2006).

Aunque el número de especies predominantes entre ambos sistemas de pastoreo fue estadísticamente diferente, el contenido de proteína en el insumo de las ovejas y de las cabras fue muy similar, como se mencionó anteriormente. Esto sugiere que ambas especies de animales compensaron el menor número de especies en el sistema de pastoreo continuo, incrementando el consumo de la vegetación más necesaria.

### Aspectos socioeconómicos al macronivel del municipio

La población del municipio de Pánuco en el año 2000 era de 13,985 habitantes, según el censo de población (INEGI, 2004). Los jóvenes menores de 25 años fueron el grupo dominante (58.4 %). Una proporción de este grupo (aquellos entre los 14 y 25 años de edad) son los más propensos a emigrar a ciudades cercanas en México o a los Estados Unidos. El otro grupo principal (personas mayores de 25 años) constituye el resto de la población (41.6 %).

### Caracterización a nivel poblado

La microcuenca de Pánuco incluye dos poblados importantes: Casa de Cerros y Pánuco. En el primero había 1,093 personas, 52 % mujeres. Las mujeres mayores de 18 años constituyen el 29.1 % de la población. Había una menor proporción de hombres en el mismo rango de edades (26.7 %); la migración explica la diferencia. A pesar de la mayor proporción de mujeres, su integración a la estructura laboral era mínima y desbalanceada. La población económicamente activa en el poblado era de 316 personas. De este total, 22 personas (7 %) estaban desempleadas, y 113 (36 %) se dedicaban a actividades primarias que excluían a las mujeres (excepto durante el tiempo de la cosecha, cuando trabajan sin goce de salario). Como unas 100 personas (31.6 %) desempeñaban actividades secundarias, parti-

gizing systems showing similar values for both sheep and goats.

The CP and IVDMD of forage changed significantly due to seasonal changes. Edible vegetation diminishes not only in quantity but also in quality through the dry period, from fall to spring time, with a clear lignification and increase in fiber content, since the ADF values increased in average from 40.3 % to 49.6 % and values of NDF increased from 54.5 to 66.7 %, during this period. This is why CP and IVDMD values reached their highest values in summer (11.3 % and 10.7 %, for goats and sheep, respectively in the case of CP; and 59.8 % and 62.7 % for goats and sheep, respectively in the case of IVDMD) and the lowest values in winter (5.5 % and 6.5 %, for goats and sheep, respectively in the case of CP; and 57.2 % and 53.6 %, for goats and sheep, respectively in the case of IVDMD). After winter the values of CP and IVDMD tend to improve as spring progresses with more rainfall available.

Therefore, if an adequate CP level is sought all year round, protein supplements should be supplied to animals during the dry season, particularly from fall to winter, when the decrease in forage quality and quantity is more pronounced. As for differences in species, goats were apparently more selective than sheep, though CP values were higher during the critical period from fall to winter, DM digestibility reached lower values than those of sheep in this period.

Seventy species were identified under rotational grazing and only 29 species under continuous grazing. In both grazing systems, the dominant botanical family was *Graminae* with 17 species under rotational grazing and 6 species under continuous grazing. This was followed by *Compositae* with 11 species under rotational grazing and 2 under continuous grazing, *Cactaceae* had nine species under rotational grazing and four under continuous grazing, and *Leguminosae* had six in rotational grazing and two under continuous grazing (Echavarría et al., 2006).

Though the difference in the number of species prevailing between both grazing systems were statistically different, the protein content in sheep and goat intake was very similar, as indicated earlier. This suggests that both animal species compensated for the lower number of species in the continuous grazing system, by increasing intake of the most needed vegetation.

### Socioeconomic aspects at the municipality macro-level

The population of the Panuco Municipality in 2000 was 13,985, according to the Population Mexican Census (INEGI, 2004). Young people aged < 25-years were the dominant group (58.4 %). A proportion of this group (those 14-25 years old) are the most prone to immigrate to nearby Mexican cities or the USA. The other main group (people over 25) made up the remainder of the population (41.6 %).



cularmente en el sector de la construcción (que también excluye a las mujeres). Las 80 personas restantes (25 %) estaban involucradas en actividades terciarias, tales como la compra-venta de mercancías; esto incluye tanto a hombres como a mujeres. Aunque no se recolectaron datos sobre la cantidad exacta de mujeres dedicadas a actividades terciarias, los resultados mostraron una clara diferenciación por género y menos opciones de empleo y obtención de salario para las mujeres.

El número promedio de años que las personas fueron a la escuela en Casa de Cerros fue de 4.67, y el analfabetismo promedió 5.7 %. De 256 hogares, 100 % tenía electricidad, 61.3 % tenía acceso a agua entubada y 37.5 % tenía drenaje para aguas negras.

El poblado de Pánuco, la cabecera municipal, está a 3 km de Casa de Cerros y tiene menos gente (886 personas) y mejores servicios públicos, i.e. 76.7 % de la gente tiene drenaje para aguas negras. El promedio de escolaridad fue más elevado (6.18 años), lo que resultó en un tasa de analfabetismo menor (2.48 %). La tasa de mujeres por hombres fue del 53:46, lo que muestra que predominaban las mujeres; sin embargo, esto no se veía reflejado en su participación en las actividades económicas. En relación con la población económicamente activa (216 personas), la proporción y número de personas en Pánuco dedicadas a actividades primarias fue significativamente menor (16 % o 34 personas) que en Casa de Cerros. En contraste, había más personas trabajando en actividades secundarias (36 % u 80 personas) y en el sector servicios (42 % o 92 personas), pero estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $P > 0.05$ ). Siendo la cabecera municipal, el poblado de Pánuco tiene más personas capacitadas y más empleos públicos.

La población económicamente activa totalizaba 2,972 personas o 20.5 % del total, mientras que la población inactiva era el 49 %; el resto eran niños y ancianos. Casi el 53.2 % de la población activa de Pánuco estaba involucrada en actividades primarias tales como la agricultura y la producción pecuaria; el 27.4 % lo estaba en actividades secundarias, como la construcción, y el 19.4 % en actividades terciarias, como el comercio y los servicios. Se espera que el fortalecimiento de las actividades primarias en el municipio de Pánuco por medio de los cambios tecnológicos (Salinas, *et al.*, 1994), aunado a la necesidad de incorporar variables en las políticas del proceso de desarrollo de tecnologías alternas, vengán a beneficiar a este sector mayor de la población activa del municipio, el cual necesita nuevas opciones productivas para asegurar y generar ingreso (Baker, 1993; Finnan, 1993; Salinas, *et al.*, 1999).

Aunque los poblados de Pánuco y Casa de Cerros pertenecen a la misma microcuenca y ejido, las oportunidades de empleo y de mejores servicios públicos no

### 3.4. Village-level characterization

The Panuco microwatershed includes two important villages: Casa de Cerros and Panuco. In Casa de Cerros there were 1093 people, 52 % of whom were women. Women over 18 years old made up 29.1 % of the population; there was a lower proportion of men in the same age category (26.7 %), a difference explained by migration. Notwithstanding the larger proportion of women, their integration into the labor structure was minimal and unbalanced. The economically active population in the village was 316. Of this total, 22 people (7 %) were unemployed, 113 people (36 %) were dedicated to primary activities that excluded women (except during the harvest time, when they work without pay). About 100 people (31.6 %) were engaged in secondary activities, particularly in the construction sector (which also excludes women). The remaining 80 people (25 %) were involved in tertiary activities such as buying and selling merchandise; this involved both women and men. Although no data were collected on the exact number of women dedicated to tertiary activities, the results showed a clear gender differentiation and fewer options for salaries for women.

The average number of years that people attended school in Casa de Cerros was 4.67 and illiteracy averaged 5.7 %. Of 256 households, 100 % had electricity, 61.3 % had access to tap water and 37.5 % had a sewage drain.

Panuco village, the 'capital' of the municipality, is 3 km away from Casa de Cerros and has fewer people (886 persons) and better public services, i.e. 76.7 % of people had a sewage drain. The average number of years of formal school was higher (6.18 years), which resulted in a lower illiteracy rate (2.48 %). The ratio of women to men was 53:46, which showed women predominated; this was not, however, reflected in their participation in economic activities. In relation to the economically active population (216 people), the proportion and number of people in Panuco dedicated to primary activities was significantly lower (16 % or 34 people) than in Casa de Cerros. In contrast, there were more people working on secondary activities (36 % or 80 people) and in the services sector (42 % or 92 people), however, these differences were not statistically significant ( $P > 0.05$ ). Being the capital of the municipality, Panuco village has more trained people and public employment.

The economically active population amounted to 2972 people or 20.5 % of the total, while the inactive population was 49 %; the remaining people were children and the elderly. Nearly 53.2 % of the active population of Panuco was involved in primary activities such as agriculture and livestock production, 27.4 % were involved in secondary activities such as construction and 19.4 % in tertiary activities such as commerce and services. Strengthening primary activities in Panuco Municipality, through technological change (Salinas, *et al.*, 1994) and considering the need to incorporate poli-

estaban asociadas con una mejor productividad, puesto que existe una ventaja para el poblado que funge como cabecera de municipio. En general, las personas de ambos poblados comparten la misma tierra y las mismas restricciones en productividad. Sin embargo, es claro que Pánuco ofrecía más oportunidades para que las mujeres se integraran a las actividades económicas.

La falta de integración de las mujeres a la estructura laboral y la necesidad de incrementar la participación de las cabezas de las familias en actividades secundarias (i.e. en la transformación de productos primarios), resalta la necesidad de invertir esfuerzos de investigación para identificar oportunidades de incrementar el valor agregado. Esto debe incluir un incremento en la participación femenina y una mejor organización de los productores, para poder mejorar el procesamiento y comercialización de sus productos

---

### CONCLUSIONES

De los resultados al nivel macrosistema, fue evidente que la tierra en Pánuco es adecuada para sistemas de producción mixtos; sin embargo, los componentes sistémicos requieren ajustes. Cultivos especiales, como forrajes, podrían proveer mejores dividendos a los productores y también ser más amigables con el medioambiente. Además, habría maneras de reducir la degradación si se implementan sistemas de pastoreo apropiados a los pastizales comunitarios de Pánuco. El pastoreo rotacional podría reducir la erosión hídrica y la escorrentía, incrementar la capa de vegetación y su diversidad, y mejorar la nutrición y la productividad de rumiantes menores. Una implicación de la información obtenida es su utilidad en el diseño de tecnologías y su aplicación, lo cual, finalmente, permite la formulación de maneras para diversificar la productividad, por ejemplo, para desplazarse en forma progresiva de la producción de carne a algún tipo de producción láctea o a un sistema que genere una mezcla de productos, como leche y cabritos, y que pueda crear más oportunidades de trabajo para los productores y sus familias. También el análisis de los aspectos socioeconómicos, en particular las actividades productivas principales llevadas a cabo por la gente de esta microcuenca, pone de manifiesto una urgente necesidad de mejorar, si no es que generar, actividades de producción primarias con un enfoque particular en aumentar las oportunidades de ganar dinero para las mujeres.

El incremento y diversificación en la producción como resultado de un mejor uso de los recursos naturales, podría ofrecer mayores opciones a los productores para procesar y comercializar sus productos. Esto promovería el desarrollo de microempresas con la posibilidad de dar valor agregado e incluir una alta participación de la mujer.

cy variables into the process of developing alternatives technologies, is expected to benefit this largest sector of the municipality's active population, which is in need of new production options to secure and generate income (Baker, 1993; Finnan, 1993; Salinas, *et al.*, 1999).

Although Panuco and Casa de Cerros villages belong to the same micro watershed and ejido, the employment opportunities and better public services were not associated with better productivity, as there is an advantage for the village that hosts the municipality offices. In general, people from both villages share the same land and the same productivity constraints. However, it is clear that Panuco had more opportunities for women to be integrated into economic activities.

The lack of integration of women in the labor structure and the need to increase householders' participation in secondary activities (i.e. in the transformation of primary products) highlights the need to invest research efforts in identifying opportunities for increasing added value. This should include increasing women's participation and greater organization of farmers, in order to improve the processing and marketing of their products.

---

### CONCLUSIONS

From the results at the macro-system level, it was evident that land in Panuco is suitable for mixed production systems; however, the components of both systems require adjustments. Special crops, such as forages, could bring better dividends to farmers and could also be more environmentally friendly. Moreover, there could be ways to reduce degradation by instituting appropriate grazing systems for the Panuco communal rangeland. Rotational grazing could reduce water erosion and runoff, increase vegetation cover and its diversity, and may improve the nutrition and performance of small ruminants. One implication of the information is useful in the design of technologies and their application, which finally allows the formulation of ways to diversify productivity, for instance to move progressively from meat production to a type of dairy production or a system that produces a mix of products such as milk and cabritos (suckling kids) and that can generate more work opportunities for farmers or their families.

Also, the analysis of the socioeconomics issues, in particular the main productive activities developed by people in this microwatershed, revealed an urgent need to improve, if not generate, primary production activities with particular focus on increasing wage-earning opportunities for women.

The increase and diversification in production as a result of better use of natural resources could give greater choice to farmers, process and market their products. This could promote microenterprise development with the ability to add value and include a high participation of women.

## AGRADECIMIENTOS

Se reconoce el apoyo recibido en proyecto colaborativo entre el Centro Internacional para las Investigaciones Agrícolas en las Zonas Áridas (ICARDA) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), con financiamiento del Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) y de la Fundación Produce Zacatecas.

## ACKNOWLEDGMENTS

We wish to acknowledge the support received in this joint project involving the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) and the National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock Research (known by the acronym INIFAP in Mexico), with funding from the International Fund for Agricultural Development (IFAD) and the Zacatecas Produce Foundation.

*End of English Version*

## LITERATURA CITADA

- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, 16th ed. Arlington, Va., USA.
- BAKER, D. 1993. Inability of farming systems research to deal with agricultural policy. *Farm. Syst. Res.* – Ext. 4(1), 67-86.
- COTECOCA (Comisión Técnico Consultiva para la Condición de Agostaderos). 1980. Determinación de coeficientes de agostadero para los estados de Zacatecas y Aguascalientes (Determination of range coefficients for Zacatecas and Aguascalientes States). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 210-218 pp.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2002. Lineamientos y mecanismo específico de operación del subprograma de apoyos a la conversión del cultivo de frijol, del ciclo primavera verano 2002, por el cultivo de avena forrajera, del estado de Zacatecas (Directions and specific mechanism for operation of the supporting subprogram for converting the beans crop, spring-summer cycle, to the oats forage crop in the Zacatecas state). Gobierno de la República, 27 de septiembre de 2002, 19-26 pp.
- EASTMAN, R. J. 1995. IDRISI for Windows: User's guide (Ver 1.0). Clark University.
- ECHAVARRÍA CH., F. G.; MEDINA G., R.; GUTIÉRREZ L., A.; SERNA P. 2004. Identificación de áreas susceptibles de reconversión de suelos agrícolas hacia agostadero y su conservación en el Ejido Pánuco, Zacatecas. (Identification of areas to reconvert from agricultural uses to rangelands and its conservation in the ejido Panuco, Zacatecas). *Técnica Pecuaria México*. 42 (1) 39-53.
- ECHAVARRÍA CH., F.G., GUTIÉRREZ L., A.; LEDEZMA R., R.I.; BAÑUELOS V., R.; AGUILERA S., J.I.; SERNA P. A. 2006. Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido Zacatecano: I Vegetación nativa. (The influence of the grazing systems with small ruminants on a Rangeland of the Zacatecas semi arid: I Native vegetation) *Técnica Pecuaria México*. 44(2): 203-217.
- ECHAVARRÍA CH., F.G.; SERNA, R. A.; BAÑUELOS V. 2007. Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido Zacatecano: II Cambios en el suelo. (The influence of the grazing systems with small ruminants on a Rangeland of the Zacatecas semi arid: II Soil changes) *Técnica Pecuaria México* 45 (2): 177-194
- ESPARZA S., C. 1988. Historia de la Ganadería en Zacatecas 1531-1911 (Livestock production history in Zacatecas: 1531-1911). Departamento de investigaciones históricas, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México.
- FIGUEROA S., B.; AMANTE O., A.; CORTÉS T., H. G.; PIMENTEL L., J.; OSUNA C., E. S.; RODRÍGUEZ O., J. M.; MORALES F., F. J. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión (Handbook for predicting soil erosion losses). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Colegio de Postgraduados Montecillo, México.
- FINNAN, T. J. 1993. Structural adjustment policy reform and resource-scarce farm family: The waning role of FSRE. *Farm. Syst. Res.* - ext. 4(1), 125-138.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 1999. Oportunidades de desarrollo de la industria de la leche y carne de cabra en México (Opportunities for the development of the goat meat and milk industry in Mexico). Boletín informativo 313. Banco Nacional de México. México, D.F.
- GUTIÉRREZA., E.; GARCÍA J., S. 1998. Consumo de energía y proteína por caprinos en un matorral mediano subespinoso y matorral mediano crasirosulifolio espinoso (Energy and protein intake by goats grazing a thorny shrub range). Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2004. Información referenciada geoespacialmente integrada en un sistema-IRIS, v. 3.0. (Geo-referenced information integrated in a system IRIS, v. 3.0.). Aguascalientes, México.
- ISAAKS, E. H., SRIVASTAVA., R. M. 1989. Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.
- MEZA-HERRERA, C. A. 1987. Análisis estático de la ganadería caprina en ocho ejidos de la Comarca Lagunera. III Reunión Nacional sobre Caprinocultura. UNAM. Cuautlán-Izcalli. México. 74-79 pp.
- MEDINA G., G.; RUIZ C., J. A.; MARTÍNEZ P., R. A. 1998. Los climas de México: Una estratificación ambiental basada en el componente climático. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. México. 104

- p. (Libro técnico No.1).
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca). 2004. Sistema de información agropecuaria de consulta-SIACON: 1980-2004 (Information system for Agriculture and Livestock-SIACON: 1980-2004). Versión 1.1., México, DF.
- SAS (Statistical Analysis System) SAS/STAT User's Guide. Cary, NC. Release 8.02. 2001.
- SALINAS G., H.; ÁVILA, J. L.; FALCÓN, A.; FLORES, R. 1991. Limiting Factors of the goat production system at Zacatecas Mexico. *Turrialba* 41(1): 47-52.
- SALINAS, H.; ECHAVARRÍA, F.; FALCÓN, A.; FLORES, R. T.; HOYOS, G. 1994. Technological changes in agricultural systems en semi-arid zones of Mexico. In: GARDUÑO, M. A. (Ed.), IV Conf. on Desert Develop. Proc. Mexico, July 1993, pp. 564-570.
- SALINAS G., H.; RAMÍREZ, R. G.; RUMAYOR-RODRÍGUEZ, A. 1999. A whole-farm model for economic analysis in a goat production system in Mexico. *Small Ruminant Res.* 31: 157-164.
- SERNA P., A.; ECHAVARRÍA C., F. G. 2002. Hydrological characterization of a communal rangeland excluded from cattle grazing in Zacatecas, Mexico: I Soil losses. *Técnica Pecuaria México* 40: 37-53.
- SSSA (Soil Science Society of America). 1997. Glossary of soil science terms. Soil Science Society of America, 677 South Segoe Road, Madison WI, 53711.
- SOIL SURVEY STAFF. 1951. Soil survey manual. U.S. Dept. Agr., Handbook 18.
- TILLEY, J.M.A, TERRY, R. A. 1963. A two-stage technique for use in vitro digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society* 18, 104-111.
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). 1993. Cartas del inventario forestal: Escala 1:250,000 (Forestry inventory maps: Scale 1:250,000). UNAM. México, D.F.
- VILLARREAL F., E.; BYERLY M., K. F. 1984. Metodología para la planeación de la investigación agrícola a partir de problemas de la realidad (Methodology for agriculture research planning based on real problems). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos - Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Unidad de Planeación de la Investigación.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA, Agric., Handbook 537, Washington, DC. USA.
- WRB-IUSS WORKING GROUP. 2006. World Reference Base for Soil Resources, 2nd ed. World Soil Resources Reports Núm. 103, FAO, Rome.