

Productividad del chamizo *Atriplex canescens* con fines de reconversión: dos casos de estudio

An assessment of Fourwing saltbush (*Atriplex canescens*) productivity for crop conversion potential in two study cases

Francisco Guadalupe Echavarría Cháirez^a, Alfonso Serna Pérez^a, Francisco Antonio Rubio Aguirre^a, Agustín Fernando Rumayor Rodríguez^a, Homero Salinas González^a

RESUMEN

Con el objetivo de conocer la productividad del chamizo en condiciones de agostadero y agrícolas, se evaluaron dos sitios de establecimiento en suelos de tipo kastanozem. El área agrícola fue una parcela establecida en surcos (SA); y en agostadero en dos parcelas en las que se usaron prácticas mecánicas diferentes: 1) bordos en contorno con el arbusto en el lomo del surco (BC) y 2) plantados en cepas (C) con muros vivos de nopal rastrero como barrera para captación de humedad. Se midió la altura y dos longitudes transversales a lo ancho de la planta durante cinco años. Se cortaron plantas completas (N=64) por cada condición y se determinó la materia seca. Las variables se ajustaron a un modelo de tipo geométrico por medio de regresión. El rendimiento promedio por planta en el suelo agrícola fue de 1.24 kg, mientras que en el agostadero fue de 0.260 y 0.244 kg para C y BC, respectivamente, lo que representó una diferencia de aproximadamente 1 kg. Los valores de R² fueron de 0.70 y 0.81 para los chamizos establecidos en C y BC, respectivamente. En el suelo agrícola el valor de R² fue de 0.66. Los valores promedio máximos estimados fueron de 358 y 458 kg ha⁻¹, para BC y C, respectivamente. A pesar del uso de prácticas de captación de humedad en el agostadero, en el suelo agrícola hubo mayor productividad que en el suelo de agostadero. La producción en ambas condiciones es el rango de producción esperado para el arbusto.

PALABRAS CLAVE: Reconversión, Chamizo, Modelo geométrico, Erosión hídrica.

ABSTRACT

With the purpose of determining the productivity range of “chamizo” (fourwing saltbush) in both rangeland and cropland conditions, two plots were established in kastanozem soils at two different sites. In the cropland plot the shrub was planted in furrows (FA); in the rangeland plot two mechanized agricultural practices were used: 1) contour furrows with shrubs at its upper border (CF) and 2) planted in holes (H), as water reservoirs, with creeping prickly pear acting as barrier for water catchment. Plant height and two transversal measurements of plant diameter were taken for five years. Whole plants were cut (n=64) in each condition and dry matter was determined. A geometric model was set through regression. Mean yield for plants in the cropland plot was 1.24 kg, while in rangeland yield was 0.260 and 0.244 kg for H and CF, respectively, which represents approximately 1 kg difference. Regression models showed R² values of 0.70 and 0.81 for H and CF, respectively. For shrubs established in the cropland plot, R² value was 0.66. The maximum means predicted were 358 and 458 kg ha⁻¹ for FC and H, respectively. In spite of using water holding practices, the cropland soil showed higher yield than that of rangeland. Productivity in both soil conditions represents the expected yield interval for fourwing saltbush.

KEY WORDS: Crop conversion, Chamizo, Fourwing saltbush, Geometric model, Water erosion.

Para rescatar áreas que erróneamente se abrieron al cultivo, se requiere la identificación de las mismas, con procedimientos de campo que permiten actualizar la información disponible y separar las

In order to rescue areas which should not be cropped in accordance with their intrinsic conditions, these should first be identified by means of field procedures that allow both updating available data

Recibido el 20 de diciembre de 2007. Aceptado para su publicación el 12 de mayo de 2008.

^a Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC-INIFAP. Apdo. Postal 18, 98500 Calera, Zacatecas. Tel (478)9850198. fechava@zacatecas.inifap.gob.mx. Correspondencia al primer autor.

áreas de menor aptitud⁽¹⁾; sin embargo, cuando la identificación de la aptitud productiva es necesaria para guiar la reconversión productiva (por ejemplo a nivel regional) los métodos agrológicos basados en la capacidad productiva de cada unidad de suelo⁽²⁾ son los más apropiados.

En la Ley de Desarrollo Rural Sustentable⁽³⁾, aunque no se menciona el término de reconversión, sí se hace referencia a conceptos como cambio del uso del suelo en terreno forestal, restauración forestal, terreno preferentemente forestal y conservación forestal. De lo anterior, se infiere que el objetivo de la reconversión productiva es promover el establecimiento de las actividades de producción agropecuaria y forestal en áreas de buen potencial productivo y aptitud productiva, que sean competitivas y promuevan la sustentabilidad.

De acuerdo con las leyes vigentes que regulan el uso de los recursos naturales en nuestro país, los términos identificados y que están relacionados con la reconversión son: cambios tecnológicos, conversión de cultivos, reconversión productiva y recuperación de zonas degradadas. Con respecto a lo anterior, vale la pena revisar las definiciones de degradación y desertificación ya que éstas van asociadas. La Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo en su glosario⁽⁴⁾ define la degradación “como el proceso por medio del cual un compuesto es transformado en componentes más simples”. Por otro lado, la desertificación fue definida en 1992, por la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la desertificación como: “la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas”⁽⁵⁾. Tomando en cuenta lo anterior, la reconversión es pues, una opción que intenta reducir la degradación y por ende la desertificación de la tierra.

Para conciliar lo anterior en una sola definición de reconversión productiva, es necesario considerar criterios agronómicos, como por ejemplo, el cambio de las especies vegetales actuales por especies nativas o cultivos alternativos que sean más aptos para sobrevivir y producir en las áreas susceptibles

and sorting out the low aptitude areas⁽¹⁾. However, when production aptitude is considered necessary to lead crop conversion (for example at the regional level) agrologic procedures based on production capacity of each soil type⁽²⁾ are deemed most appropriate.

In accordance with the Sustainable Rural Development Act⁽³⁾, even though “crop conversion” is not specifically mentioned, several related concepts such as change of soil use in forest areas, forest recovery, preferably forestry use soil and forest conservation are referred to throughout its text. Therefore it can be safely assumed that the objective of crop conversion is to promote setting up agricultural, livestock rising and forestry activities in good production potential areas, showing competitiveness and promoting sustainability.

Also in accordance with legislation which regulates natural resources use and conservation in Mexico, the following words and phrases: crop conversion, production change, technological change and degraded area recovery are identified as related to crop conversion. With reference to this, it is considered useful to mention degradation and desertification definitions as they are associated. In the American Soil Science Society glossary⁽⁴⁾, “degradation” is currently defined as “the process whereby a compound is transformed into simpler compounds.” On the other hand, desertification’s definition in accordance with the UN Convention to Combat Desertification is “Land degradation in arid, semi-arid and dry sub-humid areas resulting from various factors, including climatic variations and human activities”⁽⁵⁾. Taking this into account, crop conversion is an option for lessening degradation and therefore of desertification too.

To condense these concepts in only one crop conversion definition, agronomic criteria should be taken into account, as replacement of current plant species with native species or alternative crops with more survival and production possibilities in those areas subject to conversion. In this case, it should be expected that the proposed alternatives cause less damage to the environment (loss of water, soil and nutrients).

de reconversión. En este caso, se espera que las alternativas propuestas, produzcan un menor deterioro de los recursos naturales (pérdida de suelo, agua y nutrientes).

De esta manera, la reconversión productiva se podría 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, por ejemplo: la sustitución de cultivos agrícolas de baja productividad por pastos o matorrales mejor adaptados a la región para producir carne de ovino o caprino o la plantación de nopaleras en áreas agrícolas con problemas de sequía recurrente. En este estudio se prueba la opción de la plantación del chamizo en dos diferentes condiciones de uso del suelo, ya que este arbusto presenta ventajas de adaptación a baja precipitación pluvial y condiciones de suelo limitativas. El objetivo del estudio fue evaluar la productividad del chamizo (*Atriplex canescens*) en un suelo kastanozem en condiciones contrastantes de dos casos de estudio.

El estudio se realizó en dos sitios contrastantes por su uso del suelo. El primero es un área agrícola de 1.5 ha localizada en el Campo Experimental Zacatecas del INIFAP localizado entre los 22° 54' 02" N y 102° 39' 31" O, a 2,197 msnm. El segundo sitio se ubicó en un área de agostadero de 53 ha, localizada a 22° 54' N y 102° 33' O, a 2,285 m. La precipitación promedio anual en ambos sitios es de 407 mm⁽⁶⁾.

Descripción de los sitios

El suelo de ambos sitios se clasifica como kastanozem⁽⁷⁾. En el área agrícola la profundidad de suelo es mayor a 1.5 m y la pendiente es de 0.2 %, con fisiografía plana. En los dos sitios de agostadero la profundidad del suelo es menor a un metro, pendiente del terreno de alrededor del 3 %, con textura predominantemente arenosa, pH moderadamente alcalino (7.8), y bajo contenido de nutrimentos, materia orgánica (0.1 a 2.7 %) y sales. La fisiografía varía de ondulada a escarpada y presenta cárcavas muy desarrolladas. La

Thus crop conversion could be defined as “*a change of activity or system in search of a best use of the potential aptitude of an area or site for optimal soil use while reducing production loss.*” In the degraded areas of Zacatecas activities related to this concept could be, for example, replacement of low productivity crops with shrubs or grasses better adapted to prevailing conditions for sheep or goat production or planting nopal in those areas having recurrent droughts. In the present study, planting of fourwing saltbush in two different soil conditions, because this shrub is well adapted to low rainfall and poor soils. The objective of this study was to assess fourwing saltbush (*Atriplex canescens*) productivity in a kastanozem soil in two divergent study cases.

The present study was carried out in two divergent soil use sites. The first is located in a 1.5 ha cropland area inside INIFAP's Zacatecas Experiment Station, at 22° 54' 02" N, 102° 39' 31" W, 2,197 m asl. The second site is located inside a 53 ha rangeland at 22° 54' 00" N, 102° 33' 00" W, 2,285 m asl. Average rainfall for both sites is 407 mm⁽⁶⁾.

Site description

The soil in both sites is classified as kastanozem⁽⁷⁾. The cropland soil is more than 1.5 m deep with a 0.2 % slope showing flat physiography. In both rangeland sites soil is less than 1.0 m deep, 3 % slope, sandy texture, moderately alkaline (pH 7.8) and low nutrient, salt and organic matter (0.1 to 2.7 %) content. Physiography changes from undulated to steep with sharp gullies. Dominant vegetation in rangeland is “native grass-spiny shrub-cactus,” cactus prevailing in some places and grasses in other.

Fourwing saltbush establishment

The genus *Atriplex* is made up by more than 250 species, either native to Mexico or introduced. In North America fourwing saltbush stands out as a year round cattle feed complement⁽⁸⁾. This plant is a perennial shrub belonging to the *Chenopodiaceae* family, erect, always green, grayish or cinder colored, having deep roots and plentiful branches^(9,10).

vegetación dominante en los sitios de agostadero es un “pastizal nativo-matorral espinoso-nopalera”, con predominio en algunas áreas por pastizal o nopalera.

Establecimiento del chamizo

El género *Atriplex*, cuenta con alrededor de 250 especies, tanto nativas como introducidas. En Norteamérica sobresale la costilla de vaca o chamizo, la cual sirve todo el año como complemento alimenticio para el ganado⁽⁸⁾. Es una arbustiva de la familia Chenopodiaceae, la cual es erecta, perenne, siempre verde, de color cenizo o grisáceo, con raíces profundas y de abundante ramaje^(9,10).

En el sitio agrícola, el chamizo se estableció en el año de 1988, mientras que en los sitios de agostadero fue entre agosto y septiembre de 1995. En ambos casos la planta se propagó en macetas dentro de un invernadero. Para el establecimiento de la parcela en el terreno agrícola, la semilla se obtuvo de plantas nativas localizadas en terrenos del municipio de Villa de Cos, Zacatecas. De la parcela agrícola, se obtuvo la semilla con la que se produjo la planta que se estableció en los terrenos de agostadero. Los arbustos del terreno agrícola se establecieron en bordos separados cada 3 m, y la distancia entre plantas fue de 3 m, obteniéndose una densidad de 1,111 plantas/ha⁻¹. En los sitios de agostadero la densidad fue variable, ya que se realizó un trazo en curvas a nivel y la separación entre líneas no fue constante, pero la densidad de plantación varió entre 1,000 y 1,200 plantas ha⁻¹.

La plantación en el sitio agrícola (SA) se realizó en el lomo del surco y en el agostadero se usaron dos prácticas mecánicas: 1) bordos en contorno (BC) plantando el arbusto en el lomo del surco y 2) cepas (C), plantando el arbusto en el fondo de la cepa y permitir la captación de humedad; además, en este último caso, se estableció un muro de nopal rastrero (*Opuntia rastrera*), el cual se ubicó pendiente abajo, con la finalidad de que actuara como barrera o muro vivo para aumentar aún más la captación de humedad. El nopal rastrero se obtuvo de la poda de plantas nativas del mismo sitio.

In the cropland site, fourwing saltbush was planted in 1988, and later, in August – September 1995 in both rangeland sites. In all instances, plants were propagated in pots inside greenhouses. Seed was obtained from native plants found in Villa de Cos Municipality in Zacatecas. This seed was used for planting the cropland plot and from this plot seed for both rangeland plots was harvested. Shrubs in cropland were planted in furrows 3 m apart at 3 m distance between plants, for a 1,111 pl ha⁻¹ stand. Plant stands in the rangeland sites varied, due to contour furrowing, between 1,000 and 1,200 pl ha⁻¹.

Planting in the cropland site (FA) was carried out in the back (upper border) of the furrow and in the rangeland sites, two mechanized farming practices were used: 1) Contour furrows (CF) with shrubs planted in the back of the furrows, and 2) holes (H) with shrubs planted at their bottom to allow moisture catchment. In this last case, a row of creeping prickly pear (*Opuntia rastrera*) was set downhill as a living barrier to increase water catchment. Creeping prickly pear cuttings were obtained by pruning plants in the site.

Measuring growth and dry matter production

In the cropland site, measurements were carried out between May 1994 and June 1995. Both plant height and canopy width (N-S and E-W) were measured in 18 plants each month for 13 mo for a grand total of 234 plants. Plants were cut and weighed fresh and dry to determine dry matter.

In the rangeland sites, plant growth was measured monthly between 1996 and 2005. The same parameters as in the cropland site were recorded. Fifty plants per treatment, chosen at random and duly identified were measured each month. In the rangeland sites only four plants per treatment (8 plants) were cut monthly for 16 mo running (April 2002 – August 2003) for a grand total of 128 plants. Before, during and after this destructive sampling, height and canopy were measured for yield prediction (n = 35). In all cases, cut plants were separated into their different vegetative parts, including stems, old and new shoots, and dried up to constant weight to determine dry matter.

Medición del crecimiento y producción de materia seca

En el caso del sitio ubicado en terreno agrícola, las mediciones se realizaron de mayo de 1994 hasta junio de 1995. Se midió la altura de planta y se realizaron dos mediciones del ancho del dosel, siendo estas perpendiculares una a la otra (norte-sur y este-oeste). En total se midieron 18 plantas durante 13 meses, para totalizar 234 plantas, las cuales fueron cortadas y pesadas en verde y en seco para obtener la materia seca.

En los terrenos de agostadero, las determinaciones del crecimiento de la planta se realizaron mensualmente entre 1996 y 2005. Igual que en el caso del terreno agrícola, se midió la altura y dos mediciones del ancho del dosel de la planta, siendo estas perpendiculares una a la otra (norte-sur y este-oeste). En total, se midieron 50 plantas por tratamiento, las cuales fueron seleccionadas al azar y se marcaron y midieron permanentemente. En los terrenos de agostadero sólo se cortaron ocho plantas (cuatro por tratamiento) durante 16 meses, sumando un total de 128 plantas. Las plantas se cosecharon mensualmente, desde abril de 2002 hasta agosto de 2003. Antes, durante y después del muestreo destructivo, se realizaron mediciones de altura y diámetros con fines de predicción de rendimiento (n=35). En todos los casos, las plantas cortadas fueron separadas en sus diferentes partes vegetativas e incluyendo la totalidad de los tallos, separando los brotes nuevos de los viejos y transformándolos a materia seca (secado hasta peso constante).

Muestreo de suelo y evaluación de la erosión hídrica

Se realizó un muestreo a lo largo de cada parcela experimental, colectando tres muestras por sitio a las profundidades de 0-30 y 30-60 cm. Se determinaron las propiedades físico-químicas del suelo, así como la textura, densidad aparente, porosidad y velocidad de infiltración. Las determinaciones químicas incluyeron nutrientes mayores (N,P,K) y menores (K, Ca, Mg, Na) y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

La evaluación de la erosión hídrica de los chamizos establecidos con las prácticas mecánicas BC y C dentro del sitio de agostadero se realizó mediante

Soil sampling and water erosion assessment

Soils were sampled in each experimental plot, collecting three samples per site at 0 m – 0.30 m and 0.30 m – 0.60 m depths. Soil physical and chemical properties, texture, bulk density, porosity and infiltration speed were determined. Chemical analysis included major (N,P,K) and minor (Ca, Mg, Na) nutrients and cationic interchange capacity (CIC).

Water erosion assessment in FA and H plots was performed in standard 3 x 22 m plots outfitted with catchment devices and storage tanks to collect water and sediment runoff⁽¹¹⁾.

Rainfall data were obtained in two pluviometers. Rainfall (mm) and runoff (V_{esc} liters) in each event in every runoff plot were recorded. Besides, a proportional volume of runoff water was taken from each plot to determine the amount of sediments ($g L^{-1}$) in the laboratory.

Sediments were separated using Whatman No. 2 filtration paper and erosion was estimated by multiplying sediments by total runoff volume and reported in $kg ha^{-1}$. This factor was measured from 1997 to 2005 and only in the rangeland plot.

Data analysis

Plant height and canopy data associated to corresponding dry matter values were adjusted to a geometric model through regression. The geometric model used in this instance⁽⁹⁾ included the following parameters:

$$Y = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \dots\dots\dots (1)$$

Where:

$$I_1 = \frac{L_1 \times L_2}{4} \times \pi \dots\dots\dots (2)$$

$$I_2 = h \times I_1 \dots\dots\dots (3)$$

$$I_3 = \frac{I_2}{3} \dots\dots\dots (4)$$

$$I_4 = h^3 \frac{4}{6} \pi \dots\dots\dots (5)$$

lotes estándar de 3 X 22 m equipados con colectores y tanques de almacenamiento para captar el total del agua escurrida y los sedimentos⁽¹¹⁾.

El registro de la precipitación pluvial se obtuvo con dos pluviómetros. La magnitud de la precipitación pluvial (mm), y el volumen escurrido (V_{esc} en litros) en cada una de las parcelas de escorrentía fueron registrados para cada evento. Asimismo, se tomó una alícuota (un litro de agua escurrida) por parcela para determinar en laboratorio los sedimentos en suspensión (g/L).

La separación de los sedimentos en suspensión se realizó utilizando papel filtro Whatman del No. 2. La erosión se determinó multiplicando los sedimentos por la cantidad total escurrida reportándola en kilogramos por hectárea, y se realizó de 1997 al 2005, solamente en el agostadero.

Análisis de la información

Los datos de alturas y mediciones transversales asociados a los valores correspondientes de materia seca, se ajustaron a un modelo geométrico por medio de regresión. El modelo geométrico utilizado⁽⁹⁾ incluyó los siguientes parámetros:

$$Y = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

$$I_1 = \frac{L_1 \times L_2}{4} \times \pi \dots\dots\dots (2)$$

$$I_2 = h \times I_1 \dots\dots\dots (3)$$

$$I_3 = \frac{I_2}{3} \dots\dots\dots (4)$$

Where: Y= dry matter yield per plant; L_1 = N-S canopy width; L_2 = E-W canopy width; π = 3.1416 ...; and h= plant height. By means of regression the model that showed better adjustment was chosen. Models were used to predict dry matter increase in fourwing saltbush plants, from height and canopy area data collected throughout the present study.

Besides, with data predicted through the models, a comparison between estimated dry matter yields was performed. Data of 26 samplings carried out between 2003 and 2005 were used. Data were analyzed by means of a repeated measures analysis using the SAS mixed models system^(12,13). For variance analysis of water erosion, data were transformed into natural logarithms, as these distribute log - normal⁽¹⁴⁾; this analysis was performed with SAS software⁽¹³⁾.

Soil characteristics

Both study sites present kastanozem type soils⁽⁷⁾, but show differences in their physical and chemical variables. In the rangeland sites (CF, H), texture was a sandy loam with high and low sand and lime percentages, respectively (Table 1), whereas soil texture in the cropland site was a loam with high clay and lime content, with a more balanced sand percentage, when compared to soils in the rangeland sites. Bulk density was greater in the rangeland sites, which can be explained though less porosity than in the cropland site. Although water infiltration speed (V_{inf}) could be expected to be greater in the rangeland sites due to its higher sand content, this was not so, as shown in Table 1. Most probably, the lighter and more porous condition of the FA site soil, added to its more balanced granulometry, explains its excellent infiltration rate.

Cuadro 1. Características y propiedades físicas del suelo de los sitios en estudio

Table 1. Physical characteristics of soils in study sites

Site	Sand(%)	Lime(%)	Clay(%)	Tex	AD(g cm ⁻³)	Por(%)	V_{inf} (cm h ⁻¹)
BC	77.0	5.6	17.4	AF	1.62	38	10.0
C	83.0	4.3	12.7	AF	1.56	41	12.0
SA	43.4	24.6	38.7	F	1.18	55	30.1

Tex=soil texture, where AF=sandy loam and F=loam); AD=bulk density; Por=porosity y V_{inf} =water infiltration rate.

$$I_4 = h^3 \frac{4}{6} \pi \dots\dots\dots (5)$$

en donde: Y es el rendimiento de la planta en términos de materia seca por planta; L₁ es la longitud transversal del arbusto en la dirección norte-sur; L₂ es la longitud transversal del arbusto en la dirección este - oeste; π es el parámetro Pi (3.1416...); y h es la altura del arbusto. Por medio de regresión se seleccionó aquel modelo que presentara el mejor ajuste. Los modelos obtenidos fueron usados para predecir el incremento de la materia seca de las plantas de chamizo, a partir de los datos de altura y ancho del dosel colectado durante el estudio.

Además, con la información predicha por los modelos, se realizó una comparación entre las producciones estimadas de materia seca. Se utilizaron los datos de 26 muestreos realizados de 2003 a 2005. Para analizar la información se utilizó un análisis de medidas repetidas⁽¹²⁾, el cual fue realizado con la rutina de mixed models del SAS⁽¹³⁾. Para realizar el análisis de varianza de la erosión hídrica, los datos se transformaron a logaritmo natural, ya que estos se distribuyen log - normal⁽¹⁴⁾; el análisis se realizó con el programa SAS⁽¹³⁾.

Características de los suelos en estudio

Ambos sitios de estudio presentan suelos del tipo kastanozem⁽⁷⁾, pero con diferencias en sus variables físicas y químicas. En los sitios de agostadero (BC y C) la textura fue de arena franca con porcentajes de arena y limo altos y bajos, respectivamente. (Cuadro 1); en cambio, en el sitio agrícola (SA) la textura fue franca con un contenido alto de limo y arcilla, y un porcentaje más equilibrado de arena, en comparación con los sitios de agostadero. La densidad aparente fue mayor para los sitios de agostadero que para el sitio agrícola, lo que explica la reducción de la porosidad del suelo de los primeros. Aún cuando podría esperarse que la velocidad de infiltración (V_{inf}) del agua en el suelo fuera mayor para los sitios de agostadero, puesto que presentan valores altos de arena, esto no fue así tal y como se muestra en el Cuadro 1. Es muy probable que la condición más ligera y porosa del suelo en SA, aunada a una composición granulo-

Organic matter content (OM) of soils in the three sites is low (Table 2), which indicates similar fertility levels. Nitrate (NO₃⁻) content shows a similar behavior to OM. Soil in the FA site has not been fertilized since 1988, so NO₃⁻ content, same as in the other two sites, CF and H, is a product of OM mineralization, being approximately 23.4, 31.1 and 51.9 kg ha⁻¹ in the top 0.30 m of the sampled soils profile, respectively. The higher NO₃⁻ content in H could indicate a greater microbial activity, due to fourwing saltbush transplants and creeping prickly pear live barriers, as both plants promote formation of fertility islands⁽¹⁵⁾, which are areas of significant water and organic matter accumulation, which favor nutrient mineralization⁽¹⁶⁾ in the area below the canopy of these plants.

With reference to phosphorous content (P₂O₅), higher values were reported for the cropland site (Table 2), which could indicate previous inputs and due to the slow mobility of this element could still be present. Other aspects that need drawing attention to are the high potassium content, the low calcium and sodium content and the low cationic interchange capacity found, due to a low base saturation, in the cropland soil. On the whole the cropland soil shows better physical characteristics, with greater water catchment potential, but with lower salt, organic matter and nutrient content. Both site conditions represent the extremes where crop conversion can be carried out, as the cropland soil can be graded as 2 out of 4 (with minor constraints) and the rangeland soil can also be

Cuadro 2. Materia orgánica (OM) y algunas características químicas del suelo de los sitios en estudio

Table 2. Organic matter (OM) and other chemicals characteristics of soils in this study

Site	OM (%)	NO ₃ (ppm)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O (ppm)	CIC(Meq/100g)
CF	1.02	6.4	0.21	111.4	38.8
H	1.71	11.1	0.84	59.2	40.0
FA	1.22	6.6	7.55	549.3	18.7

CIC=cationic interchange capacity.

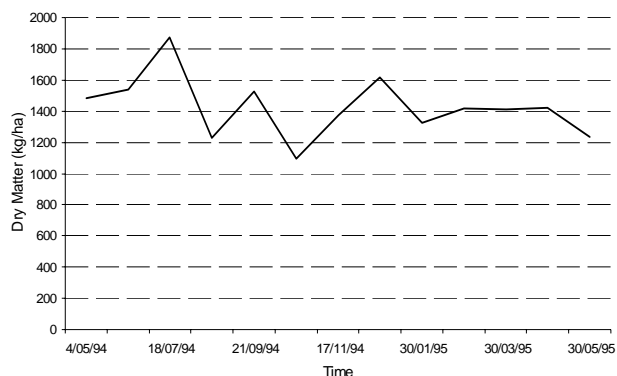
métrica más equilibrada de dicho suelo explique la excelente infiltrabilidad del mismo.

El contenido de materia orgánica (MO) del suelo de los tres sitios fue bajo (Cuadro 2), lo que indicó también niveles similares de fertilidad. El contenido de nitratos (NO_3) mostró un comportamiento similar al de la MO. El suelo del sitio SA se ha mantenido sin fertilización desde 1988, por lo que al igual que el suelo de los sitios BC y C, los contenidos de nitrógeno encontrados son producto de la mineralización de la MO, representando aproximadamente 23.4, 31.1 y 51.9 kg ha^{-1} en los 30 cm superficiales del perfil de suelo muestreado. El mayor contenido de NO_3 en C podría ser indicador de una mayor actividad microbiana, debida a la práctica conjunta del trasplante del arbusto y muros vivos de nopal rastrero, ya que ambas plantas son promotoras de la formación de islas de fertilidad⁽¹⁵⁾, que son áreas de gran acumulación de agua y material orgánico al suelo, lo que favorece la mineralización de los nutrientes⁽¹⁶⁾ en el área bajo el dosel de estas plantas.

En lo que se refiere a contenido de fósforo (P_2O_5), se encontraron valores más altos en el suelo agrícola que en el agostadero (Cuadro 2), lo que puede indicar que en el suelo agrícola hubo aportaciones

Figura 1. Producción de materia seca de *Atriplex canescens* en un área agrícola, después de seis años del establecimiento (1994 y 1995)

Figure 1. Fourwing saltbush (*Atriplex canescens*) dry matter production in a cropland site, after six years establishment (1994 and 1995)



graded as 2 out of 4, with very little damage, in accordance with an agrological study⁽¹⁷⁾, which explains that the difference between them is their current use and their different production capacity, and also that the expected productivity for each soil type, as explained later in this paper, and that it can be used in choosing species for crop conversion.

Atriplex planted in cropland

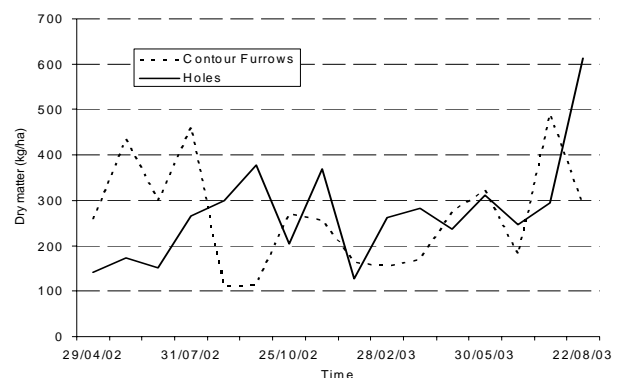
Average growth values (weight $\text{kg} \pm$ Standard Deviation) of monthly measurements carried out between May 1994 and May 1995 for fresh plant, leaves, stems and dry plants were $1,960.2 \pm 1507$, 724.8 ± 968 , 704.6 ± 849.2 and $1,426 \pm 1,051$ kg ha^{-1} , respectively. Values shown for plants in the cropland plot were used as reference for potential growth of this shrub in the best soils. These measurements were performed when plants were six years old. Variation observed (Figure 1) is associated to changes in in plant growth throughout the year, although a gradual decrease with respect to the previous year can be observed.

Fourwing saltbush planted in rangeland

To allow comparisons between rangeland and cropland areas, only fourwing saltbush vegetative

Figura 2. Producción de materia seca de *Atriplex canescens* en dos áreas de agostadero, después de seis años del establecimiento (2002 y 2003)

Figure 2. Fourwing saltbush (*Atriplex canescens*) dry matter production in two rangeland sites after six years establishment (2002 and 2003)



anteriores, y dada la baja movilidad de dicho elemento, pudiera aún estar presente en el suelo. Otro aspecto contrastante es el alto valor de potasio encontrado en el suelo agrícola, los bajos valores de calcio, menores de sodio y menor capacidad de intercambio catiónico, debido a una menor saturación de bases. En general, el suelo agrícola cuenta con mejores características físicas, con una mayor capacidad de captación de humedad, pero con menor contenido de sales y menor disponibilidad de materia orgánica y nutrientes que los suelos de agostadero. Ambas condiciones, representan cercanamente los extremos donde puede realizarse la reconversión productiva, ya que en el caso del suelo agrícola, se trata de un suelo clase 2 (de 4, con limitaciones menores), y el segundo caso, el suelo pecuario, corresponde a un suelo de clase 2 (de 4, con un bajo nivel de deterioro), clasificados así en un estudio agrológico⁽¹⁷⁾, lo cual muestra que la diferencia entre ellos es el uso actual que se da al suelo, y su diferente aptitud productiva, y que la productividad esperada en ambos tipos de uso, es el rango que aquí se presenta más adelante, y que puede ser usado para la selección de especies en la reconversión productiva.

Atriplex establecido en suelo agrícola

Los valores medios de crecimiento (peso en kg \pm desviación estándar) de mediciones mensuales realizadas de mayo de 1994 a mayo de 1995 para planta en verde, hoja, tallo y planta en seco fueron: 1960.2 ± 1507 , 724.8 ± 968 , 704.6 ± 849.2 y 1426.7 ± 1051 kg ha⁻¹, respectivamente. Los valores que se presentan de la parcela establecida en un área agrícola fueron utilizados como referencia del crecimiento potencial del arbusto en mejores condiciones de suelo. Dichas mediciones se realizaron cuando la planta contaba con seis años de establecimiento. La variación observada (Figura 1) está asociada al cambio de crecimiento que sufre la planta durante el año, aunque se aprecia un decremento gradual con relación al año anterior.

Atriplex establecido en suelo de agostadero

Para permitir la comparación con las mediciones realizadas en el área agrícola, se presenta únicamente el crecimiento vegetativo (expresado

growth data for 2002 and 2003 (expressed as kg ha⁻¹ dry matter yield) is shown, which corresponds to a six year period growth (Figure 2). In this case a decrease of dry matter content can be seen in the winter months and an increase in the summer months. Average values for plants growing in CF, for different yield components, leaves, stems, new shoots, and dry plants were 27.0 ± 32.8 , 183.2 ± 160.7 , 59.2 ± 48.6 and 272.5 ± 219.0 kg ha⁻¹, respectively. The great variation between values for CF and H when compared to those found for FA should be highlighted.

Dry matter yield prediction

Dry matter yields are associated to plant height and canopy area. Both models showed the best adjustment when related to equation 4, which is as follows: $\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 I_3$, where Y is dry matter yield on an annual basis; b_0 the intercept at the origin and b_1 dry matter monthly production rate.

Due to the fact that estimated models include a dependent variable (I_3), being the same for the three estimated models, it is possible to tell apart the differences between slope and intercept values between sites and planting methods. Using these regression models, dry matter yield per plant in FA was 1.24 kg, while in CF and H yields per plant were 0.260 kg and 0.240 kg, respectively, a difference of nearly 1.0 kg for each plant between both sites. In evaluations carried out in Santa Cecilia, Valle de Cos, Zacatecas, Mexico⁽¹⁸⁾, dry matter yields per plant of 0.198 kg and 0.180 kg in 2002 and 2003, respectively, were reported; in this case plants were of native stock not subject to any management practices. Also, fourwing saltbush annual dry matter yields up to 2.0 kg per plant have been reported⁽¹⁹⁾. Adjusted models showed R^2 values of 0.75 and 0.84 for plants established in CF and H, respectively. For shrubs planted in FA, R^2 was 0.66. Intercept in rangeland was 59.36 and 56.61 for H and CF, respectively and 468.94 for FA. These values represent dry matter in plants after six years. Slope was 0.00229, 0.00315 and 0.00158 for H, CF and FA, respectively. Expected growth for H and CF is shown in Figure 3. In accordance with the prediction model used and to

como rendimiento de la materia seca en kg ha^{-1} del chamizo durante 2002 y 2003, lo que corresponde al crecimiento de la planta después de seis años de establecimiento (Figura 2). En este caso se aprecia una disminución en la materia seca durante los meses de invierno y un incremento durante el verano. Los valores promedio de plantas establecidas en BC, para diferentes componentes del rendimiento como peso de hoja, tallo, brotes nuevos y planta en seco fueron: 27 ± 32.8 , 183.2 ± 160.7 , 59.2 ± 48.6 y $265.7 \pm 223.7 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. En el caso de plantas establecidas en C, los promedios para los mismos componentes del rendimiento fueron: 38.0 ± 30.9 , 169.3 ± 137.9 , 69.5 ± 75.2 y $272.5 \pm 219 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. Es de notarse la gran diferencia entre los valores de estas variables para BC y C en comparación con los obtenidos para SA.

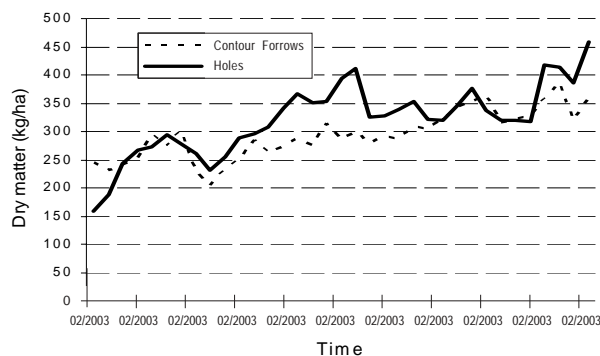
Predicción de la producción de materia seca

Los valores de materia seca se relacionaron con valores de altura y longitud de ancho del dosel. Ambos modelos presentaron el mejor ajuste cuando se relacionaron a la forma de la ecuación 4, la cual fue: $\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 I_3$, en donde Y es el la producción anual de materia seca, b_0 es el intercepto al origen y b_1 es la tasa de producción mensual de materia seca.

Debido a que los modelos estimados sólo incluyen una variable dependiente (I_3) y ésta es la misma en los tres modelos calculados, es posible distinguir las diferencias entre los valores de pendiente e intercepto entre sitios de estudio y prácticas de establecimiento de plantas de chamizo. Utilizando los modelos de regresión calculados, la producción anual de materia seca por planta en el suelo agrícola (SA) fue de 1.24 kg/planta , mientras que en agostadero fue de 0.260 y 0.244 kg/planta (C y BC, respectivamente), lo que representó una diferencia de aproximadamente 1 kg de materia seca/planta entre ambas condiciones (agrícola y agostadero). En evaluaciones realizadas en Santa Cecilia, Villa de Cos, Zacatecas⁽¹⁸⁾, reportó valores de materia seca de 0.198 y 0.180 kg/planta , en 2002 y 2003, respectivamente, los cuales corresponden a plantas nativas sin ningún manejo. Asimismo, existen reportes de producciones de

Figura 3. Predicción de rendimiento de *Atriplex canescens* en el agostadero del Mpio de Panuco, Zac

Figure 3. Fourwing saltbush *Atriplex canescens* yield prediction for rangeland in Municipality of Panuco, Zac



real values obtained for plant height and canopy diameters, the maximum yields observed in 2005 were 358 kg ha^{-1} and 458 kg ha^{-1} for CF and H, respectively.

Taking predicted yields as a starting point, which take into account a three year span, differences between components of management practices in CF and H, which also act as water catchment methods, were analyzed. Yield differences found between H and CF are significant ($P < 0.05$), which indicates that planting practices influenced fourwing saltbush dry matter production, and also that H management practice (which includes creeping prickly pear barriers), was more efficient in fostering growth in rangeland conditions.

With reference to the cropland area, yield difference is associated to differences in soil depth, and even though stored moisture was measured in each soil type, a higher porosity and a greater infiltration rate, added to greater clay content, indicate a greater storage potential, which increases productivity.

Water erosion

The higher erosion values were found in CF (Table 3), with a difference between average values of $340 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ($P < 0.05$). Also, runoff average values are alike, although H received more rainfall, which caused a slightly greater runoff but less soil

plantas de chamizo de hasta 2 kg/planta⁽¹⁹⁾. Los modelos ajustados presentaron valores de R² de 0.75 y 0.84 para los chamizos establecidos en C y BC, respectivamente. Para los arbustos establecidos en suelo agrícola el valor de R² fue de 0.66. El intercepto en agostadero fue de 59.36 y 56.61 (C y BC, respectivamente), y de 468.94 para SA. Esto representa la materia seca con que contaba la planta después de seis años de establecimiento. La pendiente fue de 0.00229 y 0.00315 para C y BC, respectivamente, y 0.00158 para SA. El crecimiento esperado en C y BC se presenta en la Figura 3. De acuerdo con el modelo de predicción usado y alimentándolo con valores reales medidos de altura y diámetros transversales, los rendimientos máximos observados en 2005 fueron de 358 y 458 kg ha⁻¹ para BC y C, respectivamente.

A partir de la producción predicha, la cual abarca tres años, se analizaron las diferencias entre los componentes de las prácticas de establecimiento cepas (C) y bordos (BC) que actúan también como métodos de captación de humedad. Las diferencias de rendimiento entre C y BC fueron significativas ($P < 0.05$), lo que indica que los componentes de prácticas de establecimiento influyeron en la producción de materia seca de chamizo y que la práctica C (que involucra barreras vivas de nopal rastrero) fue más efectiva para propiciar un mejor crecimiento en el agostadero.

Respecto al comportamiento del área agrícola con las áreas de agostadero, la diferencia en producción, está asociada a la diferencia en la profundidad de suelo de los sitios, y aunque no se midió la humedad almacenada en cada tipo de suelo, los mayores valores de porosidad y velocidad de infiltración, aunado al mayor contenido de arcilla, son indicadores de una mayor capacidad de almacenamiento, el que se traduce en una mayor productividad de dicho arbusto.

Erosión hídrica

Los mayores valores de erosión corresponden al chamizo establecido en BC (Cuadro 3), con una diferencia en valores promedio de 340.7 kg ha⁻¹ año⁻¹ ($P > 0.05$). Asimismo, los valores promedio de escurrimiento son iguales, a pesar de que el

Cuadro 3. Valores de erosión hídrica, escurrimiento y precipitación bajo dos sistemas de producción de *Atriplex canescens*

Table 3. Water erosion, runoff and rainfall values for two Fourwing saltbush (*Atriplex canescens*) production systems

	Water erosion (kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	Runoff (m ³ ha ⁻¹ yr ⁻¹)	Rainfall (mm)
<i>Contour furrows (AG-CF)</i>			
2001	657.7	336.6	211.5
2002	1396.0	817.8	589.1
2003	1520.2	804.4	552.1
2004	175.0	301.9	539.9
2005	59.4	109.2	301.4
Mean	761.7	474	438.8
<i>Holes (AG-H)</i>			
2001	253.1	204.7	211
2002	781.2	1025.2	611.8
2003	869.1	780.7	572
2004	148.4	306.4	599.4
2005	53	119.5	300.2
Mean	421	487.3	458.8

loss, on average. It is important to draw attention to the fact that erosion values obtained are high when compared to values obtained in sites covered with native vegetation. In studies carried out in parallel in rangelands in 2004 and 2005⁽²⁰⁾, with medium shrub cover (800 to 1,200 pl ha⁻¹) soil loss values of 356 and 477 kg ha⁻¹ yr⁻¹, were found, respectively. On the other hand, in greater plant cover conditions (cactus, 2,000 pl ha⁻¹), values of 30 and 263 kg ha⁻¹ yr⁻¹ were found for 2004 and 2005, respectively. Differences between these two data and those obtained in the present study (Table 3) can be attributed to the effect of planting practices in the rangeland site. Besides, they draw attention to the risk associated to the change of vegetation in these sites, because of possible greater erosion than with native vegetation. In the present study no soil loss data were recorded in the cropland site, but soils planted to beans in this region can lose up to 13.5 t ha⁻¹ yr⁻¹⁽²¹⁾, which can provide a rough idea of what can be expected for this variable when fourwing saltbush is planted in FA.

sitio donde se estableció el chamizo con cepas recibió mayor cantidad de precipitación, la cual generó un escurrimiento promedio ligeramente mayor, pero un promedio menor de pérdida de suelo o erosión. Al respecto es importante destacar que los valores de erosión obtenidos se pueden considerar altos con relación a evaluaciones de erosión hídrica en condiciones de vegetación nativa. En estudios paralelos realizados en condiciones de agostadero en 2004 y 2005⁽²⁰⁾ y con cobertura media de matorrales (800 a 1200 plantas/ha) se registraron valores de erosión hídrica de 356 y 477 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Por otra parte, en condiciones de mayor cobertura vegetal (nopalera densa, ~ 2000 plantas/ha) se registraron valores de 30 y 263 kg ha⁻¹ en 2004 y 2005, respectivamente. Las diferencias entre estos últimos datos y los obtenidos en el presente estudio (Cuadro 3), se pueden atribuir al efecto de las prácticas de establecimiento del chamizo en las áreas de agostadero. Además, alertan sobre el riesgo que conlleva la revegetación de estos sitios, ya que se puede registrar una mayor erosión que cuando no se realiza esta práctica en los terrenos con vegetación nativa. En el estudio no se tuvo la oportunidad de registrar la erosión hídrica en SA, pero los suelos agrícolas de la región sembrados con frijol pueden alcanzar magnitudes de erosión en promedio de alrededor de 13.5 t ha⁻¹⁽²¹⁾, lo que da una idea muy aproximada de los valores esperados para esta variable cuando el chamizo se establece en SA.

En la toma de decisiones se deben considerar los aspectos de degradación del suelo asociados a la intervención tecnológica; así como las ventajas de contar con un matorral como el chamizo, el cual da la posibilidad de mantener la disponibilidad de forraje y valores de proteína, los cuales varían de 16 a 20 % a través del año^(19,22).

El contraste de condiciones aquí evaluadas, representa los extremos productivos del arbusto chamizo para la zona central del estado de Zacatecas, los cuales muestran el rango de producción y prácticas mecánicas que permiten tomar decisiones respecto al cambio de uso del suelo. En cualquier cambio de uso, existe siempre el riesgo de alterar los procesos naturales y en casos de suelos degradados, los cambios se deben

In decision making processes, soil degradation aspects associated to technological intervention should be taken into account, as well as the advantages associated to fourwing saltbush as a year round forage provider, and also of protein showing contents which vary between 16 and 20 % throughout the year^(19,22).

The distinct situations assessed in the present study represent the productive extremes for fourwing saltbush in central Zacatecas, which show the production range and mechanized farming practices which allow decision making on changes in soil use. In any change in soil use, there is always a latent risk of altering natural developments and in the case of degraded soils, these changes should be made with the certainty that the new vegetation cover will cause less degradation than before. Fourwing saltbush productivity in a previously cropped site and currently subject to livestock production, was 1.24 kg dry matter pl⁻¹ yr⁻¹, while in soils continuously in livestock production, this shrub's yield was 0.260 and 0.244 kg dry matter ha⁻¹ yr⁻¹, respectively for contour furrows and holes methods. This represents roughly a difference of 1 kg dry matter pl⁻¹ yr⁻¹ between cropland and rangeland sites and provides a rough estimate for an expected production span in divergent sites. The contour furrows planting method produced greater water erosion than the holes method (760 vs 421 kg ha⁻¹); besides, both methods show a greater erosion risk than soils under natural vegetation. For changes in soil use or for crop conversion in kastonozem type soils, mechanized farming practices linked to low erosion impact should be considered as well as plant species able to establish themselves in degraded soils when a technological intervention is carried out.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank in particular both Fundación Produce Zacatecas A.C. through project FPZ/072/2004 and Fondo Mixto CONACYT – Gobierno del Estado de Zacatecas through project C01-4440, for funding the present study.

llevar a cabo, con la certeza de que el efecto de revegetación produzca un impacto de degradación menor que el que se produjo con anterioridad.

La productividad del chamizo en un sitio anteriormente dedicado a la agricultura y actualmente reconvertido a uso pecuario, fue de 1.24 kg/planta, mientras que en suelos de uso pecuario fue de 0.260 y 0.244 kg/planta entre los componentes de las prácticas de establecimiento cepas y bordos. Esto representa una diferencia de aproximadamente 1 kg de materia seca/planta entre ambos casos de estudio (agrícola y agostadero) y da indicios del rango de productividad esperado en sitios contrastantes. El sistema de establecimiento de plantas de chamizo en bordos en contorno provocó una mayor erosión del suelo que el sistema de cepas (761 vs 421 kg/ha); además, los dos tipos de prácticas evidenciaron un peligro de erosión mayor que el que podría ocurrir en un sitio sin tratamiento de revegetación. Para el cambio de uso del suelo o reconversión productiva en suelos kastanozem, se deben considerar prácticas mecánicas de bajo impacto erosivo y especies con capacidad de establecimiento en suelos degradados al realizar la intervención tecnológica.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de la Fundación Produce Zacatecas A.C. por el apoyo otorgado a través del proyecto FPZ/072/2004, así como al Fondo mixto CONACYT- Gobierno del estado de Zacatecas con el proyecto ZAC-2002-C01-4440. Asimismo, se agradece el apoyo de ejidatarios y autoridades del ejido Panuco, por permitir el uso del agostadero con fines experimentales y al personal de campo, el Sr. Manuel de Haro P., quien realizó las mediciones de campo.

LITERATURA CITADA

1. Echavarría CFG, Medina GG, Gutiérrez LR, Serna PA. Identificación de áreas susceptibles de reconversión de suelos agrícolas hacia agostadero y su conservación en el Ejido Pánuco, Zacatecas. *Téc Pecú Méx* 2004;42(1):39-53.

Furthermore, the support provided by members and authorities of the Ejido Panuco, allowing use of rangeland for this study should be emphasized, as well as the effort carried out by Experiment Station staff, particularly Sr. Manuel de Haro, who performed the field measurements.

End of english version

-
2. SEMARNAT. Secretaría del medio ambiente y recursos naturales. Ordenamiento ecológico general del territorio. Memoria Técnica 1995-2000. Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental. Dirección de Ordenamiento General del Territorio. México, D.F. 2000.
 3. Diario Oficial de la federación. Ley de desarrollo rural sustentable. Presidencia de la República. 07 de diciembre de 2001.
 4. Soil Science Society of America. Glossary of soil terms. SSSA. Madison, WI. 53711. 1997.
 5. UNCED. Earth summit agenda 21: Programme of action for sustainable development. New York. United Nations Department of Public Information. 1992.
 6. Medina GG, Ruíz CJA. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Zacatecas (período 1961-2003). INIFAP. CIRNOC. CEZAC. Libro Técnico N° 3. 2004.
 7. WRB. IUSS Working group. World reference base for soil resources. 2nd edition. World soil resources reports No. 103. FAO, Rome, Italy. 2006.
 8. Ortega RSA. Sistemas de captación de agua de escurrimiento para el establecimiento de costilla de vaca *Atriplex canescens*. INIFAP-SARH. Coyoacan, D.F. 1993 (Bol 76).
 9. Antúnez RDE, Castellanos P, Almeida MR, Valencia CM. Predicción de la biomasa aérea del Chamizo en la época de sequía en el Noreste de Durango. Manejo de pastizales. Saltillo, Coah. 1991;(4)3:1-5.
 10. Mc Arthur ED, Sanderson SC. Distribution, systematics and evolution of *Chenopodiaceae*: An overview. In: Tiedeman AT, Mc Arthur ED, Sturz HC, Stevens R, Johnson K editors. Proceed-Symp Biology of *Atriplex* and related Chenopods. Gen. Tech. Rep. INT-1. Intermountain Forest and Range Station, Ogden UT. USDA, Forest Serv. 1984.
 11. Wischmeier WH, Smith DD. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA, Agric. Handbook 537, U.S. Government Printing Office. Washington, DC. USA. 1978:58.
 12. Littell RC, Miliken GA, Stroup WW, Wolfinger RD. SAS system for mixed models, Cary NC: SAS Institute Inc. 1996.
 13. SAS. SAS/STAT Users' Guide. (Release 6.08). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 1992.
 14. Giordanengo JH, Frasier GW, Trlica MJ. Hydrologic and sediment responses to vegetation and soil disturbances. *J Range Manage* 2003;(56)2:152-158.
 15. Schlesinger WH, Reynolds JF, Cunningham GL, Huenneke LF, Jarrell WM, Virginia RA, Whitford WG. Biological feedbacks in global desertification. *Science* 1990;(247):1043-1048.

16. Ulery AL, Tugel AJ. Farming in New Mexico: Soil quality and productivity maintenance. In: Herrera EA, Mexal JG editors. Ensuring sustainable development of arid lands. New Mexico J Science 1999;(39):86-108.
17. Echavarría CFG, Serna PA, Castillo RA, López HJ, Pajarito RA, Osuna CES, Reyes CJ, Ortega RSA. Aptitud de los suelos y prácticas mecánicas para aminorar la sequía. In: Bravo LAG, Salinas GH, Rumayor RA editors. Sequia: vulnerabilidad, impacto y tecnología para afrontarla en el Norte Centro de México. 2ª ed. Libro Técnico N° 4, INIFAP-CIRNOC-CEZAC.
18. Medina GG. Caracterización de los atributos de la vegetación y predicción de la producción de forraje con imágenes de satélite en los pastizales de Zacatecas [tesis doctoral]. Universidad Autónoma de Zacatecas. UAZ. 2007.
19. Fierro LC. Utilización de *Atriplex canescens* y su importancia en la dieta del ganado y su manejo. En: Memoria Taller sobre captación y aprovechamiento del agua con fines agropecuarios en zonas de escasa precipitación. Salinas GH, Flores AS, Martínez DMA. INIFAP-SARH. 1991:291-310.
20. Echavarría CFG, Serna PA, Bañuelos VR. Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido Zacatecano: II Cambios en el suelo. *Tec Pecu Mex* 2007;(45)2:177-194.
21. Escobedo RJS. Producción sustentable de cultivos básicos con labranza de conservación en Zacatecas. Folleto para productores N° 30. INIFAP-CIRNOC-CEZAC. 2005.
22. Valencia CM. Utilización de *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. En: Memoria Taller sobre captación y aprovechamiento del agua con fines agropecuarios en zonas de escasa precipitación. Salinas GH, Flores AS, Martínez DMA. INIFAP-SARH. 1991:271-290.