

El subsoleo como práctica de rehabilitación de praderas de zacate buffel en condición regular en la región central de Sonora, México

Ripping as a rehabilitation practice on buffelgrass pastures in regular condition at central Sonora, México

Fernando A. Ibarra Flores^a, Martha H. Martín Rivera^a, Felipe Ramírez Moreno^a

RESUMEN

El estudio se realizó con el fin de evaluar la respuesta del zacate buffel [*Cenchrus ciliaris* (L.) Link] y grama china (*Cathestecum brevifolium* Swallen) a la aplicación del subsoleo, como práctica de descompactación, para rehabilitar praderas deterioradas de buffel en condición regular en la región central de Sonora. El subsoleo se aplicó por triplicado en parcelas de 400 m² durante junio de 1995 utilizando un arado subsoleador de tres picos. El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con dos tratamientos (subsoleo y no subsoleo) y tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron: densidad, cobertura basal, altura, producción de forraje y compactación de suelo, las cuales se monitorearon de 1995 a 1999. El subsoleo incrementó ($P < 0.05$) entre un 83 y 382 % la densidad, 105 a 373 % la cobertura basal, 85 a 86 % la altura y 113 a 338 % la producción de forraje del zacate buffel y grama china en comparación con el testigo; y redujo ($P < 0.05$) entre un 27 y 61 % la compactación superficial del suelo en las áreas subsoleadas. De manera acumulativa, la área subsoleada produjo un total de 9.81 t ha⁻¹ de forraje adicional durante cinco años en comparación con el testigo. La compactación del suelo limita significativamente la productividad de las praderas viejas de buffel, y el subsoleo es una buena alternativa para rehabilitarlas.

PALABRAS CLAVE: Subsoleo, Compactación de suelo, Praderas viejas, Densidad, Altura, Cobertura, Producción de forraje, *Cenchrus ciliaris*, *Cathestecum brevifolium*.

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the response of buffelgrass [*Cenchrus ciliaris* (L.) Link] and grama china (*Cathestecum brevifolium* Swallen) to the application of ripping as a compaction reduction practice to rehabilitate old buffelgrass stands in regular condition at central Sonora, Mexico. Ripping was conducted by triplicate on 400 m² plots in June of 1995 by using a three-blade ripper. The experimental design used was a randomized complete block with two treatments (ripping and no ripping) and three replications. Evaluated variables were: density, basal cover, height, forage production and soil compaction; and were monitored from 1995 to 1999. Ripping increased ($P < 0.05$) buffelgrass and grama china density 83 to 383 %, basal cover 105 to 373 %, height 85 to 86 % and forage production by 113 to 338 % as compared to control; and reduced ($P < 0.05$) surface soil compaction between 27 and 61 % on ripped plots during a 5-year period. Ripped plots produced a total of 9.81 t ha⁻¹ of cumulative additional forage as compared to untreated control. It is concluded that soil compaction significantly limits productivity in old buffelgrass pastures.

KEY WORDS: Ripping, Soil compaction, Old stands, Density, Height, Cover, Forage production, *Cenchrus ciliaris*, *Cathestecum brevifolium*.

INTRODUCCIÓN

La productividad de los agostaderos en el estado de Sonora se ha incrementado notablemente a raíz

INTRODUCTION

The productivity of rangelands in the State of Sonora has been increased due to the introduction of buffel

Recibido el 1º de abril de 2002 y aceptado para su publicación el 4 de julio de 2002.

^a Campo Experimental Carbó, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Boulevard del Bosque # 7. Col. Valle Verde. 83200 Hermosillo, Sonora. cecarbo@hmo.megared.net.mx. Correspondencia al primer autor.

de la introducción del zacate buffel [*Cenchrus ciliaris* (L.) Link] en la década de los 50's. A la fecha se estima que la planta se ha establecido en alrededor de 750,000 ha⁽¹⁾, y existe potencial para siembra en aproximadamente 2 millones de hectáreas adicionales en el Estado⁽²⁾. El costo de establecimiento del zacate es alto, por lo que se requiere de un buen manejo y de la aplicación de diversas prácticas de mejoramiento para mantener la productividad y prolongar la vida útil de las praderas.

El zacate grama china (*Cathetecum brevifolium* Swallen) es una de las especies nativas más importantes en el matorral arbosufrutecente de Sonora⁽³⁾, de valor forrajero bueno, muy resistente al pastoreo debido a su baja altura y a su hábito de crecimiento estolonífero, además de estar mencionada como una especie importante para el control de erosión por el tipo de crecimiento que presenta^(3,4). Desafortunadamente, no existe información sobre la respuesta de esta especie a la aplicación de prácticas de descompactación, por lo que es necesario generarla.

Uno de los problemas que más preocupa a los ganaderos es el deterioro de las praderas de buffel a través del tiempo, el cual se manifiesta con la reducción en la densidad y cobertura de las plantas, así como en la disminución de la producción de forraje del zacate. En muchos casos esto va acompañado por invasión de especies arbustivas y leñosas de poco o nulo valor forrajero para el ganado. La rapidez con que las praderas se deterioran después de establecidas es muy variable entre ranchos, y parece estar en función de factores de suelo, clima, y manejo, tales como: siembra en suelos pesados y compactados, preparación inadecuada de la cama de siembra, desmonte excesivo de árboles y arbustos, sequías prolongadas, y sobrepastoreo^(5,6).

Son muchos los factores que influyen en la compactación del suelo en agostaderos. Entre los más importantes destaca el tipo de suelo; los arcillosos o pesados son especialmente susceptibles a la compactación, por lo que requieren de un manejo especial para prolongar la vida útil de las praderas de buffel^(5,7). La escasa cubierta vegetal y el mantillo también exponen al suelo a la

grass [*Cenchrus ciliaris* (L.) Link] until the 1950's. Buffelgrass is grown throughout Sonora, covering an estimated 750,000 ha⁽¹⁾, and it has the potential to establish another 2 million hectares in the State⁽²⁾. Planting cost of buffel grass is high, therefore it requires good management and improvement practices to maintain its productivity and improve the sward persistence.

Grama china grass (*Cathetecum brevifolium* Swallen) is one of the most important native species in Sonora⁽³⁾ range. Grama china has good forage value; it is resistant to heavy grazing due to its short high and its growth habit (stolons). It is also an important specie utilized in the control of the erosion due to its growth habit^(3,4). Unfortunately, there is no information on the responses of this specie to the application of soil de-compaction practices; therefore it is necessary to generate these.

One of the problems that most worried the farmers is the deterioration of the buffel swards throughout the time, which is reflected in a reduction in density, plant cover and herbage production. In many occasions, it is associated with an invasion of forbs and browses species with little nutritive value to the livestock. The level of degradation of the swards after been established vary between farms, and it seems to be a function of soil, weather and management practices, such as: planting in heavy and compacts soils, un-adequate seedbed preparation, excessive brush clearing, long periods of drought and overgrazing^(5,6).

There are many factors that affect the soil compaction in rangelands. Among the most important is the soil type; clayey or heavy soils which are highly susceptible to compaction, therefore it requires a special management to prolong the persistence of the buffel swards^(5,7). The scarce pasture cover and litter also help the soil compaction, throughout the impact of rainfall drops⁽⁸⁾. Intensive treading, specially when the soil is wet, compacts the soil surface and removes the existent vegetation^(9,10,11). A compacted soil retains less rain and has greater loss of water by runoff, it affects the normal growth of the roots, limit the exchange of oxygen in the soil, difficult the germination and emergence of new seedlings

compactación, a través del impacto de las gotas de lluvia sobre el mismo⁽⁸⁾. El pisoteo intensivo del ganado, principalmente cuando el suelo está húmedo, además de que sella la superficie del suelo y compacta el perfil, contribuye a la compactación a través de la remoción de la vegetación con el pastoreo^(9,10,11). Los suelos compactados retienen menos lluvia y ocasionan una mayor pérdida de agua por escurrimiento, dificultan el crecimiento normal de las raíces, impiden el intercambio de oxígeno en el suelo, limita el enterrado de la semilla, obstruye la emergencia de nuevas plántulas y reducen el vigor y la producción de forraje de las plantas ya establecidas^(8,12).

El arado subsoleador aunque es poco efectivo para controlar vegetación indeseable⁽¹³⁾, tiene la ventaja sobre otros métodos mecánicos, de remover el suelo sin causar daño considerable a los zacates ya establecidos⁽¹²⁾. El subsoleo tiene como finalidad romper las capas compactas de suelo para reducir el escurrimiento de agua, incrementar la infiltración de agua, promover aereación, estimular el crecimiento de raíces y el rebrote de plantas ya establecidas, así como promover el establecimiento de nuevas plántulas^(5,12,14).

El subsoleo es la práctica de cama de siembra más común para establecer zacate buffel en los agostaderos, así como para resemar praderas viejas y deterioradas que perdieron su potencial de producción⁽¹⁵⁾. Sin embargo, se desconoce el efecto del subsoleo para mejorar praderas en condición regular que aún cuentan con una densidad y cobertura adecuada del pasto para recuperarse, sin la necesidad de utilizar semilla para su rehabilitación.

El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar la respuesta del zacate buffel y del zacate grama china a la aplicación del subsoleo, como práctica de descompactación para la rehabilitación de una pradera deteriorada de buffel en condición regular.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el ejido Carbó, el cual se encuentra a 65 km al norte de Hermosillo,

and reduces the vigor and herbage production of established forage plants^(8,12).

Despite ripping it is not an effective practice to control undesirable species⁽¹³⁾, it has the advantage over other mechanical methods, of removing the soil without damaging considerably the grasses already established⁽¹²⁾. Ripping has the propose to brake the compact layers of soil to reduce water runoff, increasing water infiltration and soil aeration, stimulating root and plant growth of plants already established, as well as on the establishment of new plants^(5,12,14).

Ripping is the most common seedbed practice used to establish buffel grass in rangelands, as well as to reseeding old and/or deteriorated swards with low productive potential⁽¹⁵⁾. However, the effect of ripping to improve sward conditions that still count with an appropriate pasture density and cover, without over seeding is unknown.

The aim of this study was to evaluate the productive response of buffel and grama china grasses to the application of ripping, as a management practice to improve sward condition of buffelgrass pastures.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted in the ejido Carbó, to 65 km north of Hermosillo, Sonora (29° 40' 30" North; 111° 02' 10" West). Matorral arbosufrutescente was the dominant vegetation until 1975⁽¹⁶⁾; from then onwards buffel grass was planted in well prepared seedbed using ripping machinery. Buffel grass swards were well established in 1976 and have been intensively and continuously grazed until 1995 with communal cattle.

The study area is located at 530 m above the sea level in flatlands with a slope lower than 3 %. Buffelgrass sward was evaluated on a sandy loam soil with 79 % sand, 14 % silt and 7 % clay with a pH of 7; 0.66 ds m⁻¹ of electric conductivity; 5.3 cmol kg⁻¹ of cation exchange capacity, and 0.29 % of organic matter. Average nutrient concentrations were 2.4 ppm of nitrates, 10.8 mg

Sonora (29° 40' 30" Norte; 111° 02' 10" Oeste). La vegetación fue clasificada como matorral arbosufruticosa hasta 1975⁽¹⁶⁾; a partir de esa fecha fue desmontado y sembrado con zacate buffel sobre una cama de siembra preparada con un arado subsoledor. El zacate se estableció exitosamente y se pastoreó en forma intensa y continua con ganado vacuno comunal durante el periodo comprendido de 1976 a 1995.

El área se encuentra a 530 msnm en terrenos muy planos con pendiente menor al 3 %. Los suelos son de origen granítico y de formación aluvial y coluvial, profundos (> 100 cm), y de textura franco arenosa. Algunas características importantes del suelo incluyen: arena 79 %; limo 14 %; arcilla 7 %; pH 7.1; conductividad eléctrica 0.66 ds m⁻¹; capacidad de intercambio catiónico 5.3 cmol kg⁻¹; materia orgánica 0.29 %; nitratos 2.4 ppm; fósforo disponible 10.8 mg kg⁻¹; y los cationes intercambiables calcio, magnesio, sodio y potasio con 781, 111, 42, y 106 cmol kg⁻¹, respectivamente. El clima es del tipo muy árido o muy seco semicálido BW hw (x')⁽¹⁷⁾. La precipitación promedio anual es de 320 mm, 70 % de la cual usualmente ocurre de julio a septiembre. La temperatura promedio anual es de 23 °C con temperaturas máximas y mínimas extremas de 48 y -2 °C, respectivamente.

La condición de la pradera al inicio del estudio (1995), fue "regular" con un 47 % del área ocupada por vegetación y un 53 % por suelo desnudo. De acuerdo a la composición botánica del sitio, el 27.6 % de la cubierta vegetal estaba compuesta por zacate buffel, 19.1 % por zacate grama china, y el 53.3 % restante por otras especies de herbáceas, arbustivas y arbóreas. La vegetación en el sitio de estudio estaba compuesta en su estrato inferior por el zacate buffel y grama china principalmente, y en menor proporción por los zacates nativos: liebrero (*Bouteloua rothrockii* Vasey) y aceitilla [*Bouteloua aristidoides* (H.B.K.) Griseb]. El estrato superior estaba dominado por arbustos y árboles de 1 a 4 m de altura, entre los que predominaba la rama blanca (*Encelia farinosa* A. Gray), piojito [*Caesalpinia pumila* (Britt & Rose)], salicieso [*Lycium andersonii* A. Gray], cholla (*Opuntia*

kg⁻¹ of Mehlich-I extractable P and 781, 111, 42, and 106 cmol kg⁻¹ of Ca, Mg, Na, and K, respectively.

The climate is very arid BW hw (x')⁽¹⁷⁾ with an average annual rainfall of 320 mm distributed from July to October. Average annual temperature is 23 °C with highest and lowest extreme temperatures of 48 and -2 °C, respectively.

The sward condition at the beginning of the study (1995), was regular with 47 % of the area occupied with vegetation and 53 % of bare soil. The botanical composition of the study site was integrated by 27.6 % buffelgrass, 19.1 % grama china and 53.3 % other herbaceous species, shrubs and trees.

In the lower strata the main vegetation was buffelgrass and grama china, and in less proportion the following native species: *Bouteloua rothrockii* Vasey and *Bouteloua aristidoides* (H.B.K.) Griseb. The upper layer was dominated by shrubs and trees of 1 to 4 m height. The most important species were *Encelia farinosa* A. Gray, *Caesalpinia pumila* (Britt & Rose), *Lycium andersonii* A. Gray, *Opuntia fulgida* Engelm., *Lemaireocereus thurberi* (Engelm.) Britt and Rose, *Prosopis juliflora* (Swartz) DC., *Olneya tesota* A. Gray, *Cercidium microphyllum* (Torrey) Rose and Johnston, and *Acacia constricta* Benth. Despite that all the species were found in the study site, only buffelgrass and grama china were evaluated, because they were the only species present in all the plots.

All plots were 400 m² and ripping was applied in 15 June 1995 to 30 cm deep on dry soil before the beginning of the summer rainfall using a three-blade ripper.

Pasture measurements on buffelgrass and grama china were: plant density (pl/m²), pasture cover (%), plant height (cm), forage production (t ha⁻¹) and soil compaction (kg/cm²). All the measurements were made during May 1995 before the beginning of the study and in September from 1995 to 1999. Plant density was estimated in two fixed quadrants (10 m²) per plot⁽¹⁸⁾. At each measurement each clump was recorded as a plant. Basal cover of both grasses was evaluated in two 20 m length fixed

fulgida Engelm.), pitaya [*Lemaireocereus thurberi* (Engelm.) Britt & Rose], mezquite [*Prosopis juliflora* (Swartz) DC.], palo fierro (*Olneya tesota* A. Gray), palo verde [*Cercidium microphyllum* (Torrey) Rose & Johnston], y vinorama (*Acacia constricta* Benth.). Aunque todas las especies se encontraron presentes en el sitio, en este estudio solamente se evaluaron a los zacates buffel y grama china, porque fueron las únicas especies que aparecieron consistentemente en todas las parcelas.

El subsoleo se realizó el 15 de junio de 1995 en suelo seco antes de las lluvias del verano, trabajando la maquinaria en forma perpendicular a la pendiente del terreno. Se utilizó un arado subsoleador de tres picos, con 75 cm de separación. El subsoleo se realizó a 30 cm de profundidad utilizando un solo paso del arado.

El tamaño de la parcela experimental fue de 400 m². Las variables evaluadas tanto para zacate buffel como grama china fueron: densidad (pl/m²), cobertura (%), altura (cm), producción de forraje (t ha⁻¹) y compactación superficial del suelo (kg/cm²). Todas las evaluaciones se realizaron durante el mes de mayo de 1995 antes de la aplicación de los tratamientos y en septiembre de cada año de 1995 a 1999. La densidad se determinó en dos cuadrantes permanentes de 10 m² por parcela⁽¹⁸⁾, considerándose cada macollo como una planta. La cobertura basal de los zacates se determinó en dos transectos permanentes de 20 m de longitud por parcela⁽¹⁹⁾. La altura de los zacates se determinó en 10 plantas al azar por parcela, midiéndose desde la base al ápice de las mismas con cinta métrica.

La producción de forraje se cuantificó mediante cortes al azar, utilizando 10 cuadrantes de 1 m² por parcela, y cortando el zacate a 5 cm sobre el nivel del suelo⁽²⁰⁾. Las muestras de forraje se secaron en una estufa a 70 °C por 72 h, y la producción de forraje se expresó en base a materia seca (MS). La compactación superficial del suelo se midió con un penetrometro manual modelo S-170 (Longyear U.S. Prod. Grup)⁽²¹⁾, utilizando 20 lecturas al azar del instrumento por parcela. La compactación se midió en base a la resistencia para quebrar los 5 mm superficiales del suelo, realizando las

transects⁽¹⁹⁾. Ten plant height readings were taken randomly with a rule in each plot.

Herbage production was determined from ten 1 m² quadrants per plot harvested to 5 cm above ground level⁽²⁰⁾. Herbage was dried at 70 °C for 72 h, and weighed. To measure soil compaction, 20 reading per plot were taken using a handy penetrometer model S-170 (Longyear U.S. Prod. Grup)⁽²¹⁾. Soil compaction was measured as the resistance to break the first 5 mm of soil surface. These determinations were made at the bottom of each row, and in the free spaces between plants in the control plot. The experimental area was excluded to protect from grazing and wildlife, and a rain gauge was installed to measure rainfall during the period of study.

The experiment was a factorial 2 x 5, considering treatments (ripping and no ripping) as the first factor and years (95, 96, 97, 98 y 99) as the second factor. When the interaction was not significant, all data was evaluated by analysis of variance using a randomized complete block design with tree replicates, comparing for each specie the effect of treatments in each year of study to detect the principal effects. When the differences were significant between treatments, the comparison of means was made by using Duncan's multiple range test⁽²²⁾.

RESULTS

The rainfall recorded in the experimental area during the period of study was well distributed, despite the differences among years; from 2 to 24 % higher than the average from the last 10 years for 1995, 1996 1997 and 1998, but 27 % lower than the average recorded in 1999 (Table 1).

Ripping increased significantly ($P < 0.05$) plant density (pl), of buffelgrass and grama china (Figure 1). Buffelgrass density varied from 2.1 to 4.5 pl/m² in the ripping areas and from 1.4 to 2.3 pl/m² in the control; whereas in grama china varied from 6.3 to 14.8 pl/m² in the ripping areas and from 2.4 to 3.0 pl/m² in the control. The results also shown differences between years ($P < 0.05$) in plant

Cuadro 1. Precipitación mensual y total de 1995 a 1999 y media de 10 años en el sitio de estudio (mm)

Table 1. Monthly and total rainfall from 1995 to 1999 and 10 years average on the study site (mm)

Year	Months												Total
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1995	13.5	36.0	0	0	0	0	52.5	104.0	107.0	11.0	21.0	0	345.0
1996	0	1.5	0	0	0	10.0	231.0	134.7	12.0	8.0	0	0	397.2
1997	7.5	12.0	1.5	23.0	14.0	0	35.5	130.7	8.5	2.5	12.0	86.0	333.2
1998	0	28.5	9.5	0	0	0	125.0	128.5	19.0	16.0	0	0	326.5
1999	0	0	3.0	0	0	4.5	63.4	148.5	12.7	0	0	0	232.1
Average (10 yr)	14.2	15.6	4.8	3.3	5.1	9.8	96.5	104.8	28.8	9.5	8.6	19.0	320.0

evaluaciones en el fondo de los surcos que resultaron del subsoleo en las parcelas tratadas, y en los espacios vacíos entre plantas en las parcelas testigo. La área experimental se excluyó del ganado y de la fauna menor, y se instaló un pluviómetro.

El experimento fue un bifactorial de 2 x 5, considerándose los tratamientos (el subsoleo y no subsoleo) y los años (95, 96, 97, 98 y 99). Cuando la interacción no fue significativa, se procedió a realizar un análisis de todas las variables en forma individual, utilizando un análisis de varianza simple con un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, comparando para cada especie el efecto de tratamientos en cada año de evaluación y detectar los efectos principales. Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, la comparación entre medias se llevó a cabo mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan⁽²²⁾.

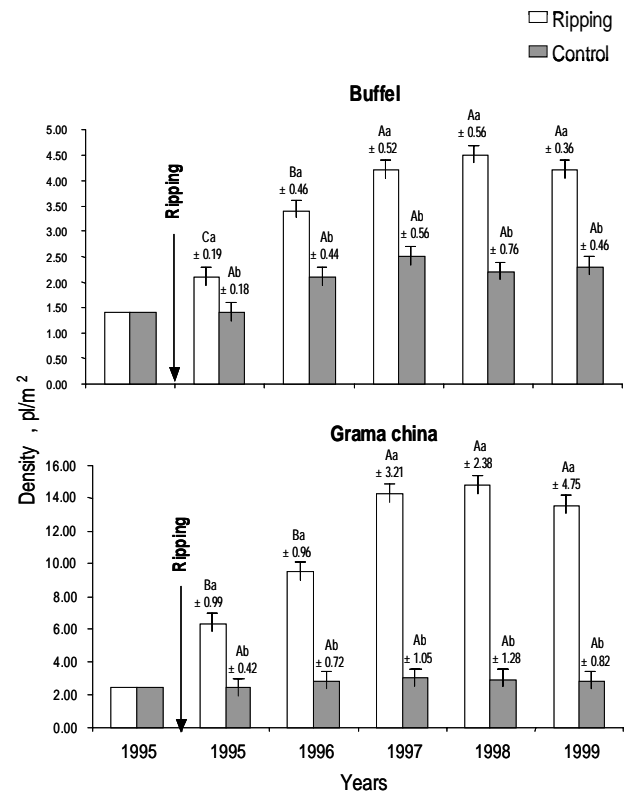
RESULTADOS

La precipitación estuvo adecuadamente distribuida, aunque la cantidad de lluvia registrada fue variable entre años; de un 2 a 24 % por arriba de la media de 10 años para 1995, 1996, 1997 y 1998, pero 27 % por abajo de la media regional para 1999 (Cuadro 1).

El subsoleo incrementó significativamente ($P < 0.05$) la densidad de plantas (pl), de zacate buffel y grama china (Figura 1). La densidad del zacate buffel fluctuó de 2.1 a 4.5 pl/m² en las áreas subsoleadas y de 1.4 a 2.3 pl/m² en el testigo; mientras que

Figura 1. Densidad del zacate buffel y grama china en praderas descompactadas con arado subsoleador (pl/m²)

Figure 1. Plant density (pl/m²) on buffelgrass and grama china swards decompacted with ripping



abc Values without a common letter among treatments differ ($P < 0.05$).

ABC Values without a common letter among years differ ($P < 0.05$).

para el zacate grama china fluctuó de 6.3 a 14.8 pl/m² en las áreas subsoleadas y de 2.4 a 3.0 pl/m² en el testigo. Los resultados muestran también diferencias significativas ($P < 0.05$) para densidad entre años de evaluación, la cual se incrementó entre un 50 y 105 % y la del grama china entre un 159 y 410 % en las parcelas subsoleadas en comparación con el testigo.

La densidad de plantas de buffel y grama china, fue siempre superior ($P < 0.05$) en las parcelas subsoleadas que en el testigo. Esta variable se incrementó ($P < 0.05$) en las parcelas tratadas a partir del año de aplicación de la práctica, y se estabilizó a partir del tercer año para ambas especies. Durante el periodo 1997 a 1999, la densidad del buffel fluctuó de 4.2 a 4.5 pl/m² y la de grama china de 13.5 a 14.8 pl/m², no existiendo diferencia entre años para ninguna de las especies. La densidad de ambos pastos en las parcelas testigo fue similar ($P > 0.05$) entre años y fluctuó de 1.4 a 2.5 y de 2.4 a 3.0 pl/m² para el buffel y grama china, respectivamente.

La cobertura basal de los zacates buffel y grama china, se incrementó ($P < 0.05$) en las áreas subsoleadas, y las diferencias detectadas fueron también diferentes entre años (Figura 2). La cobertura basal del buffel fluctuó de 3.1 a 8.0 % en las áreas subsoleadas y de 2.4 a 4.4 % en el testigo; mientras que la del grama china fluctuó de 0.48 a 1.9 % en las áreas subsoleadas y de 0.18 a 0.5 % en el testigo. La cobertura basal del zacate buffel se incrementó entre un 31 y 121 % y la del zacate grama china entre 166 y 374 %, en las parcelas subsoleadas en comparación con el testigo.

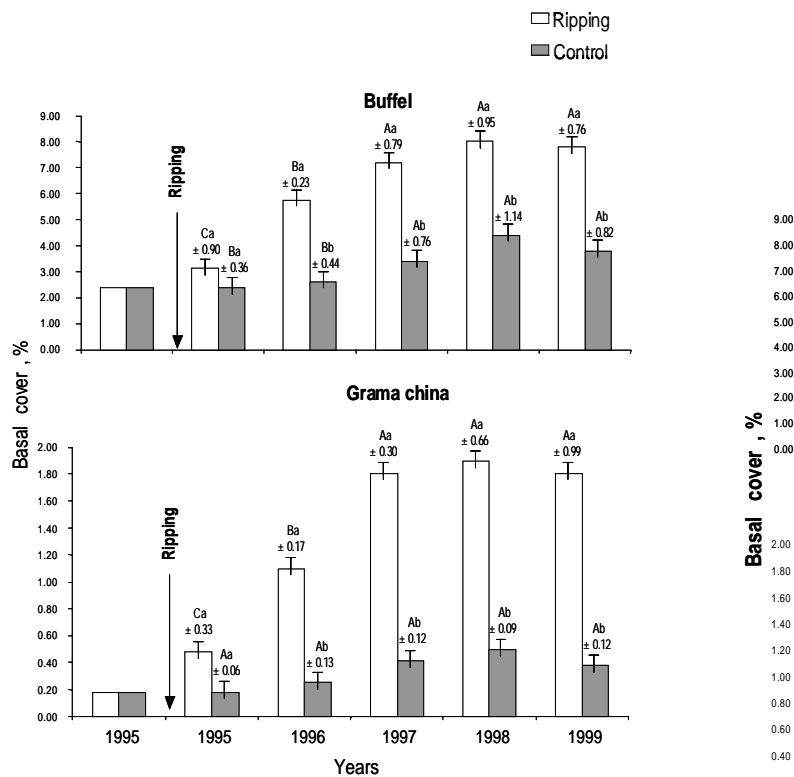
La cobertura basal de plantas de buffel y grama china fue siempre superior ($P < 0.05$) en las parcelas subsoleadas que en el testigo, excepto en 1995 durante el año de aplicación de la práctica. La cobertura basal de ambas especies en las parcelas tratadas se incrementó ($P < 0.05$) a partir del año de aplicación del subsuelo y se estabilizó a partir del tercer año. Durante el periodo de 1997 a 1999, la cobertura del buffel fluctuó de 7.2 a 8.0 % y la de grama china de 1.8 a 1.9 %, no existiendo diferencia entre años para ninguna especie. La cobertura del buffel en las parcelas testigo fue

density, which increased between 50 to 105 % in buffelgrass and between 159 and 410 % in grama china in the ripping swards.

Plant density of buffelgrass and grama china was always higher ($P < 0.05$) in the ripping swards as compared to control swards. Plant density increased in the ripping plots ($P < 0.05$), soon after ripping in the first year, and it stabilized from the third year in both species. From 1997 to 1999, buffelgrass and grama china densities varied from 4.2 to 4.5 pl/m² and from 13.5 to 14.8 pl/m², respectively. No changes between years were observed in plant density in both species. Plant density in the control plots was similar between years ($P > 0.05$) and

Figura 2. Cobertura basal del zacate buffel y grama china en praderas descompactadas con arado subsoleador(%)

Figure 2. Basal plant cover of buffelgrass and grama china swards decompacted with ripping (%)



abc Values without a common letter among treatments differ ($P < 0.05$).

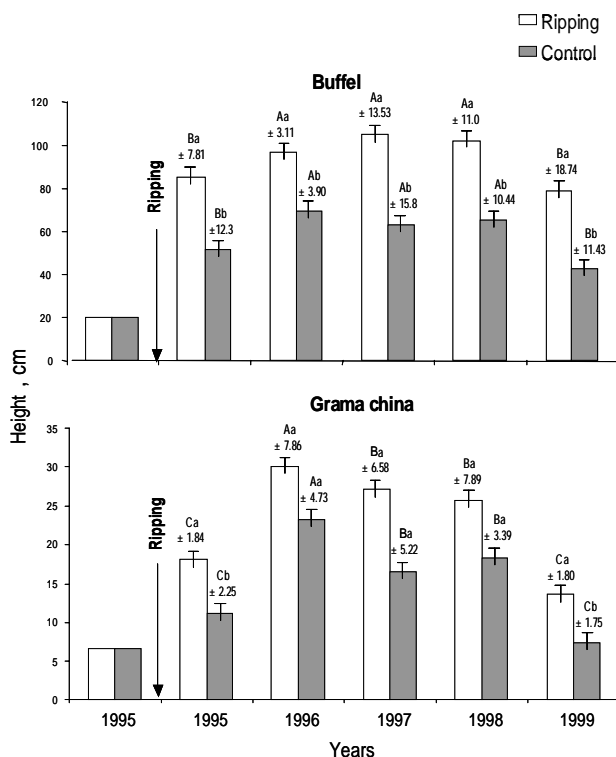
ABC Values without a common letter among years differ ($P < 0.05$).

diferente ($P < 0.05$) durante 1995 y 1996 con 2.4 y 2.6 % y varió de 3.4 a 4.4 % durante 1997 a 1999. La cobertura del grama china en el testigo fue similar entre años y fluctuó de 0.18 a 0.50 %.

La altura del zacate buffel y grama china fue consistentemente superior ($P < 0.05$) en las parcelas subsoleadas, siendo las medias también diferentes entre años (Figura 3). La altura del zacate buffel en las parcelas subsoleadas varió de 85 a 105 cm entre años, mientras que fluctuó de 51.0 a 69.1 cm en el testigo. La altura del zacate grama china varió de 13.5 a 30.1 cm en las parcelas subsoleadas

Figura 3. Altura del zacate buffel y grama china en praderas descompactadas con arado subsoleador (cm)

Figure 3. Plant height of buffelgrass and grama china swards decompacted with ripping (cm)



abc Values without a common letter among treatments differ ($P < 0.05$).

ABC Values without a common letter among years differ ($P < 0.05$).

varied from 1.4 to 2.5 and from 2.4 to 3.0 pl/m² for buffelgrass and grama china, respectively.

Basal plant cover of buffelgrass and grama china increased ($P < 0.05$) in the ripping areas. There were also differences between years (Figure 2). Basal plant cover of buffelgrass varied from 3.1 to 8.0 % in the ripping treatments and from 2.4 to 4.4 % in the control. Basal plant cover of grama china varied from 0.48 to 1.9 in the ripping areas and from 0.18 to 0.5 in the control. Basal plant cover of buffelgrass and grama china of ripping swards increased between 31 and 121 % and 166 and 374 %, respectively. To exception of 1995, when treatment was applied, the basal plant cover of buffelgrass and grama china in ripping plots was always higher than control ($P < 0.05$). Soon after the treatment application, basal plant cover of both species increased ($P < 0.05$) and tended to stabilize during the third year. From 1997 to 1999 buffel cover varied from 7.2 to 8.0 %, and from 1.8 to 1.9 % in grama china. There were not differences between years for both species. In the control treatment buffel cover was different ($P < 0.05$) during 1995 and 1996 with 2.4 and 2.6 % and varied from 3.4 to 4.4 % during 1997 to 1999. There were differences between years in plant cover of grama china and varied from 0.18 to 0.50 %.

Buffelgrass and grama china height was always greater ($P < 0.05$) in the ripping treatments. There were differences between years (Figure 3). Sward height of buffelgrass varied from 85 to 105 cm among years, in the ripping treatment, whereas in the control sward height varied from 51 to 69.1 cm. In the ripping treatment, sward height of grama china varied from 13.5 to 30.1 cm and from 7.3 to 23.1 in the control. Sward height of buffelgrass increased between years from 40 to 86 % in the ripping treatment, whereas in grama china 30 and 85 % compared with the control.

During all the years of study, buffelgrass height was always greater ($P < 0.05$) in the ripping swards, increasing from 20 to 85 cm ($P < 0.05$) soon after the treatment application in the first year, and remained constant (between 96.7 and 105 cm) during 1996 to 1998, and decreased to 79 ($P < 0.05$) in 1999, due to the lower rainfall (27 % less than

y de 7.3 a 23.1 cm en el testigo. La altura del zacate buffel se incrementó entre años de un 40 a 86 % en las parcelas subsoleadas y la del zacate grama china entre un 30 y 85 % en comparación con el testigo.

La altura del zacate buffel fue siempre superior ($P < 0.05$) en las parcelas subsoleadas durante todos los años de evaluación. La altura de plantas de buffel en las parcelas tratadas se incrementó ($P < 0.05$) de 20 a 85 cm durante el año de aplicación de la práctica y fue similar durante 1996 a 1998, fluctuando de 96.7 a 105.0 cm, y se redujo ($P < 0.05$) a 79 cm durante 1999 ante un año seco, con precipitación 27 % abajo de la media. La altura del zacate grama china fue diferente entre tratamientos solamente durante 1995, el año de la aplicación de la práctica (11.2 vs 18.1 cm) y durante 1999 (7.3 vs 13.5 cm).

La producción de forraje del zacate buffel y grama china se incrementaron ($P < 0.05$) en las parcelas subsoleadas, y las diferencias detectadas también fueron significativas entre años (Figura 4). La producción de forraje del zacate buffel fluctuó de 2.5 a 4.1 t ha⁻¹ en las parcelas subsoleadas y de 0.58 a 1.97 t ha⁻¹ en el testigo. La producción de forraje del zacate grama china fluctuó de 0.05 a 0.14 t ha⁻¹ en las parcelas subsoleadas y de 0.01 a 0.03 t ha⁻¹ en el testigo. La producción de forraje del zacate buffel se incrementó entre años de un 110 a 338 % en las parcelas subsoleadas y la del zacate grama china de un 113 a un 438 %.

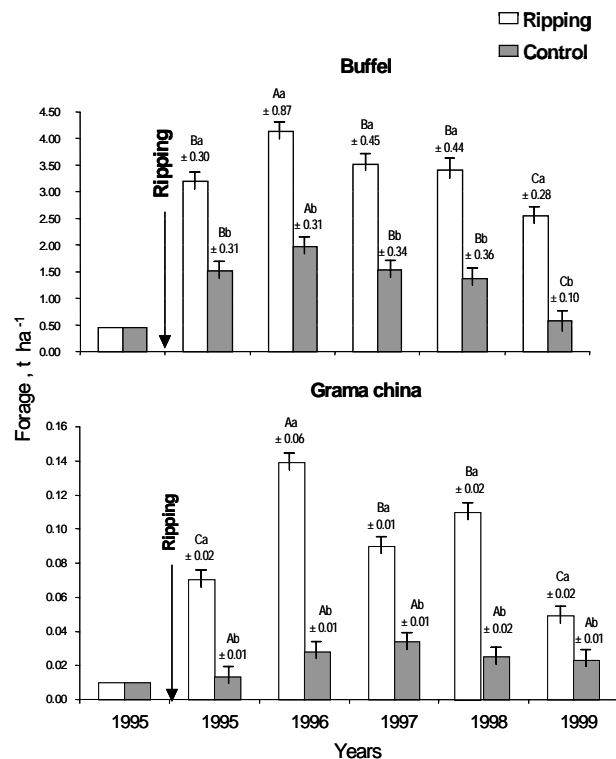
La producción de forraje de ambos zacates fue superior ($P < 0.05$) durante todos los años en las parcelas subsoleadas, alcanzando su máxima producción en 1996 (año más húmedo), con 4.13 t ha⁻¹. La producción de forraje fue similar entre años en 1995, 1997 y 1998 y fluctuó de 3.2 a 3.5 t ha⁻¹, registrándose la menor producción en 1999, el año más seco, con 2.54 t ha⁻¹. La producción de forraje del buffel en las parcelas testigo siguió una tendencia similar entre años, aunque las medias anuales de producción fueron siempre inferiores (1.7 a 2.2 t ha⁻¹) en comparación con las áreas subsoleadas. La producción de forraje del zacate grama china en las parcelas subsoleadas, fue diferente ($P < 0.05$) entre años, pero resultó similar

the average). There were differences in sward height in grama china in 1995 (11.2 vs 18.1 cm) and 1999 (7.5 vs 13.5 cm).

Herbage production of both species increased ($P < 0.05$) in the ripping plots. There were significant differences between years (Figure 4). Herbage production of buffelgrass varied from 2.5 to 4.1 t ha⁻¹ in the ripping plots compared with 0.58 to 1.97 t ha⁻¹ produced by the control. Herbage production of grama china varied from 0.05 to 0.14 t ha⁻¹ and from 0.01 to 0.03 t ha⁻¹ in the ripping and control treatments, respectively. Herbage production of

Figura 4. Producción de forraje del zacate buffel y grama china en praderas descompactadas con arado subsoleador (t ha⁻¹)

Figure 4. Forage production of buffelgrass and grama china swards decompacted with ripping (t ha⁻¹)



abc Values without a common letter among treatments differ ($P < 0.05$).

ABC Values without a common letter among years differ ($P < 0.05$).

entre años en el testigo. La máxima producción del grama china en las parcelas subsoleadas se logró en 1996 durante el año más húmedo, con 0.14 t ha⁻¹, mientras que en las parcelas testigo la producción de forraje nunca rebasó 0.034 t ha⁻¹.

La compactación superficial del suelo fue siempre superior ($P < 0.05$) en el testigo, y esta diferencia se mantuvo durante los cinco años de evaluación (Figura 5). La fuerza requerida para romper la capa superficial de suelo fluctuó entre años de 1.7 a 3.3 kg/cm² en las parcelas subsoleadas y de 4.2 a 4.9 kg/cm² en el testigo. La compactación del suelo en las áreas subsoleadas se redujo en un 61 % durante 1995, 50 % en 1996, 41 % en 1997, 27 % en 1998 y 33 % en 1999.

DISCUSIÓN

Aunque los suelos limosos y arcillosos son más susceptibles a la compactación que los suelos arenosos⁽²³⁾, en este estudio se encontró que los suelos arenosos también presentan este problema, los cuales además de compactarse⁽²⁴⁾, tienen alto potencial de erosión cuando presentan escasa cubierta vegetal y están expuestos a lluvias torrenciales intensas durante el verano⁽²⁵⁾. Ambas situaciones son comunes en la área donde se realizó este estudio, además de que las praderas han sido intensamente pastoreadas en forma continua por más de veinte años. Se ha demostrado que el sobrepastoreo y el pisoteo en suelos húmedos además de que reduce la cubierta vegetal, la biomasa, el vigor y la producción de semilla⁽²⁶⁾, también reduce la infiltración de agua a medida que promueve la compactación superficial del suelo⁽²⁷⁾. La área de estudio fue parcialmente desmontada y sembrada con buffel en 1975 y se ha demostrado que tanto la pérdida de vegetación como el paso de maquinaria pesada exponen el suelo a la erosión y a la compactación^(10,26).

Los ganaderos generalmente resiembran las praderas deterioradas cuando empiezan a perder la capacidad de producción de forraje⁽¹⁾. Frecuentemente, esto puede ocurrir incluso en praderas con altas densidades de plantas con poco vigor y baja producción. Las prácticas de rehabilitación generalmente incluyen

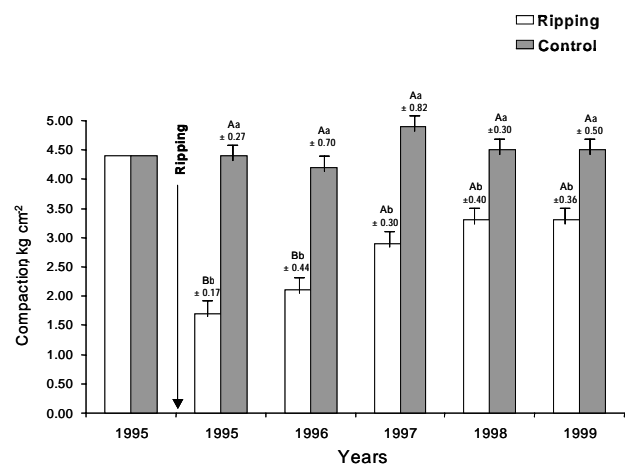
buffelgrass and grama china increased between years from 110 to 338 % and from 113 to 438 % in the ripping swards compared with the control.

In all the years, herbage production of buffelgrass and grama china was greater ($P < 0.05$) in the ripping plots, especially during 1996 (wettest year) with 4.13 t ha⁻¹. Herbage production was similar in 1995, 1997 and 1998 and varied between 3.2 and 3.5 t ha⁻¹. The lowest herbage production was recorded in 1999, the driest year, with 2.54 t ha⁻¹. Herbage production in the control was similar between years and lower (1.7 to 2.2 t ha⁻¹) than the ripping treatment. Herbage production of grama china was different ($P < 0.05$) between years in the ripping swards, and similar in the control. The highest herbage production of grama china in the ripping swards was observed in 1996 with 0.14 t ha⁻¹, whereas in the control herbage production was always lower than 0.034 t ha⁻¹.

Surface soil compaction was always greater ($P < 0.05$) in the control, during the five years of study (Figure 5). The required strength to break the surface soil

Figura 5. Compactación de suelo en praderas de zacate buffel descompactadas con arado subsoleador (kg/cm²)

Figure 5. Soil compaction on buffelgrass and grama china swards decompactated with ripping during (kg/cm²)



abc Values without a common letter among treatments differ ($P < 0.05$).

ABC Values without a common letter among years differ ($P < 0.05$).

control selectivo de especies indeseables con la cuchilla del bulldózer, preparación de cama de siembra con subsileo y siembra de semilla, la cual generalmente se hace simultáneamente^(6,7). El costo total de esta práctica fluctúa de \$ 1,000.00 a \$ 1,400.00 por hectárea y el costo de la semilla es de \$ 300.00. Por lo que, la resiembra pudiera no justificarse si existe suficiente número de plantas en las praderas y algo de semilla viable en el suelo que tome ventaja de la descompactación y remoción de suelo. El prescindir de la semilla en la rehabilitación resulta para los productores en un ahorro de 21 a 30 % en el costo total de la inversión.

La producción de forraje del zacate buffel fue 1.69 a 2.16 t ha⁻¹ superior ($P < 0.05$) durante todos los años en las parcelas subsoleadas, en donde de manera acumulativa se produjo en cinco años un total de 9.81 t ha⁻¹ de forraje adicional; con estos incrementos en producción es posible duplicar la capacidad de pastoreo o capacidad de carga en las áreas tratadas. Tendencias similares, pero menos contrastantes, se encontraron después del subsileo en una pradera de buffel en condición buena en la región central de Sonora, en donde se mencionan incrementos anuales en la producción de forraje de 0.2, 1.75 y 1.0 t ha⁻¹ en comparación con el testigo⁽²⁸⁾. Resultados similares en la producción de forraje del buffel también se han encontrado en praderas en condición regular invadidas por arbustos después de su control mediante la quema prescrita en el centro de Sonora⁽¹⁾.

En la región de las grandes planicies de los Estados Unidos con suelos arcillosos, el subsileo incrementó la densidad de plantas en un 173 %, y la producción de forraje en un 444 %⁽²⁹⁾. En la región intermontañosa, se encontró que la práctica fue efectiva sólo cuando la operación fue capaz de crear surcos perdurables en el suelo⁽¹³⁾. Branson *et al.*⁽³⁰⁾ indican incrementos en la producción de forraje hasta de 160 % en suelos pesados y de textura media, pero indican que la práctica es inefectiva en suelos húmedos y de texturas arenosas poco consistentes, donde no se modifica considerablemente la superficie del suelo⁽¹⁴⁾.

Estudios realizados en áreas de matorral arbosufrutescente en Sonora, indican que el subsileo

layer varied between years from 1.7 to 3.3 kg/cm² in the ripping swards and from 4.2 to 4.9 kg/cm² in the control. Soil compaction in ripping areas decreased 61 % in 1995, 50 % in 1996, 41 % in 1997, 27 % in 1998 and 33 % in 1999.

DISCUSSION

Despite that clayey and salty soils are more susceptible to compaction than sandy soils⁽²³⁾, in this study was observed that sandy soils have also this problem, which beside of compaction⁽²⁴⁾, have high erosion potential when pasture cover is scarce and are exposed to heavy rainfall during the summer⁽²⁵⁾. Both situations are common in the area of study; furthermore the swards have been continuously overgrazed for more than 20 years.

It have been demonstrated that overgrazing and trading in wet soils tend to reduce pasture cover, biomass, vigor, seed production⁽²⁶⁾, and water infiltration rate due to surface soil compaction⁽²⁷⁾. The study area was partially cleared of wooden vegetation and seeded with buffelgrass in 1975, and it has been demonstrated that either the loss of vegetation as the use of heavy machinery, tend to increase the soil erosion and compaction^(10,26).

Generally farmers over seed deteriorated swards when these start to decrease herbage production⁽¹⁾. This may occur in swards with high plant density but with little vigor and production. The rehabilitation practices generally includes selective control of undesirable species with machinery, well-prepared seedbed with ripping and overseeding, which are generally carried out simultaneously^(6,7). Total cost of this practice varies from \$ 100.00 to \$ 140.00 Dlls. per hectare and the price of the seed is of \$ 30.00. Therefore, overseeding may not be justified if it exists enough plant numbers in the sward, and some viable seed on the soil, which may take advantage of the soil compaction release. Rehabilitation without seed sowing results for the farmers in a saving of 21 to 30 % of the total cost of investment.

Forage production of buffelgrass was 1.69 to 2.16 t ha⁻¹ higher during all years in the ripping swards

en suelos arenosos con problema de compactación logró incrementar la cubierta de herbáceas y zacates nativos en un 65 %⁽³¹⁾. Incrementos similares en la densidad y producción de forraje se han logrado con el uso del subsuelo en sitios de pastizal mediano abierto de *Bouteloua* en el altiplano central de México⁽³²⁾. Parra y Ramírez⁽²⁸⁾, encontraron respuestas aún más satisfactorias con el uso del subsuelo en praderas de zacate buffel en condición buena, y mencionan incrementos de un 50 % en la densidad de plantas y producción de forraje. Sin embargo, poco se sabe del efecto del subsoleo como herramienta para rehabilitar praderas deterioradas de buffel en condición regular que, aunque producen poco forraje, aún presentan una densidad y cubierta significativa ocupada por el pasto.

La producción de forraje del zacate grama china fue de 0.026 a 0.111 t ha⁻¹ superior ($P < 0.05$) durante todos los años en las parcelas subsoleadas, lo que indica que la productividad de esta especie también se ve reducida por la compactación del suelo. De manera acumulativa, la área subsoleada produjo en cinco años un total de 0.335 t ha⁻¹ de forraje adicional.

La compactación del suelo se redujo después del subsoleo y estas diferencias continuaron manifestándose durante todos los años de evaluación, incluso ésta continuó siendo 33 % superior en el testigo cinco años después del subsoleo. Se ha demostrado que el continuo sobrepastoreo reduce la cobertura de plantas^(33,34) y el pisoteo del ganado reduce la infiltración del agua, a través de la compactación superficial de suelo y el sellado del mismo⁽²⁷⁾. El área de estudio elegida para este experimento, presenta un historial de continua sobreutilización por más de 20 años, por lo que las posibilidades de deterioro y compactación son altas.

Se ha encontrado que agostaderos y praderas degradadas, frecuentemente no responden, dentro de un periodo razonable de tiempo, al manejo apropiado del ganado o a la protección del pastoreo por la inadecuada infiltración del agua de lluvia^(25,35). En este estudio no se detectaron cambios significativos en densidad y producción de forraje del zacate buffel y grama china en las

($P < 0.05$), where cumulative herbage mass during the five years was 9.81 t ha⁻¹ greater than the control; with these increases in production is possible to duplicate the stoking rate in the ripping areas. Similar tendencies, but less contrasts, were found after ripping in a sward in a good condition in the central region of Sonora, with increases in annual yield of 0.2, 1.75 and 1.0 t ha⁻¹ compared with the control⁽²⁸⁾. Similar results on herbage production of buffelgrass have been observed in swards with regular condition invaded by shrubs after being clean by controlled fire in the center of Sonora⁽¹⁾.

In the great plains of United States with clay soils, ripping increased by 173 % and 444 % plant density and herbage production, respectively⁽²⁹⁾. In the intermountain region was observed that ripping was effective only when there where created permanent furrows on the soil⁽¹³⁾. Branson *et al.*⁽³⁰⁾ found increases in herbage production of 160 % in heavy soils with medium texture, but pointed out that this practice is ineffective in wet soils with sandy texture, where it is difficult to modify the soil surface⁽¹⁴⁾.

Studies carried out in the matorral areas in Sonora, point out that ripping in sandy soils with compress problems increased herbaceous and native grass cover in 65 %⁽³¹⁾. Similar increases in plant density and herbage production have been obtained with the use of ripping in grasslands of *Bouteloua* in the central plateau region of Mexico⁽³²⁾. Parra and Ramírez⁽²⁸⁾, found out in ripping buffelgrass swards with good condition, increases of 50 % in plant density and herbage production. However, little is known about the effect of ripping as a tool to enhance deteriorated swards of buffelgrass in regular condition that although herbage production is little, still present a good plant density and pasture cover.

Herbage production of grama china in ripping swards was 0.026 a 0.111 t ha⁻¹ higher ($P < 0.05$), in all the study years, than the control, which point out that herbage production of this specie is also reduced by the soil compression. Cumulative herbage mass during the five years in the ripping sward was 0.335 t ha⁻¹ greater.

Soil compaction was reduced after ripping in all

parcelas testigo durante los cinco años de exclusión del pastoreo; esto sugiere que la compactación del suelo podría estar afectando el establecimiento de nuevas plántulas y reduciendo la productividad de las especies establecidas en la pradera. La compactación del suelo inhibe el desarrollo de raíces, crecimiento de tallos y hojas, germinación de semilla, emergencia y establecimiento de plántulas y limita la penetración de la humedad en el suelo^(13,24). En suelos compactados, la mayor producción de forraje después del subsoleo, es debido a un incremento en la utilización del agua del subsuelo. El objetivo del subsoleo es el de quebrar las capas compactas e impermeables de suelo y permitir a las raíces penetrar y extraer agua más abajo en el subsuelo⁽³⁶⁾.

Aunque en este estudio no se cuantificó la semilla del zacate buffel en el suelo de la pradera, la mayor densidad de plantas detectadas en las parcelas subsoleadas indica que aparentemente existía suficiente semilla para promover la emergencia de plántulas y estimular su propagación después de la remoción. Estos resultados coinciden con los mencionados por Wilson⁽³⁷⁾ quien evaluó el arado de discos para sembrar buffel en suelos compactados de Australia, y encontró que la compactación inhibe el establecimiento del pasto, y que la emergencia de plantas en suelos sellados no ocurre aunque exista semilla en el suelo, hasta que la superficie se remueve y la compactación se reduce. En otros trabajos realizados en el centro de Sonora en condiciones edafo-climáticas similares a las de este estudio, donde se probó el subsoleo con y sin siembra de buffel para rehabilitar praderas en condición pobre ($< 1 \text{ pl/m}^2$), se encontró que el subsoleo sin siembra del zacate no fue suficiente como única práctica de rehabilitación para recuperar la productividad en las praderas, por lo que en praderas en condición pobre se requiere de tirar semilla del pasto para asegurar el reestablecimiento de la planta⁽³⁸⁾.

El subsoleo fue suficiente para establecer buenas poblaciones de zacate buffel. Respuestas similares se han mencionado después del subsoleo con otras especies de pastos nativos en la región intermontañosa del oeste de los Estados Unidos⁽³⁰⁾;

the evaluation years, even this attribute continues being 33 % higher than the control five years after ripping. It has been demonstrated that overgrazing reduce plant cover^(33,34) and livestock treading reduce water infiltration, throughout surface soil compaction⁽²⁷⁾. The study area, presented a historic over utilization for more than 20 years, therefore deterioration and compaction possibilities are greater.

It has been observed that rangelands and swards, often did not respond, under the appropriate period of time, to proper livestock management or grazing protection due to an inadequate water infiltration^(25,35). In this study, there were not significant changes in plant density and herbage production of buffelgrass and grama china in the control plots during the five years without grazing; this suggests that soil compaction may affect the establishment of new plants and reduce the productivity of plants present in the sward. Soil compaction reduce root performance, growth of leaves and stems, seed germination, emergency and establishment of new plants and limits water penetration on the soil^(13,24). In compacted soil, the highest herbage production after ripping is due to an increase of water utilization from the subsoil. The objective of ripping is to break up compacted soil layers to allow better root penetration and water absorption⁽³⁶⁾.

Despite this study did not quantify seed of buffelgrass on the sward soil, the higher plant density observed on ripped swards, suggested that there was enough seed in the soil to promote plant emergency and establishment after soil compaction was released. Similar results were obtained by Wilson⁽³⁷⁾ who evaluated disc plow to establish buffelgrass on compacted soils in Australia, and found that compacted soils reduce the grass establishment, and plant emergency on hardpan soils did not occur despite of existing seed on the soil until that soil surface is removed and soil condition is improved.

Other studies carried out in the center of Sonora with similar environmental conditions to this trial, where was tested ripping with and without seeding

y con otras especies introducidas de pastos en el matorral desértico del suroeste del mismo país⁽³⁹⁾. Los resultados de este estudio sugieren que las praderas viejas y deterioradas de buffel en condición regular, pueden ser mejoradas mediante la descompactación del suelo con subsoleo sin siembra de semilla. La remoción del suelo estimula el crecimiento de plantas y promueve el establecimiento de nuevas plántulas en la pradera. Con esta información los productores pueden ahorrar de un 21 a 30 % por concepto de semilla, al no gastar en la compra de la misma cuando se rehabilitan praderas deterioradas en condición regular.

La hipótesis planteada en este estudio resultó cierta, ya que la compactación del suelo efectivamente redujo la capacidad de producción de las praderas. Las plantas en las áreas subsoleadas fueron favorecidas por la descompactación del suelo, que brindó condiciones más favorables para el crecimiento de plantas y el establecimiento de plántulas nuevas. De acuerdo a O'Neil y Carrow⁽⁴⁰⁾, la compactación del suelo es frecuentemente referida como un estrés escondido, porque los efectos en el crecimiento de las plantas no son inmediatamente visibles y son siempre indirectos. En varios estudios se ha demostrado que la compactación del suelo reduce la aereación y el flujo de oxígeno⁽⁴¹⁾, limita la penetración y el crecimiento de raíces^(42,43), reduce el crecimiento de tallos y follaje⁽⁴⁴⁾, inhibe la germinación de semilla y la emergencia de plántulas⁽²⁶⁾ y reduce la infiltración de agua e incrementa el potencial de pérdida por escurrimiento⁽⁴⁵⁾.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Se concluye que el subsoleo mejora significativamente la productividad, permite incrementar la densidad, cobertura y altura de las plantas y disminuye la compactación del suelo en las praderas deterioradas de zacate buffel. La limitada respuesta de los zacates buffel y grama china a la exclusión del pastoreo del ganado y fauna menor por un periodo de cinco años indica, que el descanso del pastoreo como única práctica de manejo, no es una alternativa adecuada ni práctica para la recuperación de dichas áreas. Las praderas en condición regular,

buffelgrass to improve a sward with poor condition ($< 1 \text{ pl/m}^2$). The results showed that ripping without seeding was not enough to recover sward productivity, therefore in swards with poor condition it is necessary overseeding to ensure the reestablishment of the sward⁽³⁸⁾.

Ripping was enough to establish good tiller population density of buffelgrass. Similar responses have been observed with other native species of grasses in the Intermountain region in the west of the United States⁽³⁰⁾; and with other introduced grass species in the desert brush in the southeast of the same country⁽³⁹⁾. The results of this study suggest that old and deteriorated buffelgrass swards with regular condition can be improved throughout the use of ripping without overseeding. Tillage improves plant growth and promotes the establishment of new plants on the sward. With this information the farmers may save from 21 to 30 % of the seed cost, because they do not have to spend money in buying seed to rehabilitate deteriorated swards in regular condition.

The approach hypothesis in this study was true, because the soil compression reduced the productive capacity of the swards. In the ripping areas plants were favored by the decompression of the soil, which allowed better conditions to plant growth and establishment of new plants. According to O'Neil y Carrow⁽⁴⁰⁾, compacted soil is known as hiding stress, because its effects on the plant growth are not seen immediately and are always indirect effects. Several studies have demonstrated that soil compression reduce aeration and the flux of oxygen⁽⁴¹⁾, limits root growth and penetration^(42,43), reduces the growth of stems and leaves⁽⁴⁴⁾, inhibit seed germination and emergency⁽²⁶⁾ and reduces water infiltration and increase loss potential by runoff⁽⁴⁵⁾.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

The results of this experiment show that ripping significantly improves forage production, increases plant density, plant height and cover and reduces soil compaction in deteriorated swards of buffelgrass. The limited response of buffelgrass

con una densidad de plantas de buffel de 1.4 a 2.5 pl/m², que presentan problema de suelos sellados y compactados, pueden ser rehabilitadas mediante el subsoleo a 30 cm de profundidad sin necesidad de resiembra. El prescindir de la semilla representa de un 21 a 30 % de ahorro en el costo total de la inversión para los productores. El efecto residual del subsoleo en la productividad de las praderas es significativo incluso cinco años después de la aplicación de la práctica. La descompactación permite duplicar la capacidad de carga animal en las áreas tratadas. El subsoleo sin resiembra representa una alternativa factible y económica para la rehabilitación de praderas deterioradas en condición regular y suelo compactado en el desierto de Sonora.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el apoyo económico de la Fundación Produce Sonora, A. C. Se agradece a los Doctores Eduardo González Valenzuela, Alfonso Ortega Santos, Alicia Melgoza Castillo y Jeffrey E. Herrick por sus comentarios y edición del manuscrito. Así como a los miembros del ejido Carbó, por el terreno facilitado para la realización del trabajo y a los C. Sergio Maytorena López, Miguel Ortiz Jaime, Víctor Fimbres Tres Sierras y Norberto Gálvez, por el apoyo brindado en la toma de datos de campo.

LITERATURA CITADA

1. Ibarra FF, Martín RMH, Miranda ZH. Rehabilitación de praderas de zacate buffel invadidas por arbustos mediante el uso de la quema prescrita. *Téc Pecu Méx* 1999;37(3):9-22.
2. Johnson GD, Navarro A. Zacate buffel y biodiversidad en el desierto sonorense. *Fomento Ganadero* 1992;36:5-7.
3. Beettle A A, Johnson DG, Navarro CA, Alcaraz FR. Gramíneas de Sonora. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Gobierno del estado de Sonora. Hermosillo, Sonora, México; 1991.
4. Powell AM. Grasses of the Trans-Pecos and adjacent areas. 2nd ed. Marathon, Texas: Iron Mountain Press; 2000.
5. Williamson J, Pinkerton B. Buffelgrass establishment. In: Runge ECA *et al.* editors. Buffelgrass: Adaptation, management and

and grama china to the exclusion of grazing by livestock and small wildlife during five years suggests that rest from grazing, as a unique management practice, is not a good alternative to recover those areas. The swards in regular condition, with a buffelgrass density from 1.4 to 2.5 pl/m², with problems of compacted soil, may be rehabilitated throughout ripping to 30 cm deep without the necessity of reseeding. The no need to buy seed represents to farmers a saving from 21 to 30 % of the investments total cost. The residual effect of ripping on the sward productivity is significant, even five years after ripping. Soil compaction release allows duplicating the stoking rate capacity in ripping areas. The ripping without reseeding represents an economic and feasible alternative to rehabilitate deteriorated buffelgrass swards with regular condition and compacted soil in the Sonora desert.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was carried out with the economical support of the Fundación Produce Sonora, A.C. We thank to Drs. Eduardo González Valenzuela, Alfonso Ortega Santos, Alicia Melgoza Castillo and Jeffrey E. Herrick, by their comments and edition of the paper. We thank to integrands of the ejido Carbo, for land facilities to carried out this research. The assistance of Mr. Sergio Maytorena López, Miguel Ortiz Jaime, Víctor Fimbres Tres Sierras y Norberto Gálvez, in the field work is very much appreciated.

End of english version

-
-
- forage quality symposium. College Station, TX, USA. 1985:25-29.
 6. Ibarra FF, Martín RM, Torres LR, Silva MF, Morton HL, Cox JR. The brittlebush problem and potential control measures in buffelgrass pastures in Sonora, Mexico. In: WSWS editors. Proc of the 39th Meeting of the Western Society of Weed Science. San Diego, Calif. USA. 1986:57-66.
 7. Ibarra FF, Cox JR, Martín RM. Efecto del suelo y clima en el establecimiento y persistencia del zacate buffel en México y sur de Texas. En: Aguirre HA *et al.* editores. Symposium

- Internacional-Aprovechamiento integral del zacate buffel. Séptimo Congreso Internacional SOMMAP. Cd. Victoria, Tamps, Méx. 1991:14-27.
8. Stoddart LA, Smith AD, Box TW. Range management. Third ed. New York, USA: McGraw-Hill Book, Co; 1975.
 9. Brown JW, Schuster JL. Effects of grazing on a hard-land site in the southern High Plains. *J Range Manage* 1969;22:418-423.
 10. Meeuwig RO. Infiltration and soil erosion as influenced by vegetation and soil in northern Utah. *J Range Manage* 1970;23:185-188.
 11. Ndawula-Senyimba MS, Brink CV, McLean A. Moisture interception as a factor in the competitive ability of bluebunch wheatgrass. *J Range Manage* 1971;24:198-203.
 12. Barton H, McCully WG, Taylor HM, Box JE Jr. Influence of soil compaction on emergence and first-year growth of seeded grasses. *J Range Manage* 1996;19:118-121.
 13. Vallentine JF. Range development and improvements. 2nd ed. Provo, Utah, USA: Brigham Young University Press; 1971.
 14. Jordan GL. Range seeding and brush management on Arizona rangelands. Coop Ext Serv. Agric Exp Sta. University of Arizona, College of Agric 1981. Bull. No. T81121:88.
 15. Ibarra FFA, Martín RMH. Establecimiento del zacate buffel. En: PATROCIPES editores. Guía práctica para el establecimiento, manejo y utilización del zacate buffel. Hermosillo, Sonora, Méx. 1995:15-30.
 16. COTECOCA. Tipos de vegetación, sitios de productividad forrajera y coeficientes de agostadero del estado de Sonora. 1988;(1):1-361.
 17. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF. 1973.
 18. Martín RM. Métodos de corte para determinar producción de forraje. En: Melgoza A, Fierro LC editores. Serie Técnico-Científica. INIP-SARH. Chihuahua, Chih. 1980;1:52-63.
 19. Canfield RH. Application of the line interception method in sampling range vegetation. *J Forestry* 1941;34:388-394.
 20. Avery TE. Natural resources measurements. 2nd ed. New York, USA: McGraw-Hill Book Co; 1975.
 21. Bradford JM. Penetrability. In: Klute A editor. Methods of soil analysis, Part 1 Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy Inc; 1982:463-478.
 22. Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. 2nd ed. New York, USA: McGraw-Hill Book Co; 1980.
 23. Unger PW, Kaspar TC. Soil compaction and root growth: A review. *Agronomy J* 1994;86:759-766.
 24. Miller RW, Donahue RL. Soils - An introduction to soils and plant growth. 6th ed. Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice-Hall Inc; 1990.
 25. Takar AA, Dobrowolski JP, Thurow TL. Influence of grazing, vegetation life-form, and soil type on infiltration rates and interrill erosion on a Somalian rangeland. *J Range Manage* 1990;43(6):486-490.
 26. Heady HF, Child RD. Rangeland ecology and management. 1st ed. Boulder, Colorado, USA: Westview Press Inc; 1994.
 27. Warren SD, Thurow TL, Blackburn WH, Garza NE. The influence of livestock trampling under intensive rotation grazing on soil hydrologic characteristics. *J Range Manage* 1986;39:491-495.
 28. Parra GMA, Ramírez MF. Efecto de tres prácticas de mejoramiento como son la quema, el chapeo y el subsoleo en praderas establecidas de zacate buffel. XII Congreso nacional de Buiatría. Tampico, Tamaulipas. 1986:473-476.
 29. Nichols JT. Effect of ripping on western wheatgrass range. Livestock Field Day. South Dakota Agric Exp Sta. Newell Field Sta 1966:31-32.
 30. Branson FA, Miller RF, McQueen IS. Contour furrowing, pitting, and ripping on rangelands of the western United States. *J Range Manage* 1966;19:182-190.
 31. Velásquez CJ, Del-Cid NV, Medina VE, Elías GM, Esquer HI. Establecimiento, manejo y utilización de zacate buffel. Memorias día de campo CIPES. Carbo, Sonora. 1979:15-16.
 32. Negrete RLF, Arredondo JT, Giner RA, García HMR, Rodríguez HJ, Jurado GP. Efecto de obras de retención de agua sobre la condición y producción forrajera de un pastizal mediano abierto en el norte de Jalisco. En: UAAAN editor. Memorias del segundo congreso nacional de manejo de pastizales. Saltillo, Coahuila, Méx. 1986:220-224.
 33. Vallentine JF. Grazing management. 1st ed. New York, USA: Academic Press Inc; 1990.
 34. Bryant NA, Johnson LF, Brazel AJ, Balling RC, Hutchinson CF, Beck LR. Measuring the effect of overgrazing in the Sonoran desert. *Climatic Change* 1990;17:243-264.
 35. Ueckert DN, Petersen JL, Shaffer KR. Ripping for restoration of depleted rangeland [abstract]. 54th Annual Meeting of the SRM. Kailua Kona, Hawaii. 2001:128.
 36. Kamprath EJ, Cassel DK, Gross HD, Dibb DW. Tillage effects on biomass production and moisture utilization by soybeans on Coastal Plain soils. *Agronomy J* 1979;71:1001-1005.
 37. Wilson RG. Ploughing buffel seedbeds on hard soils. *Queensland Agri J* 1964;90:286-288.
 38. Ibarra-Flores F, Martín-Rivera M, Ramírez-Moreno F. Rehabilitation of deteriorated buffelgrass pastures by ripping in central Sonora, México. In: Eldridge D, Freudenberger D editors. Proceedings of the VI International rangeland congress. Townsville, Australia. 1999:218-219.
 39. Jordan GL, Maynard ML. The San Simon watershed revegetation. *Progressive agriculture in Arizona* 1970;22:4-7.
 40. O'Neil KJ, Carrow RN. Kentucky bluegrass growth and water use under different soil compaction and irrigation regimes. *Agronomy J* 1982;74:933-936.
 41. Carrow RN. Influence of soil compaction on three turfgrass species. *Agronomy J* 1980;72:1038-1042.
 42. Fryrear DW, McCully WC. Development of grass root systems as influenced by soil compaction. *J Range Manage* 1971;25:254-257.
 43. Gerard CJ, Sexton P, Shaw G. Physical factors influencing soil strength and root growth. *Agronomy J* 1982;74:875-879.
 44. Busscher WJ, Karlen DL, Sojka RE, Burnham KP. Soil and plant response to three subsoiling implements. *Soil Sci Soc Am J* 1988;52:804-808.
 45. Gifford GF, Faust RH, Coltharp GB. Measuring soil compaction on rangelands. *J Range Manage* 1977;30(6):457-460.