

**EFFECTO DE LA CARGA ANIMAL SOBRE CARACTERÍSTICAS DEL  
SUELO Y DE LA VEGETACIÓN EN UN PASTIZAL NATIVO DEL TRÓPICO  
HÚMEDO DE VERACRUZ, MÉXICO**

**[EFFECT OF STOCKING RATE ON SOIL PROPERTIES AND  
VEGETATION IN A NATIVE PASTURE OF THE HUMID TROPIC OF  
VERACRUZ, MEXICO]**

Jesús Jarillo Rodríguez<sup>1,2,\*</sup>, Braulio Valles de la Mora<sup>1</sup>, Epigmenio Castillo Gallegos<sup>1</sup> and Luis Ramírez y Avilés<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT), apartado postal 136, 93600 Martínez de la Torre, Veracruz, México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. E-mail: jarillorj22@hotmail.com.

<sup>2</sup> Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. \*Corresponding author.

**RESUMEN**

Se evaluó, en pastizales nativos, el efecto de la carga animal (2, 3 y 4 vacas/ha) sobre características del suelo y vegetación, durante dos periodos de crecimiento: sep/2005 – ago/2006 y sep/2006 – ago/2007, cubriendo las tres épocas del año: lluvia, norte y seca, en Tlapacoyan, Veracruz. La pastura estuvo compuesta principalmente por gramíneas nativas (*Paspalum* spp y *Axonopus* spp). El pastoreo rotacional fue de 3/27 días (uso/descanso). La disponibilidad de materia seca (kg/ha) fue similar ( $P>0.05$ ) entre cargas:  $5380\pm 243$  kg/ha; pero la contribución (%) de las gramas nativas a la composición botánica fue diferente ( $P<0.0001$ ) entre cargas (en el orden indicado):  $69.4\pm 2.2$ ;  $82.6\pm 1.4$  y  $87.2\pm 1.5$ . La densidad y longitud de raíces a la profundidad de 0-10 y de 10 a 20 cm no mostraron cambio por alguno de los efectos del modelo; la densidad de raíces fue similar ( $P>0.05$ ), pero la longitud (cm; 0-10:  $37.9 \pm 2.0$ ; 10-20:  $17.1 \pm 1.2$  mm/cm<sup>3</sup> de suelo) si fue diferente ( $P<0.05$ ). No hubo efecto significativo ( $P>0.05$ ) de CA sobre la densidad aparente del suelo. En la variable suelo descubierto, el efecto de la época y sus interacciones lineal y cuadrática de CA fueron significativos; la cantidad de suelo descubierto fue mayor ( $P<0.05$ ) en la carga alta en comparación con la carga media y baja. La tasa de mineralización solo mostró efecto significativo ( $P<0.05$ ) de la profundidad del suelo. Se concluyó que la carga animal no afectó consistentemente a las variables evaluadas, sin embargo, las gramas nativas aumentaron conforme aumento la CA sin mostrar relación con la demás variables.

**Palabras clave:** Carga animal; gramas nativas; raíces; mineralización de N; trópico húmedo.

**SUMMARY**

The effect of stocking rate (SR: 2, 3 and 4 cows/ha) upon some soil and vegetation variables was evaluated in native pastures, during two periods: Sep/2005-Aug/2006 and Sep/2006-Aug/2007, covering the three climatic seasons: Rainy, northern-wind and dry, in Tlapacoyan, Veracruz. The botanical composition of the pasture was dominated by native grasses (*Paspalum* spp y *Axonopus* spp). Each pasture paddock received 3 days of grazing per 27 days of recovering. Measurements were done in two grazing cycles per season in two paddocks (replications) out of 10 available for grazing in each SR. The standing dry matter was similar ( $P>0.05$ ) between stocking rates:  $5380\pm 243$  kg/ha; but the contribution (%) of native grasses to the botanical composition was different ( $P<0.0001$ ) between stocking rates:  $69.4\pm 2.2$ ;  $82.6\pm 1.4$  y  $87.2\pm 1.5$  in the above order. Root length and density at 0-10 cm and 10-20 cm depths were not affected by the model effects; root density was not affected ( $P>0.05$ ) by depth, but length was ( $P<0.05$ ; 0-10:  $37.9 \pm 2.0$ ; 10-20:  $17.1 \pm 1.2$  mm/cm<sup>3</sup>). The soil apparent density was not affected by stocking rate. The proportion of bare soil was significantly ( $P<0.05$ ) higher in 4 cows/ha than in 2 and 3 cows/ha. Nitrogen mineralization rate was affected ( $P<0.05$ ) only by soil depth. Most response variables were not affected consistently by stocking rate. However, native grasses increased in the pasture as stocking rate increased and this did not bear any relationship to other measured variables.

**Key words:** Stocking rate; native pastures; roots; N mineralization; humid tropic.

## INTRODUCCIÓN

La alimentación del vacuno, en la ganadería de doble propósito depende casi exclusivamente del pastizal, que presenta gran proporción de especies nativas, principalmente *Paspalum* spp, *Axonopus* spp, y algunas introducidas como *Cynodon* spp, que se manejan generalmente de forma inadecuada, por lo que en su conjunto son consideradas de bajo valor forrajero, (Améndola *et al.*, 2006).

Una alternativa para mejorar la producción animal es aplicar una carga animal lo más cercana a la capacidad de carga de la pastura (Mousel *et al.*, 2005) así como hacer un uso más eficiente de ésta mediante pastoreo rotacional. Sin embargo, fallas al aplicar estos conceptos han generado un inadecuado manejo de los agroecosistemas, cuyo resultado, entre otros, ha llevado a cambios negativos de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, que reducen su fertilidad y en consecuencia, el desarrollo de la planta y la producción animal (Lal, 2000). Lo anterior se remediaría mediante el manejo eficiente de la carga animal (Dubeaux, 2005).

Existen muchos estudios que informan del efecto del pastoreo sobre la biomasa aérea de la pastura, pero son pocos los que han estudiado la biomasa radical en pastos tropicales (Dermer *et al.*, 2006). En todo agroecosistema, el crecimiento de las raíces, es afectado por múltiples factores del suelo. Por ejemplo se ha observado que al aumentar la carga animal, generalmente aumentan la compactación del suelo, lo hacen más susceptible a la erosión y reducen su capacidad de infiltración (Greenwood y McKenzie, 2001; Hadas, 1994). Asimismo, los inadecuados contenidos de humedad del suelo (Bengough *et al.*, 2006), en la estación seca reducen el crecimiento de las raíces (Schroth *et al.*, 2003).

El conocimiento de la respuesta de la biomasa radical a la intensidad y frecuencia de defoliación puede generar la información básica para realizar un manejo estratégico del pastizal (Engel *et al.*, 1998), que lleve a la sustentabilidad de este agroecosistema.

En pasturas tropicales, la materia orgánica del suelo (MO) aporta una proporción significativa del total de N capturado, a través de la mineralización de este. Generalmente, más del 95 % del N total del suelo se encuentra en la MO, y menos del 5 % se encuentra en forma inorgánica, como amonio y nitrato (Whitehead, 2000). Así, la tasa de mineralización y el total de N mineralizado dependen fuertemente de la calidad de la materia orgánica del suelo (Valles *et al.*, 2008; Cadisch y Giller, 2001).

A pesar de la importancia de los pastizales nativos del trópico húmedo de México, son escasos los estudios que relacionen los efectos de los diversos factores de manejo sobre características físicas y químicas del suelo y de la vegetación. Por esta razón, el presente experimento tuvo como objetivo estudiar el efecto del nivel de carga animal sobre algunas características físicas y químicas del suelo, así como sobre la vegetación de dicho tipo de vegetación.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo inició en septiembre de 2005 y finalizó en agosto de 2007, en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT), de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Nacional Autónoma de México, localizado en el municipio de Tlapacoyan, Ver., a 112 m.s.n.m. El clima es cálido húmedo, con lluvias todo el año, sin estación seca definida (Af(m)w"(e)) (García, 1981), con temperatura promedio de  $23.5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  y  $1991 \text{ mm} \pm 392 \text{ mm}$  de precipitación media anual.

El suelo del área experimental es Ultisol, ácido (pH de 4.5 a 5.2), con bajos contenidos de N (0.032 %) y P (2.32 ppm), de profundidad escasa (8 a 30 cm), en el que subyace inmediatamente el tepetate (toba ácida), con un nivel de compactación que lo hace casi impermeable al agua y dificulta la penetración de las raíces (Toledo, 1986), además de originar drenaje deficiente en las épocas de lluvias y nortes.

Se utilizó una área de pastizales nativos, que ha estado sujeta desde febrero del 2002 a pastoreo rotacional, bajo un patrón de uso/descanso de 3/27 días, con una carga animal de 2, 3 y 4 vacas/ha. La vegetación, al inicio del experimento, estuvo compuesta por gramíneas nativas (GN, 86.9 %), principalmente de los géneros *Paspalum* spp y *Axonopus* spp; y el resto (2.9 %) lo constituyeron gramíneas introducidas (GI) como estrella santo Domingo (*Cynodon nlemfuensis*) y *Brachiaria arrecta*, y leguminosas nativas (1.7 %); además de malezas de hoja ancha y angosta que contabilizaron un 8.5 %.

Los tratamientos fueron los niveles de carga animal de 2 (baja), 3 (media) y 4 (alta) vacas/ha, alojados cada uno de ellos en 5.0, 3.3 y 2.5 ha, donde cada superficie se dividió en 10 potreros. Para la toma de datos se usaron dos de estos potreros (fijos) por carga como repetición, pastoreados en secuencia.

### Mediciones realizadas

La cantidad de materia seca presente (MSP; kg de MS/ha) y material muerto (MM; kg de MS/ha) se estimó con el método del "rendimiento comparativo"

(Haydock y Shaw, 1975), cuya curva de calibración se creó con cinco puntos de doble muestreo (escala visual vs forraje cosechado); en tanto que el promedio de evaluaciones visuales se generó con 100 puntos de muestreo seleccionados al azar.

La composición botánica (CB, %) de la pastura (gramíneas nativas e introducidas), se evaluó con el método de "rango de peso seco" (Mannetje y Haydock, 1963) utilizando los mismos 100 cuadrantes de 0.25 m<sup>2</sup> empleados para evaluar MSP; asimismo se usaron los mismos cuadrantes para estimar visualmente, el porcentaje de suelo descubierto (SD, %). Estas mediciones, se realizaron por duplicado dentro de cada repetición en dos ciclos de pastoreo por época, durante los dos años de evaluación, lo que produjo un total de 144 muestreos para los tratamientos, que fueron los tres niveles de carga animal.

La longitud (LR, mm/cm<sup>3</sup>) y densidad de raíces (DR, mg/cm<sup>3</sup>) se midieron en los dos últimos ciclos de pastoreo de las épocas de lluvia, norte y seca del segundo año (Sept-2006/Jun-2007). La muestra de suelo para obtener las raíces se obtuvo con un tubo cilíndrico de acero de 10 cm de diámetro y 20 cm de largo (Rowell, 1997), con filo en un extremo, y en el otro, una base de golpeo, marcado con una línea de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm. Se obtuvieron 12 muestras al azar por repetición, a profundidades de 0-10 cm y de 10-20 cm, respectivamente. Después del muestreo, el suelo se colocó en bandejas y se lavó con agua abundante y después se recuperaron las raíces por tamizado. Posteriormente, la muestra de raíz fresca se secó a 60 °C por 72 h, y después se pesó, para obtener el peso seco de la muestra. Los valores se expresaron en términos de materia orgánica de raíces, para evitar sesgos por contaminación por partículas de suelo.

La longitud de raíces se determinó por el método de intersección lineal (Tennant, 1975), colocando una muestra de raíces separadas entre ellas y sin encimarlas, en papel con cuadrícula de 1 x 1 cm. La longitud se obtuvo suponiendo que el largo de la raíz es igual al número de intersecciones de ésta sobre las líneas de la cuadrícula, multiplicado por el factor 0.786, recomendado para raíces de menos de 1 m de largo. Los datos se expresaron con relación al volumen de suelo (311.56 cm<sup>3</sup>), en mg de materia orgánica /cm<sup>3</sup> (densidad), y mm/cm<sup>3</sup> (longitud). El número de muestras por repetición fue de 12, a dos profundidades de suelo (0 - 10 y 10 - 20 cm), en las tres épocas de año, lo que produjo un total de 432 muestras.

Se estimó la densidad aparente del suelo (DAP, g/cm<sup>3</sup>) de la superficie a los 5 cm de profundidad, utilizando una barrena cilíndrica metálica de 5 cm de diámetro. Se tomaron 10 muestras por tratamiento en cada una

de las dos repeticiones, en las tres épocas del año y durante dos años, para un total de 360 muestras, que se pesaron en fresco, y posteriormente se secaron a 100 °C/72 h, para obtener el peso seco del suelo, y con el volumen del cilindro calcular la DAP (g/cm<sup>3</sup>). El grado de compactación del suelo (kg/cm<sup>2</sup>) se midió una sola vez en la época de lluvias (octubre) de 2007, con un penetrómetro (Dickey-John Soil Compaction Tester), realizando 400 mediciones al azar por repetición por carga animal, antes del pastoreo, lo que produjo un total de 2400 observaciones.

La tasa de mineralización de nitrógeno (TMN) del suelo se determinó por incubaciones anaeróbicas de muestras de suelo colectadas en la época de nortes (enero de 2007), a profundidades de 0 - 5 y 5 - 15 cm, utilizando una modificación de la técnica de Waring y Bremner (1964). Se pesaron 10 g de suelo seco, colocados en tubos de ensayo a los cuales se les añadieron 15 ml de agua destilada. Los tubos fueron sellados y mantenidos a 40 °C por siete días, al final de los cuales, se extrajo el amonio añadiendo al suelo 30 ml de 3M KCl, agitando la suspensión y filtrando. El análisis de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> fue por colorimetría en un autoanализador. Igual procedimiento se realizó antes de incubar, para determinar N a tiempo cero. El N mineralizado, se calculó con la fórmula (Anderson e Ingram, 1993):

$$TMN = [(\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}, \text{ a 7 días}) - (\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}, \text{ a 0 días})] / 7 \text{ días.}$$

### Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar con tres tratamientos: cargas animales de 2, 3 y 4 vacas/ha, y dos repeticiones. La información se analizó por separado para los periodos septiembre 2005 a agosto 2006 (primer periodo) y septiembre 2006 a agosto 2007 (segundo periodo).

Las variables de la vegetación se analizaron con un modelo que incluyó los efectos lineales y cuadráticos de la carga animal, la época del año como medición repetida (lluvias, nortes y sequía); la interacción carga lineal y cuadrática con la época, además del efecto aleatorio de la repetición. Se empleó PROC MIXED de SAS (1999) para medidas repetidas, empleando la estructura de covarianza de simetría compuesta, pues análisis previos mostraron que fue la que mejor se ajustó a los datos (Littel *et al.*, 1998). Se efectuaron regresiones entre las variables de respuesta y la carga animal sólo cuando el efecto lineal o cuadrático de esta, así como sus interacciones con la época fueron significativos en el análisis previo.

La varianza de la densidad aparente del suelo, se analizó con un modelo que consideró los efectos del

tratamiento y repetición, en tanto que para la tasa de mineralización, además de los anteriores, se incluyó el efecto del nivel de profundidad; en ambos casos, los datos se analizaron con el procedimiento PROC GLM (SAS, 1999). En todos los análisis, se empleó el nivel  $P < 0.05$  para declarar significancia estadística.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Materia seca presente

En el primer periodo, ninguna de las variables del modelo tuvieron efecto sobre la MSP, siendo la media general de 5380 kg/ha con un error estándar de  $\pm 243$ . En el segundo periodo, los efectos de la época e interacciones del efecto lineal y cuadrático por la época fueron significativos. Las ecuaciones de segundo orden (Figura 1) indicaron respuestas cuadráticas diferentes para cada época, presentando la época de lluvias una respuesta máxima a una carga animal de 2.9 vacas/ha, en tanto que en la de nortes, la MSP disminuyó al aumentar la carga animal, con el máximo valor de MSP en la carga de 1.3 vacas/ha, fuera del rango de cargas empleado. Por otro lado, en la sequía, la MSP mostró una respuesta baja, prácticamente plana, a la carga animal, presentando el mínimo de MSP a la carga animal de 3.2 vacas/ha.

Stewart *et al.*, (2007) al evaluar el efecto de tres niveles de carga animal: baja (1.4 UA/ha), moderada (2.8 UA/ha) y alta (4.2 UA/ha) en pasturas de *P. notatum* Flüggé, encontraron que la biomasa forrajera fue mayor en la carga baja (3420 kg ha<sup>-1</sup>), en comparación con la carga moderada (2870 kg ha<sup>-1</sup>) y alta (2950 kg ha<sup>-1</sup>). Ocaña (2003), al evaluar inicialmente los mismos niveles de carga animal del presente experimento, encontró tendencias similares. Hernández *et al.* (2004) evaluaron en pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) con tres niveles de carga animal (2.5, 5.0 y 7.5 novillos de 200 kg de peso vivo), encontrando que la MSP decreció al aumentar la carga animal, con valores respectivos de 4800, 3200 y 2000 kg/ha, en un primer periodo y 8300, 5800 y 3300 kg/ha en el segundo.

Se ha informado una relación lineal positiva entre la tasa de aparición de hojas y la temperatura del aire (Hirata y Pakiding 2001; Hirata y Pakiding 2004); por lo que un incremento de la tasa de aparición de hojas, significaría un aumento en la producción de biomasa y en MSP. Sin embargo manejado a baja altura, en *P. notatum* aparecen más hojas pero más cortas, sucediendo lo contrario cuando se maneja a mayores alturas (Hirata, 2000). Este fenómeno compensatorio explicaría la similitud de los valores de MSP entre los niveles de carga animal evaluados.

Aún cuando las diferencias en lluvia y temperatura atmosférica son los factores que determinan las diferencias en crecimiento entre épocas, en el presente estudio la MSP fue estadísticamente similar entre épocas en ambos periodos. No obstante en el segundo periodo las diferencias entre épocas tendieron a ser diferentes, siguiendo el orden lluvias > nortes > sequía. La falta de significancia entre épocas se debió a una alta variación entre repeticiones (Figura 1).

Los valores de MSP aquí informados, se encuentran dentro del rango de valores presentados por Ogura *et al.* (2005), quienes encontraron en *P. notatum* una alta variación de 116 hasta 7944 kg de MS/ha, la cual atribuyeron a diferencias entre puntos de muestreo y en composición botánica, que se sabe modifican la estimación de la MSP (Jones y Hargreaves 1979).

### Material muerto

Con respecto al MM, éste no fue afectado por ninguna de las variables del modelo en ambos periodos, con media  $\pm$  error estándar de  $1707 \pm 92$  para el primero y  $1121 \pm 72$  para el segundo. En general, el MM se reduce al aumentar la carga animal, como consecuencia de un mayor uso de la MSP, que deja menos MS residual, de la cual se origina el MM. En el presente experimento, numéricamente el MM se redujo al aumentar la carga animal. Sin embargo, Ocaña (2003), en evaluaciones iniciales del mismo experimento, tampoco encontró diferencias significativas entre cargas para material muerto. Cantarutti *et al.* (2002) evaluaron, en Brasil, el efecto de la carga animal: 2, 3 y 4 animales/ha, en pastizales de *Brachiaria humidicola* sola o asociada a *Pueraria phaseoloides* (kudzú) o *Desmodium ovalifolium*, encontrando que la hojarasca disminuyó linealmente con el incremento en la carga animal.

### Composición botánica de la pastura

#### Gramas nativas

Las gramíneas nativas fueron afectadas por todos los términos del modelo en el primer periodo; en particular, la significancia de las interacciones entre la carga lineal y cuadrática con la época indicaron que la respuesta a la carga dependió de la época (Figura 2). Por otro lado, en el segundo periodo, sólo fueron significativos los efectos lineales y cuadrático de la carga (Figura 2), siendo el efecto de época y sus interacciones con carga no significativos.

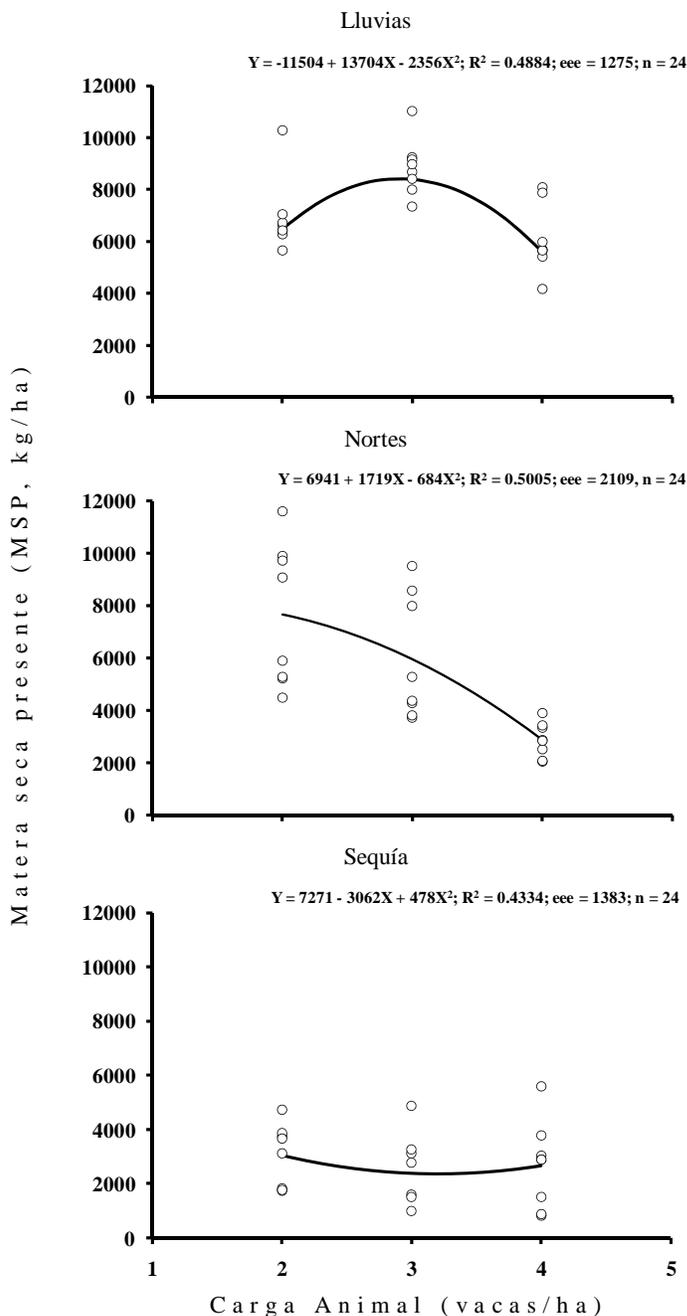


Figura 1. Efecto de carga animal y época sobre la MS presente en el segundo periodo (2006-2007).

La proporción de GN aumentó al incrementarse el nivel de carga. Especies que forman parte de las GN como *P. notatum*, han mostrado el mismo grado de persistencia bajo diferentes condiciones de defoliación, debido a que hojas y tallos residuales mantienen reservas energéticas suficientes, incluso con defoliaciones más intensas y frecuentes a las del presente ensayo (Gates *et al.*, 1999). Así, a medida que se incrementó la carga animal, aumentó la intensidad de defoliación, lo cual afectó negativamente la

persistencia de las gramíneas introducidas y en consecuencia, se generó mayor presencia de las GN.

Fernández *et al.* (2006), en un pastizal del mismo sitio del ensayo y con una carga instantánea similar a la carga media, encontraron un porcentaje de gramíneas nativas de 74.1 %, valor intermedio entre los valores de carga baja (69.4±2.0 %) y carga media (82.6±1.4 %) del presente ensayo, lo cual confirma la contribución de las gramas nativas dentro de los niveles de carga empleados.

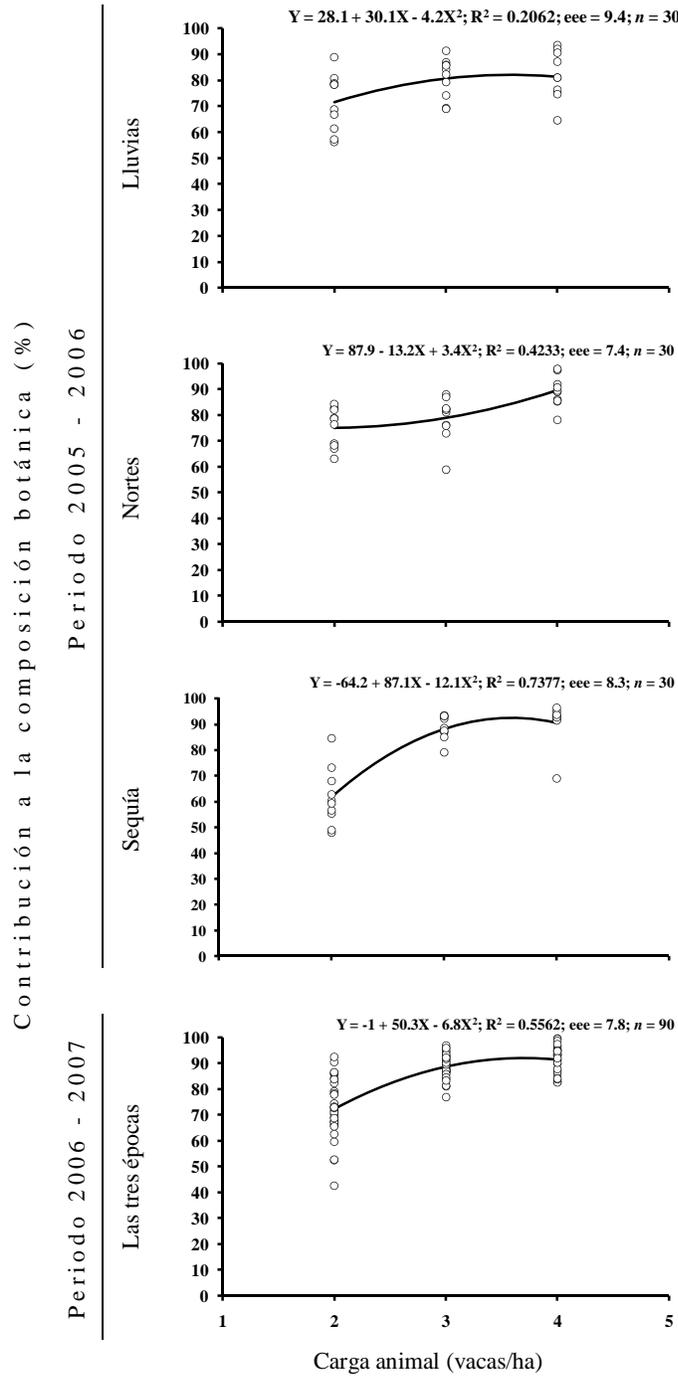


Figura 2. Efecto de carga animal y época sobre la contribución de las gramas nativas a la composición botánica. En el primer periodo (2005-2006) hubo interacción significativa de la carga animal lineal y cuadrática con la época; en el segundo periodo (2006-2007) la interacción no fue significativa, sólo lo fueron los efectos lineales y cuadráticos de la carga animal.

### Gramíneas introducidas

En el primer periodo, sólo los efectos lineal y cuadrático de la carga fueron significativos sobre las gramíneas introducidas, en tanto que en el segundo periodo, el efecto principal de época y las interacciones de época por carga lineal y por carga cuadrática fueron significativos (Figura 3). Al igual que con las gramas nativas, las interacciones indicaron que la respuesta a la carga dependió de la época.

En el primer periodo, la contribución de las gramíneas introducidas disminuyó al aumentar la carga animal, encontrándose un mínimo a una carga animal estimada de 3.5 vacas/ha. En las épocas de lluvias y sequía del segundo periodo el comportamiento fue similar, presentando una contribución mínima a 3.6 y 3.7 vacas/ha, respectivamente. La respuesta en la época de nortes fue contraria, presentando un máximo a 3.3 vacas/ha, aunque la respuesta a la carga en este último periodo fue baja y la curvatura apenas perceptible. En términos generales, las gramíneas introducidas contribuyeron poco a la composición botánica y disminuyeron al aumentar la carga animal (Figura 3).

### Otras gramíneas, arvenses y leguminosas nativas

El componente otras gramíneas, estuvo formado por las especies *Paspalum virgatum* (pasto amargo) y *Sporobolus poiretii* (pasto sabana) y presentó una respuesta similar a las gramíneas nativas: Todos los efectos del modelo fueron significativos en el primer periodo, siendo significativos en el segundo periodo, los efectos lineal y cuadrático de la carga. En términos generales, su contribución fue baja y disminuyó cuadráticamente al aumentar la carga animal a valores mínimos (cerca de cero) en cargas estimadas de 3.5, 3.6 y 3.6 para lluvias, nortes y sequía del primer periodo y de 3.6 para todo el segundo periodo (Figura 4).

Las arvenses estuvieron conformadas por dicotiledóneas de las familias *Malvaceae* y *Compositaceae* y fueron afectadas por los efectos lineal y cuadrático de la carga tanto en el primero como en segundo periodos. En ambos casos, aunque significativo, el efecto cuadrático fue apenas perceptible, particularmente en el segundo periodo en que la curva se aprecia casi plana. El máximo contenido de este componente ocurrió a cargas estimadas de 3.2 y 3.0 vacas/ha para el primero y segundo periodos respectivamente (Figura 5).

Por otro lado, las leguminosas fueron afectadas en el primer periodo, por el efecto de la época y las

interacciones de carga lineal y cuadrática por época, siendo los demás factores no significativos. La respuesta cuadrática a la carga fue de distinta magnitud para lluvias y nortes y de distinto signo entre estas y la época de sequía (Figura 6). En el segundo periodo, sólo el efecto de la época fue significativo, siendo las épocas de lluvias ( $3.4\% \pm 0.31\%$ ) y sequía ( $2.90\% \pm 0.35\%$ ) similares entre sí y ambas superiores a la de nortes ( $1.03\% \pm 0.15\%$ ).

En suma, estos tres grupos de especies contribuyeron poco, menos del 5% en promedio, a la composición botánica del pastizal. Sin embargo, vale la pena resaltar el hecho de que especies poco palatables como otras gramíneas, fueron prácticamente eliminadas por cargas ligeramente más altas de la carga experimental de 3 vacas/ha. Asimismo, la contribución de las arvenses disminuyó de un promedio de 7.6% en el primer periodo a 3.6% en el segundo (Figura 6), lo que puede estar representando un efecto acumulativo y negativo de las cargas sobre este componente en particular.

### Densidad de raíces y longitud de raíces

La densidad y la longitud de raíces a las dos profundidades, no fueron afectadas por ninguno de los efectos del modelo. La densidad promedio  $\pm$  error estándar fue de  $24.7 \pm 0.2$  y  $22.1 \pm 0.2$  mg MO/cm<sup>3</sup> de suelo para las profundidades de 0-10 y 10-20 cm, respectivamente. Los valores respectivos para longitud fueron  $37.9 \pm 2.0$  y  $17.1 \pm 1.2$  mm/cm<sup>3</sup> de suelo, siendo estas cantidades estadísticamente diferentes.

Ansín *et al.* (1998), en pasturas nativas de *Distichlis scoparia*, *D. spicata*, y *Paspalum dilatatum*, encontraron que en la época de invierno disminuyó la densidad de raíces, tanto a profundidades de 0-5 cm ( $4.5 \pm 1.6$  mg/cm<sup>3</sup>), como de 25-35 cm ( $1.0 \pm 0.4$  mg/cm<sup>3</sup>). En un estudio de simulación para un pastizal bajo distintas combinaciones de carga animal y precipitación en Mongolia, Chen *et al.* (2006) observaron que la biomasa de raíces así como la producción primaria neta de raíces hubiesen disminuido al aumentar la carga animal. Sin embargo, ambas variables se incrementaron al aumentar la precipitación. Este hecho no pudo ser corroborado por los resultados aquí obtenidos, porque aún cuando numéricamente superiores en densidad de raíces, las épocas de lluvias y nortes, no difirieron de la época de sequía. Por otra parte, en la costa de Texas, en pasto Bermuda común y Bermuda de la costa, Rouquette y Florence (1986), informaron que al aumentar el forraje disponible (5, 10, y 25 kg MS/100 kg PV) aumentó la biomasa de raíces: 350, 460 y 477 kg/ha.

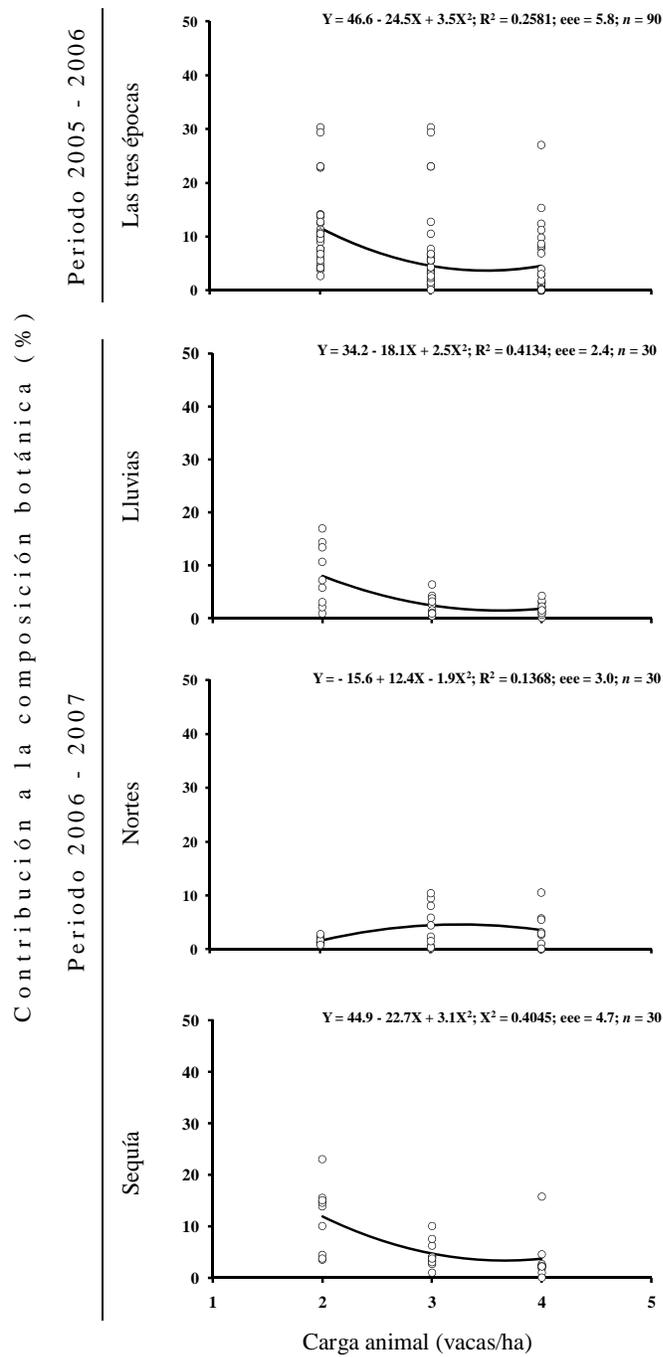


Figura 3. Efecto de carga animal y época sobre la contribución de las gramíneas introducidas a la composición botánica. En el primer periodo (2005-2006) la interacción no fue significativa, sólo lo fueron los efectos lineales y cuadráticos de la carga animal; en el segundo periodo (2006-2007) hubo interacción significativa de la carga animal lineal y cuadrática con la época.

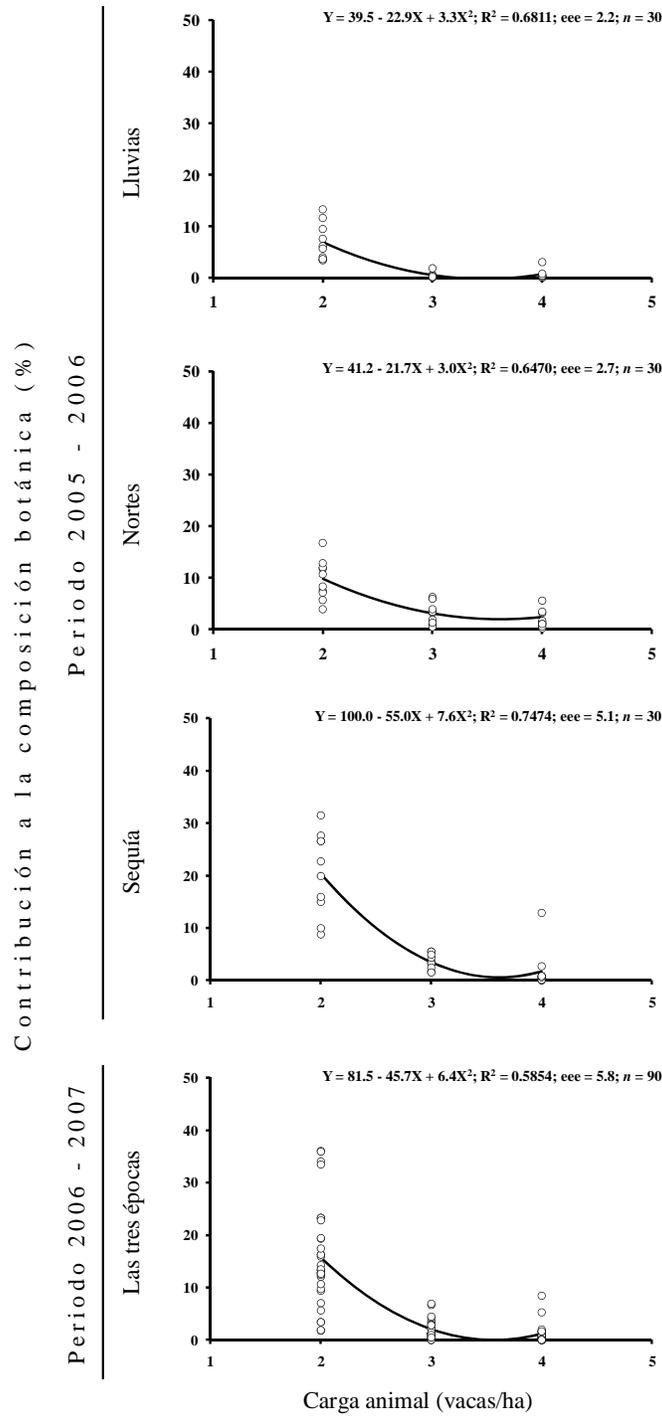


Figura 4. Efecto de carga animal y época sobre la contribución de otras gramíneas a la composición botánica. En el primer periodo (2005-2006) hubo interacción significativa de la carga animal lineal y cuadrática con la época; en el segundo periodo (2006-2007) la interacción no fue significativa, sólo lo fueron los efectos lineales y cuadráticos de la carga animal.

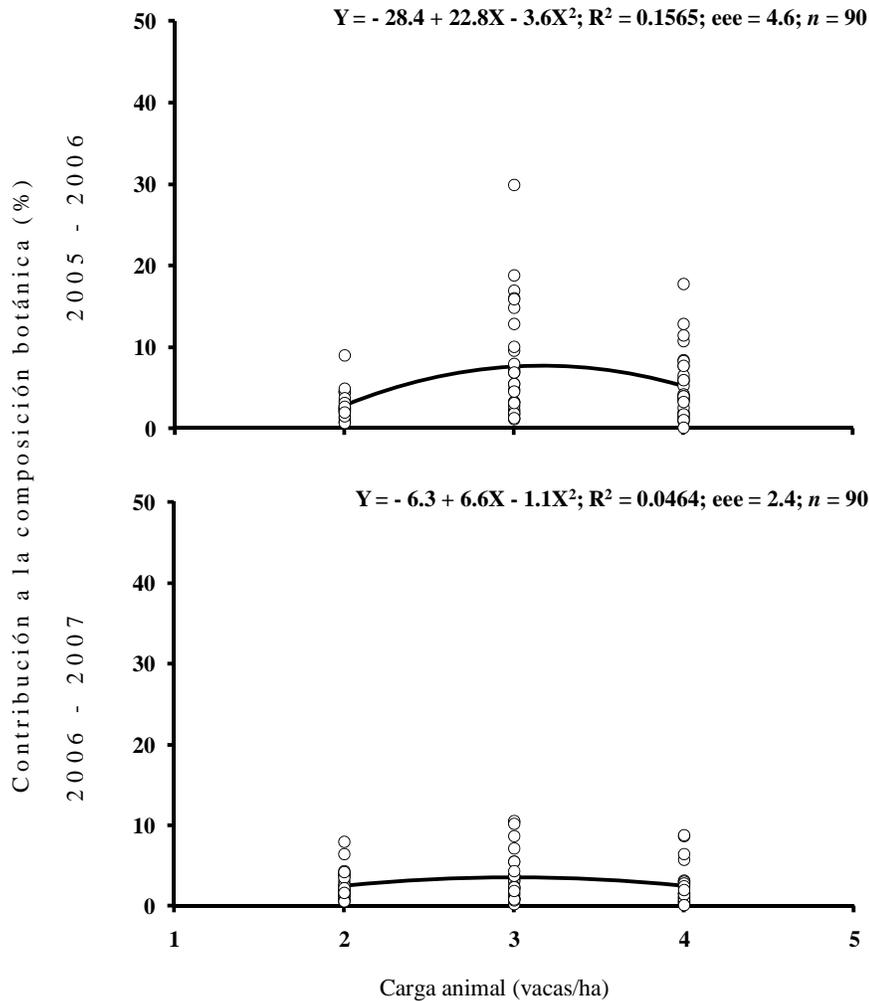


Figura 5. Efecto de carga animal y época sobre la contribución de las arvenses a la composición botánica. En ninguno de los periodos hubo interacción significativa de la carga animal lineal y cuadrática con la época.

La longitud de la raíz y su distribución en el perfil del suelo se reduce al incrementarse la intensidad de defoliación (Engel *et al.*, 1998; Dawson *et al.*, 2000), lo cual, afecta también en forma negativa la superficie total de raíz para absorber agua y nutrientes. Esto explica en parte, por qué se reduce la MSP al aumentar la carga animal. Sin embargo, la nula diferencia entre cargas animal en longitud de raíces, podría relacionarse a la presencia de tepetate a poca profundidad (< 30 cm), la cual sin duda afectó tanto la longitud como la densidad y llevó a que hubiera poca relación entre estas variables y la MSP.

La capa superior del suelo presentó alrededor de 2.2 veces más longitud de raíces que la siguiente capa.

Este resultado coincide con lo informado por otros investigadores (Greenwood y Hutchinson, 1998; Piccolo *et al.*, 2005)

**Características físicas y químicas del suelo**

Al finalizar el experimento, no se detectaron diferencias en las características físicas y químicas del suelo (Tabla 1). Solo la carga de 3 vacas/ha presentó significativamente más MO (3.2±0.04%) que las cargas de 2 (2.3±0.2%) y 4 (2.3±0.1%) vacas/ha. Sin embargo, esto no llevó necesariamente a una mayor producción de MS, ya que sólo en la época de lluvias del segundo periodo, la MSP de 3 vacas/ha superó a las cargas extremas.

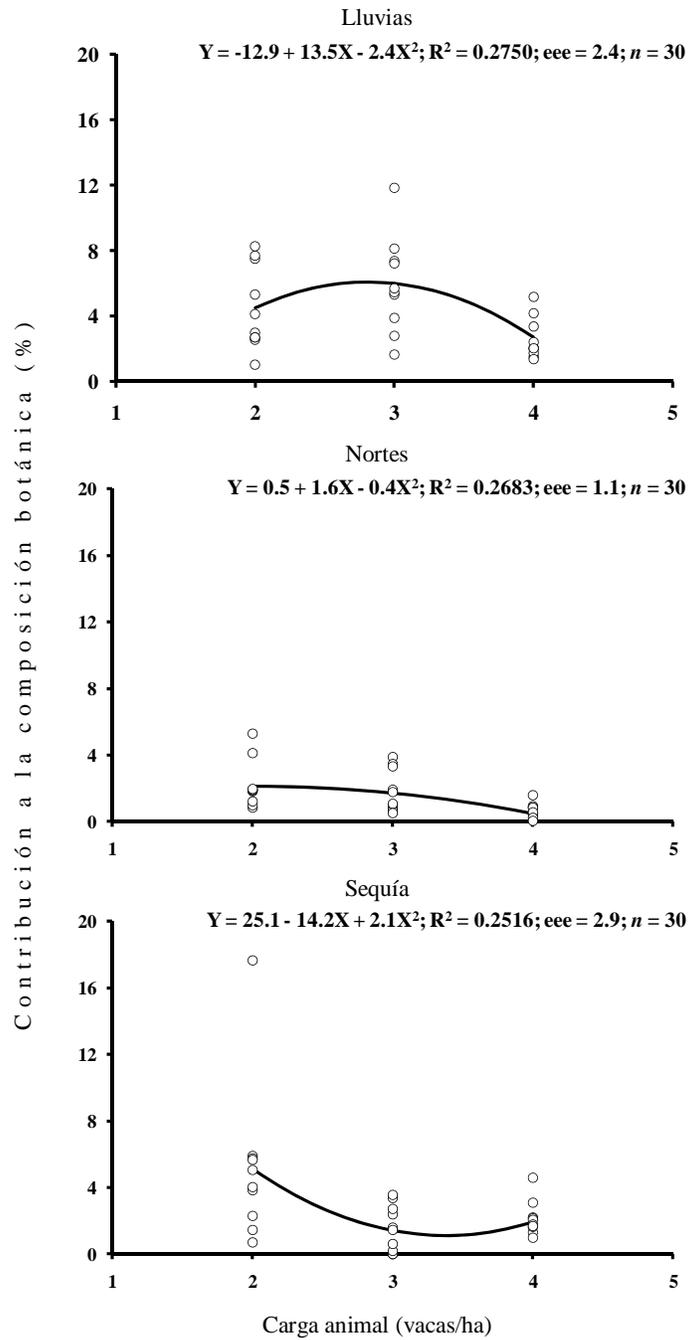


Figura 6. Efecto de carga animal y época sobre la contribución de leguminosas nativas a la composición botánica en el primer periodo (2005-2006), donde hubo interacción significativa de la carga animal lineal y cuadrática con la época. En el segundo periodo (2006-2007) sólo el efecto de la época fue significativo.

Tabla 1. Efecto de la carga animal, sobre variables químicas y físicas (media  $\pm$  error estándar) de un suelo con gramas nativas, bajo pastoreo a tres cargas animal, en el trópico húmedo de México.

Variable	Carga animal		
	2 vacas/ha	3 vacas/ha	4 vacas/ha
Arena (%)	31.9 $\pm$ 1.6 <sup>a</sup>	37.4 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	35.2 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>
Limo (%)	43.6 $\pm$ 2.4 <sup>a</sup>	38.2 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	41.0 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>
Arcilla (%)	24.4 $\pm$ 1.6 <sup>a</sup>	25.2 $\pm$ 1.7 <sup>a</sup>	23.7 $\pm$ 1.9 <sup>a</sup>
pH, 1:2	5.6 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	5.4 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	5.5 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>
MO (%)	2.3 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	3.2 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	2.3 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>
N (%)	0.04 $\pm$ 0.007 <sup>a</sup>	0.03 $\pm$ 0.004 <sup>a</sup>	0.04 $\pm$ 0.009 <sup>a</sup>
P (ppm)	2.8 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	1.5 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	2.5 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>
K <sup>+</sup> (ppm)	4.2 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	6.5 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	7.5 $\pm$ 2.3 <sup>a</sup>
Ca <sup>3+</sup> (ppm)	3.2 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	6.7 $\pm$ 2.8 <sup>a</sup>	5.3 $\pm$ 1.9 <sup>a</sup>
Mg <sup>2+</sup> (ppm)	2.9 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	5.6 $\pm$ 1.7 <sup>a</sup>	4.4 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>

Medias con literal diferente dentro de fila son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

Beare *et al.* (2005) mencionaron que la cantidad de MO del suelo no necesariamente se incrementa conforme aumenta la producción de materia seca. Thomas (1992), mencionó que al incrementar la carga animal y con ello la tasa de utilización de forraje, la hojarasca sobre el suelo disminuye porque disminuye el forraje residual. Esto implica un efecto negativo del aumento en carga animal sobre la acumulación de MO en el suelo. Por otro lado, tal acumulación está más influenciada por la cantidad de raíz que por la cantidad de MSP (Beare *et al.*, 2005). En el presente ensayo la densidad de raíces fue similar entre cargas, lo cual no explica la diferencia en MO entre la carga media y las otras cargas. Por otro lado, la acumulación de MO es un proceso lento, por lo que es posible que el contenido de MO de la carga media hubiese sido alto desde el inicio del trabajo, lo cual no pudo corroborarse por la ausencia de valores iniciales de MO de cada carga.

Castillo *et al.*, (2005), encontraron en gramas nativas, solas y asociadas con *Arachis pintoi*, a tres años y medio de su establecimiento, un valor promedio de MO de 2.5 %, similar al promedio de 2.6% del presente ensayo para las tres cargas animal. Estos autores encontraron además, valores de pH a 0-30 cm en un rango de 5.1 a 5.7, similares a los del presente experimento.

### Densidad aparente y compactación del suelo

Se observó un ligero aumento de la densidad aparente del suelo, promediando 1.27 $\pm$ 0.01, 1.3 $\pm$ 0.02 y 1.3 $\pm$ 0.01 g/cm<sup>3</sup>, para 2, 3 y 4 vacas/ha, aunque a lo largo del experimento no hubo efecto significativo de la carga animal. La compactación es una deformación del suelo que ocurre a expensas de su porosidad (Cuevas *et al.*, 2004), especialmente la de macroporos

(Beare *et al.*, 2005). Por esto la DAP es un buen indicador de compactación. En las condiciones del presente experimento, no se generaron evidencias que indicaran que a 7 años de su establecimiento, el incremento de carga animal produjera un aumento en la DAP del suelo. Por otra parte, para corroborar estos resultados, se midió la DAP, con el método de volumen de agua desplazado en probeta, no encontrando diferencias significativas entre cargas.

Castillo *et al.*, (2005), al evaluar el efecto de las gramas nativas, solas y asociadas con *Arachis pintoi*, a tres años y medio de su establecimiento, bajo similares condiciones de suelo y clima, reportaron un valor promedio de densidad aparente de 1.21 g/cm<sup>3</sup>, ligeramente inferior al reportado en el presente ensayo para cualquier carga animal o época.

Los valores de resistencia a la penetración de 15.5 $\pm$ 0.1, 17.0 $\pm$ 0.1 y 17.4 $\pm$ 0.1 kg/cm<sup>2</sup> correspondieron a carga baja, media y alta, respectivamente y al igual que la DAP, aumentaron conforme aumentó la carga, pero el incremento no fue significativo ( $P > 0.05$ ), lo cual corroboró los resultados obtenidos de DAP.

### Suelo descubierto

El efecto de época y sus interacciones con los efectos lineal y cuadrático de la carga fueron significativos. Las interacciones indicaron que la respuesta del SD a la carga dependió de la época. Por otra parte, los efectos simples de carga lineal y cuadrática no fueron significativos. Las ecuaciones de regresión fueron:  $Y = 50.2 - 33.4X + 6.2X^2$ ,  $R^2 = 0.6135$ ,  $n = 30$ ,  $eee = 3.6$  para sequía 2006;  $Y = -35.2 + 32.7X - 5.2X^2$ ,  $R^2 = 0.2041$ ,  $n = 30$ ,  $eee = 5.8$  para lluvias 2006; y  $Y = -17.5 + 15.4X - 2.4X^2$ ,  $R^2 = 0.2135$ ,  $n = 30$ ,  $eee = 3.1$  para nortes 2007. Esto indicó que lluvias y nortes se

comportaron de manera similar, con mínimos estimados de SD a 3.1 y 3.2 vacas/ha, respectivamente, aunque la proporción de SD fue alrededor de dos veces mayor en lluvias que en nortes; y un máximo de SD en sequía estimado a una carga de 2.7 vacas/ha, aunque se presentó un aumento considerable en la carga alta.

Por otra parte, la cantidad de SD fue mayor en la carga alta en comparación con la carga baja y media, lo que se debió probablemente a la disminución de MM que incorporó menos hojarasca sobre el suelo, lo cual podría tener consecuencias negativas como facilitar la volatilización de nutrientes del suelo, como incrementar la tasa de evaporación, además de incrementar el riesgo de erosión hídrica (Sodré *et al.*, 2004).

### Tasa de mineralización de nitrógeno

Sólo la profundidad tuvo efecto significativo sobre la tasa de mineralización, siendo no significativos los efectos lineales y cuadráticos de la carga animal. Las tasas promedio de mineralización de N fueron de  $79.8 \pm 6.9$  y  $27.0 \pm 4.1$   $\mu\text{g NH}_4\text{-N/g}$  de suelo para 0-5 cm y 5-15 cm de profundidad, respectivamente.

Valles *et al.*, (2008) encontraron la mayor tasa de mineralización dentro de los primeros 5 cm de profundidad, aunque esos valores fueron menores ( $5.8 - 18.7$   $\mu\text{g NH}_4\text{-N/g}$  de suelo) a los aquí encontrados.

En el presente experimento hubo un aumento no significativo de la tasa de mineralización al aumentar la carga animal, lo cual tiene cierta relación con lo encontrado por Dubeaux *et al.* (2006), quienes encontraron que la tasa de mineralización de N se incrementó al aumentar la carga animal.

### CONCLUSIONES

La información generada en el presente experimento no permite afirmar la existencia de un efecto consistente de la carga animal sobre las variables evaluadas. Sin embargo, si se puede afirmar que la proporción de gramas nativas aumentó conforme se incrementó la carga animal, pero sin existir relación alguna con otras variables como la materia seca presente y la densidad y longitud de raíces.

Por otro lado, resulta bastante razonable afirmar que este tipo de estudios debe llevarse a cabo por periodos más largos, si se quieren detectar cambios en características importantes del suelo, como el contenido de materia orgánica y la densidad aparente.

Una hipótesis a probar que se deriva del presente estudio, es que el componente gramíneas nativas tiene

un amplia plasticidad en su respuesta al incremento en carga animal, que le permite tener una estabilidad en la producción de materia seca, asociada a cambios en la morfología de hijatos de los principales componentes botánicos de este grupo, como son *Paspalum* spp y *Axonopus* spp.

### AGRADECIMIENTO

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), UNAM, el financiamiento al proyecto IN205805 "Efecto de la carga animal bovina sobre la morfogénesis de gramas nativas y su calidad nutritiva en el trópico húmedo mexicano".

### REFERENCIAS

- Améndola, R., Castillo, E., Martínez, P.A. 2006. Country Pasture Profiles. Latin America and the Caribbean: México. <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/pasture/forage.htm>. Consultado: 18 de febrero 2009.
- Anderson, J.M., Ingram, J.S.I. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A handbook of methods. 2nd ed. CAB International. Wallingford, UK.
- Ansín, O.E., Oyhambure, M., Hoffmann, A., Vecchio, M.C., Ferragine, M.C. 1998. Distribución de raíces en pastizales naturales y pasturas cultivadas de La Pampa Deprimida Bonaerense y su relación con la biomasa forrajera. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. 103(2):141-148.
- Beare, M.H., Curtin, D., Thomas, S., Fraser, P.M., Francis, G.S. 2005. Chemical components and effects on soil quality in temperature grazed pastures systems. In: Optimizations on Nutrient Cycling and Soil Quality for Sustainable Grasslands. Proceeding of a satellite workshop of the XXth International Grasslands Congress, Edited by Jarvis S.C., Murray, P.J., Roker, J.A. Wageningen Academic publishers. Oxford. England. 25-36.
- Bengough, G.A., Bransby, F.M., Hans, J., McKenna, J.S., Roberts, J.T., Valentine, A.T. 2006. Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. Journal of Experimental Botany. 57(2):437-447.
- Cadisch, G., Giller, K.E. 2001. Soil Organic Matter Management: The Role of Residues Quality

- in C Sequestration and N Supply. In: Rees, R.M., Ball, B.C., Campbell, C.D., Watson, C.A. Sustainable Management of Soil Organic Matter. 1st ed. CAB International. Wallingford, Oxon, UK. 97-111.
- Cantarutti, R.B., Tarre, R., Macedo, R., Cadisch, G., Rezende, C. de P., Pereira, J.M., Braga, J.M., Comide, J.A., Ferreira, E., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Boddey, R.M. 2002. The effect of grazing intensity and the presence of a forage legume on nitrogen dynamics in *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the south of Bahia, Brazil. *Nutrient Cycling of Agroecosystems*. 64:257-271.
- Castillo, G.E., Valles, M.B., tMannetje, L., Aluja S.A. 2005. Efecto de introducir *Arachis pintoi* sobre variables del suelo de pasturas de grama nativa del trópico húmedo mexicano. *Técnica Pecuaria en México*. 43(2): 287-295.
- Chen, Y., Pilzae, Lee., Gilzae, Lee., Shigeru, M. Takehisa, O. 2006. Simulating root responses to grazing of a Mongolian grassland ecosystem. *Plant Ecology*. 183:265-275.
- Cuevas, B.J., Corner, F.J., Ellies, S.A. 2004. Elementos de física y mecánica para evaluar la sustentabilidad de suelos agrícolas. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 6(2):1-13.
- Dawson, L.A., Grayston, S.J., Paterson, E. 2000. Effects of Grazing on the Roots and Rhizosphere of Grasses. In: Lemaire, G., Hodgson, J., Moraes, de A., Carvalho, P.C. Nabinger, F.C. *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. CABI Publishing. New York. 61-84.
- Derner, J.D., Boutton, W.T., Briske, D.D. 2006. Grazing and ecosystem carbon storage in the North American Great Plains. *Plant and Soil*. 280:77-90.
- Dubeaux, J.C.B., Sollengerger, L.E., Comerford, N.B., Ruggieri, A.C., Portier, K.M. 2005. Characterization of Soil Organic Matter from Pensacola Bahiagrass Pastures Grazed for Four Years at Different Management Intensities. In: Optimizations on Nutrient Cycling and Soil Quality for Sustainable Grasslands. Proceeding of a satellite workshop of the XXth International Grasslands Congress. Edited by Jarvis S.C., Murray, P.J., Roker, J.A. Wageningen Academic publishers. Oxford. England. 87.
- Dubeaux, Jr J.C.B., Sollenberger, L.E., Interrante, S.M., Vendramini, J.M.B., Stewart, Jr R.L. 2006. Litter decomposition and mineralization in Bahiagrass pastures managed at different intensities. *Crop Science*. 46:1305-1310.
- Engel, K.R., Nichols, T.J., Dood, L.J., Brummer, E.J. 1998. Root and shoot responses of sand bluestem to defoliation. *Journal of Range Management*. 51:42-46.
- Fernández, T.L., Castillo, G.E., Ocaña, Z.E., Valles, M.B., Jarillo, R.J. 2006. Características de la vegetación en gramas nativas solas o asociadas con *Arachis pintoi* CIAT 17434 en pastoreo rotacional intensivo. *Técnica Pecuaria en México*. 44(3):365-378.
- García E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 3a. ed. Instituto de Geografía. UNAM. México. D.F.
- Gates, R.N., Gary, M.H., Glenn, W.B. 1999. Response of Selected and Unselected Bahiagrass Populations to Defoliation. *Agronomy Journal*. 91:787-795.
- Greenwood, K.L., Hutchinson, K.J. 1998. Root characteristics of temperate pasture in New South Wales after grazing at three stocking rates for 30 years. *Grass and Forage Science*. 53(2):120-128.
- Greenwood, K.L., McKenzie, B.M. 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41:1231-1250.
- Hadas, A. 1994. Soil compaction caused by axle loads review of concepts and experimental data. *Soil Tillage Research*. 29:253-276.
- Haydock, K.P., Shaw, N.H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 15:663-670.
- Hirata, M. 2000. Effects of nitrogen fertilizer rate and cutting height on leaf appearance and extension in bahia grass (*Paspalum notatum*) swards. *Tropical Grassland*. 34:7-13.
- Hirata, M., Pakiding W. 2001. Tiller dynamics in a bahia grass (*Paspalum notatum*) pasture

- under cattle grazing. *Tropical Grasslands*, 35, 151–160.
- Hirata, M., Pakiding, W. 2004. Tiller dynamics in bahia grass (*Paspalum notatum*): an analysis of responses to nitrogen fertiliser rate, defoliation intensity and season. *Tropical Grasslands*. 38:100-111.
- Jones, R.J., Hargreaves, R.J. 1979. Improvements to the dry-weight-rank method for measuring botanical composition. *Grass and Forage Science*. 34:181–189.
- Lal, R. 2000. Soil management in the developing countries. *Soil Science*. 165(1):57-72.
- Littell, R.C., Henry, P.R., Ammerman, C.B. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS Procedures. *Journal of Animal Science*. 76:1216–1231.
- Mannetje, L.t., Haydock, K.P. 1963. The dry weight method for the botanical analysis of pasture. *Journal of British Grassland Society*. 18:268-275.
- Mousel, E.M., Schacht, W.H., Moser, L.E., Zanner, C.W. 2005. Root and Vigor Response of Big Bluestem to Summer Grazing Strategies. *Grassland Congress 2005*. June 26-July 1, 2005. Dublin, Ireland, UK. 524.
- Ocaña, E. 2003. Efecto de la carga animal en gramas nativas sobre la producción de leche y de becerros en vacas Holstein x Cebú y algunas características de la pastura y el suelo en el trópico húmedo de México. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados. 86 p.
- Ogura, S., Nagatomo, Y., Hirata, M. 2005. Estimation of herbage mass in a bahia grass (*Paspalum notatum*) and a centipede grass (*Eremochloa ophiuroides*) pasture using a capacitance probe, a sward stick and a rising plate. *Tropical Grassland*. 39(22):30-22.
- Piccolo MC, Augusti KC, Neil C, Fante Junior L, Bernoux M, Cem CC. Root systems in tropical pastures restoration treatments in Rondonia, Brazil. *Grasslands Congress 2005*: 372.
- Rouquette, F.M., Florence, M.J. 1986. Influence of long-term grazing pressures on root-rhizome mass of common and coastal Bermudagrass pastures. *Forage Research in Texas*, Texas AM University, College Station, TX. 65-66.
- <http://forageresearch.tamu.edu/list.html#management>. Consultado: 3 de marzo 2009.
- Rowell LD. 1997. *Soil Science Methods and Applications*. Longman Group UK Limited. England.
- SAS. 1999. SAS OnlineDoc®, Version 8. SAS Institute Inc., Cary, NC., U.S.A.
- Schack-Kirchner, H., Fenner, P.T., Hildebrand, E.E. 2007. Different responses in bulk density and saturated hydraulic conductivity to soil deformation by logging machinery on a Ferralsol under native forest. *Soil Use and Management*. 23(3):286-293.
- Schroth, G., Lehmann, J., Barrios, E. 2003. Soil Nutrient Availability and Acidity. In: Schroth, G., Sinclair, F.L., Trees, Crops and Soil Fertility. CAB International. 93-130.
- Sodré, F.J., Nunes, C.A., Carmona, R., Moreira, de C.A. 2004. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 39(4):327-334.
- Stewart, R.L., Sollenberger, L.E., Dubeux, J.C.B., Vendramini, J.M.B., Interrante, S.M., Newman, Y.C. 2007. Herbage and animal responses to management intensity of continuously stocked Bahiagrass pastures. *Agronomy Journal*. 99:107–112.
- Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology*. 63:995-1001.
- Thomas, R. 1992. The role of the legume in the nitrogen cycle of productive and sustainable pastures. *Grass and Forage Science*. 47:133-142.
- Toledo, J.M. 1986. "Plan de Investigación en Leguminosas Tropicales para el CIEEGT, Martínez de la Torre, Veracruz, México," Informe de Consultoría en Pastos Tropicales al Proyecto: "Enseñanza y Extensión para la Producción de Leche y Carne en el Trópico". Food and Agriculture Organization/Centro de Investigación, Enseñanza y Extensión en Ganadería Tropical, Universidad Nacional Autónoma de México/Centro Internacional de Agricultura Tropical, Martínez de la Torre, Veracruz, México/Cali, Colombia.

Valles, M.B., Cadisch, G., Castillo, G.E. 2008. Mineralización de nitrógeno en suelos de pasturas con *Arachis pintoi*. *Técnica Pecuaria en México*. 46(1):91-105.

Waring, S.A., Bremner, J.M. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged

conditions as an index of nitrogen availability. *Nature*. 201:951-952.

Whitehead, D.C. 2000. *Nutrient Elements in Grassland. Soil-Plant-Animal Relationships*. 1<sup>st</sup> edition.; CAB International. Wallingford, U.K.

*Submitted March 11, 2009 – Accepted July 30, 2009*  
*Revised received December 22, 2009*