

Cambios en las propiedades físicas y químicas de un suelo de sabana bien drenada, con tres sistemas de labranza, en una pastura degradada de *Brachiaria humidicola*

Ramón Silva-Acuña^{1*}, Damelys Sanabria¹, Miguelina Marcano¹,
Editor Rivas¹, Renny Barrios¹ y Mariela Navas²

RESUMEN

Durante tres años, en un suelo arenoso francoso de sabana de Monagas se evaluó el uso de labranza en la recuperación de una pastura degradada de *Brachiaria humidicola* y su influencia sobre propiedades físicas y químicas del suelo. Los tratamientos fueron: pasto sin roturar (SR), rastra convencional (RC) y un pase de rastra más un pase de subsolado (R+S), distribuidos en bloques al azar, con tres repeticiones de 1.100 m² c/u. Se fertilizó al voleo, aplicando al inicio 400 kg de fosforita acidulada y tres meses después con 100 kg de urea y 100 kg de K₂SO₄ por hectárea. Al segundo año se reabonó con urea, K₂SO₄ y MgSO₄ a razón de 100, 100 y 50 kg/ha, respectivamente. Durante el mes de julio se cuantificó la producción de biomasa aérea de la pastura y en el suelo la disponibilidad de P₂O₅, K₂O, CaCO₃ y MgO; también se midió la acidez, compactación y humedad. La densidad radicular de la pastura se estimó a los 18 meses de iniciado el experimento. Se constató que la producción de biomasa aérea de *Brachiaria humidicola* se incrementó, independientemente del sistema de labranza utilizado. En los sistemas RC y

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Centro de Investigaciones Agrícolas del estado Monagas. San Agustín de la Pica, Vía Laguna Grande. Maturín, estado Monagas. Venezuela. * Correo-E: rsilva@inia.gov.ve

² INIA. Centro de Investigaciones Agrícolas del estado Anzoátegui. El Tigre, estado Anzoátegui. Venezuela.

R+S la producción fue mayor y se sostuvo en el tiempo. La compactación y humedad del suelo fueron afectadas solamente al inicio del experimento en los sistemas con labranza. Estos sistemas incidieron en la disponibilidad de fósforo, potasio, calcio y magnesio con disminución en el tiempo, y sus mayores concentraciones estuvieron asociadas al estrato de 0 a 10 cm de profundidad.

Palabras clave: Pastura degradada, labranza, *Brachiaria humidicola*.

SUMMARY

Physical and chemistry properties changes of a well drained savanna soil, with three tillage systems, in a degraded pasture of *Brachiaria humidicola*

During three years, on a sandy loam soil, at Monagas savannas, it was evaluated the effect of tillage in the recovery of a degraded pasture of *Brachiaria humidicola* and its influence in the physical and chemistry properties of the soil. The treatments used were: pasture without tillage (WT), conventional harrow (CH), and one pass of harrow plus one pass of sub-soiling at 40 cm of deep (H+S), using a randomized block design, with three repetitions of 1100 m². At the beginning of the experiment it was applied 400 kg of acidulated phosphate rock and three months later, 100 kg/ha of urea and 100 kg/ha of K₂SO₄ were applied. The second year it was applied urea, K₂SO₄, and MgSO₄, using 100, 100, and 50 kg/ha, respectively. It was measured the aerial biomass production, and the disponibility of P₂O₅, K₂O, CaCO₃, and MgO. It was also measured soil acidity, compactation, and humidity. Root density of the pasture was measured at 18 months. It was observed that the aerial biomass production of *B. humidicola* was increased independently of the tillage system used. In the systems HC and H+S were obtained higher production and it was hold up through on time. In the system with tillage the humidity and soil compactation were only affected at the beginning of the experiment. These systems influenced the availability of phosphorus, potassium, calcium, and magnesium with reduction through time, and their higher concentrations were associated to the stratum of 0 at 10 cm of depth.

Keywords: Degraded pasture, *Brachiaria humidicola*, tillage.

INTRODUCCION

El problema de degradación y recuperación de pasturas en el trópico de América Latina ha sido ampliamente discutido con énfasis en *Brachiaria decumbens* y otras especies del mismo género. Las pasturas comerciales de *Brachiaria* suelen degradarse con el tiempo, de manera que su productividad disminuye y las malezas las invaden. No se conocen bien estos procesos de degradación, ni están adecuadamente descritos (Fisher y Kerridge, 1998). Kluthcouski (1995) reporta que entre el 25 a 5% de las pasturas mejoradas de América Tropical están establecidas sobre suelos degradados. Para disminuir los problemas de degradación de las pasturas se han realizado algunas observaciones sobre el efecto de asociaciones gramíneas-leguminosas, así como el efecto de la labranza con rastra para obtener aumento de productividad de las mismas; no obstante, tanto los pastizales puros como los asociados han sufrido degradación a través del tiempo, los cuales se caracterizan por baja producción de biomasa y alta incidencia de malezas (Sanabria *et al.*, 1995, Soares *et al.*, 1992).

Uno de los aspectos involucrados en la disminución de la productividad de los cultivos es la degradación de suelos (Pla, 1995; Márquez, 2001). La expansión e intensificación de la agricultura en todo el mundo, especialmente en las regiones tropicales y subtropicales ha ocasionado la degradación del suelo debido al mal uso y manejo de la tierra. La compactación del suelo es uno de los procesos más ampliamente diseminado y dañino, con incrementos más rápidos en los sistemas de cultivos mecanizados (Márquez, 2001). Estos procesos afectan en mayor o menor extensión la capacidad de aireación y el intercambio gaseoso, la retención de agua, conductividad hidráulica, resistencia del suelo y la limitación mecánica al desarrollo de raíces. Indirectamente, también se afectan muchos procesos químicos y biológicos del suelo. Para cada cultivo, estado de crecimiento y régimen edafoclimático hay un nivel límite de compactación para alcanzar rendimientos máximos (Pla, 1995).

En el paisaje Mesa de los llanos orientales venezolanos, los suelos predominantes son de los órdenes Entisoles, Oxisoles y Ultisoles, de topografía plana. Las principales desventajas de estos suelos están relacionadas con la textura predominantemente arenosa en los horizontes superficiales; prevalencia de arcillas caoliníticas de baja actividad con bajo tenor de elementos esenciales como P, K, Ca y Mg. Son suelos de reacción ácida, con baja capacidad de retención de humedad, la cual disminuye la eficiencia de la fertilización por lixiviación de nutrientes, especialmente nitratos (MARN, 1997). Las características físicas de estos suelos y las

condiciones climáticas de la región han favorecido la mecanización de las actividades agrícolas, que por su uso excesivo han provocado la compactación del suelo, lo cual incide en poca penetración de las raíces (Maurya, 1986; de Freitas, 1995; Lugo 1995). En la búsqueda de soluciones alternativas para revertir este proceso, la labranza vertical ha sido suficiente para modificar la densidad aparente del suelo y de esta manera mejorar la producción de los cultivos (de Freitas, 1995; Márquez, 2001).

Bajo las anteriores premisas se diseñó la presente investigación con el propósito de seleccionar sistemas de labranza para la recuperación de pasturas degradadas, en las sabanas bien drenadas del estado Monagas.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación y características del área experimental

El experimento se condujo desde julio de 1997 hasta julio del 2000 y se instaló en el fundo MARGO, localidad de Santa Bárbara, al oeste del estado Monagas, sobre una pastura degradada de *Brachiaria humidicola*. La unidad de paisaje característico es de Mesa Llana, con promedios anuales de temperatura y precipitación de 26,8°C y 1.092 mm, respectivamente, con picos de máxima para los meses de junio, julio y agosto (Figura 1). Según Ewel y Madriz (1968), el área experimental forma parte de la zona de vida del bosque seco tropical. Los suelos presentan 86% de arena en sus primeros 20 cm de profundidad y niveles de 8, 30, 240 y 8 ppm de P, K, Ca y Mg, respectivamente, con pH de 5,1 y para la profundidad de 20-40 cm, niveles de 4, 15, 170 y 3 ppm de P, K, Ca y Mg, respectivamente, con pH de 5,5.

La condición inicial de la pastura antes del establecimiento del experimento era la siguiente: 20% de cobertura del pasto, altura 9,23 cm, 69% frecuencia de aparición y 0,0 g/m² de producción de biomasa área seca, determinada a los 10 cm del suelo y área del suelo desnuda de 52,2%. Las especies invasoras presentaron 25,7% de cobertura, 16,7 cm de altura, 100% de frecuencia de aparición, 4,22 para el índice de frecuencia/abundancia y 20,99 g/m² de producción de biomasa aérea en base seca. Según Spain y Gualdrón (1991) la condición antes señalada describe el alto nivel de degradación de la pastura.

Tratamientos y diseño experimental

Los tres tratamientos evaluados fueron: suelo sin roturar, suelo con un pase de rastra y un pase de rastra para cortar el pasto y luego, un pase de

subsolado hasta 40 cm de profundidad. Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones y nueve unidades experimentales, con un área de 1.100 m² c/u. Para la variable producción de biomasa aérea los datos se analizaron por el diseño experimental de bloques al azar y las medias comparadas por la prueba de Tukey. Las variables densidad de raíces, resistencia a la penetración, contenido de humedad y disponibilidad de nutrientes en el suelo fueron analizadas de acuerdo al diseño experimental tipo factorial arreglado en bloques al azar con tres repeticiones, donde el factor 1 fue sistemas de labranza y el factor 2, la profundidad de muestreo.

Fertilización de la pastura

De acuerdo al análisis del suelo, las recomendaciones de fertilización para pastos en la zona (Gilbert *et al.*, 1990), experiencias en sitios similares (Sanabria *et al.*, 2000) y necesidades del cultivo (Rao *et al.*, 1998) se decidió el esquema de fertilización a realizar. Al año de inicio (1997) se aplicó 400 kg de fosforita acidulada, incorporada con el pase de rastra en los tratamientos con roturación del suelo, y al voleo en el tratamiento sin labranza; 100 kg de urea y 100 kg de cloruro de potasio/ha, al voleo tres meses después de aplicado los tratamientos. Al segundo año (1999) se reabonó con urea, sulfato de potasio y sulfato de magnesio heptahidratado a razón de 100, 100 y 50 kg/ha, respectivamente.

Evaluaciones

De acuerdo a las recomendaciones de Toledo (1991), las evaluaciones para medir sostenibilidad de una pastura se deben realizar una en cada período contrastantes del año en cuanto a factores climáticos. Durante los periodos de baja pluviosidad (abril), máxima pluviosidad (julio) y salida del periodo lluvioso (diciembre) se realizaron las evaluaciones. Las evaluaciones para cuantificar la producción de biomasa aérea en la pastura se realizó utilizando marcos metálicos de 0,25 m², lanzados al azar hasta totalizar 10 submuestras por repetición, utilizando transectas. Las muestras de planta se secaron en estufa a 60°C durante 48 horas para determinar peso seco y se promediaron los valores para cada repetición. Al año del establecimiento (julio/98), después de cada evaluación de la pastura durante los periodos señalados, se introdujeron diez unidades animales durante cuatro días, a fin de disminuir la disponibilidad de biomasa y estimar su efecto sobre la composición botánica de la misma. Al final del periodo seco se uniformizaba la pastura con un pase de rotativa.

La densidad de raíces se evaluó a los 18 meses de iniciado el experimento. Dentro de una calicata/repetición, se tomaron cuatro muestras

de suelo para cada tratamiento, por calicata y horizonte en los estratos de 0-10, 10-20 y 20-40 cm., de profundidad, con un cilindro de 85,09 cm³. Las muestras fueron lavadas, extraídas las raíces, secadas en estufa, pesadas y determinada su densidad aparente (peso seco de raíces/volumen del cilindro).

Tanto para los análisis químicos como para cuantificar la compactación y determinación del contenido gravimétrico de humedad, se tomaron el mismo número de submuestras en los estratos anteriormente señalados. A mediados del periodo lluvioso de cada año (julio), se tomaron 3 submuestras/repetición del suelo y se hizo una muestra compuesta para determinar la disponibilidad de fósforo y potasio por Bray N°1 (Bray y Kurtz, 1945), calcio y magnesio, (Morgan, 1941) y pH 1:25 con potenciómetro. Además, por medio de un penetrómetro de impacto de área base de cono de 0,90 cm² se realizaron evaluaciones de resistencia a la penetración a través del perfil del suelo. Se promediaron los valores por estrato en cada repetición para determinar la humedad y compactación.

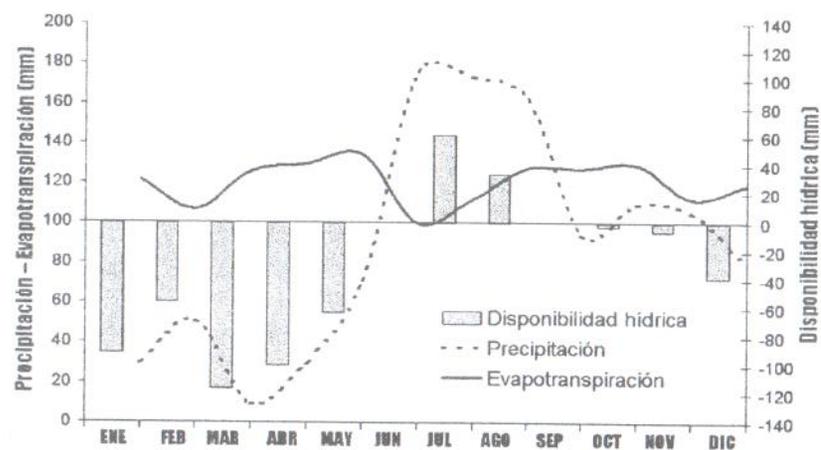


Figura 1. Disponibilidad hídrica de la zona bajo estudio. Estación meteorológica del Campo Experimental Santa Bárbara, adscrito al INIA. Promedio de cuatro años (1997-2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Recuperación de la pastura

La recuperación de la pastura se produjo más rápidamente en los tratamientos donde se realizó labranza, destacándose el hecho de que a un año después de aplicado los tratamientos la producción de biomasa aérea seca en el subsolado fue significativamente superior al resto de los tratamientos (Cuadro 1). Esta tendencia se mantuvo a lo largo de todo el periodo de evaluación y se sustenta sobre el hecho de una mejor distribución de raíces a través del perfil, ya que en el tratamiento sin labranza la mayor proporción de raíces tiende a concentrarse en el estrato de 0 a 10 cm, mientras que en los tratamientos con rastra+subsolado, hasta los 40 cm (Cuadro 2). Esta situación le permitió a la planta mayor exploración del volumen del suelo con sus consecuentes efectos sobre la nutrición y el desarrollo vegetativo (Yamada, 2002).

Durante la época de salida de lluvias (Diciembre) de 1998 y 1999, a uno y dos años, respectivamente de recuperación de la pastura, ocurrió la mayor producción de biomasa aérea del pasto, coincidiendo con lo señalado por Díaz *et al.* (2004). Para 1998 los niveles de materia seca fueron superiores en promedio a lo observado en diciembre de 1999. Esta respuesta es debida tanto al efecto inicial de los tratamientos de labranza sobre la disminución de la densidad y mejoramiento de la humedad (Cuadro 3) como a la fertilización realizada. La disminución de la producción en diciembre de 1999 se puede atribuir a la disminución de la disponibilidad de calcio en el suelo (Cuadro 4), que de acuerdo a Gilabert *et al.* (1990) se consideran bajos. Para la época seca (abril) la menor producción de biomasa correspondió para el año 1998, época en que la pastura estaba en fase de recuperación. En el año 1999, a pesar de ser los niveles de biomasa mayores a lo observado tanto para 1998 como para el 2000, nunca superaron a lo obtenido durante el final del periodo lluvioso. Durante el mes de julio, época de mayor precipitación, la variabilidad en la producción de biomasa fue menos acentuada en relación a las otras dos épocas de muestreo, posiblemente debido a que la pastura en esta época está en la fase de producción de semillas.

Cuadro 1. Producción de biomasa aérea seca (g/m²) de *Brachiaria humidicola* sometidas a tres sistemas de labranza para su recuperación en los tres años de evaluación.

Tratamientos	Época de muestreo								
	1997		1998		1999		2000		Jul.
	Dic.	Abr.	Jul.	Dic.	Abr.	Jul.	Dic.	Abr.	
Sin labranza	9,6b†	7,4	45,0b	61,9b	89,6	67,7	137,0	35,1	45,6b
Rastra	17,0ab	7,2	52,0b	258,2ab	76,6	65,4	162,5	40,2	65,6a
Subsolado	27,0a	8,4	97,8a	317,6a	85,3	77,0	176,9	45,4	60,5ab

† Valores con letras distintas en una columna difieren estadísticamente por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

Cuadro 2. Comportamiento de la densidad de raíces de una pastura de *Brachiaria humidicola* a los dieciocho meses después de ser sometida a tres sistemas de labranza

Profundidad (cm)	Sistema de labranza		
	Sin labranza	Rastra	Subsolado
	g 10 ⁻³ /cm		
0-10	3,838a†	2,447b	2,180b
10-20	0,585b	1,930a	0,684b
20-40	0,520b	0,322c	0,806a

† Valores con letras distintas en una hilera difieren estadísticamente (P<0,01).

Cambios en las propiedades del suelo

El Cuadro 3 resume el comportamiento de la resistencia a la penetración y de la humedad del suelo luego de aplicados los tratamientos de labranza. Maurya (1986) estableció que por encima de 1 MPa existe una reducción significativa del desarrollo de raíces. En el presente experimento, la resistencia del suelo en el tratamiento con rastra+subsulado fue de 0,325 MPa, significativamente inferior (P<0,01) al tratamiento con rastra (0,753) y sin labranza (1,424). Por otra parte, en los tratamientos donde hubo rotura del suelo las raíces penetraron más en relación al sistema sin labranza. Dentro de los sistemas con labranza, la densidad de raíces en el horizonte más profundo (20-40 cm) fue mayor en el tratamiento con labranza profunda que con rastra, en donde la profundidad de laboreo no sobrepasa los 20 cm. Estos resultados indican que la menor resistencia en el tratamiento con subsulado, unida al contenido de humedad, permitió que en las primeras etapas del crecimiento de la pastura, se formaran abundantes raíces en las capas más profundas, lo

cual fue reflejado en la mayor producción de biomasa aérea, ratificando lo señalado por de Freitas (1995) y Lugo (1995), quienes indicaron que los implementos de labranza se deslizan en el horizonte subsuperficial creando una capa de sellamiento o piso de implemento. Estas superficies pulidas sellan los espacios porosos del suelo, los cuales limitan en dicha zona la posibilidad de penetración del agua y presentan, además, acumulación de raíces en la región de más baja resistencia mecánica. Por otra parte, cuando se utilizan equipos de escarificación (subsuelo) se consigue romper las capas de alta resistencia y consecuentemente, la distribución de las raíces ocurre de forma normal a través del perfil del suelo. Pla (1995) y Hossne *et al.* (2003) coinciden en señalar a la humedad como el factor principal en la disminución de la resistencia del suelo y condicionante en el crecimiento y producción de los cultivos. Además, Zou *et al.* (2001) indican que la elongación radical decrece exponencialmente con el aumento de la resistencia del suelo cuando el potencial mátrico se mantiene constante.

Por otra parte, Ellies *et al.* (1993) infieren que el aumento de la resistencia del suelo a la penetración se debe más al tipo que al tiempo de uso del suelo, aumentando mayormente cuando son sometidos a un uso pecuario intenso y/o prolongado. Señalan que un suelo sin cubierta vegetal aumenta la posibilidad de secado, provocando la contracción y/o consolidación del suelo en forma natural. Este planteamiento explica que en el tratamiento sin labranza, la resistencia a la penetración disminuyera a través del tiempo en los diferentes horizontes evaluados, correspondiendo con un aumento en el contenido de humedad en el suelo (Cuadro 3) y producción de follaje (Cuadro 1).

Al igual que con el contenido de humedad, después de un año, los valores de resistencia se incrementaron en los tratamientos con labranza y fueron semejantes en los dos últimos años de conducción de la investigación. Respuesta similar fue observada por Rivas *et al.* (1998) en suelos de sabana bien drenada, quienes encontraron que el efecto de la labranza sobre la resistencia a la penetración ocurrió solo en los primeros días después de efectuarse la práctica.

Cuadro 3. Efecto de tres sistemas de labranza sobre la resistencia del suelo a la penetración y la humedad del suelo

Sistema de labranza	1997			1998			1999		
	Estrato cm	Resistencia MPa	Humedad %	Resistencia MPa	Humedad %	Resistencia MPa	Humedad %	Resistencia MPa	Humedad %
Sin labranza	0-10	0,680c†	3,13c	0,425c	14,67a	0,465c	12,83		
	10-20	1,133b	4,99b	0,867b	13,12b	1,011b	12,50		
	20-40	2,458a	12,80a	2,026a	12,55c	1,968a	13,25		
Promedio	1,424A	6,97C	13,44	1,106	13,44	1,148	12,86		
Rastra	0-10	0,045 c	13,24a	0,459c	15,67a	0,466c	15,00		
	10-20	0,487b	12,22b	0,919b	13,95b	0,837b	13,50		
	20-40	1,725a	11,93b	2,036a	13,85b	2,008a	13,00		
Promedio	0,753B	12,46A	14,49	1,138	14,49	1,103	13,83		
Rastra + Subsulado	0-10	0,000b	4,39c	0,459c	16,17a	0,479c	13,68		
	10-20	0,049b	10,97 b	0,970b	12,47b	1,034b	13,32		
	20-40	0,926a	12,62	2,264a	15,95a	2,202a	13,25		
Promedio	0,325C	9,33B	14,86	1,231	14,86	1,238	13,42		
ANAVA		**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Sistema		**	**	**	*	**	n.s.	**	n.s.
Estrato		*	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Interacción		26,25	24,23	15,25	10,21	11,78	8,96		
C. V. (%)									

† Letras mayúsculas distintas dentro de una columna indican diferencias estadísticamente significativas. Letras minúsculas distintas en una columna dentro de un sistema indican diferencias estadísticamente significativas (* = $P \leq 0,05$; ** = $P \leq 0,01$).

Labranza y nutrientes disponibles en el suelo

El Cuadro 4 muestra la variación del contenido de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en relación a los sistemas labranza, a través del periodo de lluvias de cuatro años. Para el fósforo, la aplicación de roca fosfórica acidulada elevó sus tenores en el suelo, independientemente del sistema de labranza utilizado, pasando de 8 ppm en el análisis previo a la instalación del experimento, a valores superiores a 20 ppm luego de la fertilización inicial, lo cual indica el efecto favorable de la aplicación de fosforita acidulada bajo estas condiciones de suelo, siendo superior a lo observado por Sanabria *et al.* (2000) utilizando roca fosfórica en un suelo Psaments en estudios con *Andropogon gayanus*.

En los tres sistemas, el P disminuyó con el tiempo, constatándose mayor declinación durante el primer año (1998) en los tratamientos con labranza, posiblemente debido a que la incorporación de la fosforita permitió mayor contacto con el suelo y se favoreció la liberación del P de una manera mas sostenida (López, 1995). También se ha encontrado que las plantas en etapas de crecimiento rápido absorben la mayor proporción de P constituyente de tejidos, encontrándose que hasta el 75% del P contenido en una planta es absorbido cuando sólo ha acumulado el 25% de su peso total (Mata, 1989).

Al tercer año los niveles de P disminuyeron en más de 50% con respecto a la fertilización inicial* con valores de 7,22 ppm en rastra, significativamente mayor ($P \leq 0,05$) al sistema sin labranza (6,11 ppm) y éste a su vez, mayor que en el sistema rastra + subsulado (5,11 ppm). Estos valores se consideran bajos, por lo que el grado de severidad de la deficiencia de P se estima como muy alto (Gilbert *et al.*, 1989), pudiendo indicar la necesidad de reabonar con P después de tres años de la fertilización inicial con fosforita acidulada. Esta disminución es similar a lo observado por Sanabria *et al.* (2000) utilizando dos fuentes de P en un suelo roturado con rastra. Estos autores encontraron efecto del nivel de Ca contenido en la roca fosfórica sobre el aumento del pH del suelo ($r = 0,70$, $0,65$ y $0,41$, para el primer, segundo y tercer año, respectivamente). En el presente experimento, los valores de pH (Cuadro 5) también incrementaron con respecto al muestreo antes del inicio del ensayo (pH = 5,1), que de acuerdo a López (1995) inhibe la liberación del P contenido en la fosforita acidulada.

La tendencia a mayor disponibilidad de P en el sistema con rastra a través del periodo experimental puede estar relacionada con los procesos de compresión del suelo por debajo de la zona de ataque del disco (de Freites, 1995) que limita el movimiento de agua y favorece la acumulación de elementos hasta esa zona. El menor contenido de P constatado en el tratamiento donde se aplicó el subsolado, posiblemente esté vinculado a su mayor utilización por parte de la planta, particularmente para la formación de raíces a través del perfil (Cuadro 2). Tal comportamiento fue favorecido durante el primer año por la existencia de un mayor contenido de humedad en el horizonte mas profundo de este tratamiento (Cuadro 3) y esta condición permitió, el uso mas eficiente de los fertilizantes y enmiendas (López, 1995).

Para el potasio es importante señalar que la labranza incidió significativamente en su disponibilidad ($P \leq 0,01$) solamente durante el periodo de máxima precipitación del año 1997, época cuando se aplicaron los tratamientos de labranza. Estos niveles resultaron superiores en rastra+subsulado (26 ppm). La disponibilidad de K fue disminuyendo progresivamente hacia finales del año 1998. El aumento observado en todos los tratamientos durante el año 1999 pudo ser consecuencia del reabono efectuado en ese año un mes antes del muestreo. Para este mismo año, los mayores tenores de K ($P \leq 0,05$) se constataron en los sistemas con roturación del suelo, siendo en esta época donde se presentó su mayor contenido (30 y 34 ppm para rastra y rastra+subsulado, respectivamente). Estos valores se consideran bajos (Gilbert *et al.*, 1990) y se debe principalmente a la baja capacidad que tienen los suelos compuestos por arena químicamente inerte de retener K y evitar que sea lixiviado (Obreza, 2003).

Cuadro 4. Tenores de fósforo, potasio, calcio y magnesio en los tratamientos sin labranza (SL), rastra (R) y rastra con subsolado (R+S) en un suelo arenofrancoso de sabana bien drenada, durante cuatro periodos lluviosos

Elemento	Año de evaluación											
	1997			1998			1999			2000		
	SL	R	R+S	SL	R	R+S	SL	R	R+S	SL	R	R+S
P, ppm	20,2	26,6	23,1	21,9	19,2	18,0	8,9	12,0	10,2	6,1ab	7,2a	5,1b
K, ppm	16,7b†	23,3b	26,1a	17,1	23,3	17,8	23,4b	30,0ab	34,4a	21,6b	19,9b	26,8a
Ca, ppm	168,9b	170,0b	215,6a	77,8	68,9	75,6	62,2a	55,6ab	48,9b	88,9ab	106,7a	68,9b
Mg, ppm	7,3	7,4	8,8	6,5	7,1	7,6	3,8a	2,7b	2,7b	12,2ab	10,7b	13,3a

† Letras dentro de un mismo año para tenores de un elemento denotan diferencias significativas al 5% de probabilidad por la prueba de Tukey.

Para el calcio, al inicio del periodo experimental el sistema con rastra + subsolado (Cuadro 4) presentó el mayor contenido de CaCO_3 (215,5 ppm), siendo superior ($P \leq 0,05$) al testigo y rastra (168 y 170 ppm,

respectivamente). Sin embargo, al igual que el P, en los tres sistemas de labranza el CaCO_3 disminuyó durante el segundo año, con mayor evidencia en los dos últimos años en labranza con rastra+subsulado ($P \leq 0,05$) alcanzando valores de 68,9 ppm. Durante el año 2000, el tenor de CaCO_3 , en promedio, incrementó en 20% en relación al muestreo de la época lluviosa del año 1999; sin embargo, el máximo valor fue de 106,7 ppm en el tratamiento con rastra, significativamente superior ($P \leq 0,05$) a rastra+subsulado y similar al tratamiento sin labranza; sin embargo, los contenidos en el suelo se consideran muy bajos (Gilbert *et al.*, 1990).

Cuadro 5. Valores de pH para los diferentes sistemas de labranza en el mes de julio durante los años de conducción del experimento

Sistema de labranza	Época de muestreo			
	Jul. 97	Jul. 98	Jul. 99	Jul. 00
Sin labranza	5,92	5,64	5,61	6,02
Rastra	5,41	5,37	5,43	6,02
Subsolado	5,63	5,33	5,42	5,78

Los resultados indican que durante gran parte del periodo evaluado la disponibilidad de Ca en el suelo fue baja. Se ha reportado requerimientos externos de CaCO_3 para *B. humidicola* del orden de 125 kg/ha (CIAT, 1981). Esta situación explicaría la disminución de la disponibilidad de Ca en el suelo con mayor intensidad en las parcelas sometidas a labranza profunda, tratamiento en el cual ocurrió de forma significativa mayor producción de biomasa aérea durante el primer año y de biomasa radicular en capas más profundas (Cuadros 1 y 2). Sanabria *et al.* (2000) encontraron que cuando la disponibilidad de P no fue limitante, se observó correlación positiva y altamente significativa entre la producción de MS de *Andropogon gayanus* y los tenores de Ca. Igualmente, reportaron bajo aporte de Ca asimilable por parte de la fosforita, razón para que actualmente exista la fosforita acidulada con calcio incorporado.

Para el magnesio (Cuadro 4), durante todo el periodo experimental sus tenores en el suelo fueron muy bajos y con valores similares hasta 1998 (6,51 a 7,56 ppm). Se observó fuerte disminución en 1999 (2,67 a 3,78 ppm) siendo afectada ($P \leq 0,01$) en este año por los sistemas de labranza, con valor inferior en los sistemas donde hubo laboreo del suelo (2,67 ppm). Al tercer año, el Mg evidenció un incremento de 80% en relación al muestreo de la época lluviosa del año anterior debido al reabono que se realizó con MgSO_4 en 1999, con mayor tenor en el tratamiento sin labranza (14,67 ppm) significativamente superior ($P \leq 0,01$) a los tratamientos donde hubo

roturación del suelo al inicio del experimento (10,67 y 10,89 ppm). Sin embargo, en promedio, los tratamientos con labranza tuvieron mayor producción de biomasa aérea en el año 2000 en relación al tratamiento sin labranza, (Cuadro 3) aunque estadísticamente el tratamiento con rastra difirió del tratamiento sin labranza ($P \leq 0,01$). Este comportamiento ratifica lo señalado por Rao *et al.* (1998) sobre la baja relación observada entre el nivel de magnesio en el suelo, con la producción de biomasa aérea.

En forma general se puede observar que la aplicación de fertilizante, independientemente del sistema de labranza utilizado favoreció la producción de biomasa aérea, siendo superior durante el primer año (1998) en el sistema con labranza profunda (Cuadro 3). Para el segundo año los tratamientos se nivelan, sin encontrarse diferencias significativas entre ellos; sin embargo, luego del reabono efectuado en el año 1999, surgen nuevamente diferencias en el 2000 entre las formas de labranza con valores superiores en los tratamientos con roturación del suelo. Los resultados ratifican que en los tratamientos donde hubo disturbación inicial del suelo, la planta responde más rápidamente al reabono que en el suelo no roturado. Para el caso del tratamiento sin labranza hubo respuesta más lenta a la recuperación de la pastura.

Disponibilidad de nutrimentos con la profundidad de muestreo

No se constató efecto significativo ($P \leq 0,05$) para la interacción entre los sistemas de labranza y profundidad del suelo en relación a la disponibilidad de P, Ca y Mg en los cuatro muestreos realizados, mientras que si la hubo ($P \leq 0,01$) sobre la disponibilidad de K en el año 1997, donde su análisis indica que los mayores tenores de K estuvieron asociados específicamente a profundidades de 0 a 10 cm para el tratamiento sin labranza y de 0 hasta 20 cm para los tratamientos con laboreo del suelo, lo que significa que la roturación del suelo favoreció la incorporación del K hasta capas más profundas. Dentro de este mismo análisis se consideró la disponibilidad de los elementos por profundidad en virtud del nivel de significancia que para todos los sistemas de labranza presentaba el factor profundidad.

En el Cuadro 6 se muestran los valores de P, K, Ca y Mg, respectivamente, por horizonte y por año de evaluación. El comportamiento general de todos los elementos es de disminuir con la profundidad de muestreo del suelo y con el tiempo.

Particularmente para el caso del fósforo, no hubo diferencia significativa ($P \leq 0,05$) en sus niveles con la profundidad durante el inicio del experimento (1997), lo que evidencia el efecto favorable de la mecanización en la incorporación del fertilizante a capas más profundas (Mata, 1989). También pudiera ocurrir lixiviación vertical debido a la presencia de arena a lo largo del perfil del suelo, de acuerdo a lo señalado por Bolland y Gilkes (1998). Durante los tres años siguientes, los mayores ($P \leq 0,01$) tenores de P se localizaron en el primer estrato (0 a 10 cm), y estadísticamente para el año 1998 sus valores fueron similares, pero distintos de lo obtenido en el estrato entre 20 a 40 cm. Para 1999 los niveles difieren estadísticamente entre la primera y la tercera profundidad. En el año 2000 los tenores difieren estadísticamente entre cada uno de los estratos evaluados.

Cuadro 6. Disponibilidad de fósforo, potasio, calcio y magnesio en el perfil de un suelo ácido bien drenado de sabana en una pastura degradada de *Brachiaria humidicola*

Año	Profundidad (cm)	Elemento			
		P	K	Ca	Mg
		ppm			
1997	0-10	26,3	31,7a†	255,6a	11,1a
	10-20	21,7	22,8b	198,9b	8,4a
	20-40	21,9	11,7c	100,0c	4,0b
1998	0-10	29,0a	32,2a	95,6a	10,0a
	10-20	21,1a	16,7b	75,6a	6,1b
	20-40	9,0b	10,0b	51,1b	5,1b
1999	0-10	15,3a	42,2a	73,3a	4,7a
	10-20	11,0ab	26,7b	57,8a	2,4b
	20-40	4,9b	18,9b	35,6b	2,4b
2000	0-10	11,8a	35,2a	95,6	14,7a
	10-20	4,7b	17,7b	88,9	10,7b
	20-40	2,0b	15,3b	80	10,9b

† Letras dentro del mismo año y profundidad denotan diferencias significativas a 5% de probabilidad por la prueba de Tukey

La disponibilidad de potasio siempre fue superior en los primeros 10 cm del suelo. En 1997 hubo diferencias ($P \leq 0,05$) entre los tres niveles muestreados, mientras que para 1998, los estratos más profundos fueron similares. En 1999 hubo diferencias entre el primer y tercer estrato y para el 2000 el comportamiento es similar a lo observado en 1998.

En los tres primeros años hubo diferencias significativas ($P \leq 0,01$) para el calcio entre los estratos evaluados, disminuyendo la disponibilidad de

Ca con la profundidad. La fuerte disminución de los tenores de Ca al siguiente año de iniciado el experimento (1998) se puede relacionar con la mayor posibilidad de su utilización para la formación de follaje y raíces (Cuadros 1 y 2), como es señalado por Haussling *et al.* (1988), quienes indican que las terminaciones de las raíces son los puntos más importantes de absorción de Ca. A lo largo del eje de la raíz y a través de este medio las plantas deben obtener el Ca que necesitan para crecer mediante absorción directa de su ambiente. Adicionalmente, Rao *et al.* (1998) señalan que la principal estrategia de *B. humidicola* es emitir un sistema radical extenso para explorar un mayor volumen de suelo. Entre los años 1998 y 1999 los niveles de Ca son similares en los dos primeros horizontes, mientras que en el año 2000 no hubo diferencia significativa ($P \leq 0,01$) de los tenores en los tres horizontes.

Los tenores de magnesio siempre fueron más elevados ($P \leq 0,01$) en el primer horizonte y disminuyen de forma progresiva en la medida que aumenta la profundidad de muestreo. Para 1997, los dos primeros estratos son estadísticamente similares y superiores estadísticamente al estrato de 20 a 40 cm. En los años 1998, 1999 y 2000 el comportamiento estadístico de los tenores de magnesio es similar, presentando los mayores valores en el horizonte de 0 a 10 cm mientras que los otros horizontes son similares entre sí.

La disminución de los elementos con la profundidad del suelo ratifica lo señalado por Rivas (1993) quien independientemente del sistema de labranza empleado observó disminución de la disponibilidad de nutrimentos con aumento de la profundidad del suelo. Además, en este experimento se puede explicar la importancia de utilizar sistemas de labranza con roturación, para la recuperación de pasturas, por la interacción significativa ($P \leq 0,01$) entre profundidad del suelo y producción de biomasa seca radicular del pasto (Cuadro 2), así como también las diferencias significativas ($P \leq 0,01$) entre sistemas de labranza y profundidad del suelo sobre el contenido de humedad (Cuadro 3). Lo anterior indica que la reducción de la resistencia mecánica del suelo ($P \leq 0,05$) al inicio del experimento (Cuadro 3) por roturación en horizontes por debajo de 20 cm (subsoleo) favoreció la movilización de elementos en el suelo para la formación de raíces y follaje.

CONCLUSIONES

1. La producción de biomasa aérea seca de *Brachiaria humidicola* se incrementó en el tiempo independientemente del sistema de labranza utilizado; dentro de estos sistemas, en los tratamientos con rastra y rastra+subsulado la producción fue mayor y se sostuvo en el tiempo.
2. El tratamiento rastra+subsulado, en las etapas iniciales de recuperación de la pastura, permitió mayor desarrollo radicular y contenido de humedad en el suelo, así como también disminución de la compactación para los estratos más profundos.
3. Independientemente del sistema de labranza utilizado los tenores de fósforo, potasio, calcio y magnesio disminuyeron durante el período experimental y sus mayores concentraciones estuvieron asociadas al estrato de 0 a 10 cm de profundidad. A partir de allí disminuyeron progresivamente hasta el estrato de 20 a 40 cm.

BIBLIOGRAFIA

- Bolland M.D.A. y R.J. Gilkes. 1998. The relative effectiveness of super phosphate and rock phosphate for soil where vertical and lateral leaching of phosphate occurs. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51: 139-153.
- Bray R.H. y L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Sci.*, 59:39-45
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1981. *Tropical Pastures Program. Annual Report. 1980.* Cali, Colombia. 130 p.
- De Freitas Jr. E. 1995. Caracterización, calibración y correlación de metodologías para el diagnóstico y evaluación de propiedades físicas de los suelos en sabanas bien drenadas. Taller "Aspectos físicos de los suelos de las sabanas orientales y su efecto sobre la productividad" FONAIAP. Publicación especial N° 30. pp. 18-22.
- Edwel J.J. y R. Madriz. 1968. *Zonas de Vida de Venezuela.* Ministerio de Agricultura y Cría. 270 p.

- Ellies A., C. Ramírez y R. MacDonald. 1993. Variación en la resistencia del suelo por efecto de su uso. Turrialba, 43(1):77-82.
- Fisher M.J. y P.C. Kerridge. 1998. Agronomía y fisiología de las especies de *Brachiaria*. En Miles J.W., B.L. Maass y C.B. do Valle. (Eds) *Brachiaria: Biología, Agronomía y Mejoramiento*. CIAT, Colombia. pp. 46-56.
- Gilabert de B. J., R. Pérez S., I. López de R., J. Comerma y A.J. Sánchez. 1989. Necesidades de fósforo de los suelos venezolanos en función de las características de los suelos y requerimientos de los cultivos. Memorias del primer Seminario de fósforo en la agricultura venezolana. Soc. Ven. Ciencia Suelo., p. 58-75.
- Gilabert de B. J., I. López de R., L.B. Herrera y E. García. 1990. Estimación de las necesidades actuales y potenciales de fertilizantes y enmiendas en función de los análisis de suelo. XI proyección de las necesidades de roca fosfórica en pastizales cultivados. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias., Serie C, N° 34. 21p.
- Hausling M., C.A. Horns, G. Lehmbecker, Ch. Hecht-Buchholz y H. Marschner. 1988. Ion and water uptake in relation to root development in Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst.). J. Plant Physiol., 133:486-491
- Hossne G.A., J. Christopher, G. Paredes, E. Carvajal, E. Santaella, J. Malaver y A. Cova. 2003. Resistencia terramecánica en función de la humedad de un suelo Ultisol de sabana del estado Monagas, Venezuela. Bioagro., 15(3):173-181
- Kluthcouski J. 1995. Regeneración y manejo sostenible de los suelos degradados de las sabanas, una estrategia para la preservación del medio ambiente. Taller "Aspectos físicos de los suelos de las sabanas orientales y su efecto sobre la productividad". FONAIAP. Publicación Especial N° 30. pp. 13-17
- López de R. I. 1995. Fertilización de pastizales con roca fosfórica. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Serie A, N° 10. Maracay, Venezuela. 42 p.

- Lugo J. 1995. Compactación de suelos bajo uso agrícola. Taller "Aspectos físicos de los suelos de las sabanas orientales y su efecto sobre la productividad" FONAIAP. Publicación Especial N° 30. pp. 47- 49
- Maurya P. 1986. Effect of tillage and residue management on maize and wheat yield and physical properties of and irrigate sandy loam. Soil Till. Res., 8:161.170.
- Márquez L. 2001. Evolución de la tecnología mecánica para el control de las malezas. Memorias XV Congreso latinoamericano de Malezas. X Jornadas Venezolanas Científicas Técnicas en Biología y combate de Malezas. Maracaibo, Zulia, Venezuela. pp. 67-70
- Mata R.A. 1989. Aspectos relevantes de un programa de fertilización. IV Jornadas agropecuarias CORPOVEN: Uso eficiente de los fertilizantes. Maturín, 7 p.
- MARNR (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables). 1997. Atlas del estado Monagas. Gobernación del Estado Monagas. Maturín, Monagas, Venezuela. 99 p.
- Morgan M.F. 1941. Chemical and soil diagnosis by the Universal Soil Testing System; Conn, Agric. Exp. Sta. Bull., 392:129-159
- Obreza T. 2003. Importance of potassium in a Florida citrus program. Better Crops, 87(1):19-22
- Pla I. 1995. Evaluación y diagnóstico de propiedades físicas del suelo en relación a la labranza. En Pla I. y F. Ovalles (Eds) Efecto de los sistemas de labranza en la degradación productividad de los suelos. Memorias II Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista. FONAIAP, Serie Especial N° 32. Maracay, Venezuela. pp. 42-51.
- Rao I.M., P.C. Kerridge y M.C.M. Macedo. 1998. Requerimientos nutricionales y adaptación a los suelos ácidos de especies de *Brachiaria*. En Miles J.B., B.L. Maass y C.B. do Valle (Eds) *Brachiaria: Biología, Agronomía y Mejoramiento*. CIAT, Cali, Colombia. pp. 57-78.

- Rivas E. 1993. Efecto de la labranza mínima y prácticas agronómicas asociadas sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento del maíz (*Zea mays* L.). Tesis de maestría. Universidad Central de Venezuela. 109 p.
- Rivas E., M. Rodríguez y U. Manrique. 1998. Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y el rendimiento del maíz en los llanos altos del estado Monagas. *Agronomía Trop.*, 48 (2):157-174.
- Sanabria D., U. Manrique, M. Rodríguez, A. de Gil y P. Argel. 1995. Siembra de leguminosas en un pastizal establecido de *Brachiaria decumbens*. *Zootecnia Trop.*, 13(2):245-260.
- Sanabria D., J. Tenías, R. Silva-Acuña e I. López de R. 2000. Evaluación de fertilizantes fosfatados en un suelo ácido de sabana del estado Monagas. *Zootecnia Trop.*, 18(3):261-276.
- Soares Filho C.V., F.A. Monteiro y M. Corsi. 1992. Recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria decumbens*. I. Efeito de diferentes tratamentos de fertilização e manejo. *Pasturas Trop.*, 14(2):2-6.
- Spain M. y R. Gualdrón. 1991. Degradación y rehabilitación de pasturas. En Lascano C. y J. Spain (Eds) Establecimiento y Renovación de Pasturas. Reunión del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Veracruz, México, 1998. CIAT, Cali, Colombia. 426 p.
- Toledo J.M. 1991. Ganadería bajo pastoreo: posibilidades y parámetros de sostenibilidad. En Homan E.J. (Ed) Ganadería y Recursos Naturales en América Central: Estrategias para la sostenibilidad. Memorias Simposio-Taller, San José, Costa Rica. 7 al 12 de octubre.
- Yamada T. 2002. Melhoria na eficiência da adubação aproveitando as interações entre os nutrientes. *Informaciones Agronómicas (Potafos)*, 100:1-5.
- Zou C., C. Penfold, R. Sand, R. Misra y I. Hudson. 2001. Effect of soil air-filled porosity, soil matrix potential and soil strength on primary root growth radiate pine seedling. *Plant Soil*, 236: 105-115.