

BIOMASA RADICAL DE PASTOS BAJO LABRANZA Y FERTILIZACIÓN EN UN INCEPTISOL DEL VALLE DEL SINU

ROOT BIOMASS IN FOUR GRASSLANDS STABLISHED BY VERTICAL TILLAGE AND FERTILITY AT SINU VALLEY RIVER

Martha O. Santana Rodríguez¹, Joaquín García P², Iván Bustamante B³, Julio Benavides B⁴,
Hilda A. David H⁵

Recibido para publicación: Abril 25 de 2012 - Aceptado para publicación: Agosto 28 de 2012

RESUMEN

La biomasa radical de los pastos predominantes en el Valle del río Sinú está limitada por la compactación del suelo, caracterizada por la alta densidad y resistencia a la penetración. Con el propósito de determinar el efecto de la labranza vertical y fertilización sobre la biomasa radical, densidad del suelo y resistencia a la penetración, se establecieron los pastos Mulato II, Toledo, Ángleton y Estrella en un inceptisol del Centro de Investigación Turipaná, ubicado en Cereté, Córdoba, Colombia; bajo un diseño de parcelas subdivididas con tres repeticiones. Los tratamientos fueron cuatro sistemas de labranza vertical (dos con cincel rígido a 30 y 60 cm y dos con renovador de praderas a 30 y 60 cm de distancia horizontal, ambas a 30 cm de profundidad) y dos niveles de fertilización (F1= 300 kg ha⁻¹ de DAP (18% N - 46% P₂O₅), 200 kg ha⁻¹ de KCl (60% K₂O) y 150 kg ha⁻¹ de úrea (46% N) y F2 = 50% de las dosis anteriores. Los resultados a los 18 meses después de aplicado los tratamientos no mostraron efecto de la labranza ni de la fertilización en los pastos; mas sí hubo interacciones significativas entre labranza y pastos, fertilización y pastos, labranza - fertilización y pastos. Se concluye que las diferencias en las variables densidad del suelo, resistencia a la penetración y biomasa radical se encontraron por efecto de los pastos y por la interacción labranza - fertilización - pasto.

Palabras clave: mulato II, toledo, ángleton, estrella, cincel, renovador

ABSTRACT

Angleton grass (*Dicanthium aristatum*) is the dominant Gramineae specie in the Sinu River Valley. Its root growth is limited by soil compaction, a mixed effect of high density and penetration resistance. With the aim to determine the effect of vertical tillage and fertilization over root biomass, soil density and penetration resistance, four different kinds of grasses (Mulato II, Toledo, Angleton and Estrella) were established on an inceptisol soil located at Turipaná Research Center, in Cereté, Córdoba, Colombia. Four vertical tillage

¹Z. Esp. Estudiante de maestría de Ciencias ambientales msantana@corpoica.org.co.

²I.A. Ph.D. Investigador Corpoica. jagarcia@corpoica.org.co.

³I.A. M.Sc. Profesor titular Universidad de Córdoba. fbustan@telecom.co

⁴I.A. Investigador. Corpoica. jbenavides@corpoica.org.co.

⁵Z. MSc Corpoica. Investigador. adavid@corpoica.org.co

treatments with three repeats were evaluated: two with rigid chisel, 30 cm - 60 cm and two with grassland renovator, horizontal distance 30 and 60 cm, and 30 cm depth. Two levels of fertilization were evaluated: F₁: 300 kg ha⁻¹ of DAP (18% N - 46% P₂O₅), 200 kg ha⁻¹ of KCl (60% K₂O) and 150 kg ha⁻¹ of urea (46% N) and F₂: 50% of the previous described treatment. In a split plot design experiment, the effect of vertical tillage and fertilization during 18 months over soil density, penetration resistance and root biomass growth were tested by ANOVA and average Duncan comparison. No independent effect of tillage or fertilization on grasses was observed, but there are significant interaction between tillage and grasses, fertilization and grasses and tillage-fertilization and grasses. It is concluded that differences in the variables soil density, penetration resistance and root biomass were due to grazing effect and tillage-fertilization-grass interaction.

Key words: mulato II, toledo, angleton, estrella, chisel, grass renovator

INTRODUCCIÓN

En Colombia, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, ha establecido como propósito mejorar la disponibilidad y calidad de forrajes para que la actividad ganadera incremente la capacidad de carga de 0,65 a 1,30 animales ha⁻¹ en el año 2020. Para alcanzar esta meta, se deben resolver problemas identificados en las cadenas productivas como la escasez de forraje y baja productividad de las praderas, entre otros. En la región Caribe predominan especies como *Bothriochloa pertusa* (Colosuana) y *Dichanthium aristatum* (Angleton), que reducen su productividad de manera drástica en época seca, (Corpoica 2002). En contraposición, están disponibles en el mercado los pastos *Panicum maximum* (Mombaza), *Cynodon nlenfuensis* (Estrella), *Brachiaria brizantha* (Toledo) y *Brachiaria* híbrido CIAT 36087 (Mulato II) reportados como especies altamente productivas (Acevedo 2009; Argel 2007; Argel et al. 2007; Del Pozo 2004).

Una de las características del pasto que le permite aumentar la tolerancia a sequía e incrementar producción, es el desarrollo del sistema radical; no obstante, los suelos del Valle del río Sinú presentan una compactación

de leve a severa, especialmente en la parte superficial, que puede limitar el desarrollo radical de varios cultivos y afectar la disponibilidad de agua (García 1991).

Entre las propiedades físicas del suelo que afectan el desarrollo de la biomasa radical de los cultivos en el Valle del río Sinú están la densidad del suelo (Ds) y la resistencia a la penetración (RMP) con la consecuente distribución irregular de raíces en el perfil del suelo. La Ds y la RMP son variables empleadas en la medición de la compactación del suelo y sus resultados pueden orientar las medidas correctivas necesarias. Las especies vegetales difieren en su sistema radical y en la respuesta a valores iguales de densidad del suelo (Kuht y Reintain 2001).

La labranza vertical favorece el enraizamiento de las plantas y mejora la producción (Sanabria et al. 2006); a su vez, las raíces mejoran las propiedades físicas del suelo por el aporte de materia orgánica. Son escasos los reportes de comparaciones entre sistemas de labranza vertical, niveles de fertilización y genotipos de pasto. Generalmente se comparan la labranza cero y convencional con la labranza vertical, (Paredes et al. 2009) y (Silva et al. 2007).

Pocas investigaciones consideran el efecto que ejerce la labranza vertical y la fertilización de establecimiento sobre las condiciones del suelo y de éstas, en la producción a mediano plazo (Zúñiga et al. 2008). Por estas razones el objetivo de este experimento fue contribuir a mejorar la productividad forrajera en suelos del Valle del río Sinú, mediante el uso de cuatro sistemas de labranza, dos niveles de fertilización aplicados en etapa de establecimiento de cuatro pastos: Angleton (A), Toledo (T), Mulato II (M), Estrella (E), comparando los efectos sobre la biomasa radical de los pastos, densidad del suelo y resistencia del suelo a la penetración mecánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Centro de Investigación Turipaná de CORPOICA, localizado en el valle medio del río Sinú, con altitud de 15 msnm, en un suelo clasificado como inceptisol, de textura Franco-Arcillo-limosa. Se evaluaron en la fase de establecimiento y 18 meses después, las condiciones físicas del suelo, resistencia mecánica a la penetración (RMP) y densidad del suelo (Ds) en tres profundidades (0-5, 5-15 y 15-30 cm) y la producción de biomasa radical (MSR) de los pastos Angleton, Toledo, Mulato II y Estrella establecidos en julio de 2008 con cuatro sistemas de labranza vertical y dos niveles de fertilización química.

Diseño experimental: parcelas subdivididas con 32 tratamientos y tres repeticiones, producto de cuatro sistemas de labranza vertical (L): arado de cincel rígido a 30 y 60 cm de distancia horizontal entre elementos y renovador de praderas a las mismas distancias (C_{30} , C_{60} , R_{30} y R_{60}) y profundidad de 30 cm; dos niveles de

fertilización: F_1 : 300 kg ha⁻¹ de DAP (18% N - 46% P₂O₅), 200 kg ha⁻¹ de KCl (60% K₂O) y 150 kg ha⁻¹ de urea (46% N) y F_2 : equivalente al 50% de las dosis anteriores y cuatro pastos (G), Angleton (A), Toledo (T), Mulato II (M) y Estrella (E). En las parcelas principales de 1.024 m², se ubicaron los tratamientos de labranza, en las sub parcelas de 225 m², los niveles de fertilización y en las sub subparcelas de 49 m², los pastos, Cardona (2007).

Propiedades evaluadas: los muestreos y determinaciones de Ds y RMP se hicieron a profundidades (P) 0-5, 5-15 y 15-30 cm en cada sub subparcela, al inicio del experimento y 18 meses después de la siembra de los pastos. Para evaluar la Ds se extrajeron muestras inalteradas de suelo por el método del anillo volumétrico de Coile (Montenegro y Malagón 1990). La RMP fue medida con un penetrómetro de presión (Silva et al. 2005) marca Eijkelkamp. En cada sub subparcela se tomaron lecturas cada 5 hasta 30 cm de profundidad en cinco sitios. Los datos de RMP fueron evaluados y analizados usando un valor promedio de los cinco sitios en cada profundidad y sub subparcela.

Mediciones de biomasa radical de los pastos (MSR): En cada sub subparcela se extrajeron monolitos del perfil del suelo mediante un tablero con puntillas "Pinboard" (Oliveira et al. 2000). Las dimensiones del monolito extraído fueron 20 x 30 x 10 cm; luego se subdividió el monolito en estratos de 0-5; 5-15 y 15-30 cm de profundidad para determinar MSR en cada profundidad. Las raíces se obtuvieron por lavado y tamizado de cada capa de suelo hasta quedar libres de partículas de suelo y residuos vegetales; los tamices para recuperación de raíces fueron número 10, 35 y 50. El secado se

realizó en estufa de ventilación forzada a 70°C de temperatura durante 48 horas y el pesaje de la materia seca se hizo en balanza electrónica con una precisión de centésimas de gramo.

Análisis de los datos: Se verificó la normalidad de los datos con la prueba de Shapiro Wilks, se realizó análisis de varianza mediante programa SAS, los promedios se compararon por la prueba de Duncan ($p < 0,05$) para la Ds. Los datos de RMP fueron evaluados y analizados empleando un valor medio para cada profundidad. El error estándar de la media fue utilizado para la evaluación de los tratamientos en cada profundidad muestreada, adoptándose el criterio de Gravetter y Wallnau (1995) para diferenciar estadísticamente los tratamientos lo que ocurre cuando no se presenta sobre posición de los límites superior e inferior de los errores estándar de las medias en comparación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad del suelo (Ds): se evidenció una relación directa entre la Ds y profundidad; los valores fueron diferentes ($p < 0,05$) en las profundidades 0-5, 5-15 y 15-30 cm, con 1,23, 1,27 y 1,36 Mg m⁻³, respectivamente; este comportamiento se debió en parte a la reducción del contenido de materia orgánica a mayor profundidad ($p < 0,01$), con valores de 3,22, 2,11 y 1,35 dag kg⁻¹. Resultado que está en concordancia con los obtenidos por Cáceres (2012), quien reporta una correlación positiva entre Ds y MO (materia orgánica) luego de 13 años de establecidas las pasturas. La labranza disminuye la Ds, indicando que posiblemente los tratamientos influyeron positivamente en el tiempo y en el espacio, puesto que 18 meses

después se encontró una reducción del 15,4% y 11,4% en la densidad del suelo con respecto a la inicial en las profundidades 5-15 y 15 a 30 cm, respectivamente. Los efectos simples de labranza y fertilización fueron similares en cada profundidad; las diferencias ($p < 0,05$) se presentaron por efecto de la cobertura de pasto e interacciones labranza-pasto y fertilización-pasto a las profundidades 0-5 y 5-15 cm.

En la profundidad 0-5 cm, la densidad del suelo en cobertura con Toledo fue diferente ($p < 0,01$) de las coberturas de Angleton y Estrella, pero similar a Mulato II, los valores fueron 1,19, 1,25, 1,27 y 1,23 Mg m⁻³ respectivamente; todos los promedios están por debajo de los límites críticos para el crecimiento de plantas establecido por Sánchez (2007) para suelos Franco arcillo limosos (1,3 Mg m⁻³).

A profundidad 0-5 cm en la interacción labranza-pasto, se encontró que el efecto de la labranza sobre la Ds, varió con las coberturas de pastos Angleton y Toledo, en C₃₀ y entre Toledo y Estrella en R₆₀; en tanto que las labranzas C₆₀ y R₆₀ presentaron efecto similar sobre la Ds con las cuatro coberturas. Los menores valores de Ds ocurrieron en los tratamientos C₆₀ (1,14 Mg m⁻³) y C₃₀ (1,15 Mg m⁻³) con Toledo, estos valores son similares con C₆₀, R₃₀ con Mulato II y Estrella, y en R₆₀ con Angleton. En contraposición, los mayores valores de Ds se presentaron en C₃₀ (1,33 Mg m⁻³) y R₆₀ (1,30 Mg m⁻³) con cobertura de Estrella.

En la profundidad 5-15 cm, se encontró que el efecto de las labranzas sobre la Ds, varió con las coberturas de pastos; en este sentido C₆₀T (1,23 Mg m⁻³) fue menor ($p < 0,05$) que la Ds en C₆₀E (1,34 Mg m⁻³) y la Ds en R₆₀A (1,22

Mg m⁻³) fue menor ($p < 0,05$) que R₆₀M (1,37 Mg m⁻³). La Ds en Mulato II fue menor en R₃₀ (1,21 Mg m⁻³) que en R₆₀ (1,24 Mg m⁻³). En C₃₀ y R₃₀ no se presentó diferencia ($P < 0,05$) en la Ds por efecto de la cobertura, aunque se observó menor valor con Toledo en C₃₀T (1,25 Mg m⁻³) y en R₃₀M (1,25 Mg m⁻³). En tanto que en R60 los menores valores se presentaron con Angleton (1,21 Mg m⁻³), siendo similar ($p < 0,05$) a R₆₀T (1,24 Mg m⁻³) y R₆₀E (1,26 Mg m⁻³).

En la interacción fertilización - pasto a las profundidades 0-5 y 5-15 cm, se evidenció el efecto del pasto Toledo sobre la densidad del suelo, tanto en F₁ como en F₂, presentando los valores más bajos de densidad (Tabla 1), que puede estar relacionada con la mayor producción de biomasa y con la fertilidad natural del suelo, la cual disminuyó con la profundidad. De acuerdo con Bernal y Espinosa (2003), el contenido de nutrientes a 0-5 cm en ambos niveles de suministro de nutrientes es adecuado para el crecimiento radical del pasto; por tanto, no se detectó diferencia entre tratamientos. En el estrato 5-15 cm, con la aplicación del F₁, el suministro de nutrientes es suficiente, lo cual permite un mayor aporte de material rizomatoso, tallos y hojas al suelo, que posteriormente aumenta la fracción orgánica del suelo; en consecuencia la densidad en F₁T

es menor y presenta diferencia estadística con F₂T (1,28 Mg m⁻³).

En todos los tratamientos la densidad del suelo fue menor de 1,40 Mg m⁻³, lo que permite inferir que con los tratamientos aplicados esta propiedad no estaría limitando el crecimiento de los pastos, un hallazgo similar es registrado por Lampurlanés et al. (2003).

Se destaca en C₆₀T F1 y F2 los valores de Ds más favorables para el crecimiento radical que los presentados por Lampurlanés et al. (2003) y Griffith et al. (1977) y aún al valor crítico (1,30 Mg m⁻³) propuesto por Sánchez (2007) para suelos de textura fina.

Resistencia mecánica del suelo a la penetración: Se determinó una relación directa entre la RMP y la profundidad; a 30 cm se presenta el mayor valor, lo cual coincide con Blanco (2009), quien además establece una alta correlación entre la densidad y la RMP.

Al comparar los cuatro tratamientos de labranza (Figura 1a) a la profundidad de 0-5 cm, el suelo con labranza C₆₀ (1,20 Mpa) presenta menor RMP que C₃₀ (1,24 MPa); de 5 - 15 cm, el suelo preparado con C₆₀ (1,47 MPa) continúa con menor RMP que C₃₀ (1,67

Tabla 1. Densidad del suelo (Mg m⁻³) por efecto de la interacción fertilización x pasto para las profundidades 0-5 cm y 5- 15 cm.

Profundidad 0-5 cm				
Fertilización	Angleton	Toledo	Mulato II	Estrella
F1	1,27 ab	1,17 c	1,21 ab	1,24 ab
F2	1,22 abc	1,21 bc	1,26 bc	1,29 a
F1	1,25 ab	1,21 c	1,29 ab	1,31 a
F2	1,30 bc	1,28 ab	1,28 ab	1,28 ab

F1= 300 kg ha⁻¹ de DAP (18% N - 46% P₂O₅), 200 kg ha⁻¹ de KCl (60% K₂O) y 150 kg ha⁻¹ de úrea (46% N) y F₂= 50% de las dosis anteriores. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes al nivel 5%.

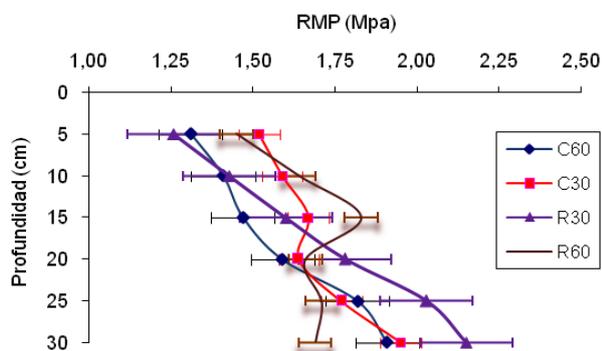


Figura 1a. Comportamiento de la resistencia mecánica a la penetración en suelo preparado con diferentes tipos de labranza vertical, se evidencia diferencia en la resistencia mecánica del suelo por efecto de la labranza entre R_{30} y C_{30} a los 5 cm.

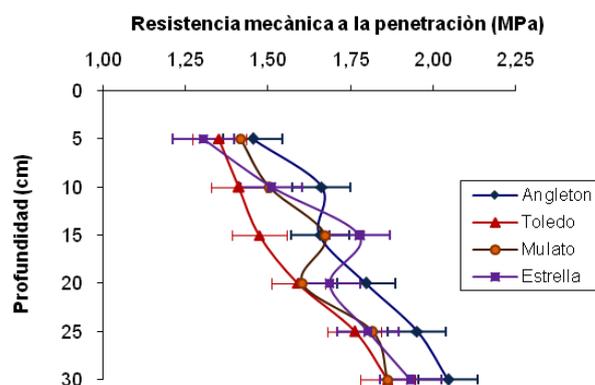


Figura 1b. Comportamiento de la resistencia mecánica a la penetración en suelo con cobertura de pastos Angleton, Toledo, Mulato II y Estrella, se evidencia menor resistencia mecánica por efecto de la cobertura con Toledo y Mulato II.

MPa) y R_{60} (1,84 MPa); entre 15 y 30 cm de profundidad R_{60} (1,67 MPa) presenta el menor valor, manteniéndose por debajo de los valores críticos propuestos para el desarrollo de las plantas (Imhoff et al. 2000 citado por Costa et al. 2012; Rangeón et al. 2008, Carter 1988 citado por Navarro 2010) y en el rango de suelos con restricciones para el desarrollo de algunos cultivos (Pinzón 2009).

La diferencia entre los tratamientos de labranza C_{60} , a 15 cm de profundidad y entre R_{30} y R_{60} , observada a 30 cm., puede atribuirse a que al tundir el suelo a una distancia de 60 cm entre cuerpos del implemento de labranza, se logra un efecto positivo y más prolongado sobre las propiedades del suelo; en este sentido, el suelo con labranza C_{30} después de la intervención tuvo una RMP menor que los otros tratamientos como se observó en la Figura 1a; 18 meses después se iguala a C_{60} (Figura 1b), efecto que podría atribuirse a la cohesividad y compresibilidad de partículas del suelo con la labranza a 30 cm. en menor tiempo, que a 60 cm, en las épocas de humedecimiento y secado. Según Henderson

and Stonehouse (1988) citado por Martino (2003) la resistencia del suelo a la fractura está en función de la cohesividad, el ángulo de fricción y la compresibilidad.

En general, los valores de RMP a la profundidad de 30 cm son inferiores a 2,5 MPa, valor utilizado en el ámbito internacional para designar capas no aptas para uso agrícola propuesto por Carter (1988) citado por Navarro (2010), y valor crítico propuesto por Imhoff et al. (2000), citado por Costa et al. (2012) para el desarrollo de los pastos.

Sin embargo, después de 25 cm de profundidad con R_{30} , el valor de RMP estuvo cercano al valor crítico, sugiriendo que la labranza con R_{30} es menos eficiente que los otros tratamientos para conservar un ambiente favorable para la penetración de las raíces.

En relación con las coberturas de pastos, a 5 cm de profundidad no hay diferencia entre tratamientos. A 10 cm se presenta menor RMP en Toledo comparado con Angleton; a 15 cm la

RMP del suelo con Toledo difiere con los otros tratamientos, ofreciendo la menor RMP; a los 20 cm Toledo y Mulato II difieren de Angleton; a 25 y 30 cm la diferencia en RMP con Toledo continúa únicamente con Angleton (Figura 1b).

Considerando el suelo en la profundidad 0-30 cm, la mayor resistencia a la penetración se observó en suelos con cobertura de Angleton y la menor con Toledo. Esta variable se relacionó positivamente con la Ds, donde se determinó que en la capa 0-5 y 5-15 Toledo presentó la menor Ds y el Angleton la mayor; a 30 cm no se detectó diferencia ($p < 0,05$) en Ds por efecto de las coberturas. A nivel general se observa que hay mayor divergencia en los efectos de labranza hasta 20 cm, de ahí en adelante hay coincidencia, este comportamiento puede explicarse por el menor contenido de materia orgánica y mayor densidad a la profundidad 15 a 30 cm.

Entre tratamientos de fertilización, no se detectó diferencia ($p > 0,05$) en los valores de RMP (Figura 1c); no obstante, se observó una tendencia al incremento con la profundidad. En general los valores de RMP para F₁ y F₂, no superaron el nivel crítico propuesto para pastos, lo que sugiere que las raíces crecieron en un ambiente favorable, especialmente hasta 15 cm, donde se presentó menor Ds y menor RMP que en el estrato 15 a 30 cm.

La mayor RPM se observó a más de 15 cm de profundidad; según Lowry et al. (1970) citado por FAO (2000) la profundidad en la que se encuentra la capa endurecida tiene menor efecto sobre el desarrollo del cultivo a profundidades de 20 o 30 cm; en esta investigación la RMP se encuentra por debajo

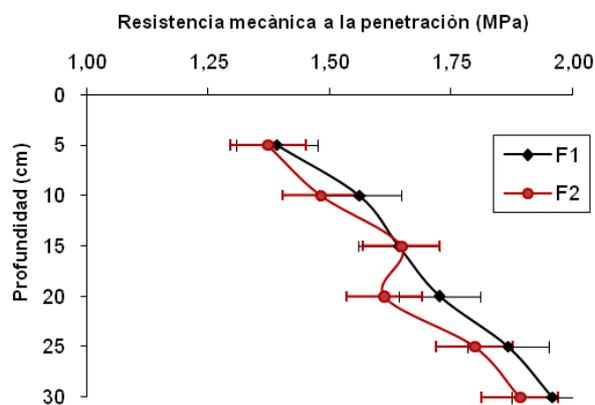


Figura 1c. Comportamiento de la Resistencia a la penetración en suelos con dos niveles de fertilización en fase de establecimiento.

de 2,0 MPa hasta los 25 cm en todos los tratamientos; por tanto, podría esperarse que en este caso la resistencia no está limitando en forma importante el desarrollo de los pastos. Únicamente a 30 cm el valor máximo se iguala a 2,5 MPa que es el valor crítico propuesto por Imhoff et al. (2000) citado por Costa et al. (2012) para gramíneas.

En síntesis, el efecto de los tratamientos de labranza sobre la RMP, siguió el mismo comportamiento que la Ds. En todos los sistemas de labranza la tendencia de la RMP y la Ds fue al incremento con la profundidad. La relación entre la RMP y Ds es alta y positiva ($R^2 = 0,87$), este resultado concuerda con la correlación positiva entre la RMP y la Ds ($R^2 = 0,61$), obtenida en suelos del distrito de riego de la parte alta de la cuenca del río Chicamocha por Orjuela et al. (2009) con pasturas con y sin labranza. Vepraskas et al. (2001), reporta alta relación entre la tasa de elongación, el porcentaje de penetración y concentración de raíces a medida que se incrementa la RMP desde 0 hasta 3,2 MPa, indicando como valor crítico para el desarrollo radical 2,8 MPa; en

tanto que, Bengough y Mullins (1990), sugieren el valor de 2,0 Mpa.

Biomasa radical en los pastos. No se observaron diferencias ($p < 0,05$) entre tratamiento de labranza y niveles de fertilización; estas se aprecian por efecto de cobertura y profundidad. La mayor producción de biomasa de raíces se obtuvo con Mulato II ($9,68 \text{ g dm}^{-3}$), el cual fue diferente ($p < 0,05$) a Toledo ($6,83 \text{ g dm}^{-3}$), que en conjunto superaron a los pastos Estrella ($3,26 \text{ g dm}^{-3}$) y Angleton ($3,61 \text{ g dm}^{-3}$), los cuales fueron similares entre sí. Este resultado está acorde con el obtenido por Ricaurte et al. 2007, quien obtuvo mayor biomasa de raíces en Mulato II en época de lluvia y sequía, comparado con cinco pastos del género *Brachiaria* y un testigo (pasto natural).

La menor producción de biomasa radical de los pastos Angleton y Estrella podría atribuirse a aspectos genéticos y a la Ds y RMP del suelo, puesto que en los suelos con estas coberturas se presentaron los mayores valores en los primeros 15 cm; lo cual coincide con los resultados obtenidos por Amézquita et al. (2004), quienes atribuyeron el menor desarrollo de raíces en pasto Estrella, a valores de resistencia a la penetración de 2,5 Mpa.

La biomasa radical presenta una relación inversa con la profundidad del suelo; el 51,8, 34,1 y 14,1% de las raíces se encontró en los estratos 0-5 y 5-15 y 15-30 cm, respectivamente; la menor proporción de raíces en la capa más profunda puede estar asociada a la mayor densidad y resistencia del suelo a la penetración; lo cual coincide con Marshall y Tokunaga (2006). Al respecto, Lodge y Murphy (2006), indicaron que para

todos los tipos de pasturas, más del 20% de la densidad de raíces (g cm^{-3}) se encuentra en la profundidad 0-5 cm.

La diferencia de promedios entre tratamientos para cada profundidad se presenta en la tabla 2a. La biomasa de raíces en la profundidad 0-5 cm no estuvo afectada significativamente por labranza y por fertilización ($p < 0,05$). Las diferencias se presentaron por efecto de cobertura; Mulato II, presentó la mayor biomasa radical, ($p < 0,05$), seguida de Toledo, Estrella y Angleton.

Con relación a la interacción labranza - fertilización - cobertura a la profundidad 0-5 cm (Tabla 2b), se evidenció que la producción de biomasa de raíces del pasto Toledo estuvo afectada por el nivel de fertilización, produciendo 23% más de raíces con F_1 comparado con F_2 , siendo los valores $19,92$ y $13,35 \text{ g dm}^{-3}$, respectivamente. No obstante, el pasto Mulato II con F_1 y F_2 , tuvo una producción de raíces $24,8\%$, $53,5\%$ y $65,7\%$ mayor que Toledo, Angleton y Estrella con F_1 , aumentando ligeramente la diferencia en F_2 con respecto a la producción de raíces de los otros pastos.

En la interacción labranza, fertilización y cobertura sobre la biomasa de raíces a la profundidad 0-5 cm, se registró una producción superior en $C_{30}F_1M$ y $R_{60}F_1M$ ($P < 0,05$), con excepción $R_{60}F_1T$, (Tabla 2 b). La producción de biomasa radical en los pastos con el nivel de fertilización F_2 , fue mayor en todos los tratamientos de labranza con Mulato II ($R_{60}F_2M$, $R_{30}F_2M$, $C_{30}F_2M$ y $C_{60}F_2M$) y similares a $R_{60}F_2A$ y $C_{30}F_2T$. En general se observó la superioridad de Mulato II en producción de biomasa radical.

Tabla 2a. de raíces especie (g dm⁻³) por efecto de los tratamientos de labranza, fertilización y especie a 0-5, 5-15 y 15 -30 cm de profundidad

Tratamiento	Profundidad (cm)		
	0,5 cm	5-15 cm	15-30 cm
A. Labranza:			
C ₆₀	11,27	2,22b	0,84 b
C ₃₀	14,86	2,03b	0,68 b
R ₃₀	12,68	1,84b	0,59 c
R ₆₀	18,15	3,83 a	1,17 a
Diferencia estadística	n.s	**	**
B. Fertilización:			
F ₁	14,62	2,56	0,85
F ₂	13,86	2,39	0,79
Diferencia estadística	n.s	n.s	n.s
A x B	n.s	n.s	n.s
C. Pastos			
Angleton	8,62 c	1,67c	0,54 b
Toledo	16,63b	2,90b	0,95 a
Mulato II	24,37 a	3,59 a	1,09 a
Estrella	7,35c	1,75c	0,70 b
Diferencia estadística	**	**	**
Labranza-Pasto	n.s	**	**
Fertilización-Pasto	*	**	n.s
Labranza-Fertilización-Pasto	**	n.s	n.s
C.V	32,4%	39,4%	45,0%

C: Cincel rígido, R: Renovador de praderas.

Análisis de varianza (p <0,05): * Significativo; **Altamente significativo; n.s: No significativo

Tabla 2b. Efecto de los tratamientos de labranza, fertilización y especie sobre la biomasa de raíces (g dm⁻³) a diferentes profundidades.

F ₁				
Labranza	Angleton	Toledo	Mulato II	Estrella
C ₆₀	4,67 h	10,67defgh	16,14 bcdefgh	9,19 efgh
C ₃₀	4,18 h	20,11 bcdefg	34,51 a	10,59 defgh
R ₃₀	8,97 efgh	21,25 bcdef	14,13 cdefgh	9,07 efgh
R ₆₀	4,88 h	27,64 ab	34,65 a	3,24 h
F ₂				
Labranza	Angleton	Toledo	Mulato II	Estrella
C ₆₀	10,87 defgh	11,62 defgh	19,70 bcdefg	7,33 gh
C ₃₀	4,85 h	16,87 bcdefgh	21,95 abcde	5,80 h
R ₃₀	6,79 gh	7,88 fgh	28,45 ab	4,93 h
R ₆₀	23,72 abcd	17,02 bcdefgh	25,42 abc	8,67 efgh

C: Cincel rígido, R: Renovador de praderas.

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes al nivel 5%.

En la profundidad 5-15 cm se presentaron diferencias ($p < 0,01$) entre labranzas, cobertura de pastos, labranza x cobertura y fertilización. Entre labranzas, la mayor producción de biomasa de raíces se obtuvo con R_{60} ($3,83 \text{ g dm}^{-3}$); los tratamientos C_{30} , R_{30} y C_{60} fueron similares. Entre pastos, la producción de raíces tuvo un efecto similar al obtenido en la profundidad de 0-5 cm, Mulato II ($3,59 \text{ g dm}^{-3}$) superó ($P < 0,05$) a Toledo ($2,90 \text{ g dm}^{-3}$); a su vez, Mulato II y Toledo produjeron mayor biomasa de raíces que Angleton y Estrella, los cuales tuvieron una producción de biomasa radical similar ($1,67$ y $1,75 \text{ g dm}^{-3}$ respectivamente).

La interacción labranza x pasto, indica que los tratamientos $R_{60}T$ ($5,70 \text{ g dm}^{-3}$) y $R_{60}M$ ($5,93 \text{ g dm}^{-3}$) produjeron mayor biomasa radical ($p < 0,05$) que $C_{60}M$ ($3,05 \text{ g dm}^{-3}$), $C_{30}M$ ($3,32 \text{ g dm}^{-3}$), $R_{30}M$ ($2,29 \text{ g dm}^{-3}$), $R_{60}E$ ($2,06 \text{ g dm}^{-3}$) y $C_{60}A$ ($1,93 \text{ g dm}^{-3}$) con los cuales presentaron producciones de biomasa de raíces intermedias y a su vez superaron a $C_{30}A$ ($1,45 \text{ g dm}^{-3}$) y $C_{30}E$ ($1,45 \text{ g dm}^{-3}$). Los menores valores de biomasa radical en los dos últimos tratamientos pueden atribuirse a un efecto combinado entre D_s y RMP; la RMP en C_{30} se incrementó entre los 20 y 30 cm de profundidad, estrato donde se presentó mayor densidad y menor porosidad.

Lo anterior coincide con Cleber et al. (2002) quien afirma que un aumento en la compactación del suelo afecta negativamente el desarrollo radical y aéreo, siendo más acentuado cuando la D_s es superior a $1,2 \text{ Mg m}^{-2}$.

Se encontraron diferencias ($P < 0,01$) en la biomasa radical en la interacción fertilización x pasto en la profundidad de 5-15 cm; en F_1 , se presentó

diferencia ($p < 0,05$) entre Mulato II ($3,98 \text{ g dm}^{-3}$), Estrella ($1,98 \text{ g dm}^{-3}$) y Angleton ($1,58 \text{ g dm}^{-3}$); Toledo tuvo una producción de biomasa de raíces intermedia ($3,11 \text{ g dm}^{-3}$), siendo diferente ($p < 0,05$) al Angleton. En F_2 , Toledo ($2,68 \text{ g dm}^{-3}$) y Mulato II ($3,20 \text{ g dm}^{-3}$) presentaron mayores valores de biomasa radical que Angleton ($1,75 \text{ g dm}^{-3}$) y Estrella ($1,52 \text{ g dm}^{-3}$).

La biomasa radical en la profundidad 15-30 cm presentó diferencia ($p < 0,01$) por efecto de labranza, cobertura y la interacción labranza x cobertura. En relación al sistema de labranza, con R_{60} ($1,17 \text{ g dm}^{-3}$) se obtuvo mayor producción de biomasa radical ($p < 0,05$). Las coberturas de Toledo ($0,95 \text{ g dm}^{-3}$) y Mulato II ($1,09 \text{ g dm}^{-3}$) superaron a Angleton y Estrella ($p < 0,05$). La interacción labranza x cobertura tuvo diferencia ($p < 0,01$) sobre la producción de biomasa radical; $R_{60}M$ ($5,71 \text{ g dm}^{-3}$) y $R_{60}T$ ($2,79 \text{ g dm}^{-3}$) superaron ($p < 0,059$) a los demás tratamientos, obteniéndose la menor producción de biomasa de raíces en $R_{60}A$ ($0,23 \text{ g dm}^{-3}$).

CONCLUSIONES

Los valores de densidad y resistencia mecánica a la penetración obtenidos son inferiores a los límites críticos reportados por otros autores y en consecuencia permitieron un normal desarrollo de la cobertura de los pastos, especialmente Toledo y Mulato II.

En los cuatro sistemas de labranza vertical y los dos niveles de fertilización, no se presentaron diferencias estadísticas en cuanto al efecto individual sobre la densidad del suelo, resistencia a la penetración y biomasa radical de las pasturas.

Los pastos Toledo y Mulato II aportaron mayor biomasa radical al suelo y su descomposición podría mejorar la estructura, facilitar la infiltración de agua y servir de alimento y hospedaje a organismos del suelo; contribuyendo así al mejoramiento progresivo de las condiciones físicas.

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor Edgar Amézquita, líder del proyecto: Mejoramiento de la capacidad productiva y calidad de pastos de uso actual y potencial para la producción sostenible de carne a través de prácticas de manejo de suelos en el valle del Sinú, y al MADR que financió y apoyó académicamente la tesis de maestría en Ciencias ambientales de Martha Oliva Santana Rodríguez, de donde se derivó la información para este artículo.

REFERENCIAS

Acevedo, J. 2009. Pasto Angleton. En: Pastos y forrajes. <http://es.scribd.com/doc/23408540/Pasto-Angleton> [Enero 2009].

Amézquita, E; Hoyos, P; Molina, D.L. 2004. Estrategias para construcción de capas arables productivas en dos suelos de la Altillanura Colombiana. Informe final CIAT-Pronatta. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

Argel, P. 2007. Comentarios pasto Toledo. Nuevo cultivar para zonas tropicales de América. Pasturas tropicales 22(3):39.

Argel, P., Miles, J., Guit, J., Cuadrado, H., Lascano, C. y Co, Cli. 2007. Cultivar

Mulato II (*Brachiaria* híbrido CIAT 36087): gramínea de alta calidad y producción forrajera resistente a salivazo y adaptada a suelos tropicales bien drenados. CIAT. Annual Report 2005. Project IP-5. Tropical Grasses and Legumes: Optimizing genetic diversity for multipurpose use. p266.

Bengough, A.G. y Mullins, C.E. 1990. Mechanical impedance to root growth: a review an experimental techniques and root growth responses. Journal of soil science 41(3):341-358.

Bernal, J. y Espinosa, J. 2003. Manual de fertilización y nutrición de pastos. International Plant nutrition Institute (IPNI). Bogotá, p94.

Blanco. 2009. La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. Agrociencia 43(3):231-239.

Cáceres, D. P. 2012. Cambios en la densidad aparente de los suelos y la materia orgánica y fosforo en suelos del suroeste del Chaco, sometidos a desmonte y siembra de pasturas. Agrolluvia. Com. Portal informativo para el productor agropecuario. <http://agrolluvia.com/wp-cont/uploads/2010/03/cambios-en-la-densidad-aparente-materia-organica-y-fosforo-en-suelos-del-suroeste-del-chaco-sometidos-a-desmo.pdf> [Enero 14 de 2012]

Cardona, A., C.E. 2007. Diseño de experimentos e interpretación y análisis

- de de resultados. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba. Montería, p23.
- Carter, M.R. 1988.** Penetration resistance to characterize the depth and persistence of soil loosening in tillage studies. *Can. J. Soil Sci* 68:657-668.
- Cleber, M., Guimarães, I., Luís, F., Stonell, y José, A. A. Moreira. 2002.** Compactação do solo na cultura do feijoeiro. II: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 6(2):213-218.
- Corpoica. 2002.** Atlas de los sistemas de producción bovina. Módulo región Caribe. Bogotá. p82.
- Costa, M.A., Tormena, C.A., Simony, M. y Lugao, B. 2012.** Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36(3):993-1004.
- Del Pozo, P.P. 2004.** Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. http://produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/30-bases_ecofisiologicas_manejo_pasturas_tropicales.htm. [Junio de 2011].
- FAO. 2000.** Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de Tierras y Aguas de la FAO 8. Instituto Interamericano de Agricultura Tropical y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación. Ibadan, p1-159.
- García, M. J. 1991.** Efectos del laboreo en algunas propiedades físicas de los suelos algodoneros del Valle medio del Sinú. *Suelos Ecuatoriales; memorias del V congreso colombiano de la ciencia del suelo.* p51.
- Gravetter, F.J. y Wallnau, L. 1995.** *Statics for the behavioral science s. e ed., St. Paul.* West publishing, p429.
- Griffith, D., Mannering, J., Moldenhauer, W. 1977.** Conservation tillage in the Eastern Corn Belt. *J. of Soil and Water Cons* 32:20-28.
- Henderson, J. S. and Stonehouse, D.P. 1988.** Effects of soil tillage and time of planting on corn yields and farm profits in southern Ontario. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 36:127-11.
- Imhoff, S., Silva, A.P. & Tormena, C.A. 2000.** Spatial heterogeneity of soil properties in areas under elephantgrass short-duration grazing system. *Plant Soil* 219:161-168.
- Kuht, J. y Reintam, E. 2001.** The impact of Dep. Rooted plants on the qualities of compacted soils In: Stott, D., Mohtar, R. y Steinhardt, G. (Ed.) *Sustaining the global farm*, p632-636.
- Lampurlanés, J. Cantero, C. y Martínez, 2003.** Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and

crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agron. J.* 95:526-536.

Lodge, G. y Murphy, S. 2006. Estimates from cores and effects of grazing treatments. En: root depth of native and sown perennial grass-grass-based pastures, North West slopes. *New South Wales Australian Journal of experimental Agriculture* 45:337-345.

Lowry, F.E., Taylor, H.M., Huck, M.G. 1970. Root elongation rate and yield of cotton as influenced by depth and bulk density of soil pans. *Soil Science Society America proceeding.* Madison 34:306-309.

Marshall, E. y Tokunaga, A. 2006. Soil compaction and strength; measurement methods and influences on perennial grass growth. <http://cesantaclara.ucdavis.edu/files/3366.pdf> [Enero de 2010].

Martino, D.L. 2003. Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa. http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/11-manejo_suelo_sistemas_siembra_directa.htm [Junio de 2011].

Montenegro, H. y Malagón, D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, p813.

Navarro. 2010. Indicadores físicos de un suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de los cultivos. Tesis presentada como requisito

parcial para obtener el título de Doctor en ciencias. Colegio de postgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Campus Montecillo, Post grado en edafología, Texcoco, México. www.Navarro-ravo-Dc-Edafologia_pdf [Enero de 2012].

Oliveira, D., Noordwijk, M., Gaze, S., Brower, G., Bona, S. y Mosca, G. 2000. Roots methods. A Handbook. Auger sampling. Ingrowth cores and pinboard methods. In: *Roots methods a hand book.* Smith A., Springer, p175-210.

Orjuela, I., Rubiano, Y. y Piraneque, N. 2009. Generación de la línea base de indicadores para el monitoreo de calidad de suelo en el área de influencia del distrito de riego del Alto Chicamocha. Tesis de maestría en Ciencias Agrarias, p34.

Paredes, D., Roba Marcos Damico, J., Romito, A., Florean, R., Cura, J. y Tesouro, O. 2009. Labranza vertical: efecto sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento de los cultivos de soja (*Glicine mx*) bajo diferentes grados de compactación. X Congreso Argentino de Ingeniería Rural y II del Mercosur – CADIR 2009. Universidad Nacional de Rosario (UNR) - Rosario, Santa Fe, septiembre de 2009, p6.

Pinzón A. 2009. Apuntes sobre física de suelos. Impresión Carraphics S.A., p207.

Ricaurte, J., Idulapati, M.R. y Menjivar F.J. 2007. Estrategias de enraizamiento de genotipos de *Brachiaria* en suelos ácidos

- y de baja fertilidad en Colombia. Acta Agronómica 56(3):107-115.
- Sanabria, D., Silva-Acuña., Marcano, M. y Barrios, R. 2006.** Evaluación de três sistemas de labranza en la recuperación de una pastura degradada de *Brachiaria humidicola*. Zootecnia Tropical 24(4):417-433.
- Sánchez, J.V. 2007.** Fertilidad del suelo y nutrición mineral de las plantas.- Conceptos Básicos. Fertitec S.A. <http://www.fertitec.com/PDF/FERTILIDADDELSUELOYNUTRICION.pdf>. [julio de 2011].
- Silva-Acuña., Sanabria, D., Marcano, M., Rivas, E. y Barrios, R. 2005.** 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*. Zootecnia Trop 23(4):373-392.
- Silva, R., Sanabria, D., Marcano, M., Rivas, E., Barrios, R. y Navas, M. 2007.** 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*. Zootecnia Tropical 23(4):373-392.
- Vepraskas, M., Penfold, C., Sand, R.K., Misra. and Hudson, I. 2001.** Effect of subsoiling and mechanical impedance on tobacco root growth. Soil. Sci. Soc. Am.J. 50:423-427.
- Zúñiga, R., Orona, I., Vázquez, C., Murillo, B., Sosa, E., López, J., García, J. y Rueda, E. 2008.** Root growth, yield and mineral concentration of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. under different fertilization treatments. J. PACD11:53-68.