

Producción de forraje de yuca HMC-1 en un Haplustoll Éntico con diferentes regímenes de humedad

Cassava Forage Production (HMC-1) in an Entic Haplustoll whit different moisture

Claudia Maricel Ipaz Cuastumal, Edgar Madero Morales, Miguel Ramírez Náder,
Arnulfo Gómez Carabali

Universidad Nacional de Colombia, AA 237, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Autor para correspondencia. e-mail: ipazclau@gmail.com

Recibido: 03.08.09 Aceptado: 08.04.10

Resumen

Se evaluó la relación entre la producción de forraje fresco y la materia seca en dos cortes de *Manihot esculenta* Crantz HMC 1 y el régimen de humedad (RHS) de un Haplustoll Éntico fragmental franco a franco fragmental isohipertérmico mezclado superactivo 0 - 1%. La humedad en el suelo se registró tres veces por semana, en un sistema de producción experimental en el municipio de El Cerrito (departamento del Valle del Cauca), Colombia. Se evaluaron las densidades de siembra de 40.000; 71.429 y 100.000 plantas/ha en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se presentaron diferencias ($P < 0.05$) por efecto de la distribución del tamaño de las partículas sobre la humedad aprovechable. Para la producción de forraje fueron determinantes los mesoporos del suelo y la lámina de agua fácilmente aprovechable (LAFA) de los primeros 10 cm para el primer corte y entre 25 cm y 40 cm para el segundo. La densidad de siembra no afectó ($P > 0.05$) la producción de materia seca y forraje verde.

Palabras clave: *Manihot esculenta* Crantz, forraje de yuca, humedad del suelo, densidad de siembra, Haplustoll Entico, HMC 1

Abstract

The relationship among Moisture Regime in an Entic Haplustoll loamy fragmental over fragmental loamy isohiperthermic mixed super active 0-1% (evaluated three times per week) and forage production (evaluated during two harvest) was investigated in a cassava forage crop production system in the Cauca Valley department, Colombia. A sowing rate of 40,000, 71,429 and 100,000 plants ha^{-1} , under a complete randomized block design was used. Significant differences ($P < 0.05$) on the effect of the amazement of the soil particle size over the available soil moisture were observed. Soil mesopores and soil available water were determinant on forage yield in the first harvest at 0-10 cm depth and in the second harvest at 25-40 depth. The sowing rate did not have significant effect on dry matter production or in the green forage under the environmental conditions of the experimental site.

Key words: *Manihot esculenta* Crantz, Cassava forage, Soil moisture regime, sowing rate, Haplustoll Entico, HMC1

Introducción

El régimen de humedad del suelo está en función de la precipitación pluvial, evapotranspiración y propiedades hídricas del suelo tales como infiltración, escorrentía, drenaje interno; y parámetros de retención de humedad del suelo como humedad de saturación, capacidad de campo y punto de marchitez. Estas propiedades, a su vez, dependen de factores como el sellamiento, la profundidad efectiva, las capas compactadas o cementadas, la biota y finalmente de la cantidad y tipo de coloides orgánicos y minerales. Estas características del suelo y su interacción con el clima tienen gran importancia en el rendimiento de los cultivos (Miller, 1993).

La fotosíntesis de la planta de yuca depende de factores ambientales como la humedad, la temperatura, la intensidad de luz, la genética, la apertura y cierre de los estomas. La planta de yuca es intermedia entre los tipos C₄ y C₃ y posee mecanismos de resistencia al déficit hídrico que reduce la conductancia estomática y disminuye la transpiración (El-Sharkawy y Cock, 1987).

Ospina et al. (2003) en un Mollisol de Candelaria, Valle del Cauca (Colombia) después de once meses de cultivo, encontraron que la variedad de yuca HMC1 en cuatro cortes produjo 112 t/ha de materia verde, cuando la densidad de siembra era de 48.000 plantas/ha. Estos resultados se atribuyeron a la alta fertilidad del suelo, la buena distribución de lluvias y el riego suplementario (Gil y Cadavid, 2006).

La yuca forrajera es una alternativa para la alimentación de vacunos en zonas de ladera del Valle del Cauca. Dado que los rendimientos de este cultivo se encuentran asociados con el régimen hídrico de la zona y en el suelo (Pla y Florentino, 1983), la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la producción de forraje verde de *Manihot esculenta* Crantz HMC 1 en tres densidades de siembra, como respuesta al régimen de humedad (RHS) de un Haplustoll Éntico de texturas media con alta proporción de fragmentos gruesos. Además se midieron: (1) la producción de forraje verde y seco de yuca en diferentes densidades de siembra; (2) la influencia del tipo de suelo según el tamaño de partículas sobre el RHS y (3) el

efecto de los estratos del régimen de humedad del suelo sobre la producción forrajera.

A partir de las investigaciones desarrolladas y en congruencia con los objetivos se plantearon las siguientes hipótesis:

- El incremento de la densidad de siembra en yuca forrajera influye positivamente en la producción de forraje.
- Los tipos de suelo con más fragmentos gruesos presentan menos días con humedad fácilmente aprovechable.
- El primer corte estará influenciado positivamente por el estrato más superficial y el segundo corte por el estrato más profundo.

Materiales y métodos

El sitio experimental está localizado en la finca La Brasilia, corregimiento El Placer, municipio de El Cerrito, departamento del Valle del Cauca (3° 07' N, 76° 33' O, 1050 m.s.n.m, 23 °C, 602 mm de precipitación) en condiciones de clima cálido seco. Por su geología, el sitio se encuentra en el cuerpo del abanico aluvial, dentro del paisaje piedemonte y las napas de desborde y de explayamiento de la llanura aluvial de los ríos tributarios del Cauca (IGAC, 2005). El suelo es Haplustoll Éntico mezclado fragmental francoso a francoso fragmental isohipertérmico mezclado superactivo plano, de alta fertilidad (pH = 6.5; MO = 3.2; P_{Bray II} = 7.45; cationes_(meq/100 g de suelo) Ca = 22.19, Mg = 8.83, K = 0.29, Na = 0.18, C.I.C = 31.5 y CE/dSm = 0.26).

De acuerdo con la variabilidad espacial de la humedad edáfica, determinada utilizando el programa ArcGis 9.3 a partir de un muestreo con arreglo logarítmico, se definieron las áreas de humedad gravimétrica siguientes: 15% - 20%, 26% - 30%, 30% - 34% y 34% - 41%. Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con cuatro rangos de humedad correspondientes a los cuatro bloques o repeticiones, con tres tratamientos: 40.000, 71.429 y 100.000 plántulas/ha; la unidad experimental consistió en una parcela de 42 m², con un área efectiva de 20 m².

El sistema de cultivo consistió de una labranza, siembra manual; fertilización basada en los estudios de Gil y Cadavid (2006) y los contenidos de elementos mayores presentes

en el suelo. Cada unidad experimental se fertilizó con 500 kg/ha de N, 50 kg/ha de P y 100 kg/ha de K, utilizando como fuentes urea, DAP y KCl. Inicialmente se aplicaron 60% de N y 75% de P y K. En dos ocasiones se aplicó dimetoato (0.3 l/ha) en solución para controlar la mosca blanca en la etapa de brote. La cosecha de forraje se hizo en forma manual a 40 cm sobre el suelo, para determinar los pesos en verde y seco a 50 °C.

Las variables de respuestas evaluadas fueron: rendimiento de forraje verde y seco (t/ha) y humedad del suelo a tres profundidades: (0 - 10, 10 - 25 y 25 - 40 cm) durante tres veces por semana. Se hicieron dos cortes a 102 y 184 días después de la siembra.

En el suelo se determinaron la textura, la capacidad de campo, la densidad aparente, la densidad real, la porosidad a partir de la curva de retención de humedad, la lámina de agua fácilmente aprovechable (LAFA), mediante la diferencia entre capacidad de campo en campo (CCc) y la humedad a 0.01 o 0.02 MPa; y la lámina de agua aprovechable (LAA), mediante la diferencia entre CCc y la

humedad retenida a 1.5 MPa; los límites de plasticidad, la infiltración y la conductividad hidráulica saturada.

La precipitación se midió utilizando un pluviómetro in situ (Pla, 2005) y las pérdidas por escorrentía se eliminaron con caballones alrededor de cada parcela. Se aplicó riego complementario de 106 mm bien distribuido en la etapa de germinación. Los datos generados se analizaron utilizando el software SAS versión 9.0 mediante análisis de varianzas, comparación de medias y regresiones múltiples.

Resultados y discusión

Distribución de tamaños de partículas

Los tipos I y III correspondieron a texturas medias con fragmentos gruesos, mientras que en el tipo II predominaron fragmentos gruesos sobre una textura franco arenosa en todas las profundidades y en el tipo IV predominaron fragmentos gruesos solamente en profundidades entre 25 cm y 40 cm (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución de tamaños y porcentajes de partículas del suelo en tres profundidades.

Bloque y prof. (cm)	> 2 mm (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clasificación textural
0 - 10 cm					
I	30 b*	39.36 ba	37.69 b	22.94 c	Franco Gravoso
II	56 a	61.80 a	29.26 c	8.94 d	Gravoso Franco Arenoso
III	27 c	30.10 d	43.89 a	26.01 b	Franco Cascajoso
IV	24 d	35.38 c	37.28 b	27.34 a	Franco Arcilloso Gravoso
10- 25 cm					
I	37 b	37.90 b	42.23 a	19.87 b	Franco Gravoso
II	66 a	69.25 a	21.85 c	8.90 c	Gravoso Franco Arenoso
III	26 c	31.43 b	42.13 a	26.43 a	Franco Cascajoso
IV	26 c	39.66 b	33.89 b	26.45 a	Franco Gravoso
25 - 40 cm					
I	62 c	33.17 c	59.40 a	7.43 b	Cascajoso Franco Limoso
II	67 b	85.31 a	13.88 d	0.82 c	Gravoso Arenoso Franco
III	40 d	40.56 c	39.35 b	20.09 a	Franco Cascajoso
IV	81 a	78.52 b	21.48 c	0.00 c	Cascajoso Arenoso Franco

* Valores dentro de una misma profundidad seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (P > 0.05), según la prueba de Duncan.

Las distribuciones de partículas en el suelo no permiten una retención de humedad aprovechable óptima para los cultivos, y posiblemente exigen riego suplementario para alcanzar producciones altas. Los datos sugieren que los suelos tipo I y III tienen mayor capacidad de retención de agua y los tipo IV retienen más agua que los tipo II.

Densidades y porosidad

Los valores de las densidades real y aparente son normales para la distribución de poros por tamaño (DPT) encontrada (Cuadro 2). La macroporosidad fue alta y varió entre 20% y 65% y la proporción de mesoporos fue < 10% (P ≤ 0.05) en la mayoría de los horizontes, espacios que son esenciales para el almacenamiento de agua fácilmente aprovechable. Los suelos menos favorables en esta condición fueron los tipos I (entre 0 y 25 cm) y IV (entre 10 y 40 cm); los suelos tipo III fueron los de mejores condiciones en todas las profundi-

dades y los tipo II fueron intermedios entre los anteriores.

Humedad fácilmente disponible

La humedad fácilmente disponible se encontraba por debajo de los valores óptimos (Pla, 1977), o sea, < 60%, calculada a 0.01 MPa o inferior a 80% calculada a 0.02MPa. Esta humedad fue más alta para los suelos tipos I y III ya que tienen menos fragmentos gruesos y mayor cantidad de mesoporos, seguidos de los suelos tipo II con un contenido medio de mesoporos y el tipo IV con el menor porcentaje de mesoporos entre 10 y 40 cm (Cuadro 3).

Permeabilidad y velocidad de infiltración

Debido a la distribución del tamaño de partículas, los parámetros de permeabilidad presentaron valores muy altos. Las velocidades de infiltración promedio y la infiltrabilidad fueron > 50 mm/h (Figuras 1 a 5) los cuales se consideran excesivas. Sin embargo, las

Cuadro 2. Distribución de poros por tamaño y densidades del suelo en tres profundidades.

Bloque y prof. (cm)	Porosidad Total (%)	Mac. (%)	Mes. (%)	Mic. (%)	Dr (g/cm ³)	Da (g/cm ³)
0 - 10 cm						
I	56.85 a* (E) ^a	33.76 a	8.35 b	57.89 c	2.86a	1.43c
II	55.98 a (E)	31.84 b	10.93 a	57.23 d	2.82a	1.49c
III	54.36 b (S)	25.52 c	10.33 a	64.15 b	2.78b	1.75a
IV	54.39 b (S)	20.57 d	10.67 a	68.76 a	2.63b	1.67b
10 - 25 cm						
I	55.89 a (E)	33.55 b	7.04 c	59.41 a	2.67b	1.67b
II	48.60 b (B)	51.13 a	10.60 b	38.27 d	2.90a	1.84a
III	32.04 c (B)	30.15 c	18.06 a	51.79 b	2.56b	1.65b
IV	55.81 a (E)	50.18 a	5.03 d	44.79 c	2.50b	1.20c
25 - 40 cm						
I	52.87 a (S)	46.01 c	9.18 b	44.81 b	2.67a	1.26d
II	32.57 d (B)	65.24 a	9.71 b	25.05 d	2.99a	1.89a
III	38.46 c (B)	31.43 d	14.00 a	54.57 a	2.90a	1.35c
IV	46.75 b (B)	54.15 a	5.58 c	40.27 c	3.08a	1.67b

* Valores dentro de una misma profundidad seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (P > 0.05), según la prueba de Duncan.

Mac.: macroporosidad. Mes.: Mesoporos. Mic.: Microporos. Dr: Densidad real. Da. Densidad aparente. a: B: baja. E. excelente. S. Satisfactoria. MB: muy baja.

Cuadro 3. Humedad fácilmente disponible (HFD) para tres profundidades.

Bloque o Tipo de Suelo _ profundidad (cm)	θ 0.01MPa (%)	$\theta_{0.02}$ MPa (%)	$\theta_{1.5}$ MPa (%)	θ_{cc} (%)	HFD	
					$\frac{HFA_{CC-0.01MPa}}{HA_{CC-1.5MPa}} * 100$	$\frac{HFA_{CC-0.02MPa}}{HA_{CC-1.5MPa}} * 100$
					I_0-10	41.83
I_10-25	28.80	28.03	25.74	34.09	63.42a	72.61a
I_25-40	33.10	31.55	27.47	33.78	10.80c	33.53d
II_0-10	38.00	34.90	31.91	38.50	34.42d	52.92b
II_10-25	23.02	20.80	18.03	23.90	40.97d	55.14c
II_25-40	12.00	9.88	8.65	12.00	42.14b	52.66b
III_0-10	40.33	38.38	34.74	43.60	44.25b	58.92a
III_10-25	34.22	32.11	25.66	42.40	48.89b	62.26b
III_25-40	28.10	23.19	21.10	28.40	62.20a	71.27a
IV_0-10	46.66	44.85	40.39	50.03	34.98c	53.74b
IV_10-25	27.91	27.27	25.09	28.57	19.06d	37.34d
_IV- _25-40	21.44	20.71	18.83	21.73	10.03c	35.02c

CC: Capacidad de campo

Valores con letra diferente para igual profundidad muestra diferencia significativa ($P < 0.05$), según la prueba Duncan

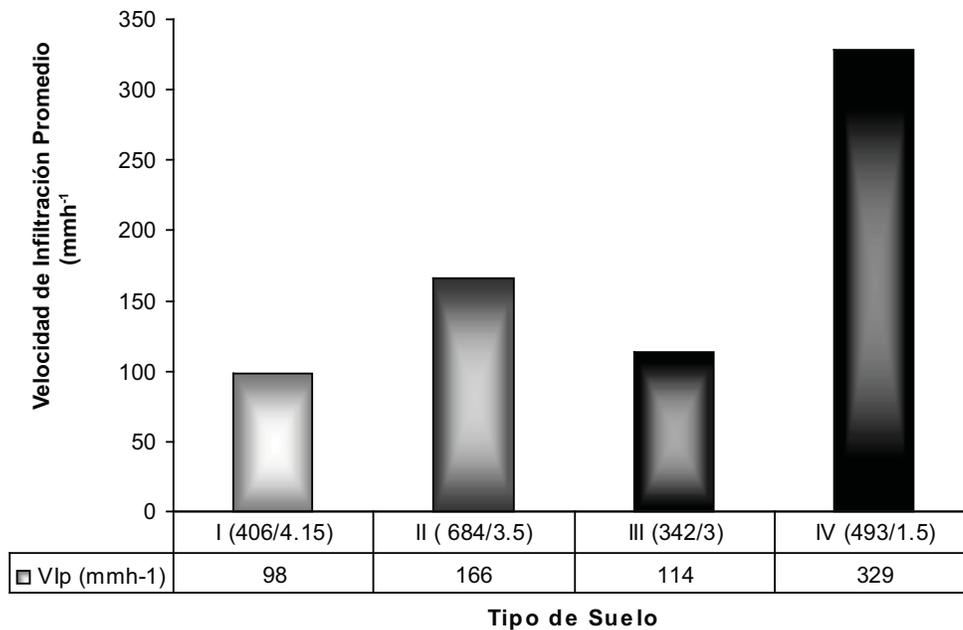


Figura 1. Velocidad de infiltración promedio de cada bloque (lámina acumulada (mm/h).

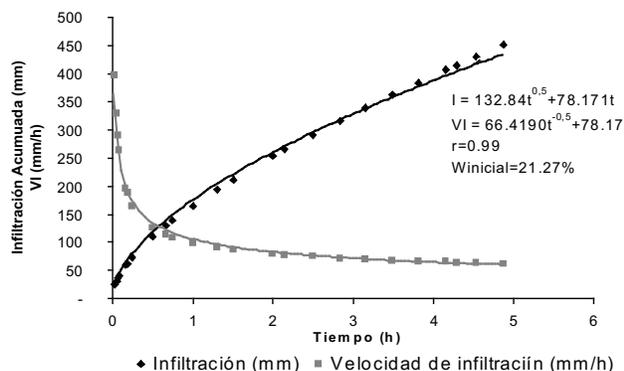


Figura 2. Tasa y velocidad de infiltración en el suelo correspondiente al bloque I

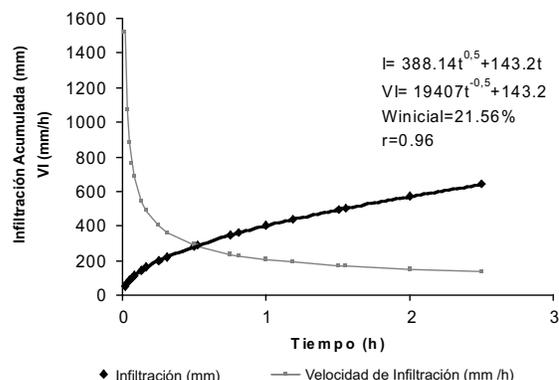


Figura 4. Tasa y velocidad de infiltración en el suelo correspondiente al bloque IV.

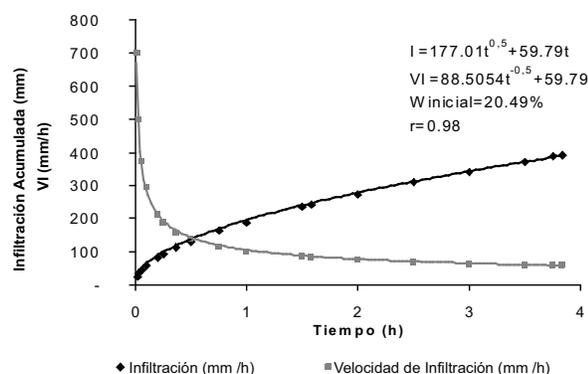


Figura 3. Tasa y velocidad de infiltración en el suelo correspondiente al bloque III.

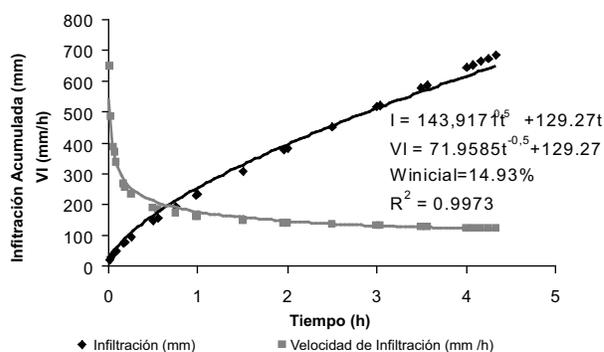


Figura 5. Tasa y velocidad de infiltración en el suelo correspondiente al bloque II.

láminas acumuladas en la etapa de llenado sobrepasaron 100 mm; esto significa que el material arcilloso, representado por 50% de arcillas esmectíticas (IGAG. 2005), está contribuyendo significativamente en la estructura del suelo y la organización de poros.

Precipitación

La precipitación total durante los dos períodos de crecimiento de la yuca fue de 545 mm, que se puede considerar alta si se tiene en cuenta que corresponde a 3 mm/día; no obstante es necesario recordar que el total histórico (1993 - 2007) en esta época es de 602 mm es decir, se trata de un microclima húmedo que en las condiciones texturales del suelo garantiza la humedad suficiente para el cultivo de yuca (Figuras 6 y 7)

Producción de forraje vs. densidad de siembra

Las producciones de forraje verde y seco conseguidas fueron altas, si se comparan con los resultados obtenidos por Rosero (2002) en el municipio de Caicedonia (Colombia) con el mismo cultivar de yuca HMC1 utilizado en este estudio. Esto se puede explicar en parte por la lluvia entre agosto y febrero (545 mm) y su buena distribución, además de la tolerancia de este cultivar al estrés hídrico (Santisopasri et al., 2001) y la alta fertilidad del suelo.

Estas condiciones de humedad y fertilidad disminuyeron la competencia entre plantas y por tanto redujeron el efecto negativo de la densidad de siembra en la producción de forraje (Cuadro 4); igualmente importante

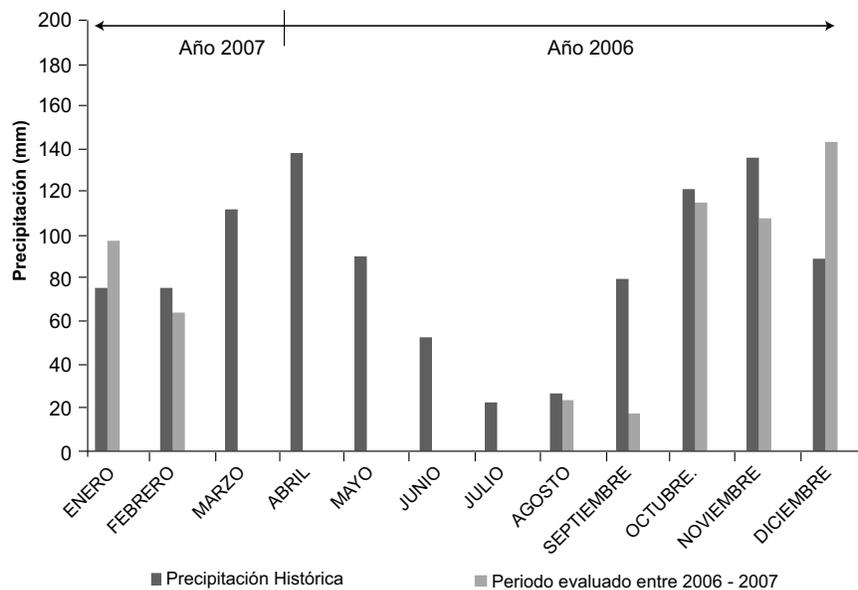


Figura 6. Distribución histórica de la precipitación entre 17 / 08 / 2006 y 17 / 02 / 2007 (■) y distribución real entre 17 / 08 / 2006 y 17 / 02 / 2007 (□).

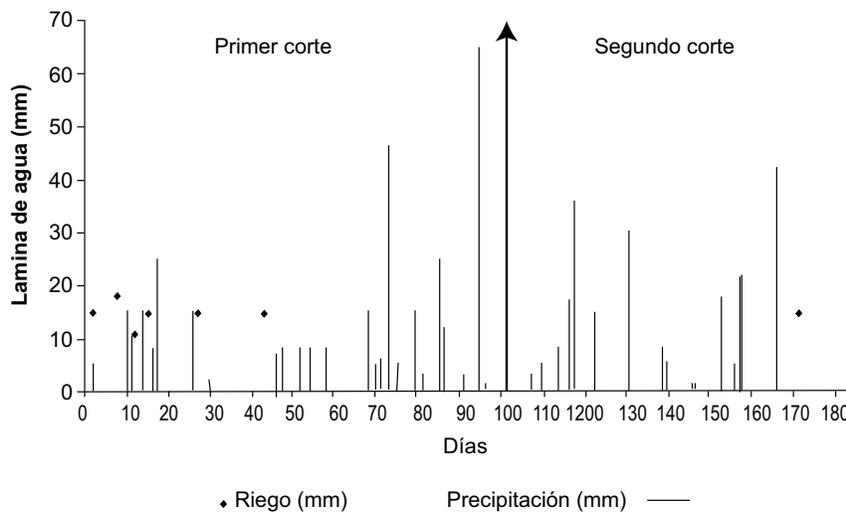


Figura 7. Distribución de lluvias y lámina de riego aplicada al cultivo de yuca para los dos cortes.

pudo ser el efecto del mecanismo de defensa de la planta (Mejía de Tafur, 2002) al reducir la conductancia estomática debida al aumento de la densidad de siembra.

Tipo de suelo y RHS

En ambos cortes se observó efecto significativo ($P < 0.05$) del tipo de suelo (DPT) sobre

el régimen de humedad (RHS), tomando en cuenta el número de días con agua aprovechable y fácilmente aprovechable. Los horizontes del suelo con agregados de menor tamaño (tipos I y III) presentaron el mayor número de días con agua aprovechable (DLAA) y fácilmente aprovechable (DLAFA). Entre los casos de DPT más grueso, el tipo

Cuadro 4. Rendimiento de forraje verde (FV), materia seca (MS) y rebrote en dos cortes de yuca forrajera HMC-1^a.

Plantas (no./ha)	Rebrote (%)	FV Corte 1 (t/ha)	FV Corte 2 (t/ha)	MS Corte 1 (t/ha)	MS Corte 2 (t/ha)
40,000	83.75 a*	23.63 a	27.17 a	4.34 a	4.86 a
71,429	80.45 a	25.68 a	30.77 a	4.56 a	5.73 a
100,000	82.50 a	26.25 a	26.21 a	4.59 a	4.84 a
Bloque:					
I	84.21 a	18.71 a	21.69 a	3.09 a	3.92 a
II	79.33 a	28.43 a	33.71 a	5.05 a	6.29 a
III	75.89 b	27.89 a	30.71 a	4.80 a	5.52 a
IV	89.50 a	25.69 a	26.08 a	3.09 a	4.84 a

a. El primer corte se realizó 102 días después de la siembra (d.d.s.) y el segundo 184 d.d.s.

* Valores dentro de una misma profundidad seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (P > 0.05), según la prueba de Duncan.

IV de suelo, por tener menos proporción de fragmentos gruesos, permitió un mayor almacenamiento de agua aprovechable (Cuadro 1), excepto entre 0 y 10 cm de profundidad en el suelo durante el primer corte.

El RHS y la producción de forraje de yuca

El régimen de humedad del suelo (RHS) influyó (P < 0.05) en la producción de forraje verde y seco de la yuca. En el primer corte, la escasa cantidad de días con LAFA en los primeros 10 cm (Cuadro 5), influyó negati-

Cuadro 5. Número de días con agua aprovechable (DLLA) y fácilmente aprovechable (DLAFA) en tres profundidades y en dos cortes de yuca forrajera HMC -1.

Bloque	Corte 1		Corte 2	
	DLLA	DLAFA	DLLA	DLAFA
0 – 10 cm				
I	2.00	1.33	5.3 a	9.7 a
II	1.33	1.00	0.5 c	0.0 c
III	2.70	1.70	7.3 a	2.3 b
IV	2.33	1.33	2.9 b	0.3 c
10 – 25 cm				
I	13.0 a*	15.0 b	11.3 b	13.0 a
II	4.0 c	7.30 c	4.7 d	2.7 b
III	18.7 a	19.00 a	13.7 a	13.7 a
IV	6.3 c	13.70 b	8.3 bc	12.3 a
25 – 40 cm				
I	13.3 a	18.3 a	7.3 a	12.7 a
II	1.7 c	4.3 c	4.0 a	5.3 b
III	10 b	12.3 b	9.0 a	9.7 a
IV	0 c	0.3 c	0.0 b	0.0 c

Para el análisis se tomaron las densidades evaluadas como repeticiones (3). P < 0.05.

*Valores dentro de una misma profundidad seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (P > 0.05), según la prueba de Duncan.

vamente en la producción; mientras que los mesoporos desempeñaron un papel importante y positivo, por ser los espacios donde es retenida el agua fácilmente aprovechable para las plántulas, tal como lo muestran las relaciones siguientes:

$$MS_{\text{Corte 1}} = 0.7651 \text{mesoporos}_{(0-10 \text{ cm})} - 0.2913 \text{DLAFA}_{(0-10 \text{ cm})} - 2.83,$$

$$R^2 = 0.64, C_{(p)} = -2.3082, P_{(\text{mesoporos})} = 0.005, P_{\text{LAFA}} = 0.16,$$

$$MS_{\text{corte1}} = 3.524 \text{mesoporos}_{(0-10 \text{ cm})} - 2.015 \text{DLAFA}_{(0-10 \text{ cm})} - 7.629,$$

$$R^2 = 0.61, C_{(p)} = 0.67, P_{(\text{mesoporos})} < 0.05, P_{(\text{LAFA})} = 0.08,$$

donde: *DLAFA* es el número de días con una lámina de agua en el suelo entre CC y 0.01MPa.

Para el segundo corte, la planta tenía un sistema radicular bien desarrollado y para la producción de forraje dependía de las condiciones del suelo y de agua aprovechable a mayores profundidades, tal como se muestra en las relaciones siguientes:

$$MS_{\text{corte1}} = 0.982 \text{mesoporos}_{(0-10 \text{ cm})} - 0.477 \text{DLAFA}_{(10-25 \text{ cm})} - 5.667,$$

$$R^2 = 0.27, C_{(p)} = 0, P_{(\text{mesoporos})} < 0.005, P_{\text{LAFA}} = 0.19$$

$$MS_{\text{corte1}} = 5.290 \text{mesoporos}_{(0-10 \text{ cm})} - 2.959 \text{DLAFA}_{(25-40 \text{ cm})} - 30.897,$$

$$R^2 = 0.41, C_{(p)} = 0, P_{(\text{mesoporos})} < 0.05, P_{(\text{LAA})} = 0.14.$$

donde:

DLAFA es el número de días con una lámina de agua en el suelo entre CC y 0.01MPa y *DLAA* es el número de días con una lámina de agua en el suelo entre CC y 1.5MPa.

Conclusiones

- Las densidades de siembra evaluadas (40.000, 71.429 y 100.000 plantas/ha) no afectaron el rendimiento de forraje de la yuca HMC 1, en las condiciones agroclimáticas del sitio de estudio, en suelos con textura gruesa en los primeros 40 cm.
- En los tipos de suelo más fragmentales (II y IV) disminuyó el número de días con disponibilidad de agua para las plantas.
- Para el primer corte, el reducido número de días con lámina de agua fácilmente aprovechable (LAFA) entre 0 y 10 cm influyó negativamente en las producciones de forraje verde y seco. Cuando las raíces alcanzaron mayor profundidad la disponibilidad de agua que más influyó en el rendimiento se encontraba entre 10 cm y 40 cm.
- La cantidad de mesoporos de los primeros 10 cm en estos suelos es un factor determinante para la producción de forraje de yuca HMC 1.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira por el apoyo financiero a la investigación *Evaluación del Rendimiento y la Calidad Nutricional de Yuca Forrajera*, ejecutado por el Grupo Desarrollo Sostenible de Sistemas de Producción Ganadera (DESPROGAN). El artículo se derivó de la tesis de maestría de C. M. Ipaz Cuastumal, adelantada con la dirección de los profesores E. Madero Morales y L. M. Ramírez Náder. Se agradece igualmente al profesor Julio Castro por su activa participación y a los investigadores de Clayuca – CIAT, en especial a Luis Fernando Cadavid, Álvaro Albán y Jorge Luis Gil, por la asesoría brindada.

Referencias

- El-Sharkawy, M. A y Cock, J. H. 1987. C3 - C4 intermediate photosynthetic characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Gas Exch.. Phot. Res. 12:220.
- Gil, J. y Cadavid, L. F. 2006. Investigación en producción de yuca forrajera en Colombia.

- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. Disponible en: <http://www.sian.info.ve/porcinos/eventos/clayuca0102/luis.htm>. Acceso: 15 de junio de 2006
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2005. Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca. Hacienda el Placer. Colombia. 18 - 42.
- Mejía de Tafur M. S. 2002. Fisiología de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). En: La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Ceballos, H. y Ospina, B. (eds.). 2002. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). p. 34 - 39.
- Pla, I. y Florentino, A. 1983. Uso de emulsiones de asfalto para incrementar y regular la productividad de maní en un Ultisol arenoso de la mesa de Guanipa. Venezuela. *Agron. Trop.* 34(1-3):43-48.
- Miller, A. 1993. Manejo de agua y producción agrícola. Santiago. Chile. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 556 p.
- Ospina, B.; Cadavid, L. F.; Gil, J. L.; y Albán, A. A. 2003. Research on cassava foliage production in Colombia. 481 - 487. Disponible en: www.ciat.cgiar.org/asia_cassava/pdf/proceedings_workshop_02/481.pdf. Fecha de acceso: 15 de mayo de 2006
- Pla, I. 2005. College on soil physics. Hydrological approach to soil and water conservation. International Centre for Theoretical Physics. Lleida, España. 14 p.
- Pla, I. 1977. Metodología para caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Maracay. Venezuela. UCV-Fagro. 112 p.
- Rosero, D. 2002. Evaluación producción y calidad de forraje de yuca *Manihot esculenta* Crantz con corte periódico anual. Trabajo de Grado (Ing. A.). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias sede Palmira. 54 p.
- Santisopasri, V.; Kurotjanawong, K.; Chotinneerarat, S.; Piyachomkman, K.; Sriroth, K.; y Oates, C.. 2001. Impact of water stress on yield and quality of cassava starch. *Elsevier. Ind. Crops Prod.* 13:115 - 129.