

Densidad y longitud de raíces en plantas de *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit

Eunice Guevara¹ y Orlando Guenni²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), CIAE Anzoátegui.

²Departamento de Botánica Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela (UCV).

eguevara@inia.gob.ve

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo describir el sistema radical de *Leucaena leucocephala*. Se determinó la densidad, número y longitud de las raíces, en cuatro accesiones de *Leucaena* bajo condiciones de vivero, sembrando una planta por tubo de PVC, separados a 20 cm entre de tubos y 50 entre hilera, distribuidos aleatoriamente con cuatro accesiones (CIAT 7984, 9438, 18477 y el cv Perú) como tratamientos, cinco cosechas (15, 30, 45, 60 y 110 días después de la germinación (DDG) y cinco plantas por accesiones. Los datos fueron analizados por vía no paramétrica (Kruskal y Wallis). Las variables determinadas fueron: número de raíces laterales (NRL), densidad de longitud de raíces (DLR), y longitud de raíces (LR). A los 45 DDG todas las accesiones alcanzaron los 75 cm de profundidad. La DLR en todas las accesiones incrementó con el tiempo, primero a 0-25 cm y luego a 50-75 cm, como consecuencia de la acumulación de raíces. El accesoión 18477 y el cv Perú acumularon mayor biomasa de las raíces en un período más corto, lo que le confiere en el período de establecimiento una gran capacidad de competencia por agua y nutrimentos.

Palabras clave: densidad, longitud, patrón de las raíces, longitud de las raíces, crecimiento de las raíces, trasplante, *Leucaena leucocephala*.

Root Length and Density in *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit Plants

Abstract

The present study aims to describe the root system of *Leucaena leucocephala*. The density, number and length of roots in four accessions of *Leucaena* under nursery conditions were determined by seeding a plant in a PVC pipe, with 20 cm space between tubes and 50 cm between rows, containing four accessions distributed randomly (CIAT 7984, 9438, 18477 and cv Peru) as treatments, five crops (15, 30, 45, 60 and 110 days after germination (DAG) and five plants per accession. These data were analyzed by the non-parametric method (Kruskal and Wallis). The variables measured were: number of lateral roots (NLR), root length density (RLD) and root length (RL). At 45 DAG, all accessions achieved 7 cm depth. The RLD in all accessions increased over time, first 0-25 cm and then to 50-75 cm, as a result of root accumulation. Accession 18477 and cv Peru accumulated more root biomass in a shorter period, which confers on them a great ability to compete for water and nutrients in the established period.

Keywords: density, length, root pattern, root length, root growth, transplanting, *Leucaena leucocephala*.

Introducción

Leucaena leucocephala es una leguminosa forrajera de interés para los sistemas silvopastoriles. El crecimiento de la raíz está determinado por la capacidad de elongación o profundidad de las raíces de explorar el suelo [19]. El patrón de distribución de la masa radical en el perfil del suelo permite a las plantas obtener agua y nutrientes que puedan encontrarse en estratos edáficos inferiores [16].

La densidad de las raíces en el perfil del suelo es indicador de resistencia y tolerancia a condiciones de sequía, permitiéndole a los cultivos expresar su potencial de producción de biomasa (MS) y granos [11]. Las leguminosas tienen un efecto positivo en el mantenimiento y restauración de la fertilidad del suelo [5]. Es importante indicar que el crecimiento de las plantas está afectado por las condiciones ambientales en que se desarrolle la planta, se ha sugerido la integración de árboles a los sistemas de producción con rumiantes por sus múltiples beneficios. La sombra de árboles provoca un incremento en las condiciones nutricionales y parece estar determinada por el efecto producido por el dosel arbóreo en la época más crítica del año [12]. En sistemas de producción con rumiantes, las pequeñas y medianas fincas utilizan las legu-

minosas forrajeras como alternativa alimenticia para sus rebaños [15]. En este sentido, las raíces de leguminosas (morfología, distribución, densidad de longitud) resulta un indicador de utilidad para los sistemas agroforestales [17]. El objetivo del presente trabajo fue describir la densidad y longitud de las raíces de cuatro accesiones de *Leucaena leucocephala*.

Materiales y métodos

Localización del experimento

El experimento se realizó en el invernadero del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP), ubicado en Maracay, estado Aragua, a 10° 17' N y 67° 37' O.

Material vegetal

Se seleccionaron cuatro accesiones: CIAT 7984, 9438, 18477, más el cultivar (cv) Perú, provenientes del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia, de una colección de veinte accesiones de *L. leucocephala* anteriormente evaluados en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, adaptados a condiciones tropicales de suelos ácidos con bajo contenido de aluminio inter-

cambiable (AI). Para ello se consideraron, las características basadas en las observaciones de campo, a partir de los distintos rendimientos en base seca conseguidos por Espinoza *et al.* [7], obteniendo altos rendimientos en las accesiones 7984 y 9438, el cv. Perú y la accesión 18477 como de bajo rendimiento en condiciones de campo.

Siembra

En la siembra del material vegetal se utilizó semilla proveniente del banco de germoplasma del CENIAP Maracay; para garantizar la presencia de plantas se colocaron dos semillas por columna de tubo de Cloruro de polivinilo (PVC) de 75 cm de alto y 6 pulgadas de diámetro. Los tubos fueron distribuidos al azar a 20 cm entre tubo y 50 cm entre hileras de tubos, cada tubo contenía suelo franco arenoso incluido en una bolsa plástica hecha a medida.

Las variables determinadas fueron:

- Número de raíces laterales (NRL). Para estimar el patrón de crecimiento de las raíces se midió el número de raíces laterales (NRL) en tres estratos: 5-25, 25-50 y a 50-75 cm de profundidad.
- Longitud de la raíz principal (LR). Se estimó por medio de la longitud total de la raíz expuesta en la cuadrícula. La máxima profundidad de las raíces es cuando alcanza la máxima profundidad de las raíces (Pr) en el tubo de PVC [2].
- Densidad de longitud de las raíces (DLR). El cálculo de la longitud de las raíces se realizó siguiendo el método de intersección de líneas según Newman (1966) modificado por Tennant [26].

Análisis de resultados y diseño experimental

El diseño utilizado fue completamente al azar, con cinco cosechas y cinco plantas por accesión. Por los datos no cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, fueron analizados por pruebas no paramétricas. La prueba utilizada fue el análisis de varianzas de Kruskal-Wallis, a través de Chi-cuadrado, cuya distribución fue Chi-cuadrado (χ^2 ; $\alpha=0.05$); para las pruebas de medias se utilizó la diferencia de media de los rangos de cada tratamiento entre la desviación estándar del error ($Q_{0.05,k-1}$).

Para estimar el patrón de crecimiento de las raíces se midió el número de raíces laterales (NRL: 5-25,25-50,50-75 cm). La densidad de longitud de las raíces (DLR) se calculó por el método de intersección de líneas según Newman (1966) modificado por Tennant [26]. La fórmula utilizada fue: $DLR: N \times fcL$, donde N es el número de intersecciones y fcL es el factor de conversión de longitud. En este caso el valor del fcL es de 0.7857, correspondiente

a la unidad del cuadro (1×1 cm) usada en la cuadrícula. La longitud de las raíces (LR) se estimó por medio de la longitud total de la raíz expuesta en la cuadrícula [2].

Muestreos

Las cosechas fueron realizadas los días 15, 30, 45, 60 y 110 días después de la germinación (DDG: plantas con dos hojas y visible los cotiledones). Al sustraer las bolsas las raíces fueron lavadas cuidadosamente sobre un tamiz (2×2 mm).

Resultados y discusiones

La importancia de las interacciones radiculares, criterios para el manejo con base a características y patrones de crecimiento entre especies y su impacto en los sistemas agroforestales han sido descritas por Casanova *et al.* [4].

Número de raíces laterales (NRL)

Todas las accesiones presentaron un comportamiento similar en distribución de las raíces laterales (RL). A los 15 y 30 DDG acumularon mayor NRL en los primeros 25 cm. La accesión 7984, a los 15 DDG, no mostró RL para ese estrato (5-25 cm) (Figura 1a). A los 30 DDG el cv Perú fue el que acumuló mayor cantidad en el número de raíces laterales (NRL) en los estratos 0-5 y 25-50 cm (Figura 1b). La accesión CIAT 18477 y el cv Perú fueron los que acumularon mayor cantidad de RL en los estratos 5-25 y en 50-75 cm para este período, siendo estas accesiones las primeras en alcanzar los 75 cm de profundidad (30 DDG), formando un colchón de aproximadamente 5 cm de altura en el tubo de PVC.

A los 45 DDG se observó un cambio en la estructura o morfología de la raíz, todas las accesiones acumularon una mayor cantidad de raíces laterales (RL) en el estrato 25-50 cm, a excepción del cv Perú, que en el último estrato (50-75 cm) formó un denso colchón de aproximadamente 10 cm de altura. La accesión CIAT 9438 y el cv Perú fueron los que presentaron mayor NRL en los dos primeros estratos (5-25,25-50) a los 45 DDG. En el último estrato (50 a 75 cm) se observaron diferencias significativas entre las accesiones, siendo el cv Perú el de mayor (69 ± 6.8) NRL (Figura 1c).

A medida que ocurría el engrosamiento de la raíz principal, las raíces laterales se tornaron de un color marrón oscuro, lo que indica que la raíz principal se desarrolla. La formación del colchón denso de raíces a los 45 DDG, puede deberse al impedimento ejercido por la base del tubo de PVC, que limitó el crecimiento de las raíces. Las raíces de las accesiones incluyendo el cv Perú experimentaron un

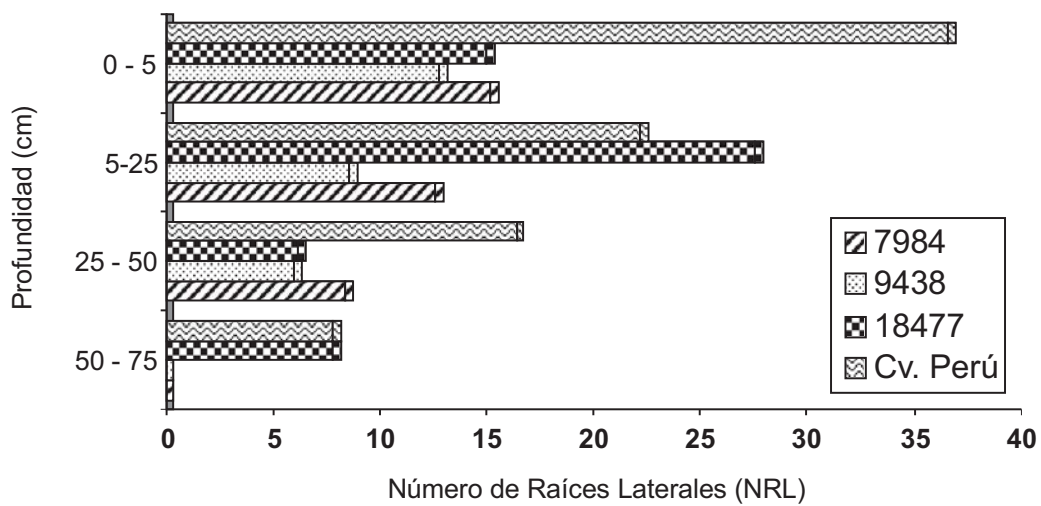


Figura 1a. Número de raíces laterales de accesiones 7984, 9438, 18477 y el cultivar Perú de *Leucaena leucocephala* a los 15 días después de la germinación (DDG).

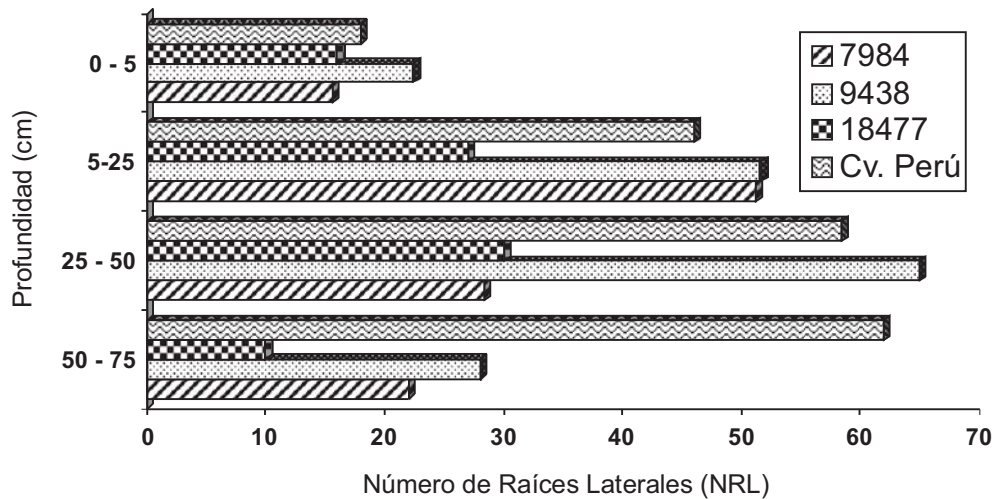


Figura 1b. Número de raíces laterales a los 30 días después de germinadas las accesiones 7984, 9438, 18477 y el cv Perú de *Leucaena leucocephala*.

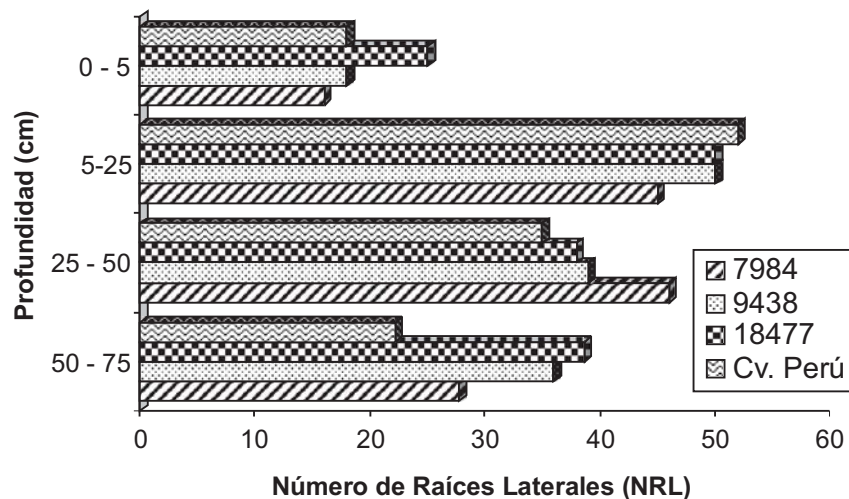


Figura 1c. Número de raíces laterales a los 45 días después de germinadas las plántulas de las accesiones 7984, 9438, 18477 y el cv Perú de *Leucaena leucocephala*.

engrosamiento de la raíz desde la unión con el tallo hasta el ápice de las raíces.

A partir de los 60 hasta los 110 DDG, las accesiones acumularon una relativa mayor cantidad de RL entre 5 y 25 cm. Sin embargo, a partir de esta profundidad el NRL disminuyó y las RL se engrosaron progresivamente hasta los 75 cm. A los 60 DDG el NRL no se observaron diferencia entre las accesiones en los estratos de 0-5, 5-25 y 25-50 cm, mostrando un promedio de 15 ± 4 , 48 ± 7 y 36 ± 9 respectivamente por estrato (Figura 1d). A los 110 DDG, el NRL en todas las accesiones se distribuye uniformemente en todo el perfil del suelo, desde los 25 hasta 75 cm de profundidad (Figura 1e).

La accesión CIAT 18477 fue la que mostró menor número de raíces laterales (NRL) para esta fecha (60 DDG), las cuales tendieron a ser cortas y gruesas. Todas las acce-

siones de *Leucaena leucocephala* presentaron un comportamiento similar en el patrón de crecimiento de las raíces.

En el presente trabajo, los resultados sugieren que la morfología del sistema radical de las accesiones incluyendo el cv Perú, se debe principalmente a una característica propia de crecimiento rápido como lo sugiere Hamblin y Tennat [10] y Green y Clothier [9]. Asimismo, la accesión 18477 y el cv. Perú tienen gran capacidad de alcanzar rápidamente estratos más profundos y con un mayor NRL, lo que le confiere a este y al cv Perú un gran valor genético para adaptarse a las condiciones de campo [19]. El crecimiento acelerado de las raíces, sugiere una gran capacidad de la planta a explorar toda la masa de suelo en función de los requerimientos de agua y nutrimentos y de su propio patrón de crecimiento de raíces según referencias de Bland [1].

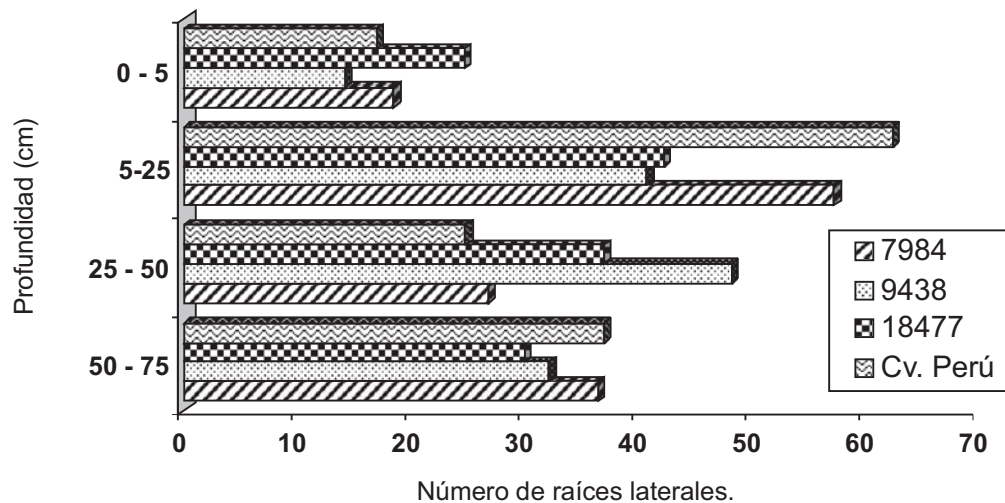


Figura 1d. Número de raíces laterales a los 60 días después de germinadas las plántulas de las accesiones 7984, 9438, 18477 y el cv Perú de *Leucaena leucocephala*.

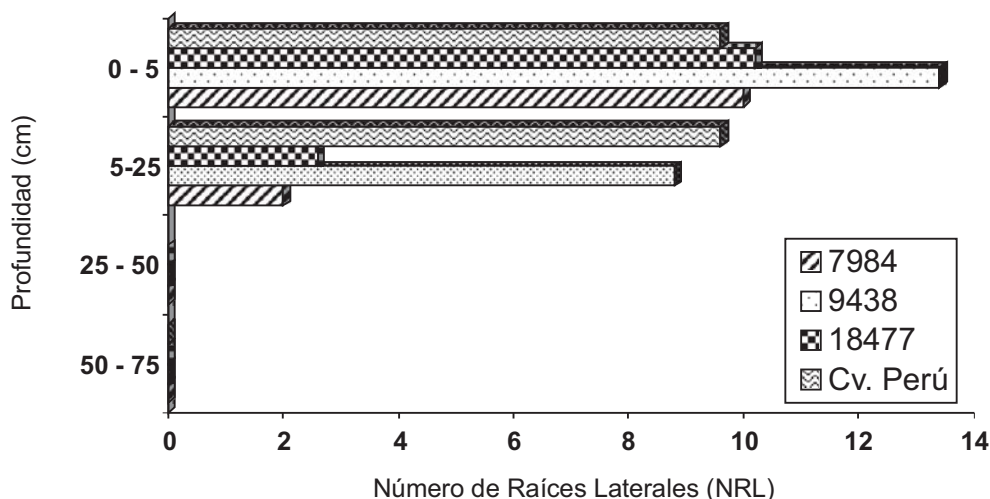


Figura 1e. Número de raíces laterales a los 110 días después de germinadas las plántulas de las accesiones 7984, 9438, 18477 y el cv Perú de *Leucaena leucocephala*.

Sin embargo, se observó que el patrón de crecimiento de la accesión 7984 tiende a desarrollarse más lentamente que otras accesiones, Luis Díaz *et al.* [28], refieren a este comportamiento como una posible consecuencia de una plasticidad morfológica. En las leguminosas forrajeras generalmente, por su lento crecimiento presenta una fase crítica durante el establecimiento. En este caso conviene preparar estas especies antes en viveros para garantizar la persistencia de la planta en el campo.

Producción de nódulos en las raíces

A los 15 DDG, todas las accesiones presentaron nódulos en las raíces (Nnod), presentando un color blanquecino. Después de esta fase inicial de modulación se crean constantemente nuevos nódulos [6]. En general los nódulos se ubicaron alrededor de la raíz principal en los primeros 30 cm de profundidad, hasta los 45 DDG, luego en todo el perfil del suelo ocupado por las raíces (0-75 cm) hasta los 110 DDG. Considerando cada cosecha se encontró que la accesión CIAT 7984 y el cv Perú mostraron a los 15 DDG una tendencia a poseer un mayor número de nódulos que las otras accesiones. Sin embargo, tanto para este período como a los 30 DDG las diferencias entre las distintas accesiones no fueron estadísticamente significativas. A los 60 DDG el número de nódulos en la accesión CIAT 18477 mostró ser superior estadísticamente (71 ± 6.9) al cv Perú (32 ± 3.5). A los 110 DDG el número de nódulos para la accesión 9438 fue inferior (31 ± 4) a las otras accesiones (Cuadro 1). Los resultados del presente trabajo fueron superiores (8 ± 2) a los obtenidos a los 60 días por Medina *et al.* (2011), lo que pudiera deberse al uso de *Rhizobium* específicos utilizados.

El accesion18477 mostró un mayor Nnod que las otras accesiones. Estos resultados confirman los obtenidos por Sanguina *et al.* [21, 22] y Valdés y Aguirre [27], sobre la especificidad de *Rhizobium* de *L. leucocephala*, lo que implicaría una mayor fijación de nitrógeno y por ende un mejor crecimiento de la planta [22].

La alta especificidad del *Rhizobium* por la accesión 18477, pudiera explicar el crecimiento de las raíces. Sanginga *et al.* [21, 22], asegura que una adecuada nodulación en plantas jóvenes de *Leucaena* ayuda al buen crecimiento en el establecimiento, menciona además, que éste puede ser el factor causante, de las diferentes respuesta del crecimiento en distintas condiciones edáficas. Las accesiones 7984, 18477 y cv Perú alcanzaron un máximo en el Nnod (160 promedio por planta) al final del experimento. Estos resultados fueron similares (151 nódulos) a los reportados por Kadiata y Mulongoy [18], esto pudo deberse posiblemente al beneficio del inoculó sobre la accesión 18477, el

cual le permitió expresar un mayor potencial de crecimiento comparable a las otras accesiones incluyendo el cv Perú. Sánchez y Urdaneta [20], encontraron que la mayor producción de nódulos para *Leucaena* fue encontrado en los primeros 75cm.

Longitud de la raíz principal

Las raíces de la accesión 18477 y el cv. Perú fueron los primeros en alcanzar los 75 cm de profundidad (30 DDG); mientras que la accesión 18477 alcanzó la máxima profundidad de raíces en esta fecha (45 DDG), como consecuencia de un mayor peso de la raíz, comportamiento que coincide con el observado por Hunt [14].

Todas las accesiones alcanzaron una máxima profundidad de las raíces (Pr) a los 45 DDG, la cual estuvo alrededor de los 85 cm considerando que algunas accesiones mostraron un colcho para este periodo.

A partir de los 45 DDG, esta variable disminuye. A los 110 DDG se observó una raíz profunda y gruesa para todas las accesiones; a excepción de la accesión 7984 y el cv. Perú los considerados, de alto rendimiento en biomasa aérea en campo. Estos resultados fueron superiores a los obtenidos por Medina *et al.* [17], donde las máximas longitudes de raíces alcanzadas fueron de 40 cm a las 18 semanas de sembrado.

Densidad de longitud radical

La densidad de longitud mostró un comportamiento similar en todas las accesiones para todos los tiempos evaluados, incrementando rápidamente a medida que este incrementa. Sólo se observaron diferencias significativas en la segunda y tercera cosecha.

La densidad de la longitud de raíces (DLR) incrementó rápidamente con el tiempo para todas las accesiones, alcanzando su valor máximo a los 110 DDG. En la primera cosecha, la DLR no mostró diferencias estadísticas entre los mismos. El valor promedio en todas las accesiones fue de 45 mm.cm^{-3} . A los 30 y a los 45 DDG se observaron diferencias estadísticas significativas entre las accesiones, presentando el siguiente orden: CIAT 7984 > 18477 > 9438 > cv Perú y cv Perú > 9438 > 7984 > 18477 respectivamente (Cuadro 1).

El desarrollo de las raíces en los primeros 30 días también fue encontrado por Huerta *et al.* [13], al evaluar la DLR en cuatro especies de *Zea mays L.*, *Phaseolus vulgaris L.*, *Cucurbita pepo L.* y *Avena sativa*.

Existen múltiples factores que facilitan el crecimiento radicular, la mayoría de las medidas de manejo de las raíces agroforestales tienen, probablemente, cierta atribución en forma y el funcionamiento de los sistemas radicu-

Cuadro 1. Densidad de longitud radical y número de raíces laterales en cuatro accesiones de *Leucaena leucocephala*.

| DDG | Total-Estrato | | | Densidad de longitud radical (DLR) y Número de raíces laterales (NRL) | | | | | | | |
|-----|---------------|-------------------|-------------------|---|---------|-----------|----------|----------|--------|-----------|-------|
| | ECOT | DLR _{to} | NRL _{to} | 0-5 cm | 5-25 cm | 25-50 cm | 50-75 cm | | | | |
| 15 | 7984 | 42±12 | 12±4 | 10±4 | 2±0 | | | | | | |
| | 9438 | 50±17 | 21±2 | 13±4 | 9±0 | | | | | | |
| | 18477 | 37±16 | 13±2 | 10±6 | 3±0 | | | | | | |
| | Cv Perú | 42±16 | 23±3 | 10±6 | 10±6 | | | | | | |
| 30 | 7984 | 362±56 | 36±3 | 15±5* | 13±3 | 8±5 | | | | | |
| | 9438 | 210±20 | 28±4 | 13±4* | 9±2 | 6±3 | | | | | |
| | 18477 | 327±48 | 58±9 | 15±10* | 27±5 | 6±2 | 8±1 | | | | |
| | Cv Perú | 161±30 | 83±12 | 37±14* | 22±7 | 16±5 | 8±1 | | | | |
| 45 | 7984 | 841±440* | 117±15 | 16±3 | 51±3 | 28±23 | 22±9* | | | | |
| | 9438 | 1239±926* | 167±20 | 22±7 | 52±29 | 65±39 | 28±10* | | | | |
| | 18477 | 2648±1181* | 100±12 | 16±10 | 27±5 | 30±2 | 10±6* | | | | |
| | Cv Perú | 1785±968* | 184±19 | 18±4 | 46±7 | 58±10 | 62±20* | | | | |
| 60 | 7984 | 3999±673* | 135±3 | 154±25* | 16±3* | 1238±46* | 45±1 | 854±20* | 46±3 | 1753±69 | 28±2 |
| | 9438 | 3340±561* | 136±13 | 138±22* | 18±1.3* | 723±104* | 50±5 | 996±88* | 39±10 | 1483±472 | 36±10 |
| | 18477 | 4246±721* | 147±11 | 165±43* | 25±5* | 18888±75* | 50±9 | 904±124* | 38±9* | 1288±217 | 39±6 |
| | Cv Perú | 3184±602* | 126±16 | 91±6* | 18±2* | 1088±20* | 52±9 | 544±30* | 35±3* | 1461±295 | 22±5 |
| 110 | 7984 | 5861±916 | 140±16 | 244±81* | 19±7 | 1690±91* | 57±27 | 1473±226 | 27±9* | 2454±29* | 37±7 |
| | 9438 | 5489±910 | 135±14 | 198±53* | 14±4 | 1489±93* | 41±7 | 1383±253 | 48±11* | 2419±201* | 32±8 |
| | 18477 | 4857±479 | 130±8 | 577±143* | 25±7 | 1135±15* | 42±9 | 1675±96 | 37±6* | 1470±22* | 30±7 |
| | Cv Perú | 4875±643 | 170±6 | 364±16* | 17±8 | 1623±190* | 62±14 | 1092±90 | 25±11* | 1796±135* | 37±4 |

lares dependiendo de la especie y de sus interacciones con el suelo y el ambiente [4]. Los resultados pudieran explicar el comportamiento de variabilidad de la producción de biomasa y persistencia entre la especie observada en condiciones similares de campo.

La DLR por estrato indica que las plantas tienen una distribución morfológica particular, disminuyendo la DLR en los estratos de 25 a 50 y luego incrementando de 50 a 75 cm de profundidad, este efecto del crecimiento se debe al espacio ofrecido para el crecimiento. Las raíces se fortifican engrosándose en los primeros estratos y la mayor densidad en los estratos inferiores, demostrando su gran capacidad para formar estructuras que cubran una mayor superficie para captar agua y nutrientes utilizados para el desarrollo, además se sugiere que entre los 60 hasta un máximo 110 días de germinada las plantas están listas para el trasplante. Es necesario realizar más estudios sobre el crecimiento radicular en leguminosas arbustivas que puedan apoyar el manejo dentro de la unidad de producción animal [15].

La DLR por estrato indica que las plantas presentaron a los 60 DDG un crecimiento uniforme, acumulando ma-

yor DLR a medida que profundizaba la planta, con una ligera tendencia a disminuir en el estrato de 25 a 50 cm. A los 110 DDG, dicha tendencia se hace marcada y las plantas tienen una distribución morfológica particular, disminuyendo la DLR en los estratos de 25 a 50 y luego incrementando de 50 a 75 cm de profundidad (Figura 1e), este efecto del crecimiento se debe al espacio ofrecido para el crecimiento y a la capacidad exploratoria de la planta por obtener fuentes nutritivas [3].

Al relacionar la DLR y el NRL, la DLR mostró un incremento considerable en comparación a los valores del NRL a los 45 DDG, lo que confirma que sistema radical de todas las accesiones fue muy denso, sin embargo no se pudo distinguir en qué estrato ocurrió la mayor DLR, debido a que no se midieron por estrato para las primeras tres cosechas. A partir de los 45 DDG, la DLR se incrementa y el NRL se mantiene en las cosechas sucesivas, esto puede que ocurra debido al engrosamiento de las RL. A los 60 y 110 DDG, la mayor DLR se concentró en el segundo y cuarto estrato (5-25 y 50-75 cm), mientras que el NRL alcanza sus máximos valores a 5-25 cm de profundidad, lo que indica que las RL eran largas y gruesas.

Estos resultados indican, que las accesiones de *Leucaena* en general tienen una gran capacidad de enraizamiento a estratos más profundos, ya que la DLR incrementó en un período de tiempo corto (30 DDG). Es muy probable que la accesión CIAT 18477 y el cv Perú de *Leucaena leucocephala* muestren en condiciones de campo una mejor capacidad de competencia (agua y nutrimento) con otras especies, si se le ofrece las condiciones edáficas (características físicas, químicas) y de *Rhizobium* específico para que pueda expresar el potencial de crecimiento.

En todas las cosecha la accesión 18477 no fue distinto en el valor de densidad total a las otras accesiones y al cv Perú. Se observaron diferencias estadísticas sólo a los 110 DDG entre esta accesión y las consideradas de alto rendimiento en la densidad de longitud por estrato (50-75 cm, Cuadro 1). El 35% del total de las raíces laterales en este estrato (50-75 cm), eran delgadas y blanquecina, indicando que las plantas se encontraban en un proceso dinámico de formación de raíces. Esto puede que indique que la accesión 18477 considerada de bajo rendimiento es capaz de desarrollar un buen sistema de raíces, para la absorción de agua y nutrimentos por parte de la planta como lo señalan experiencias de Steudle [25], Schroth y Zech [23], Shein y Pachepsky [24]. Esta accesión (18477) y en menor grado el cv Perú, tendieron a presentar el 65% aproximadamente del total de las raíces, ligeramente más gruesas y cortas que las otras accesiones a partir de los 60 DDG, lo que sugiere un desarrollo más rápido que las otras accesiones. El tiempo óptimo de trasplante fue entonces entre los 30 y 45 días.

En el presente trabajo, los resultados sugieren que la morfología del sistema radical de las accesiones incluyendo el cv Perú, se debe principalmente a una característica propia de crecimiento rápido [9]. Esto se evidencia por el comportamiento del patrón de crecimiento del vástago, los cuales indican que la accesión 18477 y el cv Perú crecen más rápido que las otras accesiones [8].

Estos resultados pudieran explicar el comportamiento de variabilidad de la producción de biomasa y persistencia entre la especie observada en condiciones similares de campo.

Conclusiones

1. La accesión 18477 y el cv Perú mostraron mayor número de raíces laterales (NRL) a mayor profundidad (50-75cm) que las otras accesiones lo que pudiera conferir un gran potencial genético de adaptación en condiciones de campo.

2. La Densidad de Longitud de las raíces (DLR) en todas las accesiones se incrementó con el tiempo, primero a 0-25 cm y luego a 50-75 cm, como consecuencia de la acumulación de raíces a esas profundidades. La accesión 18477 y el cv Perú acumularon mayor biomasa de las raíces en un período más corto que las otras accesiones, lo que le confiere en el período de establecimiento una gran capacidad de competencia por agua y nutrimentos con otras especies a estratos más profundos.

3. Después de los 30 días de germinadas el crecimiento de las raíces estuvo limitado por el tamaño y longitud del tubo. Todas las accesiones alcanzaron una máxima profundidad de las raíces a los 45 DDG, la cual estuvo alrededor de los 85 cm de largo. El tiempo de trasplante pudiera entonces realizarse entre los 30 y 45 días después de la germinación.

Referencias

- [1] BLAND, William L. (1993). Cotton and Soybean root systems growth in three soil temperature regimes. **Agron. J.** 85: 906-911.
- [2] BÖHM, Wolfgang (1979). Methods of studying root systems. **Ecological studies**, Springer-Verlag, Heidelberg. Vol 33: 140p.
- [3] BOOT R, G.A. (1989). The significance of size y morphology of root systems for nutrient acquisition and productivity of higher plants. **Netherlands** Edited By Lambert: 299-311p.
- [4] CASANOVA, Fernando; RAMIREZ; Luis; SOLORIO, Francisco (2007). Interacciones radiculares en de las raíces agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. Avances en investigación agropecuaria. **Rev AIA** 11(3): 51-52.
- [5] CRESPO; Gustavo (2008). Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. **Revista Cubana de Ciencia Agrícola**, 42 (4): 329-335.
- [6] DART P.J. (1975). Legumes root nodule initiation and development. In: **The development and function of roots**. Ed by Torrey and Clarkson, New York. 468-499p.
- [7] ESPINOZA, Freddy; GIL, José; ARGENTI, Patricia; GUENNI, Orlando (1994). Producción de materia seca de accesiones de *Leucaena leucocephala* en suelos ácidos del Estado Cojedes. VIII Congreso Venezolano de Zootecnia. s/n.
- [8] GUEVARA, Eunice; GUENNI, Orlando (2004). Acumulación de biomasa y patrón de crecimiento en *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit., durante la fase de establecimiento. II. Estructura y patrón de crecimiento aéreo. **Zootecnia Trop.** 22 (3): 231-240.
- [9] GREEN, Steven; CLOTHIER, Brent (1995). Root water uptake by kiwifruit vines following partial wetting of root zone. **Plant and Soil.** 173: 317-328.

- [10] HAMBLIN, Ann; TENNANT, David (1987). Root length density and water uptake in cereals and grain legumes. **Aust. J. of Agricultural Research**. 38 (3): 513-524.
- [11] HAQQANI, A.; PANDEY, R. (1994). Response of mung bean to water stress and irrigation at various growth stages and plant densities: I. Plant and crop growth parameters. **Trop. Agrom.** Trinidad. 71 (4): 281-288.
- [12] HERNÁNDEZ, Manuel; GUENNI, Orlando (2008). Producción de biomasa y calidad nutricional del estrato gramínoide en un sistema silvopastoril dominado por samán (*Samanea saman* (Jacq) Merr). **Zootecnia Trop.** 26(4): 439-453.
- [13] HUERTA, José; RÍOS, José; OROPEZA, José; MARTÍNEZ, Mario; GUEVARA, Rubén; RAMÍREZ, Carlos; VELÁZQUEZ, Juan (2012). Efecto del sistema radical de cuatro cultivos en la erosión del suelo. **Revista Terra Latinoamericana**. 30(3): 271-278.
- [14] HUNT, Rouny (1990). Basic growth analysis. **Plant growth analysis for beginners**. London UNWIN HYMAN. 112p.
- [15] LOK, Sandra; FRAGA, Aida (2011). Comportamiento de indicadores del suelo y del pastizal en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala*/ *Cynodon nlemfuensis* con ganado vacuno en desarrollo. **Revista Cubana de Ciencia Agrícola**. 45 (2): 195-202.
- [16] MARTÍNEZ, Miguel; GÓMEZ, Mariela; ORTIZ, Randy; CARREÓN-Abud (2009). Efecto del cobre en el crecimiento y arquitectura de la raíz de *Arabidopsis thaliana* L. **Biologicas**. 11:122-131. [En línea] Disponible en: <http://www.biologicas.umich.mx/index.php/biologicas/article/view/63/63>. [Consulta: 2013, 12 de mayo].
- [17] MEDINA, María; GARCÍA, D.; MORATINOS, P.; COVA L. (2011). Comparación de tres leguminosas arbóreas sembradas en un sustrato alcalino durante el período de avivamiento. I. Variables morfo estructurales. **Pastos y Forrajes**. 34(1): 37-52.
- [18] KADIATA B.D.; MULONGOY, K. (1995). Early nitrogen fixation and utilization in *Albizia lebbek*, *Leucaena leucocephala*, and *Gliricidia sepium* using nitrogen (N15) labelling. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 26(9,10): 1397-1409.
- [19] RUSSELL, W. (1992). Crecimiento y Funcionamiento de las raíces. **Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas**. Ed Mundi, Prensa Madrid: 1045p.
- [20] SÁNCHEZ, Alexánder y URDANETA, July (1997). Evaluación de la distribución espacial de nódulos en la *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Spatial distribution evaluation on *Leucaena leucocephala*. (Lam.) de Wit nodules. **Rev. Fac. Agron. (LUZ)**. 14: 457-463.
- [21] SANGINGA, Nteranya; MULONGOY, K.; AYANABA, A. (1986). Inoculation of *Leucaena leucocephala* (Lam) de wit. *Rhizobium* and its nitrogen contribution to a subsequent maize crop. **Biological Agric. Horticulture**. 3: 341-347.
- [22] SANGINGA, Nteranya; MULONGOY, K.; AYANABA, A. (1988). Response of *Leucaena/Rhizobium* symbiosis to mineral nutrients in Southwestern Nigeria. **Plant and soil**. 112: 121-127.
- [23] SCHROTH, Götz; ZECH, Wolfgang (1995). Root length dynamics in agroforestry with *Gliricidia sepium* as compared to sole cropping in the semi-deciduous rainforest zone of West Africa. **Plant and Soil**. 170: 297-306.
- [24] SHEIN, E.V.; PACHEPSKY, Ya (1995). Influence of root density on the critical soil water potencial. **Plant and Soil**. 171: 351-357.
- [25] STEUDLE, Ernst (1994). Water transport across roots. **Plant and Soil**. 167: 79-90.
- [26] TENNANT, D. (1975). A test of a modified line intersect method of estimating root length. **J of Ecology**. 63(1-4):995-1103.
- [27] VALDÉS, M.; AGUIRRE, Juan Francisco (1993). Inoculación con *Rhizobium Loti* sobre componentes del rendimiento en *Leucaena leucocephala*. **Turrialba**. 43(1): 7-10.
- [28] LUIS DIAZ, Vanessa C.; VILAGROSA C., Alberto; LLORCA C., Marina; HERNÁNDEZ LI, Encarne; VALLEJO C., Ramón (2008). Plasticidad morfológica y fisiológica en plántones de alcornoque, lentisco y pino canario inducidos por tratamientos de fertilización y sombreo. **Soc. Esp. Cienc. For.** (28): 213-218. [En línea] Disponible en: <http://www.seforestales.org/buscador/pdf/C28-Acta31.pdf> [Consulta: 2013, 01 de diciembre].