



Short note [Nota corta]

LA PRODUCCIÓN DE SEMILLAS Y RAÍCES DEL CULTIVO DE YUCA SE MANTIENE BAJO DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA: UN ENFOQUE AGROECOLÓGICO †

[THE SEEDS AND ROOTS PRODUCTION OF SWEET CASSAVA CROP IS MAINTAINED UNDER DIFFERENT PLANTING DENSITIES: AN AGROECOLOGICAL APPROACH]

Luisa Delgado Monsanto^{1,*}, Pedro Manuel Villa^{2,*}, Norman Mota¹ and Xiomara Gómez¹

¹ Instituto nacional de Investigaciones Agrícolas, 7101, Puerto Ayacucho, estado Amazonas, Venezuela. Email: ldmonsanto@gmail.com, nmcancio41@gmail.com

² Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Botânica, 36570900, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Email: pedro.villa@ufv.br

* Corresponding authors

SUMMARY

Background: Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is the fifth most important crop in the world and has a fundamental role in food security in most tropical countries. However, studies are still needed to improve its management and production. **Objective:** the objective of this study was to evaluate the effect of planting density on the pattern of allocation of aboveground and belowground biomass, and asexual seeds production of the cassava crop (Cultivar Armenia) in Cucururital, Átures municipality, Amazonas state, Venezuela. **Methodology:** A total of 25 10 × 10 plots (100 m²) were established under a randomized block design with five replicates and five treatments to compare different parameters of growth and production of the cassava crop under different conditions of planting density: 1.20 × 0.60 m (T₁), 1.20 × 0.80 m (T₂), 1.20 × 1 m (T₃), 1.20 × 1.20 m (T₄), and 1.20 × 1.40 m (T₅). **Results:** The results of this research show that there are no significant differences in relation to the different growth and production parameters between the planting density treatments. Despite the variations in planting densities evaluated in this study (5952 to 13888 plants ha⁻¹), the yield of commercial roots (400 to 500 kg plant⁻¹) as the main parameter of agronomic importance, was relatively high compared to different tropical and national studies. **Implications:** These results allow us to infer that this cassava crop (Armenia) has a high adaptation, phenotypic plasticity and production potential under different growth conditions, which may be advantageous from an agro-ecological, economic and social point of view, to contribute with food security and sustainable livelihoods. **Conclusion:** With this applied research it was possible to demonstrate the production potential of roots and asexual seeds of the cassava crop (cultivar Armenia) despite the variation in planting density in previously degraded agricultural areas, where no statistical differences were observed between treatments.

Keywords: belowground biomass; *Manihot esculenta*; root-shoot relationship; commercial seeds; cassava.

RESUMEN

Antecedentes: La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es el quinto cultivo más importante del mundo y tiene un papel fundamental en la seguridad alimentaria en la mayoría de los países tropicales. Sin embargo, todavía son necesarios estudios que permitan mejorar su manejo y producción. **Objetivo:** el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la densidad de siembra sobre el patrón de asignación de biomasa aérea y subterránea, y producción de semillas tipo estacas del cultivo de yuca (Cultivar Armenia) en Cucururital, municipio Átures, estado Amazonas, Venezuela. **Metodología:** Se estableció un total de 25 parcelas de 10 × 10 (100 m²) bajo un diseño de bloques al azar con cinco réplicas y cinco tratamientos de densidad de siembra para comparar diferentes parámetros de crecimiento y producción del cultivo de yuca. Los tratamientos de densidad de siembra fueron los siguientes: 1.20 × 0.60 m (T₁), 1.20 × 0.80 m (T₂), 1.20 × 1 m (T₃), 1.20 × 1.20 m (T₄), y 1.20 × 1.40 m (T₅). **Resultados:** Los resultados de esta investigación demuestran que no existen diferencias significativas con relación a los diferentes parámetros de crecimiento y producción entre los tratamientos de densidad de siembra del cultivo. A pesar de las variaciones de las densidades de siembra evaluadas en este estudio (5952 a 13888 plantas ha⁻¹) el rendimiento de raíces comerciales (400 a 500 kg planta⁻¹) como principal parámetro de importancia agronómica, fue relativamente alto comparado con

† Submitted June 29, 2020 – Accepted August 14, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.

diferentes estudios de regiones tropicales y nacionales. **Implicaciones:** Estos resultados permiten inferir que este cultivo de yuca (*Armenia*) tiene una alta capacidad de adaptación, plasticidad fenotípica y potencial de producción bajo diferentes condiciones de crecimiento. Este resultado puede ser ventajoso desde un punto de vista agroecológico, económico y social, para contribuir con la seguridad alimentaria y medios de vida sustentables. **Conclusión:** Con esta investigación aplicada fue posible demostrar el potencial de producción de raíces y estacas del cultivo de yuca (cultivar *Armenia*) a pesar de la variación de la densidad de siembra en áreas agrícolas previamente degradadas, donde no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos.

Palabras clave: biomasa subterránea; *Manihot esculenta*; relación raíz-vástago; semillas comerciales; yuca.

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es el quinto cultivo más importante del mundo, que históricamente ha tenido un papel fundamental en la seguridad alimentaria en la mayoría de los países tropicales (Lebot, 2009; Pérez *et al.*, 2019), especialmente en la región Amazonas, donde ha sido un alimento ancestral durante miles de años (Villa *et al.*, 2020). La importancia de este cultivo es debido a su alto rendimiento de producción por unidad de área y tiempo, y que además proporciona una fuente segura de alimento durante la sequía, convirtiéndose en un alimento básico para combatir el hambre (Lebot, 2009). Por este motivo, siempre ha sido de mucha relevancia el estudio sobre métodos de manejo de este cultivo, con la finalidad de garantizar niveles razonables de producción de raíces y semillas asexuales desde una perspectiva agroecológica (Silva *et al.*, 2013; Mera-Andrade *et al.*, 2018). En este sentido, una de las mayores preocupaciones sobre el manejo de este cultivo se ha enfocado en el mejoramiento de técnicas de producción de semillas asexuales, principalmente en la producción de estacas como principal forma de propagación vegetativa (Hedge *et al.*, 2016; Pérez *et al.*, 2019). Este ha sido el método de programación tradicional más común debido a su factibilidad técnica y económica en comunidades rurales e indígenas (Villa *et al.*, 2012; Mera-Andrade *et al.*, 2018). De esta forma, para garantizar fuentes de semillas de yuca a escala local, también ha sido necesario considerar diferentes técnicas de manejo y conservación.

A pesar de que este cultivo ha sido tradicionalmente establecido por comunidades rurales e indígenas sin el uso de recursos agroecológicos, como por ejemplo, riego y fertilización (Villa *et al.*, 2012; 2018a), varios criterios de manejo agronómico pueden ser importantes para la producción de semillas. Por ejemplo, la producción de estacas puede estar fuertemente afectada por la densidad de siembra debido a las variaciones en las distancias entre hileras y entre plantas, y de acuerdo a cada tipo de cultivar y condiciones de crecimiento (Legese *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2019). Así mismo, la producción de estacas puede depender en buena medida de las variaciones en la distribución de biomasa en los diferentes órganos de la planta

(Legese *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2019). Por lo tanto, el balance de distribución de biomasa aérea y subterránea también puede tener efectos significativos sobre el rendimiento de producción de los cultivos (Alva *et al.*, 2002). Por ejemplo, ha sido reportado que en condiciones favorables de crecimiento los cultivos pueden inducir una mayor producción de biomasa aérea en detrimento de una menor producción de biomasa subterránea (Scleible *et al.*, 1997). Algunos investigadores concluyen que la repartición de la materia seca entre raíz y vástago ha sido descrita como un equilibrio funcional entre la actividad de las raíces (absorción de agua y nutrientes) y la actividad de las hojas (fotosíntesis) partiendo de la premisa de que la adquisición de un recurso puede tener prioridad sobre otro, y presumen que la importancia de la relación raíz:vástago es proporcional la actividad específica de los órganos (Farrar y Jones, 2000; Poorter y Nagel, 2000). Sin embargo, todavía es necesario seguir investigando estos patrones de crecimiento para mejorar la eficiencia en el uso de recursos agroecológicos en los sistemas de producción de yuca.

Por este motivo, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la densidad de siembra sobre el patrón de asignación de biomasa aérea y subterránea, y producción de semillas tipo estacas del cultivo de yuca (Cultivar *Armenia*) en Cucururital, municipio Átures, estado Amazonas, Venezuela. Se establecieron tres principales preguntas de investigación para evaluar estos patrones de crecimiento: i) Cual es el patrón de producción de semillas de yuca bajo diferentes tratamientos de densidad de siembra? ii) existe un nivel crítico de producción de raíces y semillas de yuca bajo diferentes tratamientos de densidad de siembra? iii) Como es la relación de biomasa aérea y subterránea del cultivo de yuca bajo diferentes tratamientos de densidad de siembra? Estas preguntas nos permiten predecir que existe un efecto significativo de la densidad de siembra sobre la producción de semillas y raíces del cultivo de yuca. Esta investigación puede contribuir a comprender y mejorar la eficiencia del uso de recursos agroecológicos en sistemas de producción de semillas de yuca en la región, y ser una referencia para futuras investigaciones en diferentes regiones tropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló entre los meses junio y febrero del año 2017, en el fundo Capanaparo, vía Gavilán, sector Cucurital (5° 34'16" N 67 ° 30' 55" O), municipio Atures, estado Amazonas, Venezuela. El área de estudio se encuentra próximo a comunidades nativas de los grupos étnicos Jivi y Piaroa que se establecieron hace más de 60 años en la cuenca del Cataniapo, manteniendo sistemas de agricultura itinerante tradicionales para la producción de yuca (Villa *et al.*, 2012; 2018a). El clima del área de estudio corresponde a un sistema tropical lluvioso con una estación seca de tres meses entre diciembre y febrero. La temperatura media anual y la precipitación son 28 °C y 700 mm, respectivamente. Los tipos de suelo predominantes se caracterizan como Oxisoles (Latosoles) y Ultisoles (Argisoles) con baja capacidad de intercambio de cationes y de nutrientes, y con altos niveles de acidez (Villa *et al.*, 2012). La acidez de estos suelos obedece a que son pobres en arcillas resultando con muy baja fertilidad, con presencia predominante de cuarzo y caolinita, textura franco arenosa (Villa *et al.*, 2012). El área donde se estableció el ensayo pasó de ser un bosque degradado (dominancia de gramíneas invasoras), a un sistema intercalado de frijol y maíz, y seguidamente un tiempo de descanso y regeneración natural del bosque (barbecho).

Se estableció un total de 25 parcelas de 10 × 10 (100 m²) bajo un diseño de bloques al azar con cinco réplicas y cinco tratamientos de densidad de siembra del cultivo de yuca (cultivar Armenia). Por lo tanto, se estableció una distancia de 1.20 m entre hileras de plantas, y las siguientes distancias entre plantas fueron consideradas como parte de los tratamientos: 0.60 m (T₁), 0.80 m (T₂), 1 m (T₃), 1.20 m (T₄), y 1.40 m (T₅). En este sentido, fueron consideradas las principales densidades de siembra más implementadas para el cultivo de yuca (ejemplo, Rojas *et al.* 2007; Silva *et al.* 2013). El suelo se preparó con un motocultor de arado con tres discos. La siembra se realizó manualmente colocando una estaca por punto en forma inclinada a lo largo de cada hilera. Las estacas se cortaron de 25 cm dejando de cuatro a cinco yemas. La fertilización consistió en la aplicación de fórmula completa 20-40-40 (N-P-K) distribuido en tres dosis, a los 15, 45 y 90 días después de la siembra (DDS) a razón de 100, 80 y 50 Kg ha⁻¹ respectivamente. Las malezas fueron controladas mediante el método mecánico con escardilla y machete durante el desarrollo del cultivo. No hubo necesidad de aplicaciones fitosanitarias ya que en el cultivo no se presentó ningún ataque de plagas y enfermedades. La cosecha se efectuó de forma manual y mecánica a los 216 DDS.

Diferentes parámetros morfológicos de crecimiento y agronómicos fueron medidos durante la cosecha del cultivo, siguiendo protocolos de EMBRAPA (Fukuda, 1998). Se consideraron los siguientes parámetros de crecimiento y agronómicos: número total de raíces, número de raíces no comerciales y comerciales, número de estacas comerciales por planta, peso total parte aérea (vástagos) de la planta (Kg), peso total de raíces (Kg), peso de raíces no comercial y comercial (Kg).

Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el programa R versión 3.6.2 (R Development Core Team, 2019). La normalidad y distribución de los datos se verificaron mediante la prueba de *Shapiro-Wilk* (Crawley, 2013). La comparación de los diferentes parámetros de crecimiento y producción del cultivo de yuca entre tratamientos, se realizó mediante el análisis de varianza unidireccional (ANOVA; para datos distribuidos normalmente) seguido de una prueba de Tukey post hoc ($p < 0.05$). Para la construcción de gráficos se usó el paquete "ggplot" (Hadley, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación demuestran que no existen diferencias significativas con relación a los diferentes parámetros de crecimiento y producción de raíces entre los tratamientos de densidad de siembra del cultivo de yuca (Figura 1). Previos estudios han demostrado que la respuesta de las plantas a diferentes condiciones de crecimiento involucra cambios a nivel estructural (tamaño y número de órganos) como estrategias de adaptación a los recursos limitantes (Schurr *et al.*, 2006; Lambers y Oliveira, 2019). De esta forma, las plantas pueden responder a la variabilidad de las condiciones ambientales a través de la plasticidad morfológica que permite optimizar el uso de los recursos limitantes, por ejemplo, nutrientes, agua, luz (Schurr *et al.*, 2006; Lambers y Oliveira, 2019). En este sentido, el cambio en los patrones de asignación de biomasa entre órganos puede constituir un mecanismo de adaptación o aclimatación frente a las presiones ambientales cambiando la relación costo-beneficio de la biomasa asignada entre diferentes órganos (Osone y Tateno, 2003; Schurr *et al.*, 2006; Lambers y Oliveira, 2019). Asimismo, la relación entre lo que se puede destinar a la acumulación de biomasa aérea y subterránea puede tener repercusiones sobre otros componentes de crecimiento y producción de los cultivos agrícolas (Osone y Tateno, 2005; Schurr *et al.*, 2006).

A pesar de las variaciones de las densidades de siembra evaluadas en este estudio (5952 a 13888 plantas ha⁻¹) el rendimiento de raíces comerciales (400 a 500 kg planta⁻¹) como principal parámetro de importancia agronómica, fue relativamente alto

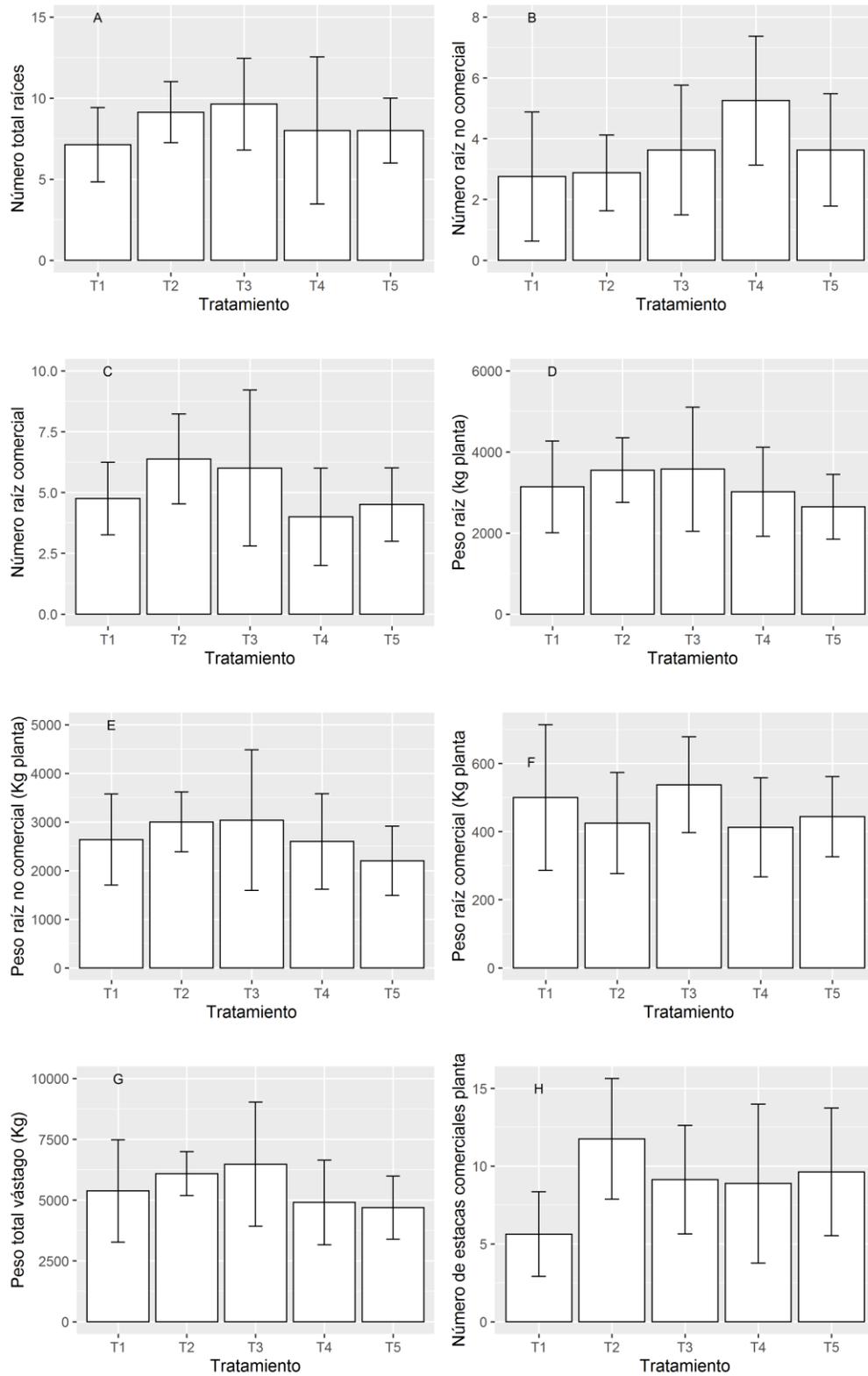


Figura 1. Comparación de diferentes parámetros de crecimiento y producción del cultivo de yuca bajo diferentes tratamientos de densidad de siembra: 1.20×0.60 m (T₁), 1.20×0.80 m (T₂), 1.20×1 m (T₃), 1.20×1.20 m (T₄), y 1.20×1.40 m (T₅).

comparado con diferentes estudios de regiones tropicales y nacionales (Rojas *et al.*, 2007; Legese *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013). Estos resultados permiten inferir que este cultivar de yuca (Armenia) tiene una alta capacidad de adaptación, plasticidad fenotípica y potencial de producción bajo diferentes condiciones de crecimiento, lo que puede ser ventajoso desde un punto de vista agroecológico, económico y social, para contribuir con la seguridad alimentaria y medios de vida sustentables. Normalmente, investigaciones muestran un patrón contrario, mientras mayor la densidad de siembra, aumenta la altura y producción de biomasa aérea en detrimento de la biomasa subterránea del cultivo de yuca (Silva *et al.*, 2013).

Cuando se analizó el efecto de la densidad de siembra sobre la producción de raíces, se observó que no existen diferencias significativas (Figura 2). Estos resultados permiten inferir que los cambios arquitectónicos en el patrón de distribución de asimilados del cultivo de papa constituyen una respuesta plástica de aclimatación al estrés por recursos limitantes (competición por luz y nutrientes); que además presentan mucha concordancia con lo planteado en varias investigaciones con diferentes especies vegetales (Poorter y Nagel, 2000; Forde, 2002; Lawlor, 2002; Schenk, 2006). Otros estudios concluyen que las especies de crecimiento rápido tienden a ser más plásticas que las de crecimiento lento con respecto a la asignación de biomasa como respuesta a las condiciones de crecimiento (Schenk, 2006; Lambers y Oliveira, 2019). Es posible que en este estudio la repartición de biomasa (modificación estructural) y el equilibrio funcional entre estos órganos dependa de la respuesta de aclimatación frente a la variabilidad de densidad de siembra. Esta importancia relativa de los sumideros cambia durante la fenología de las plantas y la habilidad competitiva de las mismas (Heuvelink, 1995; Marcelis, 1996; Lambers y Oliveira, 2019).

La yuca históricamente ha sido uno de los principales cultivos tradicionales de los sistemas agrícolas de Amazonas, y es parte de la cultura ancestral de diferentes comunidades indígenas (Villa *et al.*, 2015, 2020). La agricultura migratoria (*shifting cultivation* en inglés), comúnmente conocida como agricultura de tala y quema (*slash and burn* en inglés), ha consistido en la deforestación de pequeñas áreas de bosques secundarios y maduros (<1 ha) con el propósito de establecer diferentes cultivos agrícolas de ciclo corto asociadas con especies forestales, siendo la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) el cultivo predominante (Villa *et al.*, 2012, 2015). Posteriormente, estas áreas son abandonadas cuando la fertilidad de los suelos se reduce en cada ciclo de agricultura migratoria, y de esta forma se inicia el proceso de regeneración natural de los bosques secundarios (Villa *et al.*,

2018b, 2019). En consecuencia, se seleccionan nuevas áreas de agricultura migratoria, repitiendo también el ciclo de corte y quema (Villa *et al.*, 2018b). Sin embargo, los ciclos repetidos de agricultura migratoria en la misma área forestal (por ejemplo, más de cinco ciclos) representan una intensificación del uso de la tierra, reduciendo la capacidad de recuperación de los bosques, generando finalmente una degradación forestal (Villa *et al.*, 2018a). Considerando este contexto socio ecológico, es importante destacar que el área donde realizó este estudio (experimento de densidad siembra del cultivo de yuca), corresponde a un bosque degradado después de haber sido sometido a múltiples ciclos de corte y quema como parte de la agricultura migratoria. Por este motivo, los resultados de este experimento demuestran que con un manejo y labranza mínima, es posible seguir produciendo este cultivo y manteniendo el rendimiento de producción, sin necesidad de deforestar nuevas áreas para una agricultura temporal. Así mismo, se presume que, realizando ajustes de manejo en diferentes componentes del sistema agroecológico (por ejemplo, Agricultura familiar), como estableciendo cultivos asociados o jardines domésticos para aumentar la diversidad de especies agroforestales (Villa *et al.*, 2015, 2020), es posible seguir manteniendo rendimientos de producción razonables con este cultivar de yuca evaluado. Por lo tanto, se recomienda seguir explorando el potencial productivo de este cultivar manteniendo este enfoque agroecológico, pero sobre todo fomentar su uso como medio de vida sustentable de comunidades rurales.

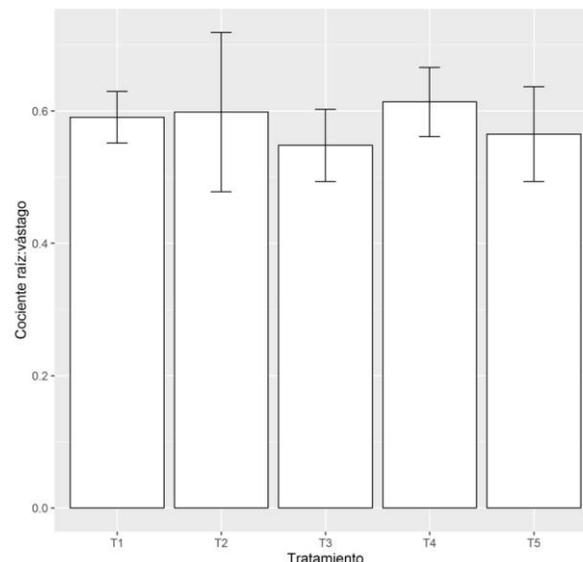


Figura 2. Relación raíz-vástago del cultivo de yuca bajo diferentes tratamientos de densidad de siembra: 1.20×0.60 m (T₁), 1.20×0.80 m (T₂), 1.20×1 m (T₃), 1.20×1.20 m (T₄), y 1.20×1.40 m (T₅).

CONCLUSIONES

Con esta investigación aplicada fue posible demostrar el potencial de producción de raíces y estacas del cultivo de yuca (cultivar Armenia) a pesar de la variación de la densidad de siembra en áreas agrícolas previamente degradadas, donde no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos. Estos resultados también permiten recomendar tanto el cultivar de yuca como las condiciones agronómicas de crecimiento que permiten mantener una plantación de doble propósito, como por ejemplo la producción de estacas y raíces comerciales, inclusive como componentes de sistemas agroforestales como una alternativa de manejo y conservación de los bosques de la región Amazonas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las familias de la comunidad de Cucurital, vocerías del consejo comunal, en especial Ana Elizabeth Garcías e Hijos, Darcy Garcías e Yurimar Ibañez por permitir el desarrollo de esta investigación.

Financiamiento. Nada por declarar.

Conflicto de interés. Los autores declaran que este estudio no presenta ningún conflicto de intereses.

Cumplimientos de normas éticas. El presente estudio se realizó bajo el código de ética del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Este estudio no involucra trabajo con seres humanos o experimentos con animales, además mantuvo completo respeto a la cultura local.

Disponibilidad de datos. Los datos (valores medios por tratamiento) y comandos de programación en R están disponibles con el autor de correspondencia previa solicitud razonable.

REFERENCIAS

- Alva, A.K., Hodges T., Boydston, and Collins, H.P. 2002. Dry matter and nitrogen accumulations and partitioning in two potato cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 25: 1621-1630. DOI: 10.1081/PLN-120006047
- Farrar, J.F and Jones, D.L. 2000. The control of carbon acquisition by roots: Review. *New Phytologist*. 147: 43-53. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2000.00688.x
- Fukuda, W.M.G. e Guevara, C.L. 1998. Descriptores morfológicos e agronómicos para a caracterização de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), Cruz das Alma: EMBRAPA-CNPMPF, 38 p.
- Heuvelink, E. 1995. Dry matter partitioning in a tomato plant: one common assimilate pool. *Journal Experimental Botany*, 46:1025-1033. <https://doi.org/10.1093/jxb/46.8.1025>
- Lambers, H., y Oliveira, R. 2019. *Plant Physiological ecology*. Springer Nature Switzerland. 755 p.
- Lebot, V. 2009. *Tropical root and tuber crops: Cassava, sweet potato, yams and aroids*. Oxford: CAB International 440 p.
- Legese H, Gobeze, L., Shegro, A. and Geleta, N. 2011. Impact of Planting Position and Planting Material on Root Yield of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 5: 4.
- Marcelis, L.F.M. 1996. Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant. *Journal Experimental Botany*, 47: 1281-1291. DOI:10.1093/jxb/47.special_issue.1281
- Mera-Andrade, R. I., Pineda-Morales, N., Pomboza-Tamaquiza, P.P., Bejarano-Rivera, C.I., López-Villacis, I., Ortíz-Tirado, P., Artieda-Rojas, J.R., Muñoz-Espinoza, M.S., and Carrasco-Silva, A.H. 2018. Ancestral practices in the cultivation of *Manihot esculenta* crantz in amazonian indigenous communities of Ecuador. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21 1870-0462. Available at: <http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2576>.
- Oliveira, E.C, Almeida, L.H.C., Zucareli, C., Valle, T.L., de Souza, J.R.P., and Miglioranza, E. 2019. Analysis of cassava growth at different harvest times and planting densities. *Semina: Ciências Agrárias*, 40: 113-126. DOI:10.5433/1679-0359.2019v40n1p113
- Oson, Y. and Tateno, M. 2003. Applicability and limitations of optimal biomass allocation models: a test of two species from fertile and infertile habitats. *Annals of Botany*, 95: 1211-1220. DOI: 10.1093/aob/mci133
- Pérez, D., Mora, R., y López-Carrascal, C. 2019. Conservación de la diversidad de yuca en los sistemas tradicionales de cultivo de la Amazonía. *Acta Biológica Colombiana*, 24:202-212. DOI: DOI: 10.15446/abc.v24n2.75428
- Poorter, H., and Nagel, O. 2000. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Australian Journal of Plant Physiology*, 27:595-607. DOI: 10.1071/PP99173_CO

- Rojas, R., Gutiérrez, W., Esparza, D., Medina, B., Villalobos, Y. y Morales, L. 2007. Efecto de la densidad de plantación sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de la yuca *Manihot esculenta* Crantz, bajo las condiciones agroecológicas de la Altiplanicie de Maracaibo. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 24:94-112.
- Scheible, W.R., Gonzalez-Fontes, A., Lauerer, M., Müller-Röbert, B., Caboche, M., and Stitt, M. 1997. Accumulation of nitrate in the shoot acts as a signal to regulate shoot-root allocation in tobacco. *The plant Journal*, 1: 671-691.
- Schenk, H. J. 2006. Root competition: beyond resource depletion. *Journal of Ecology*, 94:725-739
- Schurr, U., Walter, A. and Rascher, U. 2006. Functional dynamics of plant growth and photosynthesis from steady-state to dynamics – from homogeneity to heterogeneity. *Plan Cell and Environment*, 29: 340-352.
- Silva, T.S.; Silva, P.S.L., Braga, J.D., Silveira, L.M., and Sousa, R.P. 2013. Planting density and yield of cassava roots. *Revista Ciência Agronômica*, 44: 317-324. DOI: 10.1590/S1806-66902013000200014
- Villa, P.M., Martins, S.V., de Oliveira Neto, S.N., Rodrigues, A.C., Hernández, E.P., and Kim, D.-G. 2020. Policy forum: shifting cultivation and agroforestry in the Amazon: premises for REDD+. *Forest Policy and Economic*, 118: 102217. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102217>
- Villa, P.M., Martins, S.V., Rodrigues, A.C., Safar, N.V.H., Bonilla, M.A.C., and Ali, A. 2019. Testing species abundance distribution models in tropical forest successions: implications for fine-scale passive restoration. *Ecological Engineering*, 135: 687–694. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.05.015>
- Villa, P.M., Martins, S.V., Oliveira Neto, S.N., Rodrigues, A.C., Martorano, L., Delgado, L., Cancio, N.M., and Gastauerg, M. 2018a. Intensification of shifting cultivation reduces forest resilience in the northern Amazon. *Forest Ecology Management*, 430: 312-320. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.014>
- Villa, P.M., Martins, S.V., Oliveira Neto, S.N., Rodrigues, A.C., Vieira, N., Delgado, L., and Cancio, N.M. 2018b. Woody species diversity as an indicator of the forest recovery after shifting cultivation disturbance in the northern Amazon. *Ecological Indicator*, 95: 687-694. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.005>
- Villa, P.M., Martins, S.V., Monsanto, L., de Oliveira Neto, S.N., y Cancio, N.M. 2015. La agroforestería como estrategia para la recuperación y conservación de reservas de carbono en bosques de la Amazonía. *Bosque*, 36:347-356.
- Villa, P.M., Riera, A., Mota, N., Belandria, A., Camacho, D., Sánchez, I., Infante, J., Oliveros, G., Delgado, L., y García, J. 2012. *Agricultura Piaroa en la cuenca del río Cataniapo, estado Amazonas: Un enfoque agroecológico*. Fundación PROBIODIVERSA, PPD/GEF/PNUD, INIA. 46 p.