

EFFECTO DE MODALIDADES DE APLICACIÓN DE FERTILIZANTES SOBRE EL RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DE LA YUCA NEGRITA (*Manihot esculenta* Crantz)

Effect of fertilizer application methods on the yield and profitability of the bold cassava crop (*Manihot esculenta* Crantz)

Pedro Antonio Núñez Ramos¹, Diógenes Toribio Peña², Yudyh Lanny del Orbe del Orbe³, Víctor Manuel Cuevas Gutiérrez⁴, Víctor Camilo Pulido-Blanco⁵

RESUMEN

La yuca es uno de los principales cultivos en República Dominicana. La región Norte del país posee terrenos fértiles y condiciones ambientales favorables para la producción de yuca; sin embargo, produce en promedio 19 a 22 toneladas por hectárea, registro por debajo de estudios experimentales en la misma región. Por ende, es prioritario desarrollar su potencial productivo. El estudio propuso conocer el mejor modo de aplicación de los fertilizantes para obtener mayor calidad (longitud y diámetro) y rendimiento. El experimento se realizó en la Estación Experimental Sabaneta, IDIAF La Vega. Se usó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro bloques y seis tratamientos: testigo absoluto (T1), fertilizante granulado NPK (T2), fertilizante foliar de sales (T3), fertilizante foliar aminoácido (T4), fertilizante soluble en *drench* (T5) y fertilizante granulado NPK inyectado al suelo (T6). Las variables evaluadas fueron: rendimiento, altura de planta, diámetro del tallo, relación costo/beneficio, número de raíces/planta, peso raíces/planta, diámetro comercial/planta y longitud de raíces. Se realizó un análisis de varianza por variable y comparación de medias de Duncan al 5 %, así como coeficiente de variación. La mayor longitud de raíces de yuca se obtuvo con T4 y T6 con 22.87 y 24.05 cm, respectivamente, sin diferencias estadísticamente significativas entre ambos, pero superiores a los demás. Los tratamientos T6, T5 y T1 resultaron estadísticamente iguales entre sí con diámetro de raíces de 5.31, 5.19 y 5.15 cm, respectivamente, superiores a los demás. El mayor rendimiento se obtuvo con T5 con 18 800 kg ha⁻¹ de yuca fresca, siendo inferior a los valores promedio del cultivo. La mayor tasa de retorno marginal con un 87.28 % se obtuvo con el tratamiento T5. Esto indica que la fertilización soluble en *drench* representa la mejor alternativa evaluada para las condiciones del estudio.

Palabras clave: *drench*, foliar, granular, *Manihot esculenta*, NPK, potencial, suelo.

ABSTRACT

Cassava is one of the main crops in the Dominican Republic. The northern region of the country has fertile land and favorable environmental conditions for cassava production; however, it produces on average 19 to 22 tons per hectare, a figure below that of experimental studies in the same region. Therefore, it is a priority to develop its productive potential. The study aimed to find out the best way to apply fertilizers to obtain higher quality (length and diameter) and yield. The experiment was conducted at the Sabaneta Experimental Station, IDIAF La Vega. A randomized complete block experimental design was used with four blocks and six treatments: absolute control (T1), NPK granulated fertilizer (T2), foliar salt fertilizer (T3), amino acid foliar fertilizer (T4), soluble fertilizer in *drench* (T5) and NPK granulated fertilizer injected into the soil (T6). The variables evaluated were yield, plant height, stem diameter, cost/benefit ratio, number of roots/plants, root weight/plant, commercial diameter/plant and root length. An analysis of variance by variable and a comparison of Duncan means at 5 %, as well as a coefficient of variation, were performed. The greatest cassava root length was obtained with T4 and T6 with 22.87 and 24.05 cm, respectively, with no statistically significant differences between them, but higher than the others. Treatments T6, T5 and T1 were statistically equal with root diameters of 5.31, 5.19 and 5.15 cm, respectively, higher than the others. The highest yield was obtained with T5 with 18 800 kg ha⁻¹ of fresh cassava, being lower than the average values of the crop. The highest marginal return rate with 87.28 % was obtained with treatment T5. This indicates that soluble fertilization in *drench* represents the best alternative evaluated for the conditions of the study.

Keywords: *drench*, foliar, granular, *Manihot esculenta*, NPK, potential, soil.

¹ ✉ Docente e Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, República Dominicana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7580-7931>. pnunez@diaf.gov.do

² Universidad Autónoma de Santo Domingo, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Escuela de Ingeniería Agronómica, República Dominicana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7580-7931>. diogmestoribio261@gmail.com

³ Universidad Autónoma de Santo Domingo, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Escuela de Ingeniería Agronómica, República Dominicana. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8491-4523>. campecheabajo57@gmail.com

⁴ Universidad Autónoma de Santo Domingo, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Escuela de Ingeniería Agronómica, República Dominicana. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0359-1787>. victormanuelcuevas55@hotmail.com

⁵ Investigador Máster de la Sede Tunja, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1217-6877>. vpulido@agrosavia.co

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), es un arbusto silvestre perenne perteneciente a la familia Euphorbiaceae, compuesta por 7 200 especies. Originaria de América del Sur, su domesticación se remonta 5 000 años atrás, y se cultiva extensivamente en zonas tropicales y subtropicales, específicamente a latitudes menores de 30 grados y altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 1 800 m (Chávez et al., 2021). De interés comercial en más de 90 países, da subsistencia a unos 500 millones de personas del trópico y subtropico (Beecham et al., 2023).

Su importancia radica en la diversidad de sus usos, ya que sus raíces y hojas pueden ser utilizadas para el consumo humano o animal, y se pueden obtener almidón y alcohol para la industria (Chávez et al., 2021). Es considerada la cuarta fuente de energía más importante de las regiones tropicales del mundo (Beecham et al., 2023), únicamente antecedida por el maíz, caña de azúcar y el arroz (Chávez et al., 2021), aporta carbohidratos y calorías a millones de personas en el trópico (Barrera et al., 2020).

León y Galvis (2022), en la guía técnica para la producción de yuca, señalan que en la República Dominicana: la yuca «...es un producto de amplio consumo. Su producción ocupa el primer lugar dentro del grupo de raíces y tubérculos. Se siembra anualmente un área aproximada de 20 400 hectáreas, de las cuales se dedica hasta un 90 % para el consumo fresco y el restante para procesamiento y alimentación animal. La mayor área sembrada se ubica en las provincias Espaillat, La Vega y Hermanas Mirabal. La producción de casabe, un tipo de pan ácimo, se realiza en aéreas marginadas de la cordillera Central, en Santiago Rodríguez y Dajabón».

En estudio realizado por Valdez y Hernández (2014), en la región Norte del país, encontraron que tanto la aplicación de fertilizante foliar como la aplicación de fertilizante granulado al suelo incrementan los rendimientos. Estos con la aplicación de fertilizantes foliares del grupo de los aminoácidos, obtuvieron rendimiento de 30 240 kg ha⁻¹, con sales foliares de 28 800 kg ha⁻¹ y con fertilizante granulado al suelo (15-6-25-12-Zn) de 38 000 kg ha⁻¹. El tratamiento no fertilizado (testigo) produjo rendimiento de 20 160 kg ha⁻¹.

De su lado Santana y Bonilla (1994) realizaron una investigación en la zona de Mao, cordillera Central.

Obtuvieron el mayor rendimiento de 46 389.68 kg ha⁻¹ con la aplicación de 200 kg de P₂O₅ ha⁻¹ en dos momentos. El menor costo de producción fue el testigo con 6 360.00 DOP (USD 192.73, pesos dominicanos, equivalentes a 1 USD = 33 DOP, tasa de 1994), y el mayor el tratamiento de 300 kg ha⁻¹ P₂O₅ con 10 648.70 DOP (USD 322.69).

La producción nacional de yuca enfrenta limitaciones de tipo tecnológico, tales como, baja productividad y calidad, altos costos de producción, uso irracional de insumos, manejo agronómico inadecuado, entre otros. Estas limitaciones tecnológicas afectan los productores del Cibao Central (La Vega, Espaillat y Hermanas Mirabal), donde tradicionalmente se produce la mayor cantidad de yuca destinada a los mercados. Además, la ausencia de asesoría técnica a los productores del cultivo de la yuca con relación a la aplicación de fertilizantes, posiblemente contribuya a que estos apliquen dosis equivocadas al cultivo, lo que puede traer como consecuencia menor rendimiento y calidad. Esto podría ocasionar pérdidas económicas a los productores y el terreno perdería potencialidad productiva. Además, la falta de una sistemática política de investigación en el cultivo de la yuca en los diferentes aspectos tecnológicos, principalmente en la fertilización ha podido contribuir a que los productores no dispongan de informaciones tecnológicas sobre el aumento de la productividad de la yuca con un buen uso de los fertilizantes. Por esta razón, se realizó esta investigación del efecto de diferentes modalidades de aplicación de fertilizantes sobre el desarrollo, rendimiento, calidad y rentabilidad del cultivo de la yuca negrita (*Manihot esculenta* Crantz) en La Vega, República Dominicana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

Se llevó a cabo en la estación experimental de Sabaneta del Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), ubicado en la sección de Sabaneta, provincia La Vega. Hay una precipitación media anual de 1 457.4 mm/año, altitud de 100 m s.n.m. y temperatura media anual de 26.3 °C (Cámara La Vega, 2024), en suelos de orden de los vertisoles.

Metodología

Se utilizó una superficie territorial de una tarea (629 m²), la cual presenta suelos con drenajes pobre a

imperfectos, de textura arcilloso - limosa en superficie y arcillosa intensamente moteada a poca profundidad. Estos suelos son planos, con pendiente inferior al 1 %, se anegan fácilmente en épocas lluviosas, poco permeables, que en épocas de sequías se agrietan profundamente. Presenta una capacidad de intercambio de cationes efectiva dentro de los niveles deseables de 19.12 meq 100 g⁻¹ de suelo, por lo que

se considera que tiene una fertilidad natural buena. Contenido de potasio bajo (0.09 meq 100 g⁻¹), calcio adecuado (46.47 meq 100 g⁻¹), magnesio muy alto (52.28 meq 100 g⁻¹) y materia orgánica adecuada (4.36 %). El zinc, el hierro y el manganeso se presentan bajos (0.80, 19.99 y 1.19 ppm respectivamente), junto al fósforo: 4.59 ppm (Almonte et al., 2011). El suelo es Vertisol (Figura 1).



Figura 1. Perfil de suelo de finca de Sabaneta del IDIAF, donde fue instalado el experimento.

Manejo del cultivo

Previo a la siembra se realizó un análisis del suelo. La preparación de suelo se efectuó con tracción mecánica, mediante un corte con arado, cruce, rastra y mureo (Figura 2A). La siembra se hizo usando esquejes de 5 a 7 yemas. Se colocó un esqueje por postura, en posición horizontal a unos 10 cm de

profundidad (Figura 2B y 2C). El marco de plantación fue de dos hileras encima del muro (2.3 m) y 0.6 m entre planta (Espitia et al., 2022) y las recomendaciones de Valdez y Hernández (2014), con relación a la fertilización del cultivo en la Región Norcentral, República Dominicana. La siembra manual se realizó el 2 de noviembre 2015 y la cosecha el 2 de noviembre de 2016 con un ciclo de un año.



Figura 2. Manejo del cultivo experimental, preparación de terreno para la siembra (A); proceso de germinación de las estacas de yuca (B); plantas de yuca en crecimiento (C); proceso de inyección de fertilizantes al cultivo de yuca (D).

El control de maleza fue químico y manual, utilizando pre emergente y pos emergente al momento de la siembra y cuatro meses posterior a ella, respectivamente. El control manual se realizó en los tres primeros meses de desarrollo del cultivo. El control de plagas se realizó de acuerdo con previo monitoreo y se utilizó el producto recomendado por investigadores del Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), según la plaga identificada. La aplicación del fertilizante granulado se realizó en dos momentos: entre los 45 a 60 días después de la siembra (dds) y entre los 90 a 120 dds (Espitia et al., 2022). Los abonos foliares (sales y aminoácidos), se aplicaron a los 30, 45, 60 dds y luego mensualmente hasta los 10 meses (Espitia et al., 2022; Valdez y Hernández, 2014), utilizando bomba mochila de cono en las tres primeras aplicaciones y luego bomba motorizada (Figura 2D). Para el abono soluble en drenes, se aplicó a los mismos momentos que los foliares con una bomba mochila sin porta boquilla. El abono soluble inyectado se aplicó en los mismos momentos que el foliar con un equipo especializado para tales fines. La cosecha se realizó manualmente.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro bloques y seis tratamientos para un total de 24 unidades experimentales. La fertilización o diseño de los tratamientos fue realizada en base a lo recomendado por Espitia et al. (2022) y Valdez y Hernández (2014). Los tratamientos fueron: T1: Testigo absoluto, sin aplicación de fertilizantes; T2: Fertilizante químico NPK granulado al suelo (Figura 3A). Se realizó en tres aplicaciones, a los 45, 70, 118

dds (dosis 15-6-25+Zn = 700 g de NPK); T3: Foliar de sales (Figura 3B). Consistió en siete aplicaciones: se realizaron tres aplicaciones a los 40, 60 y 80 dds (13-37-10+Zn). Se aplicó 500 g de NPK/litro de agua. Las otras cuatro aplicaciones fueron a los 118, 160, 200 y 274 dds. Se utilizó la fórmula 13-37-10+Zn. Se aplicó 500 g de NPK/litro de agua; T4: Abono foliar aminoácidos. Consistió en siete aplicaciones: Se realizaron dos aplicaciones a los 40 y 60 dds con Inicium+Terrasorbcomplex+amino quelant-Zn en dosis de cinco cm³ por litro de agua para cada uno. Una tercera aplicación a los 80 dds con Inicium+Terrasorbcomplex+amino quelant-Zn en dosis de 10 cm³ por litro de agua para cada uno. Una cuarta aplicación a los 118 dds con Inicium+Terrasorbcomplex+amino quelant-Zn en dosis de 15 cm³ por litro de agua para cada uno. La quinta a los 160 dds con Terrasorbcomplex en dosis de 20 cm³ por litro de agua⁻¹, y la sexta y séptima aplicación a los 200 y 275 dds con amino quelant-K en dosis de 25 cm³ por litro de agua⁻¹; T5: Fertilizante soluble en drench (Figura 3C). Consistió en cuatro aplicaciones: dos aplicaciones a los 40 y 60 dds con la fórmula 15-6-25 NPK+1 Zn en drench con dosis de 28.34 g por litro de agua. La tercera y cuarta aplicación a los 180 y 275 dds con la fórmula 15-6-25 NPK+1 Zn en dren con dosis de 425.24 g por litro de agua⁻¹; T6: Fertilizante granulado NPK+Zn disuelto en agua e inyectado al suelo. Se realizaron tres aplicaciones: a los 40 dds con la fórmula 15-6-25 NPK+1 Zn inyectado al suelo con dosis de 227 g por litro de agua⁻¹. La segunda y tercera aplicación se realizó a los 60 y 180 dds con la fórmula 15-6-25 NPK+1 Zn inyectado al suelo con dosis de 1 275 g por litro de agua⁻¹. La fertilización se realizó con bomba motorizada o con bomba mochila (Figuras 2D y 3D).



Figura 3. Aplicaciones experimentales, aplicación de NPK a los tres meses (A); aplicación de abono foliar (B); aplicación de fertilizante en drench (C); aplicación motorizada de fertilizantes en el cultivo de yuca (D).

Variables y parámetros medidos

Se determinaron: índice de mortalidad y supervivencia de las plantas de yuca, en términos porcentuales; rendimiento (kg ha⁻¹), comercial y no comercial; diámetro de tallo de 4 cm (Figura 4A) y longitud de 12 cm), haciendo una cosecha de las áreas experimentales (Figura 4B) y estimando el rendimiento por tratamiento; altura de planta (Figura 4C); se tomó mensualmente a partir del cuarto mes hasta los ocho meses, desde el nivel del suelo hasta el cogollo del

tallo de mayor altura. Se tomó la medida de 10 plantas por tratamiento. Esta variable se midió con un pie rey; diámetro del tallo (cm) a partir del cuarto mes hasta los ocho meses se tomó las medidas de 10 plantas por tratamiento (Figura 4D); relación beneficio/costo: se llevó un registro de gastos por tratamiento de los costos variables (fertilización); número de raíces por plantas; peso de raíces por plantas; diámetros comerciales por plantas y longitud de las raíces; e incidencia de malezas.



Figura 4. Variables y parámetros medidos, medición de diámetro de raíces de yuca (A); cosecha de raíces de yuca en campo (B); medición de altura de plantas (C); medición del grosor del tallo (D).

Análisis estadístico

A los datos obtenidos de cada variable se le realizó análisis de varianza y comparación de medias de Duncan al 5 %, Error tipo III, así como coeficiente de variación, usando el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de supervivencia y mortalidad del cultivo

La mayor supervivencia promedio de las plantas se produjo en T6, con un 98.53 %, y la menor en T1, con 92.63 % (Tabla 1). Los métodos de fertilización aplicados no afectaron significativamente la supervivencia de la yuca ($p = 0.4673$; coeficiente de variación de 5.25 %), pues la supervivencia en edad temprana depende más de condiciones climáticas y de riego y no de la fertilización, esta no dependió directamente de los tratamientos, sino de las condiciones climáticas, del material de siembra y del manejo de la plantación y en el caso de la mortalidad tampoco hubo diferencias estadísticas ($p = 0.4673$). La mayor mortalidad de las plantas ocurrió en T1 con un 7 % aproximadamente y la menor en T6 con 1.48 % (Tabla 1). Los métodos de fertilización no afectaron

significativamente la mortalidad de yuca ($p = 0.4673$; coeficiente de variación de 26 %), por las razones explicadas para la supervivencia.

Tabla 1. Supervivencia y mortalidad de plantas de yuca a los 12 días, variedad negra.

Tratamiento	Índice de supervivencia promedio de plantas (%)	Índice de mortalidad promedio de plantas (%)
T1	92.63 a	7.38 a
T2	95.58 a	4.43 a
T3	97.05 a	2.95 a
T4	97.05 a	2.95 a
T5	92.63 a	7.38 a
T6	98.53 a	1.48 a
Total	573.45	26.55 a
Promedio	95.58	4.42
CV (%)	5.25	26.00

T1 = testigo absoluto; T2 = fertilizante químico NPK granulado al suelo; T3 = fertilizante foliar con sales; T4 = fertilizante foliar aminoácidos; T5 = fertilizante soluble en dren; T6 = fertilizante soluble inyectado al suelo. Letras diferentes entre valores de una misma columna indican diferencias estadísticas. Prueba de comparación de Duncan Alfa al 5 %, error 25.14.

La elevada supervivencia del material vegetal sembrado en el campo evitó gastos por resiembra, facilitó el control de las plantas indeseables y un mayor aprovechamiento del área de cultivo. Estos resultados

pueden atribuirse a que se trasplantaron con el sustrato en el cual crecieron durante la fase de climatización, con un sistema radical y foliar desarrollado. Esto les permitió resistir mejor las condiciones de escasa humedad y altas temperaturas bajo las cuales se plantó el experimento (Espitia et al., 2022).

La mortalidad se refiere a la capacidad de la planta para su conservación, desarrollo, crecimiento y reproducción (Guide et al., 2016). La mortalidad se reduce y se compensa con la alta absorción de nutrientes, con el objetivo de acelerar el desarrollo vegetativo de las plantas y evitar altos índices de mortalidad. Con el objetivo de reducir la mortalidad de las plantas, se adelantó la fertilización del cultivo, conforme a lo sugerido por Pilaquinga (2007).

Desarrollo de la planta de yuca negra

Altura de la planta de yuca

Los métodos de fertilización afectaron significativamente la altura de la planta de yuca ($p = 0.0056$; coeficiente de variación de 2.04 %). La mayor altura promedio se obtuvo con T2, con 189.7 cm, y es estadísticamente superior a los demás tratamientos. La menor altura la presentó T1 con 177.6 cm, y estadísticamente inferior a los demás tratamientos; mientras que T3, T4 y T5 con 182.3, 180.3 y 180.7 cm, respectivamente, resultaron iguales entre sí, e inferiores estadísticamente a T2, pero superiores estadísticamente a T1 (Figura 5).

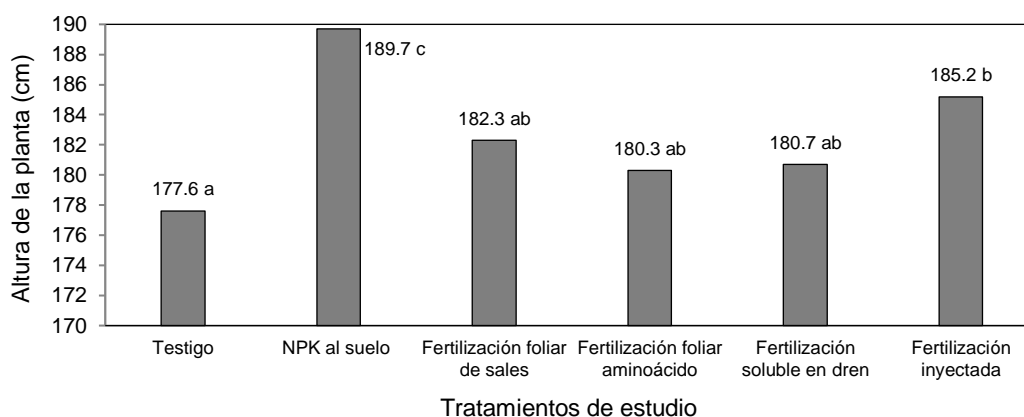


Figura 5. Media de la altura de la planta de yuca por tratamiento. T1 = testigo absoluto; T2 = fertilizante químico NPK granulado al suelo; T3 = fertilizante foliar con sales; T4 = fertilizante foliar aminoácidos; T5 = fertilizante soluble en drench; T6 = fertilizante soluble inyectado al suelo. Letras diferentes entre valores de las columnas indican diferencias estadísticas. Prueba de comparación de Duncan Alfa al 5 %.

Estos resultados guardan relación con lo que indica Espitia et al. (2022): la yuca se adapta a condiciones desde el nivel del mar hasta 2 000 m s.n.m. Sin embargo, para explotaciones rentables, con bajos costos de producción, se debe cultivar en terrenos donde la mayor cantidad posible de labores puedan ser mecanizadas. Los suelos óptimos para la yuca son suelos francos, ricos en potasio, aunque crece bien en suelos de fertilidad media y baja, y con buen drenaje interno cuyo pH sea entre 5.2 y 6.5.

Díámetro (grosor) del tallo de la planta de yuca

Al carácter del grosor del tallo se le ha asociado el alto rendimiento en raíces de reserva (Rodríguez et al., 2021). Los métodos de fertilización afectaron significativamente el grosor del tallo de la planta de yuca ($p = 0.0047$; coeficiente de variación de 3.10 %). El mayor grosor promedio se obtuvo con T5: 2.77 cm, y los menores con T1, T3, T4 y T2: 2.51, 2.58, 2.58 y 2.54 cm, respectivamente, sin diferencias estadísticamente significativas (Figura 6).

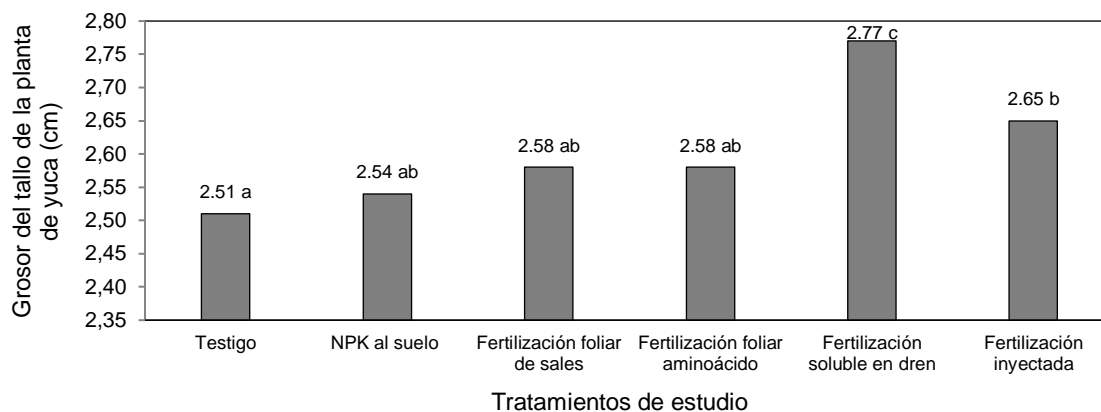


Figura 6. Diámetro (grosor) del tallo de la planta de yuca (cm). T1 = testigo absoluto; T2 = fertilizante químico NPK granulado al suelo; T3 = fertilizante foliar con sales; T4 = fertilizante foliar aminoácidos; T5 = fertilizante soluble en drench; T6 = fertilizante soluble inyectado al suelo. Letras diferentes entre valores de las columnas indican diferencias estadísticas. Prueba de comparación de Duncan Alfa al 5 %.

Rendimiento y productividad de la yuca

Los métodos de fertilización afectaron significativamente el rendimiento de yuca ($p < 0.0001$; coeficiente de variación de 3.3 %). El tratamiento cinco resultó estadísticamente superior a los demás

tratamientos del estudio con rendimiento promedio de yuca de $18\ 800\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$, mientras que T2 con rendimiento de $17\ 700\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$ y T6 con rendimiento promedio $17\ 750\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$ resultaron estadísticamente iguales entre sí, pero superiores a T1 ($16\ 150\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$), T3 ($15\ 600\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$) y T4 con $15\ 500\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$ (Figura 7).

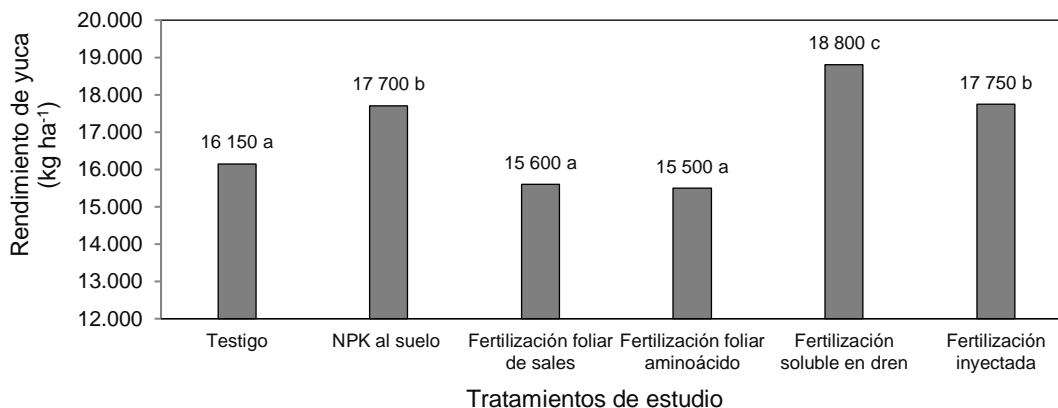


Figura 7. Rendimiento promedio de cultivo de la yuca por tratamiento ($\text{kg}\ \text{ha}^{-1}$). T1 = testigo absoluto; T2 = fertilizante químico NPK granulado al suelo; T3 = fertilizante foliar con sales; T4 = fertilizante foliar aminoácidos; T5 = fertilizante soluble en drench; T6 = fertilizante soluble inyectado al suelo. Letras diferentes entre valores de las columnas indican diferencias estadísticas. Prueba de comparación de Duncan Alfa al 5 %.

Estos datos coinciden con los obtenidos por Valdez y Hernández (2014), donde en estudio realizado en el Cibao Central encontraron que la aplicación de fertilizante foliar y la aplicación de fertilizante granulado al suelo, incrementaron significativamente los rendimientos. Estos obtuvieron rendimiento promedio de yuca fresca de $20\ 875\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$ y $30\ 125\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}$. Probablemente esa respuesta a la fertilización se debió a que el potasio, aunque estos suelos son de fertilidad natural buena, se presentan en suelos por debajo de los niveles deseables (menos de $0.3\ \text{meq}\ 100\ \text{g}^{-1}$ de suelo).

Calidad física de las raíces de la yuca

Longitud de las raíces de la yuca

Los métodos de fertilización afectaron significativamente la longitud de las raíces de la planta de yuca ($p = 0.0052$; coeficiente de variación de 5.71 %). La mayor longitud promedio de raíces se obtuvo en T6 y T4 con 24.05 y 22.87 cm, respectivamente, y las menores en T1 y T5 con 20.23 y 20.53 cm, respectivamente, sin diferencias estadísticamente significativas (Figura 8).

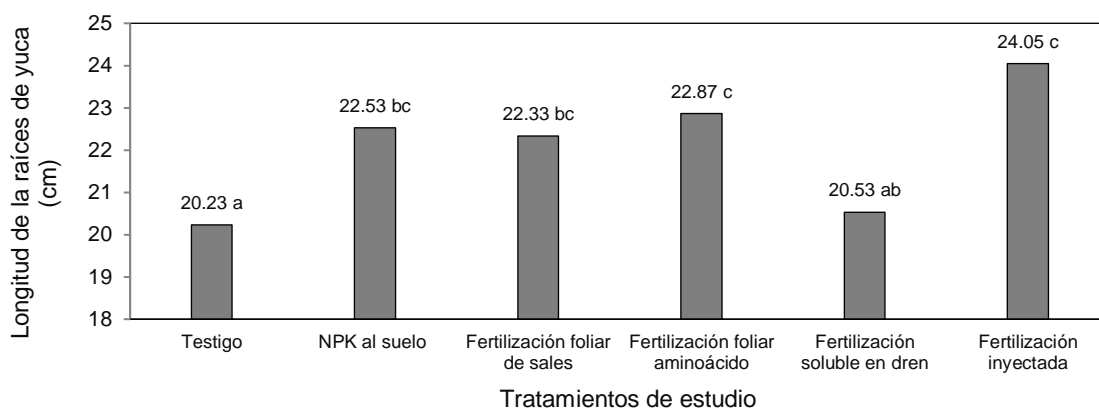


Figura 8. Longitud promedio de las raíces del cultivo de la yuca por tratamiento (cm). T1 = testigo absoluto; T2 = fertilizante químico NPK granulado al suelo; T3 = fertilizante foliar con sales; T4 = fertilizante foliar aminoácidos; T5 = fertilizante soluble en dren; T6 = fertilizante soluble inyectado al suelo. Letras diferentes entre valores de las columnas indican diferencias estadísticas. Prueba de comparación de Duncan Alfa al 5 %.

Diámetro de las raíces de la yuca

Los métodos de fertilización afectaron significativamente el diámetro de las raíces de la planta de yuca ($p = 0.0018$; coeficiente de variación de 3.44%

Los mayores diámetros se obtuvieron en T6, T5, T1 y T3 con 5.31, 5.19, 5.15 y 5.10 cm, respectivamente, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos, y superiores a T2 y T4 con 4.71 y 4.86 cm, respectivamente (Figura 9).

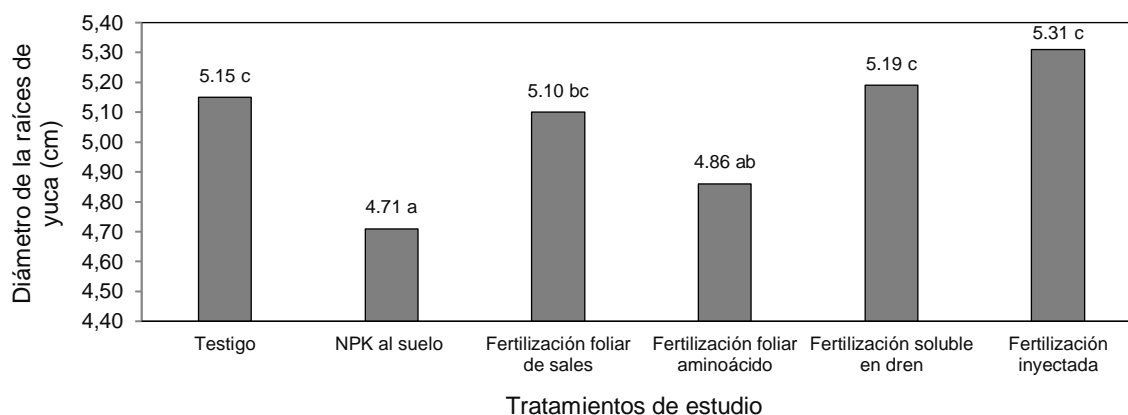


Figura 9. Diámetros promedios de las raíces de yuca por tratamiento (cm). T1 = testigo absoluto; T2 = fertilizante químico NPK granulado al suelo; T3 = fertilizante foliar con sales; T4 = fertilizante foliar aminoácidos; T5 = fertilizante soluble en dren; T6 = fertilizante soluble inyectado al suelo. Letras diferentes entre valores de las columnas indican diferencias estadísticas. Prueba de comparación de Duncan Alfa al 5 %.

Rodríguez et al. (2021), reportan un efecto de las condiciones edafoclimáticas sobre el diámetro de las raíces. El rendimiento de raíces por planta suele ser de 1-3 kg, pudiendo llegar en óptimas condiciones hasta 5-10 kg planta⁻¹ (Fretes, 2010).

Es notorio que sea el método de fertilización, que afecte significativamente el diámetro de raíces de yuca, y no otras variables agronómicas como constató Santiago et al. (2022) en un estudio que además involucró densidades de siembra como posible factor de variación sobre las variables agronómicas. Es decir,

el rendimiento de yuca en harina seca es afectado por la disponibilidad de nutrientes durante el engrosamiento de las raíces, y no por otras variables como la competencia por espacio. Por ello, asegurar la mayor biodisponibilidad de elementos mayores en el momento adecuado es crucial para elevar la productividad sin detrimento del manejo del cultivo en su zona superior.

Así, este estudio corrobora los hallazgos de Editor et al. (2009), Santiago et al. (2022), Rodríguez et al. (2021) y Valdez y Hernández (2014), donde factores culturales de siembra como el diseño de cultivo, el sistema de

siembra, la distancia de siembra, el tipo de labranza, afectan las variables que atañen a la parte superior de la planta como la altura, el diámetro del tallo, el número de hojas, pero no a aquellas que tienen que ver con el desarrollo de las raíces. Sobre estas últimas, el factor de variación principal es la disponibilidad de nutrientes durante el crecimiento, por lo que tanto la concentración como el método de administración de los elementos mayores al suelo son determinantes, tal como queda soportado en este estudio.

Análisis de la rentabilidad económica

Los ingresos marginales en los tratamientos T3, T2 y T6 resultaron negativos dado que los costos resultaron mayores que el ingreso neto (Tabla 2). Por lo tanto, estos tratamientos se consideran dominados, y no se tomaron en cuenta para el análisis económico o tasa marginal de retorno.

Tabla 2. Análisis marginal de ingresos y costos*.

Tratamiento	Costos variables (DOP)	Costos marginales (DOP)	Ingresos netos (DOP)	Ingresos marginales (DOP)
T1	0	0	7970.00	-
T5	296.34	296.34	8228.66	258.66
T3	555.67	259.33	8129.33	-99.33 D
T2	586.06	30.39	7173.94	-955.39 D
T6	661.06	75.00	6963.94	-210.00 D
T4	1545.63	884.57	8149.37	1185.43

* Todos los valores de la tabla fueron calculados en pesos dominicanos (DOP), la tasa de cambio fue de 1 USD = 45.954 DOP, 2016. T1 = testigo absoluto; T2 = fertilizante químico NPK granulado al suelo; T3 = foliar de sales; T4 = abono foliar aminoácidos; T5 = abono soluble en dren; T6 = abono soluble inyectado al suelo. D = dominado.

Con T5 se obtuvo la mayor tasa de retorno marginal con un 87.28 %. Esto equivale a que por cada peso dominicano invertido se obtienen beneficios de 87.28 DOP. Esto indica que T5, aunado al mayor rendimiento, representa la mejor alternativa económica

dentro de los tratamientos comparados. A la alternativa del tratamiento testigo sin costos adicionales se suma el abono soluble en drench (T5) como técnica y económicamente viable (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de la tasa de retorno marginal de los tratamientos*.

Tratamiento	Costos variables (DOP)	Costos marginales (DOP)	Ingresos netos (DOP)	Ingresos netos marginales (DOP)	Tasa de retorno marginal (%)
T1	0	-	7970.00	-	-
T5	296.34	296.34	8228.66	258.66	87.28
T4	1545.63	884.57	8149.37	-79.29	-6.35

* Todos los valores de la tabla fueron calculados en pesos dominicanos (DOP), la tasa de cambio fue de 1 USD = 45.954 DOP, 2016. T1 = testigo absoluto; T5 = abono soluble en drench; T4 = abono foliar aminoácidos. D = dominado.

CONCLUSIONES

El mayor rendimiento se obtuvo con T5 que alcanzó 18 800 kg ha⁻¹ de yuca fresca. La mayor tasa de retorno marginal de 87.28 % se obtuvo igualmente con T5. Esto indica que la fertilización soluble en drench representa la mejor alternativa evaluada, al tratamiento testigo sin costos adicionales. Mientras el rendimiento de yuca es afectado por la disponibilidad de nutrientes durante el engrosamiento de las raíces, y no por otras variables.

Este estudio corrobora que los factores culturales de siembra como el diseño de cultivo, el sistema de siembra, la distancia de siembra, el tipo de labranza, afectan las variables que atañen a la parte superior de la planta como la altura, el diámetro del tallo, el número de hojas, mientras que para las raíces el factor de

variación principal es la disponibilidad de nutrientes durante el crecimiento. Por lo que tanto, la concentración como el método de administración de los elementos mayores al suelo son determinantes.

Agradecimientos

La investigación fue soportada con fondos internos de las entidades Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias de la Universidad Autónoma Santo Domingo (UASD) e Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). Además, se agradece a los investigadores del IDIAF Juan Valdez Cruz, Aridio Pérez, Isidro Almonte y Elpidio Avilés por sus aportes en el desarrollo de los trabajos de campo y seguimiento técnico.

BIBLIOGRAFÍA

- Almonte, I; Pérez, A; Núñez, P. 2011. Caracterización de los suelos de la finca experimental de Sabaneta para la siembra de cacao (*Theobroma cacao*). Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Centro Norte, La Vega, República Dominicana (sp). 21p.
- Barrera, ADP; Soto-Sedano, J; López Carrascal, CE. 2020. Identificación de polimorfismos en el gen *rxam1* de yuca y su asociación con la resistencia a la bacteriosis vascular (en línea). Acta Biológica Colombiana, 25(2):185-193. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/download/77564/pdf/431704>
- Beecham, P; Sukhna, R; Zalguero-Rubio, Z; Menéndez-Álvarez, E; Rodríguez-Alfonso, D. 2023. La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), alimento base de pobladores en Guyana (en línea). Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu, 10(1):05-15. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/367523165_La_yuca_Manihot_esculenta_Crantz_alimento_base_de_pobladores_en_Guyana
- Camara La Vega (Cámara de comercio y producción de La Vega). 2024. Información de La Vega: Economía, Grupos étnicos, Regiones, Atractivos Turísticos (en línea). Cámara de Comercio y Producción de La Vega. Disponible en <https://camaralavega.org.do/la-vega/>
- Chávez, IFH; Basantes, AIR; Moína, HLB. 2021. Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) (en línea). Dominio de las Ciencias, 7(1):216-232. Disponible en <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1701>
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, W. 2008. InfoStat, versión 2018, Grupo InfoStat, FCA (en línea). Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/319875366_Grupo_InfoStat_FCA_Universidad_Nacional_de_Cordoba_Argentina
- Editor, R; Silva-Acuña, E; Barrios, R; Mark, D; Coa, P; López, L; Fariñas, J; Sanabria, D; Marcano, M. 2009. Influencia de dos sistemas de labranza y profundidades de siembra sobre características agronómicas de la yuca en sabanas bien drenadas del estado Monagas (en línea). Agronomía Tropical, 59(4):373-379. Disponible en http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000400002&lng=es&tlng=es
- Espitia, AA; Pérez, S; Regino, SM; Támara, RE; García, JL; Martínez, RR; García, JA. 2022. Manual para la producción y escalamiento de semilla de yuca (*Manihot esculenta*) de calidad (en línea). AGROSAVIA. Mosquera, Colombia. 78p. Disponible en <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/book/296>
- Fretes, F. 2010. Plantas medicinales y aromáticas una alternativa de producción comercial (en línea). Agencia del Gobierno de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Programa Paraguay Vende. Disponible en <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1006489>
- Guide, A; Soares, A; Itimura, RB; Alves, S. 2016. Entomopathogenic nematodes in the control of cassava root mealybug *Dysmicoccus* sp. (Hemiptera: Pseudococcidae) (en línea). Revista Colombiana de Entomología, 42(1):16-21. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882016000100004&lng=en&tlng=en
- León, JL; Galvis, A. 2022. Plan de marketing internacional para exportación de yuca desde República Dominicana hacia los Estados Unidos de América (en línea). Universidad Autónoma de Occidente. Santo Domingo, República Dominicana. Disponible en <https://red.uao.edu.co/entities/publication/5e7ba935-a4d3-4314-97a8-cccd422f86d6>
- Pilaquinga, LA. 2007. Evaluación de 31 clones promisorios de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) para la agroindustria, en condiciones in vitro y en el sistema autotrófico hidropónico (en línea). Tesis para optar por el título de Ingeniero agrónomo, Ecuador, 76 p. Disponible en https://books.google.com/books/about/EVALUACION_DE_31_CLONES_PROMISORIOS_DE_Y.html?id=E1QgAgAAQBAJ&hl=en&output=html_text
- Rodríguez, E; Garavito, LV; Osorio, Ó; Aguilera, GA; Cañar, DY. 2021. Manual técnico para la propagación masiva de semilla vegetativa de yuca por miniestacas en campo (en línea). AGROSAVIA. Mosquera, Colombia. 60p. Disponible en <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/book/232>
- Santana, FT; Bonilla, F. 1994. Estudio de la fertilización fosfatada en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en la zona de Mao. Tesis para optar al grado de Ingeniero agrónomo, Universidad Autónoma de Santo Domingo. 26p.
- Santiago, A; Procópio, S; Ferreira, C; Braz, G. 2022. Reduction of interrow spacing in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) production (en línea). Revista de Ciencias Agrícolas, 39(1):42-54. Disponible en <https://doi.org/10.22267/rcia.223901.170>
- Valdez, J; Hernández, F. 2014. Guía técnica para la producción de yuca (en línea). Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). Santo Domingo, República Dominicana. Disponible en <https://wp.sodiaf.org.do/publicaciones/wp-content/uploads/2023/02/Gua-Tcnica-para-la-Produccion-de-Yuca.pdf>

Artículo recibido en: 15 de octubre del 2024
Aceptado en: 13 de diciembre del 2024