

Evaluación de la fertilización inorgánica en el cultivo de yuca en la región norte de Costa Rica

Evaluation of inorganic fertilization in cassava crop in the northern region of Costa Rica

Parménides Furcal-Beriguete¹, Sergio Torres-Portuguez², Wagner Andrade-Carballo³

Fecha de recepción: 20 de octubre del 2014

Fecha de aprobación: 28 de enero del 2015

Furcal-Beriguete, P; Torres-Portuguez, S; Andrade-Carballo, W. Evaluación de la fertilización inorgánica en el cultivo de yuca en la región norte de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 2, Abril-Junio. Pág 84-101.

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Sede San Carlos. Apdo. 223-21001, Alajuela, Ciudad Quesada. Costa Rica. Correo electrónico: pafurcal@itcr.ac.cr

2 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Sede San Carlos. Apdo. 223-21001, Alajuela, Ciudad Quesada. Costa Rica. Correo electrónico: storres@itcr.ac.cr

3 TransUnión S.A. Costa Rica. Correo electrónico: wandrade@transunioncr.com

Palabras clave

Manihot esculenta; materia seca en yuca; fertilización foliar en yuca; fertilización al suelo en yuca.

Resumen

El estudio se realizó en tres fincas, dos de ellas en el cantón de San Carlos, distrito La Fortuna, en suelos de origen volcánico de fertilidad media (finca Pepín) y alta (finca de Sonafluca) y la tercera en el cantón de Los Chiles en suelos del orden ultisol de fertilidad baja (finca Laberinto). El objetivo fue evaluar el efecto de los métodos de fertilización en el cultivo de yuca, variedad Valencia, para obtener la mejor alternativa en rendimiento y la rentabilidad. Se aplicaron cuatro tratamientos: fertilización completa al suelo, fertilización únicamente foliar, combinación de los dos tratamientos anteriores y fertilización común de cada finca, utilizando un diseño irrestricto al azar con cuatro repeticiones. Las fertilizaciones se hicieron antes de los cinco meses de edad para cubrir las fases de mayor absorción de nutrimentos. Los resultados obtenidos en finca Pepín mostraron un p-valor $< 0,05$ en materia seca de raíz a la cosecha, en el rendimiento de yuca de primera calidad y en la concentración de algunos elementos en las hojas a favor del tratamiento testigo, con un rendimiento de 16,1 t/ha. En la finca de Sonafluca, el testigo presentó el mayor rendimiento, con 20,85 t/ha; tanto en ésta como en la finca Laberinto hubo diferencias en materia seca a los seis meses de edad. Se concluye que el tratamiento solo foliar (usado comúnmente por pequeños productores) es el más económico, mientras que el testigo (aplicación de fertilizantes al suelo y a las hojas acorde con cada productor) fue el que obtuvo mejores rendimientos.

Keywords

Manihot esculenta; cassava dry matter; foliar fertilization in cassava; soil fertilization in cassava.

Abstract

The study was done in three farms, two of which are located in the canton of San Carlos, district La Fortuna, in volcanic origin soils with moderate fertility (farm Pepin) and high fertility (farm Sonafluca) and the other in the canton of Los Chiles in ultisols soils of low fertility (farm Laberinto). The objective of this study was to evaluate the effect of methods fertilization on cassava crop, Valencia variety, to obtain for the best alternative in yield and profitability. Four treatments were applied: complete soil fertilization, foliar fertilization only, combination of these two treatments and common fertilization on each farm, using an unrestricted random design with four replications. Fertilizations were made before the five months of age to cover the phases of increased absorption of nutrients. The results obtained in farm Pepin showed p-valor $< 0,05$ in root dry matter at harvest, in first quality cassava and the concentration of some elements in the leaves for the control treatment, this produced the best yield with 16.1 t / ha. In the farm of Sonafluca, the control showed the highest yield with 20.85 t / ha; there were differences in this farm as in Laberinto in dry matter at six months of age. We conclude that the only foliar treatment (commonly used by small producers) is the most economical, while the control (application of fertilizers to soil and leaves according to each producer) was the best yield.

Introducción

La yuca se cultiva y consume a escala mundial en los países tropicales y subtropicales. Dentro del gran mercado mundial de este cultivo, Costa Rica, con 11800 ha sembradas, aparece en el sexto lugar en la exportación del producto, con una participación del 2% entre 2008 y 2011 (MAG, 2012), colocando más de 80000 toneladas por año. En 2011 ocupó el segundo lugar en variación porcentual en el área sembrada de cultivos agrícolas en el país, con una producción de 195100 t, por ello se posicionó en un cuarto lugar en la producción agrícola de Costa Rica. Estas cifras hacen que la yuca sea una alternativa, entre los cultivos no tradicionales, para los agricultores de la región Huetar Norte y Atlántica, principales zonas productoras de esta raíz.

Se considera que la yuca es una planta de aprovechamiento integral, ya que sus raíces y hojas son fuentes de carbohidratos y proteínas. Las raíces se utilizan de diferentes formas en la alimentación humana y como complemento de concentrados en la dieta de animales; además se emplea como materia prima en la industria con gran variedad de productos (almidón industrial, alcohol carburante, gomas y adhesivos, entre otros) (Cadavid, 2008). La raíz de esta planta está entre las más eficientes productoras de carbohidratos; respecto a los demás cultivos ocupa el cuarto lugar como fuente energética, después del maíz, el arroz y la caña de azúcar. Según Mejía de Tafur (2002), esto hace a la yuca una especie de mucho valor socioeconómico para los agricultores y consumidores de bajo alcance económico en países tropicales y subtropicales.

El principal problema de la actividad productiva de yuca en el país es que se ha industrializado muy poco y los rendimientos se han reducido a través de los años. En 2008 solo había dos industrias registradas en la producción de almidón y hojuelas (INFOAGRO, 2009), de manera que la expansión podría darse con mejor tecnificación a nivel de campo y la industrialización del producto.

La fertilización en este cultivo ha sido objeto de varios trabajos en distintas partes del mundo, en diferentes tipos de suelos y condiciones climáticas, encontrándose resultados tan disímiles que no concluyen en una técnica exclusiva. Se observa, además, que no existen suficientes investigaciones de publicación reciente que reporten trabajos en que las fertilizaciones se ajusten al crecimiento y absorción de nutrimentos del cultivo (Cenoz et al., 2000). El manejo de la fertilización no siempre cubre las necesidades del cultivo y en otras ocasiones se aplican fertilizantes en forma muy desbalanceada y fuera de las épocas de mayor necesidad. López (2002), Mejía de Tafur (2002), De Diego y Quirós (2006) y Cadavid (2008) concuerdan en que el cultivo de la yuca empieza su absorción a partir de los 30 días después de la siembra (DDS). Del mismo modo, Cadavid (2002), De Diego y Quirós (2006) y Cadavid (2008) mencionan que la planta logra un incremento en acumulación de nutrimentos después de los dos meses, con una extracción máxima entre los 120 y 150 DDS, que coincide con la más alta tasa de acumulación de materia seca. A partir de los cinco meses, la tasa de absorción desciende en la mayoría de los nutrimentos. Este comportamiento, que marca diferentes etapas fisiológicas del cultivo, es importante para establecer programas de fertilización (entre los 30 y 150 DDS) (Furcal et al., 2009).

En Costa Rica, la fertilización de la yuca es muy diversa, posiblemente esta variabilidad en el manejo de la fertilización entre otras técnicas importantes en el manejo del cultivo, como control de plagas y selección de semilla es la que incide para que se presenten rendimientos desde muy bajos (≤ 10 t/ha) hasta muy buenos (≥ 40 t/ha) entre los productores. Los programas de fertilización manejados en el país van desde la fertilización exclusivamente foliar -practicada mayormente por pequeños productores- y la combinación vía foliar y al suelo, hasta diversas formas de fertilización al suelo. Dichas técnicas no siempre cubren las necesidades del cultivo cuando se siembra en suelos de fertilidad baja y en otras ocasiones se aplican en forma muy desbalanceadas, lo que atenta contra el rendimiento sostenible y la rentabilidad del cultivo.

Las inquietudes anteriores, además de las estadísticas sobre la importancia socioeconómica del cultivo en el sector agrícola de la región norte del país, guiaron la necesidad de plantear este experimento, sustentado en las investigaciones sobre las fases vegetativas de mayor necesidad nutricional de la yuca, pero sin certeza de en cuál órgano de la planta deben aplicarse los fertilizantes para que se ajusten mejor al nivel de fertilidad de los suelos y a las condiciones climáticas de la zona. De esa forma, se establecieron varios tratamientos, aplicaciones de fertilizantes tanto al suelo como a las hojas del cultivo y la combinación de estos, enmarcados en las diferentes fases fenológicas de mayor absorción de nutrimentos del cultivo, con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización inorgánica en yuca, variedad Valencia, en diferentes fincas, para obtener la mejor alternativa en rendimiento y rentabilidad.

Materiales y métodos

Generalidades y localización

El estudio consistió en la fertilización del cultivo de yuca en tres lugares distintos de la región Huetar Norte de Costa Rica: dos en la Fortuna de San Carlos, uno de ellos en un suelo inceptisol originado por arrastre de materiales volcánicos por los ríos, con fertilidad media, relación catiónica (calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K)) balanceada según los niveles propuesto por Bertsch (1995) y Bertsch y Méndez (2012); y el otro en un suelo andisol con saturación de aluminio de 3,1% y suma de bases de 12,5 cmol(+)/L, lo que le confiere una fertilidad alta (Cubero, 2001 y Núñez, 2001). El tercer lugar se ubica en el cantón de Los Chiles, en un suelo del orden ultisol con fertilidad baja (cuadro 1).

Cuadro 1. Resultados de análisis de suelos correspondientes a las tres localidades donde se instalaron los experimentos. Santa Clara, San Carlos. Enero de 2014.

Lote	pH	cmol(+)/L					mg/L				%		
		Acidez	Ca	Mg	K	SB	P	Cu	Fe	Zn	Co	Mo	Acidez
Fertilidad media													
Inceptisol	5,38	0,32	5,4	1,2	0,34	6,88	5	2	98	1,4	2,35	4,4	4,44
Fertilidad baja													
Ultisol	4,94	0,89	3,6	0,6	0,26	4,48	7	7	280	2,1	2,77	4,78	16,57
	4,99	0,79	3,2	0,9	0,3	4,46	8	6	258	2,6	2,64	4,54	15,05
Fertilidad alta													
Andisol	6,35	0,4	9,1	1,9	1,49	12,5	11	21	125	4,2	2,57	4,43	3,10

Nota: Las unidades están expresadas en base seca. El pH se obtuvo en agua. La determinación de K, P y elementos menores se extrajeron con Olsen Modificado, en tanto el Ca, Mg y acidez extractable con KCl 1M.

El suelo inceptisol de una de las parcelas en estudio se ubica en Los Ángeles de La Fortuna, a una altura de 50 msnm, latitud N 10° 27' 39,919", longitud 84° 33' 45,072". La cantidad de lluvia durante el ciclo del cultivo de 10 meses se estimó en 1755 mm, la temperatura anual promedio fue de 25 °C y la humedad relativa de un 89% en la estación más cercana a 24 km.

El otro lugar en La Fortuna donde se trabajó se ubica en la latitud N 10° 27' 14", longitud 84° 35' 59", a una altura de 136 msnm. La precipitación durante el ciclo del cultivo de 10 meses fue de 2670,3 mm.

En Los Chiles, el ensayo se llevó a cabo en la comunidad de El Parque. La lluvia presente durante el ciclo del cultivo de 12 meses fue estimada en 1335,72 mm, comportándose de manera creciente los tres primeros meses después de la siembra y con buena distribución del cuarto mes en adelante. El promedio anual de precipitación de la zona es de 3000 mm.

Manejo del cultivo

En las tres localidades se utilizó la variedad Valencia, muy usada en el país debido a su aceptación en el mercado internacional. El manejo del cultivo fue el mismo que usó cada finca a nivel comercial, excepto en la aplicación de la nutrición, donde los tratamientos fueron métodos de fertilización distintos. En general, los insumos utilizados en las fincas, excepto la fertilización, fueron los siguientes: para el control de malezas: Fluazifop-p-butyl 12,5 EC, Diuron 80 WP y el herbicida fosfónico: glifosato 35,6 SL, en dosis de 1,2 l/ha, 1,0 kg/ha y 2,0 l/ha, respectivamente. Para el control de ácaros, mosca blanca, trips y áfidos se hizo uso de los insecticidas Lactona, Macroclícica-Abamectina 1,8 EC; Imidacloprid,-Deltametrina 19 OD; Deltametrina-Triazophos 21,2 EC y Dimethoato-Cipermetrina 25 EC, en dosis de 0,15 l/ha, 0,3 l/ha, 1,0 l/ha y 0,5 l/ha, respectivamente. Mientras que para enfermedades se aplicó Oxicloruro de cobre al 85% a 2,5 kg/ha y Carbendazina 50 SC a 0,5 l/ha. El manejo agronómico específico fue el siguiente:

Finca Pepín, suelo inceptisol. La preparación del suelo consistió en dos pases de rastra y un alomillado. La siembra se hizo el 14 de julio de 2012, con postura horizontal (acostada), a 1,5 m entre alomillado y 0,71 m entre plantas (9284 plantas por hectárea) sembradas en hilera simple. Se hizo aplicación de herbicida pre y pos emergente del cultivo y las malezas y control mecánico (tres chapias). El control fitosanitario de plagas o enfermedades se realizó con una aplicación de fungicida a base de cobre (Cu). La fertilización para el tratamiento testigo (testigo comercial) fue la utilizada por la finca a nivel comercial. La fertilización foliar para los tratamientos foliar y completo más foliar fue dirigida con bomba manual de motor a una descarga de 200 l/ha. A nivel comercial, las aplicaciones se hicieron con "Sprayboom". La cosecha se realizó 10 meses después de la siembra.

Finca Laberinto, suelo ultisol. Se utilizaron las mismas camas de la siembra anterior, que no fueron labradas para la siembra hecha el 27 de julio de 2012, en doble hilera separadas 1,8 m sobre las camas y 0,8 m entre plantas, para una densidad de 13888 plantas por hectárea. Se hizo la aplicación del herbicida Glifosato, preemergente respecto al cultivo, además de control mecánico (tres chapias). El control fitosanitario de las plagas presentes se realizó con aplicaciones de insecticidas e insecticidas-acaricidas por presencia de mosca blanca, trips y signos de ácaro, principalmente en el mes de noviembre, donde hubo menos lluvias. La fertilización en el tratamiento testigo fue la misma que realizó la finca a nivel comercial y que se describe en el punto de tratamientos. Las aplicaciones foliares, tanto de plaguicidas como de fertilizantes foliares, se llevaron a cabo con bomba de espalda de motor. Sin embargo, a nivel comercial la finca usa "Sprayboom". La cosecha se realizó 12 meses después de la siembra, pero no fue posible evaluarla por razones operativas y administrativas.

Finca en Sonafluca, suelo andisol. La preparación del suelo consistió en dos pases de rastra y un alomillado. A pesar de la selección de la semilla, en esta finca al momento de la cosecha hubo pérdida por presencia de daños por "cuero de sapo". La siembra se hizo el 24 de enero de 2013, en hilera simple a una distancia entre lomillos de 1,4 m y entre matas de 0,49 a 0,51 m, para una densidad de 14580 plantas por hectárea. Se aplicó herbicida Glifosato preemergente respecto al cultivo y tres chapias como control mecánico de malezas. Para el control fitosanitario de las plagas presentes, se hicieron aplicaciones de insecticidas e insecticidas-acaricidas por presencia de ácaro, mosca blanca y trips, principalmente en el mes de abril, cuando las lluvias fueron muy pocas y las temperaturas altas. La fertilización para el tratamiento testigo fue la

misma que realiza la finca a nivel comercial y que se describe en el punto de tratamientos. La cosecha se realizó en noviembre de 2013, 10 meses después de la siembra.

Tratamientos

En los tres lugares se aplicaron cuatro tratamientos con fertilizantes: tratamiento completo al suelo (TC); tratamiento foliar (TF), en el que solamente se aplicaron abonos vía foliar, tres a cinco aplicaciones con productos iguales o similares a los usados por el productor de la finca; tratamiento completo al suelo más foliares (TCF), el cual consistió en el uso del TC más el TF y el tratamiento testigo (TT), el cual varió según la forma de fertilizar el cultivo por parte de los tres productores de las respectivas fincas, este tratamiento siempre constó de fertilización al suelo más complemento foliar.

El TC fue igual en las tres fincas. Este tratamiento constó de tres aplicaciones de fertilizantes al suelo, basado en 130, 50 y 200 kg/ha de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente: a los 30 días DDS, a los 75 DDS y a los cuatro y medio meses (135 DDS), es decir, a la mitad de la fase de crecimiento y desarrollo que comprende el período desde los 90 a los 180 DDS (Furcal et al., 2009). Las fuentes de estos tres elementos fueron urea y nitrato de amonio como fuentes de N, fosfato monoamónico (MAP) como fuente de P y para suplir el K se usó cloruro de potasio (KCl).

Los tratamientos TF y TT son los que normalmente utilizan los distintos productores en la zona, con variaciones en dosis, productos y frecuencia según criterios personales y la capacidad económica de cada productor. Algunos agricultores utilizan solo foliar con variaciones de la época de aplicación y tipo de producto; esta modalidad la usan principalmente los pequeños y medianos agricultores, otros usan una fertilización al suelo más complemento de tres a seis fertilizaciones foliares, también existen productores que fertilizan dos veces al suelo y aplican complemento con fertilizaciones foliares.

El tratamiento TCF se aplica debido a que se ha observado que el cultivo de yuca extrae una alta cantidad de nutrimentos (Navarro 1983) y su respuesta a un buen manejo y clima apropiado arroja dividendos, tanto en producto comercial como económico, cuando se utilizan semillas seleccionadas y el destino de la producción es la exportación.

Las aplicaciones de los tratamientos TC y TCF se basaron en las etapas fenológicas del cultivo de mayor absorción, según información de estudios realizados por De Diego y Quirós (2006); establecimiento/tuberización, que comprende el período de los 30 a los 90 DDS y en la fase de crecimiento y desarrollo (de 90 a 180 DDS). Los productores aplicaron el TT bajo esos mismos criterios.

A continuación, se detallan los tratamientos TF y TT para cada una de las fincas.

Finca con suelo inceptisol de fertilidad media

Tratamiento foliar (TF). Aplicación de la fertilización solo vía foliar. Las aplicaciones se realizaron con bomba de motor y un volumen de agua de 200 l/ha. Se hicieron tres aplicaciones, a los 74, 95 y 146 DDS, siempre con coadyuvante a la dosis 0,5 l/ha. En la primera aplicación se usaron los productos Protifer K, Pescagro y Metalosato de Ca, Zn y Mg en dosis de 0,5 l/ha, 1,5 l/ha y 1 l/ha para cada uno de los metalosatos. A los 95 DDS se aplicaron Bioplant B 10%, Pescagro y Humimax en dosis de 0,5 l/ha, 1,5 l/ha y 1 l/ha, respectivamente. En la última aplicación se usaron Bioplant B 10%, Pescagro y Protifer K en las mismas dosis que las aplicaciones anteriores de estos productos.

Tratamiento completo al suelo más foliar (TCF). Este comprende el tratamiento TC, común para las tres localidades, más el TF de la finca correspondiente, en este caso la finca con suelo inceptisol.

Tratamiento testigo (TT). Este consistió en la aplicación de fertilizantes al suelo a los 30, 75 y 112 DDS, con fosfato diamónico (DAP) (131 kg/ha), Magnesamón en la dosis de 153, 86 kg/ha y fórmula completa 19-4-19-3-0.1(B)-0.1(Zn)-1.8(S) en la dosis de 126,38 kg/ha. Además, se hicieron cuatro aplicaciones foliares a los 30, 57, 101 y 126 DDS. En la primera aplicación se usaron los productos Folitech, triple 20 (20-20-20), miel de purga, Oxicob (fungicida a base de cobre) y Tecamin max, en dosis de: 1 l/ha, 2,4 kg/ha, 12 l/ha, 2,2 kg y 0,6 l/ha, respectivamente. En la segunda aplicación se usaron los mismos productos en las mismas dosis, excepto Oxicob y Tecamin max, y la dosis de Folitech fue de 1,4 l/ha. A los 101 DDS se aplicó Folitech (1,4 l/ha) y miel de purga (12 l/ha). Finalmente, a los 226 DDS se aplicaron miel de purga y nitrato de potasio en dosis de 12 l/ha y 3,5 kg/ha, respectivamente.

Finca con suelo ultisol de fertilidad baja

En esta finca (Laberinto) se incluyó cal dolomita en una dosis de 500 kg/ha en todos los tratamientos, debido a que el suelo presentó pH bajo y bajas cantidades de Ca y Mg.

Tratamiento foliar (TF). Se hicieron cinco aplicaciones foliares, distribuidas a los 40, 63, 70, 91 y 105 DDS. Las aplicaciones foliares incluyeron macroelementos N-P-K y microelementos quelatados, asperjados con bomba de motor. En la primera y tercera aplicación los productos y dosis fueron Pescagro, triple 20 (20-20-20) y miel de purga, en dosis de 2 l/ha, 2 kg/ha y 4 l/ha, respectivamente. A los 63 DDS, además de los productos anteriores en la misma dosis, se aplicó Biokel Zn en una dosis de 165 g/l. A los 91 y 105 DDS se aplicó Pescagro en una dosis de 2 l/ha, combinado en la primera aplicación con Protifert K y en la segunda con miel de purga en dosis de 0,5 l/ha y 4 l/ha, respectivamente.

Tratamiento completo al suelo más foliar (TCF). Comprende el tratamiento completo (TC), común para las tres localidades, más el TF de la finca correspondiente.

Tratamiento testigo (TT). El Tratamiento testigo de la finca con suelo ultisol consistió de dos fertilizaciones al suelo con DAP a los 30 DDS y KCl a los 120 DDS en dosis de 138 y 92 kg/ha, respectivamente, y cinco aplicaciones foliares a los 40, 63, 70, 95 y 105 DDS; estas aplicaciones fueron las mismas que se aplicaron en el tratamiento foliar (TF) de esta finca.

Finca con suelo andisol de fertilidad alta.

Tratamiento foliar (TF). Se hicieron cuatro aplicaciones foliares, distribuidas a los 26, 60, 75 y 120 DDS. Las aplicaciones foliares se hicieron con bomba de motor, incluyendo macroelementos N-P-K y microelementos más un coadyuvante (1 l/ha); los productos usados fueron triple 20 (20-20-20) con elementos menores y Raíz planta 500 (p/v) a los 26 DDS, con la dosis de 2 kg/ha y 1 l/ha, respectivamente. A los 60 DDS se aplicaron de la misma forma los dos productos anteriores. A los 75 DDS se aplicaron vía foliar los productos Tecnokel Zn, Bioplant B 10% y Tecnokel Mg 6% en dosis de 1 l/ha, 0,5 l/ha y 2 l/ha, respectivamente. Finalmente, a los 120 DDS se aplicaron los fertilizantes foliares triple 20 (20-20-20) con elementos menores, Bioplant B10%, Pescagro y Protifert K, los dos primeros en la misma dosis que la aplicación anterior y los dos últimos en una dosis de 1,5 l/ha cada uno.

Tratamiento completo al suelo más foliar (TCF). Comprende el tratamiento completo (TC), común para las tres localidades, más el TF de la finca correspondiente.

Tratamiento testigo (TT). El tratamiento testigo de la finca con suelo andisol consistió de dos fertilizaciones al suelo con las fórmulas 10-30-10 y 15-3-31 a los 66 y 135 DDS en dosis de 122,7 y 107 kg/ha, respectivamente, y tres aplicaciones foliares a los 26, 60 y 73 DDS con los productos triple 20 (20-20-20) con elementos menores y Raíz planta 500 (p/v) en las dos primeras fechas, en dosis de 2 kg/ha y 1 l/ha, respectivamente; en la última aplicación (73 DDS)

únicamente se usó Pescagro en la dosis de 2 l/ha. Las aplicaciones foliares siempre fueron mezcladas con un coadyuvante en dosis de 1 l/ha.

Diseño experimental

Descripción del área experimental

La ubicación del área experimental en cada localidad estuvo sujeta a criterio técnico; se escogieron sectores que presentaron homogeneidad en la textura del suelo y pendiente uniforme. Además de estas condiciones, los lotes seleccionados fueron aquellos donde el cultivo recién cosechado fuera yuca, para que los suelos estuvieran sujetos a las mismas extracciones nutricionales y residuos orgánicos del cultivo.

El experimento tuvo un área total de 5070,75 m², 6063 m² y 1120 m² en las fincas con suelo inceptisol, ultisol y andisol, respectivamente. En total se trabajó con 16 unidades experimentales por localidad, es decir, cuatro tratamientos con cuatro repeticiones cada uno.

Para el análisis de los datos de cada variable se utilizó el modelo matemático de un diseño completo al azar. Primeramente, se realizaron pruebas a priori o de supuestos como la Shapiro-Wilks, para verificar la existencia de normalidad entre los datos. Luego se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de confianza de 95%; cuando existieron diferencias significativas entre tratamientos, se sometieron a la prueba de medias de rango único de Tukey. Además, se realizó una prueba contrastando los tratamientos entre sí, tomando en cuenta la relación entre ellos y los grados de libertad de estos. Estas pruebas y el ANDEVA se realizaron con el paquete estadístico InfoStat versión 2008 (Balzarini et al., 2008).

Variables de medición de la información

Análisis foliar

El muestreo para este análisis se realizó a los siete meses de edad del cultivo. Se tomó la tercera hoja, desde el ápice hacia abajo, sin el pedúnculo. Se analizaron N-total, P, K, Mg, S y Ca y elementos menores Fe, Mn, Cu y Zn. Todos los análisis químicos, tanto foliares como de suelos se hicieron en el mismo laboratorio, el N por el método de Dumas, K, Mg, Ca, los menores por combustión seca y luego determinación con absorción atómica y el P por espectrofotometría visible.

Materia seca (follaje, tallos y raíces)

Se tomaron muestras de materia seca en tres épocas durante el crecimiento y desarrollo del cultivo, cada 60 días a partir de los primeros dos meses y medio inclusive.

Para la obtención de esta variable se dejó un borde en ambos lados de las hileras de yuca en cada unidad experimental, dejando una sección central cosechable del área útil. Dentro de este borde y el área útil se tomó una planta por repetición; luego de ser separada en las partes hojas, tallo y raíz, las muestras fueron transportadas al laboratorio, donde se pesaron antes y después de ser secadas durante 72 horas a 60 °C en un horno con ventilación.

Rendimiento

La sección central del área útil de cada unidad experimental se utilizó para medir el rendimiento del cultivo (raíz) al momento de la cosecha. Se tomaron todas las plantas presentes en una hilera en 5 m lineales en la finca con suelo inceptisol, mientras que en la finca con suelo andisol se tomaron 3 m lineales en tres hileras en cada unidad experimental. En la finca con suelo ultisol el experimento no fue evaluado al momento de la cosecha, por razones administrativas y operativas que no permitieron datos confiables.

En las dos fincas en que se hizo la cosecha se realizó una categorización de la producción obtenida por calidad, en producto exportable como categoría 1 o de “primera” y categoría 2 o de “segunda” clasificado como producto para el mercado nacional o local; ambas categorías se pesaron en el campo con balanza tipo reloj con capacidad para 20 kilogramos. También se pesó el rechazo presente en cada repetición. En el caso de la localidad con suelo andisol, además de estas dos clasificaciones, se separaron las yucas con presencia del daño conocido como “cuero de sapo”, que invalida la producción comercialmente.

Análisis económico

Finalmente, se hizo un análisis económico con los costos variables de los fertilizantes de cada uno de los tratamientos contrastándolos con la producción de yuca obtenida.

Resultados y discusión

Crecimiento en peso seco

La acumulación de materia seca (MS) se registró a partir de los 2,5 meses de edad. La MS antes de esa fecha es baja (De Diego y Quirós, 2006), a partir de ese momento la acumulación sigue una curva creciente. El incremento fue más acelerado desde los 6,5 meses en la finca Pepín respecto a las otras dos localidades, donde el crecimiento importante se inició antes de esa fecha (4,5 meses), producto de la MS de las raíces y el tallo, principalmente (figuras 1, 2 y 3).

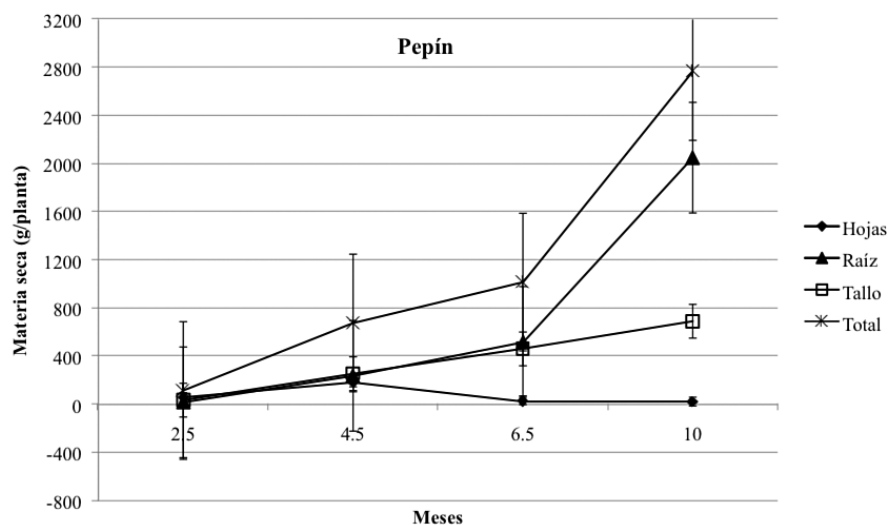


Figura 1. Acumulación de materia seca en la planta de yuca. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

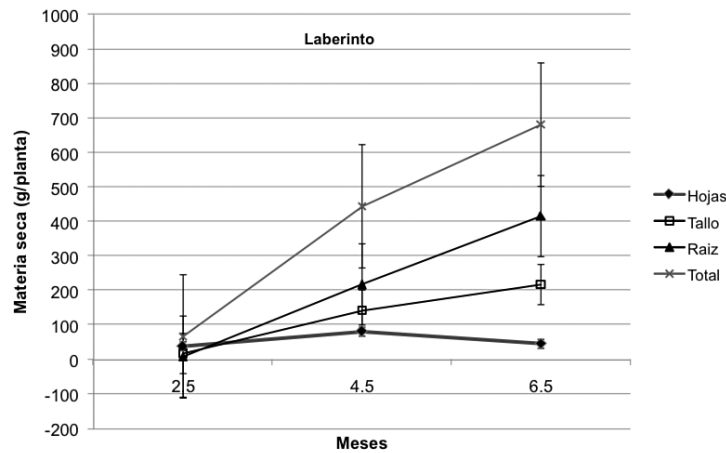


Figura 2. Acumulación de materia seca en la planta de yuca. Finca Laberinto, El Parque, Los Chiles. Costa Rica. Enero de 2014.

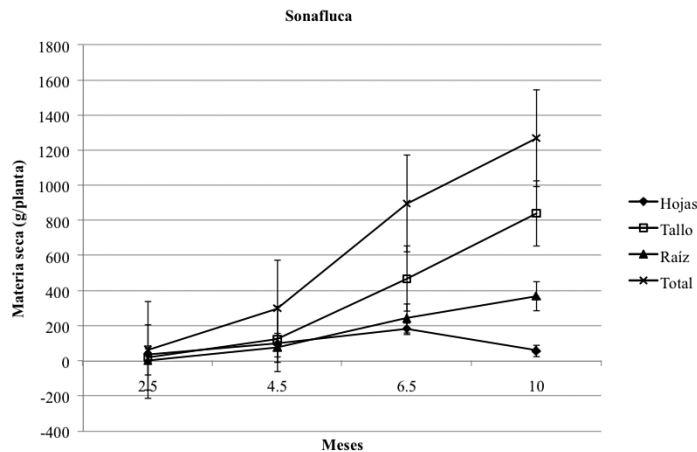


Figura 3. Acumulación de materia seca en la planta de yuca. Finca de Sonafluca. La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

La acumulación de MS fue menor en la finca Laberinto, en el cantón de Los Chiles, en relación con las otras dos fincas ubicadas en La Fortuna del cantón de San Carlos, producto en gran medida del nivel de fertilidad de los suelos (cuadro 1). Sin embargo, la distribución de la MS por estructura en la planta de este cultivo es similar, sin importar las condiciones de fertilidad de suelos y ligeras diferencias en precipitación y temperatura entre localidades, comportándose las hojas como la parte de la planta con menor cantidad de MS en las tres fincas, y las raíces como el órgano de mayor acumulación de MS, salvo en el caso particular de Sonafluca.

Este crecimiento concuerda con lo expuesto por Howeler (1981) y Cadavid (2002), quienes coinciden en que la acumulación de materia seca disminuye en las hojas después de los cinco meses, no así la del tallo y la de las raíces tuberosas. La mayor actividad fisiológica de la planta ocurre entre el segundo y quinto mes después de haberse sembrado; este resultado concuerda con lo expuesto por De Diego y Quirós (2006), quienes indican que durante los primeros cuatro meses la prioridad de la planta es la producción de biomasa aérea (tallo y hojas), con la cual

en los meses siguientes podrá almacenar reservas en las raíces productivas y en el resto de la planta. Lo expuesto en este párrafo manifiesta que el manejo nutricional debe iniciarse después del primer mes e intensificarlo a partir del segundo y hasta el quinto mes.

La MS de las raíces sobrepasa la de las estructuras aéreas (hojas y tallos) a partir del tercer mes en las fincas Laberinto y Pepín. Este resultado es similar a lo que expresan Furcal et al. (2009), quienes indican que el impulso mayor de la MS es producto del crecimiento de las raíces después de los 90 DDS, previamente tuberizadas; este resultado reafirma la prioridad de la planta de acumular nutrimentos en sus sitios de reserva (yuca). De manera similar, Cadavid (2002), Mejía de Tafur (2002) y Cadavid (2008) manifiestan que a partir del segundo o tercer mes después de la siembra, las raíces comienzan a acumular almidón y a engrosar hasta la cosecha, dando forma a las raíces tuberosas. En la localidad de Sonafluca sucedió lo contrario a lo anterior, donde el tallo fue la estructura con mayor aporte de MS, posiblemente debido a la afectación por plagas (ácaros, trips y mosca blanca) entre el tercer y cuarto mes después de la siembra, las cuales afectan mayormente a este cultivo en la época seca y con altas temperaturas. El daño por estas plagas hizo que el cultivo detuviera su crecimiento, luego con la presencia de lluvias y el cese del ataque de las plagas, se produjo una ramificación del tallo; este comportamiento coincide con lo expuesto por Bellotti et al. (2002), quienes resaltan que algunos insectos y ácaros, especialmente trips, causan daños a las yemas terminales de la planta de yuca rompiendo la dominancia apical, de manera que inducen el crecimiento de yemas laterales.

Desde el momento en que las hojas alcanzan su madurez, por este proceso fisiológico decrece la MS en ellas, información que es confirmada por Cadavid (2002), al indicar que después de los cinco meses la acumulación de MS en las hojas y pecíolos disminuye, mientras que aumenta en el tallo y la raíz. En la localidad de Sonafluca empezó a decrecer a los 6,5 meses, quizás producto de la producción de hojas después del cese del ataque de plagas entre el tercer y cuarto mes. La disminución de MS en las hojas es el resultado de la producción de menos hojas por la planta y al tamaño de éstas (Navarro, 1983), además, se debe a que los asimilados o compuestos orgánicos elaborados en las láminas foliares son redistribuidos vía floema hacia los órganos de almacenamiento, como las raíces tuberosas, donde se acumulan para formar su producto final, que es el almidón.

En la MS de la hoja acumulada a los 6,5 meses de edad, tanto en la localidad de Laberinto como en la de Sonafluca, hubo diferencias, p -valor < 0.05 . En el caso de Laberinto, el TC superó al TF, pero los tratamientos TCF, TT y TC fueron iguales; al ser los suelos de esta finca de fertilidad química baja (cuadro 1), eso podría acarrear que el tratamiento únicamente con fertilizantes aplicados vía foliar (TF) no alcanzara a cubrir las demandas nutricionales del cultivo. En la localidad de Sonafluca, los tratamientos TC y TCF difieren del tratamiento TT, este último fue similar al TF; esta diferencia estadística en MS en hojas a los 6,5 en Sonafluca no fue visible como en Laberinto y no se tradujo en el rendimiento de yuca. En la finca Laberinto se observaron hojas con un color verde menos intenso y de menor tamaño en el TF, respecto a los demás tratamientos, lo cual podría expresar la actividad fotosintética en los tratamientos.

Entre localidades, la MS por tallo fue menor en la finca Laberinto, posiblemente producto de la menor fertilidad del suelo que en las otras dos fincas, dado que la densidad de siembra fue similar a la de Sonafluca. En la finca Pepín hubo una ligera superioridad de MS por planta en tallo sobre la finca de Sonafluca, ambas ubicadas en La Fortuna; la posibilidad de que se produjera este resultado pudo deberse a que la densidad de planta fue mucho menor (menor competencia entre plantas) en la finca Pepín (9284 ptas/ha) que en la finca de Sonafluca (14580 ptas/ha).

Efecto de los tratamientos en la materia seca de las raíces y en la concentración de nutrimentos en las hojas

En la finca Pepín, las raíces iniciaron una diferencia marcada entre tratamientos a partir de los 6,5 meses, presentándose diferencias, p -valor $< 0,05$, al momento de la cosecha del cultivo, donde el TT alcanzó mayor peso seco que los demás. Se justifica este mayor peso en el manejo de la fertilización muy diferente respecto a los demás tratamientos; esta fertilización estuvo compuesta por tres aplicaciones al suelo con diferentes fórmulas, concentrando la mayoría del fósforo a los 30 DDS en un suelo deficiente en este elemento y posteriormente dos fórmulas completas que aportaron diferentes nutrimentos, aunado a cuatro aplicaciones foliares con varios productos; este plan de fertilización permitió un balance nutricional que, en gran medida, favorece un buen comportamiento del cultivo.

Los resultados del análisis foliar realizado en la finca Pepín a los siete meses muestran una mayor concentración de nitrógeno total (NT), fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca) en el TT respecto de los demás, no así en las otras fincas en estudio. La alta concentración de P en las hojas posiblemente es producto de la aplicación concentrada realizada al inicio (30 DDS) y luego con una fuente hecha a base de polifosfato, esta fuente ayuda a incrementar la absorción de P por las plantas (IPNI, 2013). También se aplicó Magnesamón, que además de suplir Ca, es una fuente de N y Mg solubles. En el capítulo siguiente se detallan estas fórmulas.

En las fincas Laberinto de la localidad de Los Chiles y la de Sonafluca en La Fortuna de San Carlos, las raíces presentaron un crecimiento acelerado, pero sin encontrarse diferencias ($p \geq 0,05$) entre las medias de los tratamientos a los 2,5; 4,5 y 6,5 meses en la finca Laberinto y hasta la cosecha a los 10 meses en la de Sonafluca. Posiblemente no hubo diferencias entre tratamientos en estas dos fincas, debido a que no hubo un tratamiento con aplicaciones al suelo tan variada como en el TT en la finca Pepín; además, los suelos de la finca de Sonafluca presentan alta fertilidad. Molina (2002) explica que cuando los suelos tienen buena fertilidad, la respuesta del cultivo a la aplicación de los elementos que presentan niveles adecuados en el suelo, es baja.

Desde el punto de vista de concentración de nutrientes en las hojas en la finca de la localidad de Sonafluca, no hubo efecto de los tratamientos; probablemente al tener el suelo una fertilidad alta aporta suficientes nutrimentos solubles a los que el cultivo puede acceder, sin necesidad de aportes de fertilizantes al suelo ni a las hojas.

Respecto a la finca Laberinto, una localidad con suelo de fertilidad baja, se encontró diferencia del TCF sobre el TC en magnesio. Del mismo modo, hubo diferencias significativas del TF sobre el TC en calcio; estos elementos (Mg y Ca) se suministraron vía foliar en los tratamientos TCF y TF a través de algunos fertilizantes foliares aplicados en las cinco fertilizaciones hechas, mientras que en el TC no hubo aporte de estos elementos.

Efecto de los tratamientos en el rendimiento del cultivo

Finca Pepín

El TT en estos suelos de fertilidad media fue el que obtuvo un mayor tonelaje total de yuca por hectárea (16,1 t/ha) y a su vez fue el tratamiento que alcanzó más cantidad de yuca de primera calidad que de segunda y menor cantidad de rechazo (figura 4), presentándose p -valor $< 0,05$ en yuca de primera calidad.

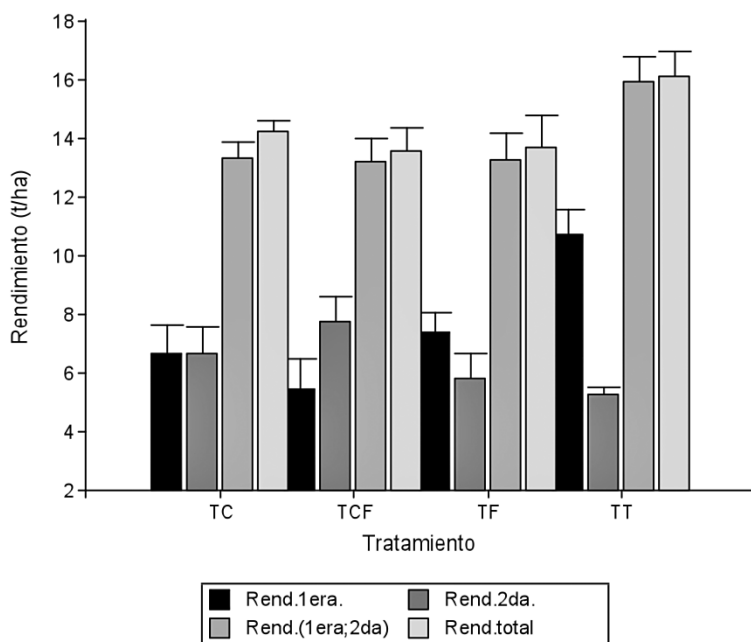


Figura 4. Rendimiento de yuca según los tratamientos en finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

Los rendimientos obtenidos no fueron altos pero sí más elevados que el promedio nacional, que es de alrededor de 12 t/ha. El rendimiento relativamente bajo pudo deberse al efecto del clima en una etapa fundamental en la fisiología del cultivo, edad entre seis y siete meses, donde hubo pérdida de las hojas por escasez de lluvias en los meses de enero y febrero, edad que corresponde a la fase de engrosamiento (Furcal et al. 2009). Este aspecto justifica las raíces delgadas encontradas, argumento que es reforzado por Mejía de Tafur (2002), quien indica que la producción de yuca se determina por la tasa de producción de MS y por su acumulación de fotosintatos en las raíces tuberosas, por lo tanto, la capacidad fotosintética es fundamental y esta depende, entre otros procesos, de factores ambientales como la intensidad de la luz, la temperatura y la lluvia, produciéndose disminución del área foliar en períodos secos como un mecanismo de defensa, afectándose la MS, caso que no se produce cuando la defensa es por cierre estomático. Esta pérdida de índice de área foliar se recupera al terminar el período de falta de agua, pero con el consumo de almidón de las raíces y el tallo.

El mayor rendimiento del TT pudo deberse al aporte de N y de P a temprana edad y a la variabilidad de los productos usados tanto a nivel de suelo como foliar. A pesar de que la cantidad de N aplicado al TT fue menor con respecto al TC o el TCF, el aporte de este elemento con la fuente DAP a los 30 DDS fue de 23,58 kg/ha, mientras que con los demás tratamientos fertilizados al suelo se aplicaron 10,57 kg/ha. Esta cantidad de fertilizante nitrogenado pudo haber influido de manera más eficiente en la edad temprana del cultivo. La dosis de P utilizada en el TT a los 30 DDS, a través 131 kg de DAP/ha, fue de 60,26 kg de P_2O_5 , todo aplicado al inicio de la siembra, mientras que en el TC y TCF se utilizó a los 30 DDS 7,49 kg P_2O_5 a partir de MAP, que es el 15% de la dosis total de 50 kg de P_2O_5 /ha aplicado y en el TF no se utilizó P al suelo. Al adicionar una mayor cantidad de P al inicio junto con N, es posible que en el suelo haya habido mayor disponibilidad de estos macronutrientes para la planta.

Además de utilizar el DAP, en el TT el P también fue aportado con una fuente de fertilizante a base de polifosfatos a los 3,7 meses, época durante la cual las curvas de absorción de P presentadas por Gadea et al. (2012) muestran una ascendencia importante. Además, el

TT recibió fertilizaciones foliares a los 30 DDS, que contaron con elementos mayores N-P-K, microelementos y una fuente energética, miel de purga. Posteriormente tuvo otras aplicaciones foliares y dos granulares al suelo, una aportando N, Ca y Mg (75 DDS) y la otra, a los 3,7 meses de edad, aportando elementos tanto mayores como menores.

El nivel crítico de P establecido en suelo para el cultivo de yuca se encuentra en 10 mg/kg (Howeler, 1981; Cadavid, 1988; Howeler y Cadavid, 1990; y Cadavid, 2002). Opinión similar manifiestan Bertsch y Méndez (2012). Cadavid (2002) encontró que en suelos con 3 ppm de fósforo hubo respuesta hasta la aplicación de 400 kg/ha de este elemento, triplicándose el rendimiento con el aporte de 50 kg de este elemento/ha. El análisis químico realizado en la finca Pepín mostró que el P disponible en el suelo se encontraba en 5 mg/L, reflejando que se mostraba en menor cantidad de lo que se necesita para que el cultivo pueda expresar buenos rendimientos y el porcentaje de materia orgánica fue de 4,4. Esto explica en parte, por qué la respuesta del cultivo se manifiesta con el aporte de los elementos N y P.

En ese mismo orden el TT fue fertilizado a los 3,7 meses con la fórmula 19-4-19-3-0,1(B)-0,1(Zn)-1,8(S) y aportó una cantidad de 24 kg K₂O. Esta cantidad aplicada es baja en comparación con lo aplicado en el TC y TCF, que en total recibieron 200 kg de K₂O/ha. Este comportamiento puede tener como respuesta que el K no es el elemento que marcó la diferencia en rendimiento entre los tratamientos, lo que quiere decir que el contenido medio de 0,34 cmol(+)/L presente en el suelo al parecer fue suficiente para obtener buenos rendimientos, comprobando así lo expuesto por Molina (2002), quien establece que cuando el contenido en el suelo es medio o alto, se asume que la respuesta a la aplicación del fertilizante que contenga el elemento no es significativa, debido a que no influye en un incremento de la producción, variando según las condiciones existentes.

Al aplicar elementos en conjunto, sus efectos pueden ser antagónicos entre sí en el suelo, pero también pueden ser interactivos o sinérgicos, generando rendimientos superiores a la aplicación individual de cada uno de ellos (Villalobos y Killorn, 2001).

De Diego y Quirós (2006), Asher et al. (1980) y Howeler (1981) reportan la absorción en yuca en el orden K>N>Ca>P; mientras que ese mismo orden, pero con la diferencia de mayor absorción de N que de K, es reportado por Cadavid (2002), Bardona (2003) y Rodríguez et al. (2009). A pesar de que los resultados del análisis de suelo del lote en estudio presentan 5,4 cmol(+)/L de calcio, es posible que este elemento aplicado en el TT a través del fertilizante Magnesamón (16,92 kg/ha de CaO) a los 2,5 meses de edad tenga influencia en el rendimiento, puesto que el valor del análisis de suelo no está muy distante del nivel crítico de 4 cmol(+)/L mencionado por Bertsch y Méndez (2012).

Finca Laberinto

En la finca Laberinto, el comportamiento del cultivo presentaba expectativas interesantes y podría esperarse que en un suelo ultisol de baja fertilidad, la fertilización únicamente foliar sería insuficiente para la obtención de buenos rendimientos. En los tratamientos TC, TCF y TT (con fertilización al suelo) se observaron raíces más grandes que las percibidas en el TF; además, en este tratamiento las hojas presentaron color verde claro, respecto a los demás tratamientos con hojas de color verde oscuro. Estas observaciones se hicieron en el campo, pero no se pudieron evaluar por problemas operativos al momento de la cosecha.

El análisis químico de suelo en esta finca, al igual que en la finca Pepín, reflejó que el P estuvo por debajo de 10 mg/L. Esta baja disponibilidad puede deberse a lo indicado por Bertsch y Méndez (2012), de que en suelos ultisoles de Costa Rica donde el pH es menor a 5,5 se favorece la formación de fosfatos de Fe y Al insolubles; en ambas fincas el pH estuvo por debajo de este valor.

El manejo de la fertilización al inicio en las fincas Pepín y Laberinto fue el mismo; en los dos lugares decidieron colocar todo el P al inicio (alrededor de los 30 DDS) con la fuente DAP. Puede extraerse como conclusión general que una alta fertilización con P al inicio de la siembra es clave en suelos que presenten deficiencia del elemento por debajo del nivel crítico, con la posibilidad de generar buena respuesta por el cultivo; según Grant et al. (2001), si se limita la disponibilidad temprana de P en el inicio del cultivo, pueden producirse restricciones de las que la planta no se recupera. Si la fertilización con P se hace fraccionada, posiblemente el cultivo no responda de la misma manera debido a la mayor fijación de este elemento.

Finca Sonafluca

Respecto a la finca de Sonafluca, no hubo diferencias (p -valor $\geq 0,05$) entre tratamientos, sin embargo, el de mayor rendimiento fue el TT, como se observa en la figura 5. Este tratamiento recibió tres aplicaciones de fertilizaciones foliares y dos aplicaciones al suelo a los 66 y a los 135 DDS con las fórmulas 10-30-10 y 15-3-31, respectivamente, con aportes de 28,32; 40 y 45,44 kg/ha de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente, muy por debajo del aporte al suelo por fertilización en los TC y TCF. La razón de que no hubiera respuesta a la fertilización posiblemente se explica por lo expuesto por Molina (2002), quien establece que cuando el contenido en el suelo es medio o alto, se asume que la respuesta a la aplicación del fertilizante que contenga el elemento no es significativa.

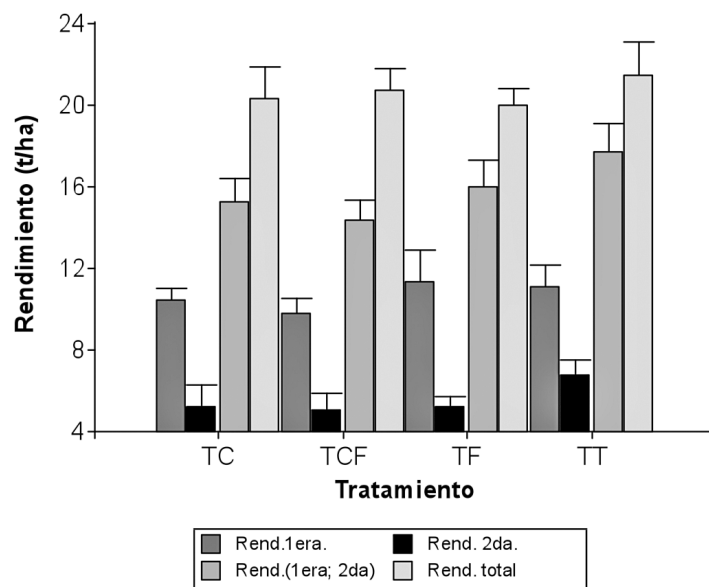


Figura 5. Rendimiento de yuca según los tratamientos en finca de Sonafluca. La Fortuna, Costa Rica. Enero de 2014.

Es importante resaltar que el rendimiento alcanzado en esta finca (20,85 t/ha sin rechazo) fue muy superior al de la finca Pepín (16,1 t/ha con rechazo), quizá debido a la más alta fertilidad de los suelos en la de Sonafluca (Cuadro 1) y por haberse sembrado a una densidad mayor (14580 ptas/ha vs 9284 ptas/ha), puesto que las dos se cosecharon a los 10 meses de edad. Esta alta densidad se puede traducir en altos rendimientos cuando los suelos son de fertilidad alta como los de Sonafluca o cuando se fertilizan adecuadamente de acuerdo con los resultados de análisis de suelos y foliares.

Rentabilidad de los tratamientos

El tratamiento más económico fue el TF; el costo/ha de los fertilizantes aplicados durante el ciclo de producción fue mucho menor que en los demás tratamientos, $\$51075,00$ y $\$82750,00$ en las fincas Pepín y Sonafluca, respectivamente. Esta sería la primera opción para recomendar, debido a que presenta un rendimiento aceptable a un costo mucho menor que los demás tratamientos (cuadro 2); pero tiene su limitante, ya que desde el punto de vista técnico, este tratamiento a través del tiempo posiblemente no sea rentable por el agotamiento nutricional que pueda generar al suelo en el futuro. En este sentido, Cadavid (2002) hace referencia al potasio en suelos cultivados continuamente de yuca, sin aporte nutricional. Además de demostrar que después de 15 años aplicando 75 kg de P/ha, este elemento se incrementó en un suelo ultisol a 35 ppm, en contraste con 2,85 ppm de P en el lote sin aplicación.

Al considerar que el rendimiento fue similar entre los tratamientos TC, TCF y TF, y el costo por hectárea de cada uno fue diferente, técnica y económicamente se podría concluir que la mejor alternativa es el TT, ya que con un costo intermedio entre los tratamientos se obtiene un buen rendimiento; además, se podría asegurar un mejor uso de los nutrientes aportados por el suelo al cultivo sin agotar nutricionalmente este recurso (suelo) de los nutrientes que se aportan. Otra consideración que se debe tener en cuenta es que el TT es diferente en cada localidad, siendo el más común entre los pequeños productores el usado en la finca de Sonafluca; no obstante, si se selecciona el TT usado en la finca Pepín como el mejor, este cubriría en mayor grado los requerimientos de nutrientes del cultivo, cuando la finca se encuentra en suelos de baja fertilidad; en cambio, en suelos con fertilidad alta la posibilidad de respuesta a esta fertilización es baja y se podría afectar la rentabilidad del cultivo.

Cuadro 2. Costo de los fertilizantes y rendimiento de cada tratamiento. Fincas Pepín y de Sonafluca. La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

Tratamiento	Rendimiento total /ha		Costo Colones/ha	
	Finca Pepín	Finca de Sonafluca	Finca Pepín	Finca de Sonafluca
Tratamiento completo al suelo (TC)	14,27	19,57	$\$295\,752,17$	$\$285\,211,37$
Tratamiento completo al suelo + foliar (TCF)	13,57	20,03	$\$360\,922,17$	$\$367\,961,37$
Tratamiento foliar (TF)	13,67	19,59	$\$51\,075,00$	$\$82\,750,00$
Tratamiento testigo (TT)	16,10	20,85	$\$222\,340,08$	$\$128\,976,67$

Equivalencia: $\$560$ = un dólar estadounidense, enero de 2014.

Conclusiones

Bajo las condiciones de este experimento, se concluye que:

El incremento acelerado de materia seca (MS) se produjo a partir del 4,5 meses, debido principalmente, a las raíces tuberosas. Sin embargo, la MS de hojas decae después de los 5 meses. Esta, estadísticamente fue inferior en el tratamiento foliar respecto al tratamiento completo en la finca con suelo ultisol a los 6,5 meses, lo que pudo deberse a la baja fertilidad del suelo.

El tratamiento testigo, en la finca de suelo inceptisol presentó diferencia en rendimiento de yuca de primera calidad, debido en gran medida, a la fertilización balanceada aplicada con este tratamiento.

En los dos órdenes de suelos donde el cultivo se fertilizó con fosfato diamónico (18-46-0), fuente alta en fósforo (P) y que tiene nitrógeno, al inicio del crecimiento (30 DDS), la respuesta fue alta. En cambio, la fertilización fraccionada con P en los tres órdenes de suelos, estos tienen niveles bajos de este elemento, no produjo buenos resultados.

La fertilización con alta dosis de potasio en los tres órdenes de suelos, los cuales tienen niveles medios de este elemento, no produjo efectos importantes respecto a dosis bajas de este elemento aplicadas a los suelos, combinadas con aplicaciones foliares.

La concentración de nutrimentos en las hojas, a los siete meses de edad del cultivo, y el rendimiento de yuca, reflejaron el nivel alto de fertilidad del suelo andisol y la fertilización balanceada aplicada en el suelo inceptisol.

El tratamiento fertilización foliar fue el más económico en los suelos de fertilidad media y alta. Sin embargo, si esta no es combinada con la fertilización al suelo puede ser negativa a través del tiempo, por la disminución de la capacidad productiva de los suelos.

Bibliografía

- Asher, C. J., Edwards, D. G. & Howeler, R. H. (1980). *Desórdenes nutricionales de la yuca*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 48 p.
- Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A. & Robledo, C. W. (2008). *InfoStat. Manual del Usuario, Versión 2008*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas. p 33.
- Bellotti, A. C., Arias, V. B., Vargas, H. O., Reyes Q., J. A. & Guerrero J. M. (2002). Insectos y ácaros dañinos a la yuca y su control. (pp. 160-203). CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). En Bernardo, O.P. y Hernán, C. (Comp.), *La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. Cali: CIAT.
- Barbona, S. A. (2003). *Fertilización del cultivo de mandioca*. Instituto de Tecnología Agropecuaria-INTA-Estación Experimental Colonia Benítez Dr. Augusto G. Schulz. Programa Regional Hortícola. Centro Regional Chaco-Formosa. Proyecto Tecnología para la producción de Mandioca. Chaco, Argentina. Obtenido de:
http://www.inta.gov.ar/benitez/info/documentos/horti/Pdf/PDF_23_Fertilizacion_del_Cultivo_de_Mandioca.pdf
- Bertsch, F. (1995). *La fertilidad de los suelos y su manejo*. San José: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). ISBN9968978000. 157 p.
- Bertsch, F. & Méndez, J. C. (2012). *Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). San José: Editorial Universidad de Costa Rica. 106 p.
- Cadavid, L. F. (2002). Suelo y fertilización para la yuca. (pp. 76-103). En Bernardo, O. P. y Hernán, C. (Comp.), *La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Cadavid, L. F. (2008). *Fertilización del cultivo de la yuca*. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Cali: Consorcio Latinoamericano y del Caribe de apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA). Obtenido de:
http://www.clayuca.org/clayucanet/edicion12/fertilizacion_yuca.pdf
- Cadavid, L. F. (1988). Efecto de la fertilización y humedad relativa sobre la absorción y distribución de nutrimentos en yuca (*Manihot esculenta*, Crantz). Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 290 p.
- Cenoz, P. J., López, A. & Burgos, A. (2000). Efecto de los macronutrientes en el desarrollo y rendimiento de Mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2000. Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias-UNNE, Corrientes, Argentina. p 3.

- Cubero F, D. (2001). *Clave de bolsillo para determinar la capacidad de uso de las tierras*. San José: MAG, ACCS. ARAUCARIA España-Costa Rica. 19 p.
- De Diego, G. E. & Quirós, B. J. (2006). Análisis de crecimiento y absorción de nutrimentos en yuca (*Manihot esculenta*) en El Tanque de La Fortuna, San Carlos, Alajuela. Tesis de Licenciatura, Escuela de Agronomía, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional, San Carlos. p 187.
- Furcal, P., Gadea, A., De Diego, G. E. & Quirós, B.J. (2009). Absorción de nutrimentos en yuca (*Manihot esculenta*, Crantz). Análisis de crecimiento del cultivo de la yuca. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Del 16 al 20 de noviembre de 2009. San José.
- Gadea, A., Furcal, P., De Diego, G. E. & Quirós, B. J. (2012). *Absorción de nutrimentos en el cultivo de yuca*. IV Congreso Internacional CLAYUCA Costa Rica. 4 y 5 de octubre de 2012, CTEC del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Santa Clara, San Carlos.
- Grant, C. A., Flanten, D. N., Tomasiwicz, D. J. & Shepard, S. C. (2001). Importancia de la nutrición temprana con fósforo. Informaciones agronómicas. Quito: Instituto de la Potasa y el Fósforo. Obtenido de [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/D5D0A43850DBD34205256D1100732710/\\$file/Importancia+de+la+nutrici%C3%B3n+temprana+con+P.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/D5D0A43850DBD34205256D1100732710/$file/Importancia+de+la+nutrici%C3%B3n+temprana+con+P.pdf).
- Howeler, H. (1981). Nutrición mineral y fertilización de yuca (*Manihot esculenta*, Crantz) Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 52 p.
- Howeler, H. & Cadavid, L.F. (1990). Short and long-term fertility trials in Colombia to determine the nutrient requirements of cassava. *Fertilizer Research*, 26, 61-80.
- INFOAGRO (Sistema de Información para el Sector Agropecuario Costarricense). (2009). *Síntesis analítica. Situación y tendencias del Sector Agropecuario 2004-2008*. Obtenido de:
<http://www.infoagro.go.cr/SEPSA/documentacion/informes/SintesisAnaliticaSA20180310.pdf>
- IPNI (International Plant Nutrition Institute). (2013). *Fuentes de nutrientes específicos. Polifosfato 2*. Obtenido de [http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/0D2D851649D0F67585257BBA0059A466/\\$FILE/NSS-ES-02.pdf](http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/0D2D851649D0F67585257BBA0059A466/$FILE/NSS-ES-02.pdf)
- López, J. (2002). Semilla vegetativa de la yuca. (pp. 49-75). En Bernardo, O. P. y Hernán, C. (Comp.), *La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. Cali: CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical).
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2012). *Boletín Estadístico Agropecuario N° 22. Serie cronológica 2008-2011*. SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00305.pdf>
- Mejía de Tafur, M. S. (2002). Fisiología de la yuca (*Manihot esculenta*, Crantz). (34-45 pp). En Bernardo, O. P. y Hernán, C. (Comp.), *La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. Cali: CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical).
- Molina, E. (2002). *Análisis de suelos y su interpretación*. San José: CIA-UCR. 8 p.
- Navarro, F. (1983). Guía técnica para el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta*). Managua: Ministerio de Desarrollo Agropecuario y Reforma Agraria, IICA (Instituto Centroamericano de Cooperación para la Agricultura). (Serie IICA N°. 444). 30 p.
- Núñez, J. (2001). *Manejo y conservación de suelos*. 1 ed. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia. 288 p.
- Rodríguez, Z. F., Mármol, L. E., Martínez, J. & Montiel M. M. (2009). Acumulación total y por órganos de macronutrientes en plantas de yuca (*Manihot esculenta*, Crantz) cv. 'Tempranita' en la altiplanicie de Maracaibo. Facultad de Agronomía. Universidad del Zulia, Maracaibo. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 26, 470-489.
- Villalobos R. E. & Killorn, R. (2001). Nutrición mineral. (pp. 159-198). En: UCR (Ed.) *Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Fascículo 1. Capítulo V*. San José.