

FERTILIZACIÓN FOSFÓRICA Y POTÁSICA DE LA YUCA (*Manihot sculenta*, Crantz) EN ROTACIÓN DE CULTIVOS
PHOSPHORIC AND POTASSIC FERTILIZATION OF YUCA (*Manihot sculenta*, Crantz) IN CROP ROTATION

Autores: Ricardo Rodríguez Guzman

Jorge L. Herrera

José A. Herrera

Institución: Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

Correo electrónico: ricardo@unica.cu

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el posible efecto directo y residual del fósforo y el potasio en el rendimiento de la yuca colocada al final de la secuencia de cultivos y en el contenido de nutrientes en el suelo, se estudiaron diferentes sistemas de fertilización fosfórica y potásica en dos experimentos estacionarios sobre un suelo Ferralítico Rojo Compactado de la Estación Experimental «Juan Tomás Roig» de la Universidad de Ciego de Ávila, con bajo contenido de fósforo y alto contenido de potasio, típico de la provincia de Ciego de Ávila. La base de los tratamientos consistió en variar las cantidades de cada uno de los nutrientes utilizados desde dosis cero hasta altas aplicaciones a largo plazo para toda la rotación. Se encontraron altos rendimientos de la yuca cuando el suelo se encuentra medianamente abastecido en fósforo (P). Por otra parte no se encontró respuesta en rendimiento, producción de masa seca, número de raíces por planta ni peso promedio de la raíz a las aplicaciones de potasio (K). Los contenidos de K intercambiable y P móvil en el suelo mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, con los mayores tenores en las dosis altas de fertilizante. Los resultados indican que es posible utilizar la yuca en un lugar postrero de la rotación sin que requiera de nuevas aplicaciones de P y K.

Palabras clave: Yuca, Fertilización, Fósforo, Potasio, Suelos.

ABSTRACT

With the aim of determine the possible direct and residual effect of phosphorus and potassium fertilization on cassava yield at the end of the crop sequence and on soil test phosphorus and potassium, different phosphorus and potassium fertilization systems was studied. Cassava was grown in two field experiments conducted in a red ferrallitic soil of the «Juan Tomás Roig» Experimental Station of the Ciego de Avila University, low in soil test phosphorus and high in soil test potassium, common in Ciego de Avila province. The base of the treatments consisted in varying the nutrient rates since 0 fertilizer to high rates for the whole cropping sequence. High cassava yield was found when the soil is medium in P content. In the other hand there was no yield, dry matter production, root number and average root weight response to potassium fertilizer. Soil test phosphorus and potassium showed significant differences among treatments. The higher the fertilizer rates the higher soil test values. The results showed that it is possible to plant cassava at the end of the cropping sequence without fresh phosphorus and potassium fertilization.

Keywords: Cassava, Fertilization, Phosphorus, Potassium, Soil.

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta*, Crantz) es capaz de producir bajo un amplio rango de condiciones edafoclimáticas adversas, según Rosenthal and Ort (2012) posee un potencial valioso para mejorar la seguridad alimentaria. La producción de yuca en asociación, en secuencia o en rotación con otros cultivos aumenta los ingresos netos por unidad de superficie y reduce el riesgo de malas cosechas (FAO, 2013). Suárez and Mederos (2011) y Beovides and Ruiz (2014) señalaron la significación de incrementar su cultivo en Cuba. Su importancia económica también radica en que resiste problemas de sequía (Burns and Gleadow, 2011) y en su hábito de crecimiento perenne (Ceballos, Ramirez *et al.* 2011). Para incrementar la producción de yuca es importante evaluar las propiedades del suelo (Ande, 2011).

El aumento del precio de los fertilizantes minerales ha reducido su importación en Cuba, trayendo como consecuencia la limitación de su uso a cultivos de alto potencial de rendimiento. En las condiciones de sequía agrícola de la provincia de Ciego de Ávila, se necesita plantar yuca en rotación con otros cultivos para usarla como fuente de calorías suplementarias en la dieta humana. Se desconoce si la yuca puede

producir rendimientos altos en los suelos Ferralíticos Rojos de la provincia, sin recibir fósforo (P) o potasio (K); por lo que se condujo una investigación con el objetivo de determinar el posible efecto directo y residual del fertilizante fosfórico y el potásico en la producción de la yuca colocada al final de la secuencia de cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos estacionarios en el campo en rotación de cultivos, en la Estación Experimental «Juan Tomás Roig» de la Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, sobre un suelo Ferralítico Rojo compactado eútrico cuyas principales características físico-químicas aparecen a continuación: pH (H₂O) - 6.7, K (NH₄Ac) - 30.6 mg/100 g, C.I.C. - 15.8 cmol(+).kg⁻¹, P (Oniani) - 1.3 mg/100 g, V - 93.1%, Arena - 25.09% Limo - 26.24% Arcilla - 48.67% Se plantó yuca (*Manihot esculenta*, Crantz), variedad Señorita, como cultivo final en cada secuencia de cultivos. Las labores agrotécnicas se realizaron de acuerdo con el Instructivo técnico del Ministerio de la Agricultura en Cuba para el cultivo. Se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0-20 cm antes de la plantación y después de la cosecha. Las muestras se secaron al aire, se tamizaron a 2 mm y se analizaron para determinar el contenido de fósforo disponible en el Experimento 1 y potasio intercambiable en el Experimento 2.

Experimento 1

En un experimento de fertilización fosfórica se plantó yuca en tres secuencias de cultivo en noviembre de 2001, con un diseño de bloques completos al azar. Las parcelas tuvieron un área total de 37.8 m². Las secuencias de cultivo fueron las siguientes:

1. Papa-maíz-yuca
2. Papa-boniato-maíz-yuca
3. Papa-soya-yuca

Los sistemas de fertilización fosfórica estudiados en cada secuencia fueron los siguientes:

- A - No se aplicó P
- B - Se aplicó P en bandas en el momento de la plantación a cada cultivo de la secuencia según la dosis recomendada para el cultivo por el instructivo técnico.

- C - Se aplicó el 100% de la sumatoria del P a utilizar en la secuencia de cultivos a voleo al primer cultivo.
- D - Se aplicó el 70% de la sumatoria del P a utilizar en la secuencia a voleo al primer cultivo.
- E - Se aplicó el 35% de la sumatoria del P a utilizar en la secuencia a voleo en el momento de la plantación al primer cultivo y adicionalmente a cada cultivo integrante de la secuencia; se aplicó en bandas en el momento de la plantación el 35% de la dosis recomendada para el cultivo por el instructivo técnico.

Se usó superfosfato triple como portador. Las dosis expresadas en $\text{kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{ha}^{-1}$ recomendadas por el instructivo técnico para cada uno de los cultivos fueron: Papa180, maíz-35, boniato-35, soya-100, frijol-93 y yuca-35. La sumatoria de las dosis de P en cada una de las secuencias y la aplicación de P fresco a la yuca se reflejan en la Tabla 1.

Tratamientos	Sumatoria de la dosis ($\text{kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{ha}^{-1}$)		
	Secuencia 1	Secuencia 2	Secuencia 3
A	0	0	0
B	250	285	315
C	250	285	315
D	175	200	220
E	175	200	220

Tabla 1. Dosis de fertilizante fosfórico utilizadas en las secuencias de cultivo.

El rendimiento del cultivo se calculó a partir de la masa fresca de las raíces. Al suelo se le extrajo el contenido de P disponible por el método de Oniani (H_2SO_4 0.05 M, relación suelo: solución 1:25) y se determinó el P por colorimetría con azul de molibdeno.

Experimento 2

En un experimento de fertilización potásica en rotación de cultivos al concluir dos ciclos con papa-maíz se plantó yuca en diciembre de 2003, con un diseño de parcelas divididas. Las parcelas tuvieron un área total de 36 m^2 . Se estudió la influencia del potasio residual (dosis acumulada) y de las aplicaciones frescas de potasio sobre la

yuca (Tabla 2). En la mitad de las parcelas (A) se aplicó fertilizante fresco en bandas en el momento de la plantación mientras que en la otra mitad (B) no se aplicó fertilizante. Se usó cloruro de potasio como portador.

Tratamientos	Dosis de potasio (kg K ₂ O.ha ⁻¹)	
	Acumulada*	Yuca
K0	0	0
K1 A	320	80
K1 B	160	0
K2 A	640	160
K2 B	320	0
K3 A	960	240
K3 B	480	0
K4 A	1280	320
K4 B	640	0

Tabla 2. Dosis de K acumuladas en la secuencia de cultivos papa-maíz y dosis aplicadas a la yuca.

* Sumatoria de las dosis de K aplicadas a dos ciclos de la rotación papa-maíz.

Se contó el número de raíces por planta, se determinó la masa fresca de las raíces en las parcelas a partir de la cual se calculó la masa promedio de las raíces y el rendimiento del cultivo. Al suelo se le extrajo el K con NH₄OAc 1 M a pH=7 y se determinó el K cambiante por fotometría de llama.

Se realizó un análisis de varianza de los datos y las medias se compararon mediante el test de Duncan. Los datos de ambos experimentos se analizaron con el programa estadístico SPSS v.21 (SPSS, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento 1

No se obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento de la yuca entre los sistemas de fertilización fosfórica utilizados en ninguna de las tres secuencias (Tabla 3). Los rendimientos fueron altos en las tres secuencias y superaron las 25 t.ha⁻¹ en el

tratamiento sin P. Los resultados difieren de los obtenidos por Pypers, Bimponda *et al.* (2012) que encontraron elevada respuesta a la fertilización en un sistema de tumba, roza y quema en Kenia.

Burgos and Cenóz (2012) no reportaron incrementos en rendimiento de las raíces en un suelo con bajo contenido de P disponible, posiblemente debido a que el muestreo se realizó a los cinco meses después de la plantación.

Por otra parte, Furcal-Beriguete, Torres-Portuguez *et al.* (2015) no encontraron respuesta en suelo con contenido de fósforo superior a 10 mg P.kg^{-1} . Un resultado contradictorio encontró Alcivar (2015) al reportar incremento del rendimiento por la aplicación de $32 \text{ kg P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$ en suelos con contenidos de P disponible superiores a 25 mg P.kg^{-1} .

Si bien no existieron diferencias entre los sistemas de fertilización fosfórica, el rendimiento de la yuca aumenta entre las secuencias en el orden secuencia 1 < secuencia 2 < secuencia 3, debido a que las dosis de fertilizante aplicado al cultivo iniciador aumentaron y a que se incluyó en la secuencia 3 una planta leguminosa. Aunque Sopheap, Patanothai *et al.* (2012) señalaron balances negativos de P en el suelo por la no aplicación de abonos orgánicos o fertilizantes minerales a la yuca, la rotación con otros cultivos que son fertilizados permite producir yuca de manera económica.

Después de cosechado el cultivo antecesor en la secuencia, en todos los sistemas de fertilización se produjo un incremento significativo del contenido de P disponible respecto al testigo, con valores que permiten clasificar el suelo como suficiente o medianamente abastecidos en relación con las exigencias de los cultivos (Tabla 4).

Tratamientos	Rendimiento de la yuca (t.ha ⁻¹)		
	Secuencia 1	Secuencia 2	Secuencia 3
A	25.9	27.6	32.8
B	26.3	29.8	33.5
C	27.3	31.9	34.9
D	27.7	29.7	33.2
E	28.1	30.2	33.4
Sx	1.08	1.62	0.94

Tabla3: Rendimientos de la yuca afectados por la fertilización fosfórica en tres secuencias de cultivo en un suelo Ferralítico Rojo compactado éutrico.

Tratamientos	P disponible antes de la plantación de la yuca (mg P.100g ⁻¹)		
	Secuencia 1	Secuencia 2	Secuencia 3
A	1.20 b	1.87 b	1.98 b
B	1.79 a	3.17 a	3.18 a
C	1.85 a	2.79 a	2.81 a
D	1.67 ab	2.60 a	2.73 a
E	1.79 a	2.99 a	3.09 a
Sx	0.17	0.23	0.35

Tabla 4. P disponible en un suelo Ferralítico Rojo compactado éutrico antes de la plantación de la yuca en tres secuencias de cultivo.

Nota: Letras diferentes en las columnas equivalen a diferencias entre las medias con un 5% de probabilidad de error.

Los resultados obtenidos corroboran los criterios de Sattari, Bouwman et al. (2012) que consideran el importante rol del P residual en el suelo para la producción agrícola.

Experimento 2

El número de raíces por planta y la masa promedio de la raíz (Tablas 5) no se diferenciaron estadísticamente entre los tratamientos, coincidiendo con los

resultados de Burgos and Cenóz (2012) quienes no hallaron efecto del potasio en el número de raíces por planta. Alcivar (2015) encontró aumento del número de raíces cuando se incrementaron las dosis de NPK, aunque el valor mayor fue de 8.42 raíces por planta, similar a los del presente estudio.

También Burgos and Cenóz (2012) reportaron masas promedios de la raíz muy inferiores como respuesta a la fertilización fosfórica y potásica.

Tratamientos	Número de raíces de yuca por planta	Masa promedio de la raíz (g)
K0	7.90	315
K1 A	8.30	315
K1 B	7.60	334
K2 A	8.55	294
K2 B	7.80	340
K3 A	8.45	282
K3 B	7.95	316
K4 A	8.10	304
K4 B	8.20	335
Sx	0.56	21.03

Tabla 5: Número de raíces por planta y masa fresca promedio de la raíz de la yuca fertilizada con potasio fresco y residual en un suelo Ferralítico Rojo compactado éutrico.

Nota: Letras diferentes en las columnas equivalen a diferencias entre las medias con un 5% de probabilidad de error.

Rendimientos similares estadísticamente fueron obtenidos con todos los tratamientos (Tabla 6), debido a que los contenidos de potasio cambiante en el suelo están por encima de los considerados por Howeler and Cadavid (1990) como críticos ($0.18 \text{ cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$) en 20 experimentos de campo. El mismo autor señala que la mayoría de los reportes en la literatura indican respuestas significativas a las aplicaciones de $60\text{-}180 \text{ kg K}_2\text{O}.\text{ha}^{-1}$. Pypers, Sanginga *et al.* (2011) reportaron respuesta al fertilizante en 12 fincas del Congo durante tres años. Fermont, Tittonell *et al.* (2010) obtuvieron respuestas muy variables a la fertilización en Kenia y Uganda, independientemente del nivel de potasio en el suelo. Ortiz, Corrales *et al.*

(2000) no reportaron respuesta en rendimiento al incrementar las dosis de potasio en un Fluvisol.

Tratamientos	Rendimientos de la yuca (t.ha ⁻¹)
K0	25.6
K1 A	29.5
K1 B	28.0
K2 A	28.2
K2 B	28.0
K3 A	28.9
K3 B	29.8
K4 A	26.9
K4 B	28.6
Sx	1.72

Tabla 6: Rendimientos de la yuca fertilizada con potasio fresco y residual en un suelo Ferralítico Rojo compactado éutrico.

Nota: Letras diferentes en las columnas equivalen a diferencias entre las medias con un 5% de probabilidad de error.

Los contenidos de potasio intercambiable en el suelo en las parcelas no fertilizadas no cambiaron apreciablemente (Tabla 7), manteniéndose por encima de los valores críticos reportados por la literatura (Howeler y Cadavid, 1990). Solo en los tratamientos que recibieron las dosis mayores de potasio se encontró incremento significativo de los contenidos de K cambiante en el suelo. Esta persistencia en los tenores de potasio a pesar del cultivo continuado sin fertilización puede ser el resultado del reciclaje con los residuos de cosecha, la extracción del potasio desde capas más profundas que la muestreada (0-20 cm) y de la liberación del K desde formas no extraídas por el método de análisis de suelo (Mallarino *et al.*, 1991). Los tratamientos que recibieron las mayores dosis de fertilizante (240 y 320 kg K₂O.ha⁻¹) se diferenciaron de los tratamientos que recibieron dosis menores.

Tratamientos	K cambiable en el suelo (mg.100 g ⁻¹)
K0	18.45 d
K1 A	21.22 bcd
K1 B	19.15 cd
K2 A	21.23 bcd
K2 B	19.48 cd
K3 A	23.72 b
K3 B	20.78 bcd
K4 A	29.43 a
K4 B	22.03 bc
Sx	0.97

Tabla 6: Contenido de potasio intercambiable en un suelo Ferralítico Rojocompactado éutrico antes de la plantación de la yuca.

Nota: Letras diferentes en las columnas equivalen a diferencias entre las medias con un 5% de probabilidad de error.

CONCLUSIONES

En suelos Ferralíticos rojos con niveles de fertilidad inicial bajos en fósforo y altos en potasio el cultivo de la yuca es capaz de producir altos rendimientos en un suelo que ha estado bajo cultivo durante varios años sin recibir fertilizante fosfórico y potásico. La yuca aprovecha el efecto residual del fertilizante fosfórico y potásico aplicado al cultivo precedente, resultando adecuada para ocupar un lugar posterior en las secuencias de cultivos.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

ALCIVAR, M.F.: *Efecto de dos sistemas de labranza mínima y fertilización en el crecimiento, estado sanitario y rendimiento de tres variedades de yuca (Manihot esculenta Crantz.)” en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas*, Tesis presentada en opción al título de Ingeniero agropecuario, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2015.

- ANDE, O.T.: «Soil suitability evaluation and management for cassava production in the derived savanna area of southwestern Nigeria». *International Journal of Soil Science* 6(2): 142-149, 2011.
- BEOVIDES, Y.M.; COTO, O.; RAYAS, A.; BASAIL, M.; SANTOS, A.; LÓPEZ, J.; MEDERO, V.; CRUZ, J.A. Y RUIZ, D.: «Caracterización morfológica y agronómica de cultivares cubanos de yuca (Manihot esculenta Crantz).» *Cultivos Tropicales* 35 (2): 43-50, 2014.
- BURGOS, A.M. Y CENÓZ, P.J.: «Efectos de la aplicación de fósforo y potasio en la producción y calidad de raíces de mandioca (Manihot esculenta Crantz) en un suelo arenoso y clima subtropical». *Revista Científica UDO Agrícola* 12(1): 143-151, 2012.
- BURNS, A. Y GLEADOW, R.: *Cassava: The Drought, War and Famine Crop in a Changing World*, 2011. Disponible en <http://www.mdpi.com/2071-1050/2/11/3572/pdf>. Visitado el 30 de noviembre de 2015.
- CEBALLOS, H.; RAMIREZ, J.; BELLOTTI, A.C.; JARVIS, A. Y ALVAREZ, E.: «Adaptation of Cassava to Changing Climates». *Crop Adaptation to Climate Change*: 411-425, 2011.
- FAO: *Ahorrar para crecer - La yuca*, Food and Agriculture Organization, Roma, 2013.
- FERMONT, A.M.; TITTONELL, P.A.; BAGUMA, Y.; NTAWURUHUNGA, P. Y GILLER, K.E.: «Towards understanding factors that govern fertilizer response in casave: lessons from East Africa». *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 86 1: 133-151, 2010.
- FURCAL-BERIGUETE, P.; TORRES-PORTUGUEZ, S. Y ANDRADE-CARBALLO, W.E.: «Evaluación de la fertilización inorgánica en el cultivo de yuca en la región norte de Costa Rica», *Tecnología en Marcha*, 28(2): 84-101, 2015.
- HOWELER, R.H. Y CADAVID, L.F.: «Short-and long-term fertility trials in Colombia to determine the nutrient requirements of cassava», *Fert. Res.* 26:61-80, 1990.
- MALLARINO, A.P.; WEBB, J.R. Y BLACKMER, A.M.: «Soil test and grain yields during 14 years of potassium fertilization of corn and soybean», *J. Prod. Agric.* 4 (4):560-566, 1991.
- ORTIZ, C.; CORRALES, I.; YERO, L.; SANTIESTEBAN, R. Y TRAVIESO, M.: «Efecto de la fertilización con NPK en el rendimiento de la yuca (Manihot esculenta Crants)

- cultivada en un Fluvisol». En *Revista Electrónica Granma Ciencia*. 4(3): 1-6, 2000.
- PYPERS, P.; BIMPONDA, W.; LODI-LAMA, J.P.; LELE, B.; MULUMBA, R.; KACHAKA, C.; BOECKX, P.; MERCKX, R. Y VANLAUWE, B.: «Combining mineral fertilizer and green manure for increased, profitable cassava production». *Agronomy Journal* 104(1): 178-187, 2012.
- PYPERS, P.; SANGINGA, J.M.; KASEREKA, B.; WALANGULULU, M. Y VANLAUWE, B.: «Increased productivity through integrated soil fertility management in cassava-legume intercropping systems in the highlands of Sud-Kivu, DR Congo». *Field Crops Research*, 120(1): 76-85, 2011.
- ROSENTHAL, D.M. Y OR, D. R.: «Examining Cassava's Potential to Enhance Food Security Under Climate Change», *Tropical Plant Biology* 5(1): 30-38, 2012.
- SATTARI, S.Z.; BOUWMAN, A.F.; GILLER, K.E. Y VAN ITTERSUM, M.K.: «Residual soil phosphorus as the missing piece in the global phosphorus crisis puzzle». *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 109(16): 6348-6353, 2012.
- SOPHEAP, U.; PATANOTHAI, A. Y AYE, T.M.: «Unveiling constraints to cassava production in Cambodia: An analysis from farmers' yield variations», *International Journal of Plant Production* 6(4): 409-428, 2012.
- SUÁREZ, L. Y MEDEROS, V.: «Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tendencias actuales», *Cultivos Tropicales* 32(3): 27-35, 2011.