

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

Effects of phosphorus and potassium application on the production and quality of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) roots in a sandy soil and subtropical climate

Ángela Maria BURGOS ✉ y Pedro Jorge CENÓZ

Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste. Sargento Cabral 2131. Corrientes, República Argentina. E-mail: burgosangela@agr.unne.edu.ar ✉ Autor para correspondencia

Recibido: 18/05/2010 Fin de primer arbitraje: 10/01/2012 Primera revisión recibida: 24/01/2012
Fin de segundo arbitraje: 27/01/2012 Segunda revisión recibida: 31/01/2012 Aceptado: 08/03/2012

RESUMEN

Se estudió el efecto de tres niveles de fertilización de P_2O_5 (6,81; 23,19; 46,40 $kg \cdot ha^{-1}$) y dos niveles de K_2O (210,60; 421,20 $kg \cdot ha^{-1}$) sobre el cultivo de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en Entisoles del noroeste de la Provincia de Corrientes (27°25' S, 58°40' O), Argentina. Se utilizó un diseño en bloques al azar con 8 tratamientos y 3 repeticiones. Uno de los tratamientos representó al testigo y cada uno de los otros 7 se diferenció por las combinaciones de dos dosis de fertilizantes a base de P y K, calculados para un rendimiento potencial de raíces de 20 $t \cdot ha^{-1}$. El objetivo fue evaluar la incidencia de los tratamientos sobre algunos factores determinantes de la calidad y los componentes del rendimiento de raíces de mandioca, tanto como la sensibilidad de ciertas variables relativas al crecimiento de los órganos aéreos del cultivar 'Rocha'. Los resultados mostraron que no hubo respuesta a la aplicación de K pero la de P incrementó el número de raíces por planta. Respecto a los factores de calidad, tanto el porcentaje de materia seca como el del almidón de raíces se incrementaron con las aplicaciones de P. La longitud de los tallos, el peso fresco de los órganos aéreos y los diámetros de tallos y raíces, no resultaron variables sensibles a los tratamientos aplicados.

Palabras clave: *Manihot esculenta*, fertilización, raíces reservantes, NPK foliar

ABSTRACT

The effect of three P_2O_5 fertilizer levels (6.81; 23.19 and 46.40 $kg \cdot ha^{-1}$) and two K_2O fertilizer levels (210.60 and 421.20 $kg \cdot ha^{-1}$) on the cassava (*Manihot esculenta* Crantz) crop were study in an Entisol of northwest of Corrientes Province (27°25' S, 58°40' W), Argentina. The trial consisted of eight treatments replicated three times in a complete blocks design. Seven treatments were represented by the combination of two dosages of both fertilizers calculated for a potencial yield of 20 $t \cdot ha^{-1}$, plus a control treatment with no fertilizer. The objective was to evaluate the incidence of the treatments upon some quality factors and the yield componentes of cassava roots, as well as the sensivity of some growing variables realtive to the aerial organs in the cultivar 'Rocha'. The results show no response to the K applications but the roots number per plant was incremented by P applications. Respect to the quality factors, root dry matter content as well as root starch content were incremented with P fertilization. Stems lenght, fresh weight of the aerial organs, as well as stems and roots diameter were variables with no sensivity to the treatments evaluated.

Key words: *Manihot esculenta*, fertilization, root, foliar NPK

INTRODUCCIÓN

La mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) es el cultivo que produce mayor cantidad de energía, seguido del maíz, arroz, ocumo (*Xanthosoma* sp), sorgo y papa. De esta planta se aprovechan todos sus órganos para la elaboración de más de 600 productos y subproductos para la alimentación y nutrición animal y humana (Rojas *et al.*, 2007), particularmente en las regiones tropicales del mundo (FAO/FIDA, 2000). Sus raíces comestibles son una de las más

usadas en el mundo, principalmente como fuente de carbohidratos. Argentina es el más austral entre los países productores de Latinoamérica, donde se la cultiva en la región nordeste (SAGPyA, 2003).

En condiciones subóptimas, el potencial de rendimiento del cultivo de mandioca sobresale comparado a otros; según Cardoso (1995), esta rusticidad demostrada ha hecho que los productores destinaran los peores suelos para su implantación y consecuentemente, a pesar de su enorme potencial

productivo, su destacable plasticidad ambiental y su reconocida tolerancia a factores adversos para la producción; la mandioca no ha logrado desarrollar plenamente su potencial de rendimiento (Hershey, 1991). Si bien crece y produce razonablemente buenos rendimientos, aún en suelos erosionados y degradados donde otros cultivos no prosperarían (Howeler, 2002), también extrae considerables cantidades de nutrientes, especialmente potasio (K) y nitrógeno (N) requiriendo altas tasas de fertilización para alcanzar rendimientos máximos. Particularmente, el uso de fertilizantes, es una práctica poco difundida en Argentina, pero altamente desarrollada en otras regiones productoras de mandioca. Los diferentes tipos de suelo, cultivares plantados, formulaciones, dosis y momentos de aplicación de los fertilizantes, influyen notablemente en los rendimientos del cultivo; aunque se desconoce su influencia en los componentes de la calidad (contenido de materia seca, almidón, HCN, etc.), factores muy importantes a considerar cuando el producto es destinado a la industria.

Ensayos llevados a cabo previamente en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), ubicado en el Departamento Capital de la Provincia de Corrientes, sobre un suelo arenoso, liviano, de baja fertilidad; han demostrado aumentos significativos del rendimiento de raíces reservantes mediante el aporte de fertilización nitrogenada (Cenóz *et al.*, 2001). En otros estudios llevados a cabo en el mismo predio, donde se comparaban dos sistemas de plantación y dos dosis de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, la mayor dosis probada, representada por 200-100-300 kg.ha⁻¹ respectivamente, determinó un incremento del 33% en el rendimiento de raíces (Cenóz y Burgos, 2006).

Según los resultados reportados por Maduakor (1997), la aplicación de K es esencial para la obtención de altos rendimientos en Ultisoles de Nigeria. En la mayor parte de los suelos arenosos se puede esperar una deficiencia de K (Howeler, 1981). El fósforo (P), componente básico de las nucleoproteínas, ácidos nucleicos, fosfolípidos y de todas las enzimas involucradas en el transporte de energía, es un elemento esencial para el proceso de fosforilación, fotosíntesis, respiración, descomposición y síntesis de carbohidratos, proteínas y grasas. A través de estos procesos, el P afecta el crecimiento de las raíces (Lotero, 1974; Fassbender, 1967). No obstante, resultados presentados por Ortiz

Garcés *et al.* (2000) mostraron que la interacción y los efectos principales de la aplicación de N, P y K en un fluviosol; no tuvieron un efecto significativo sobre el rendimiento de raíces de mandioca.

De la información con que se cuenta sobre el efecto que la fertilización tiene sobre la calidad de las raíces, es difícil concluir algo concreto al respecto, dado que se encuentran amplios rangos de respuestas (Pellet y El-Sharkawy, 1993).

El objetivo fue evaluar la incidencia de la aplicación de los fertilizantes compuestos por P y K sobre los componentes del rendimiento y la calidad de raíces de mandioca (*M. esculenta* Crantz) cv. 'Rocha' cultivados en suelos arenosos pobres en materia orgánica y nutrimentos sometidos a monocultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de experimentación y características biogeográficas

El ensayo se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste, ubicado en el departamento Capital, al noroeste de la Provincia de Corrientes, Argentina (27° 28' 27" S, 58° 47' 00" O), durante las campañas 2006-2007 y 2007-2008. El clima se caracteriza por presentar precipitaciones promedio de 1300 mm anuales, evapotranspiración media anual según Thornthwaite de 1100 mm y una temperatura media anual de 21,6° C; con un período libre de heladas de 340 a 360 días. De acuerdo a los datos meteorológicos mencionados y tomando la clasificación climática de Köppen la región se clasifica como Cf w'a (h) que expresa un clima mesotermal, cálido templado, sin estación seca con precipitaciones máximas en otoño y veranos muy cálidos con temperaturas superiores a los 22° C y media superior a los 18° C. Por sus características, según Köppen corresponde a Climas Templados Húmedos (De Fina y Ravelo, 1985; INTA, 1996; Strahler y Strahler, 1997, Pascale y Damario, 2004). Las precipitaciones ocurridas en el área de experimentación durante las estaciones de crecimiento del cultivo se muestran en el Cuadro 1.

El suelo del sitio de experimentación es clasificado como Udipsamment álfico, mixta, hipertérmica, pertenece a la Serie Ensenada Grande (Soil Survey Staff, 1975; 1990). Es arenoso, con pH medio, contenido de K, Ca y Mg medio y muy bajo contenido de P y M.O. (Cuadro 2).

La muestra de suelo utilizado para el experimento se obtuvo según la metodología de Prause (2006) durante el inicio de la campaña 2006. Los métodos de determinación utilizados han sido: pH actual con potenciómetro (relación 1:25), P por Bray y Kurtz N°1, K por fotometría de llama, Ca y Mg por complejometría con EDTA, C orgánico por Walkey-Black, N Total por semi-micro Kjeldahl y D.A. por el método de la probeta. Los análisis de suelo necesarios para caracterizar el mismo y determinar las necesidades del cultivo, se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Cátedra de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste.

Material biológico y tratamientos

Se estudió el comportamiento de un cultivar de mandioca clasificado como dulce y denominado 'Rocha' (colorada) durante las campañas 2006-2008. Todas las plantas estudiadas se cultivaron en el huerto clonal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste, bajo las mismas condiciones ambientales y de manejo cultural. En los meses de octubre de cada campaña se realizó la plantación en bolsas plásticas con una capacidad de 0,07 m³, habiéndose utilizado estacas maduras de 15 cm de longitud, en posición horizontal.

Para conocer la necesidad de fertilización del cultivo de mandioca, se aplicó la siguiente fórmula (Howeler, 1981):

$$NF = [RPC - (S/E)] * 100$$

Donde:

NF: Necesidad del fertilizante

RPC: Requerimiento ponderado del cultivo en kg.ha⁻¹

S: Disponibilidad de nutrientes en el suelo en kg.ha⁻¹

E: Eficiencia del fertilizante (%) y 100 es la constante porcentual

En función a esta fórmula y para un requerimiento ponderado para 20 tn.ha⁻¹, se realizó el esquema de fertilización:

Dosis de P aplicadas

P0: 6,81 kg.ha⁻¹ (aporte del suelo)

P1: 23,19 kg.ha⁻¹ lo que equivale a 46,4 kg.ha⁻¹ de Superfosfato Simple, (E=50%). Es lo que se debió agregar al suelo para llegar al nivel crítico (30 kg P.ha⁻¹).

P2: 46,40 kg.ha⁻¹ lo que equivale a 92,7 kg.ha⁻¹ de Superfosfato Simple, (E=50%).

Dosis de K aplicadas

K1: 210,6 kg.ha⁻¹ lo que equivale a 351 kg.ha⁻¹ de Cloruro de Potasio, (E=60%).

K2: 421,2 kg.ha⁻¹ lo que equivale a 702 kg.ha⁻¹ de Cloruro de Potasio, (E=60%).

Cuadro 2. Algunas características físicas y químicas del suelo del área de experimentación ubicada al noroeste de la Provincia de Corrientes, Argentina, al inicio de la campaña 2006.

Propiedad de suelo	Profundidad 0-20(cm)
pH	6,03
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	1,2 x 10 ²
Densidad aparente (g/cm ³)	1,520
P (ppm)	2,272
K (meq/100 g)	0,096
Ca (meq/100 g)	1,252
Mg (meq/100 g)	0,489
C orgánico (%)	0,253
Materia orgánica (%)	0,435
N total (%)	0,025

Cuadro 1. Precipitaciones medias mensuales (mm) del área de experimentación ubicada al noroeste de la Provincia de Corrientes, Argentina; durante el año 2006, 2007 y 2008

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
2006	94,3	18,5	205,0	157,3	47,7	96,2	9,5	20,5	36,3	198,2	127,2	144,2	1154,9
2007	174,5	95,5	153,4	117,4	11,2	18,0	4,5	1,3	155,8	134,0	135,9	178,3	1179,8
2008	55,3	93,9	55,0	48,7	8,0	68,5	3,9	19,3	91,0	270,1	43,7	109,5	866,9
Prom	108,0	69,3	137,8	107,8	22,3	60,9	5,97	13,7	94,3	200,7	102,2	144,0	1067,2

Se establecieron 8 tratamientos con 3 repeticiones cada uno. Uno de los tratamientos representó al testigo (Tratamiento 5) y cada uno de los otros siete se diferenciaron por las combinaciones de dos dosis de fertilizantes a base de P y K, calculados para el rendimiento potencial de raíces de 20 t.ha⁻¹ (Howeler, 2002): Tratamiento 1: P1-K1, Tratamiento 2: P2-K2, Tratamiento 3: P1-K2, Tratamiento 4: P2-K1, Tratamiento 5 (testigo): P0-K0, Tratamiento 6: P1-K0, Tratamiento 7: P0-K1, Tratamiento 8: P2-K0. Cada tratamiento contaba con tres repeticiones y tres plantas por repetición.

Para mantener el balance de nutrimentos, a todos los tratamientos también se aplicó una dosis única de N de 35,8 kg de N.ha⁻¹ que se aportaron a través de la incorporación de 100 kg de urea.ha⁻¹ (E=78%), calculado también en función al rendimiento potencial del cultivo.

Los tratamientos fueron aplicados 20 días posplantación (DPP).

VARIABLES MEDIDAS

Número de raíces reservantes.planta⁻¹ (NRR), peso fresco (g) de raíces reservantes.planta⁻¹ (PRR), diámetro (mm) de la base de tallos, altura de tallo (cm), peso fresco (g) de los órganos aéreos (POA) que incluye hojas y tallos, diámetro (mm) de raíces reservantes, porcentaje de materia seca (MS) de las raíces reservantes y porcentaje de almidón de raíces expresado sobre materia seca. Porcentaje de N, P y K foliar.

DISEÑO DE MUESTREO

El muestreo se realizó a los 150 DPP.

El porcentaje de materia seca de raíces se obtuvo por diferencia entre el peso fresco y el peso seco de muestras compuestas de raíces tomadas al azar. Las mismas fueron secadas en estufas a 65° C hasta peso constante. Cada muestra consistió en 100 gr de raíces sin epidermis (peladas) trozadas radialmente en cilindros de no más de 0,5 cm de espesor, por tratamiento se realizaron 3 repeticiones. A partir de estas muestras se llevaron a cabo las determinaciones del contenido de almidón de raíces reservantes según metodología de Krochmal y Kilbridge (1966) realizadas en el Laboratorio del Departamento de Producción Vegetal de la Facultad

de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste.

Para realizar el análisis foliar del contenido (%) de N, P y K, se extrajeron 20 láminas del estrato medio de las plantas por cada uno de los tratamientos (Howeler, 2002).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se evaluaron determinando la prueba de normalidad. En función de ello se realizaron los análisis de varianza, prueba de contrastes y test de Duncan ($\alpha=0,05$) mediante el programa estadístico InfoStat versión 2009 (InfoStat, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En contraposición a lo encontrado por Cadavid *et al.* (1997), Cadavid (2003) y Gutiérrez *et al.* (2007); en este ensayo no se hallaron diferencias de orden estadístico entre tratamientos para las variables relacionadas con la parte aérea de las plantas: altura y diámetro de tallos (Cuadro 3), Tampoco hubo diferencias en el peso fresco de órganos aéreos (POA) ni en el diámetro de las raíces (Cuadro 4). Es por ello que dichas variables se consideran como insensibles a los tratamientos de fertilización evaluados en el presente ensayo.

Cuadro 3. Componentes de la parte aérea de plantas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cv. Rocha cultivadas al noroeste de la Provincia de Corrientes, Argentina durante las campañas 2006-2007 y 2007-2008.

Tratamiento	POA (g.pl)	Altura del tallo (cm)	Diámetro del tallo (mm)
T1 (P1-K1)	719,67 a	1,51 a	17,93 a
T2 (P2-K2)	355,00 a	1,72 a	18,02 a
T3 (P1-K2)	654,67 a	1,45 a	21,59 a
T4 (P2-K1)	662,67 a	1,40 a	20,68 a
T5 (P0-K0)	689,67 a	1,53 a	18,81 a
T6 (P1-K0)	490,67 a	1,46 a	17,66 a
T7 (P0-K1)	552,33 a	1,38 a	20,60 a
T8 (P2-K0)	595,00 a	1,39 a	19,55 a
CV %	39,06	20,43	17,84

POA: Peso fresco de órganos aéreos

Letras iguales no hay diferencias significativas al 0.05% de acuerdo al test de Duncan

De los componentes del rendimiento, número de raíces (NRR) y peso de raíces (PRR) por planta, solo el primero mostró diferencias de orden estadístico ($\alpha=0,05$) en función del tratamiento aplicado (Cuadro 4). Esta respuesta se explica porque las mediciones de estas variables se realizaron a los 150 DPP, momento en que el componente del rendimiento "peso" aún no se define, porque el mismo se determina más adelante, al final de la estación de crecimiento, cuando la planta entra en reposo invernal aproximadamente a los 240 DPP (bajo el sistema de producción anual en clima subtropical). Por su parte, las diferencias estadísticas encontradas en el NRR, responden a que la planta define este componente del rendimiento durante el primer período de su desarrollo, según los resultados presentados por Cock *et al.* (1979) y citado por Negrete *et al.* (2004). Asimismo, las raíces reservantes se distinguen fácilmente a partir de los 60-90 DPP (Montaldo, 1979; Alves, 2002; Ternes, 2002).

En esta instancia de evaluación (150 DPP) en que queda definido el NRR, se observa una tendencia hacia una respuesta favorable cuando se realiza una fertilización fosfórica en ausencia de K (Trat 6 y 8), dado que existe un nivel crítico estimado de K suficiente para este cultivo explicando la ausencia de respuesta al mismo.

El NRR resultó incrementado de manera significativa por la fertilización fosfórica independientemente de la dosis del nutriente aplicada (Trat 6 y 8) y en ausencia de fertilización potásica. El comportamiento diferencial frente a las aplicaciones de nutrientes, responden a los niveles críticos presentes en el suelo del sitio de experimentación.

El contenido crítico de deficiencia de P es de 15 ppm en el suelo, extraído con la solución Bray II, Olsen o North Carolina (CIAT, 1982), y el suelo del sitio de experimentación solo contaba con 2, 272 ppm (Cuadro 2), encontrándose muy por debajo del nivel crítico para este cultivo.

Por su parte, el contenido crítico de K en el suelo es de aproximadamente 0,15-0,17 meq.100g⁻¹ extraído con la solución Bray II, o North Carolina (Howeler, 2002); por lo que el contenido presente en el suelo del sitio de experimentación (Cuadro 2) se encuentra no muy alejado del nivel crítico, razón por la cual no hubo respuesta a la aplicación de este elemento.

Más aún, según los resultados presentados por Maduakor (1997) en ensayos realizados en Ultisoles de Nigeria, la fertilización con K resulta esencial para alcanzar rendimientos aceptables de mandioca, pero debe ser realizada recién 3-4 meses después de la plantación, cuando el sistema radical se encuentra suficientemente desarrollado para su absorción a fin de reducir las pérdidas del mismo en función a la intensidad de las precipitaciones. Dado que en el presente ensayo, la aplicación potásica se realizó 20 DPP, con un sistema radical incipiente y precipitaciones del mes de octubre de 198,2 y 134 mm para el año 2006 y 2007 respectivamente (Cuadro 1), la eficiencia de la aplicación del mismo habría resultado reducida por lixiviación.

Por otro lado, estudios realizados por Krochmal y Samuels (1967) demostraron que altos niveles de K no favorecieron la producción de raíces reservantes y que la mayor producción de éstas,

Cuadro 4. Componentes del rendimiento y la calidad de las raíces reservantes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cv. 'Rocha', número de raíces por planta (NRR.pl⁻¹), peso en gramos (g) de raíces por planta (PRR.pl⁻¹), porcentaje de materia seca de raíces (MS), porcentaje de almidón sobre materia seca de raíces (ALM/MS) y diámetro de raíces reservantes (DRR) (mm) cultivadas al noroeste de la Provincia de Corrientes, Argentina durante las campañas 2006-2007 y 2007-2008.

Tratamiento	NRR	PRR (g.pl ⁻¹)	MS (%)	ALM/MS (%)	DRR (mm)
T1 (P1-K1)	8,67 a	1061,67 a	25,90 ab	97,36 bc	40,39 a
T2 (P2-K2)	11,67 ab	1188,67 a	24,41 a	98,08 cd	33,35 a
T3 (P1-K2)	9,33 a	1630,33 a	27,91 b	97,22 bc	35,31 a
T4 (P2-K1)	11,67 ab	1813,33 a	25,61 a	96,53 b	37,14 a
T5 (P0-K0)	11,33 ab	2055,33 a	30,08 c	93,18 a	39,24 a
T6 (P1-K0)	13,67 b	1846,67 a	26,45 ab	98,75 d	37,50 a
T7 (P0-K1)	11,67 ab	1505,33 a	30,33 c	97,62 bcd	33,92 a
T8 (P2-K0)	13,00 b	2133,00 a	33,39 d	98,32 cd	40,04 a
CV %	14,02	42,64	3,05	0,56	11,75

Letras iguales no hay diferencias significativas al 0.05% de acuerdo al test de Duncan

estuvo asociada con un alto nivel de fósforo. Estos mismos autores demostraron que no existe formación de raíces reservantes con altos niveles de N y bajos niveles de P y K, y observaron que de los tres elementos principales, el P era el que más afectaba el rendimiento. En coincidencia con lo expuesto por Howeler (2002), en los suelos de Latinoamérica, el cultivo de mandioca responde más a las fertilizaciones con P, mientras que en África responde más al K y en Asia al N. De manera similar, los rendimientos de mandioca cultivada en un suelo arenoso oscuro de Colombia aumentaron hasta un nivel máximo después de aplicaciones medias de P y bajas de K (CIAT, 1978).

Entre los componentes de la calidad de raíces evaluados, tanto el porcentaje de materia seca (MS) como el porcentaje de almidón (ALM), mostraron diferencias en función de los tratamientos aplicados (Cuadro 4).

El porcentaje de materia seca de las raíces reservantes resultó significativamente incrementado por la aplicación de fósforo en su dosis máxima (Tratamiento 8). El P es esencial para ciertos procesos fisiológicos como la síntesis de carbohidratos (Howeler, 1981), ya que el contenido de almidón de raíces registra disminuciones de 32 a 25 % cuando este elemento es eliminado de las soluciones nutritivas (Malavolta, 1955) y la producción total de MS registra reducciones de 10% (CIAT, 1977). Este resultado es de gran importancia para los productores, dado que el contenido de materia seca es el factor de calidad más importante en raíces de mandioca destinadas a uso industrial (Montaldo, 1979).

El porcentaje de almidón en las raíces reservantes también respondió favorablemente y de manera significativa a la aplicación de ambas dosis de fósforo (Tratamientos 6 y 8).

Estudios sobre aplicaciones conjuntas de N-P-K muestran resultados inconclusos, ya que el almidón y materia seca a veces aumentan y a veces decrecen (Sitiboot *et al.*, 1978; Duangpatra, 1987).

En relación a la tasa fotosintética, los bajos niveles de K la reducen muy poco, pero los bajos niveles de N y particularmente de P, la reducen aproximadamente 20 % (CIAT, 1978), lo cual explicaría la respuesta positiva a la fertilización fosfórica y el incremento del almidón y la materia seca de raíces.

En ensayos realizados en Colombia con mandiocas cultivadas bajo condiciones de bajos niveles de fertilidad demostraron que si bien las plantas limitaban el área fotosintética, la proporción de materia seca total cosechada en las raíces fue mucho mayor que en terrenos de mayor fertilidad (CIAT, 1978).

Si bien la mandioca extrae cantidades relativamente pequeñas de P del suelo y crece en muchos suelos deficientes en este elemento, Edwards (1977) encontró que su requerimiento es muy elevado y que se desarrolla al máximo en soluciones con concentraciones de P de 15-40 veces más altas que la que necesita el maíz, por lo tanto se requieren niveles elevados de este nutriente para lograr rendimientos máximos, si bien puede adaptar su índice de crecimiento a condiciones de deficiencia del mismo (Edwards, 1977).

La concentración de almidón está altamente correlacionados ($r=0,810$) (IITA, 1974; CIAT, 1975) con el contenido de materia seca, ya que este representa hasta un 90% de la misma. Como el P es esencial para el proceso de fosforilación en la síntesis del almidón (Montaldo, 1979), un buen suministro de este elemento aumentará la producción de raíces (en términos de número de raíces) y el contenido de almidón de las mismas.

El estado nutricional medido a través del porcentaje de N, P y K a nivel foliar, mostró que el K varió en función del tratamiento aplicado entre 0,73-1,00 % (Cuadro 5), sin que el mismo haya repercutido en las variables alométricas estudiadas (Cuadros 3 y 4).

Cuadro 5. Análisis foliar de plantas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cv. 'Rocha' cultivadas al noroeste de la Provincia de Corrientes, Argentina durante las campañas 2006-2007 y 2007-2008.

Tratamiento	N (%)	P (%)	K (%)
T1 (P1-K1)	1,57	0,20	0,88
T2 (P2-K2)	2,13	0,22	1,00
T3 (P1-K2)	1,15	0,20	0,83
T4 (P2-K1)	1,16	0,22	0,81
T5 (P0-K0)	1,79	0,25	0,77
T6 (P1-K0)	1,20	0,21	0,73
T7 (P0-K1)	1,11	0,22	0,96
T8 (P2-K0)	1,73	0,25	0,90

CONCLUSIONES

No se encontraron respuestas a la aplicación de K porque este se encontraba dentro del nivel crítico en el suelo.

El nivel de P presente en el suelo se encontraba muy por debajo del nivel crítico y es por ello que se ha encontrado respuesta a su aplicación. En la instancia de muestreo realizada en esta investigación (150 DPP) a nivel experimental, los resultados obtenidos demuestran que bajo las condiciones de evaluación, la aplicación de P favorece uno de los componentes del rendimiento (número de raíces) y ambos componentes de la calidad de raíces de mandioca (almidón y materia seca) del cv Rocha.

El número de raíces se incrementa de manera significativa independientemente de la dosis del fósforo aplicada, estos resultados permitirían utilizar este parámetro como estimador del rendimiento potencial del cultivo.

De los factores relativos a la calidad de raíces, el porcentaje de materia seca resultó significativamente incrementado por la aplicación de fósforo en su dosis máxima mientras el porcentaje de almidón respondió independientemente de la dosis.

Las variables relacionadas con los órganos aéreos de las plantas resultaron insensibles a los tratamientos aplicados.

La validación de resultados implica el desarrollo de futuras investigaciones a ser publicadas que contemplen experimentos a campo en suelos productivos a escala comercial, con recolección de muestras en etapas más avanzadas del ciclo de cultivo, que permitirán establecer la incidencia de los tratamientos sobre el peso de raíces reservantes.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto 32/04 acreditado por la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste, que financia estas investigaciones.

LITERATURA CITADA

Alves, A. A. C. 2002. Cassava Botany and Physiology. En: Cassava: Biology, Production and

Utilization. Hillocks, RJ, JM Thresh; AC Belloti (eds). CABI Publishing, New York, pp 67-89.

Cadavid, L. F.; M. A. El-Sharkawy, A. Acosta and T. Sanchez. 1997. Long-term effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in northern Colombia. *Field Crops Research* 57 (1998)45-56.

Cadavid, L. F. 2003. Suelo y fertilización para la yuca. En: B. Ospina y H. Ceballos (EDS). La yuca en el Tercer Milenio. Sistemas Modernos de Producción, Procesamiento, Utilización y Comercialización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. pp 76-103.

Cardoso, C. E. L. 1995. Efeitos das politicas publicas sobre a producao de mandioca no Brasil. Piracicaba, S.P.: USP-ESALQ, 180 p. Dissertação de Mestrado em Economia Agrária-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidades de San Paulo, Piracicaba. En: M. P Cereda (COORD). Agricultura: Tuberosas amiláceas Latinoamericanas. San Paulo, Brasil. 2: 29-47.

Cenóz, P. J.; A. E López y A. M. Burgos. 2001. Efecto de los macronutrientes en el desarrollo y rendimiento de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Agrotecnia* 7: 9-12

Cenóz, P. J. y A. M. Burgos. 2006. Plantación Directa en el cultivo de Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). XXIX Congreso Argentino de Horticultura, San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina.

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1975-1991. Annual Report of CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) Cassava Program, Cali, Colombia.

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1982. Cassava Program Annual Report for 1981. CIAT, Cali, Colombia.

Cock, J. H.; D. Franklin; G. Sandoval; P. Juri. 1979. The Ideal Cassava Plant for maximum yield. *Crop Sci.* 25: 265-272.

De Fina, A. L. y A. C. Ravelo. 1985. Climatología y Fenología Agrícolas. 4º Ed. EUDEBA. Buenos Aires, Argentina. 354 pp.

- InfoStat, 2009. Grupo Infostat versión 2009p. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Duangpatra, P. 1987. Effects of sources of N, P and K fertilizers on the growth and yield cassava. En: College of Agriculture, annual report 1987, Kasetsart University, Bangkok, Tailandia.
- Edwards, D. G.; C. J. Asher and G. L. Wilson. 1977. Mineral nutrition of cassava and adaption to low fertility conditions. En: R. Howeler. 1981. Nutrición Mineral y fertilización de la yuca. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 55 p.
- Fassbender, H. W. 1967. La fertilización del frijol (*Phaseolus sp.*). En: Yuca: Investigación, Producción y Utilización Documento de Trabajo N° 50. Programa de yuca. Referencia de los cursos de Capacitación sobre Yuca dictados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola/Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y las Alimentación (FIDA/FAO). 2000. La economía mundial de la yuca: hechos, tendencias y perspectivas. Roma, Italia. 59 p.
- Gutiérrez, W.; D. Cuevas, C. Medrano, A. Gomez, B. Medina; Y. Villalobos. 2007. Efecto de la fuente de fertilización sobre el desarrollo, rendimiento y beneficio económico de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) bajo dos sistemas de labranza. Rev, Unell. Cienc. Tec. 90-100.
- Hershey, C. H. 1991. Mejoramiento Genético de la Yuca en América Latina. CIAT. Centro internacional de Agricultura Tropical, Colombia. 426 p.
- Howeler, R. 1981. Nutrición Mineral y fertilización de la yuca. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 55 p.
- Howeler, R. 2002. Cassava Mineral Nutrition and Fertilization. 115-147pp. En: Hillocks, R. J., J. M.Tresh and A. Bellotti (EDS). Cassava: Biology, Production and Utilization. Natural Resources Institute, University of Greenwich, U.K. Centro Internacional de Agricultura Tropical, (CIAT), Cali, Colombia. March 2002, 352 pp.
- International Institute of Tropical Agriculture (IITA). 1974, 1977, 1978, 1980. Annual Report. IITA., Ibadan, Nigeria. En: Hillocks, R. J., J.M Tresh and A. Bellotti (EDS). Cassava: Biology, Production and Utilization. Natural Resources Institute, University of Greenwich, U.K. Centro Internacional de Agricultura Tropical, (CIAT), Cali, Colombia. March 2002, 352 pp.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 1996. Mapa de Suelos de la Provincia de Corrientes 1:500.000. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Corrientes. Estación Agropecuaria Corrientes. Área de Producción Vegetal y Recursos Naturales. Corrientes, Argentina. 390 pp
- Krochmal, A. and B. Kilbrides. 1966. An inexpensive laboratory method for cassava starch extraction. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico. 50 (3): 252-253.
- Krochmal, A. and G. Samuels. 1967. The influence of N, P, K levels on the growth and tuber development of cassava in tanks. 1st.Intern. Symp. Trop. Roots Crops, Trinidad, 1 (2):97-102.
- Lotero, J. C.1974. Absorción de Fósforo y sus funciones en la planta. En: Yuca: Investigación, Producción y Utilización Documento de Trabajo N° 50. Programa de yuca. Referencia de los cursos de Capacitación sobre Yuca dictados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Maduakor, H. O.1997. Effect of land preparation method and potassium application on the growth and root storage root yield of cassava in an acid Ultisol. Soil and Tillage Research 41: 149-156
- Malavolta, E. 1955. Studies on the mineral nutrition of cassava (*Manihot utilissima* Pohl). Plant Physiol. 30(1): 81-82. En: Howeler, R. 1981. Nutrición Mineral y fertilización de la yuca. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 55 p.
- Montaldo, A. 1979. La yuca o mandioca. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, San José, Costa Rica, 386 pp.
- Negrete, B.F.; S. F. Essen y M. J. Gregorio. 2004. Efecto de la *Crotalaria juncea*, I. En arreglos espaciales dentro del sistema yuca/maíz como práctica de manejo cultural del chinche de la viruela

- Cyrtomenus bergi froeschner*.CORPOICA, Ecorregión Caribe, Departamento Sistemas. <http://www.turipana.org.co-/crotalaria.htm>
- Ortiz Garcés, C.; I. Corrales Garriga, L. Yero Valdés, R. Santiesteban Santos, M. Travieso Torres. 2000. Efecto de la Fertilización con NPK en el rendimiento de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivada en un fluviosol. Rev. Electrónica Granma Ciencia. 4 (3).
- Pascale, A. J. y E. A. Damario. 2004. Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.550 pp.
- Pellet, D. y M. A. El-Sharkawy. 1993. Cassava varietal response to phosphorus fertilization. I. Yield, biomass and gas exchange. Field Crops Research 35(1): 1-11.
- Prause, J. 2006. Análisis de suelo. Técnica de muestreos de suelo, agua, plantas. Bases prácticas para la fertilización. Editorial Librería La Paz. Resistencia, Chaco.96 pp.
- Rojas, R.; W. Gutiérrez, D. Esparza, B. Medina, Y. Villalobos y L. Morales. 2007. Efecto de la densidad de plantación sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de la yuca *Manihot esculenta* Crantz, bajo las condiciones agroecológicas de la Altiplanicie de Maracaibo. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ). 24 (1): 94-112.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA). 2003. Análisis de la Cadena alimentaria.(http://www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/horta/Fecula-Mandioca/Fecula_Mandioca .htm.) [fecha de consulta: 10/08/03]
- Sitiboot, C. 1978. Influence of N and K fertilizations on starch content and yields of cassava. En: Department of Agriculture (Tailandia). Annual report for 1978. Ministry of Agriculture, Bangkok, 56 pp.
- Strahler, A.N. y A. H. Strahler. 1997. Geografía Física. 3º Edición. OMEGA. Barcelona, España. 550 pp.
- Soil Survey Staff, 1975, Soil Taxonomy. EE.UU., Departamento de Agricultura, Servicio de Conservación de Suelos. Traduc. Venezuela. Manual N° 18.
- Soil Survey Staff. 1990. Keys to Soil Taxonomy By Survey Staff SMSS Technical Monograph N° 6 Fourth Edition. Blacesburg, Virginia. USA.
- Ternes, M. 2002. Fisiología da Planta. En: Agricultura: Tuberosas amiláceas Latino Americanas. Cereda, MP (coord). Fundação Cargill. San Paulo, Brasil. 4: 66-82.