

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN, DIRECCIÓN DE PROYECTOS  
ESCUELA DE AGRONOMÍA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS AL TRÓPICO HÚMEDO**

**EVALUACIÓN DEL MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN INORGÁNICA AL SUELO  
Y FOLIAR EN EL CULTIVO DE LA YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) EN LA  
ZONA DE SAN CARLOS, COSTA RICA.**

**INFORME FINAL**

**Marzo del 2014**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Generalidades y localización .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Manejo del cultivo .....</b>	<b>4</b>
2.2.1 Finca Pepín .....	4
2.2.2 Finca Laberinto.....	5
2.2.3 Finca Sonafluca .....	6
<b>2.3 Tratamientos.....</b>	<b>7</b>
2.3.1 Finca Pepín .....	8
2.3.2 Finca Laberinto.....	10
2.3.3 Finca Sonafluca .....	12
<b>2.4 Diseño experimental .....</b>	<b>14</b>
2.4.1 Descripción del área experimental .....	14
<b>2.5 Variables de medición de la información.....</b>	<b>15</b>
2.5.1 Análisis foliar .....	15
2.5.2 Materia seca (follaje, tallos y raíces).....	15
2.5.3 Rendimiento.....	16
2.5.4 Análisis económico .....	17
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Curva de crecimiento en peso seco .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Efecto de los tratamientos en la materia seca de las hojas .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3 Efecto de los tratamientos en la materia seca del tallo .....</b>	<b>21</b>
<b>3.4 Efecto de los tratamientos en la materia seca de las raíces .....</b>	<b>23</b>
<b>3.5 Análisis foliar.....</b>	<b>25</b>
<b>3.6 Efecto de los tratamientos en el rendimiento del cultivo .....</b>	<b>27</b>

3.7	Rentabilidad de los tratamientos .....	29
<b>4</b>	<b>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>30</b>
4.1	Curva de crecimiento en peso seco .....	30
4.2	Efecto de los tratamientos en la materia seca de las hojas .....	31
4.3	Efecto de los tratamientos en la materia seca del tallo .....	32
4.4	Efecto de los tratamientos en la materia seca de las raíces y en la concentración de nutrientes en las hojas.....	32
4.5	Efecto de los tratamientos en el rendimiento del cultivo .....	34
4.5.1	Finca Pepín .....	34
4.5.2	Finca Laberinto.....	36
4.5.3	Finca Sonafluca .....	37
4.5.4	Rentabilidad de los tratamientos.....	37
<b>5</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>42</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Dosis, fuentes y momentos de aplicación de fertilizantes en el tratamiento completo al suelo (TC) para las tres fincas. Santa Clara, San Carlos. Enero del 2014. ....	8
Cuadro 2. Dosis, fuentes y momento de aplicación de fertilizantes en el tratamiento foliar. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna. Enero del 2014. ....	9
Cuadro 3. Dosis, fuentes y momentos de aplicación de fertilizantes en el tratamiento testigo del cultivo de yuca. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna. Enero del 2014. ....	10
Cuadro 4. Dosis, fuentes y momentos de aplicación de fertilizantes en el tratamiento foliar. Finca Laberinto, El Parque, Los Chiles. Enero del 2014. ....	11
Cuadro 5. Dosis, fuentes y momentos de aplicación de fertilizantes en el tratamiento testigo del cultivo de yuca. Finca Laberinto. El Parque, Los Chiles. Enero del 2014. ....	12
Cuadro 6. Dosis, fuentes y momentos de aplicación de fertilizantes en el tratamiento foliar. Finca de Sonafluca, La Fortuna, San Carlos. Enero del 2014. ....	13
Cuadro 7. Dosis, fuentes y momentos de aplicación de fertilizantes en el tratamiento testigo del cultivo de yuca. Finca de Sonafluca. La Fortuna, San Carlos. Enero del 2014. ....	14
Cuadro 8. Costo de los fertilizantes y rendimiento de cada tratamiento. Fincas Pepín y de Sonafluca. La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014. ....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Acumulación de materia seca en diferentes órganos de la planta de yuca. Finca .	18
Fig. 2. Acumulación de materia seca en diferentes órganos de la planta. Finca Laberinto, El Parque, Los Chiles. Costa Rica. Enero de 2014. ....	18
Fig. 3. Acumulación de materia seca en diferentes órganos de la planta de yuca. Finca de .....	19
Fig. 4. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en las hojas de la planta de yuca. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014. ....	20
Fig. 5. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en las hojas de la planta de yuca. Finca Laberinto, El Parque, Los Chiles, Costa Rica. Enero de 2014. ...	20
Fig. 6. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en las hojas de la planta de yuca. Finca en Sonafluca. La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014. ....	21
Fig. 7. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en el tallo de la planta de yuca. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014. ....	22
Fig. 8. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en el tallo de la planta de yuca. Finca Laberinto, El Parque, Los Chiles, Costa Rica. Enero de 2014. ....	22
Fig. 9. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en el tallo de la planta de yuca. Finca de Sonafluca. La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014. ....	23

Fig. 10. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en las raíces de la planta de yuca. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.....	24
Fig. 11. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en las raíces de la planta de yuca. Finca Laberinto, El Parque, Los Chiles, Costa Rica. Enero de 2014. ..	25
Fig. 12. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en las raíces de la planta de yuca. Finca de Sonafluca. La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014. ....	25
Fig. 13. Efecto de los tratamientos sobre la concentración de nitrógeno total en las hojas. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014. ....	26
Fig. 14. Efecto de los tratamientos sobre la concentración de los elementos Ca, K, P y S en las hojas a los siete meses. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014. ....	27
Fig. 15. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de yuca. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.....	28
Fig. 16. Rendimiento de yuca en finca de Sonafluca. La Fortuna, Costa Rica. Enero del 2014. ....	29
Fig. 17. Rendimiento total de yuca sin rechazo en finca de Sonafluca. La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero del 2014. ....	29

## **ANEXOS**

### **Cuadros**

Cuadro A 1. Resultados de los análisis de suelos correspondientes a las tres localidades donde se instalaron los experimentos. Santa Clara, San Carlos. Enero del 2014. ....	42
Cuadro A 2. Cuadro A 2. Variables con diferencias significativas en el análisis de varianza y sus contrastes polinomiales significativos. Finca Pepín. ITCR, Santa Clara, San Carlos. Enero del 2014. ....	43
Cuadro A 3. Variables con diferencias significativas en el análisis de varianza y sus contrastes polinomiales significativos. Fincas Laberinto y de Sonafluca. ITCR, Santa Clara, San Carlos. Enero del 2014.....	44

### **Figuras**

Fig. A1. Precipitación durante el ciclo del cultivo en fincas Pepín y Laberinto. Medidas en pluviómetros (agosto de 2012 (1) a junio de 2013 (11)) instalados durante la siembra en las respectivas fincas. Santa Clara. Enero de 2014. ....	45
Fig. A 2. Temperatura promedio de 2013 y la esperada durante el período de 1978-2012. Estación meteorológica del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Santa Clara, San Carlos (latitud 10° 21' 44.46", longitud 84° 30' 35.54"). Enero del 2014.....	45
Fig. A 3. Foto con plantación de yuca afectada por plagas (Ácaro, Trips y Mosca blanca). Sonafluca, Los Ángeles, La Fortuna. Enero del 2014. ....	46

**EVALUACIÓN DEL MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN INORGÁNICA AL SUELO  
Y FOLIAR EN EL CULTIVO DE LA YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) EN LA  
ZONA DE SAN CARLOS, COSTA RICA.**

**Participantes:**

Ing. Agr. Parménides Furcal Beriguete, M.Sc. Instituto Tecnológico de Costa Rica, ITCR.  
Escuela de Agronomía. Coordinador.

Ing. Agr. Sergio Torres Portuguez, M.Sc. Instituto Tecnológico de Costa Rica, ITCR.  
Escuela de Agronomía.

Ing. Agr Wagner Andrade Carballo, Lic. Ex-estudiante de Agronomía, ITCR, Escuela de  
Agronomía.

**Marzo del 2014**



## Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de métodos de fertilización en el cultivo de yuca, variedad Valencia, para la búsqueda de la mejor alternativa en rendimiento y la rentabilidad. Se estableció en tres fincas, dos de ellas localizadas en el cantón de San Carlos, distrito La Fortuna en suelos de origen volcánicos de fertilidad media (finca Pepín) y fertilidad alta (finca de Sonafluca) y la otra en el cantón de Los Chiles en suelo ultisol de fertilidad baja (finca Laberinto). Se aplicaron cuatro tratamientos: fertilización completa al suelo, fertilización únicamente foliar, combinación de los dos tratamientos anteriores y fertilización regular de cada finca (tratamiento testigo), 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. En Los Chiles, el estudio se llegó hasta la cosecha, pero no se obtuvieron datos de rendimiento. Los resultados obtenidos en finca Pepín mostraron diferencias ( $p$ -valor  $< 0,05$ ) en la 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, este produjo el mejor rendimiento con 16,1 t/ha. En la finca de Sonafluca el testigo presentó el mayor rendimiento con 20,85 t/ha; en esta finca como en Laberinto hubo diferencias ( $p$ -valor  $< 0,05$ ) en la materia seca a los seis meses de edad. Se concluye que el tratamiento sólo foliar (usado comúnmente por pequeños productores) es el más económico, mientras que el testigo (aplicación de fertilizantes al suelo y a las hojas según el productor) fue el tratamiento con mejor rendimiento.

**Palabras claves:** *Manihot esculenta*, materia seca en yuca, fertilización foliar en yuca, fertilización al suelo en yuca, rendimiento de yuca.

## Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of methods fertilization on cassava cultivation, Valencia variety, to search for the best alternative in yield and profitability. It was established 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 ultisol soil of low fertility (farm Laberinto). Four treatments were applied: complete soil fertilization, foliar fertilization only, combination of these two treatments and regular fertilization on each farm (control treatment), 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. In Los Chiles, the study came to harvest, but no yield data were obtained. The results obtained in farm Pepin showed differences ( $p$ -value  $< 0,05$ ) 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 ( $p$ -value  $< 0, 05$ ) 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 the producer) was the best yield treatment.

**Keywords:** *Manihot esculenta*, Cassava dry matter, foliar fertilization in cassava, soil fertilization in cassava, cassava yield.

## 1 Introducción

Dentro del gran mercado mundial de este cultivo, Costa Rica con 11 800 ha aparece en el sexto lugar en exportación con una participación del 2% entre los años 2008-2011 (MAG, 2012), colocando más de 80 000 toneladas por año. En el año 2011 ocupó un segundo lugar en variación porcentual en el área sembrada de cultivos agrícolas en el país, con una producción de 195 100 t, por ello se posicionó en un cuarto lugar en producción agrícola del país (MAG, 2012). Esta estadística convierte al cultivo de la yuca en una alternativa, dentro de los productos agrícolas no tradicionales, para los agricultores de la región Huetar Norte y Atlántica del país, principales zonas productoras de esta raíz.

La yuca es considerada una planta de aprovechamiento integral, debido a que sus raíces y hojas son fuentes de carbohidratos y proteínas. Sus raíces son utilizadas en la alimentación humana de diferentes formas y como complemento de concentrados en la dieta de animales, además de ser empleada como materia prima en la industria con gran variedad de productos (almidón industrial, alcohol carburante, gomas, adhesivos, entre otros) (Cadavid, 2008). La raíz de esta planta, es de 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 la hace una especie de mucho valor socioeconómico para los agricultores y consumidores de bajo alcance económico en países tropicales.

El principal problema de la actividad productiva de yuca en el país, es que se ha industrializado muy poco y los rendimientos han bajado a través de los años. Al 2008 sólo 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 diversas, encontrándose del mismo modo, resultados tan disímiles que no concluyen en una técnica exclusiva. Se observa además, que no existen suficientes investigaciones publicadas recientemente, que reporten trabajos donde se ajusten las fertilizaciones a las curvas de crecimiento y absorción de nutrimentos del cultivo (Cenoz *et al.*, 2000). El manejo de fertilización no siempre cubre las necesidades del cultivo y en otras ocasiones se aplican los fertilizantes en forma muy desbalanceadas y fuera de las épocas de mayor necesidad. López (2002), Mejía de Tafur (2002), De Diego y Quirós (2006) y Cadavid (2008), concuerdan 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 los 150 DDS, que coincide con la más alta tasa de acumulación de materia seca. A partir de los cinco meses, la tasa de absorción descende 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; son las que inciden para que se presenten rendimientos desde muy bajos ( $\leq 10$  t/ha) hasta muy buenos ( $\geq 40$  t/ha) entre los productores. Los programas de fertilización manejados en el país van desde la fertilización exclusivamente foliar, practicada mayormente por pequeños productores, 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, en otras ocasiones se aplican en forma muy desbalanceadas, lo que atenta con el rendimiento sostenible y la rentabilidad del cultivo.

Las inquietudes anteriores, además de las estadísticas sobre la importancia socioeconómica de este cultivo en el sector agrícola de la región Huetar Norte del país, guiaron la necesidad de plantear este experimento, sustentado en las investigaciones sobre las fases vegetativas de mayor necesidad nutricional del cultivo de yuca, pero sin certeza en cuál órgano de la planta y con qué frecuencia deben aplicarse los fertilizantes, de manera que se ajusten mejor al nivel de fertilidad de los suelos y a las condiciones climáticas de la región. De esa forma, se establecieron varios tratamientos, aplicaciones de fertilizantes tanto al suelo como vía follaje 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 el cultivo de yuca, variedad Valencia, en diferentes fincas, para la búsqueda de la mejor alternativa en rendimiento y la rentabilidad.

## **2 Materiales y métodos**

### **2.1 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 ubicados en la Fortuna de San Carlos, uno de ellos en un suelo inceptisol originado por el arrastre de materiales volcánicos por los

ríos con fertilidad media y otro localizado en un suelo andisol de fertilidad alta, y un tercer lugar ubicado en el poblado de el Parque de Los Chiles, en suelos viejos con fertilidad baja (Cuadro A 1).

Se trabajó en la finca Pepín lote 4, por medio de B&C Exportadores Del Valle de Ujarrás S.A; empresa dedicada a la producción, comercialización interna y exportación de yuca, ubicada en Los Ángeles de La Fortuna, latitud  $10^{\circ} 27' 39,9198''$ , longitud  $84^{\circ} 33' 45,072''$ . Se tomó una sección de un suelo del orden inceptisol que estuvo sembrada desde dos años atrás con el cultivo en estudio. Los Ángeles de la Fortuna se encuentra a una altura de 50 msnm.

La precipitación durante el ciclo del cultivo de 10 meses, registrada con un pluviómetro instalado en la finca, se estimó en 1755 mm, la cual presentó disminución durante los tres primeros meses después de la siembra hasta alcanzar unos 126,16 mm (agosto, setiembre y octubre), luego se incrementó al cuarto mes (noviembre) hasta los 500 mm; sin embargo en los meses de enero y febrero las lluvias fueron mínimas, registrándose 10 mm en el mes de febrero, durante el crecimiento y desarrollo del cultivo (Figura A1), así como altas temperaturas. El mes de marzo, normalmente presenta altas temperaturas y baja precipitación, en el año 2013 fue un mes atípico debido a que las lluvias alcanzaron valores relativamente altos, lo que incidió en que las temperaturas bajaran, pero en abril continuaron las pocas lluvias y altas temperaturas presentes en enero y febrero (Figura A2). La precipitación anual promedio fue de 3 428 mm, la temperatura anual promedio de  $25^{\circ}\text{C}$ , y la humedad relativa de un 89% en la estación más cercana (Santa Clara, Instituto Tecnológico de Costa Rica: latitud  $10^{\circ} 21' 44,46''$ , longitud  $84^{\circ} 30' 35,54''$ ).

Los resultados del análisis químico del suelo realizado en el área experimental de finca Pepín, antes de la siembra, revelaron que los suelos tienen fertilidad media (Cuadro A1). Valores de pH de 5,38, relación catiónica (calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K)) balanceada según los niveles propuesto por Bertsch (1995), y Bertsch y Méndez (2012), suma de bases de 6,88 cmol(+)/L y aluminio intercambiable con un valor de 0,32 cmol(+)/L.

El otro lugar en la Fortuna donde se trabajó se ubica en la localidad de Sonafluca, específicamente en la finca localizada en la latitud  $10^{\circ} 27' 14'' \text{ N}$ ;  $84^{\circ} 35' 59''$  a una altura de 136 msnm. El lote estuvo sembrado de yuca al momento del experimento, sin embargo, en ocasiones es alternado con papaya, cultivado por un pequeño productor. La precipitación durante el ciclo del cultivo fue de 2670,3 mm y durante el año 2013 que

cubrió el período completo del ensayo fue de 3022,9 mm con lluvias muy bajas en los meses de febrero y abril con 36 y 39 mm, respectivamente, y altas temperaturas que propiciaron presencia y afectación fuertes de Mosca Blanca, Ácaros y Trips en el cultivo como se aprecia en la Figura A3. Los suelos correspondientes al ensayo localizado en Sonafluca son del orden andisol, con pH de 6,35, saturación de aluminio de 3,1% y suma de bases de 12,5 cmol(+)/L (Cuadro A1), lo que le confiere una fertilidad alta (Cubero, 2001 y Núñez, 2001).

En Los Chiles, el ensayo se llevó a cabo en la finca conocida como Laberinto, propiedad del grupo PCI, compañía dedicada a la producción, comercialización nacional y exportación de yuca y de cacao, localizada en la comunidad de El Parque de Los Chiles. El área experimental al momento del estudio tenía varios años dedicada a la producción de yuca.

La lluvia presente durante el ciclo del cultivo de 12 meses fue estimado en 1.335,72 mm, comportándose creciente los tres primeros meses después de la siembra, y buena distribución del cuarto mes en adelante (Figura A1). El promedio anual de precipitación de la zona es de 3 000 mm. Los análisis del suelo realizados en el área donde se establecieron los tratamientos mostraron que estos suelos tienen fertilidad baja (Cubero, 2001 y Núñez, 2001). El valor de pH analizado en agua fue de 4,94, la suma de bases fue de 4,48 cmol(+)/L, las cuales presentan relación equilibrada según los niveles propuestos por Bertsch (1995) y Bertsch y Méndez (2012). El aluminio intercambiable presentó un valor de 0,79 cmol(+)/L, mientras la saturación de aluminio fue de 16,57% (Cuadro A1).

## **2.2 Manejo del cultivo**

La variedad Valencia fue la utilizada en las tres localidades. Esta variedad es muy utilizada tanto en la región Huetar Norte como en la región Atlántica del país, debido a su aceptación para el mercado internacional. El manejo del cultivo fue el mismo que utilizó cada finca a nivel comercial, excepto en la aplicación de la nutrición, donde los tratamientos tuvieron métodos de fertilización distintos. En sentido general, el manejo agronómico fue el siguiente:

### **2.2.1 Finca Pepín**

- Preparación de suelo consistió en dos pases de rastra y un alomillado. Se muestreó para análisis químico de suelo antes de la siembra.
- Material de siembra, fue obtenido en la misma finca. La administración de la finca, seleccionó tallos libres de “Cuero de sapo”, de grosor similar y la longitud de las

estacas de siembra en promedio fue de 23,02 cm con un rango de 18,3 a 26,8 cm, el número de nudos por estaca fue entre 4 y 5.

- Siembra fue hecha el 14 de julio del 2012, con postura horizontal (acostada), a 1,5 m entre surcos y 0,71 m entre plantas (9 284 plantas por hectárea) sembradas en hilera simple en el surco. Aplicación de herbicida pre emergente del cultivo y las malezas, control mecánico (tres chapias) y químico pos emergente de maleza.
- Deshijado a los 40 días después de la siembra (DDS).
- Control fitosanitario de plagas o enfermedades presentes: se realizó una aplicación de fungicida a base de cobre (Cu).
- La fertilización para el tratamiento testigo (testigo comercial) fue la que utilizó la finca, dos tratamientos tuvieron métodos de fertilización distintos (al suelo y foliar) y otro tratamiento la combinación de estos dos últimos según la necesidad del cultivo en sus etapas de mayor extracción, como se describe en el punto de tratamientos. La fertilización foliar para los tratamientos TF y TCF 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 a los 10 meses después de la siembra.

### **2.2.2 Finca Laberinto**

- La siembra se hizo en el suelo sin labranza. Se utilizaron las mismas hileras de la siembra anterior, solo se usaron palas para la colocación del material de siembra, previo control químico de malezas con Glifosato. Se hizo muestreo de suelo para análisis químico y de textura antes de la siembra.
- Material de siembra. Semilla de la variedad Valencia, seleccionada para evitar la propagación de “Cuero de sapo” de material de la misma finca, tallos de grosor similar, seccionados en estacas con un rango de 14,7 a 24,1 cm y promedio de 18 cm, con 4 a 8 nudos por estaca.
- La siembra se hizo el 27 de julio del 2012, con postura horizontal (acostada). Se sembró en doble hilera por cama, 0,8 m entre plantas y 1,8 m entre camas para una densidad de 13 888 plantas por hectárea.
- Aplicación de herbicida Glifosato, pre emergente respecto al cultivo y pos emergente a las malezas, control mecánico (tres chapias) y químico pos emergente.
- Deshijado a los 40 días después de la siembra.

- Control fitosanitario de plagas presentes: se realizaron varias aplicaciones de insecticidas e insecticidas-acaricidas por presencia de signos de ácaros, mosca blanca y trips, principalmente en el mes de noviembre, donde hubo menos lluvias.
- La fertilización para el tratamiento testigo fue la misma que realizó la finca a nivel comercial, la fertilización se describe en el punto de tratamientos. Las aplicaciones foliares, tanto de plaguicidas como de fertilizantes foliares se llevó a cabo con bomba de espalda de motor. A nivel comercial, la finca usa “Sprayboom”
- La cosecha se realizó a los 12 meses después de la siembra, pero no fue posible evaluarla por razones operativas y administrativas.

### **2.2.3 Finca Sonafluca**

- La preparación de suelo consistió en dos pases de rastra y un alomillado. Se hizo un muestreo de suelo para análisis y de textura antes de la siembra.
- El material de siembra usado fue variedad Valencia, semilla transportada de un finca vecina y selección de tallos para control de enfermedad y de grosor similar en el lote de siembra, seccionados en estacas con un rango de 18,2 a 25,1 cm y promedio de 22 cm, con 4 a 6 nudos por estaca. A pesar de la selección, en esta finca al momento de la cosecha hubo pérdida por presencia del daño por “Cuero de sapo”.
- La siembra se hizo el 24 de enero del 2013, con postura horizontal (acostada) en hilera simple a una distancia entre surcos de 1,4 m y entre estacas de 0,49 a 0,51m, para una densidad de 14580 plantas por hectárea. Aplicación de herbicida Glifosato, pre emergente respecto al cultivo y pos emergente a las malezas y control mecánico tres chapias.
- Se hizo deshijado a los 66 días después de la siembra.
- Control fitosanitario de plagas presentes: se realizaron varias aplicaciones de insecticidas e insecticidas-acaricidas por presencia de ácaros, mosca blanca y trips, principalmente en el mes de abril, mes en el que 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, la fertilización se describe en el punto de tratamientos. Las aplicaciones foliares, tanto de plaguicidas como de fertilizantes foliares se llevó a cabo con bomba de espalda manual.
- La cosecha se realizó en noviembre de 2013, a los 10 meses después de la siembra.

En general, los insumos utilizados en las fincas, excepto la fertilización, fueron los siguientes: para el control de malezas: Fusilade® 12,5 EC (Fluazifop-p-butyl 12,5%),



Diuron® 80 WP (Diuron: 3-(3,4-diclorofenil)-1,1-dimetilurea) y Glifosato 35,6 SL (herbicida fosfónico: glifosato), a la 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: Verlaq® 1,8 EC (Lactona, Macroclíclica-Abamectina), Muralla Delta® 19 OD (Imidacloprid, Deltametrina), Rienda® 21,2 EC (Deltametrina, Triazophos) y Tigre® 25 EC (Dimethoato-Cipermetrina), a las 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 Oxicob (Oxicloruro de cobre 85%) a 2,5 kg/ha y Carbendazina® 50 SC (Carbendaxim, Metil bencimidazol-2-il carbamato) a 0,5 L/ha.

### 2.3 Tratamientos

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

En ese sentido, el TC fue igual en las tres fincas, con la única diferencia que en la finca Pepín en la Fortuna en lugar de urea se usó urea con azufre. Este tratamiento constó de tres aplicaciones de fertilizantes al suelo, basado en 130, 50 y 200 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O kg/ha, respectivamente, a los 30 días después de la siembra (DDS), a los 75 DDS, es decir, durante la fase de establecimiento/tuberización, que comprende el período desde los 30 a los 90 DDS y la tercera aplicación 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) (Cuadro 1 ). Del mismo modo, la fertilización aplicada al suelo del tratamiento TCF, fue igual en las tres fincas, como se dijo en el párrafo anterior consta del TC más TF.

Las aplicaciones de los tratamientos TC y TCF, estuvieron basados en las etapas fenológicas del cultivo de mayor absorción según información de estudios realizados por De Diego y Quirós (2006). Del mismo modo, los productores seleccionados aplicaron el tratamiento testigo (TT) bajo esos mismos criterios.

Los tratamientos TF y TT son los tratamientos 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 en número y época de aplicación, y tipo de producto,

esta modalidad es usada principalmente por 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 complemento con fertilizaciones foliares.

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

Cuadro 1. Dosis, fuentes y momentos de aplicación de fertilizantes en el tratamiento completo al suelo (TC) para las tres fincas. Santa Clara, San Carlos. Enero del 2014.

Fecha aplicación	Producto	Contenido o concentración	Dosis (kg/ha)
33 DDS Aplicación al suelo de 15% de N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y K <sub>2</sub> O	MAP	11-52-0	14,42
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	33,5-0-0	53,49
	KCl	0-0-60	50
75 DDS Aplicación al suelo de 35% de N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y K <sub>2</sub> O	MAP	11-52-0	33,65
	Urea	46-0-0*	90,97
	KCl	0-0-60	116,66
135 DDS Aplicación al suelo de 50% de N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y K <sub>2</sub> O	MAP	11-52-0	48,08
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	33,5-0-0	178,25
	KCl	0-0-60	166,66

Basado en la dosis: N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O: 130-50-200 Kg/ha.

\*en la finca Pepín se usó urea más azufre (43-0-0-0-0-2,9 (S))

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

### 2.3.1 Finca Pepín

**Tratamiento foliar (TF).** Aplicación de la fertilización sólo vía foliar, ver Cuadro 2. En la finca Pepín se realizaron tres aplicaciones foliares durante el ciclo del cultivo, siempre dentro del período de mayor demanda de nutrientes del cultivo, con la excepción de la primera aplicación que debió hacerse entre los 30 y 60 DDS. Los productos utilizados fueron similares a los que usan otros productores a nivel comercial. A los 74 DDS se realizó la primera aplicación, mientras que la segunda aplicación se llevó a cabo a los 95 DDS. La última aplicación fue programada para realizarse a los 135 DDS, más no se hizo en esta fecha por condiciones climáticas desfavorables y se realizó a los 146 DDS. Las aplicaciones fueron realizadas con bomba de motor y la cantidad de agua tomada como base para la aplicación fue de 200 L/ha.

Cuadro 2. Dosis, fuentes y momento de aplicación de fertilizantes en el tratamiento foliar.  
Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna. Enero del 2014.

Fecha aplicación	Producto	Contenido o concentración	Dosis
74 DDS	Protifer K	Complejo de aminoácidos, péptidos y potasio:(P/V): N: 5,24%, K <sub>2</sub> O: 20,96% y aminoácidos 32.75%.	0,5 L/ha
	Metalozato Ca	Ca	1 L/ha
	Metalozato Zn	Zn	1 L/ha
	Metalozato Mg	Mg	1 L/ha
	Limonoil	Coadyuvante	0,5 L/ha
	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg)	1,5 kg/ha
95 DDS	B-Bioplant	B: 10%	0,5 L/ha
	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg)	1,5 kg/ha
	Humimax	Ácidos húmicos y fúlvicos, K	1 L/ha
	Limonoil	Coadyuvante	0,5 L/ha
146 DDS	B-Bioplant	B: 10%	0,5 L/ha
	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg)	1,5 kg/ha
	Protifer K	Complejo de aminoácidos, péptidos y potasio: (P/V): N: 5,24%, K <sub>2</sub> O: 20,96% y aminoácidos 32.75%.	0,5 L/ha
	Limonoil	Coadyuvante	0,5 L/ha

**Tratamiento completo al suelo más foliar (TCF).** Este comprende el tratamiento completo (TC), común para las tres localidades, más el TF descrito en el cuadro anterior.

**Tratamiento testigo (TT).** Este consistió en la aplicación de fertilizantes al suelo a los 30, 75 y 112 DDS, con DAP, magnesamón y fórmula completa. Además, se hicieron cuatro aplicaciones foliares, a los 30, 57, 101 y 126 DDS como se describen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Dosis, fuentes y momentos de aplicación de fertilizantes en el tratamiento testigo del cultivo de yuca. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna. Enero del 2014.

Fecha aplicación	Producto	Contenido o concentración	Dosis
30 DDS	DAP al suelo	18-46-0 (N-P-K)	131 kg/ha
	Folitech	p/v: 9-0-7 + 2% (MgO), 14%(CaO), aminiácidos, Giberelina 100 ppm, Citoquinina 100 ppm + elementos menores	0,97 L/ha
	Fertilizante foliar	20-20-20	2,4 kg/ha
	Miel de purga	-----	12 L/ha
	Oxicob	Fungicida a base de Cu	2,2 kg
	Tecamin max	Aminoácidos (12,2% p/v)	0,6 L/ha
57 DDS	Folitech	p/v 9-0-7 + 2% (MgO), 14%(CaO), aminiácidos, Giberelina 100 ppm, Citoquinina 100 ppm + elementos menores	1,42 L/ha
	Miel de purga	-----	12 L/ha
	Fertilizante foliar	20-20-20	2,4 kg/ha
75 DDS	Magnesamón al suelo	( 21-0-0-7.5(Mg)-0-11(Ca)	153,86 kg/ha
101 DDS	Miel de purga	N, K, Ca, Mg, Fe, Zn, S	12 L/ha
	Folitech	p/v 9-0-7 + 2% (MgO), 14%(CaO), aminiácidos, Giberelina 100 ppm, Citoquinina 100 ppm + elementos menores	1,42 L/ha
112 DDS	Fórmula completa al suelo	19-4-19-3-0.1(B)-0.1(Zn)-1.8(S)	126.385 kg/ha.
226 DDS	Miel de purga	-----	12 L/ha
	Nitrato de Potasio	13,5-0-46	3,5 kg/ha

### 2.3.2 Finca Laberinto

**Tratamiento foliar (TF).** Se hicieron cinco aplicaciones foliares, distribuidas en los días después de la siembra como sigue: 40, 63, 70, 91 y 105 DDS. Las aplicaciones foliares incluyeron macroelementos N-P-K y microelementos quelatados, asperjados con bomba de motor, en el Cuadro 4 se especifican los productos.

Cuadro 4. Dosis, fuentes y momentos de aplicación de fertilizantes en el tratamiento foliar.

Finca Laberinto, El Parque, Los Chiles. Enero del 2014.

Fecha aplicación	Producto	Contenido o concentración	Dosis
40 DDS	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P,K, Ca, Mg) + ácidos húmicos y micronutrientes	2 L/ha
	Fertilizante foliar	20-20-20	2 L/ha
	Miel de purga	-	4 L/ha
63 DDS	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg) + ácidos húmicos y micronutrientes	2 L/ha
	Fertilizante foliar	20-20-20	2 L/ha
	Biokel Zn	---	165 (g/L)
	Miel de purga	-	4 L/ha
70 DDS	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg) + ácidos húmicos y micronutrientes	2 L/ha
	Fertilizante foliar	20-20-20	2 l/ha
	Biokel Zn	---	165 (g/L)
	Miel de purga	-	4 L/ha
91 DDS	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg) + ácidos húmicos y micronutrientes	2 L/ha
	Protifert K	Complejo de aminoácidos, péptidos y potasio: (P/V): N: 5,24%, K <sub>2</sub> O: 20,96% y aminoácidos 32.75%.	0,5 L/ha
105 DDS	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg) + ácidos húmicos y micronutrientes	2 L/ha
	Miel de purga	-	4 L/ha

**Tratamiento completo al suelo más foliar (TCF).** Comprende el tratamiento completo (TC) (Cuadro 1), común para las tres localidades, más el TF de la finca correspondiente, en este caso finca Laberinto.

**Tratamiento testigo (TT).** El Tratamiento testigo de la finca Laberinto consistió de dos fertilizaciones al suelo con DAP y KCL y cinco aplicaciones foliares, como se describe en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Dosis, fuentes y momentos de aplicación de fertilizantes en el tratamiento testigo del cultivo de yuca. Finca Laberinto. El Parque, Los Chiles. Enero del 2014.

Fecha aplicación	Producto	Contenido o concentración	Dosis
30 DDS	DAP (Fertilizante granular) al suelo	18-46-0	138 kg/ha
40 DDS	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg) + ácidos húmicos y micronutrientes.	2 L/ha
	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg) + ácidos húmicos y micronutrientes.	2 L/ha
	Miel de purga	-----	4 L/ha
63 DDS	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg) + ácidos húmicos y micronutrientes	2 L/ha
	Fertilizante foliar	20-20-20	2 L/ha
	Biokel Zn	-----	165 g/L
	Miel de purga	-----	4 L/ha
70 DDS	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg) + ácidos húmicos y micronutrientes.	2 L/ha
	Fertilizante foliar	20-20-20	2 L/ha
	Biokel Zn	-----	165 g/L
	Miel de purga	-----	4 L/ha
91 DDS	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg) + ácidos húmicos y micronutrientes.	2 L/ha
	Protifert K	Complejo de aminoácidos, péptidos y potasio: (P/V): N: 5,24%, K <sub>2</sub> O: 20,96% y aminoácidos 32.75%.	0,5 L/ha
105 DDS	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg) + ácidos húmicos y micronutrientes.	2 L/ha
	Miel de purga	-----	4 L/ha
108 DDS	Tech-Spray Hi-K (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )*	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 43,32 % p/v; K <sub>2</sub> O 46,65 % p/v	1 L/ha
120 DDS	KCL (Fertilizante granular) al suelo	0-0-60	92 kg/ha

\*aplicado al suelo

En la finca Laberinto se incluyó una enmienda básica a una dosis de 500 Kg/ha (cal dolomita con concentración de 50% CaCO<sub>3</sub> y 40% MgO) en todos los tratamientos, debido a que el suelo presentó pH bajo y cantidades bajas de Ca y Mg.

### 2.3.3 Finca Sonafluca

**Tratamiento foliar (TF).** Se hicieron cuatro aplicaciones foliares, distribuidas como sigue: 26, 60, 75 y 120 DDS. Las aplicaciones foliares incluyeron macroelementos N-P-K

y microelementos (Cuadro 6), asperjados con bomba de motor, en el Cuadro 9 se especifican los productos.

Cuadro 6. Dosis, fuentes y momentos de aplicación de fertilizantes en el tratamiento foliar.

Finca de Sonafluca, La Fortuna, San Carlos. Enero del 2014.

Fecha aplicación	Producto	Contenido o concentración	Dosis
26 DDS	Foliar 20-20-20 P/P	N: 20, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 20, K <sub>2</sub> O: 20, Fe: 0,15, Zn:0.15, B 0.05, Cu: 0.05, Mg: 0.05 (500 ppm) y 1% EDTA/kg	2 kg/ha
	Raíz planta 500 P/V	N: 4,8; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 22; K <sub>2</sub> O: 15,5;MgO: 0,5;Penetrantes 3;B: 0,015; S: 0,4; Ac.Húmicos y Fúlvicos 2%; Fithormonas 0,05%	1 L/ha
60 DDS	20-20-20 P/P + Raíz planta 500 P/V	N: 20, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 20, K <sub>2</sub> O: 20, Fe: 0,15, Zn:0.15, B 0.05, Cu: 0.05, Mg: 0.05 (500 ppm) y 1% EDTA/kg + N: 4,8; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 22; K <sub>2</sub> O: 15,5;MgO: 0,5;Penetrantes 3;B: 0,015; S: 0,4; Ac.Húmicos y Fúlvicos 2%; Fithormonas 0,05%	2 kg/ha, 1 L/ha
75 DDS	Fertilizantes foliares	Tecnokel Zn, Bioplant B 10% y Tecnokel Mg 6%	1 L/ha, 0,5 L/ha y 2 L/ha
120 DDS	Fertilizantes foliares: (20-20-20)+ Bioplant B10% + Pescagro + Protifert K + Transpore 30,4 SL (coadyuvante)	. N: 20, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 20; K <sub>2</sub> O: 20, Fe: 0,15, Zn: 0.15, B 0.05, Cu: 0.05, Mg: 0.05 (500 ppm) y 1% EDTA/kg. Bioplant B contiene (P/V): 10% B, polisacáridos 20%, aminoácidos 1%, ácidos húmicos 10%. Pescagro: N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg + ácidos húmicos y micronutrientes. El Protifert K contiene (P/V): Complejo de aminoácidos, péptidos y potasio:N: 5,24%, K <sub>2</sub> O: 20,96% y aminoácidos 32.75%.	2 kg/ha 0.5 L/ha, 1,5 L/ha, 1,5 L/ha, 1 L/ha.

**Tratamiento completo al suelo más foliar (TCF).** Comprende el tratamiento completo (TC) (Cuadro 1), común para las tres localidades, más el TF de la finca correspondiente al Cuadro 6.

**Tratamiento testigo (TT).** El Tratamiento testigo de la finca en Sonafluca consistió de dos fertilizaciones al suelo con las fórmulas 10-30-10 y 15-3-31 y tres aplicaciones foliares, como se describe en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Dosis, fuentes y momentos de aplicación de fertilizantes en el tratamiento testigo del cultivo de yuca. Finca de Sonafluca. La Fortuna, San Carlos. Enero del 2014.

Fecha aplicación	Producto	Contenido o concentración	Dosis
26 DDS	Fertilizante foliar: 20-20-20 %P/P	20-20-20 %P/P: N: 20, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 20, K <sub>2</sub> O: 20, Fe: 0,15, Zn:0.15, B 0.05, Cu: 0.05, Mg: 0.05 (500 ppm) y 1% EDTA/kg	2 kg/ha
	Raíz planta 500 %P/V	N 4,8; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 22; K <sub>2</sub> O 15,5;MgO 0,5;Penetrantes 3;B <sub>0</sub> ,015; S 0,4; AcH y Fúlvicos 2%; Fithormonas 0,05%	1 L/ha
60 DDS	20-20-20 %P/P + Raíz planta 500 %P/V + Transpore 30,4 SL (coadyuvante)	20-20-20 %P/P: N: 20, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 20, K <sub>2</sub> O: 20, Fe: 0,15, Zn: 0.15, B 0.05, Cu: 0.05, Mg: 0.05 (500 ppm) y 1% EDTA/kg. Raíz planta 500 %P/V: N: 4,8; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 22; K <sub>2</sub> O: 15,5;MgO: 0,5;Penetrantes 3;B: 0,015 (150 ppm); S: 0,4; Ac.Húmicos y Fúlvicos 2%; Fithormonas 0,05%	2 kg/ha, 1 L/ha 1 L/ha
66 DDS	Fertilizante al suelo: Fórmula 10-30-10	10-30-10	122,7 kg/ha
73 DDS	Pescagro	N total: 6,28 (4,7% del N orgánico), P, K, Ca, Mg + ácidos húmicos y micronutrientes	2 L/ha
135 DDS	Fertilizante al suelo: Fórmula 15-3-31	15-3-31	107 kg/ha

## 2.4 Diseño experimental

### 2.4.1 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 en finca Pepín tuvo un área total de 5070,75 m<sup>2</sup>, mientras que el área en finca Laberinto fue de 6063 m<sup>2</sup>, en la finca de Sonafluca el experimento fue ubicado en 1120 m<sup>2</sup>. Se seleccionó un área para toma de muestras de materia seca y análisis foliar durante el ciclo del cultivo y un área útil para la cosecha. En total se trabajó con 16 unidades experimentales por localidad, es decir cuatro tratamientos con cuatro repeticiones.

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 los mismos.

Para este diseño experimental se estableció el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Variable de respuesta del i-ésimo tratamiento de la j-ésima repetición

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento

$e_{ij}$  = Error experimental o aleatorio asociado al i-ésimo tratamiento de la j-ésima repetición

Se diseñó con cuatro repeticiones para lograr al menos 10 grados de libertad en el error. En este estudio se llegó a 13 grados de libertad del error.

Contrastes realizados:

- TC+TCF vs TT.
- TF vs TT
- TC vs TCF

Estas pruebas y el ANDEVA se realizaron con el paquete estadístico InfoStat versión 2008 (Balzarini *et al.*, 2008).

## **2.5 Variables de medición de la información**

### **2.5.1 Análisis foliar**

El muestreo para este análisis se realizó a los siete meses de edad del cultivo. Para esto se tomó la tercera hoja, desde el ápice hacia abajo, sin el pedúnculo, a consideración que en esta zona es donde hay una mayor actividad fotosintética. Los elementos que se tomaron en cuenta en los análisis fueron el 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 y menores por combustión seca y determinación con absorción atómica y el P por espectrofotometría visible.

### **2.5.2 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 separadas en las partes hojas, tallo y raíz, fueron transportadas al laboratorio donde se pesaron antes y después de ser secadas durante 72 horas a 60 °C en un horno con ventilación. Cada vez que se iba a muestrear la planta en cada hilera, se escogía un número al azar y se caminaba contando el número de plantas hasta llegar al número escogido, si esta planta no existía o estaba “volcada” se tomaba la anterior o posterior de esa hilera.

Es importante mencionar que al momento de la cosecha no se pudo obtener el dato de materia seca (MS) del tallo y hojas en finca Pepín, debido a que cuando se llegó a la parcela, ya el productor había despuntado la parte superior del cultivo. Sin embargo, al disponer de la MS de raíz al momento de la cosecha, para el gráfico por planta a esa edad, los valores de esa fecha de MS tallo y raíz fueron estimado (Figura 1).

### **2.5.3 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 finca Pepín, mientras que en finca en Sonafluca se tomaron 3 m lineales en tres hileras en cada unidad experimental. En finca Laberinto el experimento no fue evaluado al momento de la cosecha, por razones administrativa y operativa que no permitieron datos confiables, al ser mezcladas yucas del área útil con el área de borde o comercial.

Para exportación la yuca no debe presentar defectos, salvo muy superficiales y leves que no afectan el aspecto general del producto, su calidad y su estado de conservación (Fonseca y Saborío, 2001), es decir, las yucas deben cumplir requisitos mínimos establecidos en todas las categorías, de conformidad con las disposiciones especiales para cada categoría y las tolerancias permitidas por categoría. Las categorías establecidas por el Codex “Alimentarius” o Código Alimentario (Fonseca y Saborío, 2001) son: Categoría "Extra", Categoría I y Categoría II. En las fincas Pepín y de Sonafluca se hizo categorización de la producción obtenida por calidad en Categoría I y Categoría II, el producto fue pesado en el campo con balanza tipo reloj con capacidad para 20 kilogramos. También se pesó el rechazo presente en cada repetición. Para esto se contó con la ayuda de trabajadores con experiencia en clasificación de las raíces y a discernir las características o estándares de calidad de un producto de exportación. En el caso de

la localidad de Sonafluca, además de estas dos clasificaciones, se separaron las yucas con presencia del daño conocido como “Cuero de sapo”, que invalida la yuca comercialmente.

#### **2.5.4 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. Esta variable se consideró en las fincas Pepín y Sonafluca, no así en la finca Laberinto, por el problema de cosecha ya mencionado.

### **3 Resultados**

#### **3.1 Curva de crecimiento en peso seco**

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

La acumulación de MS fue menor en la finca Laberinto, localizada en el cantón de Los Chiles, en relación a las otras dos fincas localizadas en La Fortuna del cantón de San Carlos, producto, en gran medida, del nivel de fertilidad de los suelos ( Cuadro A1). 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.

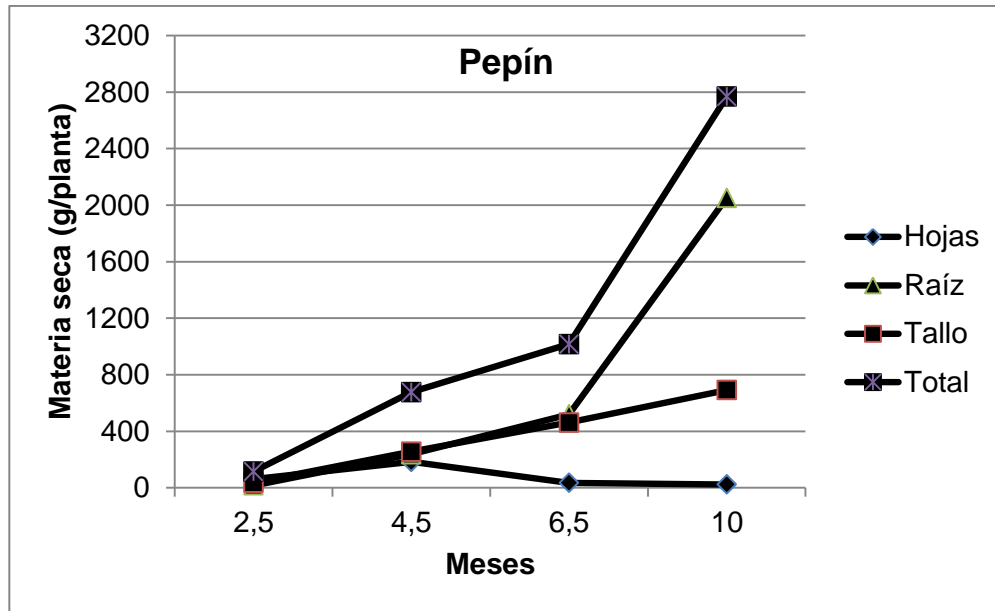


Fig. 1. Acumulación de materia seca en diferentes órganos de la planta de yuca. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

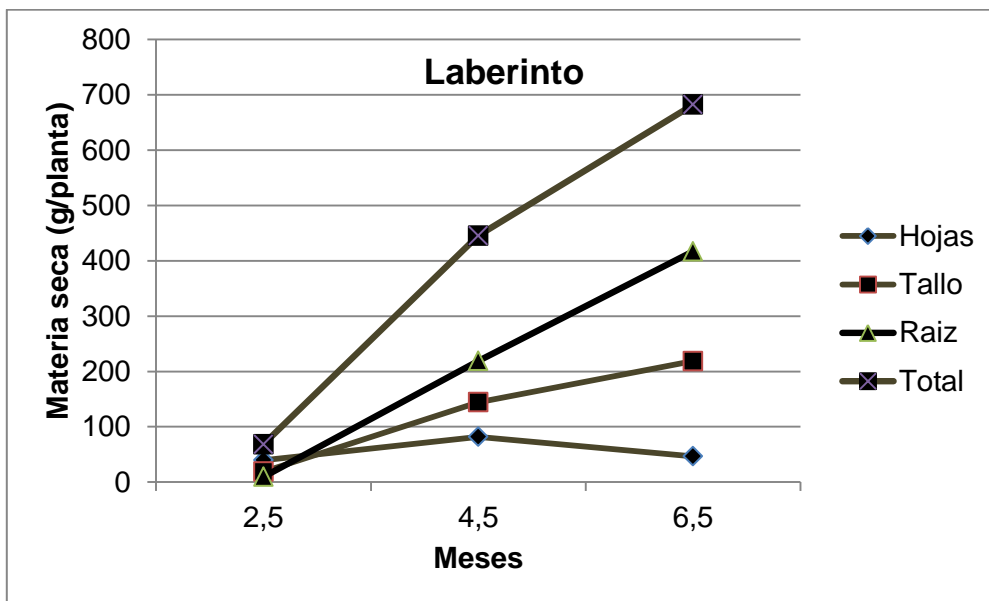


Fig. 2. Acumulación de materia seca en diferentes órganos de la planta. Finca Laberinto, El Parque, Los Chiles. Costa Rica. Enero de 2014.

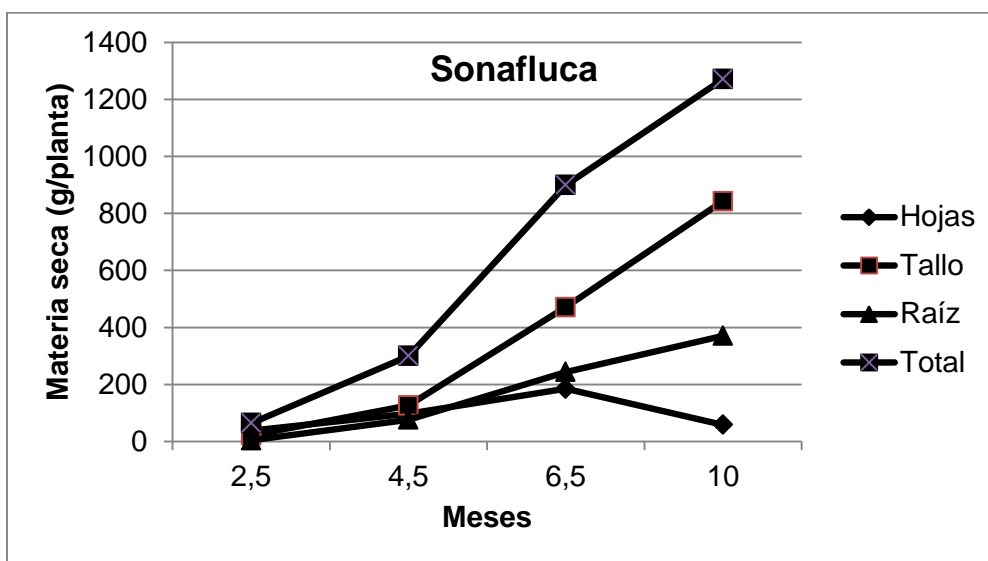


Fig. 3. Acumulación de materia seca en diferentes órganos de la planta de yuca. Finca de Sonafluca. La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

### 3.2 Efecto de los tratamientos en la materia seca de las hojas

El aumento progresivo de la materia seca (MS) en las hojas no pasó del quinto mes en las localidades de las fincas Pepín y Laberinto (Figuras 4 y 5); en la finca de Sonafluca, el incremento alcanzó los 6,5 meses (Figura 6), quizás debido a que después del cese de la afectación por plagas (Ácaros, Trips y Mosca Blanca), entre los tres y cuatro meses, hubo emisión de tallos y de hojas. A partir de este momento empezó a decrecer la MS en las hojas, comportamiento producto de la disminución de la producción y tamaño de hojas debido al estado fisiológico.

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 tratamiento completo (TC) superó al tratamiento foliar (TF), pero los tratamientos: completo más foliar (TCF), testigo (TT) y TC, fueron iguales. En la localidad de Sonafluca los tratamientos TC y TCF difieren del tratamiento TT, este último fue similar al TF. En la parcela de Sonafluca esta diferencia estadística en MS en hojas a los 6,5 no fue visible como en Laberinto y no se tradujo en el rendimiento de yuca. En Laberinto fueron observadas hojas con color verde menos intenso y de menor tamaño en el TF, respecto a los demás tratamientos.

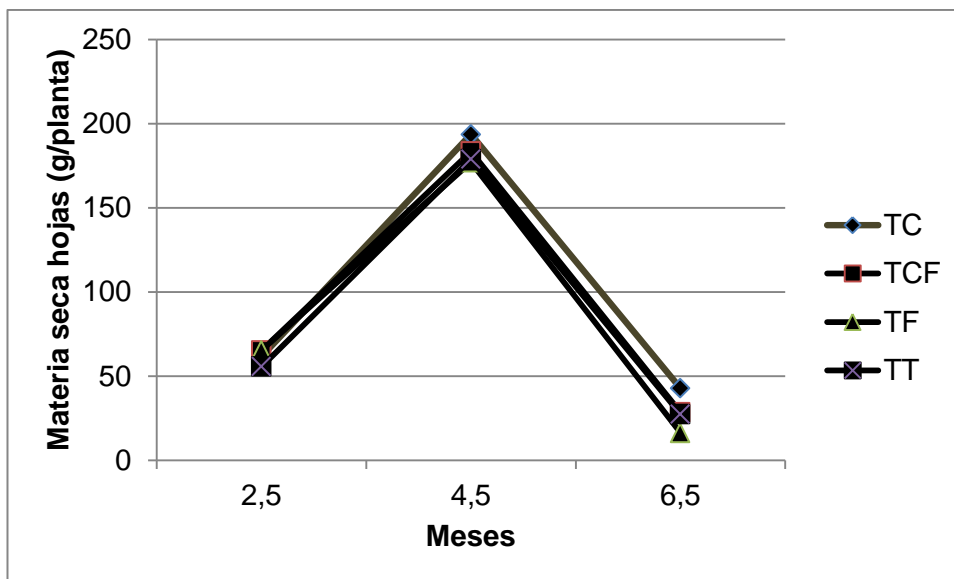


Fig. 4. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en las hojas de la planta de yuca. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

La MS en las hojas a la edad de 10 meses, momento de la cosecha, en Sonafluca fue similar para todos los tratamientos (Figura 6). En las demás zonas no fue posible registrarla, debido a la cosecha anticipada del cultivo en Laberinto y a problema de despunte y disponibilidad en Pepín.

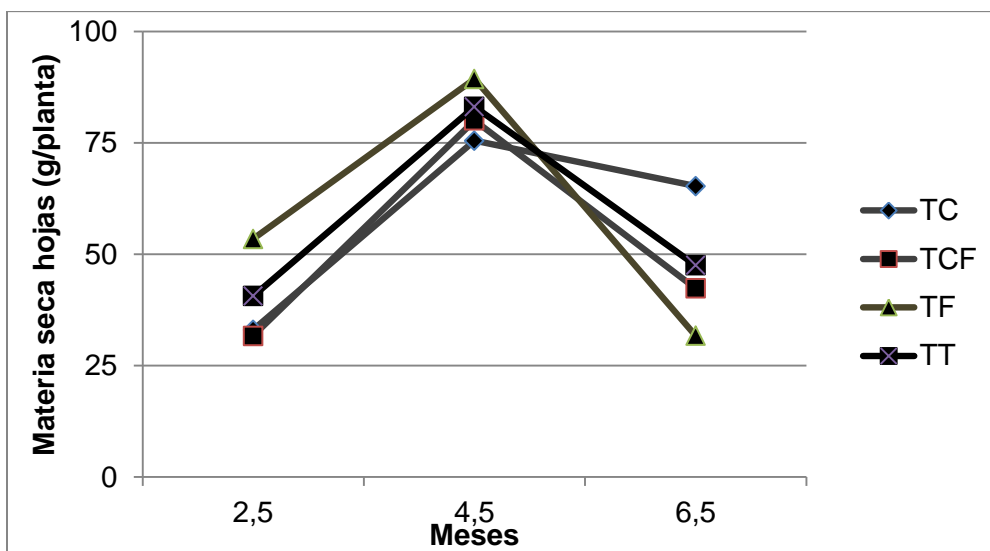


Fig. 5. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en las hojas de la planta de yuca. Finca Laberinto, El Parque, Los Chiles, Costa Rica. Enero de 2014.

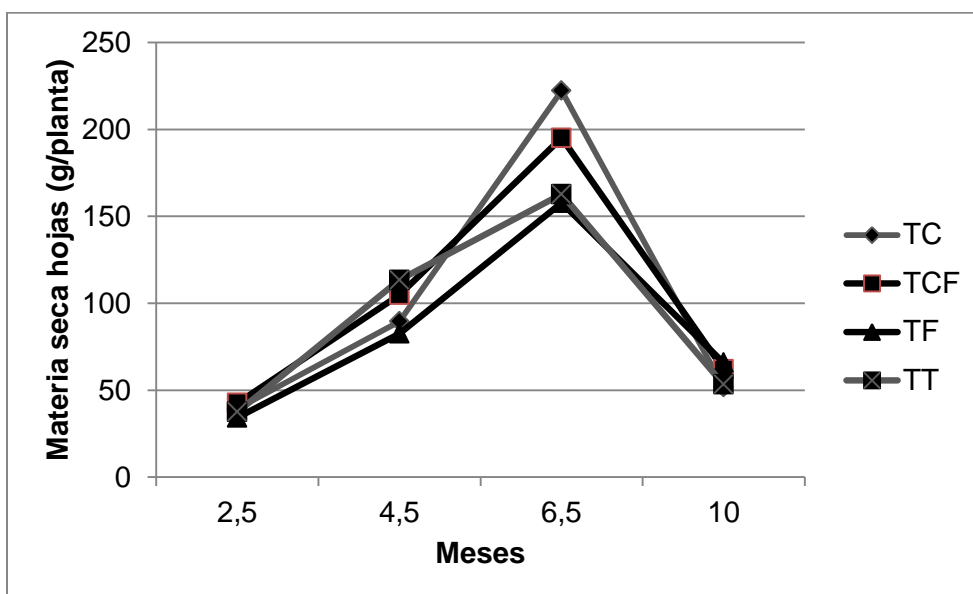


Fig. 6. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en las hojas de la planta de yuca. Finca en Sonafluca. La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

### 3.3 Efecto de los tratamientos en la materia seca del tallo

La producción de MS de los tallos aumentó desde los 2,5 meses cuando se iniciaron los muestreos y fueron similares en comportamiento hasta los 6,5 meses en las tres localidades (Figuras 7, 8 y 9). Visualmente en campo, las plantas en cada tratamiento y en su respectiva localidad, no mostraron diferencia alguna físicamente en grosor de tallo y altura de plantas. Sin embargo en la Figura 7, finca Pepín, se observa que el TC fue el de mayor acumulación de materia seca (MS) en el tallo desde el inicio hasta los 6,5 meses y el TF el de menor contenido de MS. En tanto en la Figura 8, localidad de Laberinto, la MS del tallo del TF disminuyó a los 6,5 meses respecto a los demás tratamientos, similar a lo que sucedió en las hojas en esta localidad Figura 5. A pesar de lo anterior, estadísticamente no hubo diferencias ( $p\text{-valor} \geq 0,05$ ) en esta estructura en ninguna de las tres localidades.

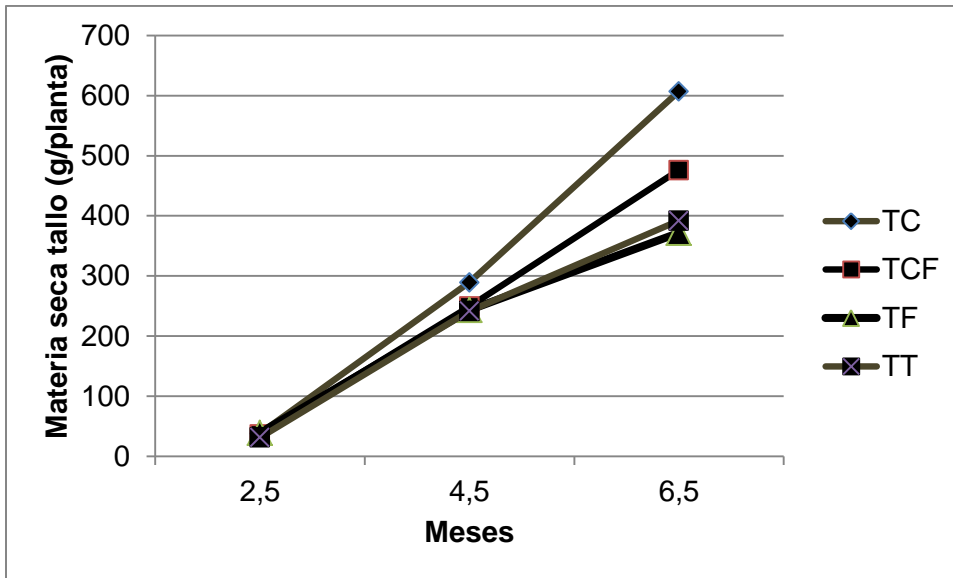


Fig. 7. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en el tallo de la planta de yuca. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

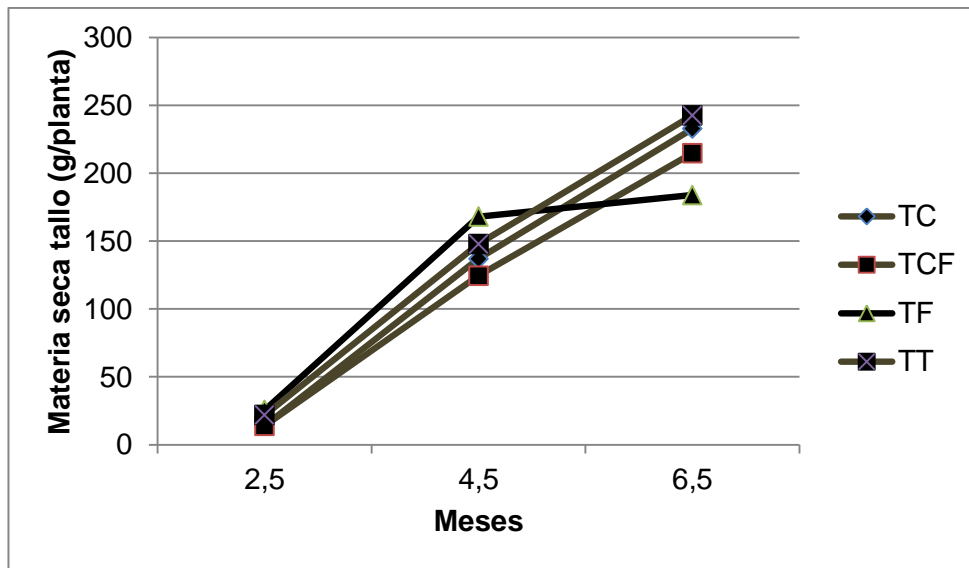


Fig. 8. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en el tallo de la planta de yuca. Finca Laberinto, El Parque, Los Chiles, Costa Rica. Enero de 2014.



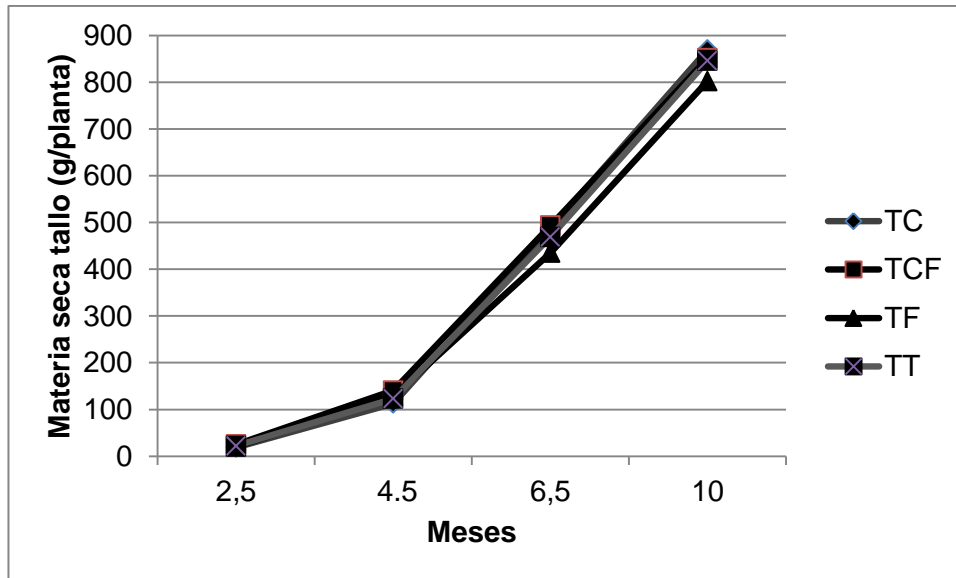


Fig. 9. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en el tallo de la planta de yuca. Finca de Sonafluca. La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

### 3.4 Efecto de los tratamientos en la materia seca de las raíces

En la finca Pepín, las raíces iniciaron su aumento de MS desde el inicio de los muestreos a los 2,5 meses, sin embargo a partir de los 6,5 meses fue que hubo una diferencia marcada entre tratamiento (Figura 10), obteniéndose diferencias,  $p$ -valor  $< 0,05$ , al momento de la cosecha del cultivo, donde el tratamiento testigo (TT) obtuvo mayor peso seco que todos los demás tratamientos, diferenciándose del TC y TCF. Este tratamiento tuvo un manejo de fertilización muy diferenciado (manejo comercial de finca) de los demás tratamientos, el mismo se analizará en el punto de rendimiento del cultivo, debido a que la cantidad de MS presentó correlación con el rendimiento de yuca obtenido.

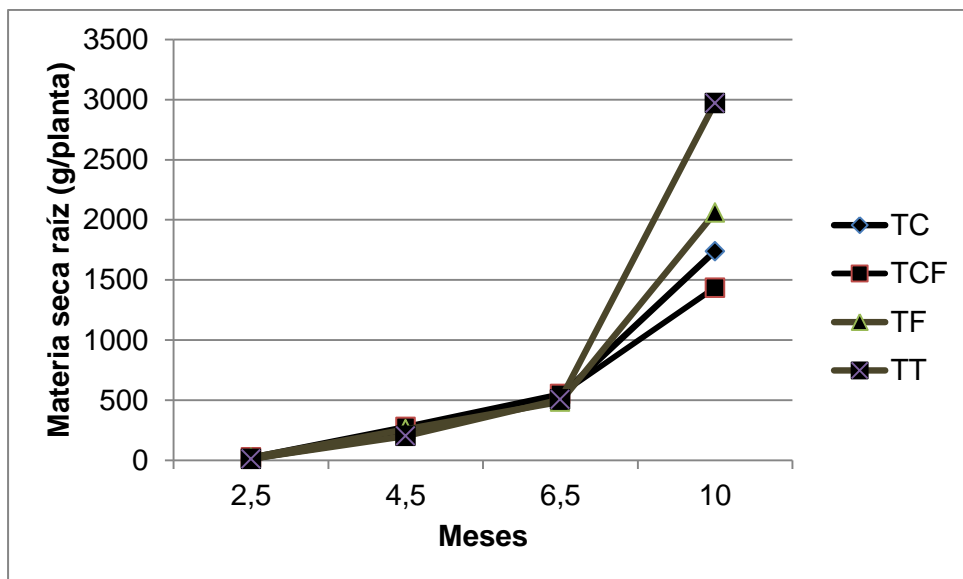


Fig. 10. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en las raíces de la planta de yuca. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

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 desde la fecha cuando se iniciaron los muestreos (Figuras 11 y 12), 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 Sonafluca.

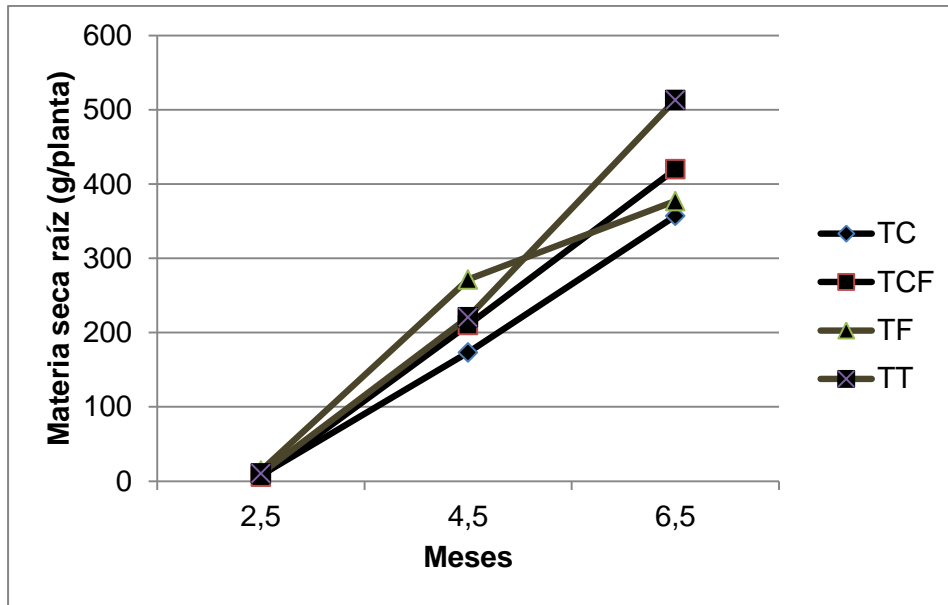


Fig. 11. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en las raíces de la planta de yuca. Finca Laberinto, El Parque, Los Chiles, Costa Rica. Enero de 2014.

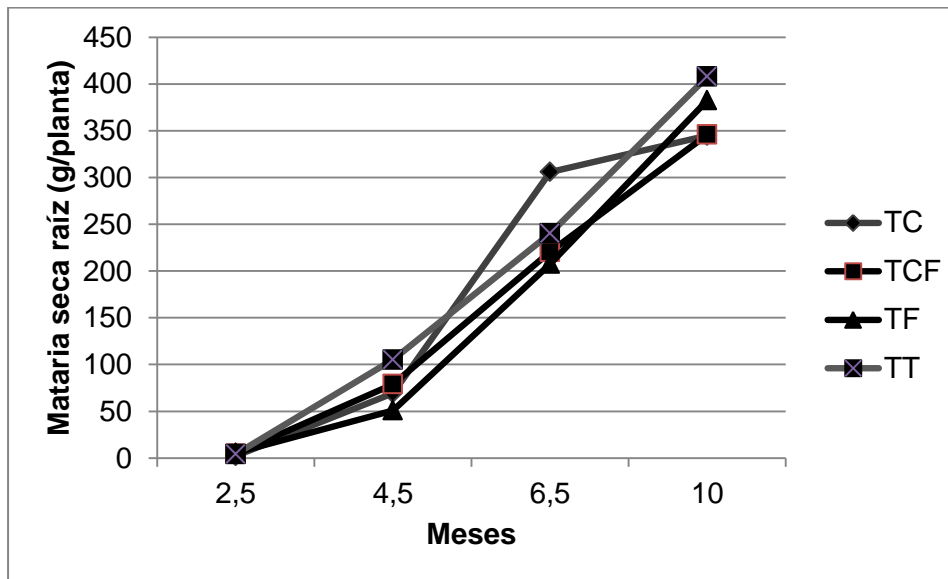


Fig. 12. Efecto de los tratamientos sobre la acumulación de materia seca en las raíces de la planta de yuca. Finca de Sonafluca, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

### 3.5 Análisis foliar

Los resultados del análisis foliar realizado a los siete meses en las tres fincas, muestran una mayor concentración de nitrógeno total (NT), fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca) en el tratamiento testigo (TT) que en los demás tratamientos en finca Pepín

(Figura 13 y 14), mostrando diferencias ( $p$ -valor  $< 0,05$ ), excepto el NT, aunque a través de contrastes polinomiales se encontró que el contenido de este elemento en las hojas es significativo en el TT respecto a TC. Además en finca Pepín, hubo diferencias en el contenido de Ca ( $p$ -valor  $< 0,05$ ), este elemento se mostró en mayor cantidad en las hojas en el TT. Sin embargo en este tratamiento, la concentración de azufre (S) en las hojas es inferior estadísticamente, respecto a los demás tratamientos, especialmente al TF (Figura 14).

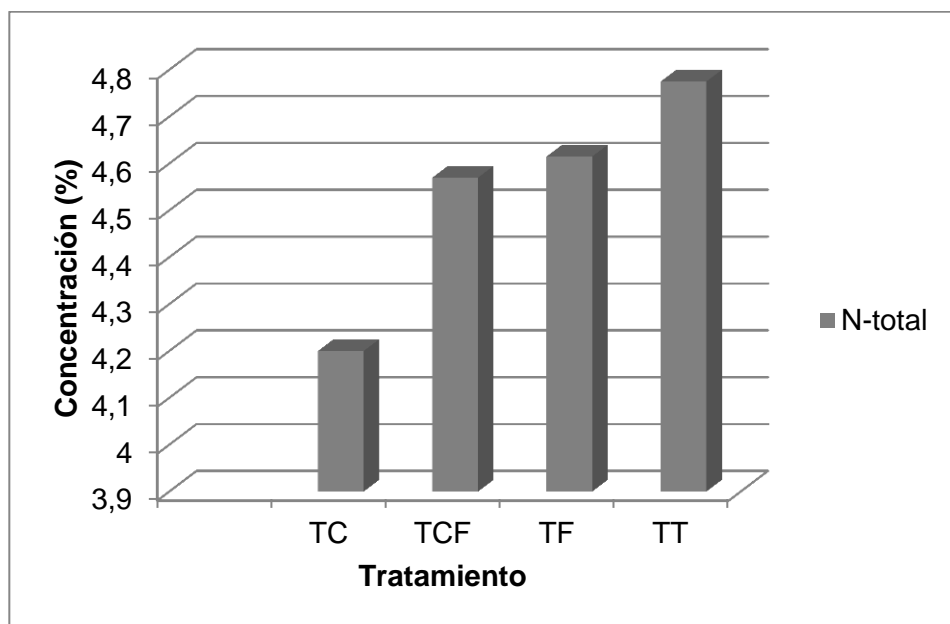


Fig. 13. Efecto de los tratamientos sobre la concentración de nitrógeno total en las hojas. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

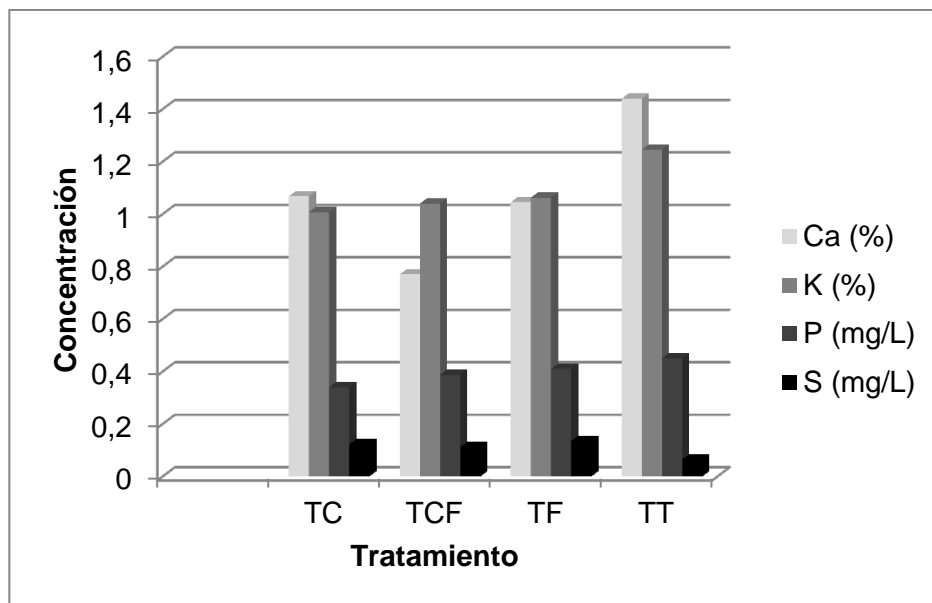


Fig. 14. Efecto de los tratamientos sobre la concentración de los elementos Ca, K, P y S en las hojas a los siete meses. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

En la finca de la localidad de Sonafluca, no hubo efecto de los tratamientos en la concentración de los nutrimentos en las hojas.

Respecto a la finca Laberinto, se encontró diferencias ( $p$ -valor  $< 0,05$ ) del TCF sobre el TC en concentración de magnesio (Mg) en las hojas y del TF sobre el TC en concentración de Ca.

### 3.6 Efecto de los tratamientos en el rendimiento del cultivo

El rendimiento por tratamiento en finca Pepín se presenta en la Figura 15. En esta finca el tratamiento testigo (TT), aunque estadísticamente no presentó diferencias ( $p$ -valor  $\geq 0,05$ ), fue el que obtuvo un mayor tonelaje de yuca total por hectárea (16,1 t/ha) y a su vez fue el tratamiento que tuvo menor cantidad de rechazo y mayor rendimiento de yuca de primera calidad, encontrándose diferencias,  $p$ -valor  $< 0,05$ , en esta última categoría.

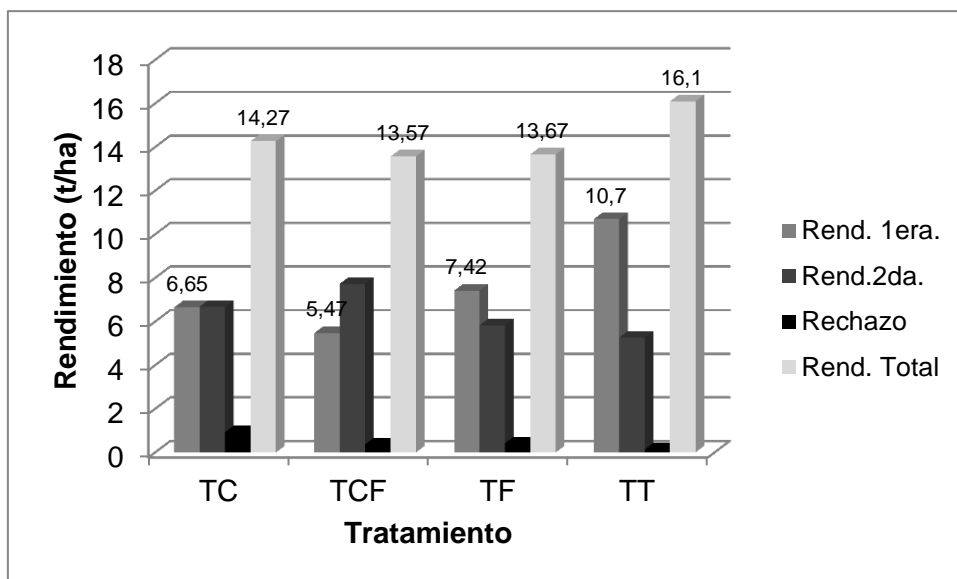


Fig. 15. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de yuca. Finca Pepín. Los Ángeles, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero de 2014.

En 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 lo percibido en el tratamiento foliar (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 sin poder ser evaluadas por problemas operativos al momento de la cosecha como se ha indicado.

Respecto a la finca Sonafluca no hubo diferencias ( $p$ -valor  $\geq 0,05$ ) entre tratamiento, sin embargo el tratamiento de mayor rendimiento fue el TT como se observa en las Figuras 16 y 17. Es importante resaltar que el rendimiento alcanzado en esta finca fue muy superior al obtenido en finca Pepín.

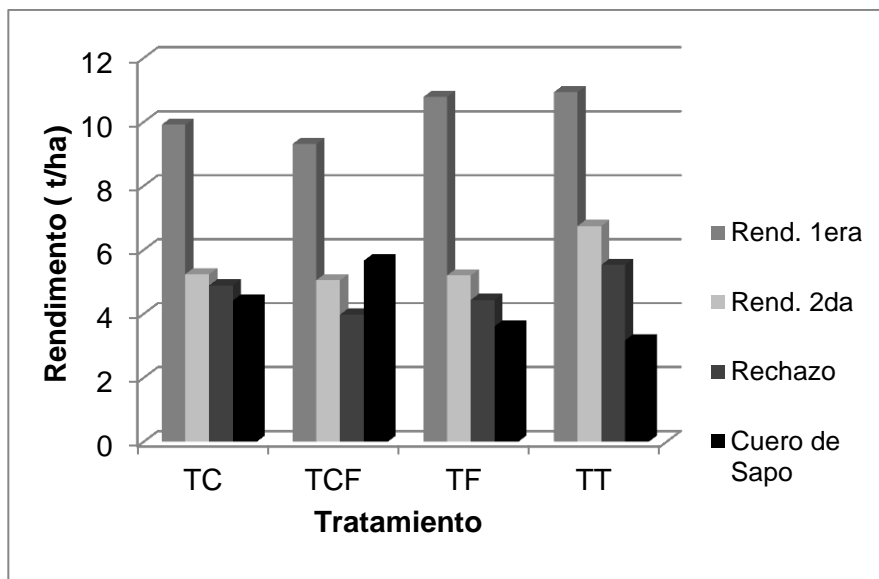


Fig. 16. Rendimiento de yuca en finca de Sonafluca. La Fortuna, Costa Rica. Enero del 2014.

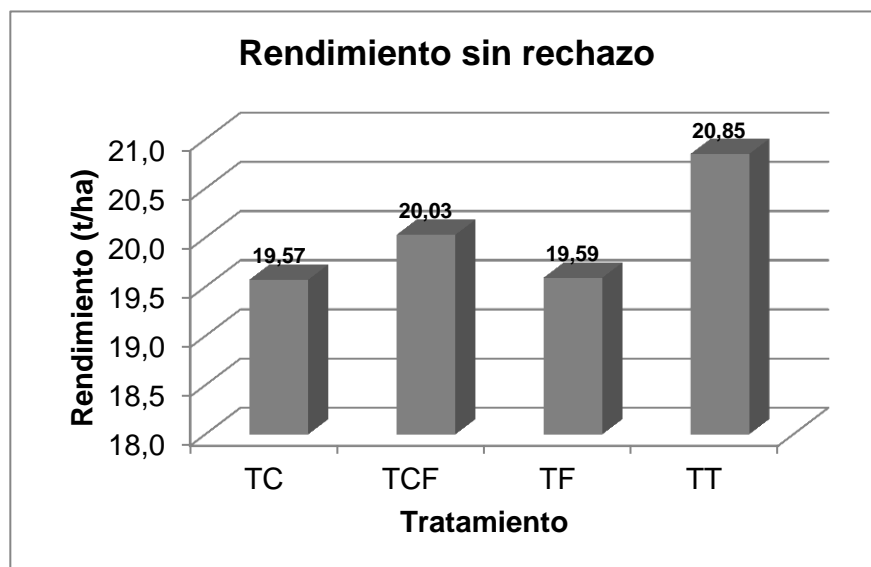


Fig. 17. Rendimiento total de yuca sin rechazo en finca de Sonafluca. La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Enero del 2014.

### 3.7 Rentabilidad de los tratamientos

El tratamiento más económico fue el TF, su 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 a recomendar, debido a que presenta rendimiento aceptable a un costo mucho menor que los demás tratamientos (Cuadro 8), pero tiene su limitante como se discutirá más adelante. Al considerar que el rendimiento fue similar entre los tratamientos TC, TCF y TF, y el costo por hectárea de cada uno es diferente, técnica y económicamente, se podría concluir que el TT que tuvo mayor rendimiento y un costo de los fertilizantes intermedio es la recomendación técnica viable para las dos fincas.

Cuadro 8. 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
<b>Tratamiento completo al suelo (TC)</b>	14,27	19,57	₡295.752,17	₡285.211,37
<b>Tratamiento completo al suelo + Foliar (TCF)</b>	13,57	20,03	₡360.922,17	₡367.961,37
<b>Tratamiento Foliar (TF)</b>	13,67	19,59	₡51.075,00	₡82.750,00
<b>Tratamiento Testigo (TT)</b>	16,10	20,85	₡222.340,08	₡128.976,67

Equivalencia: ₡ 510 = un dólar USA, enero del 2014.

#### 4 Discusión y conclusiones

##### 4.1 Curva de crecimiento en peso seco

El incremento en crecimiento importante inicia a partir de los 2,5 meses cuando se inician los muestreos en las tres fincas, producto de la MS de las raíces y el tallo, puesto que el aporte por las hojas fue mínimo, disminuyendo a partir de los 4,5 meses. Este crecimiento concuerda con lo expuesto por Howeler (1981) y Cadavid (2002), donde coinciden en que la acumulación de materia seca disminuye en las hojas después de los cinco meses, no así la del tallo y 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 con la cual podrá en los meses siguientes, almacenar reservas en las raíces productivas y en el resto de la planta. Lo expuesto en este párrafo manifiesta que el manejo nutricional debe ser iniciado después del primer mes e intensificarlo entre segundo y quinto mes.



Al tomar en consideración la relación de raíces con las estructuras aéreas, el peso seco de las raíces sobrepasa al peso seco de las 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), ellos 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 por acumular nutrimentos en su sitios de reserva (yuca). Cadavid (2002), Mejía de Tafur (2002) y Cadavid (2008) opinan de forma similar, ellos expresan 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) presente entre el tercer y cuarto mes después de la siembra, las cuales afectan mayormente a este cultivo en la época seca y con alta temperatura. El daño por estas plagas, hizo que el cultivo detuviera el crecimiento, luego con la presencia de lluvias y cese del ataque de las plagas se produjo una ramificación del tallo como se observa en la Figura A3, este comportamiento coincide con 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 induce el crecimiento de yemas laterales.

La acumulación de MS fue menor en la finca Laberinto, localizada en el cantón de Los Chiles, respecto a 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 A1). 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 las localidades donde están ubicadas las fincas.

#### **4.2 Efecto de los tratamientos en la materia seca de las hojas**

El aumento progresivo de las hojas no sobrepasó el quinto mes en las localidades de las fincas Pepín y Laberinto; en la finca de Sonafluca el incremento alcanzó los 6,5 meses, debido a que después del cese del ataque de plagas y la presencia de lluvias, hubo ramificación del tallo principal y aparición de hojas en las nuevas yemas presentes. A partir del momento que estas hojas alcanzan su madurez, empieza a decrecer la MS en ellas, situación que es confirmada a través de la información de 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 raíz. La disminución de la acumulación de MS en las

hojas es producto de la producción de menos hojas por la planta y al tamaño de éstas (Navarro, 1983), además se debe a que el proceso de elaboración de asimilados o compuestos orgánicos comienza en las láminas foliares y 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 el caso de Laberinto el tratamiento completo (TC) superó estadísticamente al tratamiento foliar (TF) en MS de hojas a los 6,5 meses de edad, pero los tratamientos, completo más foliar (TCF), testigo (TT) y TC son iguales estadísticamente. La justificación de esta diferencia puede ser que todos los tratamientos se mostraron muy similares en todas sus estructuras, salvo en la coloración de hojas, ya que el TF manifestó una coloración verde claro mientras que los demás tratamientos un color verde intenso, ello podría expresar la actividad fotosintética en los tratamientos. Al ser los suelos de finca Laberinto de fertilidad química baja (Cuadro A1), podría acarrear que al ser el cultivo tratado únicamente con fertilizantes aplicados vía foliar (TF) no se alcanzara cubrir las demandas nutricionales del cultivo.

En la localidad de Sonafluca los tratamientos TC y TCF difieren significativamente del tratamiento TT, este último fue similar al TF en MS de hojas a los 6,5 meses. Esta diferencia no fue visible como en Laberinto, tampoco se tradujo en el rendimiento de yuca cosechada 3,5 meses después de ese muestreo.

#### **4.3 Efecto de los tratamientos en la materia seca del tallo**

A los 6,5 meses, la cantidad de MS acumulada por tallo no presentó superioridad de un tratamiento respecto a los demás, en ninguna de las localidades donde se estableció el estudio. Entre localidades la MS por tallo fue menor en la localidad de Laberinto, posiblemente marcado por la menor fertilidad de suelo que las otras dos fincas, dado que la densidad de siembra fue similar a la de Sonafluca. La acumulación de MS por planta en esta estructura presentó una ligera superioridad en finca Pepín sobre la finca de Sonafluca, ambas ubicadas en La Fortuna; existen dos posibilidades para que se produjera este resultado, 1) fueron sembradas en épocas diferentes y 2) quizás debido a que la densidad de planta fue mucho menor (menos competencia entre plantas) en finca Pepín (9 284 ptas/ha) que en la finca de Sonafluca (14 580 ptas/ha).

#### **4.4 Efecto de los tratamientos en la materia seca de las raíces y en la concentración de nutrientes en las hojas**

En la finca Pepín en Los Ángeles de La Fortuna, al momento de la cosecha del cultivo, el TT obtuvo mayor peso seco que todos los demás tratamientos, justificándose

este mayor peso al manejo de la fertilización en esta finca 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 a los siete meses en finca Pepín muestran una mayor concentración de nitrógeno total (NT), fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca) en el tratamiento testigo (TT) que en los demás tratamientos, no así en las demás fincas. 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 como la fuente de ortofosfato aplicada al inicio ayuda a incrementar la absorción de P por las plantas (IPNI, 2013).

La fuente de fertilizante a base de polifosfato utilizada, además de proporcionar P soluble, también aporta N y K, lo que pudo ayudar a una mayor absorción de estos dos elementos, que además se muestran en concentración superior en las hojas que en los demás tratamientos, con diferencias (p-valor < 0,05) del TT respecto a TC, pero el TT igual a TCF y TF. A pesar que el TT recibió menor cantidad de N y K que los tratamientos TC y TCF, pero sí más P (65,3 kg de  $P_2O_5$ /ha contra 50 kg de  $P_2O_5$ /ha), quizás el mejor comportamiento es debido a que la fórmula completa aplicada al suelo a los 3,7 meses (112 días) de edad contiene Mg, además los tres elementos mencionados, entre otros elementos menores, lo que confiere una nutrición balanceada al cultivo. La aplicación de elementos al mismo tiempo, 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).

En esta finca (Pepín), además hubo diferencias (p-valor < 0,05) en calcio, mostrándose en mayor cantidad en el TT, confirmando el aporte que tuvo por las fuentes de fertilizante utilizadas, entre ellas el magnesamón, que además de Ca, es una fuente de N y Mg solubles. Las fertilizaciones con DAP, magnesamón y fórmula completa en el TT fueron hechas al suelo en las fases de mayor demanda del cultivo, igual que en los tratamientos TC y TCF, pero con el aporte de varios elementos y todo el fósforo del DAP aportado a los 30 DDS. Lo expuesto anteriormente pudo influir en el rendimiento de yuca durante la cosecha en el tratamiento testigo.

En las fincas de las localidades de Los Chiles (finca Laberinto) y de La Fortuna (finca en la localidad de Sonafluca), las raíces presentaron un crecimiento acelerado desde la primera fecha de iniciado los muestreos, pero sin encontrarse diferencias en tres muestreos en finca Laberinto y cuatro muestreos (hasta la cosecha) en Sonafluca. Posiblemente no se marcó diferencias entre tratamientos en estas dos fincas, debido a que no hubo un tratamiento con aplicaciones al suelo tan variada como el TT en finca Pepín; además los suelos de la finca de Sonafluca presentan alta fertilidad, donde la respuesta a la fertilización es baja. 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.

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

Respecto a la finca Laberinto, donde la fertilidad de los suelos es baja, se encontró diferencia del TCF sobre el TC en magnesio. Del mismo modo, hubo diferencias significativas del TF sobre el TC en calcio, quizás debido a que el TC no recibió estos elementos, mientras que en los otros dos tratamientos (TCF, TF) se suministraron vía foliar, en algunos fertilizantes foliares aplicados en las cinco fertilizaciones hechas.

#### **4.5 Efecto de los tratamientos en el rendimiento del cultivo**

##### **4.5.1 Finca Pepín**

El tratamiento testigo (TT) en finca Pepín, 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, presentándose diferencias,  $p$ -valor  $< 0,05$ , significativas en yuca de primera calidad.

Los rendimientos obtenidos no fueron altos, pero sí más elevados que el promedio nacional que es alrededor de 12 t/ha. El rendimiento relativamente bajo pudo deberse al efecto de 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 y altas temperaturas (Figuras A1 y A2) 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 en la investigación, 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 factores y 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 aporte de N y de P a temprana edad y a la variabilidad de productos usados tanto a nivel de suelo como foliar. A pesar 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 aplicó 10,57 kg/ha. Esta cantidad de fertilizante nitrogenado, podría influir más eficiente a temprana edad 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 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 donde 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, las cuales 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 50 kg de este elemento/ha. El análisis químico realizado en 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 4,4.

Esto explica en parte, porqué la respuesta del cultivo se manifiesta con el aporte de los elementos N y P.

En ese mismo orden, el tratamiento testigo 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 K<sub>2</sub>O. Esta cantidad aplicada es baja en comparación con lo aplicado en el TC y TCF, que en total recibieron 200 kg de K<sub>2</sub>O/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

La extracción de 139 kg de Ca/ha en toda la planta es reportada por De Diego y Quirós (2006). Estos autores, además de Asher *et al.* (1980) y Howeler (1981), presentan 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 que en 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).

#### **4.5.2 Finca Laberinto**

El análisis químico de suelo en esta finca, al igual que 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), 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.

En esta finca el comportamiento del cultivo presentaba expectativas interesantes y podría esperarse que en un suelo ultisol 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 lo percibido en el tratamiento foliar (TF). Estas observaciones se hicieron en el campo, pero sin poder ser evaluadas por problemas operativos al momento de la cosecha como se ha indicado.

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 tenerse como conclusión general, que una alta fertilización con P al arranque de la siembra es clave en suelos que presenten deficiencia del elemento por debajo 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 cuales la planta no se recupera.

Si la fertilización se hace fraccionada, posiblemente el cultivo no responda de la misma manera debido a la mayor fijación del mismo.

#### **4.5.3 Finca Sonafluca**

Respecto a la finca de Sonafluca, no hubo diferencias ( $p$ -valor  $\geq 0,05$ ) entre tratamientos, sin embargo el tratamiento de mayor rendimiento fue el TT. Este tratamiento recibió tres aplicaciones de fertilizaciones foliares y dos aplicaciones al suelo a los 66 DDS 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 en los TC y TCF. La razón de no haber respuesta a la fertilización, se explica posiblemente 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.

Es importante resaltar que el rendimiento alcanzado en esta finca fue muy superior al de la finca Pepín (9284 ptas/ha), quizás debido a la fertilidad de los suelos más alta en la finca de Sonafluca (Cuadro A1) y ser sembrada a una densidad mayor (14580 ptas/ha) o bien que se sembraron en fechas diferentes, 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 o se fertilizan adecuadamente de acuerdo a los resultados de análisis de suelos y foliares.

#### **4.5.4 Rentabilidad de los tratamientos**

El tratamiento más económico fue el TF, su costo/ha fue mucho menor que los demás tratamientos. Sin embargo, desde el punto de visto técnico este tratamiento a través del tiempo no sería rentable por el agotamiento nutricional que pueda generar al suelo en el futuro. Esto lo advierte Cadavid (2002), al hacer 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 de 2,85 ppm de P en el lote sin aplicación.

Teniendo en cuenta el rendimiento similar entre los tratamientos (TC, TCF y TF) y observando el costo por hectárea de cada uno, técnicamente se podría concluir que la mejor alternativa es el TT, ya que con un costo no tan elevado se obtiene un buen rendimiento, además se podría asegurar un mejor uso de los nutrimentos aportados por el suelo al cultivo sin agotar nutricionalmente este recurso de los nutrimentos que se aportan. Otra consideración que se debe tener en cuenta es que el TT es diferente en cada localidad, siendo el más común en los pequeños productores el usado en la finca de Sonafluca, no obstante se debe apostar al usado en finca Pepín que cubriría en mayor grado los requerimientos del cultivo, cuando la finca se encuentra en suelos de baja fertilidad, no así en suelos con fertilidad alta, puesto que la posibilidad de respuesta es baja y con la consecuencia que podría afectar la rentabilidad del cultivo.

## **5 Recomendaciones**

Realizar una segunda repetición del proyecto de investigación para una evaluación más consistente sobre el comportamiento el fósforo aplicado fraccionado o su total aplicación al inicio (30 días después de la siembra) y un buen aporte de N en esa etapa.

Realizar una segunda repetición del trabajo de investigación en un suelo ultisol y obtener resultados finales a cosecha para poder tener información del comportamiento de los distintos métodos de fertilización en suelos de fertilidad baja.

Al trabajar en fincas de productores, evaluar el experimento antes de la cosecha programada por el productor para evitar errores operativos.



## 6 Bibliografía

- Asher, C.J., D.G. Edwards, y R.H Howeler. 1980. Desórdenes nutricionales de la yuca. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. 48 p.
- Balzarini, M. G., L. González, M. Tablada, F. Casanoves, J.A. Di Rienzo, y C.W. Robledo. 2008. InfoStat. Manual del Usuario, Versión 2008. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina. p 33.
- Bellotti, A.C., B. Arias V., O. Vargas H., J. A. Reyes Q., y J.M. Guerrero. 2002. Insectos y ácaros dañinos a la yuca y su control. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Cali, CO 160-203 pp. In La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Compilado por: Bernardo O. y Hernán C. CIAT. Cali, CO.
- Cubero F., D. 2001. Clave de bolsillo para determinar la capacidad de uso de las tierras. San José, Costa Rica. MAG, ACCS.ARAUCARIA España-Costa Rica. 19 p.
- 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. (en línea). Consultado 7 mar. 2011. Disponible en [www.inta.gov.ar/benitez/info/documentos/horti/Pdf/PDF\\_23\\_Fertilización del Cultivo de Mandioca.pdf](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, C.R. ISBN9968978000. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 157p.
- \_\_\_\_\_, y J. C. Méndez. 2012. Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, C.R. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). Editorial Universidad de Costa Rica. 106p.
- Cadavid, L.F. 1988. Efecto de la fertilización y humedad relativa sobre la absorción y distribución de nutrimentos en yuca (*Manihot esculenta*, Crantz). Tesis (Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira, Colombia. 290 p.
- \_\_\_\_\_. 2002. Suelo y Fertilización para la Yuca. CIAT. Cali, CO, pp.76 -103. In. La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Compilado por: Bernardo O. y Hernán C. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali, CO.
- \_\_\_\_\_. 2008. Fertilización del cultivo de la yuca. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Consorcio Latinoamericano y del Caribe de apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca-CLAYUCA. Cali, CO. (en línea) Consultado el 20 de setiembre de 2013. Disponible en: [www.clayuca.org/clayucanet/edicion12/fertilizacion\\_yuca.pdf](http://www.clayuca.org/clayucanet/edicion12/fertilizacion_yuca.pdf)

- Cenoz, P. J., A. López, y A. Burgos. 2000. Efecto de los macro nutrientes 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.
- De Diego, G.E., y B.J. Quirós A.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, ITCR. Sede Regional, San Carlos.
- Fonseca L. J.M., y D. Saborío A. 2001. *Tecnología post cosecha de yuca fresca parafinada (Manihot esculenta Crantz) para exportación en Costa Rica*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. *Sistema Unificado de Información Institucional*. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), Laboratorio de Tecnología Post cosecha. *Convenio Post cosecha MAG-UCR*. p.56.
- Furcal, P., A. Gadea, G.E. De Diego, y B.J. Quirós A. 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 del 2009. San José Costa Rica.
- Gadea, A., P. Furcal, G.E. De Diego, y B.J. Quirós A. 2012. Absorción de nutrimentos en el cultivo de yuca. IV Congreso Internacional CLAYUCA Costa Rica. 4 y 5 de octubre 2012, CTEC del Tecnológico de Costa Rica, Santa Clara, San Carlos.
- Grant, C.A., D.N.Flanten, D.J.Tomasiewicz,y S.C.Shepard. 2001. Importancia de la nutrición temprana con fósforo. Informaciones agronómicas. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Quito, Ecuador (en línea). Consultado el 5 de noviembre de 2013. Disponible en: [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, COL, CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 52 p.
- Howeler, H., y L.F.Cadavid,.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. Consultado el 10 de mayo de 2012. Disponible en: [www.infoagro.go.cr/SEPSA/documentacion/informes/SintesisAnaliticaSA20180310.pdf](http://www.infoagro.go.cr/SEPSA/documentacion/informes/SintesisAnaliticaSA20180310.pdf)
- IPNI (International Plant Nutrition Institute). 2013. Fuentes de nutrientes específicos. Polifosfato № 2. (en línea). Consultado 29 set. 2013. Disponible en: [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. Cali, CO. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). pp. 49-75. In. La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Compilado por: Bernardo O. y Hernán C. CIAT. Cali, CO.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2012. Boletín Estadístico Agropecuario N°22. Serie cronológica 2008-2011. SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria. (en línea). Consultado 30 mar 2013. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00305.pdf>
- Mejía de Tafur, M.S. 2002. Fisiología de la yuca (*Manihot esculenta*) Crantz. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Cali, CO. 34-45 pp. In. La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Compilado por: Bernardo O. y Hernán C. CIAT. Cali, CO.
- Molina, E. 2002. Análisis de suelos y su interpretación. CIA-UCR. San José, Costa Rica. 8p.
- Navarro, F. 1983. Guía técnica para el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta*). Managua, NI. Ministerio de Desarrollo Agropecuario y Reforma Agraria. IICA (Instituto Centroamericano de Cooperación para la Agricultura). (Serie IICA N° 444). 30p.
- Núñez, J. 2001. Manejo y conservación de suelos. 1era Edición. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 288 p.
- Rodríguez G., Z.F., L.E.Mármol C., J. Martínez, y M. Montiel 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. Apartado Postal 526, Maracaibo, Venezuela. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2009, 26: 470-489.
- Villalobos R., E., R. Killorn. 2001. Nutrición mineral. En: UCR, editor, Fisiología de la producción de los cultivos tropicales. Fascículo 1. Capítulo V. San José, Costa Rica. p. 159-198.

## 7 Anexos

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

N° Lab.	Lote	pH	cmol(+)/L				mg/L					Suma bases	% Acidez
			Acidez	Ca	Mg	K	P	Cu	Fe	Mn	Zn		
S12_52	Fca. Pepín	5,38	0,32	5,4	1,2	0,34	5	2	98	*	1,4	6,88	4,44
		MO(%)	CO(%)	Fertilidad media									
S12_52	Fca. Pepín	4,4	2,55										
N° Lab.	Fca.Laberinto	pH	cmol(+)/L				mg/L					Suma bases	% Acidez
			Acidez	Ca	Mg	K	P	Cu	Fe	Mn	Zn		
S12_54	Centro	4,94	0,89	3,6	0,6	0,26	7	7	280	*	2,1	4,48	16,57
S12_55	Esquina	4,99	0,79	3,2	0,9	0,3	8	6	258	*	2,6	4,46	15,05
		MO(%)	CO(%)	Fertilidad baja									
S12_54	Centro	4,78	2,77										
S12_55	Esquina	4,54	2,64										
N° Lab.	Fca.	pH	cmol(+)/L				mg/L					Suma bases	% Acidez
			Acidez	Ca	Mg	K	P	Cu	Fe	Mn	Zn		
S12_81	Sonafluca	6,35	0,4	9,1	1,9	1,49	11	21	125	40	4,2	12,5	3,10
		MO(%)	CO(%)	Fertilidad Alta									
S12_81	Sonafluca	4,43	2,57										
<b>Observación:</b>	Las unidades están expresadas en base seca												
<b>Metodología:</b>	K, P y elementos menores por Olsen Modificado. Ca, Mg y acidez extractable por KCl 1M. pH en agua.												

Cuadro A 2. Variables con diferencias significativas en el análisis de varianza y sus contrastes polinomiales significativos. Finca Pepín. ITCR, Santa Clara, San Carlos. Enero del 2014.

<b>Variable</b>	<b>CV</b>	<b>p-valor</b>
<b>Raíz 10 meses</b>	<b>22,80</b>	<b>0,0033</b>
TF Vs TT*		0,0174
TC+TCF Vs TT*		0,0004
<b>Rend.1era Calidad (t/ha)</b>	<b>23,89</b>	<b>0,0088</b>
TF Vs TT*		0,0245
TC+TCF Vs TT*		0,0012
<b>N-total (%)</b>	<b>5,79</b>	<b>0,0527</b>
TC+TCF Vs TT*		0,0322
<b>P (mg/L)</b>	<b>11.79</b>	<b>0,0386</b>
TC+TCF Vs TT*		0,0109
<b>K (%)</b>	<b>9.31</b>	<b>0,0258</b>
TF Vs TT*		0,0256
TC+TCF Vs TT*		0,0039
<b>S (mg/L)</b>	<b>25.11</b>	<b>0,0176</b>
TF* Vs TT		0,0035
TC+TCF* Vs TT		0,0085
<b>Ca (%)</b>	<b>10.99</b>	<b>0,0001</b>
TC* Vs TCF		0,0041
TF Vs TT*		0,0005
TC+TCF Vs TT*		0,0001

\*Tratamiento que superó en el contraste.

Cuadro A 3. Variables con diferencias significativas en el análisis de varianza y sus contrastes polinomiales significativos. Fincas Laberinto y de Sonafluca. ITCR, Santa Clara, San Carlos. Enero del 2014.

<b>Variable</b>	<b>CV</b>	<b>p-valor</b>
<b>Finca Laberinto</b>		
<b>MS Hojas 6,5 meses</b>	<b>27.15</b>	<b>0.0190</b>
TC* Vs TCF		0.0250
<b>Mg (%)</b>	<b>4.81</b>	<b>0.0256</b>
TC Vs TCF*		0.0044
<b>Ca (%)</b>	<b>3.23</b>	<b>0.0001</b>
TF* Vs TT		0.0001
<b>Finca de Sonafluca</b>		
<b>MS Hojas 6,5 meses</b>	<b>17.85</b>	<b>0.0351</b>
TC+TCF* Vs TT		<b>0.0178</b>

\*Tratamiento que superó en el contraste.

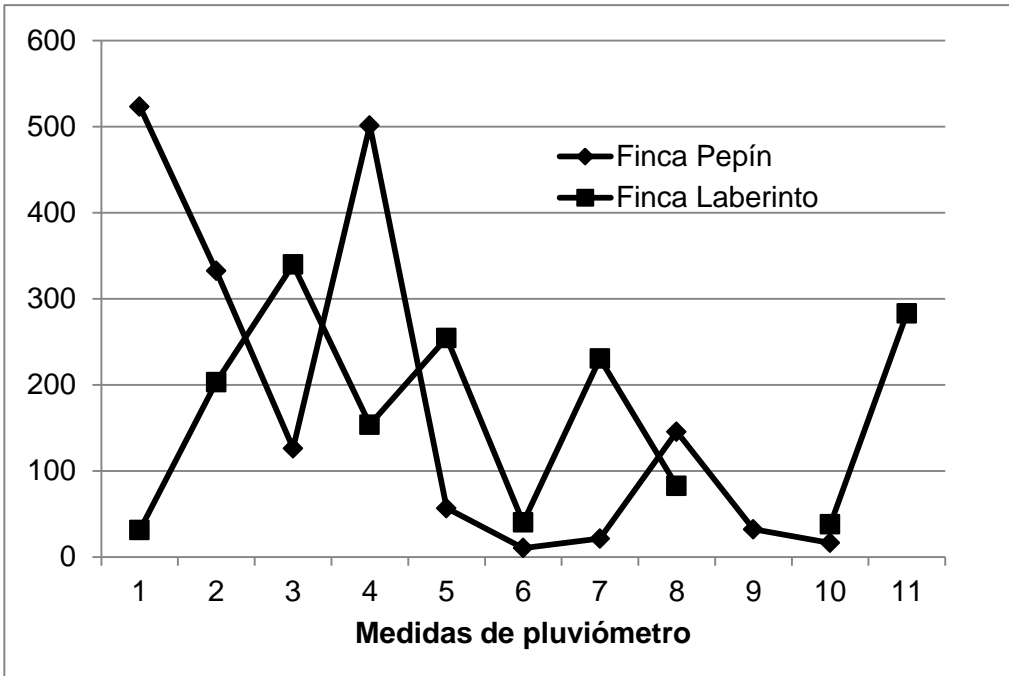


Fig. A1. Precipitación durante el ciclo del cultivo en fincas Pepín y Laberinto. Medidas en pluviómetros (agosto de 2012 (1) a junio de 2013 (11)) instalados durante la siembra en las respectivas fincas. Santa Clara. Enero de 2014.

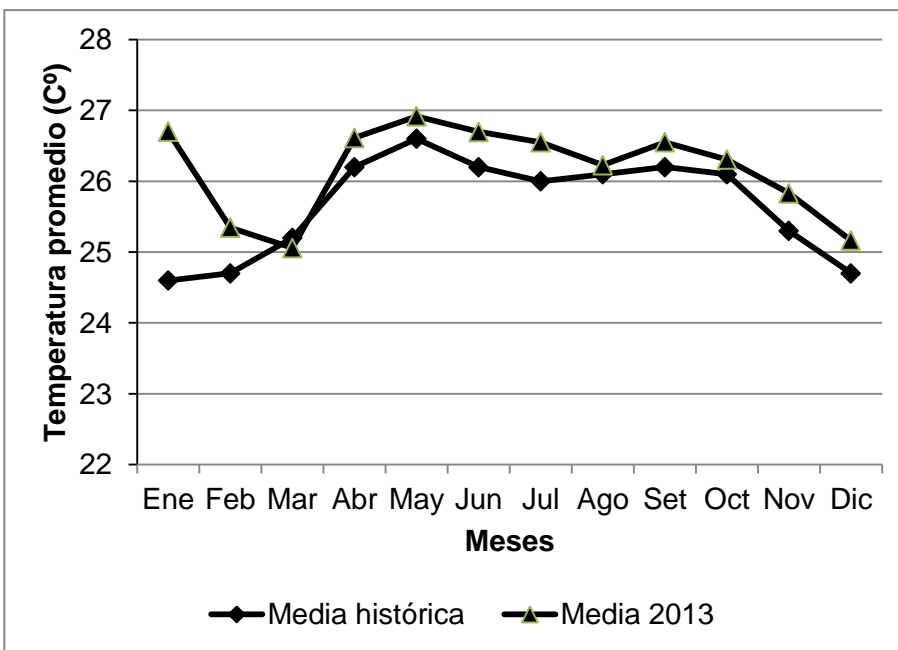


Fig. A 2. Temperatura promedio de 2013 y la esperada durante el período de 1978-2012. Estación meteorológica del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Santa Clara, San Carlos (latitud 10° 21' 44.46", longitud 84° 30' 35.54"). Enero del 2014.



Fig. A 3. Foto con plantación de yuca afectada por plagas (Ácaro, Trips y Mosca blanca). Sonafluca, Los Ángeles, La Fortuna. Enero del 2014.