

En éste año se continuaron los esfuerzos por desarrollar tecnología de yuca adecuada para las vastas extensiones de suelos ácidos e infértiles, según la estrategia que se esbozó el año pasado (CIAT, Programa de Yuca, Informe Anual 1979).

Con relación al primer aspecto de esta estrategia, se discontinuó la selección de germoplasma en soluciones nutritivas, en parte por dificultades para reproducir resultados a causa de la variabilidad de la planta y en parte porque las selecciones en soluciones nutritivas no dan cuenta de la capacidad diferencial de las variedades para formar asociaciones de micorrizas, que son tan esenciales para la absorción de P. En Carimagua se iniciaron evaluaciones de germoplasma a nivel de campo a gran escala, para buscar tolerancia a deficiencia de P y a acidez, y en CIAT-Quilichao para tolerancia a deficiencia de P.

En el segundo aspecto de la estrategia, de mejorar la eficiencia de la absorción de nutrimentos y de la aplicación de fertilizantes, se realizaron varios ensayos de fertilización para determinar: a) la absorción de nutrimentos y su distribución dentro de la planta durante un ciclo de crecimiento de 12 meses; b) el efecto a largo plazo de las aplicaciones de N, P y K sobre la fertilidad del suelo y sobre el rendimiento de la yuca cultivada continuamente; c) el efecto residual de varias fuentes de P; d) la interacción Cal x P, y e) el efecto de la inoculación de micorrizas sobre la absorción de P.

### Selección por Tolerancia a Bajos Niveles de P

La selección a pequeña escala por tolerancia a bajos niveles de P continuó en CIAT-Quilichao. Se sembraron 32 cultivares de la colección de germoplasma sin adición de P y con la adición de 44 kg/ha (100 kg de  $P_2O_5$ ) aplicado como superfosfato triple en parcelas que en los dos años anteriores habían recibido 88 y 44 kg/ha de P, respectivamente. A los tres meses se tomaron muestras de hojas y a los 12 meses se efectuó la cosecha de las plantas.

El índice de tolerancia a deficiencias de P de los 32 cultivares osciló entre 11 y 86, con un promedio de 43; este índice se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de tolerancia} = \frac{R_o}{R_{44}} \times \frac{R_o}{R_{\text{máx.}}} \times 100$$

en donde:

$R_o$  = rendimiento del cultivar sin aplicación de P  
 $R_{44}$  = rendimiento con aplicación de 44 kg/ha de P  
 $R_{\text{máx.}}$  = rendimiento máximo de algún cultivar obtenido sin P en este ensayo.

El índice de tolerancia no se relacionó con el contenido de P en las hojas porque éste refleja tanto la capacidad de absorción del elemento como el tamaño de la planta, el cual es muy variable.

El Cuadro 1 muestra el contenido de P en las hojas, el rendimiento de las raíces frescas, el contenido de almidón, el índice de tolerancia a bajos niveles de P y el porcentaje de infección de micorrizas en 10 de los cultivares más tolerantes a bajos niveles de P. El promedio de los rendimientos de las raíces en estos 10 cultivares aumentó solamente en 10% con la aplicación del P; el contenido de almidón, que se estudió en siete cultivares, aumentó en algunos de ellos y disminuyó en otros por la fertilización, pero las diferencias no fueron significativas al nivel de 5%; el contenido de almidón varió significativamente entre los cultivares.

La infección de micorrizas, especialmente en relación con el número de vesículas, fue más alta en las plantas fertilizadas con P que en las no fertilizadas; sin embargo, en la cosecha no hubo correlación entre el porcentaje de infección de las raíces y el rendimiento de las mismas o el índice de tolerancia a bajos niveles de P. Es necesario determinar los cambios en la infección de las raíces durante el ciclo de crecimiento, con el fin de establecer si una infección temprana es esencial para obtener altos rendimientos en suelos con bajo nivel de P.

Cuadro 1. Efecto de la fertilización con P sobre el contenido de este elemento en las hojas, el rendimiento de las raíces, el contenido de almidón y la infección de micorrizas de los 10 cultivares de yuca más tolerantes a bajos niveles de P, en CIAT-Quilichao, 1980.

| Cultivar   | P en las hojas <sup>1</sup><br>(%) |                | Rendimiento raíces <sup>2</sup><br>(ton/ha) |    | Almidón en raíces<br>(%) |    | Infección de micorrizas <sup>3</sup><br>(%) |    | Tolerancia a<br>deficiencia<br>de P (Índice) <sup>5</sup> |
|------------|------------------------------------|----------------|---|----|--------------------------|----|---|----|---|
|            | A <sup>4</sup>                     | B <sup>4</sup> | A   | B  | A                        | B  | A   | B  |   |
| ICA-HMC-2  | 0.36                               | 0.35           | 37  | 33 | 22                       | 19 | 45  | 44 | 86  |
| M Col 1226 | 0.39                               | -              | 48  | 56 | 26                       | 24 | 25  | 56 | 85  |
| M Mex 59   | 0.40                               | 0.38           | 44  | 49 | 28                       | 29 | 35  | 34 | 83  |
| M Col 1879 | 0.28                               | 0.32           | 37  | 36 | 26                       | 27 | 37  | 30 | 80  |
| M Col 1684 | 0.31                               | 0.29           | 36  | 39 | 25                       | 25 | 34  | 24 | 70  |
| M Col 113  | 0.30                               | 0.40           | 42  | 58 | 26                       | 25 | 39  | 37 | 63  |
| M Col 131  | 0.26                               | 0.28           | 31  | 32 | -                        | -  | 40  | 36 | 62  |
| M Ven 83   | 0.30                               | 0.35           | 36  | 49 | 30                       | 31 | 40  | 26 | 57  |
| M Col 88   | 0.33                               | 0.41           | 32  | 39 | -                        | -  | 22  | 39 | 55  |
| Llanera    | 0.36                               | 0.42           | 24  | 23 | -                        | -  | 43  | 50 | 54  |

<sup>1</sup> Hojas más jóvenes, totalmente expandidas, muestreadas tres meses después de la siembra.

<sup>2</sup> Rendimientos de un surco, promedio de tres plantas, cuatro repeticiones.

<sup>3</sup> Porcentaje del total de observaciones de raíces con hifas, vesículas o arbuscillos.

<sup>4</sup> P aplicado: A=0 kg/ha; B=44 kg/ha.

<sup>5</sup> Ver fórmula para obtener el índice en la pág. 65.

## Absorción y Distribución de Nutrientos

Para determinar el efecto de los fertilizantes sobre la tasa de absorción de nutrientes durante los diferentes estados del desarrollo de la planta y sobre la distribución de los mismos dentro de la planta (perfil de nutrientes) se sembraron dos cultivares de yuca en CIAT-Quilichao en parcelas grandes con y sin aplicación de fertilizantes.

Los cultivares fueron M Col 22, un tipo de planta con poco vigor y M Mex 59, un material muy vigoroso. Todas las parcelas se encalaron con 500 kg/ha de cal dolomítica y las parcelas fertilizadas recibieron 1 ton/ha de 10-30-10, 20 kg de azufre elemental, 10 kg/ha de Zn como ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, y 1 kg/ha de B como bórax, aplicados al voleo e incorporados antes de la siembra; se aplicaron otros 50 kg/ha de N en forma de urea a los 60 días.

Mensualmente se cosecharon ocho plantas por tratamiento, separando las láminas foliares (hojas) superiores, intermedias y bajas, los pecíolos y el tallo, así como las raíces; se secaron, pesaron y analizaron muestras para todos los macro y micronutrientes. También se tomaron y analizaron muestras de suelo cada mes.

La Figura 1 muestra la tasa de producción de materia seca (MS) total para las dos variedades. El fertilizante no tuvo efecto significativo sobre M Mex 59, una variedad

altamente tolerante a bajos niveles de P y que no responde a niveles altos de fertilidad (CIAT Informe Anual 1977, 1978 y CIAT, Programa de Yuca, Informe Anual 1979). M Col 22, por su parte, tuvo una producción de MS significativamente mayor cuando se fertilizó, especialmente durante los últimos seis meses.

Para los rendimientos en raíces secas los efectos fueron similares a los anteriores (Figura 2). En M Mex 59 tales rendimientos fueron altamente variables durante los tres meses finales, y no mostraron respuesta a la fertilización; M Col 22, sin embargo, sí respondió significativamente.

En ambas variedades la fertilización estimuló más el crecimiento aéreo que el de las raíces, disminuyendo el índice de cosecha en un 10 a 15%. La variedad M Col 22 sin fertilizar tuvo un índice de cosecha final de aproximadamente 0.70 a 0.75, el cual permaneció constante durante los últimos cinco meses, mientras que el índice de cosecha de M Mex 59, aunque estuvo en aumento hasta el décimo mes, llegó solamente a 0.55. De esta manera, la variedad más vigorosa M Mex 59 produjo relativamente más crecimiento aéreo, mientras que la no vigorosa M Col 22 produjo más raíces y en una fase más temprana. A los seis meses, M Col 22 había producido cerca del 50% de su rendimiento final de raíces, mientras que M Mex 59 había producido sólo cerca del 25%.

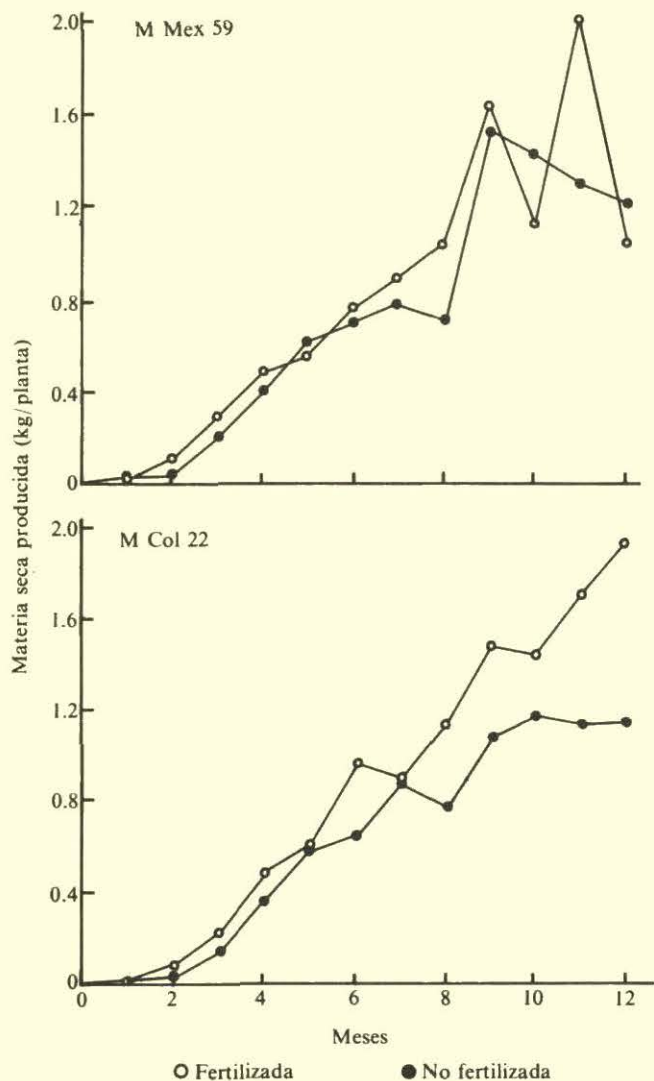


Figura 1. Producción de materia seca total acumulada durante 12 meses, en dos cultivares de yuca con y sin fertilizantes, en CIAT-Quilichao.

La Figura 3 muestra la distribución de la MS entre las raíces, los tallos, las hojas y los peciolos durante los ciclos de crecimiento de los cultivares sin fertilización. Las raíces empezaron a acumular MS después de dos meses y alcanzaron su máximo contenido a los 10 meses en ambos cultivares; sin embargo, M Col 22 translocó a las raíces la mayor parte de la MS después del tercer mes, mientras que M Mex 59 no lo hizo sino solamente después del octavo mes. La distribución de MS en las plantas fertilizadas siguió esencialmente el mismo patrón, excepto que en M Col 22 la acumulación en las raíces se continuó hasta el duodécimo mes.

En general, las concentraciones de N, P y K en las diversas partes de la planta disminuyeron con el tiempo,

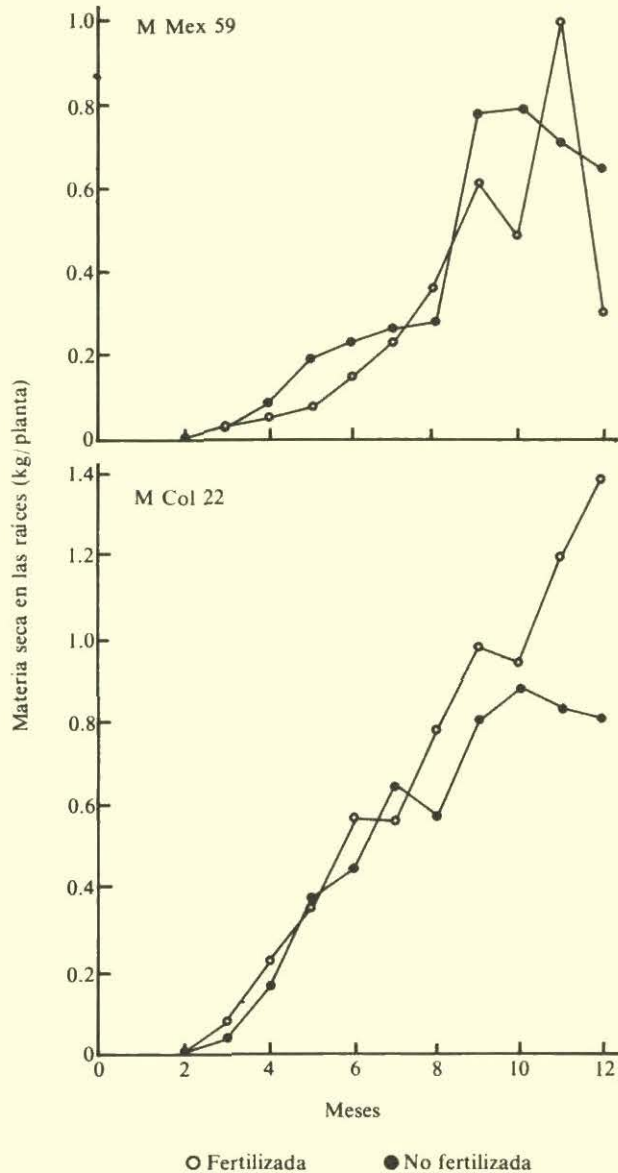


Figura 2. Producción de materia seca acumulada durante 12 meses en las raíces de dos cultivares de yuca con y sin fertilizantes, en CIAT-Quilichao.

especialmente en el tejido de la parte superior del tallo. El contenido de nutrientes de las hojas superiores también disminuyó con el tiempo, pero no al mismo grado en que lo hizo el de los tallos, peciolos o raíces, resultando así este tejido más adecuado para propósitos de diagnóstico. Se recomienda tomar muestras a los tres meses, ya que en una fecha posterior los niveles críticos estarían reducidos. Los contenidos de los demás nutrientes también disminuyeron con el tiempo, excepto los de Fe y Mn que permanecieron constantes en las hojas superiores y el de Ca que aumentó en las hojas superiores y en los peciolos.

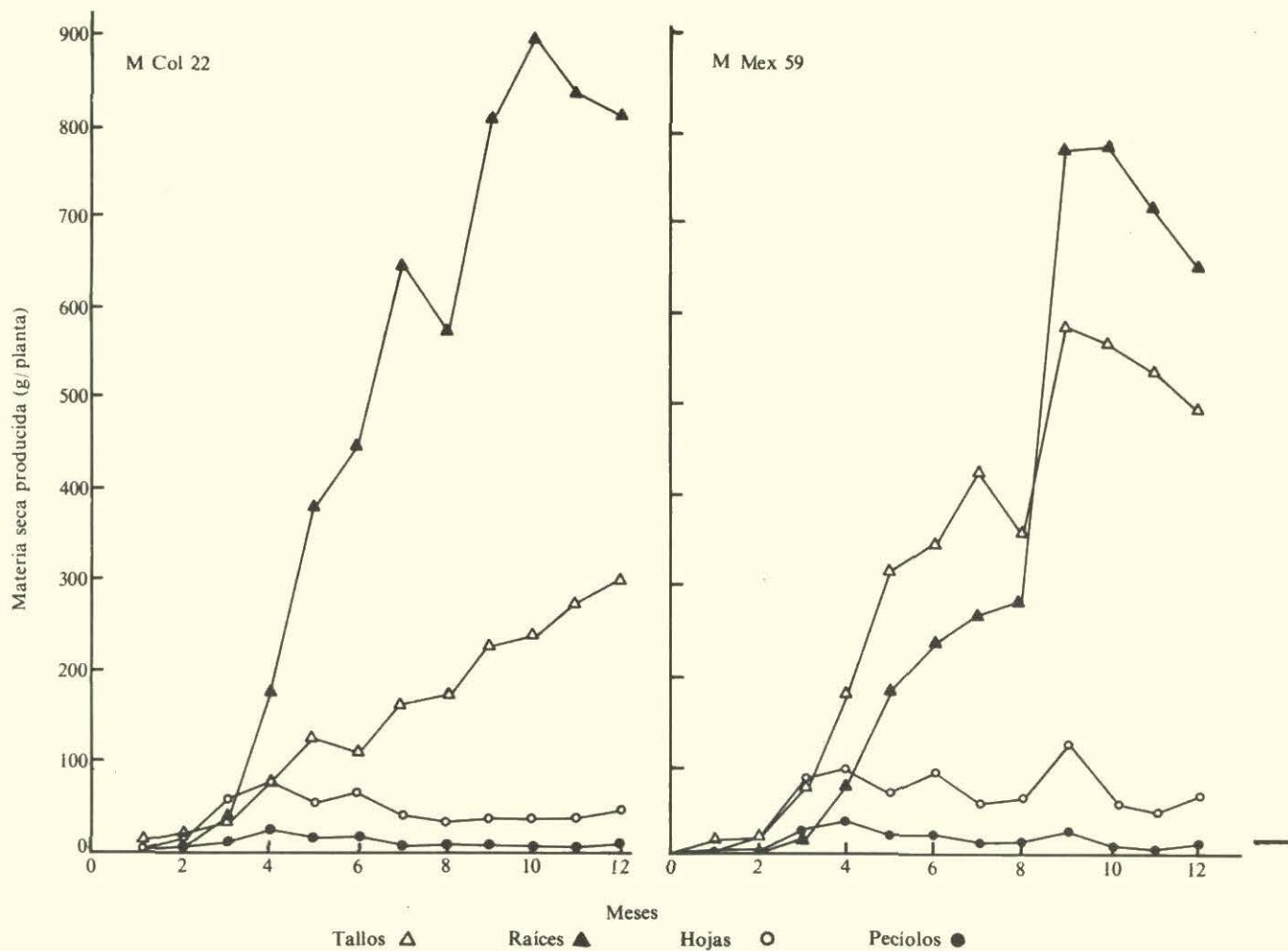


Figura 3. Distribución de la materia seca durante 12 meses en las raíces, tallos, hojas y pecíolos de dos cultivares de yuca sin fertilizar, en CIAT-Quilichao.

Cuadro 2. Concentración de nutrimentos en las hojas, pecíolos y tallos superiores, intermedios e inferiores y en raíces de yuca<sup>1</sup>.

| Parte de la planta |             | Contenido de nutrimentos (%) |      |      |      |      |      | Contenido de nutrimentos (ppm) |      |     |      |     |
|--------------------|-------------|------------------------------|------|------|------|------|------|--------------------------------|------|-----|------|-----|
|                    |             | N                            | P    | K    | Ca   | Mg   | S    | B                              | Cu   | Fe  | Mn   | Zn  |
| Hojas              | superiores  | 5.75                         | 0.42 | 1.98 | 0.72 | 0.34 | 0.30 | 11.1                           | 12.2 | 176 | 400  | 107 |
|                    | intermedias | 5.18                         | 0.27 | 1.80 | 1.01 | 0.38 | 0.28 | 11.9                           | 12.1 | 237 | 523  | 119 |
|                    | inferiores  | 4.40                         | 0.20 | 1.58 | 1.34 | 0.49 | 0.22 | 11.7                           | 11.1 | 386 | 697  | 137 |
| Pecíolos           | superiores  | 2.25                         | 0.22 | 2.93 | 0.90 | 0.38 | 0.06 | 10.6                           | 9.0  | 66  | 533  | 90  |
|                    | intermedios | 1.41                         | 0.14 | 2.35 | 1.13 | 0.39 | 0.02 | 9.9                            | 7.1  | 56  | 835  | 127 |
|                    | inferiores  | 1.35                         | 0.12 | 2.23 | 1.54 | 0.48 | 0.01 | 10.9                           | 7.5  | 123 | 1470 | 190 |
| Tallos             | superiores  | 2.73                         | 0.30 | 3.15 | 0.82 | 0.37 | 0.18 | 10.5                           | 18.1 | 133 | 339  | 86  |
|                    | intermedios | 2.21                         | 0.27 | 2.21 | 1.02 | 0.38 | 0.16 | 8.6                            | 22.7 | 107 | 379  | 120 |
|                    | inferiores  | 1.28                         | 0.22 | 1.14 | 0.65 | 0.31 | 0.09 | 6.4                            | 23.6 | 225 | 170  | 97  |
| Raíces             |             | 1.52                         | 0.18 | 1.56 | 0.24 | 0.14 | 0.05 | 6.0                            | 10.7 | 508 | 178  | 66  |

<sup>1</sup> Promedio de muestras tomadas a dos, tres y cuatro meses, de plantas fertilizadas y sin fertilizar de M Col 22 y M Mex 59.

Para todos los elementos nutritivos considerados, el contenido en las raíces disminuyó marcadamente debido a la acumulación de almidón en ellas. Es evidente que las raíces tienen contenidos relativamente altos de N y K y que estos elementos se remueven en la mayor cantidad en cada cosecha de raíces.

El Cuadro 2 presenta las concentraciones de nutrimentos en las diferentes partes de la planta a la edad de dos a cuatro meses. La fertilización incrementó más que todo el contenido de nutrimentos de todos los tejidos sin cambiar significativamente el patrón de distribución. Los contenidos de N y P siguieron patrones de distribución similares y disminuyeron en todas las partes de la planta desde la parte superior hacia la inferior. El contenido de K fue más alto en los tallos superiores, seguido por el de los peciolos y por último por el de las hojas; sin embargo, la gradiente de K de la parte superior del tallo a la inferior fue mucho más grande que para las hojas. Las hojas fueron más indicativas del nivel de K que los tallos superiores o los peciolos; los tallos o los peciolos más bajos también podían ser un buen tejido indicador para K, pero al tomar los primeros se destruiría la planta durante el muestreo.

Las concentraciones de Ca y Mg están en niveles casi igualmente altos en las hojas, los peciolos y los tallos y bajos en las raíces. A diferencia de lo que ocurre con N, P y K, las hojas inferiores y los peciolos presentan más altos contenidos de Ca y Mg que las hojas superiores. El contenido de S es alto en las hojas, extremadamente bajo en los peciolos e intermedio en los tallos; el de B es bastante uniforme en toda la planta; el de Cu es alto en los tallos; el de Fe es alto en las hojas, especialmente en las inferiores y los de Mn y Zn son altos en los peciolos especialmente en los inferiores. Los contenidos de Fe, Mn y Zn aumentaron de las hojas superiores hacia las inferiores y peciolos. En este suelo extremadamente ácido (pH 3.9-4.1), las concentraciones de Fe y Mn en los tejidos son muy altas, probablemente por encima del nivel crítico para toxicidad.

La Figura 4 muestra los perfiles de distribución de N, P y K en M Col22. Las plantas acumularon los nutrimentos durante todo el ciclo de crecimiento, pero la mayor tasa de absorción ocurrió del segundo al quinto mes, especialmente para el K. Después del quinto mes los tres elementos se habían acumulado principalmente en las raíces de este cultivar, que es precoz en la formación de tubérculos. Al momento de la cosecha, las cantidades de N, P y K fueron mayores en las raíces (66% para K) seguidas por los tallos, las hojas y los peciolos. No obstante, el Ca, el Mg y el Mn se acumularon más en el tallo que en las raíces.

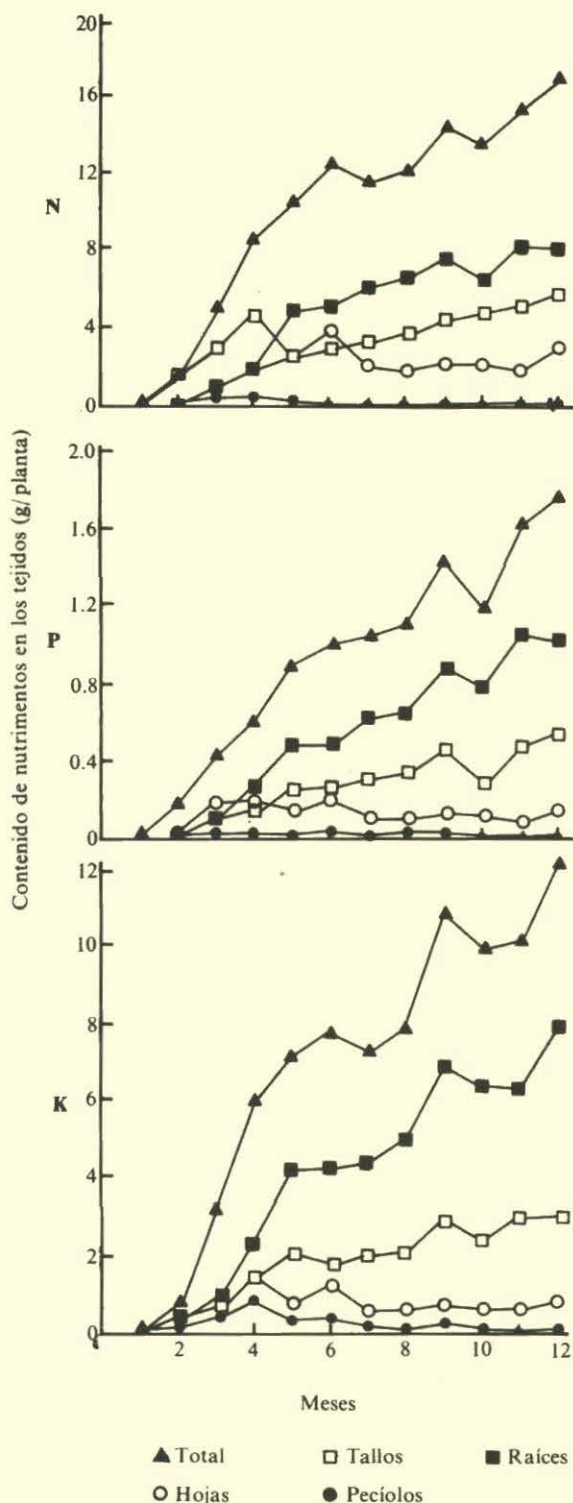


Figura 4. Absorción total y distribución de N, P y K en las diferentes partes de la planta del cultivar de yuca M Col 22 en 12 meses, en CIAT-Quilichao. (Promedio de plantas fertilizadas y no fertilizadas.)

Los análisis mensuales que se hicieron de los suelos no fertilizados mostraron cambios no significativos en el pH y en el contenido de Ca y un ligero aumento en el Al intercambiable de 2.5 a 3.5 meq/100 g. Hubo un pequeño incremento en el P disponible, de 4 a 6 ppm, debido posiblemente a la caída y descomposición de hojas, una pequeña disminución en el Mg intercambiable y una disminución significativa en el K intercambiable, de 0.4 a 0.2 meq/100 g. En las parcelas fertilizadas, el K intercambiable disminuyó de 0.60 a 0.25 meq/100 g, aumentando de nuevo durante el último mes. La marcada disminución de K en el suelo es la causa del agotamiento del mismo después de cultivar yuca en él y la explicación de por qué la yuca responde más a la fertilización con K después de varios cultivos consecutivos.

Si cada planta de yuca extrae cerca de 10 g de K (ver Figura 4) que provienen en su totalidad de los 20 cm de la capa superficial del suelo y no hay reintegro, la disminución corresponde a 0.17 meq de K por 100 g del suelo; adicionalmente, el K se puede perder por lixiviación y erosión. Por lo tanto, una adecuada fertilización con K es esencial para obtener altos rendimientos y mantener la fertilidad del suelo. (Ver la próxima sección.)

## Ensayos de Fertilidad a Largo Plazo

Los objetivos, tratamientos experimentales y resultados de la primera siembra con el cultivar Llanera se

describieron el año pasado (CIAT, Programa de Yuca, Informe Anual 1979).

En el segundo año se sembró el cultivar CMC 40 en las mismas parcelas; esta vez no se usó fertilizante, excepto en las ocho parcelas adicionales que se fertilizan anualmente. La Figura 5 muestra la respuesta de este cultivar a los efectos residuales de N, P y K en términos de rendimientos de raíces y de follaje, índice de cosecha y contenido de N, P y K en las hojas de las plantas de tres meses de edad. A pesar de que no se aplicó fertilizante adicional, los rendimientos de las raíces fueron muy altos, con un mínimo de 31 ton/ha para el cero absoluto de fertilización con N, P y K.

En general, las plantas respondieron a la fertilización más en términos de follaje que de rendimiento de raíces, pero a diferencia del primer año, no hubo disminución significativa en el índice de cosecha debido a la fertilización.

La Figura 6 muestra la respuesta en rendimiento de raíces que la yuca presentó al efecto residual de una fertilización previa y a la fertilización anual con dosis mediana y alta. Aunque hubo un significativo efecto residual de los fertilizantes aplicados inicialmente, los rendimientos de las raíces aumentaron otras 5 a 6 ton/ha con la reaplicación de fertilizantes; esto sería económico a un nivel intermedio de aplicación, pero no al nivel más alto.

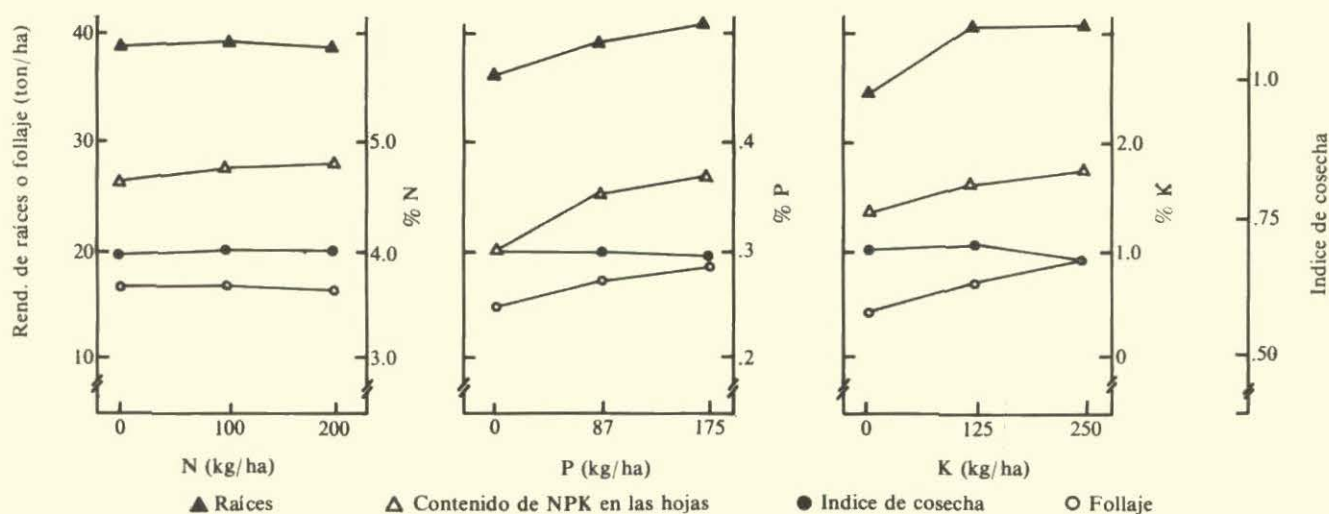


Figura 5. Efecto residual de tres niveles de N, P y K que se habían aplicado a un cultivo previo de yuca sobre el contenido de nutrientes en las hojas superiores del cultivar CMC 40 a los tres meses, sobre su producción de follaje y de raíces y sobre su índice de cosecha a los 12 meses de edad, en CIAT-Quilichao.

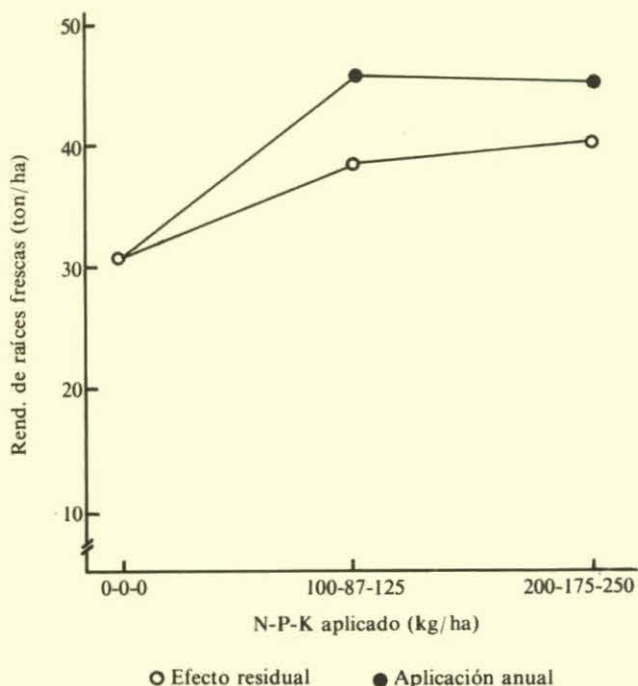


Figura 6. Respuesta en producción de raíces del cultivar de yuca CMC 40 a niveles nulos, medios y altos de N, P y K aplicados en el cultivo anterior o en el cultivo actual, en CIAT-Quilichao.

Después de dos años de sembrar yuca en un mismo suelo, el contenido de P disponible había disminuido de 7.8 a 2.3 ppm sin la aplicación de P y de 41.8 a 6.9 ppm con la aplicación de 175 kg/ha. De manera similar, el contenido de K intercambiable del suelo disminuyó de 0.20 a 0.12 meq/100 g cuando no se aplicó ese elemento, y de 0.48 a 0.14 meq/100 g cuando se hizo una aplicación inicial de 250 kg/ha.

Sólo con la reaplicación anual de 250 kg/ha de K se pudo mantener el contenido de K del suelo en 0.21 meq/100 g después de la segunda cosecha, y se necesitaría una aplicación anual de 90 a 100 kg/ha de P para mantener un contenido de 7 ppm de P disponible en el suelo.

## Fuentes de P

Dos experimentos que se iniciaron en 1978 en CIAT-Quilichao para estudiar el efecto de varias fuentes de P, niveles y métodos de aplicación sobre los rendimientos de yuca (CIAT, Programa de Yuca, Informe Anual 1979), se repitieron en 1979 para estudiar el efecto residual.

Durante el primer año los rendimientos de la yuca Llanera variaron entre 20 y 25 ton/ha, sin una respuesta significativa a la aplicación de P. En el segundo año, sin aplicación adicional de P, los rendimientos de las raíces del cultivar M Col 1684 variaron entre 42 y 51 ton/ha, de nuevo sin una respuesta significativa a P. En las parcelas usadas como testigos, los contenidos de fósforo de las hojas superiores a los tres meses variaron de 0.38 a 0.42%, o sea que tales contenidos estuvieron alrededor del nivel crítico de 0.4%, lo que indica un nivel adecuado de P en las plantas. El rendimiento en las parcelas usadas como testigos fue de 46 ton/ha en promedio. Este alto rendimiento se alcanzó en un suelo con un contenido inicial de P (Bray II) de sólo 3 ppm, que aumentó hasta 5 a 6 ppm por efecto de la mineralización de la materia orgánica aun antes de la primera siembra y permaneció a ese nivel en la segunda siembra.

Las plantas de todos los tratamientos estaban altamente infectadas (48-83%) de micorrizas, dando como resultado una eficiente absorción de P aun en los suelos con muy bajo contenido de ese elemento. La infección con micorrizas fue particularmente evidente en las parcelas que no recibieron P, en las que recibieron sólo pequeñas cantidades de P soluble, o en las que recibieron altas cantidades de fuentes fosfatadas insolubles; la infección disminuyó al aumentar las cantidades de P soluble aplicado. El contenido de almidón de las raíces varió de 26 a 28% y las aplicaciones de P no tuvieron efectos significativos sobre él.

Estos ensayos sufrieron una defoliación de 30 a 50% a los ocho meses debido a un severo ataque del gusano cachón, seguido por tres meses de severa sequía (57 mm de precipitación total) sin ningún efecto perjudicial aparente.

## Interacción Cal x P

Para determinar los efectos de la interacción entre las aplicaciones de cal y de P sobre un suelo ácido e infértil se planteó un ensayo de diseño sistemático en Carimagua. La cal se aplicó a razón de 0 a 4.8 ton/ha y el P a razón de 0 a 209 kg/ha (480 kg/ha de  $P_2O_5$ ).

Las aplicaciones de cal aumentaron el pH del suelo de 4.15 a 4.75, disminuyendo el Al intercambiable de 3.5 a 1.3 meq/100 g y la saturación de Al de 88 a 27%. Los rendimientos de las raíces de M Col 638 oscilaron entre 7 ton/ha sin cal ni P y 25 ton/ha con una combinación de 3.6 ton/ha de cal y 167 kg/ha de P (380 de  $P_2O_5$ ).

La Figura 7 muestra las respuestas a las aplicaciones de P y cal en términos de rendimiento de raíces y de crecimiento del follaje. En promedio se obtuvieron rendimientos casi máximos con 92 kg/ha de P (210 de  $P_2O_5$ ) y 1.1 ton/ha de cal. Mientras los rendimientos de las raíces mostraron una respuesta al P más o menos cuadrática, los rendimientos del follaje mostraron una respuesta casi lineal, como se informó también en 1978. El índice de cosecha fue más alto (0.65) con 0.3 ton de cal y 92.5 kg de P (210 kg de  $P_2O_5$ ) y disminuyó a 0.50 con las dosis más altas de cal y P.

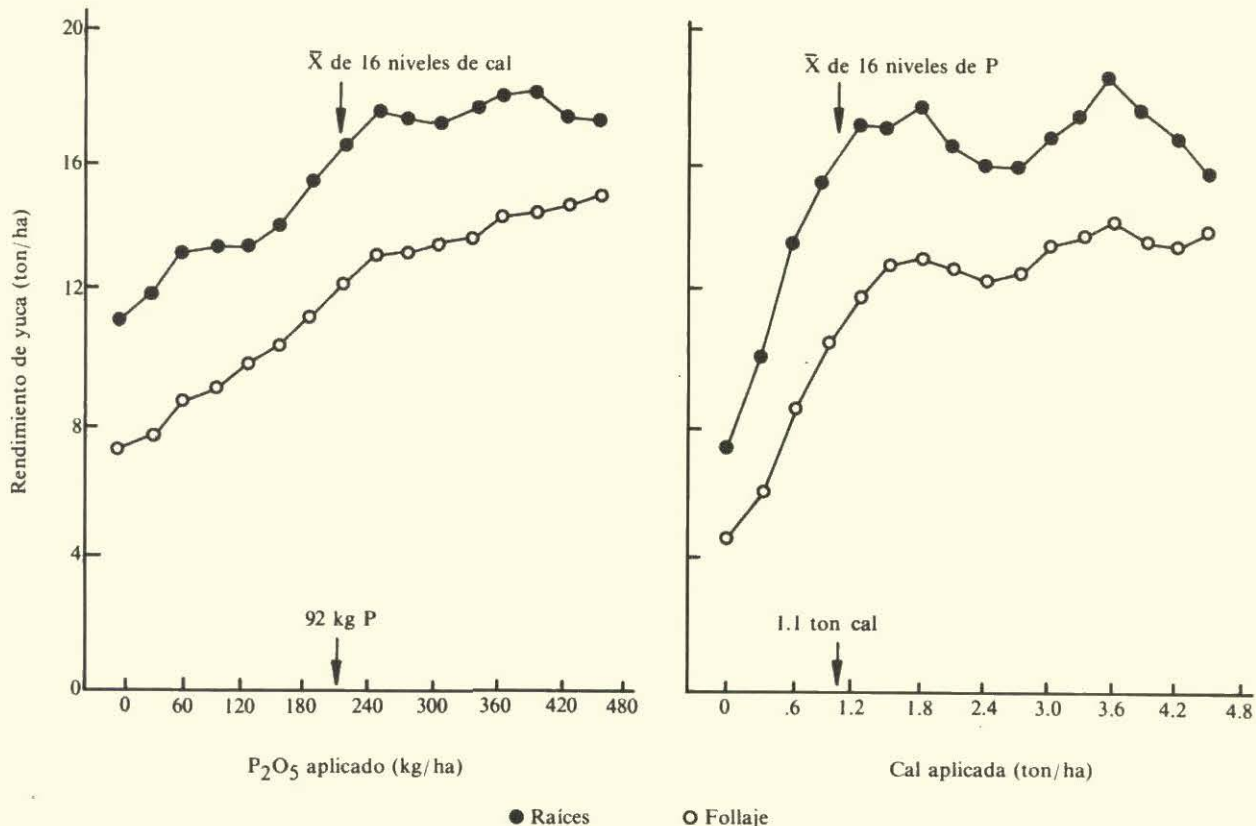


Figura 7. Efectos del incremento en los niveles de aplicación de P y cal sobre la producción de raíces y follaje en el cultivar CMC 40, en Carimagua. Las flechas señalan las tasas requeridas para una producción de 95% del máximo.

## Inoculación con Micorrizas

En muchas áreas productoras de yuca en América Latina el principal limitante del cultivo es la deficiencia de P. Se ha demostrado que la inoculación con micorrizas mejora la capacidad de la yuca para absorber P a partir de suelos y soluciones nutritivas con bajas concentraciones de ese elemento (CIAT, Programa de Yuca, Informe Anual 1979).

**Respuesta de la yuca a la inoculación.** Plántulas de yuca producidas en una cámara nebulizadora, se sembraron en materos con suelo esterilizado de CIAT-Quilichao, al cual se le habían aplicado nueve niveles de P. Las plántulas se sembraron sin inoculación, o se inocularon con esporas de micorrizas o con raíces infectadas.

La respuesta a la aplicación de P fue evidente después de dos semanas. La respuesta a la inoculación de las raíces



se observó después de tres semanas y se hizo más pronunciada con el tiempo; en la Figura 8 se puede apreciar la magnitud de esta respuesta.

Las plantas no inoculadas permanecieron deficientes en P a pesar de que este elemento se aplicó a razón de 800 kg/ha y sólo alcanzaron un desarrollo cercano al máximo con 1600 y 3200 kg/ha de P. Las plantas inoculadas con raíces infectadas obtuvieron un desarrollo muy bueno aun sin haber recibido P; la respuesta a la aplicación de P fue baja inicialmente y casi había desaparecido al

momento de la cosecha. La respuesta a la inoculación con esporas fue esencialmente nula.

El testigo para P inoculado con 2 g de raíces infectadas aumentó en más de 80 veces su crecimiento aéreo en comparación con el no inoculado; la inoculación fue casi tan efectiva como la aplicación de 1600 kg/ha de P (Figura 9). Las plantas que no tuvieron infección de micorrizas absorbieron muy poco P aun de un suelo al cual se habían aplicado 800 kg/ha del elemento.



Figura 8. Respuesta del cultivar de yuca *M Mex 59* a la inoculación con micorrizas y a varios niveles de aplicación de P en suelo esterilizado de CIAT-Quilichao.

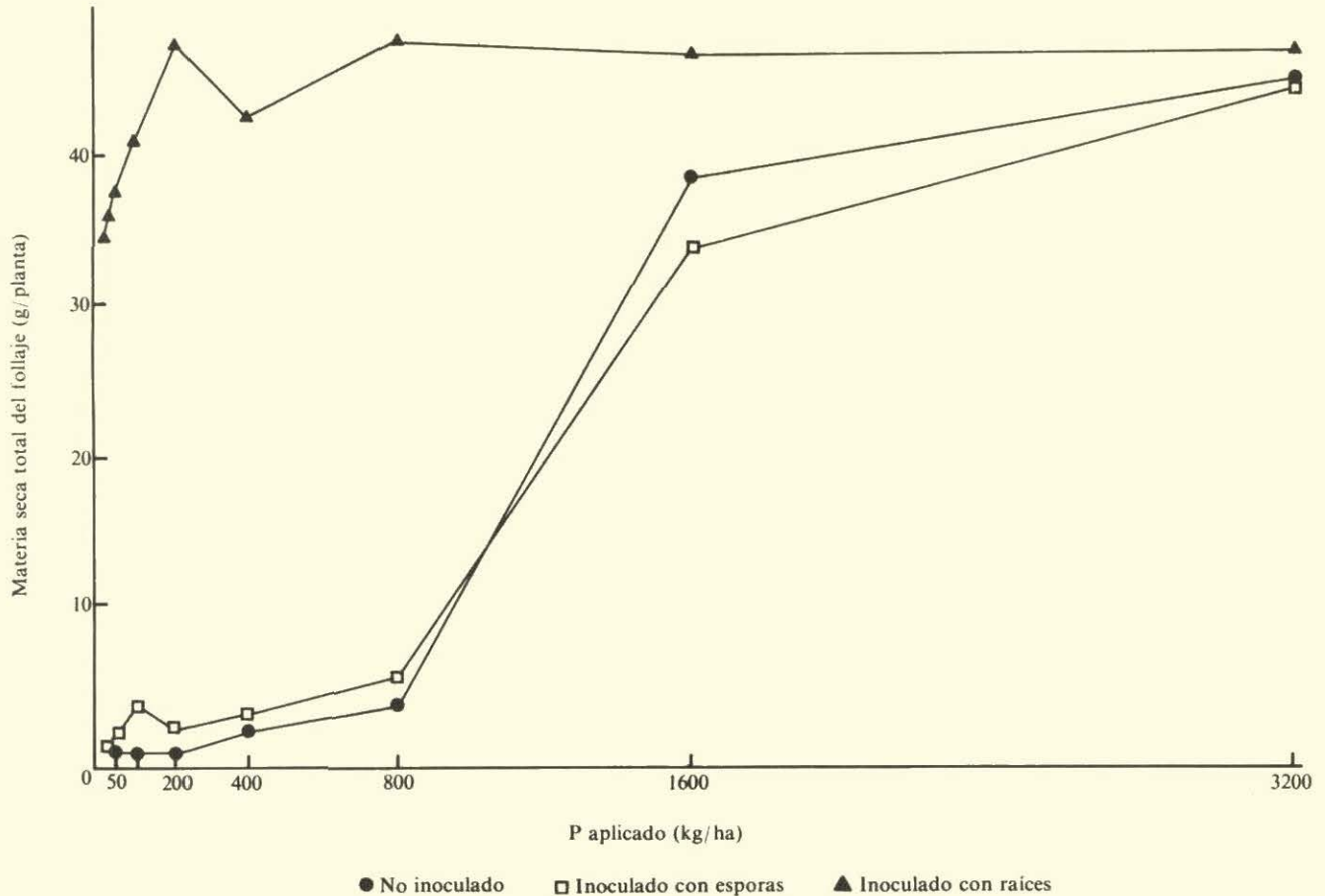


Figura 9. Efectos de la inoculación con micorrizas y de varios niveles de aplicación de P sobre la producción de materia seca en la parte aérea del cultivar de yuca M Mex 59, en suelo esterilizado de CIAT-Quilichao.

En el suelo de CIAT-Quilichao la inoculación con micorrizas fue altamente efectiva aun sin ninguna aplicación de P, aunque en este nivel la infección y la concentración de P en las partes aéreas fueron relativamente bajas (Cuadro 3). La infección máxima ocurrió a niveles intermedios de P, esto es, con aplicaciones de 50 y 100 kg/ha de este elemento, que son las dosis usadas en el campo para el cultivo de yuca. Sin la aplicación de P, la absorción total fue 100 veces más alta en las plantas con micorrizas que en las sin micorrizas; aun en los niveles más altos de aplicación de P, las plantas con micorrizas tenían concentraciones de P más altas y absorbieron más P que las plantas sin micorrizas.

La Figura 10 muestra la relación entre la producción de MS y el contenido de P disponible (Bray II) en el suelo después de la cosecha para ambos tratamientos, inoculado y sin inocular. Las curvas se trazaron visualmente uniendo los puntos; se colocaron flechas para indicar el contenido crítico de P, definido como el requerido para alcanzar el 95% del rendimiento máximo.

Aunque las plantas inoculadas y no inoculadas alcanzaron casi el mismo rendimiento máximo, es evidente que la presencia de micorrizas redujo marcadamente el nivel crítico de P en el suelo; el nivel crítico de 15 ppm para plantas con micorrizas sólo está ligeramente por encima del nivel de 8-10 ppm obtenido en experimentos de campo, mientras que el nivel de 190 ppm para plantas sin micorrizas es irrealísticamente alto.

La inoculación con esporas no produjo una infección aparente en las raíces ni mejoró el crecimiento de la planta; pero la inspección del suelo después de la cosecha reveló una gran población de esporas; la resiembra de yuca en estas materas dio como resultado un considerable aumento en el crecimiento, a niveles intermedios de P.

Aunque la infección por inoculación con esporas fue mucho más lenta que la infección por inoculación con raíces, con el tiempo estos métodos probablemente sean igualmente efectivos.

Cuadro 3. Efecto de la inoculación con micorrizas y de la aplicación de diferentes niveles de P sobre la infección en las raíces de la yuca, sobre la concentración de P en las partes aéreas y sobre la absorción total por las mismas. <sup>1</sup>

| P aplicado<br>(kg/ha) | Grado de infección <sup>2</sup> |                 |                 | Concentración de P<br>en las partes aéreas<br>(%) |      |      | Absorción de P<br>por las partes aéreas<br>(mg/planta) |       |      |
|-----------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|---|------|------|--|-------|------|
|                       | NI <sup>3</sup>                 | IR <sup>3</sup> | IE <sup>3</sup> | NI  | IR   | IE   | NI   | IR    | IE   |
| 0                     | 0                               | 1.7             | 0               | 0.05  | 0.08 | 0.05 | 0.2  | 27.7  | 0.3  |
| 25                    | 0                               | 2.2             | 0               | 0.07  | 0.07 | 0.05 | 0.5  | 25.5  | 0.6  |
| 50                    | 0                               | 2.6             | 0               | 0.04  | 0.11 | 0.08 | 0.3  | 41.3  | 1.5  |
| 100                   | 0                               | 2.6             | 0               | 0.05  | 0.12 | -    | 0.3  | 49.4  | -    |
| 200                   | 0                               | 2.4             | 0               | -   | 0.17 | 0.09 | -  | 81.0  | 2.0  |
| 400                   | 0                               | 2.0             | 0               | 0.06  | 0.17 | 0.09 | 1.2  | 73.0  | 2.8  |
| 800                   | 0                               | 1.5             | 0               | 0.09  | 0.18 | 0.06 | 3.4  | 86.0  | 3.4  |
| 1600                  | 0                               | 1.0             | 0               | 0.15  | 0.16 | 0.08 | 58.3   | 75.3  | 27.5 |
| 3200                  | 0                               | 1.0             | 0               | 0.20  | 0.25 | 0.21 | 90.5   | 118.3 | 93.5 |

<sup>1</sup> Cultivar de M Mex 59 sembrado en suelo esterilizado de CIAT-Quilichao, en el invernadero.

<sup>2</sup> Grado de infección: 0=ninguno, 3=alto número de hifas y vesículas en las raíces

<sup>3</sup> NI=no inoculado, IR=inoculado con raíces, IE=inoculado con esporas.

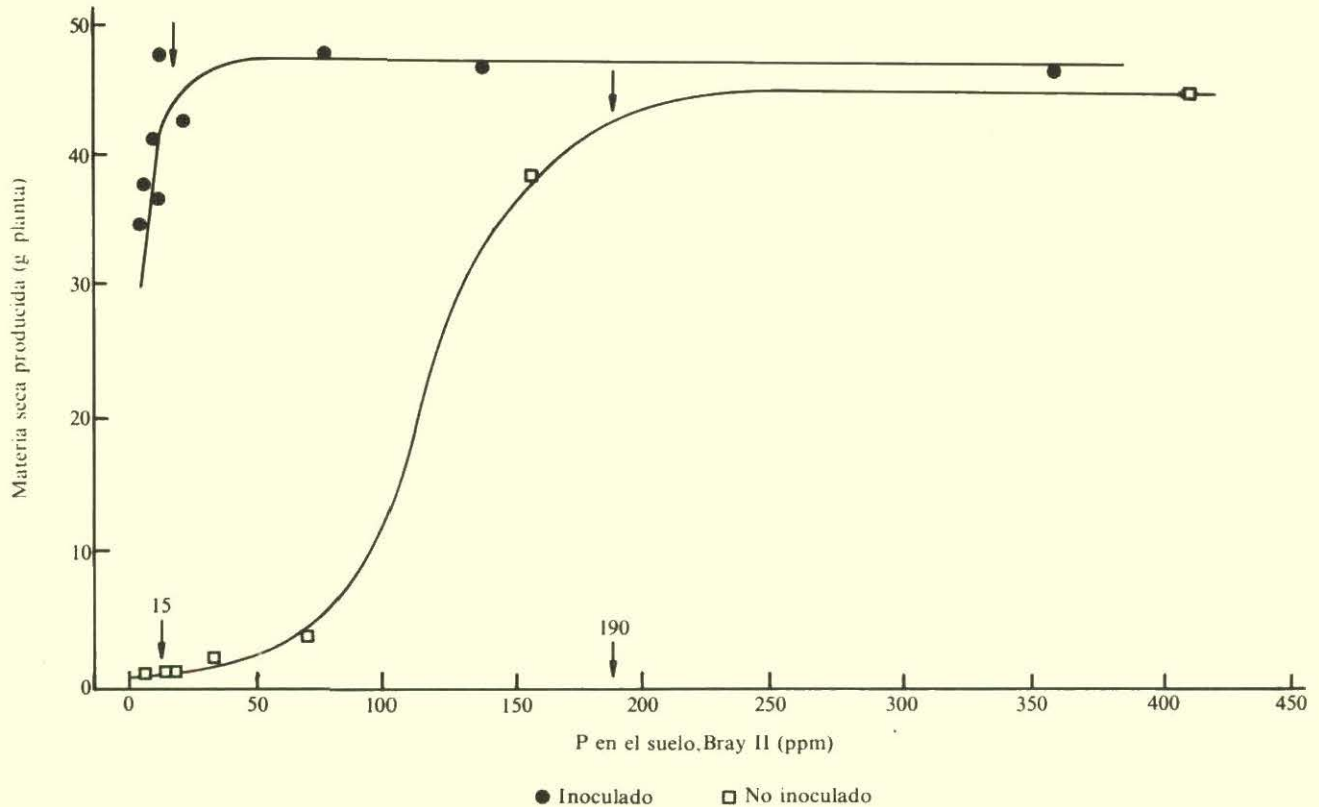


Figura 10. Relación entre la producción de materia seca del cultivar de yuca de M Mex 59 inoculado y no inoculado y el contenido de P en el suelo después de la cosecha. La flecha indica los niveles críticos de P para una producción de 95% del máximo.

Los resultados de este experimento corroboran la conclusión (CIAT, Programa de Yuca, Informe Anual 1979), según la cual sin una asociación con micorrizas las raíces de yuca son extremadamente ineficientes en la absorción de P, y además indican una gran dependencia del cultivo de las micorrizas cuando se siembra en suelos con bajos niveles de P.

Las implicaciones prácticas de estos resultados, sin embargo, no son aún evidentes. Primero, en un suelo no esterilizado la población de micorrizas nativas puede ser altamente eficiente, reduciendo el efecto benéfico de la inoculación, a menos que se puedan identificar especies y razas más eficientes.

En segundo lugar, la yuca se cultiva normalmente a partir de estacas, las cuales tienen una considerable reserva de nutrimentos que sirven a la planta para formar un sistema de raíces eficiente; en estas estacas el contenido de P es de 10 a 50 mg/ unidad, mientras que en las plántulas enraizadas es menor de 1 mg; en yuca cultivada a partir de estacas, las respuestas iniciales a la inoculación fueron pequeñas comparadas con las procedentes de plántulas enraizadas. Queda por investigar cuáles son los efectos a largo plazo de la inoculación una vez que se agoten las reservas de la estaca.

**Especificidad del hospedero.** Para determinar el grado de especificidad del hospedero, se inocularon con raíces de yuca infectadas con micorrizas las siguientes especies: maíz, frijol, caupí, arroz, *Andropogon gayanus*, *Stylosanthes guyanensis* y el híbrido de yuca CM91-3; las siete especies se sembraron en un suelo esterilizado de CIAT-Quilichao y se hicieron aplicaciones de 0, 100 y 500 kg/ha de P.

El Cuadro 4 presenta la respuesta a la inoculación y a la aplicación de P de estas especies. Todas ellas, a excepción del arroz, se beneficiaron notablemente con la inoculación a los niveles de 0 y 100 kg/ha de P; la yuca, el frijol, el caupí y el *Stylosanthes* también respondieron a 500 kg/ha de P. La falta de respuesta en el arroz puede indicar alguna especificidad del hospedero, pero probablemente se debió al sistema radicular extremadamente fino y altamente ramificado de esta especie. La falta de respuesta a la inoculación de *Andropogon* y maíz con 500 kg/ha de P también refleja un sistema radicular denso, bien desarrollado y altamente ramificado.

Como se observó en las soluciones nutritivas (CIAT, Programa de Yuca, Informe Anual 1979), sin una infección de micorrizas la yuca requirió dosis de P mucho más altas para alcanzar un desarrollo normal que especies exigentes en P, como el frijol.

Usando la relación de MS obtenida sin inoculación sobre la obtenida con inoculación como una medida de la dependencia de las micorrizas (Cuadro 4) y considerando el promedio para todos los niveles de P, la yuca fue la especie más dependiente de las micorrizas, seguida por *Stylosanthes guyanensis*; sin la aplicación de P estas dos especies resultaron de nuevo más dependientes de las micorrizas, aunque en orden inverso; con 100 kg/ha de P, *Stylosanthes*, *Andropogon* y caupí resultaron aún más dependientes de las micorrizas que la yuca.

Por otra parte, con una asociación de micorrizas la yuca fue más tolerante a la deficiencia de P ( $MS_{P_0} / MS_{P_{500}}$ ) que cualquiera de las especies incluyendo el arroz. De este modo, la bien conocida capacidad de la yuca para crecer en suelos con bajo nivel de P se debe a la gran reserva de P en su estaca, así como a una efectiva asociación de micorrizas en muchos suelos, aunque no necesariamente en todos, con bajo nivel de P.

Cuadro 4. Efecto de la inoculación con micorrizas y de la aplicación de P sobre la materia seca en las partes aéreas de siete especies de cultivos. <sup>1</sup>

| Especies                | Materia seca en las partes aéreas (g/matero) |       |       |           |       |       | Proporción de dependencia de micorrizas <sup>2</sup> |       |       |          |
|-------------------------|--|-------|-------|-----------|-------|-------|--|-------|-------|----------|
|                         | No inoculado                                 |       |       | Inoculado |       |       | P-0  | P-100 | P-500 | Promedio |
|                         | P-0  | P-100 | P-500 | P-0       | P-100 | P-500 |  |       |       |          |
| Yuca                    | 0.34   | 0.72  | 0.54  | 4.33      | 14.21 | 16.36 | 0.08   | 0.05  | 0.03  | 0.05     |
| Frijol                  | 1.11   | 3.44  | 8.29  | 3.08      | 18.79 | 25.01 | 0.36   | 0.18  | 0.33  | 0.29     |
| Caupí                   | 0.96   | 0.64  | 13.65 | 2.60      | 20.68 | 36.32 | 0.37   | 0.03  | 0.38  | 0.26     |
| <i>Stylosanthes</i> sp. | 0.08   | 0.08  | 2.74  | 1.25      | 9.33  | 12.20 | 0.06   | 0.01  | 0.22  | 0.10     |
| <i>Andropogon</i> sp.   | 0.15   | 0.39  | 34.24 | 1.26      | 16.67 | 32.18 | 0.12   | 0.02  | 1.06  | 0.40     |
| Maíz                    | 1.19   | 8.74  | 59.35 | 4.84      | 34.75 | 53.57 | 0.25   | 0.25  | 1.11  | 0.54     |
| Arroz                   | 3.79   | 26.63 | 30.60 | 3.83      | 22.36 | 31.23 | 0.99   | 1.19  | 0.98  | 1.05     |

<sup>1</sup> Cultivos sembrados en suelo esterilizado de CIAT-Quilichao, en el invernadero. Fertilización con 0, 100 ó 500 kg/ha de P.

<sup>2</sup> La dependencia de las micorrizas está en términos de la proporción:  $\frac{\text{Materia seca producida sin inoculación}}{\text{Materia seca producida con inoculación}}$