

ANALISIS DEL TEJIDO VEGETAL EN EL DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS NUTRICIONALES

ALGUNOS CULTIVOS TROPICALES

R.H. HOWELER



El CIAT es una institución sin ánimo de lucro, dedicada al desarrollo agrícola y económico de las zonas tropicales bajas. Su sede principal se encuentra en un terreno de 522 hectáreas, cercano a Cali. Dicho terreno es propiedad del gobierno colombiano el cual, en su calidad de anfitrión, brinda apoyo a las actividades del CIAT. Este dispone igualmente de dos subestaciones propiedad de la Fundación para la Educación Superior (FES), Quilichao, con una extensión de 184 hectáreas, y Popayán, con 73 hectáreas, ambas en el Cauca; y una subestación cedida por la Federación de Arroceros de Colombia (FEDEARROZ), Santa Rosa, con una extensión de 30 hectáreas, ubicada cerca de Villavicencio. Junto con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el CIAT administra el Centro de Investigaciones Agropecuarias Carimagua, de 22,000 hectáreas, en los Llanos Orientales y colabora con el mismo ICA en varias de sus estaciones experimentales en Colombia. El CIAT también lleva a cabo investigaciones en varias sedes de instituciones agrícolas nacionales en otros países de América Latina. Varios miembros del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) financian los programas del CIAT. Durante 1983 tales donantes son: los gobiernos de Australia, Bélgica, Canadá, España, Estados Unidos, Francia, Holanda, Italia, Japón, Noruega, el Reino Unido, la República Federal de Alemania, Suecia y Suiza; el Banco Mundial; el Banco Interamericano de Desarrollo (BID); la Comunidad Económica Europea (CEE); el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (FIDA); el Fondo de la OPEP para el Desarrollo Internacional; la Fundación Ford; y la Fundación Rockefeller. Además varios proyectos especiales son financiados por algunos de tales donantes y por la Fundación W. K. Kellogg, la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), el Centro Internacional para el Desarrollo de Fertilizantes (IFDC), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID).

La información y las conclusiones contenidas en esta publicación no reflejan necesariamente la posición de ninguna de las entidades mencionadas.

Fotografías portada: Muestra de deficiencias en los cultivos analizados

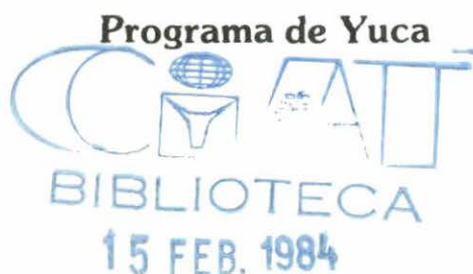
20.161

20161



Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales algunos cultivos tropicales

Reinhardt H. Howeler



Centro Internacional de Agricultura Tropical

Centro Internacional de Agricultura Tropical
(CIAT)
Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia

ISBN 84-89206-35-X
Noviembre, 1983
Tiraje: 1500 ejemplares
Impreso en Colombia

Cita completa:

Howeler, Reinhardt H. 1983. Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales: algunos cultivos tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. 28 p.

Información para catalogación:

1. Plantas — Células y tejidos — Análisis. 2. Enfermedades carenciales (Plantas) — Diagnóstico. 3. Plantas forrajeras. 4. Yuca — Composición. I. Tít.

Contenido

| | Página |
|---|--------|
| Introducción | 1 |
| Contenido de Nutrimentos | 2 |
| Variación dentro de la planta | 2 |
| Factores que influyen en el contenido de nutrimentos | 3 |
| Nivel crítico | 6 |
| Método de Muestreo | 11 |
| La toma de muestras | 11 |
| El lavado de muestras | 11 |
| El secado de muestras | 12 |
| La preparación de muestras | 12 |
| Análisis de Tejido de Varios Cultivos y Especies Forrajeras | 13 |
| Arroz | 15 |
| Frijol y Soya | 17 |
| Maíz | 19 |
| Pastos y Forrajes | 21 |
| Yuca | 23 |
| Conclusiones | 26 |
| Referencias Bibliográficas | 27 |

Introducción

En muchos suelos el crecimiento de las plantas o la producción de un cultivo son limitados por la falta de algún nutrimento, la cual ocasiona lo que se conoce como deficiencia de nutrimentos en la planta, o la concentración excesiva de éstos, ocasionando una toxicidad. Para poder corregir estos problemas nutricionales es esencial primero diagnosticar correctamente cual elemento se encuentra en forma deficiente o tóxica.

El diagnóstico del estado nutricional de una planta se puede hacer con base en observaciones visuales de síntomas de deficiencia o de toxicidad, con base en análisis de suelos o con base en análisis del tejido vegetal. De los tres métodos anteriores, el análisis del tejido vegetal tiene la ventaja de medir el contenido *total* del nutrimento y no solamente la fracción denominada "disponible" como sucede en los análisis de suelo. Por otra parte, el análisis de suelos es más impreciso porque varía de acuerdo con la metodología utilizada, e.g., el tipo de extractante, la proporción suelo-solución, la temperatura, el tiempo de la extracción, etc. En el análisis de tejido se determina el contenido total de cada elemento, el cual es una cantidad constante para una determinada muestra. Por lo tanto, los datos que se obtienen son más exactos y hay menos desacuerdo entre aquellos obtenidos por diversos laboratorios. Sin embargo, el contenido de elementos varía bastante entre los diferentes órganos de la planta (hojas, pecíolos, granos, tallo, raíces), y con la edad del tejido (por ejemplo, hojas jóvenes o viejas) y la edad de la planta.

Contenido de Nutrimentos

Variación dentro de la planta

El Cuadro 1 muestra cómo varían los contenidos de N, P, K y Ca entre las diferentes partes de una misma planta de yuca; en el caso de esta planta las láminas foliares tienen más alto contenido de N y P pero los peciolo son más altos en K y Ca. El Cuadro 2 también indica que el contenido de los nutrimentos en un mismo tejido cambia con la edad de la planta: los contenidos de N, P y K disminuyeron y los contenidos de Ca y Mg aumentaron durante el ciclo de crecimiento de la yuca. Por lo tanto, es muy importante estandarizar el muestreo, y analizar únicamente el tejido indicador que mejor muestre el estado nutricional de la planta, tomado de una posición definida de la planta cuando ésta tiene una edad determinada. Cuando se estandariza así el muestreo, se pueden comparar los datos obtenidos con los niveles críticos determinados de la misma forma y publicados en la literatura agrícola. Así se puede establecer si los niveles obtenidos son bajos, normales, ó muy altos y diagnosticar algún problema nutricional.

Cuadro 1. Concentraciones de nutrimentos de diferentes láminas foliares, peciolo y tallos de yuca (Cours et al., 1961).

| Parte de la planta | Porcentaje en materia seca | | | |
|-------------------------------|----------------------------|------|------|--------|
| | N | P | K | Ca |
| Lámina foliar parte superior | 3.84 | 0.23 | 0.80 | 0.45 |
| Lámina foliar parte inferior | 2.48 | 0.18 | 0.72 | 0.81 |
| Peciolo, hoja superior | 1.68 | 0.17 | 1.04 | 1.13 |
| Peciolo, hoja inferior | 1.40 | 0.08 | 1.15 | 1.02 |
| Rama joven, parte superior | 1.36 | 0.16 | 0.49 | 1.40 |
| Rama joven, parte inferior | 1.28 | 0.06 | 0.40 | 0.45 |
| Rama primaria | 1.00 | 0.05 | 0.51 | 0.37 |
| Madera del tallo principal | 0.76 | 0.07 | 0.40 | Trazas |
| Feloderma del tallo principal | 1.12 | 0.06 | 1.81 | 0.85 |

Cuadro 2. Concentraciones de nutrimentos en las hojas de yuca variedad 'Sao Pedro Preto' en varias edades de la planta (Adaptado de Nijholt, 1935).

| Edad (meses) | Porcentaje en materia seca | | | | |
|-----------------|----------------------------|------|------|------|------|
| | N | P | K | Ca | Mg |
| 2 | 3.28 | 0.29 | 2.21 | 1.13 | 0.33 |
| 4 | 3.41 | 0.27 | 2.05 | 1.38 | 0.28 |
| 6 | 3.06 | 0.24 | 2.11 | 1.37 | 0.27 |
| 8 | 3.20 | 0.24 | 2.16 | 1.43 | 0.28 |
| 10 | 2.79 | 0.22 | 2.00 | 1.39 | 0.28 |
| 12 | 2.47 | 0.23 | 1.61 | 1.48 | 0.29 |
| 14 | 2.34 | 0.23 | 1.33 | 1.61 | 0.35 |

Factores que influyen en el contenido de nutrimentos

Los niveles críticos o los rangos publicados en la literatura agrícola para cada cultivo son muy importantes como una guía para interpretar los datos de los análisis foliares obtenidos. Pero éstos datos solamente deben utilizarse como una guía, porque los contenidos de nutrimentos varían con las variedades, con el estado del tiempo (temperatura, lluvia, etc.) y con el suelo. El Cuadro 3 muestra los contenidos de varios elementos para un mismo tejido indicador de dos variedades de yuca sembradas en las mismas parcelas, con aplicaciones de NPK; ambas variedades tenían contenidos parecidos de P, pero la variedad M Col 638 tenía contenidos más altos de K, Ca y de Mg.

El efecto de la temperatura sobre el contenido de nutrimentos en las hojas de yuca se puede apreciar en el Cuadro 4. Esta tabla muestra los contenidos de N, P, K, en la variedad M Col 113, sembrada con los mismos tratamientos en tres suelos parecidos, pero de altitudes diferentes. Se puede observar que a los cuatro meses las plantas sembradas en Quilichao, a menor altitud y por lo tanto con mayor temperatura, mostraron un mejor crecimiento, pero con un menor contenido de N, P y K, en comparación con las plantas sembradas en Mondomito ó Agua Blanca que tenían menos vigor, pero más altos contenidos de N, P y K. Por lo tanto, en plantas que crecen rápido debido a un clima favorable, los contenidos de nutrimentos en ellas muchas veces son más bajos por el "efecto de dilución" es decir, que los nutrimentos absorbidos son distribuidos en mayor cantidad de materia seca, resultando en concentraciones más bajas. Por el contrario, si la planta crece lentamente debido a una temperatura baja u otras condiciones adversas, los contenidos de nutrimentos en ella pueden ser muy altos. Estos factores se deben tener en cuenta en la interpretación de los análisis foliares.

Otro factor que afecta los contenidos de los nutrimentos es la interacción entre ellos mismos. Por ejemplo, es bien conocido que la aplicación de P disminuye el contenido de Zn, o que la aplicación de K disminuye el

Cuadro 3. Concentraciones de varios nutrientes en las hojas más jóvenes completamente expandidas de dos variedades de yuca de 3-1/2 meses de edad y sembradas con diferentes tratamientos de N, P y K, en Carimagua, Colombia.

| Tratamiento | Porcentaje en materia seca | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | N | | P | | K | | Ca | | Mg | |
| | V1 ^a | V2 ^b | V1 | V2 | V1 | V2 | V1 | V2 | V1 | V2 |
| 1. N ₀ P ₀ K ₀ | 3.49 | 4.59 | 0.20 | 0.22 | 0.70 | 1.22 | 0.68 | 0.69 | 0.29 | 0.32 |
| 2. N ₀ P ₂ K ₂ | 4.32 | 5.75 | 0.32 | 0.32 | 1.37 | 1.67 | 0.75 | 0.81 | 0.31 | 0.34 |
| 3. N ₁ P ₂ K ₂ | 4.43 | 4.98 | 0.35 | 0.36 | 1.32 | 1.64 | 0.52 | 0.67 | 0.28 | 0.32 |
| 4. N ₂ P ₂ K ₂ | 5.47 | 5.52 | 0.39 | 0.39 | 1.40 | 1.73 | 0.45 | 0.66 | 0.27 | 0.34 |
| 5. N ₃ P ₂ K ₂ | 5.58 | 6.13 | 0.42 | 0.41 | 1.45 | 1.75 | 0.48 | 0.55 | 0.30 | 0.30 |
| 6. N ₂ P ₀ K ₂ | 3.71 | 4.43 | 0.17 | 0.18 | 1.22 | 1.48 | 0.53 | 0.61 | 0.25 | 0.27 |
| 7. N ₂ P ₁ K ₂ | 4.76 | 4.87 | 0.34 | 0.36 | 1.29 | 1.67 | 0.50 | 0.51 | 0.29 | 0.31 |
| 8. N ₂ P ₃ K ₂ | 5.14 | 5.69 | 0.44 | 0.34 | 1.61 | 1.56 | 0.49 | 0.54 | 0.30 | 0.29 |
| 9. N ₂ P ₂ K ₀ | 5.25 | 4.92 | 0.44 | 0.37 | 0.68 | 0.66 | 0.65 | 0.78 | 0.43 | 0.47 |
| 10. N ₂ P ₂ K ₁ | 4.92 | 5.58 | 0.40 | 0.37 | 1.08 | 1.45 | 0.52 | 0.61 | 0.30 | 0.32 |
| 11. N ₂ P ₂ K ₃ | 4.98 | 5.31 | 0.37 | 0.35 | 1.50 | 1.78 | 0.44 | 0.50 | 0.26 | 0.30 |
| 12. N ₃ P ₃ K ₃ | 6.51 | 6.29 | 0.43 | 0.43 | 1.64 | 1.96 | 0.55 | 0.52 | 0.29 | 0.27 |

a. V1 = M Ven 77.

b. V2 = M Col 638.

Cuadro 4. Efecto de aplicaciones de N, P y K sobre la altura de la planta de yuca, cv M Col 113, y las concentraciones de N, P y K en las hojas superiores a los 4 meses, en tres sitios con suelos parecidos pero con variaciones en temperatura.

| Tratamiento | Quilichao ^a | | | | Mondomito ^b | | | | Agua Blanca ^c | | | |
|--|------------------------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|
| | Altura (cm) | N (%) | P (%) | K (%) | Altura (cm) | N (%) | P (%) | K (%) | Altura (cm) | N (%) | P (%) | K (%) |
| 1. N ₀ P ₀ K ₀ | 69 | 4.40 | 0.23 | 1.34 | 50 | 5.24 | 0.30 | 1.40 | 41 | 5.24 | 0.34 | 1.61 |
| 2. N ₀ P ₂ K ₂ | 71 | 4.41 | 0.22 | 1.32 | 51 | 5.49 | 0.33 | 1.64 | 47 | 5.57 | 0.37 | 1.75 |
| 3. N ₁ P ₂ K ₂ | 85 | 4.20 | 0.22 | 1.34 | 56 | 5.54 | 0.36 | 1.64 | 55 | 5.71 | 0.38 | 1.67 |
| 4. N ₂ P ₂ K ₂ | 81 | 4.26 | 0.24 | 1.37 | 55 | 5.38 | 0.36 | 1.67 | 57 | 5.77 | 0.41 | 1.75 |
| 5. N ₃ P ₂ K ₂ | 83 | 4.34 | 0.26 | 1.42 | 56 | 5.80 | 0.35 | 1.58 | 58 | 6.13 | 0.46 | 1.93 |
| 6. N ₂ P ₀ K ₂ | 62 | 4.45 | 0.22 | 1.42 | 45 | 5.35 | 0.31 | 1.64 | 44 | 5.21 | 0.31 | 1.75 |
| 7. N ₂ P ₁ K ₂ | 80 | 4.12 | 0.26 | 1.37 | 53 | 5.66 | 0.39 | 1.70 | 56 | 5.60 | 0.39 | 1.67 |
| 8. N ₂ P ₃ K ₂ | 84 | 4.62 | 0.25 | 1.29 | 53 | 5.68 | 0.37 | 1.64 | 65 | 5.40 | 0.36 | 1.48 |
| 9. N ₂ P ₂ K ₀ | 84 | 4.42 | 0.22 | 1.04 | 55 | 5.60 | 0.34 | 1.27 | 59 | 5.40 | 0.39 | 1.37 |
| 10. N ₂ P ₂ K ₁ | 90 | 4.45 | 0.22 | 1.17 | 58 | 5.61 | 0.35 | 1.64 | 57 | 5.54 | 0.39 | 1.50 |
| 11. N ₂ P ₂ K ₃ | 84 | 4.40 | 0.24 | 1.37 | 57 | 5.60 | 0.35 | 1.78 | 62 | 5.68 | 0.39 | 1.81 |
| 12. N ₃ P ₃ K ₃ | 90 | 4.59 | 0.28 | 1.40 | 62 | 5.68 | 0.38 | 1.81 | 67 | 5.66 | 0.41 | 1.72 |
| Promedio | 80 | 4.36 | 0.24 | 1.32 | 54 | 5.55 | 0.35 | 1.62 | 55 | 5.58 | 0.38 | 1.68 |

| | Altitud (msnm) | Temp. (°C) | pH | P (ppm) | Al (meq/100 g) | K (meq/100 g) | Mo (%) |
|----------------|----------------|------------|-----|---------|----------------|---------------|--------|
| a. Quilichao | 990 | 25 | 4.2 | 1.8 | 2.8 | 0.18 | 7.5 |
| b. Mondomito | 1450 | 21 | 4.1 | 1.6 | 3.3 | 0.14 | 5.6 |
| c. Agua Blanca | 1520 | 19 | 4.4 | 0.8 | 8.5 | 0.16 | 6.1 |

contenido de Ca y Mg (tratamientos 9, 10, 11 en el Cuadro 3). Este antagonismo entre elementos también es muy notable en la absorción de Fe, Cu, Mn y Zn. La Figura 1 muestra que a medida que se aumentó la concentración de Fe en la solución nutritiva, se aumentó el contenido de Fe en las hojas mientras se disminuyeron notablemente los contenidos de Mn, Zn y de Cu. Por el contrario, las altas aplicaciones de Zn, Mn y Cu en las soluciones disminuyeron la absorción de Fe, causando síntomas de deficiencia de Fe en la parte superior de la planta. Existe también sinergismo, es decir, que la presencia de un elemento ayuda en la absorción de otros elementos. Por ejemplo, el Cuadro 3 muestra que en ausencia de P y K (tratamiento 1) el contenido de N es más bajo que en su presencia (tratamiento 2), mientras que los contenidos más altos de N, P y K se obtuvieron con las combinaciones más altas de estos tres elementos (tratamiento 12).

Nivel crítico

El nivel crítico de deficiencia es el contenido de un elemento en cierto tejido indicador por debajo del cual se espera una respuesta significativa a la aplicación de este elemento, y por encima del cual no se espera una respuesta. Igualmente, el nivel crítico de toxicidad determina el contenido del elemento por encima del cual la planta sufre intoxicación por exceso de este elemento. Entonces, el rango normal para el mejor crecimiento de la planta está entre el nivel crítico de deficiencia y el nivel crítico de toxicidad, correspondiendo aproximadamente a la parte D y E de la curva en la Figura 2. Esto no quiere decir que el óptimo económico esté dentro de este rango. Podría ser anti-económico aplicar todo el abono requerido para aumentar el contenido de un elemento por encima del nivel crítico.

Existen varias maneras de determinar el nivel crítico y es importante saber de que método de determinación se está hablando. Todos los métodos se basan en gráficas de calibración que relacionan el rendimiento absoluto o relativo con el contenido del elemento en cierto tejido indicador. El tejido indicador más apropiado y el tiempo de muestreo varían entre cultivos y se indican más adelante para varios cultivos. El rendimiento puede ser de materia seca obtenida de plantas cultivadas en soluciones nutritivas o en materas con tierra en el invernadero; también puede ser de la cosecha final de grano, fruto o raíces obtenidas en ensayos de campo. Los niveles críticos determinados en el campo son más confiables que los obtenidos en el invernadero, pero su determinación requiere de sitios de experimentación donde el cultivo responda significativamente a la aplicación del nutrimento. No es siempre posible encontrar suelos donde los cultivos respondan a ciertos elementos, de manera que se hace una primera aproximación a los niveles críticos en soluciones nutritivas con varias concentraciones del elemento bajo estudio, con el propósito de compararlos con los datos obtenidos posteriormente en el campo.

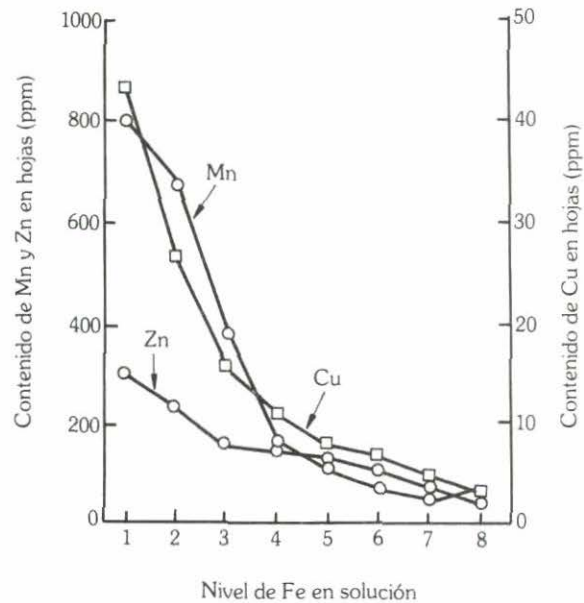
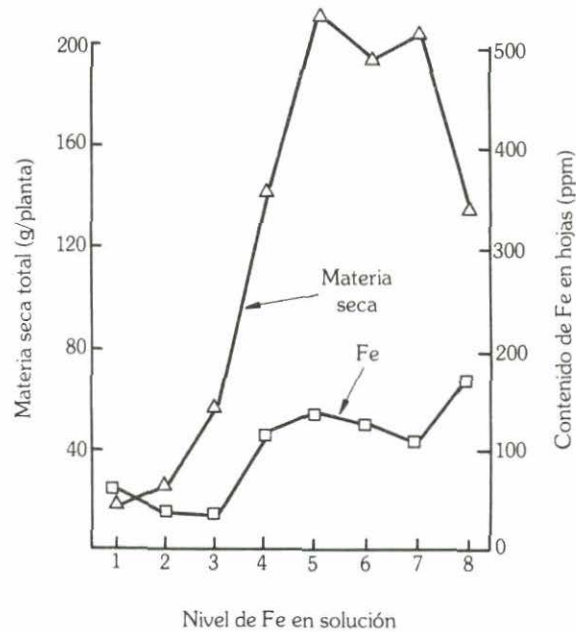


Figura 1. Efecto de la aplicación de ocho niveles de Fe en la solución nutritiva sobre la producción de materia seca total y los contenidos de Fe, Cu, Mn y Zn en hojas superiores de yuca a los 2 meses.

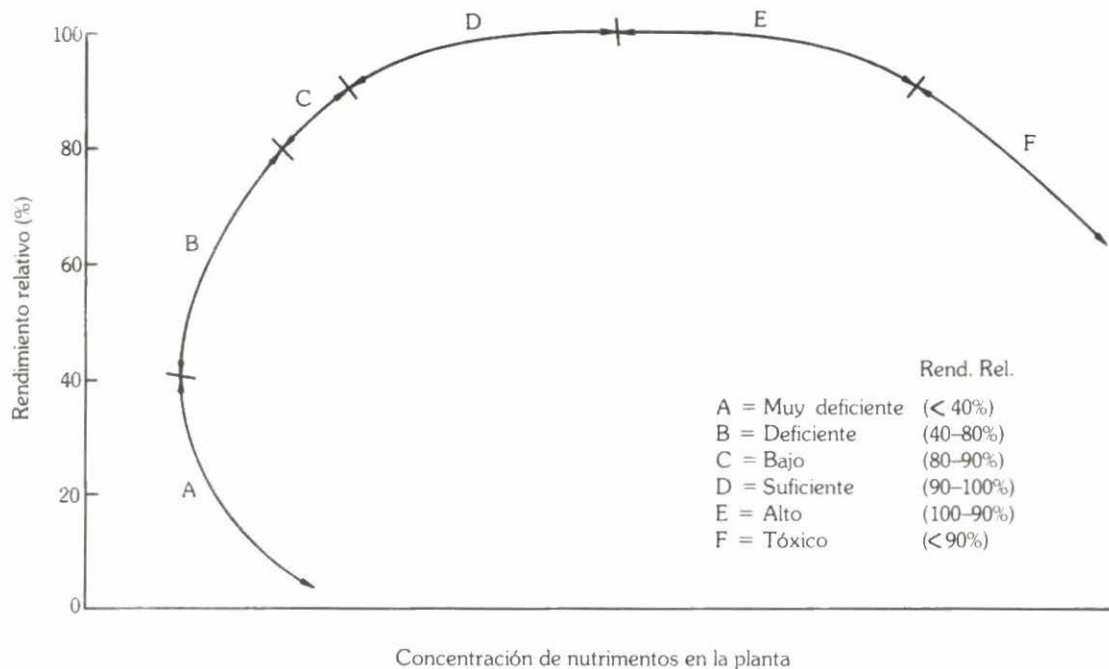


Figura 2. Relación general entre el rendimiento o la producción de materia seca relativa y el contenido de algún nutrimento en la planta.

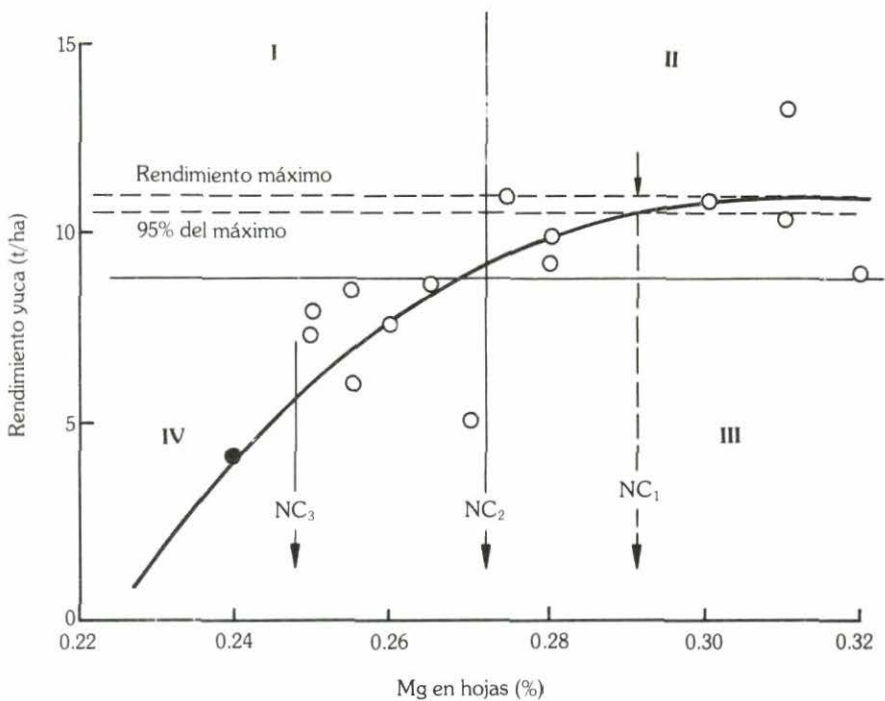


Figura 3. Relación entre el rendimiento de raíces de yuca y el contenido de Mg en hojas superiores a los 3 meses de la siembra. Las flechas indican los niveles críticos de deficiencia según tres definiciones diferentes, y (●) indica una planta con síntomas de deficiencia de Mg.

Los tres métodos más comunes para determinar el nivel crítico de deficiencia se pueden observar en la Figura 3 que muestra la relación entre el rendimiento de yuca y el contenido de Mg en hojas superiores. El primer método define el nivel crítico (NC_1) como el contenido de nutrientes que corresponde al 90 ó 95% del rendimiento máximo. En este caso el método consiste en dibujar o calcular la curva que mejor se ajuste a los puntos que relacionan el rendimiento con el contenido de nutrientes; se determina el rendimiento máximo y se calcula el contenido correspondiente al 90 ó 95% del rendimiento máximo.

El segundo método, llamado "Cate-Nelson", es un método gráfico que utiliza un papel ó plástico transparente con una cruz dibujada en él y que divide el campo en cuatro cuadrantes. Se mueve el papel transparente sobre la gráfica hasta encontrar la posición con menor número de puntos posibles en los cuadrantes I y III, y con mayor número de puntos en los cuadrantes II y IV. Se define el nivel crítico como el contenido indicado por el eje vertical en el papel transparente, como se ve en la Figura 3 (NC_2). Muchas veces los dos métodos dan niveles críticos muy parecidos, pero si los datos son muy variables, la determinación del nivel crítico puede variar bastante también por los dos métodos y por lo tanto es importante saber cual de ellos se utilizó. El tercer método define el nivel crítico como el contenido de nutrientes por debajo del cual se producen síntomas de deficiencia (NC_3), o por encima del cual se producen síntomas de toxicidad, como se ilustra en la Figura 3. Estos niveles críticos son más bajos, en el caso de deficiencia, y más altos, en el caso de toxicidad, que los obtenidos a través de los otros dos métodos anteriores.

Método de Muestreo

La toma de muestras

En general, para reducir contaminaciones, el mejor momento para tomar muestras es cuando las plantas se han secado después de la lluvia. Las muestras menos contaminadas con polvo y más indicativas del estado nutricional son las hojas más jóvenes que están completamente expandidas en la parte superior de la planta. Para algunos elementos de poca movilidad, como B y Ca, podría ser mejor muestrear hojas medias ó inferiores. No se deben utilizar hojas dañadas por insectos, enfermedades, herbicidas, etc. Si se desea diagnosticar la causa de un mal crecimiento o de síntomas desconocidos, se toman muestras de plantas sanas y de plantas afectadas, siempre escogiendo tejidos de desarrollo fisiológico comparable. No se deben incluir hojas secas, con deformaciones, o con manchas necróticas. Para tomar muestras de parcelas en ensayos de campo se toma material de toda la parcela excepto de plantas del borde o de áreas que no sean uniformes. La cantidad mínima para hacer los análisis de elementos mayores y menores es de 3-5 gramos de materia seca.

El lavado de muestras

En general es necesario eliminar contaminaciones de suelo y polvo para hacer análisis de Fe, Mn, Si y Al, mientras que para la determinación de B, Cu, Mo y Zn este tipo de contaminación no afecta mucho los resultados. Si es necesario, se lavan las muestras frescas y túrgidas en agua deionizada o en una solución de 1 gramo de detergente (preferiblemente Teepol u otro producto que no contenga mucho P) por cada litro de agua, se enjuagan con agua corriente y después con agua deionizada. Si al cultivo se han aplicado insecticidas ó fungicidas a base de Cu, Zn, Mn o algunos otros, las muestras se deben lavar antes de determinar el contenido de estos elementos. Se debe tener siempre en cuenta que con el lavado se pueden perder compuestos inorgánicos muy solubles. Además, con el uso de detergentes se pueden contaminar las muestras con P. Por lo tanto, es importante reducir el lavado hasta el mínimo necesario para eliminar posibles contaminaciones.

El secado de muestras

Para evitar que el proceso de respiración continúe y por consiguiente cambie el contenido de materia seca, es importante secar las muestras en un horno tan pronto como sea posible a una temperatura de 60–80°C por 24–48 horas. Si no hay horno disponible, se pueden secar las muestras durante varios días al sol.

La preparación de muestras

Cuando las muestras estén secas, se muelen en un molino de laboratorio. Para análisis de Cu se debe utilizar mallas de acero inoxidable; para análisis exactos de Fe es preferible usar un mortero de ágata. Es conveniente guardar las muestras en frascos de plástico bien tapados; los envases de vidrio común son fabricados a base de silicatos de boro y pueden contaminar las muestras con B. Algunas bolsas de papel tienen alto contenido de B y pueden causar contaminaciones, especialmente en muestras húmedas. Antes de analizar las muestras se deben secar nuevamente durante varias horas a 90°C y mezclarse bien antes de tomar submuestras para hacer el análisis.

Análisis de Tejido de Varios Cultivos y Especies Forrajeras

Cada especie es fisiológicamente diferente y por lo tanto la selección del tejido indicador y del mejor momento de muestreo es también diferente; además, la acumulación de nutrimentos y la distribución de ellos dentro de la planta varía. Por consiguiente, en la parte siguiente se especifica para cada cultivo el mejor método de muestreo, los niveles o rangos críticos y algunas observaciones sobre la interpretación de los resultados de los análisis. Debido a los factores anteriormente mencionados, los datos que se encuentran en la literatura agrícola varían bastante para las diversas fuentes de información. Por esta razón los datos se deben utilizar solamente como una guía en la interpretación de los resultados, teniendo en cuenta que los contenidos de nutrimentos pueden variar según la variedad, su tasa de crecimiento y por la presencia o ausencia de otros elementos.

El Cuadro 5 muestra en forma resumida el mejor método de muestreo y los niveles de nutrimentos correspondiente a un estado nutricional deficiente, normal, o de toxicidad para todos los cultivos bajo consideración, mientras que más adelante se encuentra esta información en más detalle para cada cultivo

Cuadro 5. Concentraciones de nutrimentos en algunos cultivos tropicales, para partes definidas de la planta, y varios estados de crecimiento (compilada de tablas posteriores).

| Cultivo | Parte de la planta y estado de crecimiento | Estado nutricional de la planta | Concentración en materia seca | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|---------------------------------|-------------------------------|-------|-------|--------|--------|----------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| | | | N (%) | P (%) | K (%) | Ca (%) | Mg (%) | S (%) | B (ppm) | Mn (ppm) | Fe (ppm) | Cu (ppm) | Zn (ppm) |
| Maíz | Hoja de mazorca a iniciación del cabello | Deficiente: < de | 2.5 | 0.16 | 1.26 | 0.10 | 0.10 | — ^a | 2 | 15 | 10 | 2 | 10 |
| | | Normal | 3.0 | 0.30 | 2.0 | 0.35 | 0.35 | — | 10 | 85 | 135 | 13 | 45 |
| | | Tóxico: > de | 3.7 | 0.50 | 2.5 | 0.90 | 0.55 | — | 35 | 200 | 350 | 50 | 100 |
| Arroz | Lámina foliar al macollamiento | Deficiente: < de | 2.5 | 0.1 | 1.0 | 0.15 | 0.10 | 0.11 | 3 | 20 | 70 | 6 | 10 |
| | | Normal | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | Tóxico: > de | — | 1.0 | — | — | — | — | 100 | 2500 | 300 | 30 | 1500 |
| Frijol | Hojas superiores bien desarrolladas, sin pecíolos, al inicio de la floración | Deficiente: < de | 3.0 | 0.25 | 1.0 | 1.25 | 0.30 | 0.14 | 15 | 20 | 100 | 15 | 15 |
| | | Normal | 5.2 | 0.40 | 3.0 | 1.60 | 0.85 | 0.25 | 25 | 140 | 400 | 20 | 45 |
| | | Tóxico: > de | — | — | — | — | — | — | 45 | 200 | — | — | — |
| Yuca | Láminas foliares más jóvenes completamente expandidas a los 3-4 meses de edad | Deficiente: > de | 4.7 | 0.30 | 1.0 | 0.65 | 0.27 | 0.24 | 20 | 45 | 100 | 5 | 25 |
| | | Normal | 5.5 | 0.45 | 1.5 | 0.80 | 0.30 | 0.28 | 45 | 80 | 130 | 8 | 50 |
| | | Tóxico: < de | — | — | — | — | — | — | 100 | 250 | 200 | 15 | 120 |
| Gramíneas forrajeras | Toda la parte aérea inmediatamente antes de la floración | Deficiente: > de | — | 0.12 | 0.84 | 0.35 | — | 0.15 | 4 | 20 | — | 5 | 20 |
| | | Normal | 2.9 | 0.21 | 1.96 | 0.40 | 0.52 | — | — | — | — | — | — |
| | | Tóxico: < de | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Leguminosas forrajeras | Toda la parte aérea inmediatamente antes de la floración | Deficiente: > de | 3.2 | 0.15 | 1.17 | 0.81 | — | 0.14 | 20 | 20 | — | 4 | 20 |
| | | Normal | — | 0.21 | 1.86 | 1.07 | 0.38 | — | — | — | — | — | — |
| | | Tóxico: < de | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

a. —: no se obtuvieron datos

Arroz

Método de muestreo sugerido por Jones (1972):

| Estado de crecimiento | Parte de la planta a muestrear | Plantas por muestra (no.) |
|--|--|---------------------------|
| 1. Plántulas (<30 cm). | Toda la parte aérea. | 50-100 |
| 2. Antes de la floración. | Cuatro de las hojas superiores bien desarrolladas. | 25-50 |
| 3. No es recomendable muestrear después de la floración. | | |

Observaciones (Angladette, 1965):

1. El contenido de N alcanza el máximo a los 15 días y después disminuye.
2. El contenido de P alcanza el máximo 45 días antes de la floración. La absorción de K alcanza el máximo más o menos al mismo tiempo (10 semanas después de la siembra).
3. El contenido de Ca y Mg es más o menos constante.
4. El contenido de la mayoría de los nutrientes no es muy variable entre diferentes partes de la planta hasta la iniciación del espigamiento. Después, hay translocación hacia las espigas.
5. Si se toman muestras después de la floración, las hojas "bandera" o las segundas hojas son las más apropiadas. No se debe tomar muestras de hojas muertas.
6. Las hojas bandera son las de más alto contenido de N y P mientras que las cuartas y quintas hojas son las de más alto contenido de K, Ca y Mg.

En los cuadros 6, 7 y 8 se describen las concentraciones y los niveles críticos de nutrientes en varias partes de una planta de arroz, en varios estados de crecimiento.

Cuadro 6. Concentraciones (%) de elementos mayores en varias partes de plantas de arroz (Angladette, 1965).

| Elemento | Concentración en materia seca | | |
|----------|-------------------------------|---------------|---------------|
| | Bandera | 2a y 3a hojas | 4a y 5a hojas |
| N | 3.05 | 3.10 | 2.40 |
| P | 0.20 | 0.18 | 0.14 |
| K | 1.67 | 1.75 | 2.11 |
| Ca | 0.57 | 0.78 | 1.07 |
| Mg | 0.19 | 0.18 | 0.21 |

Cuadro 7. Concentraciones (%) de varios nutrimentos en tejido foliar de arroz en diferentes etapas de crecimiento (Perdomo et al., 1982).

| Días después de siembra | Porcentaje en materia seca | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|
| | N | P | K | Ca | Mg | S |
| 30 (macollamiento) | 3.06 | 0.27 | 1.95 | 0.44 | 0.19 | 0.28 |
| 75 (inic. panícula) | 2.38 | 0.23 | 1.64 | 0.38 | 0.14 | 0.18 |
| 105 (floración) | 2.14 | 0.18 | 1.02 | 0.32 | 0.11 | 0.10 |
| 140 (maduración) ^a | 1.67 | 0.18 | 0.65 | 0.57 | 0.13 | 0.10 |

a. Paja.

Cuadro 8. Niveles críticos^a de nutrimentos en varias partes de la planta y estados de crecimiento de arroz (Tanaka y Yoshida, 1970).

| Elemento | Estado nutricional de la planta | | Parte de la planta | Estado de crecimiento |
|----------|---------------------------------|----------------|--------------------|-------------------------|
| | Deficiencia | Toxicidad | | |
| N (%) | 2.5 | - ^b | Lámina foliar | Macollamiento |
| P (%) | 0.1 | - | Lámina foliar | Macollamiento |
| K (%) | 1.0 | - | Lámina foliar | Macollamiento |
| Ca (%) | 0.15 | - | Paja | Madurez |
| Mg (%) | 0.10 | - | Paja | Madurez |
| S (%) | 0.10 | - | Paja | Madurez |
| Si (%) | 5.0 | - | Paja | Madurez |
| B (ppm) | 3.4 | 100 | Paja | Madurez |
| Mn (ppm) | 20 | 2500 | Parte aérea | Macollamiento |
| Fe (ppm) | 70 | 300 | Lámina foliar | Macollamiento |
| Cu (ppm) | 6 | 30 | Paja | Madurez |
| Zn (ppm) | 10 | 1500 | Parte aérea y paja | Macollamiento y madurez |
| Al (ppm) | - | 300 | Parte aérea | Macollamiento |

a. Niveles críticos, definidos como niveles bajo los cuales se producen síntomas de deficiencia ó por encima de los cuales se producen síntomas de toxicidad.

b. —: no se obtuvieron datos.

Frijol y Soya

Método de muestreo sugerido por Jones (1972):

| Estado de crecimiento | Parte de la planta a muestrear | Plantas por muestra (no.) |
|--|---|---------------------------|
| 1. Plántulas (<30 cm). | Parte aérea. | 20-30 |
| 2. Antes o durante la floración. | Dos o tres láminas foliares bien desarrolladas de la parte superior de la planta. | 20-30 |
| 3. No es recomendable el muestreo después de la formación de la vaina. | | |

Observaciones (Jones, 1972):

1. Existe mucha variación en el contenido de B en diferentes partes de la planta y según el estado de desarrollo de las plantas. El contenido de B es más alto en hojas superiores que en hojas inferiores, y más bajo en el tallo.
2. El contenido de Cu disminuye durante los primeros 10 días; después se mantiene más o menos constante.
3. El contenido de Mn es más o menos constante durante el ciclo.
4. El contenido de Zn aumenta un poco en las hojas y disminuye en el tallo durante el crecimiento.

En los cuadros 9, 10 y 11 se describen las concentraciones y los niveles críticos de nutrimentos en varias partes de plantas de frijol y soya.

Cuadro 9. Concentraciones de nutrimentos en varias partes de la planta de frijol (Blasco et al., 1972).

| Elemento | Concentración en materia seca ^a | | | |
|----------|--|-----------|-----------|-----------|
| | Hojas ^b | Tallos | Raíces | Vainas |
| N (%) | 2.9-5.1 | 1.1-3.2 | 1.0-4.0 | 3.2-4.5 |
| P (%) | 0.13-0.26 | 0.11-0.26 | 0.10-0.26 | 0.24-0.29 |
| K (%) | 1.4-3.1 | 1.3-3.3 | 0.7-2.7 | 1.5-2.2 |
| Ca (%) | 1.0-5.7 | 0.2-5.7 | 0.2-0.8 | 0.2-0.4 |
| Mg (%) | 0.4-1.3 | 0.2-0.5 | 0.2-0.6 | 0.3-0.4 |
| S (%) | 0.07-0.23 | 0.05-0.21 | 0.07-0.21 | 0.11-0.26 |
| B (ppm) | 10-39 | 12-41 | 24-77 | 40-61 |
| Mn (ppm) | 80-386 | 25-322 | 30-385 | 27-42 |
| Fe (ppm) | 7-807 | 3-349 | 16-10,060 | 1.2-3.0 |
| Cu (ppm) | 5-19 | 5-26 | 7-56 | 3.6-18 |
| Zn (ppm) | 51-126 | 41-186 | 50-185 | 45-66 |
| Mo (ppm) | 0.4-1.4 | 0.3-1.0 | 0.7-1.6 | 0.03-0.07 |

a. Rango obtenido en análisis de cinco variedades de frijol en tres épocas de muestreo, en un ensayo de campo.

b. Hoja = folíolos + peciolo.

Cuadro 10. Concentraciones de nutrimentos en los folíolos superiores de frijol al inicio de la floración que corresponde a varios estados nutricionales de la planta (CIAT 1976, 1977, 1978; Howeler y Medina, 1978).

| Elemento | Estado nutricional de la planta ^a | | | | |
|----------|--|----------------|------------|--------|--------|
| | Deficiente | Bajo | Suficiente | Alto | Tóxico |
| N (%) | < 3 | 3-4.5 | 4.5 -5.5 | > 5.5 | — |
| P (%) | < 0.25 | 0.25-0.35 | 0.35-0.50 | > 0.50 | — |
| K (%) | < 1 | 1-2 | 2-4 | > 4 | — |
| Ca (%) | < 1.25 | 1.25-1.30 | 1.3 -2.0 | > 2.0 | — |
| Mg (%) | < 0.3 | 0.30-0.35 | 0.35-1.3 | > 1.3 | — |
| S (%) | < 0.14 | 0.14-0.20 | 0.2 -0.3 | > 0.3 | — |
| B (ppm) | < 15 | 15-20 | 20-30 | 30-40 | > 45 |
| Cu (ppm) | < 15 | — ^b | 15-25 | — | — |
| Fe (ppm) | < 100 | — | 100-800 | — | — |
| Mn (ppm) | < 20 | 20-80 | 80-200 | — | > 200 |
| Zn (ppm) | < 15 | 15-40 | 40-50 | — | — |

a. Deficiente = < 80% del rendimiento máximo; Bajo = 80-90% del rendimiento máximo; Suficiente = 90-100% del rendimiento máximo; Alto = 100-90% del rendimiento máximo; Tóxico = < 90% del rendimiento máximo.

b. —: no se obtuvieron datos

Cuadro 11. Concentraciones de nutrimentos en varias partes de la planta de soya, que corresponde a varios estados de crecimiento (Jones, 1972; Nelson y Barber, 1964).

| Elemento | Estado nutricional de la planta | | | Parte de la planta | Estado de crecimiento |
|----------|---------------------------------|----------|--------|--------------------|-----------------------|
| | Deficiente | Normal | Tóxico | | |
| N (%) | — ^a | 2.7–3.5 | — | — | — |
| P (%) | < 0.2 | 0.3–0.46 | — | — | — |
| K (%) | < 2.0 | 2.5–2.73 | — | — | — |
| Ca (%) | < 0.8 | 1.5 | — | — | — |
| Mg (%) | — | 0.6 | — | — | — |
| S (%) | — | 0.25 | — | — | — |
| B (ppm) | < 20 | 30–60 | > 100 | Hojas | Form. vaina |
| | | 38 | | Vaina | Madurez |
| | | 23 | | Tallo | Madurez |
| Mn (ppm) | < 15 | 35–120 | > 250 | Hojas | Form. vaina |
| | | 30 | | Vaina | Madurez |
| | | 30 | | Tallo | Madurez |
| Fe (ppm) | < 50 | 100 | > 200 | Hojas | Form. vaina |
| | | 75 | | Vaina | Madurez |
| | | 75 | | Tallo | Madurez |
| Cu (ppm) | < 10 | 15–25 | > 30 | Hojas | Form. vaina |
| | | 13 | | Vaina | Madurez |
| | | 7 | | Tallo | Madurez |
| Zn (ppm) | < 20 | 30–45 | > 75 | Hojas | Form. vaina |
| | | 40 | | Vaina | Madurez |
| | | 19 | | Tallo | Madurez |
| Mo (ppm) | < 0.5 | 2 | > 10 | Hojas | Form. vaina |

a. —: no se obtuvieron datos.

Maíz

Método de muestreo sugerido por Jones (1972):

| Estado de crecimiento | Parte de la planta a muestrear | Plantas por muestra (no.) |
|--|--|---------------------------|
| 1. Plántula (< 30 cm). | Toda la parte aérea. | 20–30 |
| 2. Antes del espigamiento. | Todas las hojas superiores bien desarrolladas. | 15–25 |
| 3. Del espigamiento hasta la formación de cabello. | Todas las hojas hasta el nudo de la mazorca; se analiza la mitad central de la hoja. | 15–25 |

Observaciones (Jones, 1972):

1. Existe mucha variación en el contenido de B en varias partes de la planta y en los diferentes estados de crecimiento. El contenido de B es más alto en hojas superiores que en hojas inferiores, y más bajo en el tallo; el contenido disminuye durante el crecimiento inicial, permanece constante hasta la floración y disminuye después de la formación de cabello.
2. El contenido de Cu es más alto en hojas inferiores que en hojas superiores y más bajo en el tallo; el contenido es más o menos constante durante el ciclo vegetativo.
3. El contenido de Mn es más alto en hojas inferiores que en hojas superiores, mientras que en los bordes de las hojas hay mayor concentración de Mn. El contenido disminuye durante el crecimiento.
4. El contenido de Zn es más alto en las hojas superiores que en las hojas inferiores y disminuye con la madurez.
5. Los granos tienen un contenido más bajo de N, K y Ca pero más alto de P que las hojas.

En el Cuadro 12 se describen los niveles críticos de concentraciones de nutrimentos en la planta de maíz.

Cuadro 12. Concentraciones de nutrimentos en la hoja debajo de la mazorca de maíz a la iniciación de la formación de cabello, que corresponde a varios estados nutricionales de la planta (Jones, 1967).

| Elemento | Estado nutricional de la planta ^a | | | | |
|----------|--|--------------------|------------|-----------|--------|
| | Deficiente | Bajo | Suficiente | Alto | Tóxico |
| N (%) | < 2.45 | 2.46-2.75 | 2.76-3.50 | 3.15-3.75 | > 3.75 |
| P (%) | < 0.15 | 0.16-0.24 | 0.25-0.40 | 0.41-0.50 | > 0.50 |
| K (%) | < 1.25 | 1.26-1.70 | 1.71-2.25 | 2.26-2.50 | > 2.50 |
| Ca (%) | < 0.10 | 0.11-0.20 | 0.21-0.50 | 0.51-0.90 | > 0.90 |
| Mg (%) | < 0.10 | 0.11-0.20 | 0.21-0.40 | 0.41-0.55 | > 0.55 |
| B (ppm) | < 2 | 3-5 | 6-25 | 26-35 | > 35 |
| Mn (ppm) | < 15 | 16-19 | 20-150 | 151-200 | > 200 |
| Fe (ppm) | < 10 | 10-20 | 21-250 | 251-350 | > 350 |
| Cu (ppm) | < 2 | 3-5 | 6-20 | 20-50 | > 50 |
| Zn (ppm) | < 10 | 11-20 | 21-70 | 71-100 | > 100 |
| Mo (ppm) | | Siempre suficiente | | | |
| Al (ppm) | — ^b | — | < 200 | 201-400 | > 400 |

a. Deficiente = < 80% del rendimiento máximo; Bajo = 80-90% del rendimiento máximo; Suficiente = 90-100% del rendimiento máximo; Alto = 100-90% del rendimiento máximo; Tóxico = < 90% del rendimiento máximo.

b. —: no se obtuvieron datos.

Pastos y Forrajes

Método de muestreo sugerido por Jones (1972):

| Estado de crecimiento | Parte de la planta a muestrear | Plantas por muestra (no.) |
|--|---|---------------------------|
| 1. Inmediatamente antes de la floración o el estado óptimo de la gramínea. | Cuatro hojas superiores. | 40-50 |
| 2. Inmediatamente antes de la floración de las leguminosas. | Láminas foliares maduras de la parte superior de la planta, o todas las hojas (+ pecíolos) vivas. | 40-50 |
| 3. No se recomienda el muestreo durante tiempos secos prolongados. | | |

Observaciones (Andrew et al, 1969 y 1971; McNaught, 1970; Robinson y Jones, 1972):

1. El contenido de N aumenta con el aumento en el contenido de P en las leguminosas.
2. El contenido de N disminuye con el aumento en el contenido de P en las gramíneas (si la planta está respondiendo a la aplicación de P).
3. En la mayoría de las leguminosas, el contenido de K disminuye y el contenido de Mg aumenta con el aumento en el contenido de P.
4. El contenido de Ca no es afectado por el contenido de P.
5. Los contenidos de P y S son mucho más altos en la semilla (0.36 por ciento para ambos) que en las hojas maduras (0.02% P y 0.10% S).
6. Los contenidos de N, P y S en las raíces, hojas y tallos disminuyen rápidamente en la época de floración y aumentan en la semilla.
7. Los contenidos de P y K son más bajos y de Ca y Mg son más altos durante épocas secas en comparación con las lluviosas.
8. La relación $N/S > 16$ indica deficiencia de S, y $N/P > 13$ indica deficiencia de P.
9. Para leguminosas, el contenido crítico de Cu es 4-5 ppm.
10. Aunque el contenido de Cu no varía mucho entre especies, *Stylosanthes* es más susceptible y *Desmodium* la más tolerante a deficiencias de Cu.

En los cuadros 13 y 14 se describen los niveles críticos de concentraciones de P, K y Mn en algunas leguminosas y gramíneas tropicales.

Cuadro 13. Niveles críticos (correspondientes a aproximadamente 95% de rendimiento máximo) de deficiencia de P y K y de toxicidad de Mn en algunas leguminosas, y de P en algunas gramíneas tropicales (Andrew, 1969, 1971).

| | P(%) | K(%) | Mn(ppm) |
|--------------------------------|------|------|----------------|
| Leguminosas | | | |
| <i>Phaseolus lathyroides</i> | 0.20 | 0.75 | 840 |
| <i>Phaseolus atropurpureus</i> | 0.24 | 0.75 | 810 |
| <i>Stylosanthes humilis</i> | 0.17 | 0.6 | 1140 |
| <i>Centrosema pubescens</i> | 0.16 | 0.75 | 1600 |
| <i>Glycine javanica</i> | 0.23 | 0.8 | 560 |
| <i>Lotononis bainesii</i> | 0.17 | 0.9 | 1320 |
| <i>Desmodium uncinatum</i> | 0.23 | 0.8 | 1160 |
| <i>Desmodium intortum</i> | 0.22 | 0.72 | — ^a |
| <i>Vigna luteola</i> | 0.25 | — | — |
| Gramíneas | | | |
| <i>Melinis minutiflora</i> | 0.18 | — | — |
| <i>Cenchrus ciliaris</i> | 0.26 | — | — |
| <i>Paspalum dilatatum</i> | 0.25 | — | — |
| <i>Chloris gayana</i> | 0.23 | — | — |
| <i>Sorghum almun</i> | 0.20 | — | — |
| <i>Setaria anceps</i> | 0.22 | — | — |
| <i>Digitaria decumbens</i> | 0.16 | — | — |
| <i>Pennisetum clandestinum</i> | 0.22 | — | — |
| <i>Panicum maximum</i> | 0.19 | — | — |

a. —: no se obtuvieron datos.

Cuadro 14. Niveles críticos de deficiencia correspondientes a 80% de rendimiento máximo de P, K, Ca y S en varias gramíneas y leguminosas durante época lluviosa (CIAT 1981, y Salinas, datos sin publicar).

| Pasto | Porcentaje en materia seca: | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|------|------|----------------|
| | P | K | Ca | S |
| Gramíneas | | | | |
| <i>Brachiaria humidicola</i> | 0.08 | 0.74 | 0.21 | 0.14 |
| <i>Brachiaria decumbens</i> | 0.10 | 0.83 | 0.37 | 0.16 |
| <i>Brachiaria brizantha</i> | 0.09 | 0.82 | 0.37 | — ^a |
| <i>Andropogon gayanus</i> | 0.10 | 0.95 | 0.23 | 0.15 |
| <i>Melinis minutiflora</i> | 0.18 | — | 0.32 | — |
| <i>Panicum maximum</i> | 0.17 | — | 0.60 | 0.15 |
| <i>Hyparrhenia rufa</i> | — | — | 0.34 | — |
| Leguminosas | | | | |
| <i>Stylosanthes capitata</i> | 0.13 | 1.13 | 0.97 | 0.16 |
| <i>Stylosanthes macrocephala</i> | 0.10 | 0.93 | 0.78 | — |
| <i>Desmodium ovalifolium</i> | 0.10 | 1.03 | 0.74 | 0.12 |
| <i>Centrosema brasilianum</i> | 0.14 | 1.12 | — | — |
| <i>Centrosema macrocarpum</i> | 0.16 | 1.24 | 0.72 | — |
| <i>Centrosema pubescens</i> | 0.18 | 1.45 | 0.98 | — |
| <i>Pueraria phaseoloides</i> | 0.22 | 1.22 | 1.04 | — |
| <i>Zornia</i> sp. | 0.14 | 1.00 | 0.53 | — |
| <i>Zornia latifolia</i> | 0.15 | 1.22 | 0.88 | 0.14 |
| <i>Codariocalyx gyroides</i> | 0.17 | 1.15 | 0.66 | — |
| <i>Aeschynomene histrix</i> | 0.19 | 1.25 | — | — |

a. —: no se obtuvieron datos.

Yuca

Método de muestreo sugerido por Howeler (1981):

| Estado de crecimiento | Parte de la planta a muestrear |
|---|--|
| 1. 3–4 meses de edad ó un mes pasado el inicio de las lluvias después del verano. | Lámina foliar de hojas más jóvenes completamente expandidas, es decir, la 4a ó 5a hoja del cogollo. No se debe mezclar la lámina foliar con el peciolo. |

Observaciones (Asher et al., 1980; Howeler, 1981; Howeler y Cadavid, 1983):

1. Los contenidos de N y P son más altos en las láminas foliares que en los pecíolos o tallos, y son más altos en la parte superior que en la parte media o inferior de la planta.
2. Los contenidos de K, Ca y Mg son más altos en los pecíolos y tallo que en la lámina foliar; el contenido de K es más alto en la parte superior, mientras los contenidos de Ca y Mg son más altos en la parte media o inferior de la planta.
3. El S es alto en las láminas foliares, muy bajo en los pecíolos e intermedio en el tallo.
4. Los contenidos de N, P y K disminuyen durante el ciclo de crecimiento, mientras los contenidos de Ca y Mg aumentan o se mantienen constantes.
5. El contenido de Fe es más alto en la lámina foliar que en los pecíolos, mientras que el contenido de Mn es más alto en los pecíolos, especialmente en la parte inferior de la planta.
6. El Cu es más alto en el tallo, intermedio en las láminas foliares y bajo en los pecíolos.
7. Los contenidos de B y Zn tienden a ser un poco más altos en las láminas foliares que en los pecíolos y tallo.

En los cuadros 15 y 16 se describen las concentraciones y los niveles críticos de nutrimentos en varias partes de la planta de yuca.

Cuadro 15. Concentraciones de nutrimentos en hojas (láminas foliares), pecíolos y tallos de la parte superior, media e inferior, y en las raíces de la planta de yuca. Los datos son promedios de muestras de las variedades M Col 22 y M Mex 59, tomados a los 2, 3 y 4 meses de siembra (Howeler y Cadavid, 1983).

| Parte de la planta | Concentración en materia seca | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------------------------|-------|-------|--------|--------|-------|---------|----------|----------|----------|----------|
| | N (%) | P (%) | K (%) | Ca (%) | Mg (%) | S (%) | B (ppm) | Cu (ppm) | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Zn (ppm) |
| Hojas | | | | | | | | | | | |
| Superior | 5.74 | 0.42 | 1.98 | 0.72 | 0.34 | 0.30 | 15.0 | 11.9 | 202 | 456 | 128 |
| Media | 5.18 | 0.27 | 1.80 | 1.01 | 0.38 | 0.28 | 16.6 | 12.1 | 251 | 610 | 149 |
| Inferior | 4.40 | 0.20 | 1.58 | 1.34 | 0.49 | 0.22 | 16.5 | 12.3 | 288 | 775 | 195 |
| Pecíolos | | | | | | | | | | | |
| Superior | 2.25 | 0.22 | 2.93 | 0.90 | 0.38 | 0.06 | 13.0 | 7.9 | 59 | 604 | 106 |
| Media | 1.41 | 0.14 | 2.35 | 1.13 | 0.39 | 0.02 | 12.7 | 6.9 | 57 | 824 | 146 |
| Inferior | 1.35 | 0.12 | 2.23 | 1.54 | 0.48 | 0.01 | 14.5 | 8.2 | 93 | 1456 | 237 |
| Tallo | | | | | | | | | | | |
| Superior | 2.73 | 0.30 | 3.15 | 0.82 | 0.37 | 0.18 | 12.7 | 15.6 | 104 | 368 | 102 |
| Media | 2.21 | 0.27 | 2.21 | 1.02 | 0.38 | 0.16 | 10.5 | 20.6 | 108 | 408 | 146 |
| Inferior | 1.28 | 0.22 | 1.14 | 0.65 | 0.31 | 0.09 | 6.9 | 19.3 | 207 | 186 | 141 |
| Raíces | | | | | | | | | | | |
| | 1.52 | 0.18 | 1.56 | 0.24 | 0.14 | 0.05 | 6.1 | 9.2 | 423 | 147 | 64 |

Cuadro 16. Concentraciones de nutrimentos en las láminas foliares más jóvenes completamente expandidas de yuca a los 3-4 meses que corresponden a varios estados nutricionales de la planta.

| Elemento | Estado nutricional de la planta ^a | | | | |
|----------|--|-----------|------------|---------|----------------|
| | Deficiente | Bajo | Suficiente | Alto | Tóxico |
| N (%) | < 4.7 | 4.7- 5.1 | 5.1-5.8 | > 5.8 | — ^b |
| P (%) | < 0.30 | 0.30-0.36 | 0.36-0.50 | > 0.50 | — |
| K (%) | < 1.0 | 1.0- 1.3 | 1.3-2.0 | > 2.0 | — |
| Ca (%) | < 0.65 | 0.65-0.75 | 0.75-0.85 | > 0.85 | — |
| Mg (%) | < 0.27 | 0.27-0.29 | 0.29-0.31 | > 0.31 | — |
| S (%) | < 0.24 | 0.24-0.26 | 0.26-0.30 | > 0.30 | — |
| B (ppm) | < 20 | 20-30 | 30-60 | 60-100 | > 100 |
| Cu (ppm) | < 5 | 5-6 | 6-10 | 10- 15 | > 15 |
| Fe (ppm) | < 100 | 100-120 | 120-140 | 140-200 | > 200 |
| Mn (ppm) | < 45 | 45-50 | 50-120 | 120-250 | > 250 |
| Zn (ppm) | < 25 | 25-30 | 30-60 | 60-120 | > 120 |

a. Deficiente = < 80% del rendimiento máximo; Bajo = 80-90% del rendimiento máximo; Suficiente = 90-100% del rendimiento máximo; Alto = 100-90% del rendimiento máximo; Tóxico = < 90% del rendimiento máximo.

b. —: no se obtuvieron datos.

Conclusiones

El análisis de tejido es una técnica muy útil para diagnosticar problemas nutricionales en las plantas tales como deficiencias, toxicidades o desbalances de nutrimentos.

Aunque la determinación del contenido de nutrimentos por el método del análisis del tejido es generalmente muy exacto para la mayoría de los elementos, la interpretación de los resultados puede ser difícil porque los contenidos varían según la especie, la variedad y el tejido muestreado; además, cambian durante el ciclo de crecimiento. Por lo tanto es muy importante estandarizar el tejido y la época para muestrear, además de la localización de este tejido dentro de la planta. Para poder interpretar los análisis de tejidos se debe muestrear el tejido indicativo en la época indicada para cada cultivo; de esta manera, se pueden comparar los datos obtenidos con los rangos o niveles críticos que se encuentran en las tablas proporcionadas en la literatura agrícola. Se debe tener en cuenta que estos niveles pueden cambiar con las variaciones en el clima, la tasa de crecimiento de la planta o con la presencia o ausencia de otros elementos. De esta manera se puede establecer el estado nutricional de las plantas muestreadas y tomar las decisiones necesarias para optimizar la producción económica del cultivo.

Referencias Bibliográficas

- Andrew, C.S. y Hogarty, M. P. 1969. Comparative responses to manganese excess of eight tropical and four temperate pasture legume species. *Australian J. Agric. Res.* 20:687-696.
- y Robins, M. F. 1969. The effect of phosphorus on the growth and chemical composition of some tropical pasture legumes. I. Growth and critical percentage of phosphorus. *Australian J. Agric. Res.* 20:665-674.
- y ———. 1969. The effect of potassium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. I. Growth and critical percentage of potassium. *Australian J. Agric. Res.* 20:999-1007.
- y ———. 1971. The effect of phosphorus on the growth, chemical composition and critical phosphorus percentage of some tropical pasture grasses. *Australian J. Agric. Res.* 22:693-706.
- Angladette, A. 1965. Nutritional status as indicated by plant analysis. En: *The mineral nutrition of the rice plant: Proceedings of a symposium at The International Rice Research Institute*. Feb. 1964. Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland. p. 355-372.
- Asher, C. J.; Edwards, D. G.; y Howeler, R. H. 1980. Desórdenes nutricionales de la yuca. Serie No. 09SC-3. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- Blasco, M. y Pinchinat, A. M. 1972. Absorción y distribución de nutrientes en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) 18a. Reunión Anual del PCCMCA. Managua, Nicaragua. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas-Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, Turrialba, Costa Rica.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1976. Annual Report 1975. Cali, Colombia.
- . 1977. Annual Report 1976. Cali, Colombia.
- . 1978. Annual Report 1977. Cali, Colombia.
- . 1982. Informe Anual 1981, Programa de Pastos Tropicales. Cali, Colombia.
- Cours, G.; Fritz, J.; y Ramahadimby, G. 1961. El diagnóstico de la mandioca. *Fertilité* 12:3-20.
- Howeler, R. H. 1981. Nutrición mineral y fertilización de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Serie No. 09SC-4. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- y Cadavid, L. F. 1983. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during a 12-month growth cycle of cassava. *Field Crops Res.* (En impresión.)
- y Medina, C. J. 1978. La fertilización en el frijol *Phaseolus vulgaris*, elementos mayores y secundarios. Revisión de la literatura para el Curso de

- Producción de Frijol. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- Jones, J. B., Jr. 1967. Interpretation of plant analysis for several agronomic crops. En: Soil testing and plant analysis: Part II, Plant analysis. SSSA Spec. Pub. No. 2. Soil Sci. Soc. America, Madison, Wisconsin. 49-58.
- . 1972. Plant tissue analysis for micronutrients. En: Micronutrients in agriculture. Soil Sci. Soc. America, Madison, Wisconsin. p. 319-346.
- McNaught, K. J. 1970. Diagnosis of mineral deficiencies in grain-legume pasture by plant analysis. En: Proc. IIa. Int. Grassland Congr., Watron Ferguson. Co., Brisbane, Australia. p. 334-338.
- Nelson, W. L. y Barber, S. A. 1964. Nutrient deficiencies in legumes for grain and forage. En: Hunger signs in crops. David McKay Company, New York, N.Y. p. 143-180.
- Nijholt, J. A. 1935. Opname van voedingstoffen uit den bodem voor cassava [Absorción de nutrimentos del suelo por el cultivo de yuca]. Buitenzorg, Neth. Indies [Ahora Bogor, Indonesia.] Algemeen Proefstation voor den Lybouw. Korte mededeelingen No. 15.
- Perdomo, M. A.; Gonzalez, J.; García E.; y Galvez Y. d. 1982. Nutrición mineral de arroz en las diferentes etapas de desarrollo de la planta; variedad CICA 8. Trabajo presentado en Seminario COMALFI (Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología), Villavicencio, Colombia, Enero 27-29, 1982.
- Robinson, P. J. and Jones, R. K. 1972. The effect of phosphorus and sulphur fertilizer on the growth and distribution of dry matter, nitrogen, phosphorus and sulphur in Townville style (*Stylosanthes humilis*). Australian J. Agric. Res. 23:633-640.
- Tanaka, A. y Yoshida, S. 1970. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. Tech. Bull. 10. International Rice Research Institute, Los Baños. The Philippines.