



FACULTAD DE
AGRONOMIA

ANÁLISIS DE PLANTAS Y SÍNTOMAS VISUALES DE DEFICIENCIA DE NUTRIENTES

Ing. Agr. Mónica Barbazán
Asistente de Fertilidad de Suelos
Facultad de Agronomía
Universidad de la República
Montevideo – Uruguay
1998

TABLA DE CONTENIDO

Página

| | |
|---|-----------|
| ANÁLISIS DE PLANTAS..... | 3 |
| I. CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTE Y RENDIMIENTO | 4 |
| II. FACTORES QUE AFECTAN LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN LA PLANTA | 5 |
| A. <i>Edad fisiológica</i> | 5 |
| B. <i>Órgano muestreado</i> | 8 |
| C. <i>Posición en la planta</i> | 9 |
| D. <i>Otras consideraciones</i> | 10 |
| E. <i>Efectos del cultivar</i> | 11 |
| F. <i>Interacciones entre nutrientes</i> | 11 |
| G. <i>Condiciones ambientales</i> | 11 |
| H. <i>Otros factores</i> | 12 |
| III. INTERPRETACION DEL ANÁLISIS DE PLANTA | 12 |
| IV. LIMITANTES DE LA INTERPRETACION DEL ANÁLISIS DE PLANTAS | 14 |
| V. D. R. I. S. | 15 |
| VI. USOS DEL ANÁLISIS DE PLANTAS | 16 |
| A. <i>Recomendaciones de fertilización en unidades de producción</i> | 16 |
| B. <i>Confirmar causas de problemas</i> | 17 |
| C. <i>Relevamientos nutricionales</i> | 17 |
| D. <i>Determinación de la extracción total de nutrientes por el cultivo</i> | 18 |
| E. <i>Apoyo a la investigación</i> | 18 |
| F. <i>Otros usos</i> | 18 |
| VII. QUÉ ANALIZAR..... | 18 |
| VIII. DIFERENTES TÉCNICAS DE ANÁLISIS..... | 19 |
| A. <i>Análisis y test</i> | 19 |
| B. <i>Análisis de laboratorio</i> | 19 |
| C. <i>Métodos no destructivos</i> | 19 |
| D. <i>Análisis instrumentales</i> | 20 |
| IX. MANEJO DE LAS MUESTRAS | 20 |
| A. <i>Precauciones en la manipulación de las muestras</i> | 20 |
| B. <i>Limpieza</i> | 20 |
| C. <i>Preparación de las muestras</i> | 21 |
| SINTOMAS DE DEFICIENCIA | 23 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 27 |

ANÁLISIS DE PLANTAS

Antes de sembrar un cultivo anual o antes de iniciarse un nuevo ciclo productivo en una planta perenne, surgen preguntas como: a) ¿alcanzará el nivel de tal nutriente aportado por este suelo para este cultivo? y, si no alcanza, b) ¿cómo y cuánto aplicar?

Para contestar estas preguntas existen distintas metodologías o “herramientas” que evalúan el estado nutricional del sistema suelo-planta. Éstas son: análisis de suelo, análisis de plantas, síntomas visuales de deficiencia de nutrientes, información referente a condiciones climáticas, historia de manejo, vigor de las plantas, etc., más la experiencia del técnico asesor. En producciones muy intensivas donde se realiza fertirriego también hay que tener en cuenta el análisis de la solución del suelo, así como el análisis del agua de riego por su reacción con los fertilizantes.

El uso del análisis de plantas se remonta a los inicios de los años 1800, cuando los químicos comenzaron a trabajar en la composición de cenizas de plantas y a reconocer las relaciones existentes entre la concentración de un determinado nutriente en planta y el crecimiento y/o rendimiento del cultivo. Los primeros trabajos para interpretar los datos de análisis de plantas fueron presentados por Macy en 1936. Desde entonces mucho esfuerzo se ha hecho para usar el análisis de plantas como una herramienta de diagnóstico. Los avances en la capacidad analítica de modernos instrumentos ampliaron aún más la expectativa del uso del análisis de plantas, mediante técnicas más sensibles y simples. En los laboratorios se han adoptado como rutina de análisis aparatos como espectrofotómetros de absorción atómica y emisión, capaces de analizar varios nutrientes y de trabajar con un mayor número de muestras. La amplia adopción de procesamiento de datos a través de computadoras y modelos de simulación, así como la fluidez de los nuevos sistemas de comunicación (fax, correo electrónico, etc.), han traído nuevas dimensiones a la interpretación del análisis de plantas.

En un sentido amplio, el análisis de planta involucra el análisis de compuestos orgánicos (aminoácidos, ácidos orgánicos, proteínas, azúcares) que son parte de la calidad de un cultivo. Por ejemplo, en el cultivo de trigo se puede analizar el contenido de proteína en el grano como indicador de la calidad panadera, o la concentración de sacarosa en cultivos como caña de azúcar. En un sentido más acotado, el análisis de planta con fines de evaluación de la fertilidad de un suelo, es la determinación de la concentración de un elemento o fracción del mismo en una muestra proveniente de una parte definida de la planta, muestreada en determinada etapa de su desarrollo fisiológico. En este caso, el análisis de planta se basa en que la concentración de un nutriente dado en la planta (o en una parte de la misma) es un valor que integra todos los factores que han afectado su crecimiento, siendo los principales: suelo, condiciones climáticas, tiempo, la propia planta, manejo y fundamentalmente la disponibilidad de ese nutriente en el suelo.

El análisis de planta es a veces llamado análisis foliar, pero no necesariamente en todos los casos se analizan folíolos. En viña, por ejemplo, algunos autores han propuesto analizar los pecíolos, mientras que en pasturas normalmente se analiza la parte aérea total de la planta.

Dentro de los elementos esenciales para las plantas, además del carbono (C, que constituye el 40-45% del peso seco de la planta), oxígeno (O, también un 40 - 45%) e hidrógeno (H, 5%), están los elementos con los cuales tenemos que enfrentarnos para manejar los distintos sistemas de producción agronómica: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B), cobre (Cu), molibdeno (Mo), cloro (Cl), sílice (Si) y cobalto (Co). Éstos representan alrededor del 5% del peso seco total de una planta, y son precisamente los que se determinan en el análisis de planta.

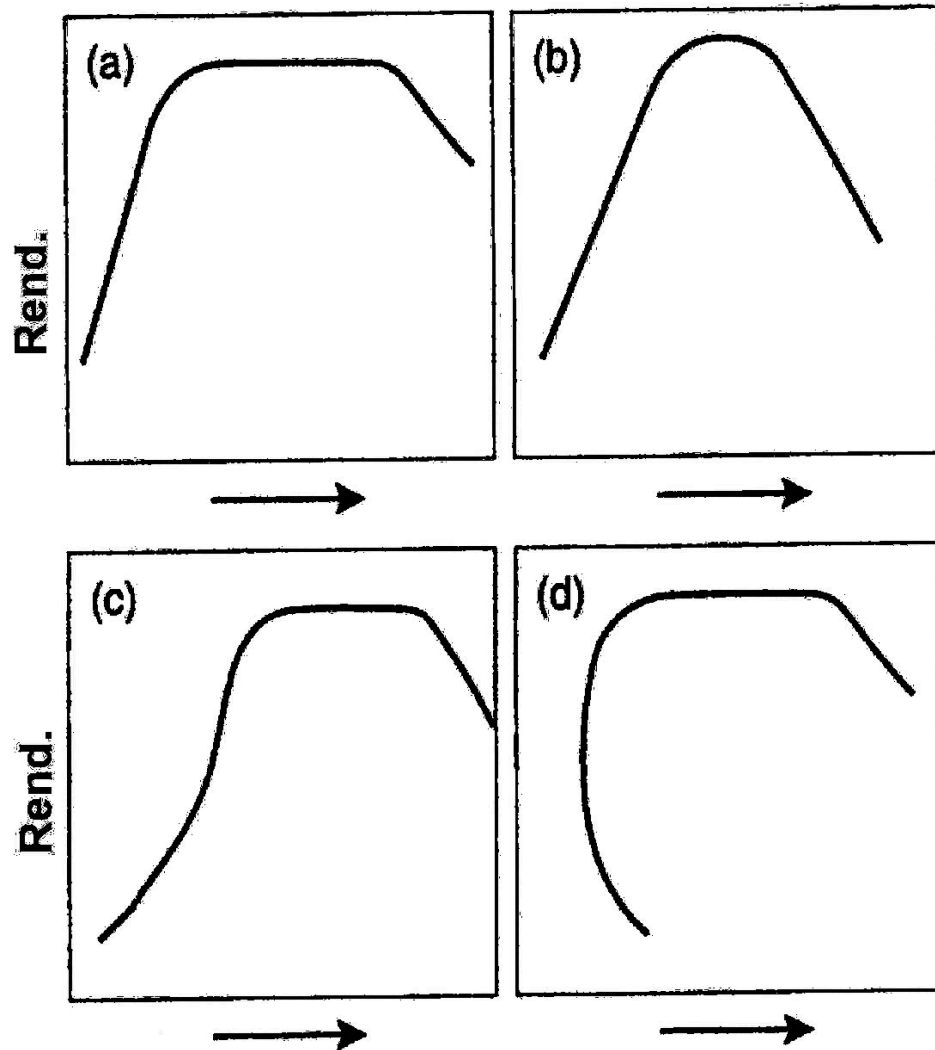
Para entender la información proveniente de un análisis de planta es necesario conocer las relaciones que existen entre la concentración de los nutrientes dentro de la planta y el rendimiento y/o crecimiento de un cultivo.

I. CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTE Y RENDIMIENTO

La relación entre la concentración de un nutriente en una planta o en una parte de la misma y el rendimiento constituye la base de muchos esquemas para usar el análisis de planta como herramienta para evaluar el estado nutricional del cultivo. Algunos de esos esquemas se ilustran en la Figura 1. El más común corresponde al esquema (a) en donde se observan tres partes: una parte ascendente donde aumenta el rendimiento cuando hay más concentración de nutriente dentro de la planta; un plateau o meseta, donde el rendimiento no está limitado por la concentración, y una parte descendente en la cual el rendimiento desciende al aumentar la concentración dentro de la planta. La obtención de la curva completa depende de cada nutriente, de su nivel inicial en el suelo, de los tratamientos aplicados, de la parte muestreada de la planta, del momento en que se realiza el muestreo, etc. En algunos experimentos no se llega al nivel de toxicidad; en otros, el rango del plateau es muy estrecho.

En la Figura 1 las partes b, c y d presentan variaciones de esta relación. La curva mostrada en la figura d, llamada comúnmente “curva C” por Bates, 1971, en la cual se incrementa el rendimiento con descenso de la concentración de nutrientes (comportamiento conocido como dilución del nutriente) fue encontrada por Piper en 1942 y por Steenberjerg en 1951, y ha sido reportada para varios nutrientes. En plantas sin síntomas característicos de deficiencia de nutrientes, esta curva presenta problemas en la interpretación de los resultados del análisis de plantas.

Figura 1. Relaciones entre rendimiento y concentración de nutrientes en partes de plantas frecuentemente encontradas cuando el suministro de nutriente se incrementa desde deficiente a tóxico.



II. FACTORES QUE AFECTAN LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN LA PLANTA

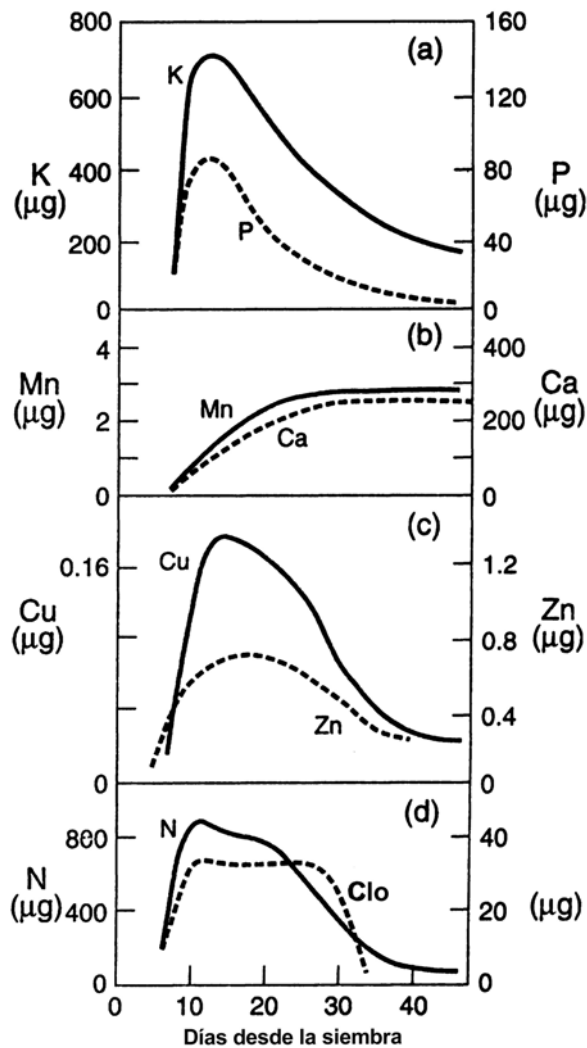
A. Edad fisiológica

La concentración de un nutriente en una planta no es un valor fijo, sino que varía debido a varias causas. La diferencia entre la velocidad de crecimiento de la planta y la de absorción de un nutriente puede producir acumulación o dilución del nutriente dentro de una

planta. También el movimiento de los nutrientes dentro y entre partes de la planta (translocación) ejerce su influencia en la concentración de nutriente que tiene un tejido en un momento dado. O sea, a medida que el crecimiento de una planta progresa, ocurren marcados cambios en la concentración de nutrientes en los tejidos o partes de la planta.

En general, en especies anuales la concentración de nutrientes en hoja desde una edad temprana hasta la senescencia de la planta declinan con el tiempo, excepto los nutrientes inmóviles (Smith, 1962) (Figura 2). Esto probablemente se deba a que hay un cambio en la proporción de ciertos tejidos con la edad, como puede ser el incremento de la proporción de tejidos estructurales y sustancias de reserva. En cultivos perennes la concentración de nutrientes en hojas y otros órganos fluctúan con los rebrotes estacionales y crecimientos y desarrollo de frutos, y también varían entre hojas de ramas vegetativas y fructíferas.

Figura 2. Contenidos de nutrientes y clorofila desde etapas tempranas hasta la senescencia de la hoja más vieja de plantas de trigo creciendo con adecuado suministro de nutrientes. (Hill et al, 1979, citado por Smith, 1996).

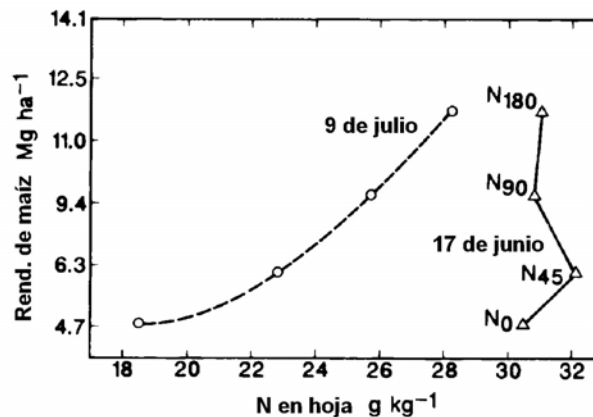


Estos cambios en la concentración de nutrientes determinan el momento o fecha más conveniente para hacer el muestreo de plantas. El mejor momento para efectuar el muestreo debe ser aquel en el cual se produzca primero, una relativa estabilidad en un cierto tiempo de la concentración de la mayoría de los nutrientes de interés dentro de la planta, y segundo, que la variabilidad de concentraciones encontradas para cada nutriente entre cultivos sea un buen estimador de la disponibilidad de cada nutriente en cada suelo. Esto significa que los valores de análisis de plantas (altos, medios o bajos) para un nutriente deben corresponderse con las disponibilidades (altas, medias o bajas) de ese nutriente en el suelo. Por dichas razones, no

deberían muestrearse tejidos fisiológicamente muy jóvenes ni tejidos pasados de madurez, así como tampoco se debe incluir tejidos muertos o plantas muertas en las muestras.

En la Figura 3 se puede observar el efecto de la edad fisiológica de un cultivo de maíz para realizar el muestreo en dos fechas distintas. El contenido de N en hojas en la primera fecha no sólo fue más alto que en la segunda fecha (9 de julio) sino que además estuvo poco correlacionado con el rendimiento. Esto ilustra la importancia de muestrear en las etapas recomendadas.

Figura 3. Relación entre rendimiento de maíz en grano y porcentaje de N en hoja muestreados a dos fechas distintas, Hemisferio Norte. (Viets et al., 1954).

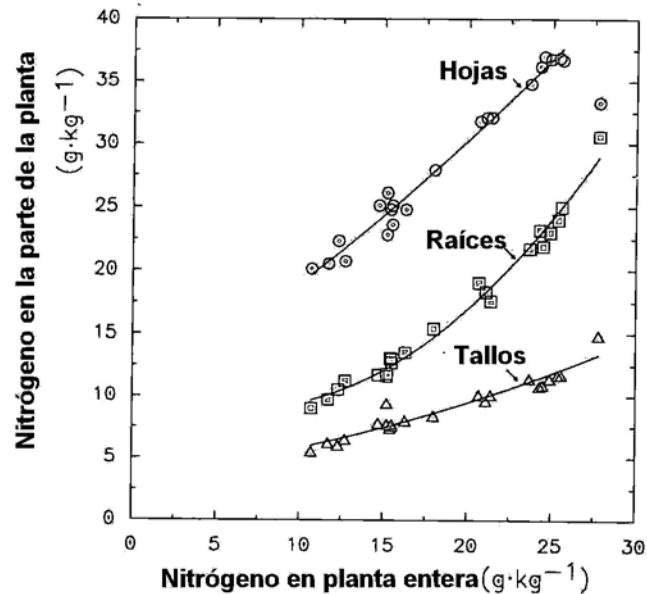


Según los estudios hechos en Uruguay, en cítricos de la zona norte, se podría extraer muestras desde febrero a junio, de acuerdo a las variedades. En frutales de hoja caduca la mejor época sería de 10 a 12 semanas luego de plena floración. En viña se recomienda efectuar el muestreo cuando comienza la etapa del envero. En cultivos anuales y en cultivos forrajeros se recomienda realizar el muestreo a comienzos de floración. (Tabla 1).

B. Órgano muestreado

El órgano o tejido de la planta a muestrear debe ser aquel que manifieste mejor la relación entre su contenido de un nutriente y el rendimiento del cultivo. Esto implica que tiene que dar un amplio rango de concentración dicho nutriente y ser sensible a los cambios en la disponibilidad del mismo. Sin embargo, no siempre el tejido que mejor muestra deficiencias es el mismo que mejor muestra toxicidad para un mismo nutriente. Las hojas son usualmente las partes más adecuadas, aunque muy frecuentemente se muestrean: hoja, pecíolo, hoja más pecíolo, según los cultivos y las distintas escuelas. (Figura 4).

Figura 4. Concentración de N en la materia seca de hojas, tallos y raíces según la concentración de N en la materia seca de toda la planta. (Chapman y Liebig, 1940, citados por Black, 1992).



En pasturas se recomienda muestrear toda la parte aérea. En cebada, para decidir dosis de refertilización a Z30 se recomienda muestrear también la parte aérea entera.

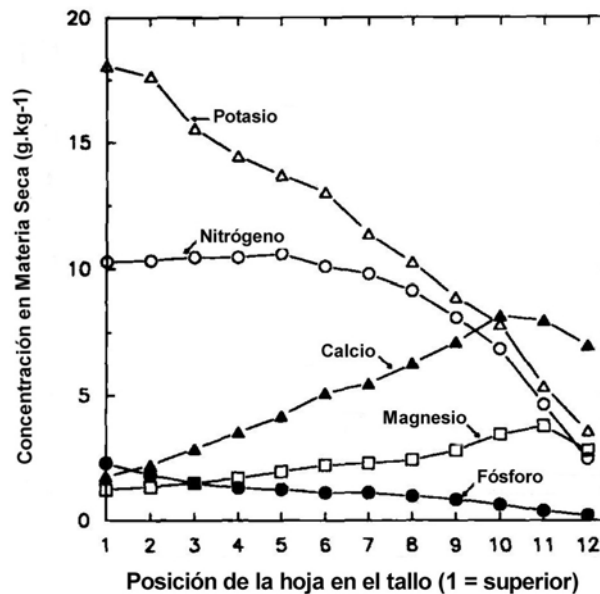
En general, se ha encontrado que los pecíolos son los tejidos que presentan mayor correlación entre el contenido de las fracciones solubles de un nutriente y la disponibilidad de ese nutriente, más bien que su contenido total. (Tabla 1).

C. Posición en la planta

Una vez definido qué tejido u órgano se va a muestrear, es necesario saber también qué posición ocupa éste en la planta: si es la primera o segunda hoja, si es la hoja opuesta al fruto, etc. En el caso de cítricos hay que definir además si es rama fructífera o no fructífera, dado que existen pautas diferentes de calibración para cada una de ellas, y cuáles hojas son las que se deben muestrear en cada caso. En cultivos anuales se recomienda muestrear la última hoja - en orden cronológico, o sea la hoja más reciente y completamente desarrollada. Esto presenta

la ventaja adicional de que es fácil de reconocer. En viña se muestrea la hoja opuesta al primer racimo. En caso de que ésta no se encuentre o esté dañada, se debe sacar la hoja más cercana al racimo. En la Figura 5 se observa la variación encontrada en el contenido de nutrientes en hojas ubicadas en distintas posiciones en el tallo. (Tabla 1).

Figura 5. Relaciones entre concentración de nutrientes y posición de hojas en caña de azúcar.



D. Otras consideraciones

En frutales se recomienda, además, separar poblaciones a muestrear en función de la edad de las plantas y del nivel productivo. Árboles jóvenes tienen un mayor nivel de nutrientes en sus hojas que aquellos en producción, debido a la competencia de los frutos por los nutrientes. Es conveniente, incluso, muestrear los mismos árboles año a año, para poder interpretar en forma más confiable los resultados, y además, visualizar la evolución del suministro de nutrientes (esto significa hacer un seguimiento de la producción a través de registros, o "monitorear" los datos). Para una correcta interpretación de los datos de análisis, es conveniente sacar muestras de suelos de la misma área en que se realizó el muestreo de plantas y comparar luego la información obtenida.

La altura de extracción de la parte a muestrear también es otra consideración a tener en cuenta, especialmente en árboles. En frutales se recomienda elegir una altura cómoda, la cual comúnmente es la altura del pecho del que realiza el muestreo. En el caso de eucaliptos, por ejemplo, es necesario estandarizar la altura de muestreo.

E. Efectos del cultivar

En plantas perennes como frutales y en viña se ha demostrado que los distintos cultivares de portainjertos y copa varían considerablemente en su capacidad para extraer nutrientes desde el suelo. Por lo tanto, si existen diferentes portainjertos y variedades de copa en un predio habría que separar las poblaciones a muestrear según esa variable.

En cultivos anuales actualmente se ha cuestionado si los niveles críticos de las nuevas variedades e híbridos, son diferentes a las manejadas hasta el momento, debido a los altos rendimientos que se obtienen, diferentes sistemas de laboreo, etc. Como respuesta a estos cuestionamientos se ha planteado que hoy se ajustan mejor algunas variables de manejo (por ej. se planta más temprano), logrando altos rendimientos que en realidad producen una dilución de las concentraciones. También se ha propuesto que en caso de que los investigadores hubieran encontrado diferencias en las concentraciones de nutrientes en híbridos y variedades éstas podrían ser de escasa magnitud. Estas dudas sobre posibles diferencias de comportamientos en las concentraciones críticas según las variedades e híbridos son parte de las investigaciones a realizar en el futuro.

F. Interacciones entre nutrientes

Si bien se ha puntualizado que la planta es capaz de detectar deficiencias de a un nutriente por vez, un nutriente puede afectar no sólo la concentración de otro nutriente en la planta sino también su concentración crítica.

G. Condiciones ambientales

Se ha demostrado que las condiciones ambientales - humedad del aire y del suelo -, así como la temperatura y la intensidad de la luz afectan la concentración de nutrientes y también al nivel crítico, tanto en el momento del muestreo como en la respuesta del cultivo a la aplicación de nutrientes. Esto significa que el análisis de plantas es más susceptible que el análisis de suelos a las variaciones en las condiciones ambientales, lo cual explicaría por qué el análisis de plantas ha tenido más éxito en regiones secas, calurosas y con riego. En dichas situaciones, las condiciones ambientales son relativamente constantes, y la humedad del suelo es manejada por el hombre.

En resumen, no deberían mostrarse plantas sometidas a stress hídrico (o luego de una pronunciada sequía), ya que algunos nutrientes tenderían a presentar concentraciones más altas (N, Ca, Mg, Mn), mientras que otros disminuirían (K, P, B, Mo). Tampoco es conveniente muestrear cuando la intensidad de la luz y la temperatura son muy altas, ya que algunos nutrientes, como el N, pueden encontrarse en menores cantidades en el tejido muestreado.

H. Otros factores

Los factores de manejo parecen tener considerable influencia en el análisis de plantas: época de siembra, distribución de plantas, población, frecuencia de cortes, encalado, control de malezas, laboreo y aplicación de fertilizante. No obstante, muchas son las dudas que hay al respecto.

III. INTERPRETACION DEL ANALISIS DE PLANTA

Se han propuesto varias formas de interpretar el dato del análisis de plantas. La más conocida es comparar la concentración de determinado nutriente en la materia seca de la muestra problema con un valor llamado nivel crítico o concentración crítica para ese nutriente y cultivo.

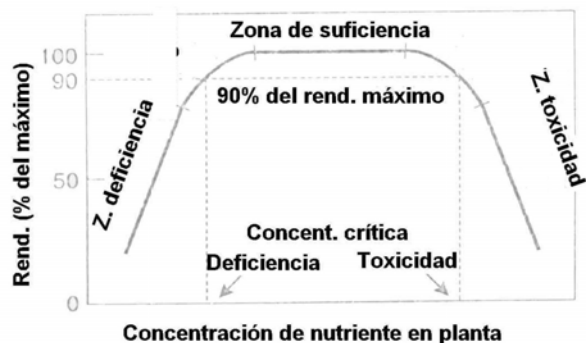
El **nivel crítico** surge de considerar las distintas relaciones que existen entre la concentración de nutrientes dentro de la planta y el rendimiento o crecimiento de un cultivo dado. En la Figura 6 se observa la relación propuesta por Brown, 1970. La misma proviene de ensayos en los cuales se hace crecer un cultivo con distintos tratamientos, correspondientes a cantidades crecientes de un nutriente, estando los demás nutrientes y factores de crecimiento en cantidades no limitantes. Luego se relaciona el crecimiento o el rendimiento del cultivo con el suministro y con la concentración del nutriente en la planta. Las muestras del cultivo son tomadas a una edad fisiológica determinada, seleccionando una parte específica de la planta. En la gráfica se distingue una primera zona, llamada zona de escasez de nutriente, en donde éste puede presentarse severamente deficiente o con una concentración tan baja que limita el crecimiento y/o rendimiento de la planta, apareciendo síntomas de deficiencia. Otra zona denominada zona de adaptación a la escasez, donde el nutriente es deficiente, o sea el cultivo requiere más cantidad de ese nutriente, pero aún no ha manifestado síntoma de deficiencia. Es común que se denomine a ésta como situación de “hambre oculta”. La siguiente es llamada zona de consumo de lujo, en donde la planta continúa absorbiendo nutriente sin aumentar el rendimiento. Luego el rendimiento puede descender a causa del exceso de nutriente que provoca toxicidad en la planta. La parte descendente de la gráfica puede corresponder a situaciones donde se produce “vuelco” por el alto rendimiento de las plantas en cultivos de cereales, por ejemplo. También puede producirse pérdida de calidad del producto por la alta concentración de nutriente dentro del grano (por ejemplo, en cebada). En cultivos de tomate se puede afectar negativamente su rendimiento debido a un gran suministro de N, el cual produce un alargamiento de la fase vegetativa y un menor número de frutos cuajados. Entre las zonas de deficiencia y de suficiencia, muchos autores ubican la concentración crítica o el nivel crítico. Éste es un valor de referencia, un número, un dato puntual de concentración de un nutriente en la planta. Sin embargo, es de hacer notar que no hay una única definición de nivel crítico. Algunos investigadores consideran que es el límite de concentración de un elemento en la planta por debajo del cual existiría insuficiencia del mismo y, por lo tanto, habría mayor

probabilidad de respuesta por parte del cultivo a la fertilización. Otros definen el nivel crítico como la concentración de nutrientes en la planta por debajo de la cual la tasa de rendimiento o crecimiento se reduce significativamente. (En esta definición no se aclara lo que es “significativamente”). Por otra parte, otros autores han sugerido que se considere al nivel crítico como aquella concentración de nutriente donde se produce el 90% del rendimiento máximo o calidad. También el nivel crítico puede ser definido como el valor de la concentración de un nutriente donde el rendimiento se reduce en un 5 o un 10%. Cabe señalar que todos estos porcentajes propuestos fueron definidos arbitrariamente. Existe además, una definición del nivel crítico desde el punto de vista económico, y es el valor a partir del cual más aplicación de nutriente no se refleja en un retorno económico o ganancia.

La comparación del dato del análisis de planta con niveles críticos tiene serias limitantes, dado que define sólo la parte más baja del rango de suficiencia, no proporcionando ninguna guía cuando la concentración excede el valor crítico.

También se ha propuesto comparar el dato del análisis de la muestra problema con **valores estándar**. Estos valores provienen del análisis de un gran número de muestras recogidas de establecimientos de producción normales. Debido a que se trata de simples números, el valor estándar tiene las mismas limitantes que el nivel crítico. Cuando no hay estándares puede ser útiles comparar las concentraciones de muestras provenientes de áreas con y sin problemas.

Figura 6. Rendimiento en función de la concentración de nutriente en planta. Concentraciones críticas de deficiencia y toxicidad.



Otra forma de interpretar los niveles de nutrientes en planta es relacionarlos a un **rango de suficiencia de concentraciones**, o sea un intervalo óptimo de concentraciones. Dentro de este rango el suministro de nutrientes sería adecuado. Cuando el nivel de nutriente en planta está por debajo de ese rango probablemente ocurre deficiencia del mismo, mientras que si está por encima probablemente ocurre intoxicación. El rango de suficiencia de concentraciones permitiría un manejo más flexible de los datos.

También se ha sugerido otra metodología para la interpretación del dato del análisis de planta: en lugar de tomar el dato de cada nutriente por separado, se propone considerar las **relaciones de varios elementos**: N/K, N/P, N/S, Ca/P, Ca/K, P/Zn, Mg/K, Ca + Mg/K. Este tipo de interpretación, teniendo en cuenta además otras consideraciones, es aplicado en el DRIS, el cual será tratado más adelante.

IV. LIMITANTES DE LA INTERPRETACION DEL ANALISIS DE PLANTAS

Considerando las relaciones anteriormente mencionadas entre la concentración de nutriente en planta y crecimiento, rendimiento y/o calidad y suministro de nutrientes, así como las numerosas variables que afectan las concentraciones resulta necesario hacer énfasis en la precisión de la definición de valor crítico. El valor crítico de determinado nutriente en un cultivo dado deriva de los análisis de plantas pertenecientes a cultivos con altos rendimientos y bajo experimentos controlados. Sin embargo, los valores críticos obtenidos pueden ser diferentes según el suelo o el área donde se realizó el cultivo, e incluso puede variar según el año. Por lo tanto, un rango definido de suficiencia puede no ser aplicable en todas las situaciones. También es necesario enfatizar que en la definición de un cierto valor tomado como nivel crítico, tiene gran relevancia el tipo de metodología aplicada por quienes procesaron la información, por lo cual ese valor crítico puede variar si se cambia de metodología. Por lo tanto, no hay un único nivel crítico para un nutriente en un cultivo, lo que puede limitar su uso.

Como ya fue mencionado, el análisis de planta ha sido y es ampliamente usado para realizar recomendaciones de fertilización en cultivos perennes, especialmente en árboles frutales. Sin embargo, la principal limitante del análisis de planta es que basándose en el análisis actual, la recomendación de dosis de fertilización se realiza para la cosecha siguiente. En la mayoría de los nutrientes es muy difícil corregir una deficiencia constatada por el análisis de planta en el presente ciclo productivo, pues ya está comprometido el rendimiento: puede ser muy tarde para que la aplicación del nutriente deficiente sea rentable. Como casos excepcionales se pueden citar algunos cultivos de ciclo largo como tomate y morrón, en los cuales la corrección de deficiencias constatadas por análisis de plantas puede redundar en beneficios económicos.

Como regla general, existe una alta correlación entre el análisis de suelos y el análisis de plantas. Sin embargo, en algunos casos esta regla puede no ser tan exacta por lo que no siempre es válido asumir que el contenido de un nutriente en la planta está directamente relacionado a la disponibilidad del mismo en el suelo. Por ejemplo, muchos son los factores que afectan la absorción de P (bajas temperaturas, condiciones de anegamiento, pH muy bajos). La absorción de Ca se ve afectada cuando aumenta el pH, así como cuando hay una alta fertilización con N y K. Por ejemplo, cuando el pH del suelo se eleva, baja la correlación Ca en el suelo y Ca en planta. La absorción de Mg se reduce tanto si el pH es muy bajo, como

cuando hay exceso de K, independientemente del nivel de Mg en el suelo. Cuando el pH se incrementa la disponibilidad de los micronutrientes disminuye, excepto en Mo.

El análisis de plantas se puede considerar como una fotografía de la concentración de nutriente en el momento del muestreo. Es, por lo tanto, una herramienta que permite diagnosticar el status nutricional de un cultivo. La predicción de cuánto agregar de un nutriente a partir del análisis de planta necesita de investigación de ensayos de respuesta y modelos en los cuales se tengan en cuenta, por ejemplo, rendimiento y/o calidad del cultivo. En situaciones donde aún no se tenga investigación nacional, los datos provenientes de otros países pueden seguir siendo útiles, aunque no deberían ser extrapolados estrictamente.

Lo anteriormente señalado significa que no se puede realizar una recomendación de fertilización basándose sólo en el dato de análisis de planta, sino que debería tenerse en cuenta además, el conocimiento de las condiciones ambientales imperantes, así como los datos del análisis del suelo. Si la información del análisis de plantas coincide con la del análisis de suelo, se tiene más certeza sobre el origen del problema. Además, es necesario tener presente las condiciones climáticas posteriores al muestreo (de plantas o de suelo) pues también estarán influyendo en la recomendación que finalmente se haga.

V. D. R. I. S.

El DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) o SIDR (Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación) es otro concepto de interpretación de los análisis de plantas. Fue desarrollado por Beaufils en 1957, 1973, quien inicialmente lo aplicó en árboles de caucho en Vietnam y luego en maíz en Sudáfrica. El sistema, primeramente llamado sistema de diagnóstico fisiológico, fue designado para:

- a) proporcionar un diagnóstico válido sin considerar la edad de la planta o el tejido,
- b) ordenar los nutrientes según el grado de deficiencia y
- c) acentuar la importancia del balance de nutrientes.

Una de las bases del DRIS es que emplea fundamentalmente relaciones de nutrientes y no concentraciones de los mismos. Estas relaciones permiten que las variaciones ocasionadas por la edad de la planta tengan menos influencia y, por lo tanto, del momento de muestreo. En general, las concentraciones de nutrientes como N, P, K y S tienden a decrecer con la edad, mientras que las de otros como Ca, tienden a incrementarse. De la edad de la planta, entonces, depende tanto el valor crítico como el rango de suficiencia. Según Beaufils, si las concentraciones de por ej., N, P y K decrecen al avanzar la edad de la planta, sus relaciones permanecerán más constantes.

Este método utiliza para la definición de sus normas una gran base de datos, pero lo más importante es que esos datos no provienen básicamente de ensayos experimentales, sino

de cultivos comerciales. En esa gran cantidad de datos, distingue dos poblaciones: una de alto rendimiento y otra de bajo rendimiento. Los datos extraídos de estas dos poblaciones son utilizados para establecer los promedios o normas DRIS, coeficientes de variación, varianzas, desvío standard.

Se podría decir que ha existido una cierta moda del uso del DRIS, surgida básicamente con el auge de las computadoras, las cuales, sin demasiado esfuerzo permiten establecer todo tipo de relaciones y correlaciones, aún a veces alejadas de ciertas bases fisiológicas. De aquí es, entonces, que hay distintos grados de ajuste del DRIS. Lógicamente no es un sistema perfecto, pero podría llegar a ser muy útil si se dispusiera de una gran base confiable de datos, no sólo en número, sino en años y calidad de la información.

Comparado con el nivel crítico o con el rango de suficiencia, el DRIS es un método más sensible en identificar necesidades de uno o más nutrientes para las plantas. Permitiría, además, hacer más extrapolables los datos provenientes de otra región.

VI. USOS DEL ANALISIS DE PLANTAS

Existen distintos objetivos por los cuales se puede realizar el análisis de plantas.

A. Recomendaciones de fertilización en unidades de producción

Los datos de análisis de planta usados para evaluar el estado nutricional y orientar necesidades de fertilización para un óptimo rendimiento dependen de cada cultivo.

En cultivos de más de un año o en individuos que permanecen en el suelo más de un ciclo productivo, como es el caso de frutales, el análisis de planta ha sido y es ampliamente adoptado como herramienta para orientar recomendaciones de fertilización. Para estas situaciones en las cuales el monte está en producción, el uso del análisis de suelo para predecir deficiencias de nutrientes es restringido, dado que no se dispone de una calibración que tenga en cuenta lo que realmente el sistema radicular del árbol explora desde capas profundas del suelo.

En cultivos anuales (cereales, por ejemplo) el análisis de plantas para decidir dosis de fertilización plantea como inconveniente la instrumentación de todas las etapas que involucra esta metodología. Para que realmente sirva, el muestreo de plantas tiene que ser realizado en etapas avanzadas del cultivo y el resto (envío de la muestra al laboratorio, análisis, retorno de datos, toma de decisiones y fertilización) hacerse muy rápido, dado que ya el período de absorción de nutrientes es muy intenso. Por lo tanto, su utilidad real es limitada. En el país, trabajos realizados en cebada muestran que a partir del contenido de N en la parte aérea en el

período de Z30 se pueden recomendar dosis óptimas de fertilización nitrogenada, debiéndose tener en cuenta, además, otras variables (rendimiento esperado, variedad, suelo, etc.).

En pasturas, si bien en general se trata de cultivos plurianuales, en la recomendación de fertilización sigue teniendo más importancia el análisis de suelo a la siembra (especialmente pH y P para la instalación de leguminosas), mientras que para decidir refertilización es necesario tener en cuenta variables como población de leguminosas, rendimiento, manejo, tipo de suelo, etc. En realidad, el resultado del análisis de planta en pasturas se relaciona muchas veces con el valor nutricional de la planta para el animal. Sin embargo, los contenidos de N, K y S pueden ser suficientes para las plantas, y más que suficientes para animales. Ca y Zn pueden ser óptimos para las plantas e insuficientes para animales. Se, I, Na y Co son en general elementos más importantes para la nutrición animal que para las plantas, mientras que B y Mo son requeridos por las plantas. Incluso un exceso de Mo puede ser tóxico para animales.

B. Confirmar causas de problemas

Los análisis de plantas permiten verificar si el estado nutricional de las plantas es adecuado, o identificar la existencia de problemas nutricionales. Estos pueden ser detectados en primera instancia por sintomatología y luego confirmados mediante el dato del análisis de planta.

C. Relevamientos nutricionales

Los análisis de plantas pueden ser usados para hacer relevamientos nutricionales de cultivos en un sistema de producción determinado. Los análisis de plantas deben ser complementados con análisis de los suelos representativos del área donde se realiza ese sistema de producción, así como también de otros factores de manejo que afectan el rendimiento. Los resultados extraídos de un relevamiento nutricional proporcionan información acerca de posibles deficiencias de un nutriente específico y pueden ayudar a delimitar el área en la cual la deficiencia posiblemente exista. Tales relevamientos usualmente se realizan para un cultivo específico o con una planta indicadora que puede ser muy sensible al suministro de determinado nutriente o tiene altos requerimientos del mismo. Sin embargo, la información que surge de estos relevamientos no indica en forma contundente que exista deficiencia de un nutriente, sino que debe ser comprobada en ensayos de respuesta. El mérito de un relevamiento nutricional es proporcionar bases o antecedentes para comenzar a investigar o profundizar en un nutriente en particular y en un área definida.

D. Determinación de la extracción total de nutrientes por el cultivo

Otro uso importante del análisis de plantas es que permite realizar un balance entre el suministro de nutrientes y la extracción total que realiza un cultivo en una situación determinada. Este tipo de balances sería conveniente hacerlo en situaciones de muy alta extracción de nutrientes como es el caso de invernáculos, viveros, etc., como una forma de monitorear el status nutricional del cultivo para la producción óptima del mismo.

E. Apoyo a la investigación

Los análisis de plantas pueden ayudar a mejorar y a interpretar la información surgida de ensayos de fertilidad de suelos, en donde generalmente se varía la disponibilidad de nutrientes. Se pueden hacer, por ejemplo, análisis de proteína en grano (trigo, cebada) o del nivel de nitratos en la base del tallo en maíz, para verificar si el N fue suficiente para el óptimo rendimiento o no. Estos análisis pueden ser útiles para aclarar o interpretar una situación dada, o para ajustar las dosis a manejar al siguiente año.

F. Otros usos

En algunos países se está instrumentando el uso del análisis de planta para proteger al medio ambiente de una sobre fertilización, como puede ser el nivel de nitratos en la base del tallo en maíz comentado anteriormente. El análisis de planta se usa también en el manejo de la calidad de productos vegetales. Otra aplicación del análisis de planta es en la determinación los niveles de nutrientes en dietas para consumo animal y humano.

VII. QUÉ ANALIZAR

Una vez extraída y preparada la muestra, se puede hacer analizar el contenido total de un nutriente determinado o una fracción del mismo. Normalmente para los nutrientes Ca, Mg y micronutrientes se determina la cantidad total en la muestra. En cambio, para los macronutrientes N, P y K se puede hacer analizar tanto el contenido total, como también el contenido de las fracciones solubles, como por ejemplo, nitratos (NO_3^-), fosfatos no metabolizados (PO_4^{3-}) o K^+ -el dato de la fracción K^+ coincide aproximadamente con el resultado de K total, pues el K no forma compuestos orgánicos en la planta-. En este tipo de análisis se agita la muestra con un extractante. Dado que el contenido de una fracción soluble es un buen estimador de la disponibilidad de nutrientes cuando la planta no sufre períodos de stress, este tipo de análisis se usa fundamentalmente en zonas áridas con riego. Un ejemplo es el uso de análisis de nitratos de pecíolos en viña.

En general, los datos de tenores totales de macronutrientes se presentan como porcentaje del elemento (%) en la materia seca, mientras que los micronutrientes se presentan en partes por millón (ppm). Cuando se analizan fracciones solubles de un nutriente los

resultados son expresados en general, en partes por millón (ppm: mg.kg^{-1}) del elemento correspondiente a la forma analizada.

VIII. DIFERENTES TÉCNICAS DE ANALISIS

A. Análisis y test

Aunque los términos test (o test rápido) y análisis, tanto para plantas como para suelos, han sido muchas veces aplicados como sinónimos, son generalmente empleados para técnicas diferentes. Esto se debe, en parte, a que en idioma español no hay una palabra que los diferencie, por lo cual se adoptan palabras del inglés para referirse a ellos.

El análisis de planta es realizado en el laboratorio a una muestra secada y molida. El test puede ser realizado tanto en el predio como en el laboratorio, usando un tejido, savia o extracto, empleándose normalmente determinaciones semicuantitativas de las fracciones solubles de nutrientes (nitratos, fosfatos, etc.). Este tipo de método permite obtener resultados de poca precisión en forma inmediata y a bajos costos.

B. Análisis de laboratorio

Existen varios métodos adecuados de análisis para la determinación de un nutriente en plantas; la mayoría incluye destrucción del tejido, buscando que los nutrientes que están formando compuestos orgánicos se conviertan en formas minerales solubles para luego determinarlas. Básicamente se emplean dos metodologías para realizar la extracción de elementos de los compuestos orgánicos:

a) método de digestión o mineralización por vía húmeda. Se ataca el material con ácido sulfúrico, o con una mezcla de ácidos nítrico y perclórico. En las muestras digeridas con ácido sulfúrico se puede realizar la determinación de N total, P total y K total. En las muestras digeridas con la mezcla de ácidos se pueden determinar S, bases (K, Ca, Mg, Na) y micronutrientes.

b) método de descomposición por vía seca o cenizas. Este método se utiliza para analizar bases (K, Mg, Ca, Na) y P. Se lleva la muestra seca y molida a cenizas mediante altas temperaturas en una mufla y luego se disuelven en ácido clorhídrico. Por medio de esta metodología no se pueden analizar elementos volátiles (N, S, B).

C. Métodos no destructivos

También existen métodos no destructivos para el análisis de plantas, es decir, no implican destrucción de tejidos. Un ejemplo de método de laboratorio no destructivo es el análisis por reflectancia de infrarrojo sobre una muestra molida. Otro ejemplo es el test de clorofila, donde se correlaciona la intensidad del color de la clorofila en determinada hoja del cultivo (normalmente la más reciente y completamente desarrollada) con el suministro de N.

Sin embargo, su uso se ve limitado cuando el color puede deberse a otra clase de factores (daños por insectos, condiciones climáticas, cultivar, etc.). Puede ser una herramienta útil, práctica y económica, pero es necesario calibrarla para cada cultivo y zona particular. Es un método que puede ser fácilmente realizado en el campo.

D. Análisis instrumentales

Con el avance de la tecnología, hoy se dispone de instrumentos cada vez más eficientes y con alto grado de precisión, que pueden medir directamente la concentración de nutrientes en la muestra. Es posible, también, automatizar técnicas con el fin de hacer un mayor número de muestras por hora que el que se hacía años atrás. Se puede citar por ejemplo, el uso de instrumentos como absorción atómica, emisión en plasma y analizadores automáticos en flujo continuo.

Cabe destacar que el error cometido en los análisis o tests siempre es mucho menor que el error cometido en el muestreo. Por ello resulta sumamente necesario que el muestreo sea realizado teniendo en cuenta todas las consideraciones señaladas. (Ver Guía para el muestreo de plantas en algunos cultivos).

IX. MANEJO DE LAS MUESTRAS

A. Precauciones en la manipulación de las muestras

Las plantas muestreadas deben ser guardadas en bolsas de polietileno, cerrándolas luego de quitarles el aire del interior. Se deben refrigerar a 0-5°C inmediatamente de extraídas, por lo cual es recomendable contar con una heladera portátil, si el tiempo desde la extracción de las muestras hasta el envío al laboratorio es prolongado. Se recomienda no ubicar las muestras en lugares donde pueda haber fertilizantes, a los efectos de no contaminar las muestras y obtener resultados erróneos.

B. Limpieza

Normalmente en el laboratorio donde se enviaron las muestras se realiza la limpieza de las mismas antes del secado. Esto se debe a que los insecticidas, fungicidas, fertilizantes, e incluso el propio suelo son fuentes de contaminación superficial, pudiendo afectar determinaciones como las de Fe. Es por ello que se recomienda no muestrear tejidos cubiertos con suelo o polvo, plantas dañadas por insectos o por alguna práctica de manejo, o plantas enfermas. La muestra es colocada en un recipiente de plástico, con una solución de detergente que no aporte nutrientes lavando a mano las muestras. Se enjuagan varias veces en agua destilada, y luego se secan con papel de filtro. El procedimiento de lavado debe ser hecho rápidamente para evitar lixiviación de K y Cl.

C. Preparación de las muestras

Las muestras son secadas en estufa a 65 °C durante 48 horas y luego molidas en un molino hasta que las partículas pasan un tamiz de 1 mm. Se debe tener especial cuidado de que las plantas en las que se van a analizar micronutrientes no estén en contacto con materiales de cobre o galvanizados durante el proceso de molienda, sino que éstos tienen que ser de acero inoxidable. Después de molidas, las muestras son guardadas en recipientes cerrados hasta que sea necesario.

Tabla 1. GUÍA PARA EL MUESTREO DE PLANTAS EN ALGUNOS CULTIVOS

| CULTIVO | MOMENTO de MUESTREO | PARTE de la PLANTA a MUESTREAR | Nº de PLANTAS |
|---|---|---|----------------------|
| Alfalfa, lotus, tréboles | A 1/10 de floración o antes | Parte aérea | 45-55 |
| Cebada | Z30 | Parte aérea | 50-75 |
| Arroz | Antes de macollaje | Las 4 hojas superiores | 50-100 |
| Maíz | V6 | Parte aérea | 20-30 |
| Manzanos, ciruelos, membrillos, perales | De 8-12 semanas luego de plena floración | Hoja de la parte media de la rama del año | 75-100 |
| Viña | 20 días después del fin de floración o en enero | Hoja opuesta al primer racimo | 75-100 |
| Cítricos | Zona Norte: abril-junio | Hoja de rama fructífera de la brotación de primavera, la más cercana al fruto | 30-40 |
| | | Hoja central de rama no fructífera | 40-50 |
| Durazneros | De 10-12 semanas luego de plena floración | De 2 a 4 hojas por árbol, de la parte media de la rama del año. | 20 |
| Tomate (campo) | Antes del primer cuajado | 3 o 4 hojas cercanas al punto de crecimiento | 20-25 |
| Tomate (invernáculo) | Antes del primer cuajado | Hojas cercanas al 2º y 3º racimo | 20-25 |
| Papa | Antes o al inicio de floración | 3º a 6º hoja desde el punto de crecimiento | 25 |

SINTOMAS DE DEFICIENCIA

La observación de síntomas de deficiencia de nutrientes en un cultivo constituye otra herramienta para evaluar el estado nutricional de un cultivo. Presenta la ventaja de ser una técnica aplicable en el campo sin depender de ningún laboratorio.

Los síntomas de deficiencia aparecen sólo después que el suministro de un nutriente es tan bajo que la planta no puede completar su función adecuadamente. La marcada carencia de un determinado nutriente puede provocar la aparición de síntomas visuales característicos en la planta. Sin embargo, la carencia de un nutriente no produce síntomas directamente, sino que en la planta se generan procesos que conducen a desbalances nutricionales, con acumulación de un determinado compuesto orgánico intermediario, o a la falta de formación de un compuesto. Esto lleva a que las situaciones anormales sean reconocidas como síntomas. Estos abarcan desde un reducido rendimiento hasta debilidad severa de plantas, síntomas específicos en hojas, anormalidades internas como obstrucción de conductos, retardo de la madurez, baja calidad del producto.

No es aconsejable usar la sintomatología de deficiencia como única herramienta de diagnóstico, sino que deben emplearse como suplemento de otras técnicas de diagnóstico: análisis de suelo y/o de planta, observación del estado general de las plantas (vigor, color). Esto se debe a que el guiarse por sintomatología presenta muchas desventajas. La principal desventaja es que los síntomas de deficiencia de un nutriente específico se observan cuando en la planta ya ha ocurrido una seria deficiencia del mismo, pudiendo haber ocasionado una marcada reducción del rendimiento. En general, la corrección de una deficiencia detectada por síntomas visuales se realiza demasiado tarde en el ciclo productivo como para obtener un retorno económico en respuesta a esa corrección. No obstante, existen síntomas visuales de deficiencia de nutrientes que son característicos de cada nutriente, lo cual puede guiar la identificación de una deficiencia.

Pero también muchos síntomas son menos característicos, ya que pueden estar relacionados a stress provocado por otros factores que afectan el crecimiento (luz, agua, temperatura, pH); diferentes nutrientes pueden ocasionar síntomas similares de deficiencia; algunas enfermedades y plagas pueden dar síntomas visuales semejantes a desórdenes de nutrientes; distintas especies pueden manifestar en forma diferente la deficiencia de un nutriente; el exceso de un nutriente puede ocasionar deficiencia de otro; la compactación del suelo puede dar lugar a trastornos metabólicos, etc. También se dan ocasiones en que se observan síntomas de deficiencia en las primeras etapas de crecimiento de las plantas, pero luego desaparecen con el desarrollo del cultivo. Estos casos pueden ocurrir debido a una baja tasa de crecimiento inicial o de penetración radicular, o al efecto de bajas temperaturas, que afectan no sólo la tasa de crecimiento sino también la dinámica de los nutrientes en el suelo (mineralización, difusión, etc).

Existen algunas pautas para distinguir síntomas de deficiencia de nutrientes de lo que puede ser un síntoma provocado por una plaga. En general, al principio los síntomas aparecen en un único tipo de hojas, ya sea jóvenes o viejas, en las cuales se muestran en forma simétrica y relacionados a las nervaduras. Se producen gradualmente, no son cambios bruscos que se dan en la planta. Los límites son difusos, sin formas angulares. Tampoco hay ruptura de cutícula, salvo deficiencia extrema en donde se produce necrosis y hasta muerte de la planta. También se producen en las zonas más distantes de la nervadura principal (zonas internervales, puntas, márgenes).

Para ayudarse en la identificación de síntomas de deficiencia se recomienda usar libros específicos en este tema, donde aparecen ilustraciones y descripciones para cada cultivo y nutriente.

Para comprender mejor cómo se producen los síntomas visuales de deficiencia de cada nutriente, es necesario conocer las funciones que cumplen los mismos en las plantas y cómo es su movilidad dentro de la misma (Tabla 2).

En general, los nutrientes son absorbidos por las raíces y luego traslocados por el xilema a los órganos que realizan la fotosíntesis (tallos y hojas). Posteriormente pueden ser transferidos al floema y depositados en células de raíces, tallos y hojas. Los nutrientes almacenados en tejidos y órganos pueden ser removilizados y transportados a otras partes de la planta. La removilización de nutrientes desde partes viejas a jóvenes se produce ya sea durante el desarrollo de la planta, como durante los períodos de baja disponibilidad de nutrientes. Esta removilización de nutrientes puede ocasionar rápidos cambios en su concentración en hojas u órganos, y ejercer un fuerte impacto en las relaciones entre concentración de nutrientes y crecimiento o rendimiento.

Todos los nutrientes son móviles en el xilema, pero dentro del floema su movilidad varía ampliamente. Según el movimiento desde hojas viejas a jóvenes y el desarrollo de órganos cuando existe deficiencia de nutrientes, éstos se clasifican en móviles en el floema, inmóviles y de variable movilidad.

Nutrientes móviles en el floema: Los nutrientes móviles en el floema son N, P y K. Cuando el suministro de los mismos es limitante, los tejidos jóvenes los obtienen a expensas de las hojas viejas, en las que su contenido disminuye. Por lo tanto, cuando se desarrollan síntomas de deficiencia las concentraciones de estos nutrientes son altas en hojas jóvenes y bajas en las hojas viejas. El Mg, en general, se comporta en forma similar a los nutrientes móviles.

Nutrientes inmóviles: Ca, B, Mn y Fe son relativamente inmóviles en el floema, dado que no son removilizados hacia los tejidos jóvenes cuando disminuye su suministro. En el

desarrollo de los síntomas de deficiencia de tales nutrientes, su concentración es alta en hojas viejas, declinando rápidamente en hojas jóvenes.

Nutrientes de movilidad variable: S, Cu y Zn. Estos nutrientes permanecen en hojas viejas cuando su suministro disminuye, pero pueden moverse rápidamente desde ellas durante la senescencia. Cuando hay deficiencia, estos nutrientes no se mueven tan rápidamente desde las hojas viejas, por lo cual se desarrollan los síntomas en las hojas jóvenes.

Sobre la movilidad de nutrientes como Mo, Co y Ni no se sabe aún.

En resumen, se requiere mucha experiencia para poder distinguir lo que es un síntoma visual de deficiencia nutricional de lo que es el efecto causado por una enfermedad, daños por insectos, senescencia, o por prácticas de manejo.

Tabla 2. Contenido de nutriente en planta, función, movilidad dentro de la planta y síntoma de deficiencia.

| CONTENIDO EN PLANTA | FUNCIÓN | MOVILIDAD EN PLANTA | SÍNTOMA DE DEFICIENCIA |
|--|--|---------------------|--|
| N (1-5 %) | Constituyente de Proteínas (enzimas, nucleoproteínas), aminoácidos, clorofila | Muy móvil | Clorosis, amarillamiento en hojas viejas, o rojizo |
| P (0.1 - 0.4 %) | Almacenamiento y transferencia de energía (ATP, ADP) . Constituyente de Ac. nucleicos, fitina, fosfolípidos. | Muy móvil | Color verde oscuro de follaje, rojo o púrpura en hojas o peciolo |
| K (1-5 %) | Translocación, apertura de estomas, balance de cationes y aniones, relación hídrica energética. Activador de enzimas. | Móvil | Hojas viejas clorosis y necrosis cerca de márgenes, clorosis internerval |
| S (0.1 - 0.4 %) | Síntesis de AA y proteínas. Constituyente de aminoácidos, proteínas, coenzimas, etc. | Variable movilidad | Clorosis general, 1° en hojas jóvenes |
| Ca (0.2 - 1 %) | Mantenimiento de la membrana, división y elongación celular, balance catiónico y aniónico, osmoregulación. Activador Enzimático. | Inmóvil | Bitter pit en frutales, tomate, puntas quemadas de hojas. |
| Mg (0.1 - 0.4 %) | Constituyente de la clorofila, sínt. de proteínas, activa enzimas. Constituyente de clorofila, ribosomas. | Móvil | Clorosis interneval en hojas viejas |
| B Monocotiledóneas: 6 - 18 ppm Dicotiledóneas: 20 - 60 ppm | Metabolismo de hidratos de C, RNA, DNA | Inmóvil | Muerte de puntos de crecimiento, hojas mal formadas, frutos deformes, peciolo débiles. |
| Fe (50 - 250 ppm) | Activa enzimas (citocromos). Producción de clorofila. Oxido-reducción en transporte electrónico. | Inmóvil | Clorosis internerval, 1° hojas jóvenes. |
| Mn (20 - 500 ppm) | Activa enzimas, metabolismo de COOH ⁻ , en reacciones de fosforilación, constituyente de cloroplastos | Inmóvil | clorosis internerval, necrosis. |
| Cu (5 - 20 ppm) | Sínt. de lignina, reacciones redox, form. de polen y fertilización. | Variable movilidad | Muerte de hojas jóvenes, clorosis, fallas fertilización, lignificación irregular. |
| Zn (25 - 150 ppm) | Activa enzimas. Metabolismo de auxinas, sínt. de nucleótidos. Constituyente de enzimas. | Variable movilidad | Poco follaje, hojas arrojadas, clorosis moteado. |
| Mo (< de 1 ppm) | Fijación de N, reducción del NO ₃ absorbido. Activa nitrogenasa, nitrato reductasa. | Variable movilidad | Amarillamiento. En coliflor whiptail |
| Cl (0.02 - 0.2 %) | Función no clara. Exceso perjudica a solanáceas | Móvil | |
| Co (0.02 - 0.5 ppm) | No está probado que sea esencial. Si lo es en leguminosas; en la lehemoglobina. Activa enzimas. Forma vit B ₁₂ . | | |
| Na (0.01 ppm) | Función desconocida. Se lo relaciona con el agua. Fotosíntesis de plantas C ₄ | | |
| Si Monocotiledóneas: 0.2-2% dicotiledóneas: 0.02 - 0.2 % | Discutida esencialidad. Requerido en arroz, cebada, caña de azúcar, pero relación no determinada. | | Reducción de crecimiento en caña de azúcar y arroz. |

BIBLIOGRAFÍA

- Bates, T. E.** 1971. Factors Affecting Critical Nutrient Concentrations in Plants and their Evaluation. A REVIEW. Soil Science Society Of America 112:116.130.
- Benton, J., B. Wolf and H. A. Mills.** 1985. Plant Analysis Handbook. A Practical Sampling, Preparation, Analysis And Interpretation Guide. Micro-Macro Publishing, Inc.
- Goñi, C.** 1994. INIA Salto Grande. Evaluación del Estado Nutricional de Durazneros.
- Macy, P.** 1936. The Quantitative Mineral Nutrient Requirements of Plants. Plant Physiology. Vol II.
- Malavolta, E., G.C. Vitti y S. A. de Oliveira.** 1989. Avaliação do Estado Nutricional das Plantas. Principios e Aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Potafos.
- Munson, R. D. and W. L. Nelson.** 1973. Principles and Practices in Plant Analysis. Cap 15, pp 223 – 248; in Soil Testing and Plant Analysis, Edited by L. M. Wash and J. D. Beaton, Soil Science Society Of America, Madison, Wisconsin USA.
- Owen Plank, C.** 1987. Plant Analysis Handbook for Georgia. Cooperative Extension Service Of University of Georgia College of Agriculture. Athens.
- Ray Tucker, M.** 1987. Methods Used in Analyzing Plant Tissue Samples. North Carolina Department of Agriculture. Raleigh, North Carolina.
- Reuter, D. J. and J. B. Robinson.** 1998. Plant Analysis, An Interpretation Manual. Second Edition. Csiro. Australia.
- Sumner, M. E.** 1978. A New Approach for Predicting Nutrient Needs for Increased Crop Yields. Solutions. September-October 1978, pp 68-78.
- Tisdale, S. L., W. L. Nelson, J. D. Beaton and J. L. Havlin.** 1993. Soil Fertility And Fertilizers. 5° Edition.