

## ANÁLISIS FOLIAR: FUNDAMENTOS Y METODOS DE EVALUACION

José Espinosa\*

### Introducción

El análisis de tejido vegetal, generalmente conocido como análisis foliar, determina el contenido elemental de nutrientes de una parte de la planta en particular, que comúnmente es la hoja. El análisis foliar, tiene una considerable historia como técnica de diagnóstico, pero en los últimos años se ha utilizado para determinar el estado nutricional del cultivo, e indirectamente el del suelo. El análisis foliar asume que la parte de la planta muestreada (generalmente la hoja) es el órgano que refleja el estado nutricional de la planta y que existe una relación estrecha y directa entre el suplemento de nutrientes (suelo y/o fertilizantes) y el rendimiento, entre el suplemento y la concentración de elementos en las hojas y entre la concentración en las hojas y el rendimiento.

Los resultados de los análisis foliares pueden utilizarse para cumplir varios objetivos. El más frecuente de estos objetivos es la verificación de los síntomas de deficiencia. Sin embargo, el uso más importante de los resultados del análisis foliar es el de determinar si el nivel de fertilidad del suelo y las dosis de los fertilizantes aplicados son suficientes para cubrir las necesidades del cultivo. Este último objetivo, a pesar de ser el más importante, es el menos entendido y utilizado.

El análisis foliar tiene lugar siguiendo una serie de pasos que se inician con el muestreo en el campo, continúan con la prepa-

ración de la muestra y el análisis de laboratorio y terminan con la interpretación. Cada paso es igualmente importante para que esta técnica de diagnóstico sea exitosa.

### Muestreo para análisis foliar

Las instrucciones para muestreo, en términos de localización de la hoja o de la parte de la planta a muestrearse así como del estado de crecimiento del cultivo, son muy específicas ya que los resultados del análisis, durante diagnóstico, deben ser comparados con niveles críticos o rangos de suficiencia que han sido previamente establecidos por investigación y que sirven para interpretar el análisis. Por esta razón, cualquier análisis hecho en parte diferente de la planta con respecto al estándar, o en diferente etapa de crecimiento del cultivo de la especificada, no puede interpretarse utilizando los niveles críticos establecidos. En la Tabla 1 se presenta el procedimiento de muestreo de café utilizado en varios países de América Latina y en las Figuras 1, 2, 3 y 4 se presenta el procedimiento de muestreo en varios cultivos importantes. Cuando no existen instrucciones específicas

de muestreo en un cultivo, la regla general reconocida es la de muestrear las hojas que han madurado recientemente y cuyo crecimiento ha terminado pero que no han entrado en senilidad.

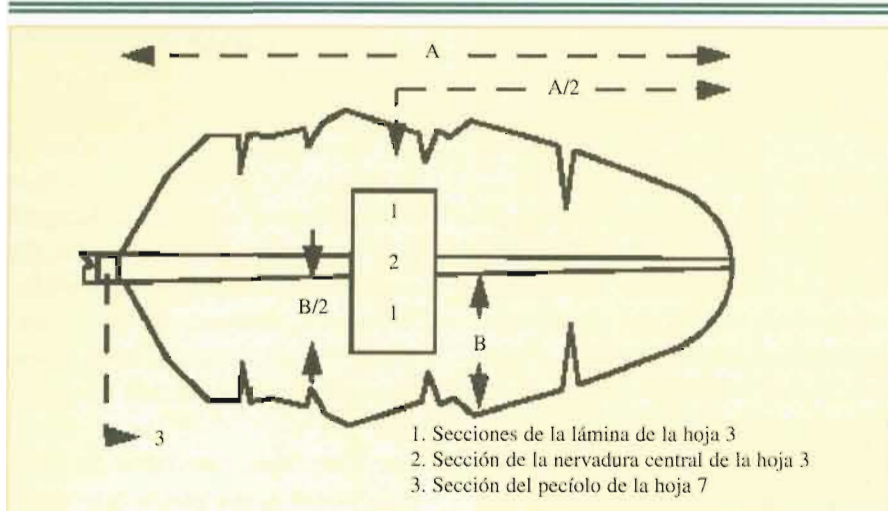
Por otro lado, es también muy importante el evitar ciertas condiciones durante el muestreo. La persona encargada del muestreo no debe seleccionar plantas que han estado bajo largo período de estrés climático o nutricional, que presenten daño mecánico o por insectos o que estén atacadas por enfermedades. Se debe también evitar el muestrear hojas cubiertas de polvo o de aplicaciones foliares de diversos productos, a menos que se pueda remover completamente estos materiales en el laboratorio. Tampoco se deben muestrear plantas de los bordes del campo u hojas que están continuamente bajo sombra dentro del cultivo. No deben incluirse tejidos muertos en la muestra colectada para análisis.

La precisión del análisis depende también del número de submuestras tomadas para formar la muestra compuesta que irá al laboratorio, como se observa en los resulta-

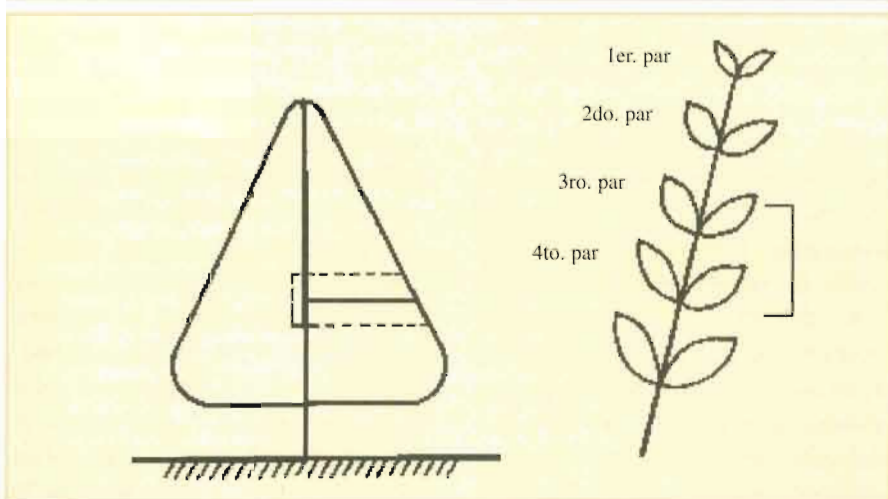
Tabla 1. Procedimientos de muestreo foliar

País o Región	Muestra (1)	Tamaño
Brasil	Verano, ramas con frutos de 4 gradientes, para altura, 3ro o 4to par de hojas desde la punta.	30 o 40 pares
Colombia	Cosecha secundaria, 4to par	
Costa Rica	Alrededor de 1/3 de desarrollo de la fruta, ramas con fruta, 4to par para N, P, K, 2do par para Ca, B, Fe, 6to par para Mg.	60 pares de 15 plantas
Puerto Rico	Inicio de la Floración 3ro o 4to par	25

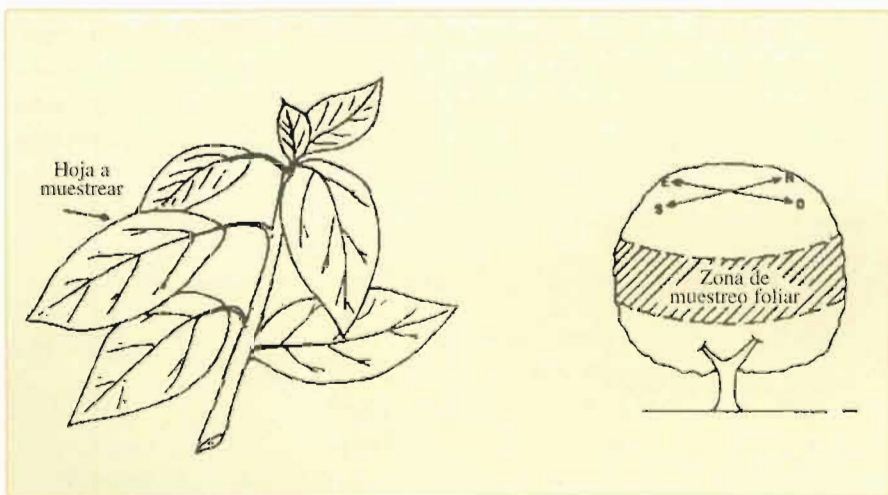
\* Director de la Oficina para el Centro Norte de América Latina, Instituto de la Potasa y el Fósforo, Casilla Postal 17-17-980, Quito-Ecuador



**Figura 1.** En banana se utiliza la hoja 3 para análisis foliar. Sin embargo, también se puede muestrear el pecíolo de la hoja 7 o la nervadura central de la hoja 3.



**Figura 2.** Muestreo de hojas de café para análisis. Se colectan el 3ro. y 4to. par (1er. par corresponde a hojas de alrededor de 2.5 cm de largo).



**Figura 3.** Procedimiento de muestreo foliar en árboles de aguacate.

mina la varianza o desviación de la media del resultado final del análisis de una muestra en particular.

El escoger adecuadamente la parte de la planta a analizar es importante debido a que la distribución de los elementos esenciales dentro de la planta, y aun dentro de una misma parte de la planta, no es homogénea. A medida que la planta madura existen cambios debidos a las siguientes condiciones:

- 1) Movimiento de los elementos móviles de los tejidos viejos a los tejidos en desarrollo
- 2) Acumulación de elementos no móviles
- 3) Reducción en el contenido de materia seca

Por ejemplo, uno de los signos de madurez es el incremento en la concentración (acumulación) de Ca y Mg y una reducción en la concentración de N y P. Otro factor de variación, que afecta a la concentración de K, es la proporción relativa de área de hoja con respecto a la nervadura. De igual manera, la proporción relativa de área de hoja con respecto a los márgenes afecta el contenido de B y Mn ya que estos dos elementos se acumulan en concentraciones apreciablemente altas en los márgenes de las hojas. Un procedimiento de muestreo que afecte las relaciones descritas arriba alterará el resultado del contenido de nutrientes de la muestra analizada. Por ejemplo, el procedimiento de muestreo que solamente colecte las puntas de las hojas o las partes centrales de las hojas producirá una diferente interpretación de aquel procedimiento que muestree toda la hoja. La Tabla 2 ilustra el efecto de dividir la hoja de maíz en cuatro secciones iguales sobre la concentración de nutrientes.

Los peciolos no son parte de las hojas y no deben incluirse en la muestra, pero en algunos cultivos

dos de muestreo de café presentados en la Figura 5. El coeficiente de variación de los análisis se afectó más significativamente con el número de árboles muestreados

que con el número de hojas muestreadas por árbol. La combinación del número de plantas seleccionadas para muestreo con el número de hojas por planta deter-

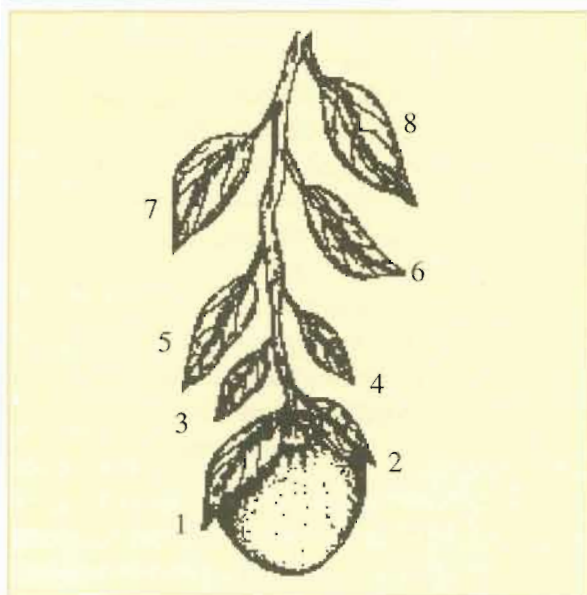


Figura 4. Selección de hojas para el diagnóstico foliar en cítricos (las hojas 3 y 4 son las que se deben colectar).

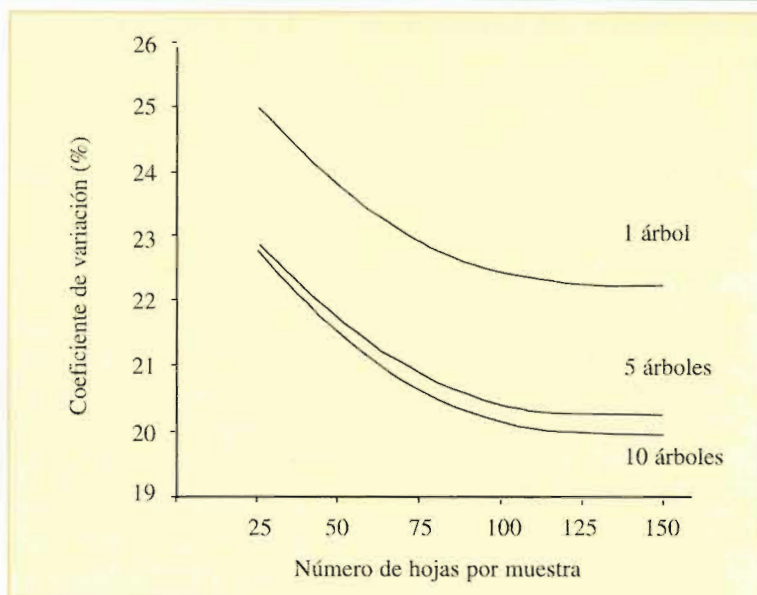


Figura 5. Coeficiente de variación asociado con el número de hojas y número de plantas muestreadas.

como la remolacha azucarera y la vid se ha demostrado que la parte de la planta a muestrearse es el peciolo antes que la hoja.

Puede ser también difícil el muestrear dos diferentes poblaciones de plantas con el propósito de hacer comparaciones, particularmente cuando algún tipo de estrés es el que ha causado las diferencias en el estado de crecimiento. Se debe recordar que la concentración de elementos se expresa en relación al peso de materia seca del tejido. Cualquier

condición que afecte el peso de materia seca de la planta afectará la concentración de elementos. Por esta razón, se debe tener mucho cuidado para asegurarse que se están tomando muestras representativas para hacer estas comparaciones y que la interpretación de los resultados del análisis tenga en consideración las condiciones de las plantas cuando fueron muestreadas.

Aun cuando es posible el analizar cualquier parte de la planta o aún la planta completa, el significado biológico de este análisis puede ser

muy limitado. Por ejemplo, el análisis de fruta y grano, el análisis de toda la planta o el análisis de cualquier parte de la planta a la madurez o la cosecha generalmente no provee información confiable acerca del estado nutricional del cultivo en los estados iniciales de crecimiento. Cuando se hace un análisis de tejidos vegetales, el objetivo principal debe ser el de muestrear aquella parte de la planta que reporte resultados de análisis que puedan ser comparados con los estándares obtenidos mediante investigación en las mismas partes

Tabla 2. Contenido de nutrientes en la hoja completa de maíz ubicada bajo la mazorca y de la división de la misma hoja en cuatro partes iguales.

Elemento	Secciones iguales de la hoja				
	Hoja entera	Punta	Mitad superior	Mitad inferior	Base
	----- % -----				
N	2.93	3.20	3.65	2.75	1.95
P	0.22	0.22	0.23	0.25	0.18
K	1.22	1.26	1.19	1.44	1.23
Ca	0.48	0.75	0.58	0.48	0.35
Mg	0.39	0.40	0.41	0.45	0.40
	----- ppm -----				
B	11	25	14	8	6
Cu	9	12	10	10	8
Fe	96	110	102	75	57
Mn	73	124	79	62	49
Zn	22	30	22	22	18

de la planta. De otra forma el resultado del análisis foliar es una cifra sin valor.

Durante el muestreo se debe tener cuidado también de que el material no se contamine al entrar en contacto con materiales extraños como herramientas, fundas y cajas. Las condiciones de temperatura y humedad durante el transporte de la muestra al laboratorio también pueden afectar la integridad de la muestra y se deben tomar algunas precauciones. Las muestras foliares frescas no deben colocarse en fundas de plástico a menos que la temperatura se mantenga a valores menores de 5° C. El secado de la muestra al aire antes del envío al laboratorio minimiza la pérdida de peso seco. En lo posible se debe entregar la muestra al laboratorio dentro de las primeras 24 horas después del muestreo.

### Preparación y análisis de la muestra

La preparación de la muestra para análisis de laboratorio envuelve un proceso que modifica las propiedades físicas y químicas del tejido muestreado. Se debe tener mucho cuidado para minimizar estos cambios y para esto se deben seguir los procedimientos que se han determinado adecuados para el manejo de muestras en el laboratorio. En el proceso de preparación de la muestra se logran dos objetivos:

- 1) Acondicionar la muestra para que pueda ser analizada
- 2) Homogenizar la muestra compuesta

Antes de lograr esto se debe descontaminar y secar la muestra. La descontaminación remueve el polvo y otras sustancias extrañas que pueden afectar el análisis de laboratorio y el secado preserva el peso seco del tejido.

### Descontaminación

La descontaminación es absolutamente necesaria si se está interesado en analizar la muestra por Fe y Al. Se debe lavar la superficie fresca de la hoja con una solución diluida de detergente (2%) para remover las partículas de polvo y sucio aún cuando estas no sean visibles. El lavado con agua o con ácido diluido no remueve la mayoría de contaminantes y la descontaminación efectiva depende de la presencia de cera y pubescencias en la superficie de la hoja así como el tipo y concentración de los contaminantes. Normalmente el lavado no es necesario si la muestra colectada se ha seleccionado cuidadosamente y el Fe y Al no son elementos de interés. Las hojas expuestas a frecuente lluvia o que no han recibido aplicación de sustancias que contengan nutrientes no necesitan ser lavadas.

El proceso de descontaminación debe ser hecho rápidamente procurando la menor exposición posible de la solución de lavado con el tejido, para prevenir la pérdida de elementos solubles como el B y el K. En algunos casos, el lavado de las muestras foliares puede presentar peligro de contaminación al transferirse contaminantes de unas pocas hojas a todas las hojas que están siendo lavadas por esta razón cuando no se tiene cuidado el lavado no necesariamente reduce la presencia de contaminantes.

Después del análisis se puede detectar si ha existido contaminación al observar las concentraciones de Al, Fe y Si presentes en el tejido. Si todos los tres elementos presentan concentraciones relativamente altas, > 100 ppm para Al y Fe y más 1% para Si, y su concentración tiende a incrementarse o disminuir en forma conjunta, la contaminación con polvo o tierra es muy probable.

### Secado al horno

El secado rápido, inicialmente a temperatura ambiente para remover el agua de la superficie y luego al horno a 80° C, remueve toda el agua de los tejidos. El secar la muestra a temperaturas más bajas no remueve el agua de todos los tejidos mientras que el secado a temperaturas más altas puede descomponer la muestra reduciendo de esta forma el peso seco. Los tejidos que tienen alto contenido de azúcar o almidón no se secan fácilmente al horno y es mejor secarlos al ambiente. El proceso de secado al horno es mejor cuando se conduce en una estufa de aire forzado colocando la muestra en una funda de papel o de tela. Las fundas deben acomodarse en el horno con mucho espacio entre ellas para permitir la circulación del aire. Diferentes tipos de muestras pueden ser secados en el horno de microondas, si el proceso se lleva a cabo cuidadosamente, volteando las muestras frecuentemente después de una corta exposición de las muestras a las microondas.

### Reducción del tamaño de las partículas

Las muestras después de secadas deben ser molidas para reducir el tamaño de las partículas y obtener una muestra lista para ser analizada en el laboratorio. La muestra se puede segregar durante el molido particularmente si no se controla la electricidad estática. Se debe permitir el suficiente tiempo para que toda la muestra pase por el molino. Tejidos higroscópicos pueden ser muy difíciles de moler. De igual manera son difíciles de moler aquellos tejidos que tienen considerable pubescencia como la manzana o la soya y se debe tener cuidado con estas muestras durante la operación para poder tener una muestra homogénea.

Si la cantidad de muestra necesaria para un análisis de un elemento no

es menor que 1 g es suficiente pasar la muestra por una malla de 20 mesh. Sin embargo, si la cantidad de muestra necesaria para el análisis es menor que 1 g se requiere reducir más el tamaño de la partícula y por lo tanto se requiere pasar la muestra por una malla de por lo menos 40 mesh.

Si el Fe es el elemento de mayor interés debe tenerse cuidado porque puede ocurrir contaminación significativa si en el molido pone en contacto la muestra con piezas de acero del molino. Para evitar esta contaminación se recomienda usar un mortero para moler las muestras.

Una vez que la muestra ha sido secada y molida se puede guardar indefinidamente en un ambiente oscuro, seco y frío (4° C).

### Destrucción de la materia orgánica (Digestión)

Probablemente ningún otro aspecto de la preparación de la muestra para el análisis ha levantado tanta controversia como el de la destrucción de la materia orgánica del tejido, proceso conocido también como digestión. Los dos métodos de uso común son: combustión a alta temperatura conocida como digestión seca y digestión ácida conocida también como digestión húmeda. Ambas técnicas pueden dar resultados comparativos si se conducen adecuadamente. Es necesario indicar sin embargo, que existen excepciones. El B se puede perder por volatilización durante el proceso de digestión húmeda. Normalmente se pueden obtener contenidos más altos de Al, Fe y Zn (particularmente para tejidos altos en Si) cuando la muestra se prepara por digestión húmeda comparado con la digestión seca. Elementos como el As, Pb y Se se pueden perder del tejido por volatilización durante la digestión

seca. Como se puede ver, se debe escoger el método de digestión de la muestra de acuerdo a los elementos que se van analizar así como al contenido de otros elementos en el tejido.

### Métodos para expresar el contenido de nutrientes en los tejidos

La concentración de N, P, K, Ca, Mg y S en los tejidos se expresa como porcentaje (%) en base a peso seco. En forma similar los micronutrientes B, Cl, Cu, Fe, Mo, Mn y Zn se expresan en partes por millón (ppm). Usando unidades del sistema internacional, los elementos mayores se expresan en gramos/kilogramo (g/kg) y los cationes en centimoles/kilogramo (cmol/kg). Los micronutrientes se pueden expresar como microgramos/gramos (ug/g) o miligramos/kilogramos (mg/kg).

Normalmente los elementos mayores se expresan en porcentaje con dos dígitos después del punto decimal (0.00%). Los micronutrientes se expresan en ppm, concentraciones mayores a 10 ppm se expresan como números enteros, concentraciones mayores que 1 ppm pero menores que 10 ppm se expresan con un lugar después del punto decimal (0.0) y las concentraciones menores a 1 ppm se

expresan con dos lugares después del punto decimal (0.00). La Tabla 3 compara la presentación de los nutrientes en diferentes unidades.

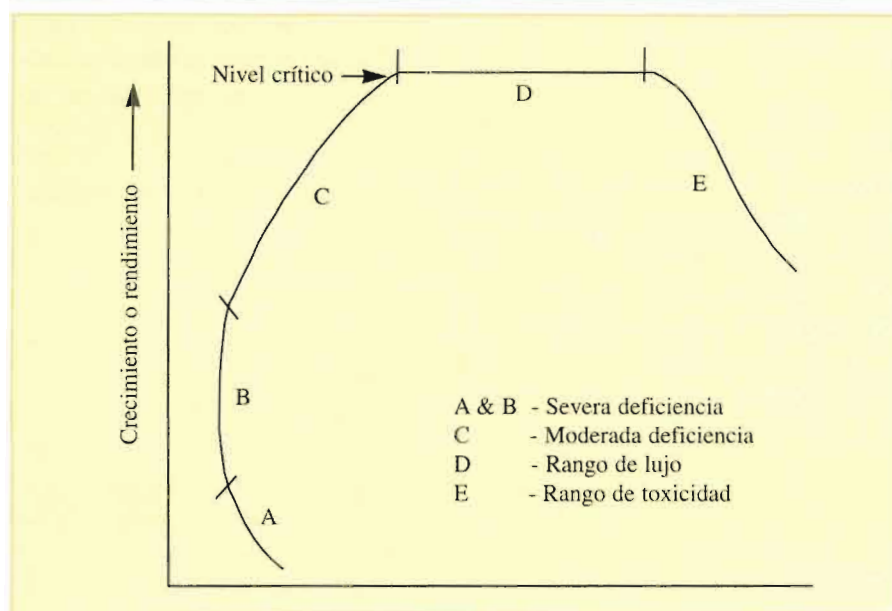
### Interpretación de los resultados

Al inicio, un programa de interpretación del análisis foliar busca relacionar los resultados con valores simples como la concentración crítica o concentración estándar de cada nutriente para el cultivo en estudio. Cuando se tiene suficiente experiencia es preferible interpretar los resultados dentro de un juego de datos que definen un rango completo de concentraciones que van desde la deficiencia hasta el exceso. Estos datos interpretativos se pueden obtener de curvas de respuesta como la que se presenta en la Figura 6 y en las Tablas 4, 5 y 6.

La forma de la curva de la parte izquierda de la Figura 6 (secciones A, B y C) se conoce como efecto Steenbjerg. En la sección A de la curva se observa un incremento en el contenido de nutrientes mientras más bajo es el crecimiento o rendimiento del cultivo. Este comportamiento confunde fácilmente en la interpretación. Este fenómeno resulta de la combinación de efectos producidos por la reducción de la materia seca en la con-

**Tabla 3. Métodos para expresar la concentración de nutrientes en los tejidos de las plantas (concentraciones expresadas en base a materia seca).**

Elemento	%	g/kg	cmol(+)/kg	cmol/kg
N	3.15	31.50	225	225
P	0.32	3.20	---	---
K	1.95	19.50	50	50
Ca	2.00	20.00	25	50
Mg	0.48	4.80	10	20
	ppm	mg/kg		mmol/kg
B	20	20	---	1.85
Cu	12	12	0.09	0.19
Fe	111	111	0.66	1.98
Mn	55	55	0.50	1.00
Zn	33	33	0.25	0.50



**Figura 6. Relación entre el crecimiento de la planta o el rendimiento y el contenido de nutrientes en la planta.**

**Tabla 4. Niveles de N, P y K foliar propuestos en varios países productores de café (% en base a materia seca).**

Nivel	Elemento	Brasil	Colombia	Costa Rica
Deficiente	N	---	< 2.0	2.0
Bajo	N	2-2.5	2.0-2.5	2.0-2.3
Medio	N	2.6-3.0	2.5-3.0	2.3-2.8
Alto	N	> 3.0	> 3.0	> 2.8
Deficiente	P	---	--	<0.09
Bajo	P	0.05-0.1	>0.11	0.09-0.12
Medio	P	0.11-0.15	0.11-0.15	0.12-0.2
Alto	P	> 0.15	> 0.15	> 0.2
Deficiente	K	---	1.1	<1.0
Bajo	K	1.5-2.0	1.1-1.5	1.0-1.7
Medio	K	2.1-2.5	1.5-1.8	1.7-2.7
Alto	K	> 2.5	> 1.8	> 2.7

**Tabla 5. Niveles foliares de Ca y Mg propuestos en varios países productores de café (% en base a materia seca).**

Nivel	Elementos	Brasil	Colombia	Costa Rica
Deficiente	Ca	---	---	< 0.8
Bajo	Ca	1.0-1.2	---	-
Medio	Ca	1.21-1.5	0.7-1.3	0.8-1.1
Alto	Ca	> 1.5	> 1.3	1.1-1.7
Deficiente	Mg	---	> 0.16	< 1.7
Bajo	Mg	0.1-0.2	0.16	0.1-0.2
Medio	Mg	0.21-0.4	0.35	0.2-0.35
Alto	Mg	> 0.4	> 3.39	> 0.35

concentración de elementos (la pequeña cantidad de materia seca concentra los elementos en los tejidos).

Se puede fácilmente llegar a una interpretación errada de los resultados si la persona que inter-

preta los análisis no está familiarizada con las relaciones entre la acumulación de materia seca y la concentración de elementos.

El nivel crítico define la concentración de equilibrio de un nutriente en el tejido. A concentraciones menores del nivel crítico se presenta la deficiencia. Es difícil usar este valor único cuando el resultado del análisis es considerablemente más alto o más bajo que este valor. Varios investigadores han sugerido utilizar una zona de transición que designe un rango de concentración entre la deficiencia y la suficiencia. Varios autores han definido este rango como el "rango crítico de nutrientes". Este rango se localiza en la zona de transición y define una zona con concentraciones en las cuales se puede trabajar con seguridad.

Para utilizar los resultados del análisis foliar en el diagnóstico nutricional, usando los niveles críticos o los rangos de suficiencia, es necesario que la parte de la planta muestreada y el tiempo de muestreo sean idénticos a aquellos que se utilizaron para desarrollar la norma. Se pueden encontrar diferencias en la concentración de nutrientes en el tejido si existen diferencias en la parte de la planta muestreada, estado de crecimiento, genotipo, etc. Por esta razón estas técnicas de interpretación son útiles solamente cuando se cumple con estos requisitos.

Un concepto bastante nuevo en la interpretación del análisis foliar es el sistema denominado DRIS, siglas en inglés del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (Diagnosis and Recommendation Integrated System). La técnica de interpretación DRIS se basa en la comparación de relaciones entre elementos con normas establecidas. El método DRIS se diseñó para: 1) Lograr un diagnóstico válido a

**Tabla 6. Niveles foliares de S en dos países productores de café (% en base a materia seca).**

Nivel	Brasil	Costa Rica
Bajo	0.1-0.15	< 0.2
Medio	0.16-0.25	0.2
Alto	> 0.25	---

pesar de la edad de la planta o el tipo del tejido 2) Ordenar los nutrientes desde el más limitante al menos limitante y 3) Enfatizar la importancia del balance de nutrientes.

Se ha comparado el concepto DRIS de interpretación de análisis foliar con el método de rango de suficiencia y nivel crítico y se ha observado que muchos casos el método DRIS no fue mejor que las otras técnicas. Sin embargo, se considera que cada uno de estos métodos tienen sus desventajas y la mejor forma de utilizarlos es usándolos juntos.

Aparentemente el método DRIS trabaja mejor en los extremos del rango de suficiencia, identificando que elemento o que balance de elementos no es adecuado. El método es menos útil cuando el contenido de nutrientes está en el centro del rango de suficiencia. Se ha observado también que la técnica DRIS no es completamente independiente de la localización o el tiempo de muestreo y por esta razón también se puede mal interpretar los datos DRIS.

Ninguno de los métodos interpretativos discutidos son infalibles y solamente la experiencia permite una adecuada interpretación de cualquiera de los métodos. La persona a cargo de la interpretación debe utilizar todas las herramientas secundarias disponibles, incluyendo el análisis de suelo, para determinar el estado de un nutriente en la planta y determinar el tratamiento correctivo adecuado.

### Utilización de los análisis foliares

La mayoría de los agricultores y técnicos utilizan el análisis foliar principalmente como una herramienta de diagnóstico que les permite determinar que elemento(s) se encuentra por debajo o por encima de la concentración óptima para el crecimiento normal del cultivo.

La interpretación se inicia estableciendo si el nivel de nutrientes es suficiente o no. El siguiente paso consiste en determinar porque existe la insuficiencia y especifica la forma de corregirla. Finalmente determina como prevenir que la insuficiencia aparezca en el siguiente cultivo.

Si se espera hacer un buen diagnóstico y lograr una recomendación se necesitan más herramientas que solamente el simple análisis foliar. La mayoría de los programas de diagnóstico y recomendación solicitan un cuestionario completo de preguntas referentes a la historia del cultivo que debe ser adjuntado a los resultados del análisis. El cuestionario completo describe las circunstancias en las cuales el cultivo esta creciendo y provee de pistas o guías valiosas para interpretar los resultados y hacer la recomendación para corregir la insuficiencia.

Por ejemplo, si se ha confirmado por medio del análisis foliar que el Mg es deficiente, la persona encargada del diagnóstico debe determinar el porque existe la deficiencia y que pasos se deben tomar para corregirla. Las acciones correctivas deberán ser determinadas después de medir el pH y el nivel de Mg

disponible en el suelo. El añadir Mg al suelo no será efectivo si el pH es menor que 5.4 o si el cultivo se encuentra bajo un largo período de estrés. Ambas condiciones reducen significativamente la absorción de Mg por las raíces de las plantas. Factores como: el análisis de suelo, fertilizante aplicado, condiciones generales del cultivo, etc. son vitales para utilizar eficientemente los resultados del análisis foliar. La información reciente referente al análisis de suelo es particularmente útil. Por esta razón se deben tomar muestras de suelos al mismo tiempo y en la misma área donde se están tomando las muestra foliares.

Una técnica muy útil pero poco utilizada con el análisis foliar es el seguimiento o monitoreo del estado nutricional del cultivo. Esta técnica consiste en seguir la concentración de nutrientes en el cultivo a través del tiempo. El objetivo de esta técnica es el de regular las prácticas culturales para mantener la concentración de elementos dentro de los rangos de suficiencia. Esto también permite determinar cuando se están desarrollando insuficiencias de modo que se puedan tomar medidas correctivas antes que los problemas nutricionales reduzcan el rendimiento total o la calidad del cultivo.

### Bibliografía

- Bornemizsa, E. 1992. Calibración y correlación del análisis de suelos y plantas con énfasis en el cultivo del café. En: ANACAFE-INPOFOS. Seminario de Fertilización y Nutrición del Café. Guatemala, Guatemala. pp. 20-25
- Mala volta, E. 1992. Nutrición Mineral del Café. En: ANACAFE-INPOFOS. Seminario de Fertilización y Nutrición del Café Guatemala, Guatemala. pp. 26-42.
- Jones, J. B., B. Wolf, and H. Mills. 1991. Plant Analysis Handbook. Micro-Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia, USA. 22.