

Métodos de diagnóstico nutricional utilizados en la gestión de la fertirrigación de los cultivos

Eymar, E.; Frutos, I.; Cadahía, C.

Dpto. Química Agrícola. Facultad de Ciencias C-VII.
Universidad Autónoma de Madrid.

En este artículo se describen y se dan ejemplos de algunas de las herramientas de diagnóstico nutricional más importantes y que permiten resolver la toma de decisiones para hacer una fertirrigación racional.



Foto superior: toma de muestra para el análisis de suelo.

Foto inferior: arándano con deficiencia de magnesio.

Para conseguir el máximo rendimiento de un cultivo es necesario que todos los factores, tanto controlables como incontrolables, que afectan al crecimiento, se encuentren en un nivel óptimo. En un cultivo en el que se está utilizando la técnica de fertirrigación, uno de los factores controlables y que presenta una importancia decisiva es la dotación y frecuencia de los aportes de nutrientes. El control de este factor se traduce en saber qué composición debe tener la disolución fertilizante (concentración de nutrientes) a lo largo del ciclo de cultivo. En la práctica esto no es sencillo debido a que se debe disponer de sistemas de diagnóstico que permitan obtener información dinámica y con tiempo suficiente para realizar las correcciones de la disolución nutritiva en el cabezal de riego. Para realizar un diagnóstico nutricional se establecen dos fases (Lucena, 1997):

- Adquisición de datos. Esta fase incluye:
 - Información previa del suelo y del cultivo.
 - Toma de muestras.
 - Preparación de las muestras y análisis.
- Interpretación de resultados analíticos. Esta interpretación necesita el uso de normas para realizar la comparación.

En general, y aunque el objetivo es realizar los diagnósticos nutricionales con el menor número de muestras y análisis, casi todos los métodos de diagnóstico utilizados van a tener en cuenta todas las variables existentes en el proceso. En la **figura 1** se definen los diferentes materiales que están involucrados en el proceso de fertirrigación y se resumen los dos tipos de herramientas de diagnóstico más habituales.

Herramientas de diagnóstico edáficas

Se basan en información analítica del suelo o sustrato. Incluyen la evaluación del nivel de nutrientes disponibles para la planta, la salinidad de la disolución del suelo y la cuantificación de posibles elementos tóxicos presentes en el suelo.

Análisis de caracterización del suelo

Implica conocer las características básicas sobre su fertilidad al inicio del ciclo de cultivo. Un análisis de caracterización básica para un suelo que se va a fertirrigar incluye determinaciones como: textura, pH, materia orgánica, carbonatos totales y en el caso de que haya carbonatos, la determinación de caliza activa y la conductividad eléctrica. Si ésta es elevada ($> 2 \text{ dS m}^{-1}$ en el extracto saturado) se procede a la determinación de los iones solubles en el extracto saturado (nitratos, sulfatos, bicarbonatos, cloruros, sodio, calcio, magnesio). Los elementos nutrientes asimilables P, K, Ca y Mg obtenidos tras su extracción con determinadas disoluciones extractoras nos proporcionan información sobre la capacidad que tiene ese suelo o sustrato de liberar e intercambiar los nutrientes a la disolución del suelo. En cuanto a los micronu-

trientes, la determinación de B del suelo y del agua de riego es fundamental para comprobar los niveles de B a añadir en la disolución fertilizante. En el **cuadro I** se esquematiza un boletín de análisis de caracterización básica de un suelo (Cadahía y Lucena, 2005). Todos los análisis deben estar calibrados con referencias que nos permitan realizar un adecuado diagnóstico del suelo. Precisamente este es el mayor problema. Las mejores y más apropiadas calibraciones se obtienen a partir de ensayos de campo en los que se han observado las respuestas de rendimiento y calidad de las cosechas frente a los niveles de nutrientes en el suelo. En este sentido hay bibliografía específica (Cadahía y col., 2005; López-Ritas y López Melida, 1985; Junta de Extremadura, 1992, entre otros).

Análisis y seguimiento de la disolución del suelo

El análisis de la disolución del suelo o sustrato y su seguimiento durante el ciclo de cultivo constituye la esencia del diagnóstico edáfico en fertirrigación, y si se realiza correctamente se pueden establecer las decisiones más adecuadas de aporte de fertilizantes. En este sentido las metodologías más utilizadas son:

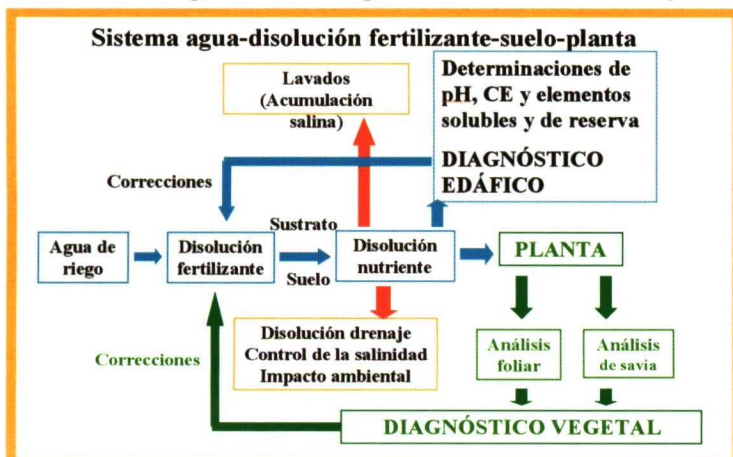
1. Extracto saturado del suelo con la disolución fertilizante seleccionada al inicio del cultivo.
2. Extracción de la disolución sin dilución mediante sondas de succión.

Herramientas de diagnóstico vegetales

Basadas en la información obtenida en el análisis de diferentes órganos vegetales: hoja (foliar), peciolo, flor, fruto o savia. La parte muestreada debe reflejar el estado de nutrición de la planta, debe estar bien

Figura 1.

Proceso de fertirrigación. Sistema agua-disolución fertilizante-suelo-planta.



Cuadro I.

Boletín de análisis de caracterización básica de un suelo.

Análisis nº:			Localización:					
Fecha de entrada:			Profundidad:					
Cultivo:								
Sistema de riego: Fertirrigación								
Análisis de caracterización			Repr. gráfica	muy bajo	bajo	normal	alto	muy alto
Textura del suelo:			pH					
arena (%):			Materia Orgánica					
Granulom. limo (%):			Carbonatos					
arcilla (%):			Caliza activa					
Determinaciones	Método	Resultado	C.E.					
pH	pasta sat.		Fósforo (P)					
Materia Orgánica (%)	oxidación		Calcio (Ca)					
Caliza total (%)	calcinómetro		Magnesio (Mg)					
C.E. (dS·m ⁻¹)	ext. sat.		Potasio (K)					
Fósforo (mg·Kg ⁻¹)	Olsen		Boro (B)					
Potasio (mg·100 g ⁻¹)	AcNH ₄		N total					
Calcio (mg·100g ⁻¹)	AcNH ₄		Relación C/N					
Magnesio (mg·100 g ⁻¹)	AcNH ₄		Sodio (Na)					
Sodio (mg·100 g ⁻¹)	AcNH ₄		R.A.S.					
Boro (mg·L ⁻¹)	Agua		P.S.I.					
Determinaciones especiales			Salinidad	Método	Resultado			
C.I.C. (cmol ⁺ ·Kg ⁻¹)	AcNa		Cloruros (meq·L ⁻¹)	ext. sat.				
Nitrógeno total (%)	Dumas		Sulfatos (meq·L ⁻¹)	ext. sat.				
Caliza activa (%)	Drouineau		Magnesio (meq·L ⁻¹)	ext. sat.				
Relación C/N			Sodio (meq·L ⁻¹)	ext. sat.				
			Calcio (meq·L ⁻¹)	ext. sat.				
			Potasio (meq·L ⁻¹)	ext. sat.				
			R.A.S.					
			P.S.I. (%)					
			NO ₃ (meq·L ⁻¹)	ext. sat.				
Diagnóstico, enmiendas y recomendaciones de abonado								

A mayor información analítica sobre el suelo, agua, disolución del suelo y planta, se logrará un diagnóstico nutricional más acertado y una mejor adecuación de la disolución fertilizante a lo largo del ciclo

definida la época de muestreo, la edad y situación en la planta.

En general el análisis foliar es el más utilizado, ya que las hojas son los órganos metabólicamente más activos de la planta, por lo que las alteraciones nutricionales les afectarán en mayor medida. No obstante, el análisis de la hoja proporciona unos niveles de nutrientes acumulativos a lo largo del tiempo y no nos permite establecer el diagnóstico de forma más dinámica como podría suceder con el análisis de savia o análisis del tejido conductor.

Existen análisis bioquímicos y enzimáticos que se pueden utilizar para ayudar a definir si un nutriente está realizando correctamente su función en la planta, aunque estas determinaciones dependen de otros factores y elementos y muestran una elevada variabilidad.

En el **cuadro II** se hace una comparación de métodos de diagnóstico vegetal (Cadahía y Lucena, 2005).

Con el análisis foliar se desarrollan toda una serie de aproximaciones y métodos de diagnóstico dinámicos entre los que destacan el método DOP (Desviación del Óptimo Porcentual), DRIS (Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación), CND (Diagnóstico Nutriente Composicional) y en Méjico se ha utilizado el Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI) (Soto y col., 2003).

Figura 2.

Fósforo, potasio, calcio y magnesio en el extracto saturado del sustrato.

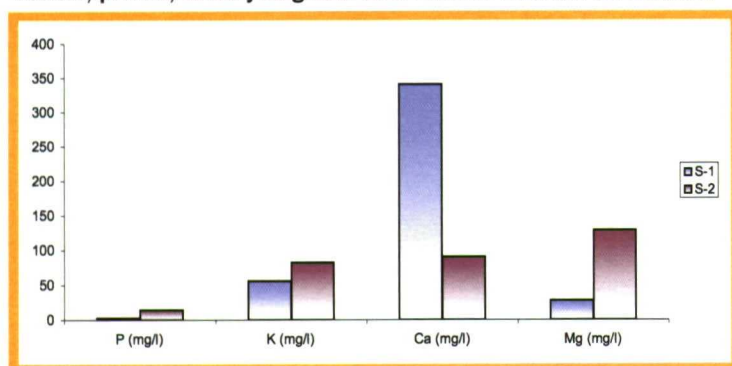


Figura 3.

Concentración foliar en porcentaje de materia seca de N, P, K, Ca y Mg.

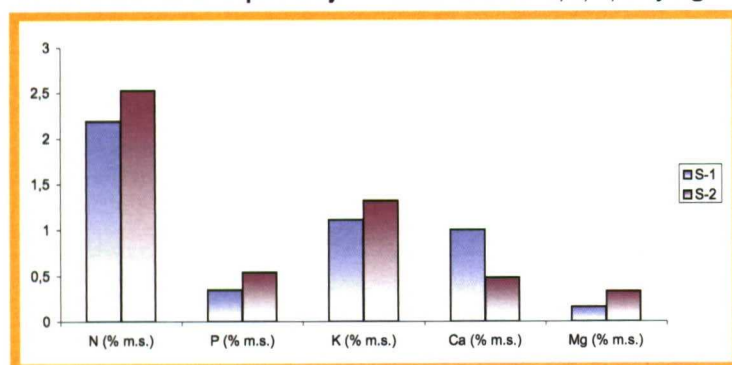


Figura 4.

Índices DRIS y orden limitante DRIS para las plantas cultivadas en los sustratos 1 y 2.

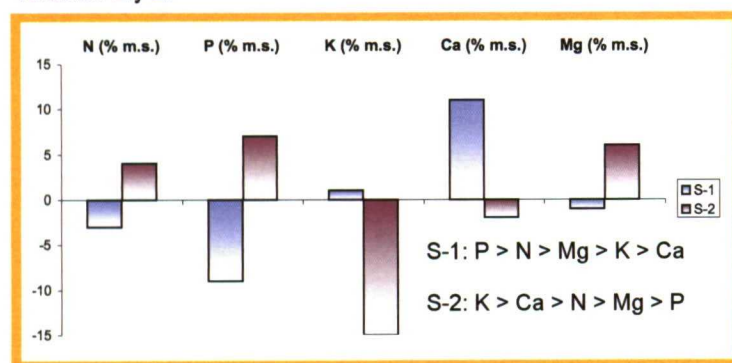
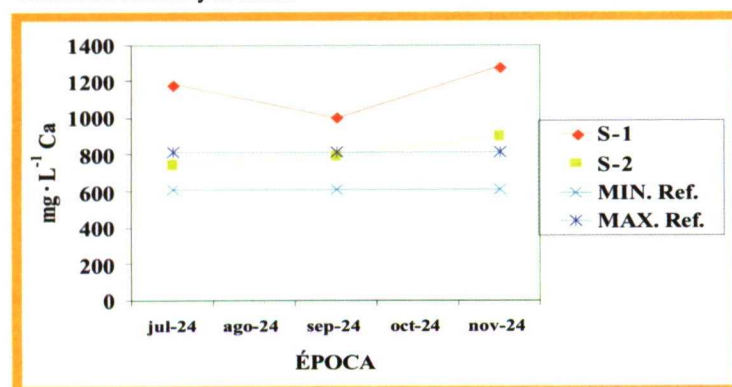


Figura 5.

Concentración de calcio en savia y comparación con los niveles de referencia mínimo y máximo.



Cuadro II.

Comparación de métodos de diagnóstico vegetal.

Método	Variabilidad en el muestreo	Manejo de muestras	Análisis	Normas
Visual	Baja	No necesario	Simple	Fotos, SPAD
Foliar Total	Media	Necesita normalización	Necesita BPL y CIL	Universales o locales
Activo	Alta		Necesita más estandarización	Pocas
Savia	Media	Variable	Difícil de estandarizar	Necesita referencias internas
Bioquímico	Muy alta	Muy variable		

SPAD: medidor de clorofilas. BPL: buenas prácticas de laboratorio. CIL: comparaciones inter-laboratorio.

Una vez obtenidos los datos analíticos se procede a realizar la interpretación de los mismos con el fin de tomar la decisión más adecuada en el suministro de fertilizantes en el cabezal.

Ejemplo de diagnóstico

Como ejemplo se muestran algunos resultados obtenidos por nuestro grupo de investigación para resaltar la utilidad de algunos de los sistemas mencionados, en concreto el del extracto saturado del suelo como herramienta edáfica, el foliar mediante el método DRIS y el análisis de savia. El cultivo seleccionado para ilustrar la información de cada herramienta es *Cupressus glabra* (Farrar y col., 2000).

En cuanto al extracto saturado del suelo (análisis de la disolución del suelo) (figura 2), se observa que el suelo 1 (s-1) tiene una menor concentración de fósforo (P) y magnesio (Mg) y mayor concentración de calcio que el suelo 2 (s-2).

Después de realizar el análisis foliar se representan los valores de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (figura 3). Establecemos el sistema DRIS como metodología de diagnóstico. Los índices DRIS se calculan de la siguiente manera:

1. Los índices para cada elemento es la media de las funciones parciales que se obtienen de cada elemento con los demás. Si ese elemento está en el numerador de la relación se suma y se resta si el elemento está en el denominador:

- Índice N: $[f(N/K) - f(P/N) - f(Ca/N) - f(Mg/N)]/4$
- Índice P: $[f(P/N) + f(P/K) - f(Ca/P) - f(Mg/P)]/4$
- Índice K: $[-f(N/K) + f(P/K) + f(Ca/K) + f(Mg/K)]/4$
- Índice Ca: $[f(Ca/N) + f(Ca/P) + f(Ca/K) - f(Mg/Ca)]/4$
- Índice Mg: $[f(Mg/N) + f(Mg/P) + f(Mg/K) + f(Mg/Ca)]/4$

2. Las funciones parciales se calculan así:

$$f(A/B) = 100 \left[\frac{(A/B)}{a/b} - 1 \right] \times (10/cv) \quad \text{si } A/B > a/b$$

$$f(A/B) = 100 \left[1 - \frac{(a/b)}{(A/B)} \right] \times (10/cv) \quad \text{si } A/B < a/b$$

donde: A/B es la relación de nutrientes en hoja de los tratamientos estudiados.

La facilidad de manejo y rapidez con la que se realiza el análisis de savia hace que sea uno de los materiales con más perspectivas de futuro para lograr un diagnóstico nutricional más dinámico. No obstante, se deben conseguir más referencias o normas para el diagnóstico de savia en diferentes cultivos

a/b es la relación media de referencia de los dos nutrientes.
cv es el coeficiente de variación de a/b (referencia).

En el **cuadro III** se representan los valores de referencia de los nutrientes y sus relaciones (a/b), así como sus coeficientes de variación. Los valores de referencia corresponden a la población de referencia que proporciona una mayor producción y/o calidad (Mills y Benton Jones, 1996).

En la **figura 4** se representan los índices DRIS obtenidos a partir de los valores de concentración foliar de la **figura 3** y de las normas de referencia extraídas de nuestra base de datos. El valor más negativo del índice DRIS implica que es el nutriente más limitante. Así se pueden ordenar los nutrientes de más a menos limitantes en forma de desigualdades. Como se observa en la **figura 4** el orden de nutrientes de más a menos limitante sería, para s-1: $P > N > Mg > K > Ca$; para el s-2 el orden de menos a más limitante sería: $K > Ca > N > Mg > P$.

Esta interpretación obtenida por el método DRIS es coincidente con los resultados obtenidos tras el análisis de la disolución del sustrato; es decir mediante el método DRIS se confirma lo que decía el extracto



Toma de muestras para análisis de nutrientes en peciolo y hoja de viña.

Cuadro III.

Comparación de medias y coeficientes de variación (cv) para los nutrientes y relaciones entre ellos en hoja de la población de alta producción y calidad y baja producción y calidad para plantaciones de 1 año de *Cupressus glabra*.

Parámetro	Población de alta calidad		Población de baja calidad	
	Media	cv (%)	Media	cv (%)
N (% materia seca)	2.70	9.9	1.80	25.9
P (% materia seca)	0.62	15.2	0.34	25.5
K (% materia seca)	1.86	25.6	1.37	21.2
Ca (% materia seca)	0.87	55.2	1.05	14.8
Mg (% materia seca)	0.28	23.3	0.14	44.7
N/P	4.42	14.7	5.65	40.0
K/N	0.70	28.6	0.83	41.8
Ca/N	0.31	51.7	0.62	29.6
N/Mg	9.88	23.8	16.73	72.1
K/P	2.97	15.0	4.09	12.2
Ca/P	1.48	62.0	3.18	12.7
P/Mg	2.21	9.5	2.71	65.5
K · Ca	1.46	39.6	1.47	34.4
K/Mg	0.55	12.2	11.31	42.3
Ca/Mg	0.23	67.6	8.93	47.2

saturado: el s-1 puede producir problemas de falta de P, por lo que se debería incrementar el aporte de fósforo en la disolución fertilizante.

Por último, si realizamos un análisis de savia se pone de manifiesto que el nivel de calcio encontrado en la savia de las plantas que crecen en s-1 superan los niveles mínimo y máximo de los niveles de referencia obtenidos (**figura 5**), lo que se corresponde con los altos niveles del sustrato. Los niveles de calcio de las plantas crecidas en s-2 están dentro de los intervalos de las referencias en todas las épocas consideradas.

Conclusión

Se puede decir que los diferentes materiales analizados muestran una coherencia a la hora de establecer el diagnóstico. Esto es muy importante para tomar una decisión de abonado y para confirmar que el método de diagnóstico puede funcionar en el campo. Estos sistemas, aunque mucho mejores que la utilización de criterios carentes de base científica, no permiten en el día de hoy establecer la posibilidad de gestionar a tiempo real el estado nutritivo del árbol. Para conseguir esta gestión se utilizan sensores de medida de nutrientes en continuo, pero aún se están desarrollando y su aplicabilidad en campo está aún por confirmar. La facilidad de manejo y rapidez con la que se realiza el análisis de savia hace que sea uno de los materiales con más perspectivas de futuro para lograr un diagnóstico más dinámico. ■

Bibliografía

- Cadahía, C. y Lucena, J.J. 2005. Diagnóstico de nutrición y recomendaciones de abonado. En Cadahía, C. (coord.): "Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales". p. 183-257. Mundi-Prensa. Madrid.
- Eymar E, Cadahia C, Sanchez A, Lopez-Vela D. 2000. Nutritional diagnosis based on sap analysis for containerized *Cupressus glabra* and *Cupressocyparis leylandii* with fertigation systems. Communications in Soil Science and Plant Analysis 31 (9-10): 1225-1248.
- Junta de Extremadura. 1992. Interpretación de análisis de suelo, foliar y agua de riego. Consejo de abonado (normas básicas). Mundi-Prensa. Madrid.
- López Ritas, J.; López Melida, J. 1985. El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio. Mundi-Prensa. Madrid.
- Lucena, J.J. 1997. Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants. A critical review. Acta Horticulturae, 448: 179-192.
- Mills, H.A.; Benton Jones, J. 1996. Plant analysis handbook II. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. MicroMacro Publishing, Inc. Athens.
- Soto, JMM; Uvalle-Bueno, JX.; Sánchez Chávez, E.; Yañez Muñoz, RM.; Montes Domínguez, F. 2003. Diagnóstico diferencial integrado: una herramienta para el uso racional de fertilizantes. Nutri-Fitos, 2: 152-156.

