

La espectrorradiometría como nueva técnica de diagnóstico nutricional

■ Miguel Ybarra Lalor¹ y Antonio Dominguez Moreno².

¹ Ingeniero agrónomo. Asesor y consultor agronómico.

² Dr. Ingeniero agrónomo. Departamento de Ciencias Agroforestales. Universidad de Huelva.

Este trabajo aborda la aplicación de la espectrorradiometría como técnica rápida, no destructiva y fiable para caracterizar a nivel nutricional muestras vegetales de cítricos. Se han identificado las bandas de longitud de onda en el infrarrojo cercano donde las firmas espectrales de las hojas de los cítricos pueden relacionarse con la variedad, tipo de hoja (según la brotación) y nivel foliar de nitrógeno, fósforo y potasio.

En la actualidad, la fertilización constituye una de las operaciones de cultivo centrales en cualquier explotación agrícola, especialmente en las intensivas, ya que se trata de uno de los principales factores relacionados con la productividad. En este sentido, en los últimos treinta años se ha producido un considerable aumento del consumo de fertilizantes en la agricultura (Domínguez A., 1989), que ha planteado también nuevos problemas como es un importante incremento de los costos de producción y un mayor efecto contaminante de la actividad agrícola. En este sentido, las nuevas tendencias en la agricultura (agricultura controlada, agricultura sostenible, producción integrada) consideran los sistemas agrícolas como modelos sostenibles y rentables y, sin renunciar al uso de una herramienta agrícola tan importante como la fertilización, proponen aumentar su eficiencia. Con ello se pretende conseguir un estado nutricional óptimo en los cultivos (conducente a la máxima productividad) y minimizar las pérdidas de fertilizantes (normalmente por lixiviación), que constituye una de las acciones impactantes más importantes de la actividad agrícola.

Para evaluar el estado nutricional de las plantaciones, los métodos de diagnóstico más utilizados se basan en el análisis químico de muestras vegetales (foliar, savia, flores y frutos principalmente). Estas técnicas presentan limitaciones como su elevado coste, dilatado plazo de respuesta analítica y calidad de las interpretaciones. Para evitarlas, en la actualidad se están desarrollando nuevas técnicas de diagnóstico nutricional de cultivos, entre las que cabe destacar la espectrorradiometría.

La espectrorradiometría es la medida del tipo y cantidad de radiación que emite un cuerpo al hacer incidir una radiación electromagnética sobre él. Sus moléculas absorben parte de



Mediante el análisis de firmas espectrales, se ha estudiado cómo afecta la variedad, tipo de hoja y nivel foliar de nitrógeno, fósforo y potasio al comportamiento espectral de los cítricos.

La pasión por la Agricultura nos anima



NUTRICIÓN VEGETAL
FUNDADA EN 1895

MICROELEMENTOS Y QUELATOS
ABONOS LIQUIDOS
NUTRIENTES BIOESTIMULANTES
MATERIAS ORGANICAS ACIDOS HUMICOS
AMINOACIDOS
ABONOS FOLIARES
VARIOS

Flowal Calcio
Flowal Cinc
Flowal Magnesio
Flowal Manganeso
Quelartal-Fe
Microtal
Maxifer
Nutriartal Quelatos-R
Calcital
Microponic
Microponic-GH
Microponic Hierro
Microponic-SM 54 ...

Abonos Complejos líquidos claros
ácidos y Soluciones Nitrogenadas
Acido Fosfórico
Acido Nítrico ...

Fosfital
Fosfital-Extra
Fosfital con Microelementos
Fosfital-Magnesio
Fosfital-Calcio
TRONVER
Enraizal
Algaton
Dulzee ...

Fertiorgan Boro
Fertiorgan Calcio
Fertiorgan Hierro
Fertiorgan líquido con
microelementos
Fertiorgan Molibdeno
Fertiorgan Humus 15
Fulvital ...

Biamin
Aminotal
Aminotal super
Aminotal Calcio
Rianfol ...

Foliartal 0-8-12
Foliartal 0-20-10
Foliartal 12-4-6 +1% MgO
Foliartal 14-6-5
Foliartal 15-8-4
Foliartal Calcio
Foliartal Magnesio
Nutriartal olivo
Phoscal
L-24 ...

Polixal 20-8
Flowal Acid

TRONVER

PROTECCIÓN PARA SUS CULTIVOS



Ayude
a sus **CÍTRICOS** a defenderse
de la *Phytophthora*

Francisco R. Artal, S. L.

C/. Villa de Madrid, nº 14 - Pol. Ind. Fuente del Jarro
46988 PATERNA (Valencia)
Tel.: 96 134 03 65 - Fax: 96 134 07 05
e-mail: infoartal@artal.net
abonos@artal.net
<http://www.artal.net>



**MAS DE 100 AÑOS AL SERVICIO
DE LA AGRICULTURA..., Y CONTINUAMOS**



Las medidas de radiancia espectral se realizaron usando un espectrorradiómetro portátil de campo.

esta energía aumentando su nivel energético por medio de transiciones, que pueden ser electrónicas, vibracionales y rotacionales (De la Torre, 2002). Estas dos últimas son muy específicas de cada enlace y, por lo tanto, de cada molécula, por lo que pueden ser utilizados como técnica de identificación (Coates, 2000). A partir de medidas de la radiación que emite un cuerpo pueden obtenerse unas curvas de reflectividad espectral para las principales cubiertas vegetales, que se denominan firmas o firmas espectrales (Riño, 1999; Chuvieco, 2002). Se ha comprobado que el espectro de emisión, especialmente en ciertas bandas o rangos de longitud de onda, puede servir para identificar especies, niveles de hidratación, situaciones de estrés nutricional, salino o senescencia. Trabajos previos muestran que las hojas ofrecen una alta reflectividad en el infrarrojo cercano, en claro contraste con la baja reflectividad que presenta en el espectro visible, y que cambios en su estructura o composición varían su espectro de emisión, por lo que esta banda podría resultar idónea para discriminar materiales vegetales y estados fisiológicos (Chen, 1998).

En el presente trabajo se han caracterizado diferentes estados fisiológicos en cítricos mediante el análisis de firmas espectrales. En particular, se ha estudiado cómo afecta la variedad, tipo de hoja (según la brotación de la que proceda) y nivel foliar de nitrógeno, fósforo y potasio al comportamiento espectral de los cítricos, y de esta manera, comprobar su validez para usarlo en el diagnóstico nutricional de plantaciones a tiempo real.

Material y métodos

Material vegetal

Para explorar la posibilidad de discriminar entre diferentes variedades de cítricos mediante la espectrorradiometría, se ha utilizado material vegetal correspondiente a las variedades de naranja Navelina, Lane Late y Valencia Late, procedente de la colección de variedades de cítricos de la Escuela Politécnica Superior de La Rábida de la Universidad de Huelva.

En nuestras áreas de cultivo los cítricos presentan varias brotaciones durante el año y las hojas de cada una de ellas presentan diferente posición relativa dentro del brote, están situadas sobre madera con diferente lignificación y muestran distinto tamaño, color y textura (más coriácea en hojas de primavera que en hojas de junio) (Legaz, 1995). De cada variedad se han muestreado dos árboles, tomándose de los mismos veinte hojas de la brotación de primavera y otras veinte de la brotación de junio.

Análisis foliar

Se han determinado los niveles foliares de nitrógeno, fósforo y potasio mediante análisis foliar, empleando los métodos oficiales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 1993). Se han realizado un total de doce análisis foliares, que incluían dos brotaciones por árbol (primavera y junio) en dos árboles de cada una de las tres variedades.

Medidas espectrorradiométricas

Las medidas de radiancia espectral se realizaron usando el Geophysical Environment Research modelo 2600 (GER-2600), un espectrorradiómetro portátil de campo. El GER 2600 es un espectroradiómetro multiespectral, de forma que su sensor puede registrar simultáneamente el comportamiento de los objetos en distintas bandas del espectro, en concreto a 611 longitudes de onda, que abarcan desde los 323,7 nm hasta los 2.514,76 nm, es decir, explora desde el visible (400-700 nm) hasta el infrarrojo de onda corta (1.300-2.500 nm), pasando por el infrarrojo cercano (700-1.300 nm). Se han determinado las firmas espectrales de todas las hojas muestreadas.

Para localizar los rangos de longitud de onda donde los cítricos presentan un comportamiento radiométrico diferencial en función de su estado fisiológico (tipo de hoja, variedad y estado nutricional N-P-K), se representaron gráficamente las observaciones de radiancia realizadas de todas las plantas analizadas, de forma individual y conjunta. Una vez localizados dichos rangos, para identificar con mayor precisión las longitudes de onda donde la respuesta espectral era mayor, se subdividieron los rangos en bandas de 10 nm de amplitud. De cada una de estas bandas se tomó la media de valores de radiancia observada para los análisis posteriores.

Resultados y discusión

Longitudes de onda más sensibles a los cambios fisiológicos

Tras analizar todas las firmas espectrales obtenidas, se observó que la mayor parte de la variabilidad radiométrica encontrada en hojas de cítricos se sitúa dentro del infrarrojo cercano (700-1.300 nm), en la línea con lo descrito anteriormente por otros autores (Chuvieco, 2002). Del mismo modo, dentro del infrarrojo cercano existían bandas



Mediante esta técnica se han podido identificar diferentes estados nutricionales en hojas de cítricos en relación a sus niveles foliares de nitrógeno, fósforo y potasio.

INNOVACIÓN

Maxi *fruit*
nmx

Inductor
al cuajado

sin
HORMONAS

INNOVAMOS PARA RENTABILIZAR SU TRABAJO



donde estas diferencias eran más acusadas, en concreto dos, una que iba desde 700 nm hasta 760 nm y otra desde 820 nm a 850 nm (**figura 1**).

Llegados a este punto, el siguiente paso ha sido intentar relacionar la variabilidad observada con las características del material vegetal estudiado (tipo de hoja, variedad y estado nutricional N-P-K).

Comportamiento espectral según el tipo de hoja

Tras analizar el comportamiento radiométrico de las hojas de cítricos de primavera y junio en las dos bandas, 700-760 nm y 820-850 nm

respectivamente, sólo se apreciaron diferencias estadísticamente significativas de radiancias entre ambos tipos de hojas en la banda comprendida entre 700 y 740 nm (**figura 2a**). Por ello, mediante esta técnica se han podido discriminar hojas con diferentes características, como son hojas de primavera y de junio.

Comportamiento espectral dependiendo de la variedad

Se ha comprobado que la banda más sensible para identificar la variedad vegetal en cítricos se sitúa entre los 700 y 710 nm. En esta banda se han observado diferencias significativas en las firmas espectrales de las variedades Navelina, Lane Late y Valencia Late.

Figura 1.

Firmas espectrales de hojas de cítricos pertenecientes a la variedad Valencia Late. Las bandas resaltadas en color verde corresponden a los rangos de longitud de onda 700-750 nm y 820-850 nm, donde mayor variabilidad se observa.

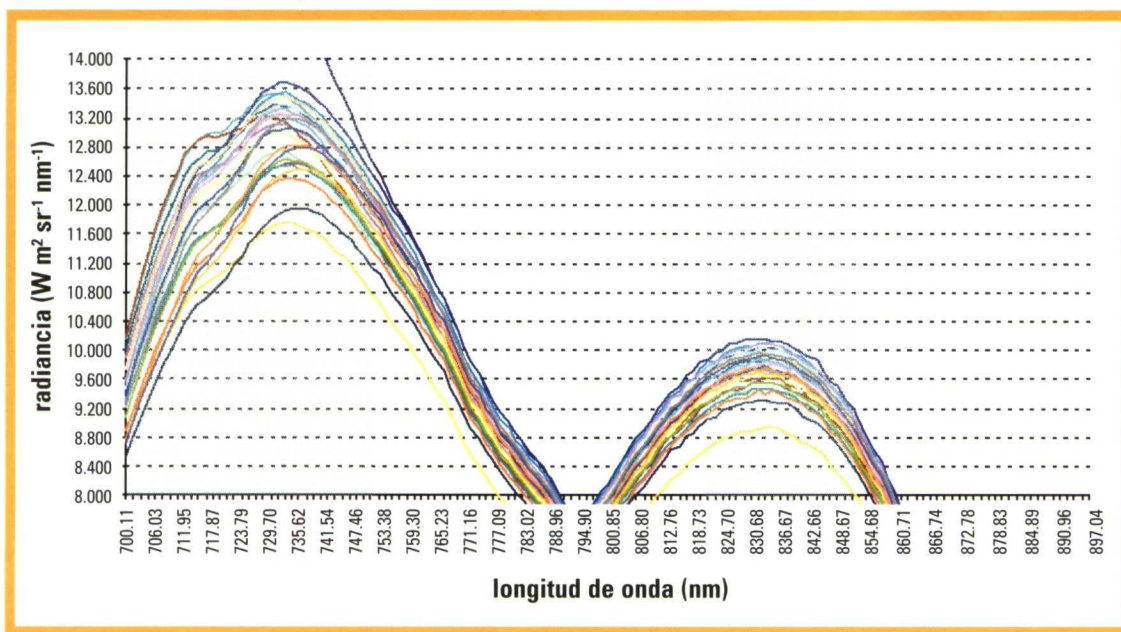
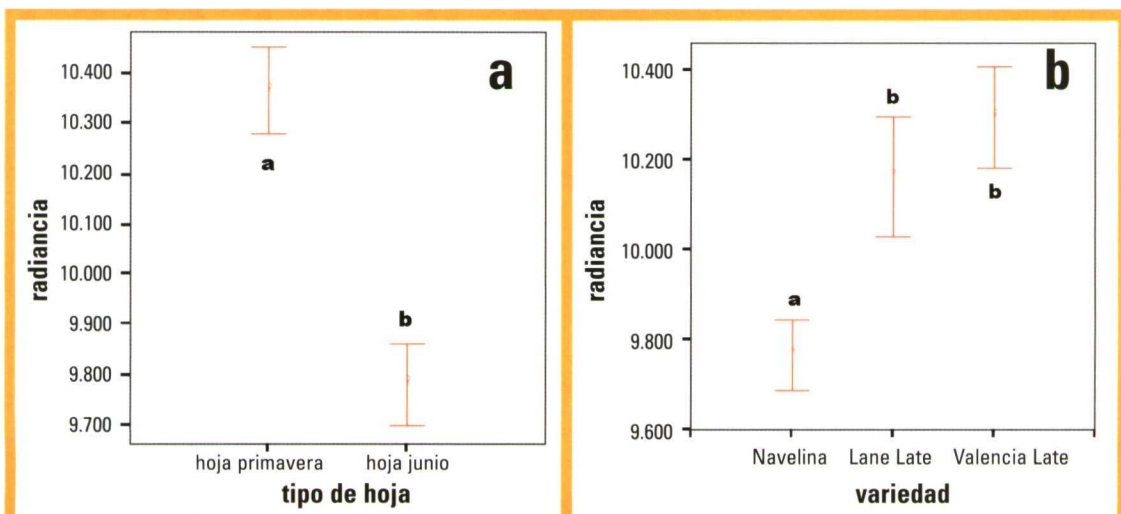


Figura 2.

Nivel medio de radiancia en la banda de longitud de onda 700-710 nm en hojas de cítricos. a) Según el tipo de hoja: hoja de primavera, y tipo de hoja 2: hoja de junio. b) Según la variedad: Navelina, Lane Late, Valencia Late.



Radiancia expresada en $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$. Tipo. Las barras indican el error típico de la media. Tratamientos acompañados con la misma letra indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

El rango comprendido entre 710 y 730 nm fue el que presentó la mayor capacidad para discriminar los niveles de nitrógeno en hojas de cítricos en base a la radiancia observada. El nivel de radiancia parece que sigue una relación inversamente proporcional al contenido foliar en nitrógeno, como se muestra en la **figura 3**.

Comportamiento espectral dependiendo del estado nutricional N-P-K

Con respecto a los niveles foliares de fósforo y potasio, el rango de longitudes que presentó la mayor capacidad para discriminarlos fue el comprendido entre 710 y 720 nm. Las hojas de los cítricos muestran valores de radiancia más bajos para niveles foliares medios-altos (P foliar comprendido entre 0,18 y 0,21%; y K foliar entre 1,7 y 2,05%), mientras que niveles foliares bajos o muy altos presentan valores de radiancia sensiblemente más elevados.

Para los tres macroelementos se han podido establecer funciones de regresión que relacionan el nivel foliar de N-P-K y su nivel de radiancia, aunque serían necesarios nuevos estudios para la validación de la técnica a nivel práctico.

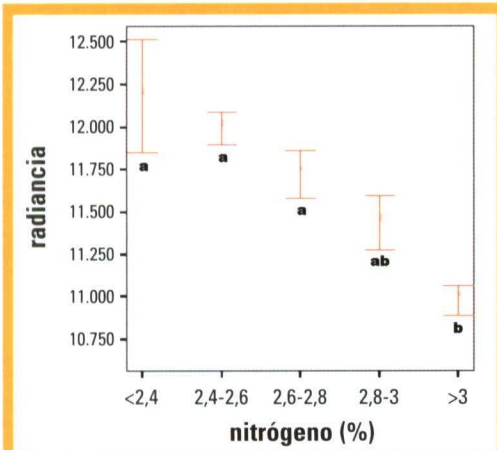
Se ha observado que las hojas de cítricos de la brotación de junio (las más jóvenes en el momento del muestreo) son las más adecuadas para la realización de estudios nutricionales, puesto que presentan una mayor correlación entre el estado nutricional y la radiancia observada.

Conclusiones

A nivel preliminar, consideramos que ésta podría ser una metodología válida para diagnóstico nutricional rápido, barato y no destructivo de material vegetal procedente de cítricos.

Figura 3.

Nivel medio de radiancia en la banda de longitud de onda 710-720 nm en hojas de cítricos de las variedades Navelina, Lane Late y Valencia Late dependiendo del nivel foliar de nitrógeno.



Radiancia expresada $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$. Las barras indican el error típico de la media. Tratamientos acompañados con la misma letra indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Se ha comprobado que la banda que presenta mayor capacidad de discriminación entre diferentes estados fisiológicos en hojas de cítricos se encuentra en el infrarrojo cercano, más concretamente en el rango de longitudes comprendido entre 700 y 740 nm. Las medidas radiométricas en esta banda permiten la diferencia-

ción entre hojas de diferentes brotaciones, en particular de la de primavera y de la de junio, y entre algunas variedades. Mediante esta técnica se han podido identificar diferentes estados nutricionales en hojas de cítricos en relación a sus niveles foliares de nitrógeno, fósforo y potasio. ■

Agradecimientos. Los análisis foliares utilizados en el presente trabajo han sido realizados gracias a la colaboración de Agriquem, S.L.

Bibliografía

- Coates J. (2000). Interpretation of infrared spectra, a practical approach. Encyclopaedia of Analytical Chemistry. Ed R.A. Meyers pp. 10815-10837.
- Chen, Z., Elvidge, C.D. y Groenvelde, D.P (1998). Monitoring of seasonal dynamics of arid land vegetation using AVIRIS data. Remote Sensing of Environment 65: 255-266.
- Chuvieco E. (2002). Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Ariel Ciencia.
- De la Torre F. (2002). Apuntes de espectrofotometría. Fonaments químics. Ed Univ. Girona.
- Domínguez A (1989). Tratado de fertilización. Ed Mundi-Prensa.
- Legaz F., Serna M.D., Ferrer P, Cebolla V., Primo-Millo E. (1995). Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de toma de muestras. Ed. Generalitat Valenciana
- Riño D., Vaughan P, Chuvieco E. (1999): Estimación del contenido de humedad en la Jara (Cistus ladanifer) a partir de radiometría de laboratorio". Teledetección Avances y Aplicaciones. Asociación Española de Teledetección - Papeles de la Diputación de Albacete, 92-95.
- VV.AA. (1993). Métodos Oficiales de Análisis. Tomo I. Ed. MAPA.. 782 pp.

Programas informáticos para la fruticultura



- > Costes de producción por parcela, cultivo, pie
- > Trazabilidad, Producción Integrada, EurepGAP
- > Control de almacén: compras, consumos, stocks
- > GPS: medición de fincas y trabajo con cartografía
- > Contabilidad y facturación
- > Agri-Pocket: recogida y consulta de datos in situ



REMITIR A :
 ISAGRI - C/ESPINOSA, 8 - 410
 46008 VALENCIA
 Tfno: 902 170 570. fax: 902 170 569.
 E-mail : isagri@isagri.es
 Internet : www.isagri.es

- Deseo recibir información sobre las soluciones ISAGRI de :
- Fruticultura
- Otros :

Empresa :

Nombre :

Dirección :

.....

C.P :

Localidad :

Tfno :

Móvil :