

Avances en el manejo del abonado nitrogenado de los cultivos hortícolas

C. Ramos

Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Apartado Oficial, 46113 Moncada (Valencia)

e-mail: ramos_carmon@ivia.gva.es

Palabras clave: fertilización, nitrógeno, hortalizas

INTRODUCCIÓN

El abonado nitrogenado de los cultivos hortícolas continúa siendo un campo de investigación importante por ser uno de los factores determinantes en la producción y porque su impacto medioambiental aumenta en función del exceso de N aplicado en relación con las necesidades del cultivo. Aunque en las dos últimas décadas el interés se centraba en mantener una buena producción y disminuir el impacto sobre la calidad del agua subterránea debido a la lixiviación de nitrato, en los últimos años hay una preocupación creciente por el papel de la aplicación de fertilizantes sobre las emisiones de óxido nitroso a la atmósfera (IPCC 2007). Sabemos también que las mejores prácticas de abonado nitrogenado para la reducción de las emisiones de óxido nitroso son aquellas que producen una mayor eficiencia agronómica, es decir las que resultan en una mayor proporción de absorción por el cultivo del N aplicado (van Groenigen et al., 2010). Así pues la aplicación adecuada de fertilizantes es de gran importancia. Esta revisión se centrará en los avances en los últimos años relacionados con los diferentes sistemas de recomendación de abonado en los cultivos hortícolas.

SISTEMAS DE RECOMENDACIÓN DE ABONADO

Los sistemas de recomendación de abonado nitrogenado en los cultivos hortícolas se pueden agrupar en tres categorías básicas: 1) los que emplean un balance de N, 2) los que se basan en medidas del suelo que dan una idea de la capacidad del mismo para proporcionar N a la planta (Feller and Fink, 2002) y, 3) los que se basan en medidas en las plantas que indican su estado nutritivo en determinados momentos de su desarrollo (Gianquinto et al., 2011). En los últimos años ha habido también un creciente interés por la utilización de los modelos de simulación para la ayuda en la toma de decisiones de la fertilización nitrogenada (van der Burgt et al., 2006; Rahn et al., 2010; Shaffer et al., 2010), pero su uso en los cultivos hortícolas aún es bastante limitado y aquí no se tratará, aunque el lector interesado puede consultar la revisión de Cannavo et al. (2008).

1. Sistemas basados en el balance de N

Estos sistemas estiman la extracción de N del cultivo en función de la producción esperada y calculan de manera aproximada el aporte de N por otras vías: 1) el contenido de N_{min} en el suelo antes de la plantación y, 2) la mineralización de la materia orgánica del suelo y de los residuos de cosecha y de las enmiendas orgánicas aplicadas. La evaluación de las pérdidas de N por lixiviación y por denitrificación y volatilización es una de las principales dificultades de este sistema y pueden estimarse como una determinada proporción del N total disponible en el suelo. Algunos ejemplos de este tipo de enfoque se pueden ver en Machet et al. (2007) y Ramos y Pomares (2010).

2. Sistemas basados en análisis de suelo

Dentro de estos sistemas hay esencialmente dos tipos:

- El que establece que cada cultivo necesita tener “disponible” una determinada cantidad de N mineral en la capa de suelo donde están la gran parte del sistema radicular. Este enfoque es el que utiliza el sistema de recomendación de abonado denominado Nmin que se emplea en muchos países de Europa (Feller y Fink, 2002).
- El que determina las necesidades de abonado de cobertera en función del contenido de nitrato en la capa de suelo de 0-30 cm, poco antes del comienzo de la fase de crecimiento rápido del cultivo (Hartz et al., 2000). Este sistema se denomina PSNT, de la sigla en inglés (pre-sidedress soil nitrate test).

Los dos sistemas están muy relacionados, pero existen algunas diferencias. En el método Nmin para la mayoría de los cultivos hortícolas se utiliza el contenido de Nmin en el suelo en la capa de 0-60 cm (en kg N/ha), mientras que en el PSNT se determina el contenido de N nítrico en la capa de 0-30 cm (en mg N/kg) y se comparan con unos valores críticos de concentración para determinar si conviene o no abonar de cobertera. El rango de valores críticos para muchos cultivos hortícolas es de 25-30 mg/kg de N nítrico (Hartz et al., 2000).

Sin embargo, existe evidencia desde hace tiempo (Ris et al., 1981) de que el contenido de Nmin del suelo no es siempre la principal causa de la variabilidad en la respuesta de la planta al abonado nitrogenado y que otros factores ligados al suelo, al clima o a las prácticas de cultivo (por ejemplo, el riego) pueden afectar a esta respuesta. Esto explica en parte la variabilidad encontrada cuando se representa la producción frente al Nmin disponible en el suelo, incluyendo en este último el Nmin al inicio del cultivo y el añadido como fertilizante o con el agua de riego (Fig.1). Otro ejemplo de la influencia de otros factores del suelo sobre la respuesta del cultivo al abonado nitrogenado son los resultados obtenidos por Shillito et al. (2009).

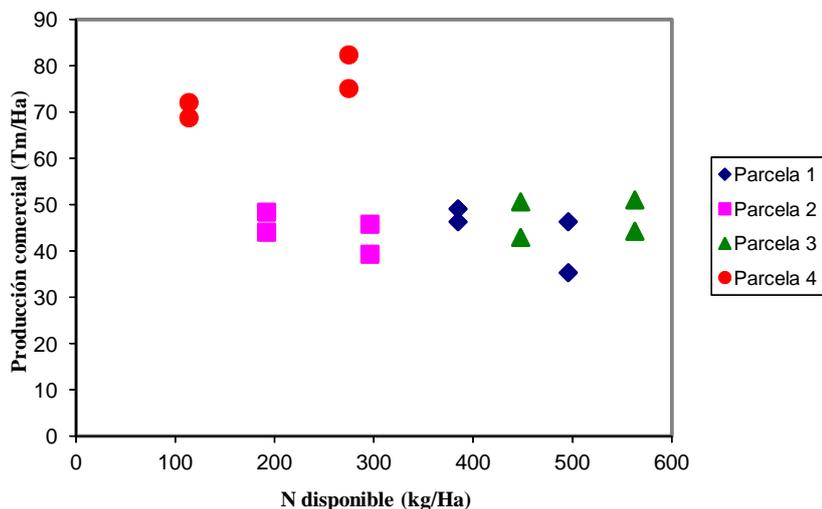


Figura1. Producción comercial de zanahoria frente al N mineral disponible en diferentes parcelas de la zona de Villena (Alicante) (Ramos et al., 2009).

Estos investigadores aplicaron a un cultivo de patata un rango de dosis de N de 0 a 280 kg N/ha de una manera sistemática siguiendo una variación de tipo sinusoidal en el

que repitieron la misma secuencia de tratamientos 11 veces en un transecto de suelo en el que midieron variables tales como topografía (altitud), textura, contenido inicial de Nmin y agua disponible. Los resultados indicaron que sólo el contenido de arcilla fue importante para explicar la variación espacial de la respuesta de la producción al N.

En el método del Nmin, se considera que las necesidades de abonado (Nrec) se calculan a partir de la relación:

$$Nrec = A - B * Nmin$$

dónde A y B se obtienen mediante regresión lineal de las dosis óptimas de abonado para diferentes valores de Nmin inicial obtenidas en ensayos de abonado N durante varios años en los suelos y zonas en los que se pretende emplear el método (Neeteson1995). Sin embargo, en su forma más simplificada, y cuando no se dispone de los datos experimentales para obtener la ecuación anterior, se considera que $B = 1$. Esto equivale a considerar equivalente el Nmin inicial del suelo al N del fertilizante, lo cual es sólo una aproximación ya que los dos tipos de N, en un momento dado, tienen una distribución diferente en el perfil del suelo y están por tanto sujetas a procesos de absorción por las raíces y de lixiviación y pérdidas por volatilización y desnitrificación diferentes.

Todos estos aspectos señalan la dificultad de extrapolar los valores de A y B de la ecuación anterior encontrados en una zona con unos tipos de suelo, clima y prácticas de cultivo determinados a otra.

2.1 El problema de la variabilidad espacial

Uno de los principales problemas en la aplicación de los métodos basados en el análisis de suelo es la alta variabilidad del contenido de nitrato en el suelo (Giebel et al., 2006). Esta alta variabilidad obliga a tomar un número considerable de muestras (15-20) para obtener un valor medio fiable (Ramos 2005) y esto resulta un inconveniente para la aplicación del método debido al coste relativamente alto del muestreo, sobre todo si se trata de parcelas pequeñas, aunque el coste del análisis sea bajo si se utilizan métodos rápidos (Sepúlveda et al., 2003; Thompson et al., 2009).

La variabilidad espacial del nitrato tiene una repercusión clara sobre la respuesta del cultivo a una dosis uniforme de fertilizante N. Para ilustrar esto, Kachanoski y Fairchild (1996) hicieron un análisis del efecto de la variabilidad del contenido de nitrato en el suelo sobre la tasa óptima económica de fertilización nitrogenada en maíz, bajo el supuesto de una función de respuesta de la producción al contenido de nitrato del suelo de tipo cuadrático hasta un valor máximo y constante (meseta) después. Los resultados de este estudio mostraron que para una determinada dosis de abonado nitrogenado, el incremento de cosecha debido al abonado N aumentaba con la variabilidad inicial del contenido de nitrato del suelo (ver su fig. 3).

Relacionada con la variabilidad espacial del suelo en los últimos 15 años se ha desarrollado una línea de investigación denominada Agricultura de Precisión y en la que se desarrollan metodologías para un manejo del suelo y del cultivo variable espacialmente (Schmidhalter 2008). Los desarrollos en esta área de trabajo tienen un gran interés para la mejora de la fertilización nitrogenada, si bien, la mayoría de los estudios se hacen en cultivos extensivos (maíz, trigo, colza, vid, etc.).

3. Sistemas basados en medidas de la planta

Las medidas del estado nutritivo nitrogenado de la planta son de muchos tipos: 1) el contenido de N total de la hoja (o del peciolo), 2) el contenido de nitrato en la savia, 3) las medidas de clorofila de la hoja por métodos ópticos, 4) las medidas de reflectancia de

la cubierta vegetal, 4) otras medidas espectrométricas de las hojas o cubierta vegetal, incluida la fotografía aérea (Williams et al., 2010). Un análisis reciente de las diferentes opciones en los cultivos hortícolas es el de Gianquinto et al. (2011) y Tremblay et al. (2011). Los requisitos que debe tener un buen sistema de evaluación de la nutrición nitrogenada basado en medidas de la planta son (Goffart et al., 2011):

1. Dar medidas exactas y repetibles
2. Ser suficientemente sensible para indicar cuando la deficiencia empieza a producirse
3. Ser específica. Es decir, que no esté afectada por factores diferentes a la falta de disponibilidad de N
4. Ser aplicable. Es decir, que sea rápido, fácil de emplear y económicamente rentable.

3.1 Análisis de savia

Este método se ha empleado para diagnosticar el estado nutricional de la planta en muchos cultivos hortícolas y mide la concentración de nitrato en la savia obtenida de peciolos o de los nervios centrales de las hojas. Una revisión bastante completa de la aplicación de este método en los cultivos hortícolas es la de Rodrigo (2007). A continuación se presenta un resumen de algunos trabajos que han empleado el análisis de savia en estudios de abonado N en cultivos hortícolas desde 2006:

- Wu et al., (2007) en una comparación de varios sistemas de evaluación del estado nutritivo nitrogenado de la patata encontraron que el análisis de nitrato en savia respondió algo mejor que la medida de clorofila a la disponibilidad de N. Sin embargo, estos autores utilizaron valores de concentración de nitrato normalizados, es decir, relativos a los del tratamiento de mayor aporte de N. Además, las diferencias entre tratamientos sólo fueron importantes cuando las diferencias de abonado eran grandes.
- Westerveld et al. (2007) evaluaron el análisis de nitrato en savia en zanahoria en dos tipos de suelo durante 3 años y no pudieron establecer un rango de valores críticos de nitrato debido a la variabilidad debida a los años, variedades y tipo de suelo.
- Aguilera (2010) encontró una asociación entre la producción de patata y la concentración de nitrato en savia en diferentes lugares de Bolivia, pero con una elevada variabilidad, lo que impedía establecer niveles críticos.
- Farneselli et al. (2010) en un ensayo de fertirriego en tomate de industria con tres tratamientos de abonado N (0, 100 y 300 kg N/ha) y 3 frecuencias de riego-fertirriego concluyen que el análisis de nitrato en la savia fue efectivo para determinar el estado nutritivo de las plantas en los dos primeros tercios del ciclo de cultivo. Se observó una relación entre el índice de nutrición nitrogenada (NNI) y la concentración de nitrato en savia, dentro de cada fecha de muestreo.
- En Florida se continúa empleando este análisis para la evaluación del estado nutritivo de muchos cultivos hortícolas (Hochmuth et al., 2009).
- Zebart et al. (2007) en Canadá recomiendan el análisis de savia para determinar el estado nutritivo nitrogenado de la patata y dan curvas de suficiencia y deficiencia a lo largo del cultivo.

En una revisión sobre la aplicación del análisis de nitrato en savia en patata, McKerron et al. (1995) concluyeron que el contenido de nitrato en la savia no podía recomendarse a los agricultores o técnicos para ajustar el abonado nitrogenado de cobertera. Hartz (2006) opinaba que el método es demasiado variable y que en ocasiones no responde a la disponibilidad de N en el suelo. En otra revisión sobre herramientas para el manejo de la fertilización nitrogenada en patata, Goffart et al. (2011) consideran que el

análisis de savia tiene poca exactitud y precisión, elevada sensibilidad y poca especificidad (ver su Tabla 3).

3.2 Medidas de clorofila y polifenoles en hojas

La medida de la clorofila como indicador del estado nutritivo de la planta se basa en la buena correlación observada en muchos cultivos entre el contenido foliar de clorofila y el contenido foliar de N, especialmente cuando hay deficiencia en nitrógeno (Schepers et al, 1992). Los medidores de clorofila más conocidos son el SPAD 502 (Minolta, Japón) y el N-Tester de Yara (Noruega). Estos sensores son fáciles de manejar, y son relativamente económicos (Goffart et al., 2008). Rodrigo y Ramos (2007) y Gianquinto et al. (2011) revisaron la aplicación de esta técnica para el manejo del abonado nitrogenado en los cultivos hortícolas.

La falta de especificidad de los medidores de clorofila y la variación de la relación entre el contenido de N y de clorofila en los diferentes estadios de desarrollo aconsejan el uso de zonas de referencia bien abonadas en las parcelas en las que se quiere emplear este sistema de diagnóstico nutricional (Tremblay et al., 2011). Westerveld et al. (2004) mostraron la utilidad de este tratamiento de referencia para la interpretación de las lecturas del medidor de clorofila.

En algunos trabajos se ha encontrado que la respuesta de las lecturas de clorofila a la disponibilidad de N del cultivo ha sido relativamente baja y, por tanto, su utilidad para el diagnóstico nutricional es cuestionable (ver por ejemplo: Farneselli et al. (2010) en tomate de industria, Ramos et al. (2011) en espinaca y Wu et al. (2007) en patata).

Otros sistemas más recientes utilizan la medida del contenido de polifenoles en las hojas como indicador de deficiencia de N (Tremblay et al., 2009). Un equipo que permite la determinación simultánea de la clorofila y los polifenoles es el Dualex® (FORCE-A, Orsay, Francia). Las medidas con este equipo en un ensayo de brócoli mostraron que fueron sensibles a las dosis de N aplicadas (rango de 0 – 225 kg N/ha). Esta misma compañía ha desarrollado el Multiplex® Research, un fluorímetro portátil (UV-Visible) que permite medir la clorofila y polifenoles sin contacto directo con la hoja, y con una mayor superficie de medida (hasta 50 cm²), pero no conocemos estudios de evaluación de esta técnica en cultivos hortícolas.

3.3 Medida de la reflectancia de la cubierta vegetal

Las medidas de reflectancia de la cubierta vegetal están relacionadas con propiedades de la misma tales como el índice de área foliar, el contenido foliar de N y de clorofila y la biomasa (Lemaire et al., 2008). Los sensores de reflectancia pueden instalarse en un tractor y, con el software y hardware adecuados permiten realizar un aplicación variable de fertilizante en función de la reflectancia de la cubierta vegetal de cada zona de la parcela (Scharf y Lory, 2009). Algunos de los equipos más empleados son el CropScan, GreenSeeker, CropSpec y Crop Circle. Para la aplicación de estos sistemas en la fertilización nitrogenada es muy recomendable disponer de una zona de referencia bien abonada de manera que las medidas en esta zona se puedan emplear como referencia para evaluar las obtenidas en el resto del campo y calcular la dosis adecuada de fertilizante en cada zona (Scharf y Lory, 2009).

El-Shikha et al. (2007) evaluaron en un cultivo de brócoli la capacidad de varios índices derivados de medidas de reflectancia a varias longitudes de onda para discriminar entre el estrés inducido por falta de N o de agua. Para detectar el déficit de N, el mejor

índice fue el de concentración de clorofila de la cubierta vegetal (CCCI), que calcularon a partir de la reflectancia a las longitudes de onda de 670, 720 y 790 nm.

4. Sistemas mixtos

Algunos autores han propuesto como guía para la fertilización nitrogenada una combinación de varios de los procedimientos descritos. Por ejemplo, Goffart et al. (2011) describen un sistema de apoyo a la decisión para el abonado N de la patata que combina un método de balance de N con la toma de medidas de clorofila en el cultivo. Básicamente, este sistema calcula las necesidades de abonado utilizando un enfoque similar al del Azobil/Azofert (Machet et al., 2007) utilizando la extracción de N prevista (dependiente de la producción esperada), el contenido de N_{min} del suelo poco antes de la plantación, y la mineralización del suelo estimada. De la cantidad calculada, se aplica el 70% como abonado de fondo, y cuando es el momento del abonado de cobertera, el 30% restante se aplica o no, dependiendo de las lecturas obtenidas con el medidor de clorofila. La medición de la clorofila se hace en el cultivo y en una franja sin abonado. El algoritmo utilizado para determinar la conveniencia o no de este abonado de cobertera, en función de las medidas de clorofila, se explica en Olivier et al. (2006).

Conclusiones

Esta revisión ha puesto de manifiesto que en los últimos años se han investigado diferentes técnicas que pueden contribuir a realizar una fertilización nitrogenada más de acuerdo con las necesidades de los cultivos hortícolas, pero la aplicación de las mismas no siempre es exitosa y requiere de un trabajo previo de evaluación y adaptación a cada cultivo y área agrícola. Así pues, hace falta continuar estudiando en cada caso cual puede ser la opción más conveniente. Resulta pertinente recordar lo que Kitchen et al. (2008), concluyeron hace unos pocos años: que la adopción de las nuevas tecnologías requiere que éstas sean fiables, que resulten económicamente rentables y que se puedan integrar fácilmente con las prácticas de cultivo actuales.

Agradecimientos

Este trabajo se ha hecho dentro del proyecto del INIA-Ministerio de Ciencia y Tecnología RTA2008-00081-C05-01.

Referencias

- Aguilera J. 2010. Impacts of soil management practices on soil fertility in potato-based cropping systems in the bolivian andean highlands. PhD. Thesis, University of Missouri-Columbia.
- Cannavo P, Recous S, Parnaudeau V and Reau R 2008 Modeling N dynamics to assess environmental impacts of cropped soils. *Advances in Agronomy* 97: 131-174.
- El-Shikha D.M., Waller P., Hunsaker D., Clarke T., Barnes E. 2007. Ground-based remote sensing for assessing water and nitrogen status of broccoli. *Agricultural Water Management*, 92, 183-193.
- Farneselli M., Benincasa P., and Tei F. 2010. Validation of N nutritional status tools for processing tomato. *Acta Horticulturae* 852:227-232.
- Feller, C., Fink, M. 2002. N-min target values for field vegetables. *Acta Horticulturae* 571, 195-201.
- Gianquinto, G., Fecondini, M., Mezzetti, M and Orsini, F. 2010. Steering nitrogen fertilization by means of portable chlorophyll meter reduces nitrogen input and

- improves quality of fertigated cantaloupe (*Cucumis melo* L. var. *cantalupensis* Naud.). *J. Sci. Food Agr.* 90:482–493.
- Gianquinto G., Orsini F., Sambo P. and D'Urzo M.P. 2011. The use of diagnostic optical tools to assess nitrogen status and to guide fertilization of vegetables. *HortTechnology* 21:287-292.
- Giebel A., Wendroth O., Reuter H.I., Kersebaum K.C., and Schwarz J. 2006. How representatively can we sample soil mineral nitrogen? *Journal of Plant Nutrition and Soil Sciences*, 169, 52-59.
- Goffart, J.P., M. Olivier, and F. Frankinet. 2008. Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: Past-present-future. *Potato Res.* 51:355–383.
- Goffart, J.P., M. Olivier, and F. Frankinet. 2011. Crop nitrogen status assessment tools in a decision support system for nitrogen fertilization management of potato crops. *HortTechnology* 21:282-286.
- Hartz T.K. 2006. Vegetable production best management practices to minimize nutrient loss. *HortTechnology* 16, 398–403.
- Hartz, T.K., Bendixen, W.E. and Wierdsma, L. 2000. The value of presidedress soil nitrate testing as a nitrogen management tool in irrigated vegetable production. *HortScience* 35:651-656.
- Hochmuth, G. J., D. Maynard, C. Vavrina, E. A. Hanlon, and E. H. Simonne. 2009. Plant tissue analysis and interpretation for vegetable crops in Florida. Fla. Coop. Ext. Serv. Fact Sheet HS 964, <http://edis.ifas.ufl.edu/EP081>.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. disponible en: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm> (accedido el 18-1-2011)
- Kachanoski R. G. and Fairchild G. L. 1996. Field scale fertilizer recommendations: The spatial scaling problem. *Canadian Journal of Soil Science* 76: 1–6.
- Kitchen NR, Goulding KWT, Shanahan, JF. 2008. Proven practices and innovative technologies for on-farm crop nitrogen management. In: Follett RF, Hatfield JL, eds. *Nitrogen in the environment: sources, problems, and management*. Amsterdam: Elsevier. pp 483–517.
- Lemaire G., Jeuffroy M.H., and Gastal F. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage. *Theory and practices for crop N management*. *Eur. J. Agron.* 28:614–624.
- Machet J.M., Dubrulle P., Damay N., Duval R., Recous S., and Mary B.. 2007. Azofert: A new decision support tool for fertilizer nitrogen advice based on a dynamic version of the predictive balance sheet method. *Proc. 16th Intl Symp. Intl. Sci. Centre Fert. (CIEC)*. p. 322–328.
- MacKerron D.K.L., Young W., and Davies H.V. 1995. A critical assessment of the value of petiole sap analysis in optimising the nitrogen nutrition of the potato crop. *Plant and Soil* 172:247–260.
- Neeteson, J.J. 1995. Nitrogen management for intensively grown arable crops and field vegetables. En: *Nitrogen Fertilization in the Environment* (P-E. Bacon, Ed.). Marcel Dekker, New. York. 295-325

- Olivier M., Goffart J.P. and Ledent J.F. 2006. Threshold values for chlorophyll meter as decision tool for nitrogen management of potato. *Agron. J.* 98:496–506.
- Rahn C.R., K. Zhang, R. Lillywhite, C. Ramos, J. Doltra, J.M. de Paz, H. Riley, M. Fink, C. Nendel, K. Thorup Kristensen, A. Pedersen, F. Piro, A. Venezia, C. Firth, U. Schmutz, F. Rayns and K. Strohmeyer 2010. EU-Rotate_N – a European Decision Support System – to Predict Environmental and Economic Consequences of the Management of Nitrogen Fertiliser in Crop Rotations. *Europ.J.Hort.Sci.*, 75:20-32.
- Ramos C., F. Berbegall, J.M. Carpintero, A. Vidal. 2009. Assessing the Nmin method for carrot in a region of Eastern Spain. *Proceedings of the 16th Nitrogen Workshop, Turin, Italy, (June 28th – July 1st 2009)*. C. Grignani, M. Acutis, L. Zavattaro, L. Bechini, C. Bertora, P.M. Gallina, D. Sacco (eds.) pp.: 269-270
- Ramos C., Berbegall F. y Romero P. 2011. Influencia del nitrógeno mineral disponible en el suelo sobre la producción de espinaca y el contenido foliar de nitrato. *Actas de las IV Jornadas de Fertilización, Barcelona*.
- Ramos C. y Pomares F. 2010. Abonado de los cultivos hortícolas. En: *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones. Madrid. Pags.: 181-192.
- Ris J., Smilde K.W. y Wijnen G. 1981. Nitrogen fertilizer recommendations for arable crops as based on soil análisis. *Fertilizer Res.* 2:21-32.
- Rodrigo M.C. 2007. El análisis rápido de nitrato en savia como herramienta para la mejora del abonado nitrogenado de alcachofa y romanesco. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia
- Rodrigo M.C. y Ramos C. 2007. La medida de la clorofila como herramienta para el manejo de la fertilización nitrogenada en los cultivos hortícolas. *Actas de Horticultura (SECH)* 49:229-234
- Scharf, P. C., Lory, J. A. 2009. Calibrating reflectance measurements to predict optimal sidedress nitrogen rate for corn. *Agron. J.* 101, 615–625.
- Schepers J.S., Francis D.D., Vigil M.F., Below F.E. 1992. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 23, 2173-2187.
- Schmidhalter U., Mairl F.-X., Heuwinkel H., Demmel M., Auernhammer H., Noack P., Rothmund M. 2008. Precision Farming - Adaptation of land use management to small scale heterogeneity. En: P.Schröder, J.Pfadenhauer and J.C. Munch (Eds.). *Perspectives for Agroecosystem Management*, Elsevier, pp. 121-199.
- Sepúlveda J., Garrós V. y Ramos C. 2003. El análisis rápido de nitrato en suelos y aguas. *Agrícola Vergel*, Mayo 273-278.
- Shaffer, M. J., Delgado, J.A., Gross, C.M., Follett, R.F., Gagliard, P. 2010. Simulation Processes for the Nitrogen Loss and Environmental Assessment Package. En: *Advances in Nitrogen Management for Water Quality*. Delgado, J.A., and R.F. Follett, eds., Ankeny, IA: Soil and Water Conservation Society.
- Shillito R. M., Timlin D. J., Fleisher, D., Reddy V. R., Quebedeaux, B. 2009. Yield response of potato to spatially patterned nitrogen application. *Agric., Ecosyst. Environ.* 129:107–116.
- Thompson R. B., Gallardo, M., Joya, M., Segovia, C., Martínez-Gaitán, C., and Granados, M.R. 2009. Evaluation of rapid analysis systems for on-farm nitrate analysis in vegetable cropping. *Spanish Journal of Agricultural Research* 7: 200-211

- Tremblay N., Fallon E., Ziadi N. 2011. Sensing of crop nitrogen status: opportunities, tools, limitations, and supporting information requirements. *HortTechnology* 21:274-281.
- Tremblay N., Fortier E., Mellgren R., Bélec C., and Jenni S. 2009. The Dualex: A new tool to determine nitrogen sufficiency in broccoli. *Acta Hort.* 824:121–131.
- van der Burgt G.J.H.M., Oomen G.J.M., Habets A.S.J. & Rossing W.A.H. (2006). The NDICEA model, a tool to improve nitrogen use efficiency in cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74: 275-294.
- Van Groenigen JW, Velthof, G.L., Oenema, O., van Groenigen, K.J. and van Kessel, C. Best Nitrogen management practices to decrease greenhouse gas emissions. 2010. *European J Soil Sci.* 61:903-913.
- Westerveld, S. M., McKeown, A. W., Scott-Dupree, C. D., & McDonald, M. R. 2004. Assessment of chlorophyll and nitrate meters as field-tissue nitrogen tests for cabbage, onions, and carrots. *HortTechnology* 14:179-188.
- Westerveld S.M., McDonald M.R., and McKeown A.W. 2007. Establishment of critical sap and soil nitrate concentrations using a Cardy nitrate meter for two carrot cultivars grown on organic and mineral soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 38: 1911–1925
- Williams, J.D., N.R. Kitchen, P.C. Scharf, and W.E. Stevens. 2010. Within field nitrogen response in corn related to aerial photograph color. *Precision Agriculture* 11:291–305
- Wu J., Wang D., Rosen C.J., Bauer M.E. 2007. Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. *Field Crops Research*, 101: 96-103.
- Zebarth B., Moreau G., and Karemangingo C. 2007. Nitrogen Management for potatoes: Petiole Nitrate Testing. Factsheet, Agriculture and Agri-Food Canada.
http://www.nbscia.ca/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/potato_pnit.pdf