

NUTRICIÓN VEGETAL

Herramientas para optimizar la fertilización nitrogenada del maíz

La agricultura mundial se enfrenta a un desafío sin precedentes. Actualmente hay alrededor de 7.500 millones de personas en el mundo, y se espera que incremente hasta los 9.000 millones en el año 2050. Se tiene que aumentar la producción agrícola, partiendo de que la mayor parte de la tierra cultivable ya se encuentra en uso. Por tanto, se necesita incrementar la productividad por unidad de superficie, a la vez que se hace un uso racional de los recursos, y todo esto no puede llevarse a cabo sin utilizar los avances tecnológicos.

Ángel Maresma

Responsable de i+D de EuroChem Agro Iberia e investigador colaborador con la Universitat de Lleida

Jaume Lloveras

Catedrático de producción vegetal, Universitat de Lleida

Maíz en riego por aspersión (pivot)



Hoy en día, el método principal para aumentar los rendimientos y mantener o restaurar los nutrientes del suelo es la aplicación de fertilizantes minerales, principalmente nitrógeno (N) (Hirel *et al.*, 2011). De hecho, el N se considera el nutriente más limitante para la producción de cultivos (Fageria y Baligar, 2005). Aunque los beneficios de agregar fertilizantes nitrogenados a los sistemas agrícolas son evidentes, estos van acompañados de costos económicos y ambientales. La aplicación insuficiente de N puede tener graves consecuencias para el rendimiento de muchos cultivos, mientras que una fertilización excesiva aumenta el riesgo de contaminación ambiental. Actualmente, en los sistemas de producción agrícola más intensivos, se calcula que una gran parte (alrededor del 50%) del N aplicado a los cultivos se pierde al medio ambiente (Lassaletta *et al.*, 2014). Por lo tanto, es absolutamente necesario mejorar la eficiencia del uso del nitrógeno (NUE) en los sistemas de cultivo de todo el mundo, ya que es una de las estrategias más efectivas para aumentar la productividad de los cultivos, incrementar el beneficio económico y disminuir la degradación ambiental.



Ensayo de fertilización nitrogenada en maíz

Adaptación a las nuevas normativas

Las nuevas políticas de la Unión Europea están alineadas con la idea de mejorar la NUE y tienen el objetivo de reducir las pérdidas de nutrientes, especialmente de N, en los sistemas agrícolas. Recientemente se ha hecho pública la nueva estrategia “Farm to Fork” (de la granja a la mesa) en la que se han marcado unos objetivos muy ambiciosos para proteger el medioambiente. En lo que a la fertilización nitrogenada se refiere, se ha propuesto una reducción de las pérdidas de al menos un 50%, a la vez que se mantiene la fertilidad del suelo y se garantiza que no se deteriore la capacidad productiva del medio. Se espera conseguir una reducción de, al menos, un 20% en la aplicación de fertilizantes (Comisión Europea, 2020).

Este inminente escenario hace que la agricultura tenga que adaptar y modificar sus prácticas de fertilización. Tradicionalmente, la fertilización nitrogenada de los cultivos extensivos, como el maíz, se ha ajustado mediante métodos basados en el potencial productivo de una zona determinada. Sin embargo, el rendimiento de maíz no es el mismo todos los años, y las necesi-

dades de N pueden cambiar. Esto hace que determinar la dosis de N óptima sea complicado, pero es imprescindible para conseguir sistemas de producción económicamente viables y respetuosos con el medioambiente.

Recomendaciones de abonado

El maíz es un cultivo muy exigente en lo que a fertilización se refiere, siendo el N el elemento al que normalmente presenta mayor respuesta. Esto se debe a que el N juega un papel clave en el metabolismo de las plantas, y la gran mayoría de los suelos no son capaces de suministrar la cantidad de este nutriente que necesita el maíz.

No existe una recomendación o una receta única de fertilización y, por tanto, resulta imprescindible conocer la fisiología del cultivo y el potencial productivo de los campos para poder hacer un buen manejo de la fertilización. Las características de los suelos (profundidad, estructura, textura, fertilidad, etc.) junto al sistema de riego y a las condiciones climáticas de la zona, pueden ser unos buenos indicadores del potencial productivo del cultivo. Si se conocen estas características, se pueden establecer planes de fertili-

zación más precisos. No es lo mismo obtener rendimientos de 10.000-11.000 kg/ha donde las extracciones de N son de entorno a los 250 kg/ha, a obtener rendimientos de 19.000-20.000 kg/ha donde el maíz puede extraer más de 400 kg N/ha (Maresma *et al.*, 2019). Por lo tanto, la cantidad de N aplicada debe estar en concordancia con el potencial productivo de cada campo. Pero al final, la fertilización no sólo se reduce a la cantidad de N que se aplica. Hay otra serie de factores que influyen en la eficiencia del uso de los fertilizantes: el momento de aplicación, la forma o el lugar de aplicación y el tipo de fertilizante. Si juntamos estos cuatro criterios en nuestra estrategia de fertilización, estaríamos siguiendo el principio de las 4R (*right rate, right time, right place, right source*).

Hay metodologías que permiten estimar la cantidad de N necesario más allá de los planes de fertilización previos. Existen herramientas que permiten mejorar la eficiencia del N, como son: la medición de la cantidad de N que hay en el suelo antes de la siembra (N_{min}) o en los estados iniciales de crecimiento (3-4 hojas) (PSNT, *presidedress soil nitrogen test*) del cultivo. Estas medidas realizadas en campo pueden ser utilizadas para determinar la dosis

de N en cobertera necesaria para cubrir las necesidades del maíz.

Métodos para optimizar la aplicación de N

También se dispone de otras tecnologías que permiten evaluar el estado nutricional de los cultivos en general, y del maíz en particular. Estas tecnologías ayudan a optimizar el momento y lugar de aplicación del N. Algún ejemplo podrían ser los sensores ópticos, como pueden ser los medidores de clorofila, o las imágenes multispectrales provenientes de drones o satélites. Estas imágenes aéreas del maíz obtienen información en distintas longitudes de onda (rojo, verde, azul e infrarrojo cercano) para determinar si el cultivo presenta deficiencias de N o no. Con la ayuda de esta tecnología se puede dividir el campo en zonas con diferente estado nutricional, y de esta manera, intentar corregir mediante la aplicación concreta de N aquellas zonas que presenten déficit de este elemento (Maresma *et al.*, 2016).

El coste, junto con la precisión y la resolución de las imágenes, son los principales diferenciadores entre las herramientas de teledetección, y deben analizarse previamente a la contratación del servicio. Los satélites se han utilizado por investigadores de todo el mundo para predecir rendimientos, o estimar las necesidades de fertilización en grandes superficies. Actualmente, se dispone de imágenes gratuitas de satélite (con resolución de 10 m²/píxel) provenientes de la misión Sentinel-2 de la Unión Europea. Lo cual facilita el acceso a la teledetección a investigadores, agricultores, cooperativas y empresas del sector. Por lo general, y debido a las características que se presentaban en drones y satélites hasta los últimos años, se han asociado trabajos de mucho detalle a los drones y grandes superficies a los satélites. Esto ha cambiado ya que las cámaras tienen cada vez más resolución y las baterías más durabilidad. Como ejemplo, existen micro-satélites que permiten la colección de imágenes casi diaria con una resolución de 3-4 m/píxel (Planetscope/rapideye, PlanetLabs, Inc.), o drones que son capaces de volar 45 minutos



Riego por aspersión en un campo de maíz antes de floración

con una batería, donde cubren hasta 160 hectáreas (Quantix®, Aerovironment, Inc.).

¿Cómo elegir el fertilizante más adecuado?

Además de las herramientas que permiten ajustar la cantidad de fertilizante nitrogenado, el momento y el lugar de aplicación, quedaría pendiente analizar el tipo de fertilizante más adecuado para el cultivo (estrategia 4R). Es importante intentar sincronizar la demanda de N del cultivo, especialmente en cultivos muy exigentes como el maíz, con la disponibilidad del elemento para garantizar una buena nutrición a la vez que se minimiza el riesgo de pérdidas. El N absorbido por el maíz no es siempre el mismo y depende del estado de desarrollo en el que se encuentre. Al principio del ciclo del cultivo (hasta que tiene unas 6 hojas desarrolladas), el maíz absorbe pequeñas cantidades de N. Después, la absorción aumenta significativamente llegando a su máximo en las etapas de alta acumulación de biomasa (hasta floración), y posteriormente se reducen las extracciones a medida que se acerca a madurez. Para reducir las pérdidas potenciales de N, y a la vez, garantizar una correcta nutrición del cultivo, es importante que

el N esté disponible cuando lo necesita el cultivo. Una estrategia a seguir sería fraccionar su aplicación en varias coberteras, pero también existen avances tecnológicos en fertilizantes. Un ejemplo serían los fertilizantes estabilizados, que cuentan con inhibidores de la nitrificación o de la ureasa, y hacen que el N de los fertilizantes esté disponible durante más tiempo, limitando las pérdidas de N. Ambos inhibidores tienen efecto en los enzimas responsables de la liberación del N, por tanto, el N queda protegido y se evitan pérdidas por volatilización, lixiviación o emisiones de N₂O (gas). Mejorar la eficiencia del uso del N es fundamental de cara a las nuevas estrategias europeas, ya que se marcan el objetivo de reducir un 20% la cantidad de fertilizantes en 2030 (Comisión Europea, 2020).

A todo lo mencionado anteriormente, habría que añadir los últimos avances en digitalización. La agricultura digital o agricultura 4.0 tiene una gran capacidad de recopilar datos y de analizarlos rápidamente. Toda esta información proveniente de distintas fuentes puede integrarse y facilitarse en un formato fácilmente interpretable que permita respaldar la toma de decisiones en las operaciones agrícolas. Hoy en día, la mayoría de las decisiones de fertilización basan en experiencia previa o intuición, y como mucho se calculan

las extracciones, pero muy pocas se basan en datos cuantitativos. Hacer este pequeño cambio, y utilizar bien toda la información que se recoge en las explotaciones agrícolas, puede suponer la próxima revolución en la agricultura. El maíz, y todos aquellos cultivos que tengan necesidades altas de fertilización (especialmente de N), van a tener que contar con los avances tecnológicos como los antes mencionados para poder mejorar la productividad y cumplir las normativas ambientales europeas. Hay que proporcionar a los agricultores herramientas de decisión que permitan conocer mejor las necesidades de N de los cultivos, el tiempo y el lugar de aplicación, y la formulación del fertilizante para garantizar que el N esté disponible donde y cuando exista demanda de N por parte del cultivo. Sin estas ayudas, las restricciones de aplicación de fertilizantes van a provocar pérdidas de producción que pueden poner en riesgo

la rentabilidad de las explotaciones. Nos encontramos ante un gran desafío, pero es una gran oportunidad para mejorar la eficiencia de producción en la agricultura y reducir el impacto en el medio ambiente.

Bibliografía

- Fageria, N.K., Baligar, V.C., 2005. Enhancing nitrogen Use Efficiency in Crop Plants. *Adv. Agron.* 88, 97-185.
- European Commission. 2020. Farm to Fork Strategy – for a fair, healthy and environmentally-friendly food system. European Union. (https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf)
- Hirel, B., Tétu, T., Lea, P.J., Dubois, F., 2011. Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture. *Sustainability* 3, 1452-1485.
- Lassaletta, L., Billen, G., Grizzetti, B., Anglade, J., Garnier, J., 2014. 50 Year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. *Environ. Res. Lett.* 9, 105011.
- Maresma, Á., Ariza, M., Martínez, E., Lloveras, J., Martínez-Casasnovas, J.A., 2016. Analysis of Vegetation Indices to Determine Nitrogen Application and Yield Prediction in Maize (*Zea mays* L.) from a Standard UAV Service. *Remote Sensing*, 8 (12), 973.
- Maresma, Á., Martínez-Casasnovas, J. A., Santiveri, P., Lloveras, J., 2019. Nitrogen management in double-annual cropping system (barley-maize) under irrigated Mediterranean environments. *European Journal of Agronomy*, 2019, vol. 103, p. 98-107.