



**MAÍZIFICANDO  
CONCIENCIA**  
XII CONGRESO NACIONAL DE MAÍZ

Eje

# Ecofisiología y manejo del cultivo

8, 9 y 10 de Noviembre  
Pergamino, BA  
UNNOBA



Secretaría de Agricultura,  
Ganadería y Pesca  
Ministerio de Economía  
Argentina

2022





# PRESCRIPCIÓN DE NITRÓGENO-SMART EN MAÍZ: ACELERANDO LAS RECOMENDACIONES AGRONÓMICAS DE UNA MANERA SUSTENTABLE

**Peralta N. <sup>1</sup>; Frolla F.<sup>1</sup>; Ferreyra J.M.<sup>1</sup>; Di Rienzo J.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Market Development in Crop Science division- Bayer Company, Ruta Nacional Nro.8 Km 214 - B2700, Fontezuela – Pergamino-Argentina, <sup>2</sup> Estadística y Biometría - Facultad de Ciencias Agropecuarias-Universidad Nacional de Córdoba; Argentina, Ciudad Universitaria, Córdoba. nahuelraul.peralta@bayer.com; francodaniel.frolla@bayer.com; juan.ferreyra@bayer.com; dirienzo.julio@gmail.com

## **NITROGEN-SMART PRESCRIPTION IN CORN: ACCELERATING RECOMMENDATIONS IN A MORE SUSTAINABLE AND PRODUCTIVE WAY**

### Abstract

Nitrogen (N), the genetic improvement (G) and the density of plants (PP) in the corn crop are the key factors that affect the grain yield (GY) and the production costs for the producer. In the management of N, growers in Argentina do not consider the G \* PP interaction through different productivity environments in the N recommendations. This causes a negative impact on yields, low efficiency in the use of N, reduction of economic benefits and increased environmental risks. In the LATAM region, we created a new program called Nitrogen-Smart (N-Smart) under farmer conditions. This strategy uses crop-sensing technologies (satellite imagery and drones) to capture N status and adjust the dose, timing and site of nitrogen management. The N-Smart recommendation allows increasing the GY by 7.1% (732 kg ha<sup>-1</sup>) vs. farmer management with a direct impact in reducing the application of N by 17% (9.3 kg ha<sup>-1</sup>) and increasing the partial productivity of N in 20% (14 kg ha<sup>-1</sup>) vs the management of applying all N at sowing. Therefore, the N-Smart program can offer an optimal PP and N density recommendation per productivity environment, thus increasing production sustainably.

### Palabras claves

Digitalización, Prácticas agronómicas, Sostenibilidad, Productor

### Keywords

Digitization, Agronomic practices, Sustainability, Grower



## Introducción

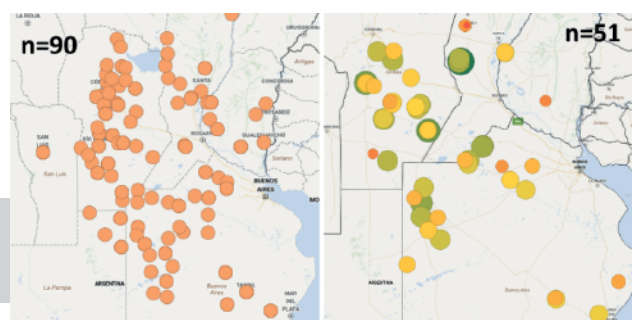
A nivel mundial, el nitrógeno (N), la mejora genética (G) y la población de plantas (PP) en el cultivo de maíz son factores clave que afectan el rendimiento de grano (RG) y los costos de producción para el productor. Además, la aplicación de fertilizantes nitrogenados (N) ha aumentado drásticamente en los últimos años y se prevé que supere los 186 millones de Mg N año<sup>-1</sup> para el año 2050. Un promedio del 10 al 30% de las entradas totales de N en los sistemas de cultivo generalmente se pierde debido a la lixiviación de nitratos (Scharf et al., 2011), lo que ha provocado contaminación ambiental y preocupaciones con respecto al uso de fertilizantes nitrogenados (Colaço y Bramley, 2018). Por lo tanto, el desarrollo de estrategias alternativas de manejo del N es vital para los sistemas de cultivo sostenibles. El manejo del N para lograr el potencial de rendimiento y limitar el impacto al medio ambiente es un desafío debido a la variabilidad temporal y espacial en la absorción de N de los cultivos que afecta el N residual y potencialmente lixiviable del suelo (Colaço y Bramley, 2018). La región templada en Argentina, como en muchas otras regiones del mundo, se caracteriza por su alta variabilidad ambiental intra-lote, por lo que el uso de herramientas digitales y el ajuste de prácticas agronómicas por ambiente aparece con enorme potencial para reducir la brecha de rendimiento en maíz (Argentina es del 40%) (Aramburu Merlos et al., 2015) y aumentar la Eficiencia de Uso de Nitrógeno (EUN) para reducir el riesgo ambiental e incrementar el beneficio a los productores. La capacidad de cuantificar y sincronizar la variabilidad espacio temporal en la oferta y demanda de N de los cultivos y suelos es el aspecto clave que distingue a la Agricultura de Precisión (AP). Durante las últimas dos décadas, los sensores proximales de reflectancia del dosel no destructivos han sido identificados como herramientas potencialmente valiosas para el manejo sitio específico de N (Mulla, 2013; Peralta et al., 2019). Estos se han desarrollado para evaluar el estado nutricional de las plantas y orientar la aplicación de N en dosis variables para diferentes cultivos de cereales (Raun et al., 2008; Holland y Schepers, 2010). Los sensores de dosel proximales miden los reflejos de luz en longitudes de onda seleccionadas en el espectro electromagnético, lo que se convierten en índices de vegetación que representan la cantidad de biomasa fotosintéticamente activa (Mulla, 2013). Calibrados con respecto a la biomasa del cultivo, el estado nutricional de N o el potencial de rendimiento, estos sensores se utilizan típicamente para proporcionar información sobre el lado de la “demanda” de la ecuación asumiendo que otros factores no son limitantes. Las recetas de N se pueden generar durante la temporada y se pueden aplicar específicamente en el sitio. Los objetivos fueron: (I) calibrar la estrategia de N-Smart considerando el análisis de respuesta a la densidad de siembra y fertilización con N para híbridos comerciales y (II) capturar la propuesta de valor de N-Smart a escala de lote.

## Materiales y Métodos

### Calibración de la recomendación:

La calibración del modelo se realizó en 90 ensayos de micro parcelas durante las campañas 2016/17, 2017/18; 2018/19; 2019/20; 2020/21 en Argentina (Figura 1).

Figure 1. Ubicación geográfica de las localidades para la calibración (izquierda) y validación (derecha) de la recomendación.





Cada ensayo comprendió 12 híbridos comerciales del porfolio Dekalb (H1 a H12), 6 densidades de siembra (3, 4, 6, 8, 12, y 16 pl m<sup>-2</sup>), 6 niveles de nitrógeno (0, 30, 60, 90, 180 y 270 kg ha<sup>-1</sup> de N) aplicado a la siembra. Los ensayos tuvieron un diseño en parcelas sub-sub-divididas con 3 repeticiones. El nivel de nitrógeno fue la parcela principal, la densidad de plantas se asignó a la subparcela y el híbrido, a la sub subparcela. Las mediciones realizadas en cada ensayo fueron; el nitrógeno disponible como nitratos en el suelo al momento de la siembra y el stand de plantas final en el estadio fenológico V10.

Se ajustó un modelo no lineal múltiple ajustado con el paquete nls del programa estadístico R (R Development Core Team, 2013) con el rendimiento como variable de respuesta y nitrógeno total (N<sub>tot</sub>= kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno en el suelo en los primeros 60 cm más el nitrógeno agregado como fertilizante), densidad lograda (D) e índice ambiental (EI) como variables explicativas. El modelo contempla una respuesta cuadrática para la densidad de plantas que está afectada por el ambiente de rendimiento (IA) y una respuesta lineal-plateau para rendimiento en función del nitrógeno total donde el nitrógeno crítico (N<sub>c</sub>) depende de la densidad y del índice ambiental (IA).

Cada localidad fue volada con drones en el estadio de V6 del cultivo con una cámara multispectral (Micasense Red-Edge). Las recomendaciones de densidad y de nitrógeno por híbrido a través de los ambientes de productividad se puede observar en la Figura 3. Los vuelos se efectuaron con un solapamiento longitudinal y lateral del 80% entre fotografías y la altura de vuelo fue de 120 m para lograr resoluciones espaciales entre 5-6 cm. Se ubicaron y georreferenciaron puntos de control en el terreno que se utilizaron para orto-rectificar el mosaico generado con las fotografías. El UAV fue equipado con una cámara Micasense Red-Edge, la cual tiene 5 canales [Blue= 475 (465-485), Green= 560 (550-570), Red=668 (663-673), RedEdge= 717 (712-722), NIR= 840 (820-860)]. Se calcularon 9 diferentes IV. Para mayor detalle de los diferentes IV, ver Peralta et al., (2018).

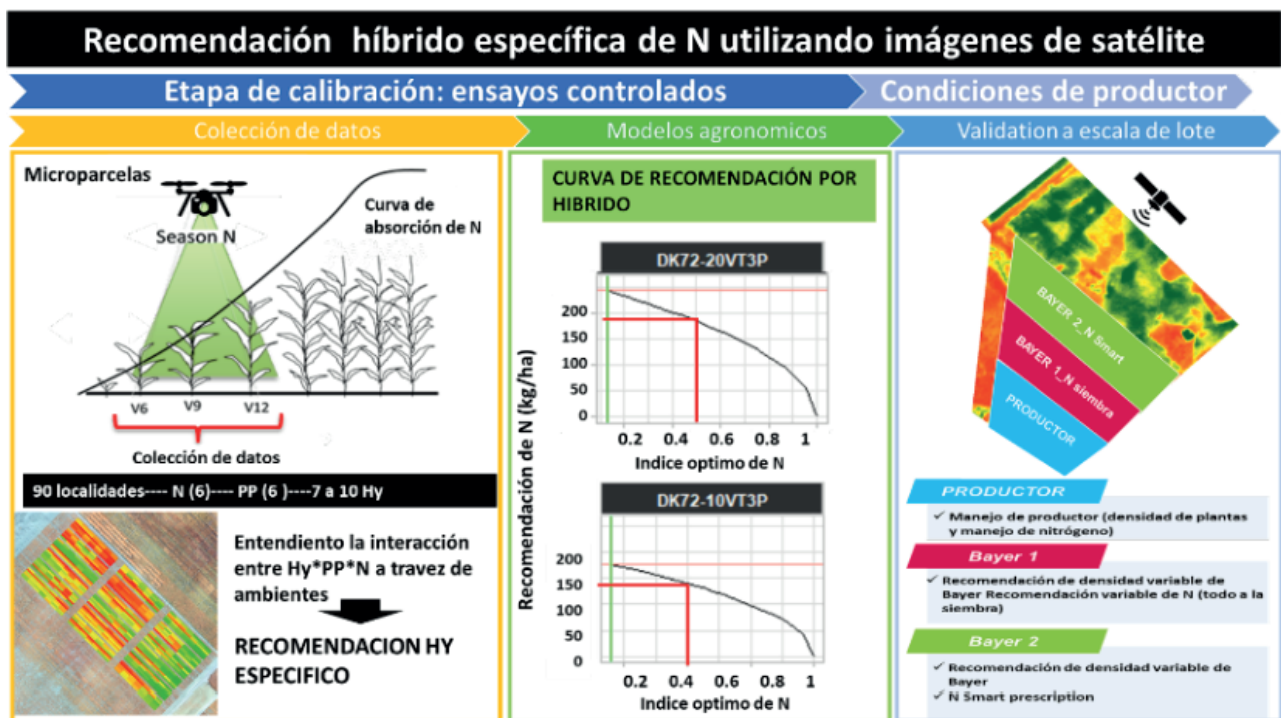


Figura 2. Flujo de trabajo para calibrar y validar la estrategia de N- Smart (Hy=híbrido; PP=densidad; N=nitrógeno; Season N=relevamiento de N en la estación de crecimiento).



## Validación de la recomendación

El modelo fue validado en 51 ensayos a escala de campo en las temporadas de cultivo de 2019/2020/2021 (Figura 1). Se compararon tres estrategias de manejo de N diferentes a escala de campo: *agricultor*, *N en el momento de la siembra* y *N dividiendo la dosis* (50% a la siembra y el restante entre V6/V8 de acuerdo con las recomendaciones del modelo). Cada localidad fue monitoreada con imágenes de satélite para capturar el estado N y ajustar la tasa de N en la temporada (etapa V6/V7). Se utilizaron imágenes Sentinel y Planet Scope. En cada localidad se realizó un muestreo de suelo por zona de manejo (Peralta et al., 2015) para medir el nitrógeno en el suelo en los primeros 60 cm. La determinación del contenido de  $N-NO_3^-$  se realizó hasta los 60 cm de profundidad en capas de 20 cm al momento de la siembra. Los datos de rendimiento en grano fueron medidos y registrados utilizando un monitor de rendimiento comercial acoplado a una cosechadora equipada con un DGPS (Sistema de Posicionamiento Geográfico Diferencial). Los datos de rendimiento de maíz fueron registrados cada segundo y se corrigieron a 14% de humedad del grano (Peralta et al., 2019).

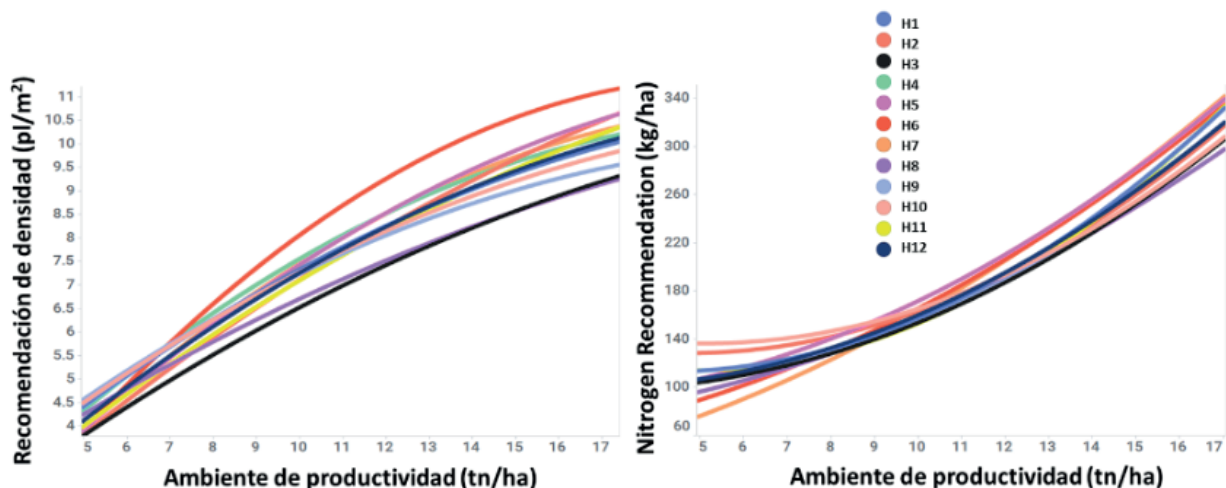


Figura 3. a) Recomendación de densidad de plantas por ambiente de productividad para híbridos comerciales del portafolio Dekalb. b) Recomendación de nitrógeno por ambiente de productividad para híbridos comerciales del portafolio Dekalb.

## Resultados y Discusión

El ajuste de la densidad de plantas por ambiente de productividad y la aplicación de N-Smart (ajuste de N en media estación de crecimiento) aumentó el rendimiento de grano en  $732 \text{ Kg ha}^{-1}$  (7.1%), en comparación con el manejo tradicional en cada lote. La recomendación de N-Smart aumentó el rendimiento de grano en  $521 \text{ Kg ha}^{-1}$  (4.7%) y recomendó  $-17 \text{ KgN ha}^{-1}$  (9.3%), en comparación con la recomendación de N en el momento de la siembra (Figura 4). La recomendación de N en temporada aumentó la productividad parcial del factor nitrógeno en  $10 \text{ Kg/ha}$  (14%), en comparación con la recomendación de N en el momento de la siembra (Figura 4). Scharf et al., (2011) reportaron que el ajuste de N en media estación de crecimiento permitió incrementar los rendimientos en  $273 \text{ KgN ha}^{-1}$ , reducir la dosis de N en  $16 \text{ KgN ha}^{-1}$  (7.7%), e incrementar la EUN en un 16% comparado con el manejo de aplicar todo el N a la siembra o en los primeros estadios fenológicos (previo a V2). Un aspecto que puede hacer que las dosis de N-Smart sean más bajas y genere mayor EUN que aplicar todos el N a la siembra es que las aplicaciones de N basadas en sensores generalmente se



ajustan a mitad de temporada y están mejor sincronizadas con la absorción de N del cultivo (Raun et al., 2008; Holland y Schepers, 2010; Kitchen, 2017).

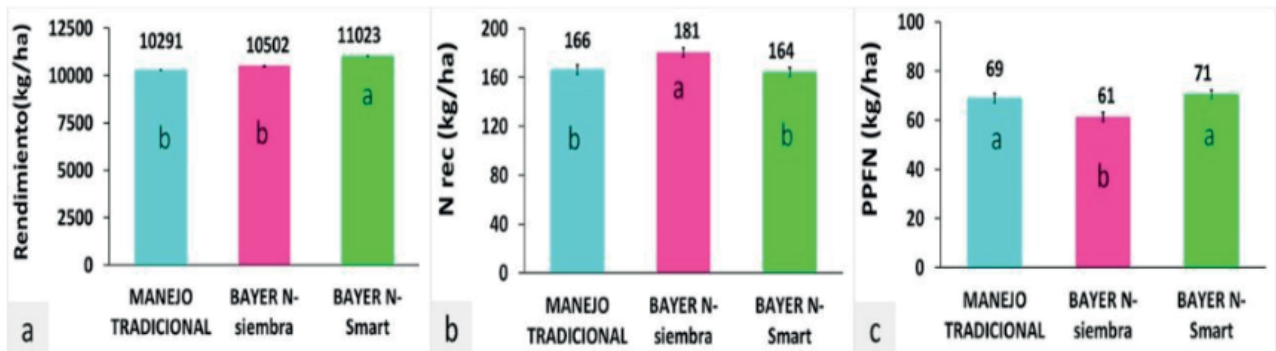


Figura 4. a) Rendimiento de grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de cada estrategia de manejo. b) Nitrógeno recomendado ( $\text{kgN ha}^{-1}$ ) de cada estrategia de manejo. c) Productividad parcial del factor nitrógeno (PPFN) de cada estrategia de manejo. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Las barras verticales indican el error medio típico de cada variable.

## Conclusiones

El programa de N- Smart puede ajustar la dosis de N en un momento fenológico óptimo del cultivo de maíz entregando una recomendación de N considerando el efecto del híbrido y densidad de plantas para cada ambiente de productividad que los productores pueden tener en sus lotes, logrando así la meta de una producción mayor y sustentable.

## Agradecimientos

Un agradecimiento especial al equipo Market Development-Bayer Crop Science por su excelente predisposición y dedicación en la recolección y carga de datos en el sistema. Además, un agradeciendo al equipo de Marketing Regional por su apoyo y soporte para generar escalabilidad al proyecto



## Referencias bibliográficas

Aramburu Merlos F.; Monzon, J. P.; Mercou, J. L.; Taboada; M. A., Andrade, F. H.; Hall, A. J.; Jobbágy, E.; Cassman, K. G. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure existing yield gaps. *Field Crops Research*, (184), p.145-154.

Colaço A.F.; Bramley R.G.V. 2018. Do crop sensors promote improved nitrogen management in grain crops? *Field Crops Research* 218: 126–140.

Holland K. H.; Schepers J. S. 2010. Derivation of a variable rate nitrogen application model for inseason fertilization of corn. *Agronomy Journal*, 102, 1415–1424.

Kitchen N. R., 2017. A Public–Industry Partnership for Enhancing Corn Nitrogen Research and Datasets: Project Description, Methodology, and Outcomes. *Agron. J.* 109:2371-2389.  
<https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/109/5/2371>

Mulla D. 2013. Twenty-five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*. 114: 358-371.

Peralta N.R; Di Matteo J.; Ferreyra J. M. 2019. Nitrogen smart recommendation on field scale: The Science Behind Nitrogen Management. AGU Fall Meeting, San Francisco, California, EEUU.

Peralta N R.; Di Matteo J.A.; Ferreyra J.M; Melchiori R.; Sainz Rosas H.; Bianchini A. 2018. Un nuevo enfoque de la teledetección para la predicción del rendimiento del maíz y manejo de nitrógeno. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo II Reunión Nacional. Legado social de eidcion limitada. Tucumán, Argentina

Peralta N.R.; Costa J.L; Balzarini M.; Castro Franco M.; Córdoba M.; Bullock D. 2015. Delineation of management zones to improve nitrogen management of wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*. 110: 103-113.

Raun W.R.; Solie J.B., Taylor R.K.; Arnall D.B.; Mack C.J.; Edmonds D.E. 2008. Ramp calibration strip technology for determining midseason nitrogen rates in corn and wheat. *Agron. J.* 100, 1088.  
<http://dx.doi.org/10.2134/agronj2007.0288N>.

R Development Core Team. 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <<http://www.R-project.org>>.

Scharf P.C.; Shannon D.K.; Palm H.L.; Sudduth K.A.; Drummond S.T.; Kitchen N.R.; Mueller L.J.; Hubbard V.C.; Oliveira L.F.. 2011. Sensor-based nitrogen applications out-performed producer-chosen rates for corn in on-farm demonstrations. *Agronomy Journal*. 103(6):1683-1691.