

Manejo nutricional eficiente para maximizar la producción de los cultivos

Gabriel P. Espósito¹, Cecilia Cerliani¹ y Guillermo Balboa¹

¹Universidad Nacional de Río Cuarto

*Contacto: gesposito@ayv.unrc.edu.ar

Introducción

La población mundial alcanzará los 9100 millones de habitantes alrededor del 2050, lo cual representa un incremento del 34% de la población actual, con una acelerada concentración en los grandes conglomerados urbanos, que implicará familias más dependientes de comprar alimentos que de producirlos en su hogar. En este sentido, FAO estima que es necesario incrementar en un 60% la producción agrícola global (cerca de un 77% en los países en desarrollo) hacia el 2050 para alcanzar la oferta de 3070 kcal por habitante por día, lo cual se traduce en un requerimiento de 940 millones de toneladas de cereales y 200 millones de toneladas de carne para ese año (OECD-FAO, 2012).

Este aumento de la producción mundial puede obtenerse básicamente a través del incremento en el rendimiento de los cultivos puesto que la superficie agrícola se puede expandir escasamente. Bruinsma (2009) estima que los incrementos en los rendimientos por unidad de superficie aportarán cerca del 80% del aumento requerido en producción agrícola para el 2050.

Los rendimientos de los cultivos pueden aumentar por incrementos en los rendimientos potenciales o por el cierre de la brecha entre los rendimientos reales y los potenciales (Huang et al., 2002).

Rendimiento potencial y brechas de rendimiento

Se entiende por rendimiento potencial a aquel que ha sido obtenido para una genética específica cuando esta especie crece en un ambiente al cual está adaptado; sin limitaciones de agua y nutrientes; y sin incidencia de malezas, insectos, y patógenos (Evans y Fischer, 1999). En las últimas décadas los rendimientos potenciales han crecido a tasa constantes en las principales regiones agrícolas del mundo (Fischer y Edmeades, 2010).

Por otro lado, las brechas entre los rendimientos

potenciales y reales pueden reducirse mediante técnicas de manejo como el uso de fertilizantes, agroquímicos, riego, mecanización, adaptación de los cultivos a los ambientes de producción, etc.

En maíz, Espósito et al. (2015) establecieron que el rendimiento potencial para el sur de Córdoba con híbridos comerciales fue de 18.75 t ha⁻¹ con extremos entre 16.30 y 22.37 t ha⁻¹. Estos autores encontraron que bajo estas condiciones, el rendimiento potencial de maíz se incrementó linealmente con aumentos en la radiación solar global registrada entre el 1 de diciembre y el 20 de enero de cada campaña. Considerando las 6.54 t ha⁻¹ obtenidas en promedio en Córdoba durante las mismas campañas, se establece una brecha de 12.21 t ha⁻¹ es decir los productores logran sólo un 35% de la producción potencial.

Este tipo de análisis ha sido realizado para otros cultivos en diversas regiones como puede observarse en maíz (Grassini et al., 2009), trigo (Peltonen-Sainio et al., 2009), arroz (Timsina et al., 2010), soja (Specht et al., 1999), etc.

Es ampliamente aceptado que la principal causa de las brechas de rendimientos es la disponibilidad hídrica y nutricional como lo demuestra la revisión realizada por Van Ittersum et al. (2013).

Variabilidad temporal y espacial del rendimiento

En la mayoría de las regiones agrícolas de Argentina, la oferta hídrica de cada año en particular no sólo determina el rendimiento de los cultivos, sino que además define la interacción entre la producción y la respuesta a la fertilización. En años secos, la respuesta en rendimiento al agregado de nitrógeno (N) es baja o nula, mientras que en años húmedos se obtienen las mayores producciones por fertilización nitrogenada (Espósito et al., 2006).

A esta variabilidad temporal en la oferta de recursos, debe agregarse la variabilidad espacial de agua y nutrientes. lo cual puede explicar grandes variaciones del rendimiento dentro de cada lote de producción.

En algunas regiones, el relieve explica claramente el flujo superficial del agua y con ello la variabilidad espacial de su oferta, en otras en cambio, es la profundidad de capas compactadas, horizontes de suelos arcillosos, muy densificados o toscas que definen la profundidad efectiva del suelo y con ello la oferta hídrica. A su vez, la presencia de la napa freática y su calidad también explican la variabilidad. Por ello es necesario conocer las causas de la variabilidad espacial de cada región para poder manejar correctamente la producción de los cultivos (Espósito, 2014).

En este sentido, Ross (2012) estableció que la variabilidad espacial del rendimiento de maíz en el sur de Buenos Aires depende fuertemente de la profundidad del horizonte calcáreo (tosca), el cual está estrechamente asociado a la disponibilidad hídrica del perfil. Esta variabilidad también fue asociada con la respuesta a la aplicación variable de N en trigo (Peralta et al., 2015).

Para manejar esta variabilidad espacial se han desarrollado técnicas de delimitación de zonas de manejo homogéneas (ZM) dentro de los lotes de producción. Para ello, es necesario comprender las causas que provocan diferencias productivas espaciales, de origen natural o antrópico y que generalmente se asocian a cambios en la oferta de recursos (agua, espacio físico, aire, nutrientes, etc.) que alteran el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Una vez que se han establecido las ZM, se debe evaluar la conveniencia agronómica y económica de practicar manejo variable, como ser: cambiar espacialmente fecha de siembra, genética, densidad, nutrición, manejo sanitario, etc. En este sentido se ha evaluado el efecto de estas técnicas en el sur de Córdoba indicando que el mayor impacto productivo y económico de considerar las ZM se centra en la densidad de siembra y en la fertilización variable. En general, en siembras tempranas es conveniente variar la densidad mientras que en siembras tardías es menos frecuente su conveniencia (Martínez Bologna et al., 2014).

Manejo nutricional eficiente

Mediante la optimización económica por funciones de producción se puede establecer la dosis óptima económica de N (DOEN) por zonas de manejo. Estas funciones normalmente se determinan al momento de la cosecha de los cultivos mediante mapas de rendimiento y son establecidas por estadística espacial. Estas tienen una

gran dependencia con las condiciones climáticas reinantes durante el ciclo del cultivo. Para incluir este efecto climático sobre la función de producción del maíz según fertilización nitrogenada, Espósito (2013), propuso diferentes ecuaciones según sean años secos, normales y húmedos. A partir de las mismas se puede interpretar que a medida que aumenta la disponibilidad hídrica aumenta la respuesta lineal al N y cambia la interacción entre el índice topográfico compuesto (CTI) y el N. Esto implica que en años secos convendría fertilizar con mayor dosis los sitios con alto CTI (receptores de agua), mientras que en años normales y húmedos ocurre lo contrario. Este método presentó una eficiencia agronómica en el uso del N superior en un 48% a la variación de N por ZM (Balboa et al., 2014).

Este método de diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz, fue generado a partir de la evaluación de 18 experimentos realizados entre 1998 y 2011 en diferentes localidades de Córdoba, permite generar, para una relación precios (costo del N/precio del maíz) determinada, diferentes mapas de fertilización según la oferta hídrica esperada en cada campaña, de acuerdo al pronóstico climático.

La fecha de siembra del maíz también incide sobre la DOEN, Espósito et al. (2012a) encontraron que la DOEN en los maíces denominados tardíos (fecha de siembra de principios de diciembre) fue menor (entre 50 y 80 kg N ha⁻¹) que en los de siembra temprana (fines de septiembre). Además, estos autores hallaron que la dosis variable de N se justificó económica y estadísticamente en siembras tempranas y no en siembras tardías.

A modo de síntesis, la fertilización se puede variar espacialmente mediante dos criterios, el criterio de variar la dosis en forma discreta por ZM o hacerlo en forma continua, tal es el caso del manejo del N, a través de los atributos de terreno (AT). En forma discreta, en algunos lotes es conveniente variar la dosis de P o Zn, manteniendo el concepto de umbrales críticos (18 y 1 mg kg⁻¹, respectivamente). En cambio ha sido demostrado que el manejo variable del N en el oeste de Córdoba es conveniente bajo el criterio continuo y según el pronóstico climático (húmedo, normal o seco) y el índice topográfico compuesto como variable espacial íntimamente relacionada con la dosis óptima económica de N (Balboa et al., 2014).

Micronutrientes

Entre los principales micronutrientes a utilizar en los cultivos extensivos en la región pampeana se destaca el Zn. En maíz, Espósito et al. (2010) sobre un suelo con 0.33 mg kg^{-1} de Zn encontraron respuestas al agregado de este micronutriente mediante fertilización, logrando el máximo rendimiento con $2.36 \text{ kg Zn ha}^{-1}$, aunque la respuesta no fue significativa a dosis mayores a 1.5 kg ha^{-1} . Esta tendencia se repitió en numerosos ensayos realizados durante diversas campañas y por varios autores, permitiendo concluir que para el cultivo de maíz, cuando el nivel de Zn se encuentra debajo del umbral crítico (1 mg kg^{-1}), la dosis de 1.5 kg ha^{-1} es la indicada para lograr los máximos rendimientos.

En cuanto al momento de aplicación, la misma puede realizarse mediante voleo anticipado, al momento de la siembra incorporado al suelo, o bien en estadios iniciales del cultivo y hasta V6. Se pueden emplear, según el momento de fertilización, fuentes líquidas, sólidas, curasemillas o fertilizantes foliares.

Considerando que existe antagonismo entre el P y el Zn, se destaca que la eficiencia agronómica en el uso del P del fertilizante (EAP) se puede mejorar cuando se realiza de manera conjunta con la fertilización con Zn. En este sentido se han reportado incrementos de hasta un 56.6% como consecuencia de haber incorporado Zn al fertilizante (Espósito et al., 2014). Una situación similar fue hallada en relación a la eficiencia en el uso del N, donde en promedio de cinco ensayos la misma aumentó de 12.38 a $18.62 \text{ kg grano kg N}^{-1}$ en los tratamientos sin y con Zn, respectivamente, es decir un 50.4%.

Este cambio en la eficiencia en el uso de los nutrientes evidencia una vez más la conveniencia de la fertilización balanceada de los cultivos sobre la producción de granos, demostrando que deben realizarse adecuados diagnósticos para potenciar la producción de granos minimizando el impacto ambiental de la técnica. A modo de ejemplo, se cita un experimento donde la fertilización con N representó una eficiencia agronómica del N (EAN) de 18.43 kg kg^{-1} , el tratamiento con NS incrementó la EAN a 21.48 kg kg^{-1} y el NSZn presentó el valor superior de 24.33 kg kg^{-1} .

Manejo integrado

Para evaluar un manejo integrado de la ferti-

lización optimizada por ambientes que permita acortar las brechas de rendimiento se realizó un experimento en el cual se comparó la fertilización variable con similar dosis aplicada en forma uniforme y con la dosis normalmente utilizada por el productor con aplicación uniforme.

Para ello, se seleccionó un lote comercial de producción de un establecimiento de la zona rural de Las Vertientes (Río Cuarto, Córdoba), el cual contaba con varios mapas de rendimiento de años anteriores y altimetría de precisión. A partir de esta información se procedió a zonificar el lote en ambientes y se determinó el índice topográfico compuesto (CTI). El estudio se realizó para maíz temprano (siembra de septiembre) y tardío (siembra de diciembre) implantados en el mismo lote durante la campaña 2012/13.

El manejo variable se realizó modificando la densidad de siembra y la fertilización de arranque con NPS por ZM, en la ZM baja producción (BP) se utilizaron $60\,000$ semillas ha^{-1} y 40 kg P ha^{-1} , mientras que en la ZM alta producción (AP) se sembraron $80\,000$ semillas ha^{-1} y 30 kg P ha^{-1} . A partir del mapa de CTI y según Espósito (2013), se aplicaron las dosis de N variables espacialmente, las cuales oscilaron entre 33 y 86 kg N ha^{-1} . El manejo promedio consistió en la aplicación de la dosis media ponderada por ZM de plantas, P y N.

Los resultados encontrados indicaron mejoras en la producción de maíz, principalmente en la ZM AP, alcanzando en la siembra temprana los $13\,435 \text{ kg ha}^{-1}$ en el tratamiento de manejo variable de densidad, P y N en comparación con los $12\,647 \text{ kg ha}^{-1}$ del tratamiento promedio uniforme y los $10\,139 \text{ kg ha}^{-1}$ de la dosis productor uniforme.

Estas diferencias productivas entre tratamientos permitieron interpretar que en siembras tempranas la EAN y la EAP fueron un 28.41 y 33.09% superior cuando se varió espacialmente la densidad, el P y el N. En cambio estas ventajas se redujeron en la siembra tardía con diferencias del 11.35 y 14.97%, para EAN y EAP, respectivamente.

Los resultados encontrados en la implementación de estrategias productivas a escala sitio específico, permiten concluir que se han desarrollado técnicas de manejo variable de insumos y fertilizantes que han mostrado un desempeño aceptable y ventajas productivas y económicas respecto a la aplicación uniforme. De esta manera se puede aplicar un "Manejo nutricional eficiente para maximizar la producción de los cultivos".

Bibliografía

- Andrade, F.** 2011. La tecnología y la producción agrícola. El pasado y los actuales desafíos. EEA Balcarce, Centro Regional Buenos Aires Sur. Ediciones INTA, 42 pp.
- Balboa, G., G. Espósito, C. Cerliani, e I. Ciampitti.** 2014. Site-Specific Variable Nitrogen Rate Model in Corn. ASA, CSSA & SSSA International Annual Meeting. Long Beach, CA.: 227-2.
- Bruinsma, J.** 2009. The Resource Outlook to 2050: By how much do land, water, and crop yields need to increase by 2050? Paper presented at the FAO Expert Meeting, 24-26 June 2009, Rome on "How to Feed the World in 2050".
- Espósito, G., G. Balboa, C. Cerliani, y R. Balboa.** 2015. Rendimiento potencial de maíz. En: El cultivo de maíz en San Luis. Capítulo 2:32-52. INTA Argentina.
- Espósito, G., G. Balboa, C. Cerliani, y R. Balboa.** 2014. Eficiencia agronómica del fósforo en maíz afectada por la fertilización con zinc. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca. Buenos Aires. Argentina.
- Espósito, G.** 2014. Agricultura según ambientes: Herramientas para su implementación. X Congreso Nacional de maíz. Resúmenes de Conferencias. Rosario (Santa Fé, Argentina): 27-28.
- Espósito, G.** 2013. Análisis de la variabilidad espacio-temporal de la respuesta al nitrógeno en maíz mediante un modelo econométrico mixto espacial (MEME). Tesis para la obtención del Doctorado en Ciencias Agropecuarias de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Córdoba.:108pp.
- Espósito G., G. Balboa, C. Castillo, R. Balboa, y A. Degioanni.** 2012. Fecha de siembra y fertilización variable de maíz sobre Haplustoles de Córdoba. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino y Latino Americano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. Buenos Aires. Argentina.
- Espósito, G., G. Balboa, C. Castillo, y R. Balboa.** 2010. Disponibilidad de zinc y respuesta a la fertilización del maíz en el sur de Córdoba. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Santa Fe. Argentina.
- Espósito, G., C. Castillo, y R. Balboa.** 2006. Calibración y validación de un método de diagnóstico de fertilización nitrogenada en maíz para el sur de Córdoba (Argentina). Revista de Investigación Agraria. RIA, 35(3):45-63. INTA Argentina.
- Evans, L. T., y R. A. Fischer.** 1999. Yield Potential: Its Definition, Measurement, and Significance. Crop Sci. Vol. 39 No. 6, p. 1544-1551. doi:10.2135/cropsci1999.3961544x
- Fischer, R. A., y G. Edmeades.** 2010. Breeding and cereal yield progress. Crop Sci 50: 585-598.
- Grassini, P., H. Yang, y K. G. Cassman.** 2009. Limits to maize productivity in Western Corn-Belt: A simulation analysis for fully irrigated and rainfed conditions. Agric. and For. Meteor. 149, 1254-1265.
- Huang, J., C. Pray, y S. Rozelle.** 2002. Enhancing the crops to feed the poor. Nature 418: 678-684.
- Martínez Bologna, G., S. Castro, C. Cerliani, G. Balboa, R. Naville y G. Espósito.** 2014. Densidad de siembra de maíz asociada a la variabilidad espacial del suelo. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Argentina.
- OECD-FAO.** 2012. **Agricultural Outlook 2012**, OECD Publishing. doi: 10.1787/agr_outlook-2012-en.
- Peltonen-Sainio, P., L. Jauhiainen, e I. P. Laurila.** 2009. Cereal yield trends in northern European conditions: Changes in yield potential and its realization. Field Crops Research 110, 85-90.
- Peralta, N., J. Costa, M. Balzarini, M. Castro Franco, M. Córdoba, y D. Bullock.** 2015. Delineation of management zones to improve nitrogen management of wheat. Computers and Electronics in Agriculture 110.:103-113.
- Ross, F.** 2012. Densidad de plantas en maíz: ajuste por ambiente. Informaciones agronómicas de Hispanoamérica. International Plant Nutrition Institute. 8:11-14.
- Specht, J. E., D. J. Hume, y S. V. Kumudini.** 1999. Soybean Yield Potential--A Genetic and Physiological Perspective. Crop Sci 39, 1560-1570.
- Timsina, J., M. Jat, y K. Majumdar.** 2010. Rice-maize systems of South Asia: current status, future prospects and research priorities for nutrient management. Plant and Soil 335, 65-82.
- Van Ittersum, M. K., K. G. Cassman, P. Grassini, J. Wolf, P. Tittone, y Z. Hochman.** 2013. Yield gap analysis with local to global relevance—A review. Field Crops Research 143.: 4-17. ■

[volver al índice](#)