

¿A dónde va el nitrógeno de la fertilización del maíz cuando hay estrés hídrico?

H. Rimski-Korsakov^{1,*}, M.S. Zubillaga¹, M.R. Landriscini², y R.S. Lavado^{1,3}

Introducción

La aplicación de fertilizantes tiene como objetivo que el cultivo absorba el o los nutrientes agregados e incremente su rendimiento y/o calidad. Sin embargo, no todo los nutrientes aportados siguen ese camino. Tomando como ejemplo el nitrógeno (N), normalmente es esperable que la recuperación del fertilizante no supere el 60%, aun cuando el cultivo alcance su potencial productivo (Macdonald et al., 1997; Rimski-Korsakov et al., 2012). El resto del nutriente aportado por el fertilizante puede ser perdido del sistema por volatilización, lixiviación y desnitrificación, o quedar en el suelo, formando parte de la materia orgánica o como nitrato y amonio. Esas formas de N remanente en el suelo a su vez pueden ser pérdidas más adelante o aprovechadas por cultivos futuros.

Cuando el cultivo fertilizado sufre algún estrés que afecta su crecimiento y rendimiento, el porcentaje de N recuperado por éste, es menor que el indicado en el párrafo superior (Rimski-Korsakov et al., 2009). En estas situaciones se incrementan los destinos del N alternativos al cultivo. Dado que el maíz (*Zea mays* L.) presenta una gran sensibilidad a las sequías y a su vez es el cultivo extensivo que recibe las mayores dosis de fertilizantes nitrogenados (Fertilizar, 2015; SIIA, 2015), el objetivo de este trabajo fue determinar el destino del N del fertilizante en situaciones de maíz fertilizado y sometido a estrés hídrico.

Metodología utilizada

Se realizó un ensayo de campo, con maíz (cv 'FAUBA 209'), en el predio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires ubicado en la ciudad de Buenos Aires (34° 36'S, 58° 29'O). Se trabajó sobre un suelo Argiudol vértico [MO: 3.5%, pH: 7.3, CE: 0.08 dS/m, P (Bray I): 17.1 ppm].

Se aplicó un diseño estadístico factorial (2x2) con bloques completamente aleatorizados con 3 repeticiones. Se establecieron dos niveles de fertilización (N0 y N140: 0 y 140 kg N ha⁻¹, respectivamente) y dos de agua recibida (-Agua y +Agua: 50 y 100% de los requerimientos hídricos, respectivamente).

La fertilización nitrogenada se realizó en V6 (Ritchie y Hanway, 1982) con nitrato de amonio incorporado. Se utilizó fertilizante marcado con ¹⁵N (isótopo no radiactivo) para distinguir los destinos del fertilizante. Para controlar el ingreso de agua de lluvia en las parcelas sometidas a estrés hídrico, se instaló un sistema compuesto por lonjas de nylon transparente móviles. Como consecuencia, las parcelas estresadas no recibieron prácticamente nada de

agua de lluvia, y se aportó el 50% de los requerimientos hídricos del cultivo mediante riego. Las parcelas no estresadas recibieron el 100% del agua requerida a partir de la lluvia y el riego.

En todas las parcelas se aplicaron 30 kg P ha⁻¹ (como superfosfato triple) al voleo. Las malezas, insectos y enfermedades fueron controlados cuando fue necesario. A madurez fisiológica se determinó la biomasa aérea del maíz (hojas + tallos + marlo + chala y granos). También se cuantificó el N acumulado en la planta proveniente del suelo y, en forma separada el proveniente del fertilizante.

Se midió el nivel de nitrato (0-150 cm) y de N orgánico (0-30 cm) a la siembra y a la cosecha del maíz. También se determinó la volatilización del amoníaco durante el ciclo del cultivo (Zubillaga et al., 2002).

Los resultados fueron analizados estadísticamente utilizando ANVA factorial.

Resultados y discusión

Biomasa producida y acumulación de N en la planta

La fertilización incrementó la biomasa aérea total producida por el maíz sólo cuando la provisión de agua fue suficiente para cubrir los requerimientos del cultivo (tratamiento N140+Agua) (**Figura 1**). El resto de los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre sí. Estos resultados son coincidentes con la conocida importancia primordial del agua en la producción de biomasa y el rendimiento del cultivo (Otegui et al., 1995; Bohnert y Bressan, 2001), siendo el N el siguiente factor limitante (Álvarez y Grigera, 2005). El rendimiento en granos se incrementó significativamente en forma aditiva, por mayores niveles de los dos factores analizados (N140>N0 y +Agua>-Agua).

La concentración de N no difirió entre tratamientos en ninguno de los órganos estudiados. Por otro lado, el N (proveniente del suelo más el fertilizante) acumulado en la biomasa aérea total y también en los granos fue mayor con la fertilización y la mayor disponibilidad hídrica (efecto aditivo) (**Figura 2**). Aun así, en los tratamientos fertilizados, el N derivado del suelo representó en promedio el 74% de todo el acumulado en la biomasa aérea total a madurez fisiológica. Por otro lado, en dicho momento la recuperación del fertilizante en la biomasa aérea total fue significativamente mayor en el tratamiento que no tuvo estrés hídrico (**Figura 2**). Este efecto también fue significativo en los granos, donde se acumularon 26 y

¹ Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

² CERZOS-Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca

³ INBA (CONICET/FAUBA)

* Autor de contacto. Correo electrónico: rimski@agro.uba.ar

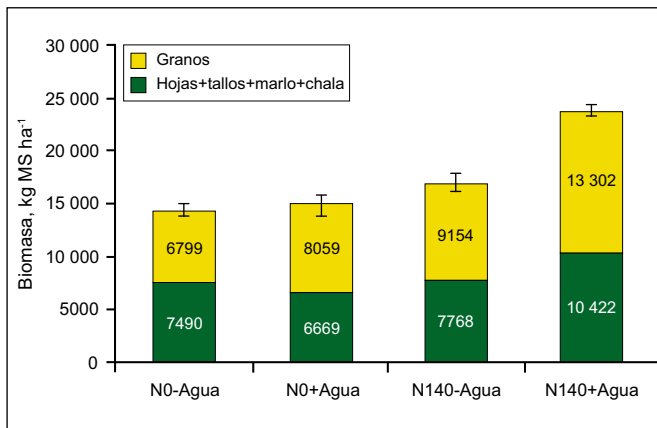


Figura 1. Producción de biomasa aérea a cosecha del maíz, dividida en hojas+tallos+marlo+chala y granos. Líneas: error estándar.

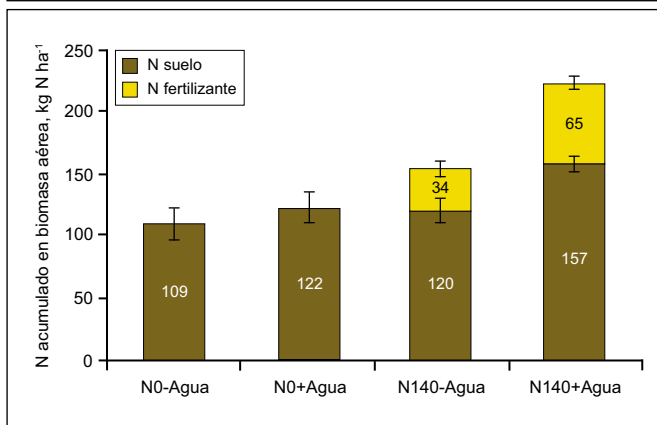


Figura 2. Nitrógeno acumulado a cosecha del cultivo de maíz derivado del suelo (N suelo) y del fertilizante (N fertilizante), en biomasa aérea total. Líneas: error estándar.

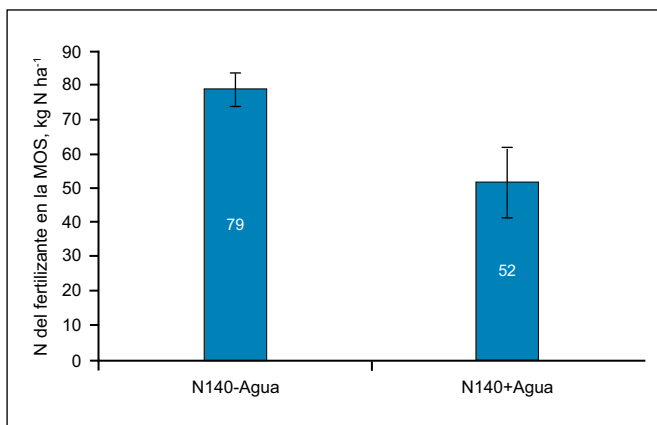


Figura 3. Nitrógeno derivado del fertilizante a cosecha del cultivo de maíz retenido en la materia orgánica del suelo (MOS). Líneas: error estándar.

49 kg ha⁻¹ de N proveniente del fertilizante en la plantas con y sin estrés hídrico, respectivamente. El resto de la biomasa no presentó diferencias significativas en el N proveniente del fertilizante acumulado en la misma.

Nitrógeno inmovilizado en la fracción orgánica del suelo

El contenido de N orgánico total en los primeros 30 cm del perfil del suelo no difirió entre tratamientos, siendo en promedio 0.14%. En cambio, el N proveniente del fertilizante en la fracción orgánica del suelo, fue mayor

en el tratamiento que sufrió estrés hídrico en relación al tratamiento que no sufrió ese estrés (**Figura 3**). Quedaron 79 y 52 kg N ha⁻¹ provenientes del fertilizante retenidos en dicha fracción en los tratamientos con y sin estrés hídrico, respectivamente. Los valores encontrados son algo mayores a los indicados por Reddy y Reddy (1993) y Portela et al. (2006) que detectaron entre un 10 y un 30% del N aplicado por fertilización en el componente orgánico, a madurez de un maíz desarrollado sin condiciones limitantes.

N inorgánico en el perfil del suelo y lixiviación de nitrato

El contenido total de nitrato hasta los 150 cm de profundidad sólo mostró diferencias significativas en los primeros 30 cm. En esa profundidad las parcelas que sufrieron estrés hídrico presentaron 22 kg N (como nitrato) más, que las parcelas no estresadas. Si de esos nitrato se consideran únicamente los provenientes del fertilizante, en esta profundidad se registraron 8 kg más de N en los tratamientos con estrés hídrico. Este mayor contenido de nitrato en el suelo tiene dos explicaciones, que suelen sumarse. Por un lado, ante un bajo movimiento del agua del suelo la pérdida por lixiviación fue muy baja (Gheysari et al., 2009). Por otro lado, en las parcelas con estrés hídrico la absorción por el maíz fue menor.

Volatilización de amoníaco

La volatilización acumulada durante el ensayo fue mayor cuando se aplicó fertilizante, pero no se registraron diferencias entre los tratamientos con y sin estrés hídrico. La volatilización en los tratamientos sin fertilizar representó la volatilización natural del suelo, que fue del orden de 3.2 kg N-NH₃ ha⁻¹, durante el periodo analizado. Por otro lado, los tratamientos fertilizados perdieron en promedio 7.1 kg N-NH₃ ha⁻¹. Este bajo nivel de pérdidas, en relación a lo mostrado en otros trabajos realizados en la Región Pampeana (Palma et al., 1998; Salvaggiotti, 2005), puede atribuirse a la fuente de fertilizante utilizada (nitrato de amonio) y a que al fertilizante fue incorporado en el suelo que se encontraba con un nivel adecuado de humedad.

Destinos del fertilizante durante el ciclo del maíz

Cuando no se aplicó estrés hídrico las plantas fueron el principal destino del fertilizante (47% del N suministrado), siendo la fracción orgánica del suelo el segundo destino en orden de importancia (37%) (**Figura 4**). En las plantas sometidas a estrés hídrico, la situación fue inversa, la fracción orgánica del suelo fue el principal destino del fertilizante (56%), seguido por la planta (24%). Las plantas estresadas hídricamente al tener una baja eficiencia de recuperación del fertilizante dejaron una mayor cantidad de N proveniente del fertilizante en el suelo. Este N fue inmovilizado principalmente en la fracción orgánica. El fertilizante remanente como nitrato residuales (0-150 cm de profundidad) fue mayor bajo estrés hídrico (8% vs. 3%). La volatilización representó un destino minoritario, sin observar diferencias ante la presencia o no de estrés hídrico (3%).

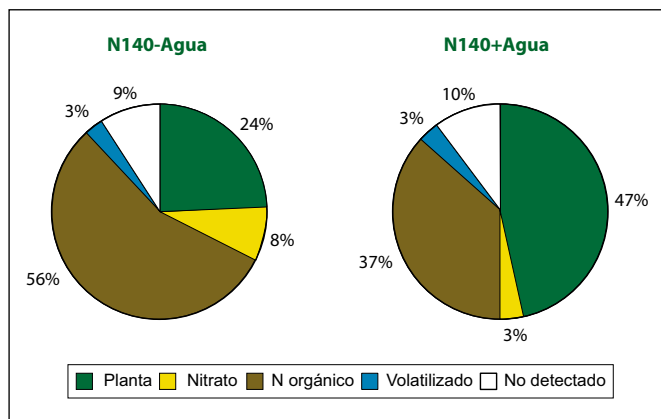


Figura 4. Destinos del N del fertilizante aplicado, expresado en forma relativa al total aplicado. Planta: N acumulado en la biomasa aérea total a cosecha; Volatilización: N-NH₃ volatilizado desde la fertilización hasta la cosecha del maíz; Nitrato: N-NO₃ (0-150 cm) a cosecha del maíz; N orgánico: N en el componente orgánico del suelo de 0-30 cm; No detectado: fracción no recuperada del total aplicado.

En los dos tratamientos fertilizados, se registró una fracción del N no recuperada, cercana al 10%. Entre los destinos posibles de la fracción no detectada se encuentran las raíces, que de acuerdo con experimentos previos, retuvieron alrededor del 3% del N aplicado por fertilización. El resto fue N emigrado del sistema por desnitrificación, perdido por lixiviación por debajo de la profundidad medida, otras salidas menores (fijación en arcillas), o resultó de imprecisiones experimentales propias de las metodologías utilizadas.

Consideraciones finales

Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con los encontrados en trabajos previos (Rimski-Korsakov et al., 2009; Rimski-Korsakov et al., 2012). Esto permite afirmar que en todos los casos cuando el maíz no sufrió estrés hídrico, la planta siempre fue el principal destino del fertilizante. En cambio, ante situaciones de estrés hídrico, la materia orgánica del suelo, pasa a ser el destino principal del fertilizante. En este experimento, el nitrato remanente en el suelo no resultó un destino preferente del N.

Este resultado es significativo, porque la retención del N del fertilizante en las fracciones orgánicas del suelo no implica una pérdida del sistema. Este destino le confiere una relativa residualidad al N del fertilizante que en condiciones normales es esperable que sea de corto plazo ya que es retenido principalmente en las fracciones de la materia orgánica más lábiles. Consecuentemente, una porción de ese N será aprovechada por el próximo cultivo y otra porción entrará nuevamente en el circuito del nitrato del suelo, por lo que parte se volatilizará, parte se lixiviará, parte seguirá otros destinos (desnitrificación, etc.) y parte volverá a la materia orgánica. Este proceso se mantendrá en cantidades cada vez más insignificantes, por algunos años.

Bibliografía

- Álvarez, R., y S. Grigera. 2005. Analysis of soil fertility and management effects on yields of wheat and corn in the Rolling Pampa of Argentina. *J. Agron. Crop Sci.* 191:321-329.
- Bohnert, H.J., y R.A. Bressan. 2001. Abiotic stresses, plant reactions and new approaches towards understanding stress tolerance. En: *Crop Science: Progress and Prospects*. Noesberger, J. et al. (Eds). CABI publishing, Wallingford, UK. pp. 81-100.
- Fertilizar. 2015. Estadísticas. <http://www.fertilizar.org.ar/subida/Estadistica/Consumo%20de%20Fertilizantes%20en%20todos%20los%20cultivos/Consumo%20de%20Fertilizantes%20en%20todos%20los%20cultivos%202013.pdf>
- Gheysari, M., S.M. Mirlatifi, M. Homaei, M.E. Asadi, y G. Hoogenboom. 2009. Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. *Agric. Water Manag.* 96:946-954.
- Macdonald, A.J., P.R. Poulton, D.S. Powlson, y D.S. Jenkinson. 1997. Effects of season, soil type and cropping on recoveries residues and losses of ¹⁵N-labelled fertilizer applied to arable crops in spring. *J. Agric. Sci.* 129:125-154.
- Otegui, M.E., F.H. Andrade, y E.E. Suero. 1995. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crop Res.* 40:87-94.
- Palma, R.M., M.I. Saubidet, M. Rimolo, y J. Utsumi. 1998. Nitrogen losses by volatilization in a corn crop with two tillage systems in the Argentine Pampas. *Commun. Soil Sci. Plant Analysis.* 29:2865-2879.
- Portela, S.I., A.E. Andriulo, M.C. Sasal, B. Mary, y E.G. Jobbágy. 2006. Fertilizer vs. organic matter contributions to nitrogen leaching in cropping systems of the Pampas: ¹⁵N application in field lysimeters. *Plant Soil* 289:265-277.
- Reddy, G.B., y K.R. Reddy. 1993. Fate of Nitrogen 15 Enriched Ammonium Nitrate Applied to Corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:111-115.
- Ritchie, S.W., y J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special report No 48.
- Rimski-Korsakov, H., G. Rubio y R.S. Lavado. 2009. Effect of Water Stress in Maize Crop Production and Nitrogen Fertilizer Fate. *Journal of Plant Nutrition* 32:565-578.
- Rimski-Korsakov, H., G. Rubio, y R.S. Lavado. 2012. Fate of the nitrogen from fertilizers in field-grown maize. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 93:253-263.
- Salvagiotti, F. 2005. Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz. EEA INTA Oliveros.
- SIIA (Sistema Integrado de Información Agropecuaria). 2015. Siembra, Cosecha, Producción y Rendimiento. <http://www.siia.gov.ar/apps/siia/estimaciones/estima2.php>
- Zubillaga, M.S., M.M. Zubillaga, S. Urricariet, y R.S. Lavado. 2002. Effect of nitrogen sources on ammonia volatilization, grain yield and soil nitrogen losses in no-till wheat in an argentine soil. *Agrochimica* 46:100-107.