

RELACIONES ENTRE LA EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO Y DE LA RADIACIÓN EN MAÍZ

Caviglia O.P.^{1,2,3}, Melchiori R.J.M.¹, Kemerer A.⁴, Van Opstal N.V.² y Gregorutti V.C.²

¹ Grupo Recursos Naturales y Factores Abióticos. INTA EEA Paraná

²FCA-UNER

³CONICET

⁴ Instituto de Clima y Agua. INTA - CNIA Castelar

Introducción

La eficiencia en el uso de un recurso (e.g. radiación o nitrógeno) representa la cantidad de producto logrado (materia seca o granos) por unidad de recurso capturado por el cultivo (Hunt et al., 1990). En consecuencia, la mayor productividad de un cultivo puede lograrse por una mayor captura de recursos, por una mayor eficiencia en su uso, o por ambas a la vez.

El efecto de la fertilización nitrogenada en los cultivos agrícolas sobre la eficiencia en el uso del agua (EUA), la radiación (EUR) y el nitrógeno (EUN) ha sido bien documentada (Cooper et al., 1987; Sindair y Horie, 1989; Huggins y Pan, 1993; Paponov et al., 1996).

En general, se ha encontrado que con el incremento de la disponibilidad de N para los cultivos la EUA y la EUR aumentan, mientras que la EUN tiende a decrecer. En efecto, experiencias previas demostraron que la EUA estuvo explicada por las variaciones que se produjeron en la EUR por efecto de la nutrición nitrogenada (Caviglia y Sadras, 2001), mientras que la EUR y la EUN estuvieron negativamente relacionadas entre sí (Hirose y Bazzaz, 1998). Coincidentemente, Sadras y Roget (2004) sugieren una relación inversa entre la EUA y EUN para el cultivo de trigo, en un ambiente semiárido de Australia. Asimismo, se ha encontrado que los vínculos entre EUR y EUA se mantienen cuando se pasa de considerar desde el nivel de los cultivos individuales de trigo y soja al doble cultivo trigo-soja (Caviglia et al., 2004).

La EUN tiende a disminuir con el incremento de la disponibilidad de N (Muchow, 1998) debido a que la absorción de N supera a la necesaria para lograr la máxima tasa de crecimiento, en especial en el cultivo de maíz, ya que éste posee un umbral muy bajo de N foliar para alcanzar la máxima fotosíntesis (Sinclair y Horie, 1989). Sin embargo, en el cultivo de maíz se dispone de escasa o nula información sobre las relaciones que

existen en la eficiencia en el uso de dos o más recursos. Si la EUN se reduce con la disponibilidad de N, se puede asumir que debería existir un nivel de aplicación de fertilizantes que permita maximizar la EUA y la EUR con una reducción mínima en la EUN, maximizando el uso de todos los recursos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del N sobre las eficiencias en el uso de la radiación y del nitrógeno durante el período vegetativo del cultivo, así como los vínculos entre ambas eficiencias.

Materiales y Métodos

Se diseñó un experimento orientado a obtener variaciones en el nivel de intercepción de la radiación y en la disponibilidad de N. Para ello se indujeron tratamientos provenientes de la combinación factorial de densidades de siembra (5, 5; 7 y 9 plantas m⁻²) y dosis de N (0, 50, 100 y 200 kg N ha⁻¹, denominadas N0, N50, N100 y N200). Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con 4 repeticiones.

El híbrido DK684 se sembró el 17 de septiembre de 2006 con una máquina neumática a una densidad de 9 plantas m⁻², las que se ralearon en V2 para obtener las densidades seleccionadas. El fertilizante se aplicó a la siembra en forma de urea al voleo.

El experimento se mantuvo libre de malezas, insectos y enfermedades realizando los controles cuando fueron necesarios.

En V6, V8, V10 y V12 se tomaron muestras de material vegetal en una superficie de 0.52 m², las que se secaron en estufa hasta peso constante y molidas para la determinación de N por microdestilación Kjeldahl. El N acumulado en la planta se estimó como el producto de la materia seca y la concentración de N.

La eficiencia fisiológica de uso del N (EUN) se calculó como la relación entre la materia seca y el N acumulado hasta cada estadio.

El porcentaje de intercepción de la radiación fotosintéticamente activa se midió periódicamente con la utilización de un sensor lineal cuántico. Se tomaron lecturas sobre la canopia (I_o) y debajo del nivel de las hojas verdes del cultivo (I_t) al menos 5 veces por parcela, calculándose el porcentaje de intercepción como (I_o-I_t)/I_o x 100. La cantidad de RFA total interceptada por el cultivo se calculó: i) estimando el % de intercepción diario a partir de interpolación lineal entre dos mediciones, ii) multiplicando la RFA incidente por el % de intercepción diario y iii) acumulando los valores diarios en cada periodo de tiempo considerado.

La eficiencia en el uso de la radiación (EUR) se estimó como el cociente entre la materia seca y la cantidad total de RFA interceptada acumulada hasta cada estadio.

El estatus de nutrición nitrogenada se evaluó, para cada tratamiento de fertilización, a través de una curva de dilución del N según Herrmann y Taube (2004).

Los resultados se analizaron a través de análisis de la varianza, test de Tukey para comparación de medias y análisis de correlación utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1989).

Resultados y Discusión

Acumulación de materia seca y N

La acumulación de materia seca hasta el estadio de V10 fue afectada tanto por efecto de la densidad de plantas como de la fertilización nitrogenada (Figura 1). En el estadio de V12 no se registraron diferencias por efecto de los factores evaluados.

La concentración de N en la materia seca, expresada como porcentaje, fue más afectada por la dosis de N que por la densidad de plantas. El porcentaje de N se redujo con el avance en el desarrollo del cultivo, tal como lo sostienen los numerosos informes que indican que el N se diluye en la biomasa a medida que se progresa en el ciclo ontogénico de un cultivo (Andrade y Sadras, 2000; Herrmann y Taube, 2004).

El N acumulado en la materia seca fue afectado por la densidad de plantas y por la dosis de N en los estadios de V6 y V8, mientras que en los estadios posteriores (V10 y V12) sólo varió por efecto del agregado del nutriente (Figura 3).

Intercepción de la radiación

La cantidad total de radiación interceptada hasta cada uno de los estadios evaluados varió tanto por efecto de la densidad como de la dosis de N (Figura 4).

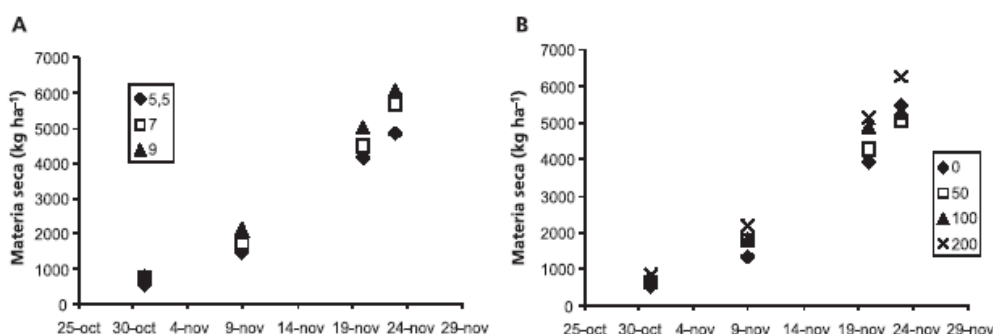


Figura 1: Acumulación de materia seca hasta el estadio de V12 en diferentes densidades de plantas (A) y dosis de fertilización (B) en la campaña 2006/07 en la EEA Paraná del INTA.

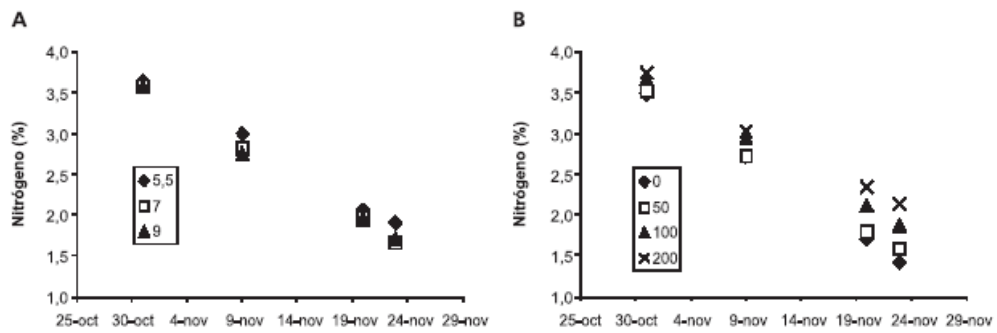


Figura 2: Concentración de N en la materia seca hasta el estadio de V12 en diferentes densidades de plantas (A) y dosis de fertilización (B) en la campaña 2006/07 en la EEA Paraná del INTA.

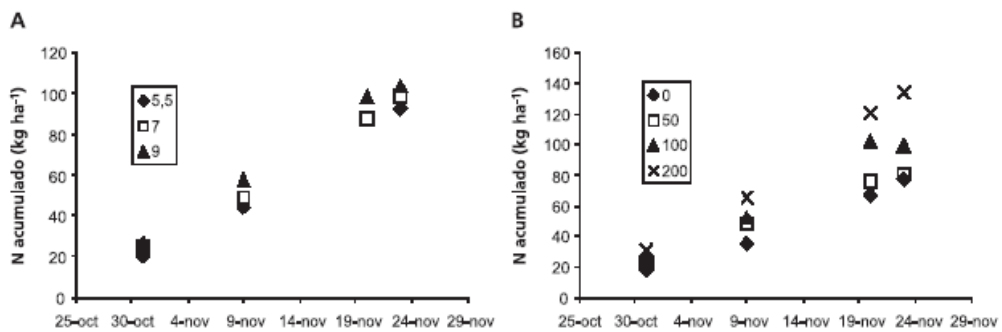


Figura 3: Nitrógeno acumulado hasta en estadio de V12 en diferentes densidades de plantas (A) y dosis de fertilización (B) en la campaña 2006/07 en la EEA Paraná del INTA.

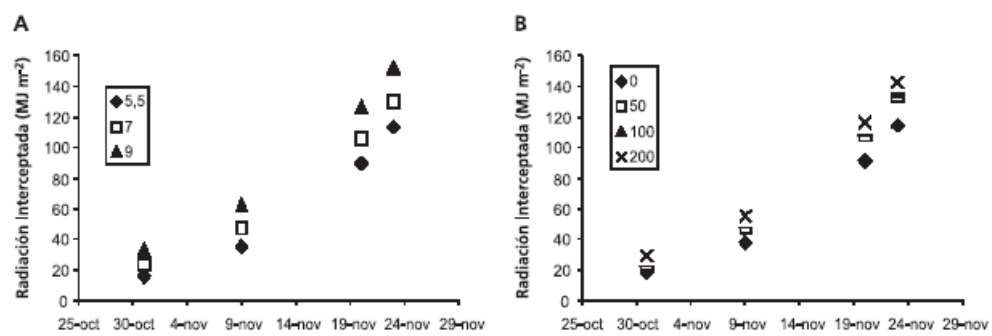


Figura 4: Radiación interceptada en diferentes densidades de plantas (A) y dosis de fertilización (B) en la campaña 2006/07 en la EEA Paraná del INTA.

La cantidad total de radiación interceptada durante todo el ciclo del cultivo fue mayor en los tratamientos N200 que en los testigos sin fertilizar, independientemente de la densidad de siembra (Figura 5A), mientras que la densidad de 9 plantas m^{-2} interceptó mayor cantidad de radiación que las otras dos densidades, sin interacción con la dosis de N (Figura 5B).

Eficiencia en el uso del N y de la radiación

La EUN, evaluada hasta cada uno de los estadios considerados, fue afectada por el agregado de N de manera negativa (Figura 6), i.e. las mayores eficiencias se encontraron con las menores dosis de N. En los estadios V6 y V12 la EUN fue menor en la menor densidad. Como resultado de la reducción en la concentración del N, la EUN se incrementó con el avance en el ciclo ontogénico.

La EUR no varió ni por efecto de la densidad ni por la dosis de N. Esto coincide con los antecedentes bibliográficos que indican que la expansión foliar, y en consecuencia la interceptación de la radiación, es más afectada que la eficiencia en el uso de la radiación (Andrade y Sadras, 2000; Uhart y Andrade, 1995).

Relaciones entre eficiencias

La EUN y la EUR no estuvieron relacionadas entre sí. Esto indicaría que, cuando operan deficiencias moderadas de N se pueden registrar reducciones en la EUN por un incremento en la absorción de N que no se traduce en mejoras en la EUR. Los resultados aquí encontrados mostraron un moderado aumento de la cantidad de radiación interceptada en los tratamientos que recibieron la aplicación de fertilizantes. Asimismo, las

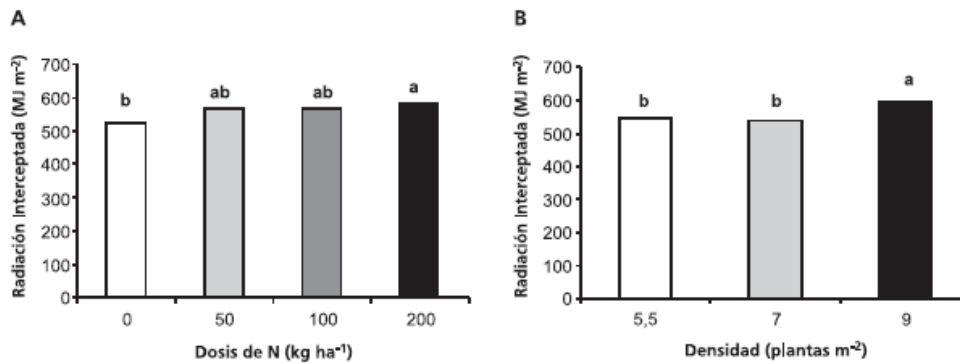


Figura 5: Cantidad total de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo de maíz con diferentes dosis de N (A) y densidades de siembra (B). Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas según test de Tukey ($\alpha=0.05$).

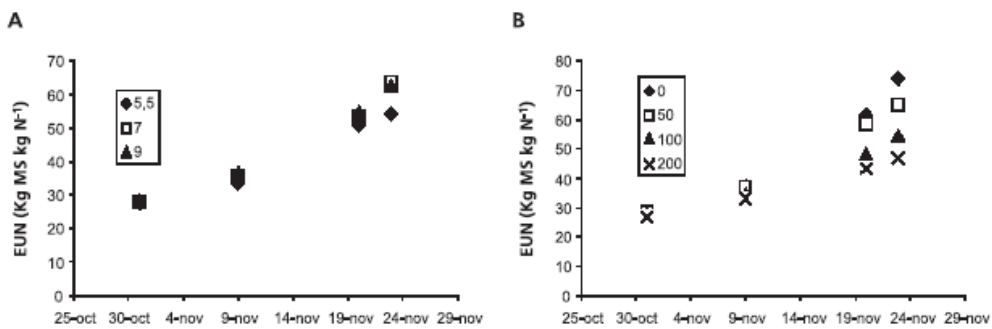


Figura 6: Eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) en diferentes densidades de plantas (A) y dosis de fertilización (B) en la campaña 2006/07 en la EEA Paraná del INTA.

excelentes condiciones de disponibilidad hídrica permitieron que, aún en la menor densidad de siembra, se alcanzaran altos niveles de captura de radiación, lo que se tradujo en pocas diferencias en los rendimientos obtenidos (Figura 7).

Cuando se evaluó el estatus de nutrición nitrogenada en función de la curva de dilución del N se pudo observar que sólo los tratamientos que no recibieron N estuvieron por debajo de los valores críticos desde momentos tempranos del ciclo

(Figura 8). Asimismo, el análisis de la curva de dilución permite una mejor interpretación de los resultados aquí obtenidos, ya que es posible visualizar que los tratamientos con mayores dosis de N presentaron concentraciones del nutriente muy por encima del nivel crítico, lo que reduciría la EUN. Por otra parte, por la definición de nivel crítico, i.e. aquella concentración de N en la materia seca que permite la máxima tasa de crecimiento, por encima de ese valor no serían esperables mejoras en la cantidad de radiación interceptada.

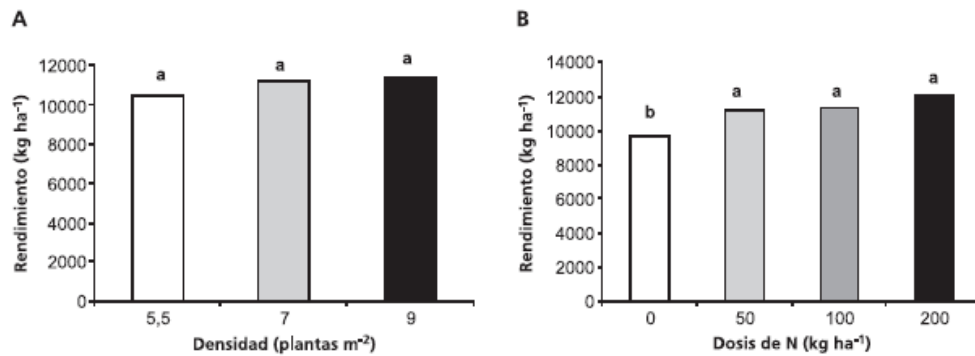


Figura 7: Rendimiento en granos en diferentes densidades de siembra (A) y en diferentes dosis de N (B) en la campaña 2006/07 en la EEA Paraná del INTA. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas según test de Tukey ($\alpha=0.05$).

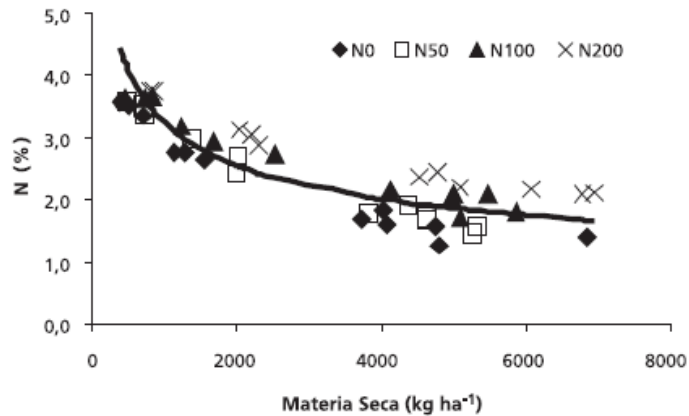


Figura 8: Concentración de N en la materia seca en relación a la cantidad de biomasa acumulada (curva de dilución del N) en la campaña 2006/07 en la EEA Paraná del INTA. La línea indica el nivel crítico de N por sobre el cual no existen deficiencias del nutriente, según la función de Herrmann y Taube (2004). La función representa a la ecuación $[\%N=1000 \times (34.12 \text{ MS}^{-0.391})]$, donde MS es la cantidad de materia seca en un momento dado.

Consideraciones Finales

La eficiencia fisiológica en el uso del N se redujo con la aplicación de N y no fue afectada por las densidades de planta.

El aumento en la dosis de N y en las densidades de planta mejoró la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada, aún cuando la disponibilidad de N en el sitio del ensayo y la disponibilidad de agua fueron altas.

Las eficiencias en el uso del N y de la radiación no estuvieron asociadas entre sí. La menor eficiencia en el uso del N se asoció con una mayor acumulación en la planta que no se tradujo en mejoras en la EUR, debido a la buena disponibilidad del nutriente en el suelo y a la mayor respuesta del cultivo en la eficiencia de interceptación.

Bibliografía

- ANDRADE F.H. y V.O. SADRAS (Eds) 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Ed. Médica Panamericana, Balcarce, p. 443
- CAVIGLIA O.P. and V.O. SADRAS 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water and radiation use efficiency of wheat. *Field Crops Research* 69:259-266
- CAVIGLIA O.P., SADRAS V.O. and F.H. ANDRADE 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double cropped wheat-soybean. *Field Crops Research* 87:117-129
- COOPER P.J.M., GREGORY P.J., TULLY D. and H.C. HARRIS 1987. Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of West Asia and North Africa. *Experimental Agriculture* 23:113-158
- HERRMANN A. and F. TAUBE 2004. The range of critical dilution curve for maize (*Zea mays* L.) can be extended until silage maturity. *Agronomy Journal* 96:1131-1138
- HIROSE T. and F.A. BAZZAZ 1998. Trade-off between light- and nitrogen-use efficiency in canopy photosynthesis. *Annals of Botany*. 82: 195-202.
- HUGGINS D.R. and W.L. PAN 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping systems differences in productivity. *Agronomy Journal* 85:898-905
- HUNTR., WARREN WILSON J., and D.W. HAND 1990. Integrated analysis of resource capture and utilization. *Annals of Botany* 65:643-648
- PAPONOV I., AUFHAMMER W., KAUL H.P. and F.P. EHMELE 1996. Nitrogen efficiency components of winter cereals. *European Journal of Agronomy* 5:115-124
- SADRAS V.O. and D. ROGET 2004. Production and environmental aspects of cropping intensification in a semiarid environment of southeastern Australia. *Agronomy Journal* 96:236-246
- SAS INSTITUTE INC. 1989. SAS/STAT User's guide, Version 6. 4th edition. Vol. 2. Cary, NC: SAS Institute Inc. 846 p.
- SINCLAIR T.R. and T. HORIE 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation-use efficiency: A review. *Crop Science* 29:90-98
- UHART S.A. and F.H. ANDRADE 1995. Nitrogen deficiency in maize. I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Science* 35:1376-1383