

VINCULOS ENTRE LA EFICIENCIA EN USO DEL NITRÓGENO, EL AGUA Y LA RADIACIÓN EN TRIGO

Caviglia, Octavio P.^{1,2}; Melchiori, Ricardo J.M.¹; Papparotti, Osvaldo F.^{1,2}

¹INTA EEA Paraná

²FCA-Universidad Nacional de Entre Ríos

Ruta 11 km 12.5 (3100) Paraná. Entre Ríos. ocaviglia@parana.inta.gov.ar

Introducción

La cantidad de biomasa o granos que produce un cultivo puede calcularse como el producto de la cantidad de recursos (e.g. agua, nutrientes, radiación) que es capturada y la eficiencia con que estos son convertidos en el producto final (Hunt et al., 1990). Este concepto conocido como modelo de captura de recursos constituye la base medular de la mayoría de los modelos de simulación y de la disciplina moderna de la fisiología de cultivos.

El efecto de la fertilización nitrogenada en los cultivos agrícolas sobre la eficiencia en el uso de: el agua (WUE), la radiación (RUE) y el nitrógeno (NUE) ha sido bien documentada (Cooper et al., 1987; Sinclair and Horie, 1989; Huggins and Pan, 1993; Paponov et al., 1996). En general, se ha encontrado que con el incremento de la disponibilidad de N para los cultivos la WUE y la RUE aumentan, mientras que la NUE tiende a decrecer. En efecto, experiencias previas demostraron que la WUE estuvo explicada por las variaciones que se produjeron en la RUE por efecto de la nutrición nitrogenada (Caviglia and Sadras, 2001), mientras que la RUE y la NUE estuvieron negativamente relacionadas (Hirose and Bazzaz, 1998). Recientemente Sadras and Roget (2004) sugieren una relación inversa entre la WUE y NUE en un ambiente semiárido de Australia. Asimismo se ha encontrado que los vínculos entre RUE y WUE 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).

El efecto del N sobre todas estas eficiencias en conjunto y sus interrelaciones, sin embargo, no han sido aún exploradas en el cultivo de trigo, lo que permitiría disponer de conocimientos para maximizar el uso de todos los recursos involucrados en la producción de biomasa y granos.

El incremento en la disponibilidad de N aumenta la eficiencia en el uso del agua y de la radiación en el trigo (Caviglia and Sadras, 2001) pero podría reducir la eficiencia en el uso del nitrógeno a través de una menor eficiencia fisiológica (i.e. materia seca o grano producida por unidad de nitrógeno absorbido). Esta hipótesis es puesta a prueba en cuatro experimentos de fertilización N en trigo conducidos en ambientes con diferente disponibilidad de agua y nutrientes en el centro-oeste de Entre Ríos. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del N sobre las eficiencias en el uso del agua, la radiación y del nutriente y sus relaciones

Materiales y Métodos

Se condujeron 4 experimentos en 1994, 1995, 1998 y 1999 sobre un suelo Argiudol ácuico serie Tezanos Pinto en la EEA Paraná del INTA (Entre Ríos, 31,5° S; 60,31° W; 110 m.s.n.m) que incluyeron 4 tratamientos, dispuestos en bloques completos al azar, con tres repeticiones: 0, 40, 80 y 160 kg N ha⁻¹ aplicados al voleo a la emergencia del cultivo en forma de urea (46%N).

Las fechas y densidades de siembra estuvieron dentro de lo recomendado para la zona y en todos los casos se utilizó el cultivar PROINTA Federal. Los experimentos fueron regados por aspersión excepto en 1994 y mantenidos libres de insectos y malezas.

Se evaluó el contenido hídrico del suelo utilizando el método gravimétrico, en muestras tomadas cada 0.20 m hasta 1.2 m de profundidad en al menos 5 estadios del cultivo que incluyeron emergencia, anthesis y madurez. La estimación de la evapotranspiración (ET) del cultivo se realizó mediante un balance hídrico a partir de la variación de almacenaje entre fechas, la lámina neta de riego, y la precipitación efectiva, sin considerar las pérdidas por percolación profunda.

El porcentaje de interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) se midió periódicamente con la utilización de un ceptómetro lineal ACCUPAR. 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 interceptación como $(I_o - I_t)/I_o \times 100$. La cantidad de RFA total interceptada por el cultivo se calculó: i) ajustando polinomios ($R^2 > 0.96$) para describir la evolución del porcentaje de interceptación en función del tiempo, ii) estimando el % de interceptación diario a partir de la función ajustada, iii) multiplicando la RFA incidente por el % de interceptación diarios y iv) acumulando los valores diarios en cada periodo de tiempo considerado.

En madurez fisiológica se tomaron muestras de biomasa aérea del cultivo sobre una superficie de 0.4m². La cosecha se realizó en forma mecánica para estimar el rendimiento en granos. Las muestras de plantas y granos fueron molidas y se determinó la concentración de N por el método de Kjeldahl.

La eficiencia en el uso del agua fue estimada como el cociente entre el rendimiento en granos (WUE_g) o biomasa total a madurez (WUE_{DM}) y la ET. Similarmente la eficiencia en el uso de la radiación se estimó como el cociente entre el rendimiento en granos (RUE_g) o biomasa total a madurez (RUE_{DM}) y la cantidad total de RFA interceptada.

La eficiencia en el uso del N para granos (NUE_g) o biomasa (NUE_{DM}) fue calculada de acuerdo a lo propuesto por Huggins and Pan (1993) como el producto de la eficiencia de absorción (efAbs) y la eficiencia fisiológica (efF_g o efF_{DM}). La eficiencia de absorción se calculó como el cociente entre el nitrógeno total absorbido por el cultivo (Nt) y el nitrógeno suministrado por el suelo (a la siembra y por mineralización) y el fertilizante (Ns). La eficiencia fisiológica es el cociente entre el rendimiento en granos o biomasa y el Nt.

Los resultados se analizaron a través del análisis de la variancia, regresiones lineales y análisis de correlación.

Resultados

En el análisis conjunto de los experimentos el N afectó significativamente (p<0.05) al rendimiento en granos, a la producción de biomasa y a las eficiencias de uso de N, agua y radiación. En la Tabla 1 se presentan los rangos para las variables relevantes en cada uno de los años.

Tabla 1. Rangos de nitrógeno suministrado (Ns), rendimiento en granos, biomasa aérea, evapotranspiración (ET), N absorbido (Nt) y radiación interceptada (RFA_{int}) en cada experimento de fertilización

| Experimento | Ns (kg ha ⁻¹) | Rendimiento (t ha ⁻¹) | Biomasa (t ha ⁻¹) | ET (mm) | Nt (kg ha ⁻¹) | RFA _{int} (MJ m ⁻²) |
|-------------|------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|------------|------------------------------|---|
| 1994 | 68-230 | 2.2-3.4 | 6.3-9.5 | 163-238 | 68-132 | 1085-1185 |
| 1995 | 254-428 | 6.0-7.1 | 14.3-20.1 | 377-431 | 219-287 | 1538-1614 |
| 1998 | 75-246 | 1.9-5.6 | 5.2-14.6 | 327-464 | 40-143 | 741-1481 |
| 1999 | 96-234 | 2.3-5.6 | 5.6-13.0 | 235-380 | 48-170 | 660-1097 |

El rendimiento en granos y la biomasa se relacionaron fuerte y positivamente entre sí ($p < 0.0001$) y tanto con el N absorbido por el cultivo (N_t) como con el N suministrado (N_s) (Figura 1).

El rendimiento en granos estuvo asociado con la WUE_g y la RUE_g ($p < 0.0001$) pero no relacionado con la NUE_g ni con sus componentes. La WUE_g y la RUE_g estuvieron vinculadas entre sí ($p < 0.002$) mientras que éstas no estuvieron relacionadas con la NUE_g . Sin embargo la WUE_g sí se relacionó con los componentes de la NUE_g , positivamente ($p < 0.03$) con la $efAbs$ y negativamente ($p < 0.002$) con la efF_g .

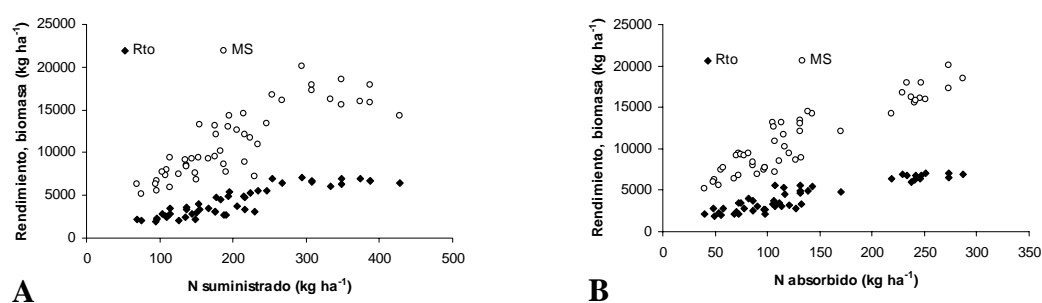


Figura 1. Rendimiento en granos y biomasa aérea en función del N suministrado (A) o absorbido (B)

La producción de biomasa estuvo explicada positivamente por las variaciones en la RUE_{DM} ($p < 0.0001$) y la WUE_{DM} ($p < 0.0004$) y no relacionada con la NUE_{DM} . Sin embargo la producción de biomasa se relacionó fuerte y negativamente con la efF_{DM} ($p < 0.0009$).

Las eficiencias de uso de los tres recursos (WUE_{DM} , RUE_{DM} , NUE_{DM}) para la producción de biomasa no estuvieron vinculadas a través de los 4 años analizados. Sin embargo, la WUE_{DM} se asocio fuertemente con los componentes de la NUE_{DM} , positivamente con la $efAbs$ ($p < 0.001$) y negativamente ($p < 0.0001$) con la efF_{DM} . Cuando se analizó cada uno de los experimentos individualmente existió una fuerte asociación ($p < 0.0001$) entre WUE_{DM} y RUE_{DM} en aquellos en los que no se registraron deficiencias hídricas, i.e. 95, 98 y 99 y una más débil ($0.03 < p < 0.06$) pero consistente asociación negativa con la efF_{DM} .

El suministro de N afectó en general curvilíneamente a la RUE_{DM} ($p < 0.06$) y a la WUE_{DM} ($p < 0.04$) y de forma exponencial negativa a la efF_{DM} ($p < 0.003$) (Figura 2). Por otro lado el nitrógeno absorbido (N_t) hasta madurez se relacionó linealmente con la

RUE_{DM} ($p < 0.04$; $R^2 = 0.28$), curvilinealmente con la WUE_{DM} ($p < 0.008$; $R^2 = 0.59$) y en forma exponencialmente negativa con la eff_{DM} ($p < 0.0001$; $R^2 = 0.66$) (Figura 2).

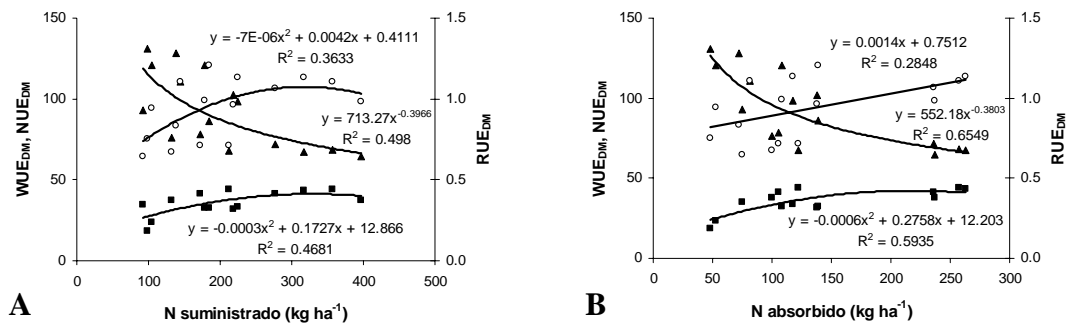


Figura 2. Eficiencias en el uso del N (NUE_{DM}), del agua (WUE_{DM}) y de la radiación (RUE_{DM}) en relación al N suministrado (A) o el N absorbido (B)

Discusión

La asociación entre eficiencias de uso de radiación y agua afectadas por la fertilización con N había sido previamente documentada en el cultivo de trigo (Caviglia and Sadras, 2001) y la relación negativa entre WUE y NUE fue sugerida en experimentos de simulación (Sadras and Roget, 2004). En este trabajo se documentó como varían las eficiencias de uso a través del nitrógeno total absorbido así como por el N suministrado (Figura 2).

La NUE tal como ha sido definida en este trabajo calculada en base al recurso suministrado no es estrictamente comparable con la WUE y RUE debido a que éstas son calculadas en base a la cantidad de recurso capturado (i.e. ET y RFA interceptada). Recientemente se han propuesto indicadores de la eficiencia del recurso suministrado para agua y radiación que se calculan como el producto de la eficiencia de captura y la de uso que resultan en lo que se denomina productividad de los recursos (Caviglia et al., 2004).

Aunque la base de la relación positiva entre la WUE y la RUE ha sido discutida ampliamente en otro trabajo (Caviglia and Sadras, 2001), la mejora en la nutrición nitrogenada incrementa la eficiencia fotosintética de la planta lo que mejoraría la relación de cantidad de carbono fijado por unidad de agua perdida.

A nivel de hoja se ha sugerido que lo central en la relación inversa entre WUE y NUE radica en que cualquier incremento en la conductancia estomática, que reduce la

WUE, aumenta la concentración de CO₂ en la célula incrementando la NUE (Hirose and Bazzaz, 1998).

Las relaciones entre las eficiencias de uso de los 3 recursos considerados con el N absorbido y el N suministrado (Figura 2) sugieren la existencia de un punto óptimo en el cual la WUE_{DM} y la RUE_{DM} se hacen máximas sin llegar a los mínimos valores de efF_{DM}.

Agradecimientos

A los auxiliares de apoyo que hicieron posible la realización de los trabajos de campo y en laboratorio. Parte de este trabajo fue financiado por el proyecto regional INTA CRER 5220.

Referencias

- Caviglia, O.P., Sadras, V.O., 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., Andrade, F.H., 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*. in press.
- Cooper, P.J.M., Gregory, P.J., Tully, D., Harris, H.C., 1987. Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of West Asia and North Africa. *Experimental Agriculture*. 23, 113-158.
- Hirose, T., Bazzaz, F.A., 1998. Trade-off between light- and nitrogen-use efficiency in canopy photosynthesis. *Annals of Botany*. 82, 195-202.
- Huggins, D.R., Pan, W.L., 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping systems differences in productivity. *Agronomy Journal*. 85, 898-905.
- Hunt, R., Warren Wilson, J., Hand, D.W., 1990. Integrated analysis of resource capture and utilization. *Annals of Botany*. 65, 643-648.
- Paponov, I., Aufhammer, W., Kaul, H.-P., Ehmele, F.-P., 1996. Nitrogen efficiency components of winter cereals. *European Journal of Agronomy*. 5, 115-124.
- Sadras, V.O., Roget, D., 2004. Production and environmental aspects of cropping intensification in a semiarid environment of southeastern Australia. *Agronomy Journal*. 96, 236-246.
- Sinclair, T.R., Horie, T., 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation-use efficiency: A review. *Crop Science*. 29, 90-98.