

FERTILIZACIÓN COMPUESTA (N-P-S) DE TRIGO EN UNA ROTACIÓN: RESPUESTA PRODUCTIVA Y DESARROLLO RADICULAR

Hugo S. Vivas¹, R. Albrecht¹, A. Oliveira Ferreira² y J. L. Hotián³

¹INTA EEA Rafaela, ²Universidad Estadual de Ponta Grossa, PR, Brasil, ³Cooperativa Bernardo de Irigoyen.
hvivas@rafaela.inta.gov.ar

En la región central de la provincia de Santa Fe, el trigo es un componente importante de las rotaciones agrícolas, y normalmente para optimizar la producción requiere de una fertilización integral con nutrientes como el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S) (Vivas et al. 2003; Fontanetto et al. 2003). Según la disponibilidad de los suelos puede en ciertos casos, como en el oeste de Santa Fe, obviarse el uso del P o utilizarlo como arrancador. En cambio, en el centro-este de la provincia, como el Departamento San Jerónimo, y en particular en el presente ensayo de larga duración, la fertilización no solo debe ser balanceada, sino incluir una dosificación extra de P y S para obtener beneficios productivos y económicos en la leguminosa posterior de la secuencia (Vivas, 2003).

Con el sistema de siembra directa la disponibilidad de N de nitratos (N-NO₃⁻) del suelo superficial al momento de la implantación del trigo es escasa, básicamente por las bajas temperaturas en suelo (Dowdell y Cannell, 1975). Cuatro años de relevamientos realizados por la EEA Rafaela en la región central de la provincia de Santa Fe, mostraron que entre el 82% al 94% de los análisis fueron inferiores a 10 ppm, concentración de N en suelo considerada como muy baja para los requerimientos de los cultivos, confirmando otras referencias como la de Alley y Brann (1999). La baja mineralización del suelo implica una inevitable utilización de fertilizantes nitrogenados para compensar el sistema. Los restantes nutrientes podrían variar según las características específicas del sitio o región.

La escasa mineralización en la época de siembra del trigo también afecta la disponibilidad del P, por lo que es importante que la mayor concentración de fosfatos se encuentre disponible en la capa superficial del suelo para favorecer el desarrollo radicular, el macollaje, la espigazón y, en consecuencia, los rendimientos (Blumenthal y Sander, 2002). Aunque el N es el nutriente más demandado, el P tiene una importancia estratégica: es deficiente en amplias áreas de la región pampeana, no tiene una reposición natural y la importación es necesaria para abastecer la provisión de los fertilizantes fosfatados, a nivel país. Como particularidad se destaca las características residuales como las encontradas por Vivas et al. (2001) y Vivas (2003) en la región central de la provincia y la sugerida por Salvagiotti et al. (2003) para la región centro-sur. Es necesario puntualizar que en condiciones de déficit hídrico la deficiencia de P condiciona la absorción del N (Vivas y Hansen, 1996).

Al igual que el P, el otro nutriente que posee pro-

iedades residuales es el S y ello fue demostrado en varias oportunidades (Ramig et al., 1975; Vivas et al., 2001; Fontanetto et al., 2003). La respuesta al S es más notable en los sistemas de agricultura continua de secano y sobre todo si existe disminución de la materia orgánica (MO) o procesos de erosión (Oveson, 1966).

Como el diagnóstico del S es errático tanto en los análisis de suelo como en tejidos de plantas, hasta el presente el mejor indicador es la evidencia sobre el mismo cultivo (síntomas y producción). Cuando la respuesta se observa en trigo u otra gramínea indica que podría ocurrir la misma situación con las leguminosas posteriores y el resto de las cosechas en los años subsiguientes, si es que no ocurren deficiencias hídricas moderadas a severas. Por lo expuesto anteriormente, en la región central de la provincia es necesario fertilizar con N, P y S para aumentar los rendimientos del trigo y permitir que se expresen los efectos residuales del P y S en los cultivos posteriores.

Aunque la siembra directa con rastrojos en superficie tiene menor temperatura del suelo superficial, mayor densidad aparente y resistencia a la penetrabilidad, las condiciones se compensan por un sistema de macroporos más extenso que favorece el crecimiento y la distribución de las raíces (Rasse y Smucker, 1998). Si esta condición se combina con distinta dosis de fertilizantes es factible incrementar la proliferación radicular según la nutrición del suelo (Drew et al., 1973). Al respecto, Sainju et al. (2005) destacan que no solo se promueve mayor biomasa radicular sino también un incremento del carbono y el N edáfico. Qian y Doran (1996) estiman, según cultivo, un aporte entre 400 a 1600 kg/ha de C por cada estación de crecimiento proveniente de dicha fuente. Esto permitiría, con la descomposición radicular de los sucesivos cultivos, ir incrementando la MO de los horizontes superficiales, mejorar las condiciones de la rizosfera y, de ese modo, la calidad, la sustentabilidad y la productividad del suelo.

El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar la fertilización compuesta N-P-S del trigo y su influencia sobre la producción de grano, la materia seca aérea, las espigas por unidad de superficie, los granos por espiga y observar el desarrollo radicular en la capa superficial del suelo.

Materiales y Métodos

La investigación se condujo en la Unidad Demostrativa Agrícola de Bernardo de Irigoyen (UDA), Departamento San Jerónimo, sobre un suelo de la

serie Clason, y como parte de un ensayo de larga duración iniciado en el año 2000 con la secuencia trigo-soja-maíz-soja. Las necesidades de N para el trigo fueron satisfechas en forma uniforme para todo el ensayo. En cambio, el P y el S fueron variables. Los tratamientos en el trigo fueron una combinación de P (0, 20 y 40 kg/ha) y de S (0, 12, 24 y 36 kg/ha), con 60 kg/ha de N como dosis única, en un diseño de parcelas divididas, en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, donde el P constituyó la parcela principal y el S las subparcelas. La unidad experimental fue de 4,2 x 12 metros. El P se aplicó bajo la forma de superfosfato triple de calcio (P=20%), el S como yeso (S=18%) y el N como urea (N= 46%). La fertilización se renueva cada dos cosechas (la fertilización se realiza sobre el trigo y el maíz).

El contenido inicial de P extractable, y por el efecto residual de la secuencia anterior, fue P0= 7,5 ppm, P20= 10,7 ppm y P40= 17,8 ppm. Posiblemente, las dosis de S también tuvieron residualidad pero no es factible evaluarla con las actuales técnicas de laboratorio. La MO y el N-NO₃⁻ no tuvieron diferencias entre los tratamientos y en promedio fueron de 2,5% y 8,6 ppm, respectivamente. El P fertilizante se incorporó con la sembradora mientras que el N y el S se distribuyeron al voleo al momento de la siembra.

La variedad de trigo de ciclo intermedio fue ACA 601, que se sembró el 30-06-2006 y se cosechó el 23-11-06. Al estado de grano lechoso (Zadoks 7), 24-10-2006, se realizó la evaluación de los sistemas radiculares en los 12 tratamientos y en 2 repeticiones, según la técnica de Crestana et al. (1994). Con este propósito se realizaron calicatas de 1 m x 0,50 m y 0,40 m de profundidad en la parte posterior y central de cada parcela y en sentido perpendicular a las líneas de siembra. La cara frontal de la calicata fue removida manualmente en ± 1-2 cm para exponer las raíces y, de ese modo, obtener las imágenes utilizando una cámara digital.

Las evaluaciones del sistema radicular se realizaron sobre imágenes fotográficas y para registrar las mismas se introdujo en la calicata un marco de madera con cuadrículas 0,10 x 0,10 metros formadas por hilos de nylon negro de 3 mm de diámetro. El suelo fue lavado con agua a presión utilizando una mochila y posteriormente con una solución de peróxido de hidrógeno al 10% para blanquear las raíces y favorecer el contraste fotográfico.

Introducido el marco, el relevamiento fotográfico se realizó en un cuadro de 0,80 m de ancho x 0,30 m de alto (0,24 m²). En cada calicata se obtuvieron 8 imágenes y en cada una conteniendo varias cuadrículas 0,10 x 0,10 m. Cada imagen fue procesada con el programa Corel Draw, versión 12, para obtener el contraste radicular. Posteriormente, para la cuantificación de la longitud del sistema radicular, se utilizó el programa SIARCS 3.0 (Sistema Integrado para Análisis de Raíces e Cobertura do Solo) desarrollado por Crestana et al. (1994). En la Figura 1 se presenta un esquema del trabajo realizado.

En el momento de la evaluación radicular también

se tomaron muestras de la parte aérea de la planta para evaluar la materia seca y las espigas por unidad de superficie (2 m lineales). Posteriormente y previo al momento de la cosecha se tomaron muestras de espigas (15 por parcela) para evaluar los granos por espiga y el peso de los 1000 granos. La producción del trigo se evaluó con la cosecha de 32,4m² por parcela, utilizando una cosechadora experimental. Los rendimientos de grano y las demás variables de componentes analizadas se sometieron al análisis de la variancia y de regresión al nivel del 5% de significancia utilizando el programa SAS versión 8 (SAS, 1999).

Resultados y discusión

Las precipitaciones de interés para el cultivo registradas en 2006 fueron: febrero (110 mm), marzo (87 mm), abril (70 mm), mayo (1 mm), junio (64 mm), julio (5 mm), agosto (2 mm), setiembre (9 mm), octubre (68 mm) y noviembre (120 mm). El déficit hídrico fue marcado durante tres meses del período vegetativo, destacándose la falta de precipitaciones durante setiembre, donde normalmente se acentúa el consumo de agua. Los rendimientos se pueden observar en la Figura 2.

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,05) con un coeficiente de variación (CV) del 9,1% y un coeficiente de determinación (R²) de 0,74. Las diferencias debidas al P y al S fueron significativas (P<0,05) pero no así la interacción P*S.

La producción media fue de 2424 kg/ha con una tendencia creciente en función de la combinación de fertilizantes, variando de 1817 kg/ha para el testigo POSO hasta 2811 kg/ha para el tratamiento P40S36 (una diferencia superior del 55%). En general, las respuestas al P y al S fueron importantes ratificando la necesidad de utilizar ambos nutrientes junto con el N para mantener la productividad del sistema.

Como en años anteriores se observó la influencia significativa del S, aún en los tratamientos donde nunca se fertilizó con P, lo cual destaca el comportamiento individual de este factor en suelos con muchos años de agricultura continua (Fig. 3).

Sin duda, los dos factores fueron importantes, el P con un efecto lineal y el S con un efecto cuadrático significativo (P<0,05). El efecto del S combinado con P fue sobresaliente, particularmente en una campaña con marcado déficit hídrico donde se podría asumir, según lo aportado por Merrill et al. (1996), que la fertilización permitió mayor eficiencia en el uso del agua y absorción de los nutrientes.

Respecto a la producción de MS las diferencias entre los tratamientos no alcanzaron a ser significativas para el factor P (P>0,05), posiblemente por un alto CV= 19,4%, en cambio lo fueron para el S (P<0,05). La variación del contenido de materia seca (MS) puede verse en la Figura 4.

Existió una diferencia notable entre el testigo S0 y los restantes niveles de S para todas las dosis de P, destacándose la combinación P40S12. El P fue más importante para el desarrollo radicular y tendría un

efecto más indirecto en la generación de biomasa aérea, de allí que las pequeñas diferencias de MS para P no hayan sido más notables. No hubo interacción significativa P*S ($P > 0,05$) la diferencia de magnitud para cada factor puede apreciarse en la Figura 5, donde se destaca nuevamente el rol del S. La relación entre la producción de biomasa aérea (MS) y el rendimiento de grano para cada tratamiento tuvo una gran correspondencia y se puede apreciar

en la Figura 6. Para el componente espigas/m², tanto el P como el S generaron diferencias significativas ($P < 0,05$) pero no así la interacción P*S ($P > 0,05$). Los efectos de cada factor se pueden ver en la Figura 7. El P tuvo un efecto lineal significativo ($P < 0,05$), pero el S un efecto cuadrático significativo, a través de los niveles de P, ($P < 0,05$) presentando la siguiente ecuación: $y = 155,75 + 131,01 x - 21,925 x^2$; $R^2 = 0,85$.

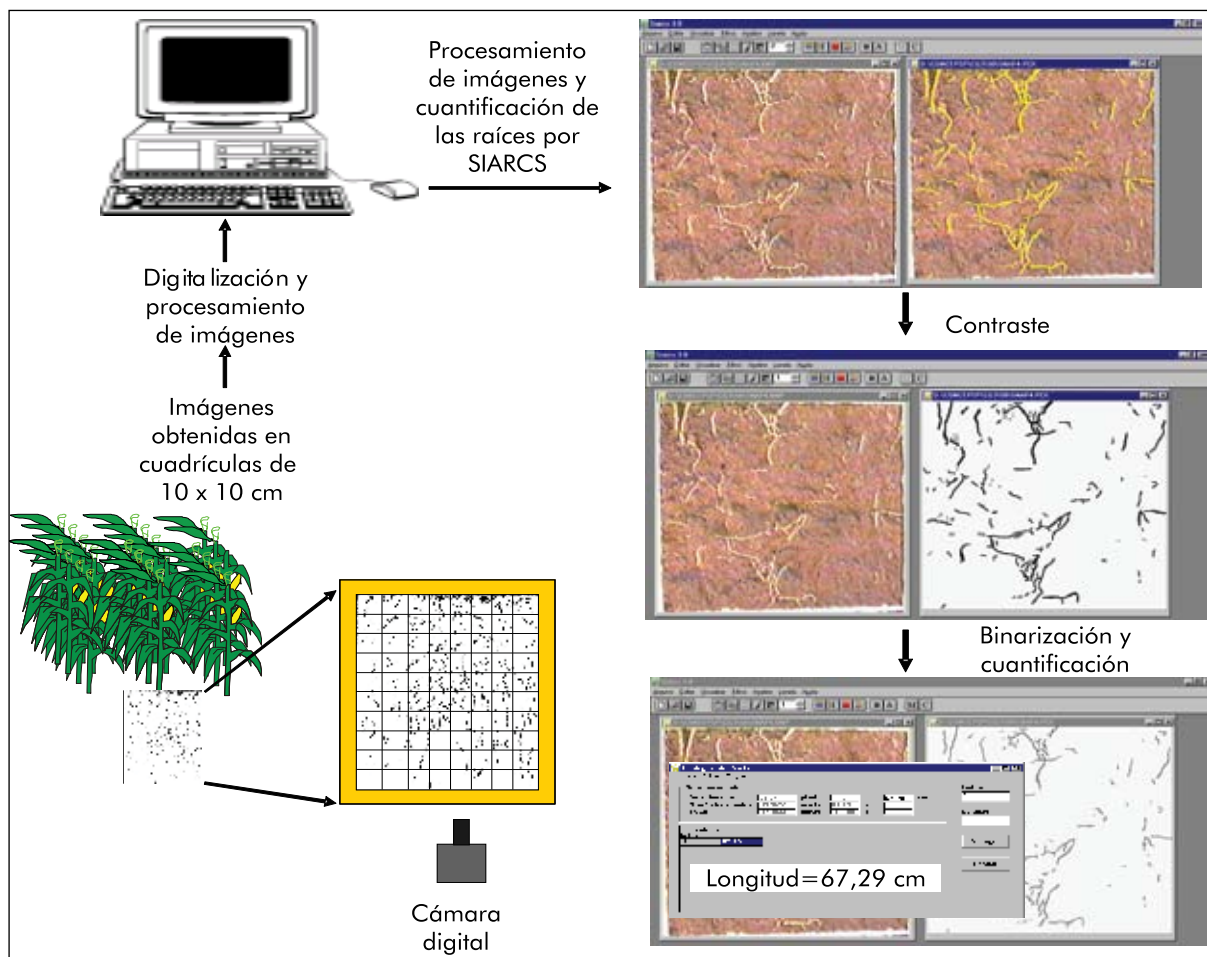


Figura 1. Esquema de trabajo (adaptado de Joao Carlos de Moraes Sá y A. Oliveira Ferreira) para la evaluación del desarrollo radicular (longitud) de trigo en los primeros 0,30 m de profundidad del suelo. Bernardo de Irigoyen, 2006.

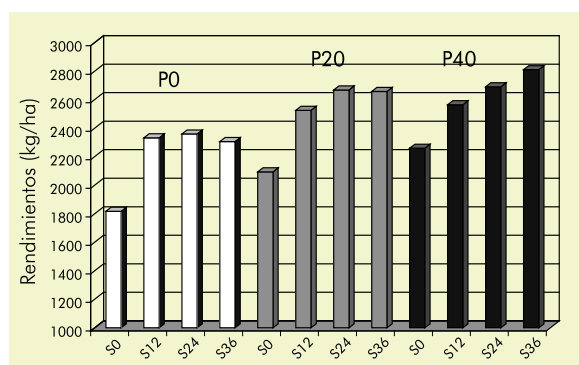


Figura 2. Producción de trigo con dosis variables de P y S, y fertilización uniforme de N dentro de la secuencia trigo/soja-maíz-soja. Bernardo de Irigoyen. 2006.

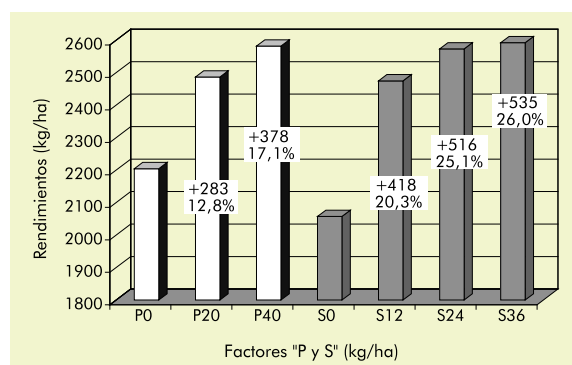


Figura 3. Respuesta de la producción de trigo al P y al S a través de los niveles correspondientes del otro factor. Bernardo de Irigoyen. 2006.

Además de lograr mayor producción de espigas por unidad de superficie, en los tratamientos fertilizados se observaron aumentos en los granos por espiga con las dosis crecientes de fertilización, principalmente por influencia del S con un efecto lineal significativo ($P < 0,05$) (Fig. 8). El P no tuvo influencia significativa en la determinación del número de granos por espiga. El peso de los 1000 granos también fue influido por los factores P y S, con un promedio para el ensayo de 35,4 g (información no presentada). Los aumentos en la producción de trigo se explicarían por la respuesta significativa de la materia seca, las espigas por unidad de superficie y los granos por espiga, a la fertilización compuesta con N (uniforme

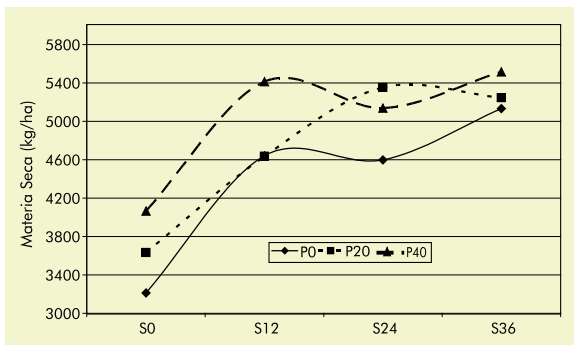


Figura 4. Relevancia del S en la producción de materia seca para los diferentes niveles de P. Bernardo de Irigoyen. 2006.

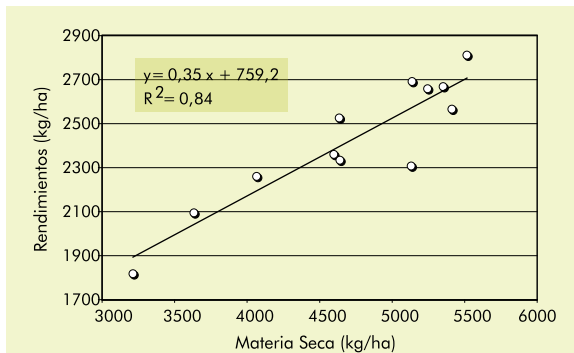


Figura 6. Relación entre la producción de biomasa y los rendimientos de trigo. Bernardo de Irigoyen. 2006.

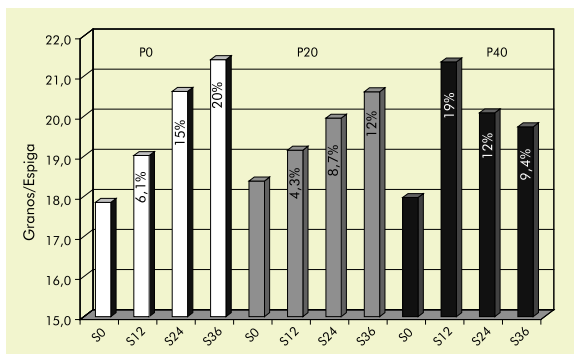


Figura 8. Granos por espiga según niveles de fertilización con P y S respecto del correspondiente nivel S0. Bernardo de Irigoyen. 2006.

para todo el ensayo)-P y S. La diferencia obtenida entre el testigo absoluto POS0 y el mejor tratamiento P40S36 fue de un 55%. Al respecto se rescata el estudio realizado por Stewart et al. (2005), en ensayos de larga duración, donde estiman que entre un 30 a 50% de las cosechas puede atribuirse al uso de fertilizantes comerciales y que aún así la estimación podría ser conservadora. Como se aprecia, en el presente trabajo se supera dicho porcentaje. Los efectos de los tratamientos de fertilización P x S

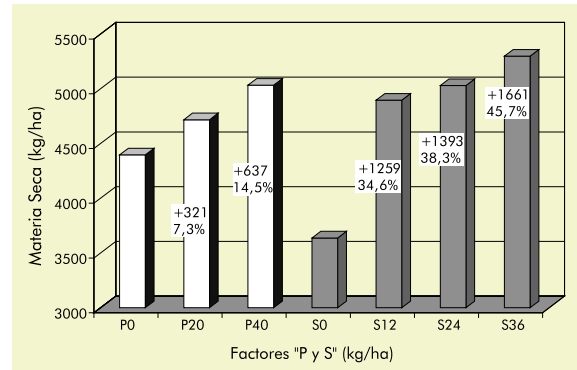


Figura 5. Respuesta de la materia seca del trigo al P y al S, a través de los niveles correspondientes del otro factor. Bernardo de Irigoyen. 2006.

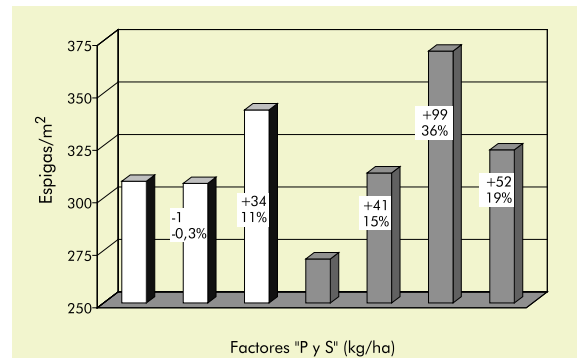


Figura 7. Producción de espigas y efecto de la fertilización con P y S. Respuesta de cada factor a través de los niveles correspondientes del otro. Bernardo de Irigoyen. 2006.

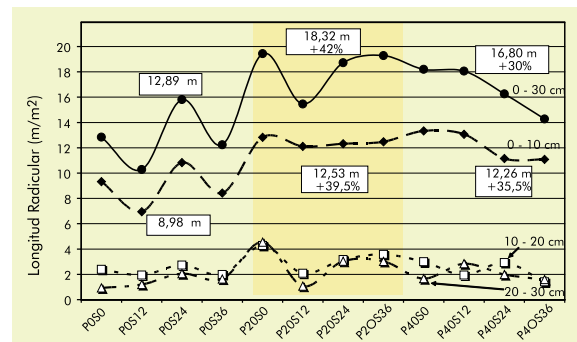


Figura 9. Variación de la longitud radicular (m/m²) de plantas de trigo en tres horizontes, 0-10cm, 10-20cm, 20-30cm y lo acumulado de 0-30 cm de profundidad, según fertilización con P y S. Promedios para cada tratamiento. Bernardo de Irigoyen. 2006.

en la longitud radicular se pueden ver en la Figura 9. En el horizonte de 0-10 cm se encontró la mayor cantidad de raíces y las mayores diferencias. El promedio de los tratamientos con P20 (12,53 m/m²) y P40 (12,26 m/m²) superaron al P0 (8,98 m/m²) en un 40% y 36%, respectivamente. La mayor longitud de raíces en este horizonte también definió las diferencias para la profundidad de 0-30 cm, con aumentos de raíces debido al P20 y P40 de 42% y 30% superiores a P0, respectivamente.

Las dosis de S para cada nivel de P no tuvieron una respuesta consistente en la longitud radicular, y cualquiera de los niveles de P utilizados favoreció el desarrollo de raíces en proporciones similares.

Mayor desarrollo radicular implicaría no solo aumentar la biomasa en los horizontes superficiales (0-30 cm), sino también, los compuestos resistentes como ligninas, taninos y suberinas cuyo contenido en las raíces es superior al de los tallos. Esta particularidad facilitaría la fijación del carbono mineralizado del suelo y su acumulación como MO (Lorenz y Lal, 2005).

Hasta el presente, el conocimiento adquirido por este ensayo constituye lo que Fixen y García (2006) consideran como la retroalimentación del dispositivo para perfeccionar el manejo de los nutrientes. Es relevante, porque en los sistemas de secano, con gran variabilidad en la disponibilidad de agua y sin modelos predictivos, la aproximación en la información técnica adquiere importancia para futuras decisiones de manejo.

Consideraciones Generales

- La fertilización uniforme con N, y las dosis variables de P y S produjeron incrementos importantes en los rendimientos del trigo y de las variables asociadas como la materia seca, las espigas por unidad de superficie y los granos por espiga.
- El P fue relevante por el aporte al mayor desarrollo radicular, mientras que el azufre se destacó por su influencia en la magnitud de la biomasa aérea.
- El S produjo aumentos de rendimientos de trigo, aún en los tratamientos que nunca fueron fertilizados con P, lo que además de mostrar un comportamiento independiente de dicho factor evidenció limitaciones de la MO para proveer naturalmente dicho nutriente.

Referencias bibliográficas

Alley M.M. y D.E. Brann. 1999. Nitrogen management for winter wheat: principles and recommendations. Virginia Cooperative Extension. Crop and soil environmental sciences. Publication 424-026.

Blumenthal J.M. y D.H. Sander. Fertilizing winter wheat II. Phosphorus. Nebraska Cooperative Extension GO2-1461-A. 8 p.

Crestana S., M.F. Guimaraes, L.A.C. Jorge, R. Ralisch, C.L. Tozzi, A. Torre y C.M.P. Vaz. 1994. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. R. Bras. Ci. Solo. 18:365-371.

Dowdell R.J. y R.Q. Cannell. 1975. Effect of plowing and direct drilling on soil nitrate content. J. Soil Sci. 26: 53-61.

Drew M.C., L.R. Saker y T.W. Ashley. 1973. Nutrient

supply and the growth of the seminal root system in barley. J. Exp. Bot. 24: 1189-1202.

Fixen P.E. y F.O. García. 2006. Decisiones efectivas en el manejo de nutrientes...mirando más allá de la próxima cosecha. Informaciones Agronómicas. INPOFOS Cono Sur. N° 32. 7p.

Fontanetto H., H.S. Vivas, R. Albrecht y J. Hotian. 2003. La Fertilización con N, P y S y su residualidad en una secuencia agrícola de la región central de Santa Fe. Efecto sobre el rendimiento de granos. INPOFOS Cono Sur. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Simposio: El Fósforo en la Agricultura: 91-92.

Lorenz K. y R. Lal. 2005. The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons. Advances in Agronomy, 88:35-66.

Merrill S.D., A.L. Black, y A. Bauer. 1996. Conservation tillage affects root growth of dryland spring wheat under drought. Soil Sci. Soc. Am. J. 60:575-583.

Oveson M.M. 1966. Conservation of soil nitrogen in a wheat summerfallow farming practice. Agron. J. 58:444-447.

Qian, J.H. y J.W. Doran. 1996. Available carbon released from crop roots during growth as determined by carbon-13 natural abundance. Soil Sci. Soc. Am. J. 60:828-831.

Ramig R.E., P.E. Rasmussen, R.R. Allmaras y C.M. Smith. 1975. Nitrogen-sulfur relations in soft white winter wheat. I. Yield response to fertilizer and residual sulfur. Agron. J. 67:000-000.

Rasse D.P. y A.J.M. Smucker. 1998. Root recolonization of previous root channels in corn and alfalfa rotation. Plant Soil 204:203-212.

Sainju U.M., B.P. Singh y W.F. Whitehead. 2005. Tillage, cover crops, and nitrogen fertilization effects on cotton and sorghum root biomass, carbon, and nitrogen. Agron. J. 97: 1279-1290.

SAS Institute Inc. 1999. SAS OnlineDoc®, Version 8, Cary, NC: SAS Institute Inc.

Salvagioti F., O. Novello, G. Gerster, S. Bacigalupo, J. Castellarin y H. Pedrol. 2003. Disponibilidad de fósforo en sistemas agrícolas del centro-sur de Santa Fe y respuesta a la fertilización fosfatada de trigo. INTA EEA Oliveros. Trigo, campaña 2002/2003.

Stewart W.M., D.W. Dobb, A.E. Johnston, y T. J. Smyth. 2005. The contribution of Comercial Fertilizer Nutrients to Food Production. Agron. J. 97: 1-6.

Vivas H.S. 2003. Fertilizando el Suelo: Residualidad de los fertilizantes en rotaciones de cultivos y pasturas. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. XI Congreso de AAPRESID, "Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa". Bolsa de Comercio de Rosario. 26 al 29 de agosto de 2003.

Vivas H.S., H. Fontanetto, R. Albrecht y J.L. Hotián. 2001. Fertilización con fósforo y azufre para la producción de trigo en el departamento San Jerónimo. 2000/01. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 94. 6 p.

Vivas H. S. y W. Hansen. 1996. Corrección del fósforo edáfico en una rotación agrícola del centro-este de la provincia de Santa Fe. I. Producción de Trigo. Campaña 1995. 6 p.

Vivas H. S., H. Fontanetto, R. Albrecht, M. A. Vega y J. L. Hotián. 2001. Fertilización con P y S en el doble cultivo trigo-soja. Residualidad en soja. Respuesta física y económica. Campaña 2001. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 95.

Vivas H. S., R. Albrecht y J. L. Hotián. 2003. Siembra directa y fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre en trigo. Departamento San Jerónimo, 2003. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 101. p 31-38. <