

## Manejando eficientemente la fertilización del trigo

Adriana García<sup>1</sup> y Andrés Quincke<sup>1</sup>

El trigo es un componente importante en las rotaciones agrícolas, el segundo cultivo en área de siembra después de la soja. El área de siembra en el 2012 superó las 600 mil ha y el rendimiento promedio en los últimos años (excepto el pasado) fue de 3300 kg/ha, aunque este rendimiento puede duplicarse con buen manejo en años favorables.

El trigo es una de las alternativas de invierno más viables en los sistemas intensivos actuales. Su rentabilidad depende de la productividad y ésta de un adecuado uso de insumos donde los fertilizantes son esenciales, por lo que el cultivo debe apoyarse en un buen programa de fertilización. El costo de los fertilizantes representa casi la mitad de los costos directos de producción y el margen bruto que se obtenga dependerá de qué tan eficientemente se utilicen.

El manejo de la fertilización en trigo ha contemplado tradicionalmente la corrección de nitrógeno (N) y fósforo (P). El primero es el nutriente que más limita la productividad en cereales y por lo tanto el de mayor impacto sobre el rendimiento (el caso del nitrógeno se trata en una sección más adelante). El P es escaso en los suelos del país, no obstante en los de mayor aptitud agrícola sistemáticamente fertilizados con P en el año 2000 habían alcanzado un nivel cercano a 16 ppm (P Bray-I). A diferencia del P, los suelos del país son en general naturalmente ricos en potasio (K), aunque es sabido que la agricultura extractiva que se practicó históricamente ha provocado una caída significativa del nivel de K en el suelo. Aunque la mayoría de los suelos más aptos para la agricultura aún tiene el K intercambiable por encima del nivel crítico (0.34 meq/100 g de suelo) es cada vez más común encontrar síntomas típicos de deficiencia de K. En consecuencia, la fertilización con K debe estar debidamente planificada en la secuencia agrícola.

En forma similar al potasio, la deficiencia de azufre (S) no era vista como un problema en el pasado cuando los sistemas de producción eran menos extractivos y entraba S al suelo con el fertilizante fosfatado (super simple). Con la adopción de fuentes más concentradas de P y el uso de binarios (N-P) con poco o sin S, y sumado a la intensificación agrícola se comenzó a encontrar respuesta a S en algunas situaciones. En este caso se trata de un nutriente de bajo costo que tampoco es requerido en gran cantidad y que cualquier fuente que aporte S y aumente la disponibilidad de sulfato en el suelo beneficiará al trigo. En el caso del S no existe un indicador muy consistente que pueda utilizarse para definir las necesidades del cultivo, pero la concentración de sulfato es una guía. Se ha visto que con concentración menor a 6 mg por kg de suelo es probable que el S sea limitante del rendimiento, particularmente si la cantidad de N a aplicar es elevada. Las dosis óptimas en general están en el rango de 15 a 30 kg de S/ha y dosis muy altas (>45 kg/ha) tienden a tener efecto negativo. En general los incrementos en grano suelen no oscilar entre 5 y 20 %. Se ha visto que si bien el impacto del S sobre el rendimiento del trigo es mucho menor que el del N, P o K su deficiencia puede llegar a disminuir la respuesta al N y además, tener un efecto negativo sobre la calidad de la proteína del grano de trigo.

### El caso específico del nitrógeno

Con respecto al manejo del N, cuánto aplicar y cuando hacerlo, son aspectos fundamentales para que lograr que sea utilizado eficientemente por el cultivo de trigo y no origine los desbalances nutricionales antes mencionados ni pérdidas del nutriente del sistema suelo-planta. A diferencia del P que es poco móvil y requerido a la siembra, el N puede no ser necesario en etapas tempranas cuando la plántula utiliza reservas de la semilla para crecer.

Es frecuente que el N presente en el suelo a la siembra sea suficiente para satisfacer los requerimientos de las plantas más jóvenes sobre todo después de soja, aunque esto puede ser diferente en un rastrojo de maíz o sorgo que tienden a inmovilizar N. Un análisis de suelos de la concentración de nitrato previo a la siembra permitirá decidir si es necesario o no aplicar N en ese

---

<sup>1</sup> Programa Cultivos de Secano, INIA La Estanzuela.

momento y probablemente se elija aplicar un binario que lo aporte junto al P. Si el nivel de N fuera adecuado (> a 20 ppm de N-NO<sub>3</sub>) no habrá beneficio de aplicarlo a la siembra.

Aplicar una cantidad importante de N temprano en trigo suele ser ineficiente en el país pues a partir de mayo comienza a haber exceso de agua en el suelo que promueve la pérdida de N y puede favorecer un consumo de lujo indeseable. El ideal sería que la aplicación de N acompañase la demanda del cultivo en los diferentes estados de desarrollo para que el N que quede en el suelo expuesto a pérdidas fuese mínimo. En ese sentido como no es viable fraccionar el N a lo largo todo del ciclo del cultivo se establecen momentos cruciales en los que el nutriente tiene mayor probabilidad de ser usado eficientemente. En general se proponen dos momentos: al inicio del macollaje (Z22 o dos macollos formados) que es cuando en el cultivo comienza un incremento en producción de materia seca lineal y constante que dura hasta el fin del macollaje (Z30), y el objetivo es acumular entre 45 y 60 kg de N/ha dependiendo del cultivar. En ese momento un análisis de suelo que determine la concentración de nitrato y por lo tanto el N disponible, permitirá ajustar la cantidad de N a aplicar para alcanzar ese objetivo, que en general no excede 60 kg de N/ha (figura 2).

El otro momento crucial es a fin del macollaje o inicio del encañado (hasta dos nudos visibles, Z30 a Z32) en este estadio la acumulación de biomasa es exponencial y máxima la tasa de absorción de N (4 kg de N/ha /día o mayor) y es muy difícil que un suelo, aún siendo fértil pueda tener la capacidad de reponer el N a esa tasa. La determinación de nitrato a Z30 pierde valor predictivo para ajustar dosis de N y resulta más eficaz basarse en el uso de indicadores como el % de N en planta entera.

Actualmente, principalmente por razones de logística, a nivel de producción se tiende a usar un método simplificado de balance del N que calcula la cantidad de N a aplicar de la siguiente manera: la diferencia entre el N que debe absorber el cultivo para alcanzar un rendimiento objetivo X y el N que aporta en suelo (determinación de N mineral o residual como nitrato). Tanto este método como el que usa el análisis de plantas requieren fijarse un rendimiento objetivo realista; mientras uno se basa en lo que fue la historia de disponibilidad de N para el cultivo que se traduce en el estatus de N de la planta (% de N), el otro estima la cantidad de N inorgánico en el suelo en un momento determinado (en general a Z22) y asume sin más consideraciones, que una cantidad similar estará disponible durante el ciclo del cultivo, de modo que no considera pérdidas de N inorgánico pero tampoco los aportes por mineralización.

Un balance completo de N requeriría incluir el N proveniente de la descomposición de la materia orgánica (mineralizable, un indicador es el PMN) y la eficiencia de uso del N tanto del residual presente en el suelo como del fertilizante. La eficiencia de uso del N varía según el año, el momento en que se aplique, la dosis que se utilice y puede ser afectado por múltiples factores como: la fuente de N, la condición física del suelo, la disponibilidad de agua, etc. en promedio es 50 % pero puede ser tan baja como 10 % o tan alta como 70 %, nunca 100 %. Por cualquier método que se opte lo aconsejable es fraccionar al N pues ese manejo aumenta la eficiencia de recuperación de N y beneficia la calidad del grano a través de un mayor % de proteína.

## **Fertilizantes nitrogenados (y azufrados)**

En trigo se ha observado que frecuentemente los fertilizantes de liberación lenta o prolongada que suelen tener en su composición cierta cantidad de S pueden ser utilizados más eficientemente por el cultivo que las fuentes que sólo aportan N (urea, UAN) cuando se expresa la eficiencia como kg de grano por kg de N aplicado (figuras 5 y 6 del anexo). Si bien puede tratarse de un efecto debido a la liberación progresiva de N de esas fuentes que evitaría haya una concentración puntual alta de nitrato en el suelo, comúnmente se explica por un efecto del S. En este sentido se ha visto que la mayor disponibilidad de S tiende a prolongar y aumentar absorción de N tardío en las plantas.

No obstante, en años con condiciones muy propicias para la pérdida de N, esas fuentes han demostrado ser más eficientes que las solubles. Que se justifique o no su uso dependerá de la relación costo: beneficio, donde además del costo por unidad de N que es mayor en las fuentes de liberación prolongada, habría que considerar que sólo requiere una aplicación de fertilizante al macollaje y además aporta S al suelo que, si no es absorbido por el trigo puede quedar disponible para el cultivo siguiente.

Por otro lado, la aplicación de un nutriente individual tiene un cierto impacto sobre el rendimiento cuando es limitante pero ese impacto puede ser mayor cuando además se está levantando otra restricción en el suelo como por ejemplo una limitante de algún micronutriente (figura 3) o de S. El S es componente de proteínas y encimas que regulan la fotosíntesis y de la estructura proteica a través de puentes S-S hecho que estaría relacionado a la tolerancia a la falta de agua y al daño por heladas.

### **La interacción con la sanidad**

La demanda de nutrientes del trigo es proporcional al rendimiento pues ellos son componentes de la biomasa y/o intervienen en procesos metabólicos relacionados a la producción. Las pérdidas más importantes de productividad a lo largo de los años se han debido a condiciones ambientales que han favorecido la infección de enfermedades no permitiendo la expresión del rendimiento potencial. Ante ese tipo de situación la eficiencia de los fertilizantes aplicados cae abruptamente.

La relación entre enfermedades y nutrición es compleja. La incidencia de enfermedades no es independiente del estado nutricional del cultivo, ya que en general una planta bien nutrida se defiende mejor del ataque de patógenos que cuando existen desbalances nutricionales. Un ejemplo claro es cuando hay exceso de N pues favorece el ataque de roya y óidio; por otro lado niveles sub-óptimos de N favorecen la aparición de síntomas de mancha amarilla; en tanto que un nivel de fósforo (P) inadecuado aumenta la incidencia de mal de pie o pietín, y la deficiencia de potasio (K) puede favorecer la penetración de roya del tallo o de bacterias a través de heridas en los tejidos vegetales pues cicatrizan más lentamente (ver anexo, cuadro 1).

Si bien las enfermedades del cultivo constituyen un factor limitante muy importante del rendimiento y por ello de la eficiencia de recuperación de los fertilizantes, no son el único factor que lo limita. Son múltiples las interacciones a considerar como por ejemplo: la fertilidad del suelo (química y física) dónde crece el cultivo, el clima y su interacción con el suelo, el genotipo (cultivar) y práctica agronómicas como la fecha de siembra, la población de plantas establecidas, el control de plagas, la aplicación de los fertilizantes (tipo, forma, momentos, dosis) y en relación a este último punto, las interacciones entre nutrientes y los desbalances (figura 4).

### **Un apunte sobre la sostenibilidad del sistema**

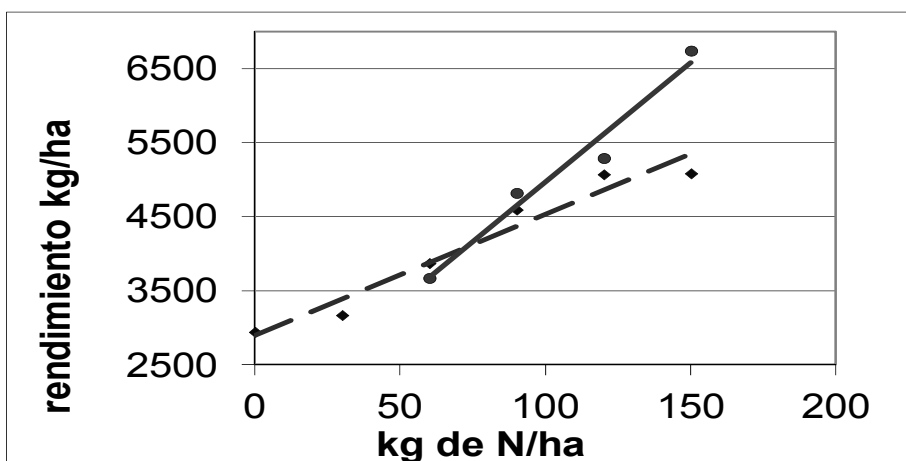
La sostenibilidad de los sistemas de **agricultura continua** trigo-soja y también los que incluyan otra gramínea en la rotación dependerá en gran parte de cómo se fertilicen éstas, pues la soja es un cultivo extractivo que deja pocos residuos. Por otro lado *cabe puntualizar que aún usando buenas prácticas de fertilización para lograr que no haya desequilibrios nutricionales y que el balance de N se acerca lo más posible a la neutralidad, se debería incorporar más N al suelo por FBN para que éste fuese menos dependiente de los fertilizantes sintéticos y de la aplicación de dosis tan altas de N que siempre promueven pérdidas. Seguramente no serán pasturas perennes las que se adapten a estos sistemas sino especies anuales, pero debe considerarse que además de la economía de N es probable que aporten otros beneficios a la rotación en el control de plagas y enfermedades, promoción de la actividad biológica, etc.*

**ANEXO:**

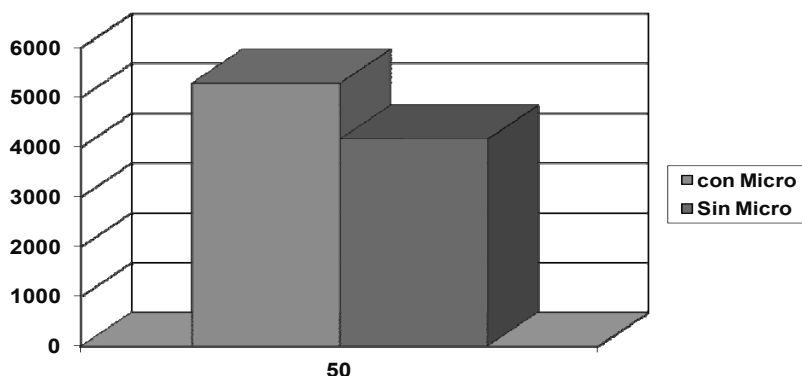
**Cuadro 1.** Algunas relaciones entre nutrientes y la Incidencia de enfermedades.

**Como regla general:** La presencia de exudados favorece la germinación de esporas

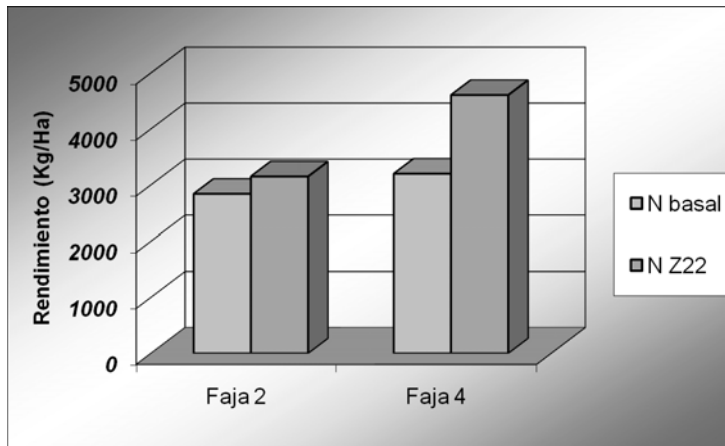
- La nutrición controla la cantidad y tipo de exudado en el apoplasta del huésped
- Deficiencia de **K** o exceso de **N** promueven la acumulación de amino ácidos
- La permeabilidad de las membranas controla cuántos llegan al apoplasta
- La deficiencia de **boro (B)**, **calcio (Ca)** o **K** aumenta la permeabilidad de las membranas
- Los hongos parasíticos liberan enzimas pectolíticas para invadir al huésped que son inhibidas por la presencia de **Ca<sup>+2</sup>**
- El **B** pero en especial el cobre (**Cu**) intervienen en la síntesis de fenoles que son precursores de lignina y suberina, compuestos que limitan la entrada de patógenos
- Cuando hay infección de patógenos la presencia de metales (**Cu, Zn, Fe, Mn**) contribuyen a detoxificar los radicales de oxígeno que dentro de las células
- Más lignificación y acumulación de **Silice** en la planta madura crea una barrera física a la penetración de patógenos, ambos son afectados por la nutrición vegetal



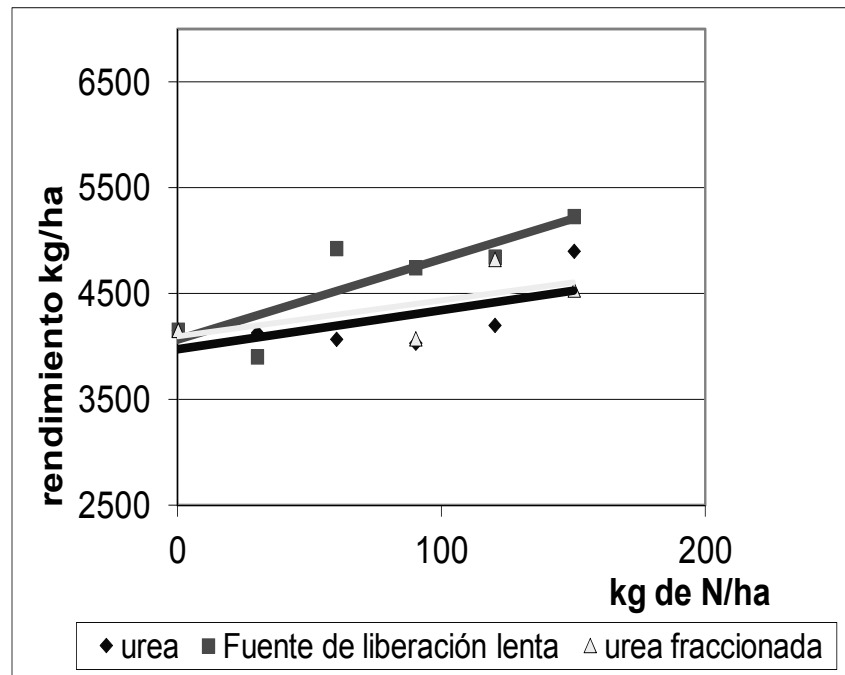
**Figura 2.** Beneficio del fraccionamiento del N. La línea punteada representa el N aplicado temprano (sólo a Z22) y la llena el N fraccionado (Z22 y Z30). Con igual dosis de N (150 kg de N/ha) se logró una tonelada más de grano cuando el N se fraccionó.



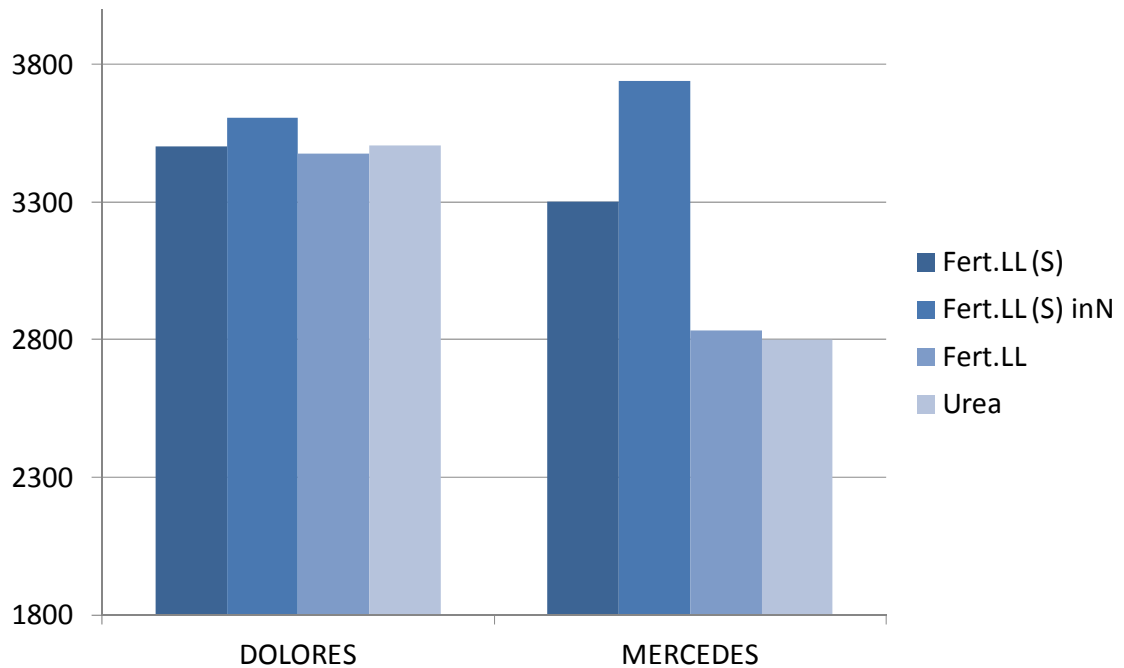
**Figura 3.** Interacción con micronutrientes. Aunque no es frecuente que los oligoelementos limiten el rendimiento del trigo pues son requeridos en cantidad muy baja por el cultivo y comúnmente el suelo los aporta en cantidad suficiente hay situaciones en que alguna limitante física o química pueda inducir a una deficiencia de uno o varios de ellos y reducir la eficiencia de la fertilización con N como en este caso. La aplicación de 50 kg de N/ha resultó en 800 kg más de grano/ha cuando el cultivo fue tratado con fertilizantes foliares con micronutrientes.



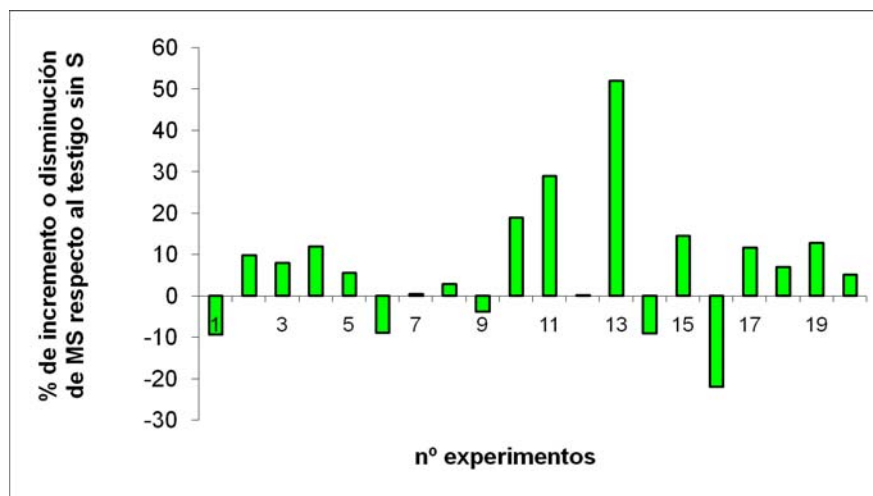
**Figura 4.** Reducida eficiencia de la fertilización con N debido a compactación del suelo. La densidad aparente en las fajas 2 y 4 era 1.43 y 1.28 kg/dm<sup>3</sup> respectivamente, ambas fueron fertilizadas con igual cantidad de N a Z22 (100 kg /ha). En la primera la fertilización nitrogenada no fue económicamente redituable y en otra sí, lográndose 14 kg de grano por kg de N aplicado.



**Figura 5.** Efecto de diferentes fuentes de N en un año donde no se dieron condiciones de pérdida de N lo que queda confirmado por la similitud entre la urea aplicada toda a Z22 y la misma dosis aplicada fraccionada entre Z22 y Z30. Sin embargo fue más eficiente la fuente de liberación lenta lo que se atribuyó al aporte de S de la misma, ese efecto se ha visto en más de un experimento en chacras con manejo agrícola intensivo.



**Figura 6.** Efecto de diferentes fuentes de N en dos localidades en el 2012. Mientras que en Dolores no hubo efecto diferente entre fuentes de N, en Mercedes las de liberación prolongada tendieron a ser más eficientes, no obstante el efecto se debió al aporte de S de éstas fuentes de liberación lenta (S) pues la que no aportó azufre (Fert. LL) se comportó igual que la urea. La eficiencia de recuperación en el mejor de los casos duplicó el efecto de la urea.



**Figura 7.** Efecto de la aplicación de azufre en la producción de biomasa (MS en kg/ha) de trigo. En general es frecuente que haya un impacto positivo del S sobre la producción de biomasa durante el macollaje y que este sea notorio a simple vista, sin embargo este se traduce en incrementos del rendimiento en grano en una proporción más reducida de situaciones.