

# Crterios para la Fertilización Nitrogenada en Cultivos de Invierno



Ing. Agr. (MSc) Adriana García Lamothe  
Programa Nacional Cultivos de Secano

## Introducción

El alza del valor de la tierra y el incremento de costos de producción de cultivos, en particular los fertilizantes con nitrógeno (N), hacen cada vez más necesario el uso eficiente de este insumo, que además tiene un gran impacto sobre el rendimiento en cereales de invierno, aumentando por tanto su retorno económico. Salvo en chacras nuevas y cultivos sembrados luego de una leguminosa forrajera que haya dejado residuos ricos en N, este nutriente es insuficiente para lograr que se exprese el potencial de rendimiento de los nuevos cultivares de trigo y cebada.

## El N y el Rendimiento en Grano

Los tres grandes componentes del rendimiento en cereales de invierno son: el número de espigas por unidad de superficie, el tamaño de la espiga y el peso del grano. Cuando el N es deficiente en el suelo, y el agua no es un factor limitante para el crecimiento de los cultivos, aplicar N puede aumentar estos tres componentes. Un determinado rendimiento se puede lograr con diferente combinación de esos tres componentes, pero para que se exprese el potencial del cultivo se requiere un número mínimo de espigas.

El número de granos por unidad de superficie depende de ese parámetro y es el que mejor se relaciona con el rendimiento. Con las condiciones climáticas de Uruguay, una población objetivo de por lo menos 500 espigas/m<sup>2</sup> con 30 granos cada una, asegura alto rendimiento (15 mil granos/m<sup>2</sup>) pero requiere una estrategia de fertilización que se ajuste a la demanda del cultivo.

## Demanda de N de los Cereales de Invierno y Aporte del Suelo

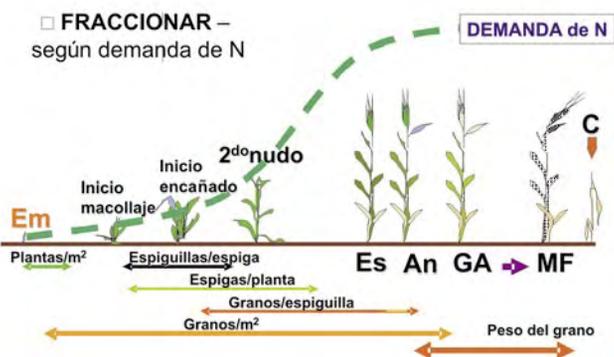
Desde la emergencia al inicio del macollaje la cantidad de N que el trigo o la cebada toma del suelo es relativamente baja. Las plantas absorben aproximadamente 15 Kg de N/ha durante esos primeros 30-40 días. Esa cantidad de N mineral suele estar presente en el suelo a la siembra (nitrato+amonio), y otro tanto puede provenir de la degradación de residuos orgánicos frescos, si la calidad de éstos no tiende a la inmovilización neta del N (rastros de sorgo, sudan).

Avanzado el ciclo del cultivo las condiciones ambientales son más críticas para la mineralización de N. Parte del N mineral acumulado en el suelo se ha utilizado y otro tanto pudo haberse perdido del perfil del suelo. De modo que cuando el cultivo empieza a macollar y aumentar sus requerimientos nutricionales, la probabilidad de que haya escasez de N mineral es normalmente mayor que a la siembra.

La escasez de N en ese momento puede restringir el crecimiento de raíces adventicias que se inicia con el macollaje, reduciendo el acceso a nutrientes.

Tampoco el N en exceso es deseable, por un lado porque el potencial de pérdidas de N es mayor (lavado, escurrimiento, denitrificación) y por otro, por el desbalance nutricional que causa en las plantas, haciéndolas más susceptibles a enfermedades, a insectos, a heladas, a vuelco, etc. A su vez, puede promover un excesivo macollaje y consumo de agua del suelo, aumentando la dependencia del cultivo a la ocurrencia de lluvias previo a floración.

La escala de Zadoks (Z) es una de las más usadas para describir los estados de desarrollo del cultivo de trigo y cebada, y es útil para la toma de decisiones de manejo, ya sea de fertilización u otras.



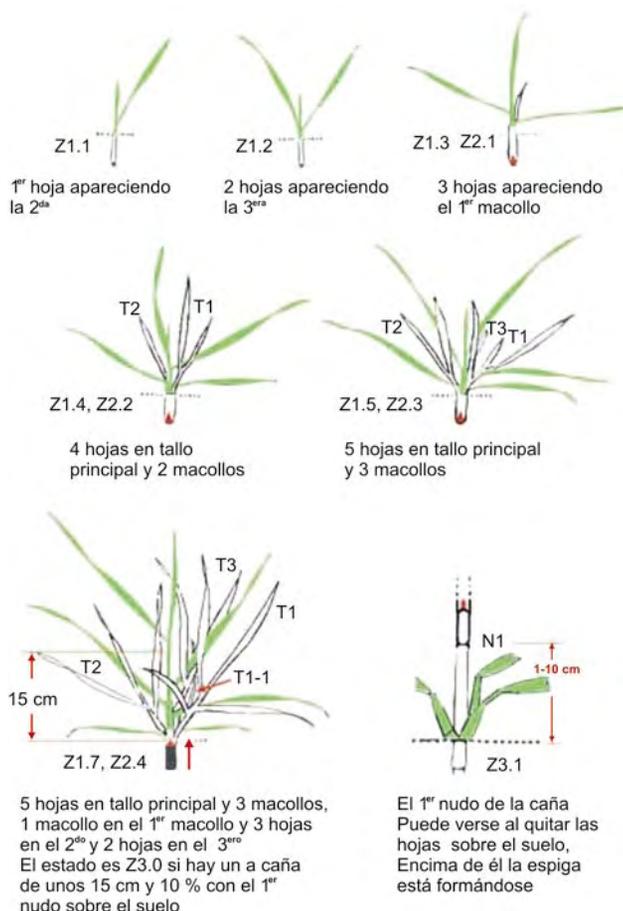
**Figura 1** - Diagrama de etapas del crecimiento, construcción del rendimiento y curva acumulativa tipo del N absorbido por el cereal (Em= emergencia, Es=espigazón, An=anthesis o floración, GA=grano acuoso, MF=madurez fisiológica, C=cosecha)

Hacia fines de invierno (agosto-setiembre) el cereal yergue sus hojas, está engrosando los tallos, y se empieza a acumular gran cantidad de biomasa. Prácticamente ha cesado la formación de macollos cuando el primer nudo de la caña (Zadoks 3.0) aparece sobre el nivel del suelo en los macollos aparecidos más temprano (figuras 2 y 3). En este momento empieza la competencia por N entre la espiga que se está formando sobre ese primer nudo (y determinando su producción potencial de granos) y la caña que se está alargando. Desde entonces y por unas 4-5 semanas el cultivo puede acumular 100 kg/ha/día de materia seca. Es difícil que un suelo pueda mantener sostenidamente un suministro de N que satisfaga esa demanda (hasta 4 kg de N/ha/día) por lo que aumenta aún más la probabilidad de encontrar respuesta al nutriente en cultivos bien establecidos y cuando el N mineral en el suelo es menor a 20 ppm a fin del macollaje.

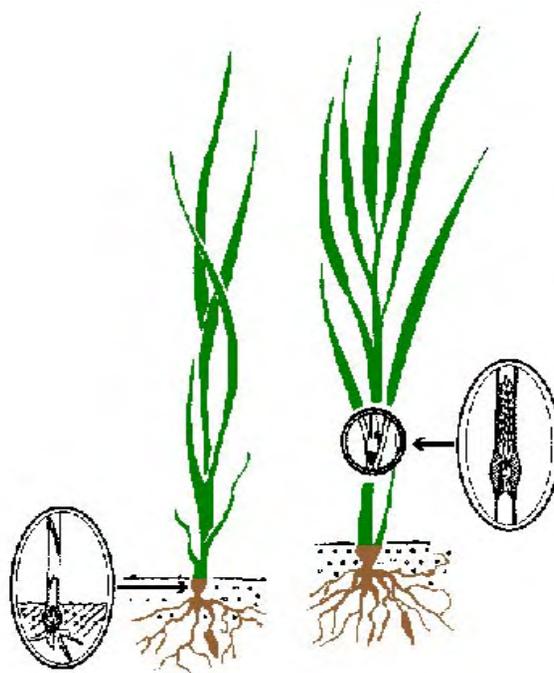
Teniendo presente la curva de crecimiento del cultivo y los requerimientos nutricionales que implica, es razonable que para maximizar la recuperación del N del fertilizante buena parte del mismo se aplique cerca del inicio del encañado. Sin embargo la falta de agua en el suelo, si no se pronostica lluvia en el corto plazo, es una limitante para esta práctica, y por otro lado, si a mediados del macollaje (Z2.5) hay pocos macollos (menos de 120/metro lineal) con 3 hojas o más formadas, conviene adelantar la fertilización para fomentar la aparición de nuevos macollos y asegurar buen número de espigas.

El N a fin del macollaje aumenta la supervivencia de los macollos, ya que si hay escasez de N morirán más macollos de lo habitual sin producir espigas. Dependiendo de las condiciones del año y el cultivar hasta Z3.2 (dos nudos visibles) el N es usado rápidamente en trigo. Pasado ese estado cae el impacto de la fertilización sobre el rendimiento en grano y es mayor su efecto sobre el % de proteína del grano. Condiciones de clima fresco y húmedo pueden prolongar la absorción de N más allá de floración pero no es lo usual en nuestras condiciones.

En el caso de cebada cervecera también se recomienda aplicar la mayor parte del N hacia fin del macollaje para



**Figura 2** - Estados de crecimiento escala Zadoks



**Figura 3** - Planta de trigo con 1º nudo de la caña por debajo y por encima del suelo

maximizar la producción de granos y aumentar la productividad, pero en este cultivo no es conveniente retrasar la fertilización al inicio del encañado, pues se puede ver afectada la calidad industrial del grano, al aumentar su porcentaje de proteína. De modo que es más amplia la oportunidad para realizar fertilizaciones tardías con N en trigo que en cebada. Esta práctica aumenta la supervivencia de macollos, produce más granos por espiguilla y, en caso de que aumentara el % de proteína del grano, la consecuencia es deseable para la industria.

Una adecuada disponibilidad de N durante el alargamiento de la caña fomenta el desarrollo del área foliar, lo que permite concretar un alto rendimiento en grano. Además, es poco probable que el N aplicado a Z3.0 pueda perderse por lavado o escurrimiento, pues la tasa de evapotranspiración del cultivo es mucho más alta que en etapas tempranas y mayor la capacidad del suelo de almacenar agua.

Concluida la floración (Z 7.0) empieza el llenado del grano y disminuye la absorción de N. El N asimilado en la planta comienza a re-movilizar hacia el grano donde se acumula. El N proveniente de nueva absorción desde el suelo es escaso; nuestra experiencia permite concluir que en años promedio no hay efecto del N aplicado después de la aparición de la hoja bandera.

### Recomendaciones de Fertilización

Las recomendaciones de INIA para fertilización nitrogenada de trigo y cebada se basan en años de experimentos de respuesta al N en suelos agrícolas del litoral oeste, con diversidad de condiciones climáticas e historia de chacras. La variabilidad de la respuesta a N amerita que las decisiones de fertilización se tomen con extremo cuidado y considerando casos particulares, ajustándose a la realidad del suelo, del cultivo y su manejo, y del año.



Dos aspectos se consideran como los más relevantes para decisiones de fertilización: el momento y la cantidad de nitrógeno a aplicar. El momento de la fertilización va a afectar en especial la eficiencia de esta práctica. La cantidad de N a su vez, incide en el rendimiento, pero de alguna forma interactúan entre sí por lo que deben considerarse como un todo; a esto le llamamos estrategia de fertilización.

### Fracccionar la Fertilización

Con los excesos hídricos frecuentes en nuestros suelos en otoño e invierno, es probable que parte del N mineral del suelo se pierda. Por consiguiente es recomendable fraccionar el N que se vaya a utilizar siguiendo el criterio de acompañar la demanda de N del cultivo para mejorar el resultado económico de esta práctica. El uso de dosis sub-óptimas de N tanto en trigo como en cebada significa resignar producción, lo que con el escenario actual de aumento constante en los costos de producción, puede comprometer la viabilidad económica de la empresa. En el caso del trigo además, la escasez de N puede comprometer la calidad del grano para panificar.

### El N Inicial

El N mineral presente en el suelo es en la mayoría de las situaciones suficiente para la germinación y desarrollo inicial de las plántulas de trigo y cebada, pues durante los primeros días de crecimiento se usan las reservas de la semilla. La experiencia local ha demostrado que si el  $N-NO_3^-$  en los primeros 20 cm. del suelo a la siembra es inferior a 10 ppm, es probable que haya respuesta a N inicial, pero si es mayor a 25 ppm esta probabilidad es muy baja. Sólo en 25% de los casos estudiados en trigo y poco más en cebada, se ha encontrado efecto beneficioso del N a la siembra, en particular cuando existe mala preparación del suelo o se hace en siembra directa sobre rastrojos de alta relación C:N (carbono/nitrógeno).



**Por lo común 20 a 30 kg de N/ha basta para asegurar que el nutriente no afecte la implantación del cultivo y no debería aplicarse más de 60 kg de N/ha en etapas tempranas del cultivo.**

Existen herramientas útiles para ajustar en forma objetiva la cantidad de N a aplicar temprano. El N disponible se estima determinando la concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en una muestra representativa del suelo (0-20 cm) lo más cerca posible de la siembra o del inicio del macollaje (Z2.2 de la escala de Zadoks), figura 2.

Por cada ppm por debajo del nivel de suficiencia (aproximadamente 20 ppm a la siembra, y 15 a Z2.2) deben aplicarse 4 kg de N/ha para asegurar que el N no esté limitando la producción de biomasa. Aunque en el suelo no hubiese nada de N mineral la máxima dosis recomendable para reducir pérdidas potenciales de N del fertilizante y algunos efectos no deseados en el cultivo, sería de 60 kg de N/ha. Para estimar la disponibilidad de nitrógeno en el suelo puede considerarse que 1 ppm de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> al momento del muestreo equivale a 2 ½ kg de N disponibles/ ha. Pero el nitrato es muy soluble y móvil en el suelo y varía su concentración con la dinámica del agua.

Este hecho explica por qué, aunque la mayoría del nitrato se origina por mineralización, el potencial de mineralización del suelo (PMN) no guarda estrecha relación con la concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en cultivos de invierno. Esto indica que es conveniente complementar ambos datos: concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y PMN.

Aplicaciones de N en Agosto-Setiembre (N a Z3.0) La cantidad de N a aplicar a fin del macollaje o inicio de encañado se puede estimar utilizando el diagnóstico foliar.

En este caso, el muestreo de plantas debe hacerse en el momento preciso (Z 3.0). Ese estado se alcanza cuando 10% de los tallos tienen un nudo palpable sobre el suelo. La muestra se obtiene cortando la parte aérea de 30 plantas aproximadamente a 1 cm del suelo, determinando el % de N total.

El laboratorio de suelos de INIA la Estanzuela entrega el resultado en 48 horas. Esto es importante en particular para cebada porque el encañado ocurre rápidamente y atrasar la aplicación de N no es conveniente. Es posible estimar la concentración de N en la planta mediante el uso de un medidor de clorofila calibrado con ese fin como el Minolta SPAD-502. Es un método práctico menos preciso que el de laboratorio pero más rápido, ya que con 30 lecturas en el campo se puede determinar inmediatamente la cantidad de N a aplicar.

Si por razones de logística no fuera posible usar el diagnóstico foliar, la fertilización debería al menos basarse en el rendimiento esperado y la cantidad de N que debe absorber el cultivo para obtenerlo, y lo que se espera pueda aportar el suelo. Este método es conocido como el método del balance de N, donde al N requerido por el

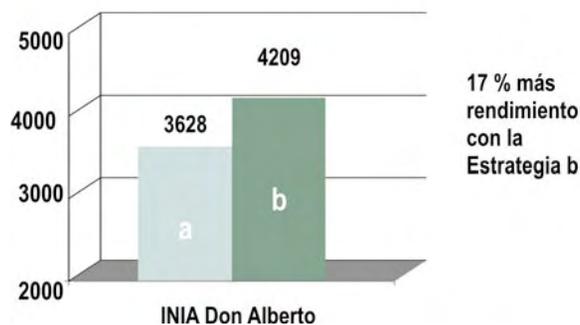
cultivo (en promedio 30 kg de N por tonelada de grano de trigo producido y 10% menos en cebada) se le resta el aporte de N del suelo y el resultado es la cantidad a aplicar como fertilizante. La eficiencia del N del suelo o del fertilizante se asume en 50%.

Este es un método que tiene limitaciones que pueden llegar a conducir a errores porque:

- a) el rendimiento obtenible es difícil de establecer si el cultivo no ha concretado su número potencial de espigas, lo que puede superarse fraccionando el N según el criterio recomendado.
- b) el aporte del suelo es difícil de establecer, si bien el dato de nitrato es útil para definir la fertilización inicial,

Momento de Aplicación:  
 Balance de N para 4000 kg/ha(30 kg/ton) 135 kg N total  
 (N residual = 50 kg/ha)  
 N a agregar como fertilizante: 85 kg/há

FPTA Young / 2007	Siembra Kg/ha	Z-2.2 Kg/ha	Z-3.0 Kg/ha
Estrategia (a)	42	43	0
Estrategia (b)	0	60	25



FPTA Young 2007	Basal-Siembra	3-Hojas	Z-3.0	Total KgN/ha
Tratamiento 1	10	48	0	58
Tratamiento 2	10	0	11	21

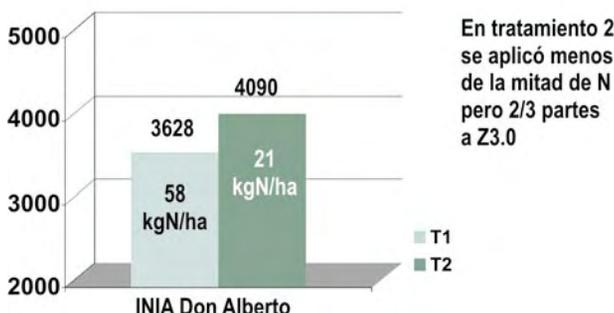


Figura 4 - Estrategias de fertilización en trigo (Adaptado de FPTA-Young/2007, Chalkling, Castro, García Lamothe, 2008)

asumir que esa cantidad de N es lo que tendrá el cultivo disponible a lo largo de su ciclo es demasiado simplista. Ese dato complementado con el PMN mejoraría esta predicción y se está trabajando en INIA al respecto con resultados promisorios.

c) asumir 50 % de eficiencia es otra fuente de error; nuestra experiencia indica que puede variar entre menos de 10% y más de 65% según el año y/o el momento de aplicación del N.

La eficiencia de recuperación del N aplicado depende de varios factores algunos controlables y otros no. La interferencia de enfermedades, plagas u otras deficiencias nutricionales puede llegar a manejarse con prácticas agronómicas, pero las condiciones climáticas no, y a menudo provocan una baja eficiencia de la fertilización.

En inviernos secos y suelos que no han podido acumular suficiente agua, la fertilización es poco eficiente. Aunque con nuestro clima parece poco probable que ocurra déficit hídrico en cultivos de invierno, no es así, en particular en suelos erosionados. Por otro lado, ya se ha mencionado el efecto de los excesos hídricos en el suelo y la pérdida de N.

### Algunos Criterios Básicos de Fertilización

En el caso que se planee una sola fertilización nitrogenada (bastante común cuando se aplicó un fertilizante binario N-P a la siembra), por regla general es preferible hacerla a Z3.0 y no a Z2.2 (figura 4). La excepción a la regla sería si el número de macollos en el metro lineal es escaso (menor a 120 en el estado Z2.5) en cuyo caso retrasar la aplicación puede afectar el potencial del cultivo.

La decisión de cuando fertilizar dependerá de los macollos presentes, con 150 o más por metro lineal se puede esperar a Z3.0, cuanto más lejos se esté de esa cantidad más riesgoso será retrasar la aplicación, porque el efecto del N sobre el número de espigas por unidad de superficie será progresivamente menor.

La cantidad de N a aplicar puede estimarse por balance de N y el dato de nitrato en los primeros 40 cm. del



suelo puede ser más útil que el de los 20 cm. Esto es menos preciso que el diagnóstico foliar pero mejor que usar una dosis fija sin criterio alguno.

El Cuadro 1 resume los criterios generales a manejar en fertilización nitrogenada de cultivos de invierno.

Considerando la generalización del doble cultivo: cereal de invierno (trigo o cebada) - soja, debe tenerse en cuenta que si bien la soja es una leguminosa que también fija N atmosférico, su efecto sobre la disponibilidad de N en el suelo es diferente al de las leguminosas forrajeras. En el grano se retira más N que el que fija el cultivo.

No obstante, cabe acotar que el cultivo de invierno siguiente probablemente no requiera N temprano, lo que no deja de ser una ventaja pues ese N es el más expuesto a pérdidas.

Si otro nutriente fuera más limitante que el N la respuesta al nutriente puede ser escasa o nula. En este sentido es muy importante el nivel de fósforo (P) y el de potasio (K) del suelo y siempre es recomendable hacer análisis de suelos para monitorearlos y corregirlos si fuese necesario. El Azufre (S) es otro macro nutriente que puede afectar la eficiencia de la fertilización pero normalmente debe ser muy deficiente como para que la interacción sea significativa.

**Cuadro 1** - Criterios generales para fertilización nitrogenada

Escala Zadoks	Estado fisiológico	Indicador	Recomendación
Z 0.0	Siembra	Nitrato en suelo	Fertilización basal si hay menos de 10 ppm en suelo 20-30kg. N/ha es suficiente
Z 2.2	Inicio del macollaje	Nitrato en suelo	Fertilizar con N si hay menos de 15 ppm en suelo
Z 2.5	Mediados del macollaje	Macollos con un mínimo de 3 hojas	Fertilizar con N si hay menos de a 120 macollos por metro
Z 3.0 – Z3.2	Fin de macollaje – 2 nudos visibles	% N en planta entera, Nitrato en el suelo	Fertilizar con N es más eficiente, según modelos o niveles críticos. En cebada fertilizar hasta etapa Z3.0
Z 4.0	Hoja bandera		Fertilizar con N tiene poco o ningún efecto sobre el rendimiento después de esta etapa