
MANEJO DEL NITROGENO PARA AUMENTAR PRODUCTIVIDAD EN TRIGO

Adriana García Lamothe*

* Ing. Agr., Cultivos de Invierno, INIA La Estanzuela

Título: MANEJO DEL NITROGENO PARA AUMENTAR PRODUCTIVIDAD
EN TRIGO

Autor: Adriana García Lamothe

Serie Técnica N° 54

© 1994, INIA

ISBN: 9974-38-027-8

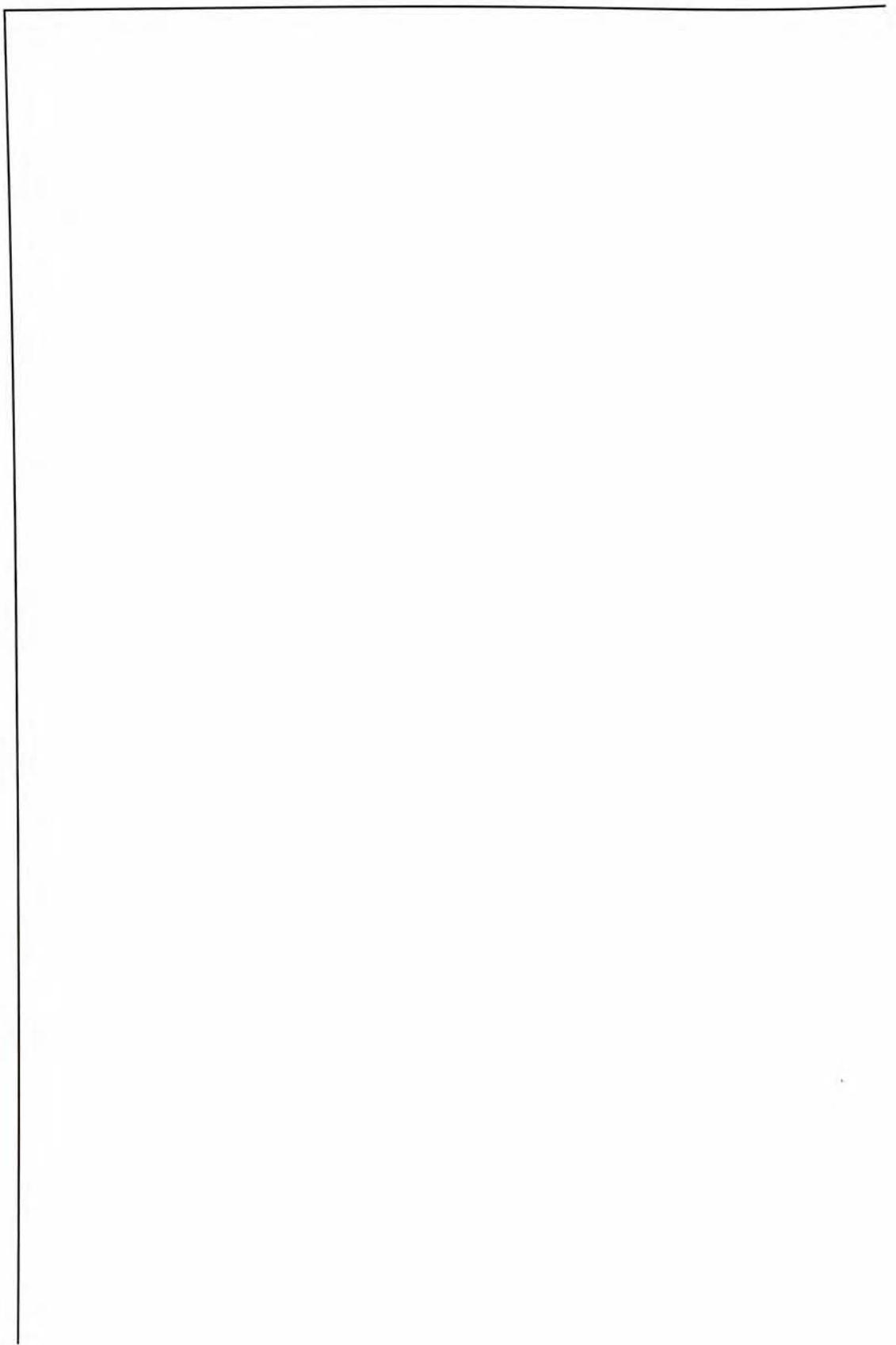
Editado por la Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA.
Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Este libro no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

INDICE

Página

1. INTRODUCCION	1
2. DETERMINACION DEL RENDIMIENTO DURANTE EL CICLO DE CULTIVO	1
3. EL ROL DEL N EN LA FORMACION DEL RENDIMIENTO	2
3.1 El N y los componentes del rendimiento	2
3.2 El N y la proteína en el grano	7
4. CUANDO APLICAR EL N	9
4.1 Patrón de absorción de N por el cultivo de trigo	9
4.2 Beneficios del fraccionamiento de la fertilización N	9
5. RESPUESTA A N: otros factores que pueden afectarla	13
5.1 Stress hídrico	13
5.2 Poblaciones de malezas	13
5.3 Enfermedades	15
5.4 Resistencia al vuelco	17
6. COMO DEFINIR LA NECESIDAD DE FERTILIZACION N DEL CULTIVO	17
6.1 Rendimiento potencial y requerimientos de N	18
6.2 Suministro de N del suelo	18
6.3 El diagnóstico foliar	22
6.4 Resumen	24
7. RECOMENDACIONES GENERALES DE FERTILIZACION N PARA EL CULTIVO DE TRIGO	24
8. BIBLIOGRAFIA	25



MANEJO DEL NITROGENO PARA AUMENTAR PRODUCTIVIDAD EN TRIGO

1. INTRODUCCION

Cuando se pretende aumentar la productividad del cultivo de trigo, la elección del cultivar, la dosis y el momento de aplicación de N, el control de plagas, malezas y enfermedades, son factores de fundamental importancia. Es así que estas variables, se incluyen normalmente en los **sistemas de producción intensiva** con alta utilización de insumos.

La llamada **revolución verde** incrementó la productividad del trigo fundamentalmente a través de la introducción de variedades semienanas con índices de cosecha mayores, combinado con el uso de fungicidas y frecuentemente reguladores de crecimiento, que permitieron la aplicación de niveles de N altos, sin perjudicar al cultivo.

El propósito de este trabajo es: proveer criterios para identificar oportunidades y definir estrategias para manejar la productividad del cultivo de trigo, en base fundamentalmente a la fertilización N, ya que normalmente existe una alta asociación entre disponibilidad de N y rendimiento en grano.

Para programar prácticas de manejo que permitan la máxima expresión del potencial genético del cultivo, es importante tener presente en qué momento suceden los procesos que dan origen a los diferentes componentes del rendimiento. Por ese motivo, a parte del efecto del N y su interacción con algunas de las variables citadas anteriormente, en la determinación del rendimiento final, se incluye en el trabajo una breve reseña introductoria a la fisiología de la producción de trigo, respaldada por la información generada en diversos experimentos conducidos en INIA La Estanzuela.

2. DETERMINACION DEL RENDIMIENTO DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO

El ciclo de vida de un cereal puede dividirse en dos fases, una pre-antesis y otra post-antesis. La primera, de crecimiento vegetativo y desarrollo floral, es la que define el rendimiento potencial del cultivo (Ledent, 1982) y es la más susceptible a la influencia agronómica. Cuando ésta termina, la interacción de la cobertura vegetal con el medio ambiente, determina en qué medida el potencial, es concretado por el llenado de grano.

En general en trigo se habla de 3 componentes importantes del rendimiento: espigas por unidad de área, número de granos por espiga y peso del grano (Evans, 1975).

Resulta difícil establecer un óptimo para cada uno de los componentes. Por un lado, porque un mismo rendimiento en grano puede lograrse por diferentes caminos, dado el fenómeno de compensación mutua que se da entre componentes del rendimiento en los cereales. Por otro, por la existencia de diferencias varietales importantes.

El único parámetro morfológico que se correlaciona estrechamente con el rendimiento final es el número de granos por unidad de superficie, determinado por el producto de: plantas por unidad de área, espigas por planta y granos por espiga. Se considera óptimo lograr 20 mil granos/m².

El número de plantas depende de la calidad de la semilla, la densidad de siembra y las condiciones ambientales en las etapas tempranas del cultivo.

El número de espigas por planta está

determinado por el macollaje y la proporción de macollos que producen espiga.

La capacidad de macollaje difiere entre cultivares y puede compensar grandes variaciones en población de plantas. Es por esto que cuando se hace referencia a la óptima densidad de siembra en trigo se habla de un rango, no de un único valor.

El número de granos por espiga es el producto del número de espiguillas por espiga y el de flores fértiles por espiguilla. La formación de las espiguillas comienza al inicio del macollaje y se prolonga hasta fin del macollaje, cuando se forma la espiguilla terminal. En tanto que la formación de las flores abarca parte del macollaje y continúa durante todo el alargamiento del tallo.

Al inicio del embuche comienza la formación del polen, una etapa que puede ser crítica para la posterior fertilización.

En el período de llenado del grano, las condiciones ambientales son definitorias del rendimiento final. El agua, la radiación, y la disponibilidad de productos de la fotosíntesis tienen una importancia crítica en el proceso de acumulación de materia seca en el grano.

3. EL ROL DEL N EN LA FORMACION DEL RENDIMIENTO

3.1. El N y los componentes del rendimiento

Cuando el agua, u otro factor no está limitando el crecimiento, el rendimiento del cultivo es normalmente, más o menos proporcional a su disponibilidad de N.

El N inicial y hasta mediados del macollaje influye sobre el número de espigas a través de su efecto en la producción de macollos. La respuesta al agregado de N es prácticamente lineal, particularmente en cultivos sembrados temprano.

En el cuadro siguiente puede apreciarse este efecto. Las variaciones entre años se deben fundamentalmente a condiciones ambientales que afectan tanto al proceso de macollaje como a la eficiencia de uso del N agregado. Es importante resaltar que las diferencias se manifiestan más en el número de macollos producidos que en la población de espigas pues una proporción importante de macollos no llega a producir espiga.

Niveles muy altos de N pueden causar una excesiva proliferación de macollos y merma en el rendimiento debido a la formación de numerosas espigas tardías de menor tamaño.

Cuando las condiciones del año son muy favorables para el macollaje y el agregado de N resulta en un incremento sustancial de macollos, con alto porcentaje de sobrevivencia, a medida que el número de espigas originadas se aproxima a 800/m², las espigas cosechables son en promedio más chicas (ver cuadro 2).

El número de espigas/m² es el parámetro más apreciable por el productor pero es de difícil predicción y la población de espigas necesaria para alcanzar un alto rendimiento en grano puede diferir entre variedades.

En E. Federal el óptimo número de espigas (figura 1) se estimó en 630/m². No obstante, comúnmente 500 espigas/ m² son sufi-

Cuadro 1. Respuesta al N inicial en número de macollos y de espigas, en 3 años con E.Federal sembrado en mayo.

AÑO kgN/ha	1988		1989		1989	
	mac/m ²	esp/m ²	mac/m ²	esp/m ²	mac/m ²	esp/m ²
0	750	450	730	415	820	460
40	880	470	790	465	910	500
80	970	550	820	485	1060	570
120	910	570	840	551	1130	590

Cuadro 2. Efecto del N sobre la población de espigas en un experimento, con E. Federal (1987).

N (kg/ha)	ESPIGAS/ m ²	ESPIGUILLAS/ESPIGA
0	570	19.5
67	700	19.9
133	745	19.0
200	770	17.5

cientes para alcanzar el 85 % de máximo rendimiento. Poblaciones de espigas por encima del óptimo se han asociado a rendimientos progresivamente menores.

En E. Cardenal en cambio, si bien se estimó una población óptima de espigas similar, de 615/m², el nivel de suficiencia fue más bajo, de aproximadamente 400 espigas/m² (figura 1) y la relación con el rendimiento menos estrecha. Frecuentemente se menciona a esta cifra de 400 espigas/m² como densidad óptima en trigo.

Pero además de diferencias genéticas, el óptimo puede estar también influido por la densidad de plantas. La espiga originada del tallo principal es generalmente la de mayor rendimiento, en tanto que la cantidad de granos formados por espiga en los macollos, es progresivamente menor a medida que éstos se originan más tarde (ver cuadro 3).

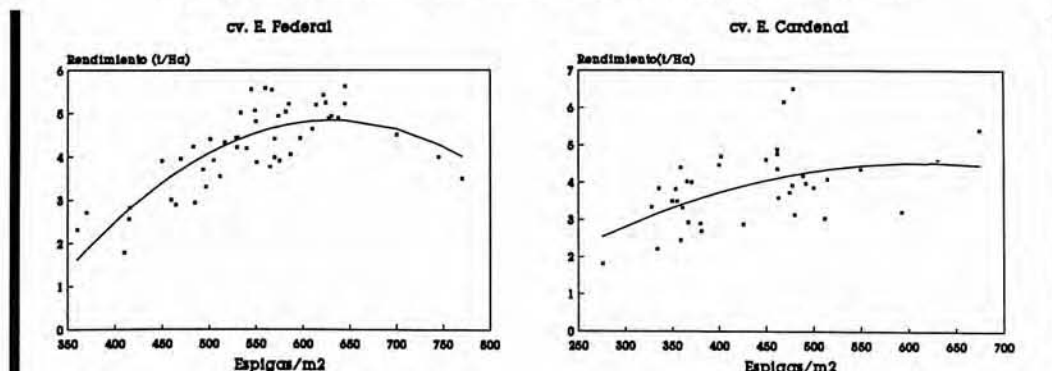
Esta variación entre espigas, difiere en magnitud entre cultivares conforme a su

dominancia apical. Las diferencias en el cuadro 3, en el cv. E. Cardenal, son más marcadas que las que probablemente hayan ocurrido en E. Federal en el ejemplo anterior.

Con el propósito de ejemplificar la importancia del rendimiento individual de las espigas, cabe resaltar que el mayor rendimiento alcanzado hasta el momento en los experimentos de altos insumos, fue de 7000 kg/ha con el cv. E. Cardenal en 1987, y una población de espigas superior al nivel óptimo mencionado para ese material. Pero la densidad de siembra del cultivo había sido duplicada. Es muy probable que en este caso la mayoría de las espigas provinieran de tallos principales.

Esta es la razón por la que muchos sistemas de manejo intensivo utilizan densidades de siembra mayores a las normalmente recomendadas. De este modo reducen la proporción de espigas provenientes de macollos, que en cultivares de mayor dominancia apical, pueden conspirar contra el rendimiento.

Figura 1. Relación entre población de espigas y rendimiento en grano.



(fuente: García Lamothe, A. 1994)

Cuadro 3. Rendimiento de espigas en un mismo cultivar, según su origen (E. Cardenal, Ext. Potenciales, E.E.L.E. 1988).

ORIGEN	granos/espiga	peso de 1000 granos
Tallo Principal	39.0	38.8
1 er. Macollo	31.9	35.0
2 do. Macollo	24.7	32.6
Otros Macollos	25.1	28.7

El N aplicado luego de cesado el macollaje, en general no tiene efecto sobre el número de espigas por unidad de área. No obstante se ha visto que la fertilización a fin del macollaje, puede aumentar la sobrevivencia de macollos, tendiendo a aumentar la producción de espigas a menudo no cosechables.

Un efecto consistente del N en relación al rendimiento es el de mantener o incrementar el número de granos por espiguilla y en consecuencia los granos por espiga, aún cuando haya logrado un aumento en la población de espigas.

La figura 2 ilustra por un lado, la respuesta a N en producción de espigas en 4 años y diferentes cultivares y por otro, el efecto del N sobre los granos por espiga. Los datos provienen de experimentos donde el N se aplicó fraccionado entre siembra y fin de macollaje, es por esto que en general, es muy significativo el incremento en granos que se logró con el N.

Para favorecer la formación de espiguillas es más eficiente aplicar el N al inicio del macollaje, pero la alta disponibilidad del nutriente en este momento puede provocar un excesivo macollaje y no ser favorable para el desarrollo de las flores que ocurre simultáneamente, resultando en numerosas espiguillas estériles y una menor eficiencia del N aplicado.

Como este componente ha mostrado ser menos susceptible a ser manejado, parece más apropiado procurar aumentar los granos por espiga a través de un incremento de los granos por espiguillas y no de las espiguillas por espiga.

Aunque el N aplicado tarde en general tiene poco efecto sobre el macollaje y el número de espiguillas por espiga (figura 3), puede incrementar la tasa de desarrollo de las flores, y con ello la formación de granos por espiga, pues permite que se llegue a la polinización con un número mayor de flores completamente desarrolladas.

La formación de grano es estimulada con aplicaciones de N a fin del macollaje cuando las hojas se ponen erectas y a la aparición del primer nudo, probablemente al beneficiar tanto el desarrollo de las flores como su sobrevivencia (Kirby & Appleyard, 1984).

Si se tiene en consideración que durante el período de encañado del trigo que se inicia con la aparición del primer nudo, se da la máxima tasa de acumulación de materia seca y por consiguiente una muy alta demanda de N, y a su vez, este proceso coincide con el desarrollo de flores en la espiga que también requiere N, es lógico suponer que aplicaciones aún más tardías del nutriente, pero anteriores a la anthesis, puedan incrementar el número de granos por espiga por disminución del número de espiguillas estériles.

Si bien el peso del grano es el componente menos afectado por el N, se ha visto que el nutriente puede tender a aumentarlo o disminuirlo según qué otro componente esté modificando y en qué sentido y dependiendo de las condiciones ambientales.

En la figura 4 se ve el efecto del N en el peso de granos en distintos cultivares y varios años de experimentos en La Estanzuela.

El N adicionado al cultivo en etapas tardías puede aumentar el área foliar por unidad de superficie de suelo y la duración de la misma.

Figura 2. Efecto del N sobre la producción y el tamaño de espigas en trigo.

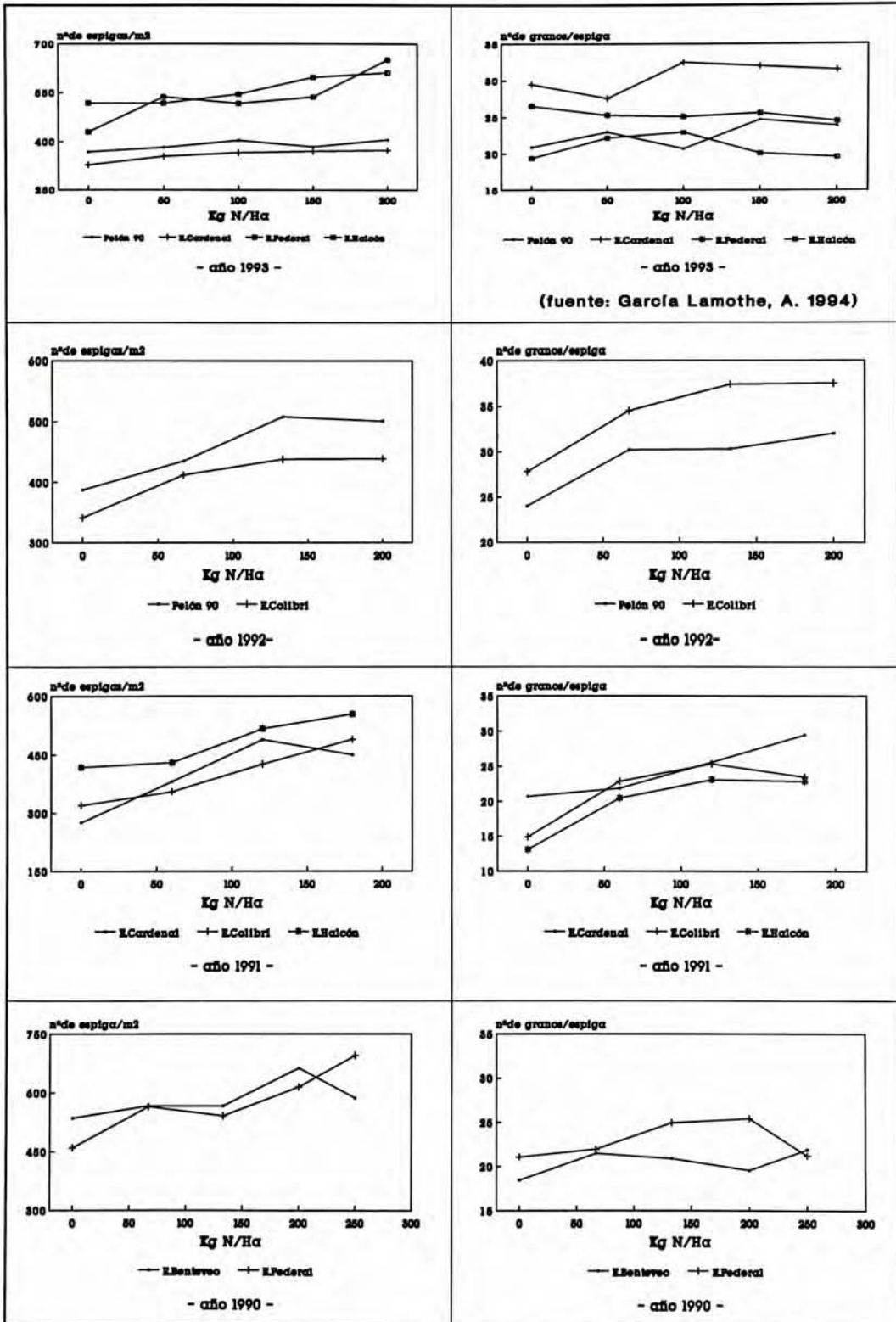
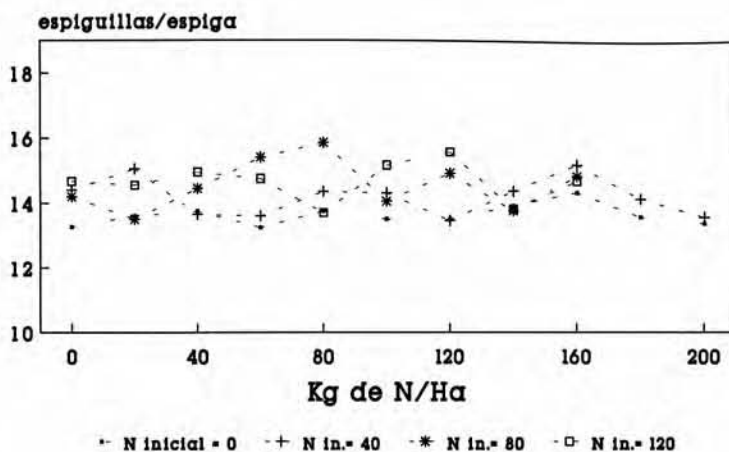


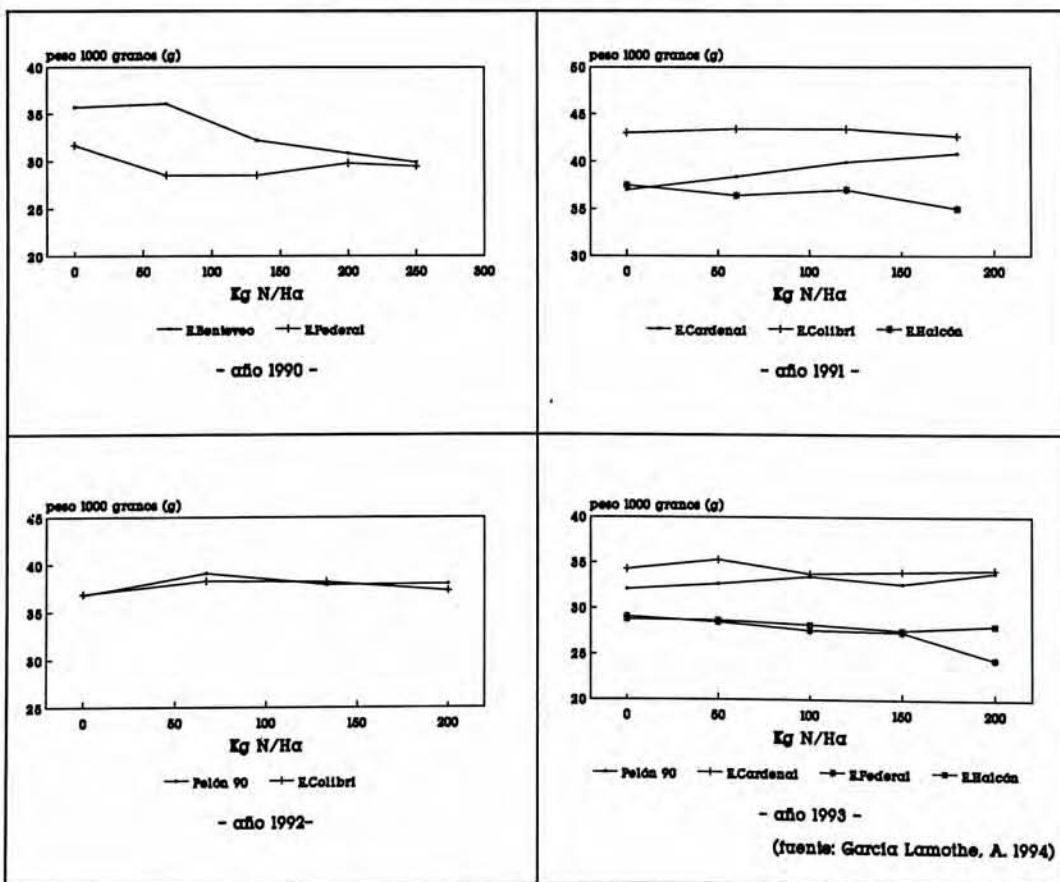
Figura 3. Efecto del N agregado a 2 nudos sobre el tamaño de la espiga de trigo.



cv. E. Federal

(fuente: García, A. & Martino, D. 1988)

Figura 4. Respuesta a N en peso de grano.



Como una gran proporción del peso seco del grano proviene de la fotosíntesis luego de la floración (Stoy, 1979) es común que el rendimiento en grano se correlacione directamente con la duración del área foliar luego de la antesis. El efecto es similar al de la aplicación de fungicidas para controlar la incidencia de enfermedades que aceleran la senescencia de las hojas. En este sentido, se ha estimado que, cuando se prolonga un día más la duración de la hoja bandera se puede lograr un incremento de 200 kg/ha en materia seca (De Vos, 1979).

Las hojas superiores del tallo y aristas contribuyen en forma fundamental a la determinación del rendimiento. Se ha estimado que el 60 % de los carbohidratos del grano pueden provenir de la hoja bandera y el 40 % restante de la espiga y penúltimas hojas (Marshall & Biscoe, 1982, citado por Reilly, 1989).

De esta forma el N a través de su efecto sobre la duración del área foliar puede prolongar la fotosíntesis y aumentar la disponibilidad de asimilados para el llenado del grano.

Como en general la senescencia de las hojas, comienza a partir de la antesis, es lógico que este efecto del N sea más notorio cuanto más tarde se aplique, pero antes de que el proceso esté avanzado.

En el país el beneficio de la aplicación de N en la fase reproductiva ha sido poco estudiado, aunque se sabe su efecto sobre la proteína del grano.

En el cuadro 4 se muestra cómo afectó al rendimiento la aplicación de 50 kg de N/ha en diferentes estados del trigo. Mientras que en el experimento no hubo respuesta al N aplicado en etapas tempranas del ciclo del cultivo, se vio un efecto significativo ($P < 0.05$) del N agregado a la espigazón.

Recientemente en un trabajo con trigo duro (Artola, 1993) se estudió el efecto de

aplicaciones de N al embuche y a antesis. Si bien el propósito era mejorar la calidad del grano, ambas resultaron en aumentos significativos del rendimiento y aunque no difirieron estadísticamente entre sí, el N aplicado a antesis tendió a ser más eficiente.

A la luz de estos resultados parece necesario y conveniente seguir investigando al respecto para enriquecer la información actual.

3.2. El N y la proteína en el grano

Existe una relación inversa y bien conocida entre rendimiento y proteína en el grano, que se evidencia claramente entre cultivares de alto y bajo potencial de rendimiento, pero se da aún dentro de un mismo cultivar.

Esta relación sería en parte atribuible al efecto de dilución que ocurre si con la misma disponibilidad de N se aumenta la producción de grano. Pero además, difícilmente la cantidad de N capaz de ser translocado al grano desde las partes vegetativas sea la misma, en cultivares de distinto desarrollo vegetativo, puesto que la concentración de N en los tejidos es relativamente constante.

En general, cualquier factor que acelere la senectud de las hojas resultará en menor peso de grano y por consiguiente, menor rendimiento en grano con una mayor concentración proteica y por el contrario, los factores que prolonguen la vida de las hojas, como las bajas temperaturas o la disponibilidad de agua y nutrientes, favorecerán la obtención de mayor rendimiento en grano pero de menor tenor proteico.

Es probable que esta relación negativa esté vinculada al hecho de que gran parte del N translocado al grano proviene de la destrucción de proteínas constituyentes del aparato fotosintetizante. Por lo tanto, una posibilidad

Cuadro 4. Respuesta a N en rendimiento (cv. E.Federal, 1987).

Testigo sin N	siembra	macollaje	encañado	espigazón
3738 kg/ha	3563	3838	3763	4180
Incremento (%)	no sig.	no sig.	no sig.	11

de salvar esta limitante es lograr una disponibilidad alta de N en etapas tardías del cultivo que permita prolongar la síntesis proteica.

Si bien la acumulación de proteína en el grano se ve como un proceso terminal asociado a la muerte de las hojas, el N también puede provenir de una nueva asimilación bajo condiciones favorables de suelo y clima. La absorción de N del suelo implica requerimientos de fertilización adicionales para el cultivo.

Por otro lado como la fuente mayor de N son las partes vegetativas, pues hasta 80 o 90% del N del grano puede estar presente en el cultivo a la antesis (Kramer, 1979), si se puede incrementar la biomasa a través del agregado de N, ésta también es una vía para aumentar el N translocable al grano.

En la figura 5 se ilustra el efecto de niveles crecientes de N sobre la concentración proteica

del grano (línea punteada) y la respuesta en granos/m², en diferentes cultivares y años.

Puede apreciarse que 1991 se dio un claro ejemplo de dilución de la proteína del grano como resultado del agregado de 50 kg de N/ha al inicio del encañado. Este efecto se debió a la gran respuesta en producción de granos/m². El N incrementó fundamentalmente el número de granos por espiguilla.

Cuando la respuesta a N en producción de grano deja de ser lineal, este efecto tiende a revertirse y con niveles crecientes de N comienza a concentrarse la proteína del grano, como ocurrió en los otros dos años. Esto puede darse con la aplicación de niveles por encima de los requeridos por el cultivo, probable cuando se aplica N pero otro factor es más limitante, o con fertilizaciones muy tardías. En cualquiera de los casos, el cultivo puede

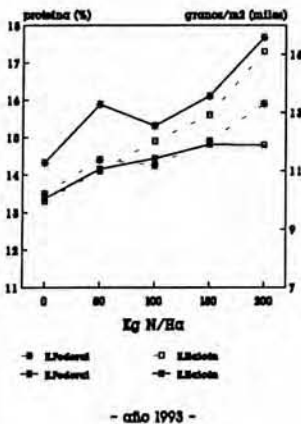
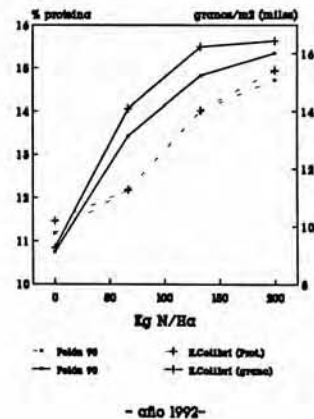
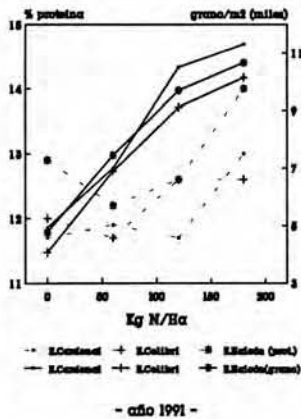


Figura 5. Efecto del N sobre la concentración de proteína del grano. Fuente: García Lamothe, A., 1994).

seguir aumentando el tenor proteico del grano, través de una absorción "de lujo".

Los granos con alta concentración proteica tienen mayores requerimientos de N que los de baja proteína. Sólo por estequiometría del grano, para incrementar un 1 % la proteína del grano en cereales, se requiere de 6 a 11 % más de N (Bhatia & Rabson, 1976), dependiendo del cultivar y su concentración inicial.

Por consiguiente, el **contenido** de proteína del grano puede ser mejorado mediante N suplementario, pero el momento de aplicación es de fundamental importancia. En este sentido las aplicaciones de N cercanas a la anthesis pueden ser más eficientes que las más tempranas, en parte por que es menor el efecto que éstas puedan tener sobre la cantidad de granos formados.

En la figura 6 puede verse que si bien la fertilización N siempre aumentó la concentración proteica del grano, la mayor eficiencia se logró con la aplicación más tardía y la menor con las aplicaciones de N a la siembra.

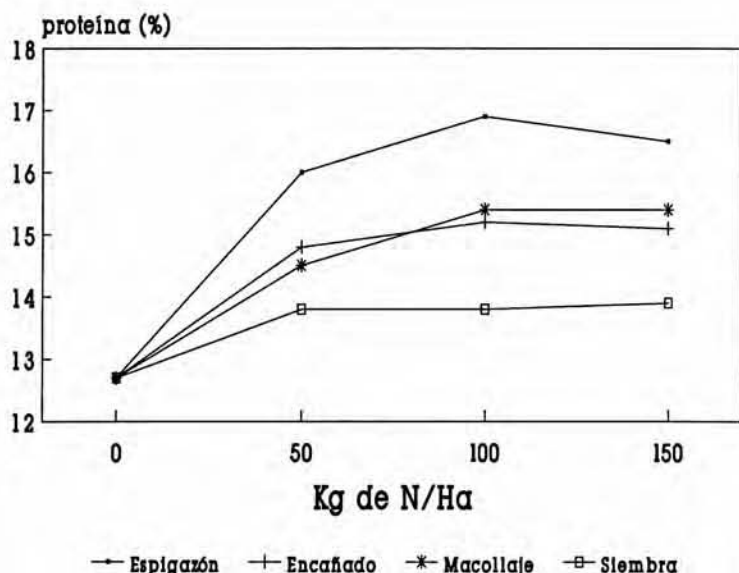
4. CUANDO APLICAR EL N

4.1. Patrón de absorción de N por el cultivo de trigo.

Cuando se desea hacer un uso racional y eficiente del N, además del efecto de éste sobre cada componente del rendimiento, debe conocerse la cantidad de N que las diferentes etapas de desarrollo van demandando a lo largo del ciclo de crecimiento.

La absorción de N en trigo, estimada de la acumulación de N en la planta y la producción de materia seca, es lenta en las etapas iniciales, pero entra en una fase exponencial al inicio del alargamiento de los entrenudos o encañado, para luego declinar durante la fase reproductiva. Este patrón varía entre genotipos y ambientes, pero es característico de plantas desarrollándose con limitante de N. (Carpenter *et.al*, 1952).

Los requerimientos de N del cultivo de trigo desde su emergencia hasta comienzos



cv. E. Federal

(fuente: Martino, D. y García Lamothe, A., 1987)

Figura 6. Efecto de la dosis y el momento de la fertilización N en la proteína del grano.

del macollaje, son bajos y a menudo pueden ser satisfechos por el aporte del suelo. No obstante, el N extra en esta etapa, favorece el desarrollo, resultando en plantas más vigorosas.

Al iniciarse el macollaje activo, la tasa de absorción incrementa. En los cultivos de alto potencial, ésta puede oscilar entre 1.5 y 2 kg/ha/día, generando la necesidad de N extra, excepto si el suelo tiene muy buena capacidad de suministrar N.

Durante el encañado la tasa de absorción N es máxima. En el cv. E.Federal se ha estimado una asimilación diaria de 4 kg/ha en el lapso comprendido entre fin de macollaje y dos nudos visibles. Es poco probable que el suelo pueda satisfacer esta demanda de N, independientemente de cual haya sido la historia de la chacra o condiciones del año.

Cuando comienza la senescencia de las hojas, la asimilación de N y otros nutrientes baja, aunque es posible que continúe hasta la

madurez si las condiciones ambientales lo permiten. Esta parece ser una característica de cultivares de alto potencial.

La tasa de absorción de N luego de la floración es mayor en cultivos de buena sanidad, y condiciones de alta radiación y sin stress hídrico (Spiertz & Ellen, 1978). El suministro de agua es aparentemente el factor más limitante de la absorción de N luego de la antesis (Terman, 1979).

4.2. Beneficios del fraccionamiento de la fertilización N

La proporción del N agregado temprano al cultivo, que éste logra recuperar es normalmente baja. En La Estanzuela en base a resultados experimentales de los últimos años se ha estimado cercana en promedio, al 40 % (ver cuadro 5).

Esta baja eficiencia promedio de aplicaciones de N a la siembra, no es sorprendente.

Cuadro 5. Eficiencias de recuperación del N agregado a la siembra, estimadas a partir de resultados experimentales de INIA-La Estanzuela.

AÑO	CULTIVAR	N AGREGADO kg/ha	(*) % DE RECUPERACION
1985	E. CALANDRIA	50	28
1986	E. FEDERAL	50	51
1987	E. FEDERAL	50	9
1988	B. OMBU	40	31
1988	E. FEDERAL	40	73
1988	E. JILGUERO	40	13
1989	E. FEDERAL	40	25
1989	E. FEDERAL	40	13
1989	E. JILGUERO	40	65
1989	B. OMBU	40	27
1989	B. CHARRUA	40	52
1990	E. FEDERAL	30	26
1991	E. FEDERAL	40	39
1991	E. COLIBRI	40	75

(*) Valores calculados en base a estimaciones de producción total de materia seca, concentración de N en tejidos, e incremento de rendimiento alcanzado a través del N agregado.

Muchos factores son capaces de afectarla. Algunos tienen un efecto directo sobre la disponibilidad de N, otros limitan el crecimiento del cultivo.

Dentro de los primeros, figuran las pérdidas de N tanto por lavado como gaseosas. Si se tiene presente el patrón de absorción de N del cultivo y la alta probabilidad de ocurrencia en el suelo de exceso hídricos después de la fertilización, sin duda, las pérdidas de N pueden llegar a ser de considerable magnitud.

Reducir el N que se pierde, no necesariamente resultará en un aumento de la absorción de N por la planta, pero como se requerirá menos N extra para alcanzar un mismo rendimiento, resultará en la utilización de una mayor proporción de N agregado. Si bien no es posible una eficiencia del 100 %, parece razonable esperar que la recuperación pueda alcanzar un 60 o 70 %, pues en varios casos se han estimado esos valores.

Una práctica recomendada para aumentar la eficiencia es el fraccionamiento de la fertilización N.

Luego de la fertilización, la disponibilidad de N mineral es muy alta. Si esto ocurre en las primeras etapas del cultivo, cuando el consumo de N es escaso y se dan por ejemplo, abundantes precipitaciones, la recuperación de N aplicado puede ser muy baja.

Esto se torna particularmente importante cuanto mayor sea la cantidad de fertilizante utilizado y más aún en siembras tempranas, pues el período de exposición a los procesos de pérdida es más prolongado.

La situación ideal para minimizar la pérdida de N sería que el suministro acompañase a la demanda del cultivo, de esa forma, en un momento dado, habría poco N susceptible a perderse. Este es el principio del fraccionamiento.

En sistemas de producción intensivos, es común que el N se fraccione en 4 o más aplicaciones. Los niveles de rendimiento obtenidos y las aplicaciones de otros insumos, hacen factible esta práctica. En cambio, en sistemas menos intensivos, con niveles de rendimiento normalmente menores, no es económicamente viable pensar en un número

alto de aplicaciones. En este caso, es conveniente determinar períodos críticos en el cultivo, de máxima eficiencia de uso de N.

Se menciona frecuentemente, la importancia de un adecuado nivel de N disponible en el momento de la siembra, para asegurar un buen desarrollo inicial de los macollos, y así concretar un mayor rendimiento final.

En experimentos de campo en La Estanzuela, este efecto se verificó en un 40 % de los casos analizados y en general, estuvo asociado a características de los cultivos, manifestándose principalmente, cuando se lograron establecer entre 150 y 200 plantas por metro cuadrado y en materiales muy macolladores como E. Federal.

En base a estos resultados, es recomendable la aplicación de 30 Kg de N a la siembra, para permitir la concreción de un mayor rendimiento final. Una buena disponibilidad de N inicial es muy importante para el desarrollo individual de los macollos y su probabilidad de sobrevivencia.

El otro momento fundamental para el cultivo es el inicio del encañado, cuando comienza la etapa de máxima tasa de acumulación de materia seca. En este momento la demanda de N por el cultivo es muy alta y el N que se agregue puede ser usado muy eficientemente.

Los resultados experimentales en INIA-La Estanzuela han mostrado que este fraccionamiento ha mejorado significativamente la eficiencia de uso del N en siembras de abril y mayo (García & Martino, 1986). Pero aún en siembras de julio, si luego de la fertilización las condiciones ambientales favorecen los procesos de pérdida, su efecto puede ser de consideración.

Normalmente el rendimiento que se obtiene con la aplicación de un determinado nivel de N fraccionado, no es inferior al alcanzado por ese mismo nivel aplicado totalmente a la siembra, y frecuentemente es mayor, justificando su costo adicional.

La respuesta en grano al N agregado a la siembra, está asociada fundamentalmente, a un incremento en el número de espigas. En tanto que, cuando el N se divide entre siembra

y mediados de macollaje o inicio del encañado, tanto el número de espigas como el tamaño de las mismas, explica el mayor rendimiento obtenido.

Aparte de la mayor probabilidad de ocurrencia de pérdidas de N, se ha observado que las aplicaciones altas a la siembra, pueden ocasionar un excesivo macollaje, no llegando muchos de los macollos producidos a formar espiga, y actuando como parásitos de los fértiles.

Esta práctica además, tiende a incrementar la altura de las plantas y la incidencia de vuelco, y a favorecer el desarrollo de enfermedades, a través del ambiente más propicio que se crea en el cultivo más denso.

Por otro lado, si no se realiza un buen control de malezas temprano, gran parte de ese N agregado puede ser utilizado por ellas antes que por el cultivo.

Cada uno de estos factores contribuye directa o indirectamente, en mayor o menor grado, a explicar la conveniencia de dilatar la aplicación de parte del N a etapas más tardías, para aumentar la eficiencia de la fertilización.

Una situación muy extrema en cuanto a la eficiencia de uso de N según el momento de su aplicación, es la que se da cuando el trigo va a ser pastoreado. En este caso la eficiencia del N agregado previo al pastoreo es muy baja y la razón principal es que el N absorbido por el cultivo en etapas tempranas, no es utilizado para producción de grano, sino que, la mayor parte del mismo, es extraído por el animal.

Los datos que se presentan en el cuadro 6 y 7 ilustran este efecto sobre la eficiencia de la fertilización y la magnitud de las extracciones de N que acompañan al corte o el pastoreo.

Cuadro 6. Eficiencias estimadas (coeficientes β), Kg de grano obtenido por kg de N agregado, con diferentes estrategias de fertilización, en trigo cv. E.Dorado, bajo pastoreo simulado.

MOMENTO DE APLICACION	Sin pastoreo	Con pastoreo
A la siembra (S)	4.8	1.8
½ a S + ½ al macollaje	8.6	2.6
½ a S + ½ a un nudo*	7.8	6.4
Todo al encañado *	10.6	15.3

(*) Después del corte en tratamientos con pastoreo.

Cuadro 7. Cantidad de N extraído con un corte a fin de macollaje (Feekes 5-6), según diferentes niveles de N agregado. cv. E.Federal.

año	kg de Nitrógeno / ha			
1988	41 (0)	55 (40)	60 (80)	72 (120)
1989	25 (0)	49 (40)	71 (80)	87 (120)
1990	30 (0)	45 (30)	61 (60)	67 (90)
1991	19 (0)	36 (40)	50 (80)	62 (120)

(*): Nivel de N agregado a la emergencia del cultivo.

Al margen de esta baja eficiencia de recuperación del N, si el objetivo del productor es tener una alta y más temprana disponibilidad de forraje para el consumo animal, el agregado de N a la siembra o temprano en el ciclo del cultivo, es una práctica recomendable.

En general en gramíneas, la respuesta en producción de materia seca es prácticamente lineal hasta niveles muy altos de N.

En trigo se ha estimado en chacras relativamente nuevas, una eficiencia real promedio de 14 kg de materia seca por kg de N aplicado.

Después del corte o pastoreo, el suministro de N favorece el rebrote y la recuperación del cultivo es más rápida, pudiendo reducir el efecto negativo sobre la producción de grano.

5. RESPUESTA A N: OTROS FACTORES QUE PUEDEN AFECTARLA

La respuesta a N depende de la interacción de muchos factores, algunos manejables y otro no. La forma, el momento de aplicación y la cantidad de N aplicado, el suministro de N del suelo, la presencia de leguminosas, pueden tener un efecto importante sobre las curvas de respuesta.

Los fertilizantes químicos nitrogenados más comúnmente utilizados son de eficiencia similar, su efecto sobre la respuesta a N no es importante, pues en todos ellos el N queda rápidamente disponible. El modo de aplicación puede en cambio modificar la eficiencia de una u otra forma.

Por ejemplo, frecuentemente se menciona la mayor eficiencia de las aplicaciones foliares. En trigo, la urea disuelta y aplicada sobre el follaje a dosis bajas, antes de la aparición de la espiga, ha mostrado ser efectiva para la producción de grano (García Lamothe, A. et al., 1991), y tendió a ser más eficientes que la aplicación al suelo.

A su vez la respuesta a N puede verse afectada por factores que limitan el desarrollo del cultivo y la absorción de N, como la disponibilidad de agua, la presencia de malezas, la incidencia de enfermedades y de pestes, la condición física del suelo, el pastoreo.

Otro factor a tener en cuenta es el genotipo. En trigo fundamentalmente la mayor o menor resistencia al vuelco determinará variaciones importantes en la respuesta a N.

5.1. Stress hídrico

Una interacción de particular importancia en condiciones de campo, es la que se da con el agua disponible.

En Uruguay, normalmente, no hay problemas de déficit hídrico para el cultivo de trigo. Son más frecuentes los excesos de agua fundamentalmente durante la etapa vegetativa.

Sin embargo, no es raro que ocurran períodos de escasa disponibilidad de agua en el suelo o que las características físicas del suelo impidan una adecuada exploración de las raíces, creando situaciones de stress, a pesar de que en profundidad haya agua disponible. En estas situaciones la respuesta a N puede ser muy baja, ya que **la eficiencia de uso del N es muy dependiente de la disponibilidad de agua.**

Las menores eficiencias de la fertilización N tanto a la siembra como en etapas más tardías, se han determinado en aplicaciones realizadas en condiciones extremadamente secas.

5.2. Poblaciones de malezas

La presencia de malezas puede llegar a afectar en forma importante la eficiencia de la fertilización. Tanto el tipo de maleza dominante como su abundancia y desarrollo estarán determinando la magnitud de la interacción.

Por consiguiente el momento del enmalezamiento y el momento del control, son factores que deben tenerse en consideración cuando se define la fertilización N.

En la figura 7 se ilustra como en una chacra sin aplicación de herbicidas el agregado de N a la siembra promovió el desarrollo de las malezas, pero no aumentó la producción del trigo. En este caso no se justificó la fertilización.

Algo similar ocurre cuando se refertiliza a un cultivo con un elevado nivel de enmaleza-

miento. El agregado de N al macollaje, en el cultivo sucio, puede no tener efecto sobre el rendimiento en grano .

El control temprano de malezas, deja una mayor disponibilidad de N para el trigo, por lo que éste requiere menos N extra para alcanzar el mismo rendimiento.

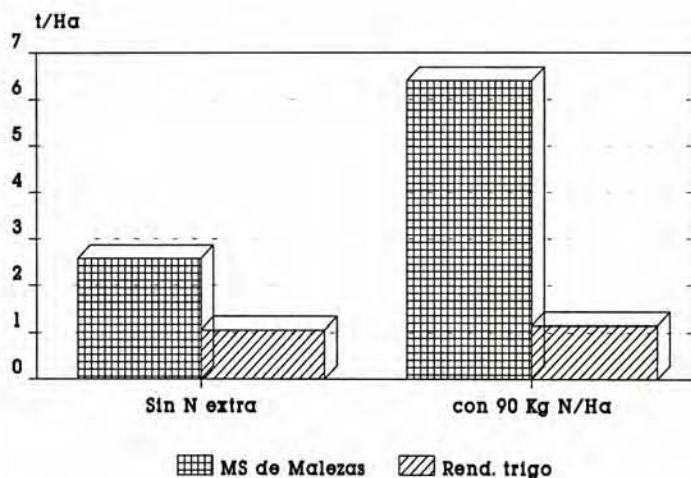
Por ejemplo, en un experimento (ver figura 8) en que el control se realizó recién al macollaje fue necesaria la aplicación de 30 kg de N/ha, para alcanzar el rendimiento del cultivo limpio desde el inicio.

Aparte del efecto directo que las malezas pueden ejercer sobre la disponibilidad de N, su competencia por otros factores de crecimiento puede afectar el desarrollo del cultivo y su rendimiento potencial.

Por consiguiente, en una chacra enmalezada si no se piensa en controlar malezas la fertilización con niveles relativamente altos de N puede no ser recomendable.

Para definir la necesidad de N extra es imprescindible considerar el tipo y nivel de enmalezamiento.

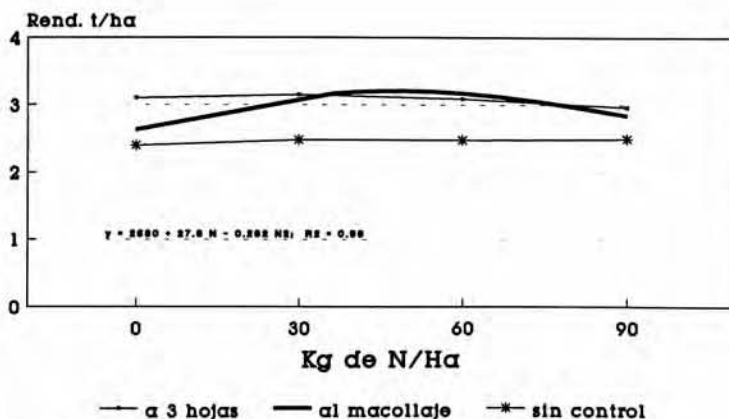
Figura 7. Respuesta de las malezas y el trigo a la mayor disponibilidad de N.



Maleza dominante: rábano
Infestación inicial:(120 pl/m²)

(Fuente: A.Giménez,1987)

Figura 8. Respuesta a N en trigo en 3 situaciones de control de malezas.



* Predominio de rábanos;
población inicial: 45 pl/m²

(Fuente: Giménez, A. y García, A.1991)

5.3. Enfermedades

La incidencia de enfermedades puede afectar también en forma importante la respuesta a N. Es difícil generalizar al respecto, porque algunas enfermedades incrementan su severidad con el agregado de N y otras la disminuyen.

El efecto debe ser evaluado para cada enfermedad en particular y un determinado ambiente y es fundamental poder cuantificar los daños y el beneficio del control químico.

Enfermedades importantes como las royas, aumentan su ataque a mayor disponibilidad de N. Este efecto se da en cultivares susceptibles pero no afecta o afecta poco a

los resistentes (ver cuadro 8). Por consiguiente en cultivares susceptibles la curva de respuesta a N difiere según el trigo esté o no protegido con fungicidas. Un claro ejemplo de este hecho puede verse en la figura 9.

En tratamientos sin N, el rendimiento del cultivo tratado fue a penas inferior al rendimiento del cultivo con ataque de roya, pero a medida que incrementó el suministro de N, las diferencias se hicieron progresivamente mayores.

Otra enfermedad frecuente en trigo es la septoriosis. Sólo en 2 de los 8 años en que se estudió el efecto de las enfermedades en la respuesta a N, las lecturas de septoria fueron bajas.

Cuadro 8. Incidencia de algunas enfermedades con niveles crecientes de N en dos cultivares de trigo (García Lamothe, A.,1992).

kg DE N/ha	E. CARDENAL			E. COLIBRI		
	MANCHAS	ROYA	FUSARIUM	MANCHAS	ROYA	FUSARIUM
0	56	60 S	10 %	32	5 S	15 %
60	56	70 S	20 %	32	5 MS	20 %
120	N.D.	90 S	20 %	32	10 MS	20 %
180	N.D.	90 S	15 %	32	2 S	20 %

La incidencia de Manchas foliares se expresa como % de área afectada por la enfermedad. (N.D.)= no determinado por incidencia de roya.

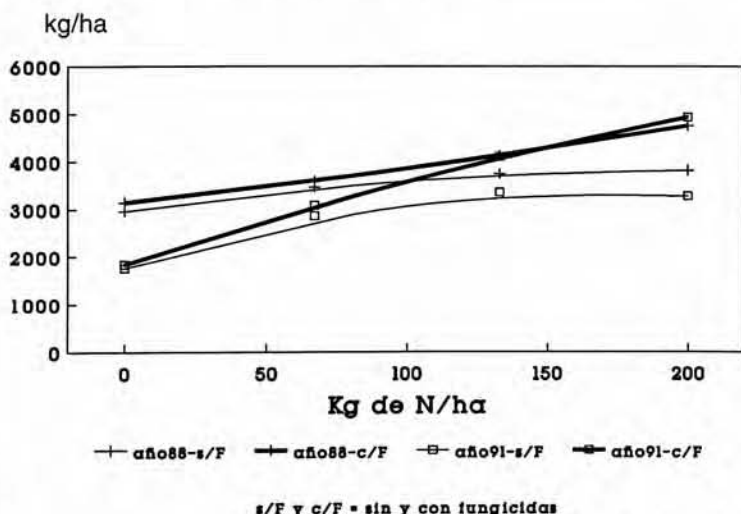
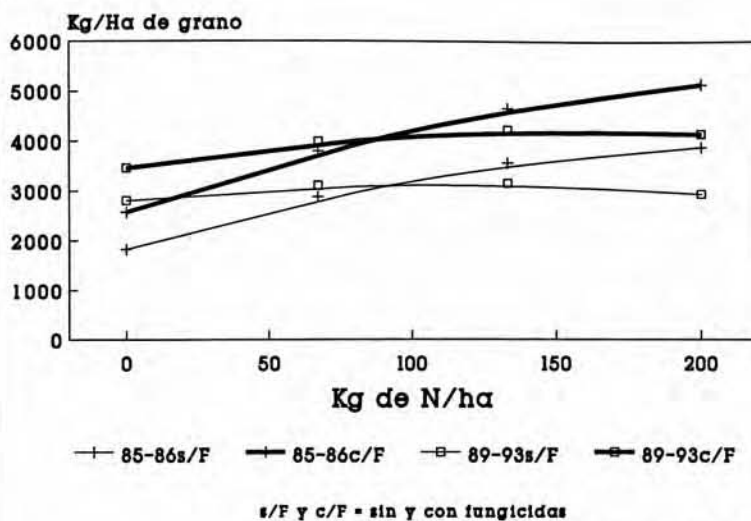


Figura 9. Efecto del ataque de roya de hoja sobre la respuesta a N en trigo, cv. E. Cardenal.

(fuente: García Lamothe, A.,1989, 1994)

Figura 10. Efecto de la incidencia de Septoria sobre la respuesta a N en trigo.



(fuente: García Lamothe, A., 1994)

La figura 10 ilustra la interferencia observada en años con similar incidencia de manchas foliares, fundamentalmente septoriosis.

Aparentemente, la enfermedad es más independiente del nivel de N disponible. Las pendientes de las curvas de respuesta fueron similares con o sin protección del cultivo. No obstante, el rendimiento obtenido con un mismo nivel de N difirió significativamente.

El control con fungicidas aumenta la duración del área foliar, prolonga la fotosíntesis y permite la concreción de rendimientos más altos, de esta forma también afecta la curva de respuesta a N, mejorando la eficiencia de uso del N al levantar la restricción que la enfermedad impone sobre el rendimiento.

Es por esto que los sistemas de producción intensivos incluyen el uso de fungicidas muchas veces preventivos, para asegurarse

que la respuesta a N no esté limitada por la presencia de enfermedades. En países desarrollados los rendimientos y las relaciones de precios hacen que esta sea una práctica económica.

Si bien el uso preventivo de fungicidas no es redituable en países subdesarrollados, pues el costo de una aplicación es de cientos de kg de trigo, si se manejan niveles altos de N, y se evidencian síntomas de ataque y condiciones ambientales favorables para su desarrollo posterior, el control con fungicidas es una práctica recomendable (ver cuadro 9).

Este debe procurar proteger por lo menos a las últimas hojas del trigo, que en la concreción del rendimiento final jugarán un rol fundamental. Del buen estado sanitario depende gran parte de la respuesta al N ya sea proveniente de la fertilización o de la mineralización.

Cuadro 9. Efecto de la incidencia de enfermedades sobre la respuesta a N en E. Cardenal, año 1991, EELE.

Control con fungicidas	Rend. s/N (kg/ha)	DOSIS para Op.Ec.(*) (kg de N/ha)	Optimo económico
Sin control	1750	125	3310
Con control	1740	200	4900

(*) Optimo Económico estimado para una relación de precios insumo/producto = 4.

5.4. Resistencia al vuelco

En general los cultivares de alto potencial son materiales de caña más corta, más resistentes al vuelco y su mayor rendimiento en parte es atribuible a su mayor capacidad de responder al agregado de N.

Una buena resistencia al vuelco es una condición básica para lograr rendimientos óptimos que permitan aumentar la productividad.

En materiales susceptibles al vuelco la aplicación de reguladores de crecimiento es una medida que puede ser necesaria si se aumenta la fertilización N.

En la Estanzuela se estudió su efecto sobre el cv. E. Dorado (ver cuadro 10). La aplicación de CCC al cultivo redujo la altura de plantas un 10 % y la incidencia de vuelco, si bien esta no fue importante en el experimento. El rendimiento se vio incrementado en promedio, un 17 % en los tratamientos con N (450 kg de grano/ha).

Este efecto en cultivares de alto potencial podría llegar a ser mayor. Habría que cuantificarlo en los materiales más susceptibles al vuelco, antes de recomendar esta práctica como forma de aumentar la respuesta a N.

6. COMO DEFINIR LA NECESIDAD DE FERTILIZACION N DEL CULTIVO

A pesar de lo mucho que se ha estudiado el tema, el manejo del N sigue siendo una ciencia inexacta. No existe un método de análisis que permita definir la necesidad de fertilización N del cultivo como ocurre con el P o el K. En parte porque el N mineral del suelo constituye una proporción muy baja del N total del mismo, y el N orgánico debe ser mineralizado para que quede disponible para

las plantas. A su vez el suelo no tiene en general, formas de retención de este N mineral y las variables climáticas juegan un rol fundamental tanto sobre la disponibilidad de N como sobre el potencial de rendimiento del cultivo modificando la respuesta a N.

Pero al margen de estas limitantes, es fundamental si se desea mejorar la productividad del trigo, intentar una aproximación de la cantidad de N extra que debe agregarse al cultivo, pues este insumo es el que mayor impacto tiene sobre el rendimiento.

El beneficio que el productor puede llegar a tener mediante la fertilización N puede superar los 20 kg de grano por kg de N aplicado, una excelente ganancia por kg de insumo invertido, que a su vez permite un mayor retorno económico de otros insumos, como semilla o pesticidas, o de gastos fijos.

Otra razón importante para ajustar la necesidad de N extra, es que en cereales, el uso de niveles de N por encima de los requeridos, puede disminuir el rendimiento en grano a través del vuelco.

La Guía para fertilización de cultivos (Oudri, *et al.* 1976) basaba las recomendaciones para N en el tipo y manejo anterior del suelo. Los niveles recomendados se estimaban a partir de las funciones de respuesta y los óptimos económicos.

El enfoque actual para formular recomendaciones se asemeja al tradicional en que requiere disponer de información que permita cuantificar la capacidad de suministro de N del suelo, y difiere, en que requiere estimar el rendimiento esperado, para establecer un balance entre los requerimientos de N del cultivo y el suministro de N del suelo y calcular a partir de él la necesidad de N extra, teniendo en cuenta la eficiencia de uso del N.

Cuadro 10. Efecto de un regulador de crecimiento sobre el rendimiento potencial y la respuesta a N. cv. E. Dorado. (ELEE, 1986).

TRATAMIENTO	DOSIS PARA OP.EC. (kg de N/ha)	OPTIMO ECONOMICO (kg de grano/ha)
sin regulador	92	2707
con regulador	104	3230

Este balance puede expresarse:

$$\text{Requerimientos de N del cultivo} = \text{Suministro de N} \quad \text{ó} \\ \text{N(grano)} + \text{N(paja)} = \text{N(inicial)} \cdot \text{Ef} + \text{N(min)} \cdot \text{Ef} + \text{N(F)} \cdot \text{Ef}$$

dónde:

N(inicial) = N mineral a la siembra;

N(min) = mineralizado en el ciclo del cultivo;

N(F) = N del fertilizante;

Ef = eficiencia respectiva de cada fracción de N

La cantidad de N del fertilizante se despeja de la ecuación anterior. La eficiencia promedio para el N inicial o del N proveniente de la fertilización se asume del 50 %.

6.1. Rendimiento potencial y requerimientos de N

Es imprescindible estimar lo más exactamente posible el rendimiento potencial para calcular la cantidad de N que el cultivo debe asimilar y ésta es la primer limitante del método. Si bien el potencial se determina relativamente temprano en el ciclo del cultivo, y puede ser manejado hasta cierto punto por prácticas agronómicas, depende para su concreción final, de las condiciones ambientales durante el llenado de grano y la variabilidad que ocurre entre años es muy significativa.

No obstante, la experiencia local, el control de variables manejables y el conocimiento del potencial genético de los cultivares, permite aproximarse con razonable exactitud, al rendimiento posible. La información de las curvas de respuesta a N es por consiguiente aún muy valiosa.

A los efectos de ilustrar la importancia del rendimiento esperado en la definición de las necesidades de N, se elaboró el cuadro 11, donde figuran las cantidades de N que debe absorber un cultivo de trigo hipotético, para alcanzar diferentes niveles de rendimiento.

Décadas atrás se hablaba de potenciales de trigo de 3000 kg por ha. Aparte de las prácticas agronómicas actuales, que permiten una mejor expresión del potencial genéti-

co, existen hoy cultivares con rendimiento significativamente mayor, como es el caso de E. Cardenal, que en suelos normales del litoral oeste, ha expresado un potencial promedio de 5000 kg/ha.

En el cuadro 11 puede apreciarse, que un material de alto rendimiento puede requerir asimilar más de 100 kg de N/ha para expresarlo, en tanto que uno de bajo potencial, probablemente necesite a penas la mitad.

Es imprescindible para aumentar la productividad del trigo, adecuar las recomendaciones de fertilización N en función de los rendimientos que es posible alcanzar con los paquetes tecnológicos actuales que permiten al cultivo hacer un uso más eficiente del N.

6.2. Suministro de N del suelo

Para establecer ese balance entre suministro y requerimientos de N, debe tenerse en cuenta el N mineral inicialmente disponible para las plantas y el N que se originará por mineralización de la materia orgánica, a lo largo del ciclo del cultivo.

La Guía de fertilización no distinguía entre estas dos fracciones, sólo establecía el poder de suministro de N de un suelo en función del tipo, manejo y nivel de materia orgánica del mismo.

En la actualidad, la posibilidad de determinar el nivel de N mineral en el suelo en un momento dado, aumenta sensiblemente la objetividad de la estimación del N aportado por el suelo.

Cuadro 11. Asimilación de N para niveles crecientes de rendimiento en un cultivar hipotético de trigo, con un índice de cosecha de 0.70, 2.5 % de N en grano y 0.7 % de N en los residuos.

Rend. kg/ha de grano	kg/ha de residuos	kg de N/ha en grano	kg de N/ha residuos	kg de N/ha total
1000	1430	25	10	35
2000	2860	50	20	70
3000	4290	75	30	105
4000	5710	100	40	140
5000	7140	125	50	175

6.2.1 N mineral o residual

El nitrato es la forma más abundante de N mineral en suelos agrícolas. Su determinación permite una buena aproximación de la cantidad de N que tiene el cultivo potencialmente disponible para su asimilación.

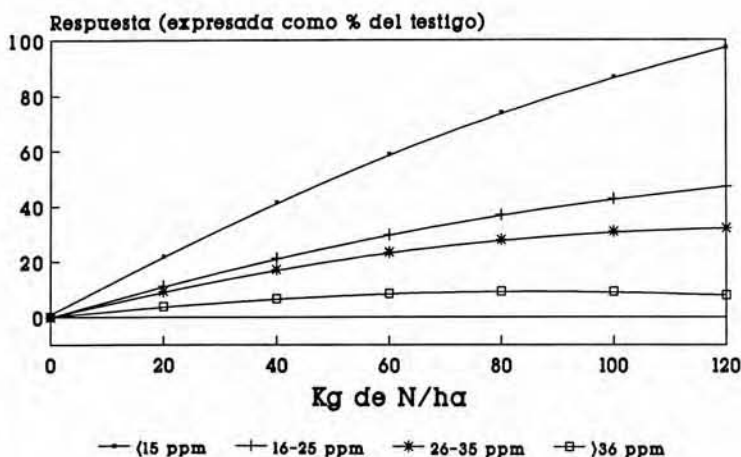
Es potencialmente disponible, por que al igual que el N del fertilizante el nitrato está sujeto a los procesos de pérdida que se dan naturalmente en el suelo. Por este motivo el valor de análisis puede, algunos años, no explicar la respuesta a N.

Pero a pesar del carácter transitorio del nitrato, que sin duda constituye una limitante para utilizarlo como herramienta de diagnós-

tico, su nivel inicial en el suelo en general, se correlaciona significativamente con el rendimiento y la respuesta a N (ver figura 11).

Se ha observado en experimentos donde se procuró que la respuesta a N no estuviese limitada por variables de manejo, que con niveles de nitrato menores a 15 ppm (0-40 cm de profundidad) la respuesta al agregado de N es importante. Con valores entre 15 y 35 ppm, aún es probable la respuesta a N aunque es menor y con valores mayores a 35 ppm, en general no hay respuesta al agregado de N o ésta no es económica.

Se determinó además una estrecha relación ($r=0.81$, sig.P<0.01) entre el rendimiento



(En brunosoles del litoral-oeste)

(fuente: García Lamothe, A. 1994a)

Figura 11. Respuesta a N en trigo, según el nivel inicial de nitrato en el suelo (0-40 cm).

final y el nivel de nitrato inicial (figura 12)). Esta alta correlación deja en evidencia a su vez, la asociación que existe entre el nivel inicial de nitrato y la capacidad de mineralización del suelo.

La inclusión del amonio en la determinación de N residual es aconsejable en suelos ácidos o con problemas de drenaje. En esas situaciones tiende a acumularse como producto final de la mineralización y su consideración puede mejorar el diagnóstico.

6.2.2 El N proveniente de la mineralización

El N proveniente de la mineralización durante el ciclo del cultivo es difícil de estimar. En general, los métodos químicos y biológicos usados para cuantificarlo no explican la respuesta a N en condiciones de campo o no son adecuados para rutinas de laboratorio.

La materia orgánica, lo mismo que el N total, si bien es un indicador de la capacidad potencial del suelo de suministrar N, es poco sensible para detectar cambios producidos en el corto plazo, como por ejemplo el efecto residual de las pasturas, que sin duda afecta la respuesta a N.

El N mineral en un momento dado está asociado al poder de suministro de N del suelo porque su origen principal es la mineralización. Sin embargo, las correlaciones determinadas entre nitrato a fin de macollaje y rendimiento final o respuesta a N, aunque significativas ($P < 0.01$), no han sido estrechas. Esto hace difícil de utilizar este dato para hacer recomendaciones de niveles óptimos de N a aplicar.

No obstante, si al muestrear a fin del macollaje se determinan contenidos de N-nitrato mayores a 15 ppm en los 0-20 cm de profundidad, es poco probable que haya respuesta económica al agregado de N. En estas condiciones se puede afirmar que el suelo tiene una alta capacidad de reposición de N, por que a pesar de la extracción que el cultivo está haciendo, el nivel presente es alto. En tanto que con 5 o menos ppm es probable que la respuesta sea importante (ver figura 13).

Los residuos vegetales de reciente incorporación influyen marcadamente sobre la capacidad de suministrar N del suelo, pues constituyen la fracción más activa y fácil de degradar de la materia orgánica.

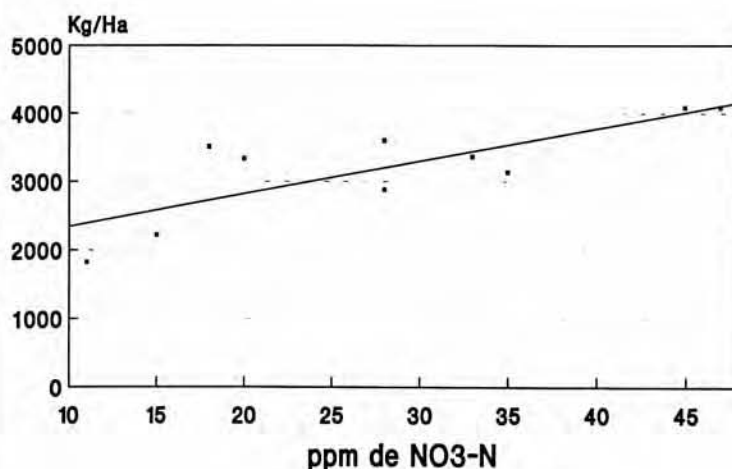


Figura 12. Relación entre nitrato inicial (0-40cm) y rendimiento en grano de trigo.

— trat. sin N extra

-datos experimentales, 1985-1993-

(fuente: García Lamothe, A. 1994)

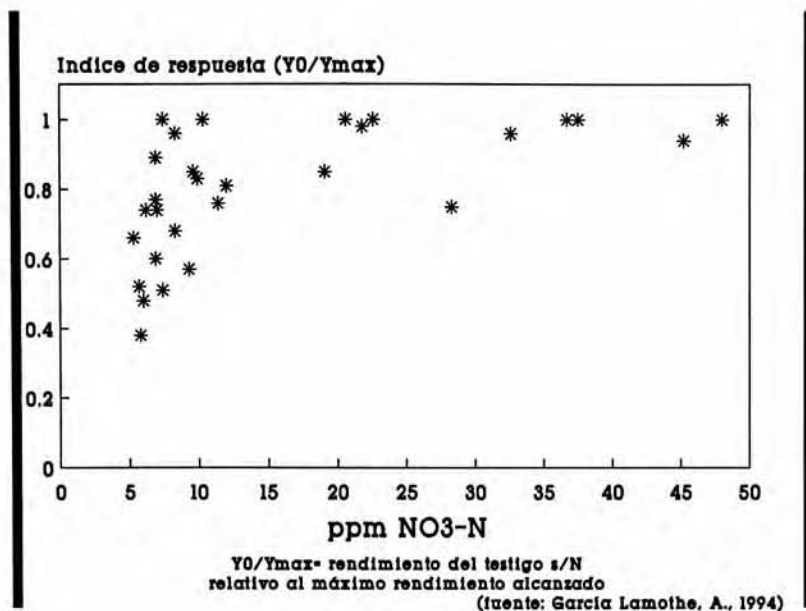
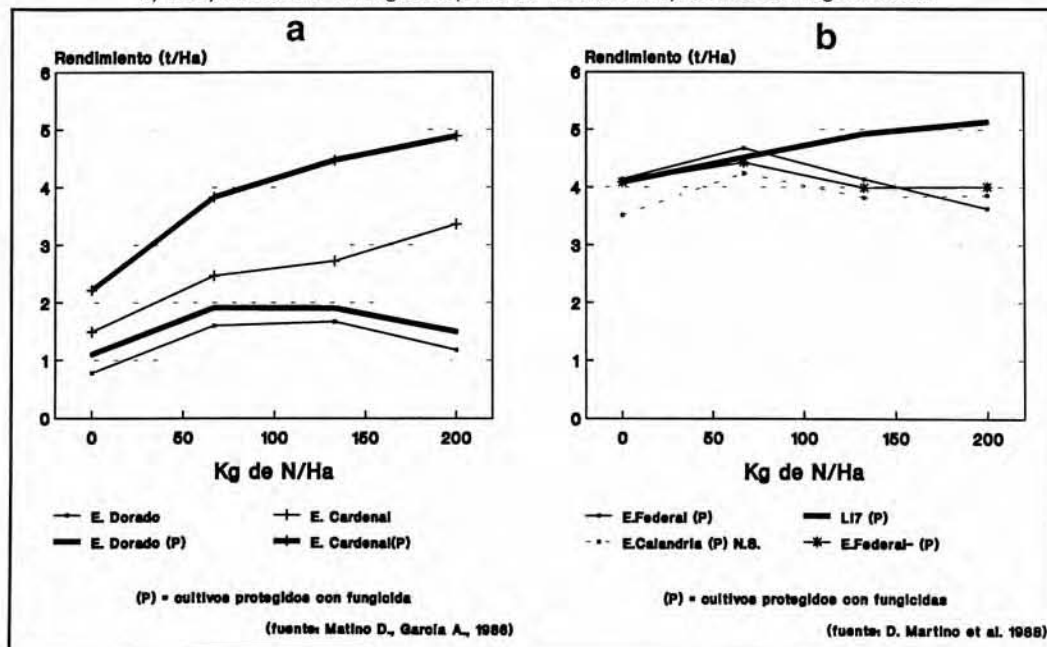


Figura 13. Respuesta a N vs contenido de nitrato en el suelo a fin del macollaje (0-20cm).

La importancia de los residuos puede apreciarse en las respuestas a N graficadas en la figura 14. Las curvas se ajustaron en chacras "nuevas", una luego de un semillero de falaris y la otra, de praderas con leguminosas. En el

primer caso la respuesta a N fue alta y se asemejó a la de una chacra vieja. En cambio al roturar la pradera, la respuesta a N fue baja o incluso negativa, en cultivares de menor potencial o susceptibles al vuelco (cuadro 12).

Figura 14. a) Respuesta a N en trigo, luego de pastura de gramínea (semillero falaris);
b) Respuesta a N en trigo después de roturar una pradera con leguminosa.



Cuadro 12. Dosis para el óptimo económico (DOE), coeficientes de variación e incremento de rendimiento, estimados de n curvas de respuesta, según el uso anterior de la chacra.

Uso anterior de la chacra	Rendimiento testigo s/N	DOE kg/ha	% de Incremento	CV% DOE	n
Pradera roturada	3950	26*	4.4	63	14
2º y 3º post-pradera	3000	152	55	28	10
Pastura de gramíneas	2380	176	95	16	4

En el 30 % de los casos analizados, no hubo respuesta al agregado de N en el primer año luego de roturar una pradera con leguminosas. En el 70 % restante la respuesta fue significativa, aunque de magnitud variable, como se puede apreciar a través del valor del coeficiente de variación de las DOE individuales que figuran en el cuadro. Las diferencias estuvieron dadas fundamentalmente, por diferencias de potencial entre materiales y la incidencia de vuelco.

En conclusión, aún en trigos de alto potencial el N proveniente de la mineralización debe ser tenido en consideración el primer año luego de roturada la pradera para formular recomendaciones de fertilización, pues puede representar para el cultivo una proporción importante de sus requerimientos.

No es recomendable utilizar cultivares de bajo potencial luego de praderas y tampoco cultivares sensibles al vuelco. Los trigos muy macolladores como E. Federal, serán los más afectados en este sentido.

No obstante la residualidad de las leguminosas, con trigos de alto rendimiento, es de esperar que en el segundo año después de roturada la pradera, la respuesta a N sea importante por lo menos hasta niveles de 120 kg de N/ha, siempre que otro factor no esté limitando el rendimiento.

En contraste, la cantidad de N aportado por mineralización en chacras viejas, luego de varios años de cultivos, es baja (entre 25 y 40 kg de N/ha) y despreciable en comparación a los requerimientos de trigos de alto potencial.

Una situación similar hasta cierto punto, se da luego de pasturas de gramíneas. La diferencia en este caso, aparte de la mejor condición física de la chacra es que el suministro de N del suelo es generalmente mayor en el segundo año que en el primero, pues la liberación de N es más gradual que la de residuos de leguminosas. Pasada la primera etapa de inmovilización, la liberación de N es mayor, dado el volumen de los residuos que dejan las pasturas.

6.3 El Diagnóstico foliar

La práctica de fraccionar parte del N hacia etapas más tardías del cultivo, posibilita el uso del estado nutricional de las plantas como un elemento más a tener en cuenta para diagnosticar la necesidad de fertilización N.

El análisis de plantas se basa en la asociación que existe entre el nivel de N en la planta y el rendimiento.

Cuando el nivel de N en los tejidos es bajo, hay deficiencia de N y la planta responde a su agregado. Si aumenta el suministro de N, la concentración en la planta aumenta e incrementa el rendimiento, hasta cierto punto en que comienza una absorción de lujo de N, que no se traduce en rendimiento.

Para poder utilizar al análisis de tejidos vegetales como indicador del estado nutricional, es necesario determinar el nivel crítico o de suficiencia. Este se define como la concentración de N en los tejidos vegetales por debajo del cual se produce una disminución significativa del rendimiento.

El método tiene un problema práctico y es que existen diferencias para los valores críticos entre cultivares de diferente potencial, entre partes de una misma planta, y diferencias por edad de la planta, por lo que requiere establecer un punto de referencia.

En INIA La Estanzuela se ha trabajado preferentemente con análisis de N total. A pesar de que el método es más lento y costoso que el de nitrato, no presenta las complicaciones de este último respecto al efecto de las condiciones ambientales al momento de muestreo.

Si bien el N total no indica la disponibilidad actual de N, refleja la historia de la absorción de N en el período anterior al muestreo y ésta se relaciona con el rendimiento potencial.

Las correlaciones entre concentración de N total en tejidos vegetales e índices de respuesta a N, aunque fueron significativas, no mostraron un buen ajuste, explicando menos del 50 % de la variabilidad observada en las DOE, por lo que no se pudieron usar para ajustar requerimientos de fertilización en función de ellas.

No obstante en una análisis preliminar de la información que puede ser útil como primera aproximación, se establecieron los niveles críticos que se muestran en el cuadro 13.

Por encima de esos valores la probabilidad de encontrar respuesta económica al agregado de N era baja.

El nivel crítico estimado para las dos hojas superiores completamente desarrolladas estuvo un 10 % por encima de los valores determinados para planta entera y con la ventaja de presentar menores coeficientes de variación.

Para N absorbido por el cultivo, medido a través del rendimiento de materia seca de la parte aérea a fin de macollaje y su concentración de N, se estimó en 65 kg/ha para rendimientos mayores a 4000 kg/ha.

Este parámetro se relacionó más estrechamente con las DOE, fundamentalmente al establecer categorías de acuerdo al máximo rendimiento alcanzado. Para el rango de rendimientos esperados entre 2000 y 4000 kg/ha explicó el 80 % de la variación observada (figura 15).

Cuadro 13. Niveles críticos para concentración de N total en plantas enteras al estado 5 de Feekes, estimados para trigo según rendimiento esperado.

RENDIMIENTO (kg/ha)	< A 2500	2500 A 3500	3500 A 4500	> A 4500
% de N TOTAL (plantas)	2.6	3.1	3.6	4.1

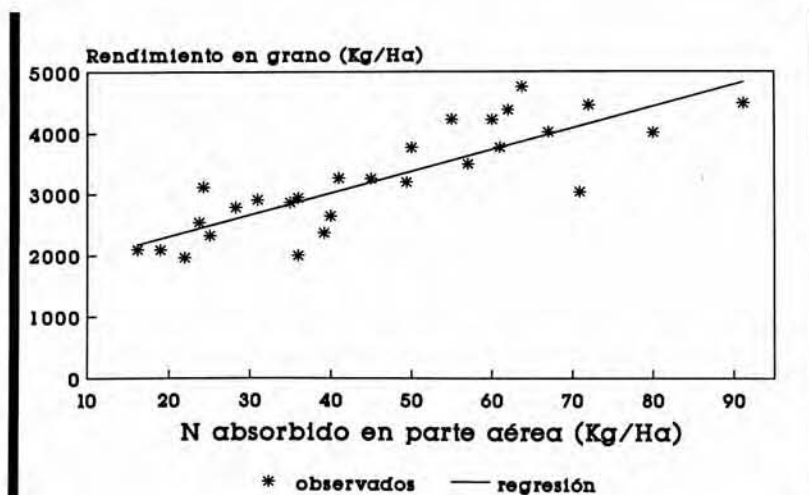


Figura 15. Relación entre N absorbido por el trigo a fin de macollaje y rendimiento final. Fuente: García Lamothe, A., 1994).

Cuadro 14. N Total absorbido (kg/ha) y dosis para alcanzar en óptimo económico (rend. esperado entre 2000 y 4000 kg/ha).

N absorbido	20	25	30	35	40	45
DOE	100	75	50	30	10	0

En el cuadro 14 se muestran las DOE estimadas por la regresión ajustada.

El dato de análisis de tejidos debe ir acompañado de un conocimiento profundo del estado del cultivo, y de todos los factores que puedan haber afectado al crecimiento. Aquellos que le favorezcan en exceso tenderán a diluir el N en los tejidos y factores que lo limiten a concentrarlo, por este motivo es probable que el N absorbido haya mostrado una mejor correlación al considerar también la producción de materia seca.

6.4 Resumen

A modo de resumen se puntualizan a continuación algunos aspectos tratados anteriormente en el capítulo:

- En la práctica el mayor determinante de la fertilización N es el rendimiento potencial del cultivo.

Con rendimientos potenciales de 2000 o 2500 kg/ha, se puede considerar que la respuesta al agregado de N es marginal, porque en sistemas basados en la rotación de cultivos y pasturas, es frecuente que el suministro de N del suelo alcance para satisfacer las necesidades del cultivo.

Si en cambio el rendimiento esperado en la chacra fuese de 3500 kg/ha o mayor, aún en suelos de buena fertilidad es probable que haya respuesta a N, sobretodo al encañado.

- El N residual (nitrato o nitrato + amonio) es una herramienta útil para definir la fertilización N, pero debe tenerse en cuenta su carácter transitorio. No debe manejarse independientemente de las condiciones ambientales anteriores o posteriores al muestreo.

Su nivel a fin del macollaje permite establecer la probabilidad de que haya respuesta o no a N.

- El estado nutricional de la planta a fin de macollaje, se relaciona también con la respuesta a N. Los dos datos pueden ser utilizados como elementos de diagnóstico para las recomendaciones de fertilización N.

- La mayor dificultad en la estimación del aporte del suelo es establecer el N mineralizable. En la práctica, debe considerarse esta fracción inmediatamente después de la incorporación de residuos de leguminosas.

7. RECOMENDACIONES GENERALES DE FERTILIZACION N PARA EL CULTIVO DE TRIGO

Para asegurarse una buena implantación del cultivo es recomendable la aplicación de 30 kg de N/ha a la siembra. Esta fertilización puede no ser necesaria si la disponibilidad de N mineral inicial es alta (>30 ppm en los 0-20 cm superficiales).

Cuando se espere alta respuesta al agregado de N, en función a la baja disponibilidad inicial de N mineral en el suelo y la historia de chacra, fundamentalmente el tipo de residuo incorporado, es recomendable que la aplicación se haga fraccionada para mejorar su eficiencia.

El agregado de ese nivel inicial de 30 kg/ha resultará, en la mayoría de los casos suficiente, no obstante puede ajustarse en base al dato de análisis de nitrato. No es recomendable particularmente en los cultivares más macolladores, excederse de los 50 kg/ha a la siembra, porque se puede promover el vuelco en materiales susceptibles. El resto del N será más eficientemente utilizado por el cultivo cuanto más próximo al inicio del encañado se aplique.

Cuando se planee la refertilización del trigo debe estimarse lo más precisamente

posible el rendimiento potencial, teniéndose en cuenta para ello, el estado general del cultivo, y aquellos factores que puedan limitar la respuesta a N, como la presencia de malezas, el estado sanitario, la disponibilidad de agua, etc.

En el caso de refertilizaciones a fin del macollaje, la determinación del nivel de nitratos en el suelo y/o la concentración de N total en tejidos vegetales puede ayudar a la toma de decisiones.

A través de la fertilización N es posible aumentar la concentración de proteína en el grano, fundamentalmente con aplicaciones posteriores a la antesis.

Por último, los niveles de rendimiento que figuran en este trabajo y los óptimos económicos son para situaciones en que el N es la variable de manejo más limitante. Con un manejo inadecuado del cultivo, como por ejemplo: siembra en época no recomendada, tierra mal preparada, semilla de mala calidad, ineficiente control de malezas, plagas y enfermedades, la fertilización N no es una práctica segura. En esos casos los niveles de fertilización a utilizar deberán ajustarse a cada situación particular y serán siempre menores a los que aquí figuran, pues en definitiva dependen del rendimiento esperado.

8. BIBLIOGRAFIA

- ARTOLA, A.** 1994. Fertilización nitrogenada sobre la calidad del trigo duro. Informe PROVA. 5 p.
- BHATIA, C.R., & RABSON, R.** 1976. Bioenergetic considerations in cereal breeding for protein improvement. *Science*, 194:1418-1421.
- CARPENTER, R.W.; HASS, H. J., & MILES, E.F.** 1952. Nitrogen uptake by wheat in relation to nitrogen content of soil. *Agronomy Journal*, 44:420-423.
- DEVOS, N..M.** 1979. Cultivar differences in plant and crop photosynthesis. In "Crop Physiology and Cereal Breeding". J.H.J. Spiertz & T. Kramer, Eds Pudoc, Wageningen, pp.71-74.
- EVANS, L.T., WARDLAW, I.F. & FISCHER, R.A.** 1975. Wheat. In "Crop Physiology" L.T. Evans, Ed. Camb. university press, London, pp 101-150.
- GARCÍA LAMOTHE, A. & MARTINO, D.**, 1986. Fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en trigo de siembra temprana para grano y doble propósito. *Investigaciones Agronómicas* N°7:3-9.
- GARCÍA LAMOTHE, A., MARTINO D.**, 1988. No publicado.
- GARCÍA LAMOTHE, A., DÍAZ, R., SAWCHIK, J., MARTINO D.Y BOZZANO, A.**, 1989. Potencialidad de rendimiento de trigo. In: Jornada Cultivos de Invierno(abril, 1989). La Estanzuela. MGAP, CIAAB.
- GARCÍA LAMOTHE, A., DÍAZ, R. Y BOZZANO, A.**, 1991. Fertilización nitrogenada en trigo: evaluación de tratamientos de N a la siembra, refertilización y fertilización foliar. In: Jornada Cultivos de Invierno (abril, 1991). INIA La Estanzuela.
- GARCÍA LAMOTHE, A.**, 1992. Manejo intensivo de trigo: Potenciales de rendimiento. In: Jornada Cultivos de Invierno (abril, 1992) INIA La Estanzuela. pp.47-50.
- GARCÍA LAMOTHE, A.**, 1993. Respuesta a nitrógeno y potencialidad de rendimiento en trigo. In: Jornada Cultivos de Invierno. INIA La Estanzuela. pp.25-28.
- GARCÍA LAMOTHE, A.**, 1994. No publicado.
- GARCÍA LAMOTHE, A.**, 1994a. El N en ecosistemas agrícolas, su dinámica y disponibilidad en el sistema suelo planta. In: Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, INIA. Serie técnica N°42. pp.15-21.
- GIMÉNEZ, A.**, 1987. Comparación de distintos momentos de eliminación de malezas en trigo en dos situaciones de disponibilidad de nitrógeno. In: Jornada Cultivos de Invierno (abril 1987). La Estanzuela, CIAAB, MGAP.
- GIMÉNEZ, A. & GARCÍA, A.** Respuesta del trigo a la refertilización nitrogenada en tres situaciones de control de malezas. In: Jornada Cultivos de invierno (abril 1991). INIA La Estanzuela.
- KIRBY, E.J.M, & APPLEYARD, M.** 1984. Cereal plant development and its relation to crop management. In "Cereal Production" E.J. Gallagher, Ed. Butterworths, London, pp. 161-173.
- KRAMER, T.** 1979. Yield-protein relationships in cereal varieties. In "Crop Physiology and Cereal Breeding". J.H.J. Spiertz & T. Kramer, Eds Pudoc, Wageningen, pp. 161-165.

- LEDENT, J.F.** 1984 Morphology and yield in winter wheat grown in high yielding conditions. *Crop Science*, 22:1115-1120.
- MARTINO, D. & GARCÍA LAMOTHE, A.**, 1986. Potenciales de rendimiento en trigo. Informe CIMMYT. 4p.
- MARTINO, D. & GARCÍA LAMOTHE, A.**, 1987. No publicado.
- LOUDRI, N., CASTRO, J.L., DOTTI, R., SECONDI DE CARBONAEILL, A.** 1976. Guía para la fertilización de cultivos. Montevideo, MGAP. CIAAB.
- REILLY, M.L.** Nitrate assimilation and grain yield. In: Nitrogen in Higher plants. Abrol Y.P. Ed. Research Studies Press, England. pp.335-366.
- SPIERTZ, J.H.J., & ELLEN, J.** 1978. Effects of nitrogen on crop and grain growth of winter wheat in relation to assimilation and utilization of assimilates and nutrients. *Neth. J. Agric. Sci.*, 26:210-231.
- STOY, V.** 1979. The storage and remobilization of carbohydrates in cereals. In "Crop Physiology and Cereal Breeding." J.H.J. Spiertz & T. Kramer, Eds Pudoc, Wageningen, pp. 55-59.
- TERMAN, G.L.** 1979. Yield and protein content of wheat grain as affected by cultivar N, and environmental growth factors. *Agron. J.*, 71:437-440.

Este libro se imprimió en los Talleres Gráficos de
Editorial Hemisferio Sur S.R.L.
Montevideo - Uruguay

Edición Amparada al Art. 79. Ley 13.349
Depósito Legal 295.569/95

C 2015