

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
Facultad de Agronomía

Efecto de la dosis de Nitrógeno y fuentes alternativas a la urea sobre la absorción, crecimiento y rendimiento en grano de trigo.

por

Sebastián Mazzilli

TESIS presentada como uno de los requisitos para obtener el título de Ingeniero Agrónomo

Montevideo - Uruguay
2004

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
PAGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE FIGURAS Y CUADROS	IV
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
A. INTRODUCCIÓN	2
B. RESPUESTAS AL AGREGADO DE NITRÓGENO	3
1. Respuesta al agregado de nitrógeno a siembra	3
2. Respuesta al agregado de nitrógeno en Z22	5
3. Respuesta al agregado de nitrógeno en Z30	5
4. Respuesta al agregado de nitrógeno tardío	7
C. ABSORCIÓN Y USO DEL NITRÓGENO	9
1. Absorción de nitrógeno pre-antesis	10
2. Absorción de nitrógeno en post-antesis	10
3. Relación entre la acumulación pre-antesis y absorción post-antesis	12
4. Retraslocación de nitrógeno	13
5. Eficiencia de retraslocación	14
6. Eficiencia de uso del N	15
7. Pérdidas de nitrógeno y materia seca	17
8. Proteína en grano	21
D. FACTORES QUE AFECTAN EL USO DEL NITRÓGENO	26
1. Condiciones climáticas	26
2. Material Genético	27
3. Fuentes de nitrógeno	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS	33
A. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	33
1. Ubicación	33
2. Antecedentes de la chacra	33
3. Siembra	33
4. Fertilización previa a Z30	33
5. Características del ensayo	33
6. Características de las fuentes de nitrógeno	34
7. Diseño experimental	34
B. DETERMINANCIAS	34
1. Suelo	34
2. Planta	34
2.1. Evolución de tallos	34
2.2. Evolución de la materia seca (MS)	35
2.3. Nitrógeno en planta	35
2.4. Determinaciones a cosecha	35
2.4.1. Materia seca Total	35
2.4.2. Rendimiento en grano	35
2.4.3. Nitrógeno en planta	35
2.4.4. Componentes del rendimiento	36

C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
A. DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO	37
1. Precipitaciones	37
2. Temperatura	37
B. RESPUESTA AL AGREGADO DE DIFERENTES DOSIS Y FUENTES DE NITRÓGENO A Z30	39
1. Rendimiento en grano	39
2. Componentes del rendimiento	41
3. Relaciones entre los componentes del rendimiento	44
4. Generación de espigas	47
5. Evolución de la biomasa	49
6. Dinámica del nitrógeno	53
6.1. Evolución de nitratos en suelo	53
6.2. Contenido nitrógeno total a cosecha	54
6.3. Evolución del nitrógeno en planta	55
6.4. Tasas de acumulación de nitrógeno	56
6.5. Distribución del nitrógeno en planta a cosecha	59
6.6. Eficiencia de uso del nitrógeno	60
V. CONCLUSIONES	61
VI. RESUMEN	62
VII. BIBLIOGRAFÍA	64

Tesis aprobada por:

Director:

Esteban Hoffman

Oswaldo Ernst

Amabelia del Pino

Fecha: _____

Autor: _____
Sebastián Mazzilli

AGRADECIMIENTOS

A Esteban Hoffman por la confianza depositada para realizar este trabajo.

A Edwing Borghi por los aportes realizados durante el trabajo de campo y los invalorable consejos aportados durante la realización de la revisión del trabajo.

A Diego Gauna, Javier Figares, Federico Vignolo, Juan Diego Cano y todos los que de alguna manera colaboraron durante el trabajo de campo.

A Gastón Cha y José Duran por prestarme gran parte del material de la revisión de su tesis.

En especial a mi familia y en primer lugar a mis padres (Ruben y Estela) que han puesto todo para que llegue hasta acá.

A todos los amigos que siempre me han apoyado y me han aguantado, que sin ellos el proceso hubiera sido más difícil.

Al personal de Biblioteca de la EEMAC (Marta y Gabriela), por su guía en la búsqueda de la bibliografía necesaria.

Y a todos los que de una forma u otra han colaborado en la realización de este trabajo.

Trabajo Financiado por PASA Energía

LISTA DE FIGURAS Y CUADROS.

Figura N°	Pag
1. Precipitaciones medias mensuales para el año 2002 medidas en las cercanías de la chacra en relación a la serie histórica de Paysandú (1961-1990).	37
2. Comparación de temperatura media mensual entre el año 2002 (medida en la Estación Meteorológica Automática de la EEMAC) y la serie histórica 1965-1990.	38
3. Rendimiento en Kg.ha ⁻¹ en función de la dosis y la fuente de N agregada (p<0.05)	40
4 Frecuencia relativa de espigas agrupadas según estratos de n° de espiguillas por espiga para las dosis y fuentes de N agregada (p<0.05).	44
5. Relación entre el número de granos.m ⁻² y el rendimiento.	45
6. Relación entre biomasa a cosecha (Kg MS.ha ⁻¹) y rendimiento (Kg.ha ⁻¹)	45
7. Relación entre: a) Biomasa a cosecha y espigas.m ⁻² ; b) Espigas.m ⁻² y Granos.m ⁻² .	46
8. Relación entre Factor de Fertilidad (granos / g de espiga) y N° de granos.m ⁻² .	46
9: Evolución del número de tallos según fuente (a) y dosis (b) de nitrógeno agregado.	47
10: Evolución del número de tallos según fuente y dosis de nitrógeno agregado.	48
11. Evolución de la materia seca en función de la dosis (a) y fuente (b) de nitrógeno agregado.	50
12. Evolución de la materia seca a partir de la siembra en función de las combinaciones de fuentes y dosis de nitrógeno agregadas (p<0.05).	50
13. Tasa de crecimiento según dosis (a) y fuente (b) de nitrógeno agregado (+ p<0.1; *p<0.05).	51
14. Relación entre MS a cosecha y fertilidad de tallos.	53
15. Evolución del contenido de nitratos según dosis (a) y fuente (b) agregada.	53
16. Evolución del nitrógeno total a cosecha en planta según dosis (a) y fuente (b) agregada.	55
17. Evolución del nitrógeno en planta en función de la combinación de fuente y dosis de nitrógeno agregado (p<0.05).	56
18. Tasa de acumulación de nitrógeno en función de la dosis (a) y la fuente (b) (* p<0.05).	57
19. Relación entre tasa de absorción y tasa de crecimiento para el periodo Z30-Z70.	58
20. Relación entre tasa de absorción de N y tasa de crecimiento para el periodo Z70-Cosecha.	59
Cuadro N°:	
1. Rendimiento, biomasa a cosecha e índice de cosecha según dosis y fuente de	39

nitrógeno agregada.	
2. Biomasa acumulada a cosecha e índice de cosecha en función de la dosis y la fuente agregada.	41
3. Componentes del rendimiento según dosis y fuente agregada.	41
4. N° granos por metro cuadrado y peso de grano según dosis y fuente de nitrógeno agregado.	42
5. Número de espigas y granos por metro cuadrado según dosis y fuente de nitrógeno agregado.	43
6. Espiguilla por espiga según dosis y fuente de nitrógeno agregado.	43
7. Fertilidad de tallos según fuente y dosis agregada	49
8. Fertilidad de tallos en función de la combinación de fuente y dosis agregada.	49
9. Tasa de crecimiento para la interacción fuente por dosis de nitrógeno agregada a Z30.	52
10. Nitrógeno Total, % de nitrógeno y biomasa a cosecha según fuente y dosis de nitrógeno agregado.	54
11. Nitrógeno total a cosecha en función de la fuente y dosis de nitrógeno agregada.	54
12. Nitrógeno total a cosecha por encima del testigo en función de la fuente y la dosis de nitrógeno.	55
13. Tasa de absorción de nitrógeno en función de la fuente y dosis de nitrógeno agregada.	58
14. Distribución del nitrógeno cosechado a cosecha según dosis agregada.	59
15. Nitrógeno en paja y grano a cosecha en función de la fuente y dosis agregada.	60
16. Eficiencia aparente de uso del nitrógeno agregado según la fuente y la dosis.	60

I. INTRODUCCIÓN

El manejo del nitrógeno en los cultivos de invierno es una de las principales medidas de manejo determinantes del rendimiento y calidad panadera del grano. Por tal motivo la investigación ha puesto especial esfuerzo en el estudio de la dinámica de este nutriente y las interacciones con las variables anteriormente mencionadas ya que determinan el resultado económico de los cultivos.

A pesar de este esfuerzo no fue generada una recomendación de fertilización nitrogenada que fuera objetiva y aplicable en condiciones de campo hasta fines de la década de los 90 cuando investigadores de la Facultad de Agronomía lograron generar una propuesta tecnológica de ajuste del nitrógeno para cebada la que posteriormente fue adaptada al trigo.

El modelo propuesto trata de objetivizar la decisión de cuando y cuanto N agregar, mediante el uso de los mejores indicadores de respuesta para cada estadio del cultivo de invierno. A su vez pretende racionalizar el uso del N, usando el insumo en forma eficiente y evitando deseconomías y/o problemas de calidad de grano y contaminación ambiental.

Por otro lado en el marco del proyecto “Caracterización agronómica e industrial de las variedades de trigo más utilizadas en Uruguay. Identificación de paquetes tecnológicos asociados a rendimiento y calidad de grano”, se determinaron grupos de cultivares con comportamiento diferencial en cuanto a la calidad panadera. Dentro de estos, la concentración de nitrógeno en el grano es la variable de manejo más importante en determinar los cambios dentro de cada grupo.

Como ya fue mencionado la fertilización nitrogenada juega un papel protagónico en la determinación del porcentaje de proteína en grano por lo que la dosis y fuente utilizada podrían ser variables de manejo utilizadas para alcanzar los objetivos de calidad planteados para cada grupo de variedad elegido.

Para esto último es relevante generar información acerca del comportamiento de diferentes fuentes alternativas de N a la Urea, lo que permitirá profundizar además el conocimiento en cuanto a la absorción, retraslocación de N al grano y pérdidas de N, y su relación con el contenido de proteína en grano, para las fuentes en estudio.

Como objetivo principal se plantea estudiar la respuesta en grano, proteína y calidad panadera de fuentes alternativas a al Urea, para un cultivar con elevados requerimientos de Proteína Cruda en grano para mantener la calidad panadera.

Por su parte como objetivos específicos se busca evaluar las diferencias generadas en la disponibilidad de N en el corto plazo, velocidad de absorción, cantidad de N absorbido y producción de biomasa a anthesis, dado por distintas fuentes de N alternativas a la Urea y profundizar el conocimiento acerca de la dinámica de absorción, retraslocación de N al grano y pérdidas de N, y su relación con el contenido.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. INTRODUCCIÓN

La respuesta en rendimiento en grano al agregado de N en cultivos de invierno, esta condicionada en las etapas iniciales por la capacidad de aporte de N del suelo en el corto plazo, sin embargo en estas etapas del ciclo las cantidades necesarias son bajas. La respuesta al encañado (Z 30) puede ser mayor y está condicionada por el aporte de N del suelo y el potencial del cultivo definido (Baethgen, 1992; Perdomo *et al.*, 2001).

Los cultivares de ciclo largo actuales, con muy bajo crecimiento hasta Z 24-25, podrán alcanzar elevados potenciales de rendimiento en grano siempre y cuando puedan completar elevadas tasas de crecimiento durante el encañado. Es probable que las necesidades de N y la velocidad en la disponibilidad de N del fertilizante pueda ser determinante de la concreción de potencial durante este período, principalmente cuando se parte de baja concentración de nitrógeno en planta.

En este sentido manejar la velocidad de aparición del N mediante distintas fuentes alternativas a la urea puede determinar, mayor velocidad de absorción y contribuir a incrementar la tasa de producción de MS durante el período de encañado (Cha y Durán, 2001).

A su vez muchos de estos cultivares requieren cantidades mayores de N en grano para asegurar buenos parámetros de calidad panadera (Ernst *et al.*, 2002).

En el trabajo realizado en el marco del proyecto “Caracterización agronómica e industrial de las variedades de trigo más utilizadas en Uruguay” (Ernst *et al.*, 2002) concluyen que la concentración de nitrógeno en el grano es la variable de manejo más importante en determinar los cambios dentro de cada grupo de cultivares.

La fertilización nitrogenada juega un rol protagónico en la determinación del porcentaje de proteína en grano por lo que la dosis y fuente de N utilizada podrían ser variables de manejo utilizadas para alcanzar los objetivos de calidad planteados para cada grupo variedad elegido.

En el año 1998 se estableció un decreto de comercialización de trigo que fija un nivel base de proteína en grano (11.5 % - humedad base 13.5 %) a partir del cual se bonifica o penaliza el precio de contrato (Ernst *et al.*, 1999) por lo cual resulta de especial interés cosechar en el grano la mayor parte del nitrógeno absorbido por el cultivo, de manera de lograr compatibilizar rendimiento con proteína en grano.

El incremento en nitrógeno del grano, es frecuentemente requerido debido a su asociación con el mejoramiento del valor nutritivo de los cereales, el incremento en el vigor de la plántula en cultivos destinados a la producción de semilla y el beneficio que implica la mayor proteína sobre la calidad para panificación (Bergh *et al.*, 2001).

Actualmente existen en el mercado una serie de cultivares como por ejemplo INIA Tijereta que necesitan altas concentraciones de nitrógeno para obtener gluten húmedo igual a 28 requerido para lograr buena calidad panadera. Para este mismo cultivar la probabilidad de obtener un contenido de nitrógeno en grano que permita

lograr un valor de gluten húmedo mayor o igual a 28 es muy baja (Ernst *et al.*, 2002). La proteína en grano afecta directamente la calidad panadera al afectar la relación P/L. Por lo tanto es importante conocer en profundidad aspectos relacionados con la dinámica de uso del N que nos permitan ajustar medidas de manejo, como la población de manera de mejorar la calidad del grano de trigo.

B. RESPUESTAS AL AGREGADO DE NITRÓGENO

La fertilización nitrogenada frecuentemente provoca aumentos de rendimiento y proteína en grano de tal magnitud que el manejo de este insumo es definitivamente de resultado final (Daigger *et al.*, 1976; Lavoy y Hageman, 1970; Perdomo y Bordoli, 1999). Por otra parte existen situaciones frecuentes en la que no se observa respuesta al agregado de este insumo (Cha y Durán 2001; Perdomo y Bordoli, 1999)

A su vez, disponibilidades excesivas pueden disminuir el rendimiento y proteína, ya que incrementan la incidencia de enfermedades, se generan problemas de vuelco y excesivo crecimiento (Castro *et al.*, 1972; Algorta y Viega, 1984; Luizy y Torres, 1982; Hoffman *et al.*, 1992; Hoffman *et al.*, 1994).

Por estos motivos el manejo ajustado de este nutriente es una de las principales medidas de manejo determinantes del resultado final.

1. Respuesta al agregado de nitrógeno a siembra.

El efecto del N en los componentes de rendimiento varía en función al momento de aplicación. El nitrógeno agregado a la siembra aumenta el número de macollos por planta en forma prácticamente lineal, y en menor grado el número de espigas (García, 1997)

En el mismo sentido, la asociación entre mayor nitrógeno a siembra y aumentos de rendimientos como resultado de un aumento del número de espigas por metro cuadrado ha sido reportado por varios autores (Darwinkel, 1979; Donald, H., 1976 citados por Sarandón y Gianibelli, 1990).

Por su parte, los problemas de excesivo crecimiento y el vuelco asociado al N son más frecuentes cuando se agrega una alta proporción del nitrógeno al momento de la siembra (Pérez y Díaz, 1981; citado por Hoffman *et al.*, 1999; Hoffman *et al.*, 1994).

Autores nacionales han encontrado que en muchas ocasiones el agregado de nitrógeno temprano por encima de lo recomendado lleva consistentemente a menor número de granos.m² a cosecha. Esto podría explicarse por la mayor competencia entre macollos lo cual determina una mortalidad más elevada de éstos, relacionado quizá con cambios en la arquitectura de la planta dado que no existieron cambios en la cantidad de biomasa producida en los primeros estadios (Hoffman *et al.* 1991; Hoffman *et al.* 1992).

En la misma línea otros autores han encontrado que agregados de nitrógeno en esta etapa aumenta el número de macollos producidos, pero no todos llegan a desarrollar espigas, motivo por el cuál disminuiría el índice de cosecha. La manera de evitar esto sería diferir o fraccionar el agregado a macollaje (Coic, 1960; Scott *et al.*, 1977 citados por Sarandón y Gianibelli, 1990).

Sarandón y Gianibelli. (1990), encuentran que el nitrógeno aplicado a la siembra no solo modificó la producción de materia seca sino que tuvo un efecto sobre la partición de la biomasa producida. El agregado de 100 Kg Urea.ha⁻¹ aumentó el rendimiento en un 43%, la materia seca un 65% por lo que el índice de cosecha mostró una disminución. En cuanto a los componentes de rendimiento, aumentó el número de espiguillas fértiles por espiga, pero se observó una disminución en el número de granos por espiguilla por lo cual no existieron diferencias en el número de granos por espiga. Esto determinó que el componente de rendimiento más importante para aumentar el rendimiento fueron los granos.m² (r = 0.92), la consecuencia del aumento de las espigas por metro cuadrado.

En Uruguay el primer intento por racionalizar el uso de nitrógeno fue el de la Guía de Fertilización de Cultivos (Oudri *et al.*, 1976), en la cual la dosis a agregar se debía ajustar en función del tipo de suelo, historia de chacra, cultivo antecesor y contenido de materia orgánica (MOS).

El problema de este modelo es que el único indicador cuantitativo (MOS), no guarda por si solo relación con la respuesta, ya que ésta, está condicionada por otras variables de manejo como historia de chacra y tipo de suelo (Capurro *et al.*, 1982). Por lo tanto es necesario interpretar el análisis en forma diferencial según la situación y el manejo anterior del suelo.

Guido y Ieudiukow. (1989), en un relevamiento de 25000 has de trigo, no encontraron relación entre la dosis de nitrógeno efectivamente aplicada a la siembra y la cantidad que se debería haber usado, utilizando la Guía de Fertilización de Cultivos (Oudri, 1976). En este trabajo se observó que todas las chacras recibieron una dosis de nitrógeno similar y cercana a las 30 unidades.

Capurro *et al.* (1982), desarrollaron un modelo de ajuste de la fertilización nitrogenada a la siembra para el cultivo de cebada de cebada cervecera. La respuesta al N está relacionada con el nivel de nitratos en el suelo (0-20 cm) y con el nivel de MOS. En éste modelo se recomienda no aplicar N en situaciones con niveles de MOS superiores a 4.6% y contenido de NO₃⁻ superior a 3 ppm de N-NO₃⁻. Estas situaciones son las más frecuentes en la actualidad en el área agrícola. Por otro lado existían aspectos de la problemática de N en el cultivo que no habían sido considerados, en particular el manejo fraccionado de la fertilización y el efecto de esta medida de manejo sobre el contenido de N en el grano (Castro. 1997 citado por Cha y Durán, 2001)

Bajo las condiciones de producción de Uruguay se ha encontrado que el contenido de N-NO₃⁻ en los primeros 20 cm del suelo, presenta una relación estrecha con la respuesta al nitrógeno agregado a la siembra de los cultivos de invierno (Trigo – Cebada) expresada como rendimiento relativo (rendimiento del testigo/rendimiento de la dosis recomendada) (Hoffman *et al.*, 1999; Perdomo *et al.*, 2001).

El rango crítico por encima del cual existe una baja probabilidad de respuesta al agregado de nitrógeno fue de 16-18 ppm de N- NO₃⁻ (Hoffman *et al.*, 1999; Perdomo y Bordoli. 1999).

Al aumentar el contenido de N- NO₃⁻ en suelo, se reduce la respuesta al agregado de nitrógeno a siembra. Por encima de las 18 ppm la probabilidad de respuesta al nitrógeno baja. Sin embargo por debajo del nivel crítico existió una importante dispersión en la respuesta obtenida (Hoffman *et al.*, 1999; Perdomo y Bordoli, 1999)

Esta dispersión sería previsible, ya que la magnitud de la respuesta al agregado de nitrógeno en cada sitio no depende solamente del contenido de N- NO₃⁻, sino también de otros factores (Hoffman *et al.*, 1999) entre los cuáles se puede mencionar el manejo de suelo, edad de chacra y antecesor.

Al igual que para Cebada cervecera, en general no existió respuesta a dosis superiores a 40-45 Kg N/ha a siembra (Hoffman *et al.*, 1999). Cabe aclarar que esto se cumple si se realizan correcciones posteriores en Z 22 y Z30.

2. Respuesta al agregado de nitrógeno en Z 22.

En general la aplicación de nitrógeno a macollaje, favorece la sobrevivencia y desarrollo de macollos secundarios, por lo tanto aumenta la población de espigas (Scott *et al.*, 1977; Power y Alessi, 1978; citados por Sarandón y Gianibelli, 1990).

Para las condiciones de producción de Uruguay se ha encontrado que la respuesta al N agregado en Z 22, guarda una estrecha relación con el nivel de N- NO₃⁻ en suelo en la capa de 0-20 cm. (Hoffman *et al.*, 1999).

En el trabajo financiado por el PROVA – Validación del modelo generado para cebada cervecera, en trigo, se encontró que por encima de las 14-15 ppm se alcanzó el 90% del rendimiento máximo, sin agregado de nitrógeno. Por debajo de este rango, de igual forma que lo reportado para la siembra, existe una importante dispersión en la respuesta observada (Perdomo *et al.*, 1999; Hoffman *et al.*, 1999).

En este estadio se logró un ajuste estrecho entre la magnitud de la respuesta al agregado de nitrógeno y la dosis propuesta por el modelo (Hoffman *et al.*, 1999).

Si bien en este estadio, la planta es muy joven y absorbe bajas cantidades de nitrógeno, las deficiencias determinan pérdidas importantes de potencial. La falta de nitrógeno determina reducciones en el macollaje y disminución del tamaño futuro de las espigas, en la medida que ha comenzado la inducción floral en los tallos principales (Hoffman *et al.*, 1993, Viega *et al.*, 2001; citado por Hoffman *et al.*, 2001).

3. Respuesta al agregado de nitrógeno en Z 30.

El agregado de nitrógeno en Z 30, solamente permite conservar el potencial de producción definido hasta ese momento, por lo que no se debe esperar que el nitrógeno corrija pérdidas de potencial generadas por deficiencias en etapas anteriores (Hoffman *et al.*, 1992; citado por Hoffman *et al.*, 1999). Este es el último momento desde el punto de vista del potencial de producción (granos.m⁻²) a partir del cual se puede esperar respuesta al agregado de nitrógeno. Esto lleva a que el potencial definido condiciona la respuesta, y la adición de nitrógeno por encima de lo requerido no determina incrementos de rendimiento pudiendo elevar el contenido de nitrógeno en grano (Hoffman y Ernst, 1995; citado por Hoffman *et al.*, 2001).

Sarandón y Gianibelli. (1990), encontraron que agregados de nitrógeno a fin de macollaje, produjeron un aumento de materia seca del 30% y un aumento del rendimiento del 48%, determinando un incremento del índice de cosecha del 10.7% con respecto al testigo. Al igual que lo encontrado para agregado a siembra, el aumento de rendimiento es producto de mayor número de granos.m⁻², determinado por el incremento del número de espigas por metro cuadrado y granos. espiga⁻¹.

Estos mismos autores encuentran que la aplicación en este estadio no modificó el número de espiguillas.espiga⁻¹, esto se debe a que el ápice ya estaba en espiguilla terminal. Este componente del rendimiento sólo puede ser alterado si la aplicación se realiza cerca del estado de doble arruga. (Langer y Liew, 1973 citado por Sarandón y Gianibelli, 1990).

En Uruguay, Baethgen. (1992), desarrolló, un modelo para la refertilización con N a fin de macollaje (Z 30) en cebada cervecera. El mismo supone que el nitrógeno no es limitante a la siembra, lo que se logró en un 67% de los casos con 30 Kg N.ha⁻¹ de nitrógeno. Este modelo propone un ajuste de dosis en función del potencial de producción estimado a Z 30 y el estado nutricional del cultivo en este estadio (N% en planta). Este modelo fue validado por Hoffman y Ernst. (1996); citado por Hoffman *et al.* (1999). (n=100 r²=0.99).

A diferencia de la cebada cervecera, en trigo no se dispone de información que permita estimar el potencial de rendimiento en Z 30 (Hoffman *et al.*, 1999). A pesar de esto existe un buen ajuste entre la magnitud de la respuesta con relación al testigo sin agregado en este estadio, y las dosis recomendadas. En los sitios en dónde no se espera respuesta al agregado de nitrógeno, se cuantificó una disminución de rendimiento o una respuesta muy baja (Cha y Durán, 2001).

Cha y Durán. (2001) validaron dicho modelo en trigo y encontraron que este presentó un 85% de aciertos en términos de respuesta o no respuesta. En su trabajo encontraron que un 35% de los sitios la dosis óptima fue cero. En el 65% de los sitios restantes se agregaron 37 Kg N.ha⁻¹, mientras que la dosis óptima observada fue de 50 Kg N.ha⁻¹. Esto provocó una disminución del porcentaje de proteína en grano de 0.64%. Hay que considerar que el modelo originalmente fue desarrollado para cebada por lo tanto tiende a mantener baja la concentración de la proteína.

Estos mismos autores destacan que a pesar de las escasas precipitaciones registradas en la primavera de 1999, existió igualmente respuesta al agregado de N para concretar altos potenciales de rendimiento.

La respuesta al agregado de N encontrada por estos autores estuvo entre 11 y 16 Kg grano/Kg N mientras que la respuesta tanto en rendimiento como en proteína se mantuvo constante a partir del agregado de 65 N.ha⁻¹.

Con respecto a la proteína, es abundante la información que muestra que cuanto más tarde y mayor cantidad de nitrógeno absorbida por un cultivo de cebada y trigo, más alto es el contenido de nitrógeno en el grano (Baethgen, 1992; Perdomo *et al.*, 1999; García, 1999; citados por Hoffman *et al.*, 1999).

En cebada los mismos factores que llevan a un incremento en los potenciales de producción, determinan altos niveles de nitrógeno en grano (Hughes-Charbonier, 1992 citado por Hoffman *et al.*, 1999; Hoffman *et al.*, 1999; Cha y Durán 2001).

Cha y Durán. (2001), encuentran en trigo que el agregado de nitrógeno en Z 30, no solamente determinó incrementos de rendimiento, sino que además el nivel de proteína en grano fue superior. El agregado de mayores cantidades de nitrógeno en situaciones de no respuesta en este estadio, no modificó el tenor proteico del grano de trigo, (Hoffman *et al.*, 1999; Cha y Durán, 2001) sino que aumentó el nitrógeno absorbido presentando fuertes pérdidas de N a cosecha, finalizando con el mismo valor que el testigo (Cha y Durán, 2001).

En resumen el agregado de N a Z30 no incrementa los niveles de proteína en grano, sino que evita que esta disminuya, especialmente cuanto mayor es la necesidad de este nutriente, por lo que en determinadas situaciones el agregado de nitrógeno permite concretar y no aumentar los niveles de proteína en grano (Hoffman *et al.*, 1999; Cha y Durán, 2001).

En definitiva la base del manejo de nitrógeno, radica en que el potencial de rendimiento (granos.m^{-2}) se construye en las primeras etapas del ciclo del cultivo y se concreta durante el período del encañado. El ajuste de nitrógeno a siembra y Z 2.2 permiten por lo tanto, construirlo y a Z 30, concretarlo (Hoffman *et al.*, 2001).

4. Respuesta al agregado de nitrógeno tardío.

Existe abundante información que muestra que cuanto más tarde y mayor cantidad de N es absorbido por un cultivo de cebada o de trigo, más alto es el contenido de N en el grano (Baethgen, 1992; Perdomo *et al.*, 1999; García, 1999)

Por otra parte, Sarandón y Gianibelli, 1990, no encontraron respuesta en rendimiento o modificaciones en sus componentes para agregados de nitrógeno a antesis y/o post-antesis.

Estas aparentes contradicciones pueden explicarse con lo reportado por Hoffman y Ernst. 1992, los cuáles determinaron que cuando la absorción de nitrógeno hasta espigazón supera los 130 a 140 Kg/ha, no se modifica el rendimiento de cebada cervecera y se incrementa el contenido de proteína del grano. Cada aumento porcentual del contenido de proteína en grano se logró con 40 Kg.ha^{-1} más de N, absorbidos a espigazón.

Cha y Durán. (2001), encuentran que agregados de nitrógeno a Z 47 no determinan aumentos significativos del rendimiento. El agregado en Z 30 no explica la variación observada en Z 47 y en un 52% de los sitios evaluados disminuyen el rendimiento por agregado de nitrógeno en este estadio.

Hoffman *et al.* (1999), utilizando el modelo de Baethgen. (1992), en trigo encuentra que cuando el estado nutricional estuvo por encima de 4% de nitrógeno en planta en Z 30, no existió respuesta al agregado de nitrógeno en Z 47. En situaciones de menor contenido de nitrógeno en planta a Z30, el agregado de N en Z 47, no modificó en forma importante los niveles de proteína en grano si existió corrección en Z 30. Esto

indicaría que el incremento de proteína en grano por el uso de nitrógeno en Z 47, solo se daría si existen deficiencias severas no corregidas anteriormente. Cha y Durán. (2001), confirman estos resultados, no encuentran respuesta en el porcentaje de proteína en respuesta al agregado de nitrógeno a Z 47.

Condiciones climáticas adversas como lluvias excesivas en primavera, podrían crear condiciones de respuesta, para la cual aún se carece de indicadores objetivos que permitan predecirla (Hoffman *et al.*, 1999).

Por su parte Bergh *et al.*, (2001), menciona que la fertilización nitrogenada para el mejoramiento de la proteína, como cualquier otra práctica de fertilización, requeriría de un método de diagnóstico.

El porcentaje de nitrógeno total es hoja bandera a espigazón está altamente correlacionado con la proteína (Tindall *et al.*, 1995; Bergh *et al.*, 1998; citados por Bergh *et al.*, 2001) y por lo tanto podría utilizarse como una variable para diagnosticar la deficiencia de nitrógeno y consecuentemente la baja proteína (Bergh *et al.*, 2001). La desventaja es el tiempo y costo requerido para el muestreo y análisis de las hojas limitando la posibilidad de emplear esta variable como herramienta de diagnóstico (Bergh *et al.*, 2001).

Por su parte García. (2000), obtuvo una buena correlación ($r=0.81$) entre % de N en la hoja bandera (Z 40) y el % de proteína en grano cosechado. Encuentra que con una concentración de N en los tejidos de 2.7% o mayor, fue baja la probabilidad de obtener grano con tenor de proteína menor a 11.5 %. En definitiva, este valor está correlacionado con el contenido final de nitrógeno en grano, pero no queda claro la correlación con la respuesta al agregado.

Un indicador alternativo al nitrógeno total es el índice de verde, lectura que se obtiene con un clorofilómetro en unidades SPAD. Es una determinación rápida y económica (Bergh *et al.*, 2001). Varios autores han determinado que para trigo pan existe una alta correlación entre este índice y porcentaje de nitrógeno total en hoja (Murdock, 1966; Echeverría y Studdet, 1998; citados por Bergh *et al.*, 2001).

En investigaciones realizadas en Balcarce Argentina bajo condiciones de disponibilidad hídrica no limitante se obtuvo una relación significativa ($R^2= 0.75$) entre el índice de verde y el porcentaje de proteína (Echeverría y Studdet, 1998; citados por Bergh *et al.*, 2001).

Estos resultados sugieren que podría estimarse el porcentaje de proteína en grano a través de la determinación del índice de verde en espigazón y en función del valor estimado decidir la necesidad o no de realizar una aplicación de nitrógeno para el mejoramiento de la calidad (Bergh *et al.*, 2001).

Otra práctica para incrementar el contenido de proteína del grano de trigo puede ser a través de fertilizaciones con urea en solución entre anthesis e inicio de llenado de granos en cultivos con deficiente nutrición nitrogenada (Altman *et al.*, 1983; Strong, 1982; Sarandon y Gianibelli, 1990; citados por (Bergh *et al.*, 2001). Sin embargo, la respuesta puede ser despreciable si la concentración de nitrógeno en la planta es alta cuando se realiza la fertilización (Bergh *et al.*, 2001).

C. ABSORCIÓN Y USO DEL NITRÓGENO

La acumulación de nitrógeno en planta sigue aproximadamente el mismo patrón de acumulación que la materia seca. (Harper *et al.*, 1987; Kemanian y Viega, 1999). Este patrón puede ser modelado con una curva sigmoidea (Palta y Fillery, 1993).

La máxima tasa de acumulación de nitrógeno y materia seca ocurre aproximadamente durante el periodo de treinta días antes de antesis y la máxima acumulación ocurre aproximadamente a antesis (Daigger *et al.*, 1976; Palta y Fillery, 1993; Oscarson *et al.*, 1995; Schorring *et al.*, ____). Por su parte Palta y Fillery. (1993), encuentran la máxima tasa de absorción entre el día 47 y 82 post-siembra, mitad de macollaje y elongación de tallos respectivamente.

Por su parte, Cha y Durán. (2001), encuentran que el crecimiento y la absorción de nitrógeno para todos los sitios estudiados mostró una relación lineal a Z 47, cada 1000 Kg biomasa / ha se absorbieron 33 Kg N.

Estos autores encontraron una muy baja absorción de N en el período siembra Z30 ($0.82 \text{ Kg.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$), mientras que la mayor tasa de absorción se dio entre los estadios Z30 y Z33 ($2.86 \text{ Kg.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$ durante 15 días). Posteriormente observaron una absorción de $2.47 \text{ Kg.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$ entre el período Z33 y Z47 durante 19 días para finalmente entrar en un período de pérdidas hasta cosecha ($-0.89 \text{ Kg.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$).

En cuanto a la concentración de nitrógeno en planta, esta disminuye con la edad siendo máxima en los primeros estadios vegetativos (Feeks 3 a 8). Esto está asociado a una mayor tasa de asimilación de carbono que de nitrógeno (Daigger *et al.*, 1976; Harper *et al.*, 1987; Oscarson *et al.*, 1995). A su vez la concentración de nitrógeno en hojas es mayor que la registrada en tallos durante todo periodo de crecimiento del cultivo (Harper *et al.*, 1987).

Cuando la tasa de crecimiento se encuentra limitada por otras variables que no sea el nitrógeno, la demanda del mismo acompaña la tasa de crecimiento (Oscarson *et al.*, 1995).

En cuanto a la distribución de materia seca, nitrógeno total y la concentración del N en los componentes estructurales de la canopia se puede observar una coincidencia general en los trabajos revisados, en que los tallos de mayor edad son más pesados y con mayor cantidad total de nitrógeno, mientras que lo opuesto se observa en la concentración de nitrógeno en estos mismos tejidos (Palta y Fillery, 1993; Wilhelm *et al.*, 2002). La misma tendencia se puede observar para fitómeros de diferente edad, siendo los más viejos más pesados, con mayor cantidad de nitrógeno total y menor concentración (Kemanian y Viega 1999; Wilhelm *et al.*, 2002).

Respecto a esto Wilhelm *et al.* (2002), afirma que los fitómeros y tallos más jóvenes a pesar de tener mayor concentración de nitrógeno, son estériles o no están al tope de la canopia, por lo que son las estructuras que mueren primero y rápidamente.

1. Absorción de nitrógeno pre-antesis

Como ya fue mencionado, la fertilización nitrogenada en los estadios tempranos lleva a un incremento de la concentración de nitrógeno en planta. (Harper *et al.*, 1987). El autor llama estadios tempranos a los estadios vegetativos, pero no deja claro a que estadios se refiere.

Terman. (1979), menciona que la absorción temprana de nitrógeno está correlacionada con el contenido de nitrógeno a madurez.

Por otro lado investigadores Australianos, mencionan que durante el llenado de grano es común la existencia de estrés hídrico. Esto estaría limitando la absorción post-antesis por lo cual la absorción pre-antesis se vuelve muy importante (Gregory *et al.*, 1979; Smith y Whitfield, 1990; Spiertz y De Voz, 1983; Smith *et al.*, 1989; citados por Palta y Fillery 1993). Estas mismas condiciones operarían para las condiciones de Uruguay, bajo cultivos con una importante acumulación de materia seca, lo cual provocaría grandes pérdidas de agua por evapotranspiración. (Garín *et al.*, 1991).

La absorción de N durante este período estaría determinada por varios factores como lo son las condiciones ambientales (Spiertz, 1977), el tipo de suelo (Craswel y Strong, 1976) y control genético (Halloran, 1981; Van Sanford y MacKown, 1987).

Cha y Durán. (2001), encuentran que el período más importante en cuanto a la absorción de nitrógeno es el período Z30 – Z47 (90 Kg N.ha⁻¹). Dentro de este periodo en nitrógeno absorbido entre Z33 y Z47. (47 Kg N.ha⁻¹) es el principal determinante de la cantidad de nitrógeno absorbido a Z47.

Kanwarpal y Waines. (1989), observaron que la acumulación de nitrógeno pre-antesis y el rendimiento de nitrógeno en grano explican en un 90% la acumulación de nitrógeno post-antesis. Cuando se aumenta el nitrógeno agregado, la variación en la acumulación de nitrógeno post-antesis está explicada por la variación en la acumulación pre-antesis más que por la variación en rendimiento de nitrógeno en grano (Kg N.ha⁻¹).

La cantidad de nitrógeno absorbido en pre-antesis está altamente relacionado con la contribución de la biomasa acumulada durante ese período más que por variaciones en la concentración de nitrógeno en planta ($r=0.83$). (Kanwarpal y Waines, 1989; Austin *et al.*, 1977).

Kanwarpal y Waines. (1989), también encontraron que los coeficientes de regresión observados mostraron que la acumulación de nitrógeno post-antesis, estuvo asociada negativamente con el N pre-antesis, y positivamente con el rendimiento de nitrógeno en grano.

2. Absorción de nitrógeno en post-antesis

Se ha creado mucha controversia en cuanto a la absorción post- antesis. Existen una serie de reportes que indican absorción de nitrógeno hasta la madurez (Gasser y Thorburn, 1972; Harper *et al.*, 1987), así como otra serie de autores que han llegado a la conclusión opuesta (Gregory *et al.*, 1979; citado por Harper *et al.*, 1987; Daigger *et al.*, 1976; Palta y Fillery, 1993). Estas diferencias posiblemente se deban a factores externos

como agua en el suelo, temperatura, (Harper *et al.*, 1987), interacción genotipo por ambiente (Van Sanford y MacKown, 1987) así como a la magnitud de la absorción de nitrógeno en pre-antesis (Kanwarpal y Waines, 1989).

Bulman y Smith. (1994), mencionan que generalmente la absorción post-antesis se calcula por el método de la diferencia, por lo cual grandes errores están asociados a su valor. A pesar de esto las plantas en general tienen la capacidad de absorber nitrógeno post-antesis y apreciables cantidades pueden absorberse (Austin *et al.*, 1977).

Lo mismo es reportado por Oscarson *et al.* (1995), quien encuentra que la absorción nunca sería la limitante de la acumulación de nitrógeno, ya que aún en post-antesis, la capacidad de absorción es superior a la necesaria para crecer. Por tal motivo la absorción no parece ser la determinante de la concentración de nitrógeno en grano.

De todas maneras la capacidad de absorción neta de N disminuye con la edad. Esto último puede estar correlacionado con el desarrollo de las raíces, ya que a medida que avanza la edad de la planta disminuye la tasa que relaciona biomasa de raíces con la biomasa total. Por lo tanto la menor absorción es una respuesta de toda la planta y no una característica específica de la absorción. En general las raíces acompañan las necesidades de toda la planta lo que podría verse modificado bajo estrés de nitrógeno lo que provocaría un mayor crecimiento de las mismas (Oscarson *et al.*, 1995).

En general altos niveles de nitrógeno disponible en suelo promueve la absorción post-antesis (Campbell *et al.*, 1977; Heitholt *et al.*, 1990 citados por Bulman y Smith, 1994) y a su vez disminuye la cantidad de nitrógeno retraslocado al grano (Halloran, 1981 citado por Bulman y Smith, 1994) y por ende la eficiencia de retraslocación (Bulman y Smith, 1994).

Cox *et al.* (1985), citado por Harper *et al.* (1987), reportan un total de asimilación pos-antesis entre 10 y 22% del total de nitrógeno. Esto parecería estar de acuerdo con lo reportado por Loffler *et al.* (1985), Van Sanford y MacKown. (1987) y Oscarson *et al.* (1995), los cuáles encuentran que entre un 65 y 92 % del nitrógeno es absorbido pre-antesis. De todas maneras una amplia dispersión de resultados es observada entre los diferentes autores.

Por otra parte es reportado que agregados de nitrógeno a antesis incrementan la absorción pero parece no afectar la concentración de proteína en grano (Heitholt *et al.*, 1990, citado por Bulman y Smith, 1994).

Cox *et al.* (1986), encuentra que a pesar que nitrógeno adicional es absorbido en post-antesis, las líneas con alta traslocación asimilan menos durante este período.

Austin *et al.* (1977), encuentra que cultivares de trigo de invierno que ganaban la mayor cantidad o perdían la menor cantidad de materia seca durante el llenado de grano tienen mayores cantidades de absorción de nitrógeno post-antesis ($r=0.79$). La absorción de nitrógeno durante el llenado de grano varió con el genotipo desde -37 Kg N.ha^{-1} a 119 Kg N.ha^{-1} , mientras que para materia seca de produjeron desde pérdidas de 4980 Kg.ha^{-1} hasta ganancias de 1030 Kg.ha^{-1} .

Los resultados obtenidos por Cha y Durán. (2001) encuentran coincidencia entre alta absorción post-antesis y una mayor ganancia neta de paja.

En el mismo sentido Bulman y Smith. (1994), mencionan que la absorción post-antesis está altamente correlacionado con el total de materia seca acumulada luego de antesis. Además estos autores encuentran correlación entre rendimiento, número de espigas de los macollos y nitrógeno absorbido post-antesis, lo que sugiere que macollos formados tardíamente y que desarrollen espigas pueden ser los responsables del incremento en absorción de nitrógeno luego de la emergencia de aristas. No obstante, los tallos principales son fosas más fuertes que los macollos (Halloran, 1981; Pérez *et al.*, 1983; citados por Bulman y Smith, 1994).

Asociado a esto Van Sanford y MacKown. (1987), mencionan como hipótesis que una mayor absorción post-antesis estaría asociada a un periodo de llenado más largo, lo que también llevaría a una mejora en los rendimientos. De todas maneras esto no pudo ser comprobado a nivel experimental.

Guohua *et al.* (2000), sugiere que la absorción pos-antesis es afectada por la fuerza de fosa (tamaño y actividad) y dicha absorción se regula por un feedback desde la misma fosa. Los autores en un experimento de campo encuentran menor absorción post-antesis en cultivares de espiga chica y en cultivares de espiga grande a los que se realizó un raleo de espigas.

Bulman y Smith. (1994), concuerda con lo aportado por el autor anterior ya que afirma que la absorción post-antesis parece estar más regulada por la fuerza de fosa que por el tamaño de fuente.

Como resumen de la información revisada se puede concluir que existe la capacidad de absorber nitrógeno en pos-antesis. El principal determinante de que esto suceda parece ser la biomasa acumulada a antesis lo que determina indirectamente la cantidad de nitrógeno que va a estar disponible para el período reproductivo.

3. Relación entre la acumulación pre-antesis y absorción post-antesis

En general en trigo la cantidad de nitrógeno acumulado a antesis está negativamente asociado con la absorción de nitrógeno en post-antesis (Kanwarpal y Waines, 1989). Estos mismos autores afirman que cultivos de elevado potencial presentan una absorción de aproximadamente el 90 % del nitrógeno pre-antesis. A su vez comentan que cuando existen disminuciones en rendimiento puede darse absorción pos-antesis. Por este motivo rendimiento y absorción pos-antesis están negativamente relacionados (Kanwarpal y Waines, 1989; Bullman y Smith, 1994).

En general rindes elevados están asociados a mayor nitrógeno a antesis por mayor cosecha de nitrógeno pre-antesis, lo que también determina mayor nitrógeno en grano (Hughes-Charbonier, 1990; Hoffman, Perdomo y Ernst, 1999, Cha y Durán, 2001).

En general cuando el cultivo tiene “problemas” hasta pre-antesis, puede existir aumento de la biomasa durante el llenado, por lo tanto aumenta la absorción de nitrógeno post-antesis y aumenta la proteína. Sólo en estos casos existe relación positiva

entre absorción de nitrógeno post-antesis y proteína cruda en llenado de grano (Austin *et al.*, 1977).

A partir de la información presentada se puede concluir que cuando el rendimiento es elevado, es baja la probabilidad de que la absorción tardía de nitrógeno aumente la proteína en grano ya que es alta la probabilidad que el nitrógeno sea suficiente o incluso sobre.

La información es coincidente en cuanto a que cultivos de menor potencial, si están expuestos a aumentos en las concentraciones de nitrógeno en suelo en estadios tardíos, puede darse absorción de N y pasar al grano. Por su parte en cultivos de potencial elevado el nitrógeno en antesis es el que regula la cantidad de nitrógeno en grano. De todas maneras en cualquiera de los dos casos si existe nitrógeno en suelo este se absorbe y no es claro si pasa al grano o integra el pool de N que se pierde.

Podría plantearse como hipótesis que si existen concentraciones elevadas de nitrógeno durante el llenado, podrán ser absorbidas y pasadas al grano cuando el área foliar se mantenga elevada y activa. Esto es más probable frente a cultivos de potencial reducido.

4. Retraslocación de nitrógeno

Existen reportes que indican que entre dos tercios (Pavlov y Kolesnik, 1974; citados por Harper *et al.*, 1987) y la totalidad (Daigger *et al.*, 1976 y Gregory *et al.*, 1979, citado por Harper *et al.*, 1987) del nitrógeno contenido en grano es aportado por la restraslocación desde raíces, tallos, y hojas.

Las hojas comienzan la senescencia antes que los tallos y la restraslocación de nitrógeno al grano se lleva a cabo primero y más rápidamente desde las hojas que desde los tallos, ya que estas disminuyen su concentración más rápidamente y mueren primero que los tallos. (Harper *et al.*, 1987).

Por su parte los tallos continúan traslocando hasta la madurez, pero en forma más lenta. Estos tienen más nitrógeno, pero menos concentración. (Harper *et al.*, 1987; Daigger *et al.*, 1976).

En resumen la mayor parte del nitrógeno al inicio del llenado del grano, proviene de las hojas. La propia senescencia auto limita una mayor traslocación. El nitrógeno de los tallos se entrega en mayor cantidad, pero más adelante en el llenado y este proviene en mayor proporción del nitrógeno absorbido temprano. (Harper *et al.*, 1987).

Por otro lado la absorción durante el llenado está negativamente relacionada con la restraslocación. Esto puede estar explicado por la relación entre actividad del área foliar, absorción y asimilación del nitrógeno. La absorción y asimilación del nitrógeno es dependiente de la actividad y continuidad del área foliar (Neales *et al.*, 1963; citado por Bulman y Smith, 1994).

Esto ultimo puede ser la explicación de lo encontrado por Oscarson *et al.* (1995), el cual menciona que el nitrógeno cosechado a antesis está positivamente

correlacionado con la retraslocación. Con esto coincide McMullan *et al.* (1988), citado por Bulman y Smith. (1994), el cual trabajando en trigo encuentra que la cantidad de nitrógeno acumulado a antesis está positivamente asociado con la cantidad de nitrógeno retraslocado al grano.

En este sentido Bulman y Smith. (1994), mencionan que cultivares que retrasloquen grandes cantidades de nitrógeno de los tejidos vegetales, tendrán menor capacidad de absorción de nitrógeno durante el llenado de grano y como consecuencia reducción del área foliar verde.

Hasta este momento se ha hablado de la retraslocación desde las hojas y tallos de tallos fértiles hacia los granos, pero a su vez es importante recordar que el nitrógeno contenido en las estructuras más jóvenes, durante el llenado de grano es exportado mayormente hacia los tallos fértiles, sin embargo la removilización no es eficiente y gran parte se pierde (Palta y Fillery, 1993). Esto explica porque a pesar de la existencia de esta retraslocación los tallos principales no siempre tienen mayor concentración de nitrógeno que los tallos secundarios (Wilhelm *et al.*, 2002).

5. Eficiencia de retraslocación

En general la traslocación es un proceso muy ineficiente ya que las principales pérdidas de nitrógeno se dan en forma de amoníaco el cual se genera a partir de este proceso (Daigger *et al.*, 1976). Es importante recordar que la restraslocación de N ocurre a partir de un proceso de degradación y removilización de aminoácidos (Cox *et al.*, 1986) lo determina su ineficiencia.

El índice de cosecha de nitrógeno es frecuentemente tomado como una medida de eficiencia de retraslocación del nitrógeno de las partes vegetativas al grano. Un alto índice indica una alta partición del nitrógeno al grano (Bulman y Smith, 1994).

Van Sanford y MacKown. (1987), encontraron en trabajos de campo que cuanto mayor es el contenido de nitrógeno en los tejidos, más ineficiente se vuelve el proceso de retraslocación y por lo tanto menor es el índice de cosecha de nitrógeno, lo cual es confirmado por Bulman y Smith. (1994). A su vez reducciones en el número de granos también provocan una disminución en el índice de cosecha de nitrógeno (Bulman y Smith, 1994; MacKown y Van Sanfor, 1988).

Varios autores confirman lo anterior y sugieren que aumentos de la disponibilidad de nitrógeno en suelo, aumenta el contenido de nitrógeno en planta, así como la concentración en planta, pero disminuye la retraslocación al grano, así como la eficiencia con que esta se realiza tanto para trigo como para cebada (Neales *et al.*, 1963; Anderson y Kole; 1975; Halloran, 1981; citados por Sarandón y Gianibelli, 1990).

Esto se podría deber a que una parte importante del nitrógeno se encuentra en estructuras ineficientes en producir grano lo que explica la mayor proporción de las pérdidas (Harper *et al.*, 1987).

Bulman y Smith. (1994) no encuentra correlación significativa entre la eficiencia de retraslocación y la concentración de proteína en grano, pero si encuentra correlación negativa con total de nitrógeno en planta a cosecha.

Por su parte McNeal *et al.*, (1972), trabajando con diferentes genotipos, no encontraron diferencias en la eficiencia de traslocación entre cultivares de alta y baja concentración de proteína en grano. Por otro lado Cox *et al.* (1986), trabajando con líneas de baja variación en el índice de cosecha de nitrógeno encuentra una consistente asociación entre altas concentraciones de nitrógeno en grano y alta eficiencia de traslocación.

Van Sanford y MacKown. (1987), no encuentra diferencias significativas en el índice de cosecha de nueve cultivares de trigo, por lo cual no parece ser posible un aumento de la proteína en grano a partir de aumentos del índice de cosecha. Por otro lado una serie de autores encuentran diferencia en el índice de cosecha entre cultivares, pero reportan asociaciones muy bajas o ninguna asociación con nitrógeno en grano (Desai-Bhatia. 1978; Heitholt *et al.*, 1990; Bulman-Smith, 1994; Cox *et al.*, 1986; Kemanian y Viega, 1999 y Cha y Duran. 2001).

En definitiva la posibilidad de mejorar la eficiencia de traslocación del nitrógeno acumulado a antesis, aún no es clara, pero podría ser aumentada mejorando la distribución de materia seca y nitrógeno en más tallos fértiles y aumentando o evitando caídas rápidas del área foliar durante el llenado de grano, o sea lograr una mayor duración del área foliar.

Con la información que se viene manejando hasta este capítulo, se puede concluir que es importante la cantidad de nitrógeno que acumulemos a antesis, la forma de lograr una alta acumulación es a través de la acumulación de materia seca. El nitrógeno acumulado a antesis parece ser el que tiene mayor relación con la cantidad de nitrógeno a cosecha pero aun no está claro la forma de mejorar la eficiencia de traslocación del nitrógeno acumulado.

6. Eficiencia de uso del N

Schorring *et al.* (____), trabajando con cebada y con agregados que van hasta 120-150 Kg. N. Ha⁻¹, observó una recuperación del fertilizante agregado que va desde 47 a 66% dependiendo de las condiciones del año. A su vez, encuentra que el agregado de nitrógeno tiene bajo efecto en el índice de cosecha de nitrógeno.

Van Sanford y MacKown. (1987), encuentran que una mayor eficiencia de utilización de nitrógeno está asociada a menor absorción de nitrógeno post-antesis. Por lo tanto la absorción post-antesis no sería deseable si queremos mejorar la eficiencia de uso de este nutriente. Por su parte el mismo autor afirma que la absorción post-antesis es un indicador de baja eficiencia en el uso del nitrógeno previo a antesis y está relacionado con rendimientos en grano bajos y concentraciones elevadas de nitrógeno en grano.

Fischer. (1993), citado por Cha y Durán. (2001), estudió la respuesta en rendimiento en grano de trigo irrigado, a la dosis y momento de aplicación del nitrógeno. En dicho estudio encontró, que la absorción de nitrógeno continuó a lo largo del llenado del grano en casi todos los tratamientos, pero especialmente en aquellos con aplicaciones tardías de fertilizantes. Sin embargo la eficiencia de la utilización del nitrógeno (rendimiento en grano / absorción de nitrógeno), declinó con grandes dosis y con aplicaciones posteriores al comienzo de la elongación de los tallos. La disminución

en la eficiencia de uso del nitrógeno estuvo muy asociada con aumentos en la concentración de nitrógeno en grano y en menor grado con descensos en el índice de cosecha.

A nivel nacional, Hoffman *et al.* (1999), afirman que si se maneja la fertilización a siembra y Z 22 siguiendo el modelo propuesto por Facultad de Agronomía para la fertilización nitrogenada de cultivos de invierno se logran eficiencias en el uso de este insumo iguales o mayores a 20 Kg grano / Kg N agregado. Por su parte para el agregado de nitrógeno en Z 30 la respuestas han variado de 8 a 20 Kg grano / Kg de nitrógeno agregado en función del estado nutricional del cultivo (%N en planta) y potencial de rendimiento a concretar en ese estadio así como de las condiciones ambientales.

Por su parte Cha y Durán. (2001), reportan que cuando se compara el porcentaje de proteína en grano dentro de un mismo sitio en respuesta a diferentes dosis de N agregado, los aumentos en la eficiencia de uso del nitrógeno (Kg de grano / Kg de N agregado) llevan a disminuciones en los porcentajes de proteína en grano.

Cassman. (1992), citado por Cha y Durán. (2001), mencionan que parecería que el modo de partición del nitrógeno se establece antes de antesis. Así el nitrógeno adquirido pre-antesis es particionado en una relación grano / tejido vegetativo predeterminada, y el modo de partición permanece en un amplio rango de aplicaciones de nitrógeno post-antesis. Esto explicaría porque agregados de nitrógeno al momento de antesis tienen poca influencia en el índice de cosecha de nitrógeno.

El mismo autor encuentra que bajas tasas de aplicación de nitrógeno a la siembra llevan a un incremento en el índice de cosecha del nitrógeno cuando se aplica tarde, existiendo una tendencia opuesta cuando altas tasas de nitrógeno son aplicadas a la siembra. En definitiva cuando aplicaron “bajas” tasas de N (85 Kg N.ha⁻¹) a la siembra, cada unidad adicional de nitrógeno absorbido a antesis, se particionó en una relación 8 a 1 grano / tejido vegetativo. En comparación esta relación fue 0.7 a 1 cuando se aplicaban altas tasas a la siembra (250 Kg N.ha⁻¹), siendo ambas relaciones independientes de la cantidad de nitrógeno aplicado a antesis. En resumen, concluyen que excesivas cantidades de nitrógeno adicionales para un determinado rendimiento, no son eficientes en aumentar la concentración de proteína en grano y promueven una ineficiencia en la partición del nitrógeno aplicado tardíamente.

Esto daría la pauta de que teniendo un cultivo con una suficiente cantidad de nitrógeno a antesis no sería necesario depender de la absorción post-antesis para lograr altos rendimientos de nitrógeno en grano.

En definitiva el índice de cosecha de nitrógeno aumenta en la medida que el nitrógeno disponible sea bajo en pre-antesis, lo cual estimula la traslocación (Sigh y Anderson, 1973 citado por Sarandón y Gianibelli, 1990).

Por otro lado, la eficiencia de uso total del nitrógeno (Kg de grano/ Kg de N que suple el suelo + fertilización) depende de la eficiencia de utilización (Kg grano / Kg N parte aérea) y de la eficiencia de absorción. La eficiencia de utilización, depende del índice de cosecha del nitrógeno y de la relación Kg de grano / Kg de N en grano (Kanwarpal y Waines, 1989).

Los mismos autores demostraron que incrementos de nitrógeno en el suelo llevan a una disminución del índice de cosecha del nitrógeno y por lo tanto a un decrecimiento en la contribución de la eficiencia de utilización a la eficiencia de uso total de nitrógeno ($\text{Kg grano} / \text{Kg N aportado suelo} + \text{fertilizante}$). La eficiencia de absorción ($\text{Kg N parte aérea} / \text{Kg N aportado suelo} + \text{fertilizante}$), contribuye más que la eficiencia de utilización a la variación en la eficiencia de uso, para todos los niveles de nitrógeno en el suelo. Por tal motivo, los autores concluyen que la selección de cultivares por eficiencia de absorción, sería más efectiva en mejorar la eficiencia de uso del nitrógeno que la selección por eficiencia de utilización del nitrógeno o por el índice de cosecha de nitrógeno.

7. Pérdidas de nitrógeno y materia seca.

Hasta este momento se ha revisado la respuesta al N en los diferentes estadios y su relación con el rendimiento y el contenido de proteína en grano. El principal problema al que nos enfrentamos es a la baja eficiencia de uso del N absorbido y por ende a la baja eficiencia de uso del fertilizante agregado de manera de lograr rendimientos y contenidos de proteína aceptables.

Es claro el hecho de que no todo el nitrógeno agregado como fertilizante llega a la cosecha, existen pérdidas por volatilización desde el suelo como NH_3 , N_2 , NO , N_2 y varias aminas (Terman y Allen, 1974; Harper *et al.*, 1983; Dabney y Bouldin, 1985 citados por Harper *et al.*, 1987; Daigger *et al.*, 1976; Schorring *et al.*, ____) así como pérdidas desde las plantas las cuales se dan principalmente bajo la forma de NH_3 , (Parton *et al.*, 1988 citado por Harper *et al.*, 1987; Schorring *et al.*, ____; Hooker *et al.*, 1980).

Otros autores han citado pérdidas gaseosas no sólo como amoníaco y mencionan la posibilidad de pérdidas de NO_2 , ya que la mayoría del nitrógeno ingresa a la planta a través de las raíces en forma de nitratos y luego es reducido a compuestos amoniacales y finalmente a proteína (McKee, 1962). En este pasaje la enzima nitrato reductasa depende de la luz y la presencia de clorofila la cual podría ser limitante durante el proceso de senescencia, por lo cual se acumularían nitritos y podrían perderse como NO_2 y NO (Hooker *et al.*, 1980; Viega *et al.*; 1992). A pesar de que esto puede ser válido el mismo autor no encontró pérdidas importantes de estos gases en un experimento llevado a cabo bajo condiciones controladas.

Además de las formas de pérdidas mencionadas, otras han sido citadas, las cuales hasta el momento no son consideradas de importancia. Entre estas se encuentran las pérdidas por gutación (Goatley y Lewis, 1966; Kingsley *et al.*, 1957) o lavado de sustancias nitrogenadas como pueden ser aminoácidos y nitratos (Tukey, 1970; Wetselaar y Farquar, 1980; citados por Schorring *et al.*, ____).

Otra posibilidad sería la pérdida en partes de plantas que se pierden, las cuales serían importantes si estas tuvieran al menos un 4% de nitrógeno (Daigger *et al.*, 1972). De todas maneras no siempre las pérdidas de nitrógeno van acompañadas de pérdidas de materia seca (Schorring *et al.*, ____), además de ser poco probable que la materia seca que se pierda al final tenga 4% de nitrógeno.

Hay una serie de estudios que muestran retraslocación de nutrientes, en especial de nitrógeno hacia las raíces durante la senescencia (Knowles y Watking, 1931; Gregory *et al.*, 1979 citados por Harper *et al.*, 1987), pero hay poca evidencia de que este proceso sea importante. (Harper *et al.*, 1987; Hooker *et al.*, 1980; Daigger *et al.*, 1976; Rumburg y Sneva, 1970; Schorring *et al.*, ____).

Estas ineficiencias además de las pérdidas económicas que representan, cada vez son más tenidas en cuenta por los problemas ambientales que generan (Denmead *et al.*, 1974; Vallis *et al.*, 1982, citados por Harper *et al.*, 1987).

La mayoría de los estudios muestran que las pérdidas más importantes de N en el cultivo de trigo se dan inmediatamente después de anthesis (Parton *et al.*, 1988, citado por Harper *et al.*, 1987; Daigger *et al.*, 1976; Hooker *et al.*, 1980). Aproximadamente un 45% del fertilizante absorbido temprano es perdido durante el periodo mencionado (Schorring *et al.*, ____).

En general para cultivos irrigados o sin limitantes hídricas las pérdidas son menores que bajo cultivos con limitantes hídricas (Schorring *et al.*, ____).

Parece ser que las pérdidas son más importantes en la medida que el contenido de nitrógeno en planta sea mayor (Power *et al.*, 1970; Wetselaar y Faquar, 1980; French y Schultz, 1984, citados por Schorring *et al.*, ____). Schorring *et al.* (____), encuentran que a pesar que exista bajo contenido de nitrógeno en planta, las pérdidas pueden ser importantes cuando el índice de cosecha de nitrógeno es de aproximadamente 0,63 y las pérdidas pueden ser menos importantes aún con alto status de nitrógeno en planta si el índice de nitrógeno se acerca a 0,7. En definitiva el nitrógeno se pierde si no pasa al grano, aunque el contenido de nitrógeno en planta sea bajo.

Cha y Durán. (2001), encontraron que por cada 100 Kg de nitrógeno absorbido a Z 47, sólo 20 Kg llegan a cosecha. Esto determina que la cantidad de N absorbido a Z 47, explica sólo un 36% de la cantidad de N a cosecha, determinando la baja eficiencia y la aparente poca relación con el rendimiento y la proteína. A su vez, cuanto mayor es la cantidad de nitrógeno absorbida a Z 47, mayor es la diferencia entre N absorbido a Z47 y nitrógeno total a cosecha. A pesar de esto, representa mayor cantidad de N en planta, hecho que determina aumentos en rendimiento y proteína en grano.

Las pérdidas de nitrógeno en la mayoría de los casos van acompañadas de pérdidas de materia seca (Hoffman, Ernst y Perdomo, 2002; Daigger *et al.*, 1976; Cha y Durán, 2001). De todas maneras existe un número nada despreciable de trabajos que reportan pérdidas de nitrógeno, sin que existan pérdidas de materia seca (Kanwarpal y Waines, 1986; Da Silva y Stutte, 1981; Stutte *et al.*, 1979; Baoer *et al.*, 1985; Hooker *et al.*, 1980).

Berry *et al.* (2002), reportan para trigo que el incremento en la tasa de mortalidad de tallos, incrementa las pérdidas de biomasa a cosecha, reduce el rendimiento y agudiza las pérdidas de N. Por su parte Cha y Durán. (2001), encuentran que mayores pérdidas de paja aumentan las pérdidas de nitrógeno posterior al estadio de Z 47. Una disminución en las pérdidas de nitrógeno estaría asociada a una ganancia neta de biomasa y paja.

Distintos trabajos indican pérdidas pos-antesis que van desde 7.4 KgN.ha⁻¹ (Harper *et al.*, 1987; Schorring *et al.*, ____) a 78 KgN.ha⁻¹ (Greenwood *et al.*, 1987; citado por Schorring *et al.*, ____; Daigger *et al.*, 1976; Cha y Durán, 2001) el cual estaría potencialmente disponible para ser depositado en grano. Las pérdidas se ven incrementadas cuando más importante es el agregado de N (Daigger *et al.*, 1976).

Ellen. (1987), citado por Schorring *et al.* (____), observaron que el contenido de nitrógeno decrecía de 195 a 160 KgN.ha⁻¹ desde antesis a madurez, pero esto no sucedía en cultivares que tenían 160 KgN.ha⁻¹ a antesis.

Harper *et al.* (1987), realizaron un trabajo en el cual se pueden observar las pérdidas de nitrógeno a lo largo del ciclo del cultivo. Las pérdidas más importantes se dan en forma de amoníaco. Antes de la fertilización se dan pérdidas principalmente a partir de las plantas, no así luego de la aplicación de fertilizante (NH₄NO₃) en donde el flujo de NH₃, hacia la atmósfera no sólo es desde las plantas sino que también desde la superficie del suelo. De todas maneras el autor menciona que es posible que las pérdidas desde las plantas sean más importantes que desde el suelo ya que no se espera una gran disociación del fertilizante y se observa poco cambio en el pH del suelo. En este trabajo se produce una pérdida de 11,4 % del fertilizante aplicado (8,3 Kg. N /ha).

Por su parte Hutchinson *et al.* (1973), citado por Hooker *et al.* (1980), menciona que las pérdidas en los primeros estadios de crecimiento pueden deberse a una absorción de nitrógeno que excede la capacidad de transformarlo a aminas por lo cual se acumula NH₃. Allinson *et al.* (1966) citado por Hooker *et al.* (1980), sugiere que este tipo de pérdidas se debe a la insuficiente cantidad de carbohidratos para transformar el nitrógeno absorbido a aminas.

En el mismo trabajo se menciona que existe un período en el cual se agota el fertilizante agregado, el cultivo pasa por un período de deficiencias en el cual no se observan pérdidas importantes hasta luego de la antesis, donde el NH₃ junto a otras formas oxidadas de nitrógeno se vuelven a perder hasta la cosecha.

Farquhar, *et al.* (1980), citado por Harper *et al.* (1987), mencionan que las pérdidas de amoníaco aumentan con el aumento de la temperatura durante el período de senescencia. Por su parte Hooker *et al.* (1980) sostienen que las pérdidas se agudizan bajo condiciones de alta evapotranspiración. De todas maneras Parton *et al.* (1988), mencionan la existencia de otros factores aunque no se especifican.

Entre estos otros factores, Meyer. (1993); Farquar *et al.* (1980); Lemon y Van Houtte. (1980); citados por Harper *et al.* (1987) así como Schorring *et al.* (____), reportan la existencia de un “punto de compensación de amoníaco”. Este punto sería la concentración de amoníaco a la cual no existe intercambio entre la planta y la atmósfera. Schorring *et al.* (____), menciona que es importante la relación entre la presión parcial de amonio en la cavidad subestomática y la atmósfera.

La presión parcial interna de NH₃ variaría con la concentración de NH₄ en el apoplasto de las hojas. Esta concentración estaría dada por el balance entre el NH₄ generado por fotorrespiración, degradabilidad de proteínas inducida por la senescencia, reducción de nitratos, absorción de NH₄ y el proceso de utilización, principalmente la síntesis de glutamina y aspargina.

Parton *et al.* (1988), confirma la existencia de dicho punto, pero afirma que este es mayor que la presión parcial normal de amoníaco en la atmósfera por lo cual siempre existirían pérdidas de amonio desde las plantas por este mecanismo.

Por su parte Harper *et al.* (1987), no descarta la existencia de los anteriormente mencionados mecanismos de “regulación” de la velocidad de pérdida, sino que concluye diciendo que a pesar de lo mencionado por otros autores, las pérdidas de amoníaco desde las plantas se darían principalmente luego de la antesis y estarían determinadas por la senescencia y redistribución de nitrógeno al grano. Durante este proceso, las proteínas se hidrolizan a aminoácidos y amidas. Estos compuestos se acumulan y si ocurre desaminación, se acumula NH_3 y se volatiliza. Lo mismo afirman Hooker *et al.* (1980), los cuales asocian las pérdidas de amonio con la rápida hidrólisis de proteínas. Por su parte Palta y Fillery. (1993), afirman que las pérdidas post-antesis están más asociadas con la removilización que con la cantidad acumulada.

Schorring *et al.* (____), mencionan como otra determinante de las pérdidas, la limitada capacidad de fosa que podría existir en la mayoría de las situaciones durante el llenado de grano, cuando se da el proceso de retraslocación. Un ejemplo de esto lo obtuvieron comparando parcelas irrigadas con otras no irrigadas bajo condiciones de estrés hídrico, determinando para las últimas mayores pérdidas por menor capacidad de fosa así como mayor removilización y transporte a la espiga de tejidos de las hojas como respuesta al estrés hídrico. En resumen las pérdidas son mayores cuando hay poca actividad de fosa en relación al nitrógeno removilizado.

En el mismo sentido Kemanian y Viega. (1999), sostienen que cultivos sin deficiencias retardarán el proceso de senescencia y por tanto, la oferta de nitrógeno para ser traslocado sería elevada sobre el final del período de llenado.

En definitiva, parece muy difícil luchar contra el proceso natural de muerte de una planta anual. La hidrólisis proteica aumenta rápidamente al poco tiempo de iniciado el llenado de grano (Harper *et al.*, 1987) y tras la desaminación se acumula NH_4 . Como este compuesto es tóxico contribuye a la muerte celular, por tanto contribuye a aumentar las pérdidas. (Yue-Xuan y von Tiedemann, 2002)

Por otra parte ha sido reportada la importancia de lograr una mayor duración del área foliar ya que la absorción y asimilación del N es dependiente de la actividad y continuidad de AF (Neales *et al.*, 1963, Bulman y Smith, 1994, Palta *et al.*, 1994). Si existen concentraciones elevadas de NO_3 en suelo, solo podrán ser absorbidas y retraslocadas al grano si se mantiene el AF activa hacia el final del llenado de grano (Stanford y Mackown. 1987).

La SOD, hormona que contribuye a detoxificar el exceso de NH_4 , también en este momento del ciclo baja su actividad, a su vez el estrés provocado por factores bióticos o abióticos, incrementan los compuestos tóxicos del O_2 y reducen la actividad de la SOD (Yue-Xuan y von Tiedemann, 2002).

Estos mismos autores, afirman que el estrés oxidativo esta asociado a la mayoría de los procesos biológicos de envejecimiento y senescencia de los vegetales. Leshem. (1988), citado por Yue-Xuan y von Tiedemann. (2002), mencionan como fundamental el rol de las especies activadas de oxígeno en el envejecimiento celular. Varios cambios

bioquímicos y fisiológicos durante la senescencia como la degradación de pigmentos, alteración de la permeabilidad de las membranas, ruptura de proteínas y alteración del metabolismo de fitohormonas está bien documentado como efecto de las especies activadas de oxígeno y radicales libres (Thompson *et al.*, 1987; Pell y Dann, 1991 citados por Yue-Xuan y von Tiedemann, 2002)

Existen varios reportes respecto a que las estrobirulinas además de controlar enfermedades, incrementaban el rendimiento, la materia seca y el contenido de clorofila y proteína aún en ausencia de enfermedades, lo que hacía que se defiriera la senescencia (Ypemma y Gold, 1999; Mercer y Ruddock, 1998 citados por Yue-Xuan y von Tiedemann, 2002).

Además de las estrobirulinas, diferentes tipos de funguicidas han mostrado que inducen propiedades antioxidativas en las plantas, entre los cuáles encontramos a los benzimidazoles, triazoles, y carboxin (Pellicer *et al.*, 1988; Yue-Xuan y von Tiedemann, 2002). Esto podría ser un camino para mantener el área foliar verde por más tiempo, de manera de aumentar la proteína en grano y disminuir las pérdidas.

El efecto de los funguicidas sobre los procesos de senescencia se da a través del mantenimiento de una mayor actividad de la SOD. Este aumento de la actividad se da a partir de un aumento en la peroxidasa en hojas. El aumento de la actividad peroxidasa, que en primer momento se pensaría como negativo, estaría induciendo la transcripción y expresión de enzimas antioxidantes como la SOD. Estas enzimas disminuyen la cantidad de superóxido en hojas, elemento necesario para el pasaje de ACC a etileno, el cual es responsable de los procesos de senescencia (Yue-Xuan y von Tiedemann, 2002).

Por otra parte como forma de mantener por más tiempo el área foliar activa, se podrían tomar en cuenta medidas de manejo como la época de siembra lo cuál enfrenta al cultivo a mejores condiciones hídricas y térmicas (Denmed *et al.*, 1976; Clarkle *et al.*, 1990); óptima densidad de siembra lo que permite mayor concentración de nitrógeno en tejidos y mejor distribución del mismo (Valo y Zarauz, 1987, Brasetti y Siri, 1993) y mejor uso del agua (Harper *et al.*, 1984); sanidad el cual tiene un efecto directo de la eliminación de las enfermedades (Cornish *et al.*, 1990; Zuckernan *et al.*, 1997) y el efecto indirecto que ya fue mencionado.

En resumen se puede pensar que si no fuese por las importantes pérdidas de N reportadas, con el N acumulado a antesis se podría elevar en forma muy importante el contenido de N del grano, hecho por el cual cada vez se debería tener más en cuenta medidas de manejo tendientes a mantener el área foliar activa por más tiempo.

8. Proteína en grano

La proteína ha cobrado relevancia a nivel productivo desde el establecimiento de decretos de comercialización de trigo que lo consideran especialmente. Este fija para Uruguay un nivel base de proteína en grano (11.5% - humedad base 13.5%) a partir del cual se bonifica o penaliza el precio de contrato (Ernst *et al.*, 1999), por lo cual se torna importante compatibilizar rendimiento con proteína.

Schlehuber y Tucker citado por Fiona *et al.* (1976), sugieren que los principales factores determinantes de la proteína en grano son el clima, suelo y variedad.

Por su parte Alkier *et al.* (1972), encuentra que agregados de nitrógeno aumentan el contenido de proteína en grano a partir de que el rendimiento se mantiene constante. Dentro de esta misma línea Goos *et al.* (2000) citado por Bergh *et al.* (2003) demuestran que niveles de proteína menores a 11.5% se relacionan con rendimientos debajo de los máximos por lo cual rendimiento y calidad no son características que se opongan. Iguales resultados fueron obtenidos a nivel nacional por Ernst *et al.* (1994).

Guohua *et al.* (2000), sugiere que los cultivares en general no logran acumular toda la proteína en grano que podrían. Esto se observa cuando realiza un raleo de espigas y el porcentaje de proteína aumenta de forma importante. Por otro lado Bulman y Smith. (1994), trabajando en cebada encuentra que aumentos en la concentración de nitrógeno en grano estuvo dado por una disminución en el número de granos.

Por su parte Cox *et al.* (1986), afirma que los estudios realizados no han sido capaces de decir si la mayor concentración de nitrógeno en grano se debe a una mayor traslocación de nitrógeno o a una mayor eficiencia del proceso de traslocación. Además de esto hay que considerar no sólo la traslocación de nitrógeno sino también la traslocación de carbono (Peterson *et al.*, 1975, citado por Cox *et al.*, 1986).

Por otra parte, las diferencias en proteína en grano también podrían deberse a diferencias genótípicas asociadas a los procesos anteriormente mencionados. (Seth *et al.*, 1985; Austin *et al.*, 1977; Van Sanford y MacKown, 1987).

Cox *et al.* (1986), encuentran correlaciones muy bajas y/o inexistentes entre concentración de nitrógeno en grano con traslocación, eficiencia de traslocación, índice de cosecha de nitrógeno, índice de cosecha de grano. Muchos autores han confirmado este hecho (Henrich, 1979; McNeal *et al.*, 1968,1972; Mikessel y Paulsen, 1971; Woodruff, 1972; Desai y Bhatia, 1978), aunque algunos han demostrado correlación proteína en grano con eficiencia de traslocación (Jonson *et al.*, 1968,1969; Paccaud *et al.*, 1985; Pavlov y Kolesnik, 1974, citados por Cox *et al.*, 1986).

La cantidad de nitrógeno en grano estaría determinada por la cantidad de nitrógeno absorbido pre-antesis, la removilización de este durante el llenado de grano y en menor medida la absorción post-antesis (Van Sanford y MacKown, 1987; Bulman y Smith, 1994). Michael *et al.* (1960) citado por Cox *et al.* (1986) encontraron lo mismo para cebada, afirmando que el nitrógeno en grano es derivado de la absorción radicular y de la redistribución del existente en planta y la interacción entre estas dos fuentes (Cox *et al.*, 1986).

Cha y Durán. (2001), encuentran que la variable que permitiría explicar la evolución de la proteína en grano sería la cantidad de nitrógeno absorbido a Z47. Ajustando un modelo Lineal-Lineal, definen un nivel de absorción de N a Z47 de 88 Kg.ha⁻¹, a partir del cuál los incrementos de proteína por Kg de nitrógeno absorbido a Z47 son muy bajos. Por debajo de este nivel serían necesarios absorber 14 Kg N.ha⁻¹ para aumentar un 1% la proteína mientras que por encima de este serían necesarios 123 Kg N.ha⁻¹.

En mejoramiento genético se enfrenta a la existencia de correlación negativa entre rendimiento y proteína en grano (Johnson *et al.*, 1978; Oscarson *et al.*, 1995; Fiona *et al.*, 1976; Alkier *et al.*, 1972). Fiona *et al.* (1976), sugieren que la proteína en grano

presenta baja heredabilidad y es más afectada por las condiciones ambientales. A pesar de esto existirían líneas que tienen mayor porcentaje en proteína en grano que el esperado para esos niveles de rendimiento (Fiona *et al.*, 1976; Hoffman *et al.*, 2004).

En muchas ocasiones altas concentraciones de proteína en grano están asociadas a baja acumulación de carbohidratos y por lo tanto bajos rendimientos (Johnson *et al.*, 1978; Hermelin *et al.*, 1984).

En la misma línea Oscarson *et al.* (1995) encuentran que las diferencias de rendimiento en campo explicaron la mayor parte de las diferencias en N en grano por dilución.

El efecto de dilución que en parte es el determinante de la correlación negativa entre concentración de proteína y rendimiento puede estar determinado por los mayores costos energéticos para la síntesis de proteína en relación a la de carbohidratos, lo que puede ser responsable de lo que es medido como dilución (Sinclair y de Wit, 1975; Bhatia y Rabson, 1976).

En contraposición a esto Kemanian y Viega. (1999), sostienen que la concentración de nitrógeno en grano depende principalmente de la cantidad de nitrógeno más que de la cantidad de carbohidratos. Estos mismos autores sugieren independencia de los procesos que conducen a la acumulación de nitrógeno de aquellos de los cuáles depende la acumulación de compuestos no nitrogenados, mayormente carbohidratos. En definitiva destacan la importancia del nitrógeno en grano en imponer la concentración de nitrógeno, independientemente de las variaciones del peso de grano.

Jonson *et al.* (1963) citado por Lavoy y Hageman. (1970) sugieren que a pesar de que existen genotipos con mayor capacidad de acumular alta cantidad de proteína en grano, se ha logrado poco progreso y mencionan que una posibilidad sería encontrar criterios bioquímicos. Una posibilidad es el uso de enzimas como criterio de selección los cuáles son producto directo de los genes y el nivel da una estimación del potencial metabólico del genotipo. (Lavoy y Hageman, 1970).

Guohua *et al.* (2000), mencionan que la propia síntesis de proteína en grano es un proceso limitante que controla la acumulación de nitrógeno.

El nitrato es la forma primaria de nitrógeno en planta y la enzima nitrato reductasa inicia el proceso de reducción y por lo tanto es la limitante del proceso (Beervers *et al.*, 1969). Su actividad debería ser un índice de la cantidad de nitrógeno reducido para síntesis proteica (Lavoy y Hageman, 1970). En el mismo sentido Viega *et al.* (1992), considera que la utilización del nitrógeno absorbido va a estar dada inicialmente por la cantidad del mismo que es reducido a amonio vía Nitrato reductasa y su posterior asimilación a través del complejo enzimático GS/GOGAT, ya que la sola absorción de nitrato no implica su posterior utilización, ya que puede encontrarse en distintos órganos, importantes acumulaciones de este ión, sobre todo a nivel de hojas, sin un rol fisiológico definido.

El nivel de nitrato reductasa en hoja está correlacionado con la proteína soluble (Hageman y Flesher, 1960; Harper y Paulsen, 1967; citados por Lavoy y Hageman,

1970) y está bajo control genético (Schlehuber *et al.*, 1967; Schlehuber *et al.*, 1967; citados por Lavoy y Hageman, 1970).

Esto es así ya que el proceso de asimilación o formación de compuestos nitrogenados simples (aminoácidos y amidas), depende principalmente de la actividad de la nitrato reductasa (Viega *et al.* 1992)

Este complejo enzimático, limitante en la fase de reducción es regulado por la presencia de sustrato (NO_3^-) y la disponibilidad de poder reductor (NADPH^+ o NADH^+) y ATP proveniente de los procesos de fotosíntesis o respiración de fotoasimilados (Viega *et al.*, 1992). De allí que en general se encuentre una alta asociación entre los niveles de actividad de la enzima y las tasas fotosintéticas o el transporte de fotoasimilados hacia los órganos donde se está realizando el proceso. Así mismo los factores que influyen sobre la tasa fotosintética, también determinan los niveles de reducción, fundamentalmente luz, agua, edad de la hoja y estado nutricional (Viega *et al.*, 1992)

Lavoy y Hageman. (1970), encontraron que un cultivar con mayor proteína, presentaba mayor nivel de nitrato reductasa, mayor actividad de la misma y esto es acompañado de mayor nivel de proteína soluble en agua. De todas maneras la mayor concentración de proteína fue asociada con un menor rendimiento.

El mismo autor reporta fluctuaciones ambientales de la actividad de la enzima y esta declina con la maduración de la planta mientras que el nivel de proteína soluble se mantiene constante lo que podría ser explicado por la removilización. Lo mismo fue encontrado para la actividad de la enzima proteasa (Rao *et al.*, 1968; citado por Lavoy y Hageman, 1970).

Por otro lado se observó que la enzima nitrato reductasa se activa con la fertilización nitrogenada (Lavoy y Hageman, 1970), pero esta tiene baja vida media (Schrader *et al.*, 1968). Si esto fuera así un incremento en el nivel de nitrógeno reducido, dependiendo de la eficiencia del sistema de transporte, debería incrementar la deposición de proteína; pero esto se da sólo para algunos genotipos específicos (Lavoy y Hageman, 1970).

Si la actividad de la enzima es usada como criterio bioquímico para la selección de alta proteína, esta debe ser medida cuando las plantas crecen bajo condiciones que permitan la expresión total del potencial genético para alto contenido de nitrato reductasa. A su vez la duración de alta actividad de la enzima es otro de los factores que forman parte de la producción de proteína en grano (Lavoy y Hageman, 1970).

Por otro lado existen reportes acerca de que el efecto del genotipo sobre la proteína en grano está determinado a partir del tamaño de fosa. En ese sentido Kemanian y Viega. (1999), encuentran que para cebada el tamaño de espiga estuvo correlacionado positivamente con la concentración de nitrógeno en grano y el nitrógeno total en grano ($r=0.36$ y 0.37 respectivamente).

Existen antecedentes que relacionan el tamaño de espiga con la concentración de nitrógeno en grano en trigo (Abate *et al.*, 1995) pero estableciendo que ésta no es resultado de una relación causa-efecto entre las variables sino consecuencia de la

disponibilidad de nitrógeno. Los resultados de Kemanian y Viega. (1999), son independientes del nivel de nitrógeno y por tanto sugieren otro tipo de relación entre las variables. Sería posible que en las variedades donde esta relación fue significativa, los tallos de mayor tamaño y por tanto de espigas más grandes absorban proporcionalmente mayor cantidad de nitrógeno que los tallos que soportan espigas más chicas.

Guohua *et al.* (2000), trabajando con trigo en China sugiere que espigas grandes y muchos granos por espiga podría ser la vía para incrementar el potencial de rendimiento y la proteína en grano. De todas maneras en este ensayo la variedad de espiga más grande, acumuló menor materia seca a antesis por lo tanto menor nitrógeno, lo cuál determinó mayor absorción tardía. En este mismo sentido Martínez y Carrasco. (1993) citado por Guohua *et al.* (2000) sugiere que la fuerza de fosa afecta la fotosíntesis y contenido de carbohidratos en hojas de trigo. Por fuerza de fosa se entiende el tamaño y la actividad de la misma.

Por otro lado Clarkle *et al.* (1990), sostienen que la cantidad o proporción de nitrógeno proveniente de partes vegetativas puede ser una función de limitaciones de fuente.

Kemanian y Viega. (1999), afirman que independientemente de la variedad considerada, situaciones que conllevan una entrega tardía del nitrógeno por parte del suelo, exponen al cultivo a incrementos en el nitrógeno en grano. En un ensayo presentado por estos autores, las condiciones hídricas pre-antesis limitaron el crecimiento y la utilización del nitrógeno; las precipitaciones caídas al inicio del llenado de grano permitieron una rápida mineralización y absorción del nutriente con las consecuencias ya expresadas.

Para estos autores junto con el rendimiento de los cultivos, el cual posiblemente se vio afectado por las condiciones ambientales pre-antesis, también disminuyó la producción de materia seca. Esto llevó que al mejorar las condiciones post-antesis, se produjo una mayor acumulación de materia seca y por lo tanto de nitrógeno lo que provocó que gran parte de ese nitrógeno fuera al grano y aumentara la concentración de proteína ya que el rendimiento ya estaba afectado. Lo opuesto ocurrió cuando las condiciones hídricas pre-antesis fueron favorables.

Por ahora es factible que el aumento del N en grano en cultivares con mayores necesidades, vaya de la mano de lograr mayor cantidad de N cosechado a antesis. También es probable que por un tiempo para lograr pequeños incrementos de N en grano, sigamos exportando grandes cantidades de N a la atmósfera lo cuál debe ser considerado como un problema serio.

Todo esto hace que para mantener la rentabilidad del cultivo, mientras acumulamos grandes cantidades de nitrógeno factibles de ser trasladados al grano los costos de una mayor cosecha de nitrógeno los debe pagar el rendimiento en grano. Esto se logra con variables o factores de manejo que modifiquen el nitrógeno y rendimiento en grano en el mismo sentido.

Para lograr que lo anteriormente mencionado se cumpla, los factores de manejo que deben tenerse en cuenta para incrementar la concentración de nitrógeno en grano manteniendo y/o mejorando el rendimiento en grano son la elección de chacra, el

manejo del nitrógeno, la densidad de siembra y la sanidad, siempre considerando la interacción con el cultivar.

D. FACTORES QUE AFECTAN EL USO DEL NITRÓGENO

1. Condiciones climáticas

Los factores ambientales influyen marcadamente la concentración de proteína en grano y superan ampliamente a la variación explicada por las diferencias genéticas entre cultivares (Rao *et al.*, 1993). El autor encuentra para los años y cultivares en estudio que el efecto del ambiente explica entre un 68 y 90% la variación en concentración de nitrógeno en grano.

Campbell y Read. (1968), citado por Alkier *et al.* (1972), sugieren que las condiciones climáticas como la temperatura del aire, aporte de agua e intensidad de luz afectan el contenido de proteína principalmente a través de su efecto en el rendimiento en grano.

Por su parte Terman. (1979), encuentra que la relación inversa entre rendimiento y concentración de proteína en grano, a un determinado nivel de aporte de nitrógeno es afectada por el contenido de humedad.

En el mismo sentido Tucker *et al.* (1963) citado por Terman. (1979), encuentra que la falta de humedad reduce el rendimiento pero estrecha las diferencias en concentración de proteína entre cultivares, lo cual no ocurre en parcelas irrigadas.

Para entender las variaciones de la proteína en grano, hay que considerar que en los primeros días de llenado, el peso relativo del embrión es mayor, lo que lleva a que el porcentaje de nitrógeno en grano sea alto. En las etapas posteriores un aumento en la tasa de traslocación de los hidratos de carbono, diluye el nitrógeno traslocado. Próximo a madurez fisiológica existe un leve aumento del porcentaje de nitrógeno, independientemente de las condiciones de llenado. Este aumento responde a la traslocación del nitrógeno desde las hojas senescentes con la consecuente reducción del área fotosintética (Corke, 1987 citado por Cha y Durán, 2001).

Altas temperaturas y alta evapotranspiración aceleran el proceso del llenado de grano, aumentando la tasa llenado, y al mismo tiempo reducen su duración. La deposición de nitrógeno en grano, precede a la deposición de carbohidratos solubles. Esto lleva que al acortarse el período de llenado, se afecte en mayor medida la acumulación de éstos últimos, por lo que el nitrógeno no es diluido (Cha y Durán, 2001; Rao *et al.*, 1993) y por lo tanto se incrementará el porcentaje de proteína cruda en grano.

En la misma línea Vitkare *et al.* (1990) citado por Rao *et al.* (1993) reportan que un aumento de 1 °C en la temperatura durante periodo post-antesis, provoca una reducción de 2,19 días en el período de llenado de grano, no obstante la mayor tasa de acumulación de nitrógeno compensa la reducción del período de acumulación de nitrógeno. Esto último no sucede para los carbohidratos (Jenner *et al.*, 1991 citado por Rao *et al.*, 1993), por lo cual se produce una disminución de rendimiento e incremento en el nivel de proteína en grano.

En cuanto a la absorción de nitrógeno, existen factores ambientales que pueden determinar la detención o no de la absorción de nitrógeno hasta el final del ciclo, la cual puede deberse a condiciones de temperatura ambiente y humedad del suelo. (Harper *et al.*, 1987; Oscarson *et al.*, 1995). Específicamente la limitación de absorción por deficiencia de humedad fue corroborado por muchos autores (McMullan *et al.*, 1988; Clarke *et al.*, 1990 citado por Bulman y Smith, 1994).

Palta y Fillery. (1993), consideran que estrés hídrico durante el llenado de grano limitaría la absorción de nitrógeno por lo que la concentración del nutriente en grano, quedaría determinado por lo absorbido pre-antesis y por los efectos sobre el rendimiento. Por su parte García *et al.* (1997), afirman que el crecimiento de las raíces cesa en general durante la antesis, pero una buena disponibilidad de agua y nutrientes, puede prolongar el desarrollo y funcionalidad de las mismas.

Como resumen puede concluirse que las condiciones climáticas afectan el uso del nitrógeno a partir de dos caminos. En primer lugar a través de las condiciones de crecimiento pre-antesis lo que va a estar dando como resultado, la cantidad de nitrógeno absorbida y la materia seca acumulada y en segundo lugar a través de las condiciones de crecimiento durante el llenado de grano lo que va a estar modificando directamente el rendimiento e indirectamente la proteína en grano a través de proceso de dilución.

2. Material genético

A nivel de cultivares existen diferencias en el índice de cosecha de nitrógeno, % de proteína en grano y otros aspectos de eficiencia de uso de nitrógeno como lo son la variación en nitrógeno total en planta entre antesis y madurez (Van Sanford y MacKown, 1987).

A su vez se han reportado diferencias genotípicas en el metabolismo de nitrógeno las cuáles podrían estar determinando diferencias en la proteína en grano en diferentes cultivares creciendo bajo las mismas condiciones. Austin *et al.* (1977), detectaron diferencias entre cultivares en la concentración de nitrógeno a antesis, aunque afirma que estas diferencias estaban asociadas principalmente a la producción de materia seca de los cultivares. Por su parte Cox *et al.* (1985) y Loffler *et al.* (1985), citados por Van Sanford y MacKown. (1987), encuentran variación genotípica para el total de nitrógeno a antesis.

Bulman y Smith. (1994), también encuentran que las diferencias entre cultivares en la acumulación de nitrógeno por planta a antesis están más relacionada a la producción de materia seca que a la concentración de nitrógeno por planta. A su vez menciona que las diferencias genotípicas se reflejan en el desarrollo de hojas y macollaje.

Por otra parte las diferencias que se han observado entre cultivares en la absorción o en el contenido total de nitrógeno en planta podría ser una evidencia que la absorción se encuentra bajo control genético (Halloran y Lee, 1979; Henson *et al.*, 1986; citados por Oscarson *et al.*, 1995).

Terman. (1979), afirma que las diferencias entre cultivares tienden a ser mayores bajo óptimas condiciones de crecimiento y son menores o pueden mimetizarse por deficiencias o excesos de varios factores de crecimiento.

Por su parte Van Sanford y MacKown. (1987) mencionan como posible fuente de variación en la absorción post-antesis una interacción genotipo x ambiente. A pesar de esto considera a la cantidad de nitrógeno absorbido pre-antesis como la principal fuente de variación genotípica que determina diferencias en nitrógeno en grano.

Un genotipo deseable sería uno más eficiente desde el punto de vista de uso del nitrógeno, para esto debería presentar alta acumulación de nitrógeno pre-antesis y luego traslocarlo con la menor cantidad de pérdidas posibles (Van Sanford y MacKown, 1987).

Cox *et al.* (1986), reporta la existencia de líneas que absorben significativamente más nitrógeno que lo requerido para su nivel de rendimiento y estas también presentan alta traslocación por lo tanto en estas es esperable obtener mayor concentración de nitrógeno en grano.

Por otra parte existen varios reportes que indicarían que las diferencias en proteína en grano estarían gobernadas genotípicamente por pocos loci. Este pequeño número de genes posiblemente actúen como genes de efecto mayor. Un modelo con 2 loci, cada uno aditivo pero con diferente efecto se ajusta bien a lo observado. (Cox *et al.*, 1986).

A pesar de la correlación negativa entre rendimiento y proteína existirían líneas que combinan alta proteína acompañado de altos rendimientos (Johnson *et al.*, 1978; Hermelin *et al.*, 1984). Para lograr esto se deberían buscar líneas con mayor asociación entre la tasa llenado de grano y la acumulación nitrógeno en grano.

Terman. (1979), encuentra que cultivares de alta y baja proteína muestran diferentes interceptos de las curvas de regresión, concentración de proteína – agregado de nitrógeno.

Ha sido documentado que una reducción en la altura de planta en cultivares semi-enanos en busca de altos índices de cosecha asociados a un gen de enanismo (Rht) podría limitar la probabilidad de aumentar o mantener la concentración de nitrógeno en grano mientras la selección por rendimiento sea a partir de incrementos en el índice de cosecha (Day *et al.*, 1985; citado por Flood y Halloran *et al.*, 2002). Esto es debido a que se ha encontrado fuerte correlación negativa entre índice de cosecha y % de nitrógeno en grano (citados por Flood y Halloran *et al.*, 2002; Day *et al.*, 1985; Kramer *et al.*, 1979; McNeal *et al.*, 1971).

Guohua *et al.* (2000), trabajando con dos cultivares de espigas de tamaño contrastante, concluyen que cultivares de espiga grande son capaces de absorber más nitrógeno pos-antesis y por lo tanto aumentar la concentración de nitrógeno en grano. Esto es posible ya que los cultivares de espiga chica, al reducir el número de granos, se reduce el nitrógeno en grano y la absorción de nitrógeno durante el llenado, lo opuesto ocurre para los cultivares de espiga grande. En realidad cuando se estudia este trabajo, se llega a la conclusión de que los cultivares de espiga chica, mostraron más biomasa a

antesis, más espigas, más nitrógeno pre-antesis, menos absorción de nitrógeno en llenado y menor proteína cruda en grano, pero esto también fue acompañado de mayor rendimiento.

Como resumen puede decirse que existe efecto genotípico en el uso del nitrógeno y estas diferencias podrían estar explicadas por pocos loci. En general estas diferencias están asociadas a la capacidad de absorber nitrógeno, principalmente en pre-antesis y su posterior eficiencia de traslocación.

3. Fuentes de nitrógeno

Hasta este momento se ha discutido la respuesta al agregado de nitrógeno, absorción y uso del mismo y entre los factores que afectan su uso, las condiciones ambientales y el genotipo. Para la mayoría de los temas mencionados, existe información abundante y consistente con lo cual se puede dejar una idea clara en cada capítulo.

En el tema fuentes de nitrógeno la situación es un poco más confusa. La mayoría de los trabajos apuntan a disminución de pérdidas por volatilización del N agregado desde el suelo y/o al aumento de la proteína en grano y por esto último son considerados agregados tardíos.

Esto hace que no exista un apoyo bibliográfico contundente en relación al tema que se pretende comenzar a resolver en este trabajo. No existe información en la que se presente una situación deficitaria de N en el comienzo de encañado, motivo principal por el cual se buscan fuentes alternativas a la Urea de manera que su aporte de nitrógeno más rápido, establezca diferencias en la respuesta al nitrógeno.

Considerando las limitantes expresadas se presenta la información existente sobre fuentes de N que más puede ayudar a entender el problema y el funcionamiento de las mismas.

Es conocido que la fuente de nitrógeno utilizada puede afectar las pérdidas de amonio luego de la aplicación de fertilizantes (Zubillaga *et al.*, 2002).

La volatilización del amoníaco desde la superficie del suelo es un proceso complejo que afecta principalmente a los fertilizantes nitrogenados aplicados al voleo y que no son incorporados. (Hargrove, W., 1988 citado por Fontanetto *et al.*, 2001).

La urea es el único fertilizante comparado con otras fuentes de nitrógeno solubles, capaz de presentar un excepcional grado de diferentes respuestas a variaciones ambientales al momento de su aplicación. Esto podría resultar en una ineficiencia o irregular respuesta del cultivo (Volk, 1966 citado por Bologna y Rincón, 1997).

La eficiencia de la urea que está sujeta a la caída de lluvia suficiente como para arrastrar a la misma dentro del suelo antes que se hidrolice, es mucho mayor a la eficiencia de la urea que se hidroliza sobre la superficie del suelo dando lugar a pérdidas gaseosas y a una muy baja movilidad del NH_4^+ resultante (Volk, 1959 citado por Bologna y Rincón, 1997).

La urea aplicada al voleo, aumenta la actividad de la ureasa, por lo que es de esperar mayores pérdidas de amonio (Karlen *et al.*, 1991; Grant y Lanfond, 1994; citados por Zubillaga *et al.*, 2002). Por este motivo se han intentado evaluar fuentes alternativas de nitrógeno a la urea (Trenkel, 1997; citado por Zubillaga *et al.*, 2002).

Volk. (1966), citado por Bologna y Rincón. (1997), encuentra que el uso de urea y UAN no incorporada sobre suelo no laboreado en maíz resultó en un muy bajo rendimiento y absorción de nitrógeno comparada con el nitrato de amonio y sulfato de amonio durante la estación de crecimiento del cultivo. Posiblemente esto se deba a la aparente pérdida por volatilización de NH_3 que para las fuentes que contienen urea se encuentra en un rango que va desde 0 a 35%.

Analizando otras alternativas como los fertilizantes de liberación lenta de nitrógeno, los cuáles incrementan la disponibilidad de nitratos y amonio en estadios más avanzados, los resultados muestran que la proteína en grano no fue mayor sino menor que la obtenida con aplicaciones de urea (Zubillaga *et al.*, 2002).

En este mismo ensayo realizado en La Pampa – Argentina, a pesar de que existieron diferencias en la volatilización según la fuente de nitrógeno usada, que van desde 17,1% del fertilizante aplicado como urea a un 0.1% del fertilizante aplicado como IBDU (isobutilidendiurea), los rendimientos y proteína de grano no variaron, por lo que el nitrógeno liberado desde el suelo debió exceder el perdido por volatilización. Esto puede estar llevando a un empobrecimiento del nitrógeno nativo (Zubillaga *et al.*, 2002).

García *et al.* (1996), trabajando con tres fuentes de nitrógeno (urea, UAN y CAN), llegaron a la conclusión que el efecto dosis era más importante que el efecto fuente sobre rendimiento aunque las pérdidas por volatilización de amonio eran aproximadamente igual de importantes en urea y UAN y menores en CAN.

En nuestro país Hoffman *et al.* (1996), encuentran que en general las pérdidas de N a partir de UAN son aproximadamente un tercio menores que las observadas en urea bajo las mismas condiciones ambientales, cuando es aplicada en cobertura en cultivos de verano.

Bordoli *et al.* (1999), trabajando con urea y nitrato de amonio, no detectaron diferencias significativas entre las fuentes aplicadas al voleo a cultivos de trigo sobre rastrojos de soja, girasol o cebada. La aplicación fue fraccionada 1/3 a la siembra y 2/3 a macollaje y con dosis totales que van des 0 a 120 Kg N.ha⁻¹.

Estos mismos autores tampoco detectaron diferencias en la forma de aplicar la urea, al voleo o incorporada tanto para siembra como para macollaje. A partir de estos resultados los autores concluyen que en los años evaluados las pérdidas por volatilización de amonio habrían sido poco significativas.

En otro ensayos Bordoli *et al.* (1999), trabajando con urea, nitrato de amonio, nitrato de amonio calcáreo (CAN) y sulfato de amonio aplicadas a siembra y Z 22, no encuentran diferencias entre las fuentes. De todas maneras trabajan con una dosis única de 30 Kg N.ha⁻¹ para los dos momentos.

Por su parte Bologna y Rincón. (1997), encuentran una respuesta al nitrógeno agregado como nitrato de amonio de casi 500 Kg.ha⁻¹ por encima de la respuesta de la urea. Esto puede deberse a las condiciones climáticas del año (extremadamente seco), ya que el nitrato de amonio presenta una mayor independencia del contenido de humedad presente en el suelo para definir una mayor disponibilidad de nitrógeno al cultivo.

En cuanto a aplicaciones foliares de N, Finney *et al.* (1957), fueron los primeros que presentaron un trabajo al respecto. En ese trabajo fue aplicada una solución de urea en hojas durante la floración. Esta aplicación provocó un aumento de proteína en grano que llevó desde el nivel de la misma de 9.3% en el control a 16.1%. Los mayores incrementos fueron obtenidos en floración y con más de una aplicación aunque los efectos de cada una no fueron aditivos. De todas maneras no queda claro como era el estado nutricional del cultivo anterior a la aplicación de manera de saber si es un efecto de la urea foliar per-se o de deficiencias de nitrógeno al momento de la aplicación.

En este mismo trabajo se muestra que excesivos agregados de urea foliar disminuyeron la calidad del grano, posiblemente como consecuencia de una reducción en la actividad de la planta como resultado del quemado de hojas. Altman *et al.* (1983), también observaron quemado luego de cada aplicación aunque fue pequeño y por lo tanto no considerado de importancia al igual que Lavoy y Hageman. (1970) y Alkier *et al.* (1972).

Posteriormente Altman *et al.* (1983), retomando el trabajo de Finney *et al.* (1957), mencionan que la fertilización foliar ofrece el potencial de incrementar el porcentaje de proteína cuando es aplicada alrededor de floración.

Por otra parte han sido reportadas diferencias genéticas en cuanto a la habilidad para asimilar la urea foliar (citado por Altman *et al.*, 1983: Seth *et al.*, 1960) y el potencial de respuesta parece depender de factores ambientales como la luz (citado por Altman *et al.*, 1983: Van Vuurde *et al.*, 1978) y el largo del día (Altman *et al.*, 1983) al momento de la aplicación.

Altman *et al.* (1983) encontraron que existió respuesta en porcentaje de nitrógeno y grano a la aplicación de urea foliar siempre que existía respuesta per se al nitrógeno. Cuando se compara el efecto de la urea foliar en relación a la aplicación al suelo, en una localidad lluviosa, este era más importante sobre la proteína en grano mientras que en una localidad seca el efecto más importante de la urea foliar fue sobre rendimiento en relación a la aplicación al suelo.

Bergh *et al.* (2001), comentan que el momento en el que se puede hacer el diagnóstico condiciona la fuente nitrogenada a emplear y su forma de aplicación. Aplicaciones de nitrógeno con fuentes sólidas en etapas avanzadas implican un alto riesgo al no ser eficientemente utilizadas porque son dependientes de precipitaciones que permitan el ingreso del nitrógeno al suelo y su posterior absorción por las raíces.

El mismo autor continúa diciendo que cuando se plantea la necesidad de realizar aplicaciones luego de la espigazón, la fertilización foliar es la opción con mayor probabilidad de ser eficiente en lograr un mejoramiento de la calidad. Entre las fuentes nitrogenadas disponibles para su aplicación como fertilización foliar, la urea en solución

permite aplicar hasta 30 Kg N.ha⁻¹ sin problemas de quemado de las hojas. Otra fuente como el nitrato de amonio es tolerado en dosis mucho más bajas del orden de los 2 Kg N.ha⁻¹, resultando insuficiente para solucionar un problema de deficiencia nutricional (Finck, 1999; citado por Bergh *et al.*, 2001).

Alkier *et al.* (1972), comparando el porcentaje de absorción de nitrógeno es post-emergencia para aplicaciones granuladas y foliares en trabajos de invernadero, encuentra que un 1% del nitrógeno foliar es recuperado en grano, mientras que un 30% del nitrógeno aplicado al suelo es recuperado en grano. A campo no existen diferencias entre fuentes foliares y aplicaciones al suelo, lo cual el autor atribuye a lluvias posteriores a la aplicación que lavaron el nitrógeno de hojas al suelo y este fue absorbido por las raíces.

En ensayos realizados en la Argentina con aplicación de urea en solución y considerando el promedio de todos los ensayos se obtuvo un incremento de un 7% en los rendimientos y un 4% en el porcentaje de proteína con la aplicación de 20 Kg.N.ha⁻¹, mientras que con la aplicación de 40 Kg.N.ha⁻¹, se obtuvo un incremento de rendimientos de un 8% mientras que la proteína se incrementó un 8,5% (Bergh *et al.*, 2001). A pesar de estos datos no queda claro el estado nutricional con que llegan los cultivos al momento de la aplicación de la urea.

A su vez en este mismo ensayo se puede observar que el incremento de rendimiento con la aplicación de funguicidas Azoxistrobina (Amistar) y Ciproconazole (Alto) en combinación con urea en solución fue del 18%, similar a lo obtenido con la aplicación de los funguicidas solos (Bergh *et al.*, 2001). Estos resultados muestran que existe la posibilidad de realizar el control químico de enfermedades simultáneamente con la corrección de deficiencias nutricionales, sin perder eficiencia en el efecto de los funguicidas (Bergh *et al.*, 2001).

En relación a este último trabajo, no está claro el estado sanitario de los cultivos al momento de la aplicación pero es probable que el principal efecto de los funguicidas este dado por un aumento en la duración del área foliar y junto con esto un mayor periodo de traslocación de nitrógeno al grano.

En definitiva como fue comentado al comienzo del capítulo no existe información respecto al uso de fuentes de nitrógeno alternativas a la urea al comienzo de encañado como forma de evaluar respuestas en rendimiento y proteína a la velocidad de ingreso del N agregado a planta. Por otra parte existe información respecto a diferencias en las pérdidas entre fuentes que se dan desde el suelo, aunque estas diferencias no siempre determinan respuestas en rendimiento y/o proteína. Por ultimo la información respecto a agregados tardíos de diferentes fuentes de nitrógeno, no puede ser evaluado correctamente ya que en la mayoría de los trabajos no está claro el estado nutricional del cultivo al momento del agregado con lo cual no se puede separar la respuesta perse al nitrógeno de la determinada por el uso de una fuente determinada.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

1. Ubicación

El experimento se realizó a 60 Km. de la ciudad de Paysandú sobre la ruta nacional n° 24. El mismo fue llevado a cabo en el año 2002 y el suelo sobre el que se desarrolló corresponde a un Brunosol éutrico de la formación Fray Bentos, correspondiente a la Unidad San Manuel según Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (Dirección de Suelos y Fertilizantes, 1976, MAP). El mismo presenta una elevada fertilidad natural.

2. Antecedentes de la chacra

La siembra se realizó sin laboreo sobre una pastura natural, y el período de barbecho fue de 101 días.

3. Siembra

La siembra se realizó el 10 de Junio y el cultivar utilizado fue INIA Tijereta. Este último fue seleccionado ya que tiene elevados requerimientos de proteína cruda en grano para mantener alta calidad panadera y presenta como característica, una muy baja tasa de crecimiento hasta el estadio de Z24 y elevadas tasas posteriores. La densidad de siembra fue de 45 semillas por metro y la población lograda fue de 35 pl/m. La distancia entre hileras fue de 0.19 mts.

4. Fertilización previa a Z 30

La información de análisis de suelo suministrada por el productor, se detalla en el siguiente cuadro.

Análisis de suelo a la siembra	
<i>P (ppm)</i>	6
<i>N-NO₃⁻ (ppm)</i>	6

La fertilización basal se realizó corrigiendo según análisis de suelo, para lo cual se agregaron 150 Kg.ha⁻¹ de 25-33-0.

La refertilización nitrogenada a Z21-22 se realizó según el modelo propuesto por Facultad de Agronomía (Hoffman *et al.*, 2001). Considerando las condiciones de chacra (Campo natural con restos en descomposición) y las posibles deficiencias anteriores a Z22, se adelantó el muestreo a Z.21 y el mismo presentó un valor de 4 ppm de N-NO₃ en suelo. El agregado consistió en 100 Kg.ha⁻¹ de Urea.

5. Características del ensayo

El experimento consistió en un factorial incompleto de tres fuentes de nitrógeno (Urea, Sol UAN chorreado y FoliarSol U pulverizado) por dos dosis de nitrógeno (20 y

40 Kg N.ha⁻¹). Los tratamientos fueron aplicados en el estadio de Z30, al cual el cultivo llegó a los 83 días pos siembra.

6. Características de las fuentes de nitrógeno.

A continuación se presenta un cuadro con características de los productos utilizados.

Fuente	% N	Estado
Urea	46	solido granulado
Foliar U*	20	Liquido
Sol UAN**	32	Liquido

*Densidad: 1.2 g/l; **Densidad 1.32 g.l⁻¹.

El agregado de 40 UN N.ha⁻¹ significó 87 Kg.ha⁻¹ de Urea 167 lts.ha⁻¹ de Foliar U y 95 lts.ha⁻¹ de Sol UAN.

7. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue el de bloque en parcelas al azar con tres repeticiones. Esto determinó un total de 3 bloques con 7 parcelas cada uno. Cada parcela tenía un área de 50 m² (5 x 10 mts).

B. DETERMINACIONES.

1. Suelo

Durante el desarrollo del cultivo se siguió la evolución de nitratos en suelo (N-NO₃). Se realizaron un total de 5 muestreos, el primero fue por bloque al momento de realizar los diferentes tratamientos y los últimos 4 fueron muestreos por parcela.

Fecha	Estadio	Actividades
02/09/2002	Z 3.1	Muestro de suelo por bloques
16/09/2002	Z 3.2	Muestreo de suelo por parcela
26/09/2002	Z 3.3-3.4	Muestreo de suelo por parcela
22/10/2002	Z 7.0	Muestreo de suelo por parcela
17/11/2002	Madurez cosecha	Muestreo de suelo por parcela

Las muestras de suelo fueron tomadas a 20 cm de profundidad, secadas en estufa a una temperatura de 60°C y posteriormente molidas para realizar el análisis en laboratorio.

2. Planta

2.1 Evolución de tallos

A partir de la aplicación de los tratamientos en Z 30 (fin macollaje – comienzo encañazón) se realizó un seguimiento de la evolución del número de macollos por metro cuadrado.

Fecha	Estadio	Actividades
02/09/2002	Z 3.1	Conteo de tallos en 2 m lineales
26/09/2002	Z 3.3-3.4	Conteo de tallos en 2 m lineales
22/10/2002	Z 7.0	Conteo de tallos en 2 m lineales
17/11/2002	Madurez cosecha	Conteo espigas en 2 m lineales

2.2 Evolución de la acumulación de materia seca (MS)

Se realizaron en total 5 determinaciones (en igual fecha que el muestreo de suelo). Se corto al ras del suelo 2 metros lineales por parcela previo conteo de tallos. Las muestras fueron secadas en estufa a 60°C, pesadas y posteriormente molidas.

En el muestreo anterior a la cosecha, el cultivo se encontraba en el estadio Z 70, de esta manera luego de secar las muestras en estufa fueron separadas las espigas del resto de la planta y pesadas aparte de manera de conocer la materia seca en espiga al inicio de llenado de grano.

2.3 Nitrógeno en planta

Para medir el % de nitrógeno en planta fueron usadas las muestras cortadas para estimar materia seca luego de ser secadas en estufa a 60 °C. El %N planta se determinó por el método Kjeldhal.

2.4 Determinaciones a cosecha

2.4.1 *Materia seca total.*

Se cosechó un total de 6 m² correspondientes al centro de la parcela. De cada muestra se obtuvo una sub – muestra, la cual se secó en estufa de manera de conocer el % de humedad de la muestra.

2.4.2 *Rendimiento en grano*

Luego de la cosecha de los 6 m², se trilló la totalidad de la muestra y se determinó el rendimiento en grano para cada tratamiento.

Es importante destacar que el ensayo tuvo un gran ataque de *fusarium* de espiga, al igual que lo sucedido en el área triguera del país, lo que distorsionó los rendimientos obtenidos.

2.4.3 *Nitrógeno en planta.*

En este caso se realizó una separación del nitrógeno contenido en grano y el nitrógeno contenido en las partes vegetativas. Para el primer caso se usó el grano cosechado y para el segundo caso fue usada una sub-muestra obtenida luego de la trilla.

2.4.4 Componentes del rendimiento

Dadas las características del año y los problemas ocasionados por *fusarium* surgió como de vital importancia la medición de componentes de rendimiento de manera de lograr detectar las diferencias entre los tratamientos.

Para tal motivo se cortaron 2 metros lineales de espigas por parcela. Con esta muestra se obtuvieron el número de espigas por metro cuadrado, el número de granos por metro cuadrado y el rendimiento “potencial” que se hubiera obtenido si no hubiesen existido problemas de *fusarium*.

Para poder estimar el número de granos por metros cuadrado, se realizó una clasificación de espigas de cada muestra según el número de espiguillas fértiles que posee (<5, 5-10, 11-15, 16-20 y >20 espiguillas fértiles por espiga). Una vez realizado esto se midió en las espigas menos afectadas por *fusarium* el número de granos por espiguilla en tres sectores de la espiga (espiguillas del ápice, centrales y basales). Para el cálculo de granos.m⁻² se consideró un total de 50% de espiguillas centrales, 25% de espiguillas apicales y 25% de espiguillas basales.

Por otro lado se cosecharon los 2 metros lineales y a partir de los granos se obtuvo el peso de mil granos.

C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis de los efectos mayores (Fuente y Dosis), se realizaron contrastes ortogonales, mientras que para evaluar el efecto de los tratamientos se realizaron análisis de varianza y la comparación de tratamientos se realizó a partir de MDS, usando 0.05 y 0.1 como niveles de significancia dependiendo de la variable. Por su parte para las regresiones se realizaron análisis de varianza de la regresión. En todos los casos fue utilizado el paquete estadístico SAS.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. DESCRIPCIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO

1. Precipitaciones

El año 2002 se caracterizó por ser un año especial en cuanto a la distribución mensual de las precipitaciones ocurridas. En la siguiente figura se presenta las precipitaciones registradas en un pluviómetro en las cercanías de la chacra en comparación con las serie histórica 1961-1990.

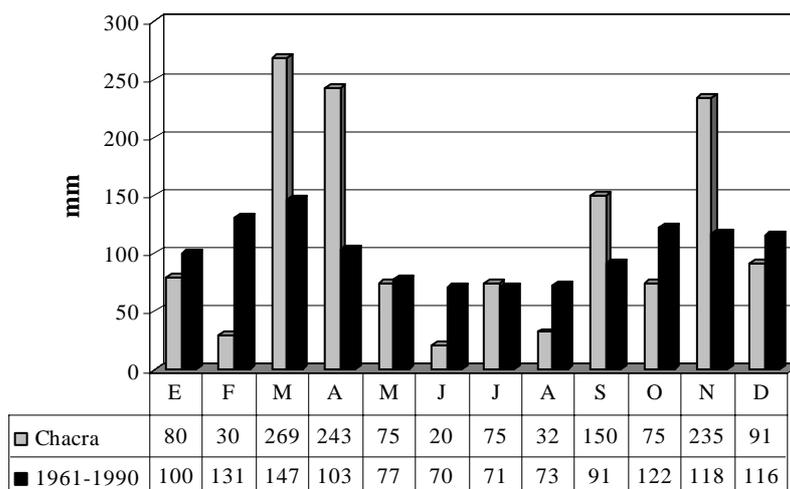


Figura 1: Precipitaciones medias mensuales para el año 2002 medidas en las cercanías de la chacra en relación a la serie histórica de Paysandú (1961-1990).

Durante la fase de barbecho se registraron lluvias muy por encima de lo normal, fueron escasas en junio y prácticamente normales en julio lo que permitió a nivel productivo sembrar sin grandes problemas.

El principal problema generado por las precipitaciones ocurre en estadios más avanzados de los cultivos, dónde en setiembre y diciembre los excesos de precipitaciones generaron problemas de pérdidas de rendimiento y calidad de grano por exceso hídrico y fusariosis de espiga, problema al que el ensayo no escapa.

En relación al problema de *fusarium*, cabe remarcar que durante Octubre, mes en que se produce la floración del trigo sucedieron 16 episodios de lluvia, los cuáles independientemente de la cuantía provocaron condiciones propicias para el desarrollo de la enfermedad.

2. Temperatura

En cuanto al régimen térmico, en los primeros meses el cultivo se desarrolló bajo condiciones de temperatura un poco por debajo de la serie histórica, esto es muy favorable si consideramos el modelo de crecimiento propuesto por Facultad de Agronomía el cuál requiere bajas tasas de crecimiento en las primeras etapas de desarrollo del cultivo.

Durante setiembre prácticamente no existió diferencia entre la media histórica y la temperatura media del mes, esto es favorable si consideramos que durante este periodo se produjo la definición de potencial.

En los meses siguiente, octubre y noviembre, las temperaturas estuvieron por encima de la media histórica, lo cual sumado al régimen de precipitaciones, acentuaron los problemas de ataques de hongos característicos del año.

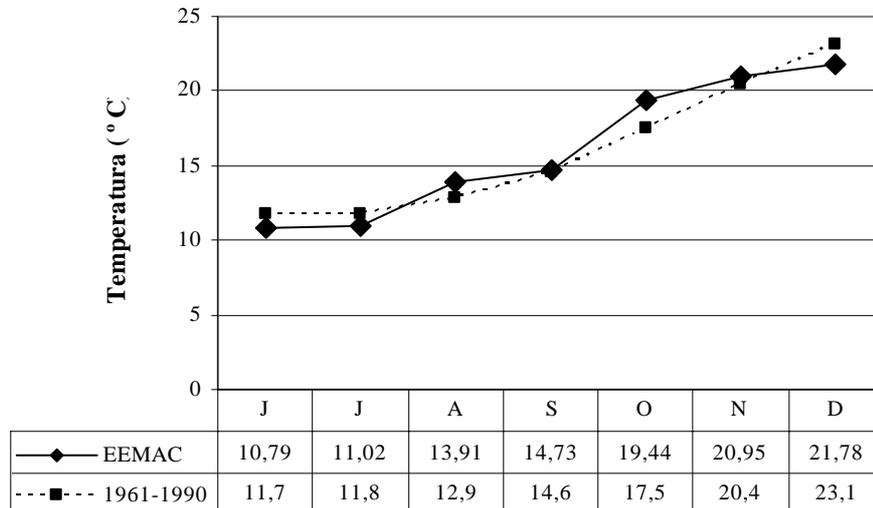


Figura 2: Comparación de temperatura media mensual entre el año 2002 (medida en la Estación Meteorológica Automática de la EEMAC) y la serie histórica 1965-1990.

En definitiva, las condiciones climáticas determinaron muy buenas condiciones para la generación de potencial de rendimiento, pero fueron totalmente negativas para la concreción final del mismo.

B. RESPUESTA AL AGREGADO DE DIFERENTES DOSIS Y FUENTES DE NITRÓGENO A Z30

1. Rendimiento en grano

El agregado de nitrógeno en Z 30 permitió conservar el potencial de rendimiento definido hasta este momento (Baetghen. 1992; Hoffman *et al.*, 1999). Los rendimientos obtenidos ($> 3500 \text{ Kg.ha}^{-1}$) determinan que desde el punto de vista del potencial se ubique en la banda 4 del modelo de Baetghen. (1992). Este potencial de rendimiento es el que determinó las necesidades de nitrógeno por parte del cultivo.

El porcentaje de N en planta en Z 30 fue de 2.8 %, para el cual según el modelo de Baetghen. (1992), se estima una respuesta al agregado de $60 \text{ Kg.ha}^{-1} \text{ N}$. Esto llevaría a que no se estaría explorando toda la respuesta al N.

Los niveles de nitrógeno medidos en suelo durante el desarrollo del cultivo hasta el estadio de Z 30 indican que el suelo prácticamente no acumula nitrógeno. A su vez el cultivo acumuló una importante cantidad de biomasa (2535 Kg.ha^{-1}) si lo comparamos con lo reportado por Cha y Durán. (2001) para cultivares y sitios semejantes. Esto determina que a pesar de haber agregado 84 Kg N.ha^{-1} como fertilizante entre siembra y Z30, el cultivo presentó una importante deficiencia en este estadio y por tanto es esperable que exista una importante respuesta en rendimiento al agregado de nitrógeno en Z30.

Cuando se agrupan los resultados de rendimiento según el efecto de la dosis agregada, se observa un mayor rendimiento a la mayor dosis (40 UN.ha^{-1}) y respuestas no significativas para las dosis menores (Cuadro 1).

En términos absolutos agregados de 40 UN.ha^{-1} determinaron una respuesta de $28 \text{ Kg grano.UN}^{-1}$ mientras que para agregados de 20 UN.ha^{-1} la respuesta fue de $21 \text{ Kg grano.UN}^{-1}$.

Por otra parte cuando se analiza el efecto de la fuente, se observa un mayor rendimiento para UAN frente al resto. Para todas las fuentes los valores de respuesta al N superan los $20 \text{ Kg grano.UN}^{-1}$ siendo UAN la fuente con mayor respuesta encontrándose en el orden de los $38 \text{ Kg grano.UN}^{-1}$.

Cuadro 1: Rendimiento, biomasa a cosecha e índice de cosecha según dosis y fuente de nitrógeno agregada.

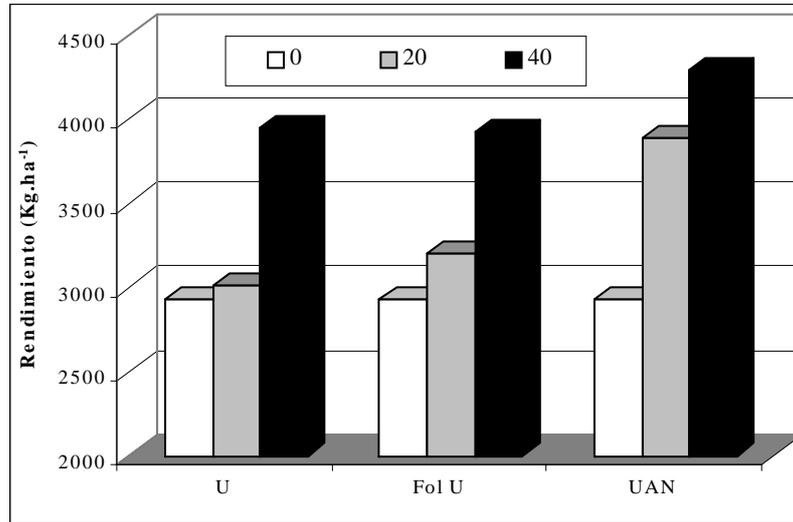
	Dosis				Fuente			
	0	20	40	Pr>F	U	Fol U	UAN	Pr> F
<i>Rendimiento (Kg.ha⁻¹)</i>	2929 b	3368 b	4055 a	**	3482 b	3564 b	4089 a	+
<i>Biomasa (Kg MS.ha⁻¹)</i>	6933 c	8286 b	9145 a	*	8560 b	8231 b	9354 a	+
<i>Índice de cosecha</i>	0,42 a	0,41 ab	0,44 a	**	0,40 b	0,43 a	0,44 a	+

Nota: Valores seguidos por la misma letra dentro de fuente y dosis no difieren entre si (+ p<0.1; *p<0.05; ** p<0.01).

Cuando se analizan las variables directamente relacionadas al rendimiento como lo son la biomasa acumulada a cosecha y el índice de partición, se observa que la dosis mayor y la fuente UAN lograron mayores rendimientos a través de una mayor

acumulación biomasa. De todas maneras la acumulación de biomasa a cosecha no alcanza a la reportadas por Hoffman *et al.* (2000) para el mismo cultivar (17941 Kg MS.ha⁻¹), hecho que puede estar explicado por el efecto año y las deficiencias de N que no fueron cubiertas por la fertilización.

En la figura 3, se presenta el efecto de la interacción fuente x dosis sobre el rendimiento en grano.



Fuente			
Dosis	U	Fol U	UAN
UN.ha ⁻¹	Kg.ha ⁻¹		
0	2929 c		
20	3014 c	3206 bc	3885 ab
40	3950 ab	3923 ab	4294 a

Figura 3: Rendimiento en Kg.ha⁻¹ en función de la dosis y la fuente de N agregada (p<0.05)

Es claro el efecto interacción entre fuente y dosis para el caso de la fuente UAN. Con esta fuente se logra el mismo rendimiento con la dosis de 20 UN.ha⁻¹ que para el resto de las fuentes con la dosis de 40 UN.ha⁻¹.

Si consideramos la situación de deficiencia en la que se encontraba el cultivo, no sería esperable una respuesta de esa magnitud en rendimiento con sólo 20 UN.ha⁻¹ si tenemos en cuenta lo recomendado por el modelo de Baetghen. (1992).

Cuando observamos el comportamiento al agregado de urea, se confirma lo pronosticado por el modelo de Baetghen. (1992), para 20 UN.ha⁻¹, la urea es la fuente que presenta el peor comportamiento, a tal punto que no se diferencia del testigo sin fertilizar.

Al analizar la interacción fuente x dosis para la biomasa acumulada (Cuadro 2), se confirma lo observado para los efectos mayores respecto a que la acumulación de biomasa acompaña los rendimientos (R²=0.85).

Cuadro 2. Biomasa acumulada a cosecha e índice de cosecha en función de la dosis y la fuente agregada.

UN.ha ⁻¹	Dosis			Fuente		
	U	Fol U	UAN	U	Fol U	UAN
	Biomasa (Kg MS.ha ⁻¹)			IC		
0		6933 c			0,42 ab	
20	8000 bc	7734 bc	9124 ab	0,37 b	0,42 ab	0,43 a
40	9121 ab	8729 ab	9584 a	0,43 a	0,45 a	0,45 a

Nota: Valores seguidos por la misma letra no difieren entre (p<0.05)

Nuevamente se plantea la interrogante de cómo la fuente UAN a 20 UN.ha⁻¹, logra acumular la misma cantidad de biomasa que el resto de las fuentes a 40 UN.ha⁻¹ cuando consideramos las deficiencias existentes.

Cuando se analiza la producción de biomasa por unidad de N agregado se observa que para todas las fuentes y dosis la relación estuvo entre 40 y 66 Kg MS.UN⁻¹, mientras que para UAN₂₀, la relación fue de 109 Kg MS.UN⁻¹ con lo cual esta fuente puede ser interesante en sistemas ganaderos que quieran maximizar la producción de forraje.

En cuanto al índice de cosecha, no se generaron diferencias importantes producto de la fertilización es este estadio. Sin embargo el agregado de 20 UN.ha⁻¹ de Urea presentó el menor índice, lo cual determina que además de acumular menos biomasa menor cantidad pasa a grano. Esto es producto del agregado de N muy por debajo de las necesidades del cultivo lo cual provocó una respuesta inicial que no pudo ser mantenida a lo largo del tiempo (Barbe *et al.*, 1989).

2. Componentes del rendimiento.

Hasta este momento el mayor rendimiento se generó asociado a una mayor acumulación de biomasa a cosecha. Producto de las deficiencias existentes la mayor dosis logró los mejores resultados y en especial cuando la fuente utilizada fue UAN. Aun resta por explicar porque UAN₂₀ logró los mismos resultados que la fuente tradicional a 40 UN.ha⁻¹ aún en presencia de las severas deficiencias.

En el cuadro siguiente se presentan los componentes del rendimiento.

Cuadro 3. Componentes del rendimiento según dosis y fuente agregada.

	Dosis				Fuente			
	0	20	40	Pr > F	U	Fol U	UAN	Pr > F
Rendimiento (Kg.ha ⁻¹)	2929 b	3368 b	4055 a	**	3482 b	3564 b	4089 a	+
N° granos.m ⁻²	8827 b	10144 b	12513 a	*	10417 b	11016 b	12552 a	*
Peso grano (mg)	33	33	32	ns	33	32	33	ns
Espigas.m ⁻²	393 b	433 b	503 a	*	429 b	465 b	511 a	*
Granos.espiga ⁻¹	22	23	25	ns	24	24	25	ns
Espiguillas.Esp ⁻¹	14	14	15	ns	14	14	15	ns
Granos.espiguilla ⁻¹	1,6	1,7	1,7	ns	1,7	1,7	1,7	ns

Nota: Valores seguidos por la misma letra dentro de fuente y dosis no difieren entre sí. (+ p<0.1; * p<0.05; ** p<0.01).

Puede observarse que el componente que explicó la variación en rendimiento son los granos.m⁻² (0.98). Este componente estuvo directamente relacionados con el número de espigas.m⁻² (R²= 0.87), lo cual es característico de este tipo de cultivares de ciclo largo, los cuáles construyen su rendimiento a través de un mayor número de espigas.m⁻² (Hoffman *et al.*, 2001)

Estos resultados coinciden con lo reportado por Sarandón y Gianibelli. (1990), los cuáles encuentran que agregados de nitrógeno en este estadio aumentan el rendimiento mediante un incremento de los granos.m⁻² y estos están determinados por incrementos en el número de espigas.m⁻².

Como resumen de los efectos mayores, la dosis de 40 UN.ha⁻¹ logró concretar un rendimiento superior como producto de una mayor cantidad de espigas a cosecha. Esto se tradujo en un mayor número de granos.m⁻², no existiendo diferencias en el peso de los mismos entre las diferentes dosis. El mismo comportamiento es observado para la fuente UAN cuando se la compara con el resto de las fuentes.

Por otra parte es importante notar que no existen diferencias significativas para el efecto mayor de la dosis y la fuente de N, entre los componentes del rendimiento que modifican el rendimiento por espiga, como lo son las espiguillas por espiga, los granos por espiguilla y el peso de grano. Esto coincide con lo reportado por Hoffman *et al.* (2001), y Sarandón y Gianibelli. (1990), los cuáles determinan que un mayor número de espigas a cosecha es la forma de lograr mayores rendimientos para este tipo de cultivares ya que el rendimiento de cada espiga se mantiene constante.

Cuando se analizan los componentes del rendimiento para la interacción entre la dosis y fuente, puede observarse diferencias que no se detectaban como efecto mayor (Cuadro 4).

Cuadro 4. N° granos por metro cuadrado y peso de grano según dosis y fuente de nitrógeno agregado.

	U	Fol U	UAN	U	Fol U	UAN
<i>UN.ha⁻¹</i>	<i>N° Granos.m⁻²</i>			<i>Peso Grano (mg)</i>		
0		8827 c			33,33 ab	
20	8681 c	9980 bc	11772 ab	34,33 a	32,33 ab	33 ab
40	12153 ab	12053 ab	13332 a	32,66 ab	32,33 ab	32 b

Nota: Valores seguidos por la misma letra no difieren entre sí (PMG: p<0.1; N° granos.m⁻²: p<0.05).

Puede verse, que los granos.m⁻², explican la mayor parte de la interacción encontrada anteriormente (Figura 3).

En el cuadro 5, se puede observar para la interacción la variación en el número de espigas.m⁻² y los granos.espiga⁻¹.

Cuadro 5. Número de espigas y granos por metro cuadrado según dosis y fuente de nitrógeno agregado.

	U	Fol U	UAN	U	Fol U	UAN
<i>UN.ha⁻¹</i>	<i>Espigas.m⁻²</i>			<i>Granos.espiga⁻¹</i>		
0		393 <i>c</i>			22 <i>ab</i>	
20	387 <i>c</i>	419 <i>bc</i>	494 <i>a</i>	22 <i>b</i>	24 <i>ab</i>	24 <i>ab</i>
40	470 <i>ab</i>	511 <i>a</i>	528 <i>a</i>	26 <i>a</i>	24 <i>ab</i>	25 <i>ab</i>

Nota: Valores seguidos por la misma letra no difieren entre sí ($p < 0.05$).

El número de espigas.m⁻², a las mayores dosis de todas las fuentes y UAN₂₀ presenta el mayor número. Esta situación repite lo observado para rendimiento y número de granos.

Otro hecho a destacar es que no existen diferencias estadísticas en el rendimiento de las espigas (granos.espiga⁻¹), a pesar de la existencia de diferencias en el número total. Esta situación se da como característica de este tipo de cultivares (Hoffman *et al.*, 2001). Es posible que las severas deficiencias a la que se enfrentaron los tratamientos que concretaron un menor número de espigas restringieron cualquier posibilidad de compensación (Slafer *et al.*, 2003).

Además de no existir diferencias en el rendimiento por espiga, tampoco existieron diferencias significativas en los componentes del rendimiento por espiga, como son las espiguilla.espiga⁻¹ y los granos.espiguilla⁻¹ (Cuadro 6).

Cuadro 6. Espiguilla por espiga según dosis y fuente de nitrógeno agregado.

	Fuente		
	U	Fol U	UAN
<i>UN/ha</i>	<i>Espiguilla/espiga</i>		
0		13,95 <i>ab</i>	
20	13,15 <i>b</i>	14,45 <i>ab</i>	14,32 <i>ab</i>
40	15,41 <i>a</i>	14,02 <i>ab</i>	14,7 <i>ab</i>

Nota: Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si. ($p < 0.05$).

Por otra parte es interesante poder analizar si existieron diferencias en las frecuencias de tamaños de espiga. Cuando se realiza este análisis como efecto mayor de la dosis y la fuente, agrupando las espigas acuerdo al número de espiguillas por espiga (figura 4), se encuentra que para el efecto mayor de la dosis existen diferencia a favor de las dosis mayores. Aumenta la frecuencia de espigas de la clase entre 16 y 20 espiguillas.espiga⁻¹ en desmedro de la clase anterior, mientras que el resto de las clases se mantienen sin cambio. Por su parte no se encuentran diferencias para la fuente de N agregada.

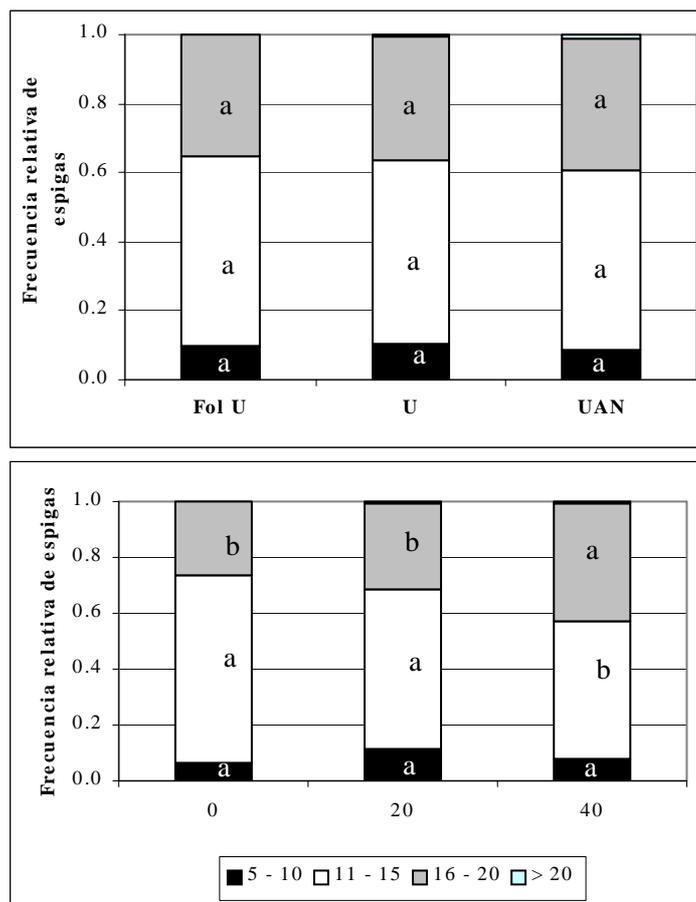


Figura 4: Frecuencia relativa de espigas agrupadas según estratos de n° de espiguillas por espiga para las dosis y fuentes de N agregada ($p < 0.05$).

Como resumen de este capítulo, se puede decir que las variaciones de rendimiento estuvieron asociadas al número de granos. m^{-2} a cosecha. Las diferencias en los granos. m^{-2} a cosecha estuvieron influenciadas directamente por las espigas y no existieron diferencias en el resto de los componentes del rendimiento. Estas relaciones serán analizadas en profundidad en el próximo capítulo.

3. Relaciones entre los componentes de rendimiento.

El principal determinante del rendimiento en trigo, son los granos cosechados por metro cuadrado (Slafer *et al.*, 2003) cuando se encuentran por debajo de 15-16000 granos. m^{-2} (Fischer, 1994). Esto se puede apreciar claramente en la figura 5. La relación existente para la situación del ensayo es muy estrecha ($R^2=0.98$). Esto se da debido a que las diferencias en peso de grano, no fueron relevantes con lo cual el número de granos es la principal determinante de las diferencias en rendimiento.

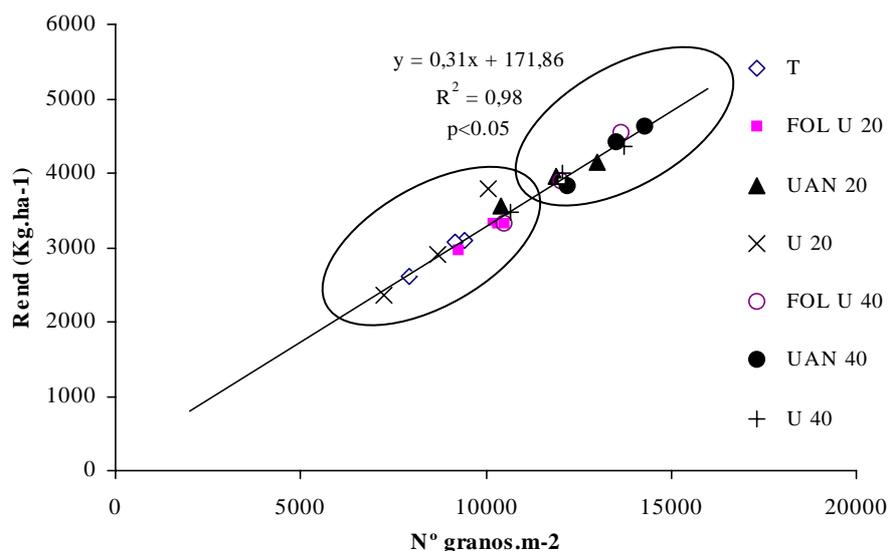


Figura 5. Relación entre el número de granos.m⁻² y el rendimiento.

En esta figura se puede observar claramente lo comentado en el capítulo anterior, respecto a que las dosis mayores de todas las fuentes y el tratamiento UAN₂₀, presentan los mayores rendimientos. En general las combinaciones mencionadas anteriormente se encuentran siempre por encima de 10.000 granos.m⁻², mientras que el resto de las fuentes a 20 UN.ha⁻¹ y el testigo, siempre se encuentran por debajo de este número de granos.

Existe información que reporta aumentos de rendimiento en grano a partir de una mayor partición de la biomasa acumulada (Ernst *et al.* 1993). En este caso no existieron diferencias en el IC y los aumentos de rendimientos estuvieron acompañados de aumentos en la biomasa acumulada a cosecha (Figura 6). Esto está explicado por la situación de deficiencia a la que se estuvo sometido el cultivo lo cual no le habría permitido expresar todo su potencial de producción. El tratamiento que acumuló máxima biomasa, logró 9584 Kg MS.ha⁻¹, valor que se encuentra muy por debajo de lo reportado por Hoffman *et al.*, 2001 el cuál se encuentra alrededor de 17000 Kg MS.ha⁻¹.

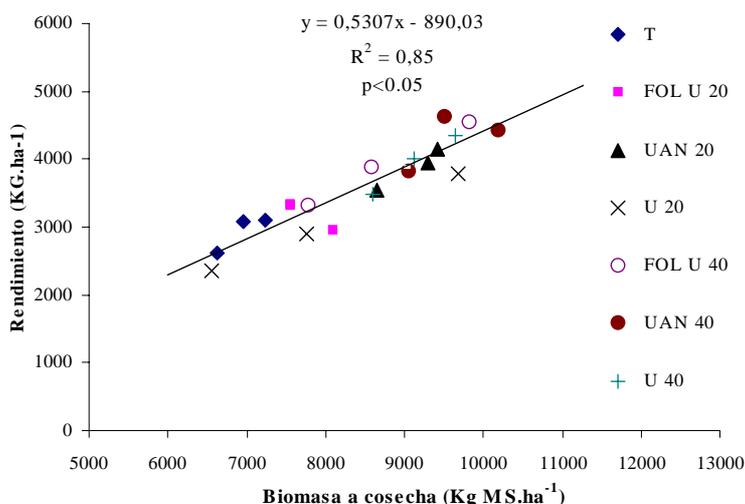


Figura 6. Relación entre biomasa a cosecha (Kg MS.ha⁻¹) y rendimiento (Kg.ha⁻¹)

Existe una significativa relación entre la biomasa acumulada y las espigas.m⁻² ($R^2=0.67$). Por su parte como fue comentado anteriormente el aumento de número de espigas tiene estrecha relación ($R^2=0.87$), con el número de granos.m⁻², principal determinante del rendimiento final.

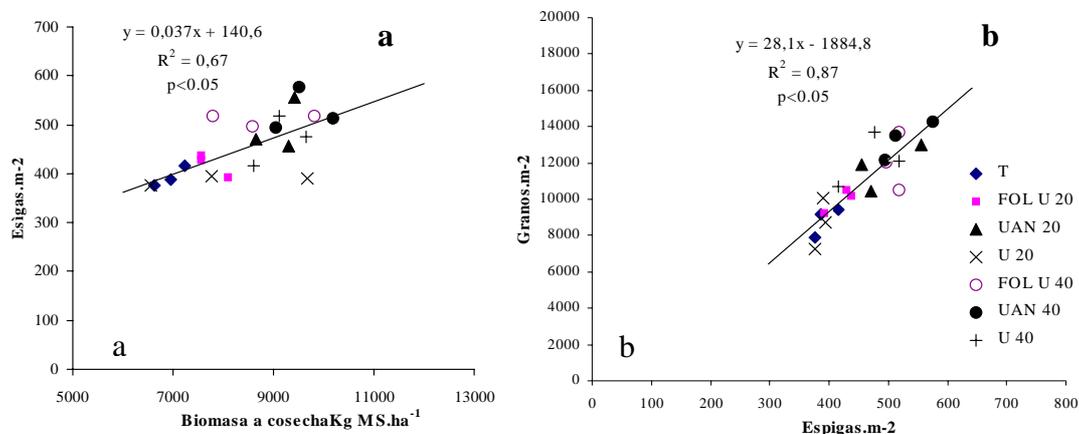


Figura 7. Relación entre: a) Biomasa a cosecha y espigas.m⁻²; b) Espigas.m⁻² y Granos.m⁻².

Abbate *et al.* (1997), trabajando con diferentes variedades de trigo, determinaron que aumentos en el número de granos por metro cuadrado estaban directamente relacionados con el *factor de fertilidad* (granos.gr de espiga sin grano⁻¹). En este ensayo se puede observar la misma tendencia cuando se comparan los resultados de los diferentes tratamientos, pero con una relación menos estrecha ($R^2=0.31$).

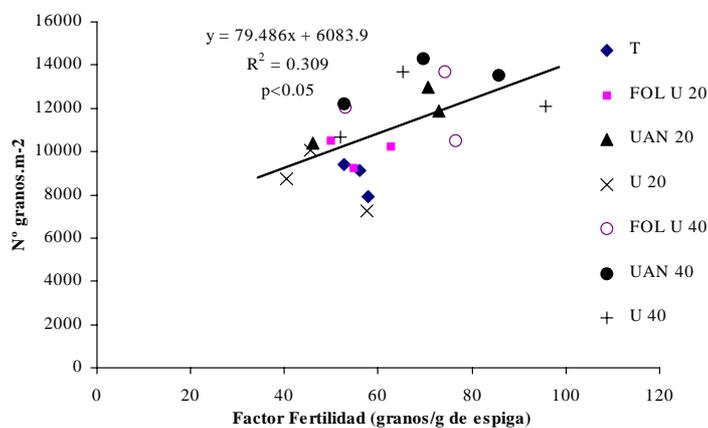


Figura 8. Relación entre Factor de Fertilidad (granos / g de espiga) y N° de granos.m⁻².

El autor menciona que un aumento en el factor de fertilidad de espigas, podría deberse a una distribución del peso seco de la espiga más favorable para la producción de granos y esto podría deberse a una mayor sincronía en el desarrollo floral.

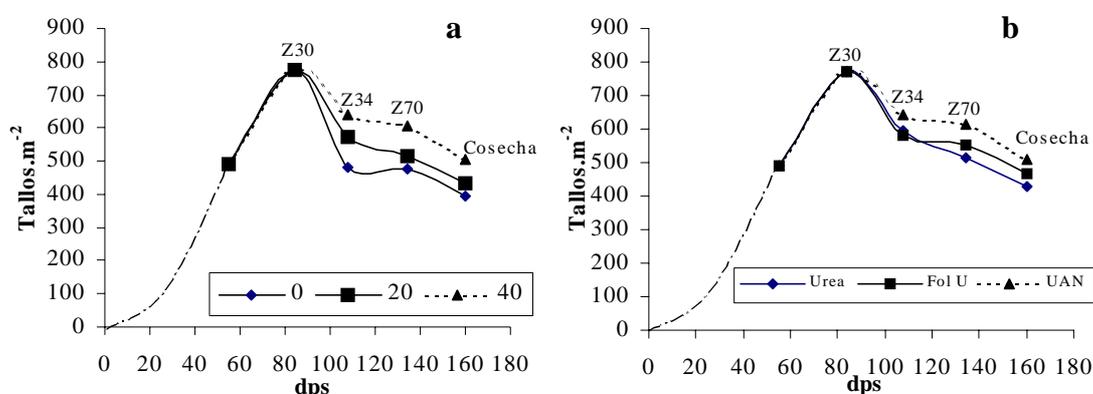
En este caso si bien existe relación entre el factor de fertilidad y el número de granos, hay ausencia de efecto de tratamiento.

Por ultimo es importante destacar que fueron estudiadas otras variables (índice de partición de espigas, materia seca de espiga), pero ninguna estuvo afectada por los tratamientos o relacionada con la variación antes analizada.

4. Generación de espigas.

El número de espigas final es el resultado de un proceso de formación de tallos y su posterior supervivencia durante el periodo de encañado. La supervivencia de los tallos además de depender en gran medida de la fecha de siembra y la población, esta determinada por el estado nutricional del cultivo, en especial el nitrógeno (Hoffman *et al.*, s/p).

En la figura 9, se puede observar la evolución de los tallos en función de los tratamientos de fuente y dosis.



DPS	Estadio	Dosis			Pr >F	Fuente			Pr >F
		0	20	40		Urea	Fol U	UAN	
55	Z 22	490	490	490	-	490	490	490	-
84	Z 30	773	773	773	-	773	773	773	-
108	Z 34	479 c	571 b	641 a	*	595 a	582 ab	641 a	+
134	Z 70	475 b	513 b	606 a	**	513 b	553 b	614 a	+
160	Cosecha	393 b	433 b	503 a	**	429 c	465 b	511 a	+

Figura 9: Evolución del número de tallos según fuente(a) y dosis (b) de nitrógeno agregado.

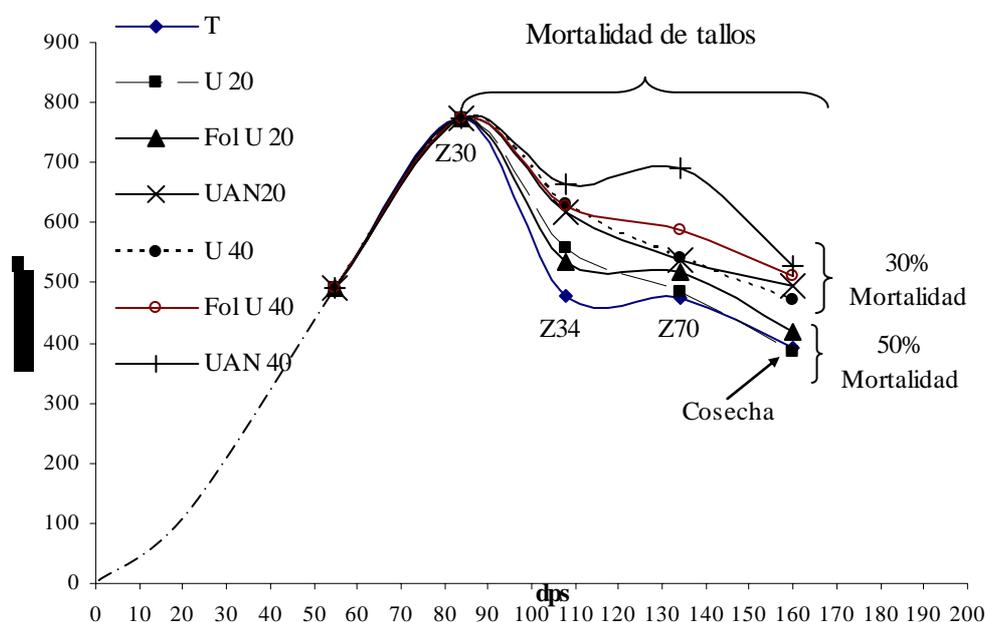
En primer lugar hay que destacar el bajo número de macollos al estadio de Z30, en relación a lo reportado por Hoffman *et al.* (2001), para este mismo cultivar en ensayos de caracterización de cultivares en el cual llega a 1404 macollos.m⁻² en la zafra 2000.

Teniendo en cuenta la situación de deficiencia a Z 30 a la que estaba sometido el cultivo, el efecto de los tratamientos comienza a evidenciarse al poco tiempo de iniciados.

A medida que avanzamos en el ciclo del cultivo la dosis de 20 UN.ha⁻¹ que en principio presentaba más tallos que el testigo (Z34), no logra cubrir totalmente las deficiencias, aumentando la tasa de mortalidad de tallos y finalizando con igual número de espigas.m⁻² que el testigo.

Cuando analizamos el efecto mayor de la fuente utilizada, las diferencias significativas comienzan a darse a partir de Z 70, estadio a partir del cual se diferencia claramente la fuente UAN de las otras fuentes con un mayor número de tallos, lo cual se concreta en un mayor número de espigas a cosecha.

En la siguiente figura se observan las interacciones fuentes por dosis.



DPS	0 UN.ha ⁻¹			20 UN.ha ⁻¹			40 UN.ha ⁻¹	
	T	U	Fol U	UAN	U	Fol U	UAN	
55 (Z22)								490
84 (Z 30)								773
108 (Z 34)	479 d	558 bcd	535 dc	619 bc	632 ab	628 ab	663 a	
134 (Z 70)	475 c	486 c	518 bc	537 bc	540 bc	588 b	691 a	
160 (Cosecha)	393 c	387 c	419 bc	494 a	470 ab	511 a	528 a	

Figura 10: Evolución del número de tallos según fuente y dosis de nitrógeno agregado.

Claramente puede verse, las diferencias en la evolución de la mortalidad de tallos según fuente y dosis.

La fuente UAN a razón de 40 UN.ha⁻¹, se mantiene siempre con un mayor número de tallos en términos absolutos, y la misma fuente a 20 UN.ha⁻¹ a pesar de no mantener todo el período un alto número de tallos en relación a la dosis anterior, evita una alta tasa de mortalidad de tallos finaliza con el mismo número de tallos (espigas) que los tratamientos con la máxima dosis.

En contraposición, Urea y Foliar U a con 20 UN.ha⁻¹, no logran cubrir las necesidades nutricionales del cultivo y por ende aumenta la tasa de mortalidad de tallos, en especial durante el período de llenado de granos.

En definitiva como fuese anteriormente discutido, los tratamientos lograron diferentes números de espigas a cosecha, lo cual se tradujo en diferencias en

rendimiento, como resultados de modificaciones en la fertilidad de los tallos generados a Z30 (Cuadro 7).

Cuadro 7: Fertilidad de tallos según fuente y dosis agregada

	Dosis				Fuente			
	0	20	40	Pr > F	U	Fol U	UAN	Pr > F
<i>N° max. Tallos(Z 3.0)</i>		773				773		
<i>Espigas.m⁻²</i>	393 b	433 b	503 a	*	429 b	465 b	511 a	*
<i>Fert. Tallos (%)</i>	51 c	56 b	65 a	+	55 c	60 b	66 a	+

Nota: Valores seguidos por la misma letra dentro de fuente y dosis no difieren entre si (* p<0.05; + p<0.1).

Cuando se analiza esta misma variable como resultado de la combinación de la fuente y la dosis, se puede apreciar nuevamente que los mayores valores están asociados a las mayores dosis, además la fuente UAN₂₀ genera los mismos resultados que la dosis máxima. Por otra parte para esta variable nuevamente se observa que la Urea₂₀ se comporta igual que el testigo sin agregado de nitrógeno (Cuadro 8), hecho que sigue mostrando que para las deficiencias de N existente (2.8% N planta a Z30), 20 UN.ha⁻¹ de urea granulada o foliar no logra levantar las limitantes nitrogenadas del ambiente.

Cuadro 8. Fertilidad de tallos en función de la combinación de fuente y dosis agregada.

Dosis UN/ha	Fuente		
	FOL U	U	UAN
	Fert tallos %		
0		51 c	
20	54 bc	50 c	64 a
40	66 a	61 ab	68 a

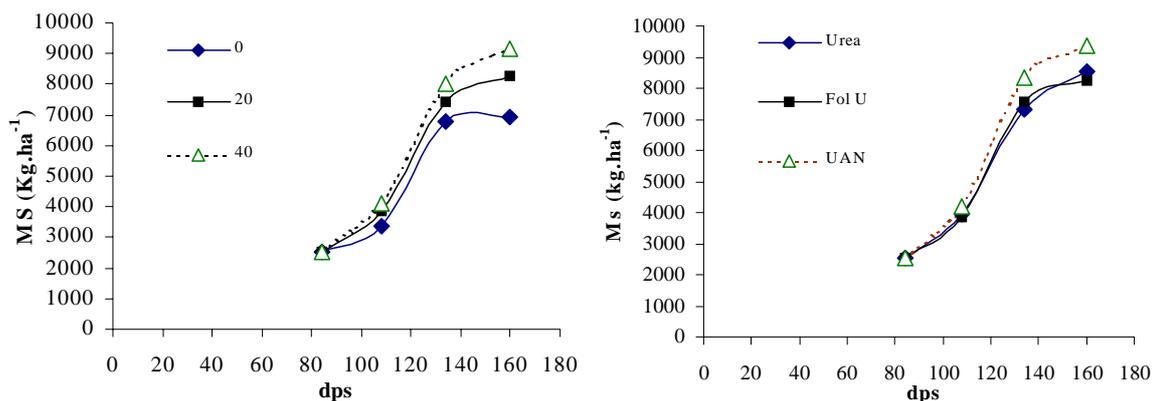
Nota: Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si p<0.05.

Mayor cantidad de nitrógeno o una fuente como el UAN determinó menor tasa de mortalidad de macollos desde Z30 y por lo tanto mejoró de la fertilidad final de tallos.

5. Evolución de la biomasa.

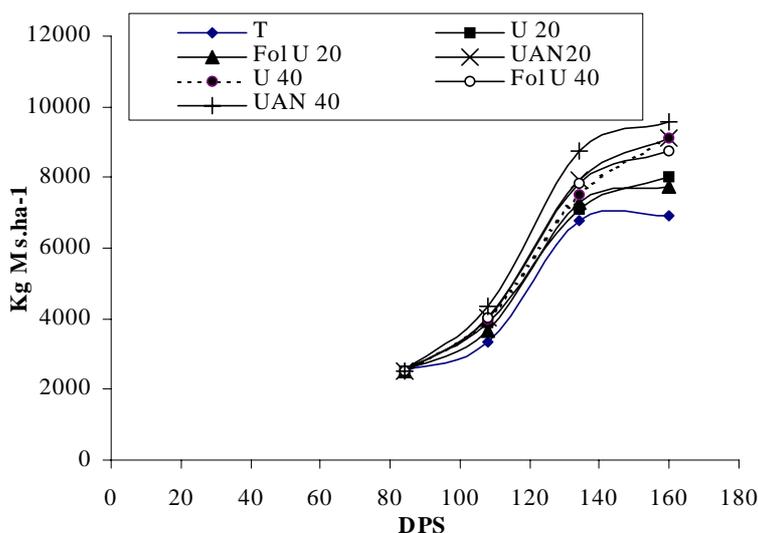
Como fuese analizado anteriormente las diferencias en rendimiento estaban explicadas por la cantidad de biomasa acumulada a cosecha. Por tal motivo resulta de especial interés conocer en que momento se generaron las diferencias.

En la figura 11 se muestra la evolución de la materia seca en función del efecto mayor de la dosis y la fuente agregada. Para el efecto dosis, las diferencias no son tan claras, y en general se observa una mayor producción con N en relación al testigo sin N. Por su parte es claro el efecto de la fuente UAN frente a las otras fuentes, lo cual se expresa al poco tiempo de agregado.



DPS	Estadio	Dosis			Pr > F	Fuente			Pr > F
		0	20	40		Urea	Fol U	UAN	
		Kg MS.ha ⁻¹			Kg MS.ha ⁻¹				
0	Siembra		0			0			
84	Z 3.0		2535			2535			
108	Z 3.4	3351 b	3865 a	4123 a	*	3956 ab	3842 b	4184 a	+
134	Z 7.0	6789 b	7433 ab	8023 a	*	7298 b	7553 b	8333 a	+
160	Cosecha	6933 b	8286 ab	9145 a	*	8560 b	8231 b	9354 a	+

Figura 11. Evolución de la materia seca en función de la dosis (a) y fuente (b) de nitrógeno agregado.



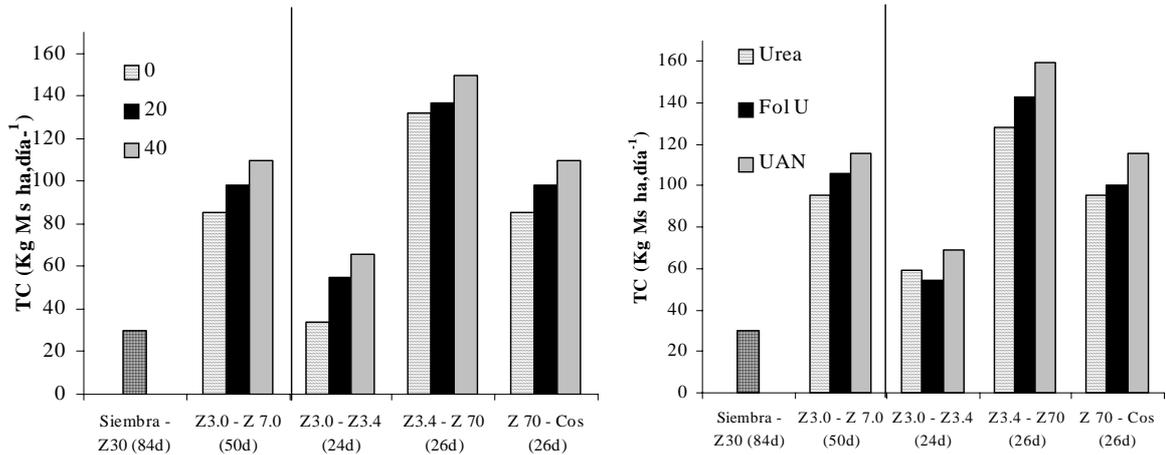
DPS	Estadio	0 UN.ha ⁻¹				20 UN.ha ⁻¹		40 UN.ha ⁻¹	
		T	U	Fol U	UAN	U	Fol U	UAN	
		Kg MS.ha ⁻¹							
0	Siembra								0
84	Z 3.0					2535			
108	Z 3.4	3351 c	3912 abc	3667 bc	4018 ab	4000 ab	4018 ab	4351 a	
134	Z 7.0	6789 b	7105 b	7281 b	7912 ab	7491 ab	7825 ab	8754 a	
160	Cosecha	6933 c	8000 bc	7734 bc	9124 ab	9121 ab	8729 ab	9584 a	

Figura 12. Evolución de la materia seca a partir de la siembra en función de las combinaciones de fuentes y dosis de nitrógeno agregadas ($p < 0.05$).

Cuando se realiza el mismo análisis pero teniendo en cuenta las interacciones entre fuentes y dosis (figura 12), se observa que las diferencias importantes se concretan

a Z70. En general se puede conformar un grupo de mayor acumulación de biomasa durante la mayor parte del periodo, que está formado por todas las fuentes a 40 UN.ha⁻¹ más UAN a 20 UN.ha⁻¹ y otro de menor acumulación que comprende el resto de los tratamientos.

En definitiva las diferencias encontradas deben responder a tasas de crecimiento diferenciales, producto del efecto de la fuente y dosis de N agregada (figura 13).



	S-Z30 (30d)	Z30-Z70 (50d)	Z30-Z34 (24d)	Z34-Z70 (26d)	Z70-Cos (26d)
	<i>Kg MS.ha.día⁻¹</i>				
0		85 <i>b</i>	34 <i>b</i>	132	51
20	30	98 <i>ab</i>	55 <i>a</i>	137	55
40		110 <i>a</i>	66 <i>a</i>	150	60
Pr > F		*	*	ns	ns
Urea		95 <i>b</i>	59 <i>b</i>	129	54
Fol U	30	106 <i>b</i>	54 <i>b</i>	143	56
UAN		116 <i>a</i>	69 <i>ab</i>	160	52
Pr > F		+	+	ns	ns

Figura 13: Tasa de crecimiento según dosis (a) y fuente (b) de nitrógeno agregado (+ p<0.1; *p<0.05).

En primer lugar hay que destacar las bajas tasas de crecimiento que presentó el cultivo en la mayoría de sus etapas. Esto posiblemente esté relacionado con la deficiencia de nitrógeno a la que se enfrentó el cultivo.

Durante el periodo siembra-Z30, no existen demasiadas diferencias con los valores encontrados en la bibliografía nacional e internacional. Si tomamos como ejemplo lo reportado por Cha y Durán. (2001), los cuáles encuentran valores de 25 Kg MS.ha⁻¹.día⁻¹, mientras que para este mismo período los valores alcanzados en este ensayo se encuentran por encima (30 Kg MS.ha⁻¹.día⁻¹), lo que le permitió acumular una importante cantidad de materia seca hasta Z30 (2535 Kg MS.ha⁻¹.día⁻¹), posiblemente como consecuencia del manejo del N a siembra y Z22.

Por su parte, para el periodo siguiente (Z 30-34) las tasas de crecimiento encontradas presentan diferencias con las encontradas por Cha y Durán. (2001). Mientras que el promedio de las dosis máxima para este periodo es de 66 Kg MS.ha⁻¹.día⁻¹, la encontrada por estos autores para un periodo similar es de 104 Kg MS.ha⁻¹.día⁻¹.

¹, lo cual podría ser el producto de las deficiencias de N no cubiertas a partir del estadio de Z30 (dosis de N inferior al propuesto por Baetghen. 1992).

A pesar de las bajas tasas de crecimiento, durante este periodo fue el único en el cual se encontraron diferencias significativas y fueron a favor del agregado de N y la fuente UAN.

Para los períodos siguientes, no se detectan diferencias significativas, lo cual está determinado por el elevado coeficiente de variación existente. Este tiene un valor de 26 % para el período Z3.4 – Z70 y un valor de 105% para el período Z 70 – cosecha.

En definitiva cuando se realiza el análisis del período desde el que se aplican los tratamientos (Z30) hasta Z70, se detecta un efecto del agregado de nitrógeno independientemente de la dosis y un efecto más claro de la fuente usada, siendo UAN la de mejor comportamiento.

Por su parte cuando se analizan las tasas de crecimiento como producto de la interacción entre la fuente y la dosis de N, en el periodo Z30 – Z70 existen muy pocas diferencias significativas. Esto es esperable ya que pequeñas diferencias diarias no llegan a tener valores estadísticamente diferentes pero en la suma de todo el periodo son las determinantes de las diferencia existentes en la acumulación de materia seca por efecto multiplicativo.

Cuadro 9. Tasa de crecimiento para la interacción fuente por dosis de nitrógeno agregada a Z30.

	0 UN.ha ⁻¹		20 UN.ha ⁻¹		40 UN.ha ⁻¹		
	T	U	Fol U	UAN	U	Fol U	UAN
	Kg MS.ha.día ⁻¹						
Siembra - Z30	30						
Z30 - 70 *	85 <i>b</i>	91 <i>b</i>	95 <i>b</i>	108 <i>ab</i>	99 <i>ab</i>	106 <i>ab</i>	124 <i>a</i>
Z30 - 34 *	34 <i>c</i>	57 <i>abc</i>	47 <i>bc</i>	62 <i>ab</i>	61 <i>ab</i>	62 <i>ab</i>	76 <i>a</i>
Z34 - 70 +	132 <i>a</i>	123 <i>a</i>	139 <i>a</i>	150 <i>a</i>	134 <i>a</i>	146 <i>a</i>	169 <i>a</i>
Z70 - Cosecha +	6 <i>b</i>	34 <i>ab</i>	17 <i>ab</i>	47 <i>ab</i>	63 <i>a</i>	35 <i>ab</i>	32 <i>ab</i>

Nota: Valores seguidos por la misma letra dentro de cada período no difieren entre si (* p<0.05; +p<0.1).

Es clara la tendencia respecto a que mayores dosis y UAN₂₀ lograron mantener las mayores tasas de crecimiento durante todo el período.

El periodo Z30-34 es el principal determinante de una mayor acumulación de materia seca final, ya que las fuentes y dosis que acumulan más biomasa a cosecha, presentan las mayores tasas de acumulación durante este período. Las diferencias pueden estar determinadas por una disponibilidad instantánea de nitrógeno mayor para la planta. Esto será analizado más en detalle cuando se discuta la absorción de N.

Es importante notar que no existen pérdidas de materia seca a cosecha, como fuera reportados por muchos autores (Cha y Durán, 2001; Hoffman, Ernst y Perdomo, 2002). Esto es un indicador de que el cultivo tuvo limitantes en la acumulación de materia seca pre anthesis, posiblemente causado por las deficiencias de N.

Fue analizada la relación existente entre la tasa de crecimiento del cultivo y la fertilidad de tallos, pero producto de poca la asociación entre ambas variables ($R^2=0.2$), la tasa de crecimiento no permite explicar diferencias en la fertilidad de tallos.

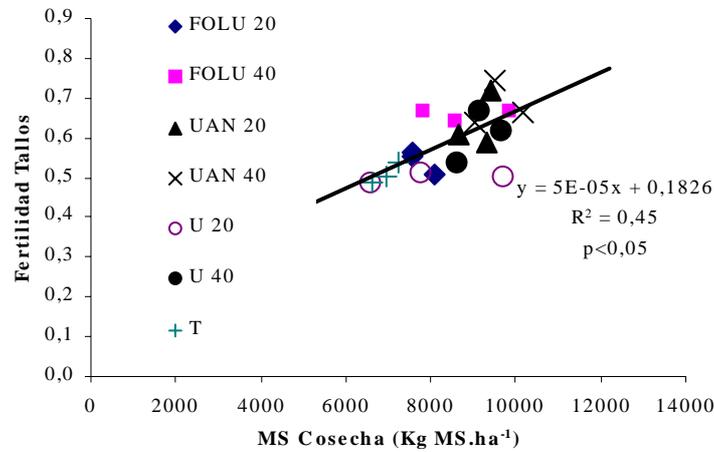


Figura 14. Relación entre MS a cosecha y fertilidad de tallos.

Por otra parte fue analizada la relación entre la materia seca acumulada a cosecha y la fertilidad de tallos. A pesar de que la asociación no es lo suficientemente fuerte ($R^2=0.45$) como para explicar por si misma la variación, marca una tendencia ya que los mayores valores de fertilidad están asociados a mayores acumulaciones de biomasa y estas mayores acumulaciones se lograron como fue analizado anteriormente con las mayores dosis de todas las fuentes y UAN₂₀ (Figura 14).

6. Dinámica de nitrógeno

6.1 Evolución de nitratos en suelo

La evolución que tuvieron los nitratos a lo largo del ciclo del cultivo confirma lo mencionado acerca de los bajos niveles de nitrógeno existentes en suelo, en especial durante los primeros estadios de crecimiento, ya que a partir de Z30 es esperable la baja concentración de N-NO₃ en suelo (Hoffman *et al.*, 1999; Perdomo y Bordoli. 1999).

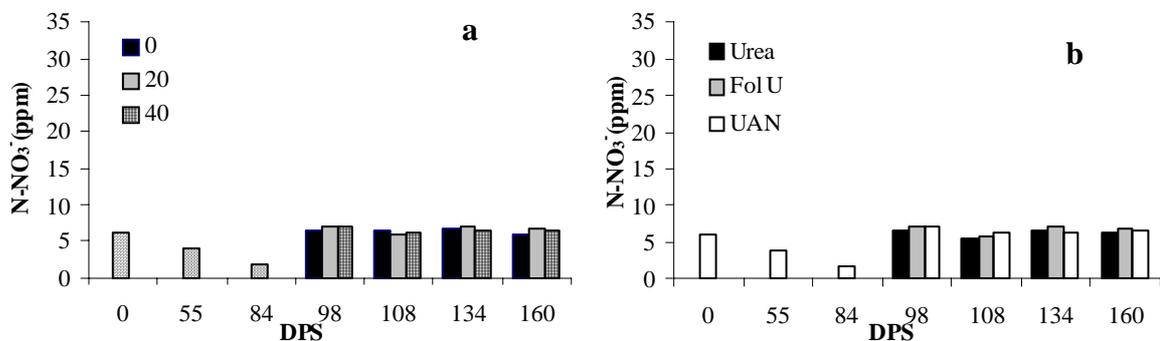


Figura 15. Evolución del contenido de nitratos según dosis (a) y fuente (b) agregada.

No existen diferencias significativas entre las dosis y fuentes agregadas para el contenido de nitratos en suelo. Todos los tratamientos siguen la misma evolución que el testigo.

6.2 Contenido nitrógeno total a cosecha

Cuando se analiza el contenido de N total a cosecha, los niveles encontrados para los tratamientos con agregado de N, no difieren demasiado de los reportados por otros autores (Cha y Durán, 2001; Hoffman *et al.*, 2001).

Analizando los efectos mayores, se puede observar aumentos del contenido de nitrógeno con el agregado, independientemente de la dosis mientras que la fuente, UAN logra mayor acumulación de N (Cuadro 10).

Cuadro 10. Nitrógeno Total, % de nitrógeno y biomasa a cosecha según fuente y dosis de nitrógeno agregado.

	Dosis			Pr>F	Fuentes			
	0	20	40		Fol U	Urea	UAN	Pr>F
N Cosecha (Kg.ha⁻¹)	76 b	99 a	114 a	+	100 b	101 b	120 a	+
% N cosecha en planta	1,1	1,2	1,3	ns	1,2	1,2	1,3	ns
Biomasa (Kg MS.ha⁻¹)	6933 c	8286 b	9145 a	*	8231 b	8560 b	9354 a	+

Nota: Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si (+ p<0.1; * p<0.05; ns).

Es claro que esta mayor acumulación de N a cosecha está directamente relacionada con aumentos de la biomasa acumulada a cosecha y poco relacionado con la concentración de N en planta. Esta observación se correlaciona con lo reportado por Kanwarpal y Waines. (1989) y Austin *et al.* (1977).

Por su parte cuando se toma en cuenta la interacción entre fuentes y dosis, podemos observar que agregados de nitrógeno con la fuente UAN, independientemente de la dosis, y Fol U a 40 UN.ha⁻¹ logran mayor acumulación de nitrógeno que el testigo, no existiendo diferencias significativas para el resto de las combinaciones (Cuadro 11).

Cuadro 11. Nitrógeno total a cosecha en función de la fuente y dosis de nitrógeno agregada.

Dosis	Fuente		
	U	Fol U	UAN
UN/ha	—————	Kg N.ha ⁻¹	—————
0		76 b	
20	91 ab	89 ab	119 a
40	110 ab	112 a	120 a

Nota: Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si p<0.05.

En el cuadro 12 se presenta la cantidad de nitrógeno absorbida por encima del testigo. En general nunca existe un 100% de eficiencia absorción del fertilizante agregado (Terman y Allen, 1974; Harper *et al.*, 1987).

Cuadro 12. Nitrógeno total a cosecha por encima del testigo en función de la fuente y la dosis de nitrógeno.

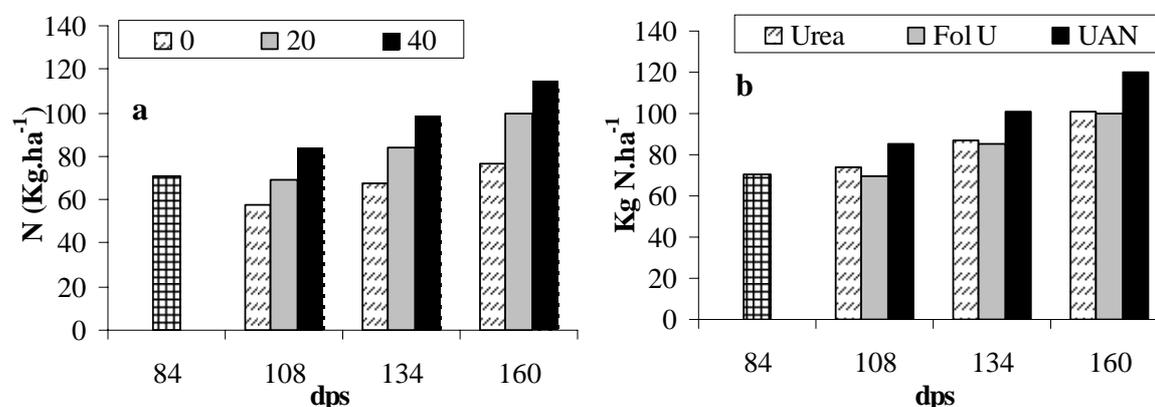
Dosis	Fuente		
	U	Fol U	UAN
20	14 <i>ab</i>	12 <i>ab</i>	43 <i>a</i>
40	34 <i>ab</i>	36 <i>a</i>	44 <i>a</i>

Nota: Valores seguidos por la misma letra no difieren entre sí ($p < 0.05$)

Cuando se analiza la fuente UAN, la situación no es la esperable, ya que se absorbe más nitrógeno del que fue agregado como fertilizante. Esto podría indicar que el agregado de esta fuente estaría provocando algún cambio a nivel del suelo que estimulante del aporte del N por parte del suelo. Una situación similar fue reportada por Zubillaga *et al.* (2002). En el reporte se indica que agregados menores, o mayores pérdidas no afectaban la absorción final de N y este fenómeno podría estar llevando a un empobrecimiento del nitrógeno nativo.

6.3 Evolución del nitrógeno en planta

La evolución del nitrógeno en planta (Figura 16), muestra que el nitrógeno fue limitante durante todo el período. Existió acumulación hasta el final del ciclo y en ningún periodo superó los 140-160 Kg N.ha⁻¹ reportados (Cha y Durán, 2001; Hoffman *et al.*, 1999; Ellen 1987) como límite a antesis a partir del cual no existiría respuesta probable al agregado de más nitrógeno.

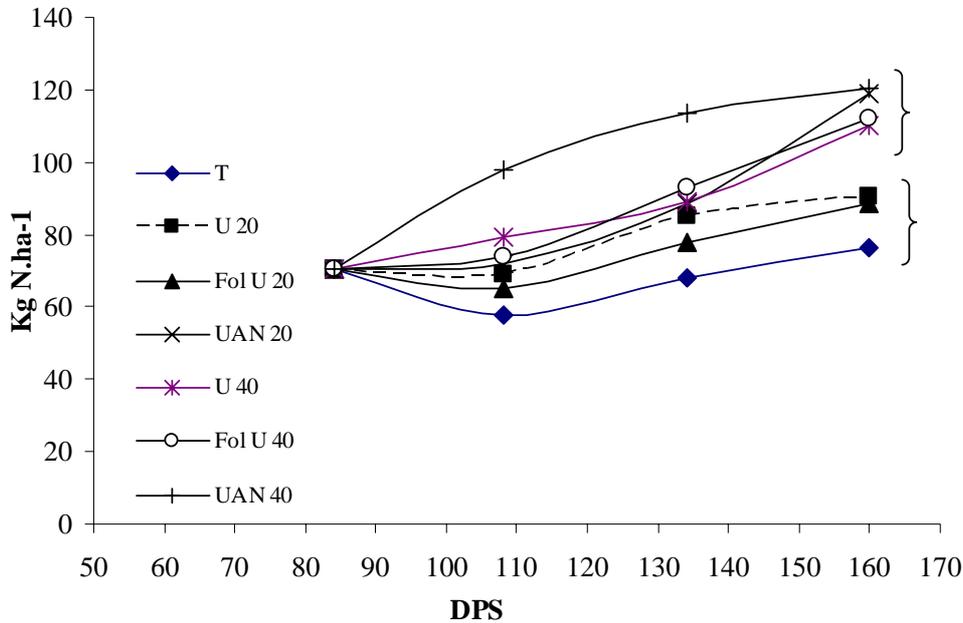


DPS	Estadio	Dosis			Pr > F	Fuente			Pr > F
		0	20	40		Urea	Fol U	UAN	
0	Siembra		0				0		
84	Z 30		70				70		
108	Z 34	58 <i>b</i>	69 <i>b</i>	84 <i>a</i>	*	74 <i>ab</i>	69 <i>b</i>	85 <i>a</i>	*
134	Z 70	68 <i>c</i>	84 <i>b</i>	99 <i>a</i>	*	87 <i>b</i>	86 <i>b</i>	101 <i>a</i>	*
160	Cosecha	76 <i>b</i>	99 <i>b</i>	114 <i>a</i>	+	101 <i>b</i>	100 <i>b</i>	120 <i>a</i>	+

Figura 16. Evolución del nitrógeno total a cosecha en planta según dosis (a) y fuente (b) agregada.

Las diferencias generadas al estadio posterior a la aplicación son las que finalmente se mantienen durante todo el ciclo.

Por su parte cuando se analiza la acumulación como resultado de la interacción entre las fuentes y dosis agregadas (Figura 17), nuevamente sobresale la fuente UAN, principalmente a 20 kg de N.ha⁻¹ ya que logra acumular el mismo N que otras fuentes a 40 kg de N.ha⁻¹. Con esta fuente se acumulan 40 Kg de N.ha⁻¹ por encima del testigo independientemente de la cantidad agregada.



		0 UN.ha-1			20 UN.ha-1		40 UN.ha-1	
		T	U	Fol U	UAN	U	Fol U	UAN
DPS	Estadio	Kg N.ha ⁻¹						
0	Siembra	0						
84	Z 30	70						
108	Z 34	58 c	69 bc	65 bc	72 bc	79 ab	74 bc	98 a
134	Z 70	68 c	85 bc	78 bc	89 b	89 b	93 b	114 a
160	Cosecha	76 b	91 ab	89 ab	119 a	110 ab	112 a	120 a

Figura 17. Evolución del nitrógeno en planta en función de la combinación de fuente y dosis de nitrógeno agregado ($p < 0.05$).

Producto de la deficiencia existente, el cultivo pasa por un periodo en el cual el suelo aporta poco N y el fertilizante no se hace disponible (Z30-34), con lo cual tiende a mantener o disminuir su contenido de N total. Considerando que esto sucede en una etapa clave en la concreción de potencial de rendimiento (Hoffman *et al.*, 1999), donde a su vez este tipo de cultivares comienza a crecer rápidamente, ésta situación sin duda compromete la obtención de altos rendimientos.

La única combinación que logra acumular N durante el periodo mencionado anteriormente, es UAN a razón de 40 UN.ha⁻¹. Esto posiblemente se da como producto de una rápida disponibilidad del nitrógeno agregado.

6.4 Tasas de acumulación de nitrógeno

En la figura siguiente se puede observar la tasa de acumulación de nitrógeno en función de la fuente y dosis de N agregado.

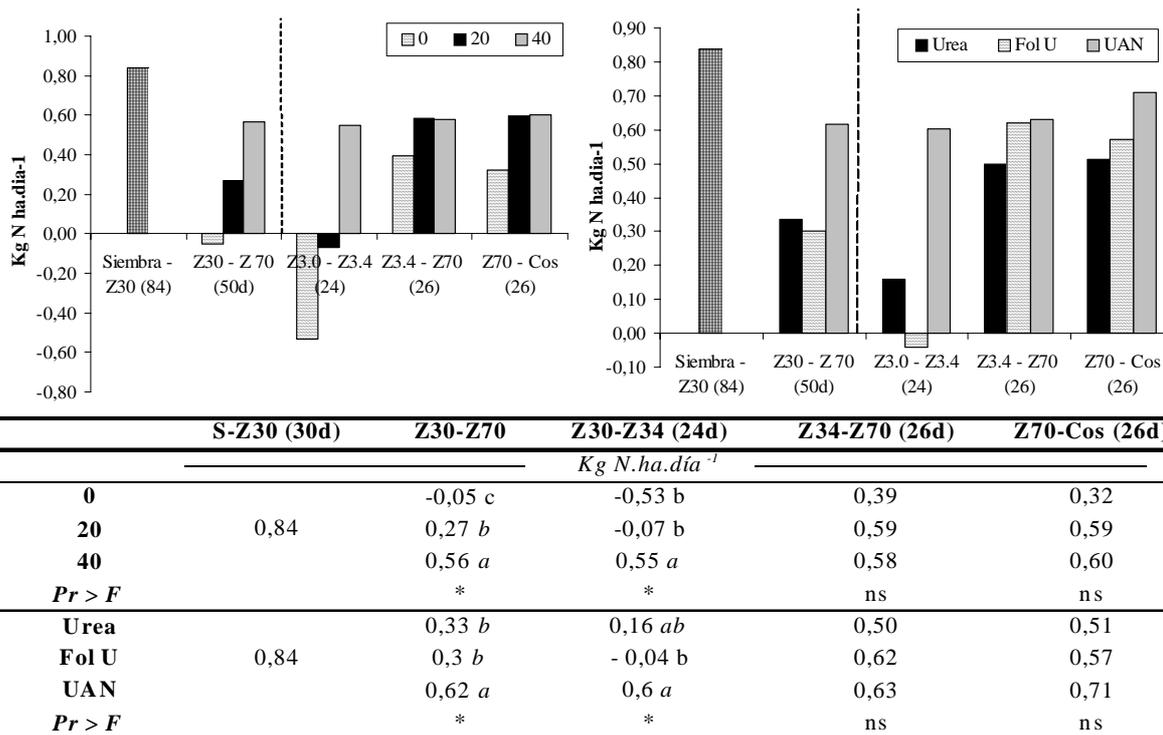


Figura 18. Tasa de acumulación de nitrógeno en función de la dosis (a) y la fuente (b) (* $p < 0.05$).

Cuando se analiza la tasa de absorción de nitrógeno como efecto mayor de la fuente y la dosis utilizada, se observa que existen claras diferencias en el periodo Z30-Z70. En este periodo es claro el efecto de la dosis sobre la tasa de absorción y para el caso de la fuente, se observa una marcada mejora cuando la fuente utilizada fue UAN.

Estas diferencias como serán discutidas a continuación logran explicar las ventajas observadas para la fuente UAN y las mayores dosis.

Cuando se analizan los subperiodos, se observa que el único en el cual existen diferencias significativas es el comprendido entre Z30-Z34. Esto está relacionado con lo observado para la tasa de crecimiento, con lo cual parece ser que durante este periodo se marca las diferencias en crecimiento y absorción de nitrógeno determinantes del rendimiento final.

Durante este periodo las diferencias se dan a favor de las mayores dosis y la fuente UAN. Para el resto de los subperiodos a pesar de no existir diferencias significativas existe la misma tendencia si se observan los valores absolutos de las tasas.

Por su parte las tasas de absorción estimadas, son relativamente bajas en especial al comienzo de encañazón, cuando se las compara con las reportadas por Cha y Durán. (2001). Estos reportan para el periodo Z30-Z33 2.8 $\text{Kg N.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$, mientras que la lograda en el ensayo en el periodo Z30-Z34, en la mejor de las situaciones (UAN_{40}) es de 1.14 $\text{Kg N.ha}^{-1}.\text{día}^{-1}$. Esta situación puede estarnos indicando la severa deficiencia a la que estuvo sometido el cultivo.

Cuadro 13. Tasa de absorción de nitrógeno en función de la fuente y dosis de nitrógeno agregada.

	0 UN.ha ⁻¹			20 UN.ha ⁻¹			40 UN.ha ⁻¹			Pr>F
	T	U	Fol U	UAN	U	Fol U	UAN			
	Kg N.ha.día ⁻¹									
Siembra - Z30			0,84						-	
Z30 - 70	-0,05 c	0,29 bc	0,15 bc	0,37 b	0,38 bc	0,45 ab	0,87 a		*	
Z30 - 34	-0,53 c	-0,06 bc	-0,22 bc	0,07 bc	0,37 ab	0,14 bc	1,14 a		*	
Z34 - 70	0,39	0,62	0,49	0,64	0,38	0,74	0,62		ns	
Z70 - Cosecha	0,32	0,21	0,40	1,16	0,81	0,74	0,26		ns	

Nota: Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si.

Por otra parte cuando se analizan las combinaciones de fuentes y dosis (Cuadro 13), se observa al igual que para los efectos mayores que el periodo en el cual se detectan diferencias significativas es el comprendido entre Z30-Z34. Durante este periodo UAN₄₀ logra la mayor tasa de acumulación. Por tanto se afirma el hecho que este periodo parece ser el determinante de las diferencias en nitrógeno acumulado al final del período y la fuente UAN logra ser más eficiente en resolver la situación de deficiencias antes analizadas.

Por otro lado cuando se analiza el periodo Z30-Z70, la fuente UAN₄₀ logra la mayor acumulación, el testigo la menor, mientras que para el resto de las combinaciones no existen diferencias estadísticamente significativas, aunque si una tendencia a lograr mayores tasas a dosis superiores y cuando la fuente agregada fue UAN.

A pesar de las escasas diferencias estadísticas encontradas para las tasas de crecimiento y absorción, existe una importante relación entre ambas ($R^2=0.84$). Esto determina que la absorción del nitrógeno determinó la acumulación de biomasa y por tanto el rendimiento (Figura 19).

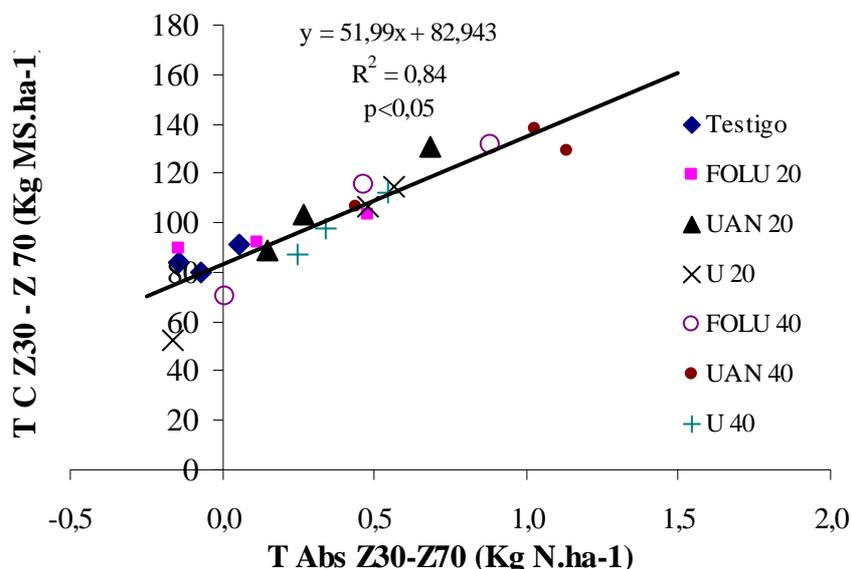


Figura 19. Relación entre tasa de absorción y tasa de crecimiento para el periodo Z30-Z70.

Por otra parte cuando se analiza el período Z70-Cosecha (Figura 20), nuevamente se observa una importante relación ($R^2=0.58$) aunque menor a la

encontrada para el periodo anterior. Esta relación se corresponde con lo reportado por Austin *et al* (1977), Bulman y Smith. (1994), Cha y Durán. (2001), en cuanto a que la absorción post antesis estaba directamente relacionada con la ganancia neta de paja durante ese periodo.

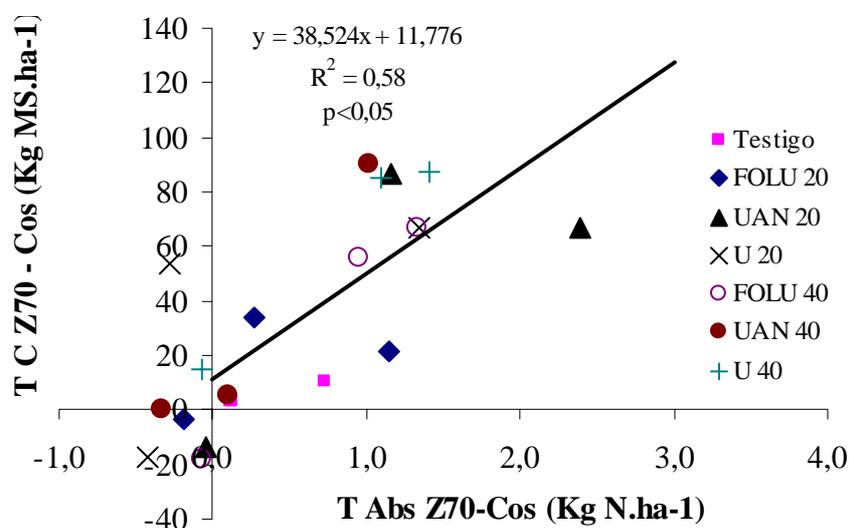


Figura 20. Relación entre tasa de absorción de N y tasa de crecimiento para el periodo Z70-Cosecha.

6.5 Distribución del nitrógeno en planta a cosecha

En los capítulos anteriores fueron analizadas las diferencias en cantidad de nitrógeno acumulado a cosecha según fuente y dosis agregada. A continuación será analizada la forma en que el N absorbido está distribuido en la planta a cosecha (Cuadro 14).

Cuadro 14. Distribución del nitrógeno cosechado a cosecha según dosis agregada.

	Dosis			Pr>F	Fuente			
	0	20	40		U	Fol U	UAN	Pr>F
Rendimiento (Kg.ha⁻¹)	2929 b	3368 b	4055 a	*	3482 b	3564 b	4089 a	+
% Proteína	11	12	12	ns	11	12	13	ns
N Paja (Kg.ha⁻¹)	18 b	27 a	29 a	*	29	27	28	ns
N Grano (Kg.ha⁻¹)	58 b	73 ab	85 a	*	72 b	74 b	92 a	+
N Total (Kg.ha⁻¹)	76 b	99 a	114 a	+	101 b	100 b	120 a	+
ICN	0,76	0,73	0,74	ns	0,71 b	0,73 ab	0,76 a	*

Nota: Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si (* p<0.05; + p<0.1).

Cuando se hace el análisis como efecto mayor de la fuente y la dosis agregada, no existen diferencias significativas entre las fuentes y la dosis para el % de proteína en grano (Cuadro 14). Es importante destacar que salvo para la Urea y el testigo la proteína en grano siempre se encuentra por encima de lo que sería la base de comercialización (11.5%). De todas maneras los valores son inferiores a los requeridos para este tipo de cultivares como forma de lograr buenas características panaderas, lo cual según Ernst *et al.* (2000) se consigue por encima de 12.5% de proteína.

Por otra parte parece ser que las diferencias en nitrógeno total están determinadas principalmente por el contenido de nitrógeno en grano ya que no existen

diferencias importantes en la cantidad de nitrógeno en paja. Para esta última variable, no existieron diferencias significativas entre las fuentes agregadas, y existieron diferencias significativas en términos de agregado o no de N.

En cuanto al nitrógeno en grano, principal determinante de la cantidad de nitrógeno total, presenta diferencias significativas a favor de las mayores dosis y la fuente UAN.

Cuadro 15. Nitrógeno en paja y grano a cosecha en función de la fuente y dosis agregada.

		<i>U</i>	<i>Fol U</i>	<i>UAN</i>
<i>N Paja (Kg.ha⁻¹)</i>	0		18 <i>b</i>	
	20	30 <i>a</i>	23 <i>ab</i>	27 <i>ab</i>
	40	28 <i>a</i>	31 <i>a</i>	29 <i>a</i>
<i>N Grano (Kg.ha⁻¹)</i>	0		58 <i>b</i>	
	20	60 <i>b</i>	66 <i>ab</i>	92 <i>a</i>
	40	83 <i>ab</i>	81 <i>ab</i>	91 <i>a</i>

Nota: Valores seguidos por la misma letra no difieren entre sí $p < 0.05$.

Puede observarse que el nitrógeno en paja que no presenta diferencias significativas entre las dosis y las fuentes usadas, siendo el testigo el que presente la menor cantidad de nitrógeno.

Para el nitrógeno en grano la situación vuelve a mostrarse favorable a la fuente UAN independientemente de la dosis utilizada. El resto de las fuentes a la mayor dosis así como Fol U₂₀ presentan un comportamiento intermedio entre los anteriores y el testigo.

Por último para el ICN no existen diferencias estadísticamente significativas entre las dosis agregadas, mientras que para las fuentes, UAN muestra un valor significativamente superior a la Urea. De todas maneras las diferencias en valor absoluto no superan el valor de 0.05. Los valores estimados son elevados si lo comparamos con reportes nacionales para el mismo cultivar en ensayos de fertilización (Perdomo *et al.*, 1999)

6.6 Eficiencia de uso del nitrógeno

Cuando se analiza la eficiencia de uso del nitrógeno agregado en términos de Kg de grano producido por unidad de nitrógeno agregado (Cuadro 16), se concluye que la fuente que logra una mayor eficiencia es UAN y en especial a 20 UN.ha⁻¹.

Cuadro 16. Eficiencia aparente de uso del nitrógeno agregado según la fuente y la dosis.

Dosis	Fuentes		
	<i>U</i>	<i>Fol U</i>	<i>UAN</i>
	<i>Kg grano. Kg N⁻¹</i>		
0		0 <i>c</i>	
20	4 <i>bc</i>	14 <i>bc</i>	48 <i>a</i>
40	26 <i>abc</i>	25 <i>abc</i>	34 <i>ab</i>

Nota: Valores seguidos por la misma letra no difieren entre sí $p < 0.05$.

La alta eficiencia de uso de la fuente UAN_{20} está determinada por lo comentado respecto a un mayor ingreso de nitrógeno a la planta que el agregado como fertilizante.

En general las altas eficiencias de uso en relación a lo reportado por varios autores en este periodo confirma la existencia de importantes deficiencias de nitrógeno. Hoffman *et al.* (2001) afirma que valores entre 15 a 20 Kg grano.Kg N⁻¹ son los esperables frente a agregados de nitrógeno en este estadio. A su vez Cha y Durán. (2001), encuentran eficiencias entre 11 y 16 Kg grano.Kg N⁻¹ con lo cual es claro que las eficiencias encontradas están muy por encima de lo esperable.

Otro hecho a destacar es la baja eficiencia de uso logrado con U_{20} , lo cual es un indicador de que el nitrógeno agregado no fue suficiente. Esto coincide con lo reportado por Barbe *et al.* (1989) respecto a que agregados por debajo de las necesidades además de no evitar pérdidas de rendimiento son altamente ineficientes.

V. CONCLUSIONES

- Existió una respuesta diferencial en rendimiento al agregado de distintas fuentes de nitrógeno. Estas diferencias en rendimiento estuvieron explicadas por el número de granos cosechados, no existiendo diferencias significativas para el peso de los mismos. Por su parte la respuesta en rendimiento pueden ser explicada por diferencias en la biomasa acumulada a cosecha.
- Es posible que la velocidad de aparición del nitrógeno agregado y/o la disponibilidad instantánea fueran las determinantes del mejor comportamiento de la fuente UAN. Las principales diferencias en componentes de rendimiento, tasas de crecimiento y tasas de acumulación de nitrógeno comienzan a detectarla a partir de Z 34.
- El comportamiento de la Urea foliar, no mostró diferencias con la Urea granulada. El agregado de esta fuente no provocó “rápidos” incrementos en la disponibilidad de nitrógeno para la planta, como se esperaba.
- Mediante el modelo de Baetghen. (1992), se esperaba una respuesta hasta 60 UN.ha⁻¹. Cuando se analiza lo sucedido con la fuente UAN, y se observa que el salto en rendimiento frente al testigo se da con sólo 20 UN.ha⁻¹ y no existen diferencias significativas con el agregado de 40 UN.ha⁻¹, pone en tela de juicio la validez del modelo cuando es usado con una fuente nitrogenada diferente a la Urea. Es probable que el modelo continúe funcionando con otras fuentes, pero seguramente las dosis variarían dependiendo de la fuente utilizada.
- Por otra parte se confirma lo reportado por varios autores respecto a la ineficiencia (Kg grano/ Kg N agregado) cuando se agregan menores cantidades que el nitrógeno recomendado cuando la fuente utilizada es Urea.

VI. RESUMEN

La respuesta en rendimiento en grano al agregado de N en cultivos de invierno, esta condicionada en las etapas iniciales por la capacidad de aporte de N del suelo en el corto plazo. La respuesta al encañado (Z 30) puede ser mayor y está condicionada por el aporte de N del suelo y el potencial del cultivo definido. Los cultivares de ciclo largo actuales, con muy bajo crecimiento hasta Z 24-25, podrán alcanzar elevados potenciales de rendimiento en grano siempre y cuando puedan completar elevadas tasas de crecimiento durante el encañado. Es probable que las necesidades de N y la velocidad en la disponibilidad de N del fertilizante pueda ser determinante de la concreción de potencial durante este período, principalmente cuando se parte de baja concentración de nitrógeno en planta. En este sentido manejar la velocidad de aparición del N mediante distintas fuentes alternativas a la urea puede determinar, mayor velocidad de absorción y contribuir a incrementar la tasa de producción de MS durante el período de encañado. Durante el año 2002 se llevó a cabo un experimento en una chacra comercial en la zona de influencia de la EEMAC. La siembra se realizó el 10 de Junio y el cultivar utilizado fue INIA Tijereta. Para la fertilización basal y la refertilización a Z22, se siguió el modelo propuesto por Facultad de Agronomía, con lo cual se aplicaron 150 Kg.ha^{-1} de 25-33-0 y 100 Kg.ha^{-1} de Urea respectivamente. El experimento consistió en un factorial de tres fuentes de nitrógeno (Urea, Sol UAN chorreado y FoliarSol U pulverizado) por tres dosis de nitrógeno (0, 20 y 40 Kg N.ha^{-1}). Los tratamientos fueron aplicados en el estadio de Z30. El diseño experimental utilizado fue el de bloque en parcelas al azar con tres repeticiones. Durante el desarrollo del cultivo se siguió la evolución de nitratos en suelo (N-NO₃ de 0 a 20 cms), el número de macollos por metro cuadrado, materia seca y % N en planta. A cosecha se determinó el rendimiento en grano, nitrógeno contenido en grano, nitrógeno contenido en las partes vegetativas y se midieron los componentes de rendimiento. El porcentaje de N en planta en Z 30 fue de 2.8 %, para el cual según el modelo de Baetghen. (1992), se estima una respuesta al agregado de 60 Kg N.ha^{-1} .

Los resultados indican un mayor rendimiento a la mayor dosis (40 UN.ha^{-1}) y respuestas no significativas para las dosis menores. En términos absolutos agregados de 40 UN.ha^{-1} determinaron una respuesta de $28 \text{ Kg grano.UN}^{-1}$, mientras que para agregados de 20 UN.ha^{-1} la respuesta fue de $21 \text{ Kg grano.UN}^{-1}$. Cuando se analiza el efecto de la fuente, se observa un mayor rendimiento para UAN frente al resto. Para todas las fuentes los valores de respuesta al N superan los $20 \text{ Kg grano.UN}^{-1}$ siendo UAN la fuente con mayor respuesta ($38 \text{ Kg grano.UN}^{-1}$).

Cuando se analizan las variables directamente relacionadas al rendimiento como lo son la biomasa acumulada a cosecha y el índice de partición, se observa que la dosis mayor y la fuente UAN lograron rendimientos superiores a través de una mayor acumulación biomasa. Es claro el efecto interacción entre fuente y dosis para el caso de la fuente UAN. Con esta fuente se logra el mismo rendimiento con la dosis de 20 UN.ha^{-1} que para el resto de las fuentes con la dosis de 40 UN.ha^{-1} , y lo mismo sucede para la biomasa acumulada ($R^2=0.85$). El componente que explicó la variación en rendimiento son los granos. m^{-2} (0.98). Este componente estuvo directamente relacionados con el número de espigas. m^{-2} ($R^2= 0.87$). La fuente UAN a razón de 40 UN.ha^{-1} , mantuvo un mayor número de tallos en términos absolutos, y la misma fuente a 20 UN.ha^{-1} a pesar de no mantener todo el período un alto número de tallos en relación a la dosis anterior, evita una alta tasa de mortalidad de tallos finalizando con el mismo número de tallos (espigas) que los tratamientos con la máxima dosis. Mayor cantidad de nitrógeno o una

fuelle como el UAN determinó menor tasa de mortalidad de macollos desde Z30 y por lo tanto mejoró de la fertilidad final de tallos.

En cuanto a la acumulación de biomasa, se puede conformar un grupo de mayor acumulación de biomasa durante la mayor parte del periodo, que está formado por todas las fuentes a 40 UN.ha⁻¹ más UAN a 20 UN.ha⁻¹ y otro de menor acumulación que comprende el resto de los tratamientos. En definitiva las diferencias encontradas responden a tasas de crecimiento diferenciales, producto del efecto de la fuente y dosis de N agregada. El periodo Z30-34 fue el único en el cual se encontraron diferencias significativas pero es clara la tendencia de que las mayores dosis y UAN₂₀ lograron mantener las mayores tasas de crecimiento durante todo el período.

Agregados de nitrógeno con la fuente UAN, independientemente de la dosis, y Fol U a 40 UN.ha⁻¹ logran mayor acumulación de nitrógeno que el testigo, no existiendo diferencias significativas para el resto de las combinaciones. Los tratamientos con la fuente UAN absorben más nitrógeno del que fue agregado como fertilizante. Esto podría indicar que el agregado de esta fuente estaría provocando algún cambio a nivel del suelo que estimulante del aporte del N. Existió acumulación hasta el final del ciclo y en ningún periodo superó los 140-160 Kg N.ha⁻¹ reportados como límite a anthesis a partir del cual no existiría respuesta probable al agregado de más nitrógeno. Cuando se analiza la acumulación como resultado de la interacción entre las fuentes y dosis agregadas sobresale la fuente UAN, principalmente a 20 kg de N.ha⁻¹ ya que logra acumular el mismo N que otras fuentes a 40 kg de N.ha⁻¹. Con esta fuente se acumulan 40 Kg de N.ha⁻¹ por encima del testigo independientemente de la cantidad agregada.

En cuanto a la tasa de absorción de nitrógeno existen claras diferencias en el periodo Z30-Z70. En este periodo se observa el efecto de la dosis sobre la tasa de absorción y para el caso de la fuente, se observa una marcada mejora cuando la fuente utilizada fue UAN. Cuando se analizan los subperiodos, se observa que el único en el cual existen diferencias significativas es el comprendido entre Z30-Z34. Esto está relacionado con lo observado para la tasa de crecimiento, con lo cual parece ser que durante este periodo se marca las diferencias en crecimiento y absorción de nitrógeno determinantes del rendimiento final. Las diferencias se dan a favor de las mayores dosis y la fuente UAN. Para el resto de los subperíodos a pesar de no existir diferencias significativas existe la misma tendencia si se observan los valores absolutos de las tasas.

A pesar de las escasas diferencias estadísticas encontradas para las tasas de crecimiento y absorción, existe una importante relación entre ambas durante todo el periodo ($R^2=0.84$ y 0.56 Z30-Z70 y Z70-Cosecha respectivamente). Esto determina que la absorción del nitrógeno determinó la acumulación de biomasa y por tanto el rendimiento.

Cuando se analiza la eficiencia de uso del nitrógeno agregado en términos de Kg de grano producido por unidad de nitrógeno agregado se concluye que la fuente que logra una mayor eficiencia es UAN y en especial a 20 UN.ha⁻¹ (48 Kg grano.Kg N⁻¹)

En resumen, la fuente UAN presentó el mejor comportamiento. Las principales diferencias se generan en el periodo Z30-34, con lo cual es probable que la disponibilidad de nitrógeno instantáneo determinó las diferencias encontradas. A su vez es posible que esta fuente genere cambios a nivel de suelo que provoquen mayor aporte de nitrógeno por parte del mismo o mejoras en la absorción por parte de las raíces por lo cual sería importante profundizar en estudios de este tipo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Abate, Pablo E; Lázaro, L.; Andrade, Fernando H.1997. ¿Es posible incrementar el número de granos por unidad de superficie?. In Man Mohan Kohli; Martino, D (eds). Explorando altos rendimientos de trigo. La Estanzuela, Uruguay, octubre 20 al 23, 1997; CIMMYT-INIA. p71-85.
2. Alkier, A.C; Racz, G.J; Soper, R.J. 1972. Effects of foliar and soil-applied nitrogen and soil nitrate-nitrogen level on the protein content of neepawa wheat. Can. J. Soil Sci. 52: 301-309.
3. Altman, D.W.; McCuiston W.L; Constrand, W.E. 1983. Protein percentage, kernel hardness and grain yield of winter wheat with foliar applied urea. Agron. J. 75:87-97.
4. Austin, R. B.; Ford, M. A.; Edrich, J.A.; Blackwell, R.D. The nitrogen economy of winter wheat. 1977. J. Agric. Sci., Camb.88: 159-167
5. Baethgen, W. 1992. Fertilización nitrogenada de cebada cervecera en el litoral oeste del Uruguay. INIA. La Estanzuela. Serie Técnica N° 24. 59p.
6. Bergh, R; Zamora, M; Seghezzo, M.L; Molfese, E. 2003. Fertilización nitrogenada foliar en trigo en el centro-sur de la Provincia de Buenos Aires. Informaciones Agronómicas. Infofos.19: 15-19.
7. Bologna Rodriguez, J.L; Rincón Puig, F. 1997. Efecto de la fuente nitrogenada, dosis y momento de aplicación en cebada sembrada sin laboreo con y sin rastrojo de sorgo en superficie. Tesis Ing. Agr. Montevideo – Uruguay, Universidad de la República – Facultad de Agronomía. 72p.
8. Bordoli, J. M., Quinke, A., Marchesi, A. 1999. Fertilización NP de trigo en siembra directa. Resultados de 1997-1998. 1° Jornada sobre rendimiento y calidad de trigo. Mercedes – Uruguay.
9. Borghi, E.; Wornicov, C.G. 1998. Evaluación de la capacidad predictiva de distintos indicadores de suelo y planta para el ajuste de la refertilización en el cultivo de maíz. Tesis Ing. Agr. Montevideo – Uruguay, Facultad de Agronomía. 53p.
10. Bulman, P.; Smith, D.L. 1994. Post-Heading Nitrogen Uptake, Retranslocation, and Partitioning in Spring Barley. Crop Sci. 34: 977-984.
11. Cha G.; Duran J.M. 2001. Respuesta al agregado de Nitrógeno tardío (Z 3.0 y Z4.7) en rendimiento y calidad de trigo (*triticum aestivum*). Tesis Ing. Agr. Montevideo – Uruguay, Universidad de la República – Facultad de Agronomía. 89p.
12. Cox, Michael, C.; Qualset, Calvin, O.; Rains, D. William. 1986. Genetic Variation for Nitrogen Assimilation and Translocation in Wheat. III.

Nitrogen Translocation in Relation to Grain Yield and Protein. *Crop Sci.* 26: 737-740.

13. Ernst, O.; Bentacur, O.; Nin, M.; Deluchi, I.; Hoffman, E.; Suburu, G. 1999. Relevamiento de trigo. Resultados en rendimiento y calidad. Primer Jornada sobre rendimiento y calidad de trigo. Mercedes (3-19).
14. Ernst, O.; Nin, M.; Cadenazzi, M.; Bentancour, O.; Godiño, M.; Suburu, G.; Vázquez, D. 2002. Manejo para rendimiento y calidad industrial de trigo. Cuarta Jornada de Rendimiento y Calidad de Trigo. p1-23.
15. Finney, K.F.; J.W. Meyer; F.W, Smith, and H.C. Fryer. 1957. Effect of foliar spraying of pawnee wheat with urea solutions on yield, protein content, and protein quality. *Agron. J.* 49:341-347.
16. Fiona, M.; Pushman, M.; Bingham, J. 1976. The effects of a granular nitrogen fertilizer and a foliar spray of urea on the yield and bread-making quality of ten winter wheats. *J. Agric. Sci., Camb.* 87: 281-292.
17. Flood, R.G; Halloran, G.M. 2002. Variation in the length of the culm and nitrogen distribution in wheat. *Cereal Reserch Communications.*30: 423-430.
18. Gaigger, L.A; Sander, D.H; Peterson, G.A. 1976. Nitrogen Content of Winter Wheat During Growth and Maturation. *Agron. J.* 68: 815-818.
19. Fontanetto, H.; Vivas, H.; Keller, O.; Llambías, F. 2001. Volatilización de amoníaco desde diferentes fuentes nitrogenadas aplicada en trigo con siembra directa. *Anuario Agronomía 2001.* INTA Rafaela.
20. García, F.O.; Sarlangue, H.; Justel, F.; Picone, L.I.; Grattone, F.D. 1996. Fertilización nitrogenada de trigo en siembra directa en el sudeste bonaerense. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACCS. Santa Rosa, La Pampa.
21. García Lamothe, A. 1997. Fertilización con N y potencial de rendimiento en trigo. In Man Mohan Kohli; Martino, D (eds). *Explorando altos rendimientos de trigo.* La Estanzuela, Uruguay, octubre 20 al 23, 1997; CIMMYT-INIA. p207-247.
22. García Lamothe, A. 1998. Manejo de la fertilización nitrogenada en trigo y respuesta en el contenido de proteína del grano. Jornada de cultivos de invierno INIA La Estanzuela 1998. p4-16.
23. García Lamothe, A. 1999. Impacto de la fertilización sobre la calidad del grano de trigo. Jornada de cultivos de invierno INIA La Estanzuela.1999. p37-45.
24. García Lamothe, A. 2000. Manejo del nitrógeno y otros nutrientes para mantener o aumentar la proteína del grano en trigo pan. 2000. Jornada de cultivos de invierno INIA La Estanzuela 2000. p23-44

25. Germán, S.; Estramil, E.; Peculio, A.; Benitez, A. Mejoramiento de cebada cervecera en Uruguay. 1999. III Congreso Latinoamericano de Cebada. Bastión del Carmen, Colonia, Uruguay. P6.
26. Guohuna, Mi; Li, Tang; Fusuo, Zhang; Jianhua, Zhang. 2000. Is nitrogen uptake after anthesis in wheat regulated by sink size?. *Field Crops Reserch*. 68: 183-190.
27. Harper, L:A; Sharpe, R.R.; Langdale, G.W.; Giddens, J.E. 1987. Nitrogen Cyclin in a Wheat Crop: Soil, Plant, and Aerial Nitrogen Transport. *Agron. J.* 79: 965-973.
28. Hoffman, E.; Borghi, E.; Castro, A.; Olivo, N.; Gonzales S.; Viega L.2002. Definición y concreción del potencial de rendimiento de Cebada cervecera en ambientes sin limitantes hídricas y de nitrógeno en primavera. (s/p)
29. Hoffman, E.; Ernst, O.; Perdomo, C. 1999. Ajuste de la fertilización nitrogenada en trigo en función de indicadores objetivos y su efecto en rendimiento y calidad de grano. 1° Jornada sobre rendimiento y calidad de trigo. Mercedes – Uruguay.
30. Hoffman, E.; Siri, G.; Ernst, O. 1996. Posibles manejos para minimizar pérdidas de nitrógeno. *Revista Cangüe* N° 8: 13-16.
31. Hooker, M. L.; Sander, D. H.; Peterson, G. A.; Daigger, L. A. 1980. Gaseous N Losses from Winter Wheat. *Agron. J.* 72: 789-792.
32. Jornada sobre rendimiento y calidad de trigo, (1°,1999, Mercedes), Paysandú, Facultad de Agronomía, 48.
33. Kanwarpal, S. D.; Waines, J.G. Analysis of Nitrogen Accumulation and Use in Bread and Durum Wheat. 1989. *Crop Sci.* 29: 1232-1239.
34. Kemanian, A.; Viega, L. 1999. Concreción del Peso y Concentración de Nitrógeno del Grano de Cebada Cervecera. Informe a la Mesa Nacional de Cebada Cervecera. Reunión Mesa Nacional de Cebada Cervecera. INIA La Estanzuela. Colonia – Uruguay.
35. Lavoy, I.; Hageman, R. H. 1970 Relationship of Nitrate Reductase Activity to Grain Protein Production in Wheat. *Crop Sci.* 10: 280-285.
36. MirAli, N.; Nabulsi, I. 1994. Accumulation of dry matter and nitrogen in the developing seeds of high protein mutant lines of *Triticum aestivum* (L.) produced by the IAEA. *Cereal Reserch Communications*. 22: 381-388.
37. Oscarson, P.; Lundborg, T.; Larsson, M.; Larsson, C.M. 1995. Genotypic Differences in Nitrate uptake and Nitrogen Utilization for Spring Wheat Grown Hydroponically. *Crop. Sci.* 35: 1056-1062.

38. Palta, J.A.; Fillery, I.R. 1993. Nitrogen accumulation and remobilization in wheat of ¹⁵N – urea applied to a duplex soil at seeding. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 33: 233-238.
39. Perdomo, C. 1995. Consideraciones sobre criterios para el ajuste de la fertilización N en cultivos de invierno. II Curso de actualización técnica. Manejo y fertilidad de suelos.
40. Perdomo, C.; Barbazan M. 2001. Nitrógeno. Publicación AEA cod. 501. Cátedra de Fertilidad de Suelos y Fertilizantes. Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay.
41. Perdomo, C., Bordoli, J.M. 1999. Ajuste de la fertilización nitrogenada en trigo y relación con el contenido de proteína del grano. 1° Jornada sobre rendimiento y calidad de trigo. Mercedes – Uruguay.
42. Perdomo, C.; Hoffman, E.; Pons, C.; Pastorini, M. Fertilización en Cebada Cervecera. www.fagro.edu.uy/talleres/cebada/fert (09/12/2001).
43. Rao, A.C.S.; Smith, J.L.; Jandhyala, V.K.; Papendick, R. I.; Parr, J.F. 1993. Cultivar and Climatic Effects on the Protein Content of Soft White Winter Wheat. *Agron. J.* 85: 1023-1028.
44. Raun, W.R y Johnson G.V. 1999. Improving Nitrogen Use Efficiency for Cereal Production. *Agron. J.* 91: 357-363.
45. Sarandón, S.J; Gianibelli, M.C. 1990. Effect of a foliar urea spraying and nitrogen application at sowing upon dry matter and nitrogen distribution in wheat (*Triticum aestivum* L). *Agronomie* 10: 183-189.
46. Schjorring, J.K; Nielsen, N.E; Hensen, H.E; Gottschau, A. _____. Nitrogen losses from field-ground spring barley plants affected by rate of nitrogen application. _____. __ : 167-175.
47. Schlegel, A.J; Dhuyvetter, K.C; Havlin, J.L. 2003. Placement of UAN for Dryland Winter Wheat in the Central High Plains. *Agron.J.* 95: 1532-1541.
48. Seminario de discusión técnica: Manejo de la fertilización nitrogenada en cultivos de invierno. 2001 . Paysandú, Facultad de Agronomía.
49. Smale, M.; Reynolds, M.P.; Warburton, M.; Skovmand, B.; Trethowan, R.; Singh, R.P.; Ortiz-Monasterio, I.; Crossa, J. 2002. Dimensions of Diversity in Modern Spring Bread Wheat in Developing Countries from 1965. *Crop Sci.* 42: 1766-1779.
50. Terman,G.L. 1979. Yields and Protein Content of Wheat Grain as Affected by Cultivar, N, and Environmental Growth Factors. *Agron. J.* 71:437-441.
51. Urquiaga, S. 2000. Eficiencia de la fertilización nitrogenada en los principales cultivos anuales. In Urquiaga, S.; Zapata, F. Manejo Eficiente de

la Fertilización Nitrogenada de Cultivos Anuales en América Latina y el Caribe. p 31-49.

52. Van Sanford, D.A; MacKown, C.T. 1987. Cultivar Differences in Nitrogen Remobilization During Grain Fill in Soft Red Winter Wheat. 1987. *Crop Sci.* 27: 295-300.
53. Vidal, I.; Etchevers, J.; Fischer, A. Dinámica del nitrógeno bajo diferentes rotaciones, sistemas de labranza y manejo de residuos en el cultivo de trigo. *Agricultura Técnica (Chile)* 62 (1): 121-132 (Enero – Marzo, 2002).
54. Viega, L.; Martín, V.; Urrestarazú, H. Efecto del nivel de nitrógeno y estado fisiológico sobre la actividad de la nitro reductasa en tres variedades de cebada cervecera. 1992. III Reunión nacional de investigadores de cebada. 117-123.
55. Wilhelm, W.W.; McMaster, G.S.; Harrell, D.M. 2002. Nitrogen and Dry Matter Distribution by Culm and Leaf Position at Two Stages of Vegetative Growth in Winter Wheat. *Agron. J.* 94: 1078-1086.
56. Yue-Xuan Wu; Andreas von Tiedeman. 2001. Physiological Effects of Azoxystrobin and Epoxiconazole on Senescence and the Oxidative Status of Wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology.* 71:1-10.
57. Zubillaga, M.S; Zubillaga, Ma De las Mercedes; Urricariet, S.; Lavado, R.S. 2002. Effect of nitrogen sources on ammonia volatilization, grain yield and soil nitrogen losses in no-till wheat in an Argentine soil. 2002. *Agrochimica.* 46: 100-107.