Trabajo Final de Graduación

FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN TRIGO EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA: PÉRDIDAS POR VOLATILIZACIÓN Y EFICIENCIA DE USO.

Autores:
Olano Santiago y Vessoni Ignacio

Director:
Bono Alfredo

Codirector:
Zoratti Carlos

Ingeniería Agronómica
Facultad de Agronomía
Universidad Nacional de La Pampa
2013

Índice:

Resumen	1
Introducción	2
Antecedentes	4
Objetivos	9
Hipótesis	10
Materiales y métodos	10
Resultados y discusión	14
Dinámica del agua	14
Dinámica del nitrógeno	15
Rendimiento y sus componentes	16
Perdidas por volatilización de amoníaco	21
Eficiencias de uso de nitrógeno	24
Conclusiones	26
Bibliografía	27
Apéndice y Tablas	35

RESUMEN

El trigo representa el principal cereal de invierno cultivado en la Región Semiárida Pampeana (RSP) y el nutriente que más limita la producción es el nitrógeno (N). Un aspecto clave tanto en la sustentabilidad a largo plazo como en la rentabilidad es disminuir las fugas del nutriente y lograr elevadas eficiencias de uso de N (EUN). Nuestro objetivo fue determinar las pérdidas por volatilización de distintas fuentes de N y evaluar el rendimiento, sus componentes, el contenido de proteína y la EUN de distintas dosis, fuentes y momentos de fertilización. El ensayo se desarrolló sobre un suelo Haplustol Éntico de Anguil (La Pampa, Argentina) en 2011. Los fertilizantes evaluados fueron urea, urea con inhibidor de la ureasa (eNeTotal), nitrato de amonio calcáreo (Nitrodoble) y tiosulfato de amonio + UAN (SolMix), aplicados a la siembra y al macollaje en dos dosis, 50 y 100 kgN/ha contra un testigo sin fertilizar. El diseño experimental fue en bloques con tres repeticiones. El tamaño de las parcelas de 10 m de largo por 4.5 m de ancho. Para medir la volatilización se utilizó el método de absorción semiabierto estático y se estimó mediante fórmulas la EUN y sus componentes. Las pérdidas por volatilización fueron muy bajas. Los mayores porcentajes fueron para las dos dosis de urea (3.69 y 2.56 % respectivamente), y los más bajos para 100 kg de N aplicadas con Nitrodoble y eNetotal (0.44 y 0.86 % respectivamente). Hubo respuesta en rendimiento a la fertilización nitrogenada. No hubo diferencias entre dosis, fuentes y momentos de fertilización. Tampoco se encontraron diferencias entre peso de mil granos, espigas por metro cuadrado y granos por espiga. Los tratamientos al macollaje con las dosis más altas presentaron los mayores contenidos de proteína. Desde el punto de vista del N aplicado, hubo una mayor EUN con bajas dosis (50 kgN/ha) aplicadas a la siembra y macollaje con el uso de eNetotal y Nitrodoble.

Palabras claves: Trigo, fuentes nitrogenadas, momentos de aplicación, dosis de fertilización, Haplustol Éntico.

INTRODUCCIÓN

Los suelos de la Región Semiárida Pampeana (RSP) se caracterizan por tener textura arenosa-franca a franca, rápido drenaje, y niveles medios a bajos de materia orgánica (MO). Debido al excesivo laboreo, la intensificación de la agricultura y la incorporación de suelos de menor aptitud, los mismos han estado expuestos a procesos de erosión hídrica y eólica, provocando importantes pérdidas de nutrientes (Buschiazzo *et al*., 1991). De ellos, el nitrógeno (N) es uno de los nutrientes que más limita la producción. El trigo representa el principal cereal de invierno cultivado en la RSP y es el cultivo que más se fertiliza, siendo la urea la fuente de N más utilizada (Belmonte *et al.*, 2010).

La efectividad en el suministro de los nutrientes depende de dos factores: sincronizar la oferta del fertilizante con la demanda de las plantas, y mantener la disponibilidad del nutriente a lo largo del ciclo del cultivo (Melgar *et al*., 2012). En el caso del N, las pérdidas se dan por inmovilización en residuos, desnitrificación, lixiviación y volatilización. Este último proceso puede ser la causa más importante de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales cuando son aplicados superficialmente. Las pérdidas por volatilización son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos. En la RSP por disminución de la MO, el incremento de Ca libre, sumado a la textura franco-arenosa, baja capacidad de intercambio catiónico, elevadas temperaturas y altas velocidades del viento crean condiciones propicias para que se produzca volatilización (Buschiazzo *et al.*, 1999).

Para tratar de minimizar las pérdidas de amoníaco (NH_3) desde la urea, se han utilizado fuentes de N alternativas, tales como el nitrato de amonio y nitrato amónico calcáreo, las cuales han presentado una baja volatilización de N (García *et al.*, 1999, Ferrari y Carta, 1996). En los últimos años han aparecido en el mercado fertilizantes nitrogenados de urea en su composición con inhibidores de la enzima ureasa. La urea con nBTPT [triamida N-(n-butil)

tiofosfórica] (Agrotrain®) disminuyen las pérdidas de N en un 80% con respecto a urea sin inhibidor en maíces de segunda aplicados superficialmente (Fontanetto *et al.*, 2010a).

La eficiencia de uso del N (EUN) se puede definir como el máximo rendimiento producido por unidad de N aplicado, absorbido o utilizado por la planta para producir biomasa (Bock, 1984). Lograr elevadas eficiencias es un objetivo esencial en el manejo agronómico porque tiene implicancias tanto en la rentabilidad como en la calidad del ambiente (Echeverría, 2009). Barbieri *et al.*, (2008) encontraron mayores pérdidas de N y menores EUN en fertilizaciones a la siembra que en macollaje. La aplicación del fertilizante nitrogenado a la siembra es la práctica más difundida para el cultivo de trigo en la mayor parte de la región pampeana (Diaz Zorita, 2000), por lo tanto, las pérdidas de N pueden ser relevantes y afectar la EUN. La mayor disponibilidad de N en etapas tempranas podría mejorar el rendimiento en relación a las aplicaciones en etapas más tardías, que se traduciría en un aumento de la calidad y cantidad de proteínas del grano, pero con menor EUN.

En consecuencia, el momento de fertilización nitrogenada es una alternativa de manejo que incide sobre la EUN y por lo tanto, debe ser cuidadosamente considerado al momento de definir la estrategia de fertilización. Los fertilizantes nitrogenados de lenta liberación constituyen productos interesantes para de mejorar la EUN (Shoji *et al.*, 2001), por aumentar la posibilidad de captación del N por el cultivo y paralelamente reducir las pérdidas por desnitrificación, lavado y volatilización. Para nuestras condiciones, estos productos no han sido extensivamente evaluados y su mayor costo exige estudios detallados a fin de justificar su empleo. Asimismo, hasta el momento hay gran variabilidad de datos de volatilización de N en diferentes sitios y la RSP cuenta con pocos trabajos que tengan en cuenta ese tipo de pérdidas y la EUN en trigo.

ANTECEDENTES

Los sistemas de producción de la RSP son mixtos, basados en rotaciones de cultivos anuales y pasturas perennes en base a leguminosas, siendo la más común alfalfa (Viglizzo *et al*., 2001). Como integrante de esas rotaciones, el trigo se presenta como el más importante cereal de invierno con una superficie de siembra promedio de 291000 ha y una producción promedio de 1697 kg/ha para la provincia de La Pampa (Anuario Estadístico, 2009). El nutriente que más limita la producción de cultivos es el N, en las últimas campañas el 47% de la superficie sembrada con trigo de la provincia se fertilizó; con mayor intensidad bajo siembra directa (81%), que bajo labranza convencional (19 %) (Belmonte *et al.,* 2010). En relación al momento de fertilización, la misma se realiza en un 41 % a la siembra, un 12 % al macollaje y un 47 % fraccionada entre siembra y macollaje. Los fertilizantes más comúnmente usados en la RSP son el fosfato diamónico (FDA) a la siembra, y la urea y la mezcla líquida de urea y nitrato de amonio (UAN) al macollaje (Belmonte *et al.,* 2010).

El área agropecuaria de la RSP posee suelos clasificados mayormente como Haplustoles Énticos y Ustipsamentes Típicos de texturas arenosa-francas a francas (INTA *et al*; 1980; Romano y Roberto, 2007). En los últimos años se ha producido una mayor agriculturización de la región, con caídas de MO y estabilidad estructural de los suelos, incrementándose la susceptibilidad a la compactación (Quiroga *et al.,* 1996a). El excesivo laboreo y la incorporación de tierras de menor aptitud han generado procesos de erosión eólica e hídrica con importantes pérdidas de nutrientes. Debido a esto, el uso de fertilizantes se ha ido incrementando en los últimos años. El mantenimiento de la fertilidad de los suelos o la reposición de los nutrientes extraídos por las cosechas es uno de los requisitos importantes para el aumento de la producción y la sustentabilidad de la agricultura moderna (Buschiazzo *et al*., 1991; Quiroga *et al.*, 1996b).

Esta región es caracterizada por una gran variabilidad de las precipitaciones (Scian, 2002) y grandes diferencias en la capacidad de retención de agua de sus suelos, condicionada, por la granulometría y profundidad efectiva del perfil (Quiroga *et al.*, 1996b). Por otra parte, se observa un balance hídrico anual negativo, donde la evapotranspiración potencial es mayor que la cantidad anual de lluvia. Se comprueba que la probabilidad de precipitaciones superiores a 350 mm (adecuado para trigo) es inferior al 20%. Por esta razón, resulta significativa la contribución del agua almacenada a la siembra y las estrategias de su manejo, condicionando además la respuesta a la fertilización (Quiroga *et al*., 2010) (Figura 1).

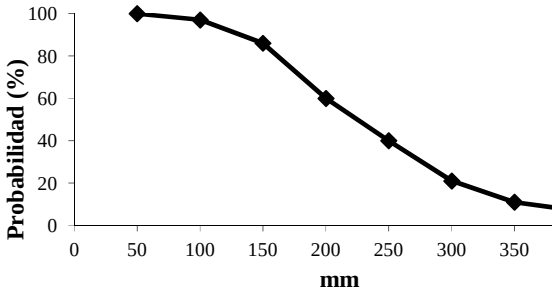


Figura 1. Probabilidad de precipitaciones durante el período julio-noviembre (ciclo trigo).

Por lo tanto, al fertilizar se busca el máximo rendimiento con la menor cantidad de fertilizante (uso eficiente del insumo). Es necesario lograr una predicción de la respuesta con cierto grado de confiabilidad. Desde 1996 hasta el 2004, a partir de una red de ensayos de fertilización en la RSP y Subhúmeda Pampeana, se generó un modelo que explicó el 48% de la variabilidad del rendimiento. En el mismo se utilizó como variables independientes la humedad a la siembra, el N orgánico del suelo, el contenido de N mineral más la dosis de N del fertilizante, la profundidad del perfil, la textura y el sistema de labranza (Bono y Álvarez, 2009). En consecuencia, las variables relacionadas con el agua y el N del suelo explican el rendimiento del cultivo de trigo. Por otro lado, cuando no se cuenta con curvas de respuesta puede usarse el modelo de balance para la estimación de N a aplicar. El modelo se puede usar para nutrientes móviles y se aplica básicamente para diagnosticar necesidad de fertilización

nitrogenada. El mismo considera el requerimiento de N del cultivo y la oferta del suelo, calculándose la dosis de N como la diferencia entre ambos (Álvarez *et al*., 2007). El modelo del balance trabaja bajo la asunción básica de que el N es limitante del rendimiento y propone una respuesta lineal.

N cultivo + N residual = N inicial + N mineralizado +/- N residuos + N fertilizante – N pérdidas (Ecuación 1)

N cultivo: Ntotal absorbido por el cultivo; *N residual*: N remanente en el suelo a cosecha; *N inicial*: N disponible en el suelo a la siembra; *N mineralizado*: N orgánico mineralizado durante el ciclo del cultivo; *N residuos*: N liberado (+) o inmovilizado (-) por los residuos vegetales en descomposición; *N fertilizante*: dosis de N a aplicar; *N pérdidas*: pérdidas de N del sistema suelo-planta por volatilización, desnitrificación y lixiviación.

Comparando aplicaciones de urea a la siembra, fraccionada y al macollaje, Loewy (1990) y Bárbaro *et al*., (1999) en Bordenave, Balcarce y Barrow respectivamente, observaron en todos los casos respuestas significativas a la fertilización, pero el momento de aplicación no tuvo incidencia. Díaz-Zorita y Duarte (1998) en base a ensayos realizados en la Región Sub-húmeda Pampeana señalan que las correcciones de deficiencias nitrogenadas deben efectuarse mayormente a la siembra o en estadios tempranos, pues las aplicaciones al macollaje son riesgosas debido a la baja frecuencia de las lluvias invernales. Según Laurent *et al*. (1996), el aprovechamiento del N por la planta está en relación directa con las precipitaciones y disponibilidad de agua del suelo. Por otro lado otros estudios de la dinámica de N demostraron que la fertilización al macollaje acumuló una mayor cantidad de N que la fertilización a la siembra, esto explicaría el mayor rendimiento en grano de la fertilización al macollaje (Videla *et al*., 1996; Laurent *et al*; 1996). Bono y Alvarez (2009) no encontraron diferencia en la respuesta del cultivo al momento de fertilización. En aplicaciones a la

siembra, con buenas condiciones de humedad, se asegura una ejecución de la fertilización en etapas tempranas, si se decide la aplicación más tardía, es posible inspeccionar el estado del cultivo y en función del mismo ajustar la fertilización (Bono y Romano, 2010).

Las plantas toman los nutrientes de la solución del suelo a través de sus raíces. No obstante, el suelo, las plantas y la atmósfera compiten por los nutrientes disponibles, siendo el principal problema cuando se aplican fertilizantes minerales y la razón más importante por la cual las plantas solamente utilizan una parte de los nutrientes aplicados (Melgar *et al*., 2012). En el caso del N, las pérdidas que se deben considerar son la volatilización de NH_3, la desnitrificación, el lavado de nitratos (NO_3^-) y la erosión hídrica y eólica (García, 1998). De todas ellas, la volatilización es una de las más importantes cuando se aplican superficialmente urea o se inyecta amoníaco anhidro de manera defectuosa. La urea aplicada al suelo es hidrolizada a amonio (NH_4^+) en una reacción catalizada por la enzima ureasa:

$$CO(NH_2)_2 + H^+ + 2H_2O \xrightarrow[\text{ureasa}]{} 2\ NH_4^+ + HCO_3^- \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

La hidrólisis de urea resulta en el consumo de H^+ con el consiguiente aumento del pH a valores de 9 o superiores, favoreciendo a su vez la formación de NH_3, y por lo tanto la volatilización:

$$NH_4^+ \longrightarrow NH_3 + H^+ \qquad Ka=10^{-9,3} \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

La volatilización de NH_3 es afectada por factores del suelo, del ambiente y de manejo. En relación al suelo, los más relevantes son el pH, la capacidad buffer, capacidad de intercambio catiónico y la actividad ureásica. El ambiente influye en la temperatura, el contenido de agua e intercambio gaseoso con el aire. Con respecto al manejo, los factores que más afectan al proceso de volatilización son la presencia de residuos, la fuente y dosis de N y el método de aplicación (Hargrove, 1988). Se han reportado pérdidas de N en suelos bajo

siembra directa en el cultivo de trigo entre 0.4 y 4.8% (Abascal *et al*., 2004) y 9% del N aplicado (Videla *et al*., 1994). Fontanetto *et al*., (2001) usando distintas fuentes nitrogenadas encontraron pérdidas de hasta el 7% de N con 80 kg N/ha como urea luego de 11 días de medición. Similares valores de volatilización midieron García *et al*., (1996) en el sudeste bonaerense con 8-9% del N aplicado en forma de urea y UAN en condiciones de siembra directa. En la misma región, se hallaron 1 a 2 % de pérdidas bajo labranza convencional con 120 kg N/ha (Videla, 1995; García y Costa, 1996).

El desafío por parte de la industria de fertilizantes es desarrollar productos especiales que eviten o al menos disminuyan las pérdidas de N, para ello debe existir una sincronía entre el suministro del nutriente y la demanda del cultivo (Melgar *et al*., 2012). Como respuesta, han surgido los fertilizantes de liberación lenta y/o controlada, éstos retrasan su disponibilidad para las plantas luego de su aplicación ya sea por estar recubiertos con sustancias que forman una barrera entre los nutrientes y el medio nutritivo, o por estar estabilizados o bio-modificados por inhibidores de nitrificación o de la ureasa (Hauck, 1985). Dentro de los fertilizantes de liberación controlada se pueden mencionar al nitrato de amonio y nitrato amónico calcáreo los cuales han presentado una baja volatilización de N (García *et al.*, 1999, Ferrari y Carta, 1996). Fontanetto *et al*. (2001) encontraron reducciones en las pérdidas de N de hasta 6% con nitrato de amonio calcáreo en relación a urea, con dosis de 80 kg de N/ha. Han surgido en los últimos años productos con inhibidor de la actividad ureásica, como es el caso de la urea con nBTPT [triamida N-(n-butil) tiofosfórica] (Agrotrain®) disminuyendo las pérdidas de 14% a menos de 1% en aplicaciones de trigo en Rafaela (Fontanetto *et al.*, 2010b), similares valores a los hallados por Marino (2011) en Balcarce en las campañas 2010/11 y a Fontanetto *et al.*, (2011) el mismo año en San Jerónimo Norte, Santa Fe.

Por otra parte, un aspecto clave tanto en la sustentabilidad a largo plazo como en la rentabilidad es lograr elevadas eficiencias de uso de N (EUN) (Echeverria, 2009). Existen numerosas formas de definir la EUN (Fageria y Baligar, 2005), desde el punto de vista del suelo, Echeverría (2009) propone que la EUN es el cociente entre el rendimiento en grano por unidad de N disponible. Mientras Steinbach (2007) lo analiza desde el fertilizante y lo define como el aumento del rendimiento por unidad de N aplicado. La EUN surge del producto entre la eficiencia de recuperación (ER) y la eficiencia fisiológica (EF). La ER, se refiere a la cantidad de N absorbido en relación al N disponible del suelo o del fertilizante. Por otra parte, la EF nos indica cuanto del N absorbido del suelo o del fertilizante se traduce en rendimiento. La ER disminuye a medida que se incrementa la disponibilidad del nutriente (Abbate y Andrade, 2007). De igual manera, la EF es menor a medida que aumenta el N absorbido. Fontanetto *et al*., (2010b) no hallaron diferencias en la EUN en trigo para dos dosis de urea (40 y 80 kg N/ha). Sin embargo, en el mismo trabajo encontraron aumentos en la EUN que van de 4 hasta 8 kg de grano/kg N entre diferentes fuentes de N. En términos generales, se estima que entre el 20 y el 50% del N aplicado no es utilizado por el cultivo y se puede perder del sistema (Bono y Álvarez, 2007). Como consecuencia, se estaría generando un perjuicio económico y ambiental (Quinteros y Boschetti, 2001).

Objetivos

- Evaluar las pérdidas por volatilización del N proveniente de distintas fuentes (urea granulada + eNeTotal (inhibidor de la ureasa (Agrotain®)) + SolMix y nitro doble) aplicadas al macollaje.
- Evaluar el efecto de dosis y fuentes de fertilizantes nitrogenados aplicados al voleo, a la siembra y en macollaje en el cultivo de trigo sobre el rendimiento, sus componentes, contenido de proteína y las eficiencias de uso de las distintas fuentes nitrogenadas.

Hipótesis

- A iguales condiciones edafoclimáticas y de aplicación (al voleo y postergada), la urea en altas dosis presenta las mayores pérdidas de volatilización con relación a otras fuentes nitrogenadas.
- Son mayores las eficiencias de uso de N en dosis bajas de fertilizante nitrogenado, en aplicaciones postergadas y con fuentes de liberación lenta y/o controlada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se condujo en la localidad de Anguil provincia de La Pampa, sobre un suelo clasificado como Haplustol Éntico que presenta tosca a profundidad variable (60-80 cm). Las características del suelo se detallan en la Tabla 1. Se implantó el trigo mediante un sistema de siembra directa sobre un potrero con antecesor cebada y 2433 kg/ha de residuos. Se sembró el 4 de julio de 2011 y el cultivar fue "Buck Guapo" lográndose 123 plantas/m^2.

Tabla 1. Características físico-químicas en los primeros 20 cm, del suelo donde se desarrolló el ensayo.

N total	P asimilable	DA	MO Total		p H	índice	Fracciones texturales			Clase textural
%	ppm	tn/m3	%	tn/ha			Arena	Limo	Arcilla	
0.1	12.3	1.1	1.9	47.5	6.2	4.2	55.0	32.0	13.0	franco arenoso

DA: Densidad aparente; MO: Materia orgánica; índice: MO/(limo+arcilla)x100.

Se evaluaron fertilizantes nitrogenados sólidos a la siembra y al macollaje, y líquidos al macollaje contra un testigo sin fertilizar. Todos los tratamientos menos el testigo absoluto se fertilizaron al voleo con 100 kg/ha de FDA y en los tratamientos 2 al 10 se aplicó 60 kg/ha de sulfato de calcio (SO_4Ca), con el objetivo de no tener limitaciones de fósforo (P) y azufre (S). El diseño experimental fue en bloques aleatorizados. El tamaño de las parcelas fue de 10 m de largo por 4.5 m de ancho. De esta manera quedaron determinados 16 tratamientos teniendo en cuenta sus diferentes combinaciones (Tabla 2). Los análisis de varianza se realizaron con un modelo de bloques y tratamientos con separación de medias usando un test de diferencias

mínimas significativas (LSD) con distintos niveles de significancia. Para el análisis combinado (4 días) de pérdidas por volatilización de NH_3 se usó un modelo mixto con distintas estructuras de correlación entre observaciones de la misma unidad experimental (SAS, 1999).

Tabla 2. Tratamientos en el ensayo con sus equivalentes en kg/ha de cada elemento.

Tratamientos	Fertilizantes en kg/ha	Aplicación			Nutriente en kg/ha		
		P y S	N Forma	N Momento	N	P	S
1. Testigo	-	-	-	-	0	0	0
2. FDA + SO_4Ca	100 FDA y 60 SO_4Ca	Línea y siembra	-	-	18	20	11
3. Urea 1 + FDA + SO4Ca	100 FDA, 60 SO_4Ca y 70 Urea	Línea y siembra	Voleo	Siembra	50	20	11
4. Urea 2 + FDA + SO4Ca	100 FDA, 60 SO_4Ca y 178 Urea	Línea y siembra	Voleo	Siembra	100	20	11
5. Urea 1 + FDA + SO4Ca	100 FDA, 60 SO_4Ca y 70 Urea	Línea y siembra	Voleo	Macollaje	50	20	11
6. Urea 2 + FDA + SO4Ca	100 FDA, 60 SO_4Ca y 178 Urea	Línea y siembra	Voleo	Macollaje	100	20	11
7. eNeTotal 1 + FDA + SO4Ca	100 FDA, 60 SO_4Ca y 78 eNeTotal	Línea y siembra	Voleo	Siembra	50	20	11
8. eNeTotal 2 + FDA + SO4Ca	100 FDA, 60 SO_4Ca y 178 eNeTotal	Línea y siembra	Voleo	Siembra	100	20	11
9. eNeTotal 1 + FDA + SO4Ca	100 FDA, 60 SO_4Ca y 78 eNeTotal	Línea y siembra	Voleo	Macollaje	50	20	11
10. eNeTotal 2 + FDA + SO4Ca	100 FDA, 60 SO_4Ca y 178 eNeTotal	Línea y siembra	Voleo	Macollaje	100	20	11
11. Nitrodoble1 + FDA	100 FDA y 119 Nitrodoble	Línea y siembra	Voleo	Siembra	50	20	11
12. Nitrodoble2 + FDA	100 FDA y 304 Nitrodoble	Línea y siembra	Voleo	Siembra	100	20	22
13. Nitrodoble1 + FDA	100 FDA y 119 Nitrodoble	Línea y siembra	Voleo	Macollaje	50	20	11
14. Nitrodoble2 + FDA	100 FDA y 304 Nitrodoble	Línea y siembra	Voleo	Macollaje	100	20	22
15. SolMix1 + FDA	100 FDA y 87 SolMix	Línea y siembra	Chorrillo	Macollaje	50	20	7
16. SolMix2 + FDA	100 FDA y 221 SolMix	Línea y siembra	Chorrillo	Macollaje	100	20	14

eNetotal: urea con inhibidor de la ureasa; Nitrodoble: nitrato de amonio calcáreo; Solmix: tiosulfato + UAN. A la siembra los tratamientos 2 al 16 se fertilizaron con 100 kg/ha de FDA, y del 2 al 10, con 60 kg/ha de SO_4Ca.

Para caracterizar el suelo bajo estudio se realizó una muestra compuesta de los primeros 20 cm y se determinó MO por el método de Walkey y Black, N total por Kjeldahl, pH en pasta, P extractable por el método de Bray y Kurtz Nº 1 y textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos. La densidad aparente se determinó con cilindros de acero de 250 cm^3 de volumen, en capas de 20 cm hasta 60 cm, para transformar los valores de % a mm de humedad en el suelo y de ppm a kg/ha de N de Nitratos (N de NO_3). Las constantes hídricas (CC: capacidad de campo y PMP: punto de marchites permanente) se determinaron en capas de 20 cm hasta 60 cm con olla de Richard. El nivel de cobertura se midió con un marco 0.25 m^2, para determinar el peso total de los residuos. Se determinó la humedad en el perfil en capas de 20 cm hasta 60-80 cm o al llegar a la tosca por gravimetría, y N de NO_3 en capas de 20 hasta 60 cm, por la técnica de arrastre de vapor (Bremner, 1965) a la siembra, al macollaje y a cosecha. Se analizó el pH en los primeros 20 cm del suelo en los tratamientos de mayores dosis al

macollaje, al momento de la aplicación de los fertilizantes y al finalizar las mediciones de volatilización.

Para determinar el N-NH_3 volatilizado, se utilizó el método de sistema de absorción semiabierto estático, adaptado del propuesto por Nommik (1973) y utilizado por Videla *et al.*, (1994). El mismo consiste en atrapar el N-NH_3 por medio de un cilindro de polietileno de 30 cm de diámetro por 50 cm de altura que tiene en su parte superior dos planchas de poliuretano de 1,5 cm de espesor. Estas deben estar embebidas con H_2SO_4 1 N y separadas 12 cm entre sí (Figura 2). El NH_3 es atrapado por la plancha inferior, mientras que la superior evita que se contamine con NH_3 proveniente de la atmósfera. Las planchas se cambiaron cada 24 h y se lavaron con 1,5 lt de agua desmineralizada. Una alícuota de 25 ml se alcalinizó con 5 ml de NaOH al 40 % y el NH_3 producido se recogió por micro destilación (Keeney y Nelson, 1982) en ácido bórico al 2% hasta completar un volumen de 35 ml. El mismo se tituló con H_2SO_4 0,005 N para determinar la cantidad de N-NH_3 desprendida. Se colocó aleatoriamente una trampa por parcela. Las trampas se enterraron al suelo (5-6 cm) para evitar escapes de NH_3 hacia la atmósfera. Las determinaciones de N-NH_3 volatilizado se realizaron en el testigo y los tratamientos con dos dosis de urea, eNeTotal, SolMix y Nitrodoble. Se midieron las pérdidas desde la aplicación del fertilizante hasta que no se presentaron diferencias entre los tratamientos y el testigo, o luego de una lluvia superior a los 11 mm.

Figura 2. Estructura destinada a atrapar el N-NH_3 liberado.

El cultivo se cosechó manualmente (3 m^2) el 13 de diciembre de 2011, evaluándose los rendimientos en grano corregidos por humedad en kg/ha de cada uno de los tratamientos, y sus componentes, número de espigas por m^2 (con un marco de 0,25 m^2), granos por espiga y peso de mil granos, y porcentaje de proteína. Se midió materia seca en biomasa de todos los tratamientos con un marco de 0.25 m^2. Se estimó biomasa de raíces con cilindros de 5,8 cm de diámetro a una profundidad de 30 cm en el testigo y en la dosis alta de eNtotal al macollaje. Las muestras de raíces se lavaron y tamizaron. Para el cálculo de N absorbido se utilizó un promedio de los tratamientos mencionados. Todo el material vegetal (biomasa de rastrojo y raíces) se seco a estufa a 60 ºC y se peso. Se determinó N total por el método Kjedhal en cada componente de la planta (grano, rastrojo y raíces). Se calculó el uso consuntivo de agua durante el ciclo del cultivo y la eficiencia de uso del agua. Para ello se utilizó la humedad en todo el perfil del suelo en mm, el PMP para obtener el agua disponible y las lluvias caídas entre cada periodo de muestreo. A su vez, se estimó la EUN, la EF y la ER por las fórmulas propuestas por Echeverria, 2009 y Steinbach, 2007 (Tabla 3).

Tabla 3. Fórmulas para calcular las diferentes eficiencias propuestas por Echeverria y Steinbach.

Eficiencias	Echeverria, 2009	Steinbach, 2007
EUN	rendimiento tratamiento/(N inicial+ N del fertilizante+N de mineralización)	(rendimiento tratamiento-rendimiento testigo)/dosis fertilizante
EF	rendimiento tratamiento/(N grano +N rastrojo+ N raíces)	(rendimiento tratamiento-rendimiento testigo)/((N grano+N rastrojo+N raíces) del tratamiento - (N grano+N rastrojo+N raíces) del testigo)
ER	(N grano + N rastrojo +N raíces)/(N inicial+ N del fertilizante+N de mineralización)	((N grano+N rastrojo+N raíces) del tratamiento - (N grano+N rastrojo+N raíces) del testigo)/dosis fertilizante

EUN: Eficiencia de uso de N; EF: Eficiencia fisiológica; ER: Eficiencia de recuperación.

Se midieron en el observatorio de la Estación Experimental INTA de Anguil, las lluvias caídas día por día desde la siembra a cosecha, la humedad relativa y las temperaturas máximas, mínimas y media diarias del aire a 150 cm en abrigo meteorológico durante los días de medición del N-NH_3 volatilizado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dinámica del agua

El agua útil a la siembra fue de 57 mm y las precipitaciones caídas durante el ciclo del cultivo fueron de 267 mm (Tabla 4). El agua útil almacenada a la siembra está condicionada por la profundidad del perfil (tosca 60-80 cm) (Fontana *et al*., 2006). Las lluvias ocurridas durante el cultivo estuvieron cerca de las adecuadas para el trigo (350 mm) (Figura 1, Quiroga *et al*., 2010). Sin embargo, la producción del cultivo estuvo limitada por la distribución de las precipitaciones, que se concentraron en etapas avanzadas del ciclo (Tabla 1, Apéndice de Tablas), esto se comprueba con la escasa agua disponible (4 mm) al macollaje. La eficiencia de uso del agua en el testigo fue de 4,9 kg de grano.mm y la del tratamiento fertilizado (máximo rendimiento) fue de 8,9 kg/ha.mm. La fertilización permitió duplicar la eficiencia de

uso del agua. Estos resultados confirman numerosos trabajos anteriores en la RSP (Fagioli *et al.*, 1982 y 1985 y Tuya *et al.*, 2010). Scianca *et al*., (2006) obtuvieron similares resultados en la Región Subhúmeda Pampeana.

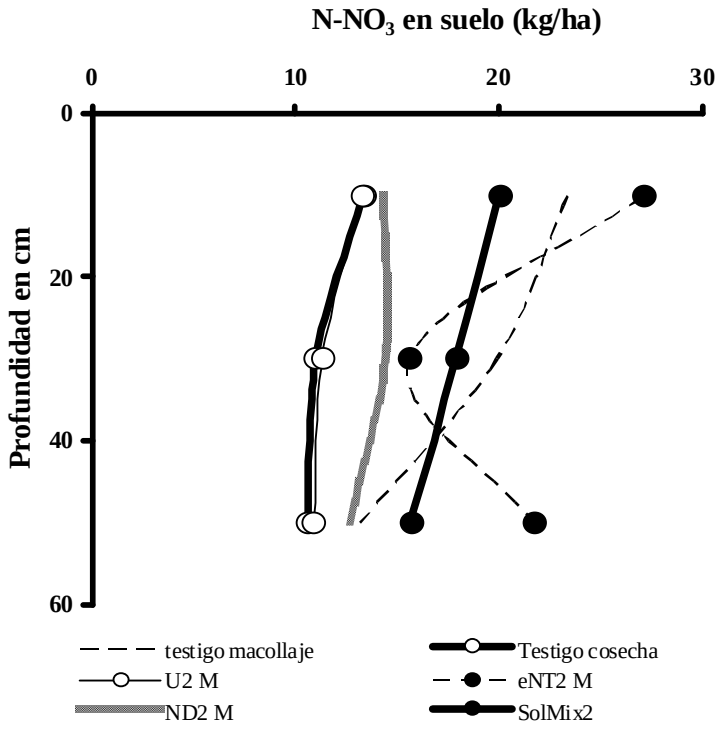
Tabla 4. Humedad total en el suelo, agua útil, uso consuntivo y eficiencia de uso del agua.

Humedad total			Agua útil			Lluvias	UC	EUA	
mm								kg/ha. mm	
Siembra	Macollaje	Cosecha	Siembra	Macollaje	Cosecha	S-C		testigo	ND2S
142,0	**88,4**	**67,9**	**57,6**	**3,9**	**0,0**	**267,4**	**341,5**	**4,9**	**8,9**

S-C: siembra a cosecha: UC: uso consuntivo; EUA: eficiencia de uso del agua; ND2S: Nitro Doble 100 kgN/ha a la siembra, corresponde al rendimiento máximo.

Dinámica del N

El suelo a cosecha presentó bajos niveles de $N\text{-}NO_3^-$ en el testigo (35 kg $N\text{-}NO_3^-$ /ha en el perfil). Esto podría fundamentarse porque el suelo bajo estudio tiene bajo a intermedio contenido MO, N total y el índice (MO y L+A) estaría por debajo del nivel crítico (4.5) (Quiroga *et al.*, 2006) (Tabla 1) y muchos años de agricultura continua. Mientras los tratamientos de altas dosis evaluados tuvieron a cosecha contenidos más altos, 36 a 65 kg $N\text{-}NO_3^-$ /ha (Figura 3, Tabla 2, Apéndice de Tablas). Esto podría deberse a que el cultivo no logró utilizar todo el N disponible.



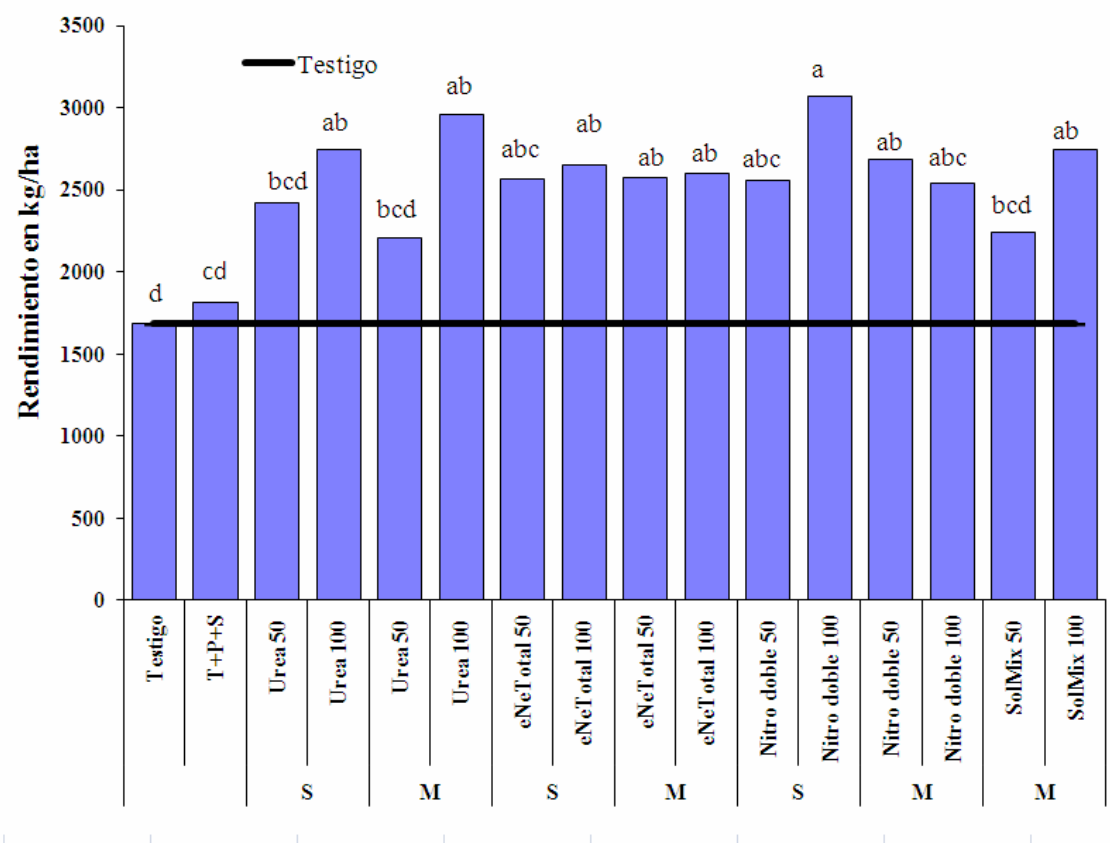
U2 M: Urea 100 kgN/ha en macollaje; eNT2 M: eNeTotal 100 kgN/ha en macollaje; ND2M: Nitrodoble 100 kgN/ha en macollaje; SolMix2: SolMix 100 kgN/ha en macollaje.

Figura 3. N de NO3 en capas de 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad, para distintos momentos y tratamientos.

Rendimiento y sus componentes

El rendimiento de los testigos (testigo absoluto y testigo con P+S) estuvo entre 1600 y 1800 kg/ha, similar al promedio regional. El incremento por agregado de fertilizante varió entre 800 y 1300 kg/ha. Hubo respuesta significativa ($P<0.05$) a la fertilización (Figura 4; Tabla 3, Apéndice de Tablas). Los testigos no se diferenciaron de la dosis mas bajas de urea a la siembra y macollaje y del SolMix. Si bien, hubo respuesta de la mayoría de los tratamientos fertilizados con respecto a los testigos, no hubo diferencias entre fuentes, dosis y momento de fertilización. En particular, no se vieron diferencias entre los tratamientos al macollaje de urea y eNeTotal, resultados que difieren de los presentados por Fontanetto *et al.,* (2011). La falta de respuesta entre dosis de fertilizante se explicaría por las escasas precipitaciones en los

momentos críticos del cultivo. En cuento a la falta de diferencias entre la fertilizaciones a la siembra o al macollaje (momentos de fertilización), estos datos confirman los estudios realizados anteriormente para la RSP y Región Subhúmeda Pampeana (Bono y Alvarez, 2009).

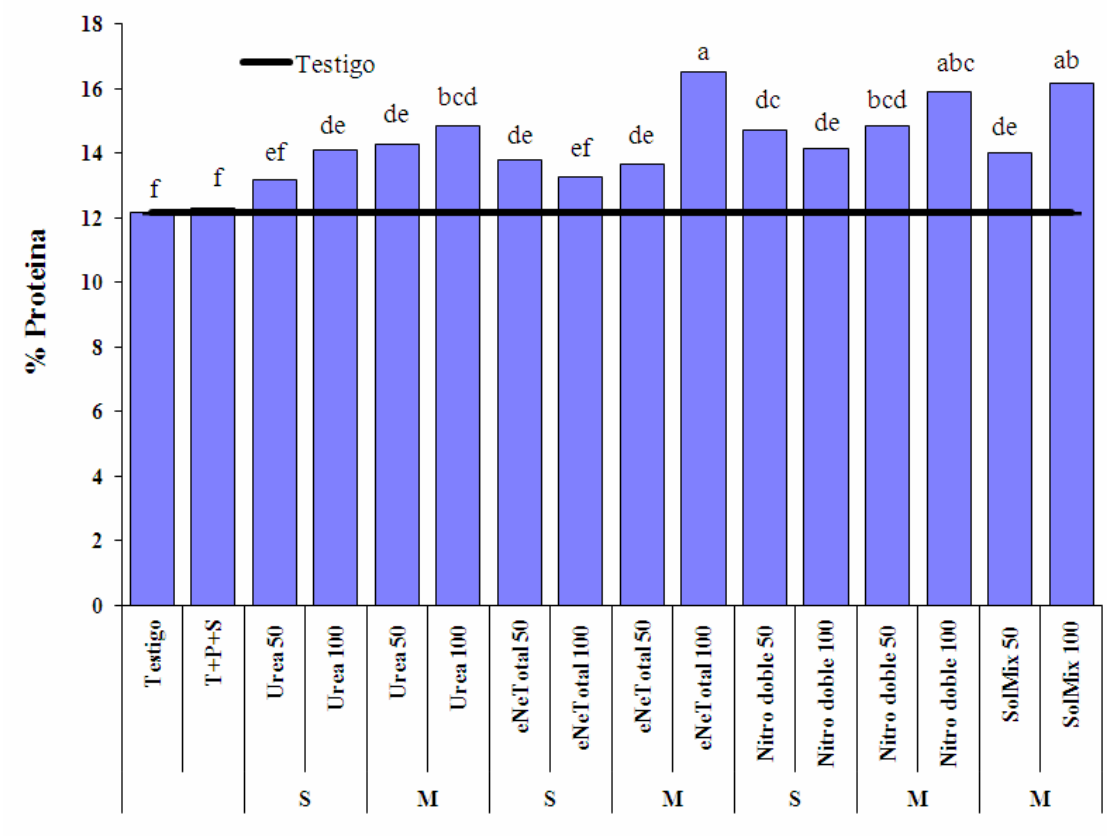


T+P+S: Tratamiento 2, FDA + SO_4Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha; S: Siembra, M: Macollaje. Diferentes letras indican diferencias significativas (*P*<0,05).

Figura 4. Rendimiento de todos los tratamientos. Promedio de tres repeticiones.

El porcentaje de proteína en grano de trigo varió entre 12,2 y 16,5%. Existieron diferencias significativas (*P<0,01*) entre los testigos y la mayoría de los tratamientos fertilizados (Figura 5; Tabla 3, Apéndice de Tablas), salvo los tratamientos a la siembra de urea 50 y eNeTotal 100. En general, los tratamientos con las dosis más altas aplicados al macollaje presentaron los mayores contenidos de proteína. El tratamiento de urea 100 al macollaje tuvo un rendimiento similar a las otras fuentes con la misma dosis y momento de

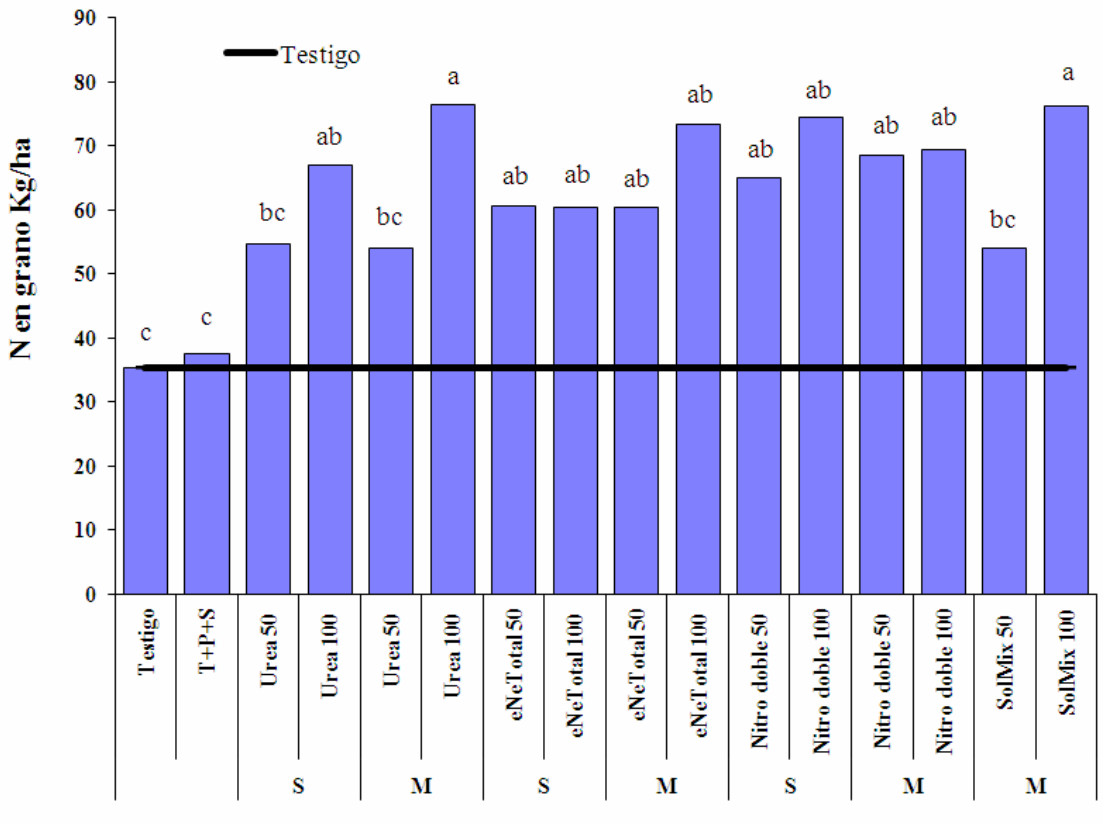
aplicación pero el porcentaje de proteína fue considerablemente menor (Figuras 4 y 5 y Tabla 3, Apéndice de Tablas). Numerosos trabajos confirman estos resultados, donde la fertilización postergada contribuye a un incremento en el porcentaje de proteína (Bono *et al.*, 1997, Loewy, 1995). No hubo diferencias entre fuentes de fertilizantes.



T+P+S: Tratamiento 2, FDA + SO4Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha; S: Siembra, M: Macollaje. Diferentes letras indican diferencias altamente significativas (*P*<0,01).

Figura 5. Porcentaje de proteína de todos los tratamientos. Promedio de tres repeticiones.

El rendimiento expresado en N tuvo un rango de valores de 36 kg N/ha en los testigos a 76 kg N/ha en los tratamientos fertilizados (Figura 6; Tabla 3, Apéndice de Tablas). La mayoría de los tratamientos se diferenciaron significativamente (*P<0,01*) de los testigos, excepto los de baja dosis de urea a la siembra y macollaje y del tratamiento SolMix 50. En general, los niveles más altos de N en grano corresponden a los tratamientos de las dosis más elevadas al macollaje.



T+P+S: Tratamiento 2, FDA + SO4Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha; S: Siembra, M: Macollaje. Diferentes letras indican diferencias altamente significativas (*P*<0,01).

Figura 6. Nitrógeno en grano para todos los tratamientos. Promedio de tres repeticiones.

El peso de mil granos fue de aproximadamente 40 g en todos los tratamientos (Tabla 5). Por lo tanto, no hubo diferencias significativas entre las fuentes, dosis y momentos de fertilización. Los datos corroboran lo obtenido en otros trabajos (Fontanetto *et al*., 2011). Las espigas por metro cuadrado variaron de 255 a 493, sin embargo no hubo diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 5). Uno de los motivos de estos resultados fue el alto coeficiente de variación (21,4 %). Aunque la mayoría de los tratamientos fertilizados con altas dosis generaron mayor número de espigas por metro cuadrado. Los granos por espiga variaron de 15 a 27. Todos los tratamientos fertilizados presentaron mayor número de granos por espiga. Por el contrario, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 5). Al igual que las espigas por metro cuadrado, la falta de significancia se debería al alto

coeficiente de variación (19,4 %). Se sugiere que la variabilidad en los rendimientos es mayormente debida al cambio en el número de granos que en el peso (Slafer *et al.*, 2003). Es decir el número de granos por unidad de superficie es el componente del rendimiento que suele estar más asociado con el rendimiento de los cultivos de grano. La diversidad de estadíos durante los cuales se construye el número de granos, (número de plantas, espigas, espiguillas, granos por espiguilla), da cuenta de la complejidad del sistema. No obstante se demostró que existe un período crítico para definir el número de granos y es un lapso que media desde los veinte días de pre-floración y diez de post-floración.

La biomasa varió de 4000 a 5900 kg/ha. A pesar de ello, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 5). Se observó un coeficiente de variación de 21,1 %, lo que explicaría la falta de diferencias estadísticas. Aunque los tratamientos a la siembra y en altas dosis generaron mayor cantidad de biomasa. Resultados similares fueron obtenidos anteriormente (Baethgen, 1996). La mayoría de los cultivos presentan curvas de producción de materia seca de forma sigmoidal que además es muy similar a la curva de absorción de N por la planta. Este tipo de curva presenta una etapa inicial en la que el cultivo absorbe poca cantidad de N, aumenta muy rápidamente (5-7 pares de hojas en maíz, fin de macollaje en trigo), y termina en una etapa en la que absorción vuelve a ser muy baja (generalmente una semana después de floración). Claramente esta curva permite identificar por lo menos dos momentos críticos para la aplicación de fertilizantes nitrogenados, la primera a la siembra para asegurar la implantación del cultivo y la otra en el momento crítico. Asimismo, los valores de biomasa en kg de N/ha variaron de 14.2 en el testigo absoluto a 31.3 kg N/ha en los tratamientos fertilizados (Tabla 5). No hubo diferencias estadísticas por el alto coeficiente de variación (31.8 %). No obstante, al igual que la biomasa en kg/ha, cuando se transformaron los valores a N, los niveles más altos corresponden a las altas dosis a la siembra. Por otro

lado, hay una relación entre el rendimiento y la cantidad de N en grano. En general las aplicaciones de altas dosis al macollaje producen mayor porcentaje de proteína. La utilización de aditivos no incrementó el rendimiento, el contenido de N en grano ni en biomasa.

Tabla 5. Peso de mil granos, espigas por m^2 y granos por espiga, biomasa y N absorbido por el grano, biomasa y raíces de todos los tratamientos. Promedio de tres repeticiones.

Tratamientos			Peso de mil granos en gramos	Espigas/m^2	Granos/espiga	Biomasa		N absorbido (G +B+R*)
						kg/ha		
						MS	N	
Testigo			40.0	343	15.9	3987	14.2	65.3
T+P+S			39.3	255	19.4	4193	18.3	71.5
Urea	**S**	**50**	39.7	327	24.7	3985	16.2	86.7
		100	39.7	487	25.1	5488	23.5	106.2
	M	**50**	37.3	412	26.4	4289	19.0	88.8
		100	38.0	421	22.9	4648	20.7	112.9
eNeTotal	**S**	**50**	39.0	372	20.9	4887	20.0	96.4
		100	40.2	471	22.1	5809	24.1	100.3
	M	**50**	39.3	393	18.1	5180	20.7	96.8
		100	35.8	385	22.1	4285	27.3	116.6
Nitro doble	**S**	**50**	39.0	344	25.0	4399	17.8	89.6
		100	39.7	447	22.7	5964	31.3	121.7
	M	**50**	37.5	375	27.8	4259	19.6	104.0
		100	37.7	493	22.4	5648	24.3	109.4
SolMix	**M**	**50**	38.8	387	24.9	4643	18.9	88.8
		100	37.5	399	25.2	4659	25.5	117.5
CV (%)			3.9	21.4	19.4	21.1	31.8	

S: Siembra; M: Macollaje; T+P+S: Tratamiento 2, FDA + SO4Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha; G: Grano; B: Biomasa; R: Raíces; CV: Coeficiente de variación.
* kgN/ha de raíces es el promedio de los tratamientos testigo y eNeTotal 100 al macollaje (15,8 kgN/ha)

Pérdidas por volatilización de NH_3

El período de medición se desarrolló del 27 al 30 de septiembre de 2011. Las temperaturas medias diarias oscilaron entre 12,6 y 22,0 ºC, las máximas variaron de 20,4 a 29,0 ºC y las mínimas de 4,4 a 17,0 ºC (Tabla 6). Tanto las temperaturas medias, mínimas y máximas de septiembre del 2011 fueron 1,8, 0,7 y 3,2 ºC superiores respectivamente al promedio de dicho mes de los últimos 38 años (Casagrande *et al*., 2012). Por otra parte, las precipitaciones ocurridas durante septiembre de 2011 fueron solo 2,5 mm, que ocurrieron

cinco días antes del inicio de las mediciones. Cabe destacar que el periodo en el cual se desarrolló el estudio fue el mes de septiembre más seco en 18 años.

Tabla 6. Temperaturas máximas, mínimas y medias de los 4 días de medición de volatilización.

Día	Temperatura ºC			Humedad relativa %
	Máxima	Mínima	Media	
1	29.0	13.4	21.2	50
2	27.0	17.0	22.0	47
3	23.8	4.4	14.1	30
4	20.4	4.8	12.6	43

Las mediciones se realizaron desde el día 27 al 30 de septiembre de 2011.

El pH del suelo a 20 cm durante los días de medición de volatilización para los diferentes tratamientos varió de 6,1 a 7,4 (Tabla 7). En general no se encontraron aumentos de pH luego de la fertilización.

Tabla 7. pH a 20 cm de profundidad del suelo del día de inicio de la fertilización al macollaje y del último día de medición de volatilización.

Tratamientos	pH	
	inicio fertilización	día 4
Testigo	6,5	6,3
Urea 100	7,1	6,8
eNeTotal 100	6,7	7,4
Nitro doble 100	6,4	6,1
SolMix 100	6,5	6,4

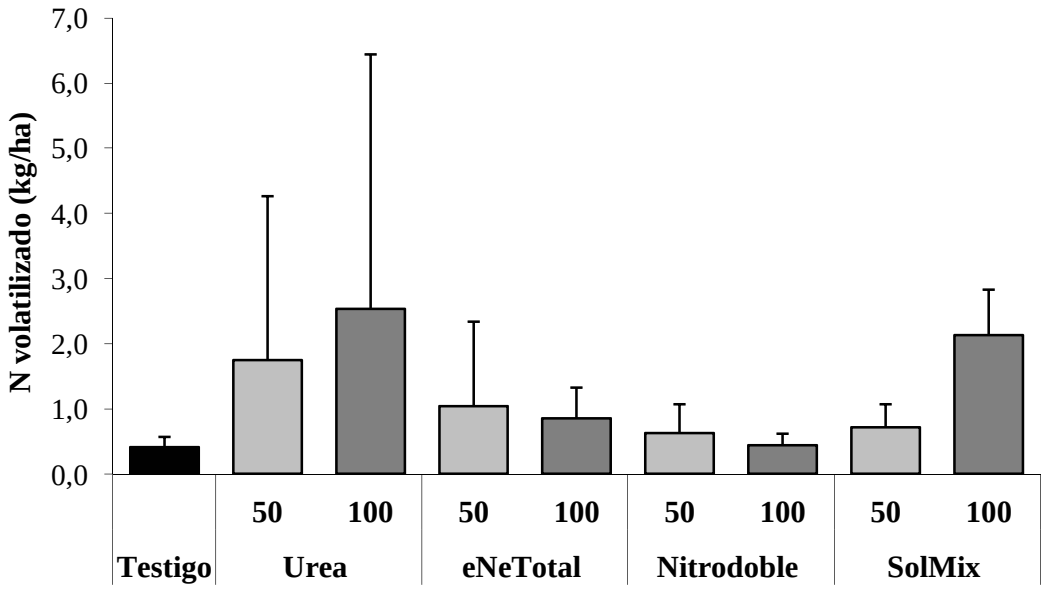
100: 100 kg/ha de N.

Las pérdidas totales de volatilización medida en el ensayo oscilaron entre 0,44 y 2,53 kg N/ha, siendo el menor valor el del tratamiento de Nitrodoble 100 y el mayor el de alta dosis de urea (Figura 7). Las mayores pérdidas se produjeron el primer día de medición para todos los tratamientos excepto las dos dosis de urea. Las pérdidas totales expresadas en porcentaje fueron las más altas para 50 y 100 kg de N aplicadas con urea (3.69 y 2.53 %

respectivamente), y la más bajas para 100 kg de N aplicadas con Nitrodoble y eNeTotal (0.44 y 0.86 % respectivamente). A igualdad de dosis (50 y 100 kg N/ha) Nitrodoble tuvo menores pérdidas que eNeTotal (Tabla 4, Apéndice de Tablas). Hubo diferencias significativas entre algunos tratamientos en cada día de medición ($P<0.01$ y $P<0.05$). El tratamiento SolMix 100 se diferenció del testigo ($P<0.01$ y $P<0.05$) en los cuatro días de medición (Tabla 5, Apéndice de Tablas). Sin embargo, las pérdidas por volatilización fueron muy bajas, por lo tanto las diferencias estadísticas carecen de importancia agronómica. En un ensayo realizado en trigo en un Argiudol Típico en Santa Fe, en condiciones de alta humedad relativa y temperatura, hubo altas pérdidas de N (mayores a 20 % luego de 11 días de medición) para dosis de 40 y 80 kgN/ha con urea (Fontanetto *et al*., 2011). En un ensayo en Balcarce, cuando se realizó fertilizaciones con urea sobre una pastura en otoño las pérdidas se incrementaron significativamente en función de la dosis. Para las condiciones de este experimento, cuando la dosis aplicada fue 90 kg N/ha, las pérdidas por volatilización no difirieron significativamente del testigo. Por el contrario, cuando la dosis utilizada fue 180 kg/ ha se produjeron importantes pérdidas de N-NH_3 por volatilización siendo las mismas de aproximadamente el 35% del N aplicado (Barbieri y Echeverría, 1999).

El promedio de los datos de volatilización generados en la Región Pampeana para el cultivo de trigo indican pérdidas de N con valores de 1 al 9 % con un promedio de 4.5 % de urea aplicada al voleo en macollaje (Abascal *et al.*, 2004; Fontanetto *et al*., 2001; Videla, 1994 y Zubillaga *et al.*, 1998). En nuestro ensayo coincidieron las temperaturas elevadas pero la humedad relativa del aire y la humedad del suelo fueron bajas (Tabla 6), lo que explicaría una de las causas de los muy bajos valores de volatilización encontrados. Por otro lado, a bajas dosis de N aplicado la capacidad buffer del suelo contrarresta el aumento de pH producido por la hidrólisis de la urea. Esto coincide con lo reportado para suelos de aptitud

agrícola de Balcarce (Videla *et al.*, 1996, Sainz Rozas *et al.*, 1997). El uso de productos con inhibidor de la actividad ureásica no incrementó los rendimientos, probablemente porque las pérdidas de NH_3 desde los tratamientos con urea y SolMix no fueron de magnitud (1.46 a 3.69%).



Las barras indican el desvío estándar de la media. 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha

Figura 7. Total de N volatilizado en los cuatro días de medición para los tratamientos al macollaje

Eficiencias de uso de N

Considerando el N disponible en el suelo (Echeverria, 2009), la EUN varió entre 15 y 18 kg grano/kg de N disponible y la EF entre 23 y 26 kg grano/kgN absorbido, no siendo afectados por los tratamientos. Mientras que la ER fue de 0.59 para el testigo absoluto y de 0.64 a 0.71 kg/N absorbido/kgN disponible en los tratamientos fertilizados, existiendo diferencias significativas ($P<0.01$ y $P<0.05$) (Tabla 8, Tabla 6, Apéndice de Tablas). Todos los tratamientos se diferenciaron del testigo absoluto y T+P+S ($P<0.01$ y $P<0.05$). En general con las dosis más altas de N baja la ER (mayor N disponible), en nuestro ensayo, sin

embargo, para todas las fuentes y momentos hubo una tendencia a mejorar esta eficiencia con la dosis de 100 kg/ha. Por otro lado, analizando las eficiencias desde el punto de vista del N aplicado (Steinbach, 2007), todos los tratamientos se diferenciaron de T+P+S ($P<0.01$ y $P<0.05$) con respecto a la EUN (Tabla 8, Tabla 7 Apéndice de Tablas). Los tratamientos con las dosis más bajas de eNetotal y Nitrodoble a la siembra y al macollaje se diferenciaron del resto de los tratamientos. Mientras, la EF varió de 11.1 a 37.0 kg grano/kgN absorbido y la ER varió de 0.35 a 0.77 kgN absorbido/kgN disponible, pese a este rango de variación, no hubo diferencias estadísticas significativas. Las EF y de ER no fueron afectados por las distintas fuentes de fertilizantes nitrogenadas. Sin embargo, a pesar de que no hubo diferencias estadísticas entre ellos, en general, hay una mejoría en las eficiencias con bajas dosis aplicadas a la siembra y macollaje en las fuentes de fertilizantes aplicadas. Bono y Álvarez. (2012) en un trabajo de larga duración en Anguil, encontraron que los pooles orgánicos en conjunto (mineralización mas liberación de N desde residuos) aportaron 38% del N disponible en trigo. Sumando el N a la siembra se estimó un aporte total de N del suelo de 69% para este cultivo. Similares valores se generaron en nuestro ensayo, el suelo aportó entre el 64 y 84% del N para los distintos tratamientos (fuentes y dosis). Para este estudio, la fertilización en consecuencia representó una fuente de N para el cultivo de trigo de mucha menor importancia que el suelo. Por lo tanto, es de vital importancia hacer un uso racional en la aplicación de los fertilizantes.

Tabla 8. Eficiencias de uso de N, fisiológica y de recuperación para todos los tratamientos, promedio de tres repeticiones.

Tratamientos			Rend	EUN		EF		ER	
			Kg/ha	A	B	A	B	A	B
Testigo			1684	15.1	-	25.8	25.8	0.59 a	-
T+P+S			1812	15.4	7.1 a	25.3	37.0	0.61 a	0.35
Urea	**S**	**50**	2419	17.9	14.7 c	27.9	34.3	0.64 b	0.43
		100	2746	17.7	10.6 b	25.9	26.0	0.69 bc	0.41
	M	**50**	2206	16.0	10.4 b	24.8	22.2	0.65 b	0.47
		100	2957	18.3	12.7 b	26.2	26.8	0.70 bc	0.48
eNeTotal	**S**	**50**	2567	17.7	17.7 d	26.6	28.4	0.66 bc	0.62
		100	2649	17.8	9.6 b	26.4	27.6	0.67 bc	0.35
	M	**50**	2573	17.7	17.8 d	26.6	28.2	0.67 bc	0.63
		100	2599	15.7	9.2 b	22.3	17.9	0.71 c	0.51
Nitro doble	**S**	**50**	2553	17.3	17.4 d	25.9	26.1	0.67 bc	0.67
		100	3069	18.0	13.9 c	25.2	24.6	0.71 c	0.56
	M	**50**	2681	17.5	19.9 e	25.8	25.7	0.68 bc	0.77
		100	2541	16.1	8.6 b	23.2	11.1	0.69 bc	0.44
SolMix	**M**	**50**	2245	16.3	11.2 b	25.3	30.7	0.65 b	0.47
		100	2742	16.5	10.6 b	23.3	20.3	0.71 c	0.52

S: Siembra; M: Macollaje. EUN: Eficiencia de uso de N (kg grano/kgN disponible o aplicado); EF: Eficiencia fisiológica (kg grano/kgN absorbido); ER: Eficiencia de recuperación (kgN absorbido/kgN disponible o aplicado); la columna A se refiere a la fórmula propuesta por Echeverria (2009), y la columna B a la de Steinbach (2007); T+P+S: Tratamiento 2, FDA + SO4Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha. Diferentes letras indican diferencias altamente significativas (P<0,01 y P<0,05).

CONCLUSIONES

- Las pérdidas por volatilización fueron muy bajas, pero igualmente los productos con inhibidores mejoran este aspecto.
- Hubo respuesta a la fertilización nitrogenada, sin embargo no hubo diferencias de rendimiento entre fuentes, momentos y dosis de N. Los tratamientos en altas dosis al macollaje presentaron mayores valores de proteína.
- Desde el punto de vista del N aplicado, hubo una mayor EUN con bajas dosis (50 kgN/ha) aplicadas a la siembra y macollaje con el uso de eNetotal y Nitrodoble.

BIBLIOGRAFÍA

Abbate P y FH Andrade. 2007. Los nutrientes del suelo y la determinación del rendimiento de los cultivos. *In*: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. *Ed*: INTA. Pp 43-65.

Abascal SA; DE Buschiazzo; G Riola y C Guiota. 2004. Volatilización de amoníaco en un Haplustol fertilizado con urea y fosfato diamónico, en dos sistemas de labranza. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Actas en CD.

Álvarez R; F Gutiérrez Boem y G Rubio. 2007. Capítulo 5: Recomendación de fertilización. *In*: Fertilización de cultivos de granos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la región pampeana. *Ed*: Facultad de Agronomía UBA. Pp 63-77.

Anuario estadístico de la provincia de La Pampa. 2009. Gobierno de la provincia de La Pampa. Pp 272.

Baethgen W. 1996. Dinámica del nitrógeno en los sistemas agrícolas-ganaderos. *In*: 3 er Seminario de Actualización Técnica. Fertilización en cultivos extensivos y forrajeras, pp 123-144.

Bárbaro N; S López; M Melaj; R Bergh; H Eheverría y T Loewy. 1999. Influencia del momento de aplicación en la eficiencia de fertilización nitrogenada en cultivos de trigo. Actas del 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo.

Barbieri PA y HE Echeverría. 1999. Evolución de las pérdidas por volatilización de amoníaco desde urea aplicada en otoño a una pastura perenne. 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. En CD. Temuco. Chile.

Barbieri PA; HR Sainz Rozas y HE Echeverría. 2008. Time of nitrogen application affects nitrogen use efficiency of wheat in the humid pampas of Argentina. Canadian Journal of Plant Science. 88. Pp 849-857.

Belmonte ML; M Fernández; Y Bellini Saibene; H Lorda; M Fuentes; A Rossi; J Garay y R Rivarola. 2010. Capítulo 2: Caracterización tecnológica y productiva del cultivo de trigo y otros cereales de invierno para la Región Semiárida Pampeana Central. *In:* El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. Publicación Técnica Nº 79. Pp 13-31.

Bock BR. 1984. Efficiency use of nitrogen in cropping systems. Nitrogen in crop production. Hauck RD, JD Beaton, CA Goring, RG Hoelf, GW Randall. DA Russel. ASA-CSSA-SSSA, Madison USA. Pp 273-294.

Bono A, JC Montoya, P Lescano y FJ Babinec. 1997. Fertilización del trigo con nitrógeno y fósforo en la Región Semiárida Pampeana. Campaña 1996. Publicación técnica Nº47.

Bono A y R Álvarez. 2007. Mineralización de nitrógeno del suelo en la región semiárida pampeana. *In*: Aspectos de la evaluación y el manejo de los suelos en la región semiárida pampeana. Publicación Técnica Nº 69, INTA Anguil. Pp 65-76.

Bono A y R Álvarez. 2009. Rendimiento de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. Un modelo predictivo de la respuesta a la fertilización nitrogenada. Informaciones Agronómicas IPNI 41. Pp 18-21.

Bono A y N Romano. 2010. Capítulo 5. Nutrición y fertilización del cultivo de trigo en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. *In:* El cultivo de trigo en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. Publicación Técnica Nº 79, INTA Anguil. Pp. 47-55.

Bono A y R. Álvarez. 2012. Nitrogen mineralization in a coarse soil of the semi-arid Pampas of Argentina. Archives of Agronomy and Soil Science DOI:10.1080/03650340.2011.625413

Bremmer JM. 1965. Inorganic forms of nitrogen. p. 1179-1237. *In:* C.A. Black et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monog. 9. ASA, Madison, WI.

Buschiazzo D; A Quiroga y K Stahr. 1991. Paterns of organic matter acumulations in soils of the semiarid argentinian pampas. Z. Pflanz. Boden 154. Pp 437-441.

Buschiazzo DE; S Aimar y T Zobeck. 1999. Wind erosion in soils of the semiarid Argentinean Pampas. Soil Science 164. Pp 133-138.

Casagrande GA; ME Deanna; A Farrell y F Babinec. 2012. Estadísticas agroclimáticas de la EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas", período 1973-2011. Publicación técnica Nº 88. Pp 8-10, 35.

Díaz Zorita M y G Duarte. 1998. Diagnóstico y manejo de la fertilización de trigo en el oeste bonaerense. Publicación Técnica Nº 26. EEA Gral. Villegas INTA.

Díaz Zorita M. 2000. Efectos de dos momentos de aplicación de urea sobre la producción de grano de trigo en Drabble (Buenos Aires, Argentina). Ciencia del suelo 18. Pp 125-131.

Echeverría H. 2009. Eficiencia de uso de nitrógeno en cultivos extensivos. Balcarce Jornadas Nacionales Sistemas Productivos Sustentables, Comisión Química de Suelos. AACS. Bahía Blanca, Buenos Aires.

Fageria NK y VC Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *In*: Advances in Agronomy. Volumen 88. Pp 89.

Fagioli M; A Bono e H E Torroba Gentilini. 1982. Productividad de los cultivos de trigo en la Región Semiárida Pampeana. Publicación técnica Nº 24. INTA Anguil.

Fagioli M; A Bono y R Alvarez. 1985. Manejo del agua y de la fertilidad en tierras de cultivo en la Región Pampeana Semiárida. Boletín de divulgación técnica Nº 35. INTA Anguil

Ferrari M y H Carta. 1996. Respuesta del maíz en siembra directa a distintas fuentes y dosis de fertilizante nitrogenado. Revista de Tecnología Agropecuaria. Divulgación Técnica del INTA Pergamino. Pp 5-8.

Fontana F, M Paturlane, M Saks y A Quiroga. 2006. Efecto del espesor de suelo sobre propiedades edáficas y rendimiento de trigo en la región semiárida pampeana. Publicación técnica Nº 66. INTA Anguil. Pp 15-22.

Fontanetto H; F Llabías; O Keller y H Vivas. 2001. Volatilización de amoníaco desde diferentes fuentes nitrogenadas aplicadas en trigo con siembra directa. Anuario 2001 INTA Rafaela.

Fontanetto H; S Gambaudo; O Keller; J Albrecht; D Glaillevra; C Negro; L Belotti y H Boschetto. 2010a. Efecto de un inhibidor de la ureasa sobre la fertilización nitrogenada en maíz de segunda. Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario.

Fontanetto H; O Keller; D Giailevra; C Negro y L Belotti. 2010b. Fuentes nitrogenadas en trigo: su efecto sobre los rendimientos y las pérdidas de nitrógeno por volatilización. Rafaela. http://www.engormix.com/MA-agricultura/trigo/articulos/fuentes-nitrogenadas-trigo-efecto-t2826/998-p0.htm#opides. 26 de diciembre de 2012.

Fontanetto H; S Gambaudo; O Keller; J Albrecht; E Weder; M Sillón; G Gianinetto y G Meroi. 2011. Trigo: Efecto de un inhibidor de la actividad ureásica con dos dosis de nitrógeno. *In*: Revista Agromercado, cuadernillo clásico abril Nº 162. Pp 24-26.

García F y J Costa. 1996. Dinámica del nitrógeno en ecosistemas agrícolas de la región pampeana- módulo Ensayo de campo. Informe Proyecto INTA 80-033. EEA INTA Balcarce.

García F; H Sarlangue; F Justel; L Picone y F Grattone. 1996. Fertilización nitrogenada de trigo en siembra directa en el sudeste bonaerense. Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo. Santa Rosa, La Pampa.

García F. 1998. Dinámica del Nitrógeno en ecosistemas agrícolas: efectos de la siembra directa. *In*: Fertilización de pasturas y cereales de invierno. Curso de actualización para profesionales. INTA EEA "General Villegas".

García F; KP Fabrizzi; LI Picone y JF Justel. 1999. Volatilización de amonio a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente bajo siembra directa y labranza convencional en Argentina. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia de Suelo. Pucón. Actas en CD.

Hargrove W. 1988. Soil environmental and management factors influencing ammonia volatilization under field condition. *In*: Bock B y D Kissel (ed.). Ammonia volatilization from urea fertilizers. NFDC-TVA. Muscle Shoals, Alabama (E.U.A).

Hauck RD. 1985. Slow release and bio-inhibitor-amended nitrogen fertilizers. *In*: "Fertilizers technology and use". *Ed*: O.P. Engelstad. Pp 293-322. Madison, Wisconsin (E.U.A).

INTA, Gobierno de La Pampa, UNLPam. 1980. Inventario integrado de recursos naturales de la provincia de La Pampa. ISAG Buenos Aires. Pp 493.

Keeney DR y DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic form. *In:* Methods of soil Analysis Part 2. Chemical and microbiological properties. AL Page Ed American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. Pp 643-693.

Laurent G; JL Ferrari; MA Lázzari y RL Victoria. 1996. Balance del nitrógeno del fertilizante aplicado al trigo en dos épocas diferentes. Ciencia del Suelo. 14: Pp 7-11.

Loewy T. 1990. Fertilización nitrogenada del trigo en el sudoeste bonaerense. Respuesta física y diagnóstico. Ciencia del Suelo. 8 (1): Pp 47-56.

Loewy T. 1995. Fertilización y proteína en grano de trigo en el sudoeste Bonaerense. Boletín de divulgación Nº 39. EEA INTA Bordenave.

Marino A. 2011. Volatilización de NH_3. Balcarce. http://www.profertilnutrientes.com.ar/images/archivos/?id=474. 26 de diciembre de 2012.

Melgar R; MH Camozzi y M Torres Duggan. 2012. Guía de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales. Pp. 165-171.

Nommik H. 1973. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. Plant and soil. 39: Pp 309-318.

Quinteros C y G Boschetti. 2001. Eficiencia de uso del nitrógeno en trigo y maíz en la región pampeana argentina. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UNER.

Quiroga A; D Buschiazzo y N Peinemann. 1996a. Management discriminant properties in semiarid soils. Soil Science 163. Pp 591-597.

Quiroga A; D Buschiazzo y N Peinemann. 1996b. Soil organic matter particle size fractions in soil of the semiarid argentinian pampas. Soil science 161. Pp 104-108.

Quiroga A; D Funaro; E Noellemeyer; y N Peinemann. 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. Soil and Tillage Research. 90: 63-68.

Quiroga A; R Fernandez; O Ormeño e I Frasier. 2010. Capítulo 4. Consideraciones sobre el manejo del agua y la nutrición en trigo. *In:* El cultivo de trigo en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. Publicación Técnica Nº 79, INTA Anguil. Pp. 41-46.

Romano NF y Z Roberto. 2007. Contenido de fósforo extractable, pH y materia orgánica en los suelos del este de la Provincia de La Pampa. Informaciones Agronómicas 33: Pp 1-6.

Sainz Rozas H R; H E Echeverría; G A Studdert y F H Andrade. 1997. Efecto inhibidor de la ureasa (nBTPT) y del momento de fertilización sobre las transformaciones del nitrógeno en el suelo bajo siembra directa de maíz. Ciencia del suelo 15:17-21.

SAS Institute. 1999. SAS/STAT User's Guide (Versión 8). *Ed*: SAS Inst. Inc., Cary, NC.

Scian B. 2002. Variabilidad de las condiciones hídricas en la Región Semiárida Pampeana, Argentina. Geoacta 27. Pp 30-52.

Scianca C; C Álvarez; M Barraco y M Diaz Zorita. 2006. Fertilización nitrogenada y eficiencia de uso de agua de trigo en la región subhúmeda pampeana. Publicación técnica Nº 67. INTA Anguil. Pp 55-60.

Shoji S; J Delegado; AR Mosier and Y Miura. 2001. Controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32, 1051–1070.

Slafer G; DJ Miralles; R Savin; EM Whitechurch y FG González. 2003. Capítulo 7. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad del trigo. *In*: Producción de granos. Fundamentos para su manejo. *Ed*: Editorial Facultad de Agronomía UBA, pp 101-131.

Steinbach H. 2007. Capítulo 3: Funciones de producción. *In*: Fertilización de cultivos de granos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la región pampeana. *Ed*: Facultad de Agronomía UBA. Pp 39-51.

Tuya O; A Quiroga y F Epuñan. 2010. Cápitulo 4: Nutrición de cultivos. Estrategias para incrementar la producción y la eficiencia de uso del agua. *In*: Gestión del agua en producciones agrícolas y ganaderas de secano. Boletín de Divulgación Técnica Nº 98. INTA Anguil. Pp 43-49.

Videla C. 1994. La volatilización de amoníaco : una vía de pérdida de nitrógeno en sistemas agropecuarios. Boletín Técnico 131. EEA INTA Balcarce. 16 páginas.

Videla C; C Navarro; N González y D Miñón. 1994. Volatilización de amonio a partir de orina de vacunos aplicada a suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 12. Pp 1-6.

Videla C. 1995. La volatilización de amoníaco: Una vía de pérdida de nitrógeno en sistemas agropecuarios. Boletín Técnico 131. EEA INTA Balcarce.

Videla C; JL Ferrari; HE Echeverría y MI Travasso. 1996. Transformaciones del nitrógeno en el cultivo de trigo. Ciencia del Suelo. 14: Pp 1-6.

Viglizzo EF; F Lértora; AJ Pordomingo; JN Bernardos; ZE Roberto y H Del Valle. 2001. Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the Pampas of Argentina. Agricultural. Ecosystem. Environment. 83.Pp 65-81.

Zubillaga MS; MM Zubillaga; S Urricarriet y RS Lavado. 1998. Efecto de distintas alternativas de fertilización sobre la volatilización del amoníaco en trigo bajo siembra directa. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: 157-158.

APENDICE Y TABLAS

Tabla 1. Precipitaciones diarias ocurridas desde siembra a cosecha

2011	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total
Jun																		1,5				3,8							3,0			8,3
Jul														2,0				24,2						0,5	1,3							28,0
Ago		0,8															10,0	0,5														11,3
Sep																						2,5										2,5
Oct				2,0	1,0	10,0	6,5	6,0		5,2	26,0	3,0												6,0			1,2	1,0				67,9
Nov			43,0			24,5	16,0	1,0										10,0	1,5	12,5							8,5	15,0				132,0
Dic			16	0,7						9,0																						25,7

fecha de muestreo; período del cultivo, de siembra a cosecha

Tabla 2. Contenido de N – NO_3 en el suelo en distintos momentos y tratamientos.

Profundidad (cm)	kgN-NO3/ha					
	Macollaje	Cosecha				
	Testigo	Testigo	U2 M	eNT2 M	ND2 M	SolMix2 M
10	23,3	13,3	13,3	27,1	14,3	20,0
30	19,9	11,0	11,3	15,6	14,4	17,9
50	13,2	10,6	10,9	21,7	12,7	15,7
Total	56,4	34,9	35,5	64,4	41,4	53,5

U2 M: Urea 100 kgN/ha en macollaje; eNT2 M: eNeTotal 100 kgN/ha en macollaje; ND2M: Nitrodoble 100 kgN/ha en macollaje; SolMix2: SolMix 100 kgN/ha en macollaje.

Tabla 3. Rendimiento, proteína en grano y N en grano de todos los tratamientos. Promedio de tres repeticiones.

Tratamientos			Rendimiento		Proteína		N en grano	
			kg/ha		%		kgN/ha	
Testigo			1684	d	12,2	f	35,3	c
T+P+S			1812	cd	12,3	f	37,5	c
Urea	**S**	**50**	2419	bcd	13,2	ef	54,8	bc
		100	2746	ab	14,1	de	66,9	ab
	M	**50**	2206	bcd	14,3	de	54,0	bc
		100	2957	ab	14,9	bcd	76,3	a
eNeTotal	**S**	**50**	2567	abc	13,8	de	60,6	ab
		100	2649	ab	13,3	ef	60,4	ab
	M	**50**	2573	ab	13,7	de	60,3	ab
		100	2599	ab	16,5	a	73,5	ab
Nitro doble	**S**	**50**	2553	abc	14,7	dc	65,0	ab
		100	3069	a	14,1	de	74,5	ab
	M	**50**	2681	ab	14,9	bcd	68,6	ab
		100	2541	abc	15,9	abc	69,4	ab
SolMix	**M**	**50**	2245	abc	14,0	de	54,1	bc
		100	2742	ab	16,2	ab	76,2	a
CV (%)			18,2		5,6		20,4	

S: Siembra; M: Macollaje; T+P+S: Tratamiento 2, FDA + SO4Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha; CV: Coeficiente de variación. Análisis estadístico LSD

Tabla 4. Volatilización de N para los cuatro días de medición en los tratamientos al macollaje. Promedio de tres repeticiones.

Tratamientos		**Volatilización Kg N/ha**					**%Pérdida**
		día 1	**día 2**	**día 3**	**día 4**	**total**	
Testigo		0,24	0,07	0,06	0,05	0,41	0,00
Urea	**50**	0,14	0,16	0,57	0,97	1,85	3,69
	100	0,24	0,06	0,78	1,45	2,53	2,53
eNe Total	**50**	0,84	0,05	0,07	0,09	1,05	2,10
	100	0,55	0,07	0,14	0,09	0,86	0,86
Nitrodoble	**50**	0,39	0,05	0,12	0,10	0,65	1,31
	100	0,24	0,05	0,08	0,08	0,44	0,44
SolMix	**50**	0,33	0,21	0,09	0,11	0,73	1,46
	100	1,04	0,36	0,42	0,31	2,13	2,13

50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha. % Perdida = (N Total volatilizado/ N aplicado) * 100.

Tabla 5. Análisis combinado (4 días) de pérdidas por volatilización de NH_3 usando un modelo mixto. Comparación de medias usando LSD.

Día 1									
Tratamiento	Volatilizacion	UM50	UM100	eNeTM50	eNeTM100	NDM50	NDM100	SMixM50	SMixM100
T	0.2353	0.707	0.993	0.070	0.025	0.281	0.971	0.292	**<.0001**
UM50	0.0462		0.840	0.188	0.328	0.534	0.704	0.576	0.056
UM100	0.2416			0.504	0.709	0.882	0.996	0.915	0.340
eNeTM50	0.8362				0.422	0.172	0.069	0.131	0.552
eNeTM100	0.5546					0.422	0.172	0.069	0.131
NDM50	0.3656						0.259	0.786	**<.0001**
NDM100	0.2374							**<.0001**	0.245
SMixM50	0.3298								**<.0001**
SMixM100	1.0400								
Día 2									
T	0.0672	0.854	0.992	0.959	0.964	0.889	0.721	0.124	**0.019**
UM50	0.1597		0.917	0.855	0.868	0.831	0.821	0.927	0.703
UM100	0.0588			0.993	0.986	0.992	0.988	0.860	0.723
eNeTM50	0.0504				0.947	1.000	0.990	0.640	0.375
eNeTM100	0.0735					0.892	0.839	0.381	0.103
NDM50	0.0504						0.970	0.240	0.052
NDM100	0.0462							**0.047**	**0.008**
SMixM50	0.2059								0.260
SMixM100	0.3551								
Día 3									
T	0.0588	0.310	0.387	0.980	0.582	0.638	0.775	0.851	**0.003**
UM50	0.5715		0.832	0.399	0.402	0.375	0.325	0.329	0.774
UM100	0.7773			0.425	0.445	0.429	0.398	0.399	0.673
eNeTM50	0.0672				0.843	0.888	0.979	0.980	0.298
eNeTM100	0.1366					0.902	0.651	0.686	0.095
NDM50	0.1156						0.724	0.762	**0.049**
NDM100	0.0756							1.000	**0.003**
SMixM50	0.0756								**0.010**
SMixM100	0.4244								
Día 4									
T	0.0525	0.071	0.094	0.908	0.777	0.701	0.593	0.542	**0.033**
UM50	0.9706		0.618	0.143	0.093	0.092	0.080	0.091	0.202
UM100	1.4538			0.128	0.107	0.107	0.101	0.108	0.174
eNeTM50	0.0903				0.995	0.980	0.985	0.960	0.516
eNeTM100	0.0924					0.971	0.950	0.922	0.200
NDM50	0.0987						0.897	0.949	0.168
NDM100	0.0840							0.771	**0.046**
SMixM50	0.1071								0.121
SMixM100	0.3130								

M50: Macollaje 50kg N/ha; M100: Macollaje 100kgN/ha T: Testigo; U: Urea; eNeT: eNeTotal; ND: Nitro Doble; SMix: SolMix.

Tabla 6. Eficiencia de recuperación del N (A). Comparaciones usando el test de diferencias mínimas significativas (LSD) con distintos niveles de significancia.

Tratamiento	Tratamiento	Estimador	Valor de t	Probabilidad de t
T	Urea S 50	-0.0693	-2.57	0.0154
T	Urea S 100	-0.1107	-4.10	0.0003
T	Urea M 50	-0.0697	-2.58	0.0150
T	Urea M 100	-0.1219	-4.51	<.0001
T	eNeTotal S 50	-0.0925	-3.43	0.0018
T	eNeTotal S 100	-0.1005	-3.72	0.0008
T	eNeTotal M 50	-0.0936	-3.47	0.0016
T	eNeTotal M 100	-0.1329	-4.92	<.0001
T	Nitrodoble S 50	-0.0933	-3.45	0.0017
T	Nitrodoble S 100	-0.1396	-5.17	<.0001
T	Nitrodoble M 50	-0.1086	-4.02	0.0004
T	Nitrodoble M 100	-0.1127	-4.17	0.0002
T	SolMix M 50	-0.0672	-2.49	0.0186
T	SolMix M 100	-0.1293	-4.78	<.0001
T+P+S	Urea S 100	-0.0883	-3.27	0.0027
T+P+S	Urea M 100	-0.0994	-3.68	0.0009
T+P+S	eNeTotal S 50	-0.0701	-2.60	0.0144
T+P+S	eNeTotal S 100	-0.0781	-2.89	0.0071
T+P+S	eNeTotal M 50	-0.0712	-2.64	0.0131
T+P+S	eNeTotal M 100	-0.1105	-4.09	0.0003
T+P+S	Nitrodoble S 50	-0.0709	-2.62	0.0135
T+P+S	Nitrodoble S 100	-0.1172	-4.34	0.0002
T+P+S	Nitrodoble M 50	-0.0862	-3.19	0.0033
T+P+S	Nitrodoble M 100	-0.0902	-3.34	0.0022
T+P+S	SolMix M 100	-0.1068	-3.95	0.0004
Urea S 50	Nitrodoble S 100	-0.0702	-2.60	0.0144
Urea S 50	SolMix M 100	-0.0598	-2.22	0.0344
Urea M 50	Nitrodoble S 100	-0.0698	-2.59	0.0148
Urea M 50	SolMix M 100	-0.0595	-2.20	0.0353
eNeTotal M 100	SolMix M 50	0.0656	2.43	0.0213
Nitrodoble S 100	SolMix M 50	0.0723	2.68	0.0119

Tabla 7. Eficiencia de uso del N (B). Comparaciones usando el test de diferencias mínimas significativas (LSD) con distintos niveles de significancia.

Tratamiento	Tratamiento	Estimador	Valor de t	Probabilidad de t
T+P+S	Urea S 50	-15.3917	-3.91	0.0005
T+P+S	Urea S 100	-10.4237	-2.65	0.0132
T+P+S	Urea M 50	-8.7473	-2.22	0.0346
T+P+S	Urea M 100	-18.2748	-4.64	<.0001
T+P+S	eNeTotal S 50	-22.9594	-5.83	<.0001
T+P+S	eNeTotal S 100	-16.0783	-4.08	0.0003
T+P+S	eNeTotal M 50	-27.6528	-7.02	<.0001
T+P+S	eNeTotal M 100	-10.3935	-2.64	0.0134
T+P+S	Nitrodoble S 50	-15.3833	-3.91	0.0005
T+P+S	Nitrodoble S 100	-13.5535	-3.44	0.0018
T+P+S	Nitrodoble M 50	-13.5352	-3.44	0.0019
T+P+S	Nitrodoble M 100	-12.5292	-3.18	0.0036
T+P+S	SolMix M 50	-18.5831	-4.72	<.0001
T+P+S	SolMix M 100	-12.6348	-3.21	0.0033
Urea S 50	eNeTotal M 50	-12.2611	-3.11	0.0042
Urea S 100	eNeTotal S 50	-12.5356	-3.18	0.0035
Urea S 100	eNeTotal M 50	-17.2291	-4.38	0.0002
Urea S 100	SolMix M 50	-8.1594	-2.07	0.0476
Urea M 50	Urea M 100	-9.5275	-2.42	0.0223
Urea M 50	eNeTotal S 50	-14.2120	-3.61	0.0012
Urea M 50	eNeTotal M 50	-18.9055	-4.80	<.0001
Urea M 100	eNeTotal M 100	-9.3779	-2.38	0.0243
Urea M 100	eNeTotal M 100	7.8813	2.00	0.0551
eNeTotal S 50	eNeTotal M 100	12.5658	3.19	0.0035
eNeTotal S 50	Nitrodoble S 100	9.4058	2.39	0.0239
eNeTotal S 50	Nitrodoble M 50	9.4242	2.39	0.0236
eNeTotal S 50	Nitrodoble M 100	10.4301	2.65	0.0131
eNeTotal S 50	SolMix M 100	10.3245	2.62	0.0140
eNeTotal S 100	eNeTotal M 50	-11.5745	-2.94	0.0065
eNeTotal M 50	eNeTotal M 100	17.2592	4.38	0.0001
eNeTotal M 50	Nitrodoble S 100	14.0993	3.58	0.0013
eNeTotal M 50	Nitrodoble M 50	14.1176	3.59	0.0013
eNeTotal M 50	Nitrodoble M 100	15.1235	3.84	0.0006
eNeTotal M 50	SolMix M 50	9.0697	2.30	0.0289
eNeTotal M 50	SolMix M 100	15.0180	3.81	0.0007
eNeTotal M 100	SolMix M 50	-8.1896	-2.08	0.0468