



Trabajo Final de Graduación

**FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍCES DE SIEMBRAS  
TARDÍAS EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA: PERDIDAS DE  
N-NH<sub>3</sub> POR VOLATILIZACIÓN Y EFICIENCIA DE USO DE  
NITRÓGENO**

**Autores:**

Andrada Diego y Elizalde Luis

**Director:**

Bono Alfredo

**Codirector:**

Zoratti Carlos

Ingeniería Agronómica  
Facultad de Agronomía  
Universidad Nacional de La Pampa  
2013

**Índice:**

Resumen	3
Introducción	5
Antecedentes	7
Objetivos	14
Hipótesis	14
Materiales y métodos	14
Resultados y discusión	20
Dinámica del agua	20
Dinámica del nitrógeno	22
Rendimiento y sus componentes	24
Pérdidas por volatilización de amoníaco	33
Eficiencias de uso de nitrógeno	37
Conclusiones	40
Bibliografía	41
Apéndice y Tablas	50

## RESUMEN

En la región semiárida pampeana (RSP) se ha incrementado de manera muy importante la adopción de siembras tardías de maíz. Según las condiciones climáticas existentes en los días posteriores a la fertilización, se pueden producir importantes pérdidas de nitrógeno (N) por volatilización de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). Nuestro objetivo fue determinar las pérdidas por volatilización de distintas fuentes de N, evaluar el rendimiento, sus componentes y la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) de distintas dosis, fuentes y momentos de fertilización. Los ensayos se condujeron en la localidad de Anguil provincia de La Pampa, sobre dos suelos clasificados como Ustipsament Típico (ensayo 1) y Haplustol Éntico (ensayo 2) durante la campaña 2011/12. Los fertilizantes evaluados fueron urea, urea con inhibidor de la ureasa (eNetotal), nitrato de amonio calcáreo (Nitrodoble) y tiosulfato de amonio+UAN (SolMix), en dos dosis, 50 y 100 kg N/ha contra un testigo sin fertilizar. El diseño experimental fue en ambos ensayos en bloques completos, con 3 repeticiones en el primero y con 4 en el segundo, los tamaños de las parcelas fueron de 10 m de largo por 3 m de ancho y de 10 m de largo y 5 m de ancho respectivamente. En el ensayo 1 la fertilización se aplicó en V6 y en el ensayo 2 a la siembra y V6. La volatilización fue medida en el ensayo 1 en V6 utilizándose el método de absorción semiabierto estático, se estimó la EUN y sus componentes (eficiencia fisiológica y eficiencia de recuperación) considerando el N del suelo, del fertilizante y el absorbido por el cultivo. Los análisis de varianza se realizaron con un modelo de bloques y tratamientos con separación de medias (LSD) y para el análisis de pérdidas por volatilización de  $\text{NH}_3$  se usó un modelo mixto. Las pérdidas por volatilización fueron muy bajas. Los mayores porcentajes fueron para las dos dosis SolMix (10,1 y 5,3% respectivamente) y los más bajos para eNetotal con 100 kg N/ha (2,2 %). No se encontraron diferencias entre fuentes y dosis. En el ensayo 1

hubo diferencias en rendimiento, peso de 1000 granos y N en grano a la fertilización, no se encontró diferencia en espiga/ha, granos/espiga, biomasa y peso hectolítrico. En el ensayo 2 no se encontró diferencias en rendimiento y en ninguno de sus componentes a la fertilización. Considerando las eficiencias desde el punto de vista del N disponible en el suelo, no hubo diferencias entre las fuentes y dosis. En cambio al considerar el N aplicado eNtotal, en ambas dosis presentaron los valores más bajos.

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

## INTRODUCCIÓN

En la RSP, el maíz es el cultivo que cuenta con una mayor superficie implantada (336.000 ha) de las cuales sólo 127.852 ha se destinan para cosecha. Le siguen en orden de importancia el girasol (257.657 ha), la soja (248.867 ha), y el sorgo (66.800 ha) como cultivos de verano (Anuario Estadístico de la Provincia de La Pampa, 2009). Los suelos son clasificados en su mayoría como Haplustoles Énticos y Ustipsamientos 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 el uso de siembras tardías de maíz en estos dos tipos de suelos.

El nutriente que en mayor medida condiciona el crecimiento y rendimiento de los cultivos es el N. Bono y Scianca (2003), trabajando en una red de ensayos de maíz en el Oeste de Buenos Aires y Norte de La Pampa, encontraron respuestas de hasta 1800 kg/ha por el agregado de N. Las aplicaciones de N se realizan utilizando urea como fuente nitrogenada y son frecuentemente realizadas en cobertura total o al voleo (Romano y Bono, 2012). Sin embargo, el N puede presentar pérdidas por volatilización de  $\text{NH}_3$ . Esta es una de las principales causas de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales en situaciones muy particulares como pueden ser: suelos cálcicos, al ser aplicados superficialmente. Dichas pérdidas son el resultado de procesos químicos, físicos y biológicos en los que intervienen numerosos factores como el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la materia orgánica, la presencia de restos orgánicos en la superficie, la temperatura, el viento, etc (Buschiazzo *et al.*, 1999).

Dependiendo de la forma de aplicación y las condiciones climáticas existentes, durante los días posteriores a la misma, se pueden producir importantes pérdidas de N por

volatilización de  $\text{NH}_3$ . Se han reportado pérdidas de N por volatilización en suelos bajo siembra directa que oscilan entre 40, 24 y 15% del N aplicado (Fontanetto *et al.*, 2002; Rimski-Korsakov *et al.*, 2007 y Sainz Rozas *et al.*, 1997). Para tratar de minimizar las pérdidas de  $\text{NH}_3$  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). En los últimos años han aparecido en el mercado fertilizantes nitrogenados de urea en su composición con inhibidores de la enzima ureasa. Por otro lado, en la RSP se ha incrementado de manera muy importante la adopción de siembras tardías de maíz, donde al momento de fertilizar el cultivo con N se presentan temperaturas de suelo más altas respecto de una fertilización realizada en noviembre en una siembra temprana de maíz.

Teniendo en cuenta que las pérdidas por volatilización de N se incrementan con el aumento de la temperatura del suelo (Hargrove, 1988), las mismas serían más importantes en siembras tardías de maíz. Con aplicaciones a la siembra o postergadas, se registran casos de volatilización en la Región Pampeana de hasta aproximadamente 28 kg N/ha (Álvarez *et al.*, 2004). Estos datos corresponden a cultivos de maíz fertilizados con altas dosis de urea (210 kg N/ha) aplicados al voleo en el estadio V6. Porcentualmente este valor máximo corresponde a una pérdida de N del fertilizante de alrededor del 13%. Así como la deficiencia de N en el suelo afecta la producción de los cultivos, el exceso de N tiene implicancias ambientales y económicas desfavorables por lo que esto debe evitarse. En consecuencia, es necesario definir prácticas de manejo que permitan maximizar los rendimientos y minimizar los excesos de N, esto se logra aumentando la EUN. La clave para lograr una elevada EUN depende de la sincronía entre la oferta y la demanda de N en el suelo y en las plantas. Por lo tanto, es relevante poder definir dosis racionales y económicas a aplicar como fertilizante.

Los fertilizantes nitrogenados de lenta liberación constituyen productos interesantes a la hora 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. Sin embargo, para nuestras condiciones, estos productos no han sido extensivamente evaluados y su mayor costo exige estudios detallados a fin de justificar su empleo. Hasta el momento hay poca información sobre volatilización de N y además la RSP posee pocos trabajos que tengan en cuenta ese tipo de pérdidas, la EUN y momentos de aplicación de N en siembras tardías de maíz.

## **ANTECEDENTES**

Los sistemas de producción de la RSP han experimentado importantes cambios durante los últimos quince años, estos fueron impulsados por un proceso de agriculturización. Se produjo un crecimiento en el uso de las tierras para cultivos agrícolas en lugar de usos ganaderos o mixtos. Hubo un aumento en la producción de cultivos de verano como maíz, girasol y sorgo (Anuario Estadístico de la Provincia de La Pampa, 2009). En esta región, tradicionalmente, la siembra del cultivo de maíz se realizaba entre mediados de septiembre y octubre. Es decir, a la salida del invierno donde coinciden bajas temperaturas y un bajo nivel de precipitaciones, por lo que la oferta de N a la siembra es baja. Dada la amplitud de la ventana agroclimática, en los últimos años se ha difundido la siembra de maíz en fechas tardías, a partir de fines de noviembre hasta mediados de diciembre. Estas tienen la ventaja de evitar la coincidencia del período crítico con los momentos de mayor demanda atmosférica (Andrade y Sadras, 2000). En siembras tardías, la floración y llenado de granos se producen con días de menor radiación incidente y temperatura, por lo que se ve afectado el rendimiento

del cultivo de maíz. Esto concuerda con lo observado por Funaro y Pérez Fernández (2005) en la localidad de Anguil, los cuales obtuvieron los máximos rendimientos en siembras en la segunda quincena de octubre y a medida que se atrasaba esta fecha, se producía una disminución del orden de 140 kg/ha día.

El área sembrada con cultivos de cosecha en la RSP comprende suelos de textura variable (arenoso, arenoso franco, franco arenoso, franco) distribuidos principalmente en las unidades geomorfológicas de la planicie medanosa y de la planicie con tosca (INTA, 1980). La planicie medanosa posee suelos profundos de textura arenosa-franca con porcentajes de arena que pueden alcanzar el 80%. Por su textura y contenidos medios a bajos de materia orgánica tienen menor capacidad para la retención de humedad. Si bien poseen algunos problemas de compactación superficial o sub-superficial los sistemas radiculares no tienen impedimentos para explorar el perfil en su totalidad. En la región de la planicie con tosca se encuentran suelos de profundidad variable (desde 30 hasta 140 cm) por la presencia de un manto de tosca. Las texturas son franco arenosas a franca y los contenidos de arena no exceden el 60%. La capacidad de retención de agua duplica a los suelos de la planicie medanosa, aunque con las restricciones de profundidad efectiva pueden llegar a tener comparativamente menos agua útil disponible para los cultivos (INTA, 1980; Fernández y Casagrande, 1998). En esta región el manejo del agua es un factor trascendente a tener en cuenta por constituir la principal limitante de la producción, condicionando en no pocos casos la viabilidad de los planteos productivos. Aspectos como la captación, capacidad y eficiencia de almacenaje y la eficiencia de uso del agua deben ser especialmente considerados al planificar el sistema de producción, la secuencia de cultivos y la estrategia de manejo de un cultivo en particular (Quiroga *et al.*, 2007).

Además de la importancia del agua, los suelos de esta región se caracterizan por su bajo contenido de N. El avance de la agricultura y los procesos de degradación debido al excesivo laboreo del suelo acentuaron estas deficiencias (Fagioli *et al.*, 1985). El N debe estar bien provisto en cantidad y oportunidad como para poder asegurar el óptimo rendimiento de los cultivos. Existen dos métodos para corregir bajos niveles de fertilidad nitrogenada: la fertilización con productos de síntesis y la utilización de pasturas en base a leguminosas (Fagioli *et al.*, 1985). En maíz los requerimientos de N son crecientes desde su implantación, siendo máximo desde estadios de V6 (sexta hoja) hasta floración (Ciampitti *et al.*, 2007). La dinámica del N en el suelo en siembras tardías es diferente con respecto de siembras tempranas, ya que las temperaturas son mayores y la disponibilidad hídrica es más alta, afectando la mineralización de la materia orgánica. Por otra parte, los cultivos se siembran sobre diferentes antecesores. Dada la diferente calidad de estos residuos, también se afectará la mineralización del N y la respuesta a la fertilización nitrogenada (Salvagiotti *et al.*, 2012).

En cuanto al momento de aplicación del fertilizante, Bono y Álvarez (2012b) no encontraron diferencias entre aplicaciones a la siembra y en V6 en Hapludoles y Haplustoles en las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana. Resultados similares obtuvieron Barraco y Díaz Zorita, (2005) en Hapludoles Típicos, Álvarez *et al.*, (2000) en la Pampa ondulada y Barbagelata, (2000) en Paraná. Ferrari *et al.*, (2001) tampoco detectaron diferencias en ensayos realizados sobre Argiudoles, mientras que en suelos Hapludoles la aplicación en V6 superó a la aplicación en la siembra. Gudelj *et al.*, (2004) obtuvieron similares resultados luego de tres años de evaluaciones en Argiudoles Típicos. Barraco y Díaz-Zorita, (2004) demostraron que aplicaciones de N al momento de la siembra puede resultar menos eficientes que aplicaciones postergadas en suelos de textura arenosa. Melchior *et al.*, (2007) determinaron que las postergaciones de las aplicaciones desde siembra hasta V6 y V10

causaron reducciones en el rendimiento de un 10 y 14% respectivamente. Pagani *et al.*, (2008) trabajando en el Sudeste Bonaerense observaron ventajas en la fertilización en V6 respecto a la siembra.

La fertilización nitrogenada de los cultivos de maíz en la RSP se ha vuelto una práctica habitual. En planteos de siembra directa el 82% de los maíces se fertiliza, siendo fosfato diamónico (FDA) y la urea los más utilizados (Lorda *et al.*, 2003). Cuando se estima la dosis de fertilizante por aplicar, es común fijar un rinde objetivo y determinar la cantidad de nutrientes necesario para alcanzarlo. A esa cantidad objetivo se le resta lo que está disponible en el suelo y la cantidad de nutriente que se estima que se mineralizará durante el ciclo del cultivo (que varía según el contenido de materia orgánica, la humedad disponible y la temperatura del suelo). El saldo de este cálculo es lo que se debería aplicar como fertilizante. Este balance se utiliza principalmente cuando no se dispone de modelos locales de N. Hay que tener en cuenta que este nutriente es móvil en el suelo por lo tanto se asume que lo que está disponible debe ser utilizado, ya que se corre el riesgo de perderse por lixiviación. Por otro lado, si la dosis aplicada supera la necesaria para abastecer el cultivo, el excedente probablemente también se perdería (González Besteiro *et al.*, 2012). Sánchez y Muñoz, (2007) trabajando en una red de ensayos en el sudeste de Córdoba determinaron un umbral crítico de N disponible a la siembra de 216 kg de N/ha por encima del cual la probabilidad de respuesta a la fertilización nitrogenada es baja. Este umbral es superior a los 162 kg de N/ha encontrados por Salvagiotti *et al.*, (2004) para ambientes de alta producción en el centro sur de Santa Fe, también para los 170 kg de N/ha a la siembra mencionados por Bianchini *et al.*, (2002) y los 180 kg de N/ha mencionados por Ruiz *et al.*, (2001).

En los sistemas de siembra directa las aplicaciones de urea son frecuentemente realizadas en superficie, como consecuencia de la falta de maquinaria que permita su

colocación debajo de los residuos o por cuestiones operativas (Keller y Menger, 1986; Fox y Piekielek, 1993). De esta manera, la urea aplicada al suelo es hidrolizada por la enzima ureasa a amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) la hidrólisis resulta en el consumo de  $\text{H}^+$  con el consiguiente aumento del pH a valores de 9 o superiores, favoreciendo a su vez la formación de  $\text{NH}_3$  y por lo tanto la volatilización. Es mas intenso en situaciones donde el pH es alto. Si bien en los suelos pampeanos es generalmente levemente ácido (5,5-6,5), este proceso puede representar una pérdida significativa de N cuando se aplican fertilizantes amoniacales de reacción inicial fuertemente alcalina como la urea. La volatilización es mayor al incrementarse la dosis de fertilizante y cuando éste no es incorporado (Abascal *et al.*, 2004; Barbieri *et al.*, 2003; Fontanetto *et al.*, 2001; Palma *et al.*, 1998; Sainz Rosas *et al.*, 1997 y Videla *et al.*, 1994). Se han propuesto el empleo de otros fertilizantes nitrogenados que se caracterizan por presentar pérdidas de volatilización de escasa magnitud, como el nitrato de amonio y nitrato de amonio calcáreo (Fox y Piekielek, 1993; García *et al.*, 1999) o SolMix (tiosulfato de amonio más UAN). El UAN esta compuesto por urea y nitrato de amonio, éste y el tiosulfato de amonio son fertilizantes líquidos y tienen las ventajas de mayor exactitud y uniformidad de aplicación (Melgar, 2012). La utilización de productos que retarden o inhiban la hidrólisis de la urea han demostrado ser un método eficiente para reducir las pérdidas por volatilización de  $\text{NH}_3$  desde el fertilizante (Watson *et al.*, 1994 y Sainz Rozas *et al.*, 1999).

Los fertilizantes de liberación lenta y/o controlada son aquellos que contienen nutrientes de manera tal, que retrasan su disponibilidad para las plantas luego de su aplicación. O aquellos que están disponibles mas tarde que otros fertilizantes tomados como referencia y considerados “rápidamente disponibles”, tales como nitrato de amonio o urea, FDA o cloruro de potasio. Tienen la ventaja de ser menos tóxicos, sobre todo para las semillas en aplicaciones a la siembra, por ésta característica y por disminuir el contenido salino de los

sustratos permiten la aplicación de mayores cantidades, además reducen pérdidas de nutrientes. Las desventajas son un mayor costo, la liberación puede ser extremadamente lenta, en algunos casos dejan residuos de material sintético indeseable y hasta pueden aumentar la acidez del suelo. El patrón de liberación está influido por la humedad y la temperatura, así como también por la actividad de los microorganismos del suelo. Están constituidos por fertilizantes revestidos con azufre o con polímeros orgánicos y por los fertilizantes estabilizados que tienen inhibidores de la nitrificación o de la ureasa (Melgar, 2012). La urea con (nBTPT [triamida N-(n-butil) tiofosfórica]) (Agrotrain®) como componente inhibidor podría convertirse en una opción viable, generando mayor EUN. Este aditivo presenta potencial para ser utilizado sin ser incorporados al suelo cuando los cultivos de verano son fertilizados en condiciones extremas de temperatura.

El uso de fertilizantes minerales, particularmente nitrogenados, que liberen los nutrientes contenidos según los requerimientos de las plantas, representa una forma de mejorar la eficiencia de utilización de nutrientes (Melgar, 2012). Lograr elevadas EUN es un objetivo esencial en el manejo agronómico porque tiene implicancia tanto en la rentabilidad de los cultivos como en la calidad del ambiente. 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 cuánto 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.

Tanto la dosis, como la fuente y el momento de la fertilización nitrogenada son alternativas que pueden incidir en la EUN y por lo tanto, deben ser cuidadosamente considerados a la hora de definir una estrategia de fertilización (Echeverria, 2009). Fontanetto *et al.*, (2010) determinaron que EUN en maíz fue afectada por las fuentes y por las dosis, logrando los mayores registros con 60 kg de N como urea mas inhibidor nBTPT y 120 kg de N como urea mas inhibidor nBTPT. Por el contrario, Barbieri *et al.*, (2010) no encontraron diferencias en la EUN por el uso de el inhibidor nBTPT, resultado que coincide con lo informado por otros autores (Cahill *et al.*, 2007, Nelson *et al.*, 2009 y Noellsch *et al.*, 2009), pero por otra parte encontró diferencias ante un incremento de las dosis, disminuyendo la EUN a medida que aumentaban éstas. Con respecto al momento, Barraco y Díaz Zorita, (2005) comprobaron que las aplicaciones en V5-V6 resultan generalmente en mayores EUN que las que se realizan a la siembra debido a la alta frecuencia de precipitaciones entre siembra y V5-V6. Sin embargo, en situaciones de precipitaciones inferiores a 150-200 mm en dicho periodo, no se han observado diferencias entre momentos de aplicación. La producción moderna de cultivos extensivos requiere la implementación de prácticas de manejo eficiente, sustentable y amigable con el medio ambiente. Bajo esta premisa, maximizar la EUN tanto de los fertilizantes sintéticos como orgánicos, permitirá lograr elevados rendimientos de los cultivos minimizando las fugas de N al medio ambiente (Echeverria, 2009).

## Objetivos

- Evaluar las pérdidas por volatilización del N y las eficiencias de uso de las distintas fuentes nitrogenadas en siembras tardías de maíz y sus efectos sobre el rendimiento, componentes y contenido de N en un Ustipsament Típico (ensayo 1).
- Evaluar el efecto de dosis, momento de aplicación (siembra y V6) de distintas fuentes nitrogenadas en siembras tardías de maíz sobre el rendimiento y sus componentes en un Haplustol Éntico (ensayo 2).

## 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 EUN en dosis bajas de fertilizante nitrogenado, en aplicaciones postergadas y con fuentes de liberación lenta y/o controlada.
- No hay diferencias entre los momentos de aplicación en siembra tardía.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se condujeron en la localidad de Anguil provincia de La Pampa, sobre dos suelos clasificados como Ustipsament Típico, con napa freática a los 180-200 cm (lote 23 b, ensayo 1) y Haplustol Éntico con tosca a 140 cm (lote 3, ensayo 2). Las características de los suelos se detallan en la Tabla 1. Los mismos se realizaron en siembra directa sobre 2 lotes que contenían como antecesores cultivos de cobertura (residuo 8256 kg/ha lote 23b y 5294 kg/ha lote 3). Se sembraron ambos lotes el 11 de noviembre de 2011 y el cultivar fue “Dow

2M548RR2”.

Tabla 1. Características físico-químicas a 0-20 cm de los suelos donde se desarrollaron los ensayos.

N° de Lote	N total %	P asimilable ppm	MO Total		p H	Textura %					Clase Textural
			%	tn/ha		índice	L+A	Arena	Limo	Arcilla	
23 b	0,09	18,3	1,3	33,5	6,8	8,4	16	84	14	2	arenoso franco
3	0,16	13,5	2,5	61,3	6,3	4,9	50	50	44	6	franco arenoso

MO: Materia orgánica; L+A: Sumatoria de Limo y Arcilla; índice:  $(MO \% / L+A \% ) \times 100$ .

Se evaluaron fertilizantes nitrogenados sólidos y líquidos contra un testigo sin fertilizar. El diseño experimental en el ensayo 1 fue en bloques completos con 3 repeticiones. El tamaño de las parcelas fue de 10 m de largo por 3 m de ancho. De esta manera quedaron determinados 10 tratamientos teniendo en cuenta sus diferentes combinaciones (Tabla 2). El diseño experimental en el ensayo 2 fue en bloques completos con 4 repeticiones. El tamaño de las parcelas fue de 10 m de largo y 5 m de ancho, quedando determinados 16 tratamientos teniendo en cuenta sus diferentes combinaciones (Tabla 3). En los ensayos 1 y 2 todos los tratamientos, menos el testigo absoluto, se fertilizaron al voleo a la siembra con 100 kg/ha de super fosfato triple (SFT) y con 60 kg/ha de sulfato de calcio ( $SO_4Ca$ ), con el objetivo de no tener limitaciones de fósforo (P) y azufre (S). 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 1 con sus equivalente en kg/ha de cada elemento.

Tratamientos	Fertilizantes	Aplicación	Nutriente en kg/ha		
	kg/ha	N	N	P	S
		Forma			
<b>1. Testigo</b>	-	-	0	0	0
<b>2. SFT + SO<sub>4</sub>Ca</b>	100 SFT y 60 SO <sub>4</sub> Ca	-	0	20	11
<b>3. Urea 1 + SFT + SO<sub>4</sub>Ca</b>	100 SFT, 60 SO <sub>4</sub> Ca y 109 Urea	Voleo	50	20	11
<b>4. Urea 2 + SFT + SO<sub>4</sub>Ca</b>	100 SFT, 60 SO <sub>4</sub> Ca y 217 Urea	Voleo	100	20	11
<b>5. eNetotal 1 + SFT + SO<sub>4</sub>Ca</b>	100 SFT, 60 SO <sub>4</sub> Ca y 109 eNeTotal	Voleo	50	20	11
<b>6. eNetotal 2 + SFT + SO<sub>4</sub>Ca</b>	100 SFT, 60 SO <sub>4</sub> Ca y 217 eNeTotal	Voleo	100	20	11
<b>7. SolMix1 + SFT</b>	100 SFT y 135 SolMix	Chorrillo	50	20	7
<b>8. SolMix2 + SFT</b>	100 SFT y 270 SolMix	Chorrillo	100	20	14
<b>9. Nitrodoble1 + SFT</b>	100 SFT y 185 Nitrodoble	Voleo	50	20	11
<b>10. Nitrodoble2 + SFT</b>	100 SFT y 370 Nitrodoble	Voleo	100	20	22

eNetotal: urea con inhibidor de la ureasa; Nitrodoble: nitrato de amonio calcáreo; SolMix: tiosulfato + UAN. Los tratamientos del 2 al 6 se fertilizaron con 100 kg/ha de SFT y 60 kg/ha de SO<sub>4</sub>Ca y los tratamientos del 7 al 10 con 100 SFT kg/ha al voleo a la siembra.

Para caracterizar los suelos bajo estudio se realizó una muestra compuesta a una profundidad de 20 cm y se determinó materia orgánica por el método de Walkey y Black, N total por Kjeldahl, pH en pasta, P asimilable por el método de Bray y Kurtz N° 1 y textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos. La densidad aparente se determinó con cilindros de acero de 250 cm<sup>3</sup> de volumen, en capas de 20 cm hasta 60 cm. Estos datos se utilizaron para realizar cálculos en mm o kg/ha. Las constantes hídricas (CC: capacidad de campo y PMP: punto de marchitez permanente) se determinaron en capas de 20 cm hasta los 60 cm de profundidad con olla de Richard. El nivel de cobertura se midió con un marco 0.25 m<sup>2</sup>. Se determinó la humedad en el perfil en capas de 20 cm hasta 140 cm o hasta la tosca por gravimetría (ensayos 1 y 2), y N de Nitratos (N de NO<sub>3</sub>) en capas de 20 hasta 60 cm, por el método colorimétrico del ácido cromotrópico a la siembra, V6 y a cosecha (ensayo 2) y en todos los tratamientos en el ensayo 1. Se analizó el pH en los primeros 20 cm, en los tratamientos de mayores dosis al estado V6, al momento de la aplicación de los fertilizantes y al finalizar las mediciones de volatilización (ensayo 1). Para las determinaciones de N de NO<sub>3</sub> se realizaron muestras compuestas por ello no se pudieron efectuar los respectivos análisis

estadísticos (no hubo repeticiones), los datos se obtuvieron con la finalidad de calcular posteriormente las EUN.

Tabla 3. Tratamientos en el ensayo 2 con sus equivalentes en kg/ha de cada elemento.

Tratamientos	Fertilizantes kg/ha	Aplicaciones			Nutriente en kg/ha		
		P y S	N		N	P	S
			Forma	Momento			
1. Testigo	-	-	-	-	0	0	0
2. SFT + SO <sub>4</sub> Ca	100 SFT y 60 SO <sub>4</sub> Ca	voleo y siembra	-	-	0	20	11
3. Urea 1 + SFT + SO <sub>4</sub> Ca	100 SFT, 60 SO <sub>4</sub> Ca y 70 Urea	voleo y siembra	Voleo	Siembra	50	20	11
4. Urea 2 + SFT + SO <sub>4</sub> Ca	100 SFT, 60 SO <sub>4</sub> Ca y 178 Urea	voleo y siembra	Voleo	Siembra	100	20	11
5. Urea 1 + SFT + SO <sub>4</sub> Ca	100 SFT, 60 SO <sub>4</sub> Ca y 70 Urea	voleo y siembra	Voleo	V6	50	20	11
6. Urea 2 + SFT + SO <sub>4</sub> Ca	100 SFT, 60 SO <sub>4</sub> Ca y 178 Urea	voleo y siembra	Voleo	V6	100	20	11
7. eNetotal 1 + SFT + SO <sub>4</sub> Ca	100 SFT, 60 SO <sub>4</sub> Ca y 78 eNeTotal	voleo y siembra	Voleo	Siembra	50	20	11
8. eNetotal 2 + SFT + SO <sub>4</sub> Ca	100 SFT, 60 SO <sub>4</sub> Ca y 178 eNeTotal	voleo y siembra	Voleo	Siembra	100	20	11
9. eNetotal 1 + SFT + SO <sub>4</sub> Ca	100 SFT, 60 SO <sub>4</sub> Ca y 78 eNeTotal	voleo y siembra	Voleo	V6	50	20	11
10. eNetotal 2 + SFT + SO <sub>4</sub> Ca	100 SFT, 60 SO <sub>4</sub> Ca y 178 eNeTotal	voleo y siembra	Voleo	V6	100	20	11
11. SolMix1 + SFT	100 SFT y 87 SolMix	voleo y siembra	Chorrillo	V6	50	20	7
12. SolMix2 + SFT	100 SFT y 221 SolMix	voleo y siembra	Chorrillo	V6	100	20	14
13. Nitrodoble1 + SFT	100 SFT y 119 Nitrodoble	voleo y siembra	Voleo	Siembra	50	20	11
14. Nitrodoble2 + SFT	100 SFT y 304 Nitrodoble	voleo y siembra	Voleo	Siembra	100	20	22
15. Nitrodoble1 + SFT	100 SFT y 119 Nitrodoble	voleo y siembra	Voleo	V6	50	20	11
16. Nitrodoble2 + SFT	100 SFT y 304 Nitrodoble	voleo y siembra	Voleo	V6	100	20	22

eNetotal: urea con inhibidor de la ureasa; Nitrodoble: nitrato de amonio calcareo; SolMix: tiosulfato + UAN. A la siembra y al voleo, los tratamientos 2 al 16 se fertilizaron con 100 kg/ha de SFT, y del 2 al 10, con 60 kg/ha de SO<sub>4</sub>Ca.

Para determinar el N-NH<sub>3</sub> volatilizado (ensayo 1), 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<sub>3</sub> 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<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N y separadas 12 cm entre sí (Figura 1). El NH<sub>3</sub> es atrapado por la plancha inferior, mientras que la superior evita que se contamine con NH<sub>3</sub> proveniente de otros lugares. Las planchas se cambiaron cada 24 h y se lavaron con 1,5 l de agua desmineralizada. Una alícuota de 25 ml se alcalinizó con 5 ml de NaOH al 40 % y el NH<sub>3</sub> 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<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,005 N para determinar la cantidad de N-NH<sub>3</sub> desprendido. Se

colocó aleatoriamente una trampa por parcela. Las trampas se fijaron al suelo (5-6 cm) para evitar escapes de  $\text{NH}_3$  hacia la atmósfera. Las determinaciones de  $\text{N-NH}_3$  volatilizado se realizaron en el testigo y los tratamientos con las 2 dosis de urea, eNetotal, SolMix y Nitrodoble, desde la aplicación del fertilizante, hasta el cuarto día, donde no se observaron grandes variaciones en las mediciones.



Figura 1. Estructura destinada a atrapar el  $\text{N-NH}_3$  liberado.

El cultivo se cosechó el 09 de mayo de 2012, evaluándose los rendimientos en grano corregidos por humedad en  $\text{kg/ha}$  de cada uno de los tratamientos, y sus componentes, número de espigas por metro lineal, granos por espiga, peso de 1000 granos, y peso hectolítrito (ensayo 1). Se determinó materia seca en biomasa de todos los tratamientos por metro lineal. Las raíces se midieron con cilindros de 5,8 cm de diámetro a una profundidad de 30 cm en el testigo y en la dosis alta de eNetotal a cosecha. Las muestras de raíces se lavaron y tamizaron. Todo el material vegetal (biomasa de rastrojo y raíces) se seco a estufa a  $60\text{ }^\circ\text{C}$ . Se determinó N total por el método Kjeldhal en cada componente de la planta (grano, biomasa y raíces). A su vez, se estimó la EUN, la EF y la ER por las fórmulas propuestas por Echeverría, 2009 y Steinbach, 2007 (Tabla 4). 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 (ensayos 1 y 2).

Tabla 4. Fórmulas para calcular las diferentes eficiencias propuestas por Echeverría (2009) y Steinbach (2007).

<b>Eficiencias</b>	<b>Echeverría, 2009</b>	<b>Steinbach, 2007</b>
<b>EUN</b>	$\text{rendimiento tratamiento}/(\text{N inicial} + \text{N del fertilizante} + \text{N de mineralización})$	$(\text{rendimiento tratamiento} - \text{rendimiento testigo})/\text{dosis fertilizante}$
<b>EF</b>	$\text{rendimiento tratamiento}/(\text{N grano} + \text{N rastrojo} + \text{N raíces})$	$(\text{rendimiento tratamiento} - \text{rendimiento testigo})/((\text{N grano} + \text{N rastrojo} + \text{N raíces}) \text{ del tratamiento} - (\text{N grano} + \text{N rastrojo} + \text{N raíces}) \text{ del testigo})$
<b>ER</b>	$(\text{N grano} + \text{N rastrojo} + \text{N raíces})/(\text{N inicial} + \text{N del fertilizante} + \text{N de mineralización})$	$((\text{N grano} + \text{N rastrojo} + \text{N raíces}) \text{ del tratamiento} - (\text{N grano} + \text{N rastrojo} + \text{N raíces}) \text{ del testigo})/\text{dosis fertilizante}$

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 solo durante los días de medición del N-NH<sub>3</sub> volatilizado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Dinámica del agua*

#### *Ensayo 1 (Lote 23 b)*

El contenido de humedad total a la siembra hasta los 100 cm estuvo en capacidad de campo (172 mm) y luego se observan unos niveles muy altos de agua en el suelo que ponen de manifiesto el efecto de la napa freática (napa aproximadamente a 180-200 cm) (Figura 2). Luego en el estado V6 por consumo por parte del cultivo la humedad total es menor a la siembra, sin embargo, por el efecto de la napa se observan los mayores contenidos en profundidad. A cosecha el perfil de humedad vuelve a ser muy similar al de la siembra, esto se explica porque llovieron 310 mm desde el estado V6 a madurez fisiológica (Tabla 1, Apéndice de Tablas).

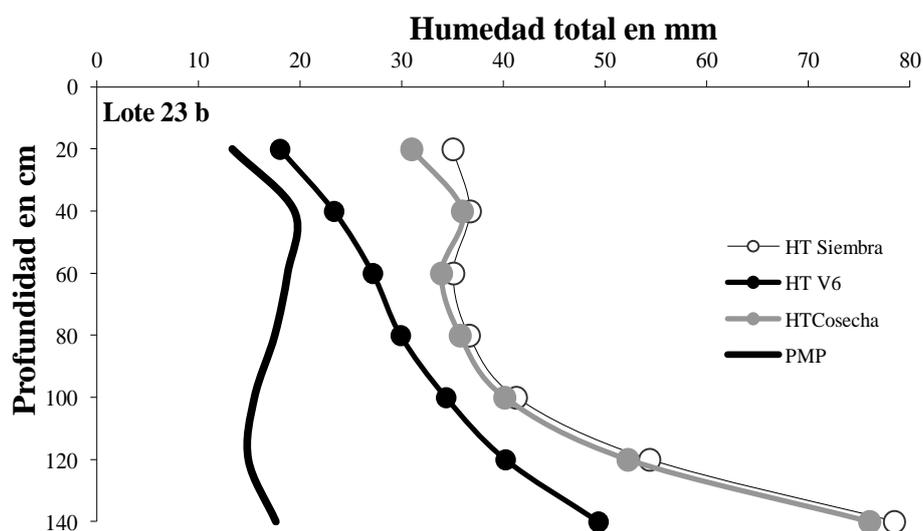


Figura 2. Humedad total (HT) en el perfil del suelo en distintos momentos del ciclo del cultivo.

### Ensayo 2 (Lote 3)

A la siembra los contenidos de humedad total fueron altos, mayores a la capacidad de campo (203 mm), en especial en los primeros 60 cm de suelo, mientras el agua decrece en profundidad. (Figura 3). Esto en parte, fue porque llovieron 84,5 mm en los 8 días previos a la siembra (Tabla 1, Apéndice de Tablas). Al igual que en el ensayo 1 el contenido de humedad al estado V6 disminuye principalmente en los primeros cm del suelo por consumo radicular. A cosecha el contenido de humedad fue menor a los estadios anteriores, el suelo tenía muy poco agua en profundidad.

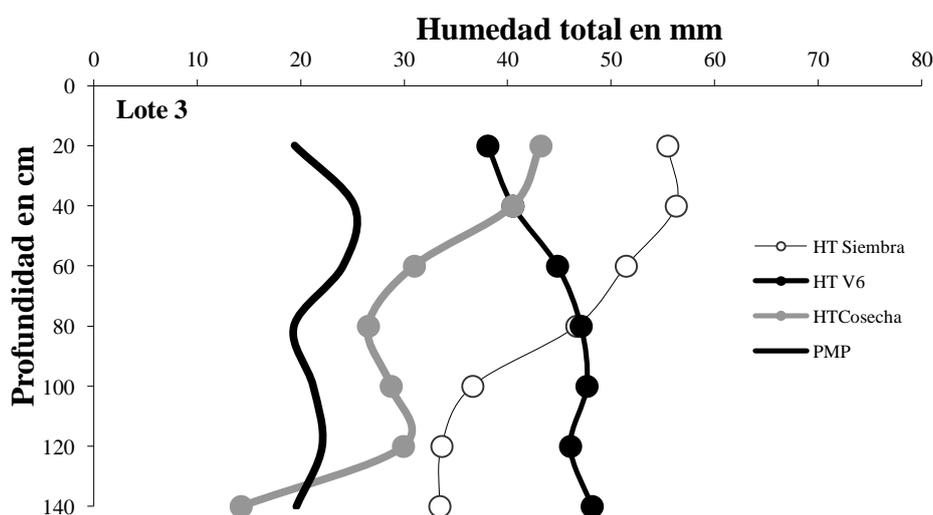


Figura 3. Humedad total (HT) en el perfil del suelo en distintos momentos del ciclo del cultivo.

Los contenidos de humedad a la siembra fueron similares en ambos ensayos, sin embargo, a lo largo del ciclo de los cultivos (el mismo híbrido, la misma fecha de siembra y las mismas precipitaciones) se presentaron diferencias en la humedad total y el agua útil (Tabla 5). Si bien los lotes pudieron tener distintas secuencias de cultivos y cantidades variables de residuos, se estima que éstas diferencias pudieron deberse fundamentalmente a que los suelos son genéticamente diferentes (Tabla 1). El suelo del ensayo 1 es texturalmente

mas grueso pero tuvo el efecto de la napa freática, mientras que el suelo del ensayo 2 aunque es de textura mas fina se encontró limitado por la presencia de la capa de tosca a 140 cm. Además, la eficiencia del uso del agua fue mayor en el ensayo 1 por obtenerse un mayor rendimiento con un menor uso consuntivo. Se observó en ambos ensayos, una mayor eficiencia de uso del agua con la fertilización nitrogenada. El agua disponible es, generalmente, el principal factor que limita el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz en condiciones extensivas (Andrade *et al.*, 1996). En general, se ha encontrado que con el incremento de la disponibilidad de N para los cultivos, la eficiencia del uso del agua aumenta. Estos resultados han sido reportados, para el cultivo de maíz (Ogola *et al.*, 2002; Di Paolo y Rinaldi, 2008; Barbieri *et al.*, 2012), y corroborados también por Álvarez *et al.*, (2006) en Molisoles de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana.

Tabla 5. Humedad total en el suelo, agua útil, uso consuntivo y eficiencia de uso del agua.

Lotes	Humedad total			Agua útil			Lluvias	UC	EUA	
	mm								kg/ha. mm	
	Siembra	V6	Cosecha	Siembra	V6	Cosecha	S-C		Testigo	ND 50
<b>23 b</b>	318	222	305	201	105	188	392	405	19	27
<b>3</b>	314	312	214	163	161	63	392	492	15	17

S-C: siembra a cosecha; UC: uso consuntivo; EUA: eficiencia de uso del agua; ND 50: Nitro Doble 50 kg N/ha a la siembra, corresponde al rendimiento máximo.

### *Dinámica del N*

#### *Ensayo 1 (Lote 23 b, Ustipsament Típico)*

Los niveles mas altos de N-NO<sub>3</sub> se observaron a la siembra luego fueron disminuyendo a lo largo del ciclo (Tabla 6). En V6 el contenido de N-NO<sub>3</sub> fue de 54 kg/ha en los 60 cm del perfil, con el agregado de 50 y 100 kg N/ha de las distintas fuentes, el cultivo dispuso de 104 y 154 kg N/ha provenientes del suelo + el fertilizante. A cosecha el testigo y todos los tratamientos fertilizados tuvieron niveles mas bajos que durante el ciclo del cultivo. En los primeros 20 cm, en general, todos los tratamientos fertilizados presentaron contenidos

más altos que el testigo. Si bien hubo variabilidad en el muestreo de N-NO<sub>3</sub>, se observa que en los tratamientos fertilizados quedó un remanente de N que no fue utilizado por el cultivo.

Tabla 6. N de NO<sub>3</sub> en kg/ha (muestras compuestas) en capas de 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad y la sumatoria de 0-60 cm, para distintos momentos del ciclo del cultivo (siembra, V6 y cosecha) y todos los tratamientos a cosecha.

Tratamiento		Profundidad en cm			
		0-20	20-40	40-60	0-60
Siembra		36	34	34	104
V6		25	16	13	54
Cosecha	T	5	3	5	13
	U50	24	8	1	33
	U100	6	4	3	14
	eNeT50	10	4	4	19
	eNeT100	25	6	1	32
	SolM50	9	2	3	14
	SolM100	11	7	4	22
	ND50	29	9	2	40
	ND100	7	6	4	17

T: Testigo; U: urea 50 y 100 kgN/ha; eNeT: eNetotal 50 y 100 kgN/ha; SolM: SolMix: 50 y 100 kgN/ha; ND: Nitrodoble 50 y 100 kgN/ha.

### *Ensayo 2 (Lote 3, Haplustol Éntico)*

En estado V6 y en los primeros 20 cm del suelo, se observaron los mayores niveles de N-NO<sub>3</sub>, esto se explicaría porque durante el período siembra-V6 la mineralización de N superó el consumo por parte del cultivo (Figura 4). Posiblemente esto no ocurrió en el ensayo 1 porque el contenido de materia orgánica y N total son más bajos (Tabla 1). Los niveles de N-NO<sub>3</sub> fueron de 84 y 115 kg/ha en los 60 cm del perfil a la siembra y en V6 respectivamente. Con el agregado de 50 y 100 kg N/ha de las distintas fuentes, el cultivo dispuso de 134 y 184 kg N/ha respectivamente a la siembra y 165 y 215 kg N/ha en V6 provenientes del suelo + el fertilizante. A cosecha los contenidos de N-NO<sub>3</sub> fueron mucho más bajos debido al consumo del cultivo.

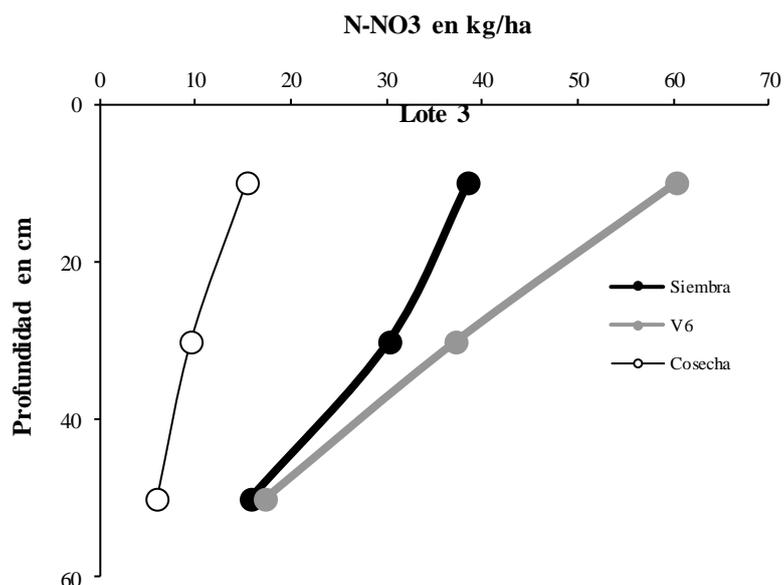


Figura 4. N de NO<sub>3</sub> (muestras compuestas) en capas de 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad, para distintos momentos del ciclo del cultivo.

### ***Rendimiento y sus componentes***

#### *Ensayo 1 (Lote 23 b)*

El rendimiento de los testigos (testigo absoluto y testigo con P y S) fue de 8000 y 8500 kg/ha respectivamente y los fertilizados variaron desde 8600 a 10800 kg/ha. Hubo respuesta significativa ( $P < 0.01$ ) de los tratamientos urea y nitrodoble para ambas dosis y de la dosis mas alta de eNeTotal y Solmix respecto del testigo absoluto (Figura 5). Los tratamientos urea y Solmix con las dosis mas altas y nitrodoble con ambas dosis se diferenciaron ( $P < 0.01$ ) respecto al testigo con P y S. No hubo diferencias entre dosis y fuentes, en la mayoría de los tratamientos, con excepción de la urea 100, el Nitrodoble 50 y el SolMix 100 que se diferenciaron ( $P < 0.01$ ) del eNetotal 50. SolMix en la dosis mas alta y Nitrodoble con ambas dosis se diferenciaron conjuntamente del testigo absoluto y testigo con P y S.

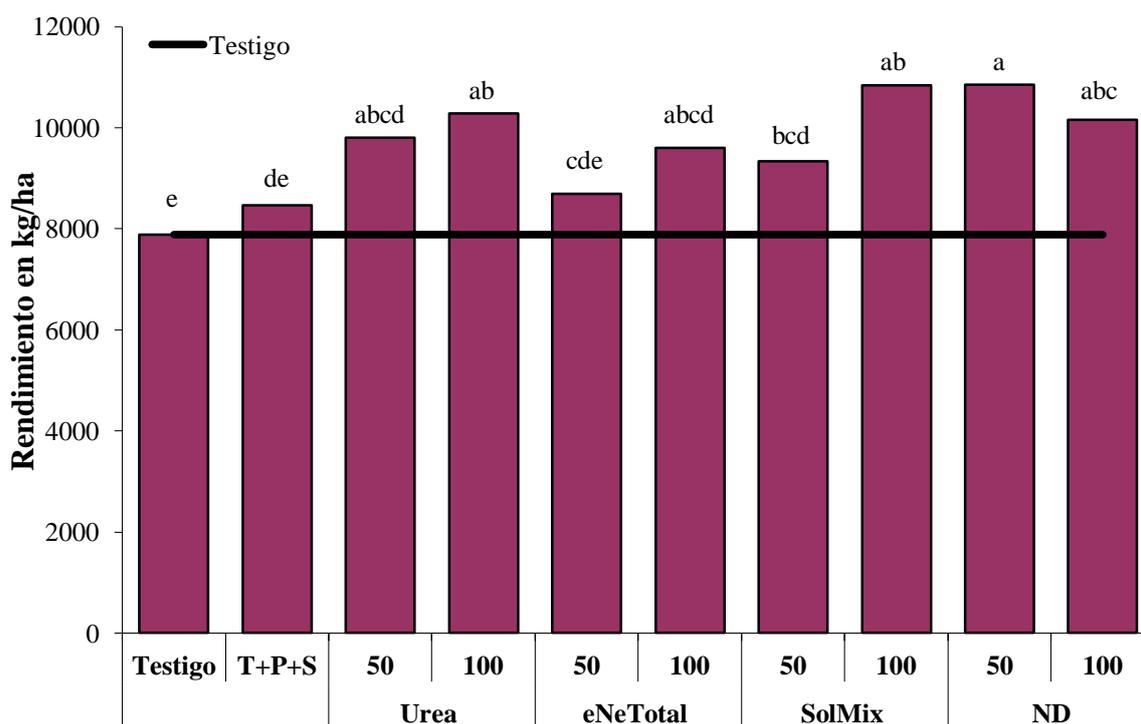


Figura 5. Rendimiento de cada tratamiento. Promedio de 3 repeticiones. T+P+S: Tratamiento 2, FDA + SO<sub>4</sub>Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha. Diferentes letras indican diferencias significativas ( $P < 0,01$ ).

El peso de los mil granos fue de 300 a 310 gramos para los testigos y en los tratamientos fertilizados varió entre 310 a 330 gramos (Figura 6). Las dosis más altas de eNeTotal, SolMix y Nitrodoble tuvieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) con ambos testigos. No hubo diferencias entre dosis y fuentes, en la mayoría de los tratamientos, con excepción de SolMix 100 y eNetotal 100 que se diferenciaron ( $P < 0,01$ ) de Nitrodoble 50 ( $P < 0,05$ ).

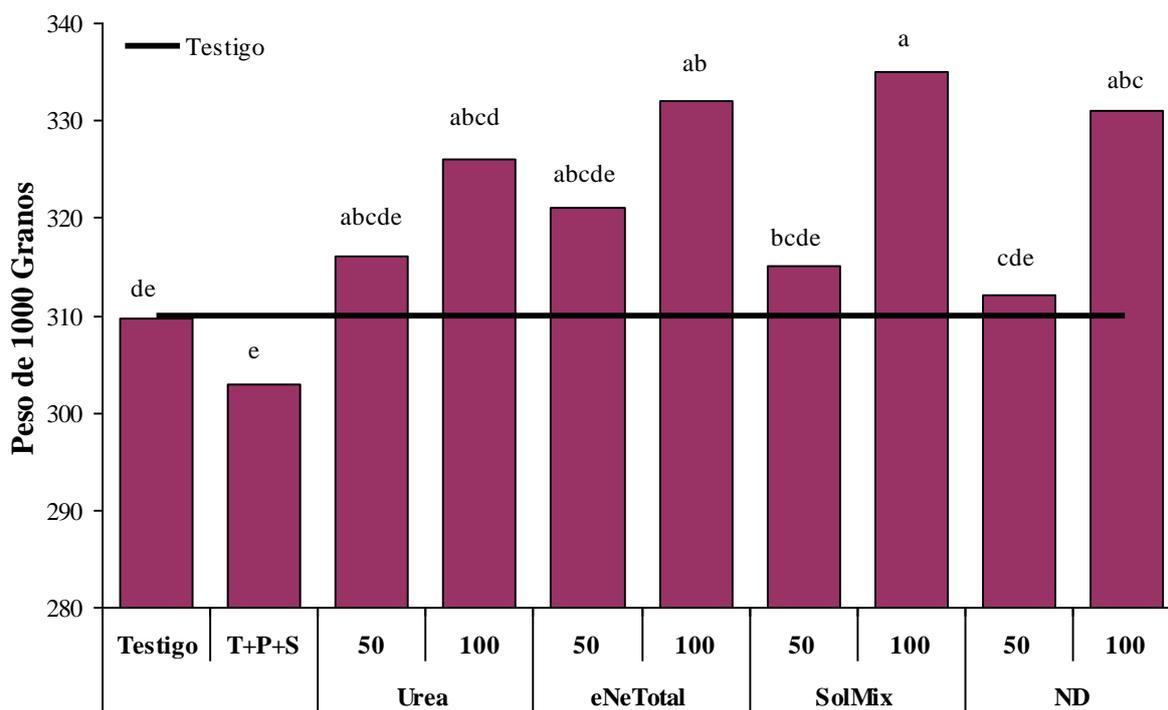


Figura 6. Peso de 1000 granos de cada tratamiento. Promedio de 3 repeticiones.

T+P+S: Tratamiento 2, FDA + SO<sub>4</sub>Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha. Diferentes letras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

El N en biomasa varió entre 0.5 y 0.7%, siendo mayor ( $P < 0.01$ ) el testigo absoluto respecto a los demás tratamientos (Figura 7). Estos resultados se pueden explicar por el efecto de dilución del N en los tratamientos que presentaron mayor rendimiento respecto al testigo absoluto (Figura 5).

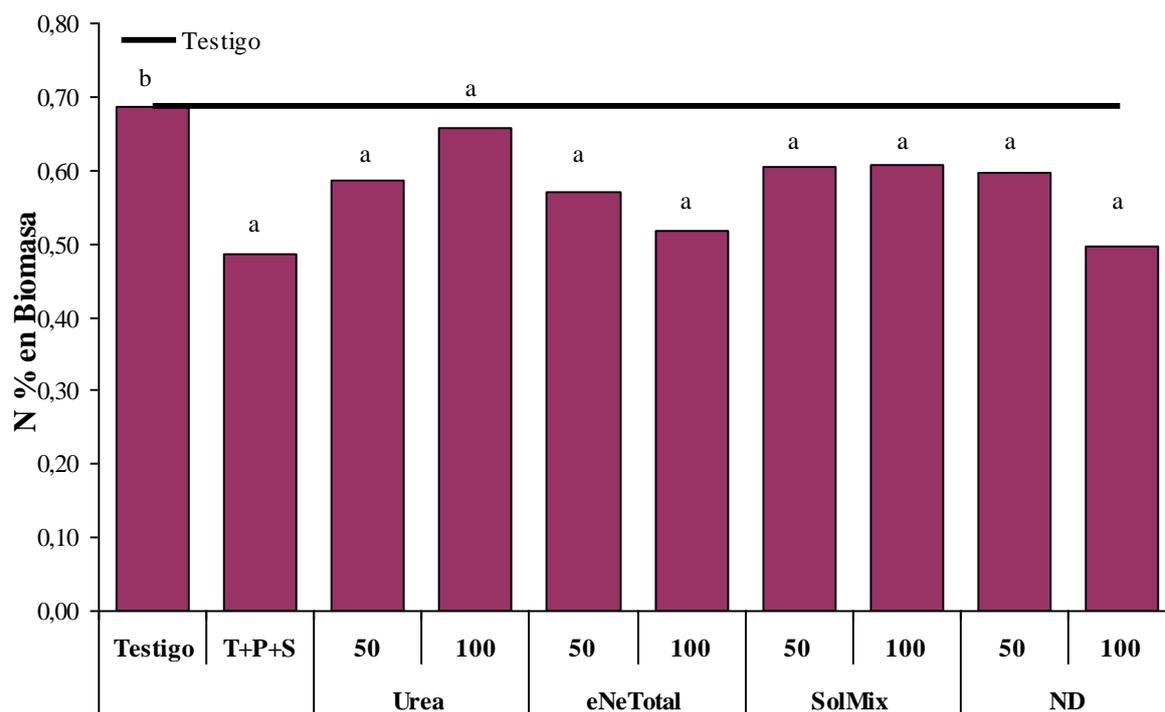


Figura 7. N en biomasa de cada tratamiento. Promedio de 3 repeticiones.

T+P+S: Tratamiento 2, FDA + SO<sub>4</sub>Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha. Diferentes letras indican diferencias significativas ( $P < 0,01$ ).

El N en grano varió entre 1,40 y 1,80%, solo hubo diferencias superiores ( $P < 0,05$ ) entre SolMix y Nitrodoble en las dosis mas elevadas respecto a ambos testigos (Figura 8).

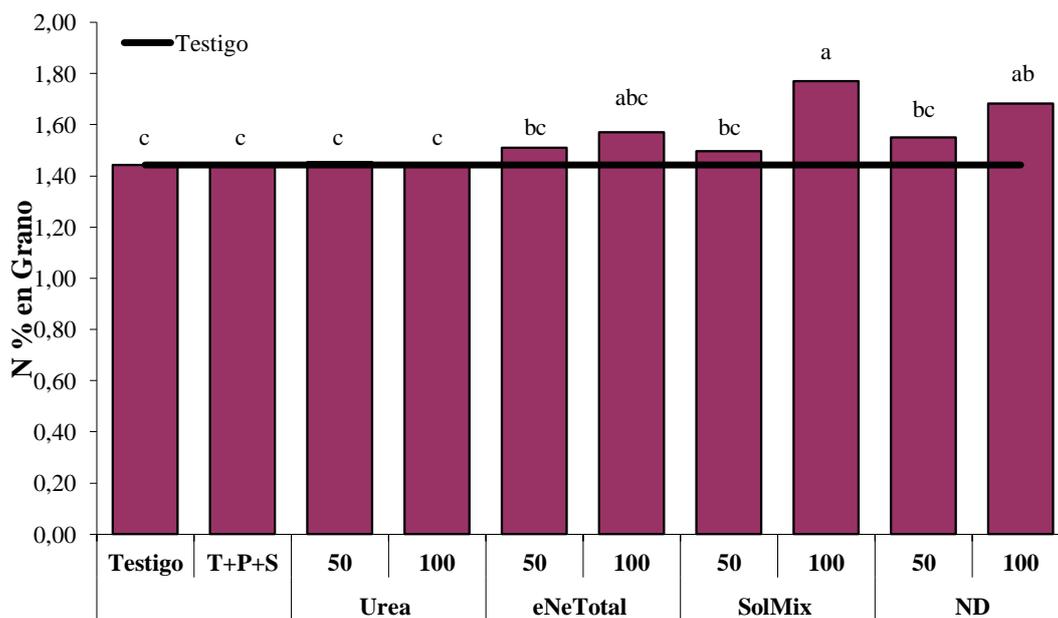


Figura 8. N en grano de cada tratamiento. Promedio de 3 repeticiones.

T+P+S: Tratamiento 2, FDA + SO<sub>4</sub>Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha. Diferentes letras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

El N en grano tuvo un rango de valores de 120 kg N/ha en los testigos a 190 kg N/ha en los tratamientos fertilizados. Los tratamientos de las dosis más elevadas de eNetotal, SolMix y ambos niveles de Nitrodoble se diferenciaron ( $P < 0,01$ ) respecto a los testigos. Los tratamientos urea 50 y 100 se diferenciaron ( $P < 0,01$ ) solamente con el testigo absoluto (Figura 9). Si bien, como se muestra en la Figura 8 no hay grandes diferencias entre tratamientos, cuando el N se expresa en kg/ha presenta una tendencia similar al rendimiento (Figura 5).

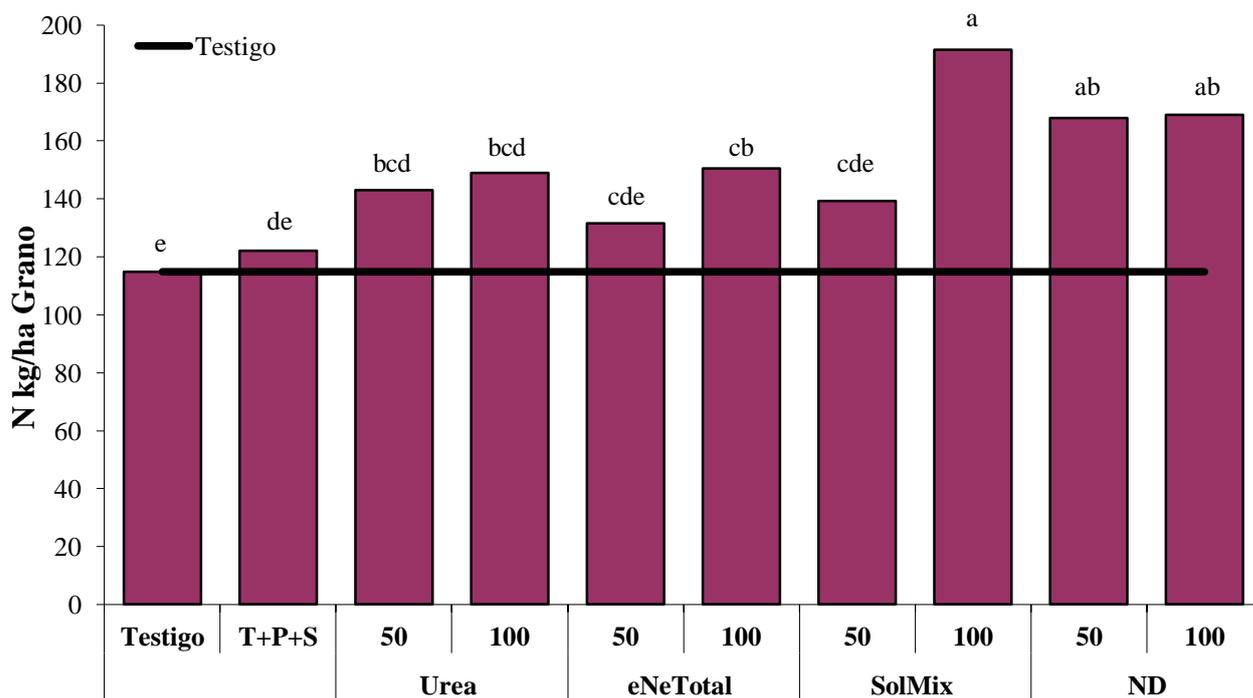


Figura 9. N en grano de cada tratamiento. Promedio de 3 repeticiones.

T+P+S: Tratamiento 2, FDA + SO<sub>4</sub>Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha. Diferentes letras indican diferencias significativas ( $P < 0,01$ ).

La suma del N en grano+biomasa+raíz varió de 230 kg/ha para los testigos a 360 kg/ha en los tratamientos fertilizados. Los niveles más elevados de urea y eNetotal y ambas dosis de SolMix y Nitrodoble fueron superiores ( $P < 0,01$ ) a los testigos. También resultó mayor el tratamiento con 50 kg de urea respecto al testigo absoluto (Figura 10). En general, para la suma de todo el N en la planta en kg/ha no hubo diferencias significativas entre todos los tratamientos fertilizados.

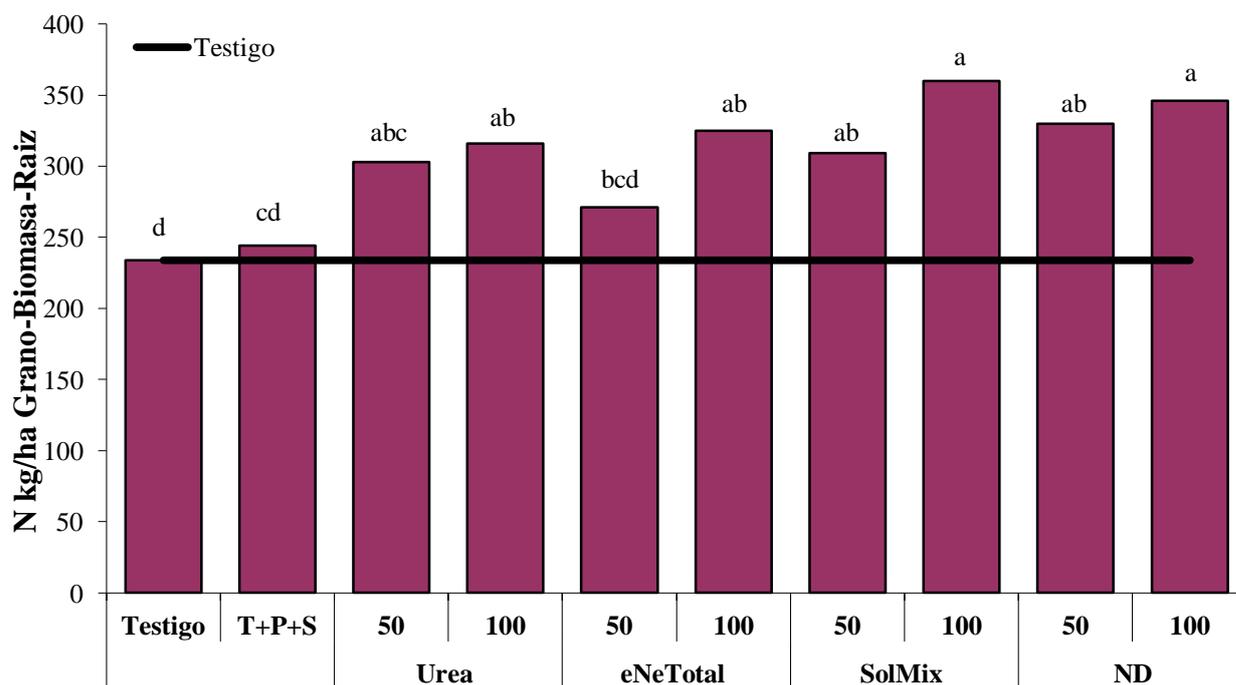


Figura 10. N en grano-biomasa-raiz de cada tratamiento. Promedio de 3 repeticiones. T+P+S: Tratamiento 2, FDA + SO<sub>4</sub>Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha. Diferentes letras indican diferencias significativas ( $P < 0,01$ ).

Por último, no hubo diferencias significativas con espigas/ha, peso hectolítrico, biomasa (kg/ha de materia seca y N) y granos por espigas. Una posible causa de la falta de respuesta en algunos componentes fueron los altos coeficientes de variación (Tabla 6).

Tabla 6. Espiga por ha, peso hectolitrico, biomasa, N en biomasa y granos por espigas de todos los tratamientos. Promedio de 3 repeticiones.

Tratamientos	Espiga/ha	Peso Hectolitrico	Biomasa	N en Biomasa	Granos/Espiga	
		kg/hl	kg/ha			
Testigo	75852	77,0	9794	67,0	387	
T+P+S	75852	78,0	7718	69,7	351	
Urea	50	76920	78,7	8683	82,5	368
	100	80125	78,7	8991	88,9	404
eNeTotal	50	68373	77,7	6354	62,1	557
	100	75852	77,0	10098	97,2	419
SolMix	50	73715	78,0	9859	91,4	393
	100	75852	77,3	9508	90,5	400
ND	50	73715	77,7	9478	84,2	375
	100	73715	78,0	10085	99,5	377
CV %	15,6	1,5	19,2	20,2	18,5	

+S: Tratamiento 2, FDA + SO<sub>4</sub>Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha; CV: Coeficiente de variación.

Se sugiere que la variabilidad en los rendimientos esta mas influenciada por el número de granos que por el peso de los mismos (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, número de espigas, granos por espiga), 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 quince días de pre-floración y los quince días de post-floración (Carcova *et al.*, 2003). A esto se suma la importancia del N en la producción de maíz (Barbieri *et al.*, 2012). Por otro lado, hubo diferentes resultados en la respuesta en producción por el agregado de fertilizantes de liberación lenta. Fontanetto *et al.*, (2010) encontraron incrementos a los rendimientos en granos y sus componentes con el agregado de nBTPT a la urea. En Gral. Pico, La Pampa Copperi *et al.*, (2010) encontraron diferencias en rendimiento y todos sus componentes entre Nitrodoble con respecto a la urea. Mientras, Barbieri *et al.*, (2010) no encontraron diferencias

en el rendimiento ni por las dosis de N ni por los aditivos (nBTPT) utilizados. La falta de respuesta en rendimiento por el agregado de nBTPT coincide con lo informado por otros autores Cahill *et al.*, (2007) y Nelson *et al.*, (2009).

En el presente ensayo, la fertilización nitrogenada produjo incrementos significativos en el N de grano+biomasa+raíz y en el rendimiento del cultivo. Esto se podría justificar por varios factores, entre otros, muy buenos contenidos de humedad en el suelo en profundidad durante el ciclo y niveles de N de NO<sub>3</sub> por debajo del umbral crítico (104 y 154 kg N/ha a 0-60 cm, Alvarez *et al.*, 2006).

#### *Ensayo 2 (Lote 3)*

No hubo respuesta a la fertilización en rendimiento en grano ni a los componentes del rendimiento estudiados. Algunas posibles causas pudieron ser por un lado, la deficiencia hídrica en la profundidad del perfil (tosca a 140 cm) en períodos críticos floración-espigazón (Figura 2) y por otro, los altos niveles de N disponible a la siembra y V6, 134-184 y 165-215 kg N/ha respectivamente. Por ejemplo, en la región pampeana húmeda se han desarrollado muchos modelos de recomendación de fertilización en maíz en distintas redes con distintos número de ensayos, años, antecesores y sistemas de labranzas usando el N disponible a la siembra y V6 como variable independiente. Se puede generalizar que en evaluaciones a la siembra usando el estrato 0-60 cm de suelo la mayoría de los modelos indican objetivos de N hasta 140 kg N/ha. En evaluación de modelos en V6, usando N disponible (N-NO<sub>3</sub> en suelo a 0-30 cm + N fertilizante) el umbral varió de 50 a 160 kg N/ha (Álvarez *et al.*, 2006). Asimismo, la mineralización de N desde los componentes orgánicos del suelo es una vía de aporte muy importante de N a este cultivo (Ruiz *et al.*, 1997).

Tabla 7. Rendimiento, espiga por ha, peso de 1000 granos y peso hectolítrico de todos los tratamientos. Promedio de 4 repeticiones.

Tratamientos			Rendimiento	Espiga/ha	Peso de 1000	Peso Hectolitrico
			kg/ha		gr	kg/hl
Testigo			7402	56889	365,6	66,3
T+P+S			8234	61696	372,0	70,3
Urea	S	50	7625	54485	359,9	68,5
		100	8224	62498	369,3	69,5
	V6	50	7935	64100	347,1	68,8
		100	7792	57690	349,8	71,3
eNe total	S	50	8262	59293	343,4	68,0
		100	7531	49678	367,6	72,3
	V6	50	8909	64901	365,1	71,0
		100	7922	61696	366,0	73,3
SolMix	V6	50	7862	59293	359,4	70,3
		100	7564	50479	377,4	72,8
ND	S	50	8788	61696	357,1	68,5
		100	7320	57690	371,9	70,0
	V6	50	8469	60094	360,8	70,3
		100	9029	69709	368,4	69,8
CV %			17,9	17,2	6,4	5,1

S: Siembra; V6; T+P+S: Tratamiento 2, FDA + SO<sub>4</sub>Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha; CV: Coeficiente de variación.

### *Pérdidas por volatilización de NH<sub>3</sub>*

El período de medición se desarrollo del 27 al 30 de diciembre de 2011. Las temperaturas medias diarias oscilaron entre 16.4 y 26.8 °C, las máximas variaron de 32.8 a 34.9 °C y las mínimas de 17.0 a 26.8 °C (Tabla 8). Tanto las temperaturas medias, mínimas y máximas de diciembre del 2011 fueron 0,7, 0,1 y 0,6 °C superiores respectivamente al promedio de dicho mes de los últimos 38 años. La humedad relativa osciló entre 36 y 56 % para los 4 días de medición, mientras la media mensual para ese año fue de 45%, un valor que está por debajo de la media histórica del mes de diciembre que fue de 57% (Casagrande *et al.*, 2012).

Tabla 8. Temperaturas máximas, mínimas y medias de los 4 días de medición de pérdidas por volatilización.

Día	Temperatura °C			Humedad relativa %
	Máxima	Mínima	Media	
1	34,9	17,8	16,4	38,0
2	33,8	19,8	26,8	36,0
3	34,4	17,8	26,1	56,0
4	32,8	17,0	24,9	45,0

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

El pH del suelo a 20 cm de profundidad durante los días de medición de las pérdidas por volatilización para los diferentes tratamientos varió muy poco, el inicial fue de 7,1 y el final osciló entre 7,0 en SolMix 100 y 7,3 en urea 100 (Tabla 9).

Tabla 9. pH a 0-20 cm de profundidad del suelo del día de inicio de la fertilización en estado V6 y del último día de medición de volatilización. Promedio de 3 repeticiones.

Tratamientos	pH	
	Inicial	Final
<b>Testigo</b>	7,1	7,1
<b>Urea 100</b>	7,1	7,3
<b>eNetotal 100</b>	7,1	7,2
<b>Solmix 100</b>	7,1	7,0
<b>ND 100</b>	7,1	7,0

100: 100 kg N/ha.

Las pérdidas totales de volatilización medidas en el ensayo oscilaron entre 2,2 y 5,3 kg N/ha, siendo el eNetotal 50 kg de N el valor mas bajo y el SolMix 100 kg de N el valor mas alto (Tabla 2, Apéndice de Tablas). Las pérdidas totales porcentuales más altas correspondieron a SolMix con 100 y 50 kg de N/ha siendo de 10,1 y 5,3% respectivamente. Mientras, las más bajas fueron de 2,2% para 100 kg de N aplicado como eNetotal y urea. El día de mayores pérdidas por volatilización fue el cuarto debido a los valores presentados por los tratamientos SolMix 50 y 100. Sin embargo, el segundo día de mediciones fue donde hubo diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos (Figura 11, Tabla 2, Apéndice de Tablas). El testigo, urea 100, eNetotal 50 y Nitrodoble 50 se diferenciaron de urea 50, eNetotal 100, SolMix 50 y 100. Si bien no hay suficientes antecedentes sobre pérdidas por

volatilización en SolMix, dado que éste contiene urea en su composición se esperaría un comportamiento similar a ésta.

La volatilización desde suelos no fertilizados es muy baja no excediendo los 5 kg N/ha/año durante el ciclo del maíz en la Pampa Ondulada (Álvarez *et al.*, 2004). El promedio de todos los datos de volatilización de urea agregada generados en la Región Pampeana, indican que las pérdidas de N son en general mas bajas en trigo que en maíz (Abascal *et al.*, 2004; Barbieri *et al.*, 2003; Fontanetto *et al.*, 2001; Palma y Conti, 1990; Sainz Rosas *et al.*, 1997; Urricariet *et al.*, 2000; Videla *et al.*, 1994 y Zubillaga *et al.*, 1998). En síntesis, en maíz en la Región Pampeana, las pérdidas en promedio son del 1 al 9% dependiendo de las dosis aplicadas (Álvarez y Steinbach, 2010). En nuestro experimento se obtuvieron valores similares con 50 y 100 kg N/ha. Sin embargo, hay disparidad en los datos generados, por ejemplo, en la zona de Rafaela, provincia de Santa Fe, donde se han determinado pérdidas de N por volatilización de hasta el 40% desde urea aplicada en superficie en verano bajo siembra directa (Fontanetto *et al.*, 2002). En el norte de la provincia de Bs. As, Rimski-Korsakov *et al.*, (2007) trabajando con N<sup>15</sup> determinaron pérdidas de N-NH<sub>3</sub> por volatilización de hasta el 24% del N aplicado para el cultivo de maíz bajo siembra directa. Bono y Romano (2012) trabajando en la RSP encontraron pérdidas cercanas a el 40% de N aplicado cuando se utilizó la fuente urea a una dosis de 200 kg N/ha, pero cuando utilizaban urea con inhibidor de la ureasa (nBTPT) esas pérdidas se reducían en mas de un 50%. El año en que se realizó este trabajo fue atípico para la zona, debido a que se registraron temperaturas y humedades mas altas que el promedio histórico (Casagrande *et al.*, 2012), favoreciendo junto con las altas dosis utilizadas las pérdidas por volatilización. Por el contrario, la magnitud de dichas pérdidas no superó el 15% en el sudeste bonaerense, siendo las mismas dependientes de las dosis de N utilizadas (Sainz Rozas *et al.*, 1999). Además, en ensayos realizados por Barbieri

*et al.*, (2010) en Balcarce, determinaron que las aplicaciones de urea presentaban los mayores valores de pérdida de N-NH<sub>3</sub>, siendo las mismas del 3 y 10% de N aplicado para las dosis de 60 y 120 kg N/ha, respectivamente. Las pérdidas desde los tratamientos urea + inhibidor no superaron el 0,5% para ambas dosis, similares resultados fueron reportados por Sainz Rozas *et al.*, (1999) y Ferraris *et al.*, (2009).

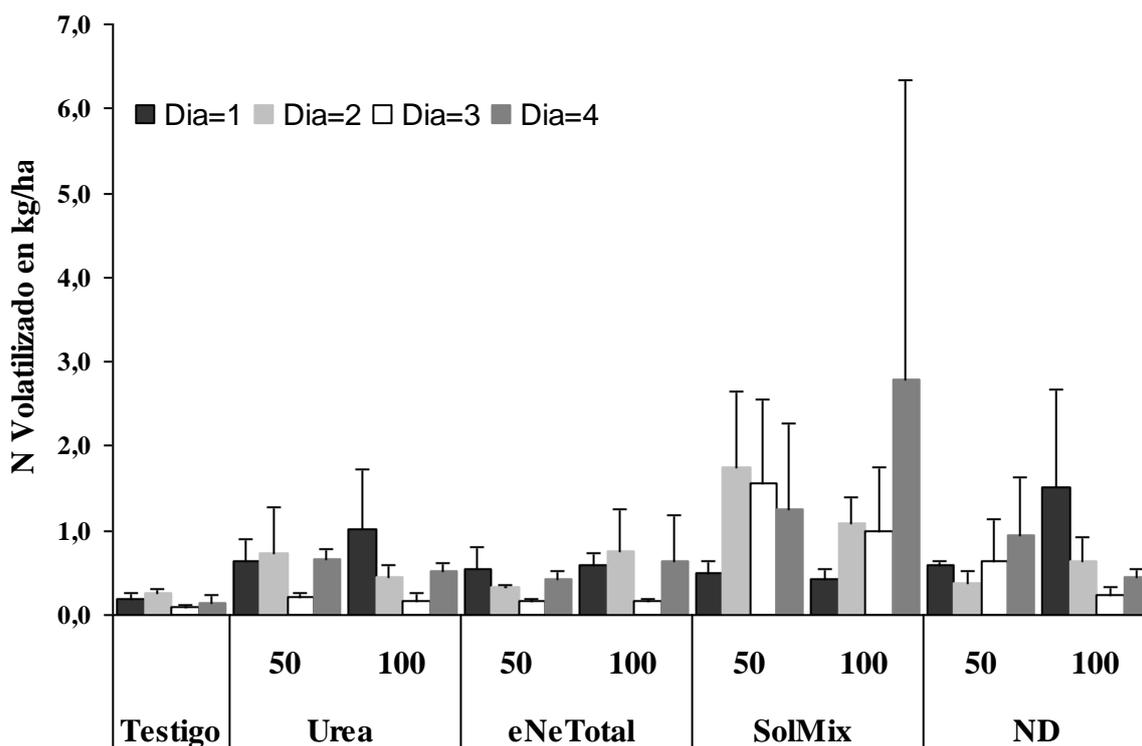


Figura 11. Pérdidas de N por volatilización diarias en los 4 días de medición para los tratamientos a V6. Las barras indican el desvío estándar de la media. 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha

En el presente ensayo hubo temperaturas elevadas pero la humedad relativa del aire y la humedad del suelo en superficie fueron bajas. Asimismo, hasta el inicio de las mediciones de pérdidas de N, solo llovieron 35 mm en diciembre, que ocasionaron una baja tasa de hidrólisis de la urea (Tabla 8; Figura 2; Tabla 1 Apéndice de Tablas). Esto podría explicar una de las causas de los muy bajos valores de volatilización encontrados. El uso de productos con inhibidor de la actividad ureásica no incrementó los rendimientos, probablemente porque las

pérdidas de  $\text{NH}_3$  desde los tratamientos con urea y SolMix no fueron de magnitud. Según la bibliografía hay resultados contradictorios en cuanto al comportamiento de los fertilizantes de liberación lenta. En nuestro experimento hubo variaciones (SolMix) con respecto a las otras fuentes y mucha variabilidad en los resultados (desvío estándar), con lo cual esas diferencias no se vieron reflejadas en los rendimientos. Finalmente el rendimiento es una suma de factores donde intervienen muchas variables edafo climáticas (Carcova *et al.*, 2003), esta también sería una de las posibles causas de la falta de diferencias entre fuentes nitrogenadas.

### ***Eficiencias de uso de N***

Considerando el N disponible en el suelo (Echeverría, 2009), la EUN varió entre 27 y 33 kg grano/kg de N disponible y la EF entre 30 y 35 kg grano/kgN absorbido. Mientras que la ER osciló entre 0.90 y 0.96 (Tabla 10). No hubo diferencias entre las fuentes, dosis y el testigo en las 3 eficiencias. En síntesis las eficiencias no fueron afectadas por los tratamientos. Por otro lado, teniendo en cuenta las eficiencias desde el punto de vista del N aplicado (Steinbach, 2007), la EUN varió entre 10 y 53 kg grano/kg de N disponible, la EF entre 10 y 46 kg grano/kg de N absorbido y la ER osciló entre 0.56 y 0.98 (Tabla 10). Hubo diferencias ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos fertilizados para las EUN y EF. En relación a la EUN los tratamientos eNetotal con 50 y 100 kg N/ha se diferenciaron del resto de los tratamientos ( $P < 0.05$ ). Además, urea 100, SolMix 50 y 100 y Nitrodoble 100 se diferenciaron del resto de los tratamientos ( $P < 0.05$ ). Para la EF todos los tratamientos se diferenciaron ( $P < 0.05$ ) de Nitrodoble 100, también eNetotal 50 y 100 se diferenciaron ( $P < 0.05$ ) del resto de los tratamientos. En consecuencia, para urea y Nitrodoble las dosis más bajas fueron las de mayor EUN y sus componentes la EF y la ER. En el caso de eNetotal la EUN y sus componentes se observaron los valores más bajos de todas las fuentes utilizadas, las diferencias entre dosis fueron estrechas. En cuanto al SolMix la EUN y la EF mostraron niveles ligeramente

superiores en la dosis de 100 kg N/ha y ocurrió lo inverso en la ER. Bono y Alvarez. (2012a) en un trabajo de larga duración en Anguil, encontraron que los pools orgánicos en conjunto (mineralización mas liberación de N desde residuos) aportaron 53% del N disponible en maíz. Sumando el N a la siembra se estimó un aporte total de N del suelo de 83% en maíz. Similares valores se generaron en nuestro ensayo, el suelo aportó entre el 64 y 84% del N para los distintos tratamientos (fuentes y dosis). En consecuencia, la fertilización representó una fuente mucho menor de N para los cultivos que el suelo, si bien se utilizó parte de N-NO<sub>3</sub> se puede ver que en los tratamientos fertilizados hubo un exceso de N que no utilizó el cultivo (Tabla 6). Esto fundamentaría el que los cálculos de las eficiencias desde el punto de vista del fertilizante arrojen diferencias entre dosis, mientras que ocurrió lo contrario al efectuar los calculos con respecto al N del suelo. En síntesis, es de vital importancia hacer un uso racional en la aplicación de los fertilizantes.

En todos los casos los siguientes trabajos midieron las eficiencias desde el punto de vista del fertilizante, Ferrari y Carta (1996) encontraron que la EUN no fue modificada por la dosis, pero si mostró diferencias debidas a la fuente de N aplicada. En ese caso, el nitrato de amonio calcáreo presentó mayor eficiencia que la urea a iguales dosis. Melchiori *et al.*, (2007) hallaron diferencias en la EUN en relación al momento de aplicación. Las aplicaciones a la siembra (44,5 kg de maíz/kg de N aplicado) tuvieron mayores eficiencias que las realizadas en V6 y V10, (28,3-24,1 kg de maíz/kg de N aplicado respectivamente) mientras que no se evidenció diferencia entre estos últimos. En relación a la EF no encontraron diferencias entre las distintas fuentes pero sí entre momentos. Las aplicaciones en V6 y V10 tuvieron EF similares entre sí pero mayores que las de la siembra. Estos datos concuerdan con los obtenidos por Barbieri *et al.*, (2008). La ER fue afectada por el momento y la fuente de N, las eficiencias de las aplicaciones a la siembra fueron mayores que las logradas en los estadios

V6 y V10. En la RSP Bono y Romano, (2012) no encontraron diferencias entre las distintas fuentes de N, pero si observaron a nivel general muy altas EUN en todos los tratamientos, y en mayor medida con las dosis mas bajas (50 kg N/ha). Los tratamientos de urea con inhibidor no mostraron un aumento de las EUN, coincidiendo con la experiencia de Barbieri *et al.*, (2010). Si se presentó una mayor ER de los tratamientos urea inhibidor, pudiendo explicarse por una mejor sincronía entre la oferta de N de la urea inhibidor y la demanda por el cultivo.

Tabla 10. Eficiencias de uso de N, fisiológica y de recuperación para todos los tratamientos, promedio de 3 repeticiones.

Tratamientos		Rendimiento	EUN		E F		ER	
		kg/ha	A	B	A	B	A	B
<b>Testigo</b>		7890	28,5		30,0		0,95	
<b>T+P+S</b>		8461	33,3		35,0		0,95	
<b>Urea</b>	<b>50</b>	9810	29,9	32,7 c	33,3	46,5 d	0,90	0,82
	<b>100</b>	10281	32,9	21,1 b	34,4	38,5 d	0,96	0,77
<b>eNeTotal</b>	<b>50</b>	8691	30,3	10,3 a	32,4	14,4 b	0,93	0,65
	<b>100</b>	9601	27,0	14,3 a	29,7	13,1 b	0,91	0,56
<b>SolMix</b>	<b>50</b>	9343	29,9	23,3 b	31,4	22,2 c	0,95	0,98
	<b>100</b>	10837	28,6	26,6 b	30,4	29,9 c	0,94	0,87
<b>ND</b>	<b>50</b>	10851	30,4	53,5 d	34,3	29,5 c	0,89	0,95
	<b>100</b>	10153	28,3	19,8 b	29,7	9,7 a	0,95	0,86

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 Echeverría (2009), y la columna B a la de Steinbach (2007); T+P+S: Tratamiento 2, FDA + SO<sub>4</sub>Ca; 50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha. Diferentes letras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

La posibilidad de obtener mayores EUN con estas fuentes de liberación lenta en comparación con la urea estaría directamente relacionada con las condiciones ambientales (altas temperaturas y humedad relativa) que prevalezcan luego de aplicados estos fertilizantes. Hay que considerar también el número de días que transcurran desde la fertilización superficial y la ocurrencia de una lluvia de cierta magnitud (Ferrari, 1996). Por otro lado, Bono y Álvarez, (2012b) determinaron que la eficiencia agronómica promedio fue de 28 kg grano/kg de N para un rango de dosis de N que se encuentra entre 40 y 60 kg/ha para la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. Estos valores son similares a los obtenidos en la

Región Núcleo Maicera (Melgar, 2012). Teniendo en cuenta estos antecedentes y los resultados obtenidos en este trabajo, dosis hasta 100 kg N/ha, sumado a las condiciones ambientales y bajas pérdidas de N, el uso de fertilizantes nitrogenados aplicados en superficie en siembras tardías no serían una limitante en la RSP.

## **CONCLUSIONES**

- Las pérdidas por volatilización fueron bajas, en general, no hubo diferencias entre fuentes y dosis.
- Las fuentes de liberación lenta y/o controlada no tuvieron mayores EUN comparadas con las otras fuentes.
- No hubo diferencias entre momentos de aplicación porque tampoco se manifestaron diferencias en el rendimiento con el uso de fertilizantes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abascal SA; DE Buschiazzo; G Riola y C Guiotto. 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, acta en CD.
- 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.*
- Álvarez R; C Álvarez y H Steinbach. 2000. Fertilización de trigo y maíz. Ed. Hemisferio Sur. Pp 95.
- Álvarez CR; H Rimski-Korsakov; P Prystupa y R Lavado. 2004. Pérdidas de nitrógeno en el cultivo de maíz bajo siembra directa en la Pampa Ondulada. VIII Congreso Nacional de Maíz (Argentina) actas: 125-128.
- Álvarez C; N Peinemann y A Quiroga. 2006. Sistemas de labranza, propiedades edáficas y rendimiento de maíz en molisoles diferenciados por el régimen hídrico. *In: Aspectos de la evaluación y el manejo de los suelos en la Región Semiárida Pampeana. Nutrición de cultivos. Publicación Técnica N° 67. EEA Anguil INTA. Pp 1-10.*
- Álvarez R y HS Steinbach. 2010. Asociación entre el nitrógeno del suelo y el rendimiento de los cultivos. *In: Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la Región Pampeana. Ed: Facultad de Agronomía. UBA- Pp 217-269.*
- Andrade FH; A Cirilo; SA Uhart y M Otegui. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Balcarce, Dekalb Press. CRBAS/FAC-UN Mar del Plata. 292 p.
- Andrade FH y VO Sadras. 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. 3: 68-70, 4: 107-118.
- Anuario estadístico de la Provincia de La Pampa. 2009. Gobierno de la Provincia de La Pampa. Pp 272.

- Barbagelata P. 2000. Efecto del momento de aplicación de fertilizante nitrogenado sobre el rendimiento de maíz en siembra directa. Informe de Beca. INTA EEA Paraná, Área de investigación de suelos.
- Barbieri PA; H Echeverría y H Sainz Rozas. 2003. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 21: 18-23.
- 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: 849 857.
- Barbieri PA; H Echeverría; H Sainz Rozas y M Maringolo. 2010. Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: Pérdida por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 28 (1): 57-66.
- Barbieri, PA; A Della Maggiora; HE Echeverría; M Pietrobón y F Álvarez. 2012. Evapotranspiración y eficiencia en el uso de agua del cultivo de maíz en respuesta a la fertilización con nitrógeno. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata 16 al 20 de abril de 2012.
- Barraco M y M Díaz Zorita. 2004. Momento de fertilización nitrogenada de maíz en la región de la pampa arenosa. Actas XIX Congreso AACS. Paraná (ER). Pp 146.
- Barraco M y M Díaz Zorita. 2005. Momento de fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en Hapludoles Típicos. *Ciencia del Suelo* 23 (2):197-203.
- Bianchini A; S Lorenzatti; F Garcia y M Ambrogio. 2002. Nutrición en la rotación: tres años de la red de ensayos de AAPRESID-INPOFOS.

- Bono A. y R. Álvarez. 2012a. 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.
- Bono A y R Alvarez. 2012b. Fertilización de maíz en la región semiárida y subhúmeda pampeana. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata 16 al 20 de abril de 2012.
- Bono A y C Scianca. 2003. Fertilización en maíz. Resultados obtenidos en tres años de estudio en el oeste bonaerense. Aplicación de macro y micronutrientes. Boletín de divulgación Técnica N° 77. Cultivos de cosecha gruesa. EEA INTA Anguil. Pp 79-84.
- Bono A y N Romano. 2012. Capítulo XII. Métodos de diagnóstico de fertilización. *In: Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Ed: Quiroga y Bono, Publicación Técnica N° 89 EEA INTA Anguil. Pp 119 a 133.*
- Buschiazzo DE; S Aimar y T Zobeck. 1999. Wind erosion in soils of the semiarid Argentinean Pampas. *Soil Science* 164. Pp 133-138.
- Cahill S; D Osmond; C Crozier; D Israel and R Weisz. 2007. Winter Wheat and Maize Response to Urea Ammonium Nitrate and a New Urea Formaldehyde Polymer Fertilizer. *Agron. J.* 99:1645-1653.
- Carcova J; L Borrás y ME Otegui. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en maíz. *In: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Pp:133-163.*
- 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 N° 88 INTA Anguil.

- Ciampitti IA; M Boxler y FO García. Nutrición de Maíz: Requerimientos y Absorción de Nutrientes. *Informaciones Agronómicas* N° 48. Pp: 14-18.
- Copperi MZ; MM Ron, ME Mandolesi y MA Cantamutto. 2010. Respuesta del maíz a la fertilización con dos fuentes nitrogenadas. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Santa Fe.
- Di Paolo E y M Rinaldi. 2008. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 105: 202-210.
- Echeverría H. 2009. Eficiencia de uso de nitrógeno en cultivos extensivos. Balcarce. Jornadas Nacionales Sistemas Productivos Sustentables, Comisión Química de Suelos. AACCS. 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 y S Aimar. 1985. Valores de nitrógeno kjeldahl en capa superficiales de los suelos de las regiones semiáridas y subhúmedas pampeanas. *Carpeta de Información Técnica.* EEA Anguil. Pp 21-22.
- Fernández JC y GA Casagrande. 1998. Caracterización agroedáfica del cultivo de trigo en la Provincia de La Pampa. *In: Técnica del cultivo del trigo en la Provincia de La Pampa.* Boletín de Divulgación Técnica N° 58. Pp 7-18.
- 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.
- Ferrari M; JJ Ostojic; GN Ferraris; LA Ventimiglia; HC Carta y SN Rillo. 2001. Momento de aplicación de fertilizante nitrogenado en maíz de siembra directa. VII Congreso Nacional de Maíz. Pergamino 7 al 9 de noviembre de 2001.

- Ferraris G; L Couretot y M Toribio. 2009. Pérdidas de N por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz. Efecto de fuente, dosis y uso de inhibidores. Informaciones agronómicas del cono sur 43: 19-22. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Fontanetto H; H Vivas; O Séller y F Llambías. 2001. Volatilización de amoníaco desde diferentes fuentes nitrogenadas aplicadas en trigo con siembra directa. Anuario 2001 INTA Rafaela. Disponible on line en: <http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/anuario2001>
- Fontanetto H; H Vivas; O Keller y J Romera. 2002. Evaluación de la volatilización de amoniaco desde diferentes fuentes nitrogenadas en soja con siembra directa. II Congreso Brasileiro de soja. Mercosoja 2002. Resumos: 229.
- Fontanetto H; S Gambaudo; O Keller; J Albrecht; D Glaillevra; C Negro; L Belotti y H Boschetto. 2010. 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.
- Fox RH y WP Piekielek. 1993. Management and urease inhibitor effects on nitrogen use efficiency in no-till corn. J. Prod. Agric. 6:195-200.
- Funaro D y J Pérez Fernández. 2005. Rendimiento potencial y fecha de siembra. *In*: Cultivo de cosecha gruesa. Publicación Técnica N° 61. Pp 37-39.
- García FO; 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.

- González Besteiro VA; N Udaquiola y JR Micheloud. 2012. Impacto e importancia de la fertilización. *In: Mercado de fertilizantes en la Argentina y el mundo. Enfoques Económicos. Unidad de Investigación y Desarrollo del Movimiento CREA. Pp 59-79.*
- Gudelj VJ; PS Vallote; CM Galarza; BL Masiero; OE Gudelj y C Lorenzón. 2004. Momentos de aplicación de nitrógeno en siembra directa de maíz. *Actas XIX Congreso Argentino de Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos. 22 a 25 de junio de 2004. Actas en CD.*
- Hargrove WL. 1988. Soil, environmental, and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. *En ammonia from urea fertilizers. B. R. Bock, D. E. Kissel, Ed. National Fertilizer Development Center Tennessee Valley Authority Muscle Shoals, Alabama. Pp. 17-36.*
- 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.*
- Keller GD y DB Mengel. 1986. Ammonia volatilization from Nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Sci. Am. J. 50: 1060-1063.*
- Lorda H; Y Bellini Saibene; A Sipowicz; P Lucchetti; R Zinda; M Farell y A Corró Molas. 2003. Caracterización productiva y tecnológica de los cultivos de verano. *In: Cultivos de cosecha gruesa. Boletín de Divulgación Técnica. N° 77. Pp 1-38.*
- Melchiori RJM; PA Barbagelata; SM Albarenque y N Faccendini. 2007. Momento de aplicación y fuente de nitrógeno en Maíz. *Actualización Técnica. Maíz, Girasol y Sorgo. Serie N° 44. INTA EEA Paraná.*

- Melgar R. 2012. Guía de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales. Fertilizar asociación civil.
- Nelson KA; SM Paniagua y PP Motavalli. 2009. Effect of polymer coated urea, irrigation and drainage on nitrogen utilization and yield of corn in a claypan soil, *Agron. J.* 101:681-687.
- Noellsch JJ; PP Motavalli; KA Nelson y NR Kitchen. 2009. Corn Response to Conventional and Slow-Release Nitrogen Fertilizers across a Claypan Landscape. *Agron. J.* 101:607-614.
- Nommik H. 1973. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. *Plant and soil.* 39: 309-318.
- Ogola JBO; TR Wheeler y PM Harri. 2002. Effect of Nitrogen and irrigation on water use of maize crops. Department of agronomy, Egerton University. Kenya.
- Pagani A; HE Echeverría; PA Barbieri y HR Sainz Rozas. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Informaciones agronómicas* N° 39. Pp 14-19.
- Palma RM; ME Conti. 1990. Urease activity in Argentine soils: Field Studies and influence of sample treatment. *Soils Biol. y Biochem.* 22: 105-108.
- Palma RM; MI Saubidet; M Rímolo y J Utsumi. 1998. Nitrogen losses by volatilization in a corn crop with two tillage systems in the Argentine Pampa. *Commun Soil Sci. Plant Anal.* 29:2868-2879.
- Quiroga A; R Fernández; J Casagrande y O Ormeño. 2007. Aspectos del manejo del agua y la fertilidad en sistemas mixtos de la región semiárida pampeana. Cuarto Simposio de Ganadería en Siembra Directa. *Aaprecid. Potrero de los Funes.* San Luis. Pp 65-69

- Rimski-Korsakov H; G Rubio y RS Lavado. 2007. Pérdidas por volatilización de amoníaco en cultivos de maíz fertilizado con nitrógeno. *In: Lazzari MA, Videla C (Ed.). Isótopos estables en agroecosistemas. Ed: Universidad Nacional del Sur. Pp 53-57.*
- Romano N y A Bono 2012. Pérdidas por volatilización y eficiencias de uso del nitrógeno en maíz tardío. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata 16 al 20 de abril de 2012.
- Ruiz RA; E Satorre; GA Maddonni; DF Calderini; DJ Miralles; J Cárcova y MR DiNápoli. 1997. Bases funcionales de la respuesta a la fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en el norte de la Provincia de Buenos Aires. VI Congreso Nacional de Maíz (Argentina). Pp 121-128.
- Ruiz RA; EH Satorre; GA Maddonni; J Carova y ME Otegui. 2001. Umbrales de decisión para la fertilización nitrogenada de maíz. *In: Acta VII Congreso Nacional de Maíz-Pergamino.*
- Sainz Rozas H; H Echeverría; G Studdert y F Andrade. 1997. Volatilización de amonio desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 15: 12-17.
- Sainz Rozas H; H Echeverría; G Studdert y F Andrade. 1999. No-tillage corn nitrogen up take and yield: effect of urease inhibitor and application time. *Agron. J.* 91:950-955.
- Salvagiotti F; H Pedrol; J Catellarín; G Cordone; J Capurro; JC Felizia; A Gargicevich; O Gentili; F Martinez; J Mendez; G Prieto y N Trentino. 2004. Umbrales de Nitrogeno a la siembra para el diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz según el potencial de rendimiento. *Para Mejorar la Producción* N°26. Pp 84-87. INTA Oliveros.
- Salvagiotti F; F Ferraguti y A Manlla. 2012. Respuesta a la fertilización y eficiencia en el uso del nitrógeno en maíz de siembra tardía sobre diferentes antecesores utilizando inhibidores de ureasa. *Informaciones Agronómicas de Hipanoamérica* N° 8. Pp 2-5.

- Sanchez MA y SJ Muñoz. 2007. Fertilización nitrogenada de maíz en el sudeste de Córdoba. *Informaciones Agronómicas* N° 39. Pp 20-22.
- SAS Institute. 1999. SAS/STAT User's Guide (Version 8). *Ed:* SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- 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 GA; D Miralles; R Savin; EM Whitechurch y FG Gonzalez. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. *In:* Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Pp:100-132.
- 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.
- Urricariet S; MM Subillaga y L Couzelo. 2000. Incidencia de pérdida de nitrógeno por volatilización en la producción de maíz bajo siembra directa. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, acta en CD.
- Videla C; C Navarro; N González y D Miñon. 1994. Volatilización de amonio a partir de orina de vacunos aplicada a suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 12: 1-6.
- Watson CJ; H Miller; P Poland; DJ Killpatrick; MDB Allen; MK Garret y CB Christianson. 1994. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-Butyl) thiophosphoric triamide (nBPTP) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. *Soil Biol. Biochen.* 9: 1165-1169.
- Zubillaga MS; MM Zubillaga; S Urricariet 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

		2011/12																															Total	
	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			
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											9,0									4,5	39,2			
Ene									2,8	1,3						4,3				15,0	3,0	22,8	2,0	5,5				15,0	2,5	11,0	85,2			
Feb							16,3						3,0	22,0	11,5	20,0	4,5	4,5						3,0	20,0		11,7	10,5			127,0			
Mar				21,3					12,0	1,0								4,7	38,0					13,5	2,8						93,3			
Abr																																		
May																																		

Fechas de muestreo

Periodo de el cultivo de siembra a cosecha

Tabla 2. Volatilización de N para los cuatro días de medición de todos los tratamientos en V6. Promedio de 3 repeticiones.

Tratamientos	volatilización kgN/ha						% Perdida *	
	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Total		
Testigo	0	0,20	0,25 a	0,10	0,15	0,70	0,00	
Urea	50	0	0,65	0,73 b	0,22	0,66	2,26	4,50
	100	0	1,03	0,45 a	0,17	0,52	2,16	2,16
eNeTotal	50	0	0,55	0,32 a	0,17	0,43	1,48	2,96
	100	0	0,59	0,75 b	0,16	0,65	2,15	2,15
SolMix	50	0	0,51	1,73 c	1,56	1,25	5,05	10,11
	100	0	0,44	1,09 c	1,00	2,78	5,30	5,30
ND	50	0	0,60	0,37 a	0,64	0,96	2,56	5,14
	100	0	1,52	0,64 ab	0,23	0,45	2,83	2,83

50: 50 kgN/ha y 100: 100 kgN/ha. Diferentes letras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ). \* % Perdida = (N Total volatilizado/ N aplicado) \* 100.