

## COMPARACIÓN DE FUENTES NITROGENADAS EN TRIGO Y MAÍZ

Pautasso, Juan M.

AER INTA Diamante. EEA INTA Paraná. Diamante. Argentina. [pautasso.juan@inta.gob.ar](mailto:pautasso.juan@inta.gob.ar)

### RESUMEN

El nitrógeno (N) es el nutriente que más limita la producción de los cultivos en todo el mundo y es también el de mayor consumo, en este contexto mejorar la eficiencia de uso del N (EUN) cobra singular importancia. Un proceso que se verifica al aplicar un fertilizante nitrogenado al cultivo es la pérdida que puede sufrir por volatilización, donde la urea tiene mayor potencialidad de pérdida del N por esta vía que otras fuentes. Estudios realizados en el país informan un rango de pérdidas que van de 1% al 42% del N agregado, sugiriendo una mayor pérdida en el cultivo de maíz frente al cultivo de trigo, porque las condiciones ambientales que favorecen la volatilización son mayores durante la época cálida. El objetivo de este trabajo fue comparar dos fuentes nitrogenadas (CAN y urea) en los rendimientos y la EUN de los cultivos de maíz y trigo. Durante 5 años se llevaron a cabo 11 ensayos de fuentes nitrogenadas en los cultivos de trigo (7 ensayos) y maíz (4 ensayos) logrando cuantificar las diferencias que se pueden obtener en rendimiento y en la EUN cuando estos cultivos son fertilizados con dichas fuentes. Para el cultivo de trigo, si bien en promedio la fuente CAN tuvo valores mayores de rendimiento y EUN que la urea, las mismas no fueron significativas ( $p > 0,05$ ). Para el cultivo de maíz la fuente CAN tuvo un mejor desempeño frente a la urea, tanto en rendimiento como en EUN ( $p < 0,05$ ). Las condiciones potencialmente óptimas que favorecen la volatilización del N del fertilizante que se registran en la primavera podrían explicar los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** Urea, Nitrato de amonio calcáreo, volatilización del nitrógeno.

### INTRODUCCIÓN

Un manejo sostenible de la nutrición de las plantas consiste en realizar, para cada situación específica, un diagnóstico nutricional que permita la aplicación de la fuente correcta de nutrientes a la dosis adecuada, en el momento adecuado y el lugar correcto, requisitos necesarios para un manejo responsable de la nutrición que contribuya de manera sostenible a la productividad de los cultivos y de los sistemas, contemplando el equilibrio entre los aspectos ambientales, económicos y sociales (Bruulsema et al.; 2013).

El nitrógeno (N) es el nutriente que más limita la producción de los cultivos en todo el mundo y es también el de mayor consumo (IFA, 2018). Siendo el gasto de fertilización nitrogenada una proporción importante de los costos directos de los cultivos de maíz y trigo, la eficiencia de uso de este insumo cobra singular importancia.

Al seleccionar la fuente de N es importante conocer los procesos que ocurren una vez aplicados al cultivo, entre ellos se encuentran los diferentes tipos de pérdidas. Una de las vías de pérdida del N es la volatilización de amoníaco, que afecta no sólo la eficiencia de uso del N (EUN) sino también al ambiente (Zubillaga y Zubillaga, 2013).

Echeverría y Sainz Rozas (2015), informan que pérdidas importantes de N por volatilización pueden ocurrir cuando el fertilizante utilizado es urea, donde la primera instancia al ser aplicada al suelo es la hidrólisis regulada por la enzima ureasa. Considerando que la actividad ureásica permite una rápida hidrólisis de la urea, esta etapa no limita el proceso de volatilización si el suelo está en condiciones óptimas de humedad. La incorporación de la urea, ya sea mediante alguna práctica de labranza o por acción del agua de lluvia o riego, reduce el N volatilizado. El nitrato de amonio calcáreo (CAN) es menos susceptible que la urea a las pérdidas por volatilización (Bruulsema et al.; 2013).

Con humedad del suelo no limitante, se determinó que la cantidad de amoníaco volatilizado desde la urea se relacionó linealmente con la temperatura del suelo (Barbieri y col., 2010). Esta afirmación es coincidente con las determinaciones realizadas en cultivos de verano donde en general las pérdidas de N por esta vía son mayores y en algunas ocasiones los rendimientos reflejan las pérdidas; y por otro lado las pérdidas son menores en cultivos de invierno.

Relevante para este estudio, como una característica de la producción agrícola nacional, Argentina realiza los cultivos bajo el sistema de siembra directa en alrededor del 90% de la superficie (Nocelli Pac, 2016), cuando esta tecnología es adecuadamente implementada, se produce una acumulación de rastrojos en superficie que, si bien tiene un efecto favorable en la protección del suelo contra la erosión y mejora la economía del agua (Melchiori; 2011), puede

incidir negativamente en la eficiencia del uso de N (EUN) favoreciendo las pérdidas de N por volatilización de amoníaco (Echeverría y Sainz Rozas; 2015).

Los factores que regulan las pérdidas por volatilización y la complejidad de las interacciones entre los mismos hacen que este proceso sea de difícil predicción y de una elevada variabilidad entre zonas y/o años. Para el cultivo de maíz, en Argentina se han reportado pérdidas de N por volatilización cuando se aplica en superficie urea entre el 3% y el 42% (Echeverría y Sainz Rozas; 2015; Ferraris y col., 2009; Fontanetto y Keller, 2006; Barbieri y col., 2010); en cambio para el cultivo de trigo las pérdidas reportadas son inferiores, entre el 1% y el 7% del N de la urea agregada (Álvares, 2006; Fontanetto y col., 2006).

En línea con los valores de pérdida de N por volatilización se informan mayores diferencias de rendimientos por el uso de distintas fuentes de fertilizantes nitrogenados en el cultivo maíz que en el cultivo de trigo. Zubillaga y Zubillaga (2013) a partir de una revisión de ensayos informan 435 kg más de maíz por hectárea al fertilizar con CAN en vez de urea y para los mismos tratamientos la diferencia fue de sólo 120 kg más de trigo; Melchiori (2011), comunica que en el cultivo de maíz con aplicaciones de N en V6 obtuvo la máxima respuesta con CAN, mientras que con urea, en igual estado del maíz, el rendimiento fue un 21% menos; Fontanetto y col. (2006) estimaron 333 kg por hectárea más de trigo cuando usaron CAN en vez de urea.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar para Entre Ríos las diferencias de rendimiento y EUN en los cultivos de trigo y maíz fertilizados con dos fuentes nitrogenadas (CAN y urea) a partir de una serie de ensayos realizados en diferentes campañas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Cultivo de trigo

En el departamento Diamante, Entre Ríos, se realizaron 7 ensayos de fertilización nitrogenada comparando CAN y urea (en dosis iguales de N agregado) durante cuatro campañas. En todos los casos los suelos fueron Argiudoles vérticos. Los ensayos se ubicaron en lotes comerciales y el diseño fue en BCA con tres repeticiones. Al momento de la siembra se extrajeron muestras de suelos (0-20 cm). La fertilización nitrogenada se realizó al voleo cuando el cultivo estaba en el estado de 2-4 hojas. En todos los casos el cultivo fue fertilizado con fósforo. El N disponible (ND) se calculó como la suma de los kilogramos del N de los nitratos del suelo (0-20 cm) más el N del fertilizante. El tamaño de cada parcela fue de 2 metros ancho por 10 de largo y la cosecha fue manual de 4 líneas del cultivo por 4 metros de largo en la parte central de cada unidad experimental, luego la trilla se realizó con máquina estática. Los rendimientos se corrigieron a 13,5% de humedad. Más datos de los ensayos se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Características ensayos de trigo.

Ensayo	Campaña	Antecesor	Dosis de N agregado (kg ha <sup>-1</sup> )
1	2013	Maíz	0 – 41
2	2013	Soja	0 – 41
3	2015	Soja	0 – 26 – 44 – 94
4	2016	Soja	0 – 19 – 32 – 82
5	2016	Soja	0 – 31 – 53 – 103
6	2017	Soja	0 – 26 – 44 – 94
7	2017	Maíz	0 – 26 – 44 – 94

### Cultivo de maíz

Los cuatro ensayos de fertilización nitrogenada en maíz comparando CAN y urea también estuvieron ubicados en el departamento Diamante, Entre Ríos. Los ensayos se establecieron en lotes comerciales y el diseño fue en BCA con tres repeticiones. El muestreo de suelos, la fertilización nitrogenada y el cálculo del ND fue similar que para el cultivo de trigo. En todos los casos el cultivo fue fertilizado con fósforo. El tamaño de cada parcela fue de 5 surcos ancho por 10 metros de largo y la cosecha fue manual de 2 surcos por 4 metros de largo en la parte central de cada unidad

experimental, luego la trilla se realizó con máquina estática. Los rendimientos se corrigieron a 14,5% de humedad. Más datos de los ensayos se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Características ensayos de maíz.

Ensayo	Campaña	Tipo de suelo	Dosis de N agregado (kg ha <sup>-1</sup> )
1	2015	Argiudol ácuico	0 – 48 – 81 – 111
2	2016	Argiudol ácuico	0 – 31 – 52 – 112
3	2017	Argiudol ácuico	0 – 53 – 77 – 117
4	2017	Argiudol vértico	0 – 42 – 62 – 102

### Respuesta de los cultivos al N agregado y EUN

La respuesta del rendimiento de los cultivos se evaluó a partir de la diferencia de cada tratamiento fertilizado frente al testigo y la EUN fue el cociente entre la respuesta y los kilogramos de N agregados.

### Análisis estadísticos

Para estudiar el efecto en el rendimiento de trigo y maíz y las EUN de las distintas fuentes se realizaron análisis de varianza y de contrastes. El nivel de significancia fue del 5%, utilizando el Test de Tukey para las comparaciones de medias. Se realizó un ANOVA para cada ensayo, donde las fuentes de variación fueron fuente, dosis y bloque. También se hizo un ANOVA para cada cultivo donde las fuentes de variación fueron fuente, dosis y ensayo.

Para el cálculo de los umbrales de N se usó la metodología propuesta por Dyson y Conyers (2013) modificada por Correndo et al. (2017), denominado método del arcoseno-logaritmo (ALCC), que considera variables aleatorias tanto al rendimiento relativo (RR) como al valor del ND. El umbral se calculó para un 95% de RR. El RR se calculó como el cociente porcentual entre el rendimiento del tratamiento sin fertilizar y el rendimiento máximo medio observado. Para establecer si los modelos obtenidos con las dos series de datos (CAN y urea) pueden combinarse y representarse como una sola población o dos poblaciones diferentes, se probaron test de F (Mead et al., 1993).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Trigo

En la Tabla 3 se muestra un resumen de los resultados de suelos, rendimiento y clima de cada ensayo y las comparaciones por fuente. En la Tabla 4 se informa la significancia de los contrastes tomando los ensayos en conjunto y en la Figura 1 los datos promedios de rendimiento de trigo para cada tratamiento.

Hubo respuesta significativa a la fertilización con N pero sin diferencia entre fuentes. En promedio el N agregado fue de 52,6 kg ha<sup>-1</sup> y el rendimiento del trigo fertilizado con CAN, en promedio, superó en 129 kg ha<sup>-1</sup> al fertilizado con urea. Las variables climáticas analizadas no se relacionaron con las diferencias de rendimientos entre fuentes.

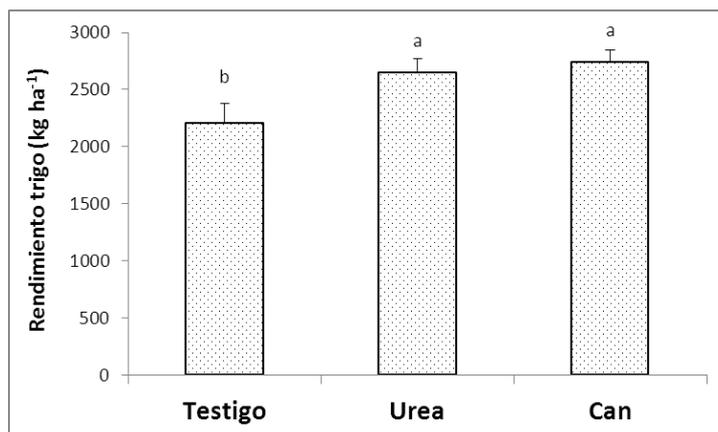
**Tabla 3:** Datos de suelos, clima y rendimiento de los ensayos de trigo.

Ensayo	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )			Lluvia <sup>1</sup>	Temperatura <sup>2</sup>		Nitratos ppm (0-20 cm)	P Bray I			
	Testigo	UREA	CAN		Histórica	Del ensayo					
1	1962	b	2754	a	3324	a	13	12,5	13,4	40,6	6,2
2	2683	a	2411	a	2419	a	8	12,0	13,0	61,1	13,0
3	3056	b	3665	a	3665	a	3	12,0	13,5	42,7	23,8
4	2713	b	3396	a	3207	ab	17	13,4	15,1	66,0	18,8
5	1098	b	1566	a	1795	a	17	13,4	15,1	42,0	14,9
6	2533	a	2543	a	2692	a	7	13,4	15,5	31,0	17,8
7	1416	b	2113	a	2247	a	13	12,0	14,5	39,7	9,8

Letras distintas en el mismo ensayo indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). 1: primera lluvia mayor a 10 mm luego de la fertilización. 2: temperatura media del aire en el mes de la fertilización, Histórica: INTA Paraná 1934-2014.

**Tabla 4:** Efecto de los tratamientos en el rendimiento de trigo. Significancia de cada contraste

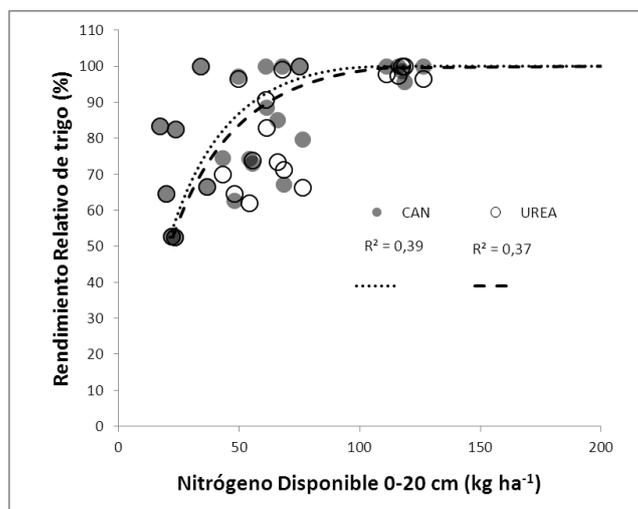
Efecto Fuentes	p-value
CAN Vs Testigo	<0,01
Urea Vs Testigo	<0,01
CAN Vs Urea	0,24



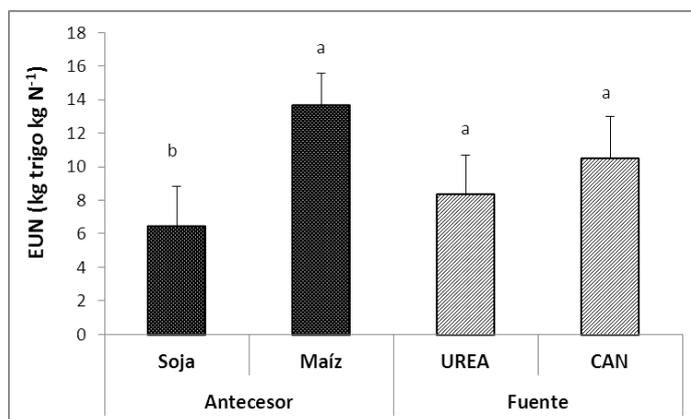
**Figura 1:** Rendimiento de trigo en función de los tratamientos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ )

El umbral calculado de ND (0-20 cm) para ambas fuentes fue similar (Figura 2)  $69 \text{ kg ha}^{-1}$  vs  $78 \text{ kg ha}^{-1}$ , CAN y urea respectivamente ( $p = 0,90$ ). El umbral con todos los datos fue de  $73 \text{ kg ha}^{-1}$  de ND ( $R^2 0,38$ ;  $p < 0,05$ ), valor inferior al recomendado para la zona por Melchiori y Barbagelata (2002) explicado por los menores valores de rendimiento de trigo de estos ensayos. En la Figura 3 se informa la EUN para cada fuente y antecesor, sólo se encontró diferencias significativas para la EUN agregado cuando varió el antecesor. El efecto antecesor puede ser el responsable del bajo ajuste encontrado en los modelos de RR y ND para cada fuente.

En promedio la fuente CAN tuvo 26% más de EUN.



**Figura 2:** Relación entre el rendimiento relativo en grano de trigo y el nitrógeno disponible a la siembra.



**Figura 3:** EUN según antecesor y fuente nitrogenada. Para cada variable letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

## Maíz

En la Tabla 5 se muestra un resumen de los resultados de suelos, rendimiento y del clima de cada ensayo y las comparaciones por fuente. En la Tabla 6 se informa la significancia de los contrastes tomando los ensayos en conjunto y en la Figura 4 los datos promedios de rendimiento de maíz para cada tratamiento.

En el análisis conjunto, donde el N agregado fue de  $74 \text{ kg ha}^{-1}$  en promedio, el rendimiento de maíz fue afectado significativamente por la fuente utilizada (Tabla 6 y Figura 4), logrando los mayores rendimientos con CAN que en promedio superó en  $636 \text{ kg ha}^{-1}$  al fertilizado con urea. Las variables climáticas analizadas no se relacionaron con las diferencias de rendimientos entre fuentes.



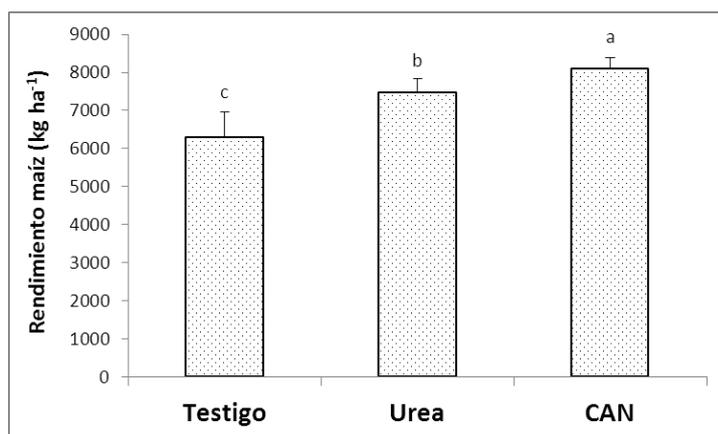
**Tabla 5:** Datos de suelos, clima y rendimiento de los ensayos de maíz.

Ensayo	Testigo	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )		Lluvia <sup>1</sup>	Temperatura <sup>2</sup>		Nitratos ppm (0-20 cm)	P Bray I
		UREA	CAN		Histórica	Del ensayo		
1	3389 c	5409 b	7010 a	16	20,9	21,1	29,2	12,8
2	8547 b	9962 a	10140 a	7	20,9	21,0	31,0	6,8
3	5176 b	5901 ab	6306 a	7	18,2	18,4	37,7	13,8
4	8015 a	8603 a	8963 a	8	18,2	18,4	54,0	21,6

Letras distintas en el mismo ensayo indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). 1: primera lluvia mayor a 10 mm luego de la fertilización. 2: temperatura media del aire en el mes de la fertilización, Histórica: INTA Paraná 1934-2014.

**Tabla 6:** Efecto de los tratamientos en el rendimiento de maíz. Significancia de cada contraste

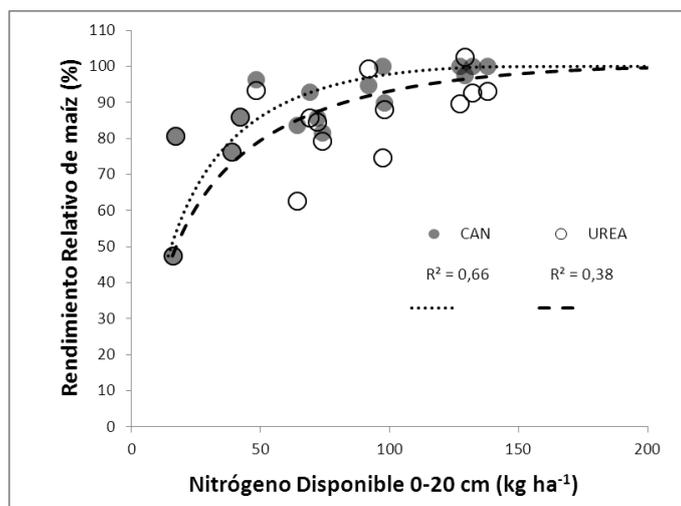
Efecto Fuentes	p-valor
CAN Vs Testigo	<0,01
Urea Vs Testigo	<0,01
CAN Vs Urea	<0,01



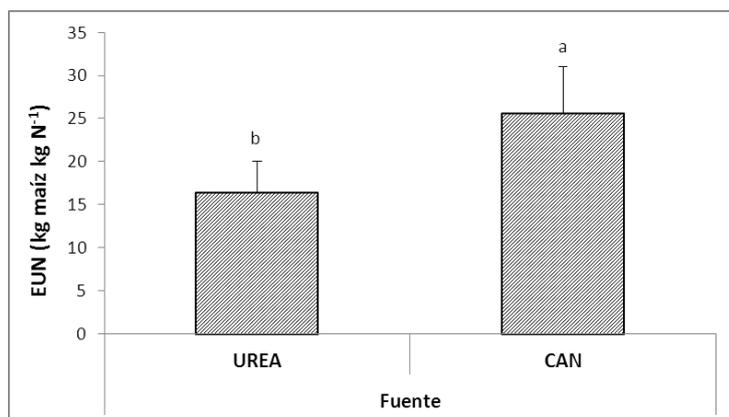
**Figura 4:** Rendimiento de maíz en función de los tratamientos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ )

Si bien los umbrales de ND entre fuentes no fueron diferentes ( $p = 0,47$ ), para CAN el umbral fue de 79 kg ha<sup>-1</sup> vs 114 kg ha<sup>-1</sup> para la urea (Figura 2). El umbral con todos los datos fue de 93 kg ha<sup>-1</sup> de ND ( $R^2 = 0,50$ ;  $p < 0,05$ ), inferior a la recomendación de ND (0-20 cm) en maíz cultivado en Entre Ríos, que es de 129 kg ha<sup>-1</sup> (Melchiori y col., 2010).

En la Figura 3 se informa la EUN, se encontró diferencias significativas para la EUN agregado con la fuente utilizada. En promedio la fuente CAN tuvo 56% más de EUN.



**Figura 5:** Relación entre el rendimiento relativo en grano (RR) y el nitrógeno disponible a la siembra a partir de CAN y urea.



**Figura 6:** EUN según fuente nitrogenada. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).



## CONCLUSIONES

A partir del análisis conjunto de una serie de 11 ensayos de fertilización de fuentes nitrogenadas y en diversas condiciones de cultivo, se logró cuantificar las diferencias que se pueden obtener en rendimiento y en la EUN para trigo y maíz. Las principales conclusiones son:

- Para el cultivo de trigo, si bien en promedio la fuente CAN tuvo valores mayores de rendimiento y EUN que la urea, las mismas no fueron significativas.
- Para el cultivo de maíz la fuente CAN tuvo un mejor desempeño frente a la urea, tanto en rendimiento como en EUN.

Las condiciones potencialmente óptimas que favorecen la volatilización del N del fertilizante que se registran en la primavera podría ser la responsable de los resultados obtenidos.

## AGRADECIMIENTOS

Por su generosa colaboración a los productores Ángel Olivero, Elbio Fischer, Ricardo Farall, Federico Dreiling, Matías Schneider, Luis Schanzenbach; al técnico César Reatto y al Ing. Gerardo Larroca (Yara).

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R., 2006. Balance de nitrógeno en cultivos de trigo. En: Información técnica de trigo campaña 2006. Publicación Miscelánea N° 105. Pp. 23-35. INTA EEA Rafaela.
- Barbieri P; H Echeverría; H. Saíenz Rozas y M. Maringolo. 2010. Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: pérdida por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno. *Ci. Suelo (Argentina)* 28(1): 57-66, 2010.
- Bruulsema, T.; P. Fixen; G. Sulewski. 2013. 4R de la nutrición de las plantas: un manual para mejorar el manejo de la nutrición de las plantas. 1ra edición. Acassuso: International Plant Nutrition Institute, 2013. 140 pg.
- Correndo, A.A., F. Salvagiotti, y F.O. García, y F.H. Gutiérrez-Boem. 2017. A modification of the arcsine-log calibration curve for analyzing soil test value–relative yield relationships. *Crop & Pasture Science* 68 (3): 297-304, doi: 10.1071/CP16444.
- Dyson, C.B., y M.K. Conyers. 2013. Methodology for online biometric analysis of soil test-crop response datasets. *Crop & Pasture Science* 64, 435-441.
- Echeverría, H. y H. Sainz Rozas. 2015. Nitrógeno. Pp. 189-228. En: H. Echeverría y F. García (eds.). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- IFA, 2018. [https://www.fertilizer.org/En/Statistics/PIT\\_Excel\\_Files.aspx](https://www.fertilizer.org/En/Statistics/PIT_Excel_Files.aspx). Fecha de consulta: marzo 2018.
- Ferraris G. N., L. A. Couretot y Mirta Toribio. 2009. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. *Informaciones Agronómicas* N° 43. Pp. 19-22.
- Fontanetto H. y O. Keller. 2006. Manejo de la fertilización en Maíz. Experiencias en la Región Pampeana Argentina. En: *Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2006*. Publicación Miscelánea N° 106. pp 85-113 INTA EEA Rafaela.
- Mead, R., R.N. Curnow, y A.M. Hasted. 1993. *Statistical methods in agriculture and experimental biology*. Chapman and Hall, London, 415p.
- Melchiori, R. y Barbagelata, P. 2002. Recomendación de Fertilización Nitrogenada en Trigo. Actualización Técnica en Trigo. INTA EEA Paraná. Serie de Extensión N° 22. 33-38p
- Melchiori R., P. Barbagelata y O. Caviglia. 2010. Recomendación de Fertilización Nitrogenada en Maíz. En: [http://anterior.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/maiz/nitrogeno/metodoNitroMaiz.htm](http://anterior.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/nitrogeno/metodoNitroMaiz.htm) Fecha de consulta: marzo 2018.
- Nocceli Pac, S. 2016. Estimación de superficie en siembra directa. Campaña 2014-2015. <https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2016/10/Estimaci%C3%B3n-de-superficien-en-SD-1.pdf>. Fecha de consulta: marzo 2018.
- Zubillaga, M. M. y M. S. Zubillaga. 2013. Capítulo 4: Estrategias de aplicación del nitrógeno en agroecosistemas pampeanos. En *Fertilización de cultivos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana*. Ed. R. Álvarez, P. Prystupa, M. Rodríguez y C. Álvarez. Ed. FA-UBA. 652 páginas. ISBN 978-987-27793-7-5.