

## ACUMULACIÓN DE NITRÓGENO EN TRIGO: EFECTO DE FUENTE

Presentado en el XXIV Congreso Argentino de Ciencias del Suelo – Bahía Blanca – Mayo 2014

Diovisalvi, N.V.<sup>1\*</sup>; Reussi Calvo, N.I.<sup>1</sup>; Berardo, A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FERTILAB

\* Autor de contacto: [ndiovisalvi@laboratoriofertilab.com.ar](mailto:ndiovisalvi@laboratoriofertilab.com.ar); Moreno 4524, 7600-Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina; 54-223-5290609.

### RESUMEN

El nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia limita la producción de trigo. Las mejores prácticas de manejo contemplan el empleo de la fuente correcta es pos de maximizar la eficiencia de uso del fertilizante (EUNf) y, por ende, el rendimiento de los cultivos. El objetivo fue evaluar la acumulación de N en planta, el rendimiento y la EUNf para distintas fuentes nitrogenadas. Se evaluaron tres dosis de N (0, 50, 100 kg N ha<sup>-1</sup>) y dos fuentes (Urea y Nitrato de Amonio, NA). Se determinó el contenido de materia seca (MS) en un nudo (Z31), anthesis (Z65) y madurez fisiológica (Z92). Se determinaron incrementos en la acumulación de materia seca (MS) y rendimiento por efecto de la dosis de N, siendo la respuesta promedio de 1439 y 2596 (Z31), 2284 y 4436 (Z65), 3032 y 5554 (Z92); y de 1003 y 1857 kg ha<sup>-1</sup> para 50 y 100 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. No se observaron diferencias significativas en la acumulación de N por efecto de fuente. No obstante, el NA presentó mayor recuperación de N en Z31 (48 y 62 % para UREA y NA, respectivamente). El rendimiento y la EUNf no fueron afectados por la fuente de N, siendo el valor medio de 4550 y 4773 kg ha<sup>-1</sup> y de 18 y 21 % para Urea y NA, respectivamente. Esto plantea la necesidad de evaluar la utilidad del NA en aplicaciones fraccionadas y/o tardías, las cuales requieren inmediata disponibilidad de N particularmente en zonas más seca.

**PALABRAS CLAVE:** eficiencia de uso; nutrición; trigo.

### INTRODUCCIÓN

En el sudeste bonaerense (SEB), el nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia limita la producción de los cultivos, debido al alto requerimiento de los mismos (Echeverría & Sainz Rozas, 2005). En trigo, la deficiencia de N produce una reducción en el índice de área foliar, y como consecuencia una disminución de la radiación interceptada, afectando el principal componente del rendimiento que es el número de grano por unidad de superficie. Además, reduce la eficiencia de conversión de radicación interceptada en materia seca (MS) alterando el posterior llenado de granos (Abbate *et al.*, 1994). Por lo tanto, varios trabajos han determinado respuesta en rendimiento por el agregado de N (Barbieri *et al.*, 2012, Reussi Calvo *et al.*, 2013) particularmente bajo siembra directa (SD) (Falotico *et al.*, 1999).

Las mejores prácticas de manejo (MPM) involucran la aplicación de la dosis correcta de nutrientes, aplicada con la fuente correcta, en la forma y momento correctos (Brulsema *et al.*, 2008). La eficiencia de uso del N del fertilizante (EUNf) depende del momento y método de aplicación, y de la fuente empleada. En la actualidad, es válido mencionar que la industria de los fertilizantes dispone de una amplia gama de productos nitrogenados (Melgar & Camozzi, 2002). No obstante, cuando el N es incorporado, todos los fertilizantes nitrogenados presentan similares EUNf (García & Berardo, 2005). Las aplicaciones superficiales de urea o fertilizantes que la contengan pueden reducir significativamente la EUNf debido a pérdidas por volatilización

de amoníaco, siendo estas mayores bajo SD respecto a labranza convencional (Zubillaga *et al.*, 2002). No obstante, en el SEB y para los cultivos de invierno, las pérdidas por volatilización se ven limitadas por las bajas temperaturas, y por lo tanto, las mismas en general no superaron el 10 % del N aplicado (García *et al.*, 1999). Para la zona norte, Fontanetto *et al.* (2001) determinaron pérdidas de 5-7 % para aplicaciones de urea superficial en el mes de junio. No obstante, existen en el mercado fertilizantes nitrogenados que contienen el N bajo la forma de nitrato y de amonio (ej. nitrato de amonio calcáreo), los cuales en aplicaciones superficiales bajo SD podrían mejorar la EUNf respecto a la urea. García *et al.* (1998) determinaron EUNf de 18; 15,7; 14,8 y 6,8 kg grano kg N aplicado<sup>-1</sup> con Nitrato de Amonio (NA), Urea, UAN chorreado y UAN pulverizado, respectivamente. Sin embargo, no hay registros de trabajos que evalúen la acumulación de N en planta por efecto de distintas fuentes nitrogenadas en el SEB.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la acumulación de N en planta, la respuesta en rendimiento y la EUNf para NA respecto a Urea en el cultivo de trigo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un ensayo a campo en el SEB bajo SD y con cultivo antecesor soja (año 2011). El suelo del sitio experimental fue un Argiudol típico. El diseño fue en bloques completos aleatorizados con un arreglo factorial de los tratamientos 3\*2, y con tres repeticiones. Se evaluaron tres dosis de N (0, 50, 100 kg N ha<sup>-1</sup>) y dos fuentes nitrogenadas (Urea y Nitrato de Amonio, NA). Además, se incorporo una dosis de 150 kg N ha<sup>-1</sup> bajo la forma de Urea, con el objetivo de generar una condición de mayor disponibilidad de N. El fertilizante nitrogenado se aplicó al voleo en el estadio de dos macollos del trigo (Z22 según la escala de Zadocks *et al.*, 1974). Para que el fósforo (P) y el azufre (S) no sean limitantes se aplicó a la siembra 25 y 20 kg ha<sup>-1</sup> de P y S, respectivamente.

A la siembra del cultivo se realizaron muestreos de suelo en superficie (0-20 cm) para determinar el contenido de materia orgánica (MO) (Walkley & Black, 1934), fósforo (P) (Bray- Kurtz 1, 1945), pH (Método pH 1:2,5 Suelo: Agua) y nitrógeno anaeróbico (Nan) (Echeverría *et al.*, 2000), y en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm) para N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Francis & Malone, 1975). El valor de pH y P Bray en suelo fue de 5,6 y 12,5 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. El contenido de MO fue de 5,5 %, mientras que la concentración de Nan (0-20 cm) y la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0-60 cm) fueron de 50 mg kg<sup>-1</sup> y 44 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Por lo tanto, el suelo posee muy bajo potencial de mineralización y disponibilidad de N inicial.

Además, en los estadios de un nudo (Z31), anthesis (Z65) y madurez fisiológica (Z92) se realizaron muestreos de planta para determinar MS y la concentración de N. Se determinó la eficiencia de recuperación de N del fertilizante (ERNf) y la EUNf (Fageria & Baligar, 2005). La acumulación de N en planta se obtuvo como el producto de la concentración de N por la MS acumulada. Además, se calculó el índice de nutrición nitrogenada (INN) mediante el cociente entre la concentración real de N y la concentración crítica, para un determinado valor de biomasa aérea (Gastal & Lemaire, 2002).

A la cosecha se evaluó el rendimiento y se expresó al 14 % de humedad. Además, se determinó el peso de 1000 granos y por último, se obtuvo la concentración de N total en grano y planta mediante el método de Kjeldahl.

Se realizó el análisis estadístico utilizando el programa Statical Analysis System (SAS Institute, 1988). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleó el Test de la diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de probabilidad de 0,05 (SAS Institute, 1996).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Acumulación de materia seca y de nitrógeno en planta

Las precipitaciones durante el ciclo del trigo (491mm) superaron a la mediana histórica (1970-2008) de 450mm, lo cual indicaría que la disponibilidad hídrica durante la estación de crecimiento fue adecuada para satisfacer las necesidades del cultivo (aproximadamente 380-400mm).

No se observó interacción entre dosis de N y fuentes sobre la acumulación de MS por el cultivo. Además, no se detectaron diferencias en la acumulación de MS por el empleo de diferentes fuentes nitrogenadas (Tabla 1). Para el NA la acumulación de MS fue en promedio de 4003, 10231 y 15471 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que para Urea fue de 3814, 10362 y 15538 kg ha<sup>-1</sup> para el estadio de un nudo, floración y madurez fisiológica, respectivamente. Por otra parte, el aumento en la dosis de N incrementó la acumulación MS (Figura 1a y Tabla 1), lo cual evidencia una fuerte deficiencia de N producida por la baja disponibilidad inicial de N del suelo y el bajo contenido de N.

Tabla 1. Acumulación de materia seca (MS), concentración de nitrógeno en planta (N) y eficiencia de recuperación de nitrógeno del fertilizante (ERNf) para los diferentes tratamientos de fertilización y momentos de muestreo.

| Tratamiento              |         | Momento del ciclo del cultivo |       |                           |       |                           |       |
|--------------------------|---------|-------------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|
|                          |         | Un nudo                       |       | Floración                 |       | Madurez Fisiológica       |       |
|                          |         | MS (kg ha <sup>-1</sup> )     | N (%) | MS (kg ha <sup>-1</sup> ) | N (%) | MS (kg ha <sup>-1</sup> ) | N (%) |
| Testigo                  |         | 1891                          | 1.35  | 6936                      | 0.81  | 11212                     | 0.66  |
| 50 N-Urea                |         | 3212                          | 1.37  | 9282                      | 0.83  | 14564                     | 0.59  |
| 50 N-NA                  |         | 3449                          | 1.58  | 9160                      | 0.88  | 13923                     | 0.64  |
| 100 N-Urea               |         | 4417                          | 1.92  | 11442                     | 0.90  | 16513                     | 0.65  |
| 100 N-NA                 |         | 4558                          | 2.00  | 11301                     | 0.91  | 17019                     | 0.64  |
| Promedio                 | Testigo | 1891c                         | 1.35c | 6936c                     | 0.81  | 11212c                    | 0.66  |
|                          | 50N     | 3330b                         | 1.48b | 9221b                     | 0.85  | 14244b                    | 0.62  |
|                          | 100N    | 4487a                         | 1.96a | 11372a                    | 0.90  | 16766 a                   | 0.64  |
| Promedio                 | Urea    | 3814                          | 1.65  | 10362                     | 0.86  | 15538                     | 0.62  |
|                          | NA      | 4003                          | 1.79  | 10231                     | 0.89  | 15471                     | 0.64  |
| <b>Fuentes</b>           |         | ns                            | ns    | ns                        | ns    | ns                        | ns    |
| <b>Dosis de N</b>        |         | *                             | *     | *                         | ns    | *                         | ns    |
| <b>Fuente*Dosis de N</b> |         | ns                            | ns    | ns                        | ns    | ns                        | ns    |

\*= diferencia mínima significativa al 5 % de probabilidad; ns = no significativo. Valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente según el test de la mínima diferencia significativa (LSD) al 5 % de probabilidad.

La concentración de N en planta fue similar entre fuentes, mientras que el efecto de la dosis fue variable según el momento del muestreo (Tabla 1). Para el estadio de un nudo, la concentración de N aumentó significativamente frente al incremento en la dosis de N (Tabla 1). En los tratamientos con 100 kg N ha<sup>-1</sup>, dicha concentración se ubicó por encima de la curva crítica de dilución de N sugerida por Ziadi *et al.* (2010). Estos resultados indicarían que, solamente en los tratamientos con 100 kg N ha<sup>-1</sup>, la disponibilidad de N no limitó el crecimiento en los estadios iniciales del cultivo. No obstante, para el momento de anthesis la concentración de N en planta se ubicó, en todos los tratamientos, por debajo de la curva crítica de dilución de N. En línea con lo mencionado, el INN fue en promedio de 0.63, 0.77, 0.81, 0.93 y 0.93 para el tratamiento

testigo, 50N-Urea, 50N-NA, 100N-Urea y 100N-NA, respectivamente. Esto sugiere que la disponibilidad de N pudo haber limitado el rendimiento del trigo, aún con las dosis más altas de N empleadas.

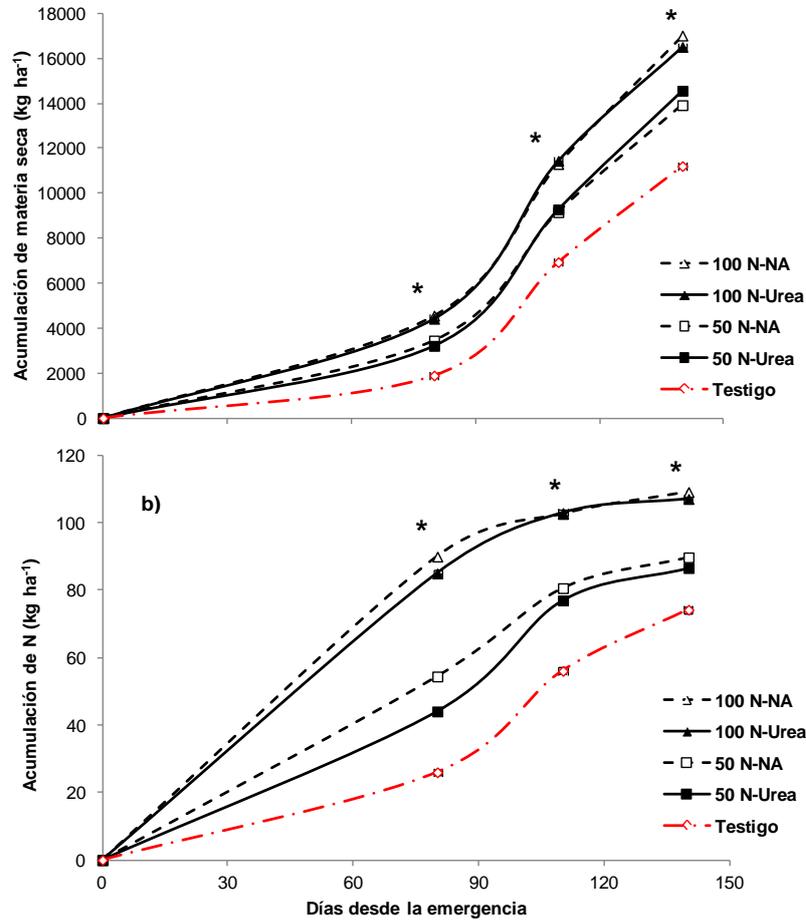


Figura 1. Acumulación de materia seca (a) y de nitrógeno en planta (b) para diferentes tratamientos de fertilización. El asterisco (\*) indica diferencias significativas entre dosis de fertilizante para cada momento de muestreo.

La acumulación de N en planta aumentó frente al incremento en la dosis de N, lo cual se explicaría principalmente por el efecto de la mayor disponibilidad de N sobre la acumulación de MS (Tabla 1 y Figura 1). Otros autores reportaron, para la misma zona, una mayor acumulación de MS y de N por el agregado de N (Falotico *et al.*, 1999; Melaj *et al.*, 2003). Por otra parte, no se detectaron diferencias significativas en la acumulación de N entre fuentes (Figura 1). Si bien la concentración y acumulación de N no fueron afectadas por el tipo de fertilizante, para el estadio de un nudo, se observó como tendencia una mayor concentración y acumulación de N del tratamiento con NA respecto a la Urea (Tabla 1 y Figura 1b). Lo mencionado, se vio reflejado en la ERNf siendo en promedio de 48 y 62 % para Urea y NA, respectivamente. Estas diferencias pueden ser explicadas por la mayor movilidad de la fracción de  $N-NO_3^-$  del NA en suelo y la inmediata disponibilidad del N, lo cual permitiría una más rápida recuperación de N del fertilizante y una menor inmovilización por los residuos (Melgar *et al.*, 2012). No obstante, a medida que avanza el ciclo del cultivo las diferencias en ERNf disminuyen debido a las transformaciones y el incremento en la disponibilidad del N de la Urea (siendo en floración de 44 y 48 % para Urea y NA, respectivamente).

## Rendimiento, componentes y concentración de N en grano

El rendimiento del cultivo de trigo no fue afectado por la fuente de N utilizada (Tabla 2), no obstante, el mismo fue en promedio levemente superior con NA respecto a Urea (4773 y 4550 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Además, se determinó un aumento significativo en rendimiento frente al incremento en la dosis de N, siendo la magnitud de la respuesta (promedio de fuentes) de 1003 y 1857 kg ha<sup>-1</sup> para la dosis de 50 y 100 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 2). La elevada respuesta al agregado de N es atribuible a la baja disponibilidad inicial de N y el bajo contenido de Nan. Por otra parte, el número de granos m<sup>-2</sup> aumento frente al agregado de N, mientras que el peso de los mil granos no fue afectado (Tabla 2). Según Abbate *et al.* (1994), el número de grano es el principal componente del rendimiento afectado en situaciones de baja disponibilidad de N, debido a la reducción del índice de área foliar y de la eficiencia de conversión de la radiación interceptada en MS. Es válido mencionar que la deficiencia de N, aún en el tratamiento con 150 kg N ha<sup>-1</sup> bajo la forma de Urea, se vio reflejada en la baja concentración de N en grano (Tabla 2), la cual se ubico por debajo del umbral crítico de 2 % de N sugerido por Goss *et al.* (1982).

Tabla 2. Rendimiento, número de granos (NG), peso de mil (PM), concentración de nitrógeno en grano (N) y eficiencia de uso del nitrógeno del fertilizante (EUNf).

| Tratamiento              |         | Rendimiento<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | NG<br>(m <sup>-2</sup> ) | PM<br>(g) | N<br>(%) | EUNf<br>(kg Gr kg N <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------|---------|---------------------------------------|--------------------------|-----------|----------|-------------------------------------|
| Testigo                  |         | 3232                                  | 6322                     | 43        | 1.49     |                                     |
| 50 N-Urea                |         | 4132                                  | 8184                     | 42        | 1.40     | 18                                  |
| 50 N-NA                  |         | 4338                                  | 8238                     | 44        | 1.42     | 22                                  |
| 100 N-Urea               |         | 4968                                  | 9702                     | 43        | 1.43     | 17                                  |
| 100 N-NA                 |         | 5209                                  | 10067                    | 44        | 1.47     | 20                                  |
| 150 N-Urea               |         | 5710                                  | 11412                    | 42        | 1.51     | 17                                  |
| Promedio                 | Testigo | 3232c                                 | 6322c                    | 43        | 1.49a    |                                     |
|                          | 50N     | 4235b                                 | 8211b                    | 43        | 1.41b    | 20                                  |
|                          | 100N    | 5089a                                 | 9884a                    | 43        | 1.45ab   | 19                                  |
| Promedio                 | Urea    | 4550                                  | 8943                     | 43        | 1.42     | 18                                  |
|                          | NA      | 4773                                  | 9153                     | 44        | 1.45     | 21                                  |
| <b>Fuentes</b>           |         | ns                                    | ns                       | ns        | ns       | ns                                  |
| <b>Dosis de N</b>        |         | *                                     | *                        | ns        | *        | ns                                  |
| <b>Fuente*Dosis de N</b> |         | ns                                    | ns                       | ns        | ns       | ns                                  |

\*= diferencia mínima significativa al 5 % de probabilidad; ns = no significativo. Valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente según el test de la mínima diferencia significativa (LSD) al 5 % de probabilidad. **El tratamiento con 150 N-Urea no se considero en el análisis estadístico.**

Respecto a la EUNf, no se observaron cambios significativos por efecto de la dosis o la fuente de N (Tabla 2). Sin embargo, la misma fue levemente superior para NA respecto a Urea (21 y 18 kg grano kg N<sup>-1</sup>, respectivamente). Similares resultados fueron obtenidos por García *et al.* (1998), quienes determinaron ligeras mejoras en la EUNf del NA respecto a la Urea bajo SD.

## CONCLUSIÓN

No se observaron diferencias significativas entre fuentes de N para trigo. No obstante, el NA mostro como tendencia una mayor recuperación inicial de N por el cultivo. Esto plantea la necesidad de evaluar la utilidad del mismo en aplicaciones fraccionadas y/o tardías de N, las cuales requieren de una inmediata disponibilidad de dicho nutriente, particularmente, en zonas con baja probabilidad de precipitaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, P. E.; F. Andrade & J. P. Culot. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín Técnico N° 133. EEA INTA Balcarce, pp 17.
- Barbieri, P.A.; H.E. Echeverría & H.R. Sainz Rozas. 2012. Alternatives for Nitrogen Diagnosis for Wheat with Different Yield Potentials in the Humid Pampas of Argentina. Commun. Soil Sci. Plan. 43, 1512-1522.
- Bray, R. H. & L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59, 39-45.
- Bruulsema T. C. Witt, F. Garcia, S. Li, T. N. Rao, F. Chen & S. Ivanova. 2008. A global framework for fertilizer BMPs. Better Crops 92(2):13-15.
- Echeverría, HE; N. San Martín & R. Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. Ciencia del Suelo. 18, 9-16.
- Echeverría, H.E. & H. Sainz Rozas. 2005. Nitrógeno. En: HE. Echeverría & FO. García (eds). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina, pp. 69-95.
- Falotico, J.L.; G.A. Studdert & H.E. Echeverría. 1999. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional en condiciones de agricultura continúa. Ciencia del Suelo 17, 15-27.
- Fontanetto, H.; H. Vivas; O. Keller & F. Llambías. 2001. Volatilización de amoníaco desde diferentes fuentes nitrogenadas aplicadas en trigo con siembra directa. Actas V Congreso Nacional de Trigo, III Simposio Nacional de Cereales de siembra otoño invernal.
- Francis, C. W. & C.D. MALONE. 1975. Nitrate measurements using a specific ion electrode in presence of nitrite. En: Soil Science Society of America Proceedings. Vol. 39, pp 150-151.
- Fageria N.K. & V.C. Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Advances in Agronomy, Vol 88: 89.
- García, F.; K. Fabrizi; A. Berardo & F. Justel. 1998. Fertilización de trigo en el Sudeste Bonaerense: respuesta, fuentes y momentos de aplicación. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: 109-110.
- García, F.O.; K.P. Fabrizzi; L. Picone & F. Justel. 1999. Volatilización de amoníaco a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente bajo siembra directa y labranza convencional en Argentina. Actas 14º. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile.
- García, F.O. & A. Berardo. 2005. Trigo. En: Echeverría H.E. y F.O. Garcia (eds). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina pp 233-253.
- Gastal, F. & G. Lemaire. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. J. Exp. Bot. 53, 789-799.
- Goos, R.J., D.G. Westfall; A.E. Ludwick & J.E. Goris. 1982. Grain protein content as an indicator of N sufficiency for winter wheat. Agron. J. 74, 130-133.
- Melaj, M.A.; H.E. Echeverría; S.C. López; G. Studdert; F. Andrade & N.O. Bárbaro. 2003. Timing of nitrogen fertilization in wheat under conventional and no-tillage system. Agron. J. 95, 1525-1531.
- Melgar, R. & M. Camozzi. 2002. Guía de fertilizantes enmiendas y productos nutricionales. 2º Edición INTA-Fertilizar. EEA INTA Pergamino.
- Melgar, R.; M. Torres Dugan & M.E. Camozzi. 2012. Guía de fertilizantes enmiendas y productos nutricionales. Fertilizar Asociación Civil, pp 17.
- Reussi Calvo, N.I.; H. Sainz Rozas; H.E. Echeverría & A. Berardo. 2013. Contribution of anaerobiosis incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. Agron. J. 105, 321-328.
- SAS INSTITUTE INC. 1988. SAS/STAT Users Guide. Version 6.03 Edition. Cary, NC.
- Walkley, A. & I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37, 29-38.
- Zadoks, J.C.; T.T. Chang & C.F. Zonzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res. 14, 415-421.
- Ziadi, N.; G. Bélanger; A. Claessens; L. Lefebvre; A. N. Cambouris; N. Tremblay; M.C. Nolin, & L.E. Parent. 2010. Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Spring Wheat. Agron. J. 102, 241-250.
- Zubillaga MS, Zubillaga MM, Urricariet S and Lavado RS. 2002. Effect of nitrogen sources on ammonia volatilization, grain yield and soil nitrogen losses in no-till wheat in an Argentine soil. Agrochimica 46: 100-107.