

EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN DE NITRÓGENO POR LOS MÉTODOS DE LA DIFERENCIA Y DE LA DILUCIÓN ISOTÓPICA

MARÍA ROSA LANDRISCIINI^{1-3*}; JUAN ALBERTO GALANTINI¹⁻² & JUAN MANUEL MARTÍNEZ¹⁻³

Recibido: 17-07-15

Recibido con revisiones: 06-10-15

Aceptado: 15-10-15

RESUMEN

La eficiencia de utilización del nitrógeno (N) puede determinarse por el método de la dilución isotópica, o por el de la diferencia. Los objetivos del trabajo fueron, medir el destino del fertilizante foliar y comparar la eficiencia de recuperación del nitrógeno (ERN) por el método isotópico y el de la diferencia. Se realizó un experimento en el Sud Oeste Bonaerense con dos dosis de fertilización inicial (0 y 50 kg N ha⁻¹) y dos dosis de fertilización foliar (0 y 25 kg N ha⁻¹). La aplicación foliar con urea enriquecida, se realizó en antesis y post antesis, en microparcelas. Los rendimientos fueron bajos sin respuesta a la fertilización inicial ni a la foliar: 2100 y 2154 kg ha⁻¹ para 0 y 50N sin N foliar y 2160 y 2303 kg ha⁻¹ con N foliar. En la parcela isotópica, enriquecida con ¹⁵N, el trigo acumuló 83 kg N ha⁻¹ en la biomasa aérea y 52 kg N ha⁻¹ en el grano sin efecto significativo con la fertilización inicial. El N proveniente del fertilizante foliar marcado se acumuló: 20% en la materia seca aérea (MSA) y 12% en el grano, con una recuperación de 6 kg N por kg de grano ha⁻¹. El N acumulado en la paja rondó los 10 kg N ha⁻¹ y el no recuperado por ningún componente del trigo, varió entre 7,2 y 8,3 kg N ha⁻¹, rondando el 30%. Con el método de la diferencia, la MSA obtuvo una ERN entre 30 a 54% para los tratamientos 0N y 50N iniciales, respectivamente. El grano fue menos eficiente (30 a 34% de recuperación) y acumuló 2,4 a 6 kg N por kg grano ha⁻¹. El isotópico detectó una ERN de 70% en MSA y 25% en el grano. El grano acumuló nuevamente 6 kg N ha⁻¹. Las diferencias entre los métodos, sugieren identificar exhaustivamente los factores que influyen en estas estimaciones.

Palabras clave. Trigo, ¹⁵N, recuperación de N, urea foliar.

NITROGEN RECOVERY EFFICIENCY BY THE DIFFERENCE AND ISOTOPIC DILUTION METHODS

ABSTRACT

The nitrogen (N) use efficiency can be determined by the isotopic dilution or by the difference method. The objectives were to measure the destination of foliar fertilizer and to compare the Nitrogen Recovery Efficiencies (NRE) between the mentioned methods. A field experiment was conducted in the southwest of the Buenos Aires Province (Las Oscuras). Nitrogen rates of 0, and 50 kg N ha⁻¹ were applied at sowing and 0 and 25 kg N ha⁻¹ at anthesis. The enriched urea was applied in anthesis and post-anthesis in the microplots. Yields were low with no response to the initial or foliar fertilization: 2100 and 2154 kg ha⁻¹ for 0 and 50N without foliar N and 2160 and 2303 kg ha⁻¹ with foliar N application. In the isotopic plots, wheat accumulated 83 kg in aboveground biomass and 52 kg N ha⁻¹ in grain without a significant impact of initial or foliar fertilization. Nitrogen from the foliar fertilizer was accumulated 20% in aerial dry matter (ADM) and 12% in the grain, with a recovery of 6 kg N ha⁻¹. Accumulated N in straw ranged 10 kg N ha⁻¹ and unrecovered N varied from 7,2 to 8,3 kg N ha⁻¹ (30%). The NRE varied from 30% to 54 according to the difference method for the initial 0 and 50N treatments in ADM and grain, with an accumulation of 2,4 to 6 kg N ha⁻¹. Isotopic determined NRE was of 70% in ADM and 25 % in grain. Again, grain accumulation was of 6 kg N ha⁻¹. The differences between the methods suggested the need to identify the factors that influence these estimates.

Key words. Wheat, ¹⁵N, Nitrogen recovery, Foliar urea.

1 CERZOS-CONICET

2 CERZOS-CIC

3Dpto. Agronomía, Universidad Nacional del Sur

*Autor de contacto: mlandris@criba.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La eficiencia de utilización del nitrógeno (N) aplicado, representa la fracción de N que es absorbido por la planta (Echeverría & Videla, 1998). Puede determinarse en forma directa, por el método de la dilución isotópica, o indirecta, por el método de la diferencia (Harmsen, 2003). Ambos se basan en la absorción del nutriente: el de la diferencia, requiere un tratamiento control o dosis cero mientras que el isotópico no lo requiere.

El método de la dilución isotópica, es el único método directo para medir la absorción del nutriente del fertilizante aplicado y puede ser afectado por la sustitución de ^{15}N por ^{14}N en alguna/s fracción/es del suelo, pudiendo conducir a que menos ^{15}N esté disponible para las plantas, provocando una subestimación del N absorbido (Jenkinson *et al.*, 1985).

El destino del fertilizante tiene alta dependencia con las precipitaciones del ciclo del cultivo y el Sud Oeste Bonaerense (SOB) presenta prolongados períodos de déficit hídrico en la etapa de llenado del grano. En la región semiárida de Buenos Aires, Martínez *et al.* (2015a) encontraron en trigo, alta correlación entre la eficiencia de uso del N del fertilizante y las lluvias de septiembre y octubre.

La aplicación foliar de N puede ser beneficiosa como alternativa para trigo en zonas de secano que se caracterizan por las lluvias poco frecuentes y limitadas desde espigazón hasta el final de llenado de grano. En estas condiciones las aplicaciones al suelo pueden ser menos eficaces por la falta de humedad adecuada para la disolución del fertilizante y la posterior absorción por las raíces (Blandino *et al.*, 2015).

Experimentos con ^{15}N aplicado en o después de la emergencia de la espiga mostraron un 70% de recuperación de N en el cultivo cuando se aplicó el N como urea foliar y un 90% de este N se concentró en el grano en la cosecha (Powlson *et al.*, 1986). Readman *et al.* (2002) no encontraron diferencias entre la recuperación directa y aparente (o sea la obtenida por el método de la diferencia) utilizando urea foliar, sin embargo Gooding *et al.* (2007) en experimentos con ^{15}N en trigo (*Triticum aestivum* L.), observaron que en antesis y post antesis, la recuperación aparente o indirecta fue menor que la recuperación actual o directa y disminuyó en el llenado del grano.

En nuestro país no existen muchos antecedentes de la utilización de la técnica isotópica para el estudio de los efectos de la fertilización nitrogenada sobre la absorción y removilización de N durante la estación de crecimiento

(Laurent & Lázari, 1991; Bárbaro *et al.*, 1998; Lázari *et al.*, 2001). En un estudio comparando ambos métodos, Echeverría & Videla (1998) observaron en trigo, que la EUN obtenida por el método de la diferencia presentó mayores valores que los obtenidos por el método isotópico.

A partir del conocimiento de que no hay un sola forma para medir la recuperación y el destino del fertilizante y que las diferencias encontradas entre el método isotópico, basado en mediciones directas, y las estimaciones obtenidas por el método de la diferencia, serían responsables de los resultados obtenidos, se planteó la siguiente hipótesis.

La aplicación de nitrógeno foliar en antesis que permitiría hacer un mejor uso de este nutriente, mejorando la eficiencia, tanto en la producción como en la proteína del grano, debería considerar los aspectos metodológicos derivados de la determinación de la recuperación de N.

Esta investigación, realizada en un ambiente con características edafoclimáticas representativas SOB, planteó los siguientes objetivos: a) medir el destino del N del fertilizante foliar complementario y b) comparar la ERN por el método isotópico y por el método de la diferencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estableció un ensayo de fertilización nitrogenada en el establecimiento Cumelén ($38^{\circ}47'52,7''\text{S}$, $61^{\circ}38'45,2''\text{O}$), ubicado en Las Oscuras (Cnel. Dorrego, Pcia. de Bs. As. (Landriscini *et al.*, 2014). Este experimento formó parte de una serie de ensayos de fertilización foliar realizados en el SOB desde el año 2004 al 2012 (Landriscini *et al.*, 2015).

El establecimiento está ubicado en la región semiárida y en el año 2012 la precipitación anual fue de 624 mm, con 252 mm durante el ciclo del trigo (Junio-Diciembre). En la Figura 1 se graficaron las precipitaciones mensuales históricas del sitio desde el año 1970 a 2011 y el año de estudio 2012.

A la siembra del trigo se muestreó de suelo para caracterizar el sitio, y se determinó el contenido de materia orgánica (MO), estimada por el método de combustión seca (1500°C , con analizador automático LECO C Analyser), fósforo extraíble (Pe) (Bray & Kurtz, 1945), pH (relación suelo: agua de 1:2,5); N disponible en forma de nitratos (N-NO_3^-) (Mulaney, 1996) y humedad gravimétrica en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm). Para el cálculo del N-NO_3^- en kg ha^{-1} se utilizó un valor de densidad aparente del lote de $1,31 \text{ Mg m}^{-3}$ medida con cilindros de volumen conocido (5 cm de alto por 4,8 cm de diámetro) (Blake & Hartge, 1986). El suelo se clasificó taxonómicamente como Argiustol Típico con una profundidad efectiva de 50-60 cm, debida a un manto de tosca que representa una restricción al movimiento de agua. Las características edáficas del sitio (0-20 cm) se observan en la Tabla 1.

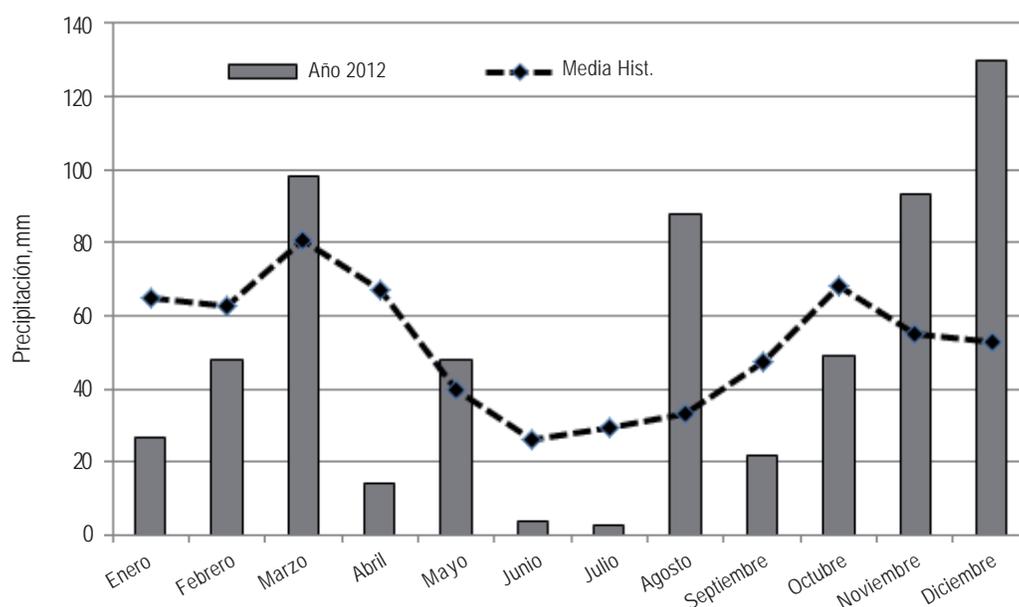


Figura 1. Distribución mensual histórica (años 1970-2011) y de 2012, de las precipitaciones en Cumelén (Las Oscuras).
Figure 1. Historical (1970-2011 years) and 2012 monthly distribution of rainfall at Cumelén (Las Oscuras).

Tabla 1. Algunas propiedades edáficas (0-20 cm) del sitio experimental (Cumelén, Las Oscuras), año 2012.

Table 1. Some edaphic properties (0-20 cm) of the experimental sites (Cumelén, Las Oscuras), year 2012.

MO	N disponible	Pe	pH	DA
g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹		Mg m ⁻³
24	83	26	6,0	1,31

MO, materia orgánica (g kg⁻¹); N disponible, N en forma de nitratos a la siembra del cultivo (kg ha⁻¹); Pe, fósforo extraíble (mg kg⁻¹); pH, potencial Hidrógeno; DA, densidad aparente (Mg m⁻³).

Recuperación de N por el método de la diferencia

El diseño experimental fue de 3 bloques completos aleatorizados, donde se evaluó la fertilización inicial con N y la fertilización foliar complementaria. Se aplicaron 2 dosis de N: 0 y 50 kg N ha⁻¹ como urea (granulado, 46-0-0) al voleo y a la siembra y en antesis (Z60) (Zadoks *et al.*, 1974), se aplicó N foliar a razón de 0 y 25 kg N ha⁻¹. El producto utilizado fue una formulación líquida con 20% de N (Foliar U) diluido al 50%, y pulverizado con mochila manual. La variedad de trigo utilizada fue Buck Guapo y la distancia entre surcos de siembra 0,19 m. El lote experimental se encuentra en siembra directa con rotaciones agrícolas (arveja-trigo) con trigo como cultivo antecesor.

En madurez fisiológica (Z90) (sobre 3 m lineales) se evaluó la producción de materia seca aérea, sin raíces (MSA) y del grano por separado. El material vegetal se secó hasta peso constante a 60 °C (con excepción de los granos, expresados con un 12% de humedad), se pesó y molió con molino Wiley (0,4 mm). Sobre el mismo se determinó N total por el método semimicro Kjeldahl (Bremner, 1996) y a partir de estos datos se transformó a g kg⁻¹ de proteína utilizando el factor 5,75 (Rhee, 2001).

Recuperación de N por el método de la dilución isotópica

Se ubicaron microparcels de 1 m² con idéntico diseño experimental que las no isotópicas. Las dosis de N inicial fueron de 0 y 50 kg N, ha⁻¹ como urea, y 0 y 25 kg N foliar ha⁻¹ como urea líquida enriquecida con 10% de átomos de ¹⁵N en exceso (¹⁵N en abundancia natural=0,366%). En estas microparcels para mantener los cuidados sugeridos por la bibliografía (Gooding *et al.*, 2007), se colocó un film de polietileno todo alrededor, para evitar la pérdida del fertilizante y la contaminación con la urea convencional.

Las aplicaciones foliares en momentos cercanos a la antesis coinciden con el período crítico para la definición del rendimiento y contenido de proteína (Abatte *et al.*, 1994), por lo que la fertilización foliar se realizó mediante pulverización manual, en dos momentos consecutivos del ciclo del trigo, para comparar el destino del fertilizante marcado, en antesis "a" (Z60) y 11 días posteriores, en post antesis "pa" (Z67).

Las muestras de trigo marcadas isotópicamente, se cosecharon de los surcos centrales, y se procesaron de idéntica forma que las no marcadas. Para la determinación de la relación isotópica, se determinó el N total por el método Kjeldahl modificado para posterior análisis de la relación $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. La relación $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ se determinó con espectrómetro de emisión (JASCO N150, Japón), previa transformación de los compuestos de amonio presentes en el extracto en gas N_2 por el método de Dumas, en el tubo de descarga (Aigner, 1998).

Cálculos

Debido a la diversidad de definiciones de numerosos autores, respecto a la eficiencia de uso del nitrógeno, en el presente trabajo se utilizó el término "Eficiencia de Recuperación del Nitrógeno" ya sea aparente (ERNa) en el caso del método de la diferencia y real (ERNr) para el caso del método isotópico, adaptado de Fageria & Baligar (2005).

Con la información obtenida se efectuaron los cálculos de la cantidad de N proveniente del fertilizante tanto en la planta entera como en el grano, por el método isotópico y por el método de la diferencia.

Método isotópico o directo

N derivado del fertilizante en la planta,

$$\% \text{Nddf} = (\% \text{ a.e. } ^{15}\text{N planta} / \% \text{ a.e. } ^{15}\text{N fertilizante}) * 100$$

siendo:

$$\% \text{ a.e. } ^{15}\text{N} (\text{átomos de } ^{15}\text{N en exceso}): \% \text{ át. } ^{15}\text{N} - \% \text{ abundancia natural } ^{15}\text{N} (0,366)$$

N derivado del suelo en la planta,

$$\% \text{Ndds} = 100 - \% \text{Nddf}$$

$$\text{N Acumulado del fertilizante} = \text{Absorción N} (\% \text{Nddf}/100)$$

Eficiencia de Recuperación del N del fertilizante real,

$$\% \text{ERNr} = (\text{Acumulación N fertilizante}/\text{dosis N aplicada}) * 100$$

Método de la diferencia o indirecto

Rendimiento N del fertilizante = Rendimiento N en tratamiento fertilizado - Rendimiento N en testigo

Eficiencia de Recuperación del N del fertilizante aparente

$$\% \text{ERNa} = (\text{Rendimiento N fertilizante}/\text{dosis N aplicada}) * 100$$

Análisis estadístico

El efecto de los tratamientos (fertilización inicial con N y N foliar suplementario) se evaluó mediante el Análisis de la Varianza (ANVA) provisto por el software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013). Cuando el estadístico F para los tratamientos fue significativo, se calculó la Diferencia Mínima Significativa (DMS) con un nivel de probabilidad de $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la fertilización foliar sobre el rendimiento y calidad del grano en parcelas sin ^{15}N

En la región semiárida pampeana, caracterizada por un clima subhúmedo y semiárido, se ha computado que la incidencia de la variabilidad climática afecta a la producción agrícola en un 30% (INTA, 2010). A pesar de que las precipitaciones registradas en 2012 en Las Oscuras, fueron adecuadas y estuvieron dentro de la media histórica, el cultivo sufrió déficit hídrico durante la etapa de definición del rendimiento. Las lluvias de los meses de septiembre y octubre estuvieron muy por debajo de las registradas en los últimos años (Fig. 1). Este momento es coincidente con el período crítico para el cultivo de trigo, en el cual se define el número de granos (Martínez *et al.*, 2015b).

En el análisis estadístico, tanto la fertilización inicial como la foliar, no mostraron diferencias significativas ($p = 0,9835$ y $p = 0,9552$, respectivamente) en el rendimiento de MSA ni en el grano entre tratamientos. La interacción entre las variables fertilización inicial y foliar, no fue significativa ($p > 0,05$).

El rendimiento en grano fue de 2100 y 2154 kg ha^{-1} para 0N y 50N respectivamente, sin aplicación de N foliar y de 2160 y 2303 kg ha^{-1} , para los casos de la fertilización foliar (Tabla 2). Estos rindes se ubicaron dentro de los valores históricos del partido de Cnel. Dorrego (2100-2200 kg ha^{-1}) (Bolsa de Cereales, 2014) Para la biomasa aérea (MSA) los valores oscilaron entre 5900 y 6500 kg ha^{-1} . En todos los casos no existieron diferencias significativas entre dosis de N. La disponibilidad de N a la siembra (83 $\text{kg N-NO}_3^- \text{ha}^{-1}$), coincidentes con la escasez de lluvia de los meses de septiembre y octubre, ocasionaron la falta de respuesta a la fertilización nitrogenada inicial, tanto como a la aplicación complementaria foliar.

El aumento en la disponibilidad de N estimula la producción temprana de materia seca aumentando los requerimientos de agua. La mayor demanda puede acentuar el efecto adverso de los déficits hídricos que se producen durante el llenado del grano (Galantini *et al.*, 2014). La interacción entre los factores edáficos, climáticos, como las precipitaciones del ciclo (Díaz-Zorita, 2000), humedad del suelo y disponibilidad de N (Cox *et al.*, 1985; Sarandón & Caldiz, 1990), afectan el rendimiento.

Para el caso de aplicaciones postergadas o tardías (en antesis), y teniendo en cuenta la irregularidad de las precipitaciones, la fertilización foliar tienen la ventaja de poder

Tabla 2. Rendimiento y absorción de N (kg ha^{-1}) en la materia seca aérea y en grano de trigo, en tratamientos con y sin N foliar.

Table 2. Yield and N uptake (kg ha^{-1}) in wheat dry matter and grain for treatments with and without foliar N.

Tratamiento	MSA		Grano	
	Sin N Foliar	Con N Foliar	Sin N Foliar	Con N Foliar
Rendimiento, kg ha^{-1}				
0 N	5961	5953	2101	2160
50 N	6365	6531	2154	2303
Absorción N, kg ha^{-1}				
0 N	60,9 a	74,5 a	41,0	49,6
50 N	83,0 b	90,6 b	49,0	56,5

MSA: Materia seca aérea sin raíces.

Letras diferentes en columnas, indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

realizarse en función de las características meteorológicas previas (cantidad de lluvia y biomasa del cultivo) y las expectativas futuras, sea el agua en el suelo como el pronóstico climático (Cantamutto *et al.*, 1986).

La fertilización inicial con 50 kg N ha^{-1} produjo un aumento significativo en la absorción de N en la MSA, tanto para las parcelas sin y con N foliar, mientras que no se observó ningún efecto en la absorción por el grano ($p > 0,05$) (Tabla 2). Cuando se calculó la proteína del grano, la fertilización foliar produjo un aumento estadísticamente significativo de 9% respecto al tratamiento no foliar ($p = 0,0376$). Esta diferencia, también observada en ensayos anteriores en el SOB (Landriscini *et al.*, 2015), demuestra la importancia de las precipitaciones acumuladas de septiembre a noviembre, sobre el rendimiento y la calidad del grano.

Efecto del momento de aplicación foliar sobre el destino del ^{15}N

A la cosecha, se cuantificó en la parcela isotópica, la absorción del N del fertilizante en la MSA y en el grano (Tabla 3).

No se observó efecto significativo ($p > 0,05$) del momento de aplicación foliar en "a" o "pa", ni en la MSA ni en el grano. La MSA acumuló en el promedio de los tratamientos, alrededor de 83 kg N ha^{-1} y en el grano 52 kg N ha^{-1} , con un índice de cosecha de N (ICN) de 0,38. La absorción de N mostró valores semejantes entre el tratamiento control y el fertilizado a la siembra, tanto en la MSA acumulada a la cosecha, como en el grano. Cabe destacar que estos valores fueron similares a los encontrados en la parcela no isotópica (Tabla 2), en especial en el grano donde se absorbieron cerca de $50 \text{ kg de N ha}^{-1}$, en ambos casos.

El N de la planta proveniente del fertilizante foliar marcado (% Nddf) mostró valores similares para el tratamiento fertilizado con 50N inicial, y sin diferencias significativas respecto a la parcela que no fue fertilizada al inicio 0N (Tabla 3). La interacción entre los dos factores (fertilización inicial y momento de aplicación foliar), fue significativa por lo que se analizaron por separado los tratamientos 0N y 50N. En el tratamiento 0N inicial, el N proveniente del fertilizante foliar marcado fue en la MSA, significa-

Tabla 3. Nitrógeno derivado del fertilizante marcado en la planta y en el suelo (%) y absorción del N marcado (kg ha^{-1}) en la materia seca total y en el grano de trigo.

Table 3. Nitrogen derived from labeled fertilizer in plant and soil (%) and labeled N uptake (kg ha^{-1}) in wheat dry matter and grain.

Tratam.	Absorción N kg ha^{-1}		Nddf %		Ndds %		
	MSA	Grano	MSA	Grano	MSA	Grano	ICN
0 N a	89,3	54,2	19,9 a	11,8 a	80,1 b	88,2 a	0,38
0 N pa	70,8	45,5	23,7 b	15,1 b	76,3 a	84,9 b	0,39
50 N a	86,7	51,2	20,2	12,0	79,8	88,0	0,37
50 N pa	84,8	56,0	20,2	11,0	79,8	89,0	0,40

Letras diferentes en columnas, indican diferencia significativa ($p < 0,05$). Nddf: Nitrógeno derivado del fertilizante en la planta

Ndds: Nitrógeno derivado del fertilizante en el suelo. MSA: Materia seca aérea, sin raíces

a: antesis; pa: post antesis; ICN: Índice de Cosecha de N (N abs. grano/N abs. MS grano + aérea)

tivamente mayor ($p=0,036$) en post antesis que en antesis (23,7 comparado con 19,9%); en el grano estas diferencias fueron de 15,1 respecto a 11,8%, con $p=0,049$. Contrariamente, en el tratamiento 50 N inicial, el %Nddf, fue similar para los dos momentos de aplicación: 20% para MSA y 12% para grano. En ambos momentos el 60% del N del fertilizante foliar absorbido se traslocó al grano. Con estos resultados se puede inferir que cuando el trigo creció con menor disponibilidad de N a la siembra (0N) la aplicación foliar en "pa" acumuló más N proveniente del fertilizante marcado que en "a". A partir de la estimación del % Ndds, se observó que la planta recuperó un 80% del suelo, valores superiores a los obtenidos en el tratamiento sin fertilizar por el método indirecto (0N, Tabla 2).

Es de destacar que a pesar de que la absorción de N del cultivo no mostró diferencias significativas entre momentos de aplicación foliar, ni entre tratamientos de fertilización inicial, el uso de fertilizantes isotópicamente marcados permitió ajustar y determinar con exactitud el destino del N que el cultivo absorbió del fertilizante foliar y del suelo.

En la Figura 2, se graficó el destino del fertilizante foliar marcado en el cultivo de trigo y el no recuperado por los residuos.

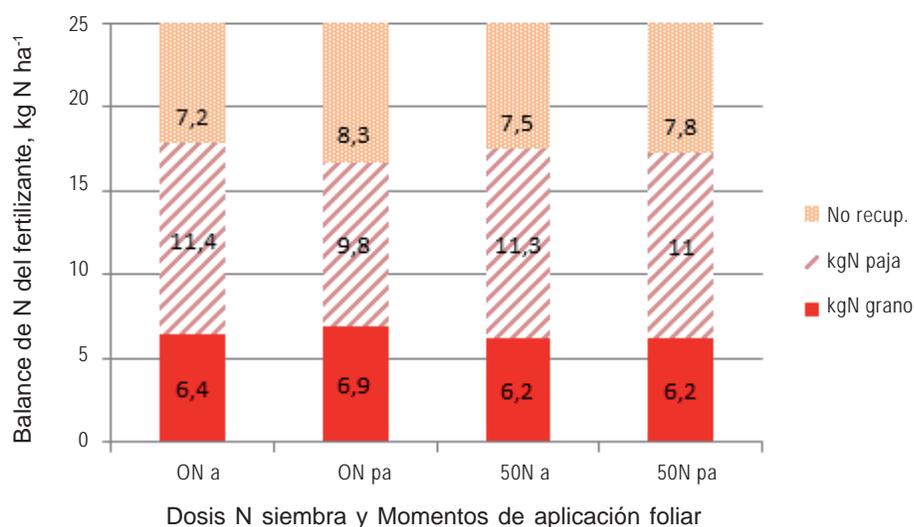
Tanto para el tratamiento testigo como para el fertilizado, el grano recuperó alrededor de 6 kg N ha^{-1} indistinta-

mente con la aplicación en antesis como con post antesis. Así mismo el N que se acumuló en la paja, osciló entre 10 y 11 kg N ha^{-1} . El N no recuperado en las distintas partes del trigo, en todos los casos fue apreciable, oscilando entre 7,2 y $8,3 \text{ kg N ha}^{-1}$. Estos datos sugerirían que con las condiciones hídricas del año, el N foliar no aprovechado osciló en 30%. Estos valores concuerdan con datos de Haugen-Kozyra *et al.* (1993) quienes encontraron en Canadá, que entre 25-30% de la urea aplicada en solución en cebada, no fue recuperado en el sistema suelo-planta.

Eficiencia de Recuperación del Nitrógeno

El análisis de la Eficiencia de Recuperación del N del fertilizante por los dos métodos se expone en la Tabla 4.

El método de la diferencia determinó valores de ERN a de 54 a 30% para la MSA y de 34 a 30% para el grano, en las parcelas 0 y 50N respectivamente, corroborando valores encontrados en la bibliografía. Fageria & Baligar (2005) concuerdan en estimaciones de la eficiencia de recuperación del N foliar aplicado en valores que oscilan entre 30 y 50%, valores similares a los encontrados por Gooding *et al.*, 2007, recuperando menos del 60% con aplicaciones tardías de urea en trigo. En este ensayo con fertilización foliar tardía, la disminución de la eficiencia de recuperación en el grano respecto a la MSA, corroboraría lo expresado anteriormente respecto a la falta de respues-



CV promedio: 15%

Figura 2. Destino del fertilizante marcado recuperado en paja y grano y no recuperado, en trigo.

Figure 2. Fate of labeled fertilizer recovered in straw and grain and not recovered, in wheat.

a: antesis; pa: post antesis

Tabla 4. Eficiencia de recuperación del nitrógeno del fertilizante foliar en materia seca y en grano de trigo, por los métodos de la diferencia y por el isotópico.

Table 4. Nitrogen recovery efficiencies from foliar fertilizer in total dry matter and wheat grain by the difference and isotopic methods.

Tratamiento	ERN, %		kg N ha ⁻¹ del fert. en grano
	MSA	Grano	
Método de la Diferencia o indirecto (ERNa)			
0 N	54,4	34,4	2,4
50 N	30,4	30,0	6,0
Método Isotópico o directo (ERNr)			
0 N	71,5	25,7	6,4
50 N	70,1	24,7	6,2

MSA: Materia seca aérea, sin raíces

ERN: eficiencia de recuperación del nitrógeno, a: aparente; r: real

ta del trigo al N aplicado en forma foliar. Estos valores de eficiencia indicarían que la cantidad de N que se recuperó en el grano osciló entre 2,4 y 6 kg ha⁻¹ para las parcelas 0 y 50N, respectivamente.

El método isotópico, determinó valores del 70% para la ERN_r en la MSA, en las parcelas control y fertilizadas. Estos resultados son muy superiores a los determinados por el método de la diferencia y corroborarían valores semejantes encontrados por Smith *et al.* (1991) en trigos irrigados, aplicando la técnica isotópica, quienes informaron un 69% de recuperación del N aplicado como spray en la planta y pérdidas medidas en el sistema suelo-planta de 19%.

En el grano la ERN_r del fertilizante foliar, osciló en 25% tanto para el tratamiento testigo como para el fertilizado a la siembra. Estos resultados coinciden con los informados por Pilbeam (1996), quien en experiencias con ¹⁵N en condiciones de campo, señaló que en ambientes secos el porcentaje de N absorbido por las plantas de trigo, difícilmente superaba el 20%. Gooding *et al.*, 2007, encontraron valores de ERN de la urea de 17,5 y de 32,5% para el grano y la materia seca total del cultivo de trigo.

CONSIDERACIONES FINALES

La ERN del fertilizante foliar fue diferente entre ambos métodos tanto para la MSA como para el grano. La mayor recuperación en la MSA concuerda con lo mencionado respecto a las condiciones climáticas observadas en el período post anthesis con escasas precipitaciones, que influyeron negativamente en la traslocación del nutriente al grano.

La no inclusión del N retenido por las raíces del cultivo, podría explicar en parte los irregulares valores de recuperación, a pesar de que las raíces habitualmente sólo retienen pequeñas cantidades de N a la cosecha.

Desde el punto de vista agronómico, el método de la diferencia sería una medida del efecto general de la aplicación de N sobre el rendimiento y la absorción de la planta, mientras que el isotópico sería más adecuado para medir el destino del fertilizante marcado en el sistema suelo-planta.

Estos resultados, aunque son parciales y están acotados a un año y localidad del SOB, son de utilidad en la confección de balances de N en el sistema suelo-planta pues permitirían ajustar la demanda del cultivo y la eficiencia con que utiliza el N aportado, minimizando los riesgos ambientales producidos por el aporte de fertilizantes al suelo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las empresas Profertil Nutrientes y Bunge por el aporte de fertilizantes y al Sr. Javier Irastorza (Regional Bahía Blanca-AAPRESID), por ceder su establecimiento para la realización del ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, PE; FH Andrade & JP Culot. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. Boletín Técnico N° 133. 17 p.
- Aigner, M. 1998. Handbook on quality assurance measures applied in total N and ¹⁵N plant analysis. Soil Science Unit, IAEA Seibersdorf Laboratories, Austria.

- Bárbaro, NO; SC López; M Melaj; R Bergh; HE Echeverría; CC Videla & T Loewy. 1998. IV Congreso Nacional de Trigo y II Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. Actas 3-09.
- Blandino, M; P Vaccino & A Reyneri. 2015. Late-season nitrogen increases improve common and durum wheat quality. *Agr. J.* 107: 680-690.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk density. *In: A Klute (ed). Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed.* Pp. 363-375. ASA, Madison, Wisconsin, USA.
- Bolsa de Cereales y Productos de Bahía Blanca, 2014. Trigo y Cebada. Campaña fina 2013-2014. www.bcp.org.ar/InformesAgricolas/2014.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Bremner, JM. 1996. Nitrogen Total. *In: DL Sparks (ed). Methods of Soil Analysis. Chemical Methods. Part 3.* Pp. 1085-1123. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Cantamutto, MA; F Mockel; R Rosell; RM Martínez; MR Landriscini; L Gallez & G Gullace. 1986. Factores que condicionan la respuesta del trigo a la fertilización con nitrógeno y fósforo en el sur de la provincia de Bs. As. Actas XI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Neuquén, Argentina.
- Cox, MC; CO Qualset & DW Rains. 1985. Genetic variation for N assimilation and translocation in wheat. II. Nitrogen assimilation in relation to grain yield and protein. *Crop Sci.* 25: 435-440.
- Díaz Zorita, M. 2000. Momento de aplicaciones de urea para aumentar la producción de grano de trigo en el oeste bonaerense. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L González; M Tablada & CW Robledo. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Echeverría, HE & CC Videla. 1998. Eficiencia fisiológica y de utilización de nitrógeno en trigo en la Región Pampeana Argentina. *Ci. Suelo* 16: 83-87.
- Fageria, NK & VC Baligar. 2005. Enhancing Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants. *Adv. Agr.* 88: 97-185.
- Galantini, JA; MR Landriscini & JO Iglesias. 2014. Efectos de largo plazo de la siembra directa en el SO Bonaerense: respuesta a la aplicación de N y su eficiencia de uso. Pp. 15-22. *En: JA Galantini (ed). Ciencia y experiencia para una siembra directa sustentable en los ambientes frágiles del S y SO Bonaerense.* Rev. Técnica AAPRESID. 96 pp.
- Gooding, MJ; PJ Gregory; KE Ford & RE Ruske. 2007. Recovery of nitrogen from different sources following applications to winter wheat at and after anthesis. *Field Crops Res.* 100: 143-154.
- Haugen-Kozyra, K; NG Juma & M Nyborg. 1993. Nitrogen partitioning and cycling in barley-soil systems under conventional and zero tillage in central Alberta. *Can. J. Soil Sci.* 73: 183-196.
- INTA, 2010. Trigo en el área de la EEA INTA Bordenave. RIAN/RIAP. www.inta.gov.ar/documentos/trigo-en-el-area-de-la-eea-inta-bordenave.-parte-1-antecedentes-de-produccion-y-actualidad/at_multi_download/file/1.%20trigo_area_INTA_Bordenave.pdf. Ultimo acceso, Septiembre 2015.
- Jenkinson, DS; RH Fox & JH Rayner. 1985. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen - the so-called «priming effect». *J. Soil Sci.* 36: 425-444.
- Landriscini, MR; JA Galantini & JM Martínez. 2014. Estrategias de fertilización con nitrógeno en trigo en la región pampeana. Pp 39-45. *En: JA Galantini (ed). Ciencia y experiencia para una siembra directa sustentable en los ambientes frágiles del S y SO Bonaerense.* Rev. Técnica AAPRESID. 96 pp.
- Landriscini, MR; JM Martínez & JA Galantini. 2015. Fertilización foliar en trigo en el sudoeste bonaerense. *Ci. Suelo* 33(2): 183-196.
- Laurent, GC & MA Lázzari. 1991. Respuesta del trigo a las aplicaciones parciales de nitrógeno cultivado durante tres años bajo condiciones semiáridas. *Suelo y Planta* 1: 165-177.
- Lázzari, MA; MR Landriscini; MA Cantamutto; AM Miglierina; RA Rosell; FE Möckel & ME Echagüe. 2001. Absorción de nitrógeno por cebada cervecera en dos suelos del sur bonaerense, Argentina. *Ci. Suelo* 19: 101-108.
- Martínez, JM; JM Galantini & MR Landriscini. 2015a. Eficiencia en el uso del nitrógeno del trigo en la región semiárida de la provincia de Buenos Aires (Argentina): efectos del momento y dosis de aplicación. *Agriscientia* 32 (1): 15-27.
- Martínez, JM; JM Galantini & MR Landriscini. 2015b. Diagnóstico de fertilidad nitrogenada en el sudoeste bonaerense mediante el uso de un clorofilómetro en trigo. *Ci. Suelo* 33(1): 31-43.
- Mulvaney, RL. 1996. Nitrogen Inorganic Forms. *In: DL Sparks (ed). Methods of Soil Analysis. Chemical Methods. Part 3.* Pp. 1123-1184. ASA. Madison, Wisconsin, EEUU.
- Pilbeam, CJ. 1996. Effect of climate on the recovery in crop and soil of ¹⁵N-labeled fertilizer applied to wheat. *Fertilizer Res.* 45: 209-215.
- Powlson, DS; G Pruden; AE Johnston & DS Jenkinson. 1986. The nitrogen cycle in the Broadbalk wheat experiment: recovery and losses of ¹⁵N labelled fertilizer applied in spring and inputs of nitrogen from the atmosphere. *J. Agric. Sci.* 107: 591-609.
- Readman, RJ; CP Beckwith & PS Kettlewell. 2002. Effects of spray application of urea fertilizer at stem extension on winter wheat: N recovery and nitrate leaching. *J. Agric. Sci.* 139: 1-10.
- Rhee, KC. 2001. Determination of total nitrogen. *In: R Wrolstad (ed). Current protocols in food analytical chemistry.* Wiley & Sons. New York, EEUU.
- Roberts, TL & HH Janzen. 1990. Comparison of direct and indirect methods of measuring fertilizer N uptake in winter wheat. *Can. J. Soil Sci.* 70: 119.
- Sarandón, S & DO Caldiz. 1990. Effects of varying nitrogen supply at different growth stages on nitrogen uptake and nitrogen partitioning efficiency in two wheat cultivars. *Fert. Res.* 22: 21-27.
- Smith, CJ; JR Freeney; RR Sherlock & LE Galbally. 1991. The fate of urea nitrogen applied in a foliar spray to wheat at heading. *Fertilizer Research* 28: 129-138.
- Zadoks, JC; TT Chang & CF Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.